ALCALDIA MAYOR
BOGOTA D.C.
Instituto
DESARROLLO URBANO

“ACTUALIZACIÓN, AJUSTES Y COMPLEMENTACIÓN DE LA FACTIBILIDAD Y LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS DEL CABLE AÉREO EN SAN CRISTÓBAL, EN BOGOTÁ D.C.”

CONTRATO DE CONSULTORÍA No. 1630 DE 2020

INF-GEO-CASC-218-21

INFORME DE DISEÑOS DEFINITIVOS-GEOTECNIA

CONSORCIO CS

CONSORCIO CS
Caly Mayor Colombia S.A.S.
Supering

BOGOTÁ, 2022 – mayo 03.

PRODUCTO DOCUMENTAL

INF-GEO-CASC-218-21

INFORME DE DISEÑOS DEFINITIVOS-GEOTECNIA

CONTROL DE VERSIONES

Versión	Fecha	Descripción de la Modificación	Folios
Versión 00	04/02/2022	Emisión inicial	454
Versión 01	23/02/2022	Atención observaciones interventoria comunicado ISC-CAI-P1580 812	596
Versión 02	31/03/2022	Atención observaciones interventoria comunicado ISC-CAI-P1580 922	659
Versión 03	26/04/2022	Atención observaciones interventoría comunicado ISC-CAI-P1580 985	661
Versión 04	03/05/2022	Atención observaciones de la interventoría al capitulo de geología.	662

EMPRESA CONTRATISTA

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
MIGUEL ANGEL SANCHEZ SALINAS Firmado digitalmente por MIGUEL ANGEL SANCHEZ SALINAS Fecha: 2022.05.03 15:21:23 -05'00'	EDGAR EDUARDO RODRIGUEZ GRANADOS Firmado digitalmente por EDGAR EDUARDO RODRIGUEZ GRANADOS Fecha: 2022.05.03 15:22:21 -05'00'	Mario Ernesto Vacca Gamez Firmado digitalmente por Mario Ernesto Vacca Gamez Fecha: 2022.05.04 12:59:46 -05'00'
Ing. Miguel Angel Sanchez Especialista en Geotecnia	Ing. Edgar Eduardo Rodriguez Especialista en Riesgos	Ing. Mario Ernesto Vacca G. Director de Consultoría

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTA D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

EMPRESA INTERVENTORA

REVISADO POR:	AVALADO POR:	APROBADO POR:
RAMIREZ PARRA OSCAR Digitally signed by RAMIREZ PARRA OSCAR Date: 2022.05.05 09:57:28 -05'00'	ROZO GARZON WILMER ALEXANDER Digitally signed by ROZO GARZON WILMER ALEXANDER Date: 2022.05.05 09:55:57 -05'00'	OSCAR ANDRES RICO GOMEZ Firmado digitalmente por OSCAR ANDRES RICO GOMEZ Fecha: 2022.05.05 11:18:48 -05'00'
Ing. Oscar Ramírez Parra Especialista en Geotecnia	Ing. Wilmer Alexander Rozo Coordinador de Interventoría	Ing. Oscar Andrés Rico Gómez Director de Interventoría

TABLA DE CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN 43
2 OBJETIVOS 44
2.1 OBJETIVO GENERAL 44
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 44
3 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ALCANCE DEL PROYECTO 45
TRAMO PORTAL 20 DE JULIO-LA VICTORIA 46
TRAMO LA VICTORIA ALTAMIRA 46
4 INVENTARIO Y DIAGNÓSTICO DE INFRAESTRUCTURA EXISTENTE A NIVEL GEOTÉCNICO. 48
4.1 DIAGNÓSTICO DE TALUDES 51
5 FASE DE RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN SECUNDARIA 54
5.1 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE. 56
6 CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DEL PROYECTO. 104
6.1 INTRODUCCIÓN 104
6.2 Metodología 104
6.3 GEOLOGÍA REGIONAL (1:1000) 107
6.3.1 ESTRATIGRAFÍA 108
6.3.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL 111
6.4 GEOMORGOLOGÍA 112
6.4.1 Ambientes Morfogenéticos 113
6.5 DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DETALLADA DEL CORREDOR- Escala 1:250 116
6.5.1 Perfil 1 117
6.5.2 Perfil 2 119
6.5.3 Perfil 3 124
6.5.4 Perfil 4 127
6.6 CONDICIONES ESTRUCTURALES DEL CORREDOR 128
6.7 DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA Y GEOMORFOLÓGICA DETALLADA POR PILONAS 129
6.7.1 PILONA 1 129
6.7.2 PILONA 2 131
6.7.3 PILONA 3 132

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

6.7.4 PILONA 4 134
6.7.5 PILONA 5 135
6.7.6 PILONA 6 137
6.7.7 PILONA 7 138
6.7.8 PILONA 8 140
6.7.9 PILONA 9-10 142
6.7.10 PILONA 11 143
6.7.11 PILONA 12 145
6.7.12 PILONA 13-14 147
6.7.13 PILONA 15 149
6.7.14 PILONA 16 151
6.7.15 PILONA 17 153
6.7.16 PILONA 18 155
6.7.17 PILONA 19 156
6.7.18 PILONA 20 158
6.7.19 PILONA 21 160
6.7.20 PILONA 22 162
6.8 HIDROGEOLOGÍA 164
7 PLAN DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA 170
7.1 RECOMENDACIONES GENERALES Y REQUERIMIENTOS 171
7.2 ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA 20 DE JULIO 172
7.2.1 Rampa de acceso 20 de Julio 172
7.3 ESTACIÓN INTERMEDIA LA VICTORIA 173
7.4 ESTACIÓN RETORNO ALTAMIRA 173
7.5 PILONAS 174
7.5.1 Pilona 1 174
7.5.2 Pilona 2 174
7.5.3 Pilona 3 174
7.5.4 Pilona 4 175
7.5.5 Pilona 5 175
7.5.6 Pilona 6 175

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

7.5.7 Pilona 7 175
7.5.8 Pilona 8 176
7.5.9 Pilona 9 176
7.5.10 Pilona 10 177
7.5.11 Pilona 11 177
7.5.12 Pilona 12-13-14 177
7.5.13 Pilona 15 178
7.5.14 Pilona 16 178
7.5.15 Pilona 17 178
7.5.16 Pilona 18 179
7.5.17 Pilona 19 179
7.5.18 Pilona 20 179
7.5.19 Pilona 21 179
7.5.20 Pilona 22 180
7.6 UBICACIÓN EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA PARA LA FASE DE DISEÑOS DEFINITIVOS 180
7.7 PROTOCOLO DE LABORATORIO PARA TOMA, TRANSPORTE, CONSERVACIÓN Y ENSAYO DE MUESTRAS. 189
7.7.1 Extracción de muestras: 189
7.7.2 Identificación 189
7.7.3 Manejo 189
7.7.4 Almacenamiento 190
7.7.5 Control y verificación 190
7.7.6 Transporte y entrega 190
8 RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO 191
9 PROCESAMIENTO DE ENSAYOS DE LABORATORIO (CARACTERIZACIÓN) 192
9.1 ESTACIÓN PORTAL 20 DE JULIO 192
9.1.1 Ejes 1 y 2, Puente peatonal 194
9.1.2 Eje 3, Puente peatonal 196
9.2 ESTACIÓN LA VICTORIA 197
9.3 ESTACIÓN ALTAMIRA 200
9.4 PILONA 1 202

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

9.5 PILONA 2 204
9.6 PILONA 3 205
9.7 PILONA 4 207
9.8 PILONA 5 209
9.9 PILONA 6 211
9.10 PILONA 7 213
9.11 PILONA 8 215
9.12 PILONA 9 217
9.13 PILONA 10 219
9.14 PILONA 11 221
9.15 PILONA 12-13-14 223
9.16 PILONA 15 225
9.17 PILONA 16 227
9.18 PILONA 17 229
9.19 PILONA 18 231
9.20 PILONA 19 233
9.21 PILONA 20 235
9.22 PILONA 21 237
9.23 PILONA 22 239
10 METODOLOGÍA DE DISEÑO 242
10.1 CIMENTACIONES DE EDIFICACIONES 242
10.1.1 Factores de Seguridad 242
10.1.2 Cimentaciones superficiales para obras menores 244
10.1.3 Cimentaciones superficiales para losas sobre materiales arcillosos. 245
10.1.4 Cimentaciones profundas 246
10.2 CIMENTACIONES DE PILONAS 249
10.2.1 Espectro de aceleraciones 249
10.2.2 Correlaciones parámetros de resistencia del suelo 254
10.2.3 Cimentaciones mediante pilotes perforados 255
10.2.4 Resistencia lateral pilotes. 262
11 MODELO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO 264

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
PROVEEDOR
Instituto de Desarrollo Urbano

11.1 ESTACIÓN PORTAL 20 DE JULIO 264
11.1.1 Puente peatonal 266
11.2 ESTACIÓN LA VICTORIA 267
11.3 ESTACIÓN ALTAMIRA 268
11.4 PILONA 1 270
11.5 PILONA 2 272
11.6 PILONA 3 274
11.7 PILONA 4 276
11.8 PILONA 5 278
11.9 PILONA 6 280
11.10 PILONA 7 282
11.11 PILONA 8 284
11.12 PILONA 9 286
11.13 PILONA 10 287
11.14 PILONA 11 289
11.15 PILONA 12 – 13 - 14 291
11.16 PILONA 15 293
11.17 PILONA 16 295
11.18 PILONA 17 297
11.19 PILONA 18 299
11.20 PILONA 19 301
11.21 PILONA 20 303
11.22 PILONA 21 305
11.23 PILONA 22 307
12 ESPECTRO SÍSMICO DE DISEÑO 309
13 CONDICIONES ESPECIALES DEL SUBSUELO 311
13.1 Licuación. 311
13.2 Potencial de expansión. 311
13.3 Colapso. 311
14 CIMENTACIONES DE ESTACIONES Y PILONAS 311
14.1 ESTACIÓN 20 DE JULIO 313

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

14.1.1 Estación 20 de julio 313
14.1.2 Edificio de conexión 318
14.1.3 Puente peatonal 321
14.1.4 Tanque enterrado 339
14.2 ESTACIÓN LA VICTORIA 342
14.3 ESTACIÓN ALTAMIRA 352
14.4 PILONA 1 362
14.4.1 Recomendaciones generales 362
14.4.2 Capacidad 363
14.4.3 Módulo de reacción horizontal y vertical 370
14.5 PILONA 2 372
14.5.1 Recomendaciones generales 372
14.5.2 Capacidad 372
14.5.3 Módulo de reacción horizontal y vertical 379
14.6 PILONA 3 381
14.6.1 Recomendaciones generales 381
14.6.2 Capacidad 381
14.6.3 Módulo de reacción horizontal y vertical 388
14.6.4 Recomendaciones de cimentación para obras menores 390
14.7 PILONA 4 395
14.7.1 Recomendaciones generales 395
14.7.2 Capacidad 396
14.7.3 Módulo de reacción horizontal y vertical 403
14.7.4 Recomendaciones de cimentación para obras menores 404
14.8 PILONA 5 406
14.8.1 Recomendaciones generales 407
14.8.2 Capacidad 407
14.8.3 Módulo de reacción horizontal y vertical 413
14.8.4 Recomendaciones de cimentación para obras menores 415
14.9 PILONA 6 417
14.9.1 Recomendaciones generales 418

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

14.9.2 Capacidad 418
14.9.3 Módulo de reacción horizontal y vertical 426
14.9.4 Recomendaciones de cimentación para obras menores 427
14.10 PILONA 7 430
14.10.1 Recomendaciones generales 430
14.10.2 Capacidad 430
14.10.3 Módulo de reacción horizontal y vertical 438
14.10.4 Recomendaciones de cimentación para obras menores 439
14.11 PILONA 8 442
14.11.1 Recomendaciones generales 442
14.11.2 Capacidad 443
14.11.3 Módulo de reacción horizontal y vertical 449
14.11.4 Recomendaciones de cimentación para obras menores 451
14.12 PILONA 9 453
14.12.1 Recomendaciones generales 453
14.12.2 Capacidad 454
14.12.3 Módulo de reacción horizontal y vertical 460
14.12.4 Recomendaciones de cimentación para obras menores 462
14.13 PILONA 10 464
14.13.1 Recomendaciones generales 464
14.13.2 Capacidad 465
14.13.3 Módulo de reacción horizontal y vertical 473
14.13.4 Recomendaciones de cimentación para obras menores 474
14.14 PILONA 11 477
14.14.1 Recomendaciones generales 477
14.14.2 Capacidad 478
14.14.3 Módulo de reacción horizontal y vertical 484
14.14.4 Recomendaciones de cimentación para obras menores 486
14.15 PILONA 12-13-14 488
14.15.1 Recomendaciones generales 488
14.15.2 Capacidad 489

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

14.15.3 Módulo de reacción horizontal y vertical 495
14.15.4 Recomendaciones de cimentación para obras menores 497
14.16 PILONA 15 499
14.16.1 Recomendaciones generales 499
14.16.2 Capacidad 500
14.16.3 Módulo de reacción horizontal y vertical 506
14.16.4 Recomendaciones de cimentación para obras menores 508
14.17 PILONA 16 510
14.17.1 Recomendaciones generales 510
14.17.2 Capacidad 511
14.17.3 Módulo de reacción horizontal y vertical 517
14.18 PILONA 17 519
14.18.1 Recomendaciones generales 519
14.18.2 Capacidad 519
14.18.3 Módulo de reacción horizontal y vertical 526
14.18.4 Recomendaciones de cimentación para obras menores 528
14.19 PILONA 18 530
14.19.1 Recomendaciones generales 530
14.19.2 Capacidad 530
14.19.3 Módulo de reacción horizontal y vertical 537
14.19.4 Recomendaciones de cimentación para obras menores 539
14.20 PILONA 19 541
14.20.1 Recomendaciones generales 542
14.20.2 Capacidad 542
14.20.3 Módulo de reacción horizontal y vertical 549
14.20.4 Recomendaciones de cimentación para obras menores 550
14.21 PILONA 20 553
14.21.1 Recomendaciones generales 553
14.21.2 Capacidad 553
14.21.3 Módulo de reacción horizontal y vertical 560
14.21.4 Recomendaciones de cimentación para obras menores 561

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

14.22 PILONA 21 564
14.22.1 Recomendaciones generales 564
14.22.2 Capacidad 564
14.22.3 Módulo de reacción horizontal y vertical 571
14.22.4 Recomendaciones de cimentación para obras menores 573
14.23 PILONA 22 575
14.23.1 Recomendaciones generales 575
14.23.2 Capacidad 576
14.23.3 Módulo de reacción horizontal y vertical 582
14.23.4 Recomendaciones de cimentación para obras menores 584
15 CIMENTACIONES DE REDES 587
15.1 CAPACIDAD PORTANTE 587
15.2 CIMENTACIÓN 587
15.3 ENTIBADOS 588
15.3.1 Altura crítica 589
16 ESTABILIDAD DE TALUDES 590
16.1 ESTACIÓN LA VICTORIA 590
16.2 ESTACIÓN ALTAMIRA 592
16.3 PILONAS 593
17 AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO 645
17.1 PARÁMETROS DE RESISTENCIA 645
17.1.1 Correlación Álvaro González 645
17.1.2 Correlación Bjerrum y Simons 647
17.2 EVALUACIÓN DE AMENAZA 648
17.3 EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD 649
17.4 EVALUACIÓN DE RIESGOS 650
18 PLAN DE INSTRUMENTACIÓN Y MONITOREO 651
19 PLAN DE CONTINGENCIAS 652
20 CANTIDADES DE OBRA 653
21 RECOMENDACIONES CONSTRUCTIVAS 654
21.1 Estación 20 de Julio 654

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

21.2 Estación La Victoria 654
21.3 Estación Altamira 655
21.4 Pilonas 656
22 ESPECIFICACIONES GENERALES Y PARTICULARES DE CONSTRUCCIÓN 658
23 RIESGOS PREVISIBLES 659
24 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 660

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4-1. Obras geotécnicas levantadas **49**
Tabla 4-2. Laderas levantadas **52**
Tabla 5-1. Información Secundaria Seleccionada **54**
Tabla 5-2 Parámetros de Diseño sísmico para las zonas de respuesta sísmica **61**
Tabla 5-3. Coeficientes de Respuesta Sísmica Local Trazado Cable San Cristóbal **67**
Tabla 5-4. Descripción Zonificación Geotécnica según FOPAE **67**
Tabla 5-5 Ubicación y profundidad de exploración estudio factibilidad Cable San Cristóbal 2013 ..... **71**
Tabla 5-6. Resultados de Laboratorio Propiedades Índice P. 20 de Julio **74**
Tabla 5-7. Resultados Laboratorio Propiedades Índice Estación La Victoria **75**
Tabla 5-8. Resultados Laboratorio Propiedades Índice Estación Altamira-Moralba **75**
Tabla 5-9. Parámetros Geotécnicos Estación Portal 20 de Julio **76**
Tabla 5-10. Parámetros Geotécnicos Estación La Victoria **76**
Tabla 5-11. Parámetros Geotécnicos Alineamiento **76**
Tabla 5-12. Valores de capacidad portante tuberías calle 32 sur estudio Portal 20 de Julio **82**
Tabla 5-13. Valores de capacidad portante tuberías perimetrales estudio Portal 20 de Julio. **82**
Tabla 5-14. Capacidades pilotes edificio acceso a Portal **84**
Tabla 5-15. Capacidades pilotes edificio plaza de ferias **84**
Tabla 5-16. Parámetros Materiales Estudio Barrio Atenas, 2006 ..... **86**
Tabla 5-17. Parámetros Geomecánicos para Estabilidad Condición Seca y Saturada Barrio Barcelona **90**

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Tabla 5-18. Parámetros Geomecánicos para Estabilidad Condición Seca y Saturada Barrio Barcelona II 90

Tabla 5-19. Características relleno de arcilla con gravas 94

Tabla 5-20. Características arcilla gris 94

Tabla 5-21. Parámetros Depósitos de Deslizamientos 98

Tabla 5-22. Parámetros Relleno Antrópico Urbanístico Seleccionado 99

Tabla 5-23. Parámetros Suelos Residuales 99

Tabla 6-1. Leyenda Litoestratigráfica del corredor del proyecto Cable de San Cristóbal. 108

Tabla 6-2. Coordenadas exploración directa pilonas 169

Tabla 7-1. Coordenadas exploración directa pilonas 187

Tabla 7-2. Coordenadas exploración directa estaciones 188

Tabla 7-3. Coordenadas exploración directa remoción en masa 188

Tabla 7-4. Coordenadas exploración indirecta 188

Tabla 10-1. Factores de forma, profundidad e inclinación. Fuente: Braja, Das, 2015. 245

Tabla 10-2. Variación de α (valores interpolados basados en Terzaghi, Peck y Mesri, 1996). 248

Tabla 10-3. Valores del Factor de Sitio F_{PGA} 253

Tabla 10-4. Valores del Factor de Sitio F_A 254

Tabla 10-5. Valores del Factor de Sitio F_V 254

Tabla 10-6. Factores de Reducción para Resistencia al Aplastamiento del Grupo de Pilotes en Arena 259

Tabla 10-7. Factor de modificación de juntas 260

Tabla 10-8. Parámetros m y s para roca 261

Tabla 10-9. Factores de resistencia 261

Tabla 10-10. Criterio para el comportamiento como pilote corte y pilote largo 262

Tabla 11-1. Perforaciones estación Portal 20 de Julio. 264

Tabla 11-2. Perfil Geotécnico Estación 20 de Julio 265

Tabla 11-3. Perfil Geotécnico Puente peatonal eje 1 y 2 266

Tabla 11-4. Perfil Geotécnico Puente peatonal eje 3 266

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

Tabla 11-5. Perforaciones estación La Victoria. 267
Tabla 11-6 Perfil Geotécnico Estación La Victoria 267
Tabla 11-7. Perforaciones Estación Altamira 268
Tabla 11-8. Perfil Geotécnico Estación Altamira. 269
Tabla 11-9. Perforación pilona 1 270
Tabla 11-10. Perfil Geotécnico Pilona 1 271
Tabla 11-11. Perforación pilona 2 272
Tabla 11-12. Perfil Geotécnico Pilona 2 273
Tabla 11-13. Perforación pilona 3 274
Tabla 11-14. Perfil Geotécnico Pilona 3 275
Tabla 11-15. Perforación pilona 4 276
Tabla 11-16. Perfil Geotécnico Pilona 4 277
Tabla 11-17. Perforación pilona 5 278
Tabla 11-18. Perfil Geotécnico Pilona 5 279
Tabla 11-19. Perforación pilona 6 280
Tabla 11-20. Perfil Geotécnico Pilona 6 281
Tabla 11-21. Perforación pilona 7 282
Tabla 11-22. Perfil Geotécnico Pilona 7 283
Tabla 11-23. Perforación pilona 8 284
Tabla 11-24. Perfil Geotécnico Pilona 8 285
Tabla 11-25. Perforación pilona 9 286
Tabla 11-26. Perfil Geotécnico Pilona 9 286
Tabla 11-27. Perforación pilona 10 287
Tabla 11-28. Perfil Geotécnico Pilona 10 288
Tabla 11-29. Perforación pilona 11 289
Tabla 11-30. Perfil Geotécnico Pilona 11 290
Tabla 11-31. Perforación pilona 12 – 13 - 14 291

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

Tabla 11-32. Perfil Geotécnico Pilona 12-13-14 292
Tabla 11-33. Perforación pilona 15 293
Tabla 11-34. Perfil Geotécnico Pilona 15 294
Tabla 11-35. Perforación pilona 16 295
Tabla 11-36. Perfil Geotécnico Pilona 16 296
Tabla 11-37. Perforación pilona 17 297
Tabla 11-38. Perfil Geotécnico Pilona 17 298
Tabla 11-39. Perforación pilona 18 299
Tabla 11-40. Perfil Geotécnico Pilona 18 300
Tabla 11-41. Perforación pilona 19 301
Tabla 11-42. Perfil Geotécnico Pilona 19 302
Tabla 11-43. Perforación pilona 20 303
Tabla 11-44. Perfil Geotécnico Pilona 20 304
Tabla 11-45. Perforación pilona 21 305
Tabla 11-46. Perfil Geotécnico Pilona 21 306
Tabla 11-47. Perforación pilona 22 307
Tabla 11-48. Perfil Geotécnico Pilona 22 308
Tabla 12-1. Coeficientes de diseño Microzonificación Sísmica Bogotá D.C 309
Tabla 12-2. Coeficientes de diseño Código de Puente CCP-14 310
Tabla 14-1. Geometría pilotes estructuras proyectadas 312
Tabla 14-2. Capacidad portante pilotes Portal 20 de Julio 314
Tabla 14-3. Módulos de reacción horizontal pilotes Portal 20 de Julio 315
Tabla 14-4. Módulos de reacción vertical pilotes Portal 20 de Julio 316
Tabla 14-5. Eficiencia grupo de pilotes 316
Tabla 14-6. Capacidad portante pilotes Edificio de conexión. 318
Tabla 14-7. Módulos de reacción horizontal pilotes Edificio de Conexión 320
Tabla 14-8. Módulos de reacción vertical pilotes Edificio de Conexión 321

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Tabla 14-9. Capacidad portante pilotes Puente Peatonal Apoyos Eje 1 y 2 – ELR 322
Tabla 14-10 Capacidad portante pilotes Puente Peatonal Apoyos Eje 1 y 2 – ELEE 323
Tabla 14-11. Capacidad portante pilotes Puente Peatonal Apoyos Eje 1 y 2 – ELS 325
Tabla 14-12. Resumen valores de carga lateral (ELR y ELEE) - Puente Peatonal Apoyos Eje 1 y 2 326
Tabla 14-13. Resumen valores de carga lateral (ELS) - Puente Peatonal Apoyos Eje 1 y 2 328
Tabla 14-14. Módulos de reacción horizontal y vertical apoyos Ejes 1 y 2 – Puente peatonal 329
Tabla 14-15. Capacidad portante pilotes Puente Peatonal Apoyos Eje 3 - ELR 331
Tabla 14-16. Capacidad portante pilotes Puente Peatonal Apoyos Eje 3 – ELEE 332
Tabla 14-17. Capacidad portante pilotes Puente Peatonal Apoyos Eje 3 - ELS 334
Tabla 14-18. Resumen valores de carga lateral (ELR y ELEE) - Puente Peatonal Apoyo Eje 3 335
Tabla 14-19. Resumen valores de carga lateral (ELS) - Puente Peatonal Apoyos Eje 3 337
Tabla 14-20. Módulos de reacción horizontal y vertical apoyos Ejes 3 – Puente peatonal 338
Tabla 14-21. Capacidad portante -Tanque enterrado estación 20 julio 340
Tabla 14-22. Asentamientos y Kv – Tanque enterrado estación 20 de julio 340
Tabla 14-23. Empujes tanque enterrado estación 20 de julio 340
Tabla 14-24. Capacidad portante pilotes Estación La Victoria 343
Tabla 14-25. Módulos de reacción horizontal pilotes Estación La Victoria 345
Tabla 14-26. Módulos de reacción vertical pilotes Estación La Victoria 346
Tabla 14-27. Capacidad portante -Tanque enterrado estación La Victoria 347
Tabla 14-28. Asentamientos y Kv – Tanque enterrado estación La Victoria 347
Tabla 14-29. Empujes tanque enterrado estación La Victoria 348
Tabla 14-30. Asentamientos cimientos superficiales Estación La Victoria 351
Tabla 14-31. Coeficientes de presión de tierras 351
Tabla 14-32. Capacidad portante pilotes Estación Altamira 352
Tabla 14-33. Módulos de reacción horizontal pilotes Estación Altamira 353
Tabla 14-34. Módulos de reacción vertical pilotes Estación Altamira 355

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

Tabla 14-35. Empujes Pantalla Estación Altamira. 357
Tabla 14-36. Asentamientos cimientos superficiales Estación Altamira 361
Tabla 14-37. Coeficientes de presión de tierras 362
Tabla 14-38. Recomendaciones generales pilona 1 362
Tabla 14-39. Resumen de valores de carga axial admisible y carga por tracción ELR – Pilona 1 363
Tabla 14-40. Resumen de valores de carga axial admisible ELEE – Pilona 1 364
Tabla 14-41. Resumen de valores de carga axial admisible ELS – Pilona 1 366
Tabla 14-42. Resumen de valores de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 1 367
Tabla 14-43. Resumen de valores de carga lateral (ELS) – Pilona 1 369
Tabla 14-44. Resumen de valores módulos de reacción horizontal y vertical 370
Tabla 14-45. Recomendaciones generales pilona 2 372
Tabla 14-46. Resumen de valores de carga axial admisible y carga por tracción ELR – Pilona 2 372
Tabla 14-47. Resumen de valores de carga axial admisible ELEE – Pilona 2 374
Tabla 14-48. Resumen de valores de carga axial admisible ELS – Pilona 2 375
Tabla 14-49. Resumen de valores de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 2 376
Tabla 14-50. Resumen de valores de carga lateral (ELS) – Pilona 2 378
Tabla 14-51. Resumen de valores módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 2 380
Tabla 14-52. Recomendaciones generales pilona 3 381
Tabla 14-53. Resumen de valores de carga axial admisible y carga por tracción ELR – Pilona 3 382
Tabla 14-54. Resumen de valores de carga axial admisible ELEE – Pilona 3 383
Tabla 14-55. Resumen de valores de carga axial admisible ELS – Pilona 3 384
Tabla 14-56. Resumen de valores de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 3 386
Tabla 14-57. Resumen de valores de carga lateral (ELS) – Pilona 3 387
Tabla 14-58. Resumen de valores módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 3 389
Tabla 14-59. Asentamientos cimientos superficiales Pilona 3. 394

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

Tabla 14-60. Coeficientes de presión de tierras 395

Tabla 14-61. Recomendaciones generales pilona 4 395

Tabla 14-62. Resumen de valores de carga axial admisible y carga por tracción ELR – Pilona 4 396

Tabla 14-63. Resumen de valores de carga axial admisible ELEE – Pilona 4 397

Tabla 14-64. Resumen de valores de carga axial admisible ELS – Pilona 4 398

Tabla 14-65. Resumen de valores de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 4 400

Tabla 14-66. Resumen de valores de carga lateral (ELS) – Pilona 4 401

Tabla 14-67. Resumen de valores módulos de reacción horizontal y vertical 403

Tabla 14-68. Asentamientos cimientos superficiales Pilona 4. 406

Tabla 14-69. Coeficientes de presión de tierras 406

Tabla 14-70. Recomendaciones generales pilona 5 407

Tabla 14-71. Resumen de valores de carga axial admisible y carga por tracción ELR – Pilona 5 407

Tabla 14-72. Resumen de valores de carga axial admisible ELEE – Pilona 5 408

Tabla 14-73. Resumen de valores de carga axial admisible ELS – Pilona 5 409

Tabla 14-74. Resumen de valores de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 5 411

Tabla 14-75. Resumen de valores de carga lateral (ELS) – Pilona 5 412

Tabla 14-76. Resumen de valores módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 5 414

Tabla 14-77. Asentamientos cimientos superficiales Pilona 5. 417

Tabla 14-78. Coeficientes de presión de tierras 417

Tabla 14-79. Recomendaciones generales pilona 6 418

Tabla 14-80. Resumen de valores de carga axial admisible y carga por tracción ELR – Pilona 6 418

Tabla 14-81. Resumen de valores de carga axial admisible ELEE – Pilona 6 419

Tabla 14-82. Resumen de valores de carga axial admisible ELS – Pilona 6 421

Tabla 14-83. Resumen de valores de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 6 423

Tabla 14-84. Resumen de valores de carga lateral (ELS) – Pilona 6 424

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

Tabla 14-85. Resumen de valores módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 6 426
Tabla 14-86. Asentamientos cimientos superficiales Pilona 6 429
Tabla 14-87. Coeficientes de presión de tierras 429
Tabla 14-88. Recomendaciones generales pilona 7 430
Tabla 14-89. Resumen de valores de carga axial admisible y carga por tracción ELR – Pilona 7 430
Tabla 14-90. Resumen de valores de carga axial admisible ELEE – Pilona 7 432
Tabla 14-91. Resumen de valores de carga axial admisible ELS – Pilona 7 433
Tabla 14-92. Resumen de valores de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 7 435
Tabla 14-93. Resumen de valores de carga lateral (ELS) – Pilona 7 436
Tabla 14-94. Resumen de valores módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 7 438
Tabla 14-95. Asentamientos cimientos superficiales Pilona 7 441
Tabla 14-96. Coeficientes de presión de tierras 442
Tabla 14-97. Recomendaciones generales pilona 8 442
Tabla 14-98. Resumen de valores de carga axial admisible y carga por tracción ELR – Pilona 8 443
Tabla 14-99. Resumen de valores de carga axial admisible ELEE – Pilona 8 444
Tabla 14-100. Resumen de valores de carga axial admisible ELS – Pilona 8 445
Tabla 14-101. Resumen de valores de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 8 446
Tabla 14-102. Resumen de valores de carga lateral (ELS) – Pilona 8 448
Tabla 14-103. Resumen de valores módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 8 449
Tabla 14-104. Asentamientos cimientos superficiales Pilona 8 452
Tabla 14-105. Coeficientes de presión de tierras 453
Tabla 14-106. Recomendaciones generales pilona 9 453
Tabla 14-107. Resumen de valores de carga axial admisible y carga por tracción ELR – Pilona 9 454
Tabla 14-108. Resumen de valores de carga axial admisible ELEE – Pilona 9 455
Tabla 14-109. Resumen de valores de carga axial admisible ELS – Pilona 9 456

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

Tabla 14-110. Resumen de valores de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 9 ..... **458**

Tabla 14-111. Resumen de valores de carga lateral (ELS) – Pilona 9 ..... **459**

Tabla 14-112. Resumen de valores módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 9 ..... **460**

Tabla 14-113. Asentamientos cimientos superficiales Pilona 9. ..... **463**

Tabla 14-114. Coeficientes de presión de tierras **464**

Tabla 14-115. Recomendaciones generales pilona 10 ..... **464**

Tabla 14-116. Resumen de valores de carga axial admisible y carga por tracción ELR – Pilona 10 ..... **465**

Tabla 14-117. Resumen de valores de carga axial admisible ELEE – Pilona 10 ..... **466**

Tabla 14-118. Resumen de valores de carga axial admisible ELS – Pilona 10 ..... **468**

Tabla 14-119. Resumen de valores de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 10 ..... **469**

Tabla 14-120. Resumen de valores de carga lateral (ELS) – Pilona 10 ..... **471**

Tabla 14-121. Resumen de valores módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 10 ..... **473**

Tabla 14-122. Asentamientos cimientos superficiales Pilona 10. ..... **476**

Tabla 14-123. Coeficientes de presión de tierras **477**

Tabla 14-124. Recomendaciones generales pilona 11 ..... **477**

Tabla 14-125. Resumen de valores de carga axial admisible y carga por tracción ELR – Pilona 11 ..... **478**

Tabla 14-126. Resumen de valores de carga axial admisible ELEE – Pilona 11 ..... **479**

Tabla 14-127. Resumen de valores de carga axial admisible ELS – Pilona 11 ..... **480**

Tabla 14-128. Resumen de valores de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 11 ..... **482**

Tabla 14-129. Resumen de valores de carga lateral (ELS) – Pilona 11 ..... **483**

Tabla 14-130. Resumen de valores módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 11 ..... **484**

Tabla 14-131. Asentamientos cimientos superficiales Pilona 11. ..... **487**

Tabla 14-132. Coeficientes de presión de tierras **488**

Tabla 14-133. Recomendaciones generales pilona 12-13-14 ..... **488**

Tabla 14-134. Resumen de valores de carga axial admisible y carga por tracción ELR – Pilona 12-13-14 ..... **489**

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

Tabla 14-135. Resumen de valores de carga axial admisible ELEE – Pilona 12-13-14 ..... **490**

Tabla 14-136. Resumen de valores de carga axial admisible ELS – Pilona 12-13-14 ..... **491**

Tabla 14-137. Resumen de valores de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 12-13-14..... **493**

Tabla 14-138. Resumen de valores de carga lateral (ELS) – Pilona 12-13-14..... **494**

Tabla 14-139. Resumen de valores módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 12-13-14 ..... **496**

Tabla 14-140. Asentamientos cimientos superficiales Pilona 12-13-14. ..... **498**

Tabla 14-141. Coeficientes de presión de tierras..... **499**

Tabla 14-142. Recomendaciones generales pilona 15 ..... **499**

Tabla 14-143. Resumen de valores de carga axial admisible y carga por tracción ELR – Pilona 15 ..... **500**

Tabla 14-144. Resumen de valores de carga axial admisible ELEE – Pilona 15 ..... **501**

Tabla 14-145. Resumen de valores de carga axial admisible ELS – Pilona 15..... **502**

Tabla 14-146. Resumen de valores de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 15..... **504**

Tabla 14-147. Resumen de valores de carga lateral (ELS) – Pilona 15..... **505**

Tabla 14-148. Resumen de valores módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 15 ..... **506**

Tabla 14-149. Asentamientos cimientos superficiales Pilona 15..... **509**

Tabla 14-150. Coeficientes de presión de tierras..... **510**

Tabla 14-151. Recomendaciones generales pilona 16..... **510**

Tabla 14-152. Resumen de valores de carga axial admisible y carga por tracción ELR – Pilona 16 ..... **511**

Tabla 14-153. Resumen de valores de carga axial admisible ELEE – Pilona 16 ..... **512**

Tabla 14-154. Resumen de valores de carga axial admisible ELS – Pilona 16..... **513**

Tabla 14-155. Resumen de valores de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 16..... **515**

Tabla 14-156. Resumen de valores de carga lateral (ELS) – Pilona 16..... **516**

Tabla 14-157. Resumen de valores módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 16 ..... **517**

Tabla 14-158. Recomendaciones generales pilona 17 ..... **519**

Tabla 14-159. Resumen de valores de carga axial admisible y carga por tracción ELR – Pilona 17 ..... **519**

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD

Tabla 14-160. Resumen de valores de carga axial admisible ELEE – Pilona 17 ..... **521**

Tabla 14-161. Resumen de valores de carga axial admisible ELS – Pilona 17..... **522**

Tabla 14-162. Resumen de valores de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 17..... **524**

Tabla 14-163. Resumen de valores de carga lateral (ELS) – Pilona 17..... **525**

Tabla 14-164. Resumen de valores módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 17 ..... **526**

Tabla 14-165. Asentamientos cimientos superficiales Pilona 17..... **529**

Tabla 14-166. Coeficientes de presión de tierras..... **529**

Tabla 14-167. Recomendaciones generales pilona 18 ..... **530**

Tabla 14-168. Resumen de valores de carga axial admisible y carga por tracción ELR – Pilona 18..... **531**

Tabla 14-169. Resumen de valores de carga axial admisible ELEE – Pilona 18 ..... **532**

Tabla 14-170. Resumen de valores de carga axial admisible ELS – Pilona 18..... **533**

Tabla 14-171. Resumen de valores de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 18..... **535**

Tabla 14-172. Resumen de valores de carga lateral (ELS) – Pilona 18..... **536**

Tabla 14-173. Resumen de valores módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 18 ..... **538**

Tabla 14-174. Asentamientos cimientos superficiales Pilona 18..... **541**

Tabla 14-175. Coeficientes de presión de tierras..... **541**

Tabla 14-176. Recomendaciones generales pilona 19 ..... **542**

Tabla 14-177. Resumen de valores de carga axial admisible y carga por tracción ELR – Pilona 19..... **542**

Tabla 14-178. Resumen de valores de carga axial admisible ELEE – Pilona 19 ..... **543**

Tabla 14-179. Resumen de valores de carga axial admisible ELS – Pilona 19..... **545**

Tabla 14-180. Resumen de valores de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 19..... **546**

Tabla 14-181. Resumen de valores de carga lateral (ELS) – Pilona 19..... **548**

Tabla 14-182. Resumen de valores módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 19 ..... **549**

Tabla 14-183. Asentamientos cimientos superficiales Pilona 19..... **552**

Tabla 14-184. Coeficientes de presión de tierras..... **552**

Tabla 14-185. Recomendaciones generales pilona 20 ..... **553**

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

Tabla 14-186. Resumen de valores de carga axial admisible y carga por tracción ELR – Pilona 20 553
Tabla 14-187. Resumen de valores de carga axial admisible ELEE – Pilona 20 555
Tabla 14-188. Resumen de valores de carga axial admisible ELS – Pilona 20 556
Tabla 14-189. Resumen de valores de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 20 557
Tabla 14-190. Resumen de valores de carga lateral (ELS) – Pilona 20 559
Tabla 14-191. Resumen de valores módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 20 560
Tabla 14-192. Asentamientos cimientos superficiales Pilona 20. 563
Tabla 14-193. Coeficientes de presión de tierras 563
Tabla 14-194. Recomendaciones generales pilona 21 564
Tabla 14-195. Resumen de valores de carga axial admisible y carga por tracción ELR – Pilona 21 564
Tabla 14-196. Resumen de valores de carga axial admisible ELEE – Pilona 21 566
Tabla 14-197. Resumen de valores de carga axial admisible ELS – Pilona 21 567
Tabla 14-198. Resumen de valores de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 21 568
Tabla 14-199. Resumen de valores de carga lateral (ELS) – Pilona 21 570
Tabla 14-200. Resumen de valores módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 21 571
Tabla 14-201. Asentamientos cimientos superficiales Pilona 21. 574
Tabla 14-202. Coeficientes de presión de tierras 575
Tabla 14-203. Recomendaciones generales pilona 22 575
Tabla 14-204. Resumen de valores de carga axial admisible y carga por tracción ELR – Pilona 22 576
Tabla 14-205. Resumen de valores de carga axial admisible ELEE – Pilona 22 577
Tabla 14-206. Resumen de valores de carga axial admisible ELS – Pilona 22 578
Tabla 14-207. Resumen de valores de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 22 580
Tabla 14-208. Resumen de valores de carga lateral (ELS) – Pilona 22 581
Tabla 14-209. Resumen de valores módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 22 583
Tabla 14-210. Asentamientos cimientos superficiales Pilona 22. 585

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Tabla 14-211. Coeficientes de presión de tierras 586
Tabla 15-1. Capacidad portante redes 587
Tabla 15-2. Altura critica 589
Tabla 17-1. Relaciones de N1 y ϕ'eq 646
Tabla 17-2. Clasificación amenaza por remoción en masa – Condición Normal 648
Tabla 17-3. Clasificación amenaza por remoción en masa – Condición extrema 648
Tabla 17-4. Clasificación de Amenaza por pilona 649
Tabla 20-1. Cuadro resumen de cantidades 653
Tabla 22-1. Especificaciones técnicas 658

ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3-1. Ubicación general proyecto Cable San Cristóbal. 45

Figura 3-2. Alternativas de trazado Cable San Cristóbal. Fuente: Adaptación Google Earth 46

Figura 3-3. Trazado definitivo Cable San Cristóbal. Fuente: Adaptación Google Earth 47

Figura 4-1. Formato de levantamiento de obras geotécnicas. 48

Figura 4-2. Ubicaciones obras geotécnicas levantadas salida técnica 48

Figura 4-3. Muro de contención en concreto en buen estado. Indicios de algunos procesos en laderas aledañas al muro. Tramo Portal 20 de Julio- La Victoria Obra Geotécnica OG3 50

Figura 4-4. Muro de contención en concreto en buen estado. Tramo Portal 20 de Julio-La Victoria, sector Villa de los Alpes. Obra Geotécnica OG6 50

Figura 4-5. Formato de levantamiento de taludes 51

Figura 4-6. Ubicaciones laderas levantadas salida técnica. 52

Figura 4-7. Ladera Tramo La Victoria-Altamira 53

Figura 5-1. Ubicación Estudios Geotécnicos Consultados 56

Figura 5-2. Geología general proyecto Cable San Cristóbal. Fuente: Adaptación Mapa geológico de la sabana de Bogotá, 2005 57

Figura 5-3. Geología general del proyecto Cable San Cristóbal. Fuente: Adaptación Mapa Geológico localidades Rafael Uribe y San Cristóbal. 59

Figura 5-4. Mapa de Zonas Geotécnicas para Respuesta Sísmica-Bogotá. Fuente: DPAE,2010 60

Figura 5-5. Mapa de geología Urbana. Adaptación IDECA 62

Figura 5-6 Mapa de Amenaza por Movimientos en Masa. Adaptación IDECA 63

Figura 5-7 Mapa de Geomorfología Urbana. Adaptación IDECA 64

Figura 5-8 Mapa Respuesta Sísmica. Adaptación IDECA 65

Figura 5-9 Mapa de Zonificación Geotécnica. Adaptación IDECA 66

Figura 5-10. Geología regional corredor cable San Cristóbal. Fuente: Estudio Factibilidad 2013 68

Figura 5-11 Ubicación Perforaciones de Exploración Factibilidad Cable 2013 73

Figura 5-12. Perfil de Rigidez para los Sondeos en P. 20 de Julio, La Victoria y Altamira 74

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Figura 5-13. Geología General Estudio Portal 20 de Julio. **78**

Figura 5-14. Ubicación zona de Estudio Diseños Portal 20 de Julio **79**

Figura 5-15. Sectorización Geotécnica Portal 20 de Julio **80**

Figura 5-16. Esquemas típicos cimentación tuberías estudio Portal 20 de Julio **83**

Figura 5-17. Variación de Niveles Piezométricos Estudio Villa de los Alpes, 2010 ..... **91**

Figura 5-18. Desplazamiento Acumulado Inclinómetro IN-2 Estudio Villa de los Alpes, 2010 .... **92**

Figura 5-19. Desplazamiento Acumulado Inclinómetro IN-3 Barrio Villa de los Alpes, 2010 ..... **92**

Figura 5-20. Desplazamiento Acumulado Inclinómetro TM-1 Barrio Villa de los Alpes, 2010 .... **93**

Figura 5-21. Vuelo C-2128, Año 1984, Escala 1:18.300, Foto 151. ..... **96**

Figura 5-22. Red de Drenaje en la Ciudadela Santa Rosa **101**

Figura 5-23. Ubicación sondeos EAAB. Fuente: Adaptación SISGEO y Google Earth **102**

Figura 5-24. Información Obtenida en el SISGEO **103**

Figura 6-1. Trazado del corredor definitivo de la alternativa seleccionada en el proyecto San Cristóbal Ver anexo L1 ..... **106**

Figura 6-2. Mapa Geológico del corredor de influencia del proyecto Cable de San Cristóbal, escala 1:1000 adecuado a 10000. ..... **107**

Figura 6-3. Antiguo Valle Fluvioglaciar en U en el sector de localización de la Pilona 16. ..... **110**

Figura 6-4. Maro Jerárquico Estructural del proyecto Cable Aéreo San Cristóbal. **111**

Figura 6-5. Esquema de Jerarquización definida por el SGC-2012. Fuente: Dirección de Geociencias Básicas-SGC (2020). Protocolo para el levantamiento de la cartografía geomorfología. **113**

Figura 6-6. Mapa geomorfológico del corredor de influencia del proyecto Cable de San Cristóbal, escala 1:1000. Adecuado a 10.000. Fuente: Modificado el SGC. **114**

Figura 6-7. Columna estratigráfica y registro fotográfico del pozo exploratorio efectuado en el sector de la Pilona 2, sector suroriental del portal del 20 de Julio. **117**

Figura 6-8 Columnas estratigráficas de los pozos 1,2,3, 4 y 5. Ver anexo L2 ..... **118**

Figura 6-9 Perfil estratigráfico entre el portal del 20 de julio y las pilonas 1 y 5. Ver anexo L3 **118**

Figura 6-10. Columnas estratigráficas de los pozos 6,7,8,9 y 10. Ver anexo L2 ..... **119**

Figura 6-11. Secuencia estratigráfica definida entre las pilonas 6 a 10. Ver anexo L3 ..... **119**

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Figura 6-12. Parque la Joyita, localizado en el corredor del proyecto San Cristóbal, entre las pilonas 5 y 6. ..... **121**

Figura 6-13. Parque La Joyita. Proceso morfodinámico de reptación amenazando la concentración escolar ubicada sobre la pata del movimiento en masa **121**

Figura 6-14. Parque del barrio Atenas, localidad de san Cristóbal. **123**

Figura 6-15. Evidencias de la actividad morfodinámica del MM del parque Atenas. a) asentamientos, reptación y erosión laminar en el sector nororiental del parque; b) agrietamientos del muro de contención del patio del Colegio Atenas por la calle 36 h Sur, c) erosión hídrica y d) afectaciones de los gaviones en el sector NW del parque. **123**

Figura 6-16. Parque Atenas, reptación en el sitio de localización de la estructura de la pilona 7 ..... **124**

Figura 6-17. Columnas estratigráficas de los pozos 11, 12, 13-14 y 15. Ver anexo L2 ..... **125**

Figura 6-18. Secuencia estratigráfica definida entre las pilonas 11, 12, 13-13ª-14, 15 a 17. Ver anexo L3 ..... **125**

Figura 6-19. Depósitos fluvioglaciares cubiertos por escombros, con procesos incipientes de reptación **126**

Figura 6-20. Antiguo valle fluvioglaciar. **126**

Figura 6-21. a) Antiguo valle fluvio-glacial, b) cunetas para el manejo del escurrimiento superficial y c) asentamientos en afloramientos de material fluvio-glacial, cubiertos por escombros. **127**

Figura 6-22. Columnas estratigráficas de los pozos 18,19,20, 21, y 22. Ver anexo L2 ..... **127**

Figura 6-23. Secuencia estratigráfica definida entre las pilonas 18, 19, 20, 21 y 22. Ver anexo L3 ..... **128**

Figura 6-24. Esquema geológico regional del área de influencia del proyecto del cable de san Cristóbal. **128**

Figura 6-25. Localización de la pilona 1 y sitio de la perforación PP1. ..... **130**

Figura 6-26. Localización de la pilona 2. ..... **131**

Figura 6-27. Localización de la pilona 2 y sitio de la perforación PP2. ..... **132**

Figura 6-28. Localización de la pilona 3. ..... **133**

Figura 6-29. Localización de la pilona 3 y sitio de la perforación PP3. ..... **133**

Figura 6-30. Localización de la pilona 4. ..... **134**

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Figura 6-31. Localización de la pilona 4 y sitio de la perforación PP4. **135**

Figura 6-32. Localización de la pilona 5. **136**

Figura 6-33. Localización de la pilona 5 y sitio de la perforación PP5. **136**

Figura 6-34. Localización de la pilona 6. **137**

Figura 6-35. Localización de la pilona 6 y sitio de la perforación PP6. **138**

Figura 6-36. Reptación y asentamientos en el sitio de ubicación de la pilona 7. **139**

Figura 6-37. Localización de la pilona 7 y sitio de la perforación PP7. **140**

Figura 6-38. Localización de la pilona 8 y sitio de la perforación PP8. **141**

Figura 6-39. Inmediatamente a norte de la pilona 8 **142**

Figura 6-40. Localización de la pilona 9-10 y sitio de la perforación PP9-10. **142**

Figura 6-41. Localización de la pilona 9-10y sitio de la perforación PP9-10. **143**

Figura 6-42. Localización de la pilona 11 y sitio de la perforación PP11. **144**

Figura 6-43. Localización de la pilona 11 y sitio de la perforación PP11. **145**

Figura 6-44. Localización de la pilona 12 y sitio de la perforación PP12. **146**

Figura 6-45. Localización de la pilona 12 y sitio de la perforación PP-12. **147**

Figura 6-46. Localización de la pilona 13-14 y sitio de la perforación PP13-14. **148**

Figura 6-47. Localización de la pilona 13-14 y sitio de la perforación PP13-14. **149**

Figura 6-48. Localización de la pilona 15 y sitio de la perforación PP15. **150**

Figura 6-49. Localización de la pilona 15 y sitio de la perforación PP15 **151**

Figura 6-50. Localización de la pilona 16 y sitio de la perforación PP16. **152**

Figura 6-51. Remanentes del depósito fluvioglaciar en el valle donde se ubica la pilona 16. **152**

Figura 6-52. Localización de la pilona 6 y sitio de la perforación PP16. **153**

Figura 6-53. Localización de la pilona 17 y sitio de la perforación PP17 **154**

Figura 6-54. Localización de la Pilona 17 y sitio de la perforación PP17 **154**

Figura 6-55. Localización de la Pilona 18 y sitio de la perforación PP18. **155**

Figura 6-56. Localización de la pilona 18 y sitio de la perforación PP18. **156**

Figura 6-57. Localización de la Pilona 19 y sitio de la perforación PP19. **157**

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Figura 6-58. Localización de la Pilona 20 y sitio de la perforación PP20. ..... **158**

Figura 6-59. Localización de la Pilona 20 y sitio de la perforación PP20. ..... **159**

Figura 6-60. Localización de la Pilona 20 y sitio de la perforación PP20. ..... **160**

Figura 6-61. Localización de la pilona 21 y sitio de la perforación PP21. ..... **161**

Figura 6-62. Localización de la pilona 21 y sitio de la perforación PP21. ..... **162**

Figura 6-63. Localización de la Pilona 22 y sitio de la perforación PP22. ..... **163**

Figura 6-64. Localización de la Pilona 22 y sitio de la perforación PP22. ..... **163**

Figura 6-65. Variación de la humedad natural en función de la profundidad. **165**

Figura 6-66. Imagen satelital del área del proyecto, se muestra en contornos azules las áreas verdes de recarga que pueden alimentar el nivel de agua subsuperficial por efecto de filtración. **166**

Figura 6-67. Sección longitudinal del corredor que muestra la posición del nivel de agua registrado con la línea azul. **168**

Figura 7-1. Fotografías visita de campo. **172**

Figura 7-2. Ubicación general exploración diseños definitivos **181**

Figura 7-3. Exploración geotécnica tramo 20 de Julio- La Victoria **182**

Figura 7-4. Exploración geotécnica tramo La Victoria-Altamira **183**

Figura 7-5. Exploración geotécnica estación Portal 20 de Julio **184**

Figura 7-6. Exploración geotécnica estación La Victoria **185**

Figura 7-7. Exploración geotécnica estación Altamira **186**

Figura 9-1. Caracterización geotécnica estación de trasferencia 20 de Julio. **193**

Figura 9-2. Caracterización geotécnica Ejes 1 y 2, P6E20J **195**

Figura 9-3. Caracterización geotécnica Eje 3, P1E20J **197**

Figura 9-4. Caracterización geotécnica estación de trasferencia La Victoria **199**

Figura 9-5. Caracterización geotécnica estación Altamira **201**

Figura 9-6. Caracterización geotécnica Pilona 1 ..... **203**

Figura 9-7. Caracterización geotécnica Pilona 2 ..... **205**

Figura 9-8. Caracterización geotécnica Pilona 3 ..... **207**

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Figura 9-9. Caracterización geotécnica Pilona 4 ..... **209**

Figura 9-10. Caracterización geotécnica Pilona 5 ..... **211**

Figura 9-11. Caracterización geotécnica Pilona 6 ..... **213**

Figura 9-12. Caracterización geotécnica Pilona 7 ..... **215**

Figura 9-13. Caracterización geotécnica Pilona 8 ..... **217**

Figura 9-14. Caracterización geotécnica Pilona 9 ..... **219**

Figura 9-15. Caracterización geotécnica Pilona 10 ..... **221**

Figura 9-16. Caracterización geotécnica Pilona 11 ..... **223**

Figura 9-17. Caracterización geotécnica Pilona 12-13-14 ..... **225**

Figura 9-18. Caracterización geotécnica Pilona 15 ..... **227**

Figura 9-19. Caracterización geotécnica Pilona 16 ..... **229**

Figura 9-20. Caracterización geotécnica Pilona 17 ..... **231**

Figura 9-21. Caracterización geotécnica Pilona 18 ..... **233**

Figura 9-22. Caracterización geotécnica Pilona 19 ..... **235**

Figura 9-23. Caracterización geotécnica Pilona 20 ..... **237**

Figura 9-24. Caracterización geotécnica Pilona 21 ..... **239**

Figura 9-25. Caracterización geotécnica Pilona 22 ..... **241**

Figura 10-1. Factores de seguridad básicos mínimos directos. **242**

Figura 10-2. Factores de seguridad indirectos mínimos para capacidad portante para cimentaciones superficiales y capacidad portante por punta de cimentaciones profundas. **243**

Figura 10-3. Factores de seguridad indirectos mínimos para estructuras de contención. **244**

Figura 10-4. Variación de los valores máximos de N_q* con el ángulo de fricción del suelo Φ. **247**

Figura 10-5. Espectro de aceleración CCP-14 ..... **249**

Figura 10-6. Valores de Aceleración Pico Horizontal del Terreno (PGA) **250**

Figura 10-7. Coeficiente de Aceleración Espectral Horizontal para un Periodo de Vibración de 0.2 Segundos (Ss) **251**

Figura 10-8. Coeficiente de Aceleración Espectral Horizontal para un Periodo de Vibración de 1.0 Segundos (S1) **252**

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

Figura 10-9. Perfiles de suelo 253
Figura 10-10. Resumen de envolventes de α que únicamente dependen de Su (Fuente SCI) 256
Figura 10-11. Variación de Alpha. Metodología de Terzaghi, Peck y Mesri, 1996 257
Figura 10-12. Variación entre el valor de α y Cu. Terzaghi, Peck y Mesri, 1996 257
Figura 11-1. Perfil geotécnico estación de transferencia 20 de Julio 265
Figura 11-2 Perfil geotécnico estación La Victoria 268
Figura 11-3 Perfil geotécnico Estación Altamira 269
Figura 11-4. Perfil geotécnico pilona 1 271
Figura 11-5. Perfil geotécnico pilona 2 273
Figura 11-6. Perfil geotécnico pilona 3 275
Figura 11-7. Perfil geotécnico pilona 4 277
Figura 11-8. Perfil geotécnico pilona 5 279
Figura 11-9. Perfil geotécnico pilona 6 281
Figura 11-10. Perfil geotécnico pilona 7 283
Figura 11-11. Perfil geotécnico pilona 8 285
Figura 11-12 Perfil geotécnico pilona 9 286
Figura 11-13. Perfil geotécnico pilona 10 288
Figura 11-14. Perfil geotécnico pilona 11 290
Figura 11-15. Perfil geotécnico pilona 12-13-14 292
Figura 11-16. Perfil geotécnico pilona 15 294
Figura 11-17. Perfil geotécnico pilona 16 296
Figura 11-18. Perfil geotécnico pilona 17 298
Figura 11-19. Perfil geotécnico pilona 18 300
Figura 11-20. Perfil geotécnico pilona 19 302
Figura 11-21. Perfil geotécnico pilona 20 304
Figura 11-22. Perfil geotécnico pilona 21 306
Figura 11-23. Perfil geotécnico pilona 22 308

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Figura 12-1. Microzonificación sísmica zona del proyecto. 309
Figura 12-2. Mapa de valores PGA 310
Figura 14-1. Ábaco de capacidad portante pilotes Portal 20 de Julio 314
Figura 14-2. Ábaco módulo de reacción horizontal pilotes 20 de Julio 315
Figura 14-3. Ábaco módulo de reacción vertical pilotes 20 de Julio 316
Figura 14-4. Eficiencia grupo de pilotes 317
Figura 14-5. Recomendación de cimentación Estación Portal de 20 de Julio 317
Figura 14-6. Ábaco de capacidad portante pilotes Edificio de Conexión 319
Figura 14-7. Ábaco módulo de reacción horizontal pilotes Edificio de conexión 320
Figura 14-8. Ábaco módulo de reacción vertical pilotes Edificio de conexión 321
Figura 14-9. Ábaco de capacidad portante pilotes Puente Peatonal Apoyo Eje 1 y 2 – ELR 323
Figura 14-10. Ábaco de capacidad portante pilotes Puente Peatonal Apoyo Eje 1 y 2 – ELEE 324
Figura 14-11. Ábaco de capacidad portante pilotes Puente Peatonal Apoyo Eje 1 y 2 – ELS 326
Figura 14-12. Ábaco de carga lateral ejes 1 y 2 (ELR y ELEE) – Puente peatonal 20 de Julio. 327
Figura 14-13. Ábaco de carga lateral (ELS) – Puente peatonal 20 de Julio. 329
Figura 14-14. Ábaco módulos de reacción horizontal y vertical puente peatonal 20 de julio 330
Figura 14-15. Ábaco de capacidad portante pilotes Puente Peatonal Apoyo Eje 3 – ELR 332
Figura 14-16. Ábaco de capacidad portante pilotes Puente Peatonal Apoyo Eje 3 – ELEE 333
Figura 14-17. Ábaco de capacidad portante pilotes Puente Peatonal Apoyo Eje 3 – ELS 335
Figura 14-18. Ábaco de carga lateral ejes 3 (ELR y ELEE) – Puente peatonal 20 de Julio. 336
Figura 14-19. Ábaco de carga lateral (ELS) – Puente peatonal 20 de Julio. 338
Figura 14-20. Módulos de reacción horizontal y vertical apoyos Ejes 3 339
Figura 14-21. Empujes tanque 341
Figura 14-22. Empujes tanque enterrado estación 20 de julio 341
Figura 14-23. Ábaco de capacidad portante pilotes Estación La Victoria 344
Figura 14-24. Ábaco módulo de reacción horizontal pilotes Estación La Victoria 345

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Figura 14-25. Ábaco módulo de reacción horizontal pilotes Estación La Victoria 346
Figura 14-26. Diagrama de empujes tanque 348
Figura 14-27. Empujes tanque enterrado estación La Victoria 348
Figura 14-28. Capacidad de carga para cimientos superficiales Estación La Victoria 350
Figura 14-29. Ábaco de capacidad portante pilotes Estación Altamira 353
Figura 14-30. Ábaco módulo de reacción horizontal pilotes Estación Altamira 354
Figura 14-31. Ábaco módulo de reacción horizontal pilotes Estación Altamira 356
Figura 14-32. Localización estructuras de contención Estación Altamira 357
Figura 14-33. Envolvente empujes pantalla 358
Figura 14-34. Sección de análisis Estación Altamira. 359
Figura 14-35. Deformaciones 359
Figura 14-36. Factor de seguridad estático F.S = 1.46 359
Figura 14-37. Capacidad de carga para cimientos superficiales Estación Altamira 361
Figura 14-38. Ábaco de carga axial admisible (ELR) – Pilona 1 364
Figura 14-39. Ábaco de carga axial admisible (ELEE) – Pilona 1 365
Figura 14-40. Ábaco de carga axial admisible (ELS) – Pilona 1 367
Figura 14-41. Ábaco de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 1 368
Figura 14-42. Ábaco de carga lateral (ELS) – Pilona 1 370
Figura 14-43. Ábaco módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 1 371
Figura 14-44. Ábaco de carga axial admisible (ELR) – Pilona 2 373
Figura 14-45. Ábaco de carga axial admisible (ELEE) – Pilona 2 375
Figura 14-46. Ábaco de carga axial admisible (ELS) – Pilona 2 376
Figura 14-47. Ábaco de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 2 378
Figura 14-48. Ábaco de carga lateral (ELS) – Pilona 2 379
Figura 14-49. Ábaco módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 2 381
Figura 14-50. Ábaco de carga axial admisible (ELR) – Pilona 3 383
Figura 14-51. Ábaco de carga axial admisible (ELEE) – Pilona 3 384

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Figura 14-52. Ábaco de carga axial admisible (ELS) – Pilona 3 ..... **385**
Figura 14-53. Ábaco de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 3 ..... **387**
Figura 14-54. Ábaco de carga lateral (ELS) – Pilona 3 ..... **388**
Figura 14-55. Ábaco módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 3 ..... **390**
Figura 14-56. Panorámica Pilona 3 ..... **390**
Figura 14-57. Esquema muro pantalla proyectado Pilona 3 ..... **391**
Figura 14-58. Diagrama de presiones muro pantalla proyectado Pilona 3 ..... **391**
Figura 14-59. Capacidad de carga para cimientos superficiales pilona 3 ..... **394**
Figura 14-60. Ábaco de carga axial admisible (ELR) – Pilona 4 ..... **397**
Figura 14-61. Ábaco de carga axial admisible (ELEE) – Pilona 4 ..... **398**
Figura 14-62. Ábaco de carga axial admisible (ELS) – Pilona 4 ..... **399**
Figura 14-63. Ábaco de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 4 ..... **401**
Figura 14-64. Ábaco de carga lateral (ELS) – Pilona 4 ..... **402**
Figura 14-65. Ábaco módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 4 ..... **404**
Figura 14-66. Capacidad de carga para cimientos superficiales pilona 4 ..... **405**
Figura 14-67. Ábaco de carga axial admisible (ELR) – Pilona 5 ..... **408**
Figura 14-68. Ábaco de carga axial admisible (ELEE) – Pilona 5 ..... **409**
Figura 14-69. Ábaco de carga axial admisible (ELS) – Pilona 5 ..... **410**
Figura 14-70. Ábaco de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 5 ..... **412**
Figura 14-71. Ábaco de carga lateral (ELS) – Pilona 5 ..... **413**
Figura 14-72. Ábaco módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 5 ..... **415**
Figura 14-73. Capacidad de carga para cimientos superficiales pilona 5 ..... **416**
Figura 14-74. Ábaco de carga axial admisible (ELR) – Pilona 6 ..... **419**
Figura 14-75. Ábaco de carga axial admisible (ELEE) – Pilona 6 ..... **421**
Figura 14-76. Ábaco de carga axial admisible (ELS) – Pilona 6 ..... **422**
Figura 14-77. Ábaco de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 6 ..... **424**
Figura 14-78. Ábaco de carga lateral (ELS) – Pilona 6 ..... **425**

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Figura 14-79. Ábaco módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 6 ..... **427**
Figura 14-80. Capacidad de carga para cimientos superficiales pilona 6 ..... **428**
Figura 14-81. Ábaco de carga axial admisible (ELR) – Pilona 7 ..... **431**
Figura 14-82. Ábaco de carga axial admisible (ELEE) – Pilona 7 ..... **433**
Figura 14-83. Ábaco de carga axial admisible (ELS) – Pilona 7 ..... **434**
Figura 14-84. Ábaco de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 7 ..... **436**
Figura 14-85. Ábaco de carga lateral (ELS) – Pilona 7 ..... **437**
Figura 14-86. Ábaco módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 7 ..... **439**
Figura 14-87. Capacidad de carga para cimientos superficiales pilona 7 ..... **441**
Figura 14-88. Ábaco de carga axial admisible (ELR) – Pilona 8 ..... **444**
Figura 14-89. Ábaco de carga axial admisible (ELEE) – Pilona 8 ..... **445**
Figura 14-90. Ábaco de carga axial admisible (ELS) – Pilona 8 ..... **446**
Figura 14-91. Ábaco de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 8 ..... **448**
Figura 14-92. Ábaco de carga lateral (ELS) – Pilona 8 ..... **449**
Figura 14-93. Ábaco módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 8 ..... **450**
Figura 14-94. Capacidad de carga para cimientos superficiales pilona 8 ..... **452**
Figura 14-95. Ábaco de carga axial admisible (ELR) – Pilona 9 ..... **455**
Figura 14-96. Ábaco de carga axial admisible (ELEE) – Pilona 9 ..... **456**
Figura 14-97. Ábaco de carga axial admisible (ELS) – Pilona 9 ..... **457**
Figura 14-98. Ábaco de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 9 ..... **459**
Figura 14-99. Ábaco de carga lateral (ELS) – Pilona 9 ..... **460**
Figura 14-100. Ábaco módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 9 ..... **461**
Figura 14-101. Capacidad de carga para cimientos superficiales pilona 9 ..... **463**
Figura 14-102. Ábaco de carga axial admisible (ELR) – Pilona 10 ..... **466**
Figura 14-103. Ábaco de carga axial admisible (ELEE) – Pilona 10 ..... **467**
Figura 14-104. Ábaco de carga axial admisible (ELS) – Pilona 10 ..... **468**
Figura 14-105. Ábaco de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 10 ..... **470**

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Figura 14-106. Ábaco de carga lateral (ELS) – Pilona 10 ..... **473**
Figura 14-107. Ábaco módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 10 ..... **474**
Figura 14-108. Capacidad de carga para cimientos superficiales pilona 10 ..... **476**
Figura 14-109. Ábaco de carga axial admisible (ELR) – Pilona 11 ..... **479**
Figura 14-110. Ábaco de carga axial admisible (ELEE) – Pilona 11 ..... **480**
Figura 14-111. Ábaco de carga axial admisible (ELS) – Pilona 11 ..... **481**
Figura 14-112. Ábaco de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 11 ..... **483**
Figura 14-113. Ábaco de carga lateral (ELS) – Pilona 11 ..... **484**
Figura 14-114. Ábaco módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 11 ..... **485**
Figura 14-115. Capacidad de carga para cimientos superficiales pilona 11 ..... **487**
Figura 14-116. Ábaco de carga axial admisible (ELR) – Pilona 12-13-14 ..... **490**
Figura 14-117. Ábaco de carga axial admisible (ELEE) – Pilona 12-13-14 ..... **491**
Figura 14-118. Ábaco de carga axial admisible (ELS) – Pilona 12-13-14 ..... **492**
Figura 14-119. Ábaco de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 12-13-14 ..... **494**
Figura 14-120. Ábaco de carga lateral (ELS) – Pilona 12-13-14 ..... **495**
Figura 14-121. Ábaco módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 12-13-14 ..... **496**
Figura 14-122. Capacidad de carga para cimientos superficiales pilona 12-13-14 ..... **498**
Figura 14-123. Ábaco de carga axial admisible (ELR) – Pilona 15 ..... **501**
Figura 14-124. Ábaco de carga axial admisible (ELEE) – Pilona 15 ..... **502**
Figura 14-125. Ábaco de carga axial admisible (ELS) – Pilona 15 ..... **503**
Figura 14-126. Ábaco de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 15 ..... **505**
Figura 14-127. Ábaco de carga lateral (ELS) – Pilona 15 ..... **506**
Figura 14-128. Ábaco módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 15 ..... **507**
Figura 14-129. Capacidad de carga para cimientos superficiales pilona 15 ..... **509**
Figura 14-130. Ábaco de carga axial admisible (ELR) – Pilona 16 ..... **512**
Figura 14-131. Ábaco de carga axial admisible (ELEE) – Pilona 16 ..... **513**
Figura 14-132. Ábaco de carga axial admisible (ELS) – Pilona 16 ..... **514**

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. IDU VEEDURÍA Instituto de Desarrollo Urbano

Figura 14-133. Ábaco de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 16 ..... **516**
Figura 14-134. Ábaco de carga lateral (ELS) – Pilona 16 ..... **517**
Figura 14-135. Ábaco módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 16 ..... **518**
Figura 14-136. Ábaco de carga axial admisible (ELR) – Pilona 17 ..... **520**
Figura 14-137. Ábaco de carga axial admisible (ELEE) – Pilona 17 ..... **522**
Figura 14-138. Ábaco de carga axial admisible (ELS) – Pilona 17 ..... **523**
Figura 14-139. Ábaco de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 17 ..... **524**
Figura 14-140. Ábaco de carga lateral (ELS) – Pilona 17 ..... **526**
Figura 14-141. Ábaco módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 17 ..... **527**
Figura 14-142. Capacidad de carga para cimientos superficiales pilona 17 ..... **529**
Figura 14-143. Ábaco de carga axial admisible (ELR) – Pilona 18 ..... **532**
Figura 14-144. Ábaco de carga axial admisible (ELEE) – Pilona 18 ..... **533**
Figura 14-145. Ábaco de carga axial admisible (ELS) – Pilona 18 ..... **534**
Figura 14-146. Ábaco de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 18 ..... **536**
Figura 14-147. Ábaco de carga lateral (ELS) – Pilona 18 ..... **537**
Figura 14-148. Ábaco módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 18 ..... **539**
Figura 14-149. Capacidad de carga para cimientos superficiales pilona 18 ..... **540**
Figura 14-150. Ábaco de carga axial admisible (ELR) – Pilona 19 ..... **543**
Figura 14-151. Ábaco de carga axial admisible (ELEE) – Pilona 19 ..... **544**
Figura 14-152. Ábaco de carga axial admisible (ELS) – Pilona 19 ..... **546**
Figura 14-153. Ábaco de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 19 ..... **547**
Figura 14-154. Ábaco de carga lateral (ELS) – Pilona 19 ..... **549**
Figura 14-155. Ábaco módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 19 ..... **550**
Figura 14-156. Capacidad de carga para cimientos superficiales pilona 19 ..... **551**
Figura 14-157. Ábaco de carga axial admisible (ELR) – Pilona 20 ..... **554**
Figura 14-158. Ábaco de carga axial admisible (ELEE) – Pilona 20 ..... **556**
Figura 14-159. Ábaco de carga axial admisible (ELS) – Pilona 20 ..... **557**

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. INVIERTE Instituto de Desarrollo Urbano

Figura 14-160. Ábaco de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 20 ..... **558**
Figura 14-161. Ábaco de carga lateral (ELS) – Pilona 20 ..... **560**
Figura 14-162. Ábaco módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 20 ..... **561**
Figura 14-163. Capacidad de carga para cimientos superficiales pilona 20 ..... **562**
Figura 14-164. Ábaco de carga axial admisible (ELR) – Pilona 21 ..... **565**
Figura 14-165. Ábaco de carga axial admisible (ELEE) – Pilona 21 ..... **567**
Figura 14-166. Ábaco de carga axial admisible (ELS) – Pilona 21 ..... **568**
Figura 14-167. Ábaco de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 21 ..... **570**
Figura 14-168. Ábaco de carga lateral (ELS) – Pilona 21 ..... **571**
Figura 14-169. Ábaco módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 21 ..... **572**
Figura 14-170. Capacidad de carga para cimientos superficiales pilona 21 ..... **574**
Figura 14-171. Ábaco de carga axial admisible (ELR) – Pilona 22 ..... **577**
Figura 14-172. Ábaco de carga axial admisible (ELEE) – Pilona 22 ..... **578**
Figura 14-173. Ábaco de carga axial admisible (ELS) – Pilona 22 ..... **579**
Figura 14-174. Ábaco de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 22 ..... **581**
Figura 14-175. Ábaco de carga lateral (ELS) – Pilona 22 ..... **582**
Figura 14-176. Ábaco módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 22 ..... **583**
Figura 14-177. Capacidad de carga para cimientos superficiales pilona 22 ..... **585**
Figura 15-1. Cimentación recomendada para redes y drenajes **588**
Figura 16-1. Sección de análisis construcción Estación La Victoria. **590**
Figura 16-2. Análisis de estabilidad construcción estático F.S:1.25 – Estación La Victoria **590**
Figura 16-3. Sección de análisis final Estación La Victoria. **591**
Figura 16-4. Análisis de estabilidad final estático F.S:1.96 – Estación La Victoria **591**
Figura 16-5. Análisis de estabilidad final pseudoestático F.S:1.30 – Estación La Victoria **591**
Figura 16-6. Sección de análisis Estación Altamira. **592**
Figura 16-7. Análisis de estabilidad excavación estático F.S:1.46 – Estación Altamira **592**
Figura 16-8. Análisis de estabilidad excavación estático F.S:1.42 – Estación Altamira **593**

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Figura 16-9. Análisis de estabilidad excavación estático F.S:0.23 - Pilona 1 594
Figura 16-10. Análisis de estabilidad excavación pseudoestático F.S:0.21 - Pilona 1 595
Figura 16-11. Sección de análisis Entibado Pa=13.50kPa - Pilona 1 595
Figura 16-12. Análisis de estabilidad entibado estático F.S:1.65 - Pilona 1 596
Figura 16-13. Análisis de estabilidad entibado pseudoestático F.S:1.21 - Pilona 1 596
Figura 16-14. Análisis de estabilidad condición actual estático Pilona 1 – F.S 1.91 597
Figura 16-15. Análisis de estabilidad condición actual sin muro estático Pilona 1 – F.S 0.89 597
Figura 16-16. Análisis de estabilidad condición obras estático Pilona 1 – F.S 1.64 598
Figura 16-17. Análisis de estabilidad condición obras sismo Pilona 1 – F.S 1.41 598
Figura 16-18. Análisis de estabilidad excavación estático F.S:0.73 - Pilona 2 599
Figura 16-19. Análisis de estabilidad excavación pseudoestático F.S:0.63 - Pilona 2 599
Figura 16-20. Sección de análisis Entibado Pa=15.0kPa - Pilona 2 600
Figura 16-21. Análisis de estabilidad entibado estático F.S:1.66 - Pilona 2 600
Figura 16-22. Análisis de estabilidad entibado pseudoestático F.S:1.17 - Pilona 3 601
Figura 16-23. Análisis de estabilidad excavación estático F.S:0.37 - Pilona 3 601
Figura 16-24. Análisis de estabilidad excavación pseudoestático F.S:0.34 - Pilona 3 602
Figura 16-25. Sección de análisis Entibado Pa=12.50kPa - Pilona 3 602
Figura 16-26. Análisis de estabilidad entibado estático F.S:1.49 - Pilona 3 603
Figura 16-27. Análisis de estabilidad entibado estático F.S:1.20 - Pilona 3 603
Figura 16-28. Análisis de estabilidad excavación estático F.S:0.38 - Pilona 4 604
Figura 16-29. Análisis de estabilidad excavación pseudoestático F.S:0.35 - Pilona 4 604
Figura 16-30. Sección de análisis Entibado Pa=12.50kPa - Pilona 4 605
Figura 16-31. Análisis de estabilidad entibado estático F.S:1.46 - Pilona 4 605
Figura 16-32. Análisis de estabilidad entibado pseudoestático F.S:1.21 - Pilona 4 606
Figura 16-33. Análisis de estabilidad excavación estático F.S:0.13 - Pilona 5 606
Figura 16-34. Análisis de estabilidad excavación pseudoestático F.S:0.051 - Pilona 5 607
Figura 16-35. Sección de análisis Entibado Pa=12.15kPa - Pilona 5 607

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Figura 16-36. Análisis de estabilidad entibado estático F.S:1.43 - Pilona 5 608
Figura 16-37. Análisis de estabilidad entibado pseudoestático F.S:1.24 - Pilona 5 608
Figura 16-38. Análisis de estabilidad excavación estático F.S:0.42 - Pilona 6 609
Figura 16-39. Análisis de estabilidad excavación pseudoestático F.S:0.35 - Pilona 6 609
Figura 16-40. Sección de análisis Entibado Pa=12.60kPa - Pilona 6 610
Figura 16-41. Análisis de estabilidad entibado estático F.S:1.42 - Pilona 6 610
Figura 16-42. Análisis de estabilidad entibado pseudoestático F.S:1.22 - Pilona 6 611
Figura 16-43. Análisis de estabilidad excavación estático F.S:0.37 - Pilona 7 611
Figura 16-44. Análisis de estabilidad excavación pseudoestático F.S:0.30 - Pilona 7 612
Figura 16-45. Sección de análisis Entibado Pa=14.80kPa - Pilona 7 612
Figura 16-46. Análisis de estabilidad entibado estático F.S:1.41 - Pilona 7 613
Figura 16-47. Análisis de estabilidad entibado pseudoestático F.S:1.21 - Pilona 7 613
Figura 16-48. Análisis de estabilidad excavación estático F.S:0.39 - Pilona 8 614
Figura 16-49. Análisis de estabilidad excavación pseudoestático F.S:0.38 - Pilona 8 614
Figura 16-50. Sección de análisis Entibado Pa=12.50kPa - Pilona 8 615
Figura 16-51. Análisis de estabilidad entibado estático F.S:1.46 - Pilona 8 615
Figura 16-52. Análisis de estabilidad entibado pseudoestático F.S:1.16 - Pilona 8 616
Figura 16-53. Análisis de estabilidad excavación estático F.S:0.22 - Pilona 9 616
Figura 16-54. Análisis de estabilidad excavación estático F.S:0.10 - Pilona 9 617
Figura 16-55. Sección de análisis Entibado Pa=11.20kPa - Pilona 9 617
Figura 16-56. Análisis de estabilidad entibado estático F.S:1.59 - Pilona 9 618
Figura 16-57. Análisis de estabilidad entibado pseudoestático F.S:1.25 - Pilona 9 618
Figura 16-58. Análisis de estabilidad excavación estático F.S:0.23 - Pilona 10 619
Figura 16-59. Análisis de estabilidad excavación pseudoestático F.S:0.053 - Pilona 10 619
Figura 16-60. Sección de análisis Entibado Pa=13.30kPa - Pilona 10 620
Figura 16-61. Análisis de estabilidad entibado estático F.S:1.73 - Pilona 10 620
Figura 16-62. Análisis de estabilidad entibado pseudoestático F.S:1.42 - Pilona 10 620

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Figura 16-63. Análisis de estabilidad excavación estático F.S:4.52 - Pilona 11 621
Figura 16-64. Análisis de estabilidad excavación pseudoestático F.S:2.02 - Pilona 11..... 621
Figura 16-65. Sección de análisis Entibado Pa=10.00kPa - Pilona 11..... 622
Figura 16-66. Análisis de estabilidad entibado estático F.S:4.5 - Pilona 11 622
Figura 16-67. Análisis de estabilidad entibado pseudoestático F.S: 2.03 - Pilona 11..... 623
Figura 16-68. Análisis de estabilidad excavación estático F.S:0.53 - Pilona 12-13-14..... 623
Figura 16-69. Análisis de estabilidad excavación pseudoestático F.S:0.40 - Pilona 12-13-14 . 624
Figura 16-70. Sección de análisis Entibado Pa=9.80 kPa - Pilona 12-13-14 624
Figura 16-71. Análisis de estabilidad entibado estático F.S:4.5 - Pilona 12-13-14..... 624
Figura 16-72. Análisis de estabilidad entibado pseudoestático F.S:1.09 - Pilona 12-13-14 625
Figura 16-73. Análisis de estabilidad excavación estático F.S:0.37 - Pilona 15 625
Figura 16-74. Análisis de estabilidad excavación pseudoestático F.S:0.34 - Pilona 15..... 626
Figura 16-75. Sección de análisis Entibado Pa=14 kPa - Pilona 15..... 626
Figura 16-76. Análisis de estabilidad entibado estático F.S:1.32 - Pilona 15 627
Figura 16-77. Análisis de estabilidad entibado pseudoestático F.S:1.13 - Pilona 15..... 627
Figura 16-78. Análisis de estabilidad excavación estático F.S:0.22 - Pilona 16 628
Figura 16-79. Análisis de estabilidad excavación pseudoestático F.S:0.075 - Pilona 16..... 628
Figura 16-80. Sección de análisis Entibado Pa=17.0 kPa - Pilona 16..... 629
Figura 16-81. Análisis de estabilidad entibado estático F.S:1.50 - Pilona 16 629
Figura 16-82. Análisis de estabilidad entibado pseudoestático F.S:1.15 - Pilona 16..... 630
Figura 16-83. Análisis de estabilidad excavación estático F.S:0.23 - Pilona 17 630
Figura 16-84. Análisis de estabilidad excavación pseudoestático F.S:0.20 - Pilona 17..... 631
Figura 16-85. Sección de análisis Entibado Pa=14.0 kPa - Pilona 17..... 632
Figura 16-86. Análisis de estabilidad entibado estático F.S:1.50 - Pilona 17 632
Figura 16-87. Análisis de estabilidad entibado pseudoestático F.S:1.20 - Pilona 17..... 632
Figura 16-88. Análisis de estabilidad excavación estático F.S:0.37 - Pilona 18 633
Figura 16-89. Análisis de estabilidad excavación pseudoestático F.S:0.34 - Pilona 18..... 633

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Figura 16-90. Sección de análisis Entibado Pa=13.2 kPa - Pilona 18 634
Figura 16-91. Análisis de estabilidad entibado estático F.S:1.33 - Pilona 18 634
Figura 16-92. Análisis de estabilidad entibado pseudoestático F.S:1.14 - Pilona 18 635
Figura 16-93. Análisis de estabilidad excavación estático F.S:0.21 - Pilona 19 635
Figura 16-94. Análisis de estabilidad excavación pseudoestático F.S:0.086 - Pilona 19 636
Figura 16-95. Sección de análisis Entibado Pa=12.7 kPa - Pilona 19 636
Figura 16-96. Análisis de estabilidad entibado estático F.S:1.53 - Pilona 19 637
Figura 16-97. Análisis de estabilidad entibado pseudoestático F.S:1.45 - Pilona 19 637
Figura 16-98. Análisis de estabilidad excavación estático F.S:0.23 - Pilona 20 638
Figura 16-99. Análisis de estabilidad excavación estático F.S:0.054 - Pilona 20 638
Figura 16-100. Sección de análisis Entibado Pa=13.0 kPa - Pilona 20 639
Figura 16-101. Análisis de estabilidad entibado estático F.S:1.68 - Pilona 20 639
Figura 16-102. Análisis de estabilidad entibado pseudoestático F.S:1.25 - Pilona 20 640
Figura 16-103. Análisis de estabilidad excavación estático F.S:0.39 - Pilona 21 640
Figura 16-104. Análisis de estabilidad excavación pseudoestático F.S:0.30 - Pilona 21 641
Figura 16-105. Sección de análisis Entibado Pa=13.0 kPa - Pilona 21 641
Figura 16-106. Análisis de estabilidad entibado estático F.S:1.56 - Pilona 21 642
Figura 16-107. Análisis de estabilidad entibado pseudoestático F.S:1.32 - Pilona 21 642
Figura 16-108. Análisis de estabilidad excavación estático F.S:0.44 - Pilona 22 643
Figura 16-109. Análisis de estabilidad excavación pseudoestático F.S:0.37 - Pilona 22 643
Figura 16-110. Sección de análisis Entibado Pa=13.6 kPa - Pilona 22 644
Figura 16-111. Análisis de estabilidad entibado estático F.S:1.52 - Pilona 22 644
Figura 16-112. Análisis de estabilidad entibado pseudoestático F.S:1.21 - Pilona 22 644
Figura 17-1. Ángulo de fricción real (ϕ') y equivalente (ϕ'eq). 646
Figura 17-2. Ángulo de fricción real (ϕ') y equivalente (ϕ'eq). 647
Figura 18-1. Localización instrumentación Estación Altamira. 651

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

1 INTRODUCCIÓN

El presente documento contiene la entrega de diseños definitivos del área de geotecnia y riesgo para el proyecto “ESTUDIOS Y DISEÑOS DEL CABLE AÉREO EN SAN CRISTÓBAL, EN BOGOTÁ D.C.”.De acuerdo con lo anterior, se presenta una localización del proyecto, zonificación geológica, geotécnica, sísmica y de amenaza a partir de la información recopilada y también de la información recolectada durante la visita de campo realizada del componente de geotecnia. Adicionalmente, se realiza una implantación del proyecto seleccionada a apartir de la etapa de factibilidad. Se anexa el inventario y diagnóstico de la infraestructura existente a nivel geotécnico y la ficha de diagnóstico de los taludes y laderas levantadas. Se presenta el compilado de propiedades índice y mecánicas de los materiales presentes en la zona de estudio, información extraída de los estudios recopilados en fases anteriores y a partir de la información primaria obtenida de la exploración geotécnica realizada para la etapa de estudios y diseños.

Con esta información, se construye el modelo geológico geotécnico necesario para diseñar el sistema de cimentación el cual, para las estaciones de transferencia, consisten en pilotes, pilotes con diámetros entre 0.6 m, 0.8 m, 1.0 y 1.2 m de diámetro, dependiendo de la estructura analizada.

Para la cimentación de las pilonas de sostenimiento, de acuerdo con la naturaleza y características de las cargas, se diseñaron cimentaciones profundas con diámetros de 0.80 m, 1.00 m y 1.20 m.

Adicionalmente, se planteó una campaña de exploración geotécnica para la fase estudios y diseños, con el fin de complementar la información y poder caracterizar de una manera más completa la zona de interés. Para la fase de diseños definitivos, se realizó un total de 11 perforaciones de 25.0 m de profundidad para las pilonas del tramo Portal 20 de Julio - La Victoria y una perforación de 15.0 m de profundidad en inmediaciones de la pilona 7 para evaluación de amenaza y riesgo. Para el tramo de La Victoria-Altamira se ejecutaron 9 perforaciones de 25.0 m para las pilonas y una perforación de 15.0 m de profundidad en inmediaciones de la pilona 16 para evaluación de amenaza y riesgo. Para la estación 20 de Julio se ejecutaron 6 perforaciones de 20.0 m de profundidad. Estas 6 perforaciones incluyen la rampa de acceso peatonal que se tiene prevista para esta estación (una en el apoyo previsto y otra en la llegada a la futura estación). Para la estación La Victoria se plantearon 5 perforaciones de 20.0 m de profundidad distribuidas en el área de afectación y sobre andenes y vías por ser una zona urbanizada. Para la estación de Altamira, como se tiene una perforación de las pilonas y la perforación de la factibilidad del 2013 dentro del área de emplazamiento de la estación, se realizaron 3 perforaciones adicionales de 20.0 m de profundidad. Finalmente, se realizaron un total de 2 líneas de refracción sísmica que complementaron las ya ejecutadas en fase de factibilidad.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar los análisis geotécnicos correspondientes, para establecer el sistema de cimentación, obras de contención y medidad de mitigación más adecuados, de las estructuras proyectadas (estaciones y pilonas) para la construcción del sistema de cable aéreo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar el proceso de investigación y caracterización geotécnica de las áreas de influencia directa de cada uno de las obras proyectas para la construcción del cable aéreo de San Cristóbal.

- Realizar una zonificación geológica, geotécnica, sísmica y de amenaza para el área del proyecto.

- Establecer el sistema de cimentación de las estructuras proyectadas (estaciones y pilonas) para el sistema de cable aéreo.

- Construir el modelo geológico-geotécnico a partir de la información primaria y secundaria para el corredor aéreo y de las áreas de las estaciones, para la ejecución de los análisis geotécnicos correspondientes.

- Evaluar las capacidades portantes, asentamientos elásticos y módulos de reacción para las cimentaciones que componen el sistema del cable aéreo, bajo los criterios del reglamento NSR-10 para los edificios de las estaciones y del CCP-14 para las pilonas.

- Ejecutar análisis de características especiales (expansión, colapso y licuación) de los suelos según aplique.

- Presentar recomendaciones constructivas desde el punto de vista geotécnico para la implantación de la cimentación de las estructuras del cable, estructuras de contención, obras de urbanismo del proyecto, así como de las obras de estabilización por remoción en masa que resulten necesarias.

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

3 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ALCANCE DEL PROYECTO

El proyecto se encuentra ubicado en la ciudad de Bogotá, en la localidad de San Cristóbal al sur de la ciudad tal y como se observa en la siguiente figura:

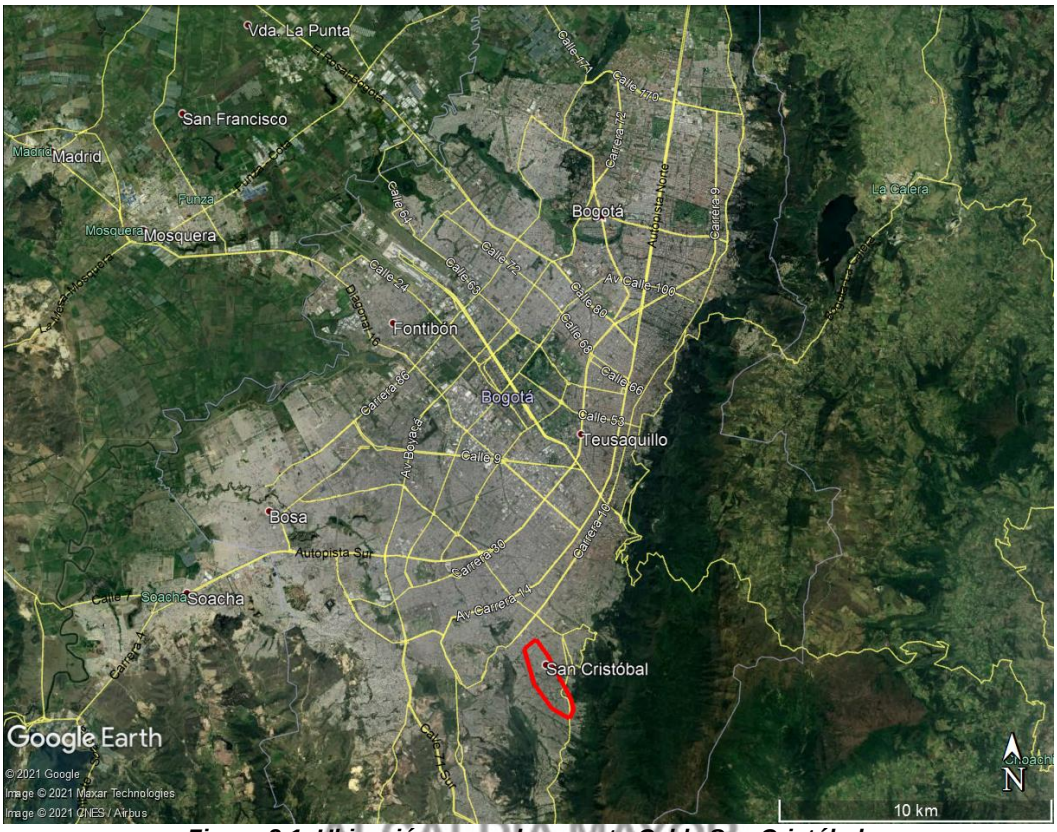


Figura 3-1. Ubicación general proyecto Cable San Cristóbal.
Fuente: Google Earth

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Durante la fase de factibilidad, fueron analizadas una serie de alternativas las cuales se pueden observar en la Figura 3-2,en donde se incluye un ramal hacia Juan Rey, un corredor que se desprende desde la estación proyectada de La Victoria hacia el área de influencia del barrio Juan Rey, el cual no hace parte de la fase de estudios y diseños.

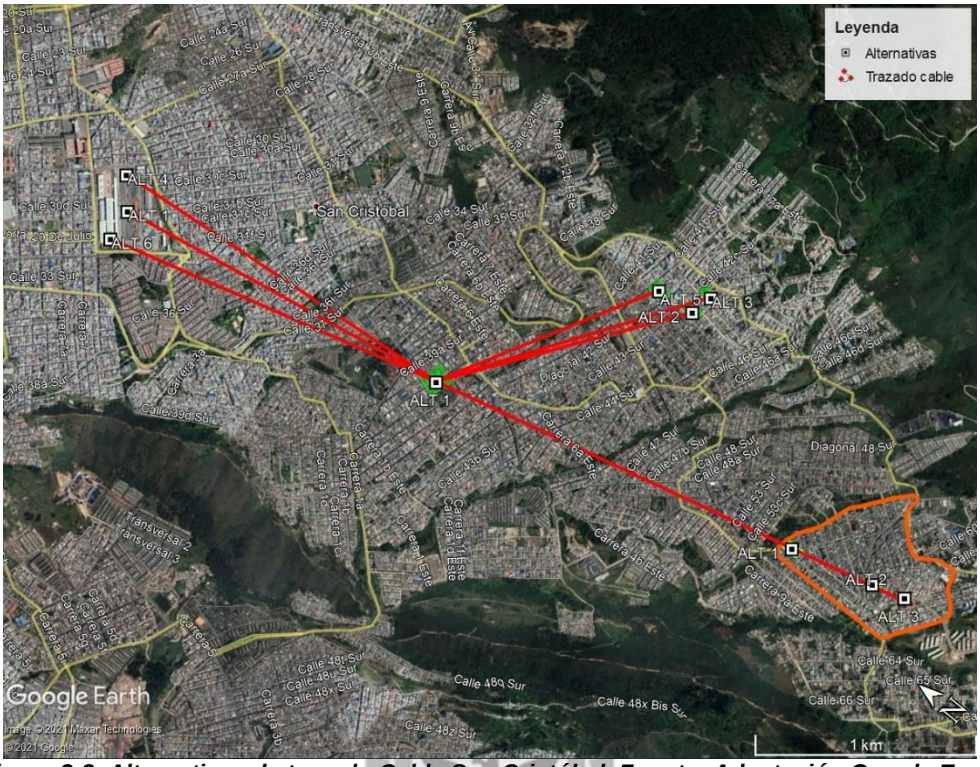


Figura 3-2. Alternativas de trazado Cable San Cristóbal. Fuente: Adaptación Google Earth

De acuerdo con la figura anterior, se detalla a continuación las alternativas de análisis para cada tramo:

TRAMO PORTAL 20 DE JULIO-LA VICTORIA

- Alternativa 6: Esta alternativa considera la implantación de la estación de transferencia en la zona nor-occidental del portal 20 de Julio y su alineamiento conduce hasta la estación La Victoria.
- Alternativa 1: Esta alternativa considera la implantación de la estación de transferencia en la zona central del portal 20 de Julio (en el patio de maniobras) y su alineamiento conduce hasta la estación La Victoria.
- Alternativa 4: Esta alternativa considera la implantación de la estación de transferencia en la zona nor-oriental del portal 20 de Julio (zona de parqueaderos) y su alineamiento conduce hasta la estación La Victoria.

TRAMO LA VICTORIA ALTAMIRA

- Alternativa 2: Esta alternativa considera la implantación de la estación de retorno en el barrio Altamira entre carreras 12a este y 12b este y entre calles 43a sur y calle 43 sur.
- Alternativa 3: Esta alternativa considera la implantación de la estación de retorno en el barrio Altamira entre carreras 13 este y 13a este y entre calles 42 c sur y calle 43a sur.
- Alternativa 5: Esta alternativa considera la implantación de la estación de retorno en el barrio Altamira entre carreras 12 este y 12a este y entre calles 42 sur y calle 42a sur.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Como resultado de la etapa de factibilidad, para el tramo del Portal 20 de Julio a La Victoria, se seleccionó la alternativa 4. Para el tramo entre La Victoria y Altamira, se seleccionó la alternativa 2. Se llevó a etapa de estudios y diseños definitivos el ramal principal compuesto por los tramos del Portal 20 de Julio-La Victoria-Altamira. La siguiente figura muestra el trazado del cable seleccionado y que fue estudiado con detalle en esta etapa:

Figura 3-3. Trazado definitivo Cable San Cristóbal. Fuente: Adaptación Google Earth

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Para la alternativa seleccionada se tiene en total un tramo de intervención aproximado de 3,0 Km, para el cual se proyecta la construcción de tres estaciones (transferencia, intermedia y retorno) y 20 pilonas para el sostenimiento del cable aereo. El trazado se encuentra divido en dos tramos, uno que comprende las estructuras entre la estación de transferencia del 20 de julio y la estación intermedia La Victoria, para este tramo se proyectan 11 pilonas y el tramo dos, se localiza entre la estación intermedia La Victoria hasta la estación de retorno Altamira, el segmento se compone de 9 pilonas.

4 INVENTARIO Y DIAGNÓSTICO DE INFRAESTRUCTURA EXISTENTE A NIVEL GEOTÉCNICO.

Dentro de las actividades desarrolladas en la salida técnica, se realizó un inventario de obras geotécnicas que estuvieran localizadas en cercanías a las diferentes estructuras proyectadas para la construcción del cable aereo (estaciones y pilonas).

Para ello, se utilizó un formato de levantamiento cuya plantilla se presenta en la siguiente figura:

CONSORCIO CS Caly Mayor Colombia S.A.S. Supering			ACTUALIZACIÓN, AJUSTES Y COMPLEMENTACIÓN DE LA FACTIBILIDAD Y LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS DEL CABLE AÉREO EN SAN CRISTÓBAL, EN BOGOTÁ D.C.					
Nombre Documento			EVALUACIÓN OBRAS GEOTÉCNICAS DE LA VISITA TÉCNICA		Orden No:			
Disciplina			CIVIL		Página			
Documento No					Revisión			
TRAMO (Abscisas)	COORD. GEOGRÁFICAS	TIPO DE ESTRUCTURA Y MATERIAL	DIMENSIONES (m)	CONDICIONES GEOTÉCNICAS	ESTADO Y FUNCIONAMIENTO	ESQUEMA(PLANTA)	ESQUEMA(PERFIL)	NÚMERO FOTO
			Longitud: Ancho: Alto: Diámetro:	Nivel cimentación: Suelo Fundación: Material Relleno:				

Figura 4-1. Formato de levantamiento de obras geotécnicas.

La ubicación de las obras geotécnicas levantadas durante la salida de campo se esquematiza en la siguiente figura:

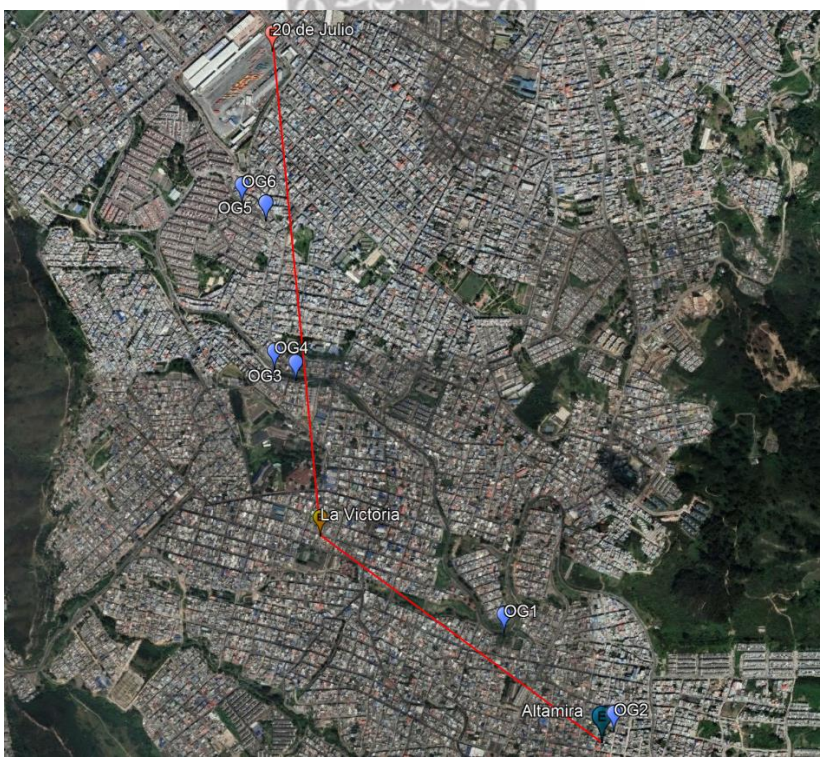


Figura 4-2. Ubicaciones obras geotécnicas levantadas salida técnica

La siguiente tabla resumen presenta la descripción general de las obras geotécnicas identificadas en el área de estudio:

Tabla 4-1. Obras geotécnicas levantadas

Código	Tramo	Latitud	Longitud	Tipo estructura	Estado
OG1	La Victoria-Altamira	4°32'51.82"N	74°5'17.47"O	Muro de contención en concreto	Buen estado. Sin fisuras
OG2	Estación Altamira	4°32'40.79"N	74°5'5.11"O	Muro de contención en concreto ciclópeo	Buen estado. Algo de humedad
OG3	P. 20 Julio-La Victoria	4°33'20.06"N	74°5'40.95"O	Muro de contención en concreto	Buen estado
OG4	P. 20 Julio-La Victoria	4°33'21.33"N	74°5'43.36"O	Muro de contención en concreto	Buen estado
OG5	P. 20 Julio-La Victoria	4°33'37.99"N	74°5'44.33"O	Muro de contención en concreto	Algunas grietas
OG6	P. 20 Julio-La Victoria	4°33'40.02"N	74°5'47.03"O	Muro de contención en concreto	Buen estado

En el anexo E. se presentan los registros de campo diligenciados y el registro fotográfico de las obras geotecnicas levantadas.

De manera general, se observa que la mayoría de las obras geotécnicas identificadas están en buen estado, con buen funcionamiento y sin deformaciones evidentes salvo algunos deterioros locales en muros de gaviones relacionados con corrosión de la malla.

A continuación, se presentan algunas fotografías de las obras geotécnicas levantadas en la salida de campo.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

Figura 4-3. Muro de contención en concreto en buen estado. Indicios de algunos procesos en laderas aledañas al muro. Tramo Portal 20 de Julio- La Victoria Obra Geotécnica OG3

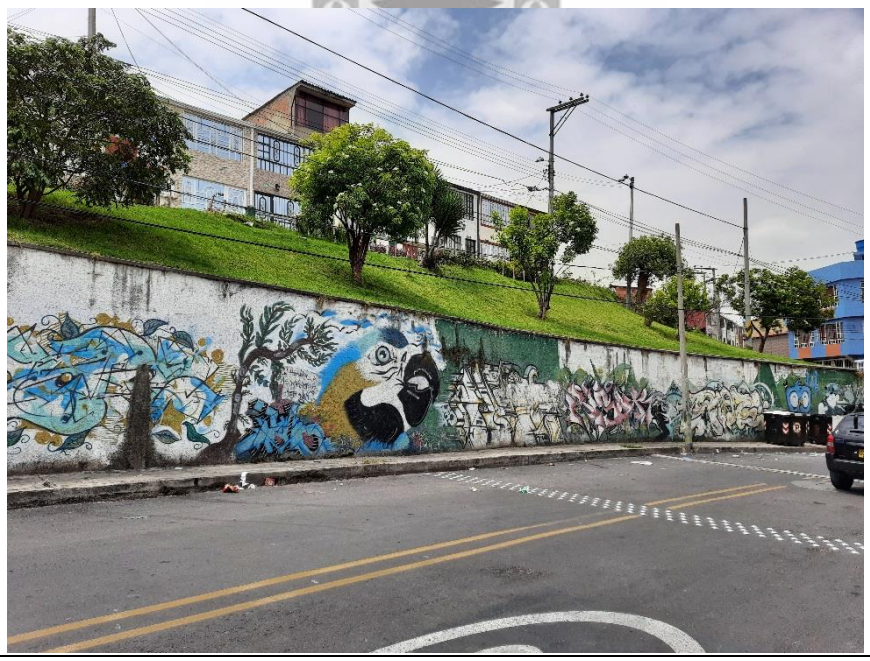


Figura 4-4. Muro de contención en concreto en buen estado. Tramo Portal 20 de Julio-La Victoria, sector Villa de los Alpes. Obra Geotécnica OG6

4.1 DIAGNÓSTICO DE TALUDES

Otra de las actividades desarrolladas en la visita técnica fue la identificación de taludes y laderas en zonas cercanas a los trazados del proyecto. Para ello se utilizó un formato de levantamiento de laderas tal y como se puede observar en la siguiente figura:

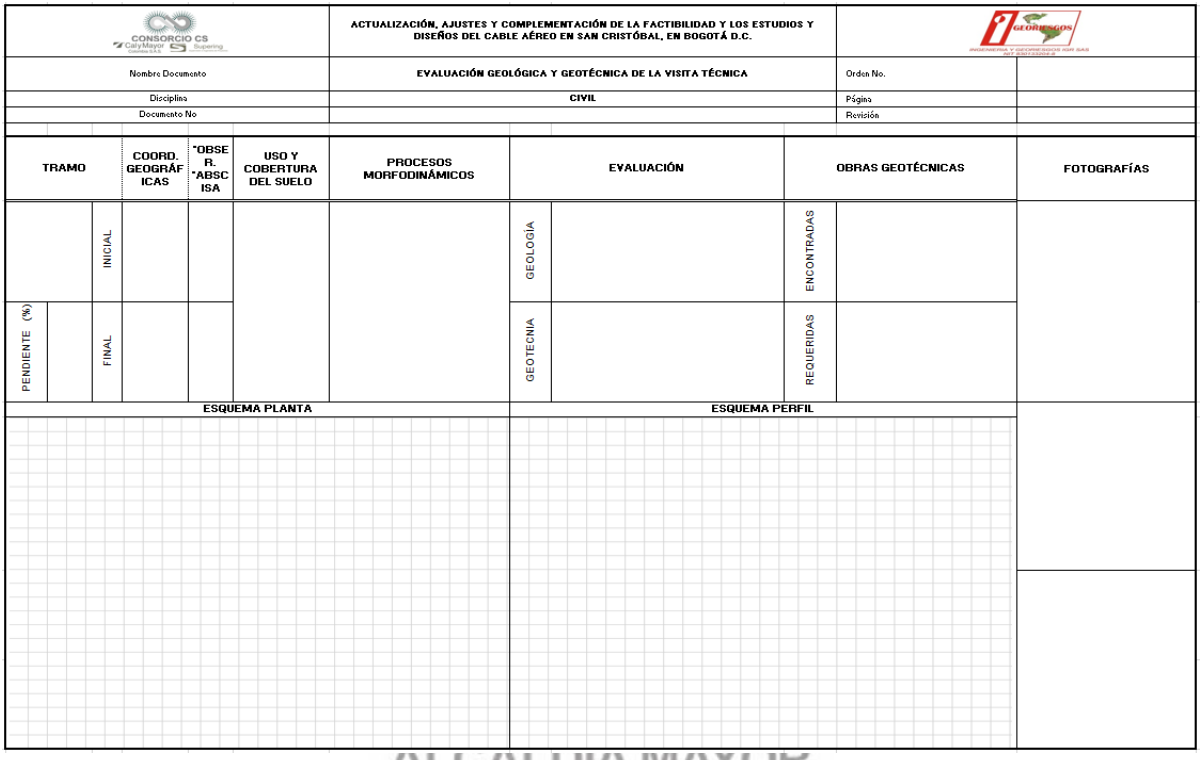


***Figura 4-5**. Formato de levantamiento de taludes*

En la siguiente figura se esquematiza la ubicación de las laderas levantadas durante la visita de campo:

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

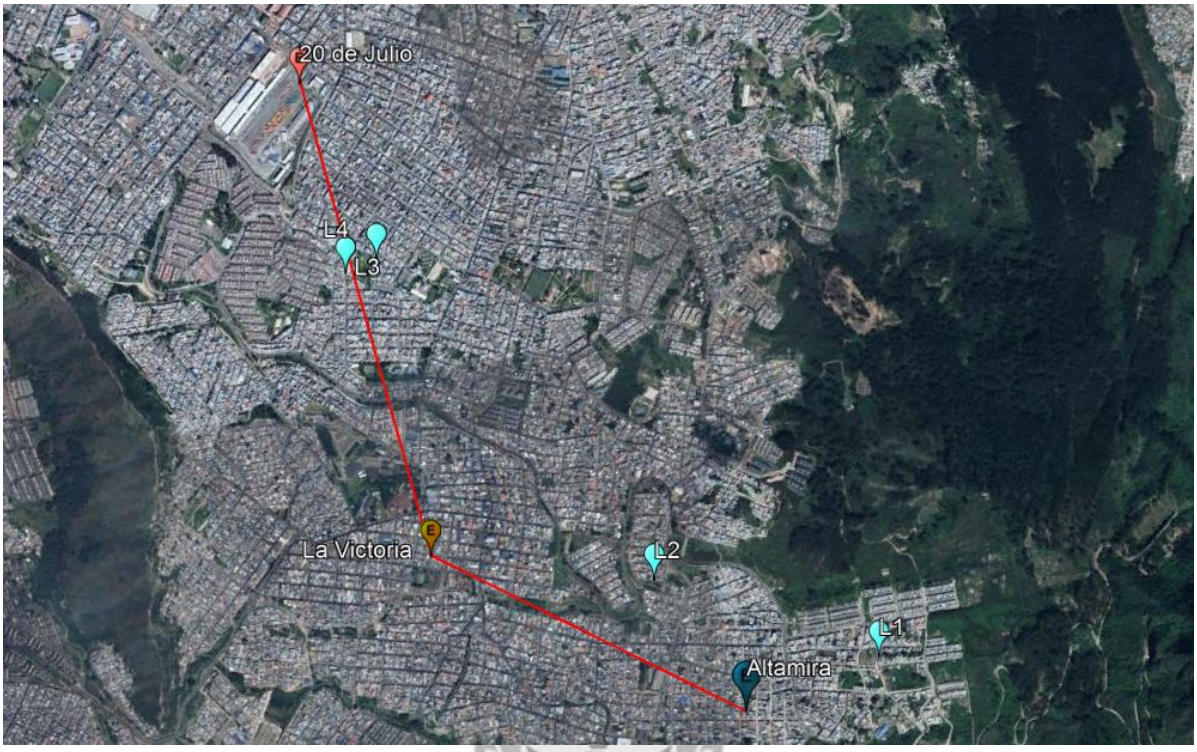


***Figura 4-6**. Ubicaciones laderas levantadas salida técnica.*

Tabla 4-2**. Laderas levantadas**

Código	Latitud	Longitud	Pendiente	Material	Procesos identificados
L1	4°32'43"	74°4'50.78"	10H:1V	Rellenos antrópicos. Residual de arcilla	Pequeños hundimientos en vías por deficiencias en rellenos
L2	4°32'55.76"	74°5'14.08"	1H:1V	Relleno antrópico. Bloques de diámetro mayor a 1.0 m	Hundimiento leve de vía
L3	4°33'36.32"	74°5'38.52"	2H:1V	Rellenos y depósitos fluvioglaciares	No se evidencian
L4	4°33'35.42"	74°5'42.19"	1H:1V	Relleno sobre depósitos fluvioglaciares	Algunas ondulaciones del terreno

En el anexo J de este informe se presenta la localización de las 4 laderas de mayor relevancia identificadas en la visita de campo. En el anexo F se presentan los registros de campo diligenciados y el registro fotográfico.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Se evidencia que las laderas están cubiertas por viviendas y vías y de acuerdo con lo observado en el trabajo de campo, se concluye que estas se encuentran en buenas condicionesde estabilidad actual, encontrando los efectos negativos hacia los bordes de las quebradas que presentan rellenos antrópicos o suelos residuales en alta pendiente que tienden a fallar localmente por efecto de socavación principalmente o mal manejo de agua servidas.

A continuación, se presentan algunas fotografías que evidencian los procesos de remoción en masa identificados:

***Figura 4-7**. Ladera Tramo La Victoria-Altamira*

En los trazados del Portal 20 de Julio a La Victoria y La Victoria a Altamira, a pesar de ser zonas con pendiente moderada, no se identificaron procesos de remoción en masa que puedan afectar la estabilidad de la línea del cable. Sin embargo, es posible que desde el punto de vista de estabilidad se encuentren puntos con seguridad inferior a la mínima requerida en la normatividad vigente y se requiera algún tipo de estabilización.

5 FASE DE RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN SECUNDARIA

Para seleccionar la información relevante en materia de geotecnia para el proyecto, se consultaron diferentes fuentes de información, se revisó cuidadosamente su contenido y se seleccionaron los documentos, estudios, conceptos e informes que permitieran conocer la zona en donde se ejecutará el proyecto del Cable de San Cristóbal.

La fuente principal de información y la más directa es el estudio de factibilidad realizado en el 2013 para el Cable de San Cristóbal por la firma INTEINSA y suministrada por el cliente.

De la base de datos de proyectos del consultor, se seleccionaron aquellos realizados en las proximidades del sector de interés y que pueden dar una idea de los materiales presentes en la zona. De estos proyectos se cuenta con registros de perforación, registros fotográficos, memorias de cálculos, planos, esquemas y recomendaciones generales.

De entidades de carácter público como el FOPAE, IDECA, la Alcaldía Mayor de Bogotá y el INGEOMINAS (Ahora el Servicio Geológico Colombiano) se consultaron mapas y documentos técnicos generales que describen las propiedades geotécnicas de los materiales de la ciudad de Bogotá y de donde se puede extraer información relevante para la zona del proyecto.

Finalmente, se complementó la información consultada con la visita técnica realizada el 18 de febrero de 2021 junto con funcionarios del IDU e ingenieros de la interventoría.

De la información investigada se seleccionaron los siguientes documentos por su relevancia para ser tenidos en cuenta en el estudio del Cable de San Cristóbal. Se lista en primer lugar la información general y después los estudios particulares de los cuales se dispone de información:

Tabla 5-1. Información Secundaria Seleccionada

ID	Nombre del documento	Autor	Año
1	Mapa geológico de la Sabana de Bogotá	INGEOMINAS	2005
2	Mapa geológico localidades de Rafael Uribe y San Cristóbal	INGEOCIM	1998
3	Zonificación de la respuesta sísmica de Bogotá para el diseño sismo resistente de edificaciones	FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIA	2010
4	Mapas de Geología, Amenaza por Movimientos en Masa, Geomorfología, Respuesta Sísmica y Zonificación Geotécnica en el Área de Estudio	IDECA	2010-2018

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

ID	Nombre del documento	Autor	Año
5	Estudio de factibilidad de los corredores de transporte por cable en las localidades de Ciudad Bolívar y San Cristóbal de Bogotá. Estudio Geológico y Geotécnico Localidad de San Cristóbal V1	INTEINSA	2013
6	Informe Estudio de Suelos para Cimentaciones Patio-Portal y Calle 31 Sur	CONSTRUCTORA SAN DIEGO MILENIO	2009
7	Estudio de riesgos por remoción en masa y de compresibilidad del terreno, evaluación de alternativas de mitigación del riesgo y diseños detallados de las medidas recomendadas para su implementación en el corto plazo en un sector del barrio Atenas de la localidad San Cristóbal de la ciudad de Bogotá D.C.	EDGAR EDUARDO RODRIGUEZ GRANADOS-INGENIERÍA Y GEORIESGOS (IDIGER)	2006
8	Elaboración de diseños de obras, presupuestos y especificaciones técnicas en sitios críticos de riesgos inminente por remoción en masa en la localidad de San Cristóbal en la ciudad de Bogotá D.C. Sitio Barcelona I y Barcelona II	UNIÓN TEMPORAL GEOTECNIA SAN CRISTOBAL	2007
9	Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa para el barrio Moralba de la localidad San Cristóbal, en Bogotá D.C.	GEOCIN LIMITADA	2010
10	Monitoreo geotécnico y estructural en el sector de la urbanización Villa de los Alpes de la localidad de San Cristóbal, en Bogotá D.C.	INGENIERÍA Y GEORIESGOS	2010
11	Ensayo Down Hole para el Consorcio Porvenir en el Parque Entre Nubes Barrio Juan Rey-Bogotá	INGENIERÍA Y GEORIESGOS	2015
12	Estudio de suelos de la zona baja de la urbanización Bosque de los Alpes correspondiente a las manzanas 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 (Etapa I).	INGECIENCIAS (TOMADO DEL IDIGER)	1996
13	Estudio de Suelos Conjunto Mirador del Virrey	FERNANDO MEJÍA Y CIA (TOMADO DEL IDIGER)	1996
14	Estudio Geotécnico Escuela Moralba Fase II	INGEOMINAS (TOMADO DEL IDIGER)	1993
15	Informe sobre los aspectos de Riesgo Geotécnico del predio del Proyecto Portón Real	INGECIENCIAS (TOMADO DEL IDIGER)	1997
16	Diseño Detallado de Obras de Mitigación de Riesgo por Movimientos en Masa en la Urbanización Ciudadela Santa Rosa Localidad de San Cristóbal en Bogotá D.C.	Consorcio Santa Rosa. Contrato N° 471 de 2017 IDIGER	2019

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Los lugares en donde se realizaron los estudios consultados en este informe se observan en la siguiente figura:

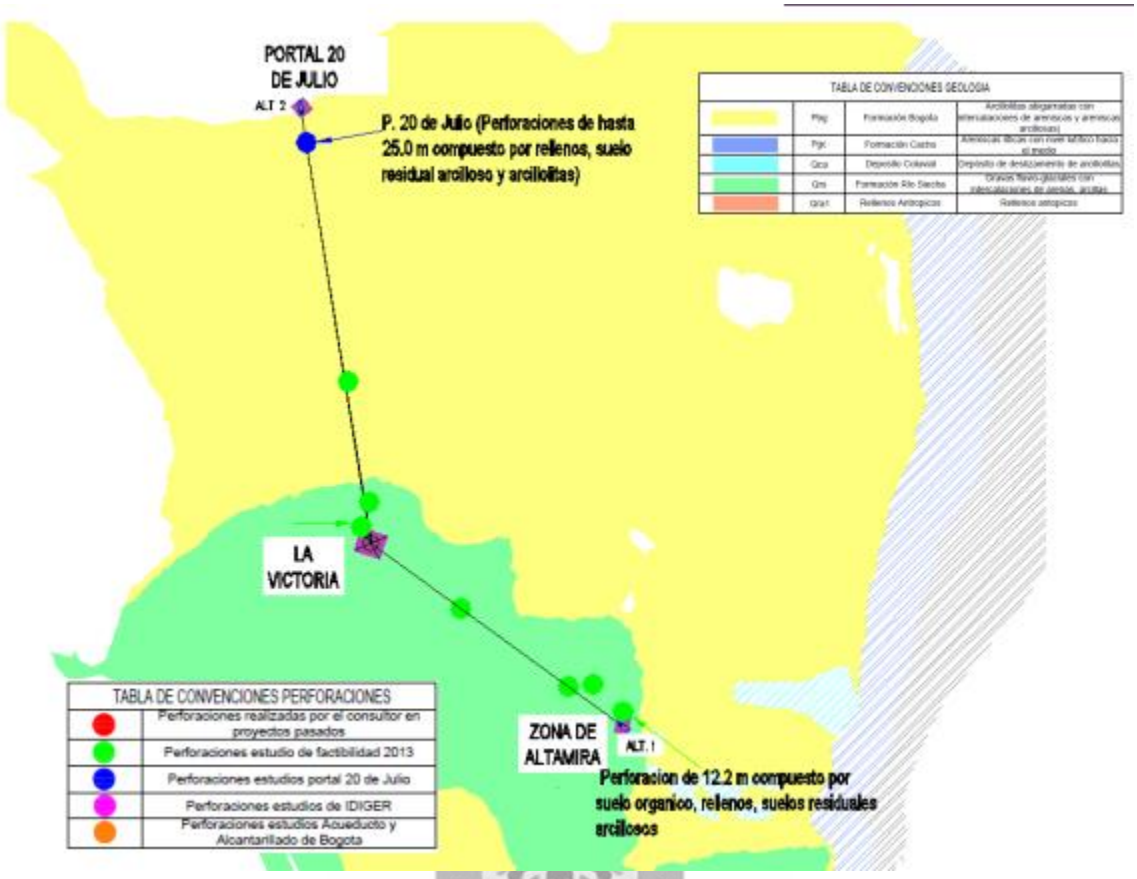


Figura 5-1. Ubicación Estudios Geotécnicos Consultados

5.1 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE.

A continuación, se realiza una descripción de la información contenida en cada uno de los documentos mencionados en la Tabla 5-1.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

1. **<u>Mapa geológico de la Sabana de Bogotá.</u>**

El mapa geológico de la ciudad de Bogotá realizado por el INGEOMINAS en el 2005 en escala 1:100000, permite vislumbrar información general de la geología de la ciudad. Específicamente en el área de estudio, de acuerdo con el mapa, el trazado pasa por las siguientes formaciones geológicas:

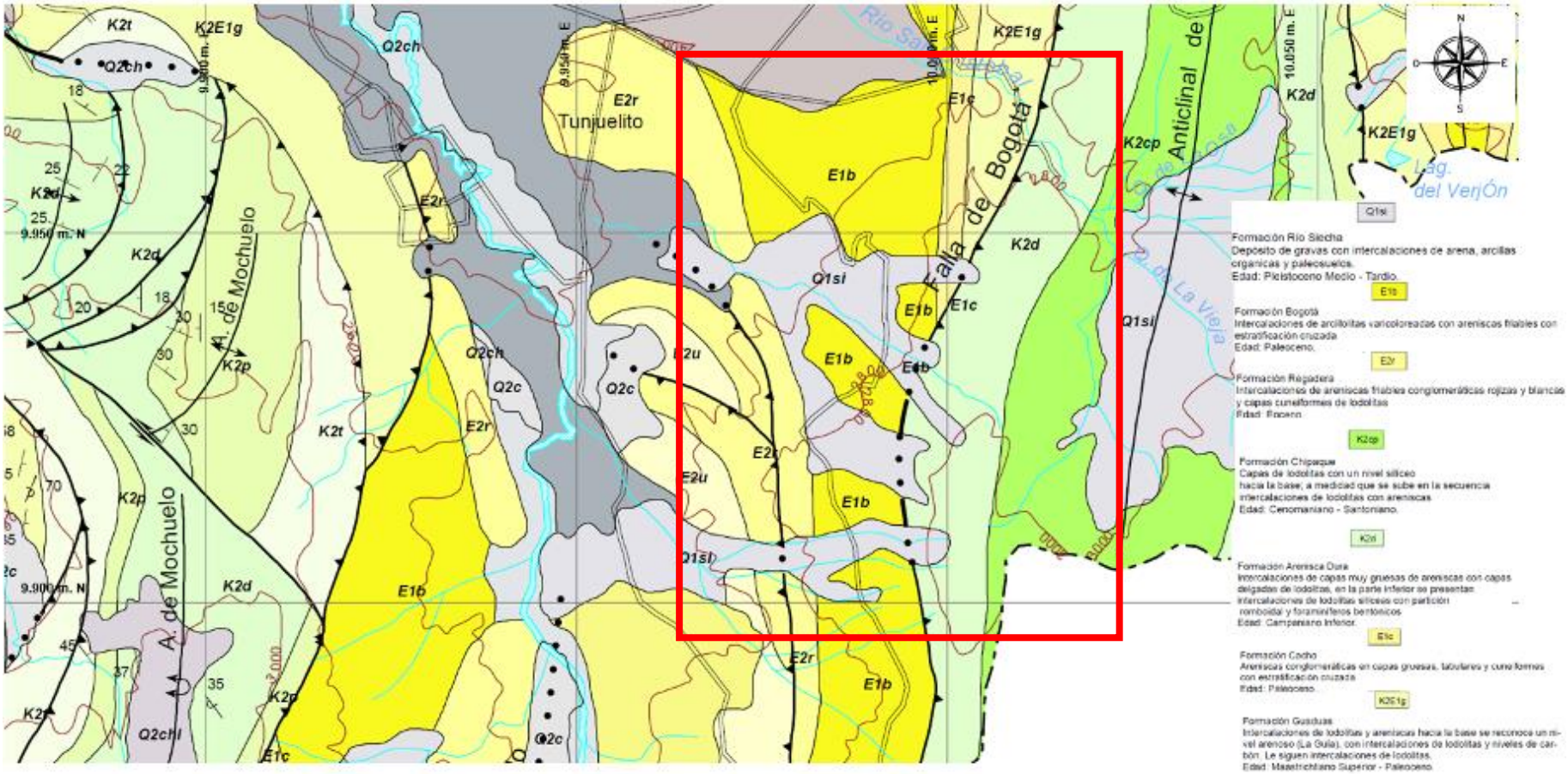


Figura 5-2. Geología general proyecto Cable San Cristóbal. Fuente: Adaptación Mapa geológico de la sabana de Bogotá, 2005

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

Formación Bogotá (E1b): Intercalaciones de arcillolitas varicoloreadas con areniscas friables con estratificación cruzada. Edad Paleoceno

Formación Río Siecha (Q1si): Depósitos de gravas con intercalaciones de arena, arcillas orgánicas y paleosuelos. Edad Pleistoceno medio-tardío.

Formación Sabana (Q1sa): Depósito de capas de arcillas, hacia los bordes capas de arenas, arcillas arenosas, turba en ocasiones gravas.

Estructuralmente se destaca cerca al área de interés la falla de Bogotá por el costado oriental y la falla de río Tunjuelo y Falla de Cajita localizadas hacia el suroeste del sector, estas fallas catalogadas como las más importantes a escala local.

2. **Mapa geológico localidades de Rafael Uribe y San Cristóbal.**

Este mapa, realizado por la Unidad de Prevención y Atención de Emergencias, el Fondo para la Prevención y Atención de Emergencias e INGEOCIM en el año 1998 permite tener una visión más localizada de la geología de la zona del proyecto.

ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

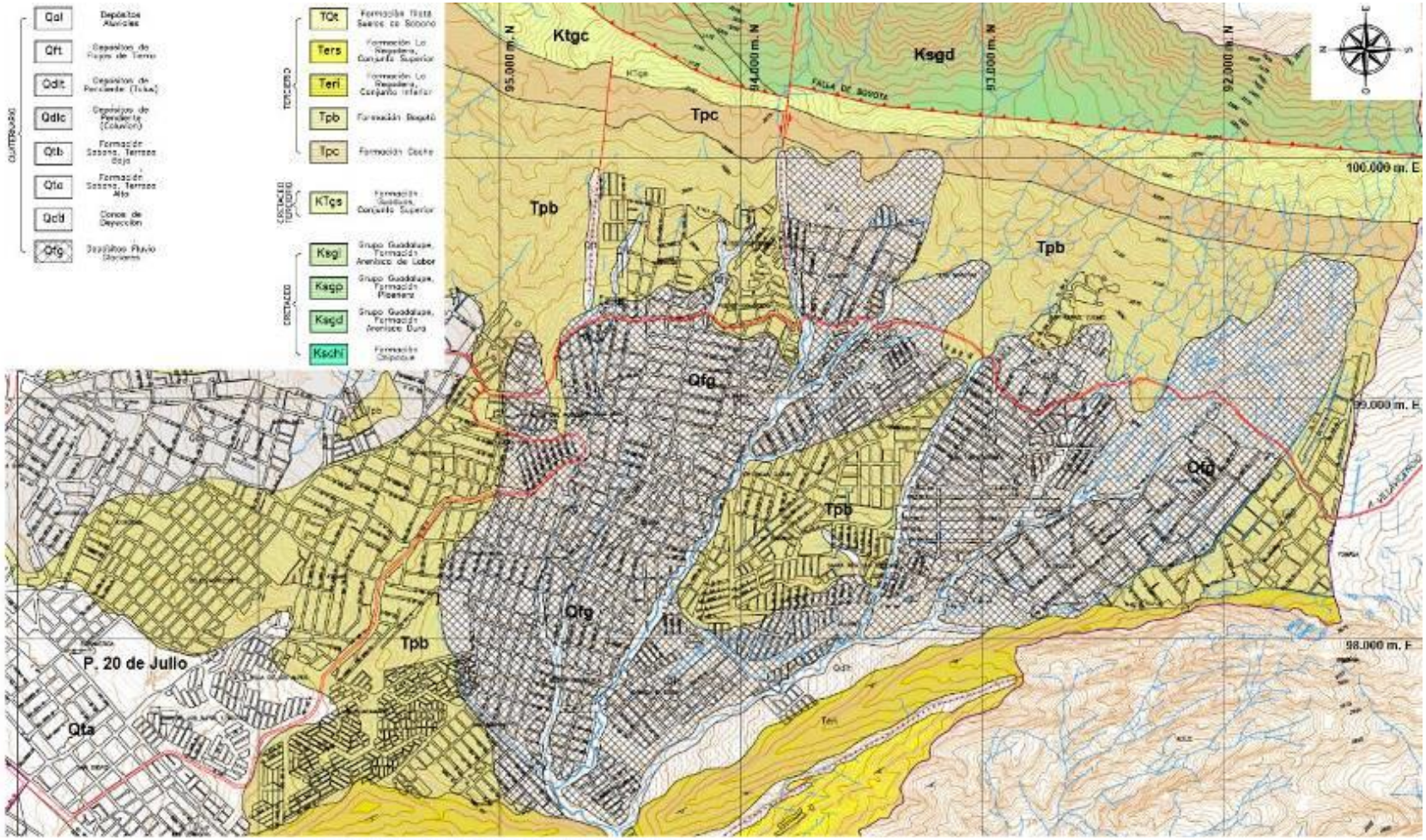


Figura 5-3. Geología general del proyecto Cable San Cristóbal. Fuente: Adaptación Mapa Geológico localidades Rafael Uribe y San Cristóbal.

DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

De acuerdo con las descripciones geológicas de este mapa, se tiene que el proyecto del cable de San Cristóbal estará sobre la formación Sabana-terraza alta (Qta)en la zona del portal 20 de Julio. Hacia el oriente cambia a la formación Bogotá (Tpb) y finalmente, hacia la parte más alta de la ladera, se tienen los denominados depósitos fluvioglaciares (Qfg) que corresponderían con la formación Siecha del mapa geológico de la Sabana de Bogotá discutido anteriormente. Estructuralmente, se identifica la falla de Bogotá como elemento más importante del área.

3. Zonificación de la respuesta sísmica de Bogotá para el diseño sismo resistente de edificaciones

La Dirección de Prevención y Atención de Emergencias DPAE publicó en el 2010 un documento, que tuvo como objetivo la actualización de la microzonificación sísmica de la ciudad de Bogotá con respecto a los estudios iniciados desde 1993. De este documento se extrae el mapa de microzonificación sísmica de Bogotá para identificar la zona sísmica en donde se implantará el proyecto del Cable de San Cristóbal.

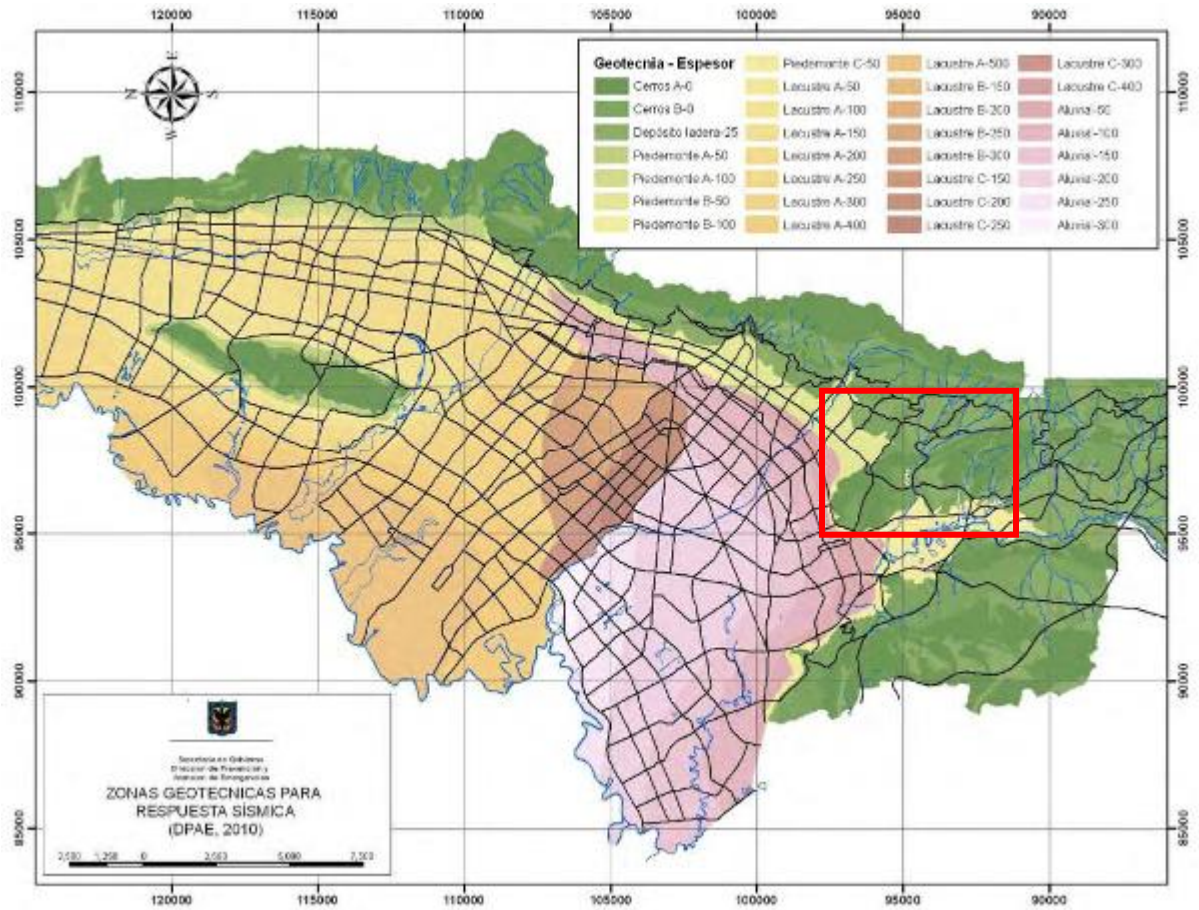


Figura 5-4. Mapa de Zonas Geotécnicas para Respuesta Sísmica-Bogotá. Fuente: DPAE,2010

Del mapa se puede identificar que la zona de estudio está en las zonas Piedemonte B, Depósitos de Ladera y Cerros B cuyos parámetros de diseño sísmico se presenta en la siguiente Tabla:

Tabla 5-2 Parámetros de Diseño sísmico para las zonas de respuesta sísmica

Zona	F_a (475)	F_v (475)	T_C (s)	T_L (s)	A_0 (475) (g)
CERROS	1.35	1.30	0.62	3.0	0.18
PIEDEMONTE A	1.65	2.00	0.78	3.0	0.22
PIEDEMONTE B	1.95	1.70	0.56	3.0	0.26
PIEDEMONTE C	1.80	1.70	0.60	3.0	0.24
LACUSTRE-50	1.40	2.90	1.33	4.0	0.21
LACUSTRE-100	1.30	3.20	1.58	4.0	0.20
LACUSTRE-200	1.20	3.50	1.87	4.0	0.18
LACUSTRE-300	1.05	2.90	1.77	5.0	0.16
LACUSTRE-500	0.95	2.70	1.82	5.0	0.14
LACUSTRE ALUVIAL-200	1.10	2.80	1.63	4.0	0.17
LACUSTRE ALUVIAL-300	1.00	2.50	1.60	5.0	0.15
ALUVIAL-50	1.35	1.80	0.85	3.5	0.20
ALUVIAL-100	1.20	2.10	1.12	3.5	0.18
ALUVIAL-200	1.05	2.10	1.28	3.5	0.16
ALUVIAL-300	0.95	2.10	1.41	3.5	0.14
DEPÓSITO LADERA	1.65	1.70	0.66	3.0	0.22

Fuente: DPAE,2010

4. Mapas de Geología, Amenaza por Movimientos en Masa, Geomorfología, Respuesta Sísmica y Zonificación Geotécnica en el Área de Estudio

A partir de la información disponible en el IDECA en donde se recopila información sobre amenaza por remoción en masa, geología, geomorfología, respuesta sísmica y zonificación geotécnica en la ciudad de Bogotá, se descargaron los respectivos mapas temáticos en la zona de interés y se implantó el proyecto (Tramo Portal 20 de Julio, Estación La Victoria, Estación Altamira) para tener una visión más localizada con respecto a los mapas descritos en numerales anteriores. Estos mapas fueron digitalizados y sobre ellos se ubicaron las alternativas del proyecto.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Las siguientes figuras muestran los mapas descargados que servirán como base para enmarcar el proyecto de manera general desde el punto de vista de amenaza, geomorfología, respuesta sísmica y zonificación geotécnica:

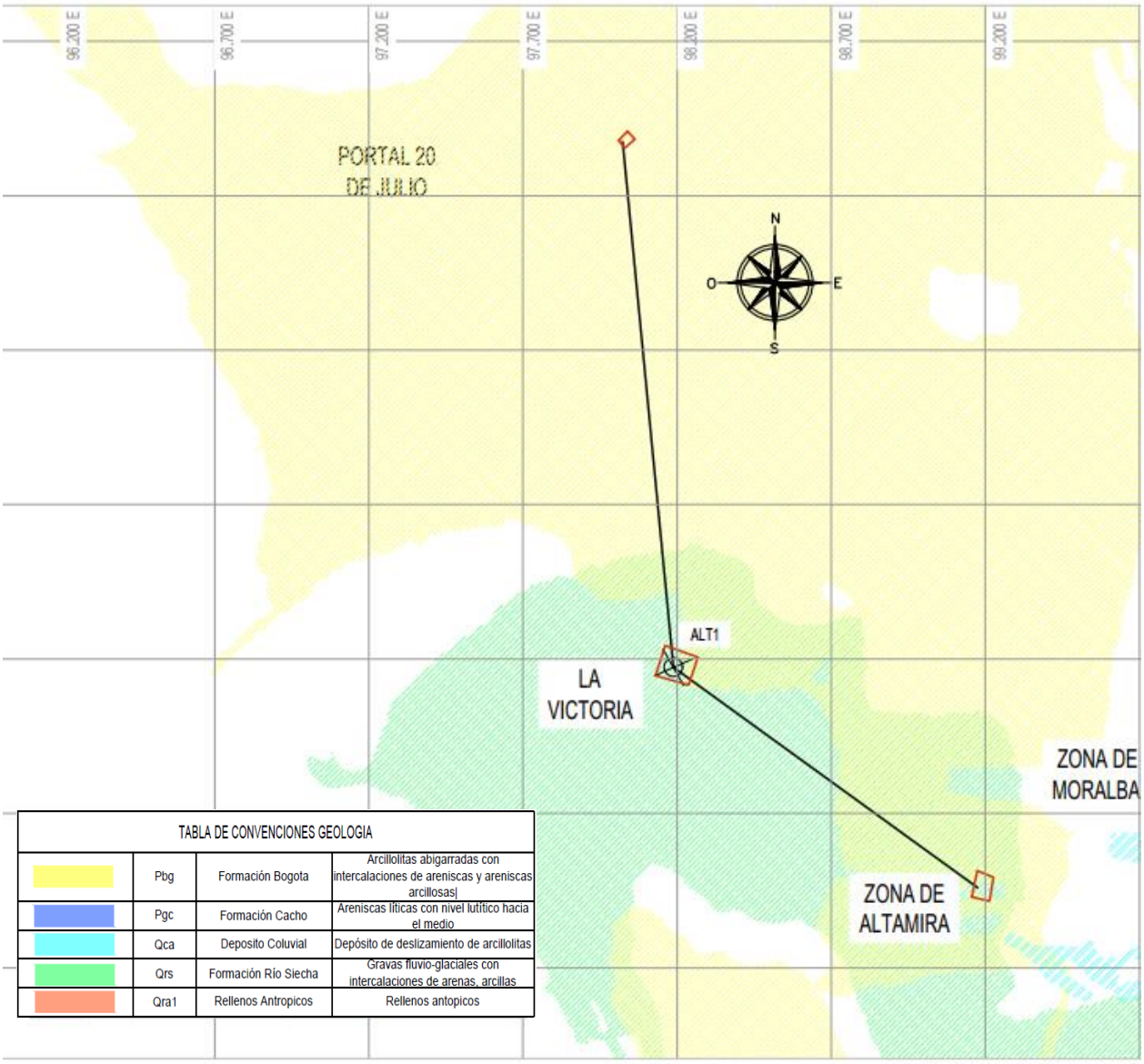


Figura 5-5. Mapa de geología Urbana. Adaptación IDECA

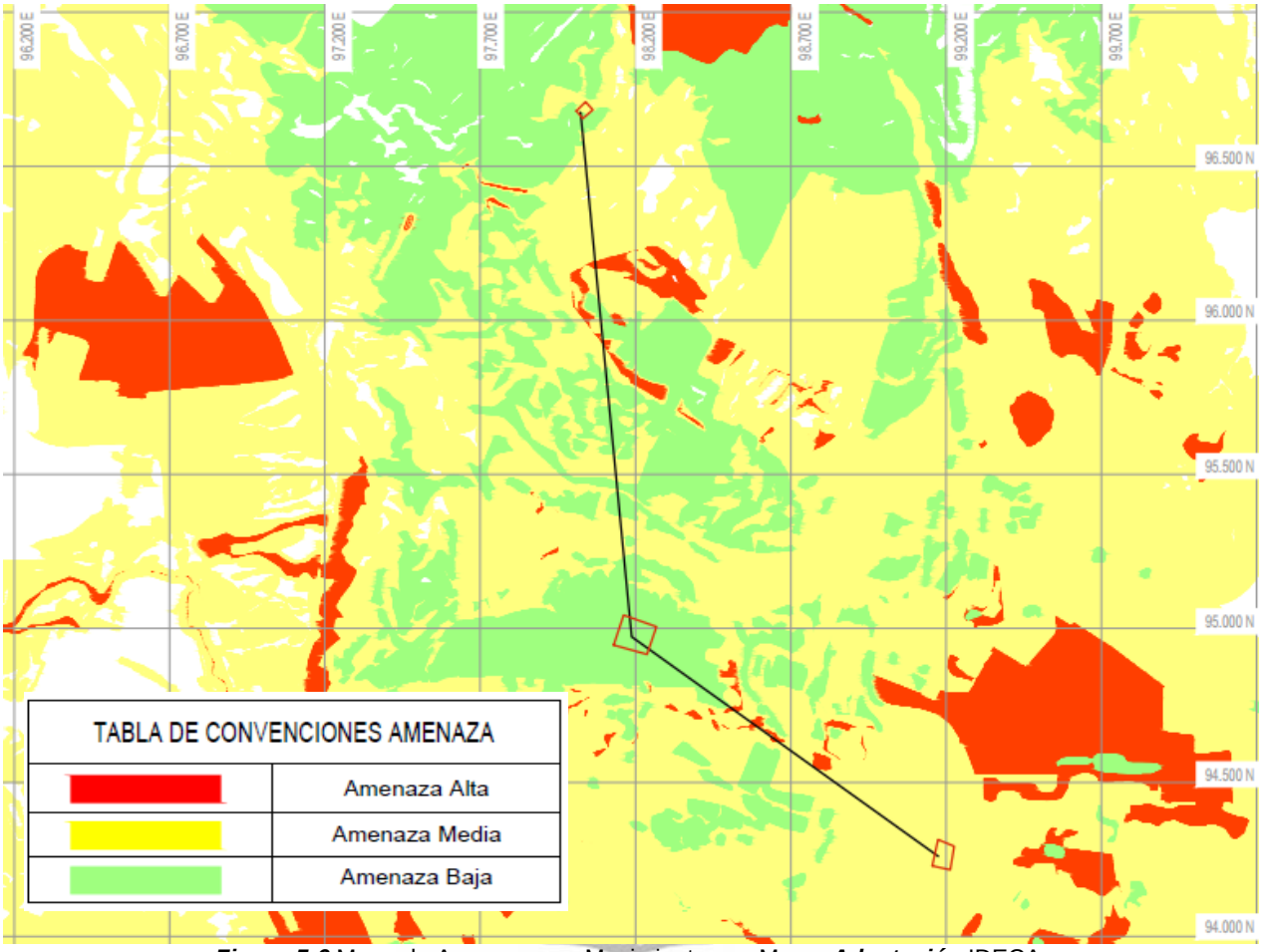


Figura 5-6 Mapa de Amenaza por Movimientos en Masa. ***Adaptación*** IDECA

ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

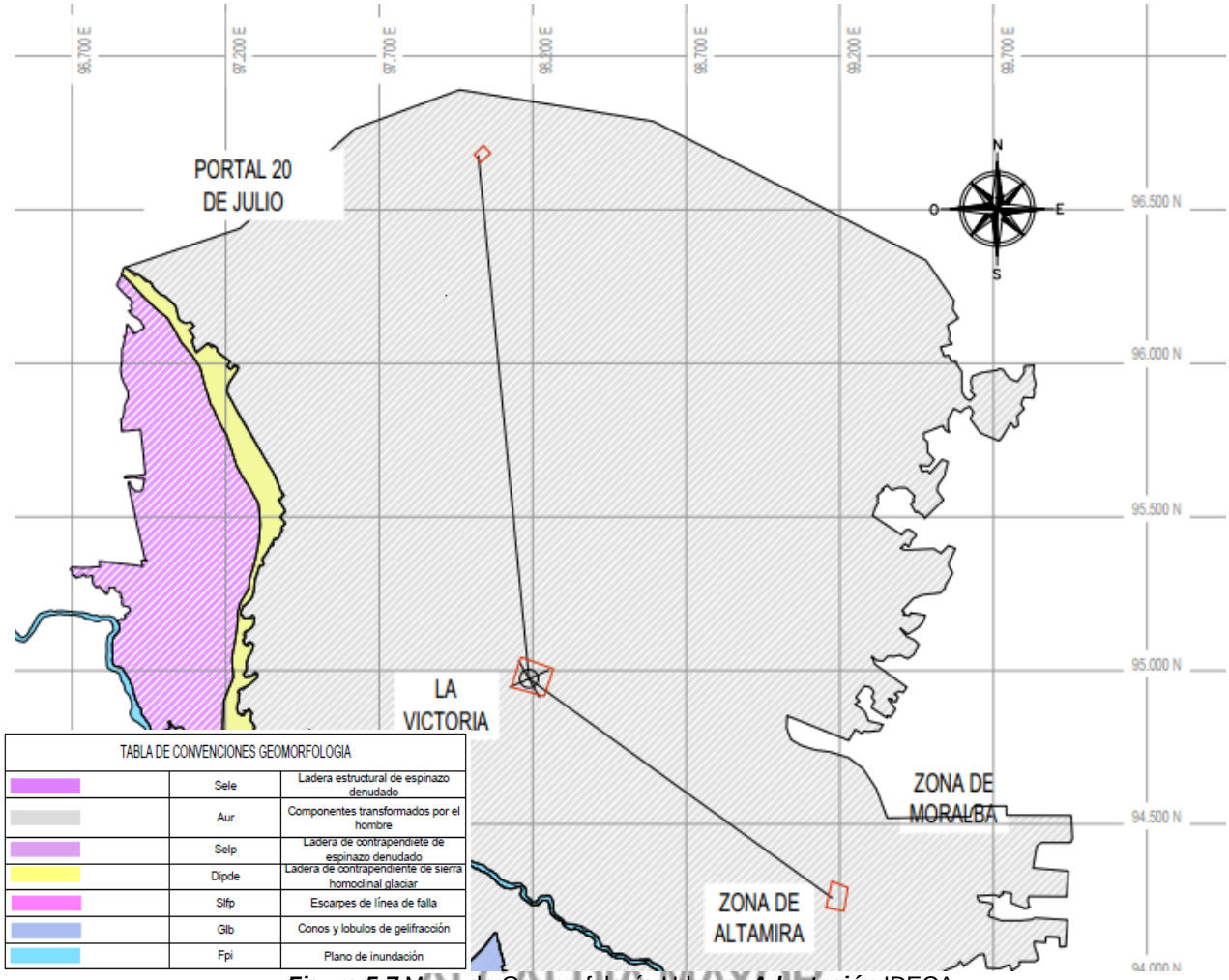


Figura 5-7 Mapa de Geomorfología Urbana. ***Adaptación*** IDECA

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

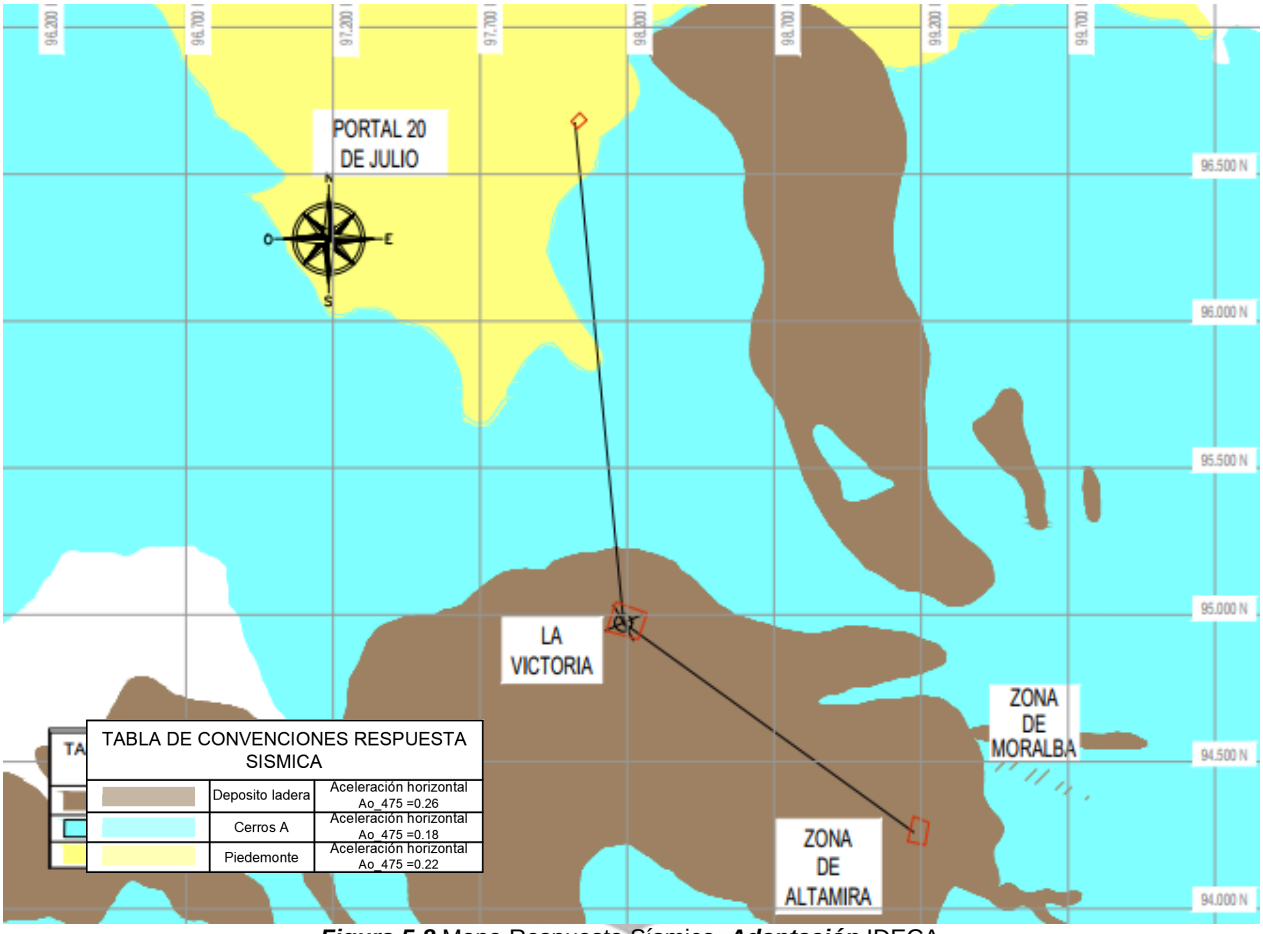


Figura 5-8 Mapa Respuesta Sísmica. ***Adaptación*** IDECA

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

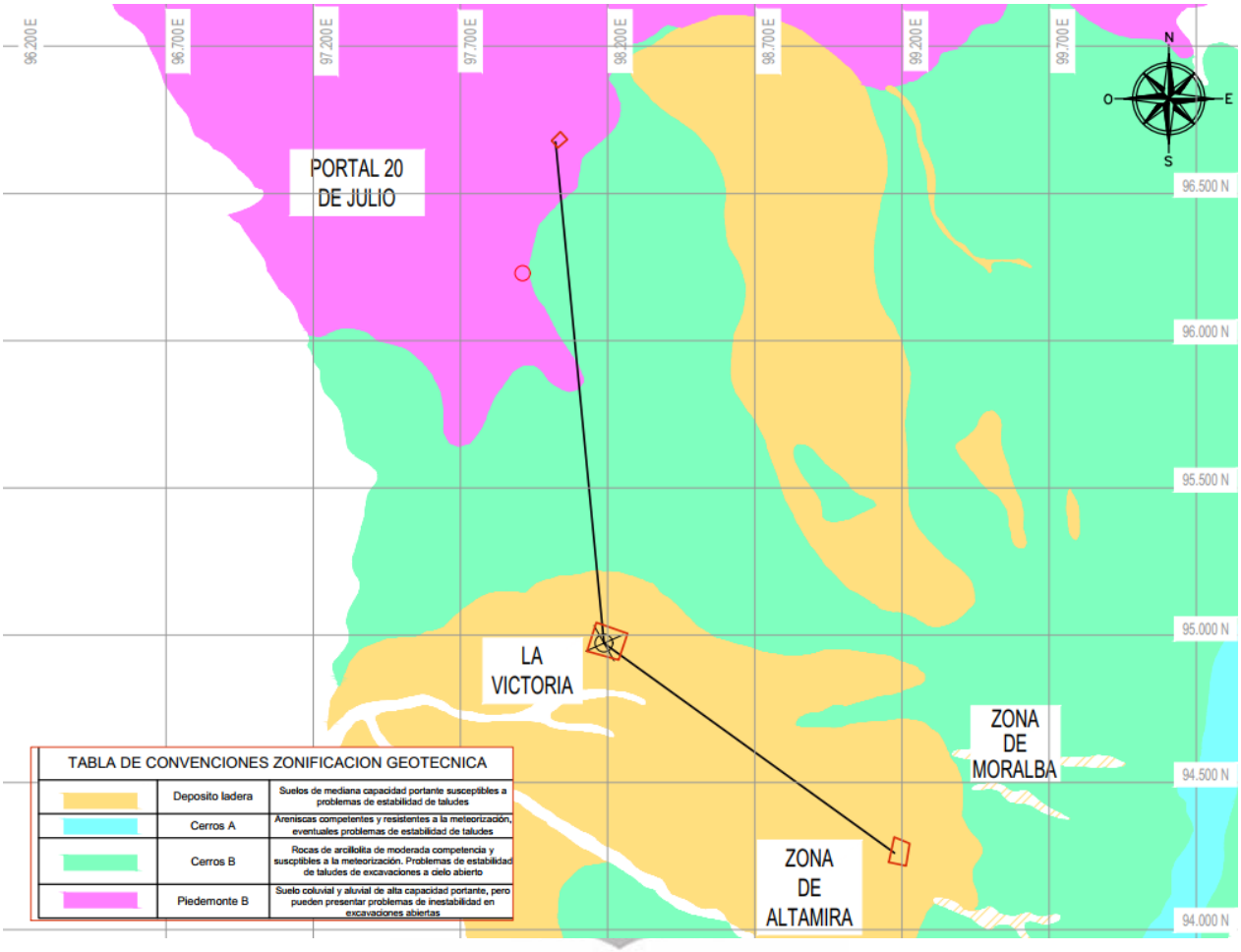


Figura 5-9 Mapa de Zonificación Geotécnica. ***Adaptación*** IDECA

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

Mapa de geología

De acuerdo con el mapa geológico mostrado anteriormente, el trazado pasa por las siguientes unidades geológicas:

Formación Bogotá (Pbg): Arcillolitas abigarradas con intercalaciones de areniscas y areniscas arcillosas.

Formación Río Siecha (Qrs): Gravas fluvioglaciales con intercalaciones de arenas y arcillas.

La estación de inicio en el Portal 20 de Julio se encuentra localizada en la formación Bogotá mientras que las estaciones La Victoria, Altamira y Juan Rey estarían ubicadas sobre la formación Río Siecha.

Mapa de Amenaza por remoción en masa

En cuanto al mapa de amenaza por movimientos en masa, se observa que el trazado pasa por zonas con amenaza por movimientos en masa de media a baja. Sin embargo, hacia la zona de Altamira y Moralba, en la parte alta de la ladera, existen algunas zonas catalogadas como de amenaza alta. En la zona intermedia entre el Portal 20 de Julio y La Victoria, existen zonas catalogadas como amenaza alta (zona de Villas de los Alpes), por lo que se deberá evaluar cada sitio en particular para detectar posibles procesos de remoción en masa que puedan afectar la serviciabilidad y funcionalidad del proyecto.

Mapa de geomorfología

De acuerdo con el mapa de geomorfología, el trazado se encuentra en la unidad denominada "Aur" cuyos componentes no poseen unidad ni subunidad por ser componentes trasformados/alterados por el hombre y modificados en su estructura natural.

Mapa de respuesta sísmica

Según el plano de respuesta sísmica, el trazado atraviesa 3 zonas cuyas características se resumen a continuación:

Tabla 5-3. Coeficientes de Respuesta Sísmica Local Trazado Cable San Cristóbal

Zona	Aceleración Horizontal Ao_475	Coeficiente de amplificación Fa	Coeficiente de amplificación Fv
Piedemonte B	0.26	1.95	1.70
Cerros	0.18	1.35	1.30
Depósito Ladera	0.22	1.65	1.70

Fuente: Mapas Temáticos IDECA

Mapa de zonificación geotécnica

En cuanto a la zonificación geotécnica, el trazado pasa por las zonas denominadas Piedemonte B, Cerros B y Depósitos de Ladera cuyas descripciones se presentan a continuación:

Tabla 5-4. Descripción Zonificación Geotécnica según FOPAE

Zona	Descripción
Piedemonte B	Suelo coluvial y aluvial de alta capacidad portante, pero pueden presentar problemas de inestabilidad en excavaciones abiertas
Cerros B	Rocas de arcillolita de moderada competencia y susceptibles a la meteorización. Problemas de estabilidad de taludes de excavaciones a cielo abierto principalmente cuando estén fracturadas
Depósito de Ladera	Suelos de mediana capacidad portante susceptibles a problemas de estabilidad de taludes

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

5. **<u>Estudio de factibilidad de los corredores de transporte por cable en las localidades de Ciudad Bolívar y San Cristóbal de Bogotá. Estudio Geológico y Geotécnico Localidad de San Cristóbal V1.</u>**

Este estudio llevado a cabo en el 2013 para los diseños preliminares del Cable aereo de San Cristóbal, tenía como objetivo principal evaluar las características geotécnicas presentes en el trazado del cable en la etapa de factibilidad. Para ello se ejecutaron 3 perforaciones mecánicas en las proximidades de las tres estaciones planteadas (Portal 20 de Julio, Estación La Victoria y Estación Altamira) de hasta 20.0 m de profundidad. Adicionalmente, se plantearon una serie de apiques y trincheras a lo largo del corredor. Esta información es de gran importancia pues es el antecedente directo del proyecto de factibilidad y diseños del cable de San Cristóbal.

DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DEL ENTORNO GEOLÓGICO

- **Geología Regional:**

En este estudio se identificaron 3 unidades geológicas a lo largo del trazado entre el Portal 20 de Julio, Estación La Victoria y Estación Altamira como se observa en la siguiente figura:

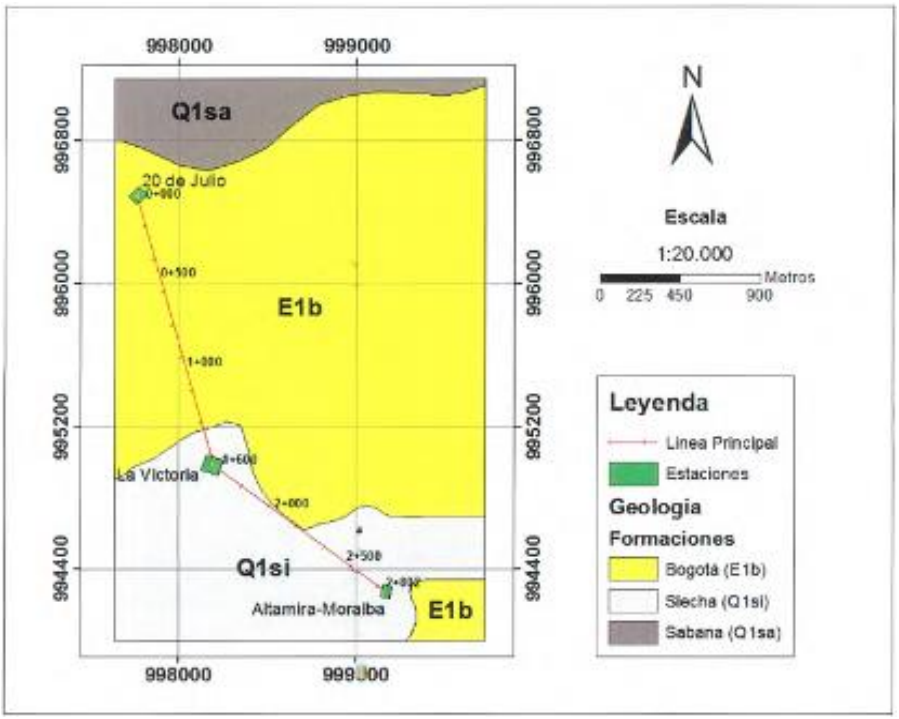


Figura 5-10. Geología regional corredor cable San Cristóbal. Fuente: Estudio Factibilidad 2013

De acuerdo con lo anterior, las formaciones geológicas de interés son las siguientes:

Formación Sabana: Corresponde a depósitos lacustres que afloran en la zona plana de la sabana de Bogotá y están sobre la formación Subachoque. Esta formación tiene aproximadamente 320 m de espesor formados por suelos de cenizas volcánicas en la parte superior y sedimentos finos, generalmente arcillolitas grises con intercalaciones de arenas finas y algunos niveles de turbas y gravas.

Formación Siecha: Esta formación aflora como parches en el anticlinal de Bogotá y en los flancos y valle sinclinal de Usme. Su origen es periglaciar y se pueden encontrar abanicos fluvioglaciares, conos de gelifracción y planicies de sobrelavado que se dan por corrientes torrenciales y flujos lentos, formados por el deshielo de masas glaciares en su parte distal y material superficial en zonas periglaciares. Es un depósito formado por capas gruesas de gravas mal seleccionadas y redondeadas con intercalaciones de arenas, capas de arcillas orgánicas y paleosuelos húmicos. También tiene capas gruesas de clastos subangulares en una matriz arcillosa.

Formación Bogotá: Aflora en los núcleos de varios sinclinales entre ellos los sinclinales de Sisga y Sesquilé, ubicados al noreste de la zona de estudio y en un flanco del sinclinal de Usme al suroccidente. En el área de interés se encuentra en la localidad de San Cristóbal entre los ríos Tunjuelito y San Cristóbal. Es la unidad por donde pasa la mayor parte del trazado del cable. Se encuentra por encima de la formación Cacho y debajo de la formación Regadera. Está formada en la base por secuencias granocrecientes de areniscas consolidadas que pasan a arcillolitas y limolitas de color gris y violeta, seguidas por rocas de grano más grueso que van de areniscas a arcillolitas. Las areniscas muestran estratificación cruzada, paralela o inclinada y las arcillolitas concreciones. Esta formación es explotada para la fabricación de ladrillos y tubos. Por su carácter impermeable se ha usado en zonas de afloramientos para depósitos de basuras.

- **Geología Estructural:**

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

La localidad de San Cristóbal está ubicada en la parte suroriental de la Sabana de Bogotá, que a nivel regional fue afectada por los eventos tectónicos relacionados con el levantamiento de la cordillera oriental donde se originaron áreas deprimidas y zonas plegadas. Además, tiene asociadas fallas de importancia regional y fallas menores. Las fallas principales son de cabalgamiento con vergencia al este y las fallas menores se comportan como retrocabalgamientos con vergencia al oeste. También se encuentran estructuras sinclinales, amplias y continuas y anticlinales asimétricos, discontinuos y deformados por fallas longitudinales de cabalgamiento. Dentro de los rasgos estructurales más importantes están:

Falla Bogotá: Falla inversa con vergencia al oeste, su rumbo general es N10E. Bordea los cerros orientales de la sabana y se extiende desde el sur de la sabana hasta el norte de la ciudad de Bogotá donde probablemente continúe enterrada por depósitos cuaternarios.

Falla del río Tunjuelo: Tiene rumbo N5E y un plano inclinado al oeste. Su trazo es destacado morfológicamente, pasa por el sinclinal de Usme y sigue el curso del río Tunjuelito. Afecta el contacto entre las rocas de las Formaciones Regadera y Usme.

Anticlinal de Bogotá: Se encuentra al este del área de influencia del cable, orientado N-S. Su eje tiene rumbo general N10E. Se desarrolla principalmente en rocas del grupo Guadalupe, formando el borde oriental de la Sabana de Bogotá. De manera general, el eje del anticlinal se hunde de sur a norte, presentando en su núcleo primero las rocas más antiguas del Cretáceo. El flanco occidental se encuentra afectado por la falla Bogotá y el oriental por la falla Nemocón.

Sinclinal de Usme: Ubicado al sur del área de estudio. El rumbo de su eje es N10E y está orientado N-S. Es la terminación sur de la depresión tectónica de la Sabana de Bogotá. Es una estructura simétrica, fallada en su flanco occidental solo en la parte más norte mientras que su flanco oriental es afectado por la falla Bogotá.

A nivel local no se encontraron expresiones de la actividad tectónica ya mencionada, pues los afloramientos de roca son prácticamente nulos, ya que la geología de la zona está dominada por llenos antrópicos, suelos residuales y formaciones sedimentarias recientes, los cuales enmascaran o han degradado cualquier rasgo estructural como diaclasas, cizallas, pliegues y deformaciones.

- **Geomorfología:**

El proyecto Cable aereo San Cristóbal, regionalmente se encuentra en la Sabana de Bogotá, que corresponde a un altiplano rodeado por montañas pertenecientes a la zona axial de la Cordillera Oriental, en el que se encuentran planicies y deltas lacustrinos, abanicos fluvioglaciares con buzamientos suaves, planicies rectas con inclinaciones suaves y una serie de anticlinales estrechos y sinclinales amplios que sobresalen en la topografía.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

La morfología de la zona corresponde a paisajes colinados con control estructural y a morfología erosional de valles aluviales consolidados. En los paisajes colinados se encuentran terrenos ondulados que surgen como reflejo de la disposición estructural de las rocas sobre las cuales se desarrollan estos paisajes. Corresponden a colinas de altura moderada, con laderas convexas, pendientes entre 25% y 35% y valles amplios, con poca incisión por parte de los drenajes. También se encuentran superficies de aplanamiento que corresponden a las partes altas de las montañas, las cuales presentan cimas redondeadas a planas con pendientes que no superan el 15%.

A nivel local la geomorfología está formada por planicies, vertientes de pendiente suave y moderada y un cerro alargado que cruza el trazado del cable de forma perpendicular que en un perfil longitudinal se observa con forma de colina aislada.

Las planicies generalmente son suelos formados por los materiales de la formación Bogotá sobre los cuales han realizado llenos antrópicos para la construcción de vías y viviendas.

Las vertientes de pendientes suaves se encuentran en 2 tramos. Las pendientes son menores de 5°. En el primer tramo son suelos blandos de la Formación Bogotá sobre suelos duros o de mayor densidad con llenos antrópicos sobre ellos. El segundo tramo sólo es formado por suelos duros que debajo tiene las rocas duras semimeteorizadas.

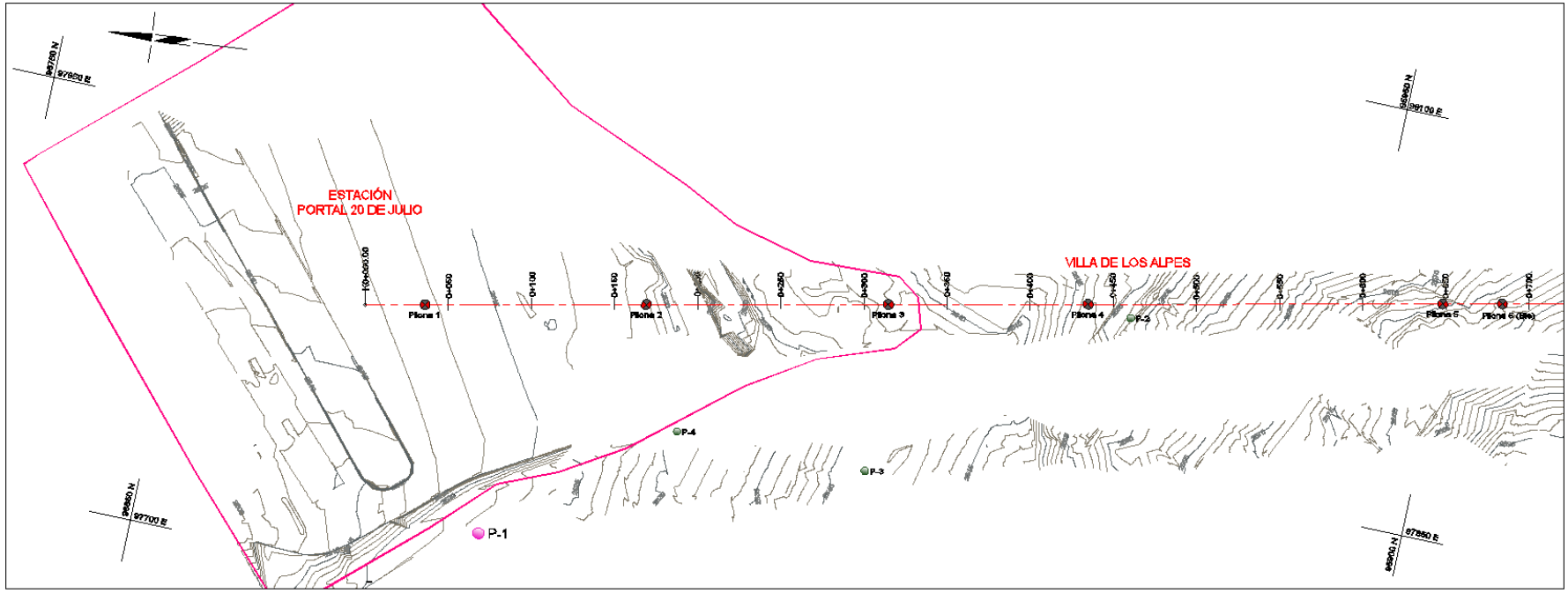
EXPLORACIÓN DEL SUELO, ENSAYOS DE LABORATORIO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.

Para este estudio se ejecutó una campaña de exploración que consistió en perforaciones, apiques y trincheras. La siguiente tabla muestra la ubicación y profundidad explorada de los sondeos ejecutados para este estudio:

Tabla 5-5 Ubicación y profundidad de exploración estudio factibilidad Cable San Cristóbal 2013

Nombre	Tipo Exploración	Ubicación	Abscisa	Profundidad (m)	Nivel Freático
P1	Perforación	Portal 20 de Julio	0+068.00	20	2.9
P2	Perforación	La Victoria	1+512.38	20	2.0
P3	Perforación	Altamira - Moralba	2+767.60	12.2	3.0
AP1	Apique	Cerca de Altamira - Moralba	2+617.35	2.0	NP
TR1	Trinchera	Tramo Altamira – La Victoria	2+485.94	5.6	NP
TR2	Trinchera	Tramo Altamira – La Victoria	2+097.63	1.0	NP
TR3	Trinchera	Tramo Altamira – La Victoria	2+058.03	1.0	NP
TR4	Trinchera	Cerca de La Victoria	1+424.73	1.5	NP
TR5	Trinchera	Tramo La Victoria - Portal	0+957.50	1.0	NP

La ubicación de la exploración, así como de las estaciones y pilonas proyectadas se observa en las siguientes figuras:



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

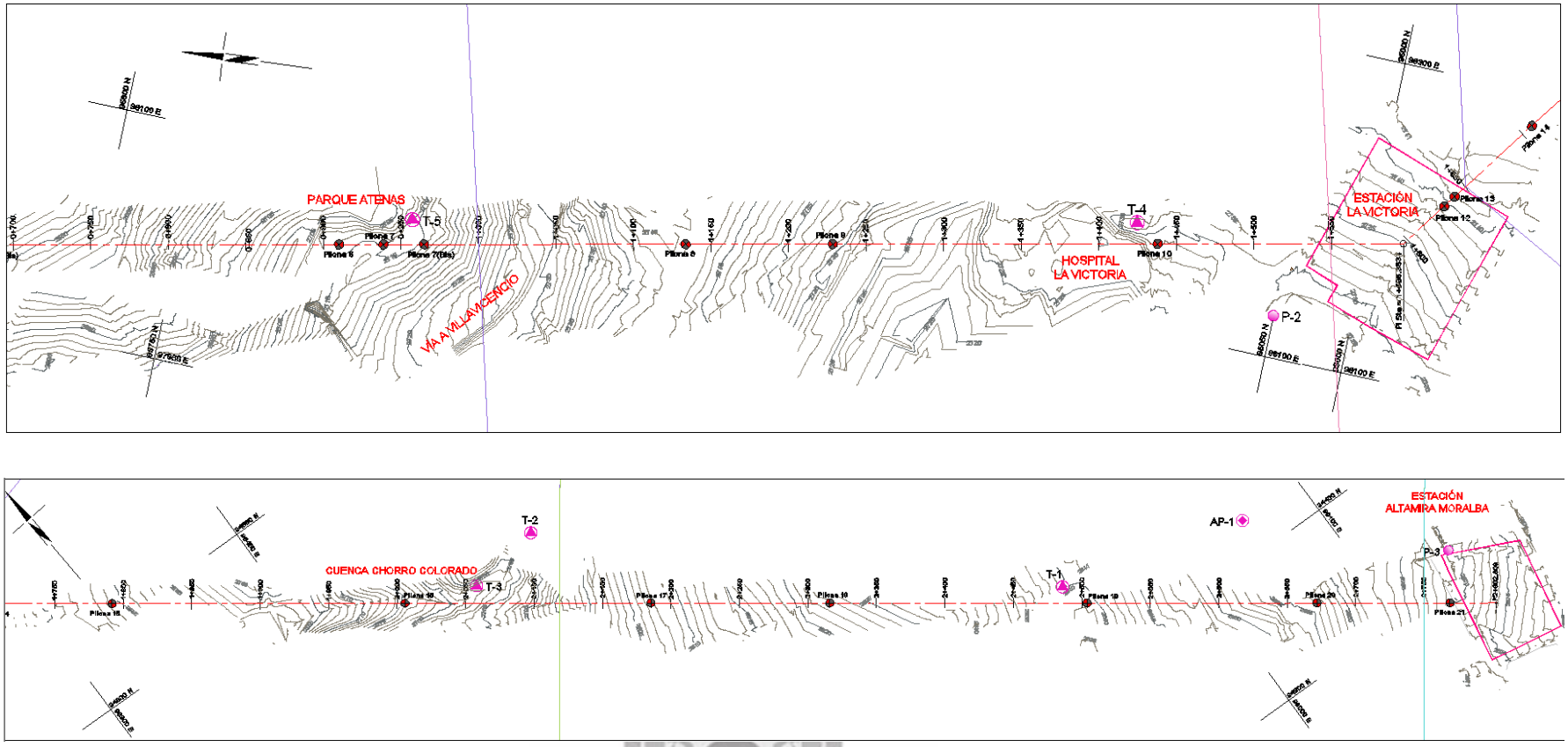


Figura 5-11 Ubicación Perforaciones de Exploración Factibilidad Cable 2013

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

Los perfiles de rigidez obtenidos a partir del ensayo SPT para cada una de las estaciones se pueden observar en las siguientes imágenes:

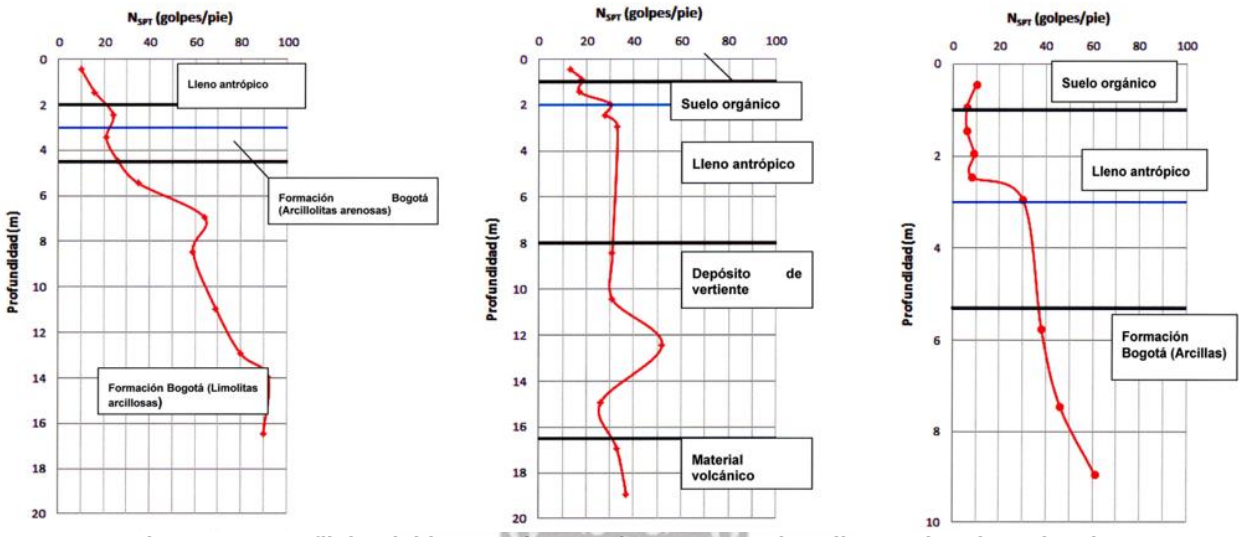


Figura 5-12. Perfil de Rigidez para los Sondeos en P. 20 de Julio, La Victoria y Altamira

De acuerdo con la gráfica anterior, se observa en la estación 20 de Julio, un aumento de la rigidez de los materiales con la profundidad, hasta encontrar la roca a aproximadamente 15.0 m de profundidad. Por el contrario, en la estación La Victoria los materiales presentan rigideces similares en todo el perfil explorado salvo un aumento a los 12.0 m aproximadamente. No se evidencia que se haya llegado hasta nivel de roca en esta perforación. Finalmente, para la estación Altamira, se tienen rigideces similares hasta 2.5 m, profundidad a partir de la cual los materiales aumentan su rigidez con la profundidad en donde el suelo residual de la Formación Bogotá conserva algo de las propiedades de la roca madre.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Los resultados de laboratorio correspondientes a las propiedades índice de los materiales para las 3 estaciones planteadas se observan en las siguientes tablas:

Tabla 5-6. Resultados de Laboratorio Propiedades Índice P. 20 de Julio

Sondeo	Profundidad (m)	Estrato	w (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	IC	Consistencia	% Gravas	% Arenas	% Finos	USCS
P1-M4	3.00	Formación Bogotá	13.29	40.56	17.39	23.17	1.18	Dura	0.00	18.96	81.04	CL
P1-M7	6.5-7	Formación Bogotá	17.37	49.03	26.45	22.58	1.40	Dura	0.00	3.07	96.93	CL-ML
P1-M10	10.5-11	Formación Bogotá	14.30	42.78	22.31	20.47	1.39	Dura	0.00	1.38	98.62	CL
P1-M12	13.5-14	Formación Bogotá	10.35	39.58	21.64	17.94	1.63	Dura	0.00	1.00	99.00	CL
P1-M13	16-16.5	Formación Bogotá	11.49	35.60	19.77	15.83	1.52	Dura	0.00	0.13	99.87	CL

Para la estación 20 de Julio se tienen materiales con humedades naturales constantes en todo el perfil e inferiores al límite plástico, lo que indica un comportamiento sólido de los materiales de la zona. En general, más del 80% son materiales finos y clasificados como arcillas de baja plasticidad.

Tabla 5-7. Resultados Laboratorio Propiedades Índice Estación La Victoria

Sondeo	Profundidad (m)	Estrato	w (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	IC	Consistencia	% Gravas	% Arenas	% Finos	USCS
P2-M10	8-8.45	Depósito de vertiente	26.09	48.62	23.03	25.59	0.88	Media	0.00	1.48	98.52	CL
P2-M12	10.00	Depósito de vertiente	25.20	42.08	22.68	19.40	0.87	Media	0.00	13.28	86.72	CL
P2-M14	12.00	Depósito de vertiente	25.33	44.75	22.73	22.01	0.88	Media	9.99	15.98	74.04	CL
P2-M16	14.5-15	Depósito de vertiente	18.89	34.52	18.37	16.16	0.97	Media	0.00	23.67	76.33	CL
P2-M19	18.5-19.5	Material volcánico	16.44	22.32	-	-	-	-	23.15	20.60	56.25	-

Los materiales de la estación La Victoria presentan humedades comprendidas entre 16% y 26%. Estos valores se encuentran cercanos al límite plástico. Los valores de humedad, límite líquido y límite plástico disminuyen en profundidades superiores a los 14.0 m. Los materiales clasifican como arcillas de baja plasticidad.

Tabla 5-8. Resultados Laboratorio Propiedades Índice Estación Altamira-Moralba

Sondeo	Profundidad (m)	Estrato	w (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	IC	Consistencia	% Gravas	% Arenas	% Finos	USCS
P3-M8	4-5.25	Lleno antrópico	35.26	51.83	21.32	30.51	0.54	Blanda	0.00	2.98	97.02	CH
P3-M9	5.25-5.75	Formación Bogotá	31.85	62.76	30.51	32.25	0.96	Media	0.00	7.21	92.79	CH-MH
P3-M12	8.5-9	Formación Bogotá	25.44	46.26	26.35	19.93	1.05	Dura	0.00	3.80	96.20	CL-ML
P3-M13	9-10.5	Formación Bogotá	26.279	43.076	22.68	20.397	0.82	Media	0.00	0.87	99.13	CL

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD

Para la estación Altamira, se tienen materiales con humedad natural superior a la observada en las otras 2 estaciones, también cercano al límite plástico. De 4.0 m a casi 6.0 m se tiene una capa clasificada como arcilla de alta plasticidad.

De acuerdo con los resultados de laboratorio, los parámetros geotécnicos utilizados en el estudio para fines de diseño se presentan a continuación:

- Estación Portal 20 de Julio: Se identificaron 4 materiales; lleno antrópico, suelos residuales de baja y alta densidad de la Formación Bogotá y roca meteorizada de la misma formación.

Tabla 5-9. Parámetros Geotécnicos Estación Portal 20 de Julio

Estrato	ϕ' (°)	c' (kPa)	γ_h (kN/m^3)
Lleno antrópico	17,0	10,0	17,0
Suelo Formación Bogotá (baja densidad)	25,0	5,0	19,0
Suelo Formación Bogotá (alta densidad)	25,0	10,0	19,0
Roca meteorizada Formación Bogotá	40,0	300,0	22,0

- Estación La Victoria: Se tienen también 4 materiales; suelo orgánico, lleno antrópico, depósito de vertiente y material volcánico. De acuerdo con el estudio, la capa de suelo orgánico será removida, motivo por el cual no se incluyen parámetros de este suelo. Las propiedades del relleno antrópico son las mismas de la Tabla 5-10.

Tabla 5-10. Parámetros Geotécnicos Estación La Victoria

Estrato	ϕ' (°)	c' (kPa)	γ_h (kN/m^3)
Depósito de vertiente	25,0	5,0	18,5
Material volcánico	25,0	5,0	19,0

- Alineamiento: A lo largo del trazado del cable, además de tener los mismos materiales de las demás estaciones, se presentan suelos de la formación Siecha cuyas propiedades se presentan a continuación:

Tabla 5-11. Parámetros Geotécnicos Alineamiento

Estrato	ϕ' (°)	c' (kPa)	γ_h (kN/m^3)
Suelo Formación Siecha	20,0	30,0	19,0

Instituto de Desarrollo Urbano

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y RECOMENDACIONES DE CIMENTACIÓN

De acuerdo con los análisis ejecutados en el estudio, la estación del Portal 20 de Julio, al ser una zona plana, no presenta problemas de estabilidad. Se recomienda cimentar esta estación mediante pilotes de 20.0 m de profundidad que queden empotrados en la roca.

La estación La Victoria, al ser una zona de pendientes moderadas se realizó el análisis de estabilidad respectivo. Se obtuvieron factores de seguridad adecuados pero cercanos al límite para la condición pseudoestática. Recomiendan cimentar a 20.0 m de profundidad sobrepasando el lleno antrópico y el depósito de vertiente encontrado en esta zona.

En la estación de Altamira el nivel de roca está a aproximadamente 15.0 m. Se realizó el análisis de estabilidad puesto que es una zona con pendientes moderadas, obteniendo factores de seguridad adecuados tanto en condición estática como pseudoestática. Se recomienda cimentar la estación y las pilonas cercanas mediante pilotes de unos 10.0 m en donde se alcance el nivel de roca.

En la zona intermedia entre el portal 20 de Julio y la estación La Victoria, se identificó una zona metaestable en condición pseudoestática (FS=1.02), específicamente en la zona de la pilona 4 por lo que recomiendan tener especial cuidado. Plantean que si esta pilona se mueve se obtienen mejores factores de seguridad. Adicionalmente, se modeló con un sistema de contención que consiste en una pantalla de pilotes lo cual aumentaría también el factor de seguridad.

Finalmente, en el tramo intermedio entre la estación La Victoria y Altamira no se tienen problemas de estabilidad salvo en la zona de la pilona 16 en donde en el pasado hubo un problema de estabilidad por lo que se recomienda especial cuidado con esta pilona e implementar medidas de contención y manejo de aguas. La cimentación de esta pilona deberá estar empotrada en roca.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD

6. <u>Informe Estudio de Suelos para Cimentaciones Patio-Portal y Calle 31 Sur</u>

Este estudio ejecutado en el 2009 consistió en la definición de las características físico-mecánicas del subsuelo y recomendaciones de cimentación para la construcción de las estructuras correspondientes al acceso, patio y portal de la troncal TransMilenio en la carrera 10. Para ello, se ejecutaron un total de 24 perforaciones y 14 apiques con profundidades comprendidas entre 2.0 m y 25.0 m. Esta información es de gran importancia, pues brinda datos valiosos y completos sobre los materiales que se encuentran en la zona del inicio del Cable para poder establecer, desde el punto de vista geotécnico, la mejor alternativa de ubicación de la estación de inicio.

DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DEL ENTORNO GEOLÓGICO

De acuerdo con este estudio, en general, en el área se presentan de manera predominante, materiales pertenecientes a la Formación Bogotá (Tpb) que corresponden a “parte superior

predominantemente arcillosa, alternancia de areniscas y arcillolitas en la parte inferior" como se observa en la siguiente figura:

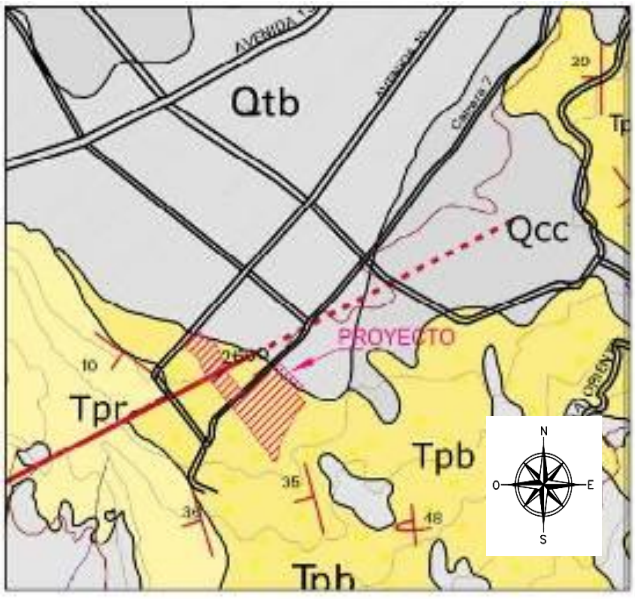


Figura 5-13. Geología General Estudio Portal 20 de Julio.

MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

EXPLORACIÓN DEL SUELO, ENSAYOS DE LABORATORIO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.

Para los diseños del Portal 20 de Julio, las perforaciones se distribuyeron en toda el área de estudio tal y como se observa en la siguiente figura:

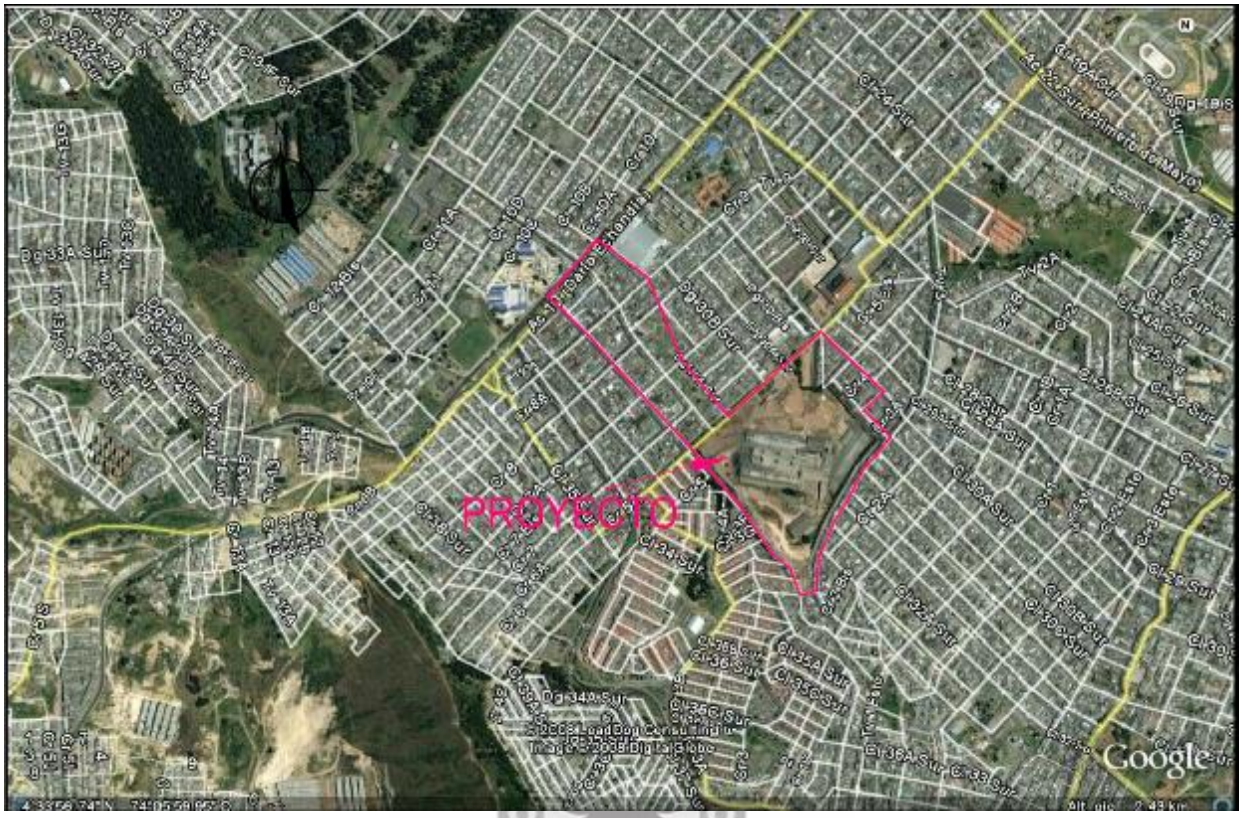


Figura 5-14. Ubicación zona de Estudio Diseños Portal 20 de Julio

En general, el sector del Portal 20 de Julio se caracteriza por tener un perfil de suelo tipo arcilloso con algunas intercalaciones de arenas y gravas en ciertos sectores. Los primeros metros se caracterizan por tener un relleno arcilloso con fragmentos de escombros cuyo espesor varía entre 1.0 y 5.0 m. A profundidades comprendidas entre 10.0 m y 20.0 m se encuentra roca tipo arcillolita y algunos estratos de arenisca. En el ANEXO A de este informe se presentan los registros de perforación de este estudio.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Es probable que, debido a la construcción del Portal 20 de Julio, los primeros metros que correspondían a rellenos antrópicos hayan sido removidos.

La siguiente figura muestra la sectorización geotécnica de la zona de estudio de acuerdo con los resultados de laboratorio y su respectivo análisis:

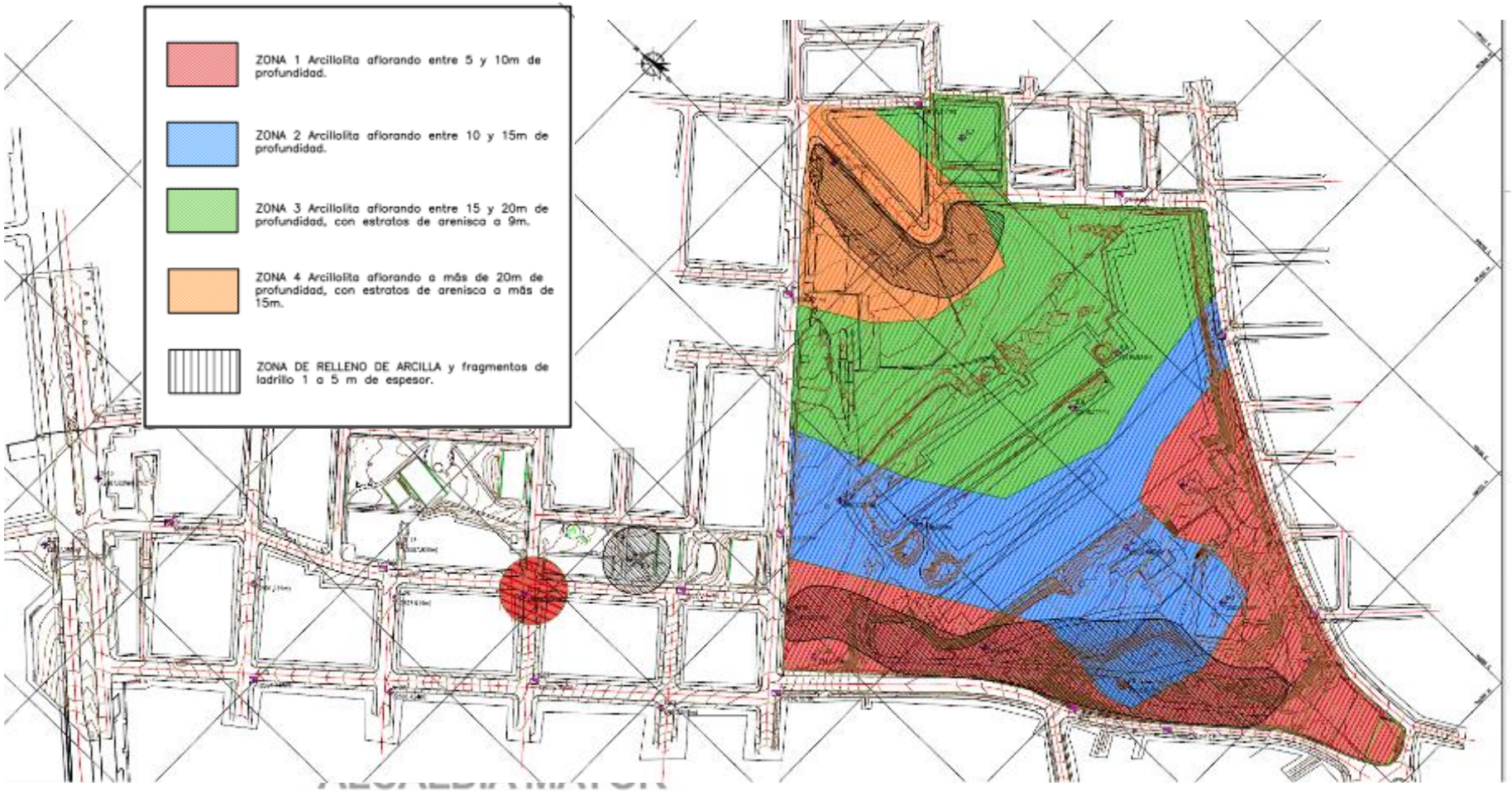


Figura 5-15. Sectorización Geotécnica Portal 20 de Julio

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

De acuerdo con la figura anterior, se observa que el afloramiento de la roca se da a menor profundidad hacia el costado sur-occidental del portal y, a medida que se avanza hacia el nor-oriente, la roca se puede profundizar hasta profundidades superiores a los 20.0 m. Esta situación impacta considerablemente la selección de la alternativa óptima para el inicio del Cable de San Cristóbal. Una ubicación en el sector nor-oriental implica cimentaciones de mayor profundidad incurriendo en costos mayores para la construcción del proyecto.

Los parámetros geotécnicos utilizados en este estudio (ángulo de fricción, cohesión, peso unitario, etc), se determinaron para cada una de las estructuras diseñadas. Para la fase de factibilidad, se utilizará la información base de este estudio para definir parámetros geotécnicos propios para la estación de inicio en el Portal 20 de Julio

CLASIFICACIÓN SÍSMICA DEL SUELO

De acuerdo con el decreto 193 de 2006 de Bogotá, la zonificación sísmica se clasifica entre las zonas: Zona 1A Cerros Orientales y Suroccidentales y Zona 5A Terrazas y conos orientales. El patio portal está ubicado en la zona 1 A. Así, el perfil de suelo se clasifica como S_3 con un coeficiente de sitio de 1.5.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y RECOMENDACIONES DE CIMENTACIÓN

- **Remoción en masa:**

Dentro de las conclusiones del estudio, en cuanto al análisis de remoción en masa, en la zona, han sido identificados algunos problemas relacionados con inestabilidades generales que han comprometido la estabilidad de la ladera cercana, específicamente en el sector del barrio Villa de los Alpes. Los monitoreos realizados en este sector desde el año 2002 hasta la fecha de realización del proyecto (2007) presentaron las siguientes conclusiones:

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

- La zona está compuesta por zonas arcillosas blandas de la formación Bogotá y sus suelos residuales cubiertos por antiguos depósitos de flujos de origen natural además de rellenos inconsolidados de escombros y rellenos conformados por la construcción tanto de la vía como de las viviendas. Estos depósitos son localmente susceptibles a fenómenos de remoción en masa de tipo deslizamiento según la influencia de agua en la masa inestable, espesor del depósito, pendiente de ladera y efectos sísmicos, dejando claro que la mayor parte del corredor de la avenida Villavicencio se encuentra en amenaza alta-media.
- Las velocidades de movimiento son bastante bajas, especialmente en la parte alta, cerca de la antigua avenida Villavicencio. Sin embargo, en los últimos monitoreos realizados, se ha presentado estabilidad de las zonas de estudio, manteniéndose el nivel de habitabilidad de las viviendas.
- La mayoría de las viviendas se han construido sobre antiguos flujos de tierra o deslizamientos inactivos, lo cual ha comprometido su nivel de habitabilidad.
- Los problemas estructurales son causados fundamentalmente por la inestabilidad de los terrenos en donde se ubica la urbanización.

- El deterioro de las viviendas se ve acelerado por las altas precipitaciones en épocas invernales y el flujo de agua subterránea proveniente del rompimiento de tuberías asociadas al movimiento del terreno.

Sin embargo, de acuerdo con el plano normativo de amenaza por remoción en masa, el sector donde se localiza el proyecto en referencia se encuentra en zona de amenaza baja en su mayoría.

- **Cimentación tuberías:**

Para la cimentación de tuberías en la calle 32 sur se calculó la capacidad portante para diferentes diámetros de tubería y profundidades de zanja. Los resultados de capacidad portante se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 5-12. Valores de capacidad portante tuberías calle 32 sur estudio Portal 20 de Julio

Diámetro de tubería	Profundidad de zanja	Ancho mínimo de zanja	Capacidad portante	Factor de carga teórico	Factor de carga recomendado
(m)	(m)	(m)	(ton/m2)	F. C.min	F. C.
1.00	3.00	1.65	7.70	1.27	1.5
1.00	5.00	1.65	13.13	1.86	1.9
1.00	7.00	1.65	25.65	1.75	1.9
1.20	3.00	1.95	7.70	1.27	1.5
1.20	5.00	1.95	13.13	1.89	1.9
1.20	7.00	1.95	25.65	1.82	1.9
1.40	3.00	2.25	7.70	1.20	1.5
1.40	5.00	2.25	13.13	1.83	1.9
1.40	7.00	2.25	25.65	1.84	1.9
1.50	3.00	N. A.	N. A.	N. A.	N. A.
1.50	5.00	2.30	13.13	1.73	1.9
1.50	7.00	2.30	25.65	1.77	1.9

Fuente: Estudio Portal 20 de Julio, 2007

Instituto de Desarrollo Urbano

Para la instalación de tuberías perimetrales y otras vías (tuberías de 12” y 16” en concreto simple) se obtuvieron los siguientes valores de capacidad portante y factores de carga:

Tabla 5-13. Valores de capacidad portante tuberías perimetrales estudio Portal 20 de Julio.

Diámetro de tubería	Profundidad de zanja	Ancho mínimo de zanja	Capacidad portante	Factor de carga teórico	Factor de carga recomendado
(pg)	(m)	(m)	(ton/m2)	F. C.min	F. C.
12.00	3.00	0.80	3.70	1.53	1.5
16.00	5.00	0.90	5.50	1.88	1.9
12.00	3.00	0.80	3.70	1.54	1.5
16.00	5.00	0.90	5.50	1.86	1.9

Fuente: Estudio Portal 20 de Julio, 2007

Los esquemas típicos para la cimentación de redes para el mencionado proyecto, se presentan en la siguiente figura:

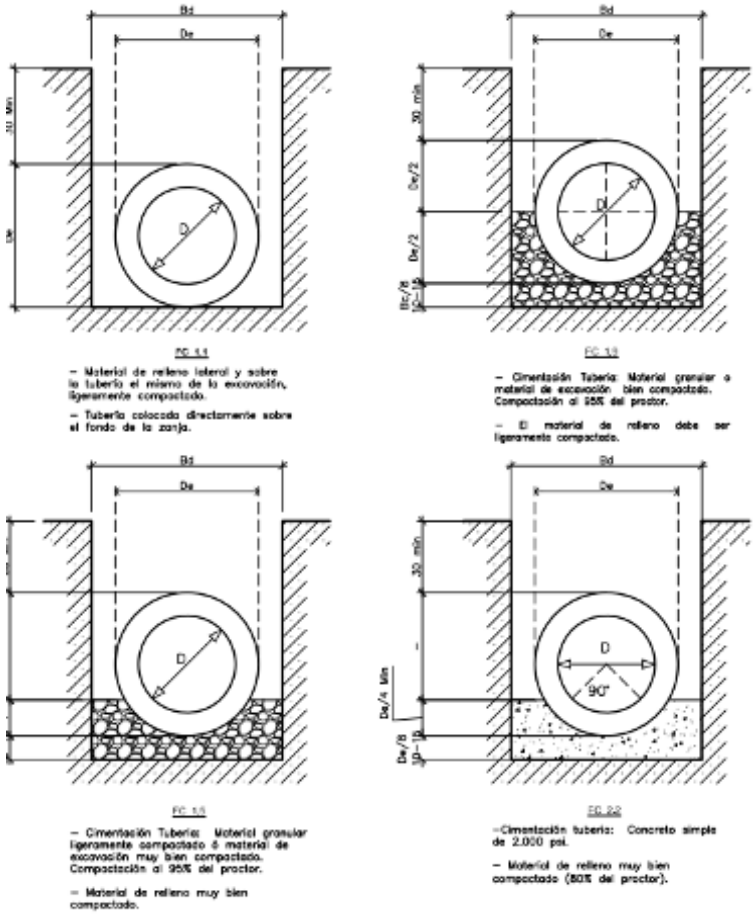


Figura 5-16. Esquemas típicos cimentación tuberías estudio Portal 20 de Julio

Instituto de Desarrollo Urbano

- **Cimentación edificios principales**

Para las cimentaciones de las estructuras principales, se recomendó lo siguiente:

Para el edificio de acceso al portal se plantearon pilotes de 18.0 m de longitud empotrados en el estrato de arcilla inferior mínimo de 4.0 m. Para el edificio plaza de ferias se plantearon pilotes de 14.0 m de longitud empotrados en el estrato de arenisca mínimo 1.0 m.

En ambos casos, se recomendó que estos pilotes se distribuyeran con una separación mínima de 3 diámetros centro a centro.

Tabla 5-14. Capacidades pilotes edificio acceso a Portal

Diámetro	Longitud Efectiva	Cota aprox de cimentacion	Cap. Trabajo	Asentamiento total	Kv pilote	Kh pilote
0.50m	18.50m	2593.50m	74.8ton	0.03m	2493t/m	4200t/m³
0.60m	18.50m	2593.50m	94.7ton	0.03m	3158t/m	3500t/m³
0.80m	18.50m	2593.50m	139.6ton	0.03m	4653t/m	2625t/m³
1.00m	18.50m	2593.50m	191.1ton	0.04m	4778t/m	2100t/m³

Fuente: Estudio P. 20 de Julio,2007

Tabla 5-15. Capacidades pilotes edificio plaza de ferias

Diámetro	Longitud Efectiva MINIMA	Cota aprox de cimentacion	Cap. Trabajo	Asentamiento total	Kv pilote	Kh pilote
0.50m	14.00m	2590.00m	67.0ton	0.03m	2233t/m	3333t/m³
0.60m	14.00m	2590.00m	86.5ton	0.03m	2883t/m	3333t/m³
0.80m	14.00m	2590.00m	131.5ton	0.04m	3288t/m	2625t/m³
1.00m	14.00m	2590.00m	184.7ton	0.05m	3693t/m	2100t/m³

Fuente: Estudio P. 20 de Julio,2007

7. <u>Estudio de riesgos por remoción en masa y de compresibilidad del terreno, evaluación de alternativas de mitigación del riesgo y diseños detallados de las medidas recomendadas para su implementación en el corto plazo en un sector del barrio Atenas de la localidad San Cristóbal de la ciudad de Bogotá D.C.</u>

En este estudio llevado a cabo en el 2006 se realizó un análisis de vulnerabilidad en el barrio Atenas en la localidad de San Cristóbal. Para los análisis, se ejecutaron un total de 13 sondeos con profundidades entre 6.0 y 15.0 m. El barrio Atenas se encuentra ubicado a no más de 200.0 m hacia el oriente del trazado del cable en el tramo intermedio entre el Portal 20 de Julio y la estación de transferencia La Victoria. De esta información se puede extraer características típicas de los materiales presentes en esta zona. Cabe resaltar que estas propiedades han podido cambiar a lo largo de los años debido principalmente a factores antrópicos que se ha venido dando en la zona.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DEL ENTORNO GEOLÓGICO

- **Geología**

La zona trabajada hace parte de la parte baja de la porción sur de los Cerros Orientales de la Sabana de Bogotá y presenta una morfología de ladera con pendientes que varían entre 5 y 25º.

Se encuentra sobre una secuencia sedimentaria que hace parte del flanco occidental del Anticlinal de Bogotá y en la que predominan arcillolitas limosas multicolores, dispuestas en paquetes espesos que conforman la Formación Bogotá. La ladera se encuentra cubierta

por suelos arcillosos de carácter residual y también por materiales fluvioglaciares con predominio de material arcilloso.

Formación Bogotá (Tib): La formación consiste en un conjunto de arcillolitas abigarradas, predominantemente rojas, con intercalaciones de arenitas de unos metros de espesor, pero con gran predominio de las arcillolitas con variaciones locales a limolitas y arenitas lodosas de grano fino. Las arcillolitas son multicolores, con tonos variados de gris, blanco, pardo amarillo y rojo (con predominio de este último); generan suelos residuales de plasticidad media a alta, con variaciones fuertes de comportamiento de acuerdo al estado de humedad en que se presenten.

Las areniscas tienen alto contenido en líticos, son de color blanco a pardo-amarillo, con estratificación plano paralela continua y discontinua y plana no paralela continua. Son de grano fino a medio, esporádicamente grueso, competentes, con cementación moderada, en capas de menos de 3 metros de espesor.

A nivel general, la Formación Bogotá en superficie presenta comportamiento de roca blanda o suelo residual arcilloso, con presencia de deslizamientos rotacionales y traslacionales generalmente de tamaños pequeños (menos de 500 m2), flujos de tierra y reptación (movimientos lentos) que pueden aumentar su velocidad por cambios marcados de humedad (inducidos por causas naturales como precipitaciones por encima de lo normal o por causas antrópicas como desempate de tuberías de acueducto o alcantarillado). La morfología de la zona de estudio en la Localidad de San Cristóbal corresponde a una ladera monoclinal que buza con inclinaciones variables entre 20 y 30º hacia el occidente y que fue modificada en algunos sitios por actividades extractivas.

PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA

- Reptación

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD

En la zona de estudio, este fenómeno debió presentarse en zonas ubicadas sobre litologías lodosas cubiertas por pastos (se infiere lo anterior de la situación actual en zonas no urbanizadas, en cercanías a la zona de estudio). En la actualidad, el cambio de uso de suelo y el control de aguas superficiales y subterráneas relacionado con el cubrimiento urbanístico no permite observar este tipo de proceso.

- Flujos de tierra

Estos procesos se presentan estabilizados o activos por la saturación de aguas en los materiales lodosos transportados por acción fluvioglacial.

- Deslizamientos

Adyacente a la zona de estudio, la fotointerpretación permitió observar la generación de este tipo de procesos en laderas desarrolladas sobre lodolitas y arenitas lodosas en zonas de alta pendiente, producida por el entallamiento de cursos de agua.

EXPLORACIÓN DEL SUELO, ENSAYOS DE LABORATORIO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.

Del estudio geotécnico, se identificaron 4 estratos: Relleno antrópico de fracción predominantemente fina con espesores comprendidos entre 1.0 y 5.0 m. Material transportado de tipo arcilloso y plasticidad media con espesores entre 3.0 y 5.0 m. Suelo residual producto de la alteración de la formación Bogotá con predominio de fracción arcillosa y espesores entre 1.0 a 3.0 m. Finalmente, se encuentra intercalaciones de lodolita con arenisca de la formación Bogotá. Los parámetros geotécnicos de cada uno de los estratos y que fueron utilizados en las modelaciones se observan en la siguiente tabla:

Tabla 5-16. Parámetros Materiales Estudio Barrio Atenas, 2006

Material		Tipo	γ_s [kN/m^3]	γ_t [kN/m^3]	k [m/dia]	λ^* [-]	κ^* [-]	μ^* [-]	c [kN/m^2]	ϕ [°]	E [kN/m^2]	υ
Relleno Antrópico	Máximo	No Drenado	17.42	20.71	0.00001	0.057	0.02	0.0003	37	19	-	-
	Minimo	No Drenado	14.56	18.6	0.00001	0.065	0.032	0.004	16	6	-	-
Material Transportado	Máximo	No Drenado	19.4	22.17	0.000005	0.072	0.02	0.0008	23	22	-	-
	Minimo	No Drenado	12.72	16.96	0.000005	0.102	0.043	0.002	15	11	-	-
Suelo Residual	Máximo	No Drenado	20.4	22.89	0.00001	0.035	0.014	0.0004	25	22	-	-
	Minimo	No Drenado	14.05	17.77	0.00001	0.05	0.035	0.0015	15	10	-	-
Roca	-	No Poroso	24	24	-	-	-	-	200	35	3000000	0.15

MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

Se tienen estratos y parámetros similares a los obtenidos en el estudio de factibilidad del 2013 realizado por INTEINSA

La roca se puede encontrar a una profundidad de unos 11.0 m de manera aproximada.

Según el estudio se concluye que el nivel de amenaza es medio a bajo de acuerdo con las probabilidades de falla obtenidas en una ventana de tiempo de 25 años y el proceso que se está dando en la zona corresponde a una reptación.

8. Elaboración de diseños de obras, presupuestos y especificaciones técnicas en sitios críticos de riesgos inminente por remoción en masa en la localidad de San Cristóbal en la ciudad de Bogotá D.C. Sitio Barcelona I y Barcelona II.

En este estudio llevado a cabo en el 2007, se realizó el análisis de unos deslizamientos en ciertas zonas del barrio Barcelona. Para ello, se ejecutaron perforaciones de hasta 8.0 m junto con apiques y trincheras. Este barrio se encuentra a unos 700.0 m hacia el occidente del Portal 20 de Julio por lo que su información podría servir para conocer de manera preliminar el tipo de materiales que se podrían encontrar en la zona en donde inicia el trazado del cable.

DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DEL ENTORNO GEOLÓGICO

El barrio Barcelona queda localizado en la parte superior de un cerro rocoso, que puede considerarse “aislado”, en el extremo sur de la avenida 10ª. Corresponde a una elevación topográfica de unos 150 m de altura, con pendiente montañosa. Es ligeramente alargado con dirección EW. En la parte media, se aprecia una ligera área ondulosa - aterrazada en el interfluvio de dos canales de primer orden que drenan en sentido contrario. Por encima de este sitio, se prolongan laderas, la norte moderadamente tendida, y la sur, donde se localiza el barrio Barcelona, con pendiente un tanto más acentuada.

Las formaciones geológicas identificadas son las siguientes:

Formación Arenisca de la Regadera (Tar): Esta unidad litológica forma dos crestones importantes a cada lado del valle del río Tunjuelo. El crestón oriental conforma los denominados Altos de La Guacamaya - Juan Rey, y se encuentra disecado por las quebradas Chiguaza y Yomasa.

Los citados cerros se localizan hacia la parte inferior de la vertiente oriental del valle del Río Tunjuelo, y están conformados en su totalidad por la Formación Arenisca de La Regadera, en el sentido de Hubach (1957) y de Julivert (1963).

En el área de interés, conforma el mencionado filo rocoso se dispone de manera transversal a la orientación que se observa en su prolongación hacia el sur. Se trata de una secuencia de arenisca cuarzosa, y cuarzo feldespáticas, no muy consolidadas, moderadamente cementada, ligeramente friable, de grano grueso a ligeramente conglomerática, color rojizo por meteorización, blanca a crema en fractura fresca, estratificación gruesa a masiva, con desarrollo de estructuras sedimentarias, tales como estratificación cruzada, acuñamiento, y truncamiento. El contacto superior con la formación Usme es de condición discordante.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Formación Usme (Tu): Hubach, 1957, denomina a la formación Usme a una secuencia de rocas que afloran cerca de la población de igual nombre al sur de la ciudad de Bogotá.

La formación la define el mismo autor como areniscas con algunas intercalaciones de arcillolitas, con un espesor considerable, al cual se le asigna el nombre de la Arenisca de La Regadera. El resto de la sucesión, consta de arcillolitas de color gris claro, que contiene algunos foraminíferos, con algunas intercalaciones de arenisca de grano medio. El conjunto

de la formación tiene un espesor de unos 500 a 600 m y descansa concordante sobre la formación Bogotá.

Depósitos Coluviales (Qc): Corresponden a una serie de acumulaciones locales, y confinadas hacia la parte alta y media de algunas cuencas hidrográficas muy reducidas.

Se tratan de acumulaciones gravitacionales y de procesos de erosión de tipo laminar. Se componen de bloques de arenisca meteorizada y de arcillolita todo matriz soportada de arcilla y limo, color rojizo a naranja. La compactación y consolidación es baja a moderada.

Se localizan desde el tercio superior de las laderas, y aumentan hacia la base de la vertiente mencionada, y en casos logra identificarse cierta distribución radial del depósito hacia las partes terminales.

Rellenos y Sobrantes de Antrópicos (Qra): En el área central, donde se encuentra la depresión topográfica, e interfluvio EW mencionado, se aprecian bloques de roca en matriz areno-arcillosa, que seguramente corresponden a material arrojado allí para ampliar un tanto la parte ondulosa y actualmente dedicada como zona de recreación y parque.

El sitio de interés se localiza hacia el extremo Nor-oriental del denominado Sinclinal de Tunjuelo – Usme. Resalta la disposición estructural por la presencia de los crestones rocosos que expone la Formación Regadera.

En el sitio de interés y de acuerdo a la cartografía geológica de INGEOMINAS, Plancha 246 – Fusagasugá, el mencionado cerro corresponde a un bloque tectónico del flanco NE del mencionado pliegue. En la plancha 246, se observa como el nivel duro o resistente de la Formación Arenisca de La Regadera, produce la denominada Serranía de Guacamayas-Juan Rey. El truncamiento y rotación es notoria y neta. Esta condición establece en el cerro su condición de una protuberancia fisiográfica más o menos aislada.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

En el borde E, la orientación de la estratificación es consistente con la expresada al sur, con rumbo NS a NNE buzamiento al E y SW. En el borde occidental, la orientación varía, con dirección EW y buzamientos hacia el S. Es decir, totalmente transversal al tren estructural que se aprecia en su prolongación hacia el sur.

Igualmente, en las fotografías aéreas y en la plancha 246, se reconocen una serie de fracturas que se imbrican hacia el sur. INGEOMINAS, las presentan como fallas de tipo inverso.

En los afloramientos observados en el sitio de Barcelona I y Barcelona II, el macizo rocoso no exhibe fracturación severa, y por lo contrario esta se dispone de manera espaciada.

En Barcelona I, el sitio se localiza inmediatamente por debajo del filo rocoso, el cual presenta rumbo EW y buzamiento de 50º a 60º, hacia el S. Esta condición debe mantenerse hacia el sitio de Barcelona II, dispuesto a menos de 100 m de distancia.

El barrio Barcelona queda localizado sobre una ladera rocosa cubierta por suelos coluviales, la pendiente de la superficie corresponde a un sistema de diaclasamiento normal a la estratificación de una masa rocosa de roca sedimentaria.

- **Geomorfología**

El cerro donde se localiza el barrio Barcelona se encuentra disectado longitudinalmente, con desarrollo de drenajes naturales opuestos en condición de retroceso y "piratería". El interfluvio constituye un área ondulada y ligeramente aterrazada.

El barrio se localiza sobre una ladera que se prolonga por encima del mencionado interfluvio. La pendiente es acentuada y se encuentra cubierta por suelos coluviales cuyo espesor varía de 4 a 6 m.

No se aprecian procesos degradacionales activos. Tampoco hay registros de erosión hídrica concentrada.

La intervención urbanística de tipo sub-normal, consiste en la explanación en corte, o mixta de corte y relleno hacia la parte inferior. Las vías de acceso son peatonales en lozas de cemento, y ascensos en escalas. Todas estas estructuras presentan condiciones adecuadas de estabilidad y comportamiento.

- **Geología aplicada**

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

El proceso de inestabilidad se relaciona directamente a los suelos de tipo coluvial. Compuestos por bloques y guijarros de diferentes granulometrías, todos matriz soportados. La matriz, corresponde a arcilla y limo de color rojizo y de compactación de moderada a baja.

La masa rocosa en condición masiva con diaclasamiento de espaciado moderado. La meteorización no genera espesores importantes, ni degradación mecánica severa. Está cubierta por suelos coluviales que intercalan niveles guijosos y de bloques con otros de condición limosa y arcillosa. El espesor máximo de los suelos coluviales es de unos 6 m. Disminuye notoriamente hacia la cima.

Se relacionan a los taludes de corte que se efectuaron para el emplazamiento de las viviendas o en las vías de acceso. Los volúmenes del material desprendido son pequeños a moderados. Se trata principalmente de procesos de deslaves y de erosión local por acción del agua colectada dentro del sistema de viviendas y caminos de acceso.

También se apreciaron algunos tubos y mangueras del acueducto, los cuales pueden estar aportando alguna cantidad de humedad a estos suelos.

Los taludes de corte no exceden los 2.5 m de altura, y no presentan deformación alguna o acanalamiento por proceso hídrico activo, y generalizado.

Es posible que dentro de los suelos coluviales exista un flujo permanente no alto de aguas servidas o de fugas del acueducto que aumente la humedad total dentro del suelo. También puede existir aporte de humedad debido al tipo de construcción.

EXPLORACIÓN DEL SUELO, ENSAYOS DE LABORATORIO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.

Los materiales, así como sus respectivos parámetros de diseño se presentan en las siguientes tablas:

SECTOR BARCELONA I

Tabla 5-17. Parámetros Geomecánicos para Estabilidad Condición Seca y Saturada Barrio Barcelona

Material	Peso Unitario (kN/m3)	Cohesión (kN/m2)	Angulo de fricción
Relleno	18	5	18
Arcillolita	21	52	34
Residual Arenisca	22	60	47

Material	Peso Unitario (kN/m3)	Cohesión (kN/m2)	Angulo de fricción
relleno	20	0	16
Arcillolita	21	5	30
Residual Arenisca	22	60	47

Fuente: Estudio Barrio Barcelona, 2007

SECTOR BARCELONA II

ALCALDÍA MAYOR

Tabla 5-18. *Parámetros Geomecánicos para Estabilidad Condición Seca y Saturada Barrio Barcelona II*

Material	Peso Unitario (kN/m3)	Cohesión (kN/m2)	Angulo de fricción
Coluvión	19	52	34
Residual Arenisca	22	60	47

Material	Peso Unitario (kN/m3)	Cohesión (kN/m2)	Angulo de fricción
Coluvión	21	14	30
Residual Arenisca	22	60	47

Fuente: Estudio Barrio Barcelona, 2007

Teniendo en cuenta la norma NSR98 a continuación se presentan los parámetros de diseño sísmico, para la zona de estudio.

Coeficiente de aceleración pic efectiva (Aa): 0.25g

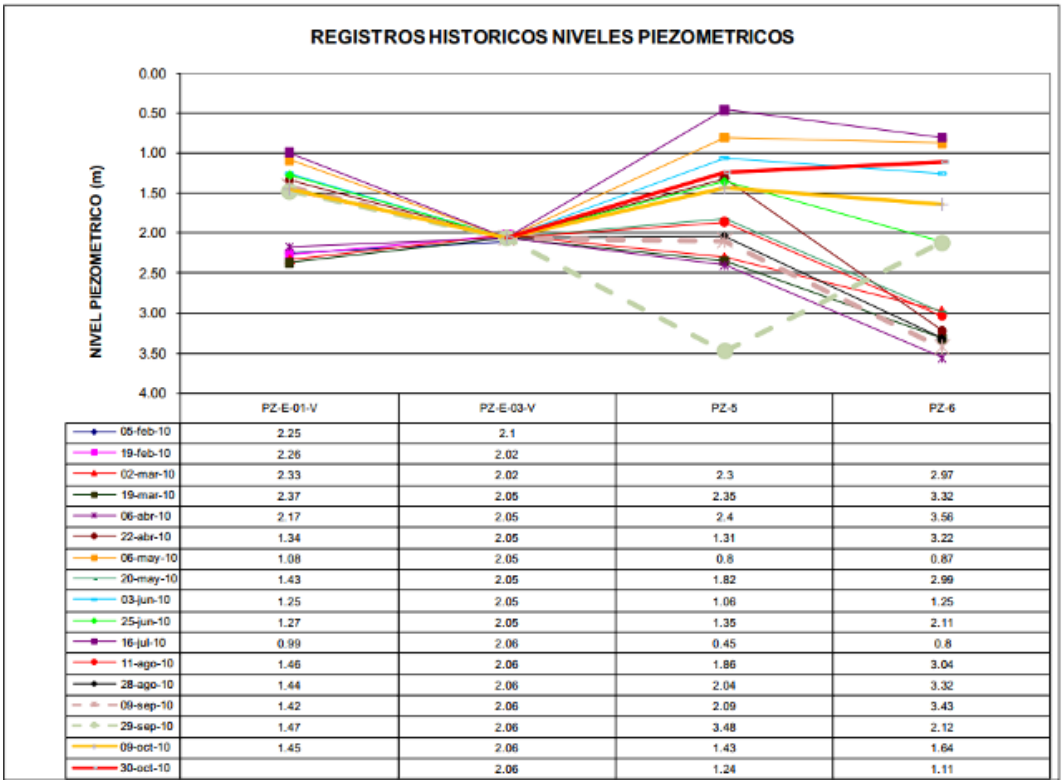
Perfil de suelo para la zona de suelos residual: S2

De acuerdo con el estudio de Microzonificación Sísmica de Santa Fe de Bogotá la parte alta de la zona de estudio corresponde a la Zona 1 (cerros) y la Aceleración máxima (Am) es de 0.25g. Para propósitos de análisis de estabilidad para un periodo de retorno de 50 años se puede utilizar de manera aproximada una aceleración de 0.12g.

9. Monitoreo geotécnico y estructural en el sector de la urbanización Villa de los Alpes de la localidad de San Cristóbal, en Bogotá D.C.

En este estudio ejecutado en el 2010, se realizó el monitoreo geotécnico y estructural de unas viviendas en la urbanización Villa de los Alpes. No se ejecutaron sondeos ni exploración del suelo. Dicha urbanización se encuentra ubicada a unos 150.0 m del trazado entre el Portal 20 de Julio y la Estación La Victoria.

Los resultados del monitoreo del nivel freático se presentan en la siguiente figura.



	PZ-E-01-V	PZ-E-03-V	PZ-5	PZ-6
05-feb-10	2.25	2.1		
19-feb-10	2.26	2.02		
02-mar-10	2.33	2.02	2.3	2.97
19-mar-10	2.37	2.05	2.35	3.32
06-abr-10	2.17	2.05	2.4	3.56
22-abr-10	1.34	2.05	1.31	3.22
06-may-10	1.08	2.05	0.8	0.87
20-may-10	1.43	2.05	1.82	2.99
03-jun-10	1.25	2.05	1.06	1.25
25-jun-10	1.27	2.05	1.35	2.11
16-jul-10	0.99	2.06	0.45	0.8
11-ago-10	1.46	2.06	1.86	3.04
28-ago-10	1.44	2.06	2.04	3.32
09-sep-10	1.42	2.06	2.09	3.43
29-sep-10	1.47	2.06	3.48	2.12
09-oct-10	1.45	2.06	1.43	1.64
30-oct-10		2.06	1.24	1.11

Figura 5-17. Variación de Niveles Piezométricos Estudio Villa de los Alpes, 2010

Adicionalmente, los resultados de algunos de los inclinómetros utilizados para monitoreo, se observan en las siguientes figuras:

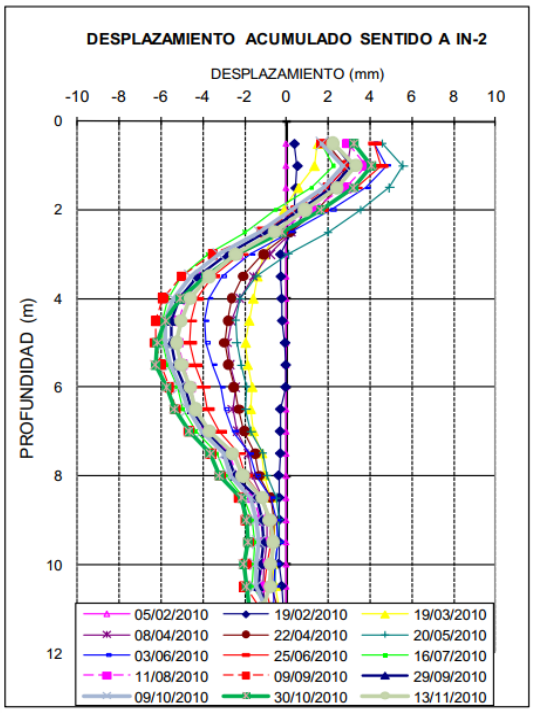


Figura 5-18. Desplazamiento Acumulado Inclinómetro IN-2 Estudio Villa de los Alpes, 2010

Instituto de Desarrollo Urbano

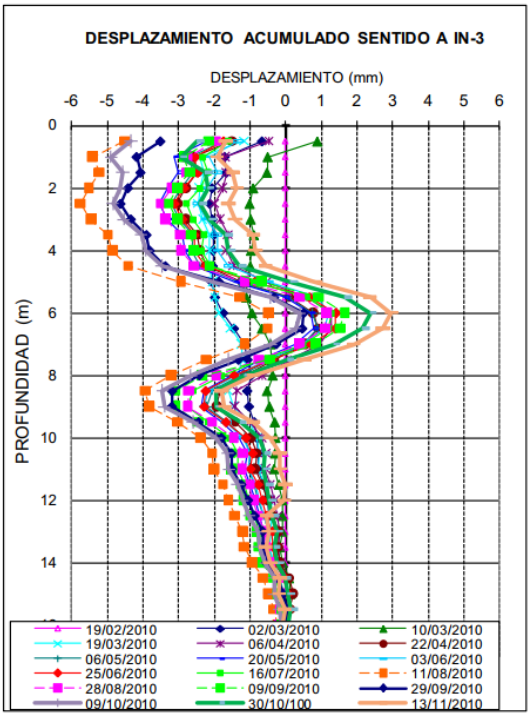


Figura 5-19. Desplazamiento Acumulado Inclinómetro IN-3 Barrio Villa de los Alpes, 2010

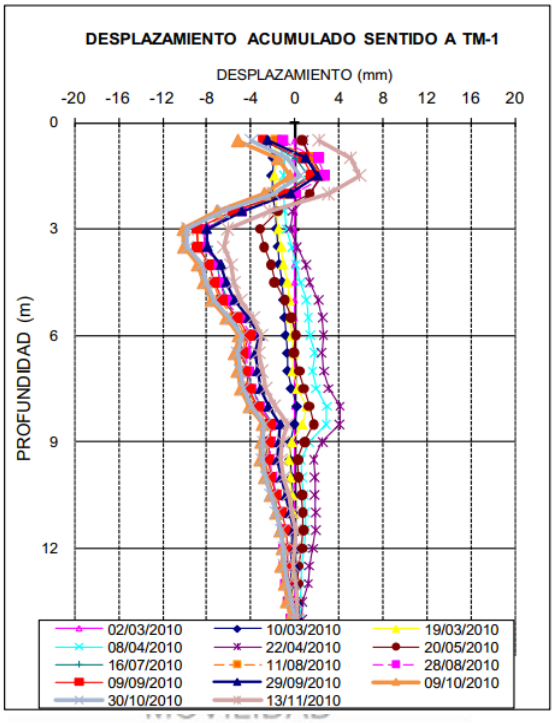


Figura 5-20. Desplazamiento Acumulado Inclinómetro TM-1 Barrio Villa de los Alpes, 2010

De las figuras anteriores se observa movimientos localizados a aproximadamente 2.0 m, 5.0 m y 9.0 m.

10. Estudio de suelos de la zona baja de la urbanización Bosque de los Alpes correspondiente a las manzanas 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 (Etapa I) IDIGER.

Para este estudio realizado en el año de 1996, se realizaron 17 sondeos de barreno manual hasta profundidades máximas de 7.0 m, 2 apiques de profundidades máximas de 1.5 m y 2 trincheras para investigación visual de estratigrafía del terreno.

En campo se realizó SPT, compresión inconfinada in situ con penetrómetro y clasificación visual.

En laboratorio, para conocer las características físicas del suelo y su clasificación, se realizaron ensayos de contenido de humedad y límites de Atterberg. Para las características mecánicas de resistencia y compresibilidad de los estratos representativos se realizaron ensayos de compresión inconfinada y consolidación.

El tipo de suelo encontrado en esta zona corresponde a suelos y rocas de la ladera de los cerros orientales, donde predominan afloramientos de la formación Bogotá (Arcillas rojizas y grises), de igual manera cuenta con algunos depósitos de ladera y depósitos coluviales.

El informe detalla que previamente en la zona del proyecto fue adecuada con rellenos controlados en 1994, donde excavaron suelos orgánicos naturales y se rellenó con suelos arcillosos y arenosos provenientes del movimiento de tierras del mismo lote.

A continuación, se realiza una breve descripción de los materiales encontrados en este estudio:

- **Relleno de arcilla gris oscura y gravas intercaladas CL**

Espesor promedio 3.3 m hasta un máximo de 4.5 m de profundidad.

Tabla 5-19. Características relleno de arcilla con gravas

CARACTERISTICA		VARIACION
Propiedad:		
Humedad natural	%	21-32
Límite líquido	%	38-54
Límite plástico	%	13-24
Indice de plasticidad	%	18-40
Resistencia:		
Compresión inconfinada in situ	Kg/cm^2	0.5 a 1.5
Penetración estándar	golpes/pie	3 a 22

Fuente: IDIGER-Estudio Bosque de los Alpes, 1996

- **Arcilla gris con lentes morados CL**

Estrato por debajo del anterior de espesor de 1.0 m alcanzando una profundidad máxima de 7.0 m que fue la máxima excavada.

Tabla 5-20. Características arcilla gris

CARACTERISTICA		VARIACION
Propiedad:		
Humedad natural	%	11-27
Límite líquido	%	38-71
Límite plástico	%	12-23
Indice de plasticidad	%	21-48
Resistencia:		
Compresión inconfinada in situ	Kg/cm^2	0.75 a >4.5
Penetración estándar	golpes/pie	6 a 110

Fuente: IDIGER-Estudio Bosque de los Alpes, 1996

12. **Informe sobre los aspectos de Riesgo Geotécnico del predio del Proyecto Portón Real (IDIGER)**

Este estudio realizado en el año de 1997 se encuentra ubicado a aproximadamente 1.0 km al nor–este del Portal 20 de Julio. A continuación, se hace una breve descripción de lo encontrado en este estudio.

- **Geología local**

Se identifico unas zonas de reptación de coluviones superficiales de aproximadamente 9 Ha donde se encuentra el barrio Montebello y Granada sur, se sugieren movimientos en dirección este-oeste de esta superficie inestable, este movimiento está asociada con altos escarpes de 20m de altura que dividen la zona alta de la baja donde se realizan explotaciones de arcillas para la fabricación de ladrillo.

No se identifican problemas de alto riesgo, ya que no amenaza con eventos súbitos y colapsos intempestivos, sino que genera deterioro lento pero continuo de las edificaciones.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

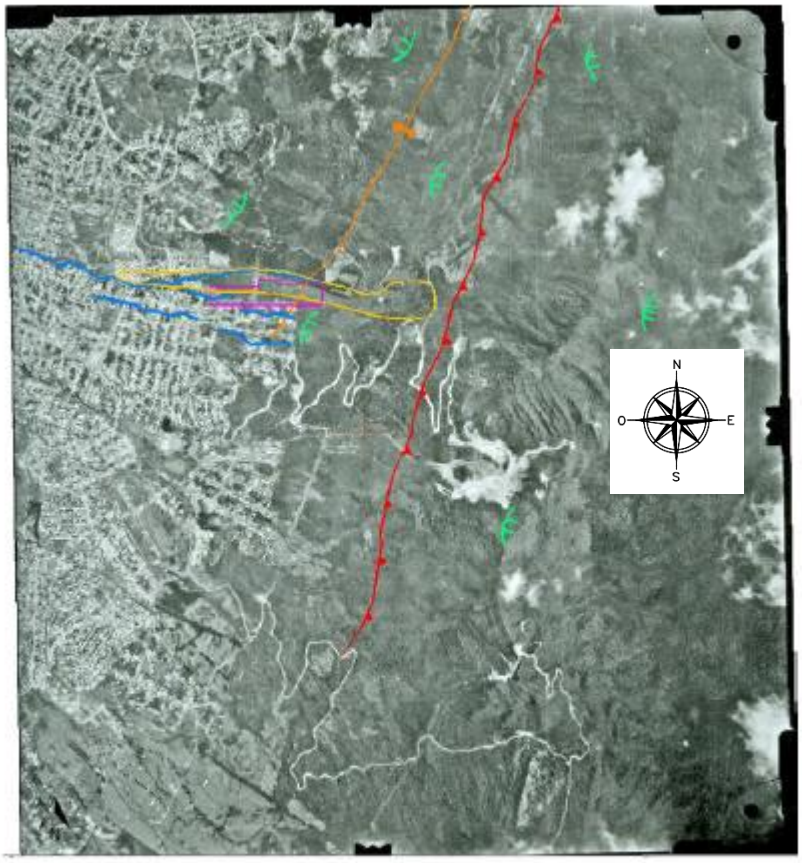
Además, se identifican dos horizontes bien definidos y con las siguientes características: Horizonte A, constituido por rellenos heterogéneo y un Horizonte B, constituido por arcillas y limos.

- **Sondeos**

Luego de analizar los diferentes sondeos que se han realizado en zonas cercanas al Portón Real por parte de diferentes entidades competentes en geotecnia, se logra evidenciar que en esta zona se han realizado más de 25 sondeos en diferentes predios, estos sondeos se han realizado a una profundidad entre los 5m y los 7m de profundidad, arrojando resultados en común, donde se logran evidenciar presencia de arcillas con plasticidad variable con consistencias firmes, en algunas de ellas se encuentra presencias de gravas.

13. **Diseño Detallado de Obras de Mitigación de Riesgo por Movimientos en Masa en la Urbanización Ciudadela Santa Rosa Localidad de San Cristóbal en Bogotá D.C**.

Este estudio, ejecutado a aproximadamente 100.0 m hacia el norte de la zona de Moralba, consistió en la evaluación geológica y geotécnica de los mecanismos de deslizamiento de la zona de estudio y la determinación de obras de mitigación para controlar la inestabilidad. Para ello, se realizó un análisis multitemporal de los procesos de remoción en masa a partir de fotografías aéreas con el fin de conocer el avance histórico de los procesos desencadenados en el barrio. La siguiente figura muestra una de las fotografías aéreas analizadas en el estudio:



CONVENCIONES					
	Área de Estudio		Red de Drenaje		Falla de Cabalgamiento
	Eje Anticlinal		Buzamiento		Deposito

Figura 5-21. Vuelo C-2128, Año 1984, Escala 1:18.300, Foto 151.

DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DEL ENTORNO GEOLÓGICO

- **Geología:**

El corredor de la Cordillera Oriental, inmerso en la cuenca Los Toches, contexto específico de este proyecto, se enmarca en el bloque estructural sur de la Sabana de Bogotá sobre dos provincias geomorfológicas: los Cerros Orientales y la Sabana de Bogotá. El marco de trabajo general, definido por el cuadrángulo, cuyos vértices opuestos responden a las coordenadas: 96670.3661 m N y 98839.8142 m E, si se trata de la esquina suroccidental, y 93627.9515 m N y 100939.9518 m E, en lo que respecta a la esquina nororiental, tiene influencia de la secuencia de rocas sedimentarias que van desde el Cretáceo Superior (Grupo Guadalupe) pasando por alternancias terciarias (Formación Guaduas, Formación Cacho y Formación Bogotá), hasta depósitos del Terciario tardío y del Cuaternario no

litificados, posteriores al levantamiento de la Cordillera Oriental, como las formaciones Tilatá, Río Tunjuelo y Sabana.

En particular el valle de la quebrada Chiguaza y de su tributario La Paseito yace sobre la Formación Bogotá y sobre materiales fluviales con influencia torrencial. El dominio de los suelos residuales, gestados por la meteorización de las rocas preexistentes (en especial de las lodolitas o de las arcillolitas), de los depósitos de ladera y de los suelos negros orgánicos, que incuban una fuerte influencia del vulcanismo ocurrido durante los últimos 3 Ma, aunque menos notorio, también tiene lugar. Producto de la fuerte intervención antrópica abundan amplios y extensos rellenos, emplazados para adecuación urbanística. Al margen de lo anterior, se levantaron datos estratigráficos y estructurales de las unidades geológicas aflorantes en la periferia con el objeto de soportar los modelos geológicos.

Con respecto a la tectónica, sobresale un sistema de fallamiento preferente con dirección aproximada Norte – Sur, gobernado por la principal estructura geológica de la zona: la Falla de Bogotá. Adicional a este grupo de pliegues y fallas, se abre paso un sistema de fallamiento superpuesto, con dirección predominante NW y con deformación principal de tipo sinestral y un eje anticlinal, con orientación NE-SW.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

La secuencia rocosa está armada por alternancias de niveles arcillosos o lodosos y arenosos tal y como se describe a continuación.

Formación Bogotá-Niveles Arcillosos:

Son las unidades más representativas de las vertientes, no sólo por su ocupación espacial sino porque en ellas recae el control morfodinámico y estratigráfico: entallan las caras expuestas en los taludes, y reciben los más relevantes cuerpos de rellenos antrópicos.

Formación Bogotá-Areniscas:

Es una sucesión de areniscas cuarzosas, grano crecientes, macizas y de cemento arcilloso y con contenido de óxidos de hierro y micas. Sus colores son blanco, blanco-amarillento, amarillo y violáceo, matizados por trazas ocres y rojizas; son friables; el grano es de tamaño fino a medio y son bien seleccionadas (i.e. el grano es uniforme). La resistencia fluctúa de blanda a moderadamente dura y yacen intercaladas con los paquetes de arcillolitas. Las capas no siempre son continuas (posiblemente resultado de la explotación o de las variaciones laterales de facie) y sus espesores divagan desde los dos metros hasta los cuatro metros.

- **Geomorfología:**

Santa Rosa descansa en la franja alta de una sucesión de laderas denudacionales, plegadas (inmersas en el Anticlinal de Zipa), con buzamientos hacia el occidente o hacia el

oriente, acorde con el flanco del pliegue que se trate, originadas en su arreglo morfológico primario por la inversión de la secuencia lito estratigráfica cretáceo-terciaria de los cerros orientales de la ciudad (pues yace en el corredor de influencia de la Falla de Bogotá), y seguidamente por eventos fluviales y de glaciación, relacionados con el retroceso de las masas de hielo. Las laderas naturales tenían inclinaciones promedio de 17°, superiores en tres grados a la vigentes hoy día, diferencia explicada por el accionar antrópico a manera de cortes y de rellenos para minería en los materiales de cobertura y en el substrato rocoso, y para urbanización. Alteraciones últimas forjadas en las dos últimas décadas del siglo pasado.

EXPLORACIÓN DEL SUELO, ENSAYOS DE LABORATORIO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.

Adicionalmente, con el fin de caracterizar geotécnicamente los materiales involucrados, se realizaron 9 sondeos mecánicos de hasta 30.0 m, 2 sondeos manuales entre 3.70 m y 5.80 m, 10 apiques con profundidad máxima de 1.50 m, 7 líneas de refracción sísmica, 4 tomografías eléctricas y 2 resistividades eléctricas. El nivel freático variaba desde 0.80 m hasta los 11.0 m en algunas zonas.

Del análisis de la información de la campaña de exploración del subsuelo, se identificaron una serie de materiales clasificados como: Depósitos de deslizamiento, rellenos antrópicos, depósitos antrópicos mineros, depósitos coluviales, suelos residuales arcillosos y finalmente, lodolitas y areniscas de la formación Bogotá. Algunas de las propiedades geotécnicas de estos depósitos identificados, se observan en las siguientes tablas:

Tabla 5-21. Parámetros Depósitos de Deslizamientos

PROPIEDAD		VALOR	CALIFICACIÓN
Clasificación (USCS)		CH****, CL***	
Contenido de Humedad, w (%)		9.50*** – 29.30***	Bajo a medio
Límite Líquido, LL (%)		25.9*** – 60.0	Baja a alta compresibilidad*
Índice de Plasticidad, IP (%)		11.30*** - 40.0	Bajo a alta*
Gravedad Específica, Gs		2.52 - 2.76***	
Peso Unitario Húmedo (Ton/m³)		1.45 - 2.12****	
Peso Unitario Seco (Ton/m³)		1.43*** - 1.88****	
Granulometría	G (%)	1.70**** – 11.60***	
	A (%)	21.61**** - 41.50***	
	F (%)	46.80*** – 78.00	
Resistencia a la Compresión Simple, q_u (Kg/cm²)		0.191*** – 3.260****	Muy blanda a muy firme
Coeficiente de Compresión, Cc (Kg/cm2)		0.18***	
Coeficiente de Recompresión, Cr		0.04***	
Cohesión, c (Kg/cm2)		0.06*** – 0.40(CD)****	
Ángulo de Fricción, ϕ (°)		15.70 (CD)*** - 33.37 (CD, S9M3)	
Cohesión Residual, c_r (Kg/cm²)		0.00 (CD)****	
Ángulo de Fricción Residual, ϕ_r (°)		30.80 (CD)****	

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Tabla 5-22. Parámetros Relleno Antrópico Urbanístico Seleccionado

PROPIEDAD		VALOR	CALIFICACIÓN
Clasificación (USCS)		CL, CH	
Contenido de Humedad, w (%)		8.50 - 33.00	Bajo a Medio
Límite Líquido, LL (%)		18.28 - 67.00	Baja A Alto
Índice de Plasticidad, IP (%)		12.00 - 40.00	Bajo a Alto*
Gravedad Específica, Gs		2.59 - 2.68	
Peso Unitario Húmedo (Ton/m³)		1.64 - 2.29	
Peso Unitario Seco (Ton/m³)		1.11 – 2.13	
Granulometría	G (%)	0**** - 18.6****	
	A (%)	4.6**** – 41.2****	
	F (%)	58.8**** – 80.9	
Resistencia a la Compresión Simple, q_u (Kg/cm²)		0.80 – 1.80	Media a Firme
Coeficiente de Compresión, Cc (Kg/cm2)		0.10	
Cohesión, c (Kg/cm2)		0.14 – 0.49	
Ángulo de Fricción, ϕ (°)		13.72 (CD, S3M4) – 29.00 (CD, S1M4)	
Cohesión Residual, c_r (Kg/cm²)		0.00 (CD)**** - 0.06 (CD)***	
Ángulo de Fricción Residual, ϕ_r (°)		13.72 (CD, S3M4) - 27.7 (CD)****	

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.

Tabla 5-23. Parámetros Suelos Residuales

PROPIEDAD	VALOR	CALIFICACIÓN
Clasificación (USCS)	CL	
Contenido de Humedad, w (%)	25.00	Medio
Límite Líquido, LL (%)	43.00 – 44.00	Medio
Índice de Plasticidad, IP (%)	23.00 – 24.00	Medio
Peso Unitario Húmedo (Ton/m³)	2.02*** – 2.48***	
Peso Unitario Seco (Ton/m³)	1.82*** – 1.99***	
Resistencia a la Compresión Simple, q_u (Kg/cm²)	3.184***	Muy firme
Cohesión, c (Kg/cm2)	0.39 (CD)***	
Ángulo de Fricción, ϕ (°)	25.70 (CD)***	
Cohesión Residual, c_r (Kg/cm²)	0.16*** – 0.40***	
Ángulo de Fricción Residual, ϕ_r (°)	24.10*** – 28.80***	

PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA

Sus expresiones hoy día son de amplia representatividad y significado, puesto que ponen de manifiesto la susceptibilidad de las laderas y dan una idea (gruesa por demás) de los estados de amenaza. Se identificaron dos deslizamientos traslacionales, y un flujo de tierra. Su actividad y desarrollo, expresada en estado y distribución, es activo-avanzado (AA), activo simple (AS), y activo-confinado (AC). Tienen profundidades de hasta 9.5 m, con anchos en la parte media de cercana a los setenta metros, y entre cuatro y seis metros para los restantes; y longitudes de hasta trescientos veinte metros. Los escarpes principales tocan los cinco metros, si se trata del principal, o se calcan con alturas inferiores al metro y medio, en lo que atañe a los menores. Su movilización es facilitada por el pronunciado

buzamiento de las laderas, por el manejo inadecuado del drenaje, por la saturación parcial o por la presurización, por las altas pendientes del contacto suelo-roca (superiores a los ángulos de fricción básicos del lleno) y por el reblandecimiento del material.

De este conjunto de eventos, el de mayor envergadura y trascendencia en el complejo moviliza cerca de 16.000 m_2, su superficie de deslizamiento concuerda con el contacto suelo-roca, su movilización se da a lo largo de las superficies más débiles, y su capacidad de destrucción redunda en daños leves a la infraestructura pluvial y a las viviendas, adicionado a la pérdida de vegetación y a la percepción del incremento de la vulnerabilidad.

CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS

La precipitación promedio anual multianual en la cuenca es del orden de 1098.25mm, el régimen pluviométrico es esencialmente bimodal como se evidencia en los histogramas de precipitación media anual. La temperatura media oscila entre los 12.3°C y los 13.2°C, la humedad relativa media es del orden de 80%, y la vegetación predominante responde al retamo espinoso y a arbustos de poca altura.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Santa Rosa está irrigada y limitada por la quebrada Los Toches. Ella discurre al norte de la urbanización, su cuenca drena un área de 28.59 Ha, y su perímetro es de 3 km. La longitud del cauce principal es de cercano a los 1320 m, su pendiente ponderada, derivada por el método de Taylor – Schwarz, es del orden del 14%. Pero Los Toches no es el único drenaje, otras quebradas surcan al sur, y hacen parte de una cuenca vecina. En la siguiente figura se plasman los rasgos morfométricos de las subcuencas aferentes a la urbanización:

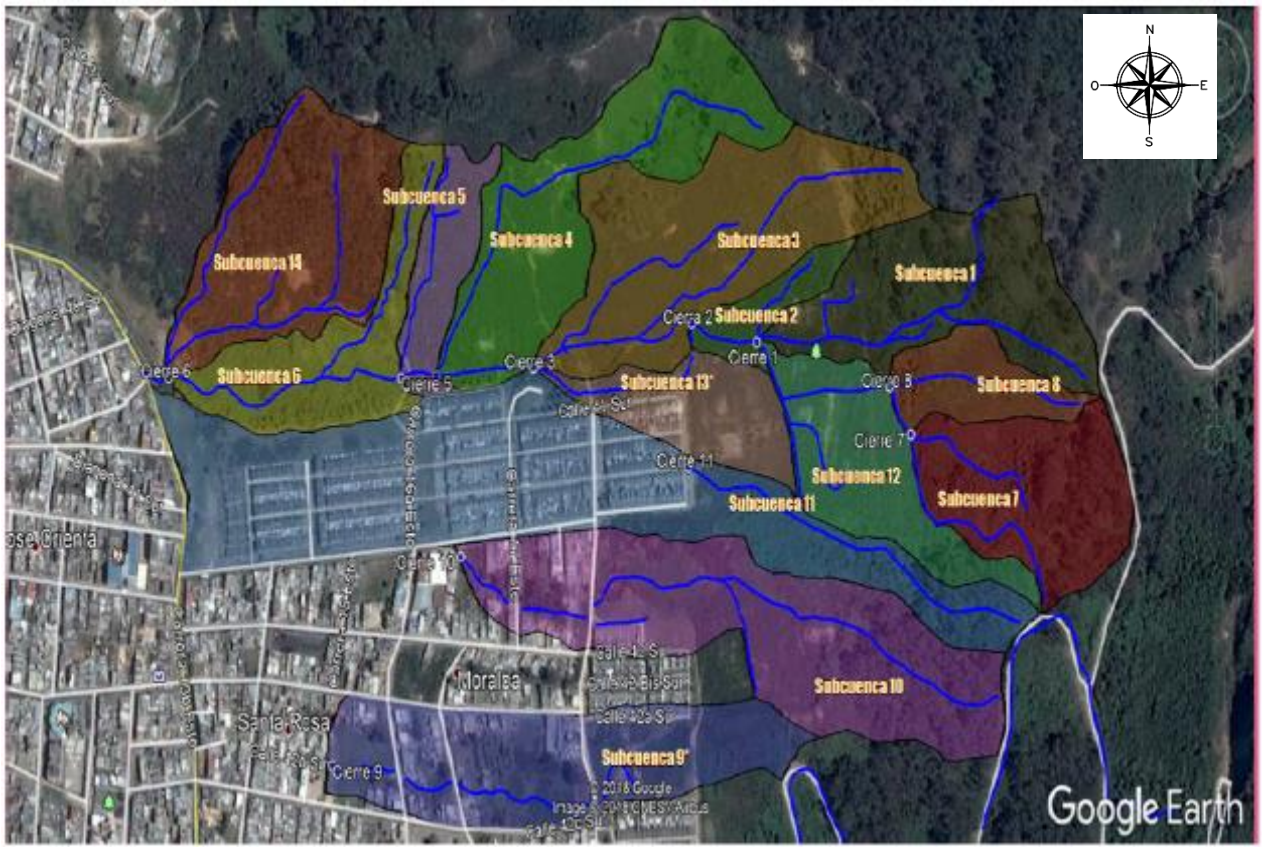


Figura 5-22. Red de Drenaje en la Ciudadela Santa Rosa

Dada la ubicación de la urbanización Santa Rosa con respecto a la estacion de Altamira, unos 200 m hacia el nor oriente, los procesos de inestabilidad presentes en esta área no repercuten en la estabilidad de la estación proyectada; sin embargo, la infomración geotécnica, geológica, geomorfológica e hidrológica es util como referencia para el área de la estación.

14. Estudios Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá

Se consultó la base de datos de perforaciones ejecutadas por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá en su Sistema de Información Geotécnica (SISGEO). La mayoría de información corresponde a apiques entre 1.0 m y 3.0m que no representan mayor utilidad para el proyecto desde el punto de vista geotécnico y de riesgos. Se identificaron 5 sondeos de más de 5.0 m de profundidad dentro del área de influencia del proyecto tal y como se observa en la siguiente figura:

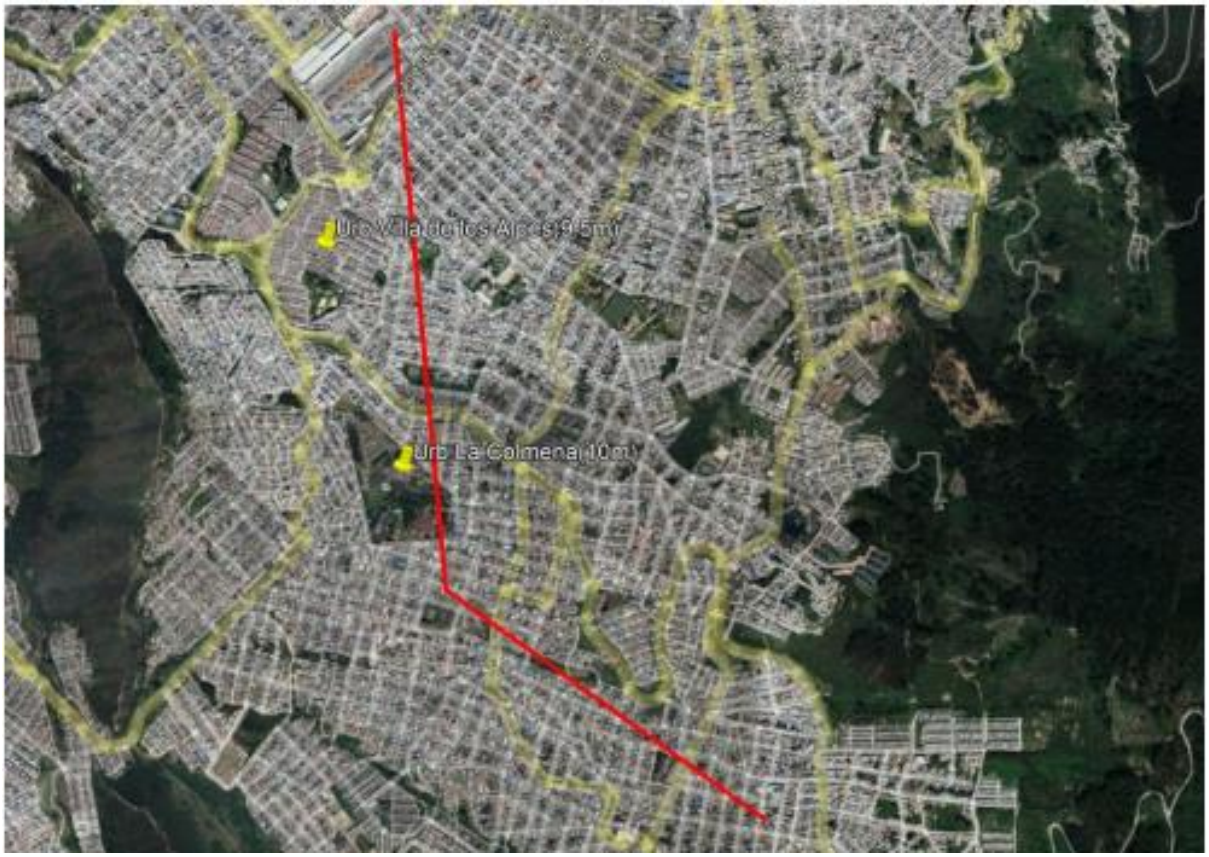
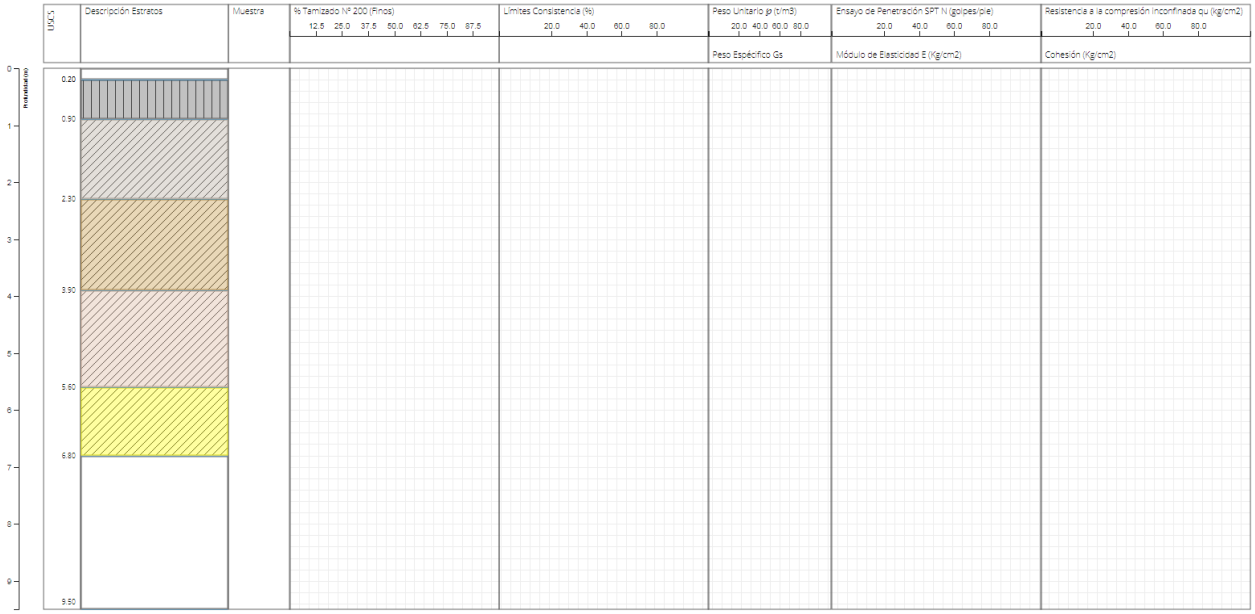


Figura 5-23. Ubicación sondeos EAAB. Fuente: Adaptación SISGEO y Google Earth

La información en el SISGEO permite visualizar únicamente localización, profundidad, nivel freático y materiales encontrados. No hay información asociada a los estudios geotécnicos, registros de perforación, registros de resultados de laboratorio ejecutados ni características mecánicas de los materiales. Ya que se realizó expoloración directa dentro del área de influencia de cada estructura del proeycto del cable, la información que se peuda obtener de esta fuente es irelevante a fin de la caracterización detallada.



Estratos:

Profundidad Inicial	Profundidad Final	Materiales	Colores
0	0.2	Capa Vegetal	
0.2	0.9	Limo Arcilloso	Negro, Vetas Carmelitas
0.9	2.3	Arcilla	Habano Con Vetas Negras Y Grises
2.3	3.9	Arcilla	Carmelita Con Vetas Grises
3.9	5.6	Arcilla	Habano Con Oxidaciones, Vetas Grises
5.6	6.8	Arcilla	Amarillo
6.8	9.5	Arcillolita	

Figura 5-24. Información Obtenida en el SISGEO

6 CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DEL PROYECTO.

6.1 INTRODUCCIÓN

Este informe Geológico y Geomorfológico de la fase de diseño, a escala (1:1000 y 1:250) consolida la evaluación del corredor (200 m., de ancho) a lo largo de la alternativa definitiva seleccionada por el grupo de consultores, previas visitas de verificación de campo, con participación activa del grupo de consultoria de Geología y Geotecnia.

El alcance considera los resultados obtenidos en la fases de compilación de la información disponible (categorización, analisis y síntesis) la fotonterpretación de imágenes de sensores remotos, el analisis multitemporal y el informe de de factibilidad obtenido de la consulta realizada a Instituciones del estado como el SGC, el IDIGER, consultores e investigadores privados y el control de campo efectuado por el grupo de Geología y Geotecnia del proyecto, información debidamente procesada y entregada en las fases definidas en el avance del proyecto.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Dadas las condiciones de intervención urbana en un porcentaje estimado, mayor del 90% del trazado, y la no existencia de afloramientos de roca meteorizada y roca (in situ) en el corredor definido, fue necesario hacer enfasís en los resultados obtenidos en las fases de compilación y sintesis de la información disponible, el analisis multitemperal y los resultados obtenidos en las las perforaciones exploratoria eectuadas tanto en el portal del 20 de julio como en las estaciones de la Victoria y Altamira y en c/u de las Pilonas poyectadas.

Por lo tanto, este capitulo describe la cartografía geológica y geomorfológica escalas 1:1000 definida en los terminos de referencia como (regional) y la descripción detallada a escala 1:250; realizada a lo largo del corredor de incidencia del proyecto.

6.2 Metodología

Tomando como referencia el MDT de planeación Distrital de Bogotá. D.C., de 1 m. de resolución, el uso de Google Earth y el Sistema de Información Geográfica ArcGIS, se consolido un modelo en 2D y 3D de un corredor de 100 m. de amplitud, en donde se evidencian las condiciones morfológicas que junto con la información obtenida en el control de campo y los resultados de la sintesis de la información compilada se consolido el mapa escala 1:1000, (Regional).

Posteriormente, con la descripción detallada de los testigos de las 36 perforaciones exploratorias realizadas a lo largo del corredor, se realizo la elaboración de las respectivas columnas litoestratigráicas a escala 1:100, su proyección en profundidad (a travez del corredor), discretizando las condiciones del subsuelo y obteniendo una visión en 3D

(Superficie Vs profundidad) a lo largo del corredor del proyecto labor que se efectuo a escala“Detallada”. 1:250.

Tomando los productos obtenidos descritos en los párrafos anteriores, se proyectó el perfil litoestratigráfico representativo a escala (1:250) a lo largo del corredor que permite definir los materiales geológicos superficiales existentes y las condiciones litoestratigráficas proyectadas en profundidad, a lo largo del corredor Visión 3D.

Consecutivavente, se efectuó el control de campo que permitió ajustar las condiciones geológicas de superficie y la cartografia de los procesos morfodinámicaos identificados a lo largo del corredor de interés, Figura 6-1, Anexo L1.

ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

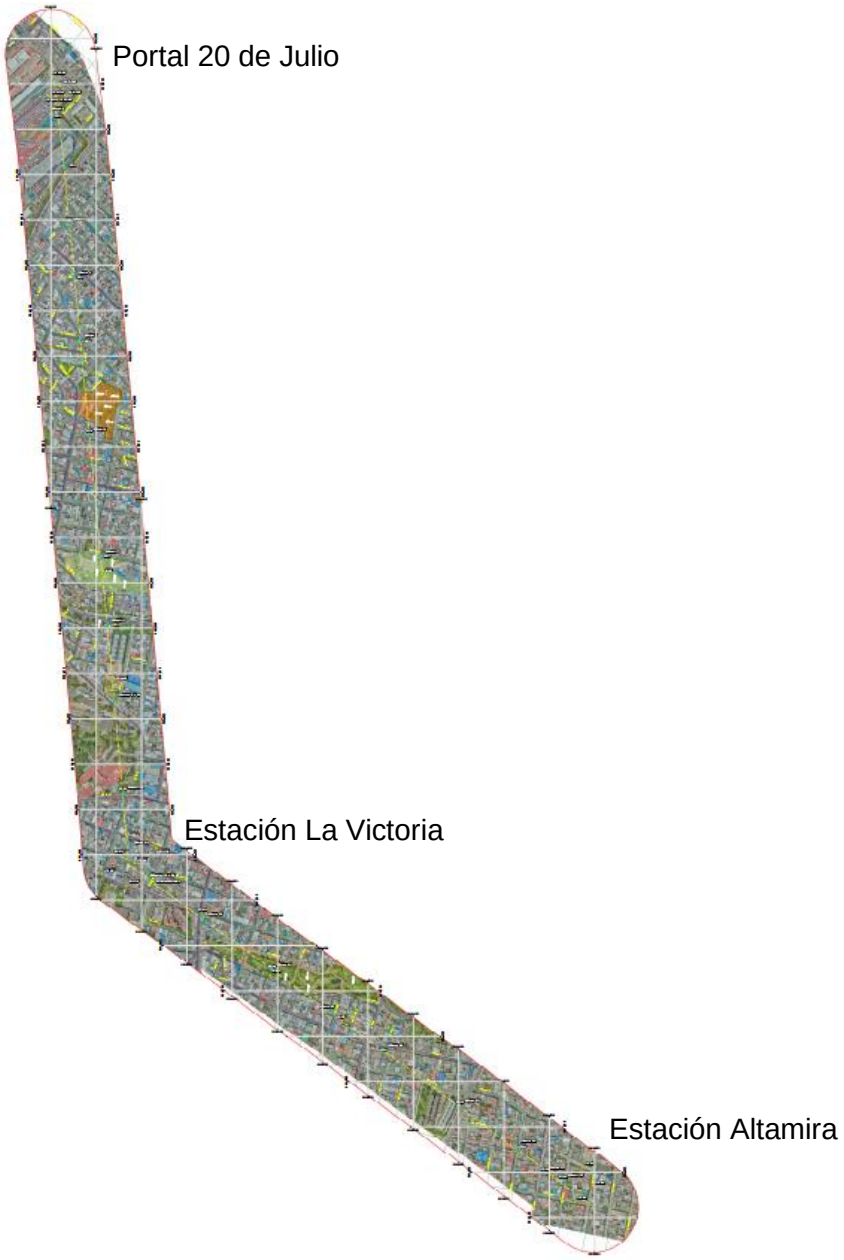


Figura 6-1. Trazado del corredor definitivo de la alternativa seleccionada en el proyecto San Cristóbal Ver anexo L1

6.3 GEOLOGÍA REGIONAL (1:1000)

Regionalmente el trazado del corredor del proyecto esta soportado en rocas sedimentarias detríticas del Neogeno, pertenecientes a las formacion Bogotá (E1b), suprayacida por rocas de la Formación Tilata (N2t), rocas que han sido cubiertas por depósitos Cuaternarios (Holoceno), de la Formación Siecha (Q1si) y depósitos coluviales (Q2c), Figura 6-2.

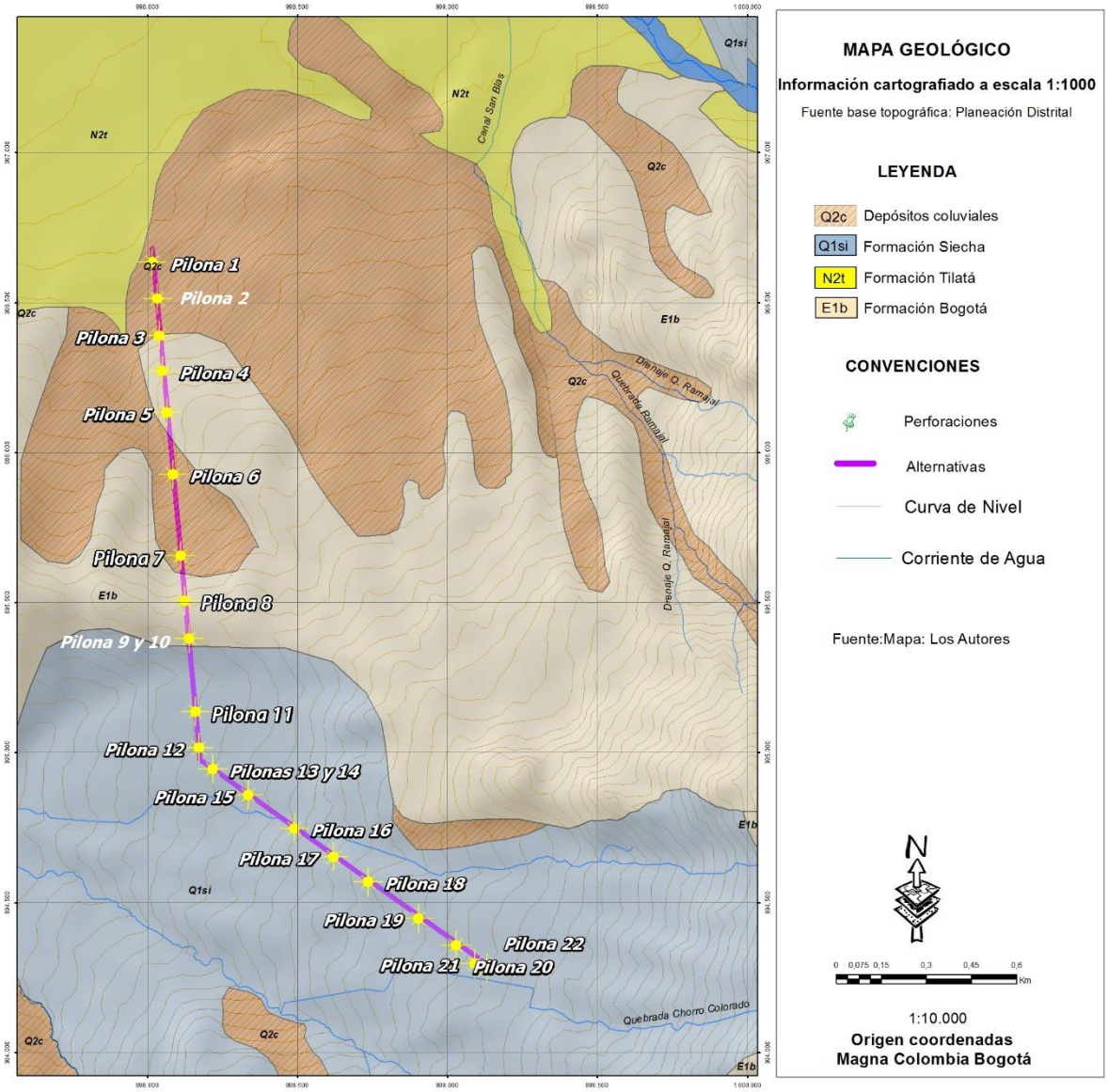


Figura 6-2. Mapa Geológico del corredor de influencia del proyecto Cable de San Cristóbal, escala 1:1000 adecuado a 10000.

6.3.1 ESTRATIGRAFÍA

Se describen cronológicamente las unidades roca a partir de las más antiguas y los depósitos cuaternarios que las suprayacen, relacionados con la zona de influencia del corredor del proyecto, Tabla 6-1.

Tabla 6-1. Leyenda Litoestratigráfica del corredor del proyecto Cable de San Cristóbal.

TABLA 6.1. LEYENDA LITOESTRATIGRÁFICA DEL CORREDOR DEL PROYECTO CABLE DE SAN CRISTOBAL			
RECIENTE		Depósitos coluviales (Qco):	Depositos dispersos que cubren extensiones medianas, compuestos por cantos subangulares y bloques en sectores clasto-soportados y/o distribuidos en una matriz areno-lodosa gris y parda-violacea
CUATERNARIO	HOLOCENO	Formación Siecha (Q1si):	Está constituida por gravas y cantos, con intercalaciones de arcillas inorgánicas, paleosuelos negros y localmente capas gruesas que contienen gran cantidad de clastos subangulares, producto de la acción fluvioglaciar intercalados con depósitos de solifluxión
NEOGENO	PLIOCENO	Formación Tilata (N2t):	depósitos fluviolacustres dispuestos en capas gruesas, cuneiformes y ondulosas, de areniscas conglomeráticas, blancas, mal seleccionadas, semiconsolidados con intercalaciones de conglomerados de cantos de areniscas, redondeados a subangulares.
		Formación Bogotá (E1b):	Tiene un espesor de 575m , compuesto por una secuencia alternante de capas gruesas a muy gruesas de lodolitas rojas y arenitas líticas y feldespáticas, medias y gruesas, levemente conglomeráticas, grises oscuras y verdosas. Esta unidad es dividida en dos miembros, el inferior y el superior.

6.3.1.1 Formación Bogotá (E1b)

Nombre propuesto por Hettner (1892), modificada por Hubach (1945) para definir una secuencia de aproximadamente 575 m., predominantemente lodosa, existente entre el techo de la arenisca del Cacho y la base de las Areniscas de la Regadera (Ingeominas, 1998).

Esta Unidad es subdividida en una secuencia inferior compuesta por lodolitas rojas y areniscas líticas y feldespáticas, estratificadas en capas medianas a gruesas, levemente conglomeráticas, grises-oscuras a verdosas (Pgboi) y una secuencia superior conformada por una sucesión monótona de arcillolitas rojizas, utilizadas para la producción artesanal de ladrillos y tejas (Pgbos). La secuencia inferior al occidente de la cordillera oriental es considerada equivalente con la Formación Areniscas del Cacho (Acosta y Ulloa, 1993).

Cronológicamente con base en datos palinológicos se le asigna una edad Paleoceno Superior-Eoceno Inferior, depositada en ambientes fluviales meándricos para la parte inferior y depósitos de barras meándricas para la parte superior (Hoorn, 1988).

En general esta Unidad Rocosa es la que soporta las condiciones geologicas y geotecnicas de diseño de las pilonas que soportan el desarrollo del proyecto

6.3.1.2 Formación La Regadera (Pgr)

Nombre asignado por Hubach (1957), a una secuencia arenosa de grano grueso y conglomerático, blanca, amarillenta y violácea, rica en cuarzo y feldespatos, de grano fino a grueso y conglomerados de gránulos con cementación silícea, de espesor variable entre 765 m y 845 m.

Está compuesta de base a techo por cuatro segmentos: el segmento 1, presenta capas medias a muy gruesas de areniscas cuarzo-feldespáticas de grano fino a conglomeráticas blanco amarillento con cemento silíceo; el segmento 2, está compuesto por lodolitas con intercalaciones arenosas de grano grueso. El segmento 3 está constituido por arcillolitas grises, verdosas, violáceas y rojizas, con intercalaciones de capas gruesas de areniscas cuarzo feldespáticas de grano medio a grueso.

El segmento 4, está formado por capas delgadas a gruesas de areniscas cuarzo feldespáticas de grano grueso, blanco amarillentas, intercalaciones de capas delgadas de arcillolitas.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

Esta Unidad Suprayace a la Formación Bogotá e infrayace a la Formación Usme.

6.3.1.3 Formación La Tilatá (N2t)

La Formación fue definida inicialmente por Scheibe (1938), redefinida por Van der Hammen (1958) y asignada una edad Plioceno-Pleistoceno. Está constituida por areniscas conglomeráticas, blancas, mal seleccionadas, semiconsolidadas, estratificadas en capas gruesas cuneiformes y onduladas con intercalaciones conglomeraticas con cantos de areniscas subredondeados y subangulares de hasta 5 cm de diámetro; arcillolitas blancas, plásticas con algunos gránulos de arenas de grano grueso, Ingeominas (1998).

Esta unidad descansa discordante sobre la Formación Usme e infrayace los depósitos cuaternarios del cono de Tunjuelito. Sobre esta unidad se plantea el inicio del proyecto en el Portal del 20 de Julio.

En la parte sur de la Sabana de Bogotá (Valle de Usme), sobre la Formación Usme se presentan depósitos compuestos por gravas con bloques y clastos subangulares a redondeados, que localmente (en forma aislada) pueden llegar a ser grandes bloques de arenisca, distribuidas dentro de una matriz Gravo-arcillo-arenosa. Julivert (1961) en el Valle de Usme los asocia con un enorme sistema de abanicos (Conos del Valle del Tunjuelito), definidos como La Formación Marichuela, que suprayace la Formación Usme. Por su posición estratigráfica se infiere como la base de la Formación Tilatá de una edad Plioceno.

En el área del proyecto, se localiza en la parte más Noroccidental, alcanzando parcialmente el incio de la localización de la pilona 1. Sin embargo, es un sector totalmente intervenido

por la infraestructura de Transmilenio en el Portal del 20 de Julio, en donde las 6 perforaciones exploratorias soportan la existencia de esta unidad.

6.3.1.4 Formación Siecha (Q1si)

Su mejor exposición se presenta en el Páramo de Sumapaz y está constituida por gravas y cantos, con intercalaciones de arcillas inorgánicas, paleosuelos negros y localmente capas gruesas que contienen gran cantidad de clastos subangulares. El espesor máximo es de al menos 25 metros.

Su edad es Pleistoceno Medio a Tardío y es interpretada como depósitos fluvioglaciares, con intercalación de depósitos de solifluxión. La depositación de estos sedimentos de grano grueso fue Interrumpida durante ciertos periodos cortos que dieron paso a la formación de suelos. Las gravas y cantos fluvioglaciares constituyen una transición entre los depósitos morrénicos de altitud y las gravas fluviales de las cuencas sedimentaria bajas caracteristicas de la Sabana de Bogotá.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

Esta Unidad se presenta en el corredor del desarrollo del proyecto, pero ha sido intervenida por el desarrollo urbanistico y vial; solamente quedan remantes especialmente en el sector de la pilona 16, en donde existe una valle fluvio-glaciar en U tipico de este ambiente fluvio-glaciar, considerado como reserva urbana de recreación, Figura 6-3.

Figura 6-3. Antiguo Valle Fluvioglaciar en U en el sector de localización de la Pilona 16.

6.3.1.5 Depósitos Cuaternarios

Dentro del corredor se presentan depósitos coluviales recientes generados por la acción dinámica de la gravedad y los drenajes del piedemonte, cartografiados como:

- **Coluviones (Q2c):** Depósitos dispersos que cubren extensiones medianas, compuestos por cantos subangulares y bloques, distribuidos en una matriz areno-lodosa gris, parda y esporádicamente violácea.

  Son de extensión media dentro del corredor del Proyecto.

6.3.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

En el transcurso del trazado del proyecto no se observaron afloramiento que permitan definir las condiciones estructurales para caracterizar el macizo rocoso. Por lo tanto, se tomo el analisis estructural presentado en la V2 del avance del proyecto, debidamente complementado que define regionalmente que el area hace parte del sector Suroriental de la sabana perteneciente a los altiplanos valandinos de la Cordillera Oriental como el de la Sabana de Bogotá, en donde se presentan estructuras anticlinales regionles como Guadalupe y Bogotá, el sinclinal de Usme, y homoclinales de rumbo NE a NW, inclinadas al Oeste. Adicionalmente existen fallas de seguimiento regional como Bogotá y de extension local como la de Juan de Acosta.

Estas condiciones permiten definir tres niveles estructurales de Jerarquía asociado al levantamiento de la cordillera oriental durante el Neogeno: La primera esta asociada a la estructura mayor de la falla de Bogota, de tipo inversa, que afecta las rocas del Cretácico Superior (Formación Arenisca Dura del Grupo Guadalupe) enfrentadolas con la Formación Cacho del Eoceno temprano, de un salto importante (no existe la Formación Guaduas). Posteriormente, se desarrolla la jerarquia estructural de segundo orden que formo los anticlinales invertidos de Guadalupe y Bogota, localizados al Oriente del ärea del proyecto,

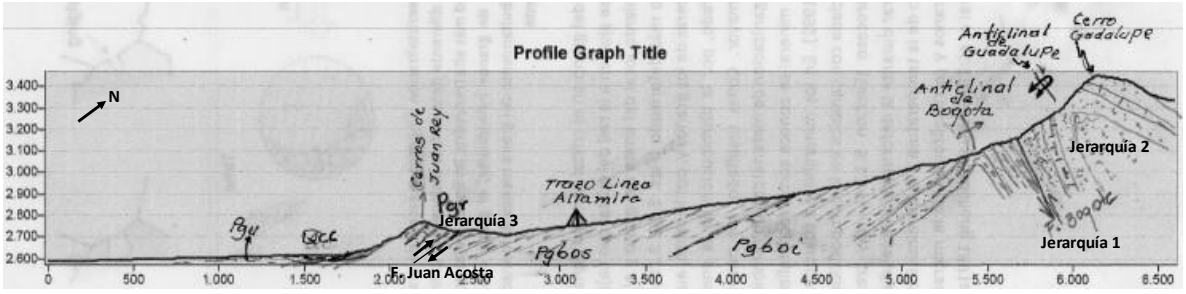


Figura 6-4. Maro Jerárquico Estructural del proyecto Cable Aéreo San Cristóbal.

Finalmente, como consecuencia de la continuidad del levantamiento de la cordillera Oriental durante el Plioceno en la parte Occidental del área del proyecto, serranía de Juan Rey, se evidencia un tercer nivel de jerarquia de tipo compresivo asociado con la falla Juan de Acosta que pone es contacto la parte superior de la Formación la Regadera con la porción superior de la Formación Bogotá.

El anterior marco estructural permite deducir que el corredor del trazado esta asociado con el nivel superior de la Formación Bogota con una baja probabilidad de afectación, en consecuencia de los niveles jerquicos estructurales antes expuestos.

La DEPAE(2005), en el "ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA Y DE COMPRESIBILIDAD DEL TERRENO, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS MEDIDAS RECOMENDADAS PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN EL CORTO PLAZO EN UN SECTOR DEL BARRIO ATENAS DE LA LOCALIDAD SAN CRISTÓBAL DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ D. C, afirma que: *"La zona de estudio es un área denudadapor acción glacial y fluvial, enmarcada en dos contrafuertes montañosos: los cerros orientales, claramente cordilleranos (Cerro El Zuque) y cerros menos pronunciados ubicados al occidente (por el afloramiento de las areniscas de la Fm. Regadera). Es importante anotar que la totalidad del área de estudio se encuentra cubierta por urbanizaciones y por rellenos, razón por la cual es imposible el levantamiento típico degeología de campo (no existen afloramientos que permitan medir rumbo y buzamiento con brújula). La base de la cartografía fue la fotointerpretación y en ella, las unidades geológicas se definen a partir de sus formas*". sin embargo, dentro del informe por comparación de datos tomados en los chircales de la época, infieren un rumbo de la estratificación en el sector de "*N20W buzando 20° al SW*", valor que por conocimiento experto se recomienda utilizar como dato estructural relevante para los diseños en el trazado del proyecto.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

6.4 GEOMORGOLOGÍA

La categorización y jerarquía geomorfológica se efectúa siguiendo la metodología del Servicio Geológico Colombiano-SGC, (2012), que considera la escala de trabajo y el nivel del estudio; para la escala 1:1000, corresponde una dscripción a nivel de subunidad y elementos, Figura 6-5. Información que es sustentada con la descripción de las unidades geologicas a escala 1:1000.

Figura 6-5. Esquema de Jerarquización definida por el SGC-2012. Fuente: Dirección de Geociencias Básicas-SGC (2020). Protocolo para el levantamiento de la cartografía geomorfología.

Las condiciones geológicas del sector de influencia del proyecto Cable de San Cristóbal, evidencian geoformas producto de la acción dinámica interna generadora del relieve y formas del terreno (modelado), modificados por la acción de los agentes externos (meteóricos) y las actividades de desarrollo urbanístico (Antrópicos) en el sureste de la Sabana de Bogotá.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

Por lo tanto, el área del proyecto se localiza en la geomorfoestructura del Orógeno Andino, Provincia de la Cordillera Oriental, donde se evidencian 4 ambientes morfogenéticos (Regiones) que destacan Unidades morfologicas, soportadas por rocas y depositos (Subunidades) en donde se evidencian procesos morfodinámicos antiguos y recientes (Elementos).

6.4.1 Ambientes Morfogenéticos

6.4.1.1 Estructural

Geoformas generadas por la acción dinamica interna de corteza responsable del relieve existente en el área del proyecto, en donde se destacan las siguientes Unidades y Subunidades, Figura 6-6.

- **Espinazo estructural denudado en laderas de contrapendiente (Selp)**

Superficie de alta inclinación desarrollada en las contrapendientes estructurales de la sierra homoclinal de la regadera localizadas al occidente del área del proyecto. Unidad soportada en capas gruesas de areniscas de grano grueso a conglomeráticas, intercaladas con capas medianas a gruesas de lodolitas arenosas, con desarrollo de drenajes de tendencia paralela a sub-paralela.

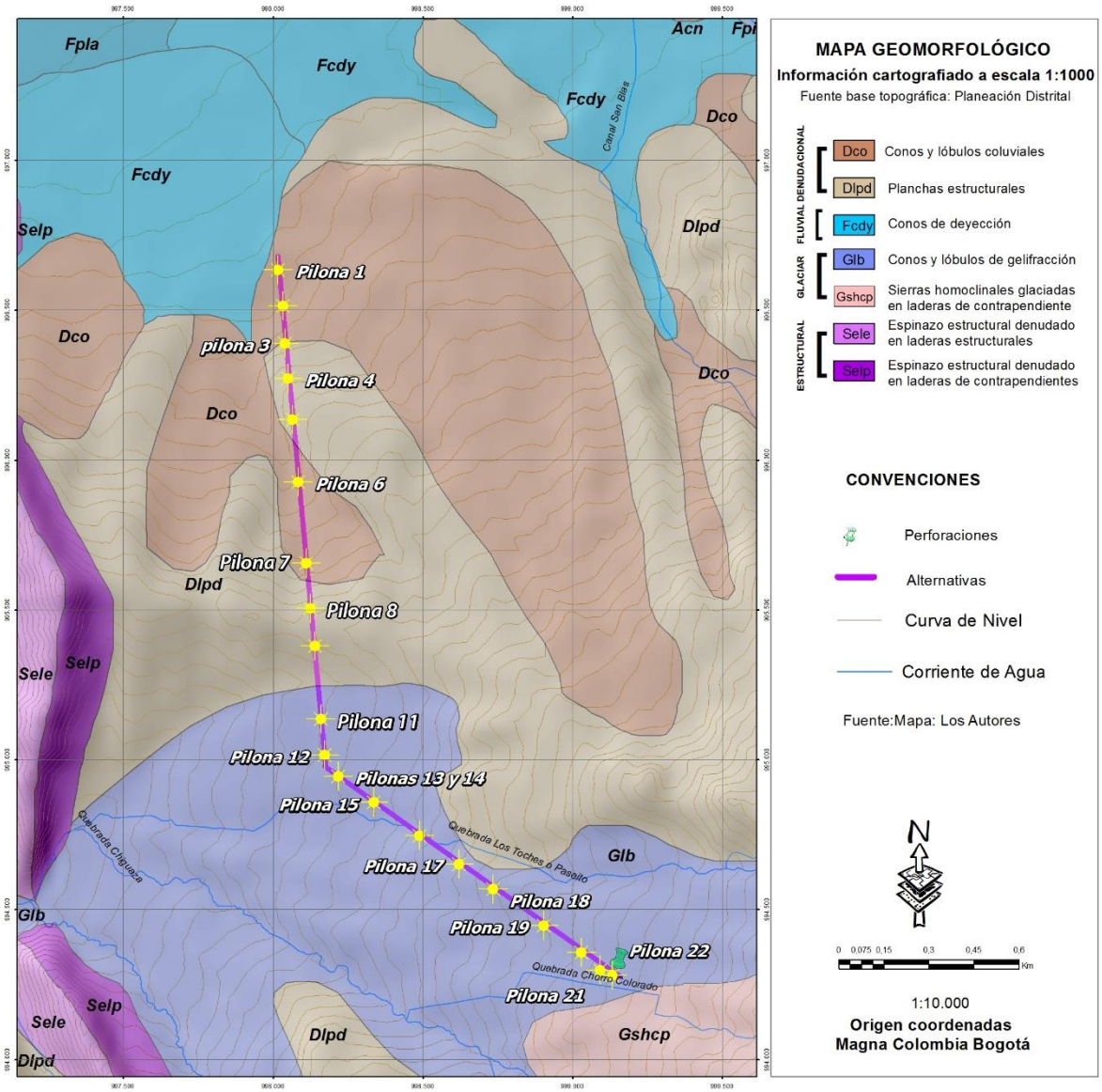


Figura 6-6. Mapa geomorfológico del corredor de influencia del proyecto Cable de San Cristóbal, escala 1:1000. Adecuado a 10.000. Fuente: Modificado el SGC.

- **Espinazo estructural denudado en laderas estructurales (Sele)**

Relaciona laderas definidas por la inclinación de los estratos a favor de la pendiente del terreno desarrollando longitudes cortas a medianas con pendientes largas abruptas a escarpadas observables en la ladera oeste de los cerros de Juan Rey; geoformas soportadas en secuencias arenosas a conglomeráticas estratificadas en capas gruesas e intercaladas con lodolitas arenosas.

6.4.1.2 Denudacional

Modelados generados por la acción de los agentes naturales externos (Meteoricos), responsables de esculpir las geoformas orginales del relieve, en donde se destacan las siguientes Unidades y Subunidades.

- **Planchas estructurales (Dlpd)**

Esta unidad geomorfológica soporta en buena parte el desarrollo del Proyecto Cable de San Cristóbal en el trazado de la alternativa del trayecto Estación de la Victoria-Juan Rey. Se caracteriza por ser una superficie moderadamente inclinada al oeste con pendientes variables de moderadas a abruptas con desarrollo de drenajes subangulares.

Su origen obedece a la acción diferencial de los agentess meteoricos generadores de la erosión diferencial acentuadas en antiguos relieves, soportados por una secuencia de estratos de areniscas duras, estratificadas en capas medianas a gruesas y estratos blandos de arcillolita.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

- **Conos y Lóbulos Coluviales (Dco)**

Geoforma en cono o lóbulos de longitudes cortas a largas, de formas convexas e inclinaciones suaves a abruptas. Se originan respectivamente por acumulación de materiales coluviales sobre las laderas, tanto por procesos de escorrentía superficial como por flujo lento y viscoso de suelo saturado y no saturado. Geoformas soportadas por bloques angulares a subangulares de tamaños variables embebidos en material arcillosa, con espesores del orden de 5 - 35 m.

Este tipo de geoforma son de amplia distribución en las laderas de pendientes variables entre 15° - 35°, observables en el sector norte del corredor del proyecto.

6.4.1.3 Glacial

Modelados generadas por la acción de las variaciones climaticas termales y la gravedad sobre relieves escarpados y morfologias denudacionales de pendientes moderadas.

- **Conos y lóbulos de gelifracción (Glb)**

Geoforma de incidencia importante en el desarrollo del proyecto especialmente en el tramo sur, entre las estaciones de la Victoria y Altamira; se caracteriza por presentar modelados de lóbulos elongados de longitudes moderadamente largas y formas cóncavas y convexas inclinadas al oeste. Estan sopórtadas en bloques de 3-5 cm distribuidos en una matriz arcillosa, originado por flujos lentos de depósitos fluidos formados durante el congelamiento y deshielo de material superficial en zonas periglaciares.

- **Sierras homoclinales glaciadas en laderas de contrapendiente (Gshcp)**

Estas geoformas se presentan en el sector suroriental del corredor del proyecto en las laderas de contrapendiente; son de longitud moderada a larga, de formas cóncavas a irregulares escalonadas y con pendientes escarpadas a muy escarpadas.

6.4.1.4 Fluvio-Lacustre

Geoformas generadas por la acción hidrica en las orillas de los principales drenaje y en las zonas de avulsion y cambio rapidos de la pendiente topografica.

- **Cono de deyección (Fcdy)**

Geoforma en forma de cono y pendientes entre 5° - 10°, observables a partir del piedemonte de las laderas estructurales de la Serranía de la Regadera que bordea el área occidental del trazado de las alternativas del proyecto.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

6.5 DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DETALLADA DEL CORREDOR- Escala 1:250

Las condiciones litoestratigráficas se presentan a lo largo (alternativa definida) en un corredor de 100 m de ancho, distribuidos en 4 segmentos (perfiles) que evidencian las condiciones superficiales del corredor y su proyección en profundidad, producto de la descripción (1:100), de los recobros alcanzados en c/u las de las perforaciones exploratorias ejecutadas en los sitios definidos como localización de las Pilonas; así como las realizadas en el Portal del 20 de Julio y en las estaciones de la Victoria y Altamira, (ej: Figura 6-7); información que fue complementada con control de campo, ver anexo L-7.

Esta labor evidencia que el corredor del trazado del proyecto ha sido totalmente intervenido por la actividad urbanizadora y las obras de infraestructura y desarrollo, con la consecuente generación de botaderos de escombros, localizadas en sectores de laderas empinadas sin las debidas adecuaciones morfológicas con la consecuente generación de procesos morfodinámicos, aunados por agentes contribuyentes como las condiciones climáticas, el tráfico vehicular, las excavaciones en la base de los taludes y laderas, que actualmente están parcialmente intervenidos para mitigar sus afectaciones.

A continuación se describen e ilustran a escalas 1:250 y mayores las condiciones geologicas y geomorfologicas detalladas a lo largo del corredor y en cada uno de los sitios definidos de localización de las Pilonas, resaltando los sitios con afectaciones morfodinámicas, acompañadas de las respectivas fichas que soportan el diagnostico del proceso y su incidencia en el desarrollo del proyecto.

Por razones de escala el perfil longitudinal a lo largo del proyecto dentro del informe se presenta en 4 segmentos, que se describen iniciando en el Portal de Transmilenio del 20 de Julio. El anexo L3 se presenta el perfil a la escala de detalle 1:250.

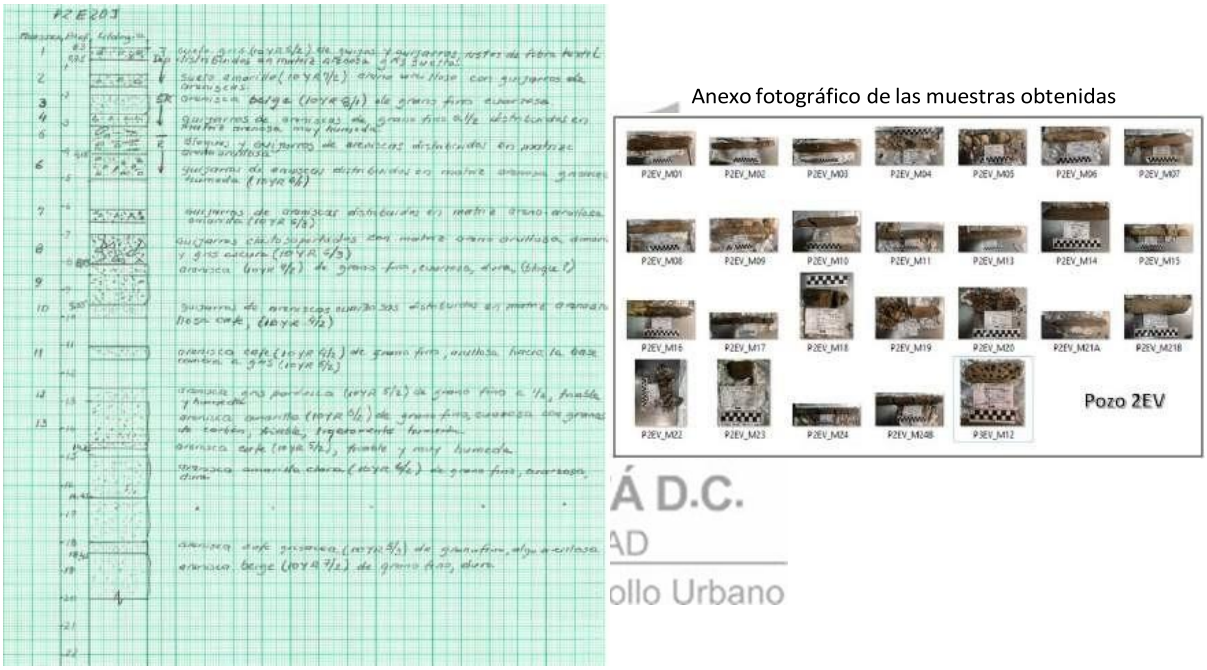


Figura 6-7. Columna estratigráfica y registro fotográfico del pozo exploratorio efectuado en el sector de la Pilona 2, sector suroriental del portal del 20 de Julio.

6.5.1 Perfil 1

El primer perfil estratigráfico interpretativo obtenido a partir de 11 perforaciones exploratorias, 6 en las inmediaciones del Portal del 20 de Julio y 5 asociadas con la localización de las Pilonas 1 a 5, Figura 6-8 y Figura 6-9, Anexos L2 y L3).

A lo largo de este corredor se presenta una capa superficial de relleno de escombros de hasta 7,5 m., de espesor, compuestos por bloques y guijarros de areniscas, amarillas (beige) distribuidas en una matriz arcillo-arenosa amarilla a ligeramente violácea, con materia orgánica, raíces y restos de materiales antrópicos. En el sector del Portal del 20 de Julio se presenta la construcción de taludes bien conservados y estables de hasta 5 m., de altura y material de relleno de hasta 2,8 m., de espesor que soporta las obras de infraestructura del portal de Transmilenio.

Figura 6-8 Columnas estratigráficas de los pozos 1,2,3, 4 y 5. Ver anexo L2

Continua una secuencia de hasta 4,1 m., de espesor de roca meteorizada de areniscas de grano fino, amarillo-grisáceo (moteadas) y arcillolitas arenosas abigarradas, húmedas de consistencia blanda.

En la parte inferior muestra una secuencia de roca sedimentaria areno-arcillosa gris intercalada con arcillolitas y areniscas grises de grano fino, algo fracturadas y ligeramente húmedas que identifican la secuencia areno-arcillosa de la Formación Bogotá, Figura 6-9 Anexo L-3.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.

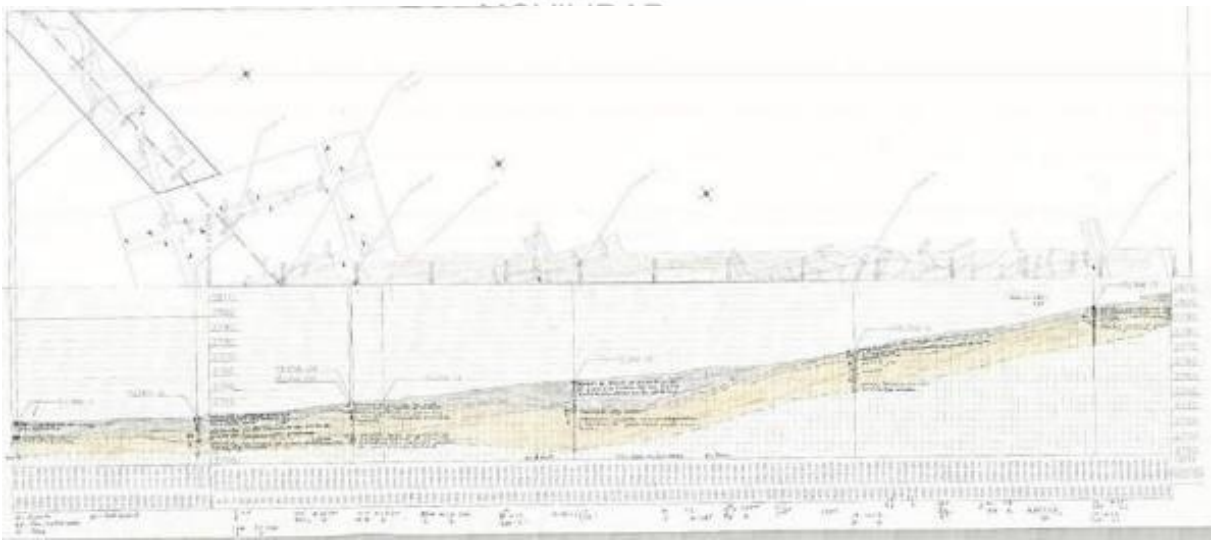


Figura 6-9 Perfil estratigráfico entre el portal del 20 de julio y las pilonas 1 y 5. Ver anexo L3

En este tramo en el trabajo de campo no se encontraron datos estructurales de superficie que permitan definir o inferir las condiciones estructurales ni cinemáticas, por lo que se asume (cantera de San Isidro localizada sobre las areniscas de la Regadera, Oeste del corredor del proyecto), que presentan un rumbo NW buzando al SW.

Geomorfológicamente, se identificaron laderas antrópicas de inclinaciones variables generadas por las adecuaciones urbanas y de obras de infraestructura sin evidencias de procesos morfodinámicas en el corredor.

6.5.2 Perfil 2

El segundo perfil interpretativo entre las pilonas 5 y 10, obtenido de las columnas estratigráficas de las perforaciones exploratorias respectivas (Figura 6-10), muestra 4 niveles litoestratigráficos de techo a base: un nivel superior de un depósito de escombros compuesto por bloques, guijarros y guijos de areniscas, restos de carbón, ladrillos, cerámica y raíces, distribuido en una matriz arcillosa, oxidada y micácea, de un espesor máximo de 4,1 m.

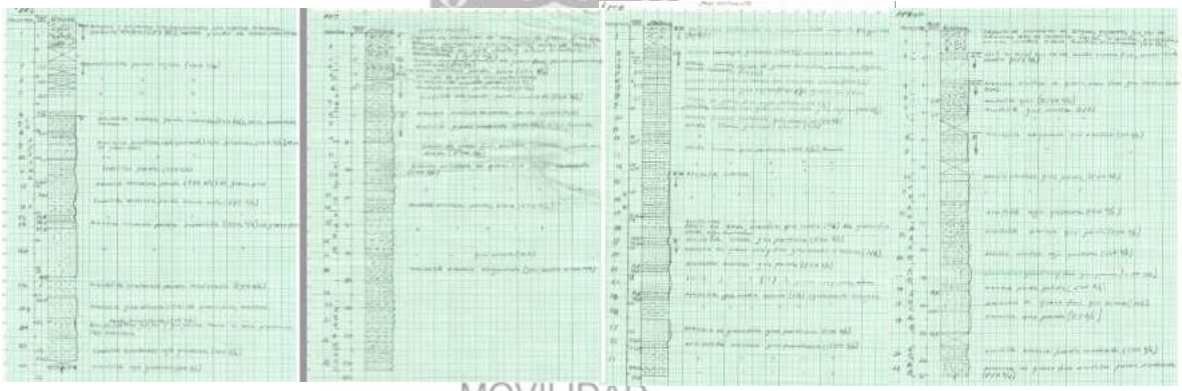


Figura 6-10. Columnas estratigráficas de los pozos 6,7,8,9 y 10. Ver anexo L2

MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

Continúa hacia la base un suelo residual areno arcilloso de espesor variable con importantes cambios faciales al norte y al sur, de un espesor máximo de 8,3 m seguido por una secuencia de roca meteorizada arcillo-limosa micácea, abigarrada, de hasta 5,0 m de espesor, observable especialmente en la perforación de la Pilona 8. Seguidamente, hacia la base se presenta la roca sedimentaria arenosas de grano fino intercalada con areniscas arcillosas, y arcillolitas arenosas pardas, algo húmedas, de la Formación Bogotá, Figura 6-11, Anexo L3.

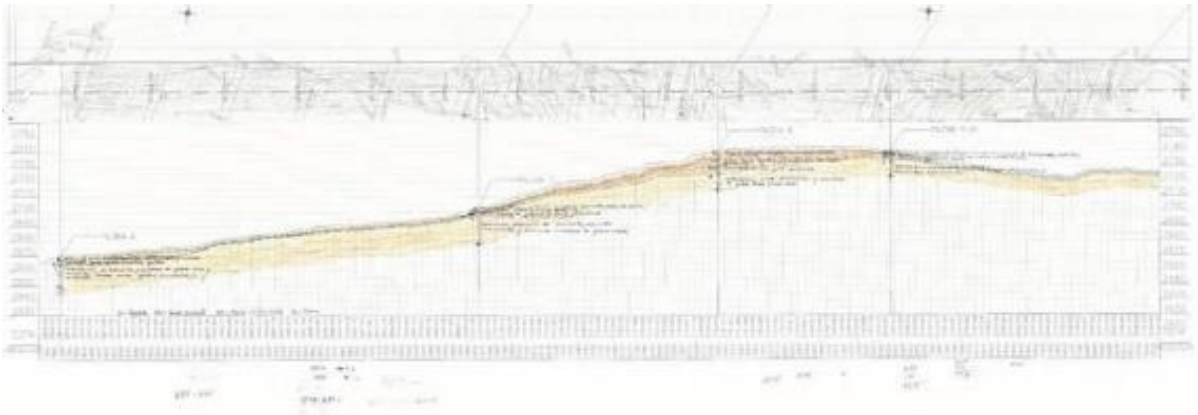


Figura 6-11. Secuencia estratigráfica definida entre las pilonas 6 a 10. Ver anexo L3

Geomorfológicamente, (en este sector del corredor) se presentan laderas antrópicas de inclinaciones variables generadas por las adecuaciones urbanas y de obras de

infraestructura con evidencias morfodinámicas importantes, entre las pilonas 5 y 6, parque la Joyita (Fig.9, anexo L1) y el sitio definido para la localización de la pilona 7 en el parque Atenas.

En este sector se identifican 2 sectores con procesos morfodinámicos que han sido asignados como parques recreativos de las comunidades: la Joyita y Atenas

- **Parque La Joyita**

Geomorfológicamente en el sector donde se ubica el parque, se presentan laderas antrópicas inclinadas al occidente, de materiales de escombros acumulados sobre suelos residuales y roca meteorizada de la Formación Bogotá.

Estos depósitos, producto de la acumulación de materiales de relleno generados por las adecuaciones para la construcción de viviendas y obras de infraestructura del sector, acumulados en pendientes morfológicas de aprox. 30°, junto con las condiciones climáticas y cortes en la pata del depósito son muy susceptibles a los movimientos en masa tipo reptación y deslizamientos planares relativamente superficiales. Actualmente, el sitio ha sido intervenidos con obras de mitigación como gaviones y terracetas, que han detenido parcialmente el proceso de movimiento en masa en el sector. Actualmente, se presenta reptación parcial que muestran la continuidad del movimiento en masa ladera abajo, amenazando una concentración escolar ubicada en la parte inferior del depósito Figura 6-12 y Figura 6-13 , anexos L1 y L4.

Es importante resaltar que esta actividad morfodinámico es cruzada por el proyecto del cable, sin afectar los sitios definidos para la construcción de las Pilona 5 y 6.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

Figura 6-12. Parque la Joyita, localizado en el corredor del proyecto San Cristóbal, entre las pilonas 5 y 6.

Figura 6-13. Parque La Joyita. Proceso morfodinámico de reptación amenazando la concentración escolar ubicada sobre la pata del movimiento en masa

- **Parque Atenas**

Este sector ha sido históricamente estudiado por la DPAE, (2005) para definir el proceso morfodinámico y el riesgo por movimientos en Masa(MM).

El área inestable de interés del corredor presenta una extensión aprox. de 8.917 m2 y dentro del predio se ubica el Colegio Atenas, que concentra un población estudiantil considerable y la ubicación de la Pilona 7, en su parte media norte, Figura 6-14. Geomorfológicamente, el parque recreacional se localiza (buena parte) dentro del corredor del proyecto, en donde se observa la presencia de suelo residual areno-lodoso amarillo y rojizo de la Formación Bogotá (?), cubiertas por depósitos coluviales y rellenos antrópicos en una antigua ladera denudacional de dirección norte a noroeste; que ha sido modificados por la actividad urbanizadora con evidencias de erosión hídrica laminar, calvas de erosión sobre suelos residuales y procesos de remoción en masa antiguos con asentamientos localizados recientes, reptación superficial y golpes de cuchara que evidencian la dinámica del proceso; afectando las obras de infraestructura como se aprecia en el muro de contención del relleno de los patios de recreación del Colegio Atenas y las obras de contención (gaviones-muro) del proceso de reptación del sector, Figura 6-15.

El sitio de localización de la Pilona en las coordenadas N= 4°33'24.89" y E=74° 5' 40.31", es el frente activo de un movimiento en masa tipo reptación que se presenta en el sector N del Parque Atenas, (Figura 6-16).

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD

Figura 6-14. Parque del barrio Atenas, localidad de san Cristóbal.

Figura 6-15. Evidencias de la actividad morfodinámica del MM del parque Atenas. a) asentamientos, reptación y erosión laminar en el sector nororiental del parque; b) agrietamientos del muro de contención del patio del Colegio Atenas por la calle 36 h Sur, c) erosión hídrica y d) afectaciones de los gaviones en el sector NW del parque.

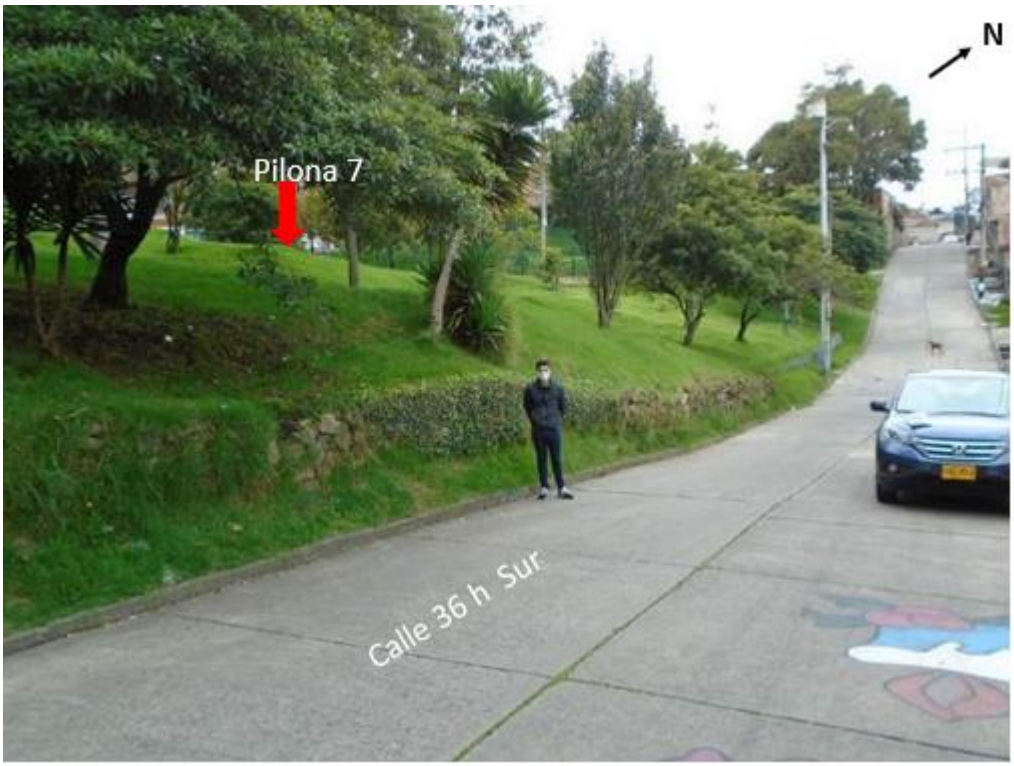


Figura 6-16. Parque Atenas, reptación en el sitio de localización de la estructura de la pilona 7

6.5.3 Perfil 3

El tercer perfil interpretativo entre las pilonas 11 a 17, obtenido de las columnas estratigráficas de las perforaciones exploratorias respectivas (Figura 6-17), muestra inicialmente un depósito superficial fluvioglaciar de espesor variable entre 1,6 a 18,7 m., de espesor, compuesto de bloques de areniscas grises de grano fino, distribuidas en una matriz arcillosa con raíces en la parte superior, observables especialmente a la altura de la perforación de la Pilona 15. Continúa hacia la base una secuencia meteorizadas arenosa amarilla de grano fino, intercaladas con arcillas grises de espesor variable entre los 2,5 m y 16,6 m. de espesor; hacia la base de la secuencia litoestratigráfica se presenta una secuencia alternante de areniscas cuarzosas rojizas grisáceas, de grano fino intercaladas con arcillolitas arenosas abigarradas y niveles arenosos pardos de grano medio, pertenecientes a la secuencia de la Formación Bogotá, Figura 6-18, anexo L3.

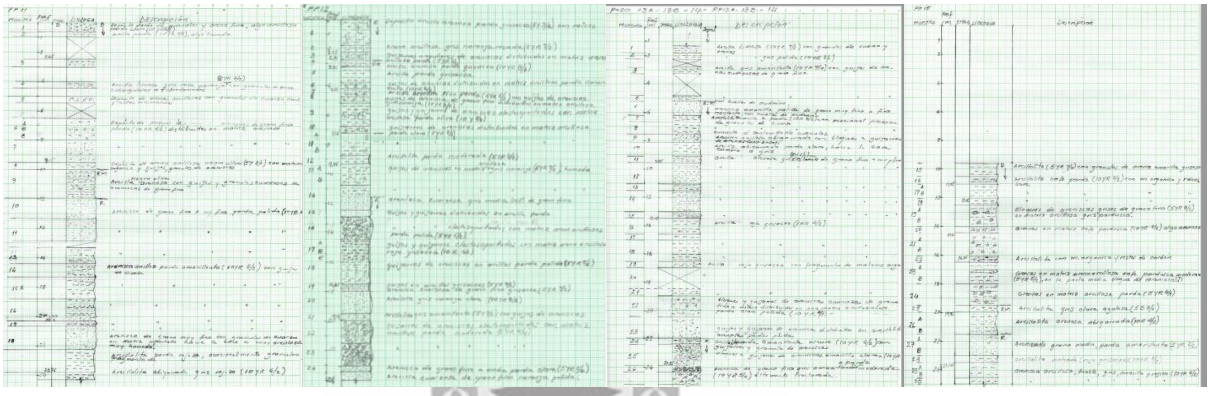


Figura 6-17. Columnas estratigráficas de los pozos 11, 12, 13-14 y 15. Ver anexo L2

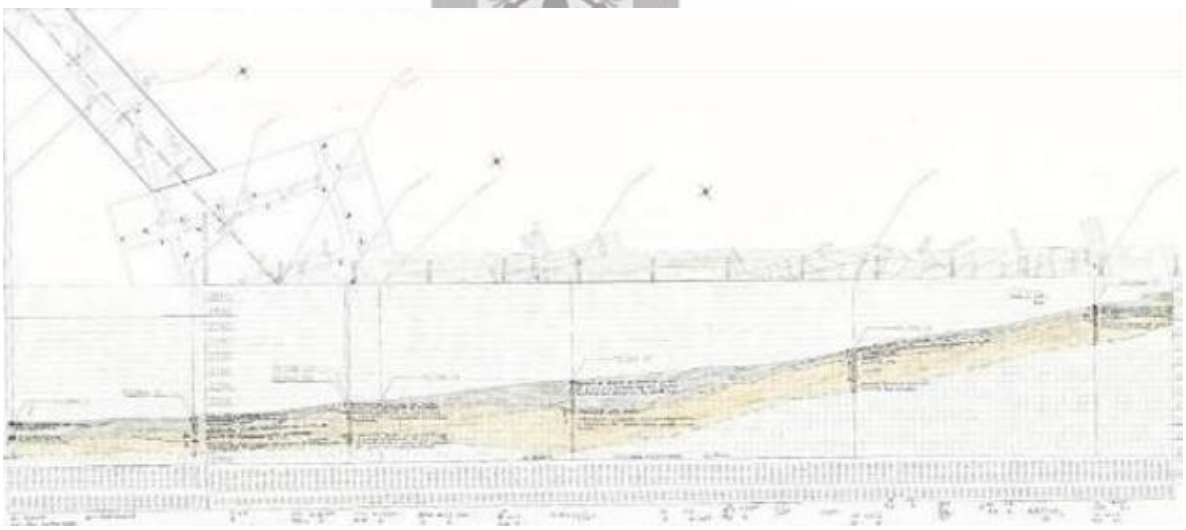


Figura 6-18. Secuencia estratigráfica definida entre las pilonas 11, 12, 13-13ª-14, 15 a 17. Ver anexo L3

Geomorfológicamente, todo el corredor ha sido intervenido por la actividad urbanizadora, a excepción de un valle fluvioglaciar estrecho inclinado al NW, que soporta el botadero de escombros sobre depósitos fluvioglaciares (Figura 6-19) y suelos residuales, hoy utilizado como parque y zona recreacional, definido en inmediaciones del corredor de la Pilona 16, entre la calle 41 Bis Sur y las carreras 4 y 7 bis Este, Figura 6-20.

Figura 6-19. Depósitos fluvioglaciares cubiertos por escombros, con procesos incipientes de reptación

Figura 6-20. Antiguo valle fluvioglaciar.

En este sector se evidencia asentamientos y reptación superficiales de los suelos, intervenido con cunetas de drenajes que mitigan la actividad erosiva, la reptación y asentamientos del depósito, Figura 6-21.

Figura 6-21. **a**) Antiguo valle fluvio-glacial, **b**) cunetas para el manejo del escurrimiento superficial y **c**) asentamientos en afloramientos de material fluvio-glacial, cubiertos por escombros.

6.5.4 Perfil 4

La secuencia lito-estratigrafía obtenida entre los pozos 18, 19, 20, 21 y 22 (Figura 6-22), definen un depósito superficial de relleno de bloques, guijos y guijarros de areniscas y ladrillos clasto-soportados con matriz areno-arcillosa gris medio, de un espesor variable entre 1,6 m., y 18 m., en la perforación de la Pilona 18. Continua un depósito residual areno-arcilloso amarillo de grano fino con materia orgánica de hasta 5,8 m, observable en las perforaciones de las Pilonas 19 y 22, nivel característico por sus marcadas variaciones faciales de W a E, (Figura 6-23, anexo L3); seguidamente hacia la base, se presenta roca sedimentaria meteorizada de arenisca arcillosa gris con guijos de materia orgánica de un espesor máximo de 3 m. Finalmente, en la base de la secuencia se presentan rocas sedimentarias arcillosas hasta una profundidad de 25 m, pertenecientes a la Formación Bogotá.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

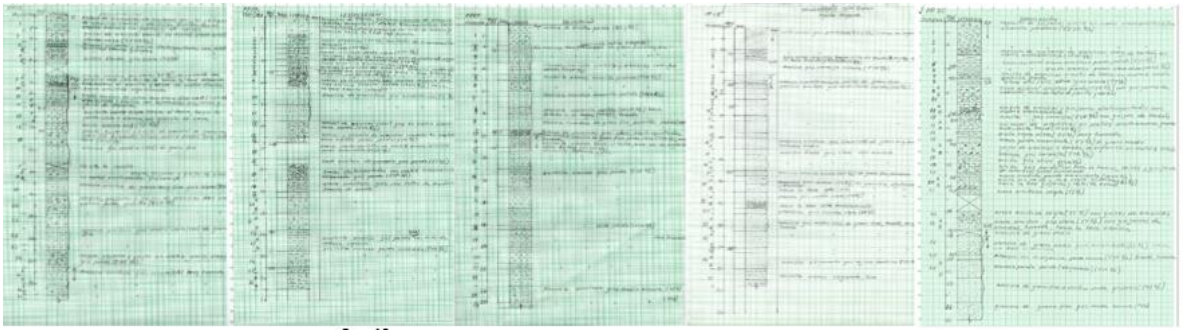


Figura 6-22. Columnas estratigráficas de los pozos 18,19,20, 21, y 22. Ver anexo L2

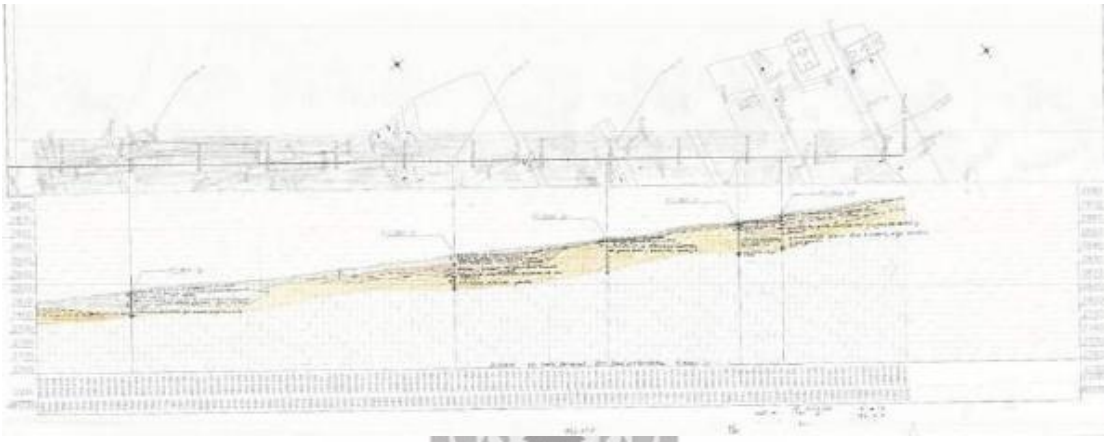


Figura 6-23. Secuencia estratigráfica definida entre las pilonas 18, 19, 20, 21 y 22. Ver anexo L3

Geomorfológicamente, en este sector se presentan laderas denudacionales inclinadas al NW y SW sobre rocas sedimentarias de la formación Bogotá y depósitos fluvioglaciares, intervenidas por la actividad urbanizadora.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD

6.6 CONDICIONES ESTRUCTURALES DEL CORREDOR

Estructuralmente, el proyecto se desarrolla dentro de tres características jerárquicas: una de primer orden asociada con el sistema de la falla inversa de Bogotá localizada al oriente del proyecto san Cristóbal que afecta las rocas más antiguas, de las formaciones areniscas duras del grupo Guadalupe del cretáceo superior y las formaciones guaduas, cacho y Bogotá del neógeno. una segunda jerarquía asociada a los plegamientos anticlinales de Guadalupe y Bogotá.

Una tercera jerarquía está relacionada con la falla de juan acosta, que limita el sector occidental del proyecto, afectando las rocas de las formaciones Bogotá y Regadera.

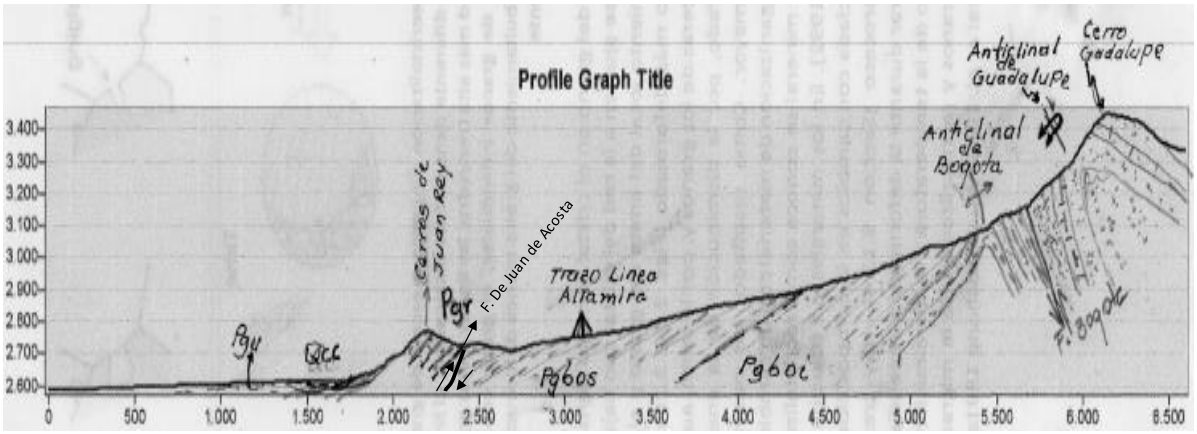


Figura 6-24. Esquema geológico regional del área de influencia del proyecto del cable de san Cristóbal.

En el transcurso del trazado del proyecto no se observaron afloramiento que permitan tomar datos estructurales para caracterizar el macizo rocoso. La DEPAE(2005), en el "ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA Y DE COMPRESIBILIDAD DEL TERRENO, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS MEDIDAS RECOMENDADAS PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN EL CORTO PLAZO EN UN SECTOR DEL BARRIO ATENAS DE LA LOCALIDAD SAN CRISTÓBAL DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ D. C, afirma que: "*La zona de estudio es un área denudada por acción glacial y fluvial, enmarcada en dos contrafuertes montañosos: los cerros orientales, claramente cordilleranos (Cerro El Zuque) y cerros menos pronunciados ubicados al occidente (por el afloramiento de las areniscas de la Fm.Regadera). Es importante anotar que la totalidad del área de estudio se encuentra cubiertapor urbanizaciones y por rellenos, razón por la cual es imposible el levantamiento típico de geología de campo (no existenloramientos que permitan medir rumbo y buzamiento conbrújula). La base de la cartografía fue la fotointerpretación y en ella, las unidades geológicasse definen a partir de sus formas*". Sin embargo, dentro del informe por comparación de datos tomados en los chircales de la época, infieren un rumbo de la estratificaciónen el sector de "*N20W buzando 20° al SW*", valor que por conocimiento experto seutiliza como inclinación de la roca en el trazado del proyecto, pero dadas las condiciones de no existencia de afloramientos de rocas en el trazado del corredor del proyecto, no es posible realizar una caracterización estructural que permita inferir condiciones cinematicas adversas de estabilidad a lo largo del trazado del corredor. Además, El marco estructural definido anteriormente permite deducir que el corredor del trazado esta asociado con el nivel superior de la Formación Bogota con una baja probabilidad de afectación, en consecuencia de los niveles jerquicos estructurales antes expuestos.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

6.7 DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA Y GEOMORFOLÓGICA DETALLADA POR PILONAS

6.7.1 PILONA 1

Está localizada en la parte Nororiental del polígono del Portal del 20 de Julio de Transmilenio, en las coordenadas N= 4° 33' 56.75", E= 74° 5' 43.41", sobre el área de los parqueaderos, Figura 6-25, anexo L2 y L5.

Figura 6-25. Localización de la pilona 1 y sitio de la perforación PP1.

La Perforación exploratoria muestra una capa de relleno de fragmentos de guijarros angulares a sub-redondeados de areniscas clasto-soportadas con matriz arenosa fina a media, beige (2,5 Y8/1), hacia la base la matriz es más arcillosa con ligera variación de color (2,5Y2/4), de 2,8 m., de espesor. Continúa hacia la base un depósito de guijos y guijarros distribuidos en una matriz arcillo-arenosa café con manchas marrones por oxidación, (6Y4/4), intercaladas con arenas arcillosas grises (2,5Y5/1), húmedas de 5,45 m., de espesor. A partir de 8,25 m., de profundidad se presenta una secuencia alternante de areniscas arcillosas cuarzosas de grano fino a medio, grises intercaldas con acillolitas arenosas amarillo quemado (2,5Y5/5) y gris parduscas (5YR4/1), secas y duras hasta la profundidad que alcanzó la perforación 24,8 m.

Geomorfológicamente el sitio es plano y hace parte de las obras de adecuación del Portal del 20 de Julio.

6.7.2 PILONA 2

Está localizada dentro de la parte Sur del polígono del Portal del 20 de Julio de Transmilenio, en las coordenadas N= 4°33'52.87", E= 74° 5'43.03", inmediatamente al norte de la intersección entre la Carrera 3 y la calle 31 Sur, en la zona verde, (Figura 6-26 y Figura 6-27, anexo L2 y L5.).

Instituto de Desarrollo Urbano

Figura 6-26. Localización de la pilona 2.

La Perforación exploratoria muestra un relleno de escombros compuesto de bloques, guijarros y guijos de areniscas y chert clasto soportados con matriz arenosa, amarilla (2,5Y7/4) y raíces de 5 m., de espesor; continua hacia la base un suelo residual arcillo-arenoso abigarrado (10R4/2), de 2m de espesor. Posteriormente se presenta roca meteorizada de areniscas de grano muy fino con matriz arcillosa, grises claras (10YR7/4) y hacia la base arcillolitas abigarradas intercaladas con areniscas de grano muy fino con matriz arcillosa parda rojiza (5Y5/2) de 2,5 m de espesor.

A partir de los 9,55 m de profundidad se presenta una secuencia alternante de areniscas arcillosas pardas rojizas (10R4/2), areniscas de grano muy fino violáceas (5R4/2), areniscas arcillosas pardas (5YR4/2), algo húmedas y areniscas arcillosas grises pardas claras (5YR6/1) que alcanzan la profundidad del pozo de 25m.

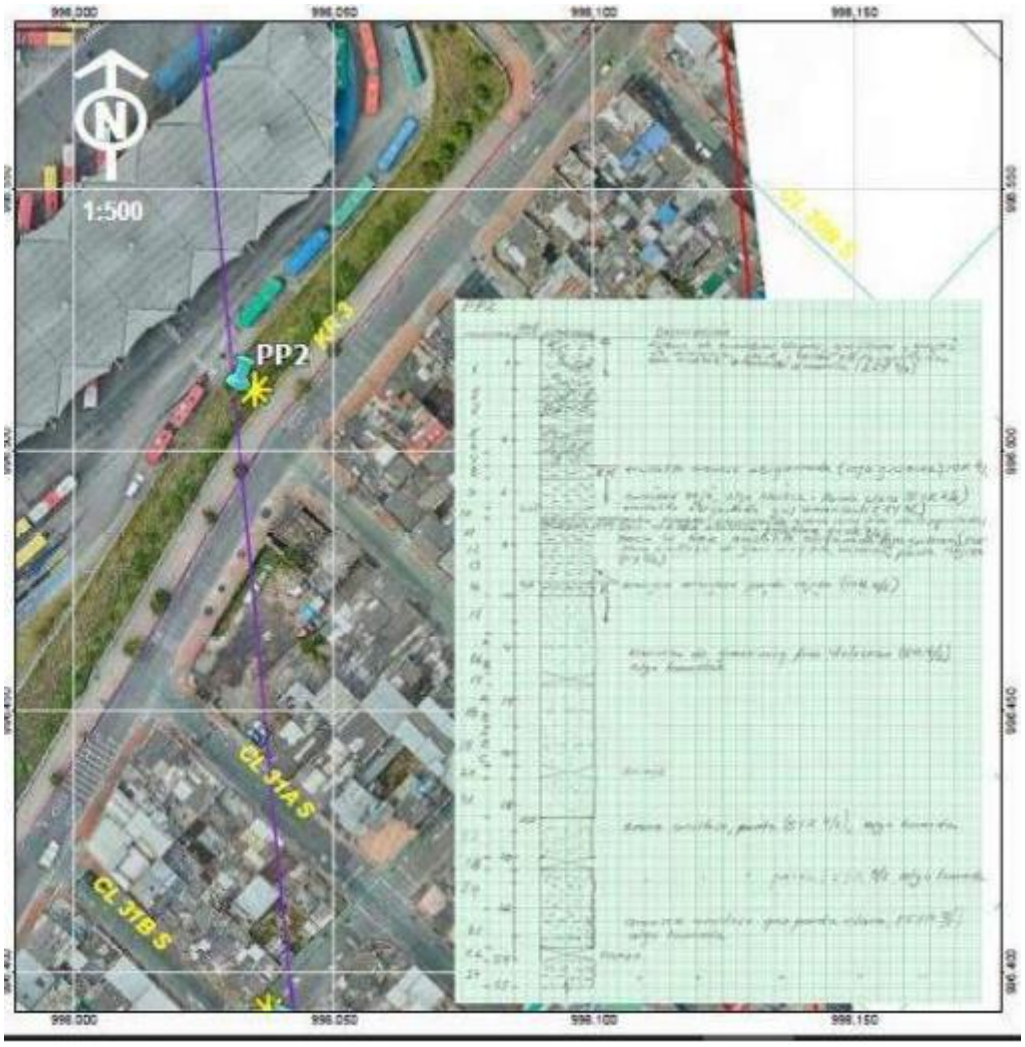


Figura 6-27. Localización de la pilona 2 y sitio de la perforación PP2.

Geomorfológicamente, inmediatamente al Norte se presenta un talud muy escarpado de aprox. 5 m de altura. Que no fue posible visitar por medidas de seguridad del portal. No se observan procesos morfodinámicos en el sector de la Pilona.

6.7.3 PILONA 3

Está localizada en la esquina oriental de la carrera 2B y la calle 31B sur, en las coordenadas N=4°33'48.78", E= 74° 5'42.63", (Figura 6-28 y Figura 6-29, anexo L2 y L5).

Figura 6-28. Localización de la pilona 3.

ALCALDIA MAYOR

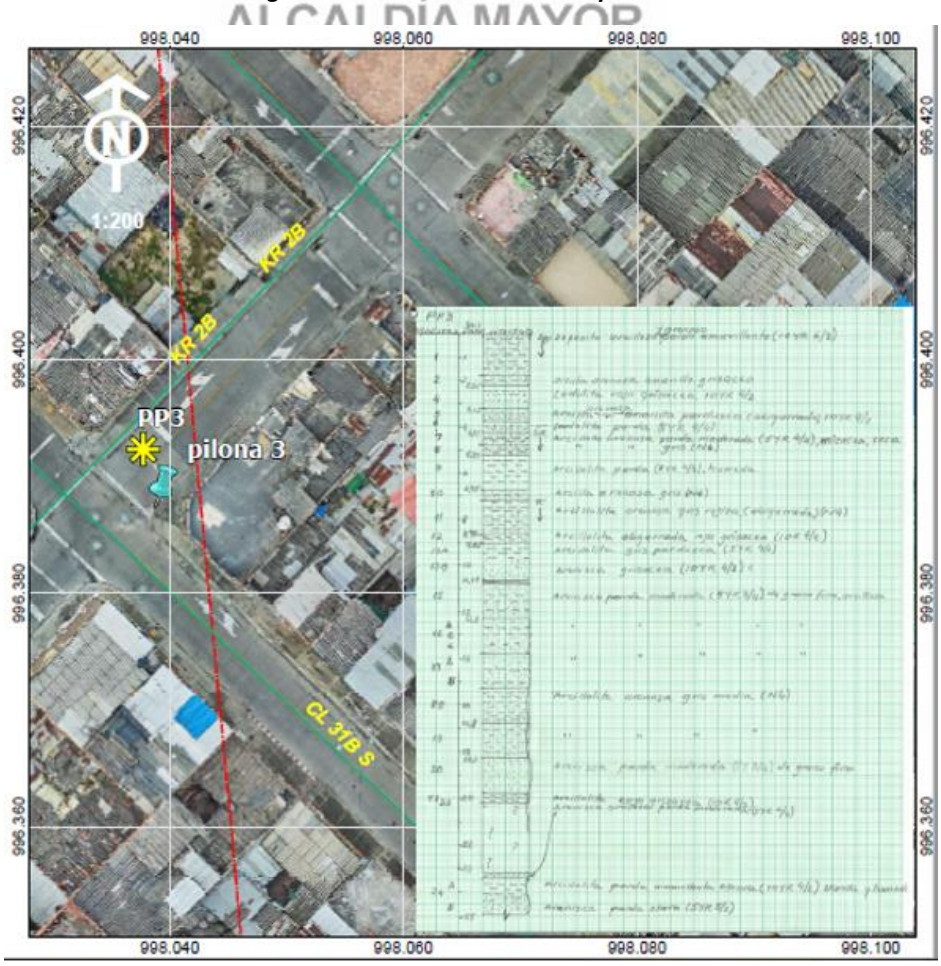


Figura 6-29. Localización de la pilona 3 y sitio de la perforación PP3.

La Perforación exploratoria efectuada para la pilona 3, muestra inicialmente un depósito compuesto por arcilla-arenosa pardo amarillento(10YR6/2), y amarillo grisáceo, lodolitas rojo grisáceas (10YR4/2) y arcillolita arenosa abigarrada (10YR9/2) de 4 m., de espesor; continua hacia la base un suelo residual arcillo-arenoso micáceo, pardo moderado (5YR4/4) y arcillas pardas (5YR4/4), a arenosas hacia la base, de 3,2 m., de espesor. A partir de los 7,2 m de profundidad se presenta una secuencia de arcillolitas abigarradas y grises intercaladas con areniscas grises y pardas, areniscas de grano fino pardas (5Y3/4) y arcillolitas amarillentas oscuras (10YR4/2) que alcanzan los 25 m., de profundad de lla perforación.

Geomorfológicamente, no se presentan evidencias de agrietamientos de paredes ni rompimientos del pavimento que permitan deducir inestabilidades en el sitio de la locación de la pilona.

6.7.4 PILONA 4

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD

Está localizada sobre el andén derecho de la carrera 2B entre las calles 31C y 31D Sur, en las coordenadas N= 4°33'45.00", E= 74° 5'42.27", (Figura 6-30 y Figura 6-31, anexo L5).

Figura 6-30. Localización de la pilona 4.

En la parte superior del pozo exploratorio se presenta un nivel de escombros compuesto de bloques y guijarros clasto-soportados con matriz arenosa amarilla (2,5Y7/5) raíces y restos de lonas plasticas de 1,9 m., de espesor; que suprayace una secuencia alternante de arcillolitas pardas rojizas (10R5/4), arcillolitas arenosas pardas, moderadamente duras;

areniscas arcillosas de grano fino, abigarradas; lodolitas micáceas, paquetes gruesos de areniscas de grano fino, pardo moderadas, y arcillolitas rojo-grisaceo (10R4/2) que alcanzan la profundidad del pozo de 25,4 m.

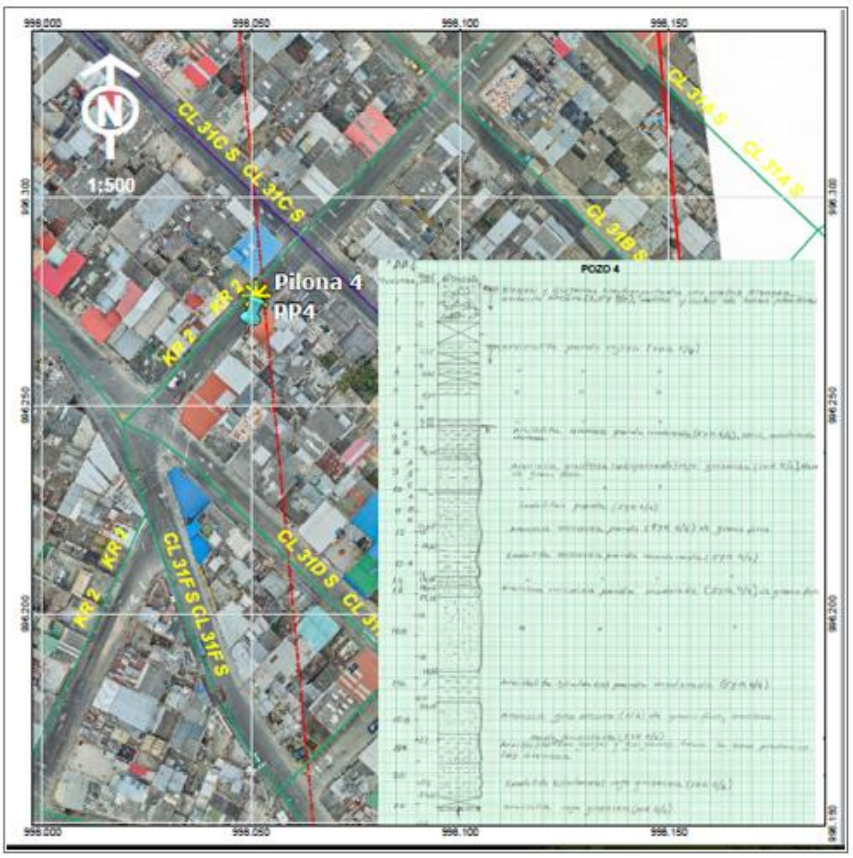


Figura 6-31. Localización de la pilona 4 y sitio de la perforación PP4.

Geomorfológicamente, no se presentan evidencias de agrietamientos de paredes e ni rompimientos del pavimento que permitan deducir inestabilidades en el sitio de la locación de la pilona.

6.7.5 PILONA 5

Está localizada sobre el andén sur de la calle 31FBis sur y la carrera 1Bis, en las coordenadas N= 4°33'40.48", E= 74° 5'41.82", (Figura 6-32 y Figura 6-33, anexo L2 y L5).

Este sitio presenta en la parte superior un suelo orgánico arcilloso café oscuro que cubre un relleno de arenas, limos y arcilla amarilla (10YR7/6), muy húmedas y de consistencia blanda de 1,8 m., de espesor; continua hacia la base roca meteorizada de una secuencia de arcillolitas pardas rojizas (5YR6/4), arcilla limosa, de baja consistencia y alta plasticidad, de 6,5 m., de espesor. Continua hacia la base roca sedimentaria tipo arcillolitas limosas micáceas, grises (N4), arcillolitas rojo grisáceas de consistencia media a baja, arcillolitas

arenosas abigarradas, y areniscas de grano fino y hacia la base arcillolitas micáceas, duras abigarradas y pardas que alcanzan los 25,5 m., de profundidad del Pozo.

Figura 6-32. Localización de la pilona 5.

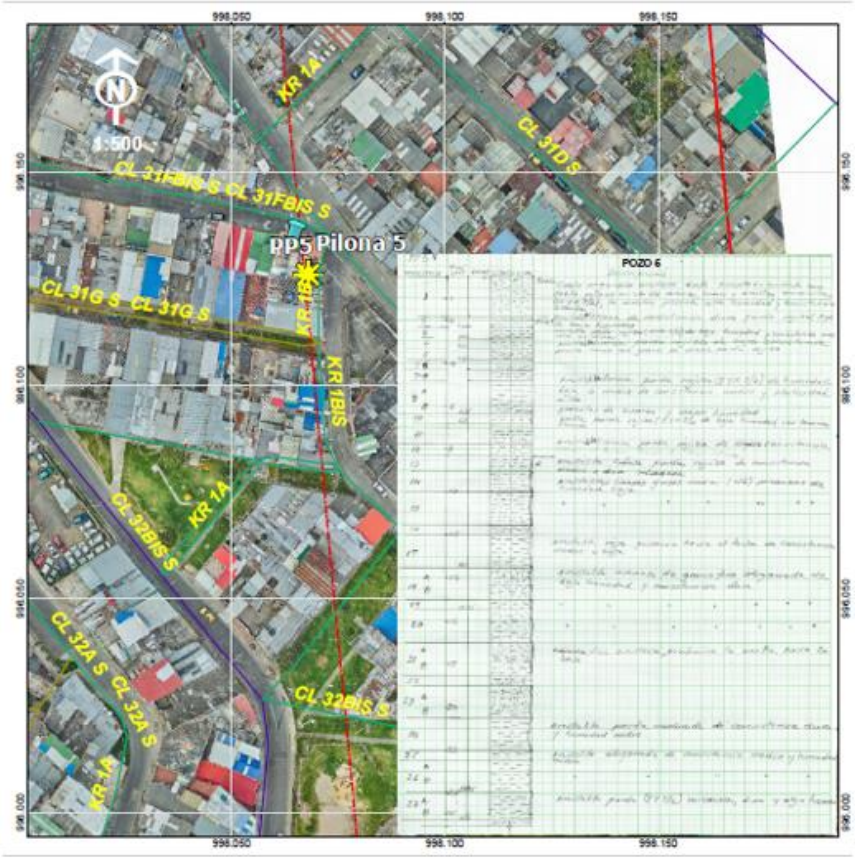


Figura 6-33. Localización de la pilona 5 y sitio de la perforación PP5.

Geomorfológicamente, no se presentan evidencias de agrietamientos de paredes ni rompimientos del pavimento que permitan deducir inestabilidades en el sitio de la locación de la pilona.

6.7.6 PILONA 6

Está localizada sobre la parte media de la calle 35 sur, entre las carreras 1 y 1Este, en las coordenadas N= 4°33'33.77", E= 74° 5' 41.17", (Figura 6-34 y Figura 6-35, anexo L2 y L5).

Figura 6-34. Localización de la pilona 6.

La secuencia litoestratigráfica, existente en el sitio de la localización de la Pilona se inicia con un suelo arcillo limoso rojo amarillento (5YR4/6, micáceo con abundantes raíces, de 2,55 m de espesor; continua hacia la base un suelo arcilloso pardo–rojizo y patinas grises de 3,5 m de espesor; suelo que es cubierto por un depósito compuesto por bloques, guijarros y guijos de areniscas blancas de grano muy fino, con matriz arcillosa parda rojiza (5YR4/2), probablemente de origen fluvioglaciar (?) de 4,9 m de espesor.

A partir de los 10,95 m de profundidad se presenta una secuencia de roca sedimentaria compuesta por intercalaciones de areniscas de grano fino, gris claras a medias, pardo rojizas y arcillolitas parda rojiza con clastos de areniscas subangulares a subredondeados, hasta los 25,03 m que es la profundidad del pozo.

Geomorfológicamente no se presentan evidencias de agrietamientos de paredes ni rompimientos del pavimento que permitan deducir inestabilidades en el sitio de la localización de la Pilona.

Figura 6-35. Localización de la pilona 6 y sitio de la perforación PP6.

6.7.7 PILONA 7

Está localizada entre las calles 36h y 36i Sur y las carreras 1 y 2 Este, en las coordenadas N= 4°33'24.89", E= 74° 5' 40.31", (Figura 6-36 y Figura 6-37 anexo L2 y L5).

La perforación exploratoria de esta pilona, muestra un depósito de escombros de bloques, guijarros y quijos, raíces y restos de carbón, distribuidos en una matriz arcillosa amarillenta (2,5Y5/2) de 1,8 m., de espesor, cubriendo un suelo residual arenoso de grano fino, pardo amarillento moderado (10Y5/4) y arena arcillosa parda clara (5YR5/6) de aprox. 1,0 m., de espesor, Continua una secuencia de roca meteorizada compuesta de arcillolitas arenosas

pardas claras (5YR5/6), arcillolitas abigarradas, areniscas arcillosas micáceas, pardas media (N5), de 3m., de espesor.

A partir de los 5,8 m de profundidad se presenta una intercalación entre areniscas arcillosas micáceas, pardas medias (5YR4/4) húmedas, areniscas de grano fino, arcillosas, micáceas, arcillolitas arenosas pardas claras (5YR5/6), arcillolitas grises oscuras (N4) hasta los 24,5 m., profundidad del pozo.claras (5YR5/6), arcillolitas grises oscuras (N4) hasta los 24,5 m., profundidad del pozo.

Figura 6-36. Reptación y asentamientos en el sitio de ubicación de la pilona 7.

Geomorfológicamente, el sitio definido para localización de la pilona esta sobre la ladera norte del Parque recreacional Atenas, en donde se evidencia una actividad morfodinámico importante de reptación que afecta el depósito de escombros y el suelo residual, areno-lodoso amarillo y rojizo, proceso que alcanza una profundidad no menor de los 2,8 m.

Por lo tanto, dadas las evidencias morfodinámicas y las condiciones geológicas del sitio, la excavación para esta estructura, necesariamente debe superar el nivel de roca meteorizada y alcanzar la profundidad de la roca insitú. Además, debe estar acompañada de obras de mitigación para detener el fenómeno amenazante activo identificado.

Figura 6-37. Localización de la pilona 7 y sitio de la perforación PP7.

6.7.8 PILONA 8

Está localizada, sobre la carrera 2A Este, inmediatamente del talud sur de la antigua vía a Villavicencio, en las coordenadas N= 4°33'20.14", E= 74° 5' 39.84", (Figura 6-38 y Figura 6-39, anexo L2 y L5).

Esta perforación se inicia con una capa de escombros de guijarros distribuidos en una matriz arcillosa abigarrada (5Y8/1), de 1,8 m., de espesor, que cubre un suelo residual húmedo de arenas muy finas violáceas con manchas grises y arcilla limosa gris pardusco (5YR4/1), de 8,2 m., de espesor. Continúan hacia la base roca meteorizada tipo arcillolitas limosas intercaladas con areniscas de grano fino, algo húmedas, gris medias (N4) que alcanzan un espesor de 4,25 m.

A partir de los 15,25 m., de profundidad se presenta una secuencia de areniscas de grano muy fino, grises (N4), duras, intercaladas con arcillolitas ligeramente arenosas, grises (N4), Hasta los 25, 1 m de profundidad.

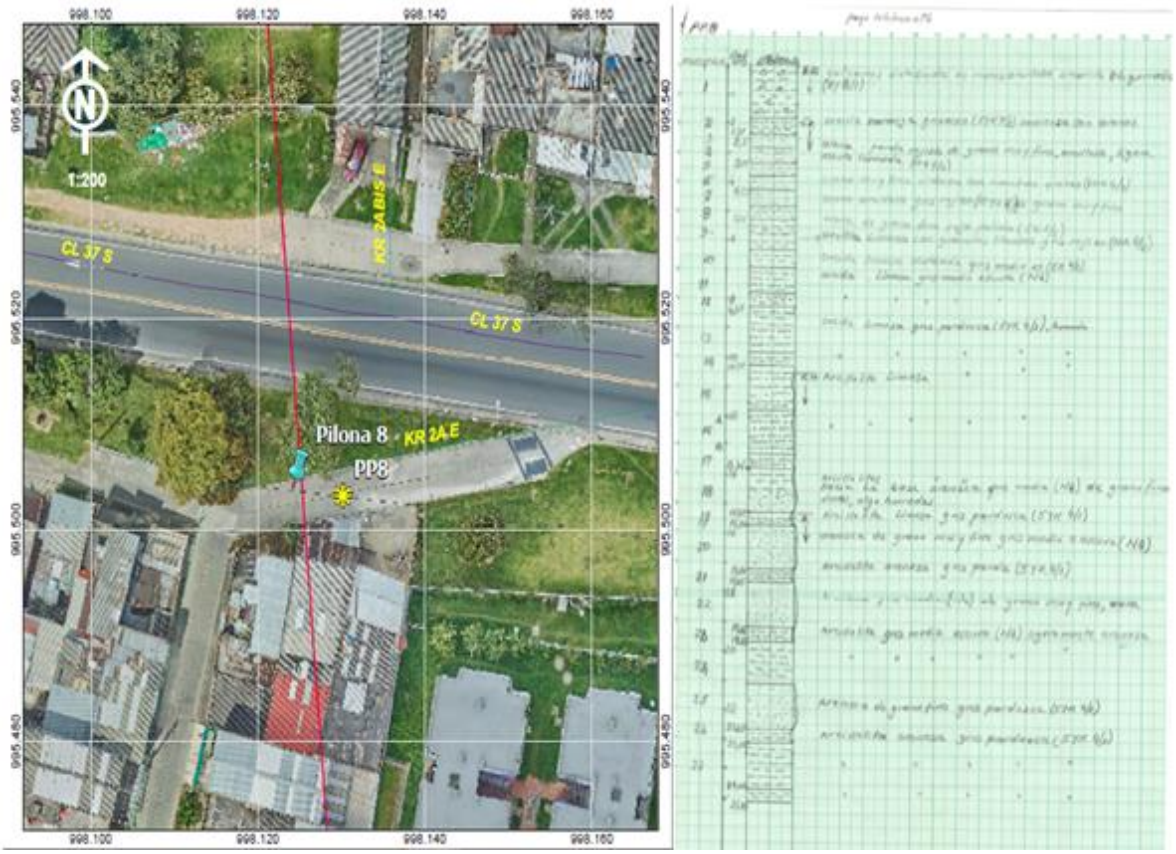


Figura 6-38. Localización de la pilona 8 y sitio de la perforación PP8.

Geomorfológicamente, el sitio definido para localización de la pilona esta inmediatamente al sur de talud de la antigua vía a Villavicencio en donde se presenta reptación con evidencias marcadas en la vegetación, Figura 6-39.

Por lo tanto, dadas las evidencias morfodinámicas y las condiciones geológicas del sitio, la excavación para esta estructura, necesariamente debe superar el nivel de roca meteorizada y alcanzar la profundidad de la roca insitú (aprx 15,25 m). Además, debe estar acompañada de obras de mitigación para detener elproceso de asentamiento del talud vial.

Figura 6-39. Inmediatamente a norte de la pilona 8

6.7.9 PILONA 9-10

Está localizada, sobre la carrera 2A Este, inmediatamente del talud sur de la antigua vía a Villavicencio, en las coordenadas N= 4°33'20.14", E= 74° 5' 39.84", (Figura 6-40 y Figura 6-41, anexo L2 y L5).

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.

Figura 6-40. Localización de la pilona 9-10 y sitio de la perforación PP9-10.

El sitio definido para localización de la pilona 9-10 presenta una capa superficial de escombros de bloques, guijarros y guijos, de areniscas, fragmentos de ladrillo, cerámicas, raíces , embebidos en una matriz arenosa amarillenta (5Y5/2)de 1,75 m., de espesor, que cubre un suelo residual arcillo-arenoso fino, amarillo medio (2,5Y5/2) de 1,45 m., de espesor; a los 3,7 m., se presenta roca meteorizada de areniscas arcillosa de grano muy fino grises (N4), intercalada con arcillolitas grises de 3,8 m., de espesor.

A partir de los 7,6 m., de profundidad se presenta una secuencia de roca arcillosa abigarrada gris azuloso (5R5/8), intercaladas con arcillolitas rojo grisáceo hasta los 25,1 m., de profundidad.

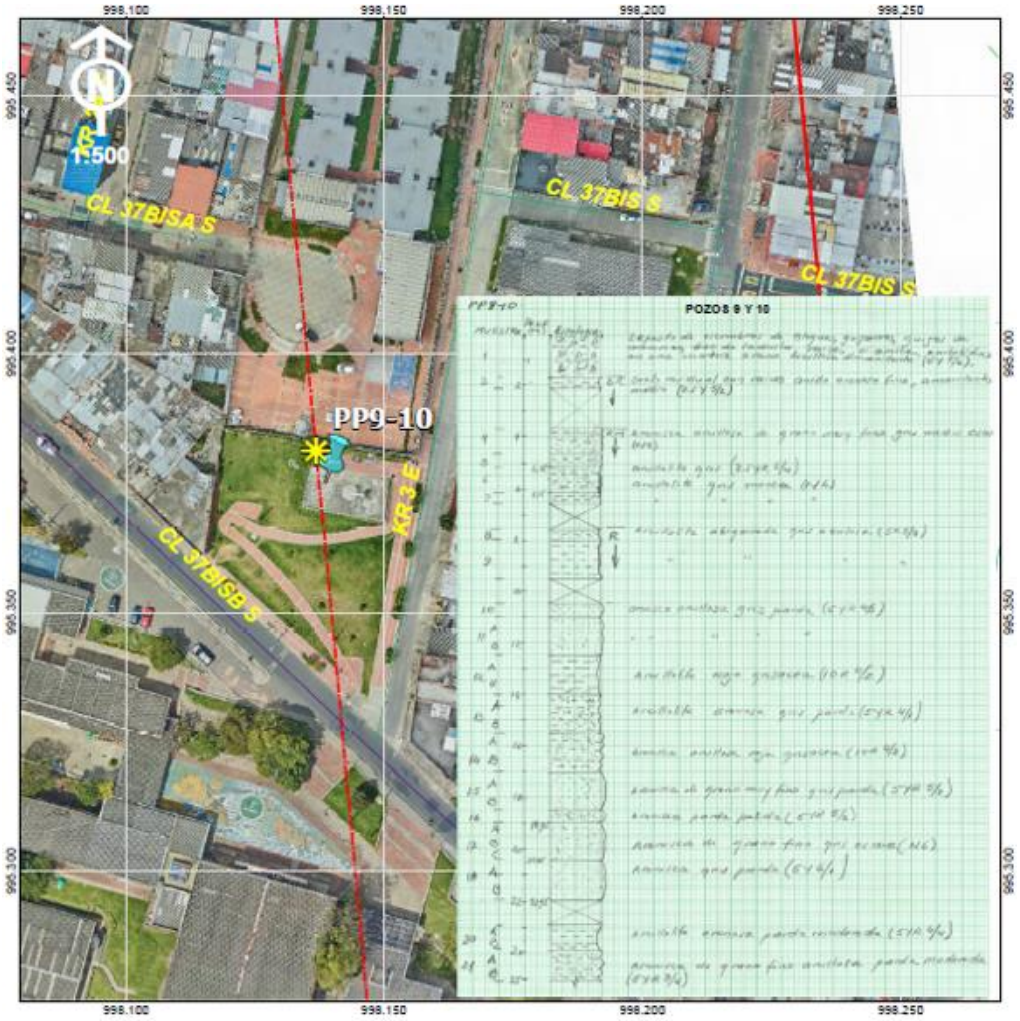


Figura 6-41. Localización de la pilona 9-10y sitio de la perforación PP9-10.

Geomorfológicamente, es una ladera denudacional inclinada al oeste, modificada por la acción antrópica sin evidencias de procesos morfodinámicos, relativamente conservada y estable.

6.7.10 PILONA 11

Está localizada, sobre la diagonal 39Sur, anden sur del hospital de la Victoria, en las coordenadas N= 4° 33' 14.85", E= 74° 5'39.33", (Figura 6-42 y Figura 6-43, anexo L2 y L5).

Figura 6-42. Localización de la pilona 11 y sitio de la perforación PP11.

Litoestratigráficamente, en el sitio se presenta un depósito de gránulos de arena fina, pardo clara (10YR7/2), intercaladas hacia la base con arcillas pardas, húmedas, arcillas limosas, arenas arcillosa con gránulos de cuarzo, chert y lutitas, conglomerados de areniscas de grano fino con gránulos de carbón distribuidos en una matriz arenosa, de 10 m de espesor; continúa hacia la base, una capa de meteorización de arcillolita arenosa negra oliva con guijos y gránulos de areniscas de grano fino, de 2 m de espesor.

A partir de los 12 m de profundidad se presenta roca sedimentaria compuesta por una secuencia de areniscas de grano fino a muy fino, parda pálida (10YR8/2), arenisca arcillosa con guijos de cuarzo parda amarillento (10YR4/2) con niveles húmedos y hacia la base arcillolitas abigarradas, hasta una profundidad de 24,3 m.

Geomorfológicamente es una ladera modificada por infraestructura vial inclinada al oeste, modificada por la acción antrópica sin evidencias de procesos morfodinámicos.

Figura 6-43. Localización de la pilona 11 y sitio de la perforación PP11.

6.7.11 PILONA 12

Está localizada, hacia la parte central de la manzana urbana formada entre las calles 39 y 40 sur, y las carreras 3ª y C, en las coordenadas N= 4° 33' 14.85", E= 74° 5'38.29", (Figura 6-44, anexo L5).

Figura 6-44. Localización de la pilona 12 y sitio de la perforación PP12.

En el sitio de la perforación exploratoria, se presenta un depósito arcillo-arenoso pardo (5Y3/2), con raíces cubriendo un nivel de escombros de guijarros angulares de areniscas distribuidas en una matriz areno-arcillosa parda (5YR2/2), de 2,8 m., de espesor; continua hacia la base un suelo residual arcillo-arenoso pardo grisáceo (10YR8/2), arcilla parda gris guijos de areniscas distribuidos en una matriz arenosa, parda amarillenta y guijarros de areniscas distribuidas en una matriz arcillosa parda clara (5YR5/6), de 9,5 m., de espesor; que suprayase una secuencia de roca meteorizada compuesta por capas de arcillolitas pardas, arcillolita con guijos de areniscas de 7,35 m., de espesor.

A partir de los 12,10 m., de profundidad se presenta roca sedimentaria estratificada en capas gruesas a muy gruesas de areniscas ricas en materia orgánica, pardas oscuras

(5YR2/2), arenisca de grano fino a medio, verde grisáceas (5GY6/1) hasta una profundidad de 25 m.

Geomorfológicamente, todo el sector está construido, no se evidencias viviendas ni calles con hundimientos que permitan deducir procesos morfodinámicos en el sector, Figura 6-45.

Figura 6-45. Localización de la pilona 12 y sitio de la perforación PP-12.

6.7.12 PILONA 13-14

Está localizada, en la carrera 3C Este y las calles 40ª S y 41Sur, en las coordenadas N= 4°33'1.73", E= 74° 5'38.29", (Figura 6-46 y Figura 6-47 anexo L2 y L5).

MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

Figura 6-46. Localización de la pilona 13-14 y sitio de la perforación PP13-14.

La perforación exploratoria muestra inicialmente un depósito arcillo-limoso con gránulos de cuarzo y arenas, gris pardas (10YR4/2), y arcillas grises amarillentas con guijos de arenas cuarzosas de grano fino de aprox., 4,5 m de espesor; continúa a una secuencia de rocas sedimentarias meteorizadas compuestas de capas de

areniscas de grano fino a muy fino, amarillo pálido, intercaladas con arcillolitas con gránulos de cuarzo, amarillas pardas y conglomerados arenosos, estratificados en capas muy gruesas, de 16,8 m de espesor. A partir de los 22 m hasta los 25,2 m de profundidad, se presenta la roca sedimentaria compuesta por capas medianas, gruesas y muy gruesas de arcillolitas pardas amarillentas intercaladas con conglomerados brechoides y areniscas de grano fino, gris amarillentas a pardas(10YR5/4) fracturadas.

Figura 6-47. Localización de la pilona 13-14 y sitio de la perforación PP13-14.

6.7.13 PILONA 15

Está localizada, en la carrera 4 Este, entre las calles 41Sur y 41Bis Sur, en las coordenadas N= 4°32'58.91", E= 74° 5'33.00", (Figura 6-48 y Figura 6-49, anexo L2 y L5).

Este sitio, los primeros 9,6 m., fueron utilizados todos los testigos para análisis de laboratorio. A partir de este sitio se presentan arcillas café pardas (10YR2/2) con gránulos de arena, materia orgánica y raíces; bloques de areniscas grises de grano fino (5YR8/1) embebidos en una matriz arcillosa gris pardo, arcillolitas con materia orgánica y restos de carbón; gravas en matriz arcillosa parda, secuencia que se observa hasta los 19,5 m de

profundidad, que corresponde seguramente a remanentes del depósito fluvioglaciar. Continúan hacia la base 2 m., de roca sedimentaria de arcillolitas y arcillolitas arenosas abigarradas (10R4/2), meteorizada. A partir de los 20.5 m., de profundidad se inicia la roca sedimentaria estratificada en capas gruesas a muy gruesas de areniscas de grano medio, pardas; arcillolitas moteadas y areniscas arcillosas friables varicoloreadas (10YR4/2) hasta una profundidad de 25 m.

Figura 6-48. Localización de la pilona 15 y sitio de la perforación PP15.

Geomorfológicamente es una ladera modificada por infraestructura vial inclinada al norte, modificada por la acción antrópica sin evidencias de procesos morfodinámicos.

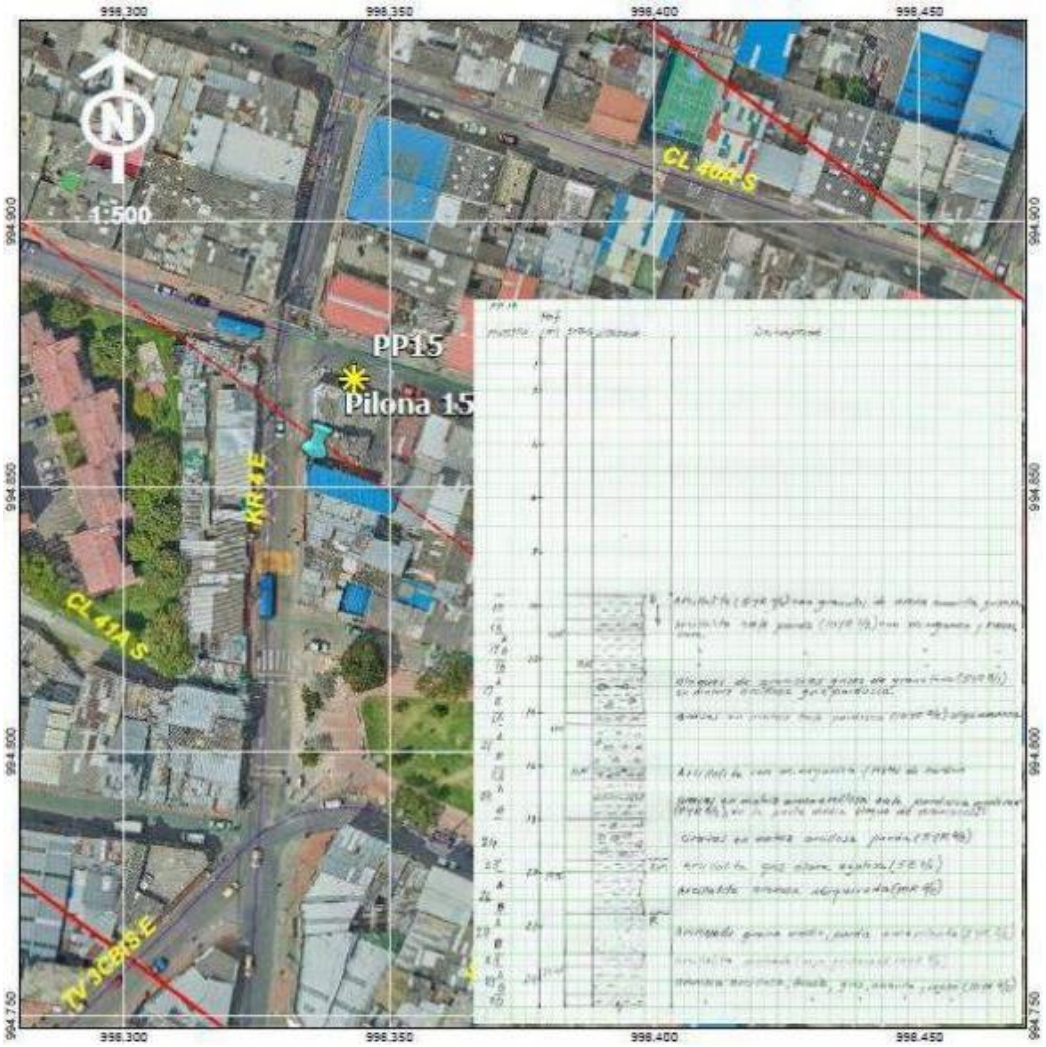


Figura 6-49. Localización de la pilona 15 y sitio de la perforación PP15

6.7.14 PILONA 16

Está localizada, en la carrera 4 Este, entre las calles 41ª Bis Sur y 41Bis Sur, y Carreras 6 Este y 6B Este, en un antiguo valle fluvioglaciar, coordenadas N= 4°32'55.30", E= 74° 5'28.04", (Figura 6-50, Figura 6-51, Figura 6-52, anexo L2 y L5).

En el sitio de la perforación se presenta una capa vegetal de 0,2 m., luego continúa un depósito de relleno compuesto por limo orgánico y un recebo de fragmentos de areniscas y arcillas gris rojizas de aprox. 7 m., de espesor. Hacia la base continua un suelo arcilloso de consistencia firme con fragmentos angulares de arcillolitas y limolitas de un espesor de 13,2 m., de espesor, que puede corresponder con el depósito fluvioglaciar. A partir de los 20,2 m., de profundidad hasta los 25, 25 m., se presenta una secuencia de limolitas rojas y areniscas de grano fino que es la unidad rosa de la Formación Bogotá.

Figura 6-50. Localización de la pilona 16 y sitio de la perforación PP16.

En el valle fluvio-glaciar donde se localiza la Pilona, se evidencia la presencia de grandes bloques de aprox, 1,2 m de diámetro mayor y bloques angulares distribuidos en una matriz arcillo arenosa rojiza que confirma el depósito fluvio-glaciar en el valle del sector, cubierto de depósitos de escombros, Figura 6-51.

Geomorfológicamente, en el sector se presenta un típico valle fluvioglaciar en U amplia como se aprecia en las figuras 45 y 46, con procesos incipientes de reptación, que requieren el diseño de obras de protección indirecta para la Pilona y un mantenimiento programado de mantenimiento y limpieza de los canales de drenaje.

Figura 6-51. Remanentes del depósito fluvioglaciar en el valle donde se ubica la pilona 16.

Figura 6-52. Localización de la pilona 6 y sitio de la perforación PP16.

6.7.15 PILONA 17

Está localizada, en la Carrera 7ª Este al interior de la vivienda No.41-36, en las coordenadas N= 4° 32' 52.22", E= 74° 5'23.80", (Figura 6-53 *y* Figura 6-54*, Anexo* L2 y L5).

En el sector de localización de la Pilona se presenta un depósito que se inicia con un relleno de bloques y guijos de arenisca distribuidas en una matriz amarilla parda (10YR4/2) y arcillas hacia la base. Posteriormente se presentan arenas arcillosas pardas pálidas (5YR5/2), intercaladas con arenas, guijos y guijarros de areniscas en matriz arcillosa parda pálida y arcillolitas limosas oxidadas y húmedas en la base. Este depósito presenta un espesor de 7m.

Figura 6-53. Localización de la pilona 17 y sitio de la perforación PP17

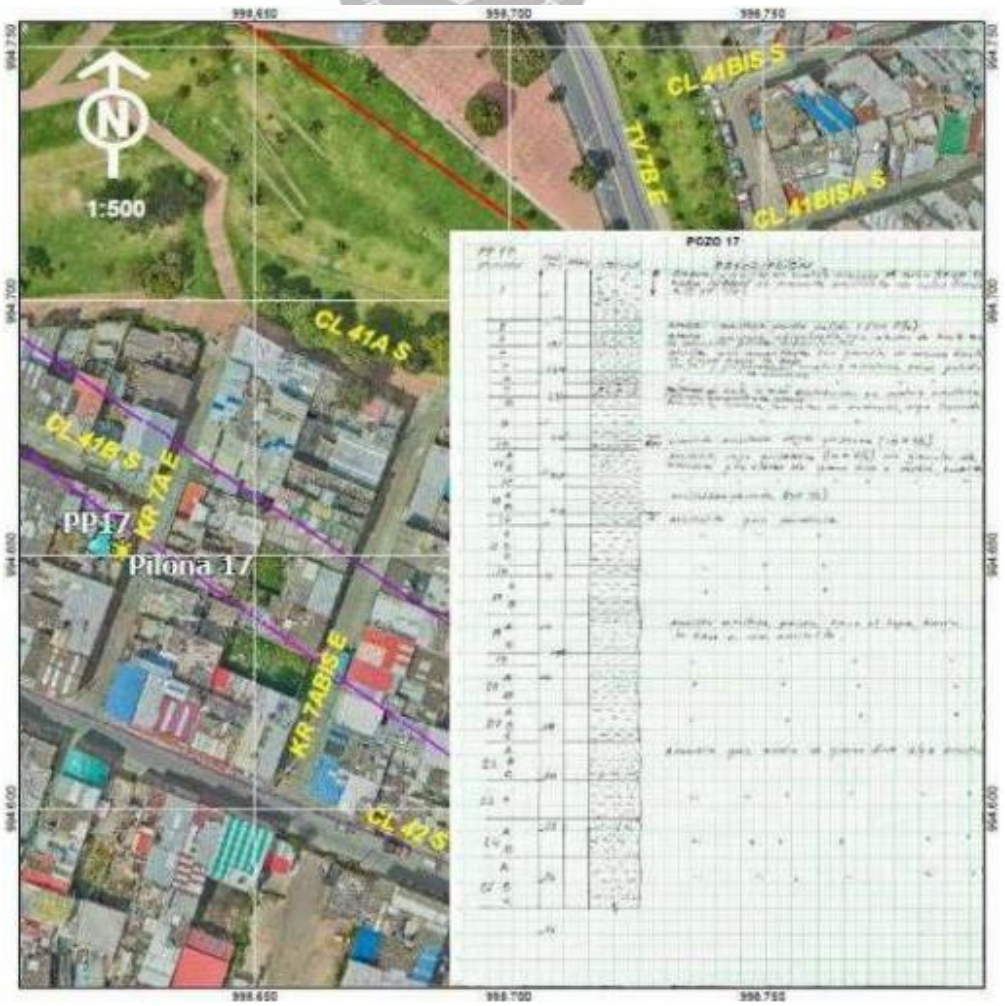


Figura 6-54. Localización de la Pilona 17 y sitio de la perforación PP17

Continúa hacia la base roca meteorizada de una secuencia alternante de limolitas arcillosas, roja grisácea (10R4/2) y areniscas cuarzosas de grano fino a medio, gris claras, de 3,55 m de espesor. Desde los 9,55 m de profundidad aflora la roca sedimentaria

compuesta por capas alternantes de arcillolitas gris parduscas estratificadas en capas muy gruesas, intercaladas con dos niveles de areniscas arcillosas pardas, finalmente hacia la base domina una secuencia de areniscas grises de grano fino algo arcillosas, hasta los 26 m de profundidad del pozo.

Geomorfológicamente es un sector totalmente intervenido por la edificación de viviendas y el desarrollo vial urbano; sin evidencias de procesos morfodinámicos.

6.7.16 PILONA 18

Está localizada, en la Carrera 8 Este No. 41-64, en las coordenadas N= 4° 32' 49.51", E= 74° 5' 20.07", (Figura 6-55 *y* Figura 6-56*, Anexo L5*).

ALCALDÍA MAYOR

Figura 6-55. Localización de la Pilona 18 y sitio de la perforación PP18.

El sitio definido para la ubicación de la Pilona, presenta en superficie un relleno de escombros de tamaño bloques, guijarros y guijos de restos de areniscas blancas y amarillas distribuidas en una matriz arenosa con presencia de raíces, hacia la base los bloques, guijarros y guijos están clasto soportados en matriz arenosa blanca, en el nivel inferior se presenta una capa arcillosa blanca grisácea (7,5Y7/1) de aprox. 5,3 m de espesor. Continua hacia la base un depósito fluvioglaciar espeso de aprox. 17,7 m de espesor que, inicia con un nivel arcilloso gris claro y abigarrado con fragmentos heterocentimétricos de areniscas y calizas distribuidos en una matriz arcillo-arenosa, húmeda; continúan arenas arcillosas de grano muy fino, húmedas y plásticas con esporádicos guijarros y guijos de areniscas intercaladas con un nivel arcillosos pardo claras a blancas con gránulos de arena y arcilla

arenosa café (7.5Y5/3); hacia la base predominan los bloques guijarros y guijos de areniscas distribuidos en una matriz arcillo arenosa parda (5GR4/4); seguido por niveles de areniscas arcillosas gris oscuras.

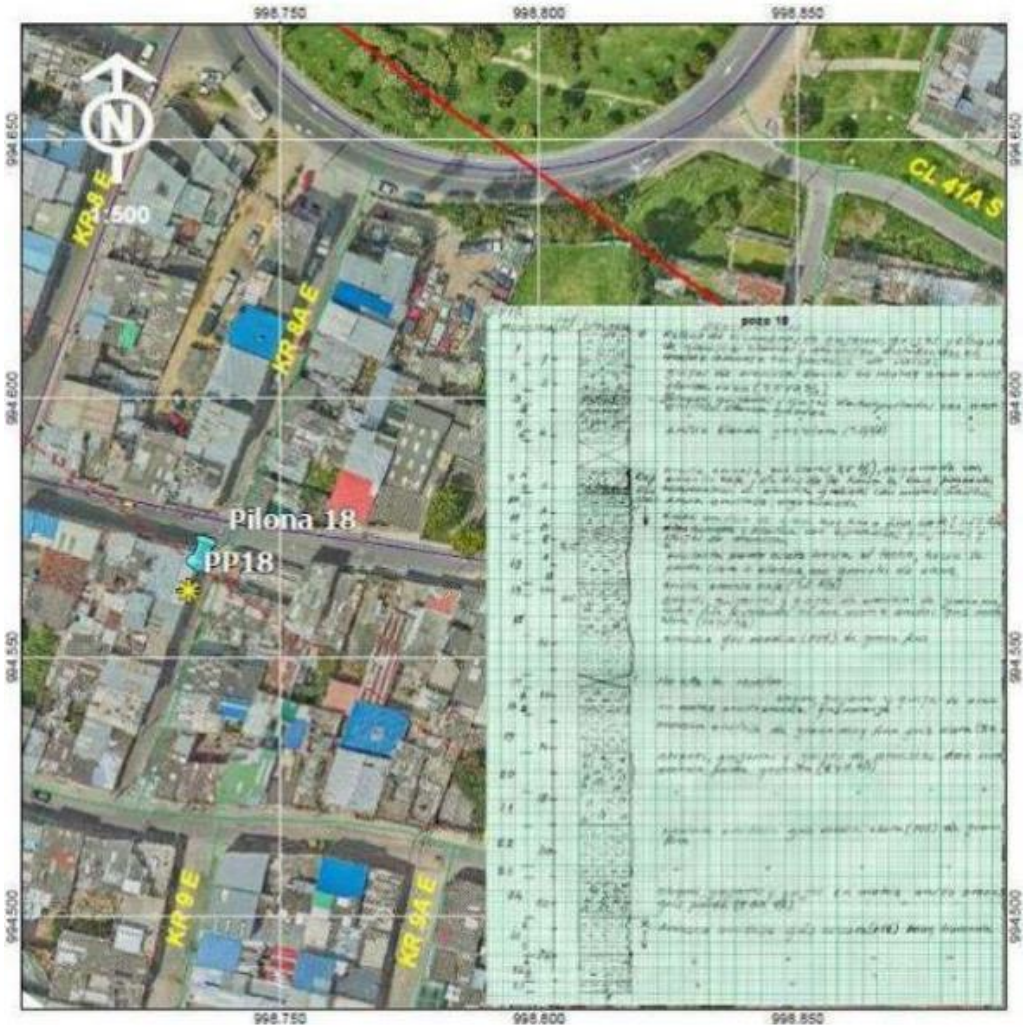


Figura 6-56. Localización de la pilona 18 y sitio de la perforación PP18.

Geomorfológicamente es una ladera intervenida por la urbanización y la pavimentación, sin evidencias de daños en viviendas ni procesos morfodinámicos.

6.7.17 PILONA 19

Está localizada, en la esquina NW formada por la intersección de la Carrera 11C Este y la calle 42B Sur, en las coordenadas N= 4° 32' 45.53", E= 74° 5' 14.59", (Figura 6-57 y Figura 6-58 *Anexo* L2 y L5).

Figura 6-57. Localización de la Pilona 19 y sitio de la perforación PP19.

DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

En el sitio se presenta inicialmente, una capa de escombros de 7 m de espesor compuesto por tamaños de bloques guijarros y guijos de areniscas distribuidos en matriz areno arcillosa parda clara (5YR5/2) con suelo orgánico, restos de ladrillo y cerámicas en la parte superior; hacia la base los fragmentos están clastosoportados con matriz arenosa gruesa a fina algo arcillosa, amarillas claras (10YR8/2) que finaliza en un nivel arenosos (remanente de un Bloque?).

A partir de los 7m de profundidad se presentan unas capas muy gruesas de areniscas de grano fino gris amarillentas, conglomerados clasto-soportados arenoarcillosos pardos y abigarrados, intercalados con arenas arcillosas y arcillolitas arenosas, gris pardas (N4) que corresponden en la parte superior a roca meteorizada y en la base la secuencia sedimentaria. Esta secuencia presenta un espesor de 19 m.

Geomorfológicamente el sitio es una zona verde de un conjunto residencia, sin evidencias de daños en la estructura de los bloques residenciales ni procesos morfodinámicos antiguos ni recientes.

Figura 6-58. Localización de la Pilona 20 y sitio de la perforación PP20.

6.7.18 PILONA 20

Está localizada, en la esquina SE formada por la intersección de la Carrera 11C Este y la calle 42B Sur, en las coordenadas N= 4°32'42.59", E= 74°5'14.59" Figura 6-59 *y* Figura 6-60*, Anexo L5.*

La localización de esta Pilona presenta inicialmente un depósito arcilloso pardo (3.5Y5/2) de 1,9 m de espesor; continua roca sedimentaria meteorizada de la Formación Bogotá, compuesta por una secuencia alternante de capas medianas a muy gruesas de areniscas de grano fino a muy fino blanco-amarillentas (10YR8/2); arcillolitas arenosas amarillas grisáceas (5YR7/2); areniscas amarillas pálidas (10YR5/2) y a la base un conglomerado gris claro con matriz arenosa de grano fino, muy húmedo. Esta secuencia presenta 8,1 m de espesor.

A partir de los 10 m hasta los 25,5 m se presenta la roca sedimentaria inalterada de una secuencia de capas gruesas a muy gruesas de arcillolitas arenosas hacia el techo, ricas en materia orgánica, arcillolitas abigarradas; arcillolitas arenosas gris parduscas (5YR4/1) y grises medio (N4) hacia la base. Geomorfológicamente el sitio hace parte de una antigua ladera inclinada al Norte modificada por la actividad urbanizadora en el sector, donde no se evidencian procesos morfodinámicos antiguos ni recientes.

Figura 6-59. Localización de la Pilona 20 y sitio de la perforación PP20.

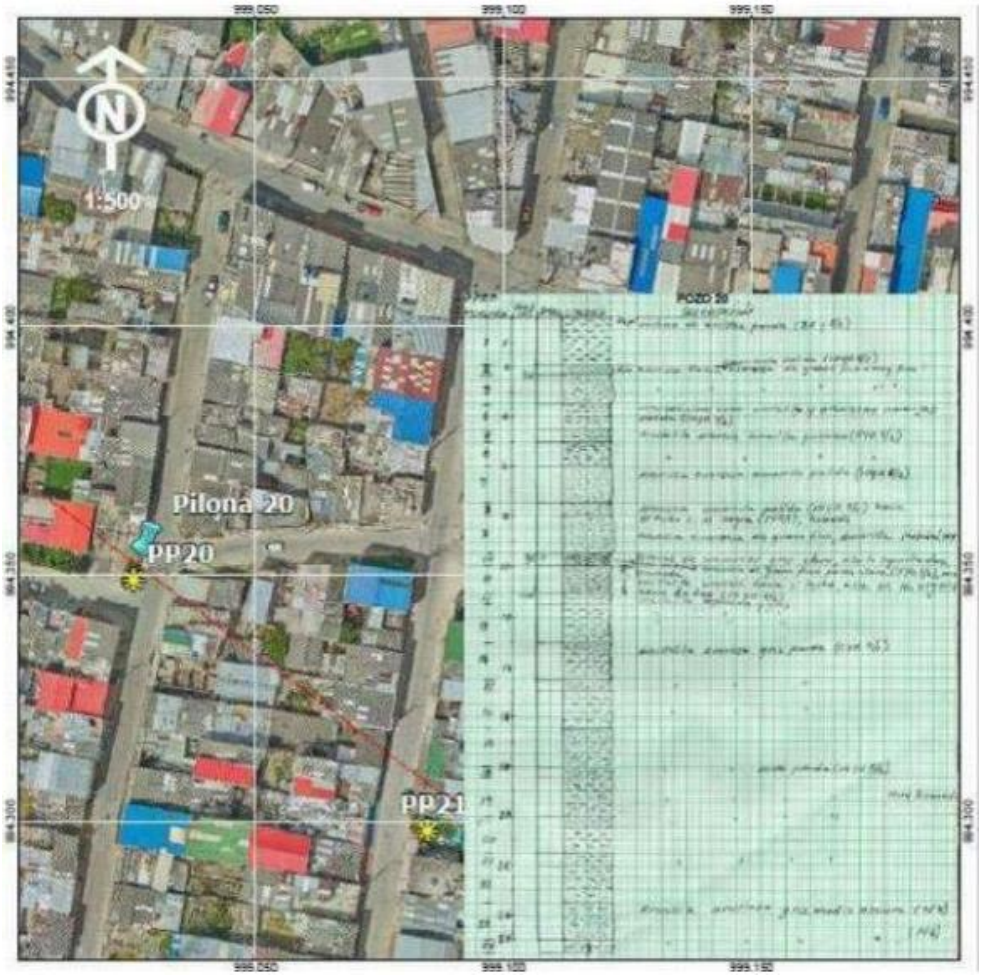


Figura 6-60. Localización de la Pilona 20 y sitio de la perforación PP20.

6.7.19 PILONA 21

Está localizada, en la calle 12 Este entre las calles 42B y 43ª Sur, en las coordenadas N= 4° 32' 40.65", E= 74° 5' 8.52", Figura 6-61 *y* Figura 6-62*, Anexo* L2 y L5.

El sector de localización de la Pilona se inicia con un suelo arenoso gris pardusco (2.5Y5/2) rico en materia orgánica que hacia la base aumenta el contenido de arcilla y varia su color a amarillo pálido (10YR8/2). El espesor de este segmento es de 2,8 m. Continua arenisca meteorizada gris naranja rosada (5YR7/2), de 1,4 m., de espesor: Desde los 4,3 m hasta los 23,5 m de profundidad, se presenta una secuencia de areniscas cuarzosas de grano fino intercaladas con areniscas arcillosas estratificadas en capas gruesas a muy gruesas amarillas pálidas (10Y3/2) y gris azulosas claras; finalizando hacia la base en una capa muy gruesa de arcillolita arenosa, abigarrada.

Geomorfológicamente el sitio hace parte de una antigua ladera inclinada al Norte modificada por la actividad urbanizadora en el sector, donde no se evidencian procesos morfodinámicos antiguos ni recientes.

Figura 6-61. Localización de la pilona 21 y sitio de la perforación PP21.

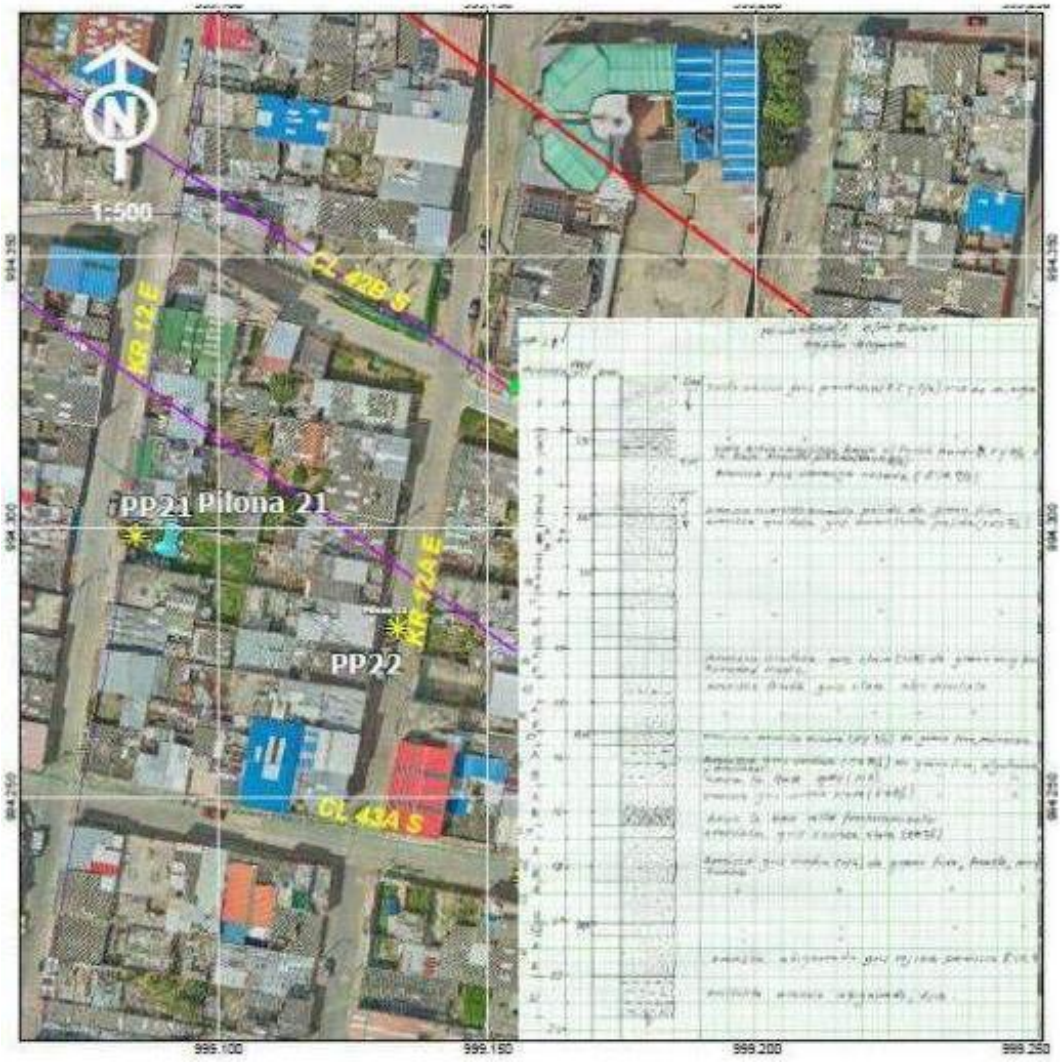


Figura 6-62. Localización de la pilona 21 y sitio de la perforación PP21.

6.7.20 PILONA 22

Está localizada, en la calle 12A Este entre las calles 43 y 43ª Sur, en las coordenadas N= 4° 32' 40.15", E= 74° 5'7.19", Figura 6-63 y Figura 6-64*, Anexo* L2 y L5.

Figura 6-63. Localización de la Pilona 22 y sitio de la perforación PP22.

Figura 6-64. Localización de la Pilona 22 y sitio de la perforación PP22.

Este sitio de localización de la Pilona 22 se caracteriza por la presencia de un depósito coluvial compuesto por guijarros y guijos de areniscas, fragmentos de carbón, restos de troncos, distribuidos en una matriz arcillo-arenosa parda de 4,85 m de espesor; que cubre un suelo residual arcilloso pardo con guijarros de areniscas restos de tallos de plantas y carbón distribuidos en una matriz arcilloarenosa parda; hacia la base se presentan niveles de arena arcillosa negra (5Y2/1) con guijarros de arenisca, húmedas. Este nivel alcanza los 13,15 m de espesor. A partir, de los 17 m se inicia la presencia de areniscas de grano fino, ricas en materia orgánica, gises a pardas (5YR2/2), estratificadas en capas muy gruesas hasta la profundidad de los 25 m.

Geomorfológicamente, el sitio hace parte de una antigua ladera denudacional inclinada al oeste, hoy modificada por la actividad urbanizadora en el sector, sin embargo, existen antecedentes históricos de reptación en la Ciudadela Santa Rosita que está localizada aprox. 400 m al Noroeste del Portal de Altamira. Por lo tanto, se recomienda que la estructura debe cimentarse sobre las areniscas a una profundidad superior de los 17 m.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

6.8 HIDROGEOLOGÍA

Desde el punto de vista hidrogeológico se destaca que el corredor de estudio, de acuerdo los resultados de la exploración geotécnica y según las condiciones geológicas regionales y detalladas del área de influencia directa e indirecta del proyecto del cable aéreo de San Cristóbal, se encuantra sobre depósitos que corresponden con la formación Siecha que tiene origen Fluvio-glacial y con materiales producto de la meteorización de la formación Bogotá. De acuerdo con los resultados de la exploración realizada hasta 20 m en las áreas de las estaciones 20 de Julio, La Victoria y Altamira, y de los sondeos de 25 m en los puntos de ubicación de las pilonas, se encontró que los materiales predominantes corresponden con suelos finos de arcillas y limos, y en niveles muy puntuales que no muestran continuidad lateral se encontraron materiales de composición arenosa y gravosa; lo anterior permite establecer que en general el perfil geológico geotécnico del corredor del proyecto es de baja permeabilidad; situación que genera un control en los proceso de recarga y descarga de flujo dentro de las profundidades de exploración y a mayor profundidad.

Otro aspecto importante para destacar respecto a la condición geológica de detalle es la presencia de niveles superficiales de rellenos antrópicos con espesores no mayores a los 3 m y que se componen de sobrantes de excavación y de demolición de composición en general granular con diferente contenido de finos, además es común la presencia de rellenos antrópicos dispuestos técnicamente para la conformación de las estructuras de pavimento y andenes. Estos depósitos presentan con carácter permeable que facilitan los procesos de recarga de flujo superficial y el transporte de este en el sentido de la ladera

tomando como frontera inferior los niveles impermeables de la formación Bogotá y de la Formación Siecha.

Según lo anterior, se puede establecer que el comportamiento del flujo en el área del proyecto esta dominado por un régimen subsuperficial que involucra principalmente los niveles de relleno antrópico permeables, generando líneas de flujo sub-paralelas a las laderas, que descargan en los puntos de menor cota topográfica siguiendo los alineamientos de los cauces de drenajes naturales existentes, que en el área del proyecto se encuentra canalizados. En este caso domina la presencia de niveles de agua colgados. Lo antes indicado puede verse en el comportamiento del contenido de humedad en el suelo en función de la profundidad, ver

Se puede apreciar que entre la superficie y los 10 m de profundidad se encuentran los valores máximos de humedad que indica una concentración mayor de agua, de 10 m hacia abajo hasta la profundidad de exploración máxima se puede ver una reducción gradual del contenido de agua, que indica el efecto de la impermeabilidad del suelo, que impide un proceso de flujo vertical en el perfil explorado.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.

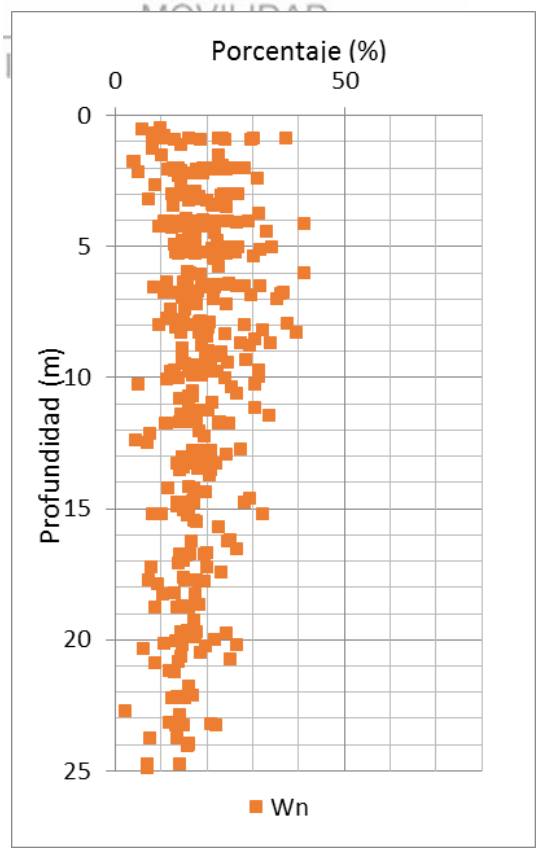


Figura 6-65. Variación de la humedad natural en función de la profundidad.

Con respecto a la presencia de zonas de recarga hídrica, se tiene que en la actualidad gran parte del área del corredor proyectado para el cable aéreo está cubierto por infraestructura vial y viviendas, esta condición hace que el nivel de filtración de agua lluvias sea bajo. Las áreas de recarga dentro del área de influencia directa e indirecta del proyecto se limitan a las pocas áreas verdes existentes en el corredor, estas áreas corresponden con el Parque Atenas, sector del hospital La Victoria y zona aledaña quebrada los Toches. Adicionalmente es posible la presencia de recargas desde puntos de fuga de sistema de alcantarillado pluvial y sanitario. En la Figura 6-66 se presenta una imagen satelital en la cual se identifican las áreas de recarga de mayor importancia para el corredor estudiado.

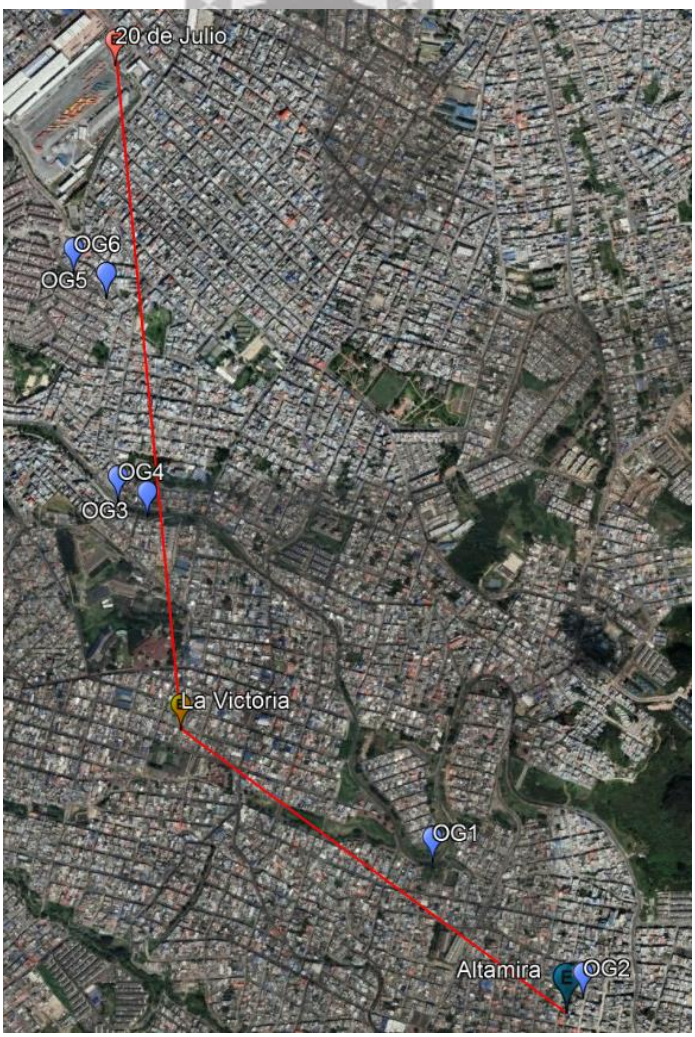


Figura 6-66. Imagen satelital del área del proyecto, se muestra en contornos azules las áreas verdes de recarga que pueden alimentar el nivel de agua subsuperficial por efecto de filtración.

En cuanto a áreas de descarga del flujo subsuperficial y subterráneo, a lo largo del corredor no se encontraron áreas específicas de nacederos o salidas de flujo que puedan indicar la presencia de áreas de saturación superficial que puedan influir en la estabilidad del corredor o en la estabilidad de las áreas de construcción de las obras. Por las condiciones topografías y la presencia de los depósitos antrópicos y depósitos fluvioglaciares se prevé que los puntos de descarga del flujo subsuperficial se presenten hacia la parte baja de las laderas sobre la ribera de drenajes naturales y artificiales que se encuentran hacia el sector Suroccidental. También la posible que la presencia de obras de subdrenaje subsuperficial para la construcción de vías y áreas de vivienda puedan estar interceptando líneas de flujo subsuperficiales y conduciendo el flujo a la red de alcantarillado pluvial, también en tramos de canalización de drenajes existente deben captarse flujos subsuperficiales a través de sistemas de subdrenajes dispuesto para el alivio de presiones de poros.

Con el fin de identificar el comportamiento general del flujo subsuperficial en el corredor de estudio, en todas las exploraciones del subsuelo se hizo el registro de los niveles de agua en las perforaciones al inicio de las jornadas con el fin de contar con valores de niveles de agua estables, en la Figura 6-67 se presenta un perfil del corredor que muestra la variación de la posición del nivel de agua subsuperficial, de estos resultados se tiene que en general el nivel del agua sigue una línea sub paralela a la superficie del terreno, y se encuentra a una profundidad variable entre 2 y 11.8 m y coincide de manera adecuada con la frontera de los depósitos superficiales de relleno antrópicos y depósito Fluvio glacial con el lecho de suelo residual arcilloso o roca meteorizada de arcillolita de la formación Bogotá, indicando que las líneas de flujo siguen la tendencia topográficas de las laderas. Es importante destacar además que en las áreas de depresiones topográficas del corredor se muestra un aumento de la profundidad del nivel de agua, pues en los sondeos los registros realizados no mostraron la presencia de agua en las perforaciones aunque fueron utilizados lodos de perforación, esto indica la presencia de fracturamiento en el lecho rocoso muy alterado que incrementa la profundidad y puede presentarse un aporte del flujo subsuperficial hacia niveles subterráneos, haciendo que se genere un abatimiento del nivel de agua en esas áreas, es decir el flujo pase de horizontal a vertical.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD

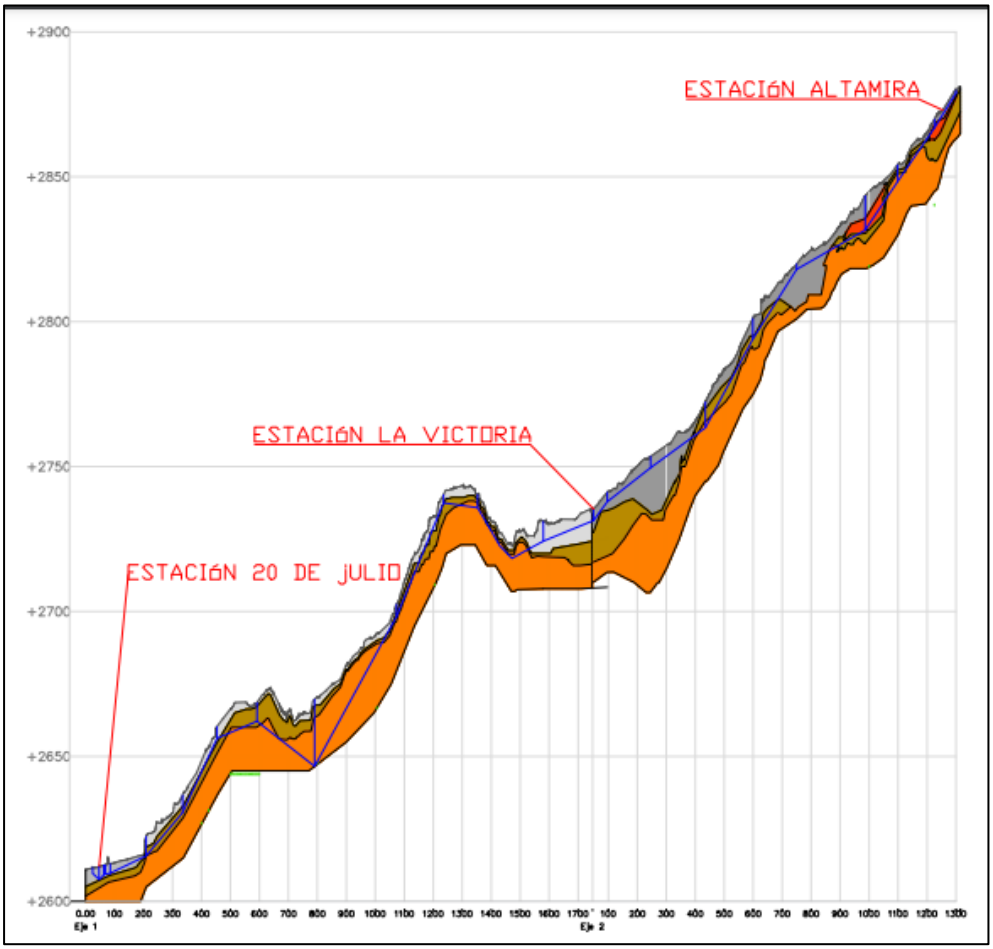


Figura 6-67. Sección longitudinal del corredor que muestra la posición del nivel de agua registrado con la línea azul.

En la Tabla 6-2 se incluyen los registros de los niveles de agua, medidos en las peroraciones realizadas.

Tabla 6-2. Coordenadas exploración directa pilonas

Tramo Portal 20 de Julio-La Victoria						
Perforación	Coordenadas planas		Coordenadas geográficas		Prof. exploración a (m)	Nivel agua reporte de exploración
	Este	Norte	Latitud	Longitud		
PP1	98018.78	96629.76	4°33'56.95"	74°5'43.52"	25	3.2
PP2	98030.43	96510.55	4°33'52.76"	74°5'42.78"	25	6.6
PP3	98042.71	96385.03	4°33'48.87"	74°5'42.69"	25	6
PP4	98054.05	96268.96	4°33'45.10"	74°5'42.25"	25	4
PP5	98067.64	96130.02	4°33'40.20"	74°5'41.71"	25	6.4
PP6	98087.8	95923.8	4°33'33.70"	74°5'41.30"	25	Seco
PP7	98114.5	95650.8	4°33'24.89"	74°5'40.31"	25	4.2
PP8	98128.76	95504.9	4°33'19.93"	74°5'39.69"	25	2.8
PP9-10	98137.15	95419.16	4°33'15.96"	74°5'39.47"	25	4.5
PP11	98144.65	95342.42	4°33'8.05"	74°5'38.63"	25	6.8
PP12	98165.02	95134.11	4°33'4.76"	74°5'38.42"	25	seco
PP13a-13b-14	98176.86	95013.04	4°33'1.67"	74°5'36.55"	25	3.2
Tramo La Victoria-Altamira						
PP15	98252.87	94915.48	4°32'59.33"	74°5'32.77"	25	3.8
PP16	98339.9	94852.44	4°32'55.30"	74°5'28.04"	25	8.9
PP17	98492.84	94741.67	4°32'52.18"	74°5'23.67"	25	7
PP18	98623.71	94646.88	4°32'49.31"	74°5'20.15"	25	1.8
PP19	98738.72	94563.75	4°32'45.53"	74°5'14.59"	25	11.8
PP20	98907.54	94441.31	4°32'42.35"	74°5'10.65"	25	5.8
PP21	99032.02	94351.15	4°32'40.70"	74°5'8.72"	25	seco
PP22	99135.8	94275.98	4°32'40.15"	74°5'7.15"	25	3
Estación Portal 20 de Julio						
P1 E20J			4°33'59.41"	74°5'43.96"	20	5.2
P2 E20J			4°33'58.16"	74°5'43.47"	20	4.4
P3 E20J			4°33'58.01"	74°5'44.09"	20	4
P4 E20J			4°33'58.03"	74°5'42.86"	20	3.5
P5 E20J			4°33'57.46"	74°5'43.54"	20	3.2
P6 E20J			4°33'58.74"	74°5'43.20"	20	2
Estación La Victoria						
P1 EV			4°33'4.01"	74°5'36.32"	20	4
P2 EV			4°33'2.17"	74°5'40.22"	20	7.2
P3 EV			4°33'1.35"	74°5'38.45"	20	4.6
P4 EV			4°33'3.51"	74°5'39.58"	20	3.5
P5 EV			4°33'2.93"	74°5'37.90"	20	4
Estación Altamira						
P1 AL			4°32'41.12"	74°5'5.83"	20	6
P2 AL			4°32'38.63"	74°5'6.39"	20	seco
P3 AL			4°32'39.80"	74°5'5.11"	20	0.9

Concluyendo, se tiene que a lo largo del corredor desde el punto vista hidrogeológico, el nivel de agua subsuperficial representa la condición de flujo que puede influir en mayor medida durante la ejecución de las obras de cimentación y excavaciones proyectadas, que en algunos casos pueden alcanzar el nivel de agua; por lo tanto, dentro de los análisis de estabilidad y diseños de obras de estabilización y de cimentaciones, es necesario considerar la posición del nivel de agua encontrado. Adicionalmente a partir de la exploración realizada no se identificó la presencia de niveles de suelos sometidos a presiones de agua artesiana que pueda indicar una influencia de niveles subterráneos y algún riesgo de fallas de excavaciones por levantamiento de fondo o sifonamiento debido a flujos ascendentes.

7 PLAN DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA

Con el fin de conocer en detalle las características físico-mecánicas de los materiales que servirían de fundación para las pilonas, estaciones de transferencia y demás estructuras del sistema de cable, se planteó una campaña de exploración geotécnica, siguiendo los lineamientos de la normatividad colombiana vigente. Para las pilonas, se utilizó lo dispuesto en el Código Colombiano de Puentes CCP-14 y para las estaciones de transferencia se utilizó la Norma Sismoresistente NSR-10.

Para las pilonas, de acuerdo con la zonificación geológica y geotécnica y siguiendo lo recomendado en la tabla 10.4.2.1 del código colombiano de puentes, se planteó un punto de perforación por sub-estructura con una profundidad de 25.0 m o hasta obtener núcleos continuos de hasta 3.0 m en roca. Esta profundidad obedeció a la naturaleza de las cargas de las estructuras de pilonas, en donde predominan los momentos de volteo, por lo que las cimentaciones profundas son la alternativa de fundación y fue indispensable conocer en profundidad las propiedades de los materiales en donde la cimentación tendrá influencia.

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Para el caso de las estaciones de transferencia, siguiendo la NSR-10 (tabla H.3.2-1) y para un nivel de complejidad media, se plantearon como mínimo 4 perforaciones por estación de 20.0 m de profundidad cada una.

Como complemento a la exploración directa, se planteó una exploración indirecta mediante líneas de refracción sísmica, con el fin de conocer el perfil de velocidades de ondas cortantes y caracterizar los materiales en términos sísmicos, especialmente para la definición del perfil de suelo para establecer el espectro de diseños sismoresistente para las pilonas de acuerdo con el CCP-14.

Las líneas de refracción ayudaron a caracterizar la zona de interés a partir del perfil Vs30 para propositos de diseño sismo-resistente, además de brindar información valiosa sobre la rigidez de los materiales y los posibles contactos entre los rellenos y depósitos fluvioglaciares típicos de la zona con la roca. Estas líneas se ubicaron en zonas en donde se contó con espacio suficiente para realizarlas (zonas verdes y parques) y cuyos resultados no se verían afectados por el ruido ambiental producto del paso de vehículos y/o personas.

Las perforaciones planteadas permitieron obtener información directa en puntos específicos en donde están ubicadas tanto las pilonas como las estaciones de transferencia. Se dispuso de dos equipos de perforación mecánica con capacidad de perforación de más de 30.0 m. Se tuvo en cuenta lo previsto en la normatividad colombiana vigente y aplicable para la extracción de muestras y ensayos de laboratorio (INVIAS,NSR10, CCP14 y/o resolución 227 de 2006 del IDIGER).

Dado que se requirio la ejecución del estudio de riesgo por remoción en masa Fase II de acuerdo con la resolución 227 de 2006, en la cual exigen la ejecución de un sondeo exploratorio cada 1500 m^2, al considerar un área de influencia por pilona del orden de 30 m a cada lado en el sentido longitudinal del eje del cable y de 15 m en el sentido tranversal, el área de influencia de cada pilona resulta del orden de 1800 m^2. Con lo anterior y considerando la informacion existente y lineas sísmicas, resultó suficiente un sondeo realizado en cada pilona para cubrir el requerimiento de exploración dado por el IDIGER.

De la misma manera para la estaciones contempladas en La Victoria y Altamira, que tienen un área de influencia directa de 10000 m^2 y 4400 m^2 respectivamente, en estas estaciones se plantearon ejecutar 4 sondeos de hasta 20 m, por lo que la distribución de sondeos para las áreas de influencia se consideraron suficientes para la generación del modelo geologico geotécnico de las áreas de influencia de las estaciones. Se destaca que para la estación de tranferencia del 20 de Julio no se consideró la ejecución de la evaluacion del riesgo por remoción en masa dado que esta queda en una zona plana, de amenaza baja y adicionalmente esta incluida dentro del Portal del 20 de Julio que presenta obras de protección geotecncia que evidencian buen grado de estabilidad.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Las pilonas 7 y 16 se encuentran ubicadas en inmediaciones de laderas, por lo que se consideró necesario plantear perforaciones adicionales y líneas de refracción sísmica en estos puntos para poder construir el modelo geológico-geotécnico de las laderas y determinar el nivel de amenaza y riesgo.

7.1 RECOMENDACIONES GENERALES Y REQUERIMIENTOS

A continuación, se presenta algunas fotografías obtenidas en la visita de campo de reconocimiento al área de influencia de las pilonas. A partir de esta visita se pudo delimitar una metodología y generar algunas recomendaciones que serán de utilidad y agilizarán el trabajo de exploración en la etapa de diseños definitivos.

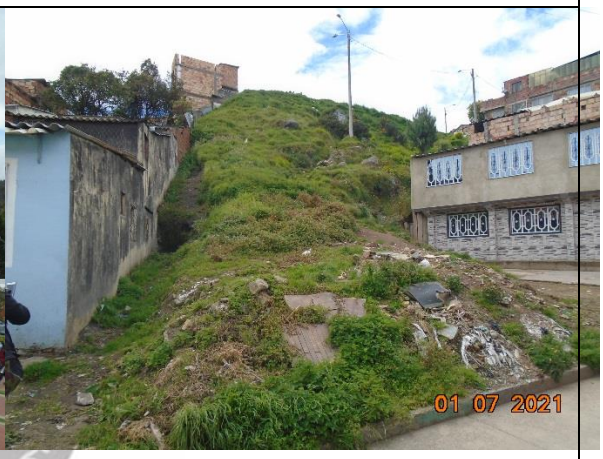
Estación de transferencia Portal 20 de Julio	Tramo entre Portal 20 de Julio y La Victoria
	
Hospital La Victoria	Tramo entre la Victoria y Altamira

Figura 7-1. Fotografías visita de campo.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD

7.2 ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA 20 DE JULIO

Localizada al norte del portal, en el área de parqueadero de vehículos particulares. El nivel corresponde de forma aproximada con el nivel general de la plataforma de parqueo de Transmilenio, por el costado norte, se encuentra un talud estabilizado de aproximadamente 5 m de altura.

Recomendación general: En la etapa de diseño fue necesario revisar la influencia de las excavaciones sobre el muro de contención del costado norte y este. Además de la necesidad de reubicar las redes húmedas de alcantarillado.

Requerimiento para exploración:

- Gestionar permiso para el ingreso y ejecución de exploración dentro del portal.
- Disponer de la localización exacta de las redes húmedas y secas para verificar que la ubicación de sondeos no afecta las redes existentes para evitar daños.
- Verificar con Transmilenio como se pueden intervenir las placas de pavimentos y como hacer la reparación.

7.2.1 Rampa de acceso 20 de Julio

Es la estructura de comunicación entre el Portal 20 de Julio y la estación de transferencia proyectada para el sistema de cable con una longitud mayor a 60 m.

Recomendación general: Se requiere proyectar exploración geotécnica para el diseño de la cimentación de las estaciones. Por la ubicación y la extensión de la rampa se debe proyectar al menos 2 sondeos adicionales de 20 m según el CCP-14.

Requerimiento para exploración:

- Gestionar permiso para el ingreso y ejecución de exploración dentro del portal.
- Disponer de la localización exacta de las redes húmedas y secas para verificar que la ubicación de sondeos no afecta las redes existentes para evitar daños.
- Verificar con Transmilenio como se pueden intervenir las placas de pavimentos y como hacer la reparación.

7.3 ESTACIÓN INTERMEDIA LA VICTORIA

El área proyectada corresponde con una manzana urbanizada.

Recomendación general: Dado que toda el área está construida es imposible realizar la exploración dentro del área proyectada, por tal razón para caracterizar el área se debe realizar perforaciones en la periferia del área aprovechando los andenes.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Requerimiento para exploración:

- Para la ejecución de la exploración, es necesario ocupar parte de las vías para disponer herramientas y equipos. Por lo anterior es necesario tramitar el PMT para la ejecución de los sondeos.

7.4 ESTACIÓN RETORNO ALTAMIRA

El área de la estación queda ubicada sobre una manzana urbanizada.

Recomendación general: Dado que el área es urbanizada no es posible realizar exploración dentro del área directa, se debe proyectar por la periferia de la manzana, sobre la vía o sobre andenes.

Requerimiento para exploración:

- Se requiere obtener PMT para la ejecución de la exploración.

7.5 PILONAS

7.5.1 Pilona 1

Está localizada en un área de circulación restringida para vehículos, al nivel de la plataforma de parqueo de Transmilenio, en el punto se encuentra un pozo de alcantarillado que debe ser desplazado al igual que reubicada la línea que conecta con el pozo.

Recomendación general: La exploración se puede realizar en el área, buscando un punto aledaño que no interfiera con las líneas de alcantarillado existentes. Para diseño se debe contar con la localización y longitud del tramo que debe ser desplazado.

Requerimiento para exploración:

- Se requiere contar con los permisos de acceso al área del portal donde se requiere hacer el sondeo para la cimentación de la pilona.
- Se requiere intervenir la placa de pavimento para realizar el sondeo, por esta razón es necesario conocer el procedimiento que se debe seguir para hacer la reparación de la placa de pavimento.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

7.5.2 Pilona 2

Se localiza a menos de 4 m de la corona de un muro de contención de 5 m de altura aproximada además queda ubicada a menos de 4 m del andén de la vía y de la estructura de la vía. En una zona verde.

Recomendación general: Por la localización de la pilona, es necesario realizar el sondeo desde el nivel alto del talud, con el fin del conocer la distribución del perfil de suelo por detrás del muro de contención. Dentro de los análisis y diseños es necesario definir la influencia de la pilona sobre el muro y la vía.

Requerimiento para exploración:

- Debido a la dificultad de ubicar la máquina sobre el talud en zona verde, se realizará sobre el andén de la carrera 3 por lo que requiere PMT.

7.5.3 Pilona 3

Está localizada en la zona dentro del área urbanizada fuera de las vías y el andén.

Recomendación general: Por la condición actual se debe realizar el sondeo sobre el andén, pero se debe intervenir parte de la vía para disponer los equipos y herramientas.

Requerimiento para exploración:

- Se requiere contar con el PMT.

7.5.4 Pilona 4

Está localizada en la zona dentro del área urbanizada fuera de las vías y el andén.

Recomendación general: Por la condición actual se debe realizar el sondeo sobre el andén, pero se debe intervenir parte de la vía para disponer los equipos y herramientas.

Requerimiento para exploración:

- Se requiere contar con el PMT.

7.5.5 Pilona 5

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Está localizada en la zona dentro del área urbanizada fuera de las vías y el andén.

Recomendación general: Por la condición actual se debe realizar el sondeo sobre el andén, pero se debe intervenir parte de la vía para disponer los equipos y herramientas.

Requerimiento para exploración:

- Se requiere contar con el PMT.

7.5.6 Pilona 6

Está localizada en la zona dentro del área urbanizada fuera de las vías y el andén.

Recomendación general: Por la condición actual se debe realizar el sondeo sobre el andén, pero se debe intervenir parte de la vía para disponer los equipos y herramientas.

Requerimiento para exploración:

- Se requiere contar con el PMT.

7.5.7 Pilona 7

Se localiza sobre las zonas verdes a unos 10 m del andén, el área de influencia directa de la pilona se presenta en un depósito pequeño que presenta deformaciones leves del terreno y de obras de contención (muro de gaviones deformado), por lo tanto, será necesario verificar la estabilidad de las laderas durante diseño y proyectar obras de mitigación si es necesario.

Recomendación general: Dentro del estudio de estabilidad de taludes y en el estudio de riesgo por remoción en masa revisar las condiciones actuales de estabilidad para definir la necesidad de incluir obras de mitigación del riesgo.

Requerimiento para exploración:

- Realizar la exploración prevista para la pilona y exploración adicional en la ladera sobre el perfil crítico para determinar el modelo geológico-geotécnico detallado para evaluar el nivel de amenaza y riesgo actual para ver la necesidad de obras de mitigación del riesgo.
- Se debe incluir una línea sísmica
- No requiere PMT.

7.5.8 Pilona 8

Se localiza sobre la corona del talud vial de la vía a Villavicencio. El talud evidencia deformaciones leves.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

Recomendación general: Dentro del estudio de estabilidad de taludes y en el estudio de riesgo por remoción en masa revisar las condiciones actuales de estabilidad para definir la necesidad de incluir obras de mitigación del riesgo. Dada la restricción de espacio, es necesario revisar adecuadamente el proceso de construcción y la influencia de las excavaciones sobre las estabilidad y operación de la vía.

Requerimiento para exploración:

- Con el sondeo proyectado para la cimentación de la pilona es suficiente para el análisis de estabilidad y riesgo.
- Se requiere PMT, debido a que es necesario intervenir parte de una vía interna para la ubicación de la maquina y herramientas de exploración.

7.5.9 Pilona 9

Se localiza sobre una zona verde y parque infantil existente.

Recomendación general: Verificar con la entidad propietaria del parque cuales deben ser los procesos que se deben tener para la ejecución del sondeo.

Requerimiento para exploración:

- Se requiere tramitar los permisos correspondientes para poder realizar el sondeo y obtener los requerimientos para la reparación del sitio.

7.5.10 Pilona 10

Se localiza dentro de los predios del hospital La Victoria.

Recomendación general: En el sitio de encuentra el muro de cerramiento del hospital y otras estructuras que deben ser tenidas en cuenta los análisis y diseños de la pilona para determinar su influencia sobre tales estructuras y definir la necesidad de obras de mitigación geotécnica.

Requerimiento para exploración:

- Dado que el sondeo queda dentro de los predios del hospital, se requiere obtener los permisos correspondientes para el ingreso y ejecución de la exploración dentro del predio, además de obtener los requerimientos para la reparación del sitio.
- Como es al interior del hospital, no requiere PMT pero si los permisos necesarios para acceder al predio.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

7.5.11 Pilona 11

Se localiza dentro del área de la manzana proyectada para la estación La Victoria.

Recomendación general: Dado que el área esta urbanizada el sondeo no se puede realizar sobre el punto especifico, por esta razón es necesario realizar el sondeo sobre el área del andén, sin embargo, es necesario ocupar parte de la calzada para el manejo de las herramientas y equipos de perforación.

Requerimiento para exploración:

- Se requiere obtener PMT para la ejecución de la exploración.

7.5.12 Pilona 12-13-14

Al estar tan cercanas estas pilonas, se planteó un solo sondeo para las tres estructuras.

Se proyecta dentro de área urbanizada

Recomendación general: Para caracterizar el sitio se requiere hacer el sondeo sobre el andén, ocupando parte de la vía.

Requerimiento para exploración:

- Se requiere obtener PMT para la ejecución de la exploración.

7.5.13 Pilona 15

Se proyecta dentro de área urbanizada.

Recomendación general: Para caracterizar el sitio se requiere hacer el sondeo sobre el andén, ocupando parte de la vía.

Requerimiento para exploración:

- Se requiere obtener PMT para la ejecución de la exploración.

7.5.14 Pilona 16

Se localiza sobre las zonas verdes, el área de influencia directa de la pilona se presenta en una ladera, por lo tanto, será necesario verificar la estabilidad de las laderas durante diseño y proyectar obras de mitigación si es necesario.

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Recomendación general: Dentro del estudio de estabilidad de taludes y en el estudio de riesgo por remoción en masa revisar las condiciones actuales de estabilidad para definir la necesidad de incluir obras de mitigación del riesgo.

Requerimiento para exploración:

- Realizar la exploración prevista para la pilona y exploración adicional en la ladera sobre el perfil crítico para determinar el modelo geológico-geotécnico detallado para evaluar el nivel de amenaza y riesgo actual para ver la necesidad de obras de mitigación del riesgo.
- Se debe incluir una línea sísmica
- No requiere PMT.

7.5.15 Pilona 17

Se proyecta dentro de área urbanizada

Recomendación general: Para caracterizar el sitio se requiere hacer el sondeo sobre el andén, ocupando parte de la vía.

Requerimiento para exploración:

- Se requiere obtener PMT para la ejecución de la exploración.

7.5.16 Pilona 18

Se proyecta dentro de área urbanizada

Recomendación general: Para caracterizar el sitio se requiere hacer el sondeo sobre el andén, ocupando parte de la vía.

Requerimiento para exploración:

- Se requiere obtener PMT para la ejecución de la exploración.

7.5.17 Pilona 19

Se proyecta dentro de área urbanizada

Recomendación general: Para caracterizar el sitio se requiere hacer el sondeo sobre el andén, ocupando parte de la vía.

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Requerimiento para exploración:

- Se requiere obtener PMT para la ejecución de la exploración.

7.5.18 Pilona 20

Se proyecta dentro de área urbanizada

Recomendación general: Para caracterizar el sitio se requiere hacer el sondeo sobre el andén, ocupando parte de la vía.

Requerimiento para exploración:

- Se requiere obtener PMT para la ejecución de la exploración.

7.5.19 Pilona 21

Se proyecta dentro de área urbanizada.

Recomendación general: Para caracterizar el sitio se requiere hacer el sondeo sobre el andén, ocupando parte de la vía.

Requerimiento para exploración:

- Se requiere obtener PMT para la ejecución de la exploración.

7.5.20 Pilona 22

Se proyecta dentro de área urbanizada

Recomendación general: Para caracterizar el sitio se requiere hacer el sondeo sobre el andén, ocupando parte de la vía.

Requerimiento para exploración:

- Se requiere obtener PMT para la ejecución de la exploración.

7.6 UBICACIÓN EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA PARA LA FASE DE DISEÑOS DEFINITIVOS

De acuerdo con lo anterior, para la fase de diseños definitivos, se realizó un total de 11 perforaciones de 25.0 m de profundidad para las pilonas del tramo Portal 20 de Julio - La Victoria y una perforación de 15.0 m de profundidad en inmediaciones de la pilona 7 para evaluación de amenaza y riesgo. Para el tramo de La Victoria-Altamira se plantearon 9 perforaciones de 25.0 m para las pilonas y una perforación de 15.0 m de profundidad en inmediaciones de la pilona 16 para evaluación de amenaza y riesgo. Para la estación 20 de Julio, como no tiene ninguna perforación profunda previa en el área de emplazamiento, se plantearon 6 perforaciones de 20.0 m de profundidad. Estas 6 perforaciones incluyen la rampa de acceso peatonal que se tiene prevista para esta estación (una en el apoyo previsto y otra en la llegada a la futura estación). Para la estación La Victoria se plantearon 5 perforaciones de 20.0 m de profundidad distribuidas en el área de afectación y sobre andenes y vías por ser una zona urbanizada. Para la estación de Altamira, como se tiene una perforación de las pilonas y la perforación de la factibilidad del 2013 dentro del área de emplazamiento de la estación, se plantearon 3 perforaciones adicionales de 20.0 m de profundidad. Finalmente, se plantearon un total de 2 líneas de refracción sísmica que complementarán las ya ejecutadas en fase de factibilidad. En las siguientes figuras se observa la localización de dicha exploración.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Figura 7-2. Ubicación general exploración diseños definitivos

Figura 7-3. Exploración geotécnica tramo 20 de Julio- La Victoria

Figura 7-4. Exploración geotécnica tramo La Victoria-Altamira

Figura 7-5. Exploración geotécnica estación Portal 20 de Julio

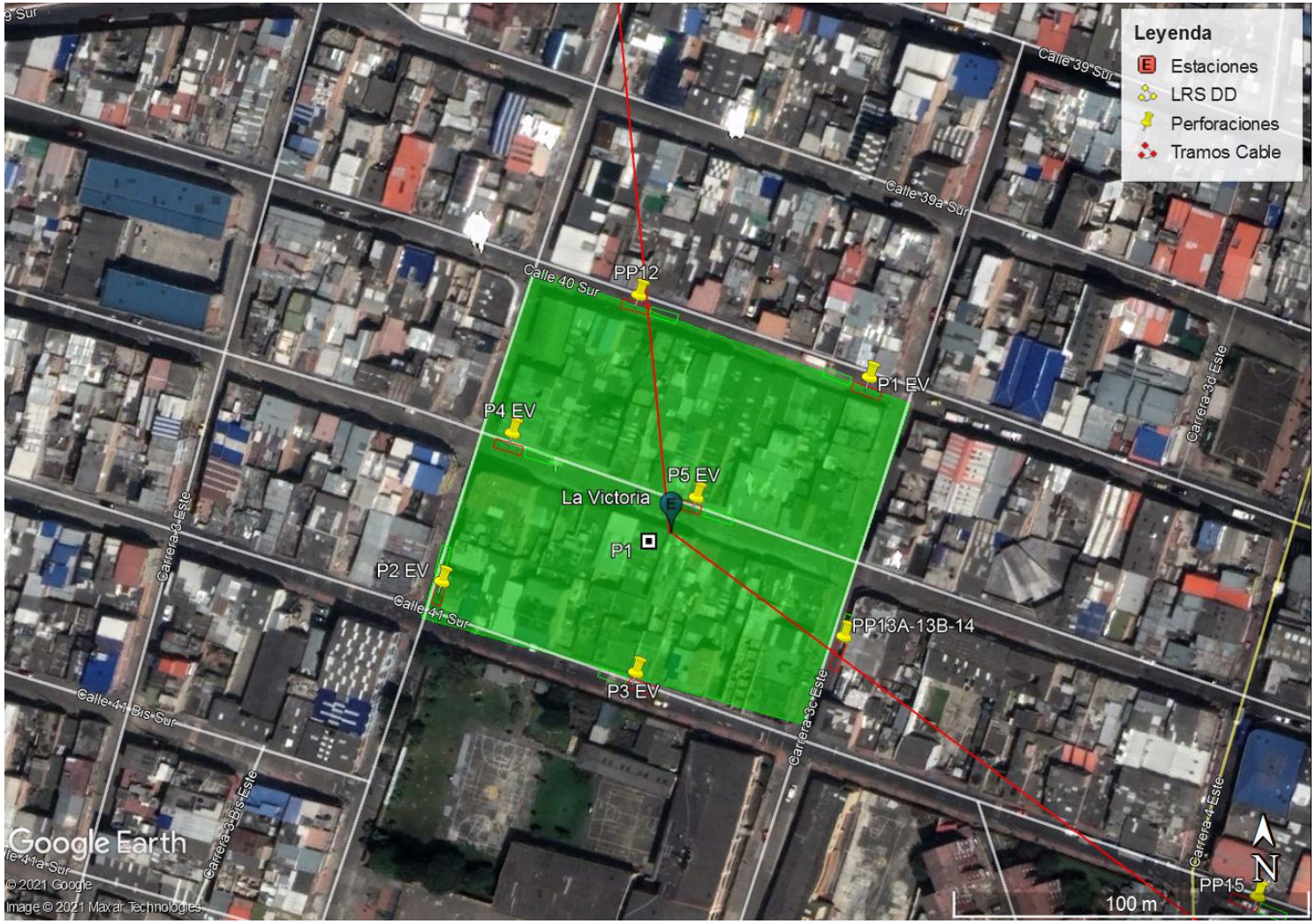


Figura 7-6. Exploración geotécnica estación La Victoria

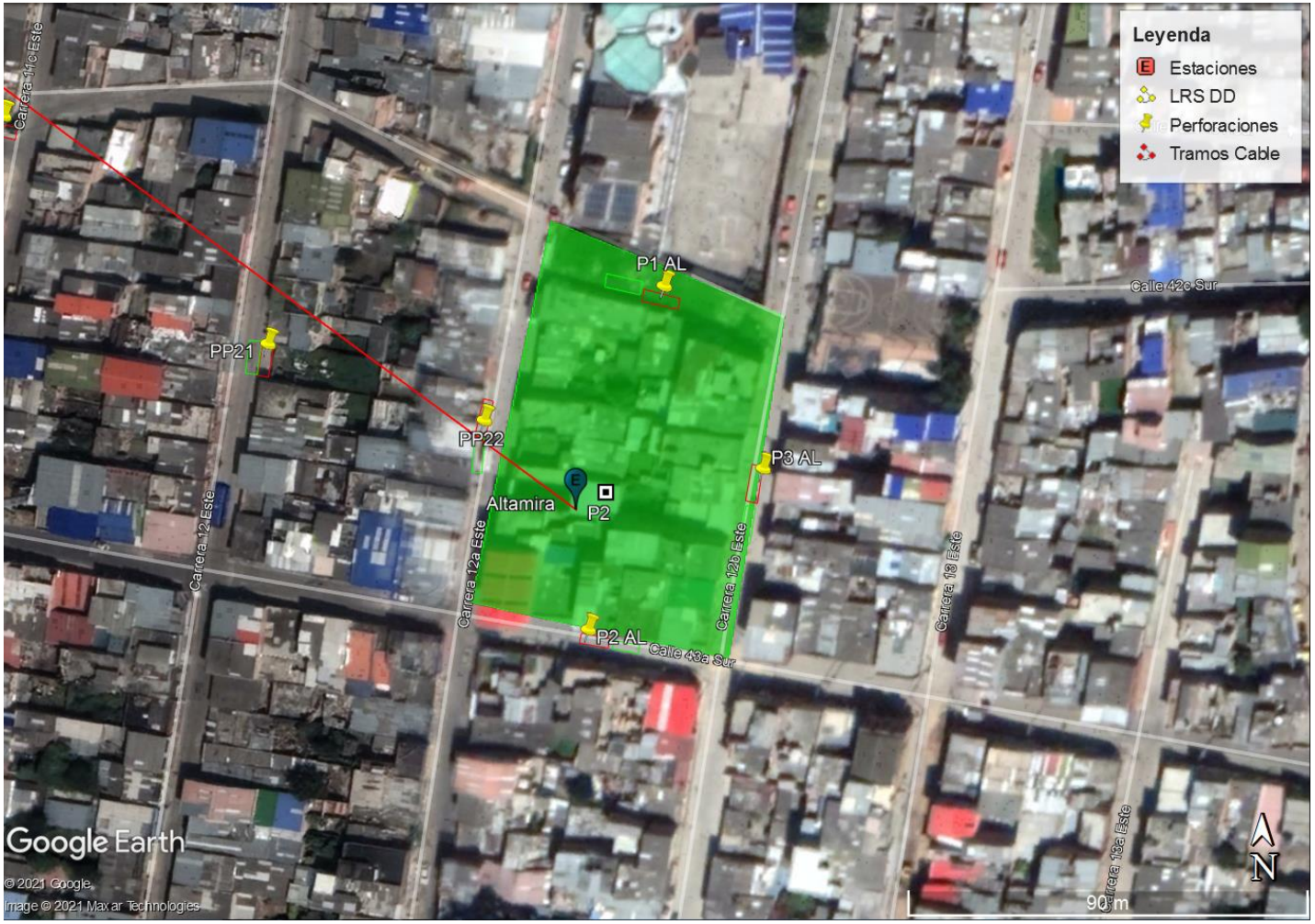


Figura 7-7. Exploración geotécnica estación Altamira

Las coordenadas de la exploración planteada se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 7-1. Coordenadas exploración directa pilonas

Tramo Portal 20 de Julio-La Victoria					
Perforación	**Coordenadas planas**		**Coordenadas geográficas**		**Profundidad proyectada (m)**
	Este	**Norte**	**Latitud**	**Longitud**	
PP1	98018.78	96629.76	4°33'56.95"	74°5'43.52"	25
PP2	98030.43	96510.55	4°33'52.76"	74°5'42.78"	25
PP3	98042.71	96385.03	4°33'48.87"	74°5'42.69"	25
PP4	98054.05	96268.96	4°33'45.10"	74°5'42.25"	25
PP5	98067.64	96130.02	4°33'40.20"	74°5'41.71"	25
PP6	98087.8	95923.8	4°33'33.70"	74°5'41.30"	25
PP7	98114.5	95650.8	4°33'24.89"	74°5'40.31"	25
PP8	98128.76	95504.9	4°33'19.93"	74°5'39.69"	25
PP9	98137.15	95419.16	4°33'15.96"	74°5'39.47"	25
PP10	98144.65	95342.42	4°33'8.05"	74°5'38.63"	25
PP11	98165.02	95134.11	4°33'4.76"	74°5'38.42"	25
PP12-13-14	98176.86	95013.04	4°33'1.67"	74°5'36.55"	25
Tramo La Victoria-Altamira					
Perforación	**Coordenadas planas**		**Coordenadas geográficas**		**Profundidad proyectada (m)**
	Este	**Norte**	**Latitud**	**Longitud**	
PP15	98252.87	94915.48	4°32'59.33"	74°5'32.77"	25
PP16	98339.9	94852.44	4°32'55.30"	74°5'28.04"	25
PP17	98492.84	94741.67	4°32'52.18"	74°5'23.67"	25
PP18	98623.71	94646.88	4°32'49.31"	74°5'20.15"	25
PP19	98738.72	94563.75	4°32'45.53"	74°5'14.59"	25
PP20	98907.54	94441.31	4°32'42.35"	74°5'10.65"	25
PP21	99032.02	94351.15	4°32'40.70"	74°5'8.72"	25
PP22	99135.8	94275.98	4°32'40.15"	74°5'7.15"	25

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Tabla 7-2. Coordenadas exploración directa estaciones

Estación Portal 20 de Julio			
Perforación	Coordenadas geográficas		Profundidad proyectada (m)
	Latitud	Longitud	
P1 E20J	4°33'59.41"	74°5'43.96"	20
P2 E20J	4°33'58.16"	74°5'43.47"	20
P3 E20J	4°33'58.01"	74°5'44.09"	20
P4 E20J	4°33'58.03"	74°5'42.86"	20
P5 E20J	4°33'57.46"	74°5'43.54"	20
P6 E20J	4°33'58.74"	74°5'43.20"	20
Estación La Victoria			
Perforación	Coordenadas geográficas		Profundidad proyectada (m)
	Latitud	Longitud	
P1 EV	4°33'4.01"	74°5'36.32"	20
P2 EV	4°33'2.17"	74°5'40.22"	20
P3 EV	4°33'1.35"	74°5'38.45"	20
P4 EV	4°33'3.51"	74°5'39.58"	20
P5 EV	4°33'2.93"	74°5'37.90"	20
Estación Altamira			
Perforación	Coordenadas geográficas		Profundidad proyectada (m)
	Latitud	Longitud	
P1 AL	4°32'41.12"	74°5'5.83"	20
P2 AL	4°32'38.63"	74°5'6.39"	20
P3 AL	4°32'39.80"	74°5'5.11"	20

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Tabla 7-3. Coordenadas exploración directa remoción en masa

Perforación	Coordenadas geográficas		Profundidad proyectada (m)
	Latitud	Longitud	
RM1	4°33'23.70"	74°5'40.21"	15
RM2	4°32'54.91"	74°5'28.2"	15

Tabla 7-4. Coordenadas exploración indirecta

LRS	Inicio		Fin	
	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
LRS 1 DD	4°33'25.18"	74°5'40.99"	4°33'22.76"	74°5'38.94"
LRS 2 DD	4°32'55.99"	74°5'27.76"	4°32'54.82"	74°5'28.23"

7.7 PROTOCOLO DE LABORATORIO PARA TOMA, TRANSPORTE, CONSERVACIÓN Y ENSAYO DE MUESTRAS.

Para la extracción, transporte, conservación y ensayo de muestras se definió un protocolo con las siguientes actividades:

7.7.1 Extracción de muestras:

La extracción de las muestras se realizó de acuerdo con los criterios de exploración establecidos por la norma INVIAS INV - E103-13 por medio de perforación manual o mecánica, según el cliente lo requiera, y para su obtención se dispuso de varios tipos de muestreadores, descritos a continuación.

- Tubos Shelby de pared delgada: Este tipo de muestreador se utiliza para la toma de muestras inalteradas de suelos blandos que se utilizarán para la ejecución de ensayos de resistencia en laboratorio. Deben tener una longitud de al menos 60 cm y un diámetro de al menos 2.5” con pared interna totalmente lisa y un bisel en uno de los extremos.
- Cuchara partida (SPT). Consiste en un tubo de pared gruesa con anillos que se divide en dos partes de manera vertical y tiene una longitud de al menos 50 cm y un diámetro interno de al menos 3.7cm, con retenedores internos de muestra y una válvula de presión de forma esférica, se utiliza en muestras de suelos duros y arenas.
- Barrenas NQ: Se compone de tubos con retenedores internos que permiten acoplar en su extremo brocas de diferentes densidades para realizar toma de muestras de suelos muy duros, rocas y suelos en estado de mineralización.

7.7.2 Identificación

Una vez obtenida la muestra se realizó la identificación de la misma por medio de un registro escrito y fotográfico. El registro escrito se realizó en el formato de registro establecido para tal fin, donde se consignó el numero de muestra, tipo de muestra, el número de sondeo, y su ubicación geográfica por coordenadas GPS, el nombre o código del proyecto, la descripción visual de la muestra, el recobro o cantidad de muestra obtenida (medida en cm) y, de presentarse nivel de agua libre. El registro fotográfico evidenció datos similares y medidas de la muestra recuperada, también se generó un rotulo o etiqueta de la muestra donde se incluyó la misma información del registro, además de indicar el extremo más profundo de la muestra.

7.7.3 Manejo

Una vez extraída e identificada la muestra y dependiendo del tipo de muestreador se procedió a su protección de la siguiente manera:

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

- Muestreador de pared gruesa (SPT o NQ): la protección de la muestra se hizo envolviéndola en papel aluminio y luego en papel vinilo, con su respectivo rotulo, para salvaguardar las propiedades físicas de la muestra.
- Muestreador de pared delgada (SHELBY): la protección de la muestra se hizo, colocando un taco en la parte inferior de las muestras y envolviéndola directamente vinipel, su respectivo rotulo, para salvaguardar las propiedades físicas de la muestra. Los extremos se sellaron con discos metálicos o de madera con diámetro ligeramente inferior al muestreador y se sellaron por medio de parafina.
- Muestras NQ. Se envolvieron en papel vinipel y se protegieron dentro de tubos PVC debidamente sellados por tapones que garantizaron la integridad de las muestras de roca.
- Muestras de materiales sueltos o de baja compacidad: Se empacaron en bolsas plásticas debidamente selladas por medio de cinta y rotuladas del modo descrito previamente.

7.7.4 Almacenamiento

El almacenamiento de las muestras se hizo en cajas metálicas o plásticas para los muestreadores NQ, SPT y tubos SHELBY, para su posterior transporte. La ubicación de las muestras se debió hacer por sondeo de tal manera que existiera un consecutivo entre estas y no se perdieran a la hora de la entrega en el laboratorio. Las muestras en campo se mantuvieron aisladas de condiciones ambientales como exposición directa al sol, humedad excesiva por lluvia, etc. Para este fin el quipo de perforación dispuso de un espacio cubierto, retirado del punto de perforación para evitar aplastamientos. Se mantuvieron las muestras empacadas en cajas plásticas para su posterior transporte.

7.7.5 Control y verificación

La verificación de que todas las muestras extraídas se encontraran almacenadas es función del ingeniero encargado. Para tal efecto, se hizo una comparación con el registro de perforación y las muestras contenidas en la caja.

7.7.6 Transporte y entrega

Para el transporte de las muestras se dispuso de un espacio libre en los vehículos, adecuado específicamente para que las cajas que contienen los muestreos se pudieran asegurar y evitar caídas, aplastamientos por herramientas u otras alteraciones. Las cajas de muestreo debidamente identificadas con el código de proyecto y numero de sondeo se enviaron al laboratorio junto con el registro de perforación.

En los proyectos con duración prolongada que se encuentran en zonas aisladas de la sede del laboratorio, el ingeniero de campo solicita a la empresa un transporte para las muestras en un periodo no superior a 7 días con el fin de garantizar la conservación de las propiedades de las muestras y el cumplimiento de las normas técnicas (INV – E – 105).

8 RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Con el fin de construir el modelo geológico-geotécnico de los trazados y poder asignar parámetros geotécnicos de diseño que sirvan para los diseños de las cimentaciones y la evaluación de la estabilidad de laderas, se construyó una base de datos de propiedades físico-mecánicas a partir de la información secundaria por cada uno de los estudios y las zonas de interés. En esta base de datos se tiene información asociada a la ubicación de los sondeos, profundidad, clasificación del suelo, ensayos mecánicos (corte directo, compresión inconfinada, consolidaciones), valores de N de campo entre otros. Esta base de datos se presenta en el ANEXO C – Resultados de Laboratorio.

A partir de la información secundaria recopilada se complementó la caracterización geotécnica del área de interés. La descripción de las características geotécnicas de los materiales presentes en cada una de las alternativas de ubicación de estaciones, así como de los trazados proyectados se puede observar en el numeral 14 Modelo Geológico-geotécnico.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

En la misma base de datos se incluyó la información geotécnica de campo y laboratorio obtenida en la exploración geotécnica realizada para la etapa de estudios y diseños del presente contrato, información que fue útil en la complementación de la información existente en área del proyecto donde no se contó con información previa. Además de la utilidad para el ajuste del modelo geológico geotécnico y el ajuste de las propiedades geotécnicas para los análisis de cimentaciones correspondientes.

El análisis geotécnico de la información existente se presenta en el siguiente capítulo, donde se presenta la caracterización y definición de los modelos geológicos geotécnicos de los diferentes componentes y alternativas del proyecto.

9 PROCESAMIENTO DE ENSAYOS DE LABORATORIO (CARACTERIZACIÓN)

A partir de los ensayos de laboratorio efectuados a las muestras extraídas en la campaña de exploración geotécnica, se realizó el debido procesamiento de la información, con el fin de desarrollar la caráctetización geotécnica para la zona en donde se localizaran las estructuras proyectadas (estaciones de transferencia y pilonas) para el sistema de cable aéreo. A continuación se relaciona dicho procesamiento.

Es importante mencionar, que para el caso del ensayo de penetración estandar, se limito el valor a 100 golpes/pie para proposito de los análisis geotecnicos.

9.1 ESTACIÓN PORTAL 20 DE JULIO

En la Figura 9-1, se muestran algunos parámetros del suelo en función de la profundidad para la zona de la estación 20 de Julio, tales como: humedad natural, límites de consistencia, granulometría, SPT, cohesión, peso unitario y módulo de elasticidad.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD

En cuanto al porcentaje de humedad se puede apreciar que para los primeros diez metros del perfil sus valores se encuentran entre el 6 y el 27% con una tendencia a disminuir con la profundidad, asimismo, para profundidades superiores a los veinte metros se tienen valores medios del 20%. Los valores para el límite plástico se encuentran entre el 10 y el 23% con valor medio de 15% a lo largo de todo el perfil, mientras que el límite líquido se encuentra entre el 16 y el 83% con una tendencia media de 37%.

Para este caso se puede observar una tendencia uniforme en el porcentaje de finos, gravas y arenas, encontrándose un valor de finos, aproximadamente el 55%, para todo el perfil mientras que gravas y arenas tienen un porcentaje del 45%. De otra parte, la gráfica de penetración estándar revela que a medida que la profundidad aumenta, el número de golpes también lo hace, encontrándose valores entre los y los 100 golpes para toda la profundidad, de tal manera que para profundidades entre los 2 y los 5 m el número de golpes está entre 5 y 70, entre 5 y 10 m entre 17 y 100 golpes/pie y luego hasta los 25 m el valor de Nspt es de 100 golpes/pie, considerado como valor conservador dado que en el conteo de campo se registran valores superiores o condición de rechazo.

Para los materiales que presentan más del 30% de finos y que pueden considerarse cohesivos se realizan ensayos de compresión inconfinada para estimar la resistencia al corte no drenado, adicionalmente con el ensayo de penetración estándar se evalúa este parámetro a partir de la expresión de Stroud (1974) que se expresa como: Cu= 4.4*Ncampo. La gráfica de variación de la resistencia al corte no drenado muestra que, entre 3 y 7 m, la resistencia se encuentra entre 58 y 304 kPa. Para profundidades mayores se tiene una

tendencia a incrementar la magnitud de la resistencia al corte no drenado, llegando hasta los 443 kPa.

En cuanto al peso unitario los valores se encuentran entre 19.5 kN/m³ y 25 kN/m³.

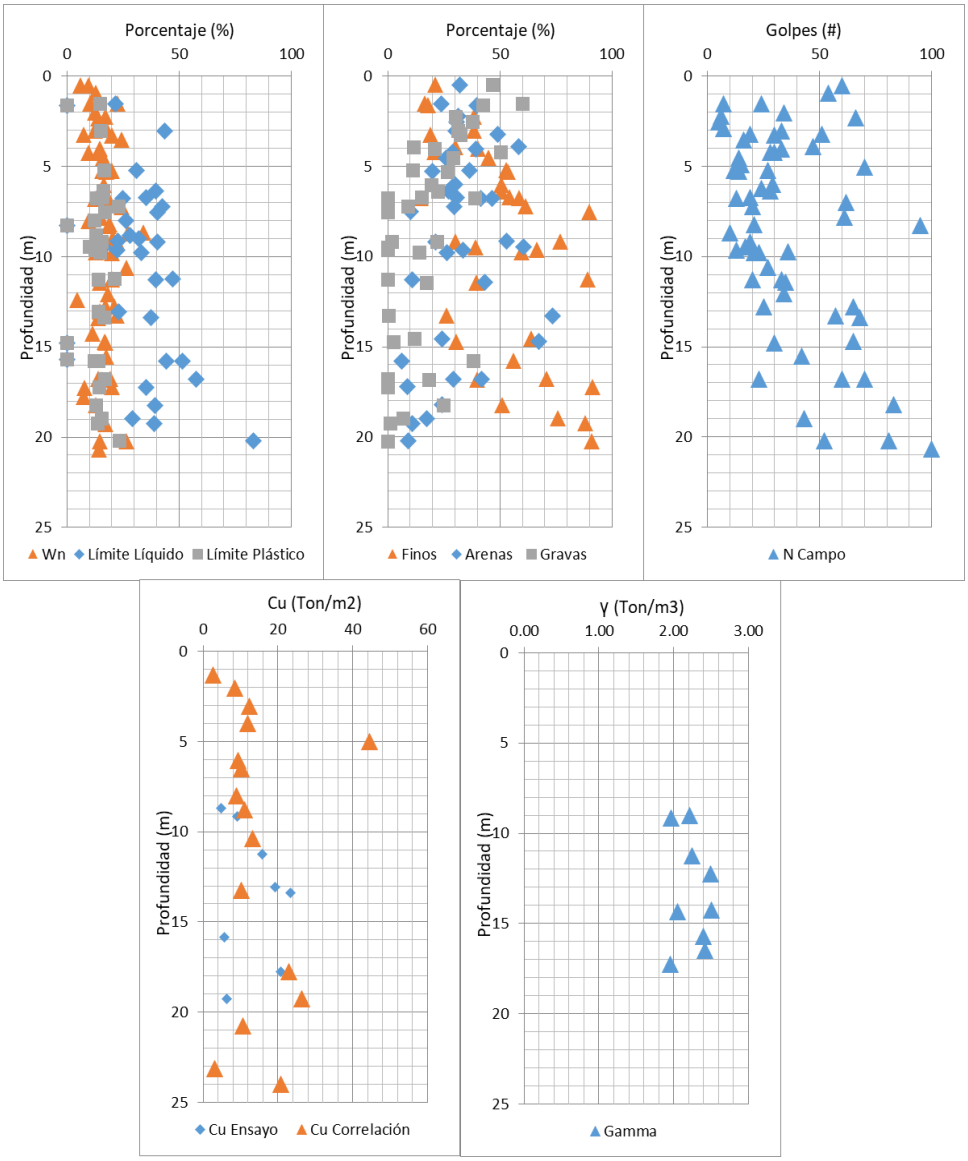


Figura 9-1. Caracterización geotécnica estación de trasferencia 20 de Julio.

9.1.1 Ejes 1 y 2, Puente peatonal

En la Figura 9-2, se muestran algunos parámetros del suelo en función de la profundidad para la zona en donde se localizaran los ejes 1 y 2 del puente peatonal ubicado en la estación 20 de Julio, tales como: humedad natural, límites de consistencia, granulometría, SPT, cohesión, peso unitario y módulo de elasticidad.

En cuanto al porcentaje de humedad se puede apreciar que para los primeros 10 m del perfil sus valores se encuentran entre el 12 y el 20% con una tendencia a disminuir con la profundidad, asimismo, para profundidades superiores a los veinte metros se tienen valores medios del 15%. Los valores para el límite plástico se encuentran entre el 12 y el 17% con valor medio de 14% a lo largo de todo el perfil, mientras que el límite líquido se encuentra entre el 24% y el 44% con una tendencia media de 37%.

Para este caso se puede observar una tendencia uniforme en el porcentaje de finos, gravas y arenas, encontrándose un valor de finos, aproximadamente el 62%, para todo el perfil mientras que gravas y arenas tienen un porcentaje del 18%. De otra parte, la gráfica de penetración estándar revela que a medida que la profundidad aumenta, el número de golpes también lo hace, encontrándose valores entre los 13 y los 81 golpes/pie para toda la profundidad, de tal manera que para profundidades entre los 2 y los 4 m el número de golpes/pie es de 30, entre 4 y 11 m el ncampo esta entre 14 y 36 golpes/pie, entre 11 y 16 es de 57 golpes/pie y luego hasta los 25 m el valor de Nspt estan entre 60 y 81 golpes/pie.

Para los materiales que presentan más del 30% de finos y que pueden considerarse cohesivos se realizan ensayos de compresión inconfinada para estimar la resistencia al corte no drenado, adicionalmente con el ensayo de penetración estándar se evalúa este parámetro a partir de la expresión de Stroud (1974) que se expresa como: Cu= 4.4*Ncampo. La gráfica de variación de la resistencia al corte no drenado muestra que, entre 2 y 4 m, la resistencia es de 132 kPa. Para profundidades mayores se tiene una tendencia a incrementar la magnitud de la resistencia al corte no drenado, llegando hasta los 356 kPa.

En cuanto al peso unitario el valor es de 24.9 kN/m³.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

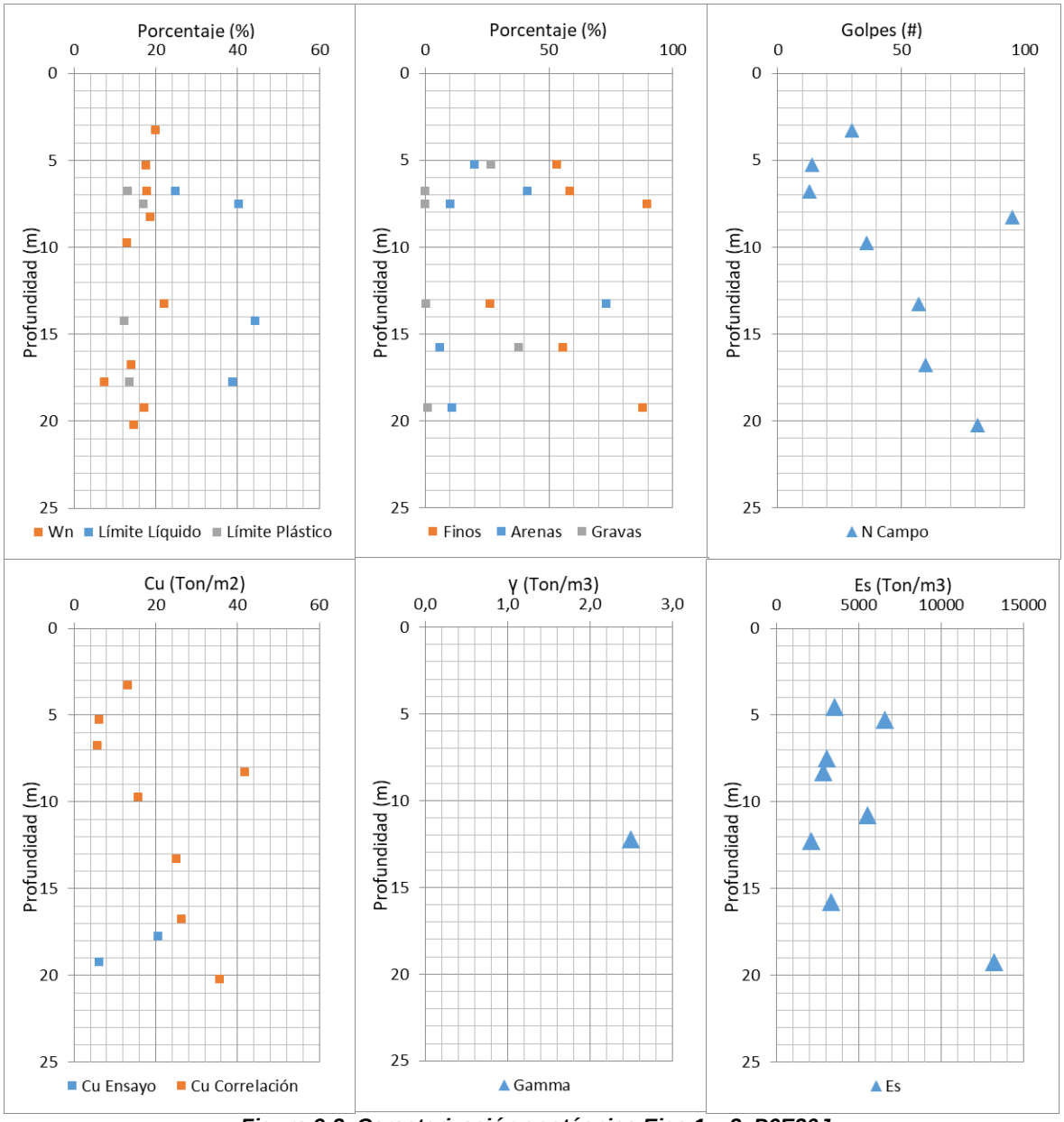


Figura 9-2. Caracterización geotécnica Ejes 1 y 2, P6E20J

9.1.2 Eje 3, Puente peatonal

En la Figura 9-3, se muestran algunos parámetros del suelo en función de la profundidad para la zona en donde se localizaran el eje 3 del puente peatonal ubicado en la estación 20 de Julio, tales como: humedad natural, límites de consistencia, granulometría, SPT, cohesión, peso unitario y módulo de elasticidad.

En cuanto al porcentaje de humedad se puede apreciar que para los primeros 10 m del perfil sus valores se encuentran entre el 7 y el 17% con una tendencia a disminuir con la profundidad, asimismo, para profundidades superiores se tienen valores medios del 20%. Los valores para el límite plástico se encuentran entre el 14 y el 23% con valor medio de 17% a lo largo de todo el perfil, mientras que el límite líquido se encuentra entre el 39% y el 83% con una tendencia media de 57%.

Para este caso se puede observar una tendencia uniforme en el porcentaje de finos, gravas y arenas, encontrándose un valor de finos, aproximadamente el 54%, para todo el perfil mientras que gravas y arenas tienen un porcentaje del 22%. De otra parte, la gráfica de penetración estándar revela que a medida que la profundidad aumenta, el número de golpes también lo hace, encontrándose valores entre los 6 y los 100golpes/pie para toda la profundidad, de tal manera que para profundidades entre los 2 y los 10 m el número de golpes/pie esta entre 6 y 28 golpes/pie, y luego hasta los 25 m el valor de Nspt estan entre 20 y 52 golpes/pie.

Para los materiales que presentan más del 30% de finos y que pueden considerarse cohesivos se realizan ensayos de compresión inconfinada para estimar la resistencia al corte no drenado, adicionalmente con el ensayo de penetración estándar se evalúa este parámetro a partir de la expresión de Stroud (1974) que se expresa como: Cu= 4.4*Ncampo. La gráfica de variación de la resistencia al corte no drenado muestra que, entre 2 y 10 m, la resistencia es de 88 kPa. Para profundidades mayores se tiene una tendencia a incrementar la magnitud de la resistencia al corte no drenado, llegando hasta los 220 kPa.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

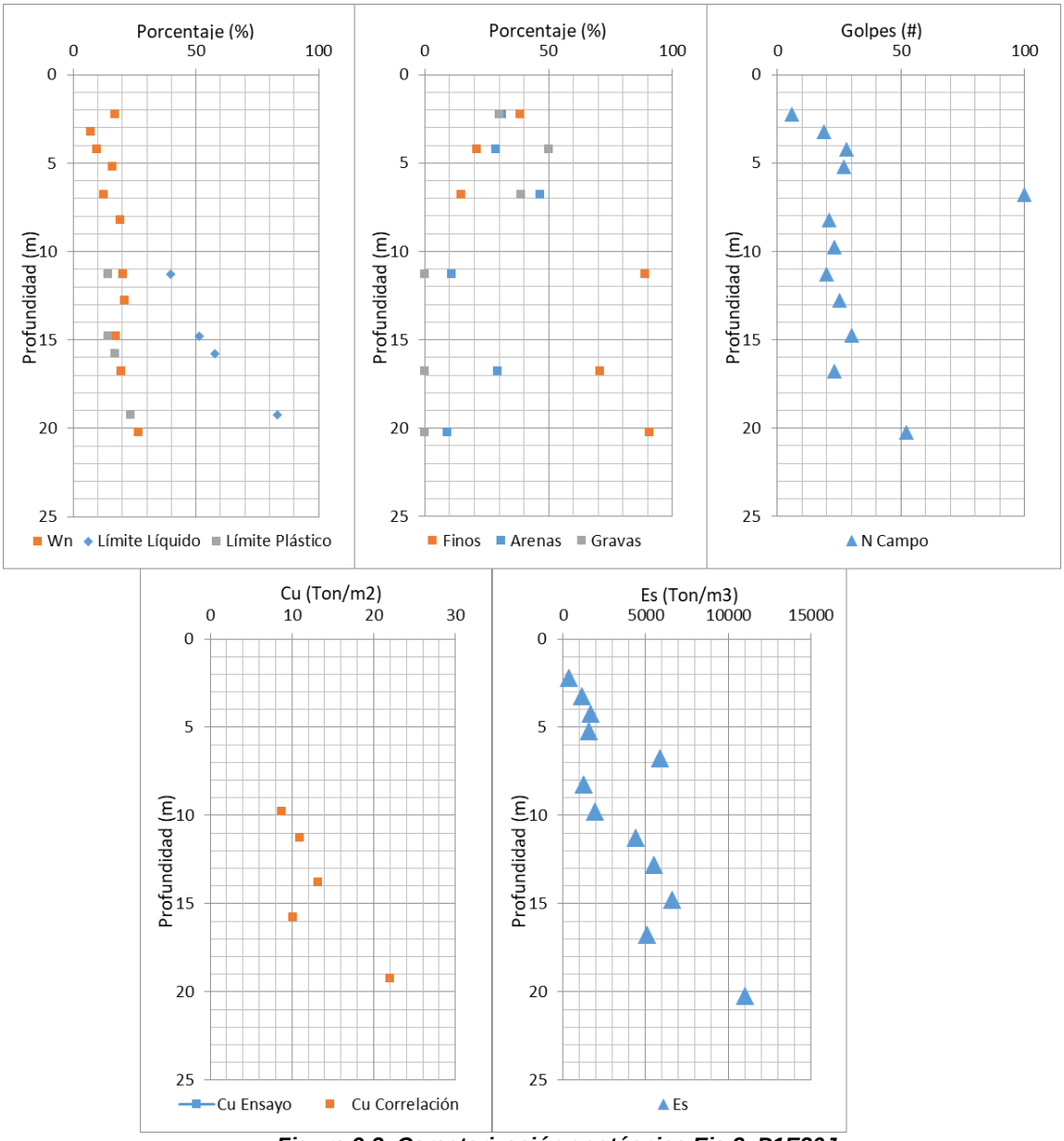


Figura 9-3. Caracterización geotécnica Eje 3, P1E20J

9.2 ESTACIÓN LA VICTORIA

En la Figura 9-4 se muestran algunos parámetros del suelo en función de la profundidad para la zona de la estación La Victoria, tales como: humedad natural, límites de consistencia, granulometría, SPT, cohesión, peso unitario y módulo de elasticidad.

En cuanto al porcentaje de humedad se puede apreciar que para los primeros diez metros del perfil sus valores se encuentran entre el 9 y el 40% con una tendencia a disminuir con la profundidad, asimismo, para profundidades superiores a los veinte metros se tienen valores medios del 22%. Los valores para el límite plástico se encuentran entre el 12 y el 25% con valor medio de 17% a lo largo de todo el perfil, mientras que el límite líquido se encuentra entre el 29 y el 63% con una tendencia media de 41%.

Para este caso se puede observar una tendencia uniforme en el porcentaje de finos, gravas y arenas, encontrándose un valor muy elevado de finos, aproximadamente el 90%, para todo el perfil mientras que gravas y arenas tienen un porcentaje entre el 30 y el 40%. De otra parte, la gráfica de penetración estándar revela que a medida que la profundidad aumenta, el número de golpes también lo hace, encontrándose valores entre los 10 y los 100 golpes para toda la profundidad, de tal manera que para profundidades entre los 2 y los 5 m el número de golpes está entre 10 y 70, entre 5 y 10 m el valor se encuentra entre 14 y 75 golpes/pie y luego hasta los 25 m el valor de Nspt es de 95 golpes/pie, considerado como valor conservador dado que en el conteo de campo se registran valores superiores o condición de rechazo.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Para los materiales que presentan más del 30% de finos y que pueden considerarse cohesivos se realizan ensayos de compresión inconfinada para estimar la resistencia al corte no drenado, adicionalmente con el ensayo de penetración estándar se evalúa este parámetro a partir de la expresión de Stroud (1974) que se expresa como: Cu= 4.4*Ncampo. La gráfica de variación de la resistencia al corte no drenado muestra que, entre 3 y 7 m, la resistencia se encuentra entre 43 y 215 kPa. Para profundidades mayores se tiene una tendencia a incrementar la magnitud de la resistencia al corte no drenado, llegando hasta los 323 kPa.

En cuanto al peso unitario los valores se encuentran entre 19.5 kN/m³ y 21.6 kN/m³. Finalmente, en cuanto al módulo de elasticidad, se observa que para los primeros 4 m su valor medio es de aproximadamente 49033 kPa, mientras que para el resto del perfil su valor se incrementa con la profundidad hasta alcanzar un valor máximo de 215746 kPa con tendencia media de 68640 kPa.

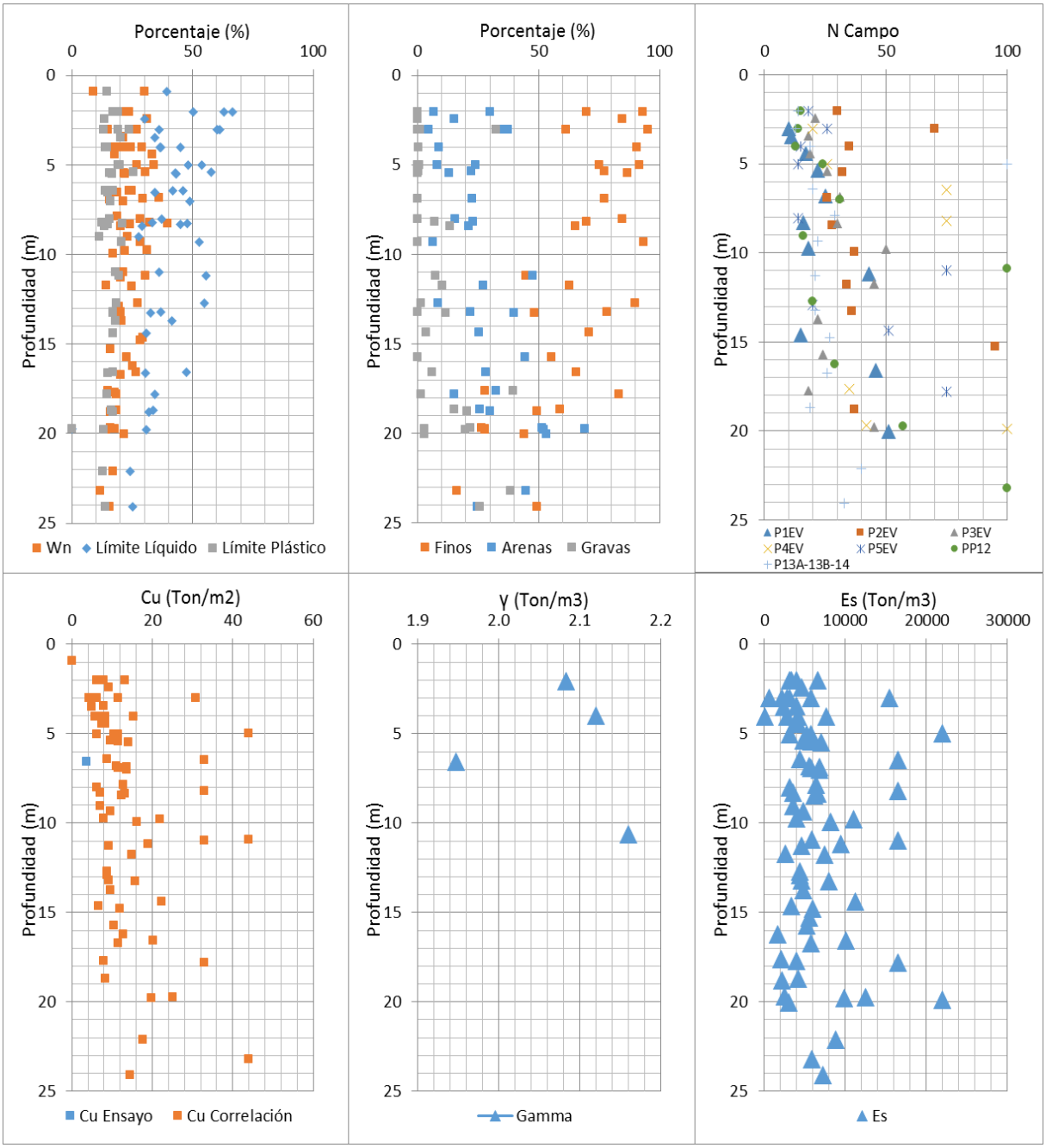


Figura 9-4. Caracterización geotécnica estación de trasferencia La Victoria

9.3 ESTACIÓN ALTAMIRA

En la Figura 9-5 se muestran algunos parámetros del suelo en función de la profundidad para la zona de la estación Altamira, tales como: humedad natural, límites de consistencia, granulometría, SPT, cohesión, peso unitario y módulo de elasticidad.

En cuanto al porcentaje de humedad se puede apreciar que para los primeros 10 m del perfil sus valores se encuentran entre el 20 y el 30% con una tendencia a disminuir con la profundidad, asimismo, para profundidades superiores a los 20 m se tienen valores medios del 15%. Los valores para el límite plástico se encuentran entre el 15 y el 20% con valor medio de 20% a lo largo de todo el perfil, mientras que el límite líquido se encuentra entre el 30 y el 60% con una tendencia media de 40%.

Para este caso se puede observar una tendencia uniforme en el porcentaje de finos, gravas y arenas, encontrándose un valor de finos aproximadamente del 82%, para todo el perfil mientras que gravas y arenas tienen un porcentaje promedio del 8.7%. Por otra parte, la gráfica de penetración estándar revela que a medida que la profundidad aumenta, el número de golpes también lo hace, encontrándose valores entre los 10 y los 100 golpes para toda la profundidad, de tal manera que para profundidades entre los 2 y los 12 m el número de golpes promedio es de 14 golpes/pie y entre 12 y 25 m un promedio de 60 golpes/pie.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Para los materiales que presentan más del 30% de finos y que pueden considerarse cohesivos se realizan ensayos de compresión inconfinada para estimar la resistencia al corte no drenado, adicionalmente con el ensayo de penetración estándar se evalúa este parámetro a partir de la expresión de Stroud (1974) que se expresa como: Cu= 4.4*Ncampo (kPa). La gráfica de variación de la resistencia al corte no drenado muestra que, entre 2 y 12 m, la resistencia promedio es de 60 kPa. Para profundidades mayores se tiene una tendencia a incrementar la magnitud de la resistencia al corte no drenado, llegando hasta los 260 kPa.

Para el caso de los valores tomados para el modulo de elasticidad, se tomaron como referencia los valores obtenidos de correlaciones empiricas a partir de Cu y los valores del ensayo del SPT.

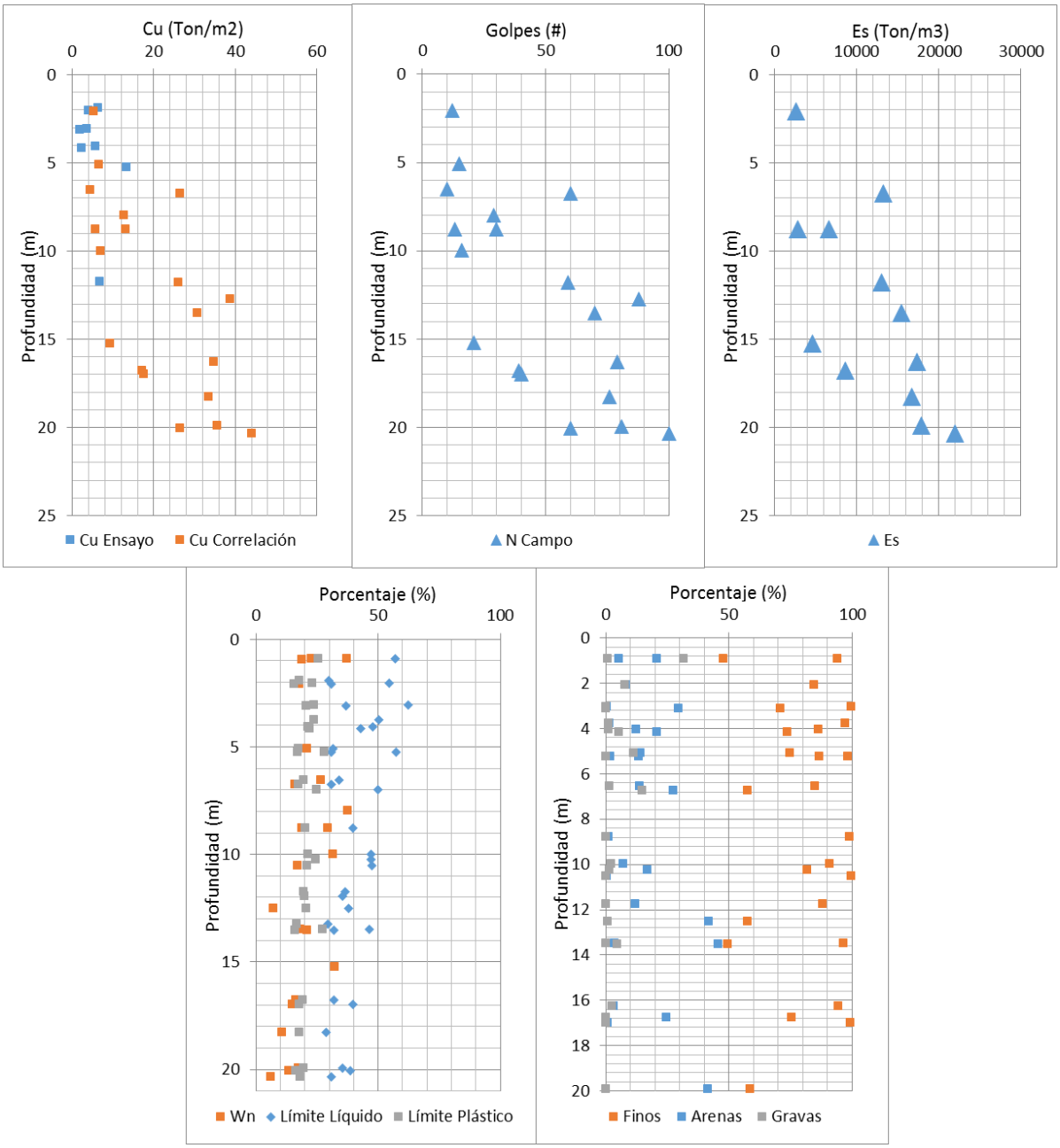


Figura 9-5. Caracterización geotécnica estación Altamira

9.4 PILONA 1

En la Figura 9-6 se muestran algunos parámetros del suelo en función de la profundidad para la zona en donde se dispondra la pilona 1, tales como: humedad natural, límites de consistencia, granulometría, SPT, cohesión, peso unitario y módulo de elasticidad.

En cuanto al porcentaje de humedad se puede apreciar que para los primeros diez metros del perfil sus valores se encuentran entre el 10 y el 30% con una tendencia a incrementarse con la profundidad, asimismo, para profundidades superiores a los veinte metros se tienen valores medios del 20%. Los valores para el límite plástico se encuentran entre el 15 y el 20% con valor medio de 18% a lo largo de todo el perfil, mientras que el límite líquido se encuentra entre el 21 y el 40% con una tendencia media de 35%.

Para los dos primeros metros del perfil se puede observar un alto contenido de gravas, aproximadamente 65%, y en menor proporción se tienen arenas y arcillas, esto corresponde con material de mejoramiento. Entre los 2 y los 25 m el porcentaje de finos aumenta encontrándose entre el 45 y 85% con una tendencia media de 60%, las arenas entre el 15 y el 25% con una tendencia media del 20% y las gravas disminuyen y se encuentran entre el 0 y el 18% con una tendencia media del 7%.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

De otra parte, la gráfica de penetración estándar revela que a medida que la profundidad aumenta, el número de golpes también lo hace, encontrándose valores entre los 10 y los 50 golpes para toda la profundidad, de tal manera que para profundidades entre los 3 y los 7 m el número medio de golpes es de 18 mientras que para profundidades mayores se tiene aproximadamente 47 golpes, se destaca que entre los 10 y los 23 m se recuperaron núcleos de roca, sin embargo por su grado de meteorización no fue posible obtener núcleos de roca en buen estado para ensayos de resistencia, para tratar de determinar la resistencia se realizaron ensayos de penetración estándar que en esta profundidad dieron rechazo, por esta razón no se presentan registrados en la figura. Para propósitos de determinar las propiedades geotécnicas, se adopta un valor de 50 golpes/pie como valor de resistencia mínima teniendo en cuenta que se obtuvieron valores de 50 golpes/pie en la parte superior e inferior del nivel de suelos indicado.

Para los materiales que presentan más del 30% de finos y que pueden considerarse cohesivos se realizan ensayos de compresión inconfinada para estimar la resistencia al corte no drenado, adicionalmente con el ensayo de penetración estándar se evalúa este parámetro a partir de la expresión de Stroud (1974) que se expresa como: $Cu= 4.4*N_{campo}$. La gráfica de variación de la resistencia al corte no drenado muestra que entre tres y siete metros la resistencia se encuentra entre 20 y 100 kPa, siendo valores relativamente bajos que pueden estar asociados a la presencia de humedad o zonas de suelos saturados finos.

Para profundidades mayores se tiene una tendencia a incrementar la magnitud de la resistencia al corte no drenado, llegando hasta los 200kPa que aún puede ser considerado como un valor relativamente bajo.

En cuanto al peso unitario para los primeros 10 m su valor es de 20.4 kN/m³, entre 10 y 20m el valor aumenta a 24 kN/m³ y para la profundidad final tiene un valor medio de 20.8 kN/m³. Finalmente, en cuanto al módulo de elasticidad, se encuentra que para los primeros 7 m su valor medio es de 30000 kPa, mientras que para el resto del perfil su valor se incrementa hasta alcanzar 100000 KPa.

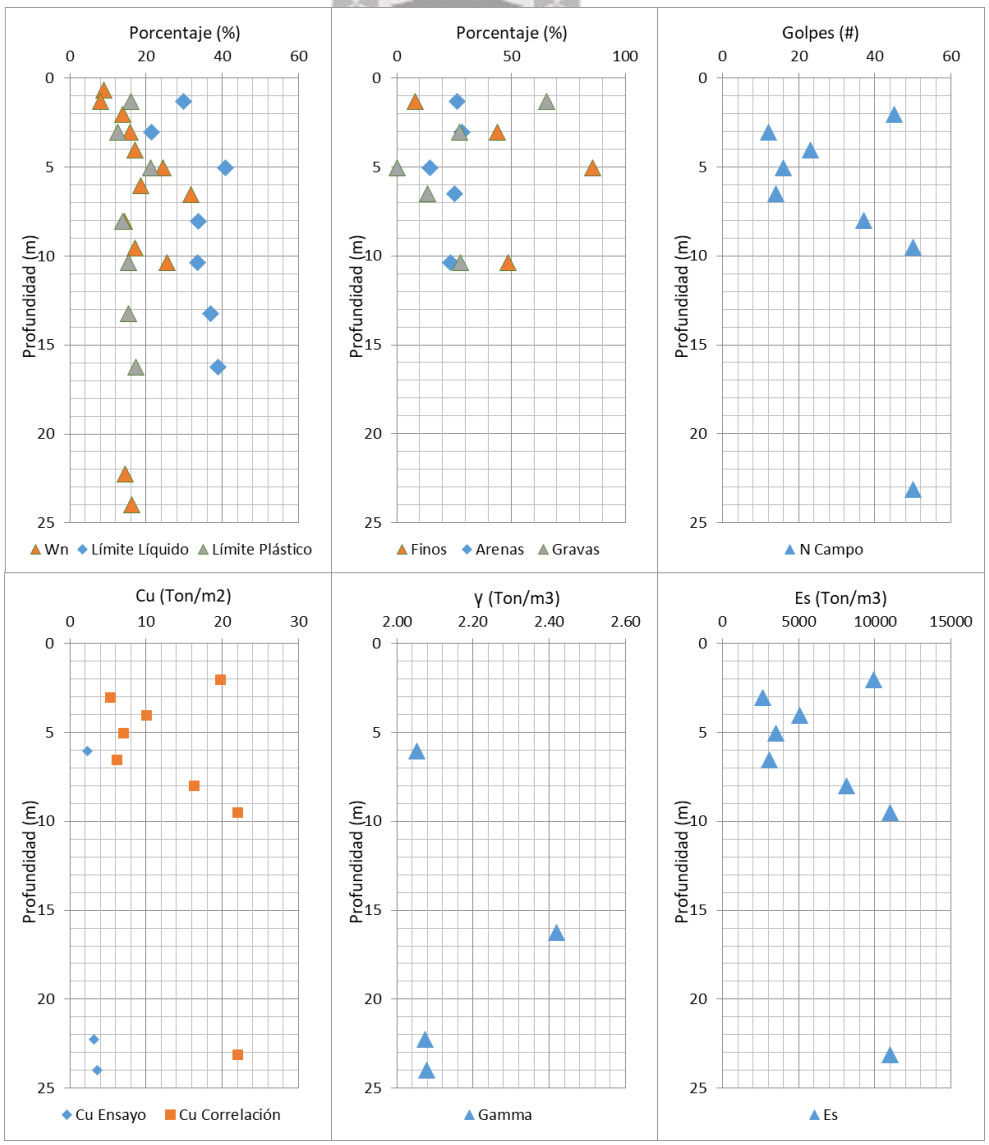


Figura 9-6. Caracterización geotécnica Pilona 1

9.5 PILONA 2

En la Figura 9-7 se muestran algunos parámetros del suelo en función de la profundidad para la zona de la pilona 2, tales como: humedad natural, límites de consistencia, granulometría, SPT, cohesión, peso unitario y módulo de elasticidad. En cuanto al porcentaje de humedad se puede apreciar que sus valores se encuentran entre 12 y 26% en los primeros 5 m; en profundidades mayores, la humedad permanece constante alrededor del 21%. Los valores del límite plástico son constantes para todo el perfil con un valor medio de 18%, al igual que para el límite líquido, encontrándose entre 26 y 38%.

En cuanto a la granulometría, se puede observar una tendencia de 36% de finos, 37% de arena y 27% de grava, para los primeros 5 metros. Luego, en la profundidad restante, el porcentaje de finos comienza a aumentar, determinando un valor medio del 82%, con arenas y gravas del 14% y el 3%, respectivamente.

Por otra parte, la gráfica de penetración estándar revela que a medida que la profundidad aumenta, el número de golpes también lo hace, encontrándose valores entre los 2 y los 96 golpes para toda la profundidad, de tal manera que para profundidades entre los 3 y los 7 m el número medio de golpes/pie es de 11; mientras que, para profundidades mayores, se cuenta con aproximadamente 68 golpes/pie. Se destaca que entre los 11.5 y los 25.0 m se recuperaron núcleos de roca, sin embargo, por su grado de meteorización no fue posible obtener núcleos de roca en buen estado para ensayos de resistencia. Por tal motivo, para tratar de determinar la resistencia se realizaron ensayos de penetración estándar que en esta profundidad arrojaron valores altos.

Además, en la gráfica de variación de la resistencia al corte no drenado muestra que, entre 3 y 7 m, la resistencia se encuentra entre 13 y 104 kPa, siendo valores relativamente bajos que pueden estar asociados a la presencia de humedad o zonas de suelos saturados finos. Para profundidades mayores se tiene una tendencia a incrementar la magnitud de la resistencia al corte no drenado, llegando hasta las 440 kPa.

En cuanto al peso unitario, para los primeros 8 m, el valor es de 19.5 kN/m^3, y, para la profundidad final, se tiene un valor medio de 21.4 kN/m^3.

Finalmente, en cuanto al módulo de elasticidad, se encuentra que para los primeros 7 m su valor medio es de 21790 kN/m^2, mientras que para el resto del perfil su valor se incrementa hasta alcanzar 220000 kN/m^2.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

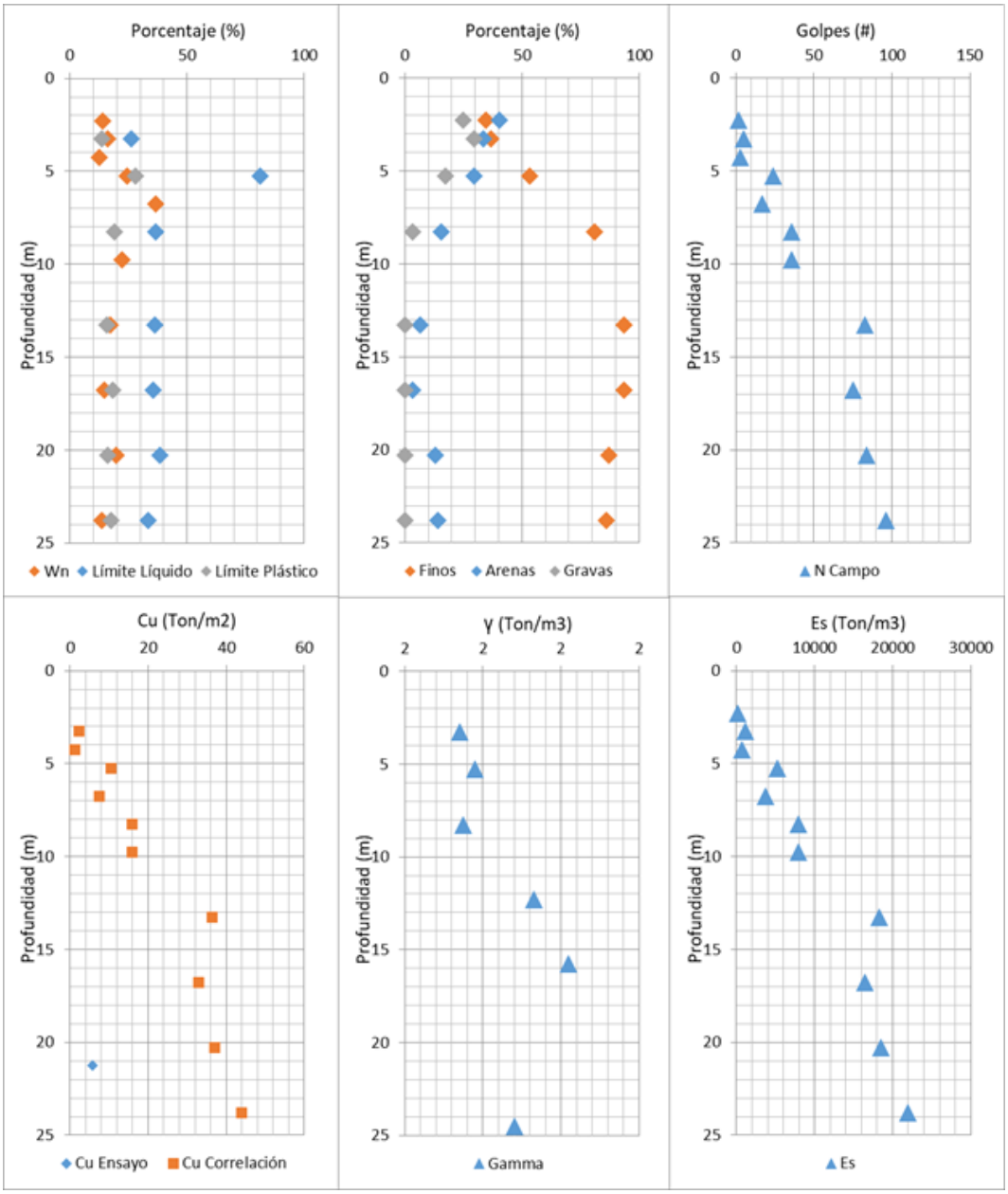


Figura 9-7. Caracterización geotécnica Pilona 2

9.6 PILONA 3

En la Figura 9-8 se muestran algunos parámetros del suelo en función de la profundidad para la zona de la pilona 3, tales como: humedad natural, límites de consistencia, granulometría, SPT, cohesión, peso unitario y módulo de elasticidad.

En cuanto al porcentaje de humedad se puede apreciar que sus valores se encuentran entre 13 y 30% siendo mayores en los primeros 5 m, en profundidades mayores, la humedad permanece constante alrededor del 13%. Los valores del límite plástico son constantes para todo el perfil con un valor medio de 20%, mientras que en el caso del límite líquido sus valores tienen una tendencia a disminuir a lo largo del perfil siendo de entre 40 y 60% para los primeros 5m y de entre 30 y 50% para la profundidad restante.

Para la granulometría, se puede observar una tendencia uniforme en el porcentaje de finos, gravas y arenas, encontrándose un valor muy elevado de finos, aproximadamente el 98%, para todo el perfil mientras que gravas y arenas tienen un porcentaje casi nulo.

Por otra parte, la gráfica de penetración estándar revela que este aumentan conforme a la profundidad, encontrándose valores entre 15 y 100 golpes/pie; valores cercanos a 100 golpes/pie se encuentran después de los 5m.

Para los materiales que presentan más del 30% de finos y que pueden considerarse cohesivos se realizan ensayos de compresión inconfinada para estimar la resistencia al corte no drenado, adicionalmente con el ensayo de penetración estándar se evalúa este parámetro a partir de la expresión de Stroud (1974) que se expresa como: $Cu= 4.4*N_{campo}$. La gráfica de variación de la resistencia al corte no drenado muestra que para los primeros 4 m del perfil este parámetro es de aproximadamente 147 kPa mientras que para una profundidad entre 4 y 10 m se tiene una resistencia al corte entre 294 y 411 kPa, para la profundidad restante los valores tienen una tendencia media de 323 kPa.

En cuanto al peso unitario, los valores se encuentran entre 23.8 kN/m³ y 25.2 kN/m³. Finalmente, en cuanto al módulo de elasticidad, se observa que para los primeros 4 m su valor medio es de aproximadamente 57000 kPa, mientras que para el resto del perfil su valor se incrementa con la profundidad hasta alcanzar un valor máximo de 147000 kPa con tendencia media de 215600 kPa.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

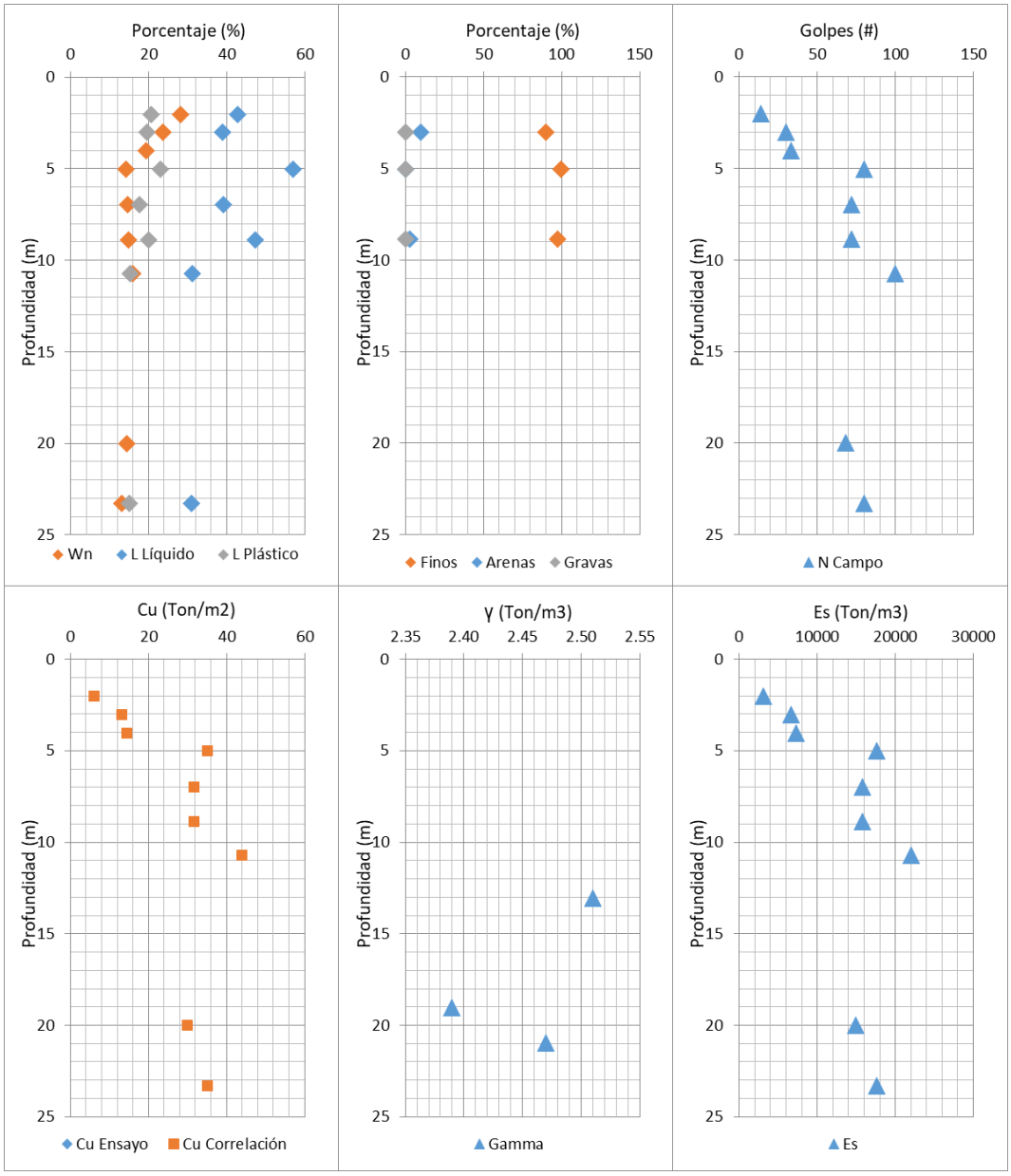


Figura 9-8. Caracterización geotécnica Pilona 3

9.7 PILONA 4

En la Figura 9-9 se muestran algunos parámetros del suelo en función de la profundidad para la zona de la pilona 4, tales como: humedad natural, límites de consistencia, granulometría, SPT, cohesión, peso unitario y módulo de elasticidad. En cuanto al porcentaje de humedad se puede apreciar que sus valores se encuentran entre 7 y 15% con una tendencia media de 10% para los 25 m profundidad. Los valores del límite plástico

se encuentran entre el 13 y el 18% con valor medio de 15% a lo largo de todo el perfil, mientras que el límite líquido para los primeros 10 m del perfil se encuentra entre el 42 y el 48% con una tendencia media de 44% mientras que para el resto de la profundidad hay una tendencia media de 32%

En cuanto a la granulometría, se tiene que para todo el perfil el porcentaje de arenas y de gravas no supera el 10%, incluso, la mayoría de valores son inferiores al 5%, por lo anterior, los 15 m del perfil se encuentran compuestos principalmente por finos. De otra parte, la gráfica de penetración estándar revela que a medida que la profundidad aumenta, el número de golpes también lo hace, encontrándose valores medios de 25 golpes/pie para los primeros 4 m y de 85 golpes/pie para el resto del perfil.

Para los materiales que presentan más del 30% de finos y que pueden considerarse cohesivos se realizan ensayos de compresión inconfinada para estimar la resistencia al corte no drenado, adicionalmente con el ensayo de penetración estándar se evalúa este parámetro a partir de la expresión de Stroud (1974) que se expresa como: $Cu= 4.4*N_{campo}$. La gráfica de variación de la resistencia al corte no drenado muestra que para los primeros 4 m del perfil este parámetro es de aproximadamente 98 kPa mientras que para una profundidad entre 4 y 10 m se tiene una resistencia al corte equivalente a 147 kPa, para la profundidad restante los valores tienen una tendencia media de 392 kPa, destacando que de 10 a 25m se encuentra arcillolita muy meteorizada que impide un muestreo adecuado mediante barrena y en el ensayo de penetración estándar presenta valores de 100 golpes/pie.

En cuanto al peso unitario para los primeros 10 m su valor es de 21.2 kN/m³ y para la profundidad final tiene un valor aproximado de 23.8 kN/m³. Finalmente, en cuanto al módulo de elasticidad, se encuentra que para los primeros 4 m su valor medio es de 39200 kPa, mientras que para el resto del perfil su valor se incrementa con la profundidad hasta alcanzar un valor máximo de 215600 kPa con tendencia media de 176400 kPa.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

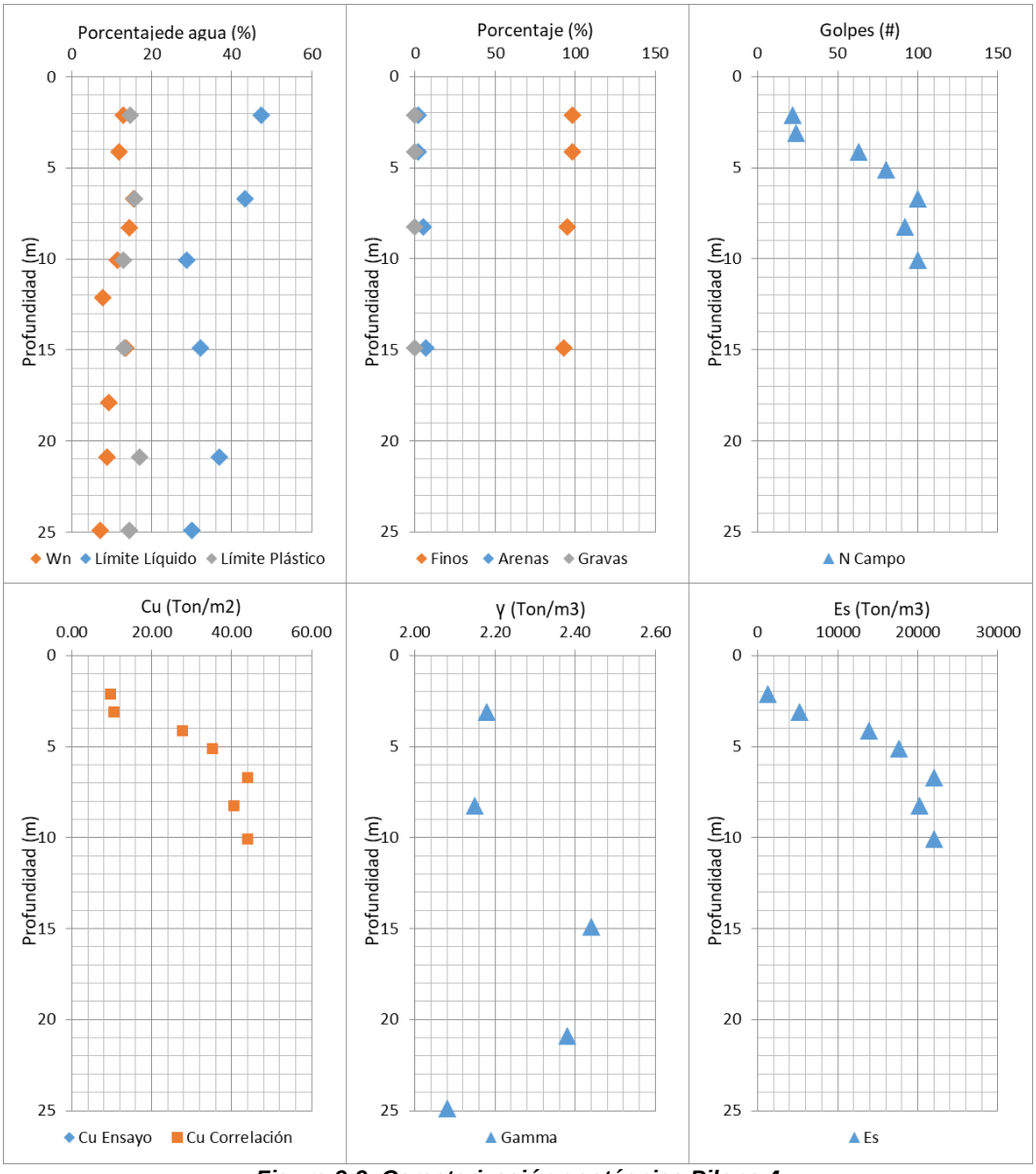


Figura 9-9. Caracterización geotécnica Pilona 4

9.8 PILONA 5

En la Figura 9-10 se muestran algunos parámetros del suelo en función de la profundidad para la zona de la pilona 4, tales como: humedad natural, límites de consistencia, granulometría, SPT, cohesión y módulo de elasticidad. En cuanto al porcentaje de humedad se puede apreciar que sus valores se encuentran entre 8 y 21% con una tendencia media de 13% para los 25 m profundidad. Los valores del límite plástico se encuentran entre el 13 y el 22% con valor medio de 16% a lo largo de todo el perfil, mientras que el límite líquido

para los primeros 10 m del perfil se encuentra entre el 31 y el 49% con una tendencia media de 39% mientras que para el resto de la profundidad hay una tendencia media de 33%.
En cuanto a la granulometría, se tiene que para todo el perfil el porcentaje de arenas y de gravas no supera el 12%, incluso, la mayoría de valores son inferiores al 9%, por lo anterior, los 15 m del perfil se encuentran compuestos principalmente por materiales finos. De otra parte, la gráfica de penetración estándar revela que a medida que la profundidad aumenta, el número de golpes también lo hace, encontrándose valores medios de 22 golpes/pie para los primeros 4 m y de 73 golpes/pie para el resto del perfil.

Con el ensayo de penetración estándar se evalúa el parámetro de resistencia al corte, a partir de la expresión de Stroud (1974) que se expresa como: Cu= 4.4*Ncampo (kPa). La gráfica de variación de la resistencia al corte no drenado muestra que para los primeros 4 m del perfil este parámetro es de aproximadamente 90 kPa; mientras que para una profundidad entre 4 y 15 m se tiene una resistencia al corte equivalente a 263 kPa. Para la profundidad restante, los valores tienen una tendencia media de 396 kPa, destacando que de 15 a 25 m se encuentra limolita muy meteorizada que impide un muestreo adecuado mediante barrena y en el ensayo de penetración estándar presenta valores mayores a 10 golpes/pie.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Finalmente, en cuanto al módulo de elasticidad, se encuentra que para los primeros 4 m su valor medio es de 46716 kPa, mientras que para el resto del perfil su valor se incrementa con la profundidad hasta alcanzar un valor máximo de 21344 kPa con tendencia media de 157868 kPa.

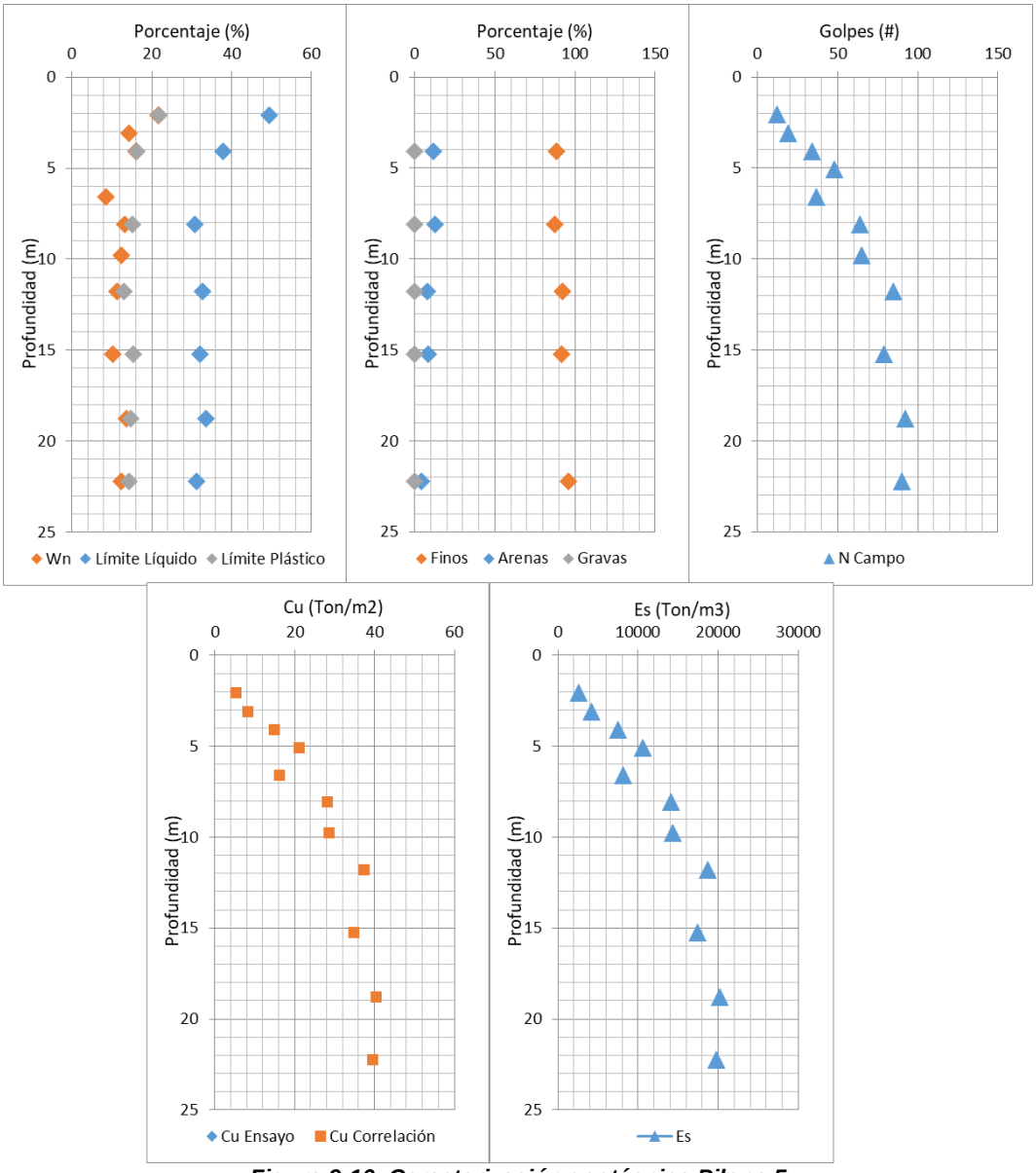


Figura 9-10. Caracterización geotécnica Pilona 5

9.9 PILONA 6

En la Figura 9-11 se muestran algunos parámetros del suelo en función de la profundidad para la zona de la pilona 6, tales como: humedad natural, límites de consistencia, granulometría, SPT, cohesión, peso unitario y módulo de elasticidad.

En cuanto al porcentaje de humedad se puede apreciar que para los primeros 5 m del perfil sus valores se encuentran entre el 5 y el 22% con una media del 15%, para profundidades

entre 5 y 10 m la humedad se mantiene constante con un valor aproximado de 18%, para el resto del perfil la humedad tiende a disminuir y ubicarse entre 8 y 15% con una media de 10%. Los valores para el límite líquido se mantienen constantes para todo el perfil con valores entre 10 y 18%, mientras que el límite plástico se encuentra entre 29 y 38% para la mayor parte del perfil exceptuando los primeros 5 m donde su valor es considerablemente más alto, alcanzando una magnitud de 55%.

Para los dos primeros metros del perfil se puede observar un alto contenido de gravas, aproximadamente 78%, y en menor proporción se tienen arenas y arcillas que sumados no superan el 10%, esto corresponde con material de mejoramiento. Entre los 2 y los 25 m el porcentaje de finos aumenta encontrándose entre el 85 y 100% con una tendencia media de 90%, las arenas entre 8 y el 10% con una tendencia media del 9% y las gravas disminuyen no tienen presencia alguna para este intervalo de profundidades.

De otra parte, la gráfica de penetración estándar revela que a medida que la profundidad aumenta, el número de golpes también lo hace, encontrándose valores entre los 25 y los 30 golpes para los primeros 5 m, de 100 golpes para una profundidad de entre 5 y 10 m y para el resto del perfil el número de golpes se encuentra entre 40 y 100 golpes/pie con una tendencia media de 70 golpes/pie.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Para los materiales que presentan más del 30% de finos y que pueden considerarse cohesivos se realizan ensayos de compresión inconfinada para estimar la resistencia al corte no drenado, adicionalmente con el ensayo de penetración estándar se evalúa este parámetro a partir de la expresión de Stroud (1974) que se expresa como: Cu= 4.4*Ncampo. La gráfica de variación de la resistencia al corte no drenado muestra que para los primeros 5 m la resistencia se encuentra entre 98 y 147 kPa, siendo valores relativamente bajos que pueden estar asociados a la presencia de humedad o zonas de suelos saturados finos. Para profundidades mayores se tiene una tendencia a incrementar la magnitud de la resistencia al corte no drenado, llegando hasta las 490 kPa.

En cuanto al peso unitario para los últimos metros m su valor se encuentra entre 24.4 y 24.8 kN/m³ y para la profundidad final tiene un valor aproximado de 23.8 kN/m³. Finalmente, en cuanto al módulo de elasticidad, se encuentra que para los primeros 5 m su valor medio es de 58800 kPa, para una profundidad entre 5 y 10 m los valores se encuentran entre 78400 y 215600 kPa con tendencia media de 98000 kPa, mientras que para el resto de la profundidad los valores se encuentran entre 88200 y 215600 kPa con una media de 137200 kPa.

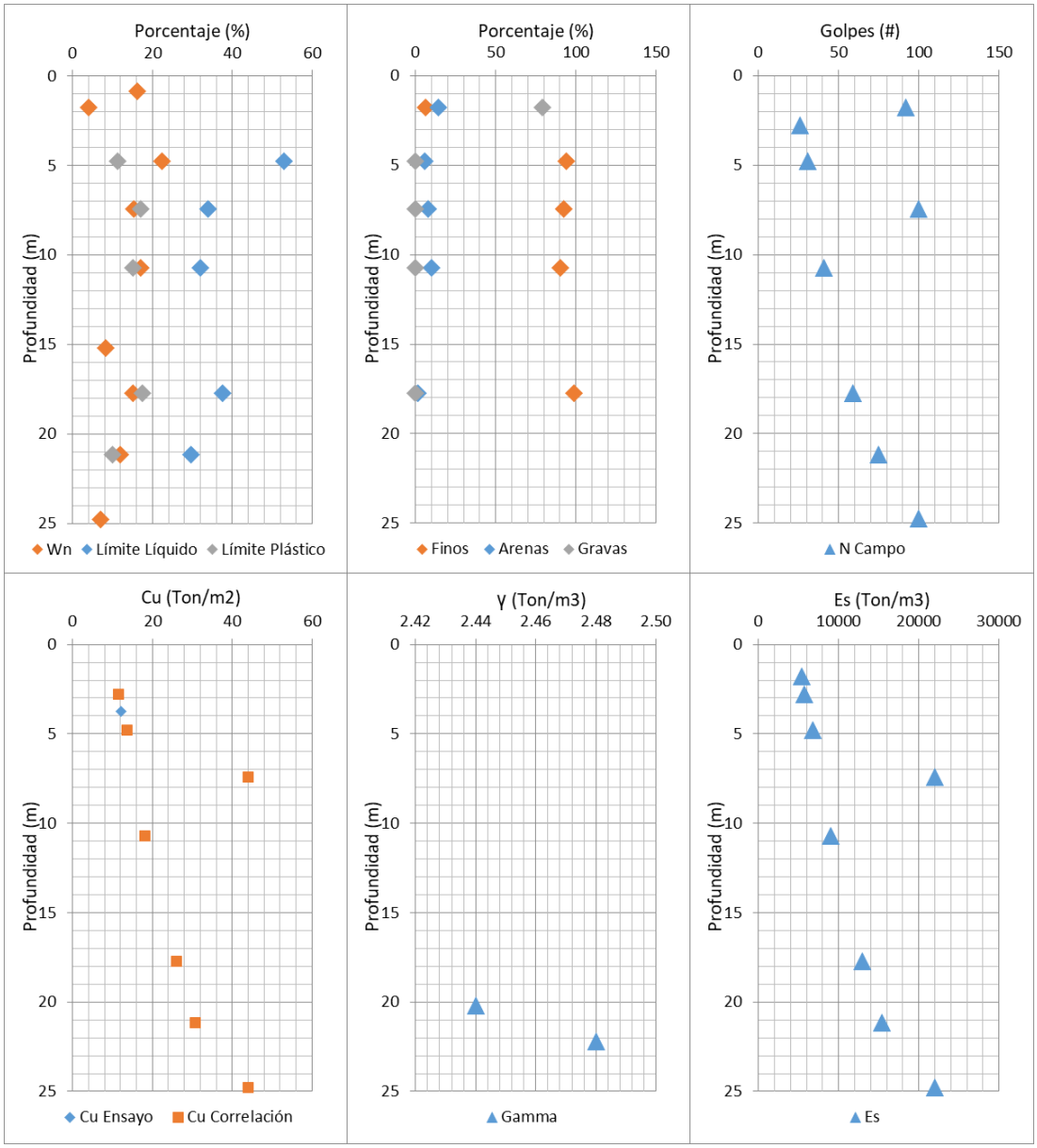


Figura 9-11. Caracterización geotécnica Pilona 6

9.10 PILONA 7

En la Figura 9-12 se muestran algunos parámetros del suelo en función de la profundidad para la zona de la pilona 7, tales como: humedad natural, límites de consistencia, granulometría, SPT, cohesión, peso unitario y módulo de elasticidad. En cuanto al porcentaje de humedad se puede apreciar que para los primeros 10 m del perfil sus valores se encuentran entre el 11 y el 26% con una media del 17%; para el resto del perfil, la humedad tiende a disminuir y ubicarse entre 5 y 19% con una media de 12%. Los valores

para el límite líquido se mantienen constantes para todo el perfil con valores entre 32 y 49%, mientras que el límite plástico se encuentra entre 18 y 20% para todo el perfil.

Por otra parte, a lo largo de todo el perfil, el porcentaje de finos se encuentra entre el 84 y el 98% con una tendencia media de 94%, el de arenas entre el 0.6 y el 16% con una tendencia media del 5%, y, la presencia de gravas no tiene gran relevancia para este perfil.

Asimismo, la gráfica de penetración estándar revela que en los primeros 4.0 m, se encontraron número de golpes/pie entre 10 y 24; de igual manera, a medida que la profundidad aumenta, el número de golpes también lo hace, encontrándose valores entre los 40 y los 60 golpes/pie hasta llegar a los 25 m de profundidad. Se destaca que entre los 3.5 y los 25.0 m se recuperaron núcleos de roca.

Con el ensayo de penetración estándar, se evalúa el parámetro de resistencia al corte no drenado, a partir de la expresión de Stroud (1974) que se expresa como: $Cu= 4.4*N_{campo}(kPa)$. Por tal razón, la gráfica de variación de la resistencia al corte no drenado muestra que, entre los 1.8 y 4.0 m, la resistencia se encuentra entre 44 y 106 kPa, siendo valores relativamente bajos que pueden estar asociados a la presencia de humedad o zonas de suelos saturados finos. Para profundidades mayores se tiene una tendencia a incrementar la magnitud de la resistencia al corte no drenado, llegando hasta las 264 kPa.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

En cuanto al peso unitario, el valor se encuentra entre 19.5 y 24.1 kN/m^3, para profundidades entre 4.2 y 25.0 m. Finalmente, el módulo de elasticidad se encuentra en 39600 kN/m^2 para los primeros 4.0 m, mientras que para el resto del perfil su valor se incrementa hasta alcanzar 165000 kN/m^2.

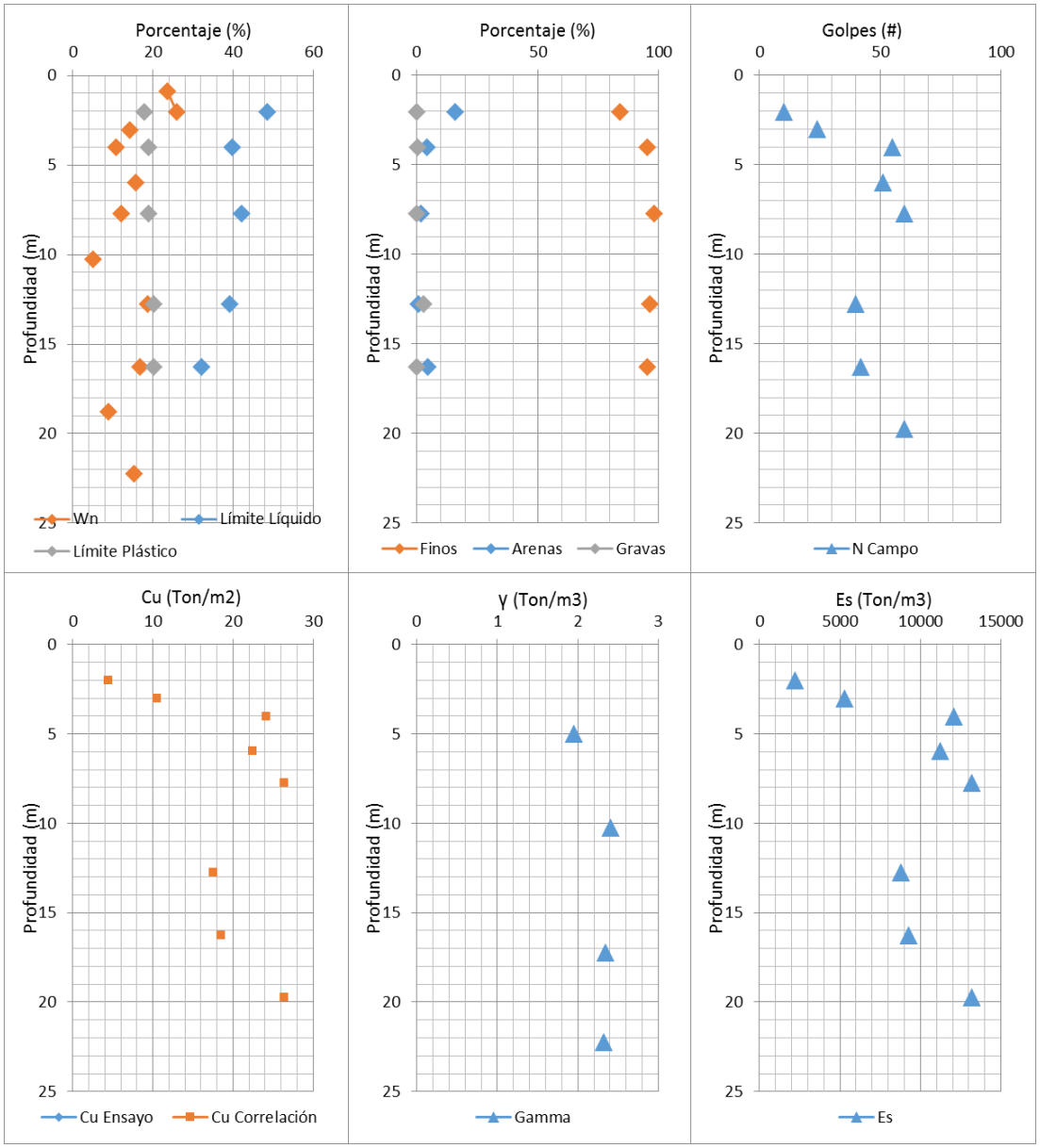


Figura 9-12. Caracterización geotécnica Pilona 7

9.11 PILONA 8

En la Figura 9-13 se muestran algunos parámetros del suelo en función de la profundidad para la zona de la pilona 8, tales como: humedad natural, límites de consistencia, granulometría, SPT, cohesión y módulo de elasticidad. En cuanto al porcentaje de humedad se puede apreciar que sus valores se encuentran entre 12 y 23% con una tendencia media de 16% para los 25 m profundidad. Los valores del límite plástico se encuentran entre el 14

y el 18% con valor medio de 16% a lo largo de todo el perfil. Por otra parte, el límite líquido se encuentra entre el 31 y el 44% con una tendencia media de 35%.

En cuanto a la granulometría, se tiene que para todo el perfil el porcentaje de arenas y de gravas no supera el 10%, incluso, la mayoría de valores son inferiores al 5%; por lo anterior, a lo largo de los 25 m del perfil se encuentran materiales finos, con presencia de lutitas meteorizadas desde los 5.25 m. De otra parte, la gráfica de penetración estándar revela que a medida que la profundidad aumenta, el número de golpes/pie también lo hace, encontrándose valores medios de 28 golpes para los primeros 4 m y de 78 golpes/pie para el resto del perfil.

Con el ensayo de penetración estándar se evalúa el parámetro de resistencia al corte, a partir de la expresión de Stroud (1974) que se expresa como: Cu= 4.4*Ncampo (kPa). La gráfica de variación de la resistencia al corte no drenado muestra que para los primeros 4 m del perfil este parámetro es de aproximadamente 125 kPa; mientras que para una profundidad entre 4 y 20 m se tiene una resistencia al corte equivalente a 326 kPa. Para la profundidad restante, los valores tienen una tendencia media de 411 kPa, destacando que de 5.25 a 25.0 m se encuentra limolita muy meteorizada que impide un muestreo adecuado mediante barrena y en el ensayo de penetración estándar presenta valores mayores a 10 Golpes/pie.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

Finalmente, en cuanto al módulo de elasticidad, se encuentra que para los primeros 4 m su valor medio es de 61446 kPa, mientras que para el resto del perfil su valor se incrementa con la profundidad hasta alcanzar un valor máximo de 206976 kPa con tendencia media de 159847 kPa.

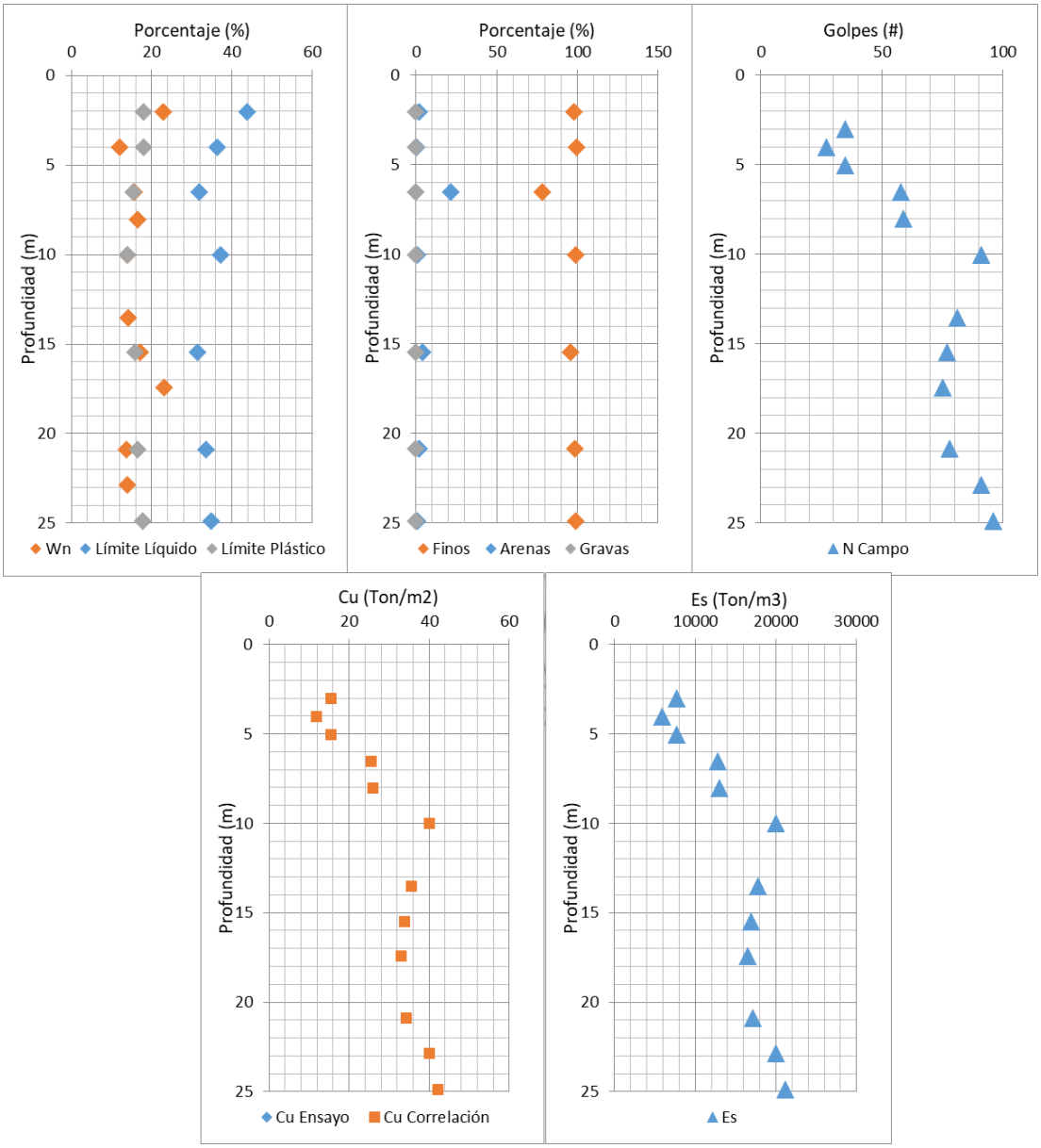


Figura 9-13. Caracterización geotécnica Pilona 8

9.12 PILONA 9

En la Figura 9-14 se muestran algunos parámetros del suelo en función de la profundidad para la zona de la pilona 9, tales como: humedad natural, límites de consistencia, granulometría, SPT, cohesión, peso unitario y módulo de elasticidad.

En cuanto al porcentaje de humedad se puede apreciar que para los primeros diez metros del perfil sus valores se encuentran entre el 15 y el 25% con una tendencia a disminuir con la profundidad, asimismo, para profundidades superiores a los 20 m se tienen valores medios del 20%. Los valores para el límite plástico se encuentran entre el 15 y el 20% con valor medio de 18% a lo largo de todo el perfil, mientras que el límite líquido se encuentra entre el 30 y el 50% con una tendencia media de 35%.

Para este caso se puede observar una tendencia uniforme en el porcentaje de finos, gravas y arenas, encontrándose un valor muy elevado de finos, aproximadamente el 98%, para todo el perfil mientras que gravas y arenas tienen un porcentaje casi nulo.

Por otra parte, la gráfica de penetración estándar revela que a medida que la profundidad aumenta, el número de golpes también lo hace, encontrándose valores entre los 10 y los 100 golpes para toda la profundidad, de tal manera que para profundidades entre los 2 y los 5 m el número de golpes esta entre 15 y 47, entre 5 y 10 m el valor es de 95 golpes/pie y luego hasta los 25 m el valor de Nspt es de 100 golpes/pie.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD

Para los materiales que presentan más del 30% de finos y que pueden considerarse cohesivos se realizan ensayos de compresión inconfinada para estimar la resistencia al corte no drenado, adicionalmente con el ensayo de penetración estándar se evalúa este parámetro a partir de la expresión de Stroud (1974) que se expresa como: $Cu= 4.4*N_{campo}$. La gráfica de variación de la resistencia al corte no drenado muestra que entre 3 y 7 m la resistencia se encuentra entre 98 y 245 kPa, siendo valores relativamente bajos que pueden estar asociados a la presencia de humedad o zonas de suelos saturados finos. Para profundidades mayores se tiene una tendencia a incrementar la magnitud de la resistencia al corte no drenado, llegando hasta los 440 kPa.

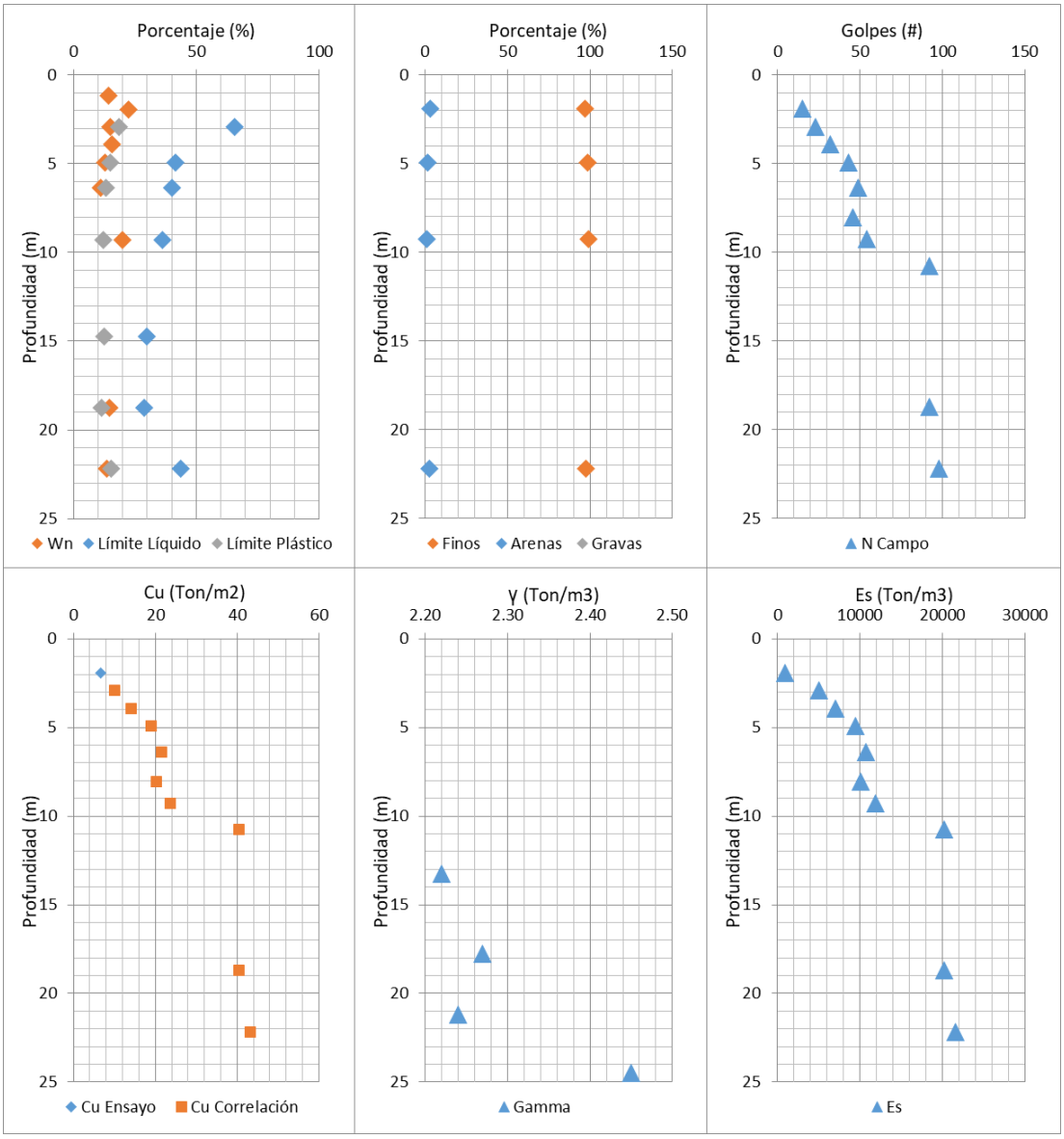


Figura 9-14. Caracterización geotécnica Pilona 9

9.13 PILONA 10

En la Figura 9-15 se muestran algunos parámetros del suelo en función de la profundidad para la zona de la pilona 10, tales como: humedad natural, límites de consistencia, granulometría, SPT, cohesión, peso unitario y módulo de elasticidad. En cuanto al porcentaje de humedad se puede apreciar que para todo el perfil su valor es constante y ronda el 25%. Los valores para el límite plástico se encuentran entre el 2 y el 20% con valor medio de 15% a lo largo de todo el perfil, mientras que el límite líquido se encuentra entre el 20 y el 50% con una tendencia media de 25%.

Para los dos primeros 2 metros del perfil se puede observar un alto contenido de finos, aproximadamente 85%, y en menor proporción se tienen arenas y gravas, pero para profundidades entre 2 y 7 m los porcentajes de arena y gravas aumentan mientras que los finos disminuyen, finalmente en los metros restantes el porcentaje de finos vuelve a aumentar y ronda valores del 100%.

Por otra parte, la gráfica de penetración estándar revela que a medida que la profundidad aumenta, el número de golpes también lo hace, encontrándose valores entre los 10 y los 98 golpes/pie para toda la profundidad, de tal manera que para profundidades entre los 3 y los 7 m el número medio de golpes/pie es de 25 mientras que para profundidades mayores se tiene aproximadamente 75 golpes/pie.

Para los materiales que presentan más del 30% de finos y que pueden considerarse cohesivos se realizan ensayos de compresión inconfinada para estimar la resistencia al corte no drenado, adicionalmente con el ensayo de penetración estándar se evalúa este parámetro a partir de la expresión de Stroud (1974) que se expresa como: Cu= 4.4*Ncampo. La gráfica de variación de la resistencia al corte no drenado muestra que entre tres y siete metros la resistencia se encuentra entre 98 y 147 kPa, siendo valores relativamente bajos que pueden estar asociados a la presencia de humedad o zonas de suelos saturados finos. Para profundidades mayores se tiene una tendencia a incrementar la magnitud de la resistencia al corte no drenado, llegando hasta los 392 kPa.

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

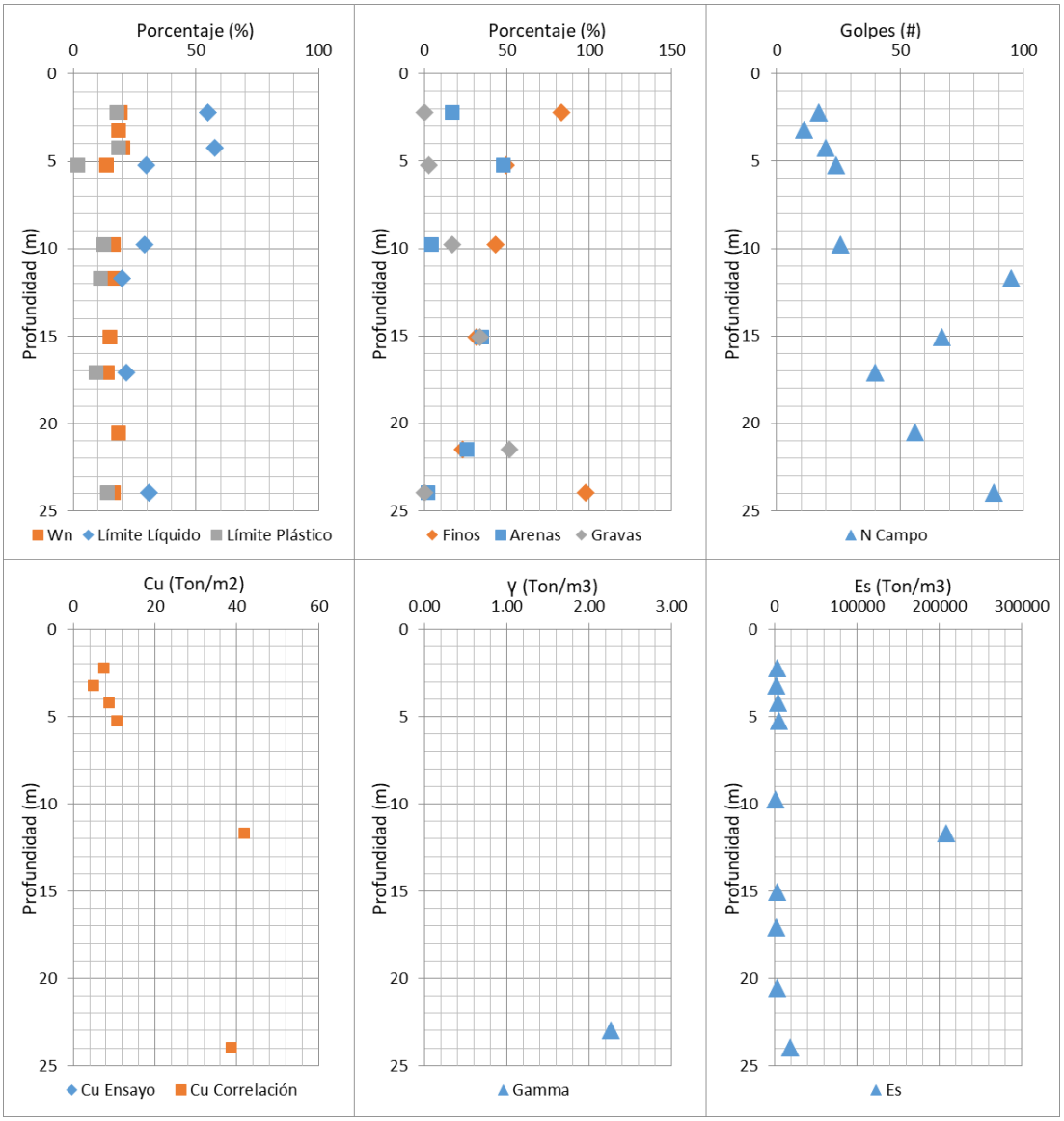


Figura 9-15. Caracterización geotécnica Pilona 10

9.14 PILONA 11

En la Figura 9-16 se muestran algunos parámetros del suelo en función de la profundidad para la zona de la pilona 11, tales como: humedad natural, límites de consistencia, granulometría, SPT, cohesión, peso unitario y módulo de elasticidad. En cuanto al porcentaje de humedad se puede apreciar que para los primeros diez metros del perfil sus valores se encuentran entre el 21 y el 34% con una tendencia a incrementarse con la profundidad; para profundidades superiores a los 20 m se tienen valores medios del 12%. Los valores para el límite plástico se encuentran entre el 0 y el 19% con valor medio de

15% a lo largo de todo el perfil, mientras que el límite líquido se encuentra entre el 0 y el 66% con una tendencia media de 44%.

En los primeros 10 m el porcentaje de finos es de aproximadamente el 72%, con porcentaje medio de arenas del 28%, y, un porcentaje nulo de gravas. Luego, al completar los 25.0 m de perforación, se encontraron núcleos y fragmentos de arenisca en matriz arcillosa.

La gráfica de penetración estándar revela que a medida que la profundidad aumenta, el número de golpes también lo hace, encontrándose valores entre los 13 y los 100 golpes/pie para toda la profundidad, de tal manera que para profundidades entre los 3 y los 7 m el número medio de golpes es de 20, mientras que para profundidades mayores se tiene aproximadamente 61 golpes/pie. Se destaca que entre los 10 y los 25 m se recuperaron núcleos de roca, sin embargo, por su grado de meteorización no fue posible obtener núcleos de roca en buen estado para ensayos de resistencia.

A partir del ensayo de penetración estándar, se evalúa el parámetro de la resistencia al corte no drenado, definido mediante la expresión de Stroud (1974) que se expresa como: $Cu= 4.4*N_{campo}$. La gráfica de variación de la resistencia al corte no drenado muestra que entre 1 y 10 m la resistencia se encuentra entre 57 y 136 kPa, siendo valores relativamente bajos que pueden estar asociados a la presencia de humedad o zonas de suelos saturados finos. Para profundidades mayores se tiene una tendencia a incrementar la magnitud de la resistencia al corte no drenado, llegando hasta los 440 kPa.

Finalmente, en cuanto al módulo de elasticidad, se encuentra que para los primeros 10 m su valor medio es de 40628 kPa, mientras que para el resto del perfil su valor se incrementa hasta alcanzar 122975 kPa.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

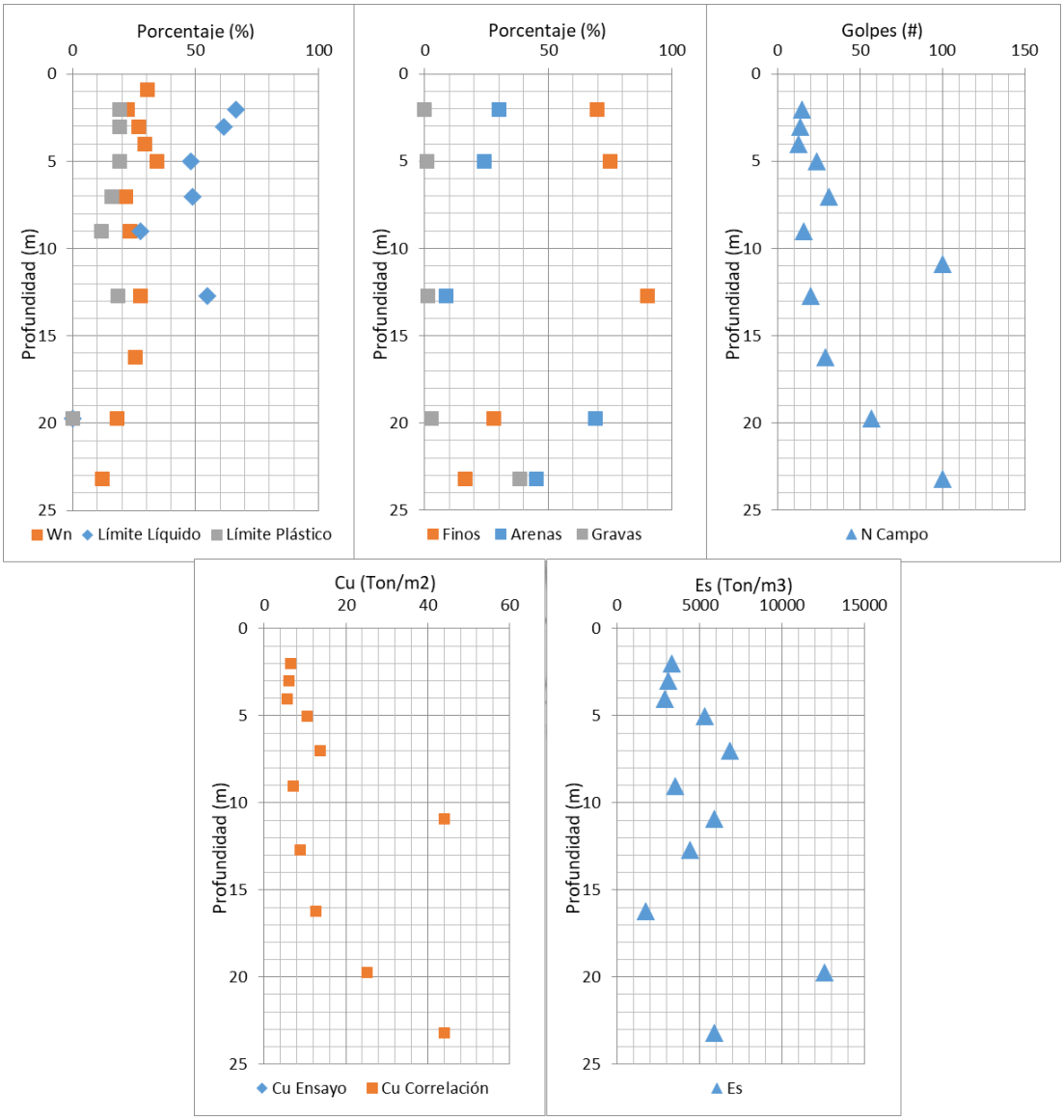


Figura 9-16. Caracterización geotécnica Pilona 11

9.15 PILONA 12-13-14

En la Figura 9-17 se muestran algunos parámetros del suelo en función de la profundidad para la zona de la pilona 12-13-14, tales como: humedad natural, límites de consistencia, granulometría, SPT, cohesión y módulo de elasticidad. En cuanto al porcentaje de humedad se puede apreciar que para todo el perfil su valor es constante y ronda entre el 16% y el 28%. Los valores para el límite plástico se encuentran entre el 13 y el 20% con valor medio de 16% a lo largo de todo el perfil, mientras que el límite líquido se encuentra entre el 24 y el 53% con una tendencia media de 38%.

A lo largo de 20 m del perfil, se puede observar un alto contenido de finos, aproximadamente 80%, y en menor proporción se tienen arenas y gravas, que sumados no superan el 20%. Entre los 20 y los 25 m el porcentaje de gravas aumenta al 26%, las arenas al 25% y los finos disminuyen al 49% para este intervalo de profundidades. De otra parte, la gráfica de penetración estándar revela que a medida que la profundidad aumenta, el número de golpes se mantiene constante en 21 golpes/pie, hasta llegar a los 20 m, aumentando su valor a 36 golpes/pie.

Mediante el ensayo de penetración estándar, se evalúa el parámetro de la resistencia al corte no drenado, a partir de la expresión de Stroud (1974): Cu= 4.4*Ncampo(kPa). De esta manera, la gráfica de variación de la resistencia al corte no drenado muestra que entre 2 y 20 metros la resistencia se encuentra entre 57 y 128 kPa, siendo valores relativamente bajos que pueden estar asociados a la presencia de humedad o zonas de suelos saturados finos. Para profundidades mayores se tiene una tendencia a incrementar la magnitud de la resistencia al corte no drenado, llegando hasta los 176 kPa.

Finalmente, en cuanto al módulo de elasticidad, se observa que para los primeros 20 m su valor medio es de aproximadamente 46200 kPa, mientras que para el resto del perfil su valor se incrementa con la profundidad hasta alcanzar un valor máximo de 88000 kPa con tendencia media de 80300 kPa.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

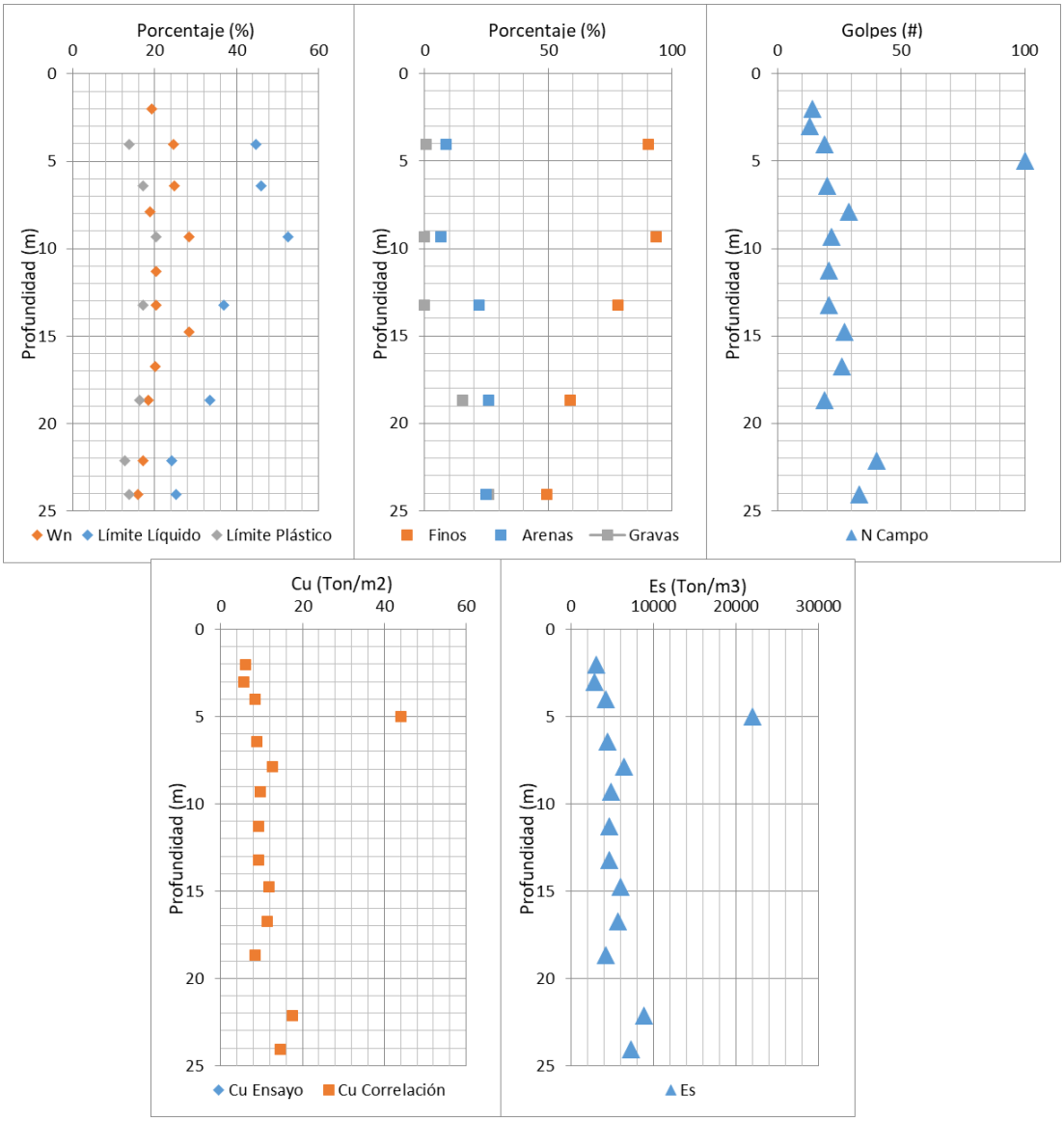


Figura 9-17. Caracterización geotécnica Pilona 12-13-14

9.16 PILONA 15

En la Figura 9-18 se muestran algunos parámetros del suelo en función de la profundidad para la zona de la pilona 15, tales como: humedad natural, límites de consistencia, granulometría, SPT, cohesión, peso unitario y módulo de elasticidad. En cuanto al porcentaje de humedad se puede apreciar que para los primeros 8m del perfil sus valores se encuentran entre el 8 y el 24% con una tendencia a disminuir con la profundidad, asimismo, para profundidades superiores se tienen valores medios de 18%. Los valores para el límite plástico se encuentran entre el 14 y el 20% con valor medio de 17% a lo largo

de todo el perfil, mientras que el límite líquido se encuentra entre el 28 y el 60% con una tendencia media de 40%.

Para este caso se puede observar una tendencia uniforme en el porcentaje de finos, gravas y arenas, encontrándose un valor muy elevado de finos, aproximadamente el 75% para todo el perfil, mientras que gravas y arenas tienen un valor promedio de 12%. Por otra parte, la gráfica de penetración estándar revela que a medida que la profundidad aumenta, el número de golpes también lo hace, encontrándose valores entre los 12 y los 100 golpes/pie para toda la profundidad, de tal manera que para profundidades entre los 0 y los 10 m el número de golpes/pie esta entre 12 y 22, entre 10 y 20 m el entre 26 y 55 golpes/pie y luego hasta los 25 m el valor de N_{spt} es de 100 golpes/pie.

Para los materiales que presentan más del 30% de finos y que pueden considerarse cohesivos se realizan ensayos de compresión inconfinada para estimar la resistencia al corte no drenado, adicionalmente con el ensayo de penetración estándar se evalúa este parámetro a partir de la expresión de Stroud (1974) que se expresa como: $Cu= 4.4*N_{campo}$ (kPa). La gráfica de variación de la resistencia al corte no drenado muestra que, entre 0 y 10 m, la resistencia se encuentra entre 95 y 130 kPa, siendo valores relativamente bajos que pueden estar asociados a la presencia de humedad o zonas de suelos saturados finos. Para profundidades mayores se tiene una tendencia a incrementar la magnitud de la resistencia al corte no drenado, llegando hasta los 440 kPa.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

En cuanto al peso unitario los valores se encuentran entre 20.5 kN/m³ y 21 kN/m³. Finalmente, en cuanto al módulo de elasticidad, se observa que para los primeros 10 m su valor medio es de aproximadamente 40000 kPa, mientras que para el resto del perfil su valor se incrementa con la profundidad hasta alcanzar un valor máximo de 220000 kPa con tendencia media de 119740 kPa.

Con la interpretación de los datos anteriores se definió el perfil geotécnico con las propiedades geotécnicas promedios resultantes para cada capa, definidas a partir de la información consignada en la base de datos del proyecto.

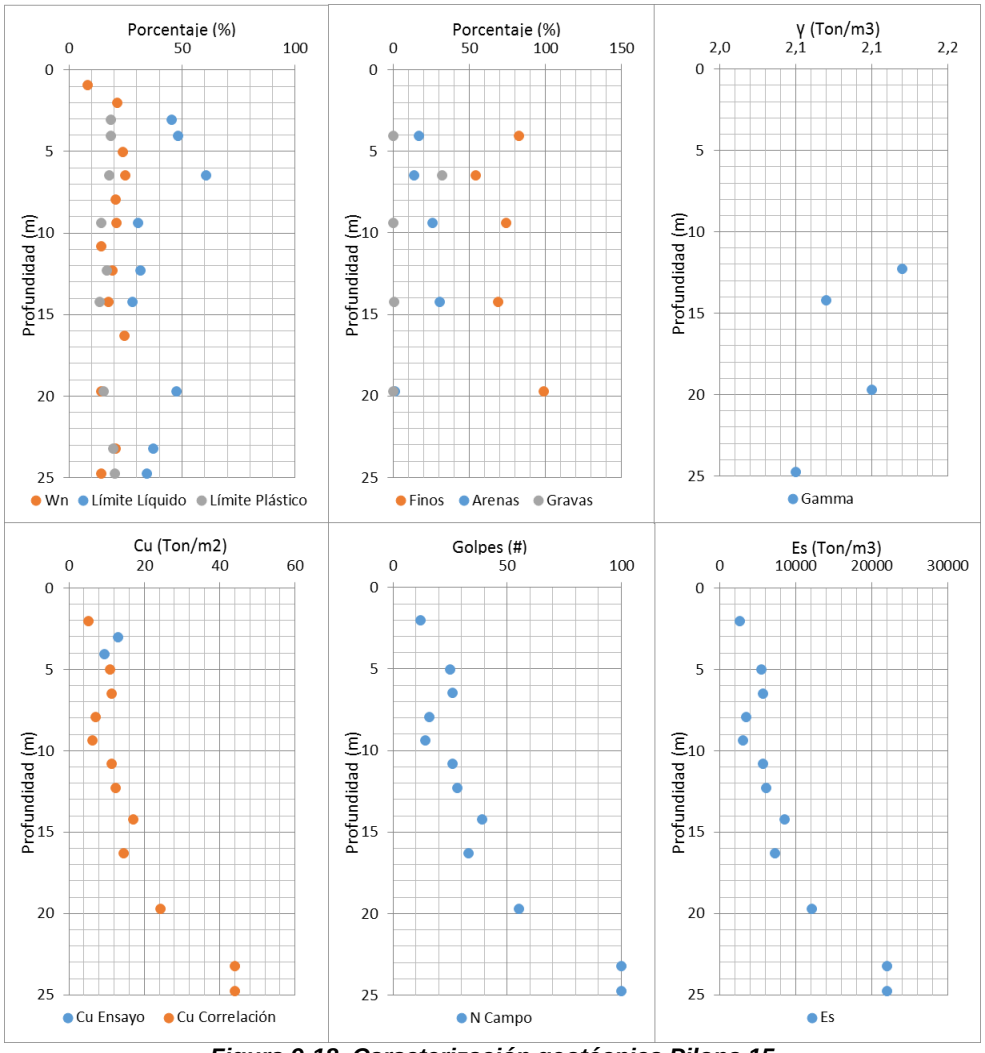


Figura 9-18. Caracterización geotécnica Pilona 15

9.17 PILONA 16

En la Figura 9-19 se muestran algunos parámetros del suelo en función de la profundidad para la zona de la pilona 16, tales como: humedad natural, límites de consistencia, granulometría, SPT, cohesión, peso unitario y módulo de elasticidad.

En cuanto al porcentaje de humedad se puede apreciar que para los primeros 10 metros del perfil sus valores se encuentran entre el 14 y el 23%, con una tendencia a disminuir con la profundidad; asimismo, para profundidades superiores a los 20 metros se tienen valores medios del 13%. Los valores para el límite plástico se encuentran entre el 13 y el 22% con valor medio de 17% a lo largo de todo el perfil, mientras que el límite líquido, se encuentra entre el 30 y el 60% con una tendencia media de 48%.

Por otra parte, se puede observar una tendencia uniforme en el porcentaje de finos, gravas y arenas, encontrándose un valor del 90% de finos para todo el perfil, mientras que el porcentaje de gravas y arenas es casi nulo. De esta manera, la gráfica de penetración estándar revela que a medida que la profundidad aumenta, el número de golpes también lo hace, obteniendo valores entre los 19 y los 100 golpes para toda la profundidad, es decir, desde los 2 a los 5 m, el número de golpes está entre 19 y 40; asimismo, entre 5 y 10 m, el valor está entre 32 y 65 golpes/pie. Finalmente, hasta llegar a los 25 m, el valor de N_{spt} correponde al rechazo.

Para los materiales que presentan más del 30% de finos y que pueden considerarse cohesivos se realizan ensayos de compresión inconfinada para estimar la resistencia al corte no drenado, adicionalmente con el ensayo de penetración estándar se evalúa este parámetro a partir de la expresión de Stroud (1974) que se expresa como: $Cu= 4.4*N_{campo}$ (kPa). La gráfica de variación de la resistencia al corte no drenado muestra que, entre 3 y 7 m, la resistencia se encuentra entre 108 y 176 kN/m², siendo valores relativamente bajos que pueden estar asociados a la presencia de humedad o zonas de suelos saturados finos. Para profundidades mayores se tiene una tendencia a incrementar la magnitud de la resistencia al corte no drenado, llegando hasta los 431 kN/m².

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

En cuanto al peso unitario, los valores se encuentran entre 24.7 kN/m³ y 25.2 kN/m³. Finalmente, en cuanto al módulo de elasticidad, se observa que para los primeros 4 m su valor medio es de aproximadamente 49033 kN/m^2, mientras que para el resto del perfil su valor se incrementa con la profundidad hasta alcanzar un valor máximo de 215746 kN/m^2 con tendencia media de 156906 kN/m^2.

Con la interpretación de los datos anteriores se definió el perfil geotécnico con las propiedades geotécnicas promedios resultantes para cada capa, definidas a partir de la información consignada en la base de datos del proyecto.

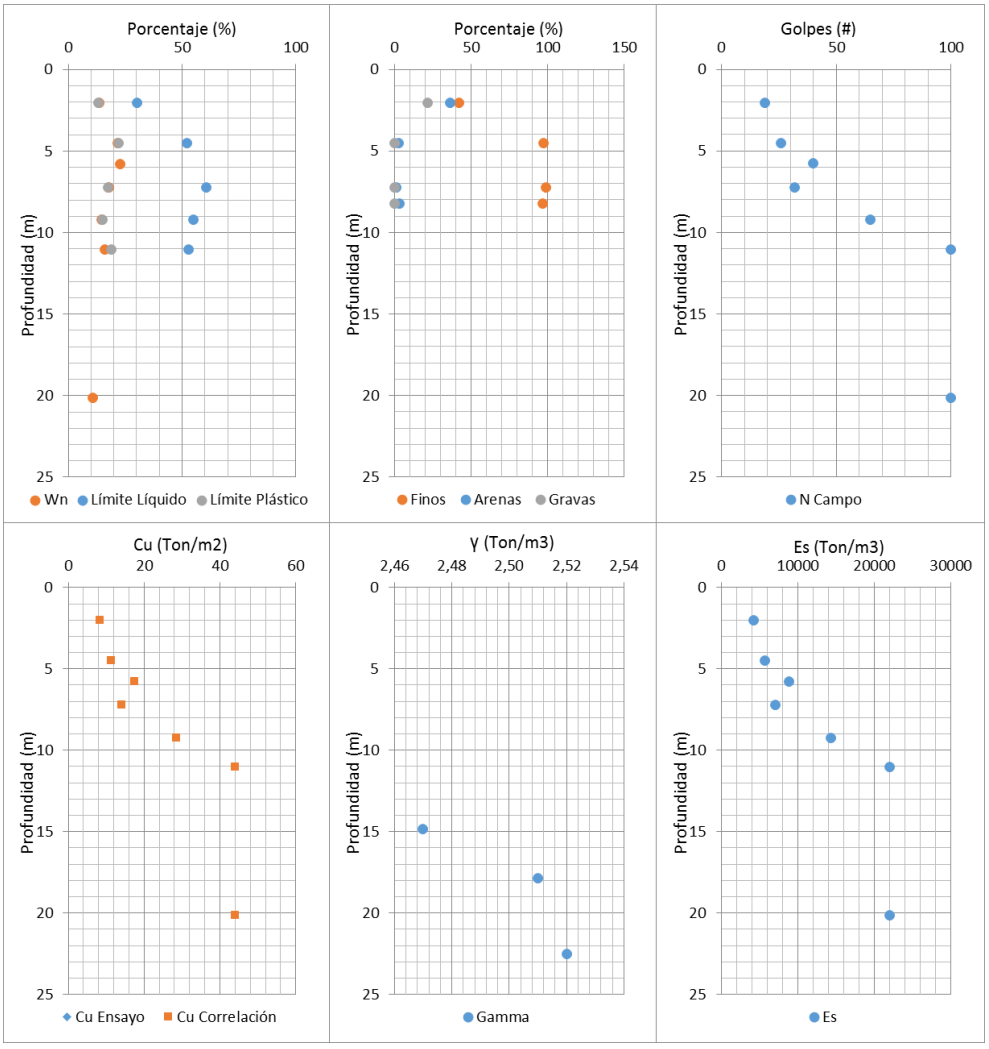


Figura 9-19. Caracterización geotécnica Pilona 16

9.18 PILONA 17

En la Figura 9-20 se muestran algunos parámetros del suelo en función de la profundidad para la zona de la pilona 17, tales como: humedad natural, límites de consistencia, granulometría, SPT, cohesión, peso unitario y módulo de elasticidad. En cuanto al porcentaje de humedad se puede apreciar que para los primeros 10 m del perfil sus valores se encuentran entre 5 y 23% con una tendencia a disminuir con la profundidad, asimismo, para profundidades superiores se tienen valores medios del 13%. Los valores para el límite plástico se encuentran entre el 0 y 25% con valor medio de 16% a lo largo de todo el perfil, mientras que el límite líquido se encuentra entre el 0 y el 65% con una tendencia media de 35%.

Para este caso se puede observar una tendencia uniforme en el porcentaje de finos, gravas y arenas, encontrándose un valor muy elevado de finos, aproximadamente el 90%, para todo el perfil mientras que gravas y arenas tienen un promedio de 5%. De otra parte, la gráfica de penetración estándar revela que a medida que la profundidad aumenta, el número de golpes también lo hace, encontrándose valores entre los 13 y los 73 golpes/pie para toda la profundidad, de tal manera que para profundidades entre los 2 y los 6 m el número de golpes/pie esta entre 13 y 34 y para profundidades entre 6 y 11 m el valor del ensayo spt corresponde entre 35 y 67 golpes/pie.

Para los materiales que presentan más del 30% de finos y que pueden considerarse cohesivos se realizan ensayos de compresión inconfinada para estimar la resistencia al corte no drenado, adicionalmente con el ensayo de penetración estándar se evalúa este parámetro a partir de la expresión de Stroud (1974) que se expresa como: $Cu= 4.4*N_{campo}$ (kPa). La gráfica de variación de la resistencia al corte no drenado muestra que, entre 2 y 6 m, la resistencia se encuentra entre 58 y 88 kPa, siendo valores relativamente bajos que pueden estar asociados a la presencia de humedad o zonas de suelos saturados finos. Para profundidades mayores se tiene una tendencia a incrementar la magnitud de la resistencia al corte no drenado, llegando hasta los 320 kPa.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

En cuanto al peso unitario los valores para esta muestra se encuentran entre 20 y 22 kN/m3. Finalmente, en cuanto al módulo de elasticidad, se observa que para los primeros 10 m su valor medio es de aproximadamente 66000 kPa, mientras que para el resto del perfil su valor se incrementa con la profundidad hasta alcanzar un valor máximo de 160600 kPa con tendencia media de 154000 kPa.

De acuerdo con las propiedades geotécnicas determinadas antes se tiene que el perfil de suelo promedio que puede ser utilizado para los análisis geotécnicos de la cimentación, estos parámetros se tomaron como el valor medio de las propiedades disponibles para cada nivel de suelo.

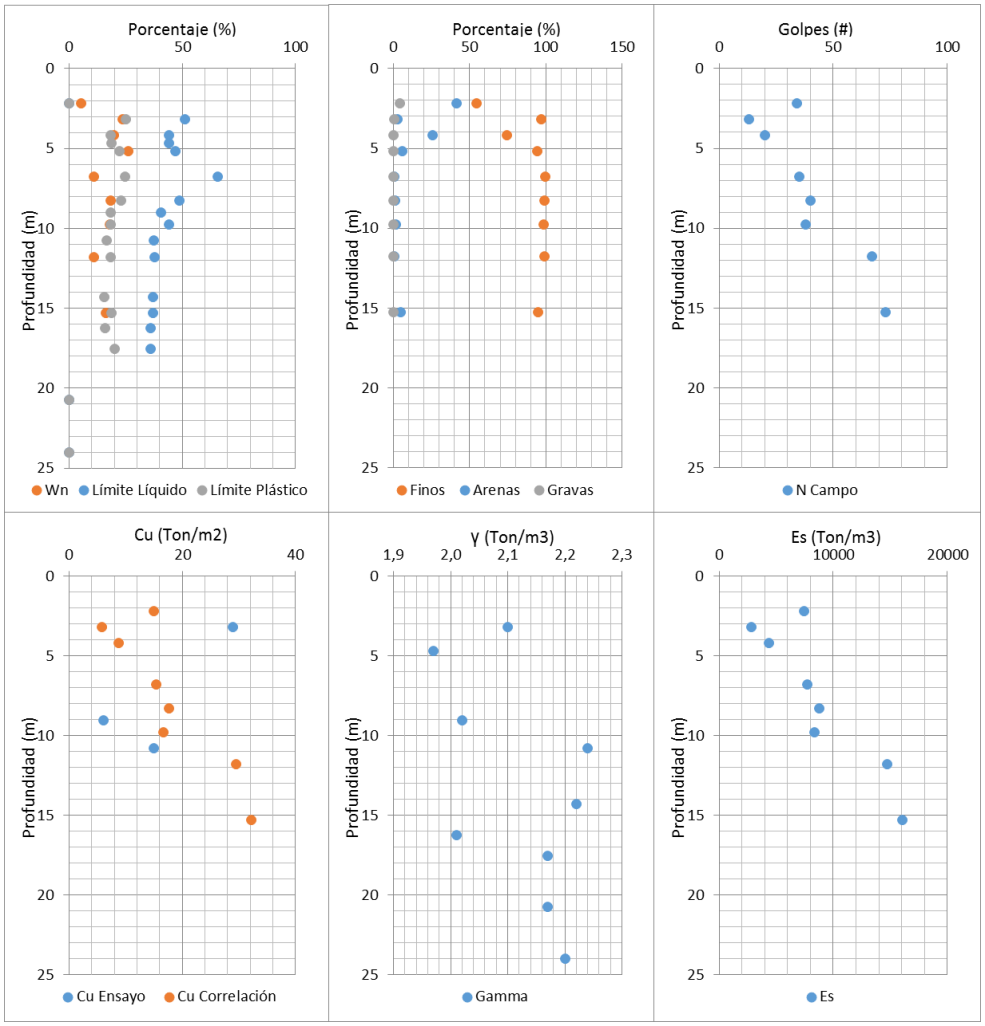


Figura 9-20. Caracterización geotécnica Pilona 17

9.19 PILONA 18

En la Figura 9-18, se muestran algunos parámetros del suelo en función de la profundidad para la zona de la pilona 18, tales como: humedad natural, límites de consistencia, granulometría, SPT, cohesión, peso unitario y módulo de elasticidad. En cuanto al porcentaje de humedad se puede apreciar que para los primeros 10 m del perfil sus valores se encuentran entre 14 y 18% con una tendencia a disminuir con la profundidad, asimismo, para profundidades superiores a los veinte metros se tienen valores medios del 20%. Los valores para el límite plástico se encuentran entre el 0 y 25% con valor medio de 13% a lo largo de todo el perfil, mientras que el límite líquido se encuentra entre el 0 y el 63% con una tendencia media de 39%.

Para este caso se puede observar una tendencia uniforme en el porcentaje de finos, gravas y arenas, encontrándose un valor muy elevado de finos, aproximadamente el 90%, para todo el perfil mientras que gravas y arenas tienen un promedio de 16%. De otra parte, la gráfica de penetración estándar revela que a medida que la profundidad aumenta, el número de golpes también lo hace, encontrándose valores entre los 17 y los 100 golpes/pie para toda la profundidad, de tal manera que para profundidades entre los 2 y los 4 m el número de golpes esta entre 17 y 46, entre 4 y 8 m el entre 33 y 61 golpes/pie y luego hasta los 25 m el valor de N_{spt} está entre 54 y 100 golpes/pie.

Para los materiales que presentan más del 30% de finos y que pueden considerarse cohesivos se realizan ensayos de compresión inconfinada para estimar la resistencia al corte no drenado, adicionalmente con el ensayo de penetración estándar se evalúa este parámetro a partir de la expresión de Stroud (1974) que se expresa como: $Cu= 4.4*N_{campo}$ (kPa). La gráfica de variación de la resistencia al corte no drenado muestra que, entre 2 y 6 m, la resistencia se encuentra entre 70 y 200 kPa, siendo valores relativamente bajos que pueden estar asociados a la presencia de humedad o zonas de suelos saturados finos. Para profundidades mayores se tiene una tendencia a incrementar la magnitud de la resistencia al corte no drenado, llegando hasta los 290 kPa.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

En cuanto al peso unitario los valores para esta muestra se encuentran entre 19.2 y 20 kN/m3. Finalmente, en cuanto al módulo de elasticidad, se observa que para los primeros 4 m su valor medio es de aproximadamente 46000 kPa, mientras que para el resto del perfil su valor se incrementa con la profundidad hasta alcanzar un valor máximo de 145200 kPa con tendencia media de 108795 kPa.

De acuerdo con las propiedades geotécnicas determinadas antes se tiene que el perfil de suelo promedio que puede ser utilizado para los análisis geotécnicos de la cimentación, estos parámetros se tomaron como el valor medio de las propiedades disponibles para cada nivel de suelo.

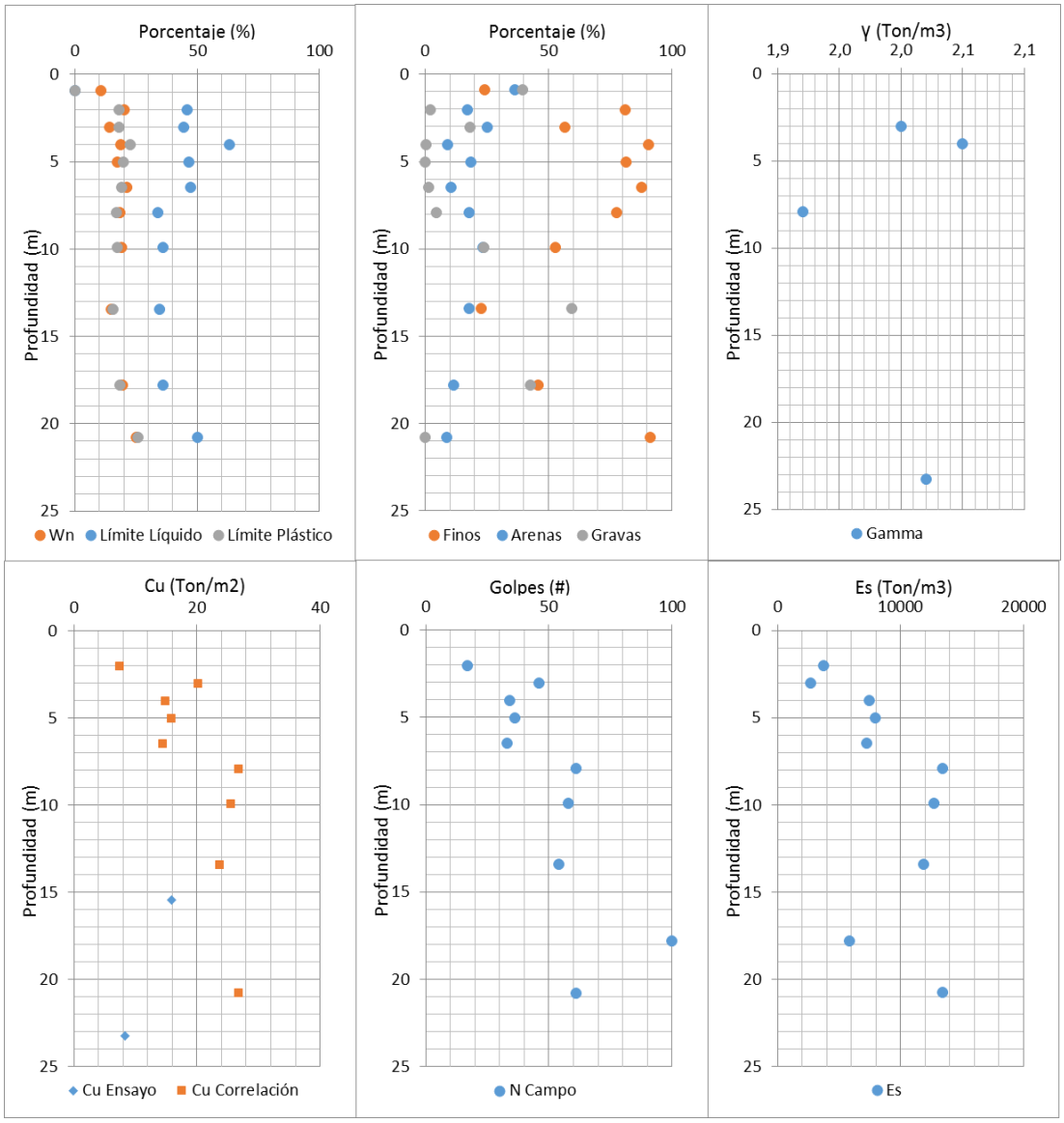


Figura 9-21. Caracterización geotécnica Pilona 18

9.20 PILONA 19

En la Figura 9-22, se muestran algunos parámetros del suelo en función de la profundidad para la zona de la pilona 19, tales como: humedad natural, límites de consistencia, granulometría, SPT, cohesión, peso unitario y módulo de elasticidad. En cuanto al porcentaje de humedad se puede apreciar que para los primeros diez metros del perfil sus valores se encuentran entre 19 y 29% con una tendencia a disminuir con la profundidad, asimismo, para profundidades superiores se tiene un valor medio de 17%. Los valores para el límite plástico se encuentran entre el 13 y 18% con valor medio de 13% a lo largo de todo

el perfil, mientras que el límite líquido se encuentra entre el 26 y el 85% con una tendencia media de 42%.

Para este caso se puede observar una tendencia uniforme en el porcentaje de finos, gravas y arenas, encontrándose un valor muy elevado de finos, aproximadamente el 80%, para todo el perfil mientras que gravas y arenas tienen un promedio de 10%. De otra parte, la gráfica de penetración estándar revela que a medida que la profundidad aumenta, el número de golpes también lo hace, encontrándose valores entre los 23 y 100 golpes/pie para toda la profundidad, de tal manera que para profundidades entre 5 y 9 m el valor del spt se encuentra entre 33 y 100 golpes/pie, entre 9 y 13 m entre 23 y 49 golpes/pie y hasta los 25 m el valor de N_{spt} está entre 74 y 100 golpes/pie.

Para los materiales que presentan más del 30% de finos y que pueden considerarse cohesivos se realizan ensayos de compresión inconfinada para estimar la resistencia al corte no drenado, adicionalmente con el ensayo de penetración estándar se evalúa este parámetro a partir de la expresión de Stroud (1974) que se expresa como: $Cu= 4.4*N_{campo}$ (kPa). La gráfica de variación de la resistencia al corte no drenado muestra que, entre 9 y 13 m, la resistencia se encuentra entre 100 y 215 kPa, siendo valores relativamente bajos que pueden estar asociados a la presencia de humedad o zonas de suelos saturados finos. Para profundidades mayores se tiene una tendencia a incrementar la magnitud de la resistencia al corte no drenado, llegando hasta los 250 kPa.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

En cuanto al peso unitario los valores para esta muestra se encuentran entre 20.3 y 22.2 kN/m3. Finalmente, en cuanto al módulo de elasticidad, se observa que para los primeros 13 m su valor medio es de aproximadamente 70740 kPa, mientras que para el resto del perfil su valor se incrementa con la profundidad hasta alcanzar un valor máximo de 220000 kPa con tendencia media de 143550 kPa.

De acuerdo con las propiedades geotécnicas determinadas antes se tiene que el perfil de suelo promedio que puede ser utilizado para los análisis geotécnicos de la cimentación, estos parámetros se tomaron como el valor medio de las propiedades disponibles para cada nivel de suelo.

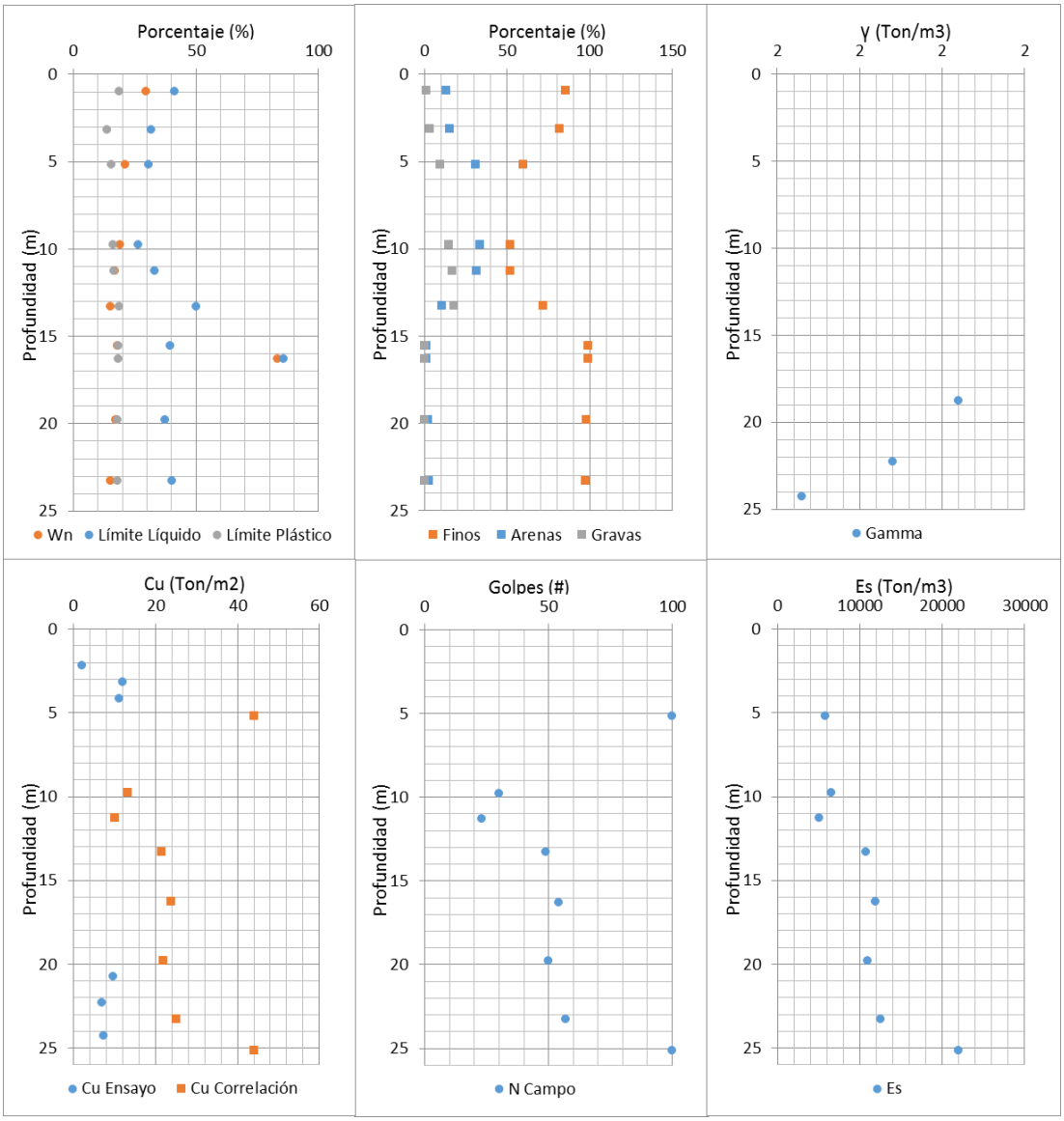


Figura 9-22. Caracterización geotécnica Pilona 19

9.21 PILONA 20

En la Figura 9-25 se muestran algunos parámetros del suelo en función de la profundidad para la zona de la pilona 20, tales como: humedad natural, límites de consistencia, granulometría, SPT, cohesión, peso unitario y módulo de elasticidad. En cuanto al porcentaje de humedad se puede apreciar que para los primeros 10m del perfil sus valores se encuentran entre 11 y 24% con una tendencia a disminuir con la profundidad, asimismo, para profundidades superiores se tiene un valor medio de 14%. Los valores para el límite plástico se encuentran entre 14 y 20% con valor medio de 17% a lo largo de todo el perfil,

mientras que el límite líquido se encuentra entre el 36 y el 40% con una tendencia media de 34%.

Para este caso se puede observar una tendencia uniforme en el porcentaje de finos, gravas y arenas, encontrándose un valor muy elevado de finos, aproximadamente el 73%, para todo el perfil mientras que gravas y arenas tienen un promedio de 13%. Por otra parte, la gráfica de penetración estándar revela que a medida que la profundidad aumenta, el número de golpes también lo hace, encontrándose valores entre los 18 y 100 golpes/pie para toda la profundidad, de tal manera que para profundidades entre 0 y 14 m el valor del spt se encuentra entre 18 y 62 golpes/pie, entre 14 y 25m se encuentra entre 53 y 100 golpes/pie.

Para los materiales que presentan más del 30% de finos y que pueden considerarse cohesivos se realizan ensayos de compresión inconfinada para estimar la resistencia al corte no drenado, adicionalmente con el ensayo de penetración estándar se evalúa este parámetro a partir de la expresión de Stroud (1974) que se expresa como: $Cu= 4.4*N_{campo}$ (kPa). La gráfica de variación de la resistencia al corte no drenado muestra que, entre 0 y 14 m, la resistencia se encuentra entre 79 y 100 kPa, siendo valores relativamente bajos que pueden estar asociados a la presencia de humedad o zonas de suelos saturados finos. Para profundidades mayores se tiene una tendencia a incrementar la magnitud de la resistencia al corte no drenado, llegando hasta los 440 kPa.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

En cuanto al peso unitario los valores para esta muestra se encuentran entre 20.3 y 20.8 kN/m3. Finalmente, en cuanto al módulo de elasticidad, se observa que para los primeros 14 m su valor medio es de aproximadamente 34700 kPa, mientras que para el resto del perfil su valor se incrementa con la profundidad hasta alcanzar un valor máximo de 220000 kPa con tendencia media de 156750 kPa.

De acuerdo con las propiedades geotécnicas determinadas antes se tiene que el perfil de suelo promedio que puede ser utilizado para los análisis geotécnicos de la cimentación, estos parámetros se tomaron como el valor medio de las propiedades disponibles para cada nivel de suelo.

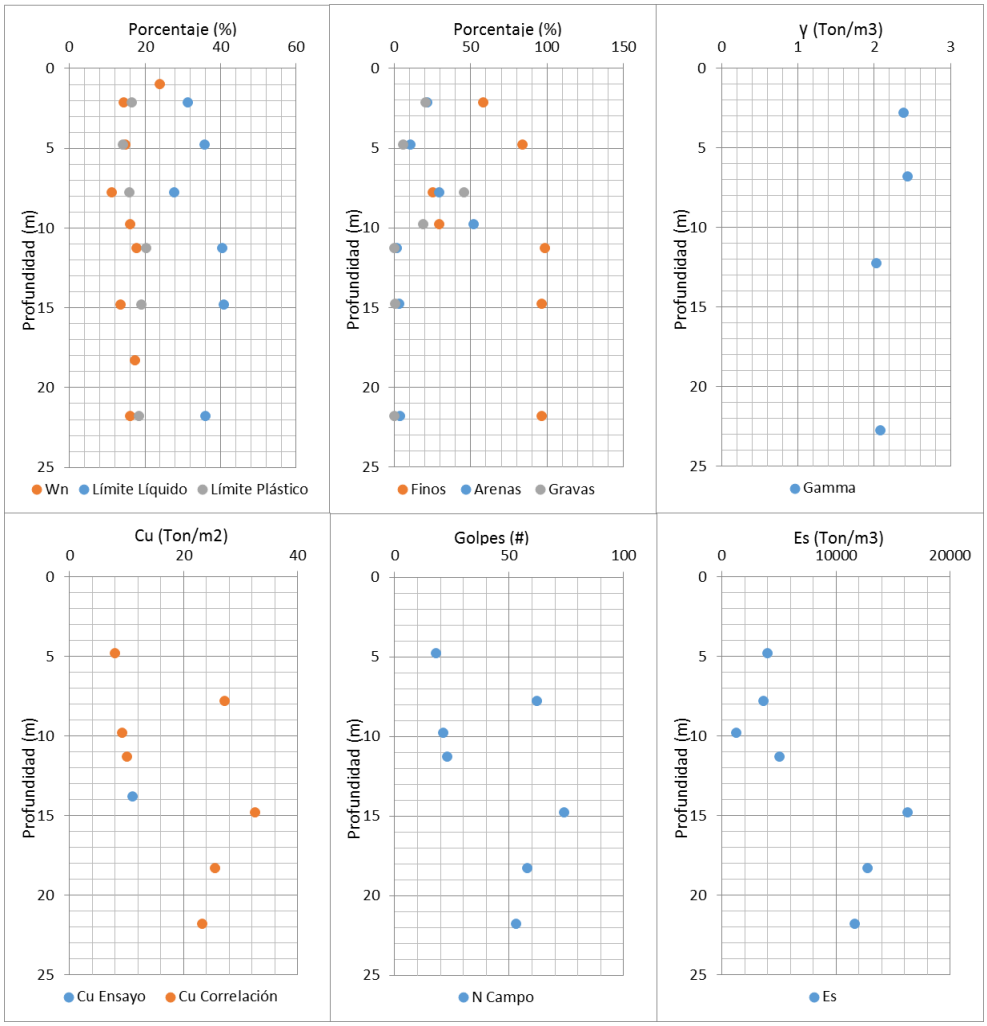


Figura 9-23. Caracterización geotécnica Pilona 20

9.22 PILONA 21

En la Figura 9-24, se muestran algunos parámetros del suelo en función de la profundidad para la zona de la pilona 21, tales como: humedad natural, límites de consistencia, granulometría, SPT, cohesión, peso unitario y módulo de elasticidad. En cuanto al porcentaje de humedad se puede apreciar que para los primeros 16 m del perfil sus valores se encuentran entre 14 y 41% con una tendencia a disminuir con la profundidad, asimismo, para profundidades superiores se tiene un valor medio de 11%. Los valores para el límite plástico se encuentran entre 0 y 23% con valor medio de 18% a lo largo de todo el perfil, mientras que el límite líquido se encuentra entre el 0 y el 46% con una tendencia media de 30%.

Para este caso se puede observar una tendencia uniforme en el porcentaje de finos, gravas y arenas, encontrándose un valor muy elevado de finos, aproximadamente el 73%, para todo el perfil mientras que gravas y arenas tienen un promedio de 13%. De otra parte, la gráfica de penetración estándar revela que a medida que la profundidad aumenta, el número de golpes también lo hace, encontrándose valores entre los 9 y 100 golpes/pie para toda la profundidad, de tal manera que para profundidades entre 0 y 9 m el valor del spt se encuentra entre 9 y 25 golpes/pie, entre 9 y 13m es de 30 golpes/pie y hasta los 25 m el valor de N_{spt} es de 100 golpes/pie.

Para los materiales que presentan más del 30% de finos y que pueden considerarse cohesivos se realizan ensayos de compresión inconfinada para estimar la resistencia al corte no drenado, adicionalmente con el ensayo de penetración estándar se evalúa este parámetro a partir de la expresión de Stroud (1974) que se expresa como: $Cu= 4.4*N_{campo}$ (kPa). La gráfica de variación de la resistencia al corte no drenado muestra que, entre 0 y 9 m, la resistencia se encuentra entre 40 y 211 kPa, siendo valores relativamente bajos que pueden estar asociados a la presencia de humedad o zonas de suelos saturados finos. Para profundidades mayores se tiene una tendencia a incrementar la magnitud de la resistencia al corte no drenado, llegando hasta los 440 kPa.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

En cuanto al peso unitario los valores para esta muestra se encuentran entre 19.8 y 24.7kN/m3. Finalmente, en cuanto al módulo de elasticidad, se observa que para los primeros 9 m su valor medio es de aproximadamente 37400 kPa, mientras que para el resto del perfil su valor se incrementa con la profundidad hasta alcanzar un valor máximo de 220000 kPa con tendencia media de 132880 kPa.

De acuerdo con las propiedades geotécnicas determinadas antes se tiene que el perfil de suelo promedio que puede ser utilizado para los análisis geotécnicos de la cimentación, estos parámetros se tomaron como el valor medio de las propiedades disponibles para cada nivel de suelo.

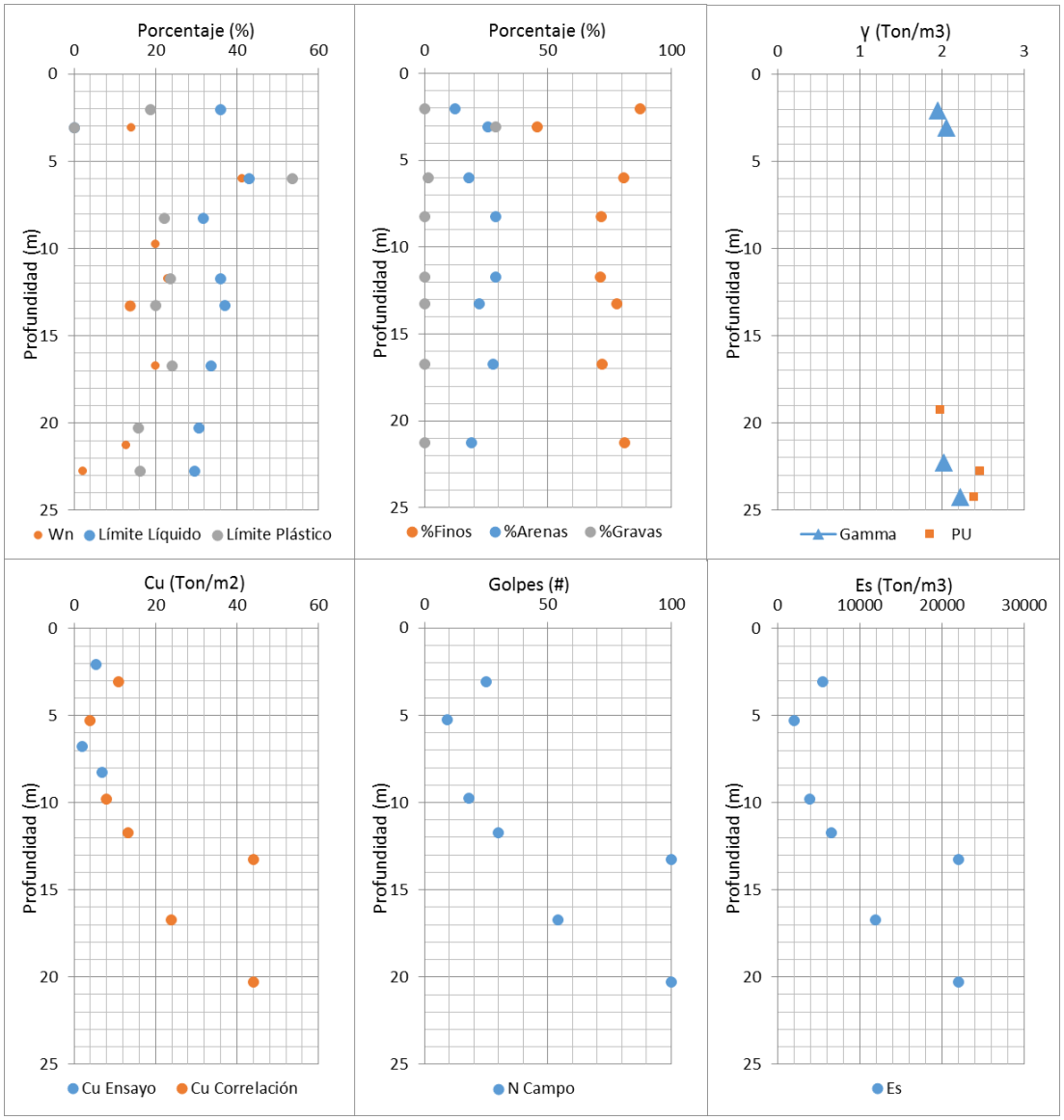


Figura 9-24. Caracterización geotécnica Pilona 21

9.23 PILONA 22

En la Figura 9-25, se muestran algunos parámetros del suelo en función de la profundidad para la zona de la pilona 19, tales como: humedad natural, límites de consistencia, granulometría, SPT, cohesión, peso unitario y módulo de elasticidad. En cuanto al porcentaje de humedad se puede apreciar que tiene una tendencia uniforme a profundidad y que tiene un valor promedio de 22%. Los valores para el límite plástico se encuentran entre 14 y 22% con valor medio de 19% a lo largo de todo el perfil, mientras que el límite líquido se encuentra entre el 30 y 47% con una tendencia media de 37%.

Para este caso se puede observar una tendencia uniforme en el porcentaje de finos, gravas y arenas, encontrándose un valor muy elevado de finos, aproximadamente el 78%, para todo el perfil mientras que gravas y arenas tienen un promedio de 10%. De otra parte, la gráfica de penetración estándar revela que a medida que la profundidad aumenta, el número de golpes también lo hace, encontrándose valores entre los 16 y 49 golpes/pie para toda la profundidad, de tal manera que para profundidades entre 0 y 4 m el valor del ensayo spt es de 16 golpes/pie, entre 4 y 15m el valor de spt esta entre 22 y 36 golpes/pie y hasta los 25 m el valor medio del ensayo spt es de 43 golpes/pie.

Para los materiales que presentan más del 30% de finos y que pueden considerarse cohesivos se realizan ensayos de compresión inconfinada para estimar la resistencia al corte no drenado, adicionalmente con el ensayo de penetración estándar se evalúa este parámetro a partir de la expresión de Stroud (1974) que se expresa como: Cu= 4.4*Ncampo (kPa). La gráfica de variación de la resistencia al corte no drenado muestra que, entre 0 y 4 m, la resistencia se encuentra es de 70 kPa, siendo valores relativamente bajos que pueden estar asociados a la presencia de humedad o zonas de suelos saturados finos. Para profundidades mayores se tiene una tendencia a incrementar la magnitud de la resistencia al corte no drenado, llegando hasta los 215 kPa.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

En cuanto al peso unitario los valores para esta muestra se encuentran entre 19.4 y 22 kN/m3. Finalmente, en cuanto al módulo de elasticidad, se observa que para los primeros 12 m su valor medio es de aproximadamente 37800 kPa, mientras que para el resto del perfil su valor se incrementa con la profundidad hasta alcanzar un valor máximo de 107800 kPa con tendencia media de 52000 kPa.

De acuerdo con las propiedades geotécnicas determinadas antes se tiene que el perfil de suelo promedio que puede ser utilizado para los análisis geotécnicos de la cimentación, estos parámetros se tomaron como el valor medio de las propiedades disponibles para cada nivel de suelo.

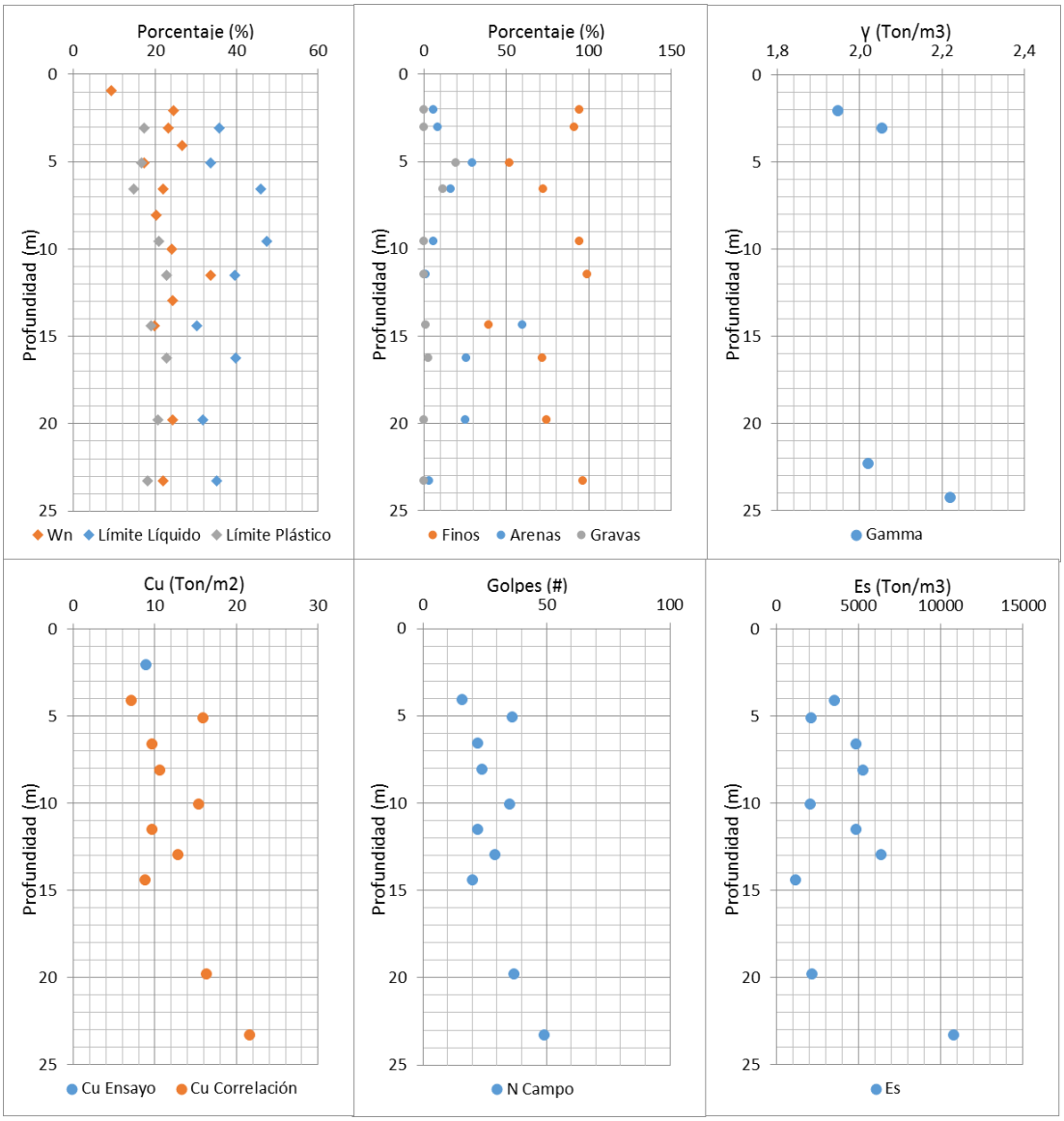


Figura 9-25. Caracterización geotécnica Pilona 22

10 METODOLOGÍA DE DISEÑO

Con el fin de realizar los respectivos análisis y cálculos geotécnicos para la fase de estudios y diseños, se seguirán las siguientes metodologías las cuales estarán regidas y enmarcadas por la normatividad colombiana vigente (NSR-10, CCP-14, Resolución 227 de 2006, microzonificación sísmica de Bogotá):

10.1 CIMENTACIONES DE EDIFICACIONES

Para el cálculo de capacidades portantes de las edificaciones del proyecto (estaciones de transferencia y retorno) se utilizarán las metodologías para cimentaciones superficiales y profundas que indica el reglamento colombiano de construcción sismorresistente NSR-10.

10.1.1 Factores de Seguridad

De acuerdo con la NSR-10, el factor de seguridad se define como la relación entre fuerzas resistentes y actuantes. El factor de seguridad básico o directo se define como la relación entre el esfuerzo cortante último resistente o esfuerzo cortante de falla τ_f y el esfuerzo cortante actuante τ_a:

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

$$F_{SB} = \frac{\tau_f}{\tau_a}$$

$$\tau_f = C' + \sigma' * tan\varphi'$$

En donde C' corresponde al intercepto de cohesión efectiva, ***Φ***' al ángulo de fricción efectivo y ***σ***' al esfuerzo normal efectivo.

Los valores de los factores de seguridad básicos no deben ser inferiores a los mostrados en la tabla H.2.4-1 de la NSR-10.

Condición	F_{SBM}		F_{SBUM}	
	Diseño	Construcción	Diseño	Construcción
Carga Muerta + Carga Viva Normal	1.50	1.25	1.80	1.40
Carga Muerta + Carga Viva Máxima	1.25	1.10	1.40	1.15
Carga Muerta + Carga Viva Normal + Sismo de Diseño Seudo estático	1.10	1.00 (*)	No se permite	No se permite
Taludes – Condición Estática y Agua Subterránea Normal	1.50	1.25	1.80	1.40
Taludes – Condición Seudo-estática con Agua Subterránea Normal y Coeficiente Sísmico de Diseño	1.05	1.00 (*)	No se permite	No se permite

(*) Nota: Los parámetros sísmicos seudo estáticos de Construcción serán el 50% de los de Diseño

Figura 10-1. Factores de seguridad básicos mínimos directos.
Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, 2010

Del factor de seguridad básico se derivan factores de seguridad indirectos que tienen valores diferentes.

Para el caso de capacidad portante de cimentaciones superficiales y capacidad portante de punta para cimentaciones profundas la norma recomienda los siguientes factores de seguridad indirectos:

Condición	F_{SICP} Mínimo Diseño
Carga Muerta + Carga Viva Normal	3.0
Carga Muerta + Carga Viva Máxima	2.5
Carga Muerta + Carga Viva Normal + Sismo de Diseño Seudo estático	1.5

Figura 10-2. Factores de seguridad indirectos mínimos para capacidad portante para cimentaciones superficiales y capacidad portante por punta de cimentaciones profundas.
Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, 2010

Para el caso de capacidad portante por fricción en cimentaciones profundas, el factor de seguridad está definido por:

$$F_{SL} = \frac{\tau_L}{\tau_A}$$

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

En donde τ_L corresponde a la resistencia al cortante en la interfaz suelo-elemento de cimentación.

$$\tau_L = \frac{2\tau_F}{3}$$

En el caso de $\tau_F = S_u$ se deberá usar

$$\tau_L = \alpha S_u$$

En donde:

$$\alpha = 0.2 + 0.8 \exp\left[0.35 - \left(\frac{2Su}{Pa}\right)\right] \leq 1$$

Siendo Pa la presión atmosférica y Su resistencia no drenada.

Se tomará 1.8 como factor de seguridad por fuste en las cimentaciones profundas para la condición estática de acuerdo con lo indicado en la Figura 10-1 para condición no drenada y un factor de seguridad de 1.1 para análisis pseudoestático.

Para el caso de estructuras de contención, los valores del factor de seguridad indirecto deben ser como mínimo los indicados en la siguiente tabla:

Condición	Construcción	Estático	Sismo	Seudo estático
Deslizamiento	1.60	1.60	Diseño	1.05
Volcamiento: el que resulte más crítico de				
Momento Resistente/ Momento Actuante	≥ 3.00	≥ 3.00	Diseño	≥ 2.00
Excentricidad en el sentido del momento (e/B)	≤ 1/6	≤ 1/6	Diseño	≤ 1/4
Capacidad portante	Iguales a los de la Tabla H.4.1			
Estabilidad Intrínseca materiales térreos (reforzados o no)	Iguales a los de la Tabla H.2.1			
Estabilidad Intrínseca materiales manufacturados	Según material (Concreto-Título C; Madera-Título G; etc.)			
Estabilidad general del sistema:				
Permanente o de Larga duración (> 6 meses)	1.20	1.50	Diseño	1.05
Temporal o de Corta duración (< 6 meses)	1.20	1.30	50% de Diseño	1.00
Laderas adyacentes (Zona de influencia > 2.5H)	1.20	1.50	Diseño	1.05

Figura 10-3. Factores de seguridad indirectos mínimos para estructuras de contención.
Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, 2010

10.1.2 Cimentaciones superficiales para obras menores

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

De acuerdo con la propuesta de Meyerhof (1963) se tiene la siguiente expresión para el cálculo de la capacidad portante:

$$q_u = c'N_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + qN_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2}\gamma B N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i}$$

En donde:

c' = cohesión
q = esfuerzo efectivo al nivel del fondo de la cimentación
γ = peso específico del suelo
B = ancho de la cimentación (= diámetro para una cimentación circular)
$F_{cs}, F_{qs}, F_{\gamma s}$ = factores de forma
$F_{cd}, F_{qd}, F_{\gamma d}$ = factores de profundidad
$F_{ci}, F_{qi}, F_{\gamma i}$ = factores de inclinación de la carga
N_c, N_q, N_γ = factores de capacidad de carga

Los factores de capacidad de carga se calculan como sigue:

$$N_q = tan^2\left(45 + \frac{\emptyset'}{2}\right) e^{\pi * tan\emptyset'}$$

$$N_c = (N_q - 1)cot\emptyset'$$

$$N_\gamma = 2 * (N_q + 1)tan\emptyset'$$

Los factores de forma, profundidad e inclinación se pueden obtener a partir de las expresiones de la siguiente tabla:

Tabla 10-1. Factores de forma, profundidad e inclinación. Fuente: Braja, Das, 2015.

Factor	Relación	Referencia
Forma	$F_{cs} = 1 + \left(\frac{B}{L}\right)\left(\frac{N_q}{N_c}\right)$ $F_{qs} = 1 + \left(\frac{B}{L}\right)\tan\phi'$ $F_{\gamma s} = 1 - 0.4\left(\frac{B}{L}\right)$	DeBeer (1970)
Profundidad	si; $\frac{D_f}{B} \leq 1$ Para $\phi = 0$: $F_{cd} = 1 + 0.4\left(\frac{D_f}{B}\right)$ $F_{qd} = 1$ $F_{\gamma d} = 1$ Para $\phi' > 0$: $F_{cd} = F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{N_c \tan\phi'}$ $F_{qd} = 1 + 2\tan\phi'(1 - \text{sen}\,\phi')^2\left(\frac{D_f}{B}\right)$ $F_{\gamma d} = 1$ si; $\frac{D_f}{B} > 1$ Para $\phi = 0$: $F_{cd} = 1 + 0.4 \underbrace{\tan^{-1}\left(\frac{D_f}{B}\right)}_{\text{radianes}}$ $F_{qd} = 1$ $F_{\gamma d} = 1$ Para $\phi' > 0$: $F_{cd} = F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{N_c \tan\phi'}$ $F_{qd} = 1 + 2\tan\phi'(1 - \text{sen}\,\phi')^2 \underbrace{\tan^{-1}\left(\frac{D_f}{B}\right)}_{\text{radianes}}$ $F_{\gamma d} = 1$	Hansen (1970)
Inclinación	$F_{ci} = F_{qi} = \left(1 - \frac{\beta^\circ}{90^\circ}\right)^2$ $F_{\gamma i} = \left(1 - \frac{\beta}{\phi'}\right)$ β = inclinación de la carga sobre la cimentación respecto a la vertical	Meyerhof (1963); Hanna y Meyerhof (1981)

10.1.3 Cimentaciones superficiales para losas sobre materiales arcillosos.

Para el calculo de la capacidad de carga de los cimientos superficiales se adopta la siguiente expresión:

$$q_u = c_u N_c F_{cs} F_{cd} + q$$

Donde:

Cu = Cohesión no drenada *Nq= 1*

Nc=5.14 *Ny=0*

Estos valores obtenidos para una ángulo de fricción de cero.

El factor Fcs, corresponde a la siguiente expresión:

$$F_{cs} = 1 + \left(\frac{B}{L}\right)\left(\frac{N_q}{N_c}\right) = 1 + \left(\frac{B}{L}\right)\left(\frac{1}{5.14}\right) = 1 + \frac{0.195B}{L}$$

$$F_{cd} = 1 + 0.4\left(\frac{D_f}{B}\right)$$

Al sustituir los factores de forma y profundidad en la ecuación de qu, se obtiene:

$$q_u = 5.14c_u\left(1 + \frac{0.195B}{L}\right)\left(1 + 0.4\frac{D_f}{B}\right) + q$$

Por lo tanto, la capacidad de carga es:

$$q_{neta(u)} = q_u - q = 5.14c_u\left(1 + \frac{0.195B}{L}\right)\left(1 + 0.4\frac{D_f}{B}\right)$$

Y para obtener la capacidad de carga admisible se tiene el cuenta un factor de seguridad obteniendo:

$$qadm = \frac{5.14Cu * \left(1 + \frac{0.195B}{L}\right) * \left(1 + 0.4\frac{Df}{B}\right)}{FS}$$

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

10.1.4 Cimentaciones profundas

Para las cimentaciones profundas se seguirá la siguiente metodología de acuerdo con el tipo de material en donde estará trabajando la estructura.

- Capacidad por punta en arenas: Se utilizará el método de Meyerhof cuya expresión es la siguiente:

$$Q_p = A_p.q'.N_q^*$$

Sin embargo, Qp no debe exceder el valor limite $A_p q_l$, es decir:

$$Q_p = A_p.q'.N_q^* \leq A_p.50.N_q^*.Tan\phi$$

En donde N_q^* se estima de acuerdo con la grafica presentada a continuación:

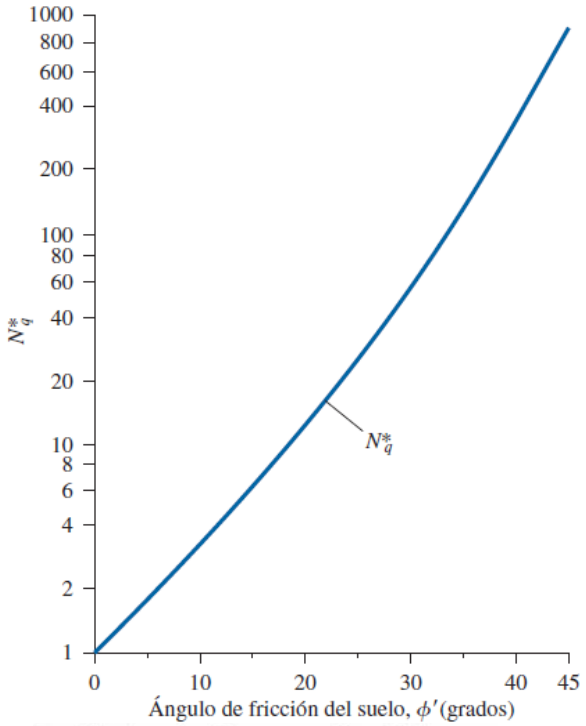


Figura 10-4. Variación de los valores máximos de N_q^* con el ángulo de fricción del suelo Φ.
Fuente: Braja, Das, 2015.

- Capacidad por punta en arcillas (***Φ'***=0)

Para arcilla saturada la capacidad por punta del pilote se puede aproximar con la siguiente expresión:

$$Q_p = N_c^* . C_u . A_p = 9. C_u . A_p$$

Con A_p área de la punta y C_u corresponde a la cohesión no drenada.

- Capacidad por fricción en arenas: La resistencia por fricción del pilote se puede determinar mediante la siguiente expresión:

$$Q_s = \Sigma\, p\, \Delta L\, f$$

En donde p corresponde al perímetro de la sección del pilote, ΔL= longitud incremental del pilote y f es la resistencia unitaria por fricción que se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$f = K . \sigma_v' . Tan\delta$$

En donde:

K = coeficiente efectivo de presión de tierra
σ'_o = esfuerzo vertical efectivo a la profundidad en consideración
δ' = ángulo de fricción suelo-pilote

- Capacidad por fricción en arcillas: (Método α)

La resistencia por fricción unitaria en suelos arcillosos se puede obtener mediante la siguiente expresión:

$$f = \alpha . Cu$$

En donde α es un factor empírico de adhesión. La variación aproximada de α se puede obtener de la siguiente tabla:

Tabla 10-2. Variación de α (valores interpolados basados en Terzaghi, Peck y Mesri, 1996).

$\frac{c_u}{p_a}$	α
≤ 0.1	1.00
0.2	0.92
0.3	0.82
0.4	0.74
0.6	0.62
0.8	0.54
1.0	0.48
1.2	0.42
1.4	0.40
1.6	0.38
1.8	0.36
2.0	0.35
2.4	0.34
2.8	0.34

Nota: p_a = presión atmosférica ≈ 100 kN/m²

Fuente: Braja, Das, 2015.

- Capacidad por punta en roca: Según Goodman,1980 la capacidad por punta unitaria en roca se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$q_p = q_u(N_\Phi + 1)$$

En donde:

$N_\phi = \tan^2(45 + \phi'/2)$
q_u = resistencia a la compresión simple de la roca
ϕ' = ángulo de fricción drenado

10.2 CIMENTACIONES DE PILONAS

De acuerdo con los criterios técnicos del contrato, en específico el capítulo 8 de geotecnia, los diseños y análisis de las cimentaciones de las pilonas se regirán por las metodologías dispuestas en el Código Colombiano de Puentes del 2014.

10.2.1 Espectro de aceleraciones

De acuerdo con la metodología descrita en el capítulo 3 del CCP-14, el espectro de aceleraciones se define como sigue:

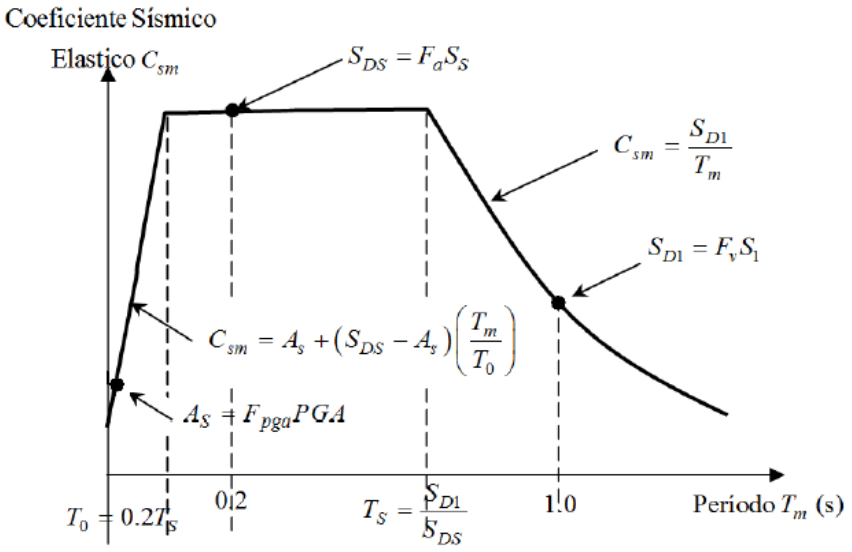
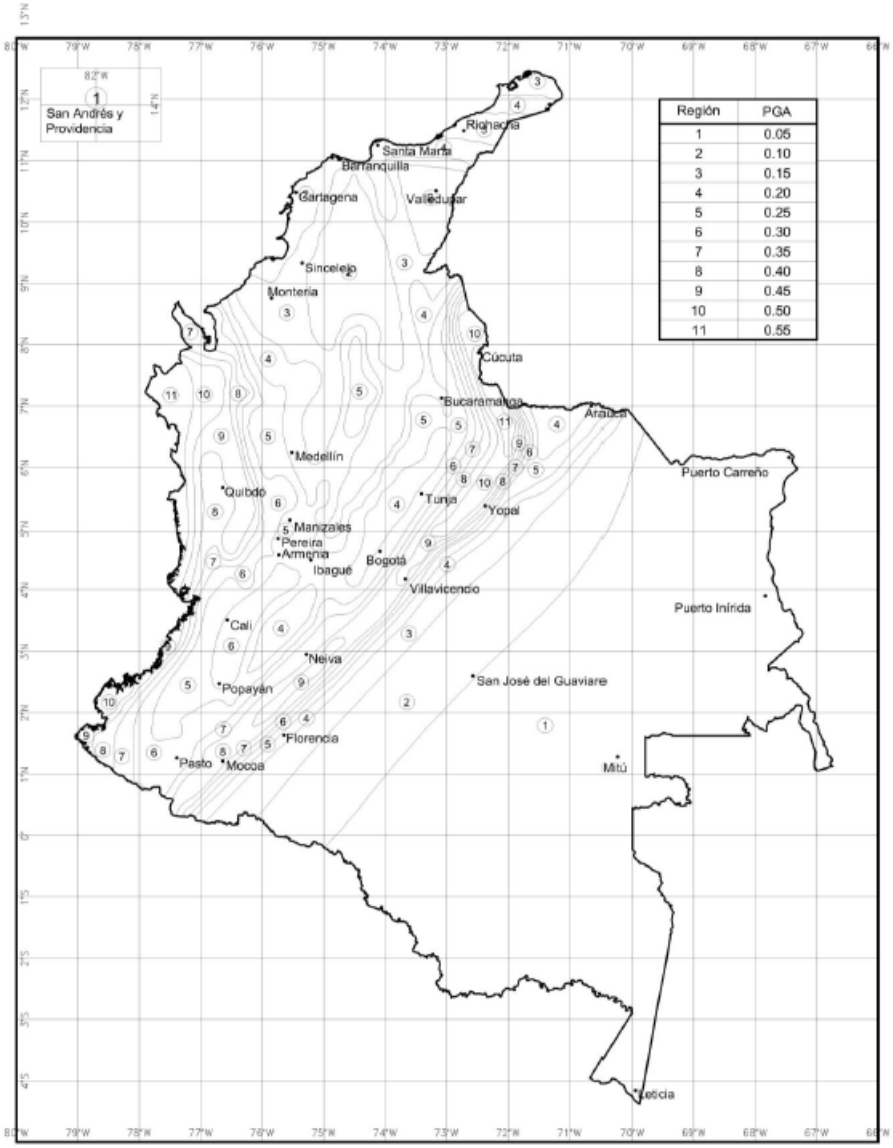


Figura 10-5. Espectro de aceleración CCP-14
Fuente: CCP-14

Para definir cada uno de los parámetros de la figura anterior, se hace uso de las siguientes figuras:



MAPA DE VALORES PGA

Figura 10-6. Valores de Aceleración Pico Horizontal del Terreno (PGA)
Fuente: CCP-14

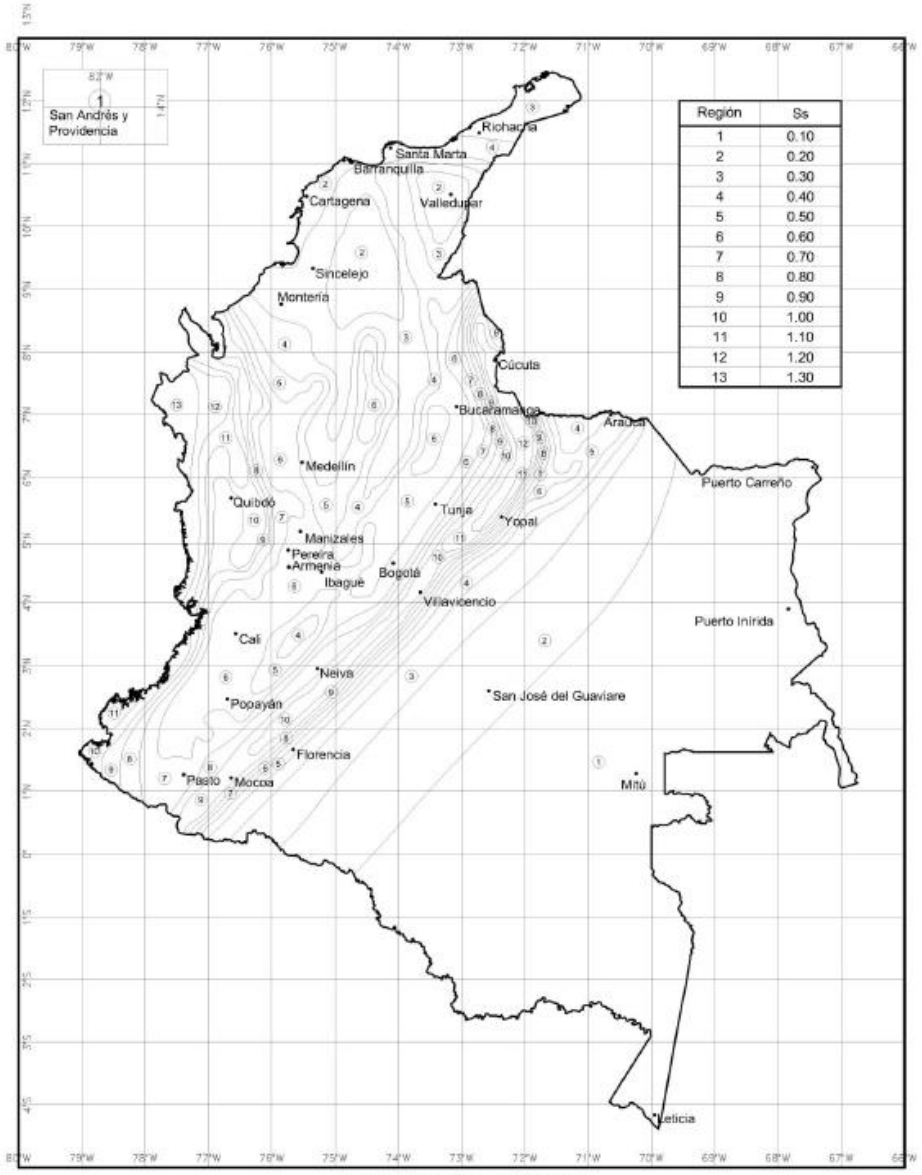


Figura 10-7. Coeficiente de Aceleración Espectral Horizontal para un Periodo de Vibración de 0.2 Segundos (Ss)

Fuente: CCP-14

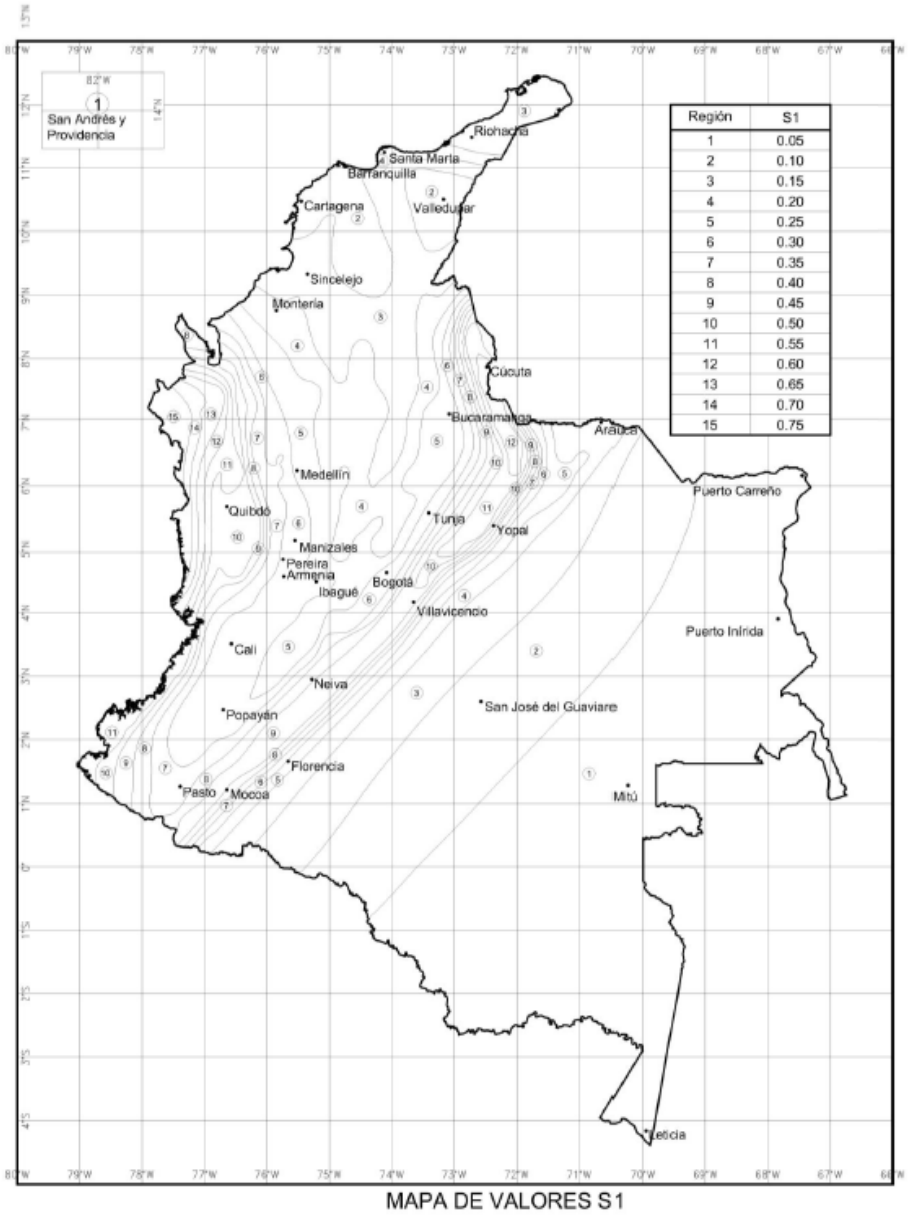


Figura 10-8. Coeficiente de Aceleración Espectral Horizontal para un Periodo de Vibración de 1.0 Segundos (S1)
Fuente: CCP-14

Los factores de sitio F_{PGA}, F_A y F_V se determinan a partir del tipo de perfil de suelo el cual se define mediante la siguiente tabla:

Tipo de Perfil de Suelo	Características del perfil
A	Roca competente con velocidad medida de onda de cortante, $\overline{v}_s \geq 1500$ m/s.
B	Perfil de roca de rigidez media con $\overline{v}_s$ en el intervalo 1500 m/s $> \overline{v}_s \geq 760$ m/s.
C	Perfiles de suelo muy densos o roca blanda con velocidad medida de onda de cortante, $\overline{v}_s$ en el intervalo 760 m/s $> \overline{v}_s \geq 360$ m/s, o
	perfiles que cumplan con cualquiera de los dos criterios siguientes: $\overline{N} > 50$ golpes/pie, o $\overline{s}_u > 100$ kPa ($\approx$ 1 kgf/cm^2).
D	Perfiles de suelos rígidos con velocidad medida de onda de cortante $\overline{v}_s$ en el intervalo 360 m/s $> \overline{v}_s \geq 180$ m/s, o
	perfiles que cumplan con cualquiera de los dos criterios siguientes: $\overline{N}$ en el intervalo 50 golpes/pie $> \overline{N} \geq 15$ golpes/pie, o $\overline{s}_u$ en el intervalo 100 kPa ($\approx$ 1 kgf/cm^2) $> \overline{s}_u \geq 50$ kPa (≈ 0.5 kgf/cm^2).
E	Perfil de suelo con velocidad medida de onda de cortante, $\overline{v}_s < 180$ m/s, o perfiles que cumplan con cualquiera de los dos criterios siguientes: $\overline{N} < 15$ golpes/pie, o $\overline{s}_u < 50$ kPa (≈ 0.5 kgf/cm^2), o
	cualquier perfil con $H > 3$ m de arcilla blanda, definida como un suelo con $IP > 20$, $w > 40\%$ y $\overline{s}_u < 25$ kPa (≈ 0.25 kgf/cm^2) (véase la Nota al final de la Tabla).
F	Suelos que requieren evaluación particular de sitio, tales como: • Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc. • Turbas o arcillas altamente orgánicas ($H > 3$ m de turba o arcillas altamente orgánicas donde H = espesor del suelo) • Arcillas de alta plasticidad ($H > 7.5$ m con $IP > 75$) • Estratos de arcillas con rigidez de media a blanda de gran espesor ($H > 36$ m)

Figura 10-9. Perfiles de suelo
Fuente: CCP-14

Así, los factores de sitio serían:

Tabla 10-3. Valores del Factor de Sitio F_{PGA}

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos (Véase la Nota 1)				
	$PGA \leq 0.1$	$PGA = 0.2$	$PGA = 0.3$	$PGA = 0.4$	$PGA \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	véase nota 2	véase nota 2	véase nota 2	véase nota 2	véase nota 2

Notas:
1. Se debe usar una interpolación lineal para valores intermedios de PGA
2. Para el perfil tipo F debe realizarse un estudio de sitio particular para el lugar específico y debe llevarse a cabo un análisis de amplificación de onda.

Fuente: CCP-14

Tabla 10-4. Valores del Factor de Sitio F_A

Tipo de Perfil	Coeficiente de aceleración espectral para período de vibración de $0.2s$ (Véase la Nota 1)				
	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.50$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.00$	$S_S \geq 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	véase nota 2	véase nota 2	véase nota 2	véase nota 2	véase nota 2

Notas:

1. Se debe usar una interpolación lineal para valores intermedios de S_S
2. Para el perfil tipo F debe realizarse un estudio de sitio particular para el lugar específico y debe llevarse a cabo un análisis de amplificación de onda.

Fuente: CCP-14

Tabla 10-5. Valores del Factor de Sitio F_V

Tipo de Perfil	Coeficiente de aceleración espectral para período de vibración de $1.0s$ (Véase la Nota 1)				
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 \geq 0.50$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	véase nota 2	véase nota 2	véase nota 2	véase nota 2	véase nota 2

Notas:

1. Se debe usar una interpolación lineal para valores intermedios de S_1
2. Para el perfil tipo F debe realizarse un estudio de sitio particular para el lugar específico y debe llevarse a cabo un análisis de amplificación de onda.

Fuente: CCP-14

10.2.2 Correlaciones parámetros de resistencia del suelo

- Parámetros de resistencia de cohesión (c) y ángulo de fricción (ϕ): A partir de la metodología de Gonzales, 1999, se calcularán mediante correlaciones con el valor de N corregido por energía y confinamiento, los valores de c' y ϕ en donde no se tengan ensayos de laboratorio de corte.

- Resistencia a la compresión inconfinada de suelos y rocas q_u: Se obtienen a partir de los ensayos de laboratorio realizados a las muestras extraídas de la campaña de exploración.

- Resistencia al corte no drenado (S_u): A partir de ensayos de corte no drenado o a partir de la siguiente formulación:

$$S_u = \frac{q_u}{2}$$ (Braja M. Das, 4ta edición)

S_u(ton/m^2) =0.44*Ncampo (Braja M. Das, 4ta edición)

- Módulo de elasticidad (E): A partir de la siguiente formulación

E (kPa) = 766*N_{60} Para arenas (Braja M. Das, 4ta edición)

E (kPa) = 500*Su Para arcillas (Braja M. Das, 4ta edición)

E (kPa) = 250*Su Para arcillas normalmente consolidadas (Braja M. Das, 4ta edición)

- En las zonas que no se contó con ensayos de corte directo para la estimación del ángulo de fricción, se utilizó la siguiente correlación:

$$\Phi = 15 + \sqrt{12.5 + N_{corr}}$$

- N de campo y Vs: Cuando se tenga la velocidad de onda cortante obtenida a partir de los ensayos de refracción sísmica, se usará la formulación de Seed & Idriss la cual indica lo siguiente:

Vs=61.4x$N^{0.5}$ (Seed & Idriss)

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

10.2.3 Cimentaciones mediante pilotes perforados

10.2.3.1 Cálculo de la capacidad de los pilotes

La metodología para el cálculo de la capacidad por fricción y por punta de los pilotes depende del tipo de material.

- **Suelos cohesivos:**

Resistencia por Fuste

Para suelos cohesivos se utiliza el Método α el cual expresa lo siguiente:

$$f_{SN} = \alpha S_u$$

En donde f_{SN} es la resistencia unitaria por fuste del pilote y el parámetro α depende de la resistencia al corte no drenado Su, el cual, de acuerdo con el Código Colombiano de Puentes, se determina mediante la siguiente expresión:

$$\alpha = 0.55 \text{ para } \frac{S_u}{P_a} \leq 1.5$$

$$\alpha = 0.55 - 0.1\left(S_u / p_a - 1.5\right)$$
$$\text{para } 1.5 \leq S_u / p_a \leq 2.5$$

En la cual *Pa* es la presión atmosférica.

Sin embargo, según el documento titulado “Concepto Geotécnico para el Puente Av. Ciudad de Cali con Av. Ferrocarril en Bogotá” desarrollado por la Sociedad Colombiana de Ingenieros para el Instituto de Desarrollo Urbano en el 2020, se realizó un completo análisis del valor del factor de adherencia según diversos autores comparado con aquel presentado en el CCP-14.

En este estudio se analizó la propuesta de 11 autores cuyos resultados se observan en la siguiente figura:

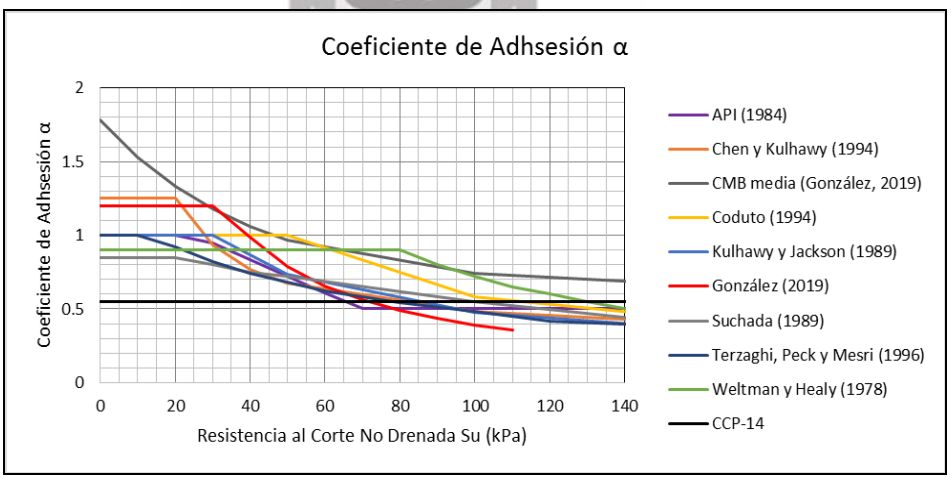


Figura 10-10. Resumen de envolventes de α que únicamente dependen de Su (Fuente SCI)

De la comparación realizada, se observa que, para arcillas con Cu<70 kPa, el valor de α de 0.55 propuesto por el CCP-14 resulta bastante conservador. Por otro lado, para arcillas con Cu>70kPa, como es el caso de la mayoría de materiales arcillosos identificados en el proyecto del Cable de San Cristóbal, el valor de α de 0.55 es mayor, lo que resulta en una sobreestimación de la resistencia por fuste de las cimentaciones profundas.

De acuerdo con lo anterior, se utilizará los valores de α de la metodología de Terzagui, Peck y Mesri (1996), cuyos valores interpolados arrojan lo siguiente:

Variación del factor de adhesión α (valores interpolados basados en la Terzaghi, Peck y Mesri -1996)	
Cu/Pa	**α**
≤ 0.1	1
0.1	1
0.2	0.92
0.3	0.82
0.4	0.74
0.6	0.62
0.8	0.54
1	0.48
1.2	0.42
1.4	0.4
1.6	0.38
1.8	0.36
2	0.35
2.4	0.34
2.8	0.34
2.8 ≤	0.34

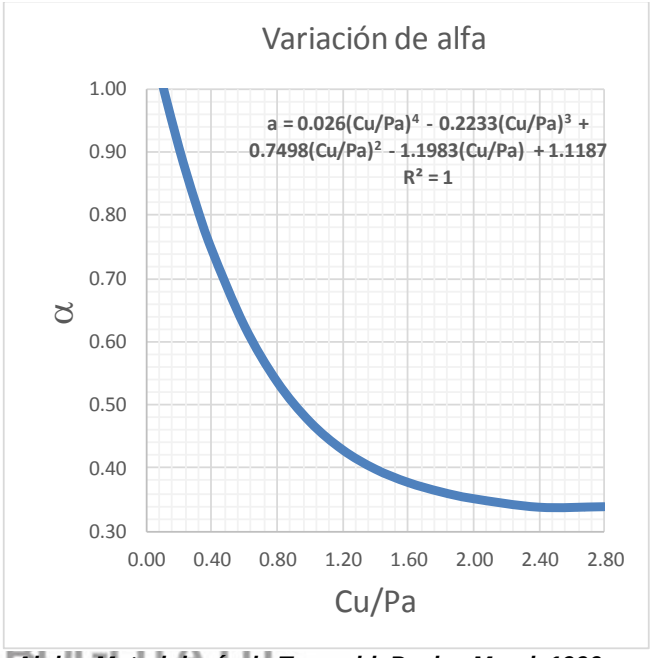


Figura 10-11. Variación de Alpha. Metodología de Terzaghi, Peck y Mesri, 1996

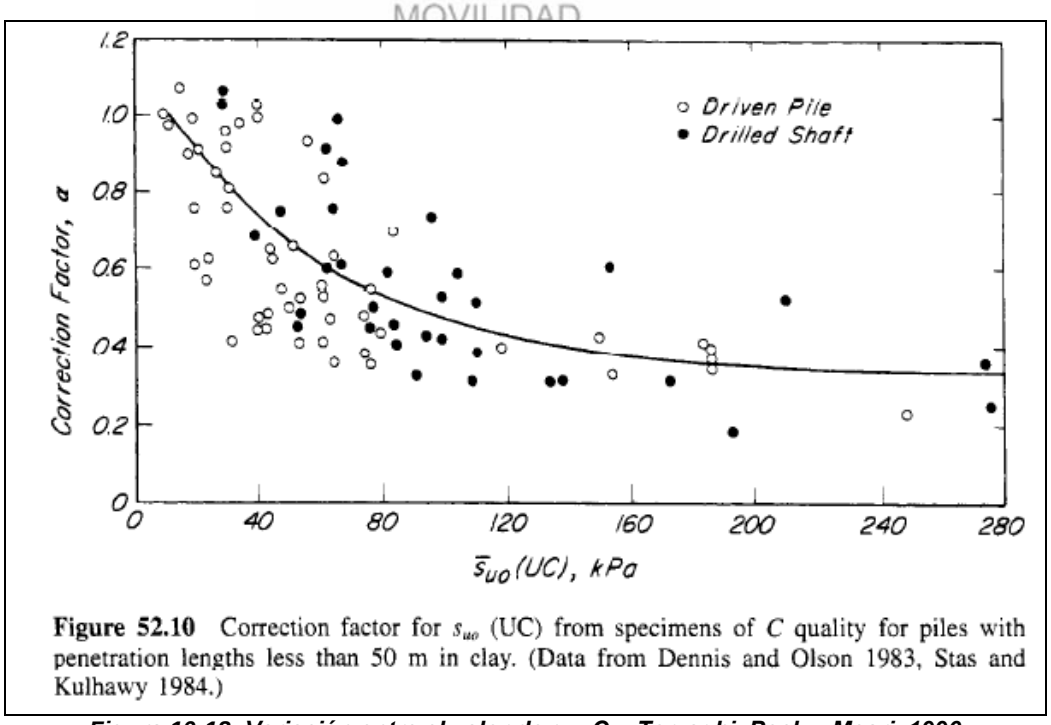


Figure 52.10 Correction factor for s_{uo} (UC) from specimens of *C* quality for piles with penetration lengths less than 50 m in clay. (Data from Dennis and Olson 1983, Stas and Kulhawy 1984.)

Figura 10-12. Variación entre el valor de α y Cu. Terzaghi, Peck y Mesri, 1996

Para el efecto de grupo, según el CCP-14, en suelos cohesivos si la tapa está en contacto firme con el suelo, no se requiere reducción de la eficiencia.

Resistencia por Punta

De acuerdo con O'Neill y Reese, la resistencia por punta se toma como:

$$q_p = N_c S_u \leq 4.0$$

En la cual

$$N_c = 6\left[1+0.2\left(\frac{Z}{D}\right)\right] \leq 9$$

D corresponde al diámetro del pilote, Z es la penetración del pilote y Su es la resistencia al corte no drenado.

- **Suelos no cohesivos:**

Resistencia por Fuste

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

Para suelos granulares se utiliza el método β de acuerdo con lo descrito por la FHWA (2010)

$$f_{SN} = \sigma'_v \beta$$

En donde f_{SN} es la resistencia nominal unitaria por fricción para arenas y β es un coeficiente de resistencia por fuste que se calcula como sigue:

$$\beta \approx (1-\sin\phi') \left(\frac{\sigma'_p}{\sigma'_v}\right)^{\sin\phi'} \tan\phi' \qquad \leq K_p \tan\phi'$$

En donde ϕ es el ángulo de fricción interna del suelo que se obtiene por correlaciones mediante el ensayo SPT como se describió anteriormente. σ'_p es el esfuerzo efectivo de preconsolidación, σ'_v es el esfuerzo vertical efectivo promedio en la capa donde se está calculando la resistencia y K_p, para suelo no cohesivo, es:

$$K_p = \tan^2\left(45^\circ + \frac{\phi'}{2}\right)$$

Chen y Kulhawy (2002) presentan este enfoque para determinar el parámetro β y es recomendado por la FHWA (2010) en su manual "Drilled Shafts: Construction Procedures and LRFD Design Methods".

La afectación por grupo depende del espaciamiento del eje centro a centro, así como de la configuración del grupo de pilotes. El CCP-14 propone lo siguiente:

Tabla 10-6. Factores de Reducción para Resistencia al Aplastamiento del Grupo de Pilotes en Arena

Configuración del grupo de ejes	Espaciamiento del eje de centro a centro	Condiciones especiales	Factor de reducción para efectos de grupo, η
Fila Única	*2D*		0.90
	3D o más		1.0
Fila múltiple	*2.5D*		0.67
	3D		0.80
	4D o más		1.0
Filas múltiples y únicas	*2D* o más	Tapa de grupo de ejes en íntimo contacto con el suelo que consiste en suelo medio denso o denso, y no se prevé socavación por debajo de la tapa del eje	1.0
Filas múltiples y únicas	*2D* o más	La lechada de presión se utiliza a lo largo de los lados del eje para restaurar pérdidas laterales de tensión causadas por la instalación del eje, y la punta del eje es presionada con lechada	1.0

Fuente: CCP-14

DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

Resistencia por Punta

De acuerdo con O'Neill y Reese, la resistencia por punta se toma como:

$$\text{Para } 0.057N_{60} \le 50,\ q_p = 1.2N_{60}$$

En donde N_{60} es el conteo promedio de golpes SPT (corregido solo por eficiencia del martillo) en la zona de diseño bajo consideración.

- **Geo material intermedio (Suelos no cohesivos con N_{60}>50)**

Resistencia por Punta:

De acuerdo con el CCP-14 para materiales no cohesivos con N_{60} >50 golpes por pie, la resistencia por punta debe calcularse mediante la siguiente expresión:

$$q_p = 0.59\left[N_{60}\left(\frac{p_a}{\sigma'_v}\right)\right]^{0.8}\sigma'_v$$

p_a = presión atmosférica (= 0.101 MPa)

σ'_v = tensión vertical efectiva en la elevación de la punta del eje (MPa)

- **Roca**

Resistencia por Fricción

Según O'Neill y Reese (1999) la resistencia nominal unitaria por fricción en roca se puede estimar como sigue:

$$\frac{f_{SN}}{p_a} = 0.65\alpha_E * \sqrt{\frac{q_u}{p_a}}$$

En donde f_{SN} es la resistencia nominal por fricción en roca, p_a es la presión atmosférica, q_u es la resistencia a la compresión inconfinada de la roca obtenida de ensayos de laboratorio y α_E es un parámetro que depende del RQD de la roca y se obtiene de la siguiente tabla:

Tabla 10-7. Factor de modificación de juntas

RQD (%)	Joint Modification Factor, φ	
	Closed joints	Open or gouge-filled joints
100	1.00	0.85
70	0.85	0.55
50	0.60	0.55
30	0.50	0.50
20	0.45	0.45

Fuente: FHWA, 2010

Resistencia por Punta

La resistencia por punta en roca, según el CCP-14, se calcula a partir de la siguiente expresión:

Para roca intacta:

$$q_p = 2.5q_u$$

Para roca fracturada:

$$q_p = \left[\sqrt{s} + \sqrt{(m\sqrt{s} + s)}\right] q_u$$

En donde q_u es la resistencia a la compresión simple de la roca y s y m son parámetros de masa de roca fracturada que se obtienen de la siguiente tabla:

Tabla 10-8. Parámetros m y s para roca

Calidad de la roca	Constantes	Tipo de roca A = Las rocas carbonatadas con divisiones de cristal bien desarrolladas — dolomita, piedra caliza y mármol B = Rocas litificadas arcillosas — lodolita, limolita, lutita y pizarra (normal a dividida) C = Rocas arenosas con cristales fuertes y poco desarrollados cristal arenisca y cuarcita D = Rocas ígneas cristalinas de grano fino polimineral — andesita, dolerita, diabasa y riolita E = Rocas cristalinas ígneas y metamórficas de grano grueso polimineral - anfibolita, gabro gneis, granito, norita, cuarzo-diorita				
		A	B	C	D	E
MUESTRAS DE ROCA INTACTA Tamaño de especímenes de laboratorio libres de discontinuidades. Valoración CSIR: *RMR* = 100	m	7.00	10.00	15.00	17.00	25.00
	s	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
MACIZOS ROCOSOS DE MUY BUENA CALIDAD Roca inalterada firmemente encajada con juntas en 900 a 3000 mm sin erosión Valoración CSIR: *RMR* = 85	*m*	2.40	3A3	5.I4	5.82	8.567
	s	0.082	0.082	0.082	0.082	0.082
MACIZOS ROCOSOS DE BUENA CALIDAD Roca fresca a ligeramente erosionada ambientalmente, ligeramente alterada con juntas en 900 a 3000 mm Valoración CSIR: *RMR* = 65	m	0.575	0.821	1.231	1.395	2.052
	s	0.00293	0.00293	0.00293	0.00293	0.00293
MACIZOS ROCOSOS DE CALIDAD ACEPTABLE Varios conjuntos de junta con erosión ambiental moderada espaciadas en 300 a 900 mm Valoración CSIR: *RMR* = 44	m	0.128	0.183	0.275	0.311	0.458
	s	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009
MACIZO ROCOSO DE CALIDAD POBRE Numerosas juntas con erosión ambiental en 50 a 300 mm; alguna gubia. Desperdicio de roca limpia Compactada. Valoración CSIR: *RMR* = 23	m	0.029	0.041	0.061	0.069	0.102
	s	$3x10^{-6}$	$3x10^{-6}$	$3x10^{-6}$	$3x10^{-6}$	$3x10^{-6}$
MACIZOS ROCOSOS DE CALIDAD MUY POBRE Numerosas juntas con fuerte erosión ambiental, con espaciamientos < 50 mm con gubia. Desecho de roca con finos. Valoración CSIR: *RMR* = 3	m	0.007	0.010	0.015	0.017	0.025
	s	$1x10^{-7}$	$1x10^{-7}$	$1x10^{-7}$	$1x10^{-7}$	$1x10^{-7}$

Fuente: Codigo Colombiano de Puentes CCP-14

10.2.3.2 Factores de resistencia

De acuerdo con la metodología LRFD empleada por el CCP-14, a las resistencias por punta y por fuste del pilote se deberán aplicar unos factores de reducción de resistencia según como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 10-9. Factores de resistencia

Método/Suelo/Condición	Factor de Resistencia
Resistencia por fuste en arcilla. Método α	0.45
Resistencia por punta en arcilla	0.40
Resistencia por fuste en arena. Método β	0.55
Resistencia por punta en arena	0.50
Resistencia por fuste en IGMs	0.60
Resistencia por punta en IGMs	0.55
Resistencia por punta en roca.	0.50
Resistencia por fuste en roca	0.55

Fuente: CCP-14

Para los estados límite de servicio y de evento extremo, según lo dispuesto en el numeral 10.5.5.1 y 10.5.5.3.3 del CCP-14, los factores de resistencia serán 1.0.

10.2.4 Resistencia lateral pilotes.

Para el calculo de la resistencia lateral de pilotes se empleo la metodología de Broms, la cual es representación simplificada del comportamiento de un pilote, la cual permite obtener la resistencia última lateral en forma aproximada, lo que en general es adecuado para estimar un valor inicial, aunque, si el diseño se rige por el comportamiento de la carga lateral, se deben efectuar pruebas de carga para verificar los parámetros de diseño.

Este método puede utilizarse para estimar inicialmente la carga última lateral Hu; para pilotes restringidos o de cabeza fija y no restringidos o de cabeza libre, en suelos cohesivosy granulares. La teoría es similar a la de Brinch Hansen excepto por algunas simplificaciones relativas a la distribución de la resistencia última del suelo con la profundidad.

El método utiliza un módulo de reacción horizontal del suelo y considera que, la falla en los pilotes cortos se debe al flujo del suelo alrededor del pilote y que la falla en pilotes largos se debe a la formación de una articulación plástica en el pilote. (Broms, 1964, 1965), y (Reese, 1986).

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

El criterio para definir si un pilote tiene un comportamiento como pilote corto o rígido o como pilote largo o flexible, es el que se presenta en la Tabla 10-10.

Tabla 10-10. Criterio para el comportamiento como pilote corte y pilote largo

CABEZA LIBRE		CABEZA FIJA	
PILOTE CORTO	PILOTE LARGO	PILOTE CORTO	PILOTE LARGO
SUELOS GRANULARES			
$L \leq L_C$	$L \geq L_C$	$L \leq L_{CS}$	$L \geq L_{CL}$
SUELOS COHESIVOS			
$L \leq L_C$	$L \geq L_C$	$L \leq L_{CS}$	$L \geq L_{CL}$

Fuente: Manual de diseño de cimentaciones superficiales y profundas para carreteras INVIAS 2012.

Para determinar la longitud crítica L_C se presentan las siguientes ecuaciones:

SUELOS GRANULARES		
CABEZA LIBRE	CABEZA FIJA	
	PILOTE CORTO	PILOTE LARGO
$L_C^3-\frac{2H_u}{\gamma K_p D}L_C-\frac{2M_u+eH_u}{\gamma K_p D}=0$ [7.53]	$L_{CS}=\left[\frac{M_u}{\gamma D K_p}\right]^{1/3}$ [7.54]	$L_{CL}^3-\frac{H_u}{0,5\gamma K_p D}L_{CL}+\frac{M_u}{0,5\gamma K_p D}$ [7.55]
SUELOS COHESIVOS		
CABEZA LIBRE	**CABEZA FIJA**	
$L_C=1,5D+\frac{9}{c_u D}+\left[\frac{M_u}{2,25c_u D}\right]^{1/2}$ [7.56]	$L_{CS}=2\left[\frac{M_u}{18c_u D}+\frac{9}{16}D^2\right]$ [7.57]	$L_{CL}=\left[2,25D^2+\frac{4}{9}\frac{M_u}{9c_u D}\right]^{1/2}+\left[\frac{M_u}{2,25c_u D}\right]^{1/2}$ [7.58]

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

Donde:

D: Diametro del pilote

Cu: Resistencia al corte no drenada

e: Longitud del pilote

Kp: Coeficiente de presión pasiva de Rankine

En la siguiente tabla se relacionan las ecuaciones que permiten estimar el valor de Hu, para diferentes escenarios.

SUELOS GRANULARES		
PILOTES CORTOS		FIG
CABEZA LIBRE	CABEZA FIJA	
$H_u=\frac{0,5DL^3K_p\gamma_s}{e_1+L}$ [7.59]	$H_u=1,5DL^2\gamma_s K_p$ [7.60]	7.17
PILOTES LARGOS		
$H_u=\frac{M_u}{e+0,54\sqrt{\frac{H_u}{\gamma D K_p}}}$ [7.61]	$H_u=\frac{2M_u}{e+0,54\sqrt{\frac{H_u}{\gamma D K_p}}}$ [7.62]	7.19
SUELOS COHESIVOS		
PILOTES CORTOS		FIG
CABEZA LIBRE	CABEZA FIJA	
$H_u=18c_u D\left[\sqrt{e^2+1,5De+eL+0,5L^2+1,125D^2}\right]$ [7.63]	$H_u=9c_u D(L-1,5D)$ [7.64]	7.21
PILOTES LARGOS		
$H_u=9c_u D\left[\sqrt{(e+1,5D)^2+\frac{2M_u}{9c_u D}}-e-1,5D\right]$ [7.65]	$H_u=9c_u D\left[\sqrt{2,25D^2+\frac{4}{9}M_u}-1,5D\right]$ [7.66]	7.23

11 MODELO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO

11.1 ESTACIÓN PORTAL 20 DE JULIO

A partir de la información primaria recolectada por medio de ensayos in situ y de laboratorio, se determinó el modelo geotécnico más representativo a las condiciones encontradas del lugar donde se ubicará la estación del portal 20 de Julio.

Para la determinación de este modelo se usaron las perforaciones mostradas en la Tabla 11-1.

Tabla 11-1. Perforaciones estación Portal 20 de Julio.

Perforación	Coordenada		Profundidad (m)	Año
	N	E		
P2E20J	4°33'58.10"	74°5'43.40"	20	2021
P3E20J	4°33'58.00"	74°5'43.90"	20	2021
P4E20J	4°33'57.90"	74°5'42.80"	20	2021
P5E20J	4°33'57.40"	74°5'43.50"	18	2021
P6E20J	4°33'58.50"	74°5'43.00"	20	2021

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD

A continuación se presenta una descripción de los materiales de acuerdo a la profundidad encontrada y más adelante las propiedades y parámetros promedio que representan el modelo geotécnico estudiado.

Desde los 0.3 m aproximadamente a los 2 m se encuentra un relleno antrópico producto del mejoramiento de los suelos durante la construcción del Portal 20 de Julio, consiste de una subase granular con gravas muy bien seleccionadas, con contenido de arena y pocos finos, se encuentra también un relleno a base de arena de grano medio amarilla, con gravas y algunos finos.

A partir de los 2 m aproximadamente hasta los 5 m, se encuentra en general una capa de arena limosa de grano medio a fino, de compacidad media a compacta con presencia de algunas gravas de tamaño medio.

De 5 m a 14 m se encuentra una capa arcillosa muy bien definida de color grisaceo, presenta tramos de consistencia blanda y media, tiene una plasticidad relativamente baja, tiene presencia de arenas de grano fino o limos, y algunas gravas dispersas en la matriz arcillosa.

A partir de los 14 m y aproximadamente hasta los 19 m, se encuentra una capa de roca arenisca muy meteorizada de matriz areno arcillosa, de consistencia media a dura, plasticidad media.

Desde el estrato anterior y hasta la profunidad maxima de exploración (20 m) se identificó una roca arcillolita altamente meteorizada.

En la Figura 11-1 se presenta el perfil geotécnico típico y en la Tabla 11-2 se presenta el resumen de propiedades promedio para cada material identificado.

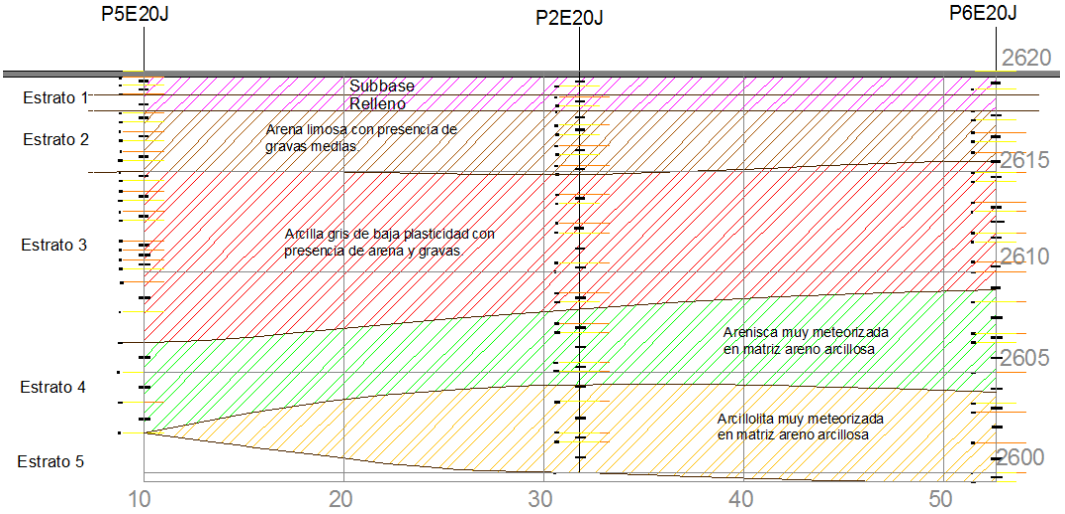


Figura 11-1. Perfil geotécnico estación de transferencia 20 de Julio

Tabla 11-2. Perfil Geotécnico Estación 20 de Julio

Prof. (m)		Descripción	SUCS	N campo	Ɣ (kN/m³)	Wn (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Grava (%)	Arena (%)	Fino (%)	Cu (kPa)	Es (KPa)	Φ' (°)
0	2	Relleno	GC	40		12	21.6	14.8	6.8	53.2	27.9	16.4			
2	5	Arena limosa	SC	28	20.6	15	43.6	15.2	28.4	29	36	34	-	14937	30.4
5	14	Arcilla gris de baja plasticidad	CL	30	20.5	18	30	14.4	17.6	11.6	34.9	53.7	81.6	61214	
14	19	Arenisca muy meteorizada	SC	53	21.9	14	32.5	10.1	31.3	13.8	29.5	56.5	-	32172	34.6
19	20	Arcillolita muy meteorizada	CH	-	20.8	18	83.02	23.5	59.5	0	9.14	90.86	209.6	104820	-

Nota: los parámetros se determinaron a partir de correlaciones de acuerdo con la metodología descrita anteriormente.

11.1.1 Puente peatonal

Para el puente peatonal, que conectará el portal con la estación del cable se tuvieron en cuenta las perfroaciones P1E20J (eje 3) y P6E20J (ejes 1 y 2), a continuacion, se presentan los perfiles geotecnicos para esta estructura.

Tabla 11-3. Perfil Geotécnico Puente peatonal eje 1 y 2

Prof. (m)		Descripción	SUCS	N campo	Ɣ (kN/m³)	Wn (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Grava (%)	Arena (%)	Fino (%)	Cu (kPa)	Es (KPa)
0	0.9	Relleno compuesto por asfalto triturado y material de subbase granular	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.9	8	Arcilla arenosa y arena limosa con presencia de fragmentos de roca arenisca	CL	18	19	18.5	32.5	15.13	17.4	8.8	23.8	67.2	79.2	39600
8	18.5	Fragmentos de roca arenisca en matriz arcillosa	CL,ML ,SC	51	19.5	15.7	44.4	12.35	32.1	19.1	39.7	41.1	224	112200
18.5	20.45	Arcillolita altamente meteorizada	CL	81	20	15.9	38.8	13.7	25.1	0.91	10.90	88.19	356	178200

Nota: los parámetros se determinaron a partir de correlaciones de acuerdo con la metodología descrita anteriormente.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Tabla 11-4. Perfil Geotécnico Puente peatonal eje 3

Prof. (m)		Descripción	SUCS	N campo	Ɣ (kN/m³)	Wn (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Grava (%)	Arena (%)	Fino (%)	Cu (kPa)	Es (KPa)	Φ' (°)
0	2.5	Relleno antrópico con presencia de material granular	SC	6	18	17.1				30.1	31.3	38.6	2.6	13200	-
2.5	9.0	Arena arcillosa de compacidad media	SC, GC	24	18.5	12.9				44.6	37.7	17.7	-	18380	28
9.0	13	Arcilla gris de consistencia media	CL	23	19	20.5	39.5	14.2	25.3	0	10.8	89.1	101	50600	-
13	18	Arcilla rojiza con fragmentos de arcillolita y arenisca	CH, ML	27	19.5	18.3	54.5	15.5	38.9	0	29.3	70.7	118	59400	-
18	20.45	Arcillolita rojiza altamente meteorizada	CH	52	20	26.6	83	23.5	59.5	0	9.14	90.8	228	144400	-

Nota: los parámetros se determinaron a partir de correlaciones de acuerdo con la metodología descrita anteriormente.

11.2 ESTACIÓN LA VICTORIA

A partir de la información primaria recolectada por medio de ensayos in situ y de laboratorio, se determinó el modelo geotécnico más representativo a las condiciones encontradas del lugar donde se ubicará la estación La Victoria.

Para la determinación de este modelo se usaron las perforaciones mostradas en la Tabla 11-5.

Tabla 11-5. Perforaciones estación La Victoria.

Perforación	Coordenadas geográficas		Profundidad proyectada (m)
	Latitud	Longitud	
P1 EV	4°33'4.01"	74°5'36.32"	20
P2 EV	4°33'2.17"	74°5'40.22"	20
P3 EV	4°33'1.35"	74°5'38.45"	20
P4 EV	4°33'3.51"	74°5'39.58"	20
P5 EV	4°33'2.93"	74°5'37.90"	20

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD

A continuación se presenta una descripción de los materiales de acuerdo a la profundidad encontrada y más adelante las propiedades y parámetros promedio que representan el modelo geotécnico estudiado.

A partir de la superficie actual del terreno y hasta una profundidad promedio de 2,0m, se evidencia un relleno antropico.

Seguido del estrato anterior y hasta una profundidad de 10m, se identifica una capa de arcilla de consistencia firme y plasticidad alta.

A partir de los 10 y hasta una profundidad de 17 m, se evidencia la presencia de una arcilla de consistencia dura y plasticidad media.

Desde el estrato anterior y hasta la profundidad maxima de exploración (25m) se identifico bloques de arenisca en matriz arcillosa.

En la Figura 11-2 se presenta el perfil geotécnico típico y en la Tabla 11-6 se presenta el resumen de propiedades promedio para cada material identificado.

Tabla 11-6 Perfil Geotécnico Estación La Victoria

Prof. (m)		Descripción	SUCS	N campo	Ɣ (kN/m³)	Wn (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Grava (%)	Arena (%)	Fino (%)	Cu (kPa)	Es (KPa)
0	2	Relleno												
2	10	Arcilla de consistencia firme	CL	18	19.4	25	42.8	16.6	26.2	4	18	77	61.7	30850

Prof. (m)		Descripción	SUCS	N campo	ϒ (kN/m³)	Wn (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Grava (%)	Arena (%)	Fino (%)	Cu (kPa)	Es (KPa)
10	17	Arcilla de consistencia dura	CL	22	21.6	22	41.9	17.7	24.2	5	30	64	107.8	53900
17	25	Bloques de arenisca en matriz arcillosa.	CL	38	24	16	25.7	12.5	13.2	18	39	41	235.2	117600

Nota: los parámetros se determinaron a partir de correlaciones de acuerdo con la metodología descrita anteriormente.

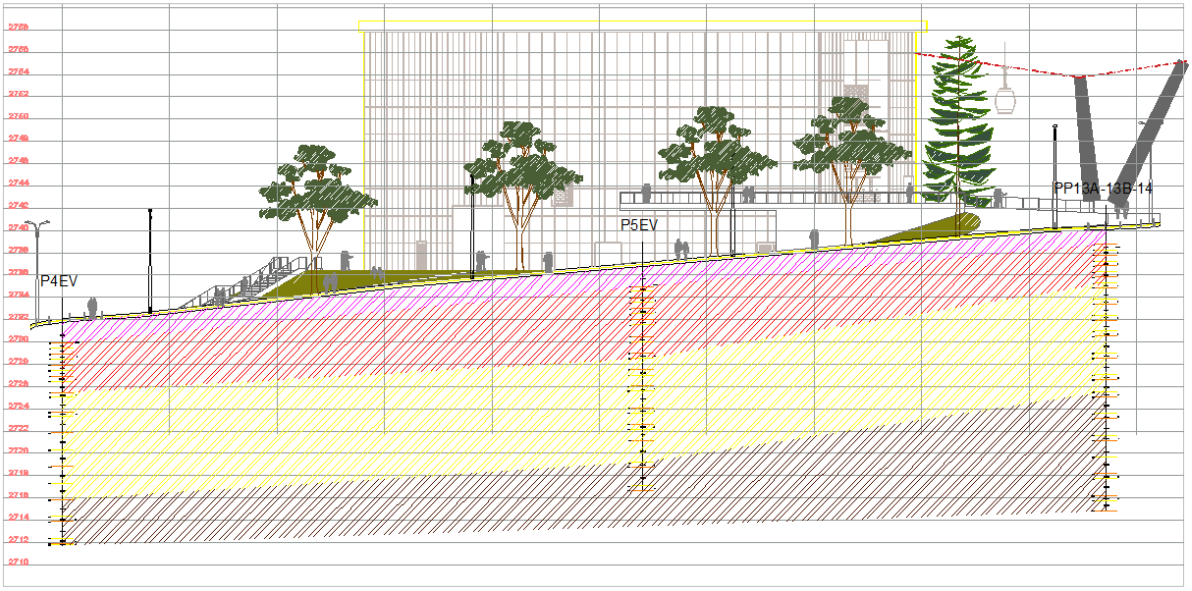


Figura 11-2 Perfil geotécnico estación La Victoria

11.3 ESTACIÓN ALTAMIRA

A partir de la información primaria recolectada por medio de ensayos in situ y de laboratorio, se determinó el modelo geotécnico más representativo a las condiciones encontradas del lugar donde se ubicará la Estación Altamira.

Para la determinación de este modelo se usaron las perforaciones mostradas en la Tabla 11-9.

Tabla 11-7. Perforaciones Estación Altamira

Perforación	Coordenada		Profundidad (m)	Año
	N	E		
P1AL	4°32'41.31"	74° 5'6.53"	25	2021
P2AL	4°32'38.66"	74° 5'6.55"	25	2021
P3AL	4°32'38.73"	74° 5'5.43"	25	2021

A continuación se presenta una descripción de los materiales de acuerdo a la profundidad encontrada y más adelante las propiedades y parámetros promedio que representan el modelo geotécnico estudiado.

Desde el nivel superficial y hasta una profundidad de 1.8 se detectó la presencia de un relleno antropico con gravas arcillosas de consistencia firme y humedad baja.
A partir del estrato anterior y hasta una profundidad de promedio de 5.0 m, se identificó una capa de arcilla de color gris de consistencia media y humedad baja.

Luego, hasta los 12.0 m se halló una capa de arcilla de color gris de consistencia firme y humedad baja.

Finalmente, desde el estrato anterior y hasta la profundidad final de exploración (25 m) se identifico una capa de arcilla de color gris de consistencia dura y humedad baja.

En la Figura 11-3 se presenta el perfil geotécnico típico y en la Tabla 11-8 se presenta el resumen de propiedades promedio para cada material identificado.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.

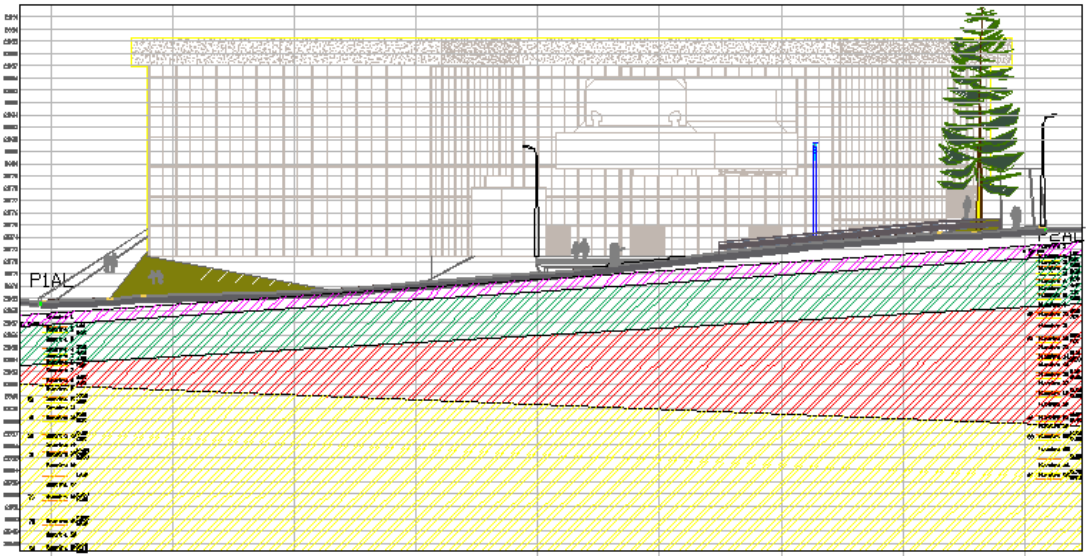


Figura 11-3 Perfil geotécnico Estación Altamira

Tabla 11-8. Perfil Geotécnico Estación Altamira.

Prof. (m)		Descripción	SUCS	N campo	Ɣ (kN/m³)	Wn (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Grava (%)	Arena (%)	Fino (%)	Cu (kPa)	Es (KPa)
0	1.8	Relleno antrópico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Prof. (m)		Descripción	SUCS	N campo	Ɣ (kN/m³)	Wn (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Grava (%)	Arena (%)	Fino (%)	Cu (kPa)	Es (KPa)
1.8	5.0	Arcilla de consistencia media	CL	9	19.5	26	47	22	25	5.3	11.1	83.6	39.0	19400
5.0	12	Arcilla de consistencia firme	CL	14	19.5	26	39	20	19	3.5	11.7	84.8	61.6	30800
12	25	Arcila de consistencia dura	CL	60	20	15.7	35	18.9	16.1	0.8	19.6	79.4	264.0	132000

Nota: los parámetros se determinaron a partir de correlaciones de acuerdo con la metodología descrita anteriormente.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

11.4 PILONA 1

A partir de la información primaria recolectada por medio de ensayos in situ y de laboratorio, se determinó el modelo geotécnico más representativo a las condiciones encontradas del lugar donde se ubicará la pilona 1.

Para la determinación de este modelo se usaron las perforaciones mostradas en la Tabla 11-9.

Tabla 11-9. Perforación pilona 1

Perforación	Coordenada		Profundidad (m)	Año
	N	E		
PP1	4°33'56.95"	74°5'43.52"	25	2021

A continuación se presenta una descripción de los materiales de acuerdo a la profundidad encontrada y más adelante las propiedades y parámetros promedio que representan el modelo geotécnico estudiado.

Desde los 0.3 m aproximadamente a los 2 m se encuentra un relleno antrópico producto del mejoramiento de los suelos durante la construcción del Portal 20 de Julio, consiste de una subase granular con gravas muy bien seleccionadas, con contenido de arena y pocos finos, se encuentra también un relleno a base de arena de grano medio amarilla, con gravas y algunos finos.

A partir de los 2 m aproximadamente hasta los 9 m, se encuentra en general una capa arcilla arenosa con presencia de gravas, de consistencia blanda a media, plasticidad media.

A partir de los 9 m y aproximadamente hasta los 18m,una capa de roca arenisca muy meteorizada de matriz arcillosa, de consistencia media a dura, plasticidad media.

Desde el estrato anterior y hasta la profunidad maxima de exploración (25 m) se identifico una roca arcillolita altamente meteorizada.

En la Figura 11-4 se presenta el perfil geotécnico típico y en la Tabla 11-10 se presenta el resumen de propiedades promedio para cada material identificado.

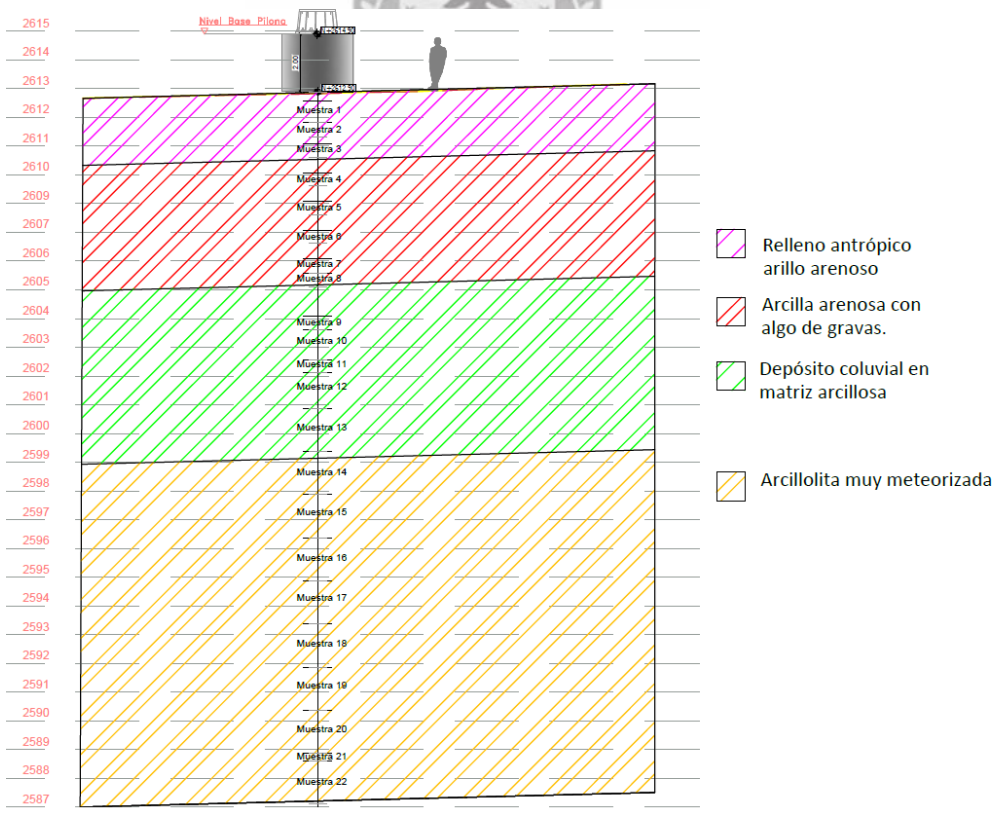


Figura 11-4. Perfil geotécnico pilona 1

Tabla 11-10. Perfil Geotécnico Pilona 1

Prof. (m)		Descripción	SUCS	N campo	Ɣ (kN/m³)	Wn (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Grava (%)	Arena (%)	Fino (%)	Cu (kPa)	Es (KPa)
0	2	Relleno con presencia de gravas arcilloarenosa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	9	Arcilla arenosa con algo de gravas	CL	16	19.5	19.3	31.9	15.8	16.1	13.6	22.7	43.9	60.2	30331

Prof. (m)		Descripción	SUCS	N campo	Ɣ (kN/m³)	Wn (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Grava (%)	Arena (%)	Fino (%)	Cu (kPa)	Es (KPa)
9	18	Roca arenisca altamente meteorizada en matriz arcillosa	CL	27	21.9	25.5	36.4	16	20.4	27.9	23.4	48.6	118.8	59400
18	25	Arcillolita altamente meteorizada	-	-	20.8	15.3	-	-	-	-	-	-	93.1	46942

Nota: los parámetros se determinaron a partir de correlaciones de acuerdo con la metodología descrita anteriormente.

11.5 PILONA 2

A partir de la información primaria recolectada por medio de ensayos in situ y de laboratorio, se determinó el modelo geotécnico más representativo a las condiciones encontradas del lugar donde se ubicará la pilona 2.

Para la determinación de este modelo se usaron las perforaciones mostradas en la Tabla 11-11.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Tabla 11-11. Perforación pilona 2

Perforación	Coordenada		Profundidad (m)	Año
	N	E		
PP2	4°33'52.76"	74°5'42.78"	25	2021

A continuación se presenta una descripción de los materiales de acuerdo a la profundidad encontrada y más adelante las propiedades y parámetros promedio que representan el modelo geotécnico estudiado.

Desde los 0 m aproximadamente a los 2.5 m se encuentra un relleno compuesto por arcilla arenosa amarillo claro con gravas angulares de consistencia muy blanda.

A partir de los 2.5 m aproximadamente hasta los 5.0 m, se encuentra en general una capa de arcilla arenosa gris claro con gravas, de consistencia blanda.

A partir de los 5.0 m y aproximadamente hasta los 13.0 m, se evidencia una capa de arcilla limosa marrón grisáceo con oxidaciones cafés, consistencia dura.

Desde el estrato anterior y hasta la profunidad maxima de exploración (25 m) se identificó una arcilla altamente meteorizada.

En la Figura 11-5 se presenta el perfil geotécnico típico y en la Tabla 11-12 se presenta el resumen de propiedades promedio para cada material identificado.

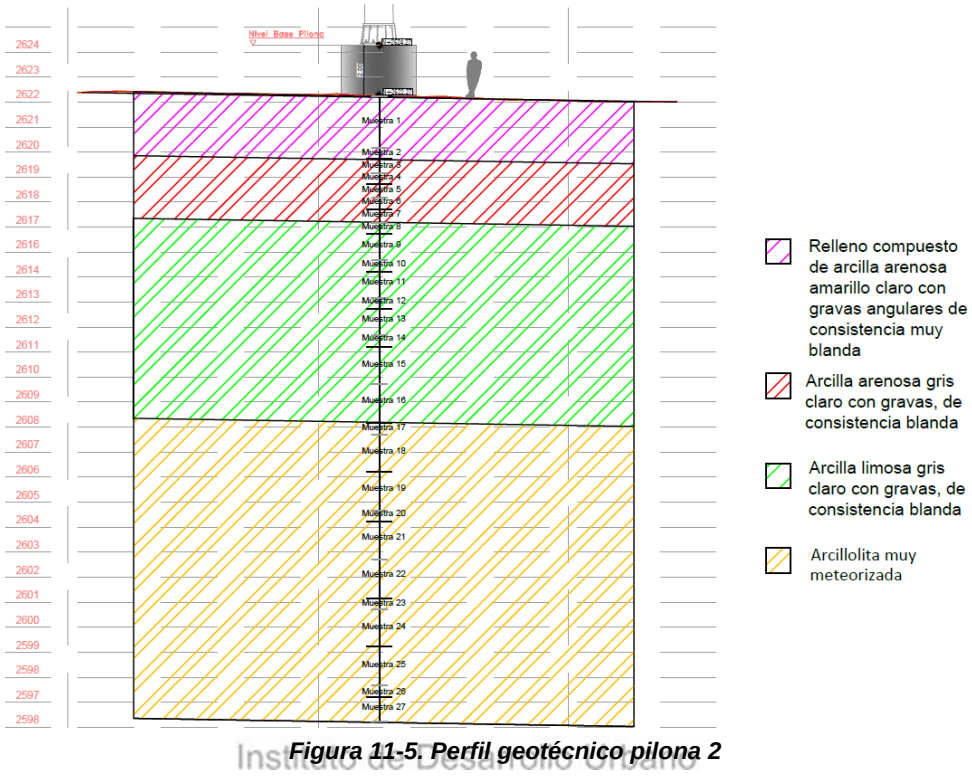


Figura 11-5. Perfil geotécnico pilona 2

Tabla 11-12. Perfil Geotécnico Pilona 2

Prof. (m)		Descripción	SUCS	N campo	Ɣ (kN/m³)	Wn (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Grava (%)	Arena (%)	Fino (%)	Cu (kPa)	Es (KPa)
0.0	2.5	Relleno compuesto por arcilla arenosa amarillo claro con gravas angulares de consistencia muy blanda	-	2	19.0	14.9	-	-	-	25.0	40.5	34.5	8.8	2200
2.5	5.0	Arcilla arenosa gris claro con gravas, de consistencia blanda	CL	4	19.0	14.3	26.1	13.5	12.6	29.5	33.6	36.9	17.6	4400
5.0	13	Arcilla limosa marrón grisáceo con oxidaciones cafés, consistencia dura.	CH CL	28	19.5	27.8	58.8	23.4	35.4	10.4	22.6	67.0	124.0	62150
13	25	Arcillolita muy meteorizada	CL	84	20.5	16.4	36.0	17.0	19.0	0.0	9.2	90.8	371.0	185000

Nota: los parámetros se determinaron a partir de correlaciones de acuerdo con la metodología descrita anteriormente.

11.6 PILONA 3

A partir de la información primaria recolectada por medio de ensayos in situ y de laboratorio, se determinó el modelo geotécnico más representativo a las condiciones encontradas del lugar donde se ubicará la pilona 3.

Para la determinación de este modelo se usaron las perforaciones mostradas en la Tabla 11-13.

Tabla 11-13. Perforación pilona 3

Perforación	Coordenada		Profundidad (m)	Año
	N	E		
PP3	4°33'48.87"	74°5'42.69"	25	2021

A continuación se presenta una descripción de los materiales de acuerdo a la profundidad encontrada y más adelante las propiedades y parámetros promedio que representan el modelo geotécnico estudiado.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD

Desde los 0 m aproximadamente a los 1.8 m se encuentra una placa de concreto, recebo y arcilla gris clara de consistencia firme.

A partir de los 1.8 m aproximadamente hasta los 3.0 m, se encuentra en general una capa de arcilla gris clara de consistencia media.

A partir de los 3.0 m y aproximadamente hasta los 6.75 m, se evidencia una capa de arcilla limo arenosa rojiza dura.

Desde el estrato anterior y hasta la profunidad maxima de exploración (25 m) se identificaron Intercalaciones de arcillolita y limolita altamente meteorizadas.

En la Figura 11-6 presenta el perfil geotécnico típico y en la Tabla 11-14 se presenta el resumen de propiedades promedio para cada material identificado.

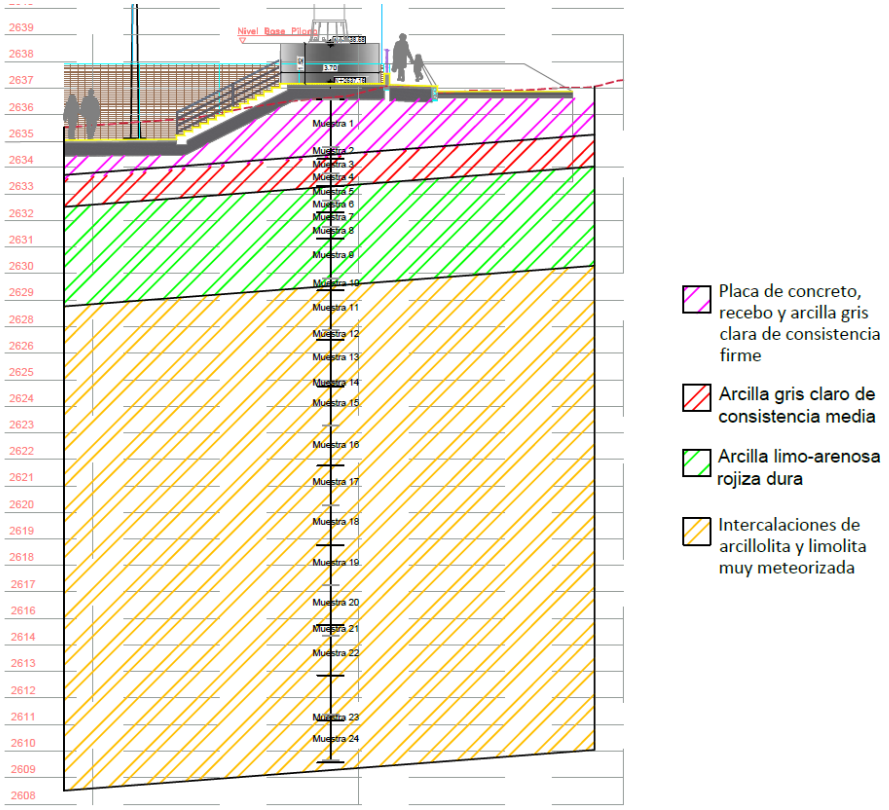


Figura 11-6. Perfil geotécnico pilona 3

Tabla 11-14. Perfil Geotécnico Pilona 3

Prof (m)		Descripción	SUCS	N campo	Y (kN/m^3)	Wn (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Grava (%)	Arena (%)	Fino (%)	Cu (kPa)	Es (KPa)
0.00	1.8	Placa de concreto, recebo y arcilla gris clara de consistencia firme	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.8	3.0	Arcilla gris clara de consistencia media	CL	14	19.5	28.3	42.8	20.6	22.2	0.0	9.9	90.1	61.6	30800
3.0	6.75	Arcilla limo arenosa rojiza dura	CL	32	20.0	19.2	48.0	21.3	26.7	0.0	5.2	94.8	140.0	70400
6.75	25.0	Intercalaciones de arcillolita y limolita muy meteorizada	CL	78	23.8	14.6	37.2	17.0	20.2	0.0	2.70	97.3	340.0	171600

Nota: los parámetros se determinaron a partir de correlaciones de acuerdo con la metodología descrita anteriormente.

11.7 PILONA 4

A partir de la información primaria recolectada por medio de ensayos in situ y de laboratorio, se determinó el modelo geotécnico más representativo a las condiciones encontradas del lugar donde se ubicará la pilona 4.

Para la determinación de este modelo se usaron las perforaciones mostradas en la Tabla 11-15.

Tabla 11-15. Perforación pilona 4

Perforación	Coordenada		Profundidad (m)	Año
	N	E		
PP4	4°33'45.10"	74° 5'42.25"	25	2021

A continuación se presenta una descripción de los materiales de acuerdo a la profundidad encontrada y más adelante las propiedades y parámetros promedio que representan el modelo geotécnico estudiado.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

Desde los 0.3 m aproximadamente a los 2 m se encuentra un relleno antrópico, que consistesiste de una subase granular con gravas muy bien seleccionadas, con contenido de arena y pocos finos.

A partir de los 2 m aproximadamente hasta los 4 m, se encuentra una capa de arcilla arenosa de consistencia muy firme y plasticidad alta.

A partir de los 4 m y aproximadamente hasta los 9m, se identifica una capa de arcilla limosa, de consistencia dura y plasticidad alta.

Desde el estrato anterior y hasta la profunidad maxima de exploración (25 m) se identifico una limolita altamente fracturada de humedad baja y plasticidad media.

En la Figura 11-7 se presenta el perfil geotécnico típico y en la Tabla 11-16 se presenta el resumen de propiedades promedio para cada material identificado.

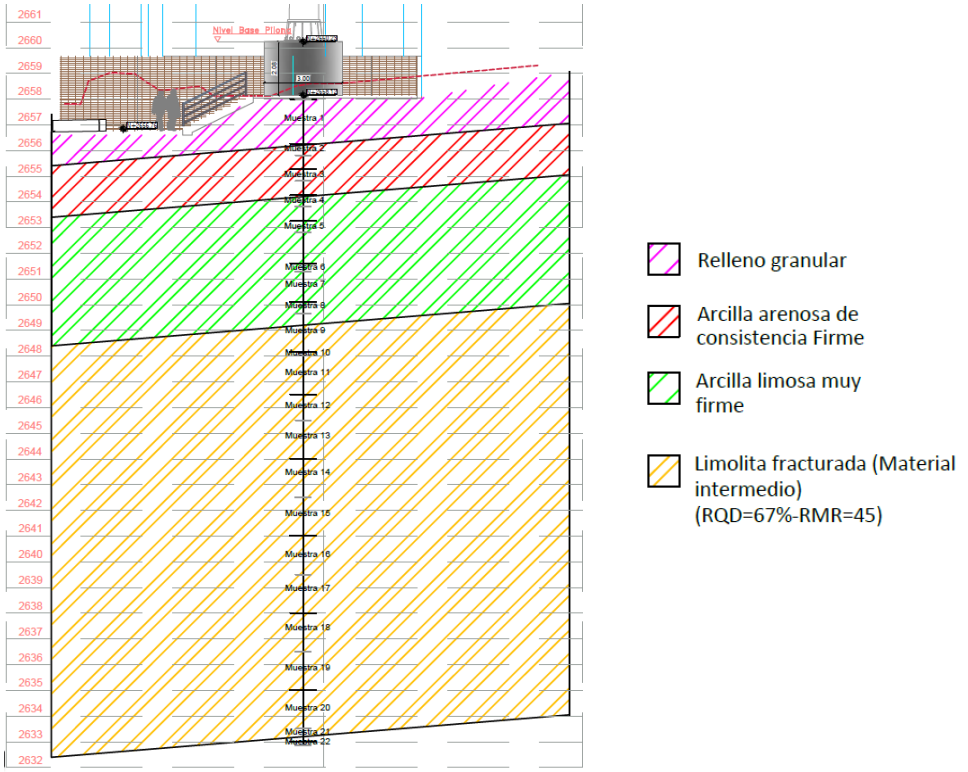


Figura 11-7. Perfil geotécnico pilona 4

Tabla 11-16. Perfil Geotécnico Pilona 4

Prof. (m)		Descripción	SUCS	N campo	Y (kN/m^3)	Wn (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)	Cu (kPa)	Es (KPa)
0	2	Relleno granular												
2	4	Arcilla arenosa de consistencia firme	CL	23	21.8	12.9	47.5	14.6	32.9	0	1.91	98.09	101	50600
4	9	Arcilla limosa muy firme	CL	50	21.5	13.9	43.4	15.6	27.9	0	3.4	96.5	220	110000
9	25	Limolita fracturada (Material intermedio) (RQD=67%-RMR=45)	CL	>100	23.8	9.65	31.9	14.3	17.6	0	7.01	92.99	Qu= 992 kPa	7644000

Nota: los parámetros se determinaron a partir de correlaciones de acuerdo con la metodología descrita anteriormente.

11.8 PILONA 5

A partir de la información primaria recolectada por medio de ensayos in situ y de laboratorio, se determinó el modelo geotécnico más representativo a las condiciones encontradas del lugar donde se ubicará la pilona 5.

Para la determinación de este modelo se usaron las perforaciones mostradas en la Tabla 11-17.

Tabla 11-17. Perforación pilona 5

Perforación	Coordenada		Profundidad (m)	Año
	N	E		
PP5	4°33'40.20"	74°5'41.71"	25	2021

A continuación se presenta una descripción de los materiales de acuerdo a la profundidad encontrada y más adelante las propiedades y parámetros promedio que representan el modelo geotécnico estudiado.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD

Desde los 0.0 m aproximadamente a los 1.5 m se encuentra una placa de concreto de 0.12m, seguida de relleno compuesto por gravas, arenas y arcillas.

A partir de los 1.5 m aproximadamente hasta los 4.0 m, se encuentra una arcilla rojiza de consistencia firme.

A partir de los 4.0 m y aproximadamente hasta los 8.0 m, se identifica una capa de arcilla limosa rojiza de consistencia dura.

Luego, desde 8.0 m y hasta 12.0 m, se halló arcilla limosa marrón rojiza de consistencia muy dura.

Finalmente, desde el estrato anterior y hasta la profunidad maxima de exploración (25 m), se identificó una limolita muy meteorizada o arcilla muy dura.

En la Figura 11-8 se presenta el perfil geotécnico típico y en la Tabla 11-18 se presenta el resumen de propiedades promedio para cada material identificado.

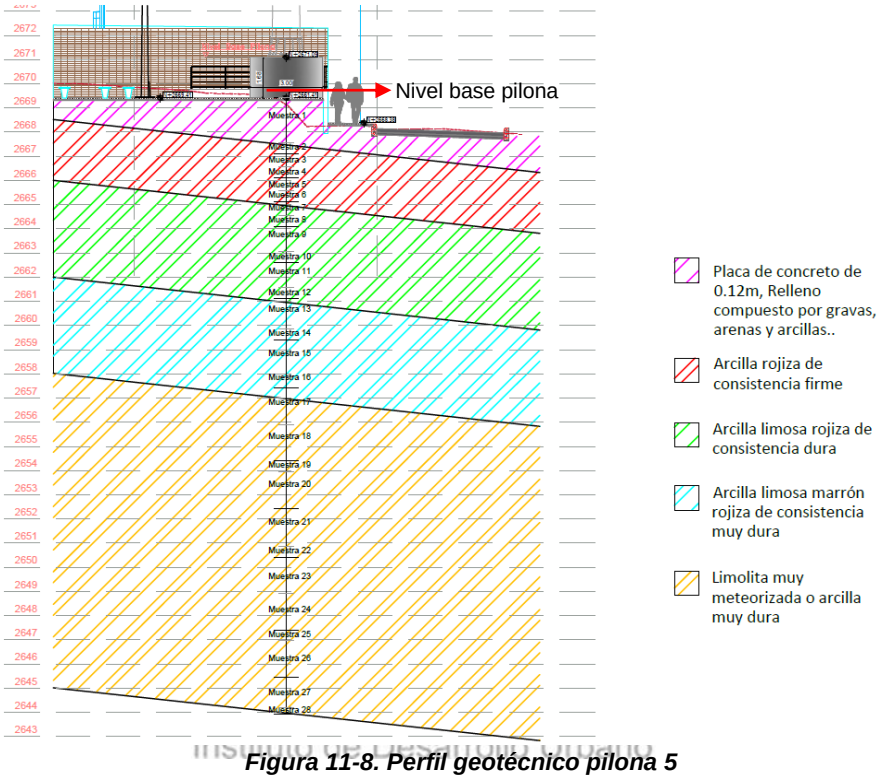


Figura 11-8. Perfil geotécnico pilona 5

Tabla 11-18. Perfil Geotécnico Pilona 5

Prof. (m)		Descripción	SUCS	N campo	Ɣ (kN/m³)	Wn (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)	Cu (kPa)	Es (KPa)
0.0	1.5	Placa de concreto de 0.12m, Relleno compuesto por gravas, arenas y arcillas.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.5	4.0	Arcilla rojiza de consistencia firme	CL	15	19.0	17.3	43.6	19.0	24.6	0.0	11.4	88.6	62.8	31400
4.0	8.0	Arcilla limosa rojiza de consistencia dura	CL	40	20.0	12.6	34.4	15.7	18.7	0.0	12.1	87.9	174.0	87266
8.0	12	Arcilla limosa marrón rojiza de consistencia muy dura	CL	65	21.0	12.3	31.8	14.1	17.7	0.0	10.3	89.7	286.0	143000
12	25	Limolita muy meteorizada o arcilla muy dura	CL	85	23.0	12.1	33.1	15.1	18.1	0.0	6.3	93.7	374.0	187000

Nota: los parámetros se determinaron a partir de correlaciones de acuerdo con la metodología descrita anteriormente.

11.9 PILONA 6

A partir de la información primaria recolectada por medio de ensayos in situ y de laboratorio, se determinó el modelo geotécnico más representativo a las condiciones encontradas del lugar donde se ubicará la pilona 6.

Para la determinación de este modelo se usaron las perforaciones mostradas en la Tabla 11-19.

Tabla 11-19. Perforación pilona 6

Perforación	Coordenada		Profundidad (m)	Año
	N	E		
PP6	4°33'35.05"	74° 5'41.14"	25	2021

A continuación se presenta una descripción de los materiales de acuerdo a la profundidad encontrada y más adelante las propiedades y parámetros promedio que representan el modelo geotécnico estudiado.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD

Desde los 0.3 m aproximadamente a los 1.5 m se encuentra una arcilla orgánica con presencia de raices.

A partir de los 1.5 m aproximadamente hasta los 3 m, se identificó una capa de fragementos de roca arenisca en una matriz de arena densa.

Seguido del estrato anterior y hasta una profundidad de 5m, se identifica una arcilla color marrón de consistencia firme a dura.

A partir de los 5 m y aproximadamente hasta los 14m, se identifica una arcilla color rojo de consistencia muy firme a dura.

A partir de los 14 m y aproximadamente hasta los 21m, se identifica una limolita altamente meteorizada con presencia de arcillas limosas de consistencia dura.

Desde el estrato anterior y hasta la profunidad maxima de exploración (25 m) se identificó una limolita muy meteorizada.

En la Figura 11-9 se presenta el perfil geotécnico típico y en la Tabla 11-20 se presenta el resumen de propiedades promedio para cada material identificado.

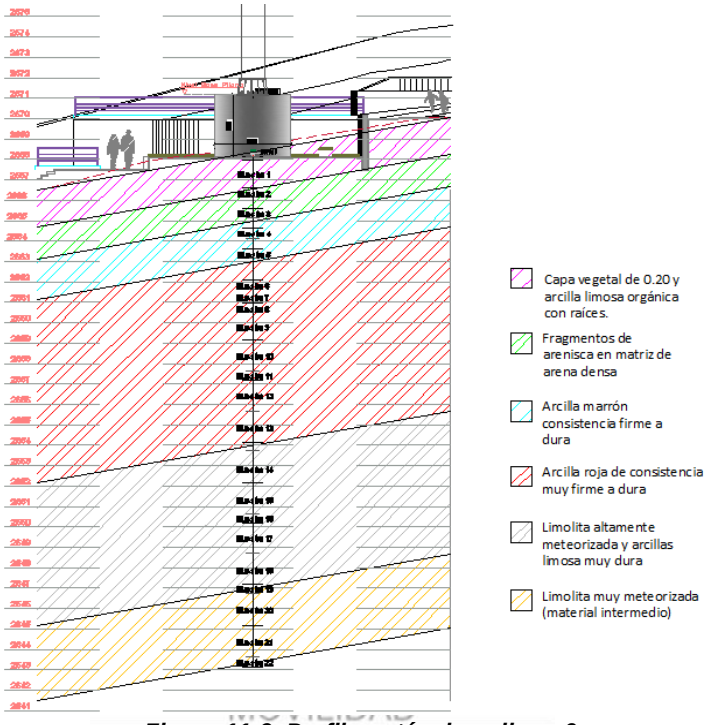


Figura 11-9. Perfil geotécnico pilona 6

Instituto de Desarrollo Urbano

Tabla 11-20. Perfil Geotécnico Pilona 6

Prof. (m)		Descripción	SUCS	N campo	Y (kN/m^3)	Wn (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)	Cu (kPa)	Es (KPa)
0	1.5	Capa vegetal de 0.20 y arcilla limosa orgánica con raíces												
1.5	3	Fragmentos de arenisca en matriz de arcillosa		26	19	4.1				79.2	14.4	6.3	114	57200
3	5	Arcilla marrón consistencia firme a dura	CH	31	20	22.4	53	11.2	41.8	0	5.8	94.2	131	68200
5	14	Arcilla roja de consistencia muy firme a dura	CL	41	21	16.1	33	16.1	16.9	0	8.8	91.1	180	90200
14	21	Limolita altamente meteorizada y arcillas limosa muy dura	CL	59	21	11.7	33.5	13.7	19.8	0	1.35	98.65	259.6	129800
21	25	Limolita muy meteorizada (material intermedio)	CL	87	21.5	7.1	-	-	-	-	-	-	370	185000

Nota: los parámetros se determinaron a partir de correlaciones de acuerdo con la metodología descrita anteriormente.

11.10 PILONA 7

A partir de la información primaria recolectada por medio de ensayos in situ y de laboratorio, se determinó el modelo geotécnico más representativo a las condiciones encontradas del lugar donde se ubicará la pilona 7.

Para la determinación de este modelo se usaron las perforaciones mostradas en la Tabla 11-21.

Tabla 11-21. Perforación pilona 7

Perforación	Coordenada		Profundidad (m)	Año
	N	E		
PP7	4°33'24.89"	74°5'40.31"	25	2021

A continuación se presenta una descripción de los materiales de acuerdo a la profundidad encontrada y más adelante las propiedades y parámetros promedio que representan el modelo geotécnico estudiado.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD

Desde los 0.0 m aproximadamente a los 1.5 m se encuentra material orgánico negro con raíces y cambio a fragmentos de areniscas amarilla en matriz arcillosa.

A partir de los 1.5 m aproximadamente hasta los 4.0 m, se identificó una capa de limo arcilloso marrón oscuro, con pintas de óxido, consistencia firme.

Seguido del estrato anterior y hasta una profundidad de 10.0 m, se evidencia una arcillolita fracturada y meteorizada roja, consistencia muy dura.

Luego, se halló limolita gris oscura meteorizada consistencia dura, hasta llegar a los 19.0m.

Desde el estrato anterior y hasta la profunidad maxima de exploración (25 m) se encontró limolita roja con pintas grises claras fracturada consistencia muy dura.

En la Figura 11-10 se presenta el perfil geotécnico típico y en la Tabla 11-22 se presenta el resumen de propiedades promedio para cada material identificado.

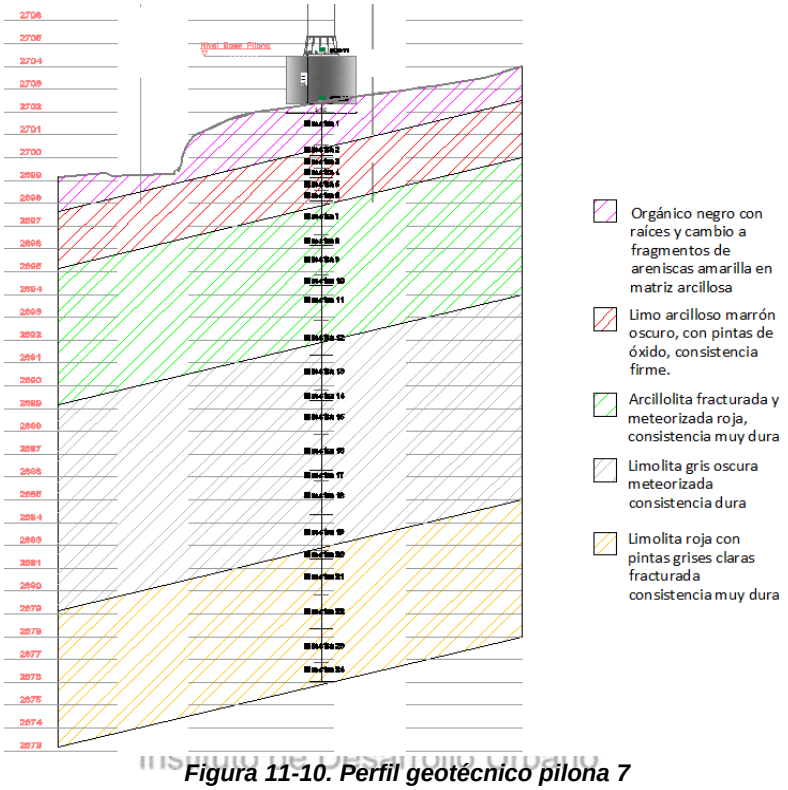


Figura 11-10. Perfil geotécnico pilona 7

Tabla 11-22. Perfil Geotécnico Pilona 7

Prof. (m)		Descripción	SUCS	N campo	Y (kN/m³)	Wn (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)	Cu (kPa)	Es (KPa)
0.0	1.5	Orgánico negro con raíces y cambio a fragmentos de areniscas en matriz arcillosa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.5	4.0	Limo arcilloso marrón oscuro, con pintas de óxido, consistencia firme.	CL	18	19	21.3	48.6	17.9	30.6	0	15.82	84.18	79.2	39600
4.0	10	Arcillolita fracturada y meteorizada roja, consistencia muy dura	CL	55	20	12.8	41	18.8	22.1	0.1	2.8	96.9	242.0	121000
10	19	Limolita gris oscura meteorizada consistencia dura	CL	41	21	12.3	35.7	20.1	15.5	1.3	2.6	96.01	180.0	90200
19	25	Limolita roja con pintas grises claras fracturada consistencia muy dura	CL	75	22	11.4							330.0	165000

Nota: los parámetros se determinaron a partir de correlaciones de acuerdo con la metodología descrita anteriormente.

11.11 PILONA 8

A partir de la información primaria recolectada por medio de ensayos in situ y de laboratorio, se determinó el modelo geotécnico más representativo a las condiciones encontradas del lugar donde se ubicará la pilona 8.

Para la determinación de este modelo se usaron las perforaciones mostradas en la Tabla 11-23.

Tabla 11-23. Perforación pilona 8

Perforación	Coordenada		Profundidad (m)	Año
	N	E		
PP8	4°33'19.93"	74°5'39.69"	25	2021

A continuación se presenta una descripción de los materiales de acuerdo a la profundidad encontrada y más adelante las propiedades y parámetros promedio que representan el modelo geotécnico estudiado.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Desde los 0.0 m aproximadamente a los 1.8 m se encuentra Relleno con piedra rajón.

A partir de los 1.8 m aproximadamente hasta los 2.8 m, se identicó una capa de arcilla con trazas de arena, gris, de consistencia firme.

Seguido del estrato anterior y hasta una profundidad de 5.25 m, se evidencia una arcilla con trazas de arena, gris, de consistencia dura.

Luego, a partir de los 5.25 m y aproximadamente hasta los 10.0 m, se identifica limolita altamente meteorizada gris clara con betas moradas.

Desde el estrato anterior y hasta la profunidad maxima de exploración (25 m) se halló limolita gris claro con vetas moradas, algo meteorizada, muy dura.

En la Figura 11-11 se presenta el perfil geotécnico típico y en la Tabla 11-24 se presenta el resumen de propiedades promedio para cada material identificado.

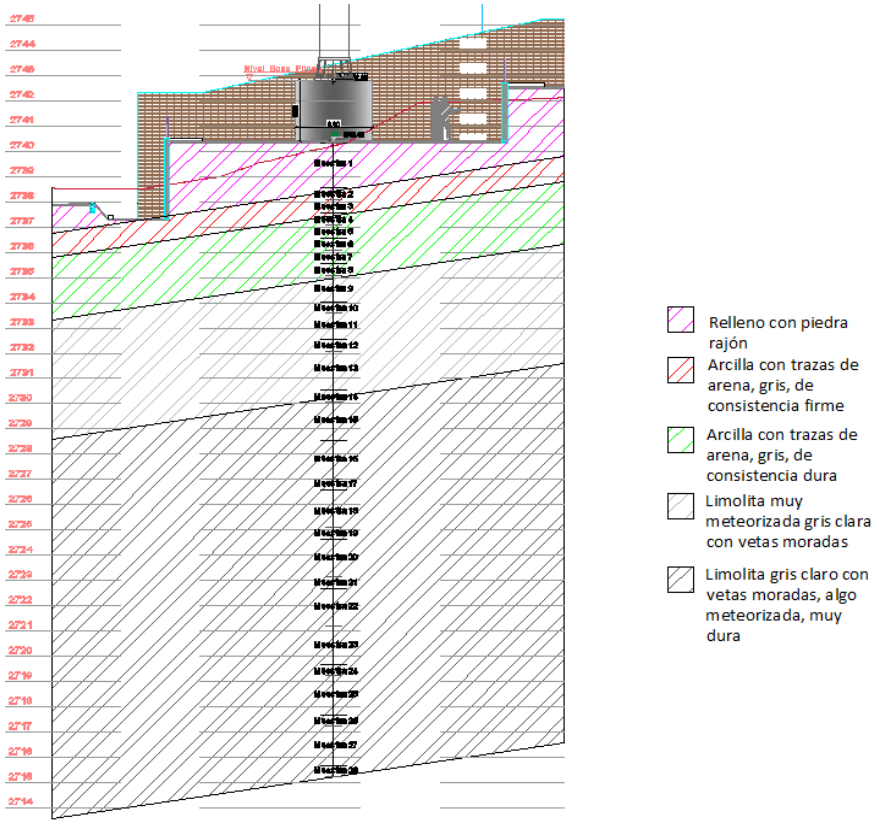


Figura 11-11. Perfil geotécnico pilona 8

Tabla 11-24. Perfil Geotécnico Pilona 8

Prof. (m)		Descripción	SUCS	N campo	Ɣ (kN/m³)	Wn (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)	Cu (kPa)	Es (KPa)
0.0	1.8	Relleno con piedra rajón	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.8	2.8	Arcilla con trazas de arena, gris, de consistencia firme	CL	17	19.0	23.0	43.9	17.9	26.1	0.0	2.0	98.0	74.8	37400
2.8	5.25	Arcilla con trazas de arena, gris, de consistencia dura	CL	32	19.5	12.0	36.4	18.0	18.3	0.0	0.3	99.7	140.8	70400
5.25	10	Limolita muy meteorizada gris clara con betas moradas	CL	60	20.0	15.4	34.5	14.7	19.7	0.0	11.2	88.8	264.0	132000
10	25	Limolita gris claro con vetas moradas, algo meteorizada, muy dura	CL	80	22.0	16.5	33.2	16.7	16.5	0.0	2.3	97.7	352.0	176000

Nota: los parámetros se determinaron a partir de correlaciones de acuerdo con la metodología descrita anteriormente.

11.12 PILONA 9

A partir de la información primaria recolectada por medio de ensayos in situ y de laboratorio, se determinó el modelo geotécnico más representativo a las condiciones encontradas del lugar donde se ubicará la pilona 9

Para la determinación de este modelo se usaron las perforaciones mostradas en la Tabla 11-25.

Tabla 11-25. Perforación pilona 9

Perforación	Coordenada		Profundidad (m)	Año
	N	E		
PP9-10	4°33'15.96"	74°5'39.47"	25	2021

A continuación se presenta una descripción de los materiales de acuerdo a la profundidad encontrada y más adelante las propiedades y parámetros promedio que representan el modelo geotécnico estudiado.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD

Desde los 0.3 m aproximadamente a los 1.7 m, se encuentra una capa de relleno de material de recebo y residuos de construcción de compacidad alta.

A partir de los 1.7 m aproximadamente hasta los 5 m, se identificó una capa de arcilla arenosa de color gris claro, de plasticidad baja y consistencia firme.

Seguido del estrato anterior y hasta una profundidad de 10m, se identifica una arcilla color gris clara, de consistencia dura y plasticidad baja.

A partir de los 10 m y aproximadamente hasta los 25m, se identifica un residual de arcillolita y limolita, arcilla de color gris, rojizo y rojo grisacéo, de consistencia muy dura y plasticidad baja.

En la Figura 11-12 se presenta el perfil geotécnico típico y en la Tabla 11-26 se presenta el resumen de propiedades promedio para cada material identificado.

Figura 11-12 Perfil geotécnico pilona 9

Tabla 11-26. Perfil Geotécnico Pilona 9

Prof. (m)		Descripción	SUCS	N campo	Ɣ (kN/m^3)	Wn (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)	Cu (kPa)	Es (KPa)
0	1.7	Relleno granular	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

1.7	5	Arcilla arenosa de consistencia firme	CL	27	19.0	17.7	65.4	18.3	47.1	0.0	2.9	97.1	124	56096
5	10	Arcilla arenosa de consistencia dura	CL	49	20.0	14.6	39.3	13.4	25.8	0.0	1.3	98.7	218	109260
10	25	Residual de arcillolita y limolita	CL	94	22.4	14.1	34	13.1	20.9	0.0	2.5	97.4	414	206800

Nota: los parámetros se determinaron a partir de correlaciones de acuerdo con la metodología descrita anteriormente.

11.13 PILONA 10

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

A partir de la información primaria recolectada por medio de ensayos in situ y de laboratorio, se determinó el modelo geotécnico más representativo a las condiciones encontradas del lugar donde se ubicará la pilona 10.

Para la determinación de este modelo se usaron las perforaciones mostradas en la Tabla 11-27

Tabla 11-27. Perforación pilona 10

Perforación	Coordenada		Profundidad (m)	Año
	N	E		
PP11	4°33'08.05"	74°5'38.63"	25	2021

A continuación se presenta una descripción de los materiales de acuerdo a la profundidad encontrada y más adelante las propiedades y parámetros promedio que representan el modelo geotécnico estudiado.

Desde los 0.0 m aproximadamente a los 2.0 m, se encuentra una capa de arena de grano fino con presencia de gravas.

A partir de los 2.0 m aproximadamente hasta los 5.0 m, se identificó arcilla de color gris de consistencia media y plasticidad baja.

Seguido del estrato anterior y hasta una profundidad de 10.0 m, se hallaron gravas angulares de color gris, en matriz areno arcillosa compacidad media.

Luego, hasta una profundidad de 23.0 m, se identifican gravas angulares de color gris, en matriz areno arcillosa compacidad densa.

Finalmente, hasta los 25m, se evidencia residual de arcillolita, arcilla de color gris y rojo de consistencia muy dura.

En la Figura 11-13 se presenta el perfil geotécnico típico y en la Tabla 11-28 se presenta el resumen de propiedades promedio para cada material identificado.

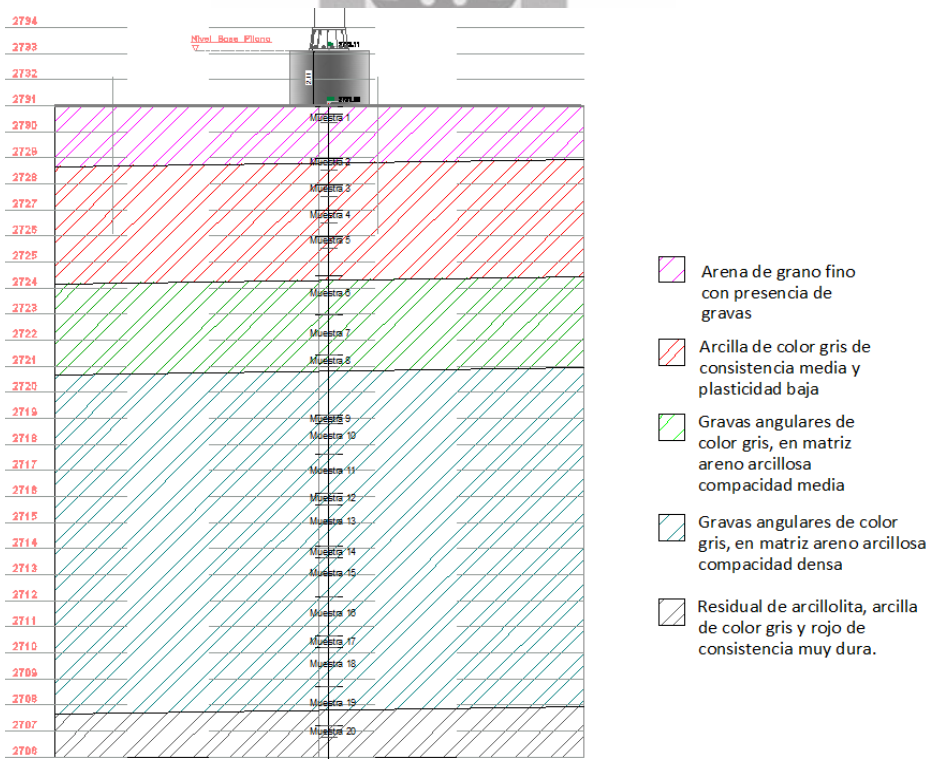


Figura 11-13. Perfil geotécnico pilona 10

Tabla 11-28. Perfil Geotécnico Pilona 10

Prof. (m)		Descripción	SUCS	N campo	Y (kN/m³)	Wn (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)	Cu (kPa)	φ (º)	Es (KPa)
0.0	2	Arena de grano fino con presencia de gravas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.0	5.0	Arcilla de color gris de consistencia media y plasticidad baja	CH	18	19	19.3	56.4	18.0	36.8	0.0	17.0	83.0	79.2	-	39600
5.0	10	Gravas angulares de color gris, en matriz areno arcillosa compacidad media	CL	26	20	14.9	29.4	11.8	17.6	9.7	43.9	46.4	114.0	-	57000

10	23	Gravas angulares de color gris, en matriz areno arcillosa compacidad densa	CL	54	21	16.0	20.7	10.2	10.5	42.3	30.2	27.4	-	32	39270
23	25	Residual de arcillolita, arcilla de color gris y rojo de consistencia muy dura.	CL	88	22	16.2	30.9	13.9	17.0	0.0	2.2	97.8	387.0	-	193600

Nota: los parámetros se determinaron a partir de correlaciones de acuerdo con la metodología descrita anteriormente.

11.14 PILONA 11

A partir de la información primaria recolectada por medio de ensayos in situ y de laboratorio, se determinó el modelo geotécnico más representativo a las condiciones encontradas del lugar donde se ubicará la pilona 11.

Para la determinación de este modelo se usaron las perforaciones mostradas en la Tabla 11-29.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
INSTITUTO
Instituto de Desarrollo Urbano

Tabla 11-29. Perforación pilona 11

Perforación	Coordenada		Profundidad (m)	Año
	N	E		
PP12	4°33'4.76"	74°5'38.42"	25	2021

A continuación se presenta una descripción de los materiales de acuerdo a la profundidad encontrada y más adelante las propiedades y parámetros promedio que representan el modelo geotécnico estudiado.

Desde los 0.0 m aproximadamente a los 0.22 m, se encuentra una placa de concreto.

A partir de los 0.22 m aproximadamente hasta los 5.0 m, se identificó arcilla gris y violeta de consistencia firme.

Seguido del estrato anterior y hasta una profundidad de 17.0 m, se hallaron arcillas limo arenosas, gris, consistencia dura.

Finalmente, hasta los 25m, se evidencian fragmentos de arenisca en matriz arcillosa.

En la Figura 11-14 se presenta el perfil geotécnico típico y en la Tabla 11-30 se presenta el resumen de propiedades promedio para cada material identificado.

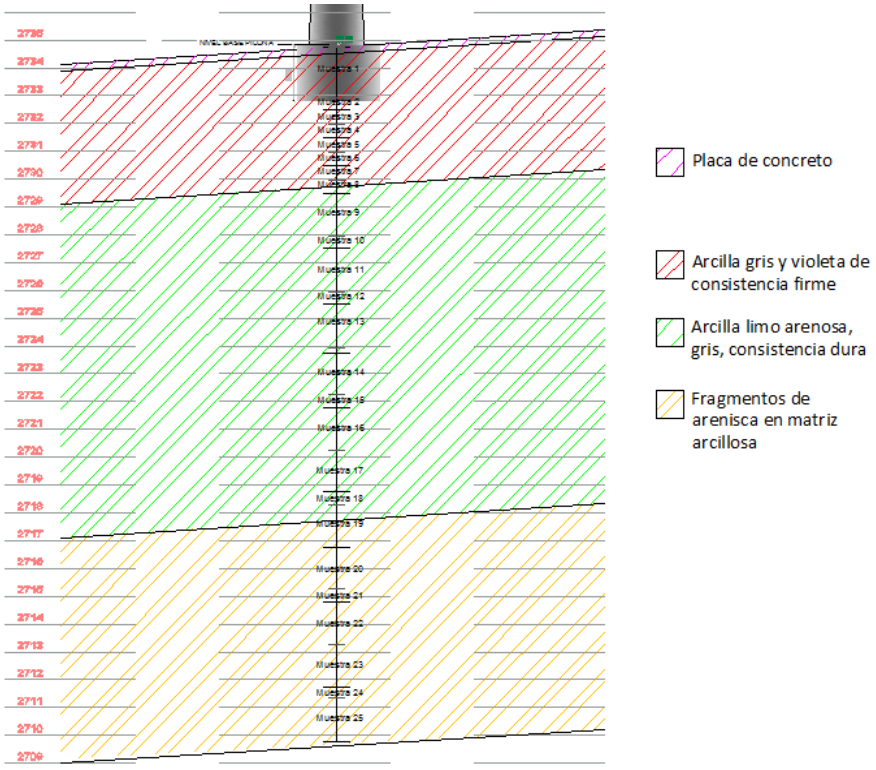


Figura 11-14. Perfil geotécnico pilona 11

Tabla 11-30. Perfil Geotécnico Pilona 11

Prof. (m)		Descripción	SUCS	N campo	Y (kN/m³)	Wn (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)	Cu (kPa)	Es (KPa)
0.0	0.22	Placa de concreto	-	-	-	30.2	-	-	-	-	-	-	-	-
0.22	5.0	Arcilla gris y violeta de consistencia firme	CH CL	14	19.0	28.6	58.6	19.1	39.9	0.42	27.1	72.4	62.0	30800
5.0	17	Arcilla limo arenosa, gris, consistencia dura	CL CH	24	19.5	26.3	44.8	16.2	28.8	1.1	16.4	82.5	104.0	52070
17	25	Fragmentos de arenisca en matriz arcillosa	ML	61	20.5	14.9	-	-	-	20.7	57.1	22.2	269.0	134200

Nota: los parámetros se determinaron a partir de correlaciones de acuerdo con la metodología descrita anteriormente.

11.15 PILONA 12 – 13 - 14

A partir de la información primaria recolectada por medio de ensayos in situ y de laboratorio, se determinó el modelo geotécnico más representativo a las condiciones encontradas del lugar donde se ubicará la pilona 12-13-14.

Para la determinación de este modelo se usaron las perforaciones mostradas en la Tabla 11-31

Tabla 11-31. Perforación pilona 12 – 13 - 14

Perforación	Coordenada		Profundidad (m)	Año
	N	E		
PP 12-13-14	4°33'1.67"	74°5'36.55"	25	2021

A continuación se presenta una descripción de los materiales de acuerdo a la profundidad encontrada y más adelante las propiedades y parámetros promedio que representan el modelo geotécnico estudiado.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Desde los 0.0 m aproximadamente a los 1.3 m, se encuentra una placa de concreto.

A partir de los 1.3 m aproximadamente hasta los 4.0 m, se identificó arcilla de color gris de consistencia media a firme.

Seguido del estrato anterior y hasta una profundidad de 20.0 m, se hallaron arcillas arenosas, gris, violeta y marrón, consistencia firme a dura.

Finalmente, hasta los 25.0 m, se evidencian arcillas arenosas de color gris con gravas, consistencia dura.

En la Figura 11-15 se presenta el perfil geotécnico típico y en la Tabla 11-32 se presenta el resumen de propiedades promedio para cada material identificado.

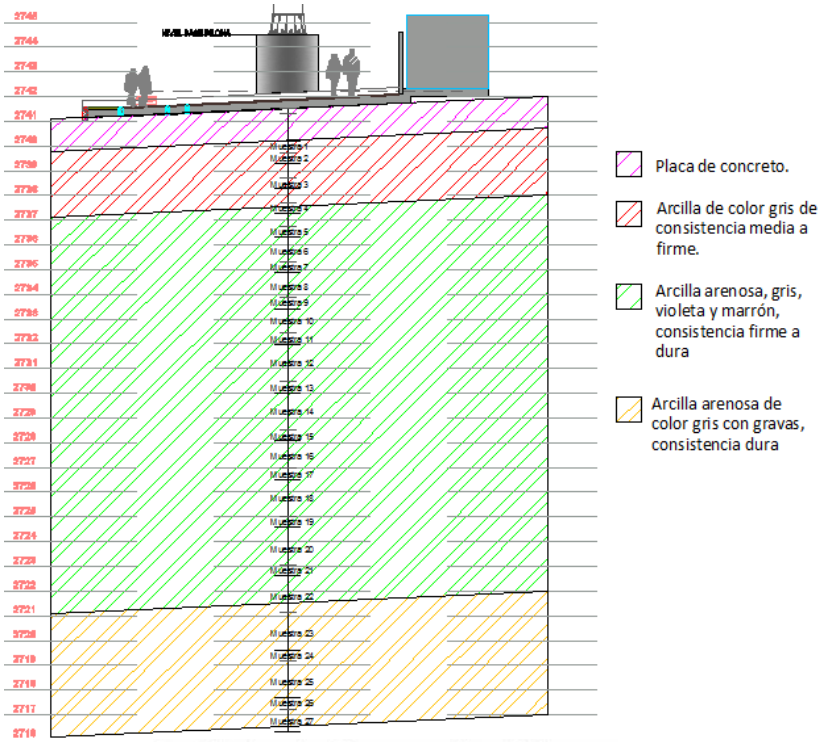


Figura 11-15. Perfil geotécnico pilona 12-13-14

Tabla 11-32. Perfil Geotécnico Pilona 12-13-14

Prof. (m)		Descripción	SUCS	N campo	Y (kN/m³)	Wn (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)	Cu (kPa)	Es (KPa)
0.0	1.3	Placa de concreto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.3	4.0	Arcilla de color gris de consistencia media a firme.	CL	15	19.0	21.9	44.8	13.9	31.0	0.6	8.8	90.5	66	33000
4.0	20	Arcilla arenosa, gris, violeta y marrón, consistencia firme a dura	CL CH	24	19.5	22.7	42.8	17.0	25.7	4.0	15.8	80.2	106	52800
20	25	Arcilla arenosa de color gris con gravas, consistencia dura	CL	36	20.0	16.4	24.7	13.2	11.5	25.8	24.8	49.4	158	79200

Nota: los parámetros se determinaron a partir de correlaciones de acuerdo con la metodología descrita anteriormente.

11.16 PILONA 15

A partir de la información primaria recolectada por medio de ensayos in situ y de laboratorio, se determinó el modelo geotécnico más representativo a las condiciones encontradas del lugar donde se ubicará la pilona 15.

Para la determinación de este modelo se usaron las perforaciones mostradas en la Tabla 11-33

Tabla 11-33. Perforación pilona 15

Perforación	Coordenada		Profundidad (m)	Año
	N	E		
PP15	4°32'59.33"	74°5'32.77"	25	2021

A continuación se presenta una descripción de los materiales de acuerdo a la profundidad encontrada y más adelante las propiedades y parámetros promedio que representan el modelo geotécnico estudiado.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Desde los 0.0 m aproximadamente a los 1.8 m, se encuentra recebo amarillo con arena y fragmentos de areniscas muy compacto.

A partir de los 1.8 m aproximadamente hasta los 10.0 m, se identificó arcilla limosa de consistencia firme.

Seguido del estrato anterior y hasta una profundidad de 20.0 m, se hallaron arcillas limo arenosas de consistencia muy firme a dura.

Finalmente, hasta los 25.0 m, se evidencian limolitas muy meteorizadas.

En la Figura 11-16 se presenta el perfil geotécnico típico y en la Tabla 11-34 se presenta el resumen de propiedades promedio para cada material identificado.

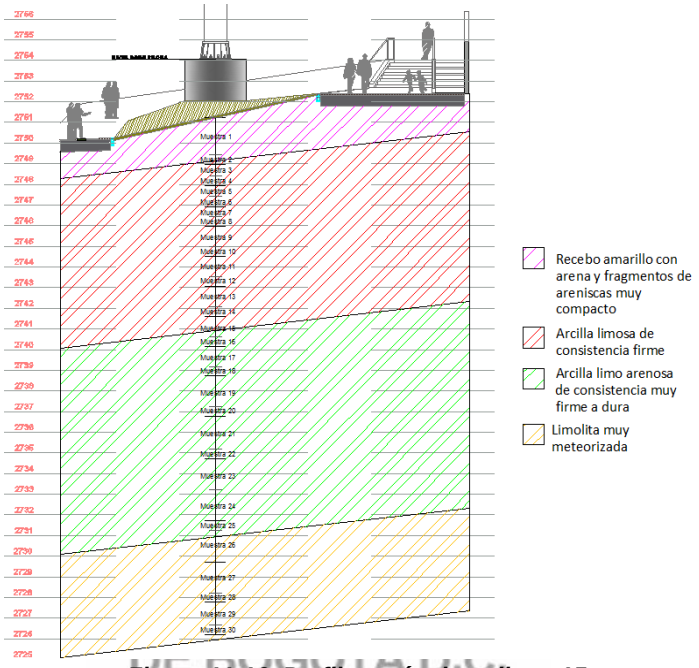


Figura 11-16. Perfil geotécnico pilona 15

MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

Tabla 11-34. Perfil Geotécnico Pilona 15

Prof. (m)		Descripción	SUCS	N campo	Y (kN/m³)	Wn (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)	Cu (kPa)	Es (KPa)
0.0	1.8	Recebo amarillo con arena y fragmentos de areniscas muy compacto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.8	10	Arcilla limosa de consistencia firme	CL	15	1.9	22.3	46.3	17.4	28.9	10.7	19.01	70.3	66	33000
10	20	Arcilla limo arenosa de consistencia muy firme a dura	CL	31	19.5	17.9	35.7	15.2	20.4	0.28	15.86	83.9	136	68200
20	25	Limolita muy meteorizada	CL	100	22	17.5	35.8	20.0	15.7	-	-	-	440	220000

Nota: los parámetros se determinaron a partir de correlaciones de acuerdo con la metodología descrita anteriormente.

11.17 PILONA 16

A partir de la información primaria recolectada por medio de ensayos in situ y de laboratorio, se determinó el modelo geotécnico más representativo a las condiciones encontradas del lugar donde se ubicará la pilona 16.

Para la determinación de este modelo se usaron las perforaciones mostradas en la Tabla 11-35

Tabla 11-35. Perforación pilona 16

Perforación	Coordenada		Profundidad (m)	Año
	N	E		
PP16	4°32'55.30"	74°5'28.04"	25	2021

A continuación se presenta una descripción de los materiales de acuerdo a la profundidad encontrada y más adelante las propiedades y parámetros promedio que representan el modelo geotécnico estudiado.

Desde los 0.0 m aproximadamente a los 1.2 m, se encuentra limo organico negro.

A partir de los 1.2 m aproximadamente hasta los 4.0 m, se identificó relleno compuesto por recebo y sobrantes de construcción de compacidad media.

Seguido del estrato anterior y hasta una profundidad de 10.0 m, se hallaron arcillas arenosas color rojo de consistencia firme a dura.

Finalmente, hasta los 25.0 m, se evidencian limolitas altamente meteorizadas (RMR=26).

En la Figura 11-17 se presenta el perfil geotécnico típico y en la Tabla 11-36 se presenta el resumen de propiedades promedio para cada material identificado.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

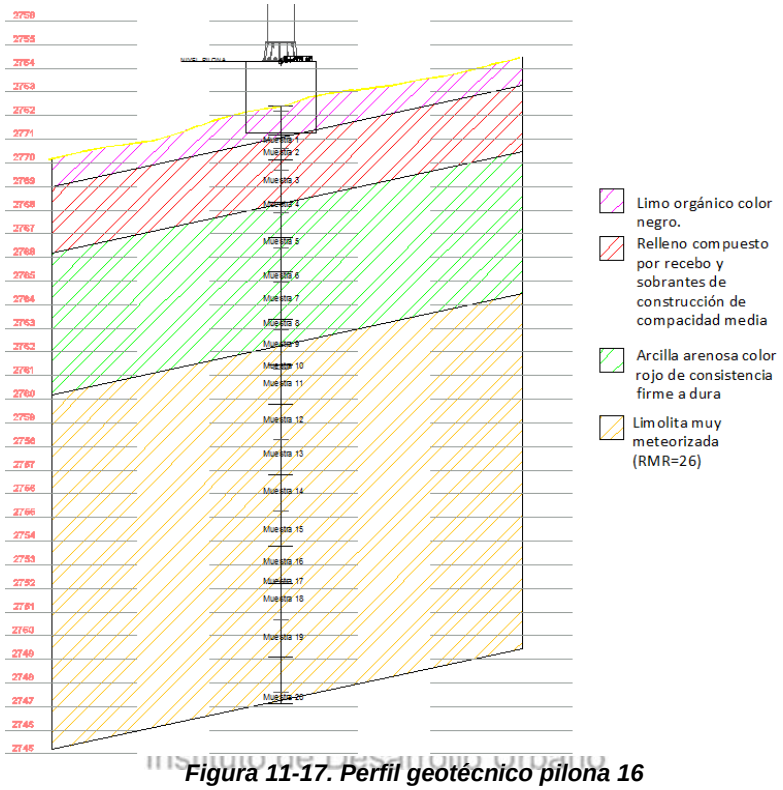


Figura 11-17. Perfil geotécnico pilona 16

Tabla 11-36. Perfil Geotécnico Pilona 16

Prof. (m)		Descripción	SUCS	N campo	Ɣ (kN/m³)	Wn (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)	Cu (kPa)	φ (°)	Es (KPa)
0.0	1.20	Limo orgánico color negro.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-
1.2	4.0	Relleno compuesto por recebo y sobrantes de construcción de compacidad media	CL	19	18.0	13.6	30.4	13.3	17.0	21.5	36.3	42.2	-	29	14554
4.0	10	Arcilla arenosa color rojo de consistencia firme a dura	CH	32	19.5	19.2	55.9	18.1	37.7	0.0	2.3	97.7	141.0	-	70400
10	25	Limolita muy meteorizada (RMR=26)	CL	>100	24.0	13.2	44.0	16.9	27.3	-	-	-	Qu= 1590	-	2511900

Nota: los parámetros se determinaron a partir de correlaciones de acuerdo con la metodología descrita anteriormente.

11.18 PILONA 17

A partir de la información primaria recolectada por medio de ensayos in situ y de laboratorio, se determinó el modelo geotécnico más representativo a las condiciones encontradas del lugar donde se ubicará la pilona 17.

Para la determinación de este modelo se usaron las perforaciones mostradas en la Tabla 11-37.

Tabla 11-37. Perforación pilona 17

Perforación	Coordenada		Profundidad (m)	Año
	N	E		
PP17	4°32'52.35"	74° 5'23.56"	25	2021

A continuación se presenta una descripción de los materiales de acuerdo a la profundidad encontrada y más adelante las propiedades y parámetros promedio que representan el modelo geotécnico estudiado.

Desde los 0.0 m y hasta los 2.0m se encuentra un relleno amarillo con gravas y presencia de limo orgánico.

A apartir del estrato anterior y hasta una profundidad de 6.0 m, se evidencian arcillas de color gris claro con humedad baja y consistencia firme.

Seguido del estrato anterior y hasta una profundidad de 11m, se identificaron arcillas de color gris claro de humedad baja y consistencia dura.

Finalmente, hasta la profundidad maxima de exploración (25 m) se identificó un estrato de limolitas altamente meteorizadas de color gris oscuro.

En la Figura 11-18 se presenta el perfil geotécnico típico y en la Tabla 11-38 se presenta el resumen de propiedades promedio para cada material identificado.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD

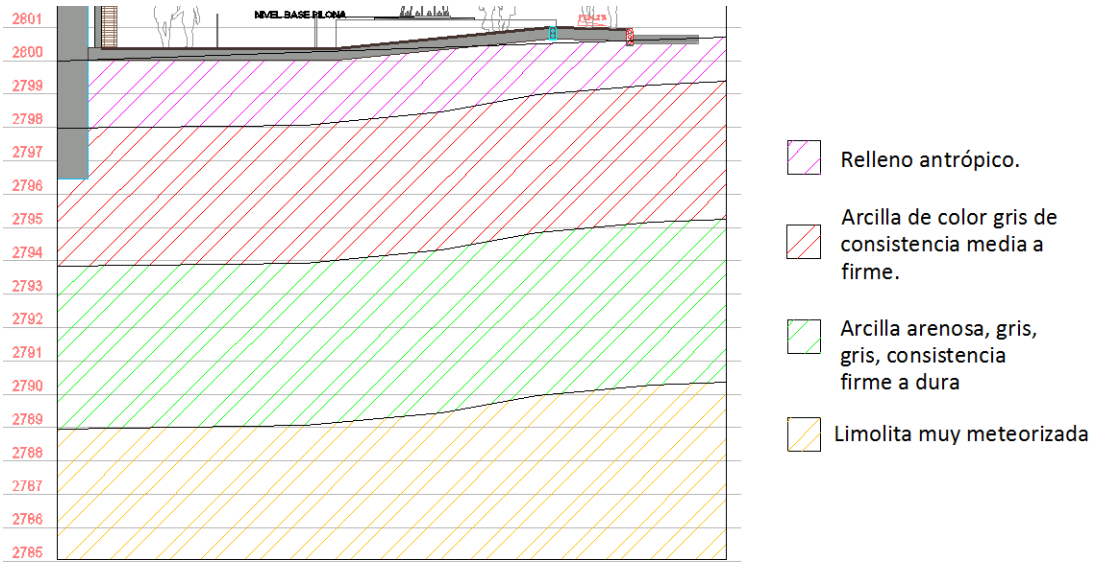


Figura 11-18. Perfil geotécnico pilona 17

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

Tabla 11-38. Perfil Geotécnico Pilona 17

Prof. (m)		Descripción	SUCS	N campo	Ɣ (kN/m³)	Wn (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)	φ (°)	Cu (kPa)	Es (KPa)
0	2	Relleno amarillo con gravas y presencia de limo orgánico			18.0								30		
2	6	Arcilla de color gris claro con humedad baja y consistencia firme.	CL CH	22	19.5	18.5	37.2	16.9	20.3	1.12	18.77	80.11		97	48000
6	11	Arcilla de color gris claro de humedad baja y consistencia dura.	CL CH	38	20.0	15.7	47.2	20.1	27.1	0	0.9	99.1		167	83600
11	25	Limolitas altamente meteorizadas	CL	78	21.0	13.5	26.2	12.5	13.6	0	2.7	97.2		308	154000

Nota: los parámetros se determinaron a partir de correlaciones de acuerdo con la metodología descrita anteriormente.

11.19 PILONA 18

A partir de la información primaria recolectada por medio de ensayos in situ y de laboratorio, se determinó el modelo geotécnico más representativo a las condiciones encontradas del lugar donde se ubicará la pilona 18.

Para la determinación de este modelo se usaron las perforaciones mostradas en la Tabla 11-39

Tabla 11-39. Perforación pilona 18

Perforación	Coordenada		Profundidad (m)	Año
	N	E		
PP18	4°32'49.31"	74°5'20.15"	25	2021

A continuación se presenta una descripción de los materiales de acuerdo a la profundidad encontrada y más adelante las propiedades y parámetros promedio que representan el modelo geotécnico estudiado.

Desde los 0.0 m aproximadamente a los 1.8 m, se encuentra Recebo amarillo con fragmentos de areniscas blancas, algo arenosa, muy compacto, humedad baja y consistencia firme.

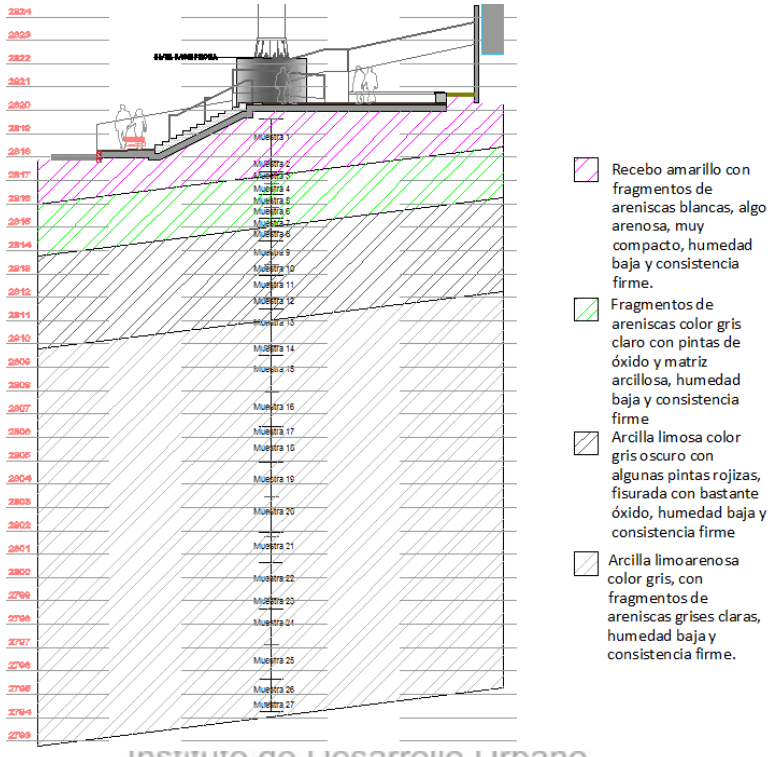
A partir de los 1.8 m aproximadamente hasta los 4.0 m, se identificaron fragmentos de areniscas color gris claro con pintas de óxido y matriz arcillosa, humedad baja y consistencia firme.

Seguido del estrato anterior y hasta una profundidad de 8.0 m, se hallaron arcillas limosas color gris oscuro con algunas pintas rojizas, fisurada con bastante óxido, humedad baja y consistencia firme.

Finalmente, hasta los 25.0 m, se evidencian arcillas limoarenosas color gris, con fragmentos de areniscas grises claras, humedad baja y consistencia firme.

En la Figura 11-19 se presenta el perfil geotécnico típico y en la Tabla 11-40 se presenta el resumen de propiedades promedio para cada material identificado.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD



Instituto de Desarrollo Urbano

Figura 11-19. Perfil geotécnico pilona 18

Tabla 11-40. Perfil Geotécnico Pilona 18

Prof. (m)		Descripción	SUCS	N campo	Y (kN/m^3)	Wn (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)	Cu (kPa)	Es (KPa)
0.0	1.8	Recebo amarillo con fragmentos de areniscas blancas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.8	4.0	Fragmentos de areniscas color gris claro con pintas de óxido y matriz arcillosa, consistencia firme	CL	17	19.0	14.9	30.1	12.0	18.0	19.7	26.2	53.9	75	37500
4.0	8.0	Arcilla limosa color gris oscuro, con bastante óxido, consistencia firme	CL	34	19.5	18.8	47.8	19.5	28.3	1.57	14.07	84.34	151	75533
8.0	25	Arcilla limo arenosa color gris, con fragmentos de areniscas grises claras, consistencia firme.	CL	59	20.0	19.5	39.1	19.2	19.9	31.3	15.4	53.19	260	129800

Nota: los parámetros se determinaron a partir de correlaciones de acuerdo con la metodología descrita anteriormente.

11.20 PILONA 19

A partir de la información primaria recolectada por medio de ensayos in situ y de laboratorio, se determinó el modelo geotécnico más representativo a las condiciones encontradas del lugar donde se ubicará la pilona 19.

Para la determinación de este modelo se usaron las perforaciones mostradas en la Tabla 11-41.

Tabla 11-41. Perforación pilona 19

Perforación	Coordenada		Profundidad (m)	Año
	N	E		
PP19	4°32'44.95"N	74° 5'14.44"O	25	2021

A continuación se presenta una descripción de los materiales de acuerdo a la profundidad encontrada y más adelante las propiedades y parámetros promedio que representan el modelo geotécnico estudiado.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Desde los 0.0 m aproximadamente a los 1.9 m, se encuentra placa de concreto de 0.17 y continúa material de relleno con rajón y arcilla negra. Cambia a una arcilla arenosa con gravas grises.

Seguido del estrato anterior y hasta una profundidad de 5.0 m, se identifica una capa de arcilla de color gris de consistencia blanda.

A partir del estrato anterior y hasta una profunidad de 9.0m, se evidenciaron fragmentos de arenisca en matriz arcillosa de color gris claro con compacidad muy densa.

Desde los 9.0m y hasta los 13 m, se identificó una capa de arcilla arenosa color gris claro con oxidaciones y gravas, de consistencia firme a dura.

Finalmente a partir de estrato anterior y hasta los 25.0 m, se evidencia una arcilla limosa color marrón y gris claro con vetas moradas, humedad baja y plasticidad de media a dura.

En la Figura 11-20 se presenta el perfil geotécnico típico y en la Tabla 11-42 se presenta el resumen de propiedades promedio para cada material identificado

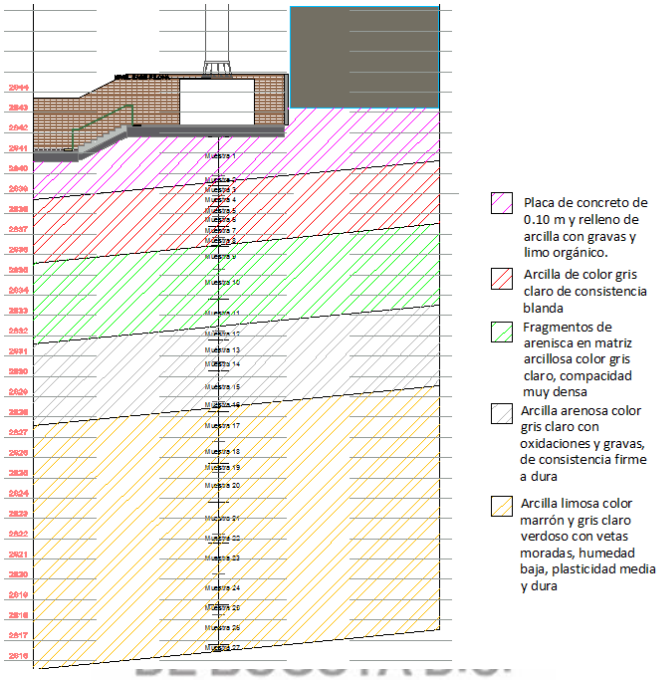


Figura 11-20. Perfil geotécnico pilona 19

Tabla 11-42. Perfil Geotécnico Pilona 19

Prof. (m)		Descripción	SUCS	N campo	Y (kN/m³)	Wn (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)	φ (°)	Cu (kPa)	Es (KPa)
0	1.9	Placa de concreto de 0.10 m y relleno de arcilla con gravas y limo orgánico.				29.7	41.2	18.7	22.5	1.13	13.18	85.69			
1.9	5	Arcilla de color gris claro de consistencia blanda	CL		19.7		31.9	13.7	18.2	2.88	15.3	81.77		111.1	55500
5	9	Fragmentos de arenisca en matriz arcillosa color gris claro, compacidad muy densa	CL	89	20	21.2	30.7	15.4	15.4	9.47	30.71	59.82	36		49024
9	13	Arcilla arenosa color gris claro con oxidaciones y gravas, de consistencia firme a dura	CL	26	19.35	17.9	29.7	16.4	13.3	15.7	32.31	51.9		114.4	57200
13	25	Arcilla limosa color marrón y gris claro verdoso con vetas moradas, humedad baja, plasticidad media y dura	CL	52	20	29.7	50.5	18.2	32.3	3.55	3.37	93.0		228.8	114400

Nota: los parámetros se determinaron a partir de correlaciones de acuerdo con la metodología descrita anteriormente.

11.21 PILONA 20

A partir de la información primaria recolectada por medio de ensayos in situ y de laboratorio, se determinó el modelo geotécnico más representativo a las condiciones encontradas del lugar donde se ubicará la pilona 20.

Para la determinación de este modelo se usaron las perforaciones mostradas en la Tabla 11-43

Tabla 11-43. Perforación pilona 20

Perforación	Coordenada		Profundidad (m)	Año
	N	E		
PP20	4°32'42.35"	74°5'10.65"	25	2021

A continuación se presenta una descripción de los materiales de acuerdo a la profundidad encontrada y más adelante las propiedades y parámetros promedio que representan el modelo geotécnico estudiado.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

Desde los 0.0 m aproximadamente a los 1.9 m, se encuentra placa de concreto de 0.17 y continúa material de relleno con rajón y arcilla negra. Cambia a una arcilla arenosa con gravas grises.

Seguido del estrato anterior y hasta una profundidad de 14.0 m, se halló arcilla limosa de color café de consistencia firme.

Finalmente, hasta los 25.0 m, se evidencian arcillolitas altamente meteorizadas color marrón oscuro, consistencia dura.

En la Figura 11-21***Figura 11-20*** se presenta el perfil geotécnico típico y en la Tabla 11-44Tabla 11-42 se presenta el resumen de propiedades promedio para cada material identificado

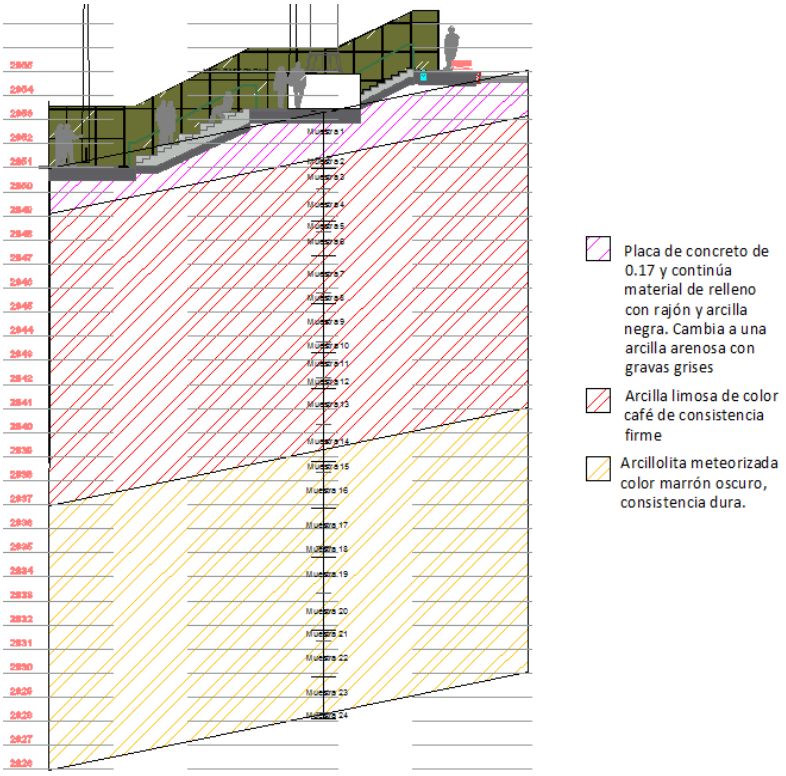


Figura 11-21. Perfil geotécnico pilona 20

Tabla 11-44. Perfil Geotécnico Pilona 20

Prof. (m)		Descripción	SUCS	N campo	Y (kN/m^3)	Wn (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)	Cu (kPa)	Es (KPa)
0.0	1.9	Placa de concreto y relleno con rajón y arcilla negra	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.9	14	Arcilla limosa de color café de consistencia firme	CL	20	19	14.8	33.8	16.7	17.0	18.1	22.9	58.9	88	44000
14	25	Arcillolita meteorizada color marrón oscuro, consistencia dura.	CL	60	19.5	15.6	38.4	18.6	19.8	0.15	3.2	96.6	264	132000

Nota: los parámetros se determinaron a partir de correlaciones de acuerdo con la metodología descrita anteriormente.

11.22 PILONA 21

A partir de la información primaria recolectada por medio de ensayos in situ y de laboratorio, se determinó el modelo geotécnico más representativo a las condiciones encontradas del lugar donde se ubicará la pilona 21.

Para la determinación de este modelo se usaron las perforaciones mostradas en la Tabla 11-45

Tabla 11-45. Perforación pilona 21

Perforación	Coordenada		Profundidad (m)	Año
	N	E		
PP21	4°32'40.70"	74°5'8.72"	25	2021

A continuación se presenta una descripción de los materiales de acuerdo a la profundidad encontrada y más adelante las propiedades y parámetros promedio que representan el modelo geotécnico estudiado.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD

Desde los 0.0 m aproximadamente a los 1.8 m, se encuentra limo orgánico café con raíces y algunos fragmentos de ladrillo.

Seguido del estrato anterior y hasta una profundidad de 9.0 m, se hallaron arcillas limo arenosas ocre con fragmentos de arenisca de grano fino, pintas de óxido, humedad natural baja y consistencia firme.

A partir de los 9.0 m aproximadamente hasta los 13.0 m, se identificó limo arcilloarenoso gris claro verdoso fisurado. consistencia firme.

Finalmente, hasta los 25.0 m, se evidencian limolitas roja con pintas grises claras, fracturada, porosa. Altamente meteorizadas.

En la Figura 11-22 se presenta el perfil geotécnico típico y en la Tabla 11-46 se presenta el resumen de propiedades promedio para cada material identificado

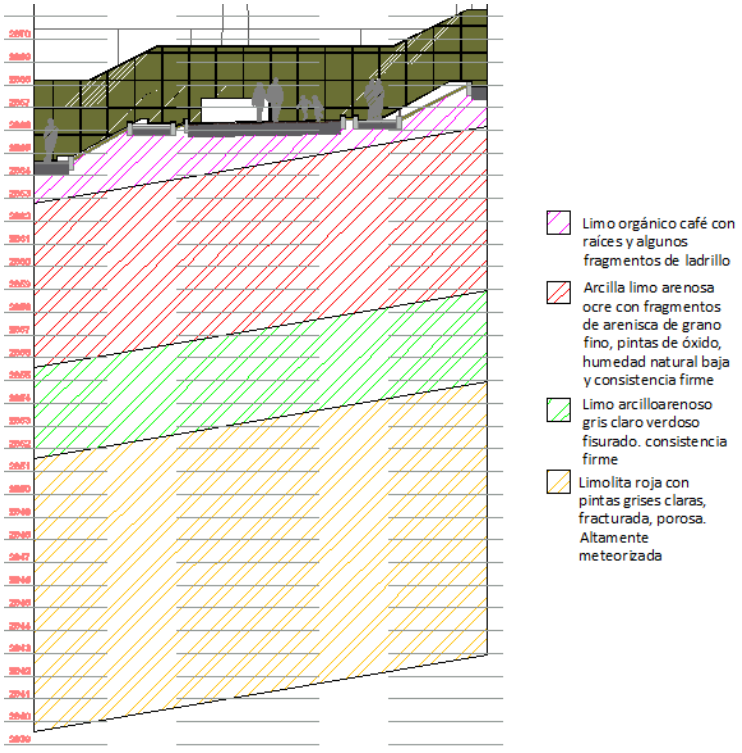


Figura 11-22. Perfil geotécnico pilona 21

Tabla 11-46. Perfil Geotécnico Pilona 21

Prof. (m)		Descripción	SUCS	N campo	Ɣ (kN/m³)	Wn (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)	Cu (kPa)	Es (KPa)
0.00	1.80	Limo orgánico café con raíces y fragmentos de ladrillo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.80	9	Arcilla limo arenosa ocre con fragmentos de arenisca de grano fino, pintas de óxido, consistencia firme	CL	9	19	27	27.6	16.1	11.5	7.5	21.1	71.3	39.6	19800
9	13	Limo arcillo arenoso gris claro verdoso fisurado. consistencia firme	CL	25	19.5	21.5	36.0	23.6	12.4	0	28.74	71.26	110	55000
13	25	Limolita roja con pintas grises claras, fracturada, porosa. Altamente meteorizada	CL	60	20	12.2	32.7	19	13.7	0	23	76.9	264	132000

Nota: los parámetros se determinaron a partir de correlaciones de acuerdo con la metodología descrita anteriormente.

11.23 PILONA 22

A partir de la información primaria recolectada por medio de ensayos in situ y de laboratorio, se determinó el modelo geotécnico más representativo a las condiciones encontradas del lugar donde se ubicará la pilona 22.

Para la determinación de este modelo se usaron las perforaciones mostradas en la Tabla 11-47

Tabla 11-47. Perforación pilona 22

Perforación	Coordenada		Profundidad (m)	Año
	N	E		
PP22	4°32'40.15"	74°5'7.15"	25	2021

A continuación se presenta una descripción de los materiales de acuerdo a la profundidad encontrada y más adelante las propiedades y parámetros promedio que representan el modelo geotécnico estudiado.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD

Desde los 0.0 m aproximadamente a los 1.8 m, se encuentra recebo amarillo con algunas gravas algo arcilloso, consistencia firme y humedad baja.

Seguido del estrato anterior y hasta una profundidad de 4.0 m, se hallaron limo arcilloso y arcilla limosa marrón claro con bastante óxido, fisurado, humedad baja y consistencia firme.

A partir de los 4.0 m aproximadamente hasta los 15.0 m, se identificó arcilla limosa y limo arcilloso gris oscuro y marrón con lentes de turba, consistencia firme y humedad baja, lentes de turba.

Finalmente, hasta los 25.0 m, se evidencian arcilla y limo gris claro, amarillo y rojo, fisurada, consistencia dura.

En la Figura 11-23, se presenta el perfil geotécnico típico y en la Tabla 11-48 se presenta el resumen de propiedades promedio para cada material identificado

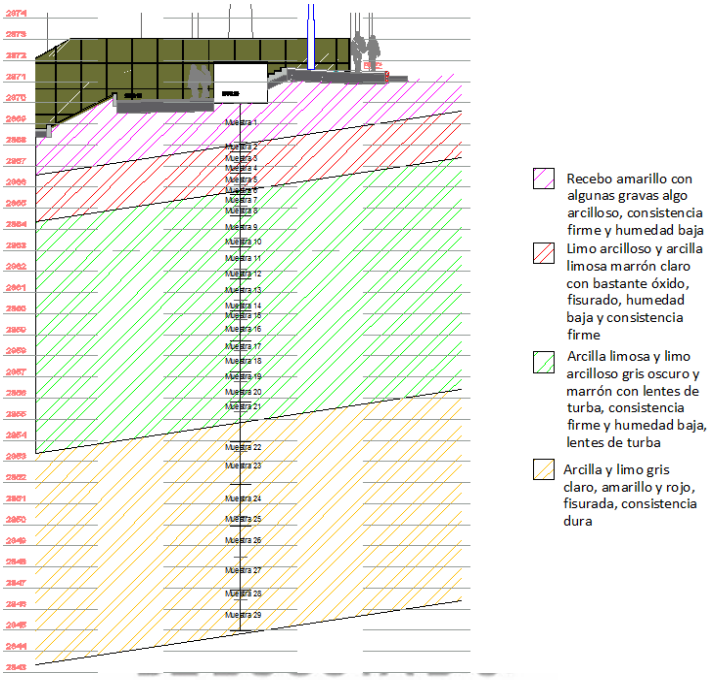


Figura 11-23. Perfil geotécnico pilona 22

MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

Tabla 11-48. Perfil Geotécnico Pilona 22

Prof. (m)		Descripción	SUCS	N campo	Ɣ (kN/m³)	Wn (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)	Cu (kPa)	Es (KPa)
0.0	1.8	Recebo amarillo con algunas gravas algo arcilloso	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.8	4.0	Limo arcilloso y arcilla limosa marrón claro con bastante óxido, consistencia firme	CL	16	19	23.8	35.8	17.3	18.4	0	7.2	92.7	70.4	35200
4.0	15	Arcilla limosa y limo arcilloso gris oscuro y marrón con lentes de turba, consistencia firme	CL	25	19.5	23.5	39.5	18.8	20.5	6.3	22.3	71.3	110	55000
15	25	Arcilla y limo gris claro, amarillo y rojo, fisurada, consistencia dura	CL	40	20	23.2	35.5	20.5	14.9	0.83	18.1	81.06	176	88000

Nota: los parámetros se determinaron a partir de correlaciones de acuerdo con la metodología descrita anteriormente.

12 ESPECTRO SÍSMICO DE DISEÑO

De acuerdo con localización del proyecto y el perfil promedio del sitio, se establece el espectro sísmico de diseño para las estaciones y las pilonas que componen el sistema de cable aéreo.

- **ESTACIONES**

A partir de lo estipulado en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 y el decreto 523 del 16 de diciembre de 2010 "Microzonificación sísmica de Bogotá D.C", fue posible establecer que el área del proyecto se encuentra en la zona **Deposito Ladera** y **Cerros**, las cuales estan conformadas por depósitos de ladera con espesores superiores a 6m de composición variable y rocas sedimentarias, con parámetros de Aa y Av de 0.15 y 0.20 respectivamente.

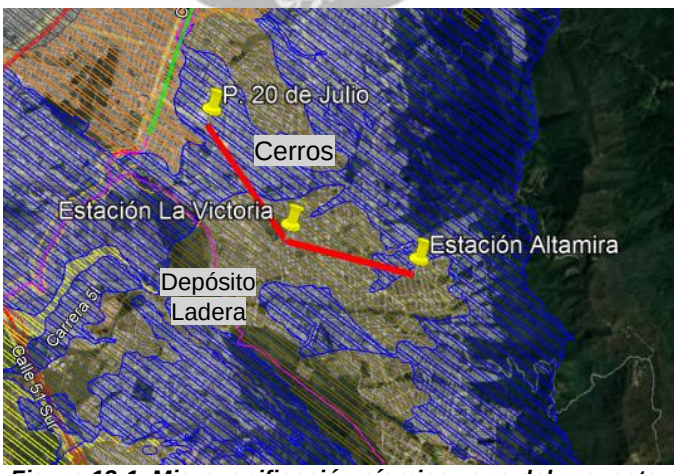


Figura 12-1. Microzonificación sísmica zona del proyecto.

Tabla 12-1. Coeficientes de diseño Microzonificación Sísmica Bogotá D.C

Zona	Fa (475)	Fv (475)	T_C(s)	T_L(s)	A0(475)	I
Cerros	1.35	1.30	0.62	3	0.18	1.1
Depósito ladera	1.65	1.70	0.66	3	0.22	

Fuente: Microzonifiación sísmica de Bogotá D.C.

Parámetros.

Aa = Aceleración horizontal pico efectiva de diseño. Aa = 0,15 g

Av = Aceleración que representa la velocidad horizontal pico efectiva de diseño Av= 0,20 g

A0 = Aceleración horizontal pico efectiva del terreno en superficie (g)

Fa = Coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de períodos cortos

Fv = Coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de períodos intermedios

I = Coeficiente de Importancia = 1.1

Sa = Aceleración espectral (g)

T = Período de vibración (s)

Tc = Período corto (s)

TL = Período largo (s)

- **PILONAS**

De acuerdo con localización del proyecto, el perfil promedio del sitio y con la Norma Colombiana de Diseño de Puentes – LRFD - CCP14, fue posible establecer que el área del proyecto se encuentra en una zona de PGA de 0.25.

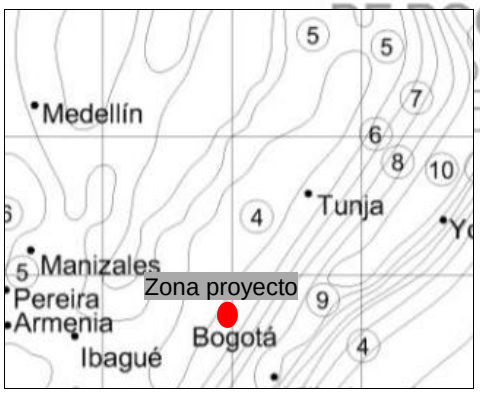


Figura 12-2. Mapa de valores PGA

PGA	0.25
(S_s)	0.50
(S_1)	0.25
F_{PGA}	1.15
Fa	1.2
Fv	1.55
Perfil del suelo	C

Tabla 12-2. Coeficientes de diseño Código de Puente CCP-14

PGA= Coeficiente de aceleración pico efectiva.

S_s= Coeficiente de aceleración de respuesta espectral horizontal para un periodo de 0.2s.

S_1= Coeficiente de aceleración de respuesta espectral horizontal para un periodo de 1.0s

F_{PGA}= Factor de sitio para pereiodo nulo en el espectro de respuesta de aceleraciones.

Fa= Factor de sitio para intervalos de periodos cortos en el espectro de respuesta de aceleraciones.

Fv= Factor de sitio para intervalos de periodos largos en el espectro de respuesta de aceleraciones.

13 CONDICIONES ESPECIALES DEL SUBSUELO

A continuación se relacionan las consideraciones con respecto a las condiciones especiales (licuación, potencial de expansión y colapso) del suelo que se puedan originar en la zona donde se desarrollan las obras del cable aéreo.

13.1 Licuación.

Los resultados de los ensayos de laboratorio evidenciaron arenas con porcentajes de finos mayores al 30% y valores de Ncampo superiores a 25golpes/pie en condición no saturada, lo que implica que no existe la posibilidad de que se presenten procesos de licuación, adicionalmente los materiales granulares encontrados en el proceso de exploracion con menos del 30% de finos, corresponden a materiales de relleno antropico superficiales, que serán retirados para la conformación de las estructuras, por tal razon no se realizan análisis de licuacion detallados ya que no se no evidencian materiales que cumplan criterios para clasificarlos como potencialmente licuables.

13.2 Potencial de expansión.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

De acuerdo con la clasificación de O'neil y Poormoayed (1980) reportados en Braja M. Bas 1999 se tiene que el valor del limite liquido para una condición alta de potencial de expansión es mayor al 60%, análizando la base de datos de los ensayos ejecutados, se tiene que tan solo el 6.9% de los datos presentan un limíte liquido mayor a dicho valor, adicionalmente en el 1% de las pruebas realizadas los materiales se encuentran a una profundidad menor a 3m que puede corresponder con la profundidad activa para el caso de suelos expansivos, es decir donde se puede presentan cambios volumetricos por cambios de humedad, el porcentaje restante se encuentra a mayor profundidad donde desde el punto de vista geotecnico, no se tiene influencia en la generación de deformaciones superficiales que puedan generar afectaciones a las estructuras, por esta razon no se evalua el potencial de expansión del suelo.

13.3 Colapso.

Los materiales identificados en la zona no corresponden con depositos que presenten este tipo de comportamiento como es el caso de los depositos de tipo eolicos. En la zona se tienen suelos residuales de rocas arcillosas debidamente estructurados, depositos fluvioglaciales y depositos de rellenos antropicos, materiales que no son caracteristicos de presentar este tipo de comportamiento.

14 CIMENTACIONES DE ESTACIONES Y PILONAS

Para los calculo geotécnicos se tiene a consideración, el calculo de la capacidad portante de los elementos de la cimentación profunda para las estaciones y para cada una de las

pilonas que se proyectan a lo largo del trazado del cable aereo. En la Tabla 14-1, se refieren las geometrias asignadas para los elementos de la cimentación profunda de cada una de las estructuras proyectadas.

Tabla 14-1. Geometría pilotes estructuras proyectadas.

Portal 20 de Julio	**Longitud (m)**	**Diámetro (m)**
Estación	12,5	0,8
	13	0,8
	14	0,8
	15	0,8
	16	0,8
	23	1
Edificio de Conexión	13	0,8
Tramo 1 (PP1-PP11)	**Longitud (m)**	**Diámetro (m)**
Pilona 1	8	1
Pilona 2	9	1
Pilona 3	25	1
Pilona 4	22,5	1
Pilona 5	23,5	1
Pilona 6	25,5	1
Pilona 7	20,5	1
Pilona 8	13,5	1
Pilona 9	24,5	1
Pilona 10	13,5	1
Pilona 11	20,5	1
Estación La Victoria	**Longitud (m)**	**diámetro (m)**
Estación	16	0,8
	18	0,8
	19	0,8
	23	1
Tramo 2 (PP12-13-14-PP22)	**Longitud (m)**	**Diámetro (m)**
Pilona 12-13-14	18	1
Pilona 15	19	1
Pilona 16	15	1
Pilona 17	14	1
Pilona 18	12	1
Pilona 19	14	1
Pilona 20	15	1

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Pilona 21	14	1
Pilona 22	21	1
Estación Altamira	**Longitud (m)**	**Diámetro (m)**
Estación	12	0,8
	13	1
	14	0,8
	17	0,8

Adicionalmente para los calculos geotécnicos se tuvieran en cuenta el calculo de capacidades portantes para las estructuras de menos envergadura, que hacen parte del urbanismo de las estaciones y de las pilonas.

A partir de los parámetros y modelos geológicos geotécnicos definidos anteriormente, se calcularon las capacidades portantes, asentamientos y módulos de reacción horizontal y vertical para las cimentaciones de las estaciones y las pilonas. Los resultados obtenidos se presentan en el ANEXO D. Memorias de cálculo y se describen a continuación:

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

14.1 ESTACIÓN 20 DE JULIO

14.1.1 Estación 20 de julio

A partir del perfil geologico-geotécnico establecido en la zona donde se dispondra esta esta estación, se asignaron los parámetros geotécnicos para el cálculo de la capacidad portante para pilotes con diámetros de 0.6, 0.8, 1.0 y 1.2 m.

Para la cimentación, se recomienda que el nivel de cabezal sea de 2.0 m con el fin de pasar el relleno inicial, y longitudes suficientes para apoyar los pilotes en el estrato denominado como arenisca muy meteorizada, con el fin de disminuir los posibles asentamientos por consolidación que pueda presentar el depósito arcilloso, con lo anterior la profudidad mínima de fundacion de los pilotes debe ser de 14 m con respecto al nivel actual del terreno.

14.1.1.1 Capacidad portante

Se limitó la capacidad portante admisible hasta un asentamiento elástico máximo de 25 mm. En la Tabla 14-2 se presentan los resultados de capacidad portante de pilotes para lo diámetros evaluados y en la Figura 14-1 se presenta las graficas de variacion de la capacidad de soporte que permite ver un incremento inportante de la capacidad después de los 12 m.

Tabla 14-2. Capacidad portante pilotes Portal 20 de Julio

Longitud Pilote (m)	Qadm estático(kN)				Qadm dinámico(kN)			
	0.6	0.8	1	1.2	0.6	0.8	1	1.2
1.00	60.2	106.2	165.1	236.9	119.7	211.4	329.0	472.4
2.00	153.9	270.6	419.9	601.9	305.3	537.8	835.6	1198.7
3.00	180.3	314.4	485.4	693.3	355.5	621.9	962.2	1376.5
4.00	119.2	189.7	275.6	376.9	220.3	355.2	521.0	717.4
5.00	155.3	237.8	335.7	449.0	279.3	433.9	619.3	835.4
6.00	191.4	285.9	395.8	521.1	338.3	512.6	717.6	953.5
7.00	227.4	334.0	455.9	593.3	397.3	591.3	816.0	1071.5
8.00	263.5	382.1	516.0	665.4	456.3	669.9	914.3	1189.5
9.00	299.5	430.1	576.1	737.5	515.3	748.6	1012.7	1307.5
10.00	335.6	478.2	636.2	809.6	574.3	827.3	1111.0	1425.5
11.00	371.7	526.3	696.3	881.7	633.3	906.0	1209.4	1543.5
12.00	407.7	574.4	756.4	953.9	692.3	984.6	1307.7	1661.5
13.00	749.6	1124.4	1375.6	1624.7	1362.9	2067.2	2529.1	2982.9
14.00	785.6	1167.5	1420.8	1673.0	1421.9	2135.9	2601.3	3057.6
15.00	821.7	1215.6	1470.0	1728.0	1480.9	2214.6	2680.0	3144.0
16.00	857.7	1258.6	1519.1	1787.6	1539.9	2283.2	2758.6	3237.9
17.00	893.8	1296.7	1568.3	1851.9	1598.9	2341.9	2837.2	3339.5
18.00	732.6	1055.9	1371.3	1713.1	1263.5	1842.7	2423.5	3061.8

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
Instituto de Desarrollo Urbano

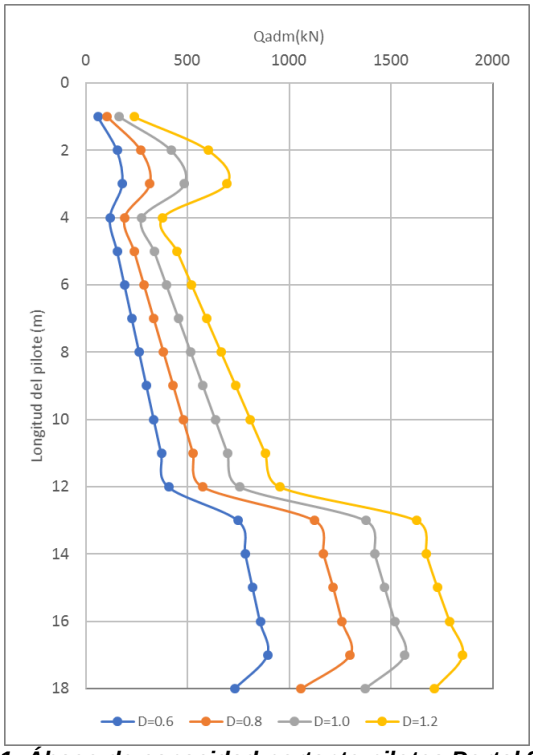


Figura 14-1. Ábaco de capacidad portante pilotes Portal 20 de Julio

14.1.1.2 Módulo de reacción horizontal

La Tabla 14-3 contiene los valores de los módulos de reacción horizontal y la Figura 14-2 muestra la variación con la profundidad valores que pueden ser utilizados para la elaboración del modelo de diseño estructural.

Tabla 14-3. Módulos de reacción horizontal pilotes Portal 20 de Julio

Longitud Pilote (m)	Kh(kN/m³)			
	0.6	0.8	1.0	1.2
1.00	40736.9	30552.7	24442.2	20368.5
2.00	40736.9	30552.7	24442.2	20368.5
3.00	40736.9	30552.7	24442.2	20368.5
4.00	80952.4	60714.3	48571.4	40476.2
5.00	80952.4	60714.3	48571.4	40476.2
6.00	80952.4	60714.3	48571.4	40476.2
7.00	80952.4	60714.3	48571.4	40476.2
8.00	80952.4	60714.3	48571.4	40476.2
9.00	80952.4	60714.3	48571.4	40476.2
10.00	80952.4	60714.3	48571.4	40476.2
11.00	80952.4	60714.3	48571.4	40476.2
12.00	80952.4	60714.3	48571.4	40476.2
13.00	77109.2	57831.9	46265.5	38554.6
14.00	77109.2	57831.9	46265.5	38554.6
15.00	77109.2	57831.9	46265.5	38554.6
16.00	77109.2	57831.9	46265.5	38554.6
17.00	77109.2	57831.9	46265.5	38554.6
18.00	219059.6	164294.7	131435.7	109529.8

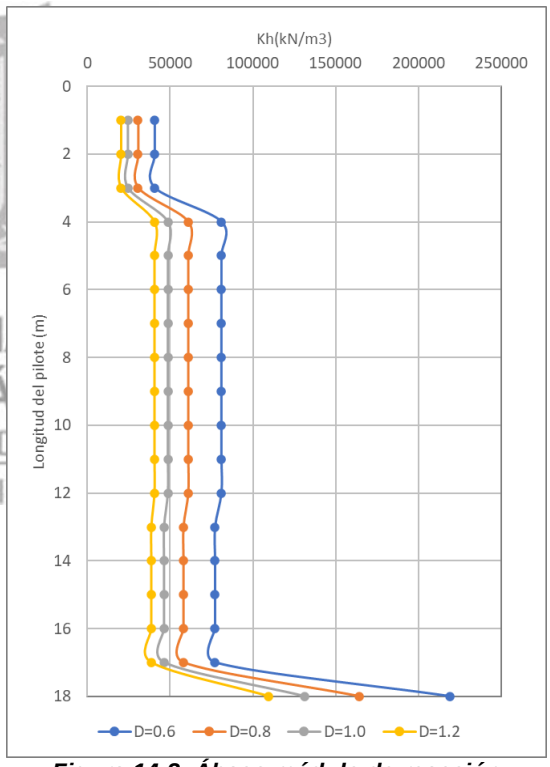


Figura 14-2. Ábaco módulo de reacción horizontal pilotes 20 de Julio

14.1.1.3 Módulo de reacción vertical

La Tabla 14-4 contiene los valores de los modulos de reacción vertical y la Figura 14-3 muestra la variacion con la profundidad valores que peuden ser utilizados para la elaboración del modelo de diseño estructural.

Tabla 14-4. Módulos de reacción vertical pilotes Portal 20 de Julio

Longitud Pilote (m)	Kv(kN/m3)			
	0.6	0.8	1	1.2
1.00	47925.8	35944.4	28755.5	23962.9
2.00	47925.8	35944.4	28755.5	23962.9
3.00	47925.8	35944.4	28755.5	23962.9
4.00	95238.1	71428.6	57142.9	47619.0
5.00	95238.1	71428.6	57142.9	47619.0
6.00	95238.1	71428.6	57142.9	47619.0
7.00	95238.1	71428.6	57142.9	47619.0
8.00	95238.1	71428.6	57142.9	47619.0
9.00	95238.1	71428.6	57142.9	47619.0
10.00	95238.1	71428.6	57142.9	47619.0
11.00	95238.1	71428.6	57142.9	47619.0
12.00	95238.1	71428.6	57142.9	47619.0
13.00	90716.7	68037.5	54430.0	45358.4
14.00	90716.7	68037.5	54430.0	45358.4
15.00	90716.7	68037.5	54430.0	45358.4
16.00	90716.7	68037.5	54430.0	45358.4
17.00	90716.7	68037.5	54430.0	45358.4
18.00	257717.1	193287.8	154630.3	128858.6

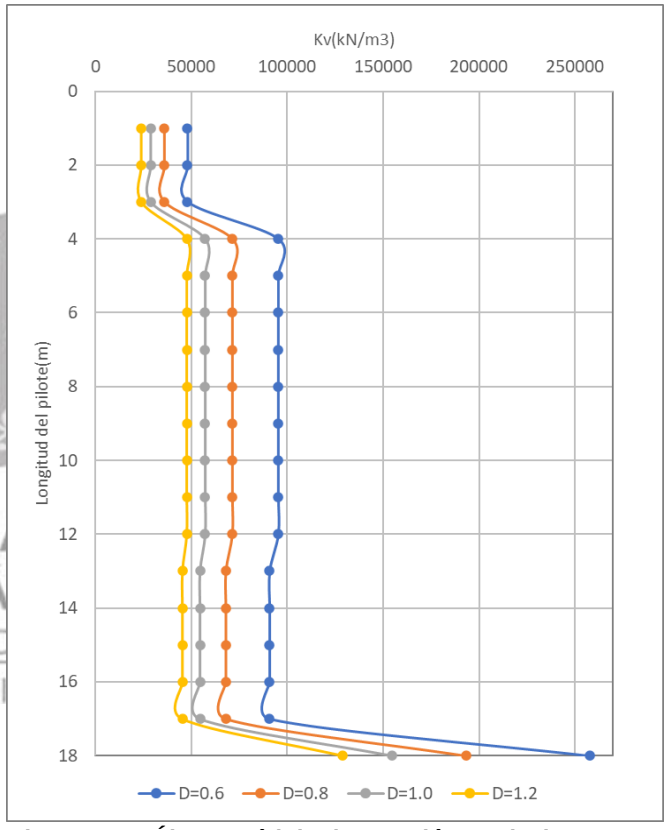


Figura 14-3. Ábaco módulo de reacción vertical pilotes 20 de Julio

14.1.1.4 Eficiencia de grupo

Se realizó un análisis de la eficiencia para un grupo de 4 pilotes y diferentes separaciones usando la formulación de Converse-Labarre obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 14-5. Eficiencia grupo de pilotes

Separación (medida en diámetros)	Eficiencia (η)
2	0.78
3	0.85
4	0.88
5	0.91
6	0.92
7	0.93

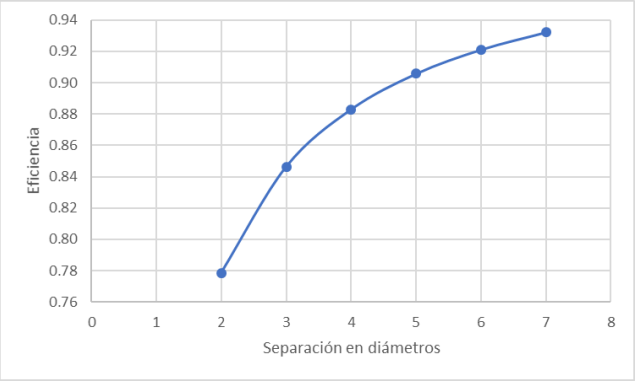


Figura 14-4. Eficiencia grupo de pilotes

De acuerdo con lo anterior, se recomienda una separación mínima entre ejes de 2.5D para una eficiencia de grupo del 80%.

14.1.1.5 Recomendación de cimentación

A partir de los perfiles estratigráficos obtenidos, las capacidades portantes calculadas, las eficiencias de grupo anteriormente discutidas y las cargas suministradas por el área estructural, se presenta a continuación la recomendación de cimentación para la estación del Portal 20 de Julio con base en la distribución de las cargas por apoyo.

Figura 14-5. Recomendación de cimentación Estación Portal de 20 de Julio

14.1.2 Edificio de conexión

A partir del perfil geologico-geotécnico establecido en la zona donde se dispondra esta esta estación, se asignaron los parámetros geotécnicos para el cálculo de la capacidad portante para pilotes con diámetros de 0.6, 0.8, 1.0 y 1.2 m.

Para la evaluacion de la capacidad portante del edificio se tomo como refencia el sondeo P1E20 J, ejecutado sobre el eje 3 del puente peatonal proyectado en la zona.

Para la cimentación, se recomienda que el nivel de cabezal sea de 2.0 m con el fin de pasar el relleno inicial, y longitudes suficientes para apoyar los pilotes en el estrato denominado como arcilla gris de consistencia media, evitando así posibles asentamientos por consolidación que pueda presentar el depósito arcilloso, respecto a lo anterior, la profudidad mínima de fundacion de los pilotes debe ser de 12 m con respecto al nivel actual del terreno.

14.1.2.1 Capacidad portante

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Se limitó la capacidad portante admisible hasta un asentamiento elástico máximo de 25 mm. En la Tabla 14-6 se presentan los resultados de capacidad portante de pilotes para lo diámetros evaluados y en la Figura 14-6 se presenta las graficas de variacion de la capacidad de soporte que permite ver un incremento inportante de la capacidad después de los 12 m.

Tabla 14-6. Capacidad portante pilotes Edificio de conexión.

Longitud Pilote (m)	Qadm estático(kN)				Qadm dinámico(kN)			
	0,6	0,8	1	1,2	0,6	0,8	1	1,2
1,00	36,6	64,3	99,8	143,0	72,6	127,8	198,5	284,7
2,00	92,1	161,1	249,3	356,5	182,1	319,4	494,9	708,7
3,00	112,2	194,1	298,3	424,8	220,0	382,4	589,4	840,9
4,00	119,7	204,2	310,9	439,9	232,3	398,9	610,0	865,6
5,00	128,9	216,4	326,2	458,2	247,4	418,9	635,0	895,6
6,00	139,7	230,8	344,2	479,9	265,1	442,5	664,5	931,0
7,00	152,2	247,4	364,9	504,8	285,4	469,7	698,4	971,7
8,00	174,7	271,0	386,3	520,7	317,0	498,8	718,7	976,7
9,00	211,8	320,4	448,1	594,9	377,7	579,7	819,8	1098,0
10,00	248,8	369,9	509,9	669,0	438,4	660,6	921,0	1219,4
11,00	285,9	419,3	571,7	743,2	499,0	741,5	1022,1	1340,7
12,00	323,0	468,8	633,5	817,4	559,7	822,4	1123,2	1462,1
13,00	375,4	545,0	736,9	951,0	650,7	956,5	1306,9	1701,7
14,00	413,3	595,6	800,1	1026,9	712,8	1039,3	1410,4	1825,9
15,00	451,3	646,2	863,4	1102,8	774,9	1122,2	1513,9	1950,2

Longitud Pilote (m)	Qadm estático(kN)				Qadm dinámico(kN)			
	0,6	0,8	1	1,2	0,6	0,8	1	1,2
16,00	489,3	696,8	926,7	1178,7	837,0	1205,0	1617,4	2074,4
17,00	527,2	747,5	989,9	1254,6	899,1	1287,8	1721,0	2198,6
18,00	671,1	980,8	1333,4	1729,0	1168,5	1729,9	2377,3	3110,6

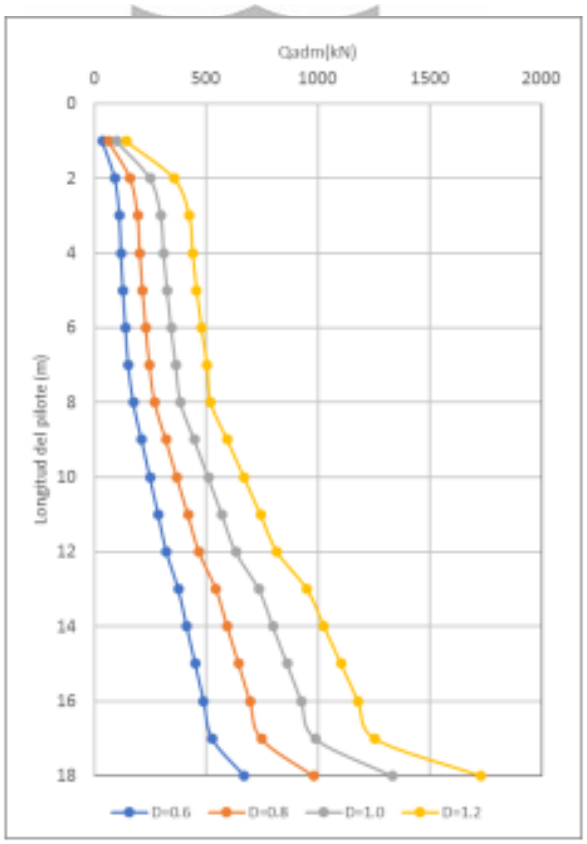


Figura 14-6. Ábaco de capacidad portante pilotes Edificio de Conexión

14.1.2.2 Módulo de reacción horizontal

La Tabla 14-7 contiene los valores de los módulos de reacción horizontal y la Figura 14-7 muestra la variación con la profundidad valores que pueden ser utilizados para la elaboración del modelo de diseño estructural.

Tabla 14-7. Módulos de reacción horizontal pilotes Edificio de Conexión

Longitud Pilote (m)	Kh(kN/m3)			
	0,6	0,8	1	1,2
1,00	34909,8	26182,3	20945,9	17454,9
2,00	34909,8	26182,3	20945,9	17454,9
3,00	34909,8	26182,3	20945,9	17454,9
4,00	36468,3	27351,2	21881,0	18234,1
5,00	36468,3	27351,2	21881,0	18234,1
6,00	36468,3	27351,2	21881,0	18234,1
7,00	36468,3	27351,2	21881,0	18234,1
8,00	100396,8	75297,6	60238,1	50198,4
9,00	100396,8	75297,6	60238,1	50198,4
10,00	100396,8	75297,6	60238,1	50198,4
11,00	100396,8	75297,6	60238,1	50198,4
12,00	100396,8	75297,6	60238,1	50198,4
13,00	112820,5	84615,4	67692,3	56410,3
14,00	112820,5	84615,4	67692,3	56410,3
15,00	112820,5	84615,4	67692,3	56410,3
16,00	112820,5	84615,4	67692,3	56410,3
17,00	112820,5	84615,4	67692,3	56410,3
18,00	301776,4	226332,3	181065,8	150888,2

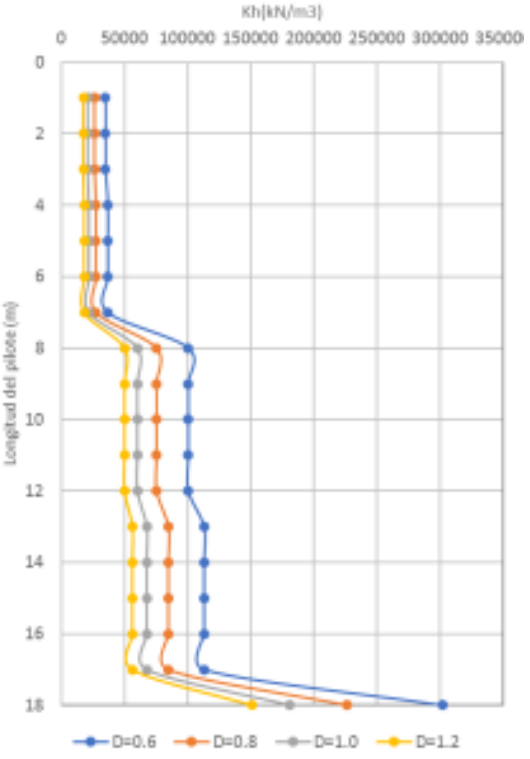


Figura 14-7. Ábaco módulo de reacción horizontal pilotes Edificio de conexión

14.1.2.3 Módulo de reacción vertical

La Tabla 14-8 contiene los valores de los modulos de reacción vertical y la Figura 14-8 muestra la variacion con la profundidad valores que peuden ser utilizados para la elaboración del modelo de diseño estructural.

Tabla 14-8. Módulos de reacción vertical pilotes Edificio de Conexión

Longitud Pilote (m)	Kv(kN/m3)			
	0,6	0,8	1	1,2
1,00	41070,3	30802,7	24642,2	20535,2
2,00	41070,3	30802,7	24642,2	20535,2
3,00	41070,3	30802,7	24642,2	20535,2
4,00	42903,8	32177,9	25742,3	21451,9
5,00	42903,8	32177,9	25742,3	21451,9
6,00	42903,8	32177,9	25742,3	21451,9
7,00	42903,8	32177,9	25742,3	21451,9
8,00	118113,9	88585,4	70868,3	59057,0
9,00	118113,9	88585,4	70868,3	59057,0
10,00	118113,9	88585,4	70868,3	59057,0
11,00	118113,9	88585,4	70868,3	59057,0
12,00	118113,9	88585,4	70868,3	59057,0
13,00	132730,0	99547,5	79638,0	66365,0
14,00	132730,0	99547,5	79638,0	66365,0
15,00	132730,0	99547,5	79638,0	66365,0
16,00	132730,0	99547,5	79638,0	66365,0
17,00	132730,0	99547,5	79638,0	66365,0
18,00	355031,0	266273,3	213018,6	177515,5

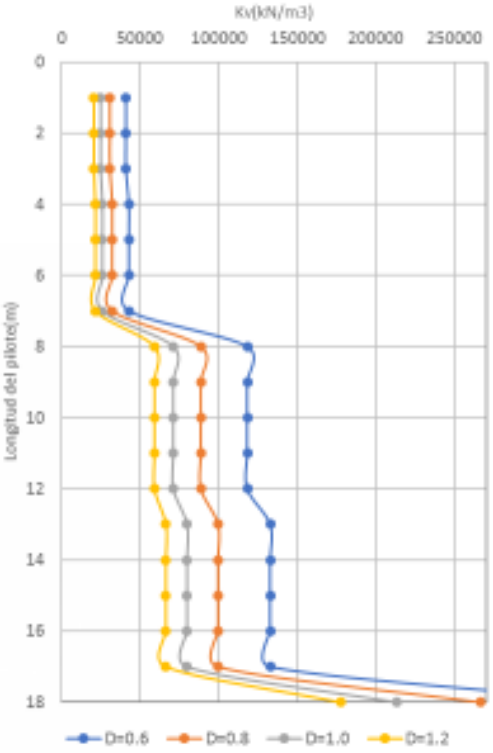


Figura 14-8. Ábaco módulo de reacción vertical pilotes Edificio de conexión

14.1.3 Puente peatonal

A partir de las perforaciones ejecutadas (P1E20J y P6E20J) para el puente peatonal que conectará el portal con la estación del cable, se realizaron los cálculos de capacidad portante para el estado límite de resistencia (ELR), estado límite de evento extremo (ELEE) y estado límite de servicio (ELS) de acuerdo con la metodología del Código Colombiano de Puentes CCP-14.

Se toma como referencia para los apoyos de los ejes 1 y 2 la perforación P6E20J mientras que para el eje 3 se toma la perforación P1E20J.

Se recomienda el nivel de cabezal de los pilotes en la cota -2.0 m para sobrepasar los rellenos heterogéneos y la profundidad mínima de fundación sea a 11m para garantizar un nivel de apoyo homogeneo.

Se limitó el asentamiento elástico a 20 mm para el cálculo del estado límite de servicio.

14.1.3.1 Capacidad portante Apoyos Ejes 1 y 2

Se recomienda longitudes de pilotes entre 11.0 m y 13.0 m en la capa arcillosa de consistencia dura. De la Tabla 14-9 a la Tabla 14-11 se presentan los valores de capacidad portante para pilotes en los tres estados límites de evaluación que deben ser utilizados para el diseño de la cimentación, de la Figura 14-9 a la Figura 14-11 se presentan las gráficas de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-9. Capacidad portante pilotes Puente Peatonal Apoyos Eje 1 y 2 – ELR

LONGITUD m	Carga axial ELR (kN)			Carga admisible por tracción ELR (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1,00	180,7	259,9	352,8	118,96	152,40	187,32
2,00	236,7	334,8	448,5	237,92	304,80	374,64
3,00	284,9	399,9	532,5	356,88	457,20	561,95
4,00	333,1	460,2	604,8	475,85	609,60	749,27
5,00	381,3	520,4	677,1	594,81	762,00	936,59
6,00	429,5	580,7	749,4	713,77	914,40	1123,91
7,00	563,5	775,0	1014,8	832,73	1066,80	1311,23
8,00	697,5	969,3	1280,1	951,69	1219,20	1498,54
9,00	903,2	1253,2	1653,0	1229,90	1570,65	1924,73
10,00	1023,0	1403,0	1832,8	1508,10	1922,11	2350,91
11,00	1142,9	1552,9	2012,6	1786,31	2273,56	2777,09
12,00	1262,8	1702,7	2192,4	2064,51	2625,02	3203,28
13,00	1382,6	1852,5	2372,2	2342,72	2976,47	3629,46
14,00	1502,5	2002,4	2552,0	2620,92	3327,93	4055,64
15,00	1622,4	2152,2	2731,8	2899,13	3679,38	4481,83
16,00	1742,2	2302,0	2911,6	3177,33	4030,83	4908,01
17,00	1888,2	2492,6	3150,1	3455,53	4382,29	5334,19
18,00	2035,5	2685,3	3391,5	3733,74	4733,74	5760,37
19,00	2951,2	3895,2	4921,7	4044,00	5125,27	6234,64
20,00	3135,5	4127,3	5202,1	4354,26	5516,79	6708,91
21,00	3319,7	4359,0	5482,1	4664,52	5908,32	7183,18
22,00	3498,8	4582,9	5750,8	4974,78	6299,84	7657,45
23,00	3682,8	4814,5	6030,5	5285,05	6691,37	8131,71

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

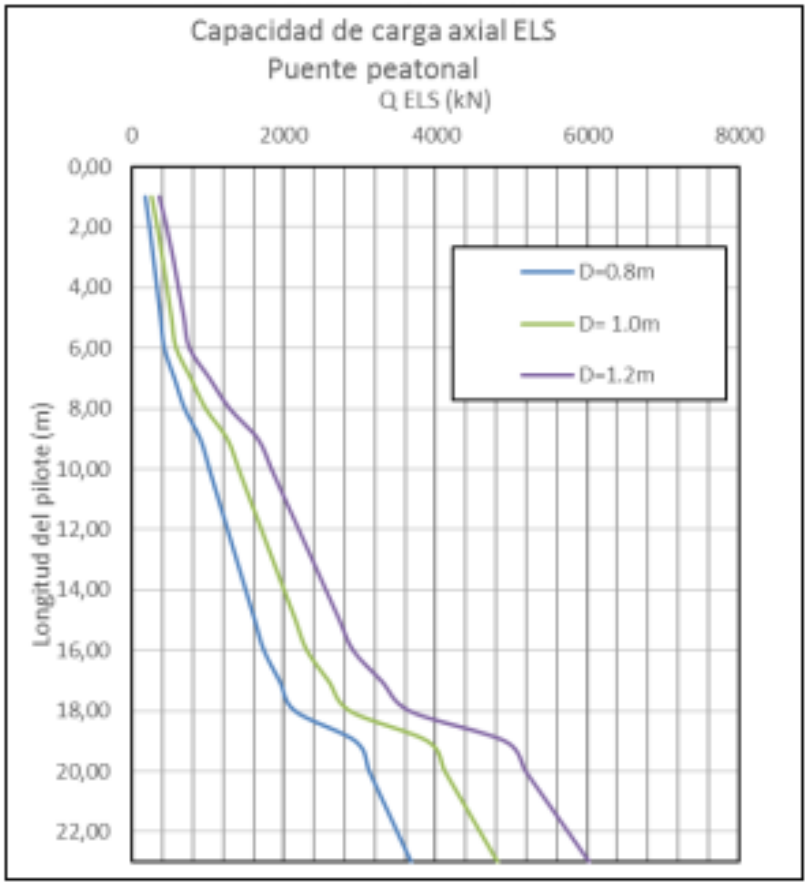


Figura 14-9. Ábaco de capacidad portante pilotes Puente Peatonal Apoyo Eje 1 y 2 – ELR

Tabla 14-10 Capacidad portante pilotes Puente Peatonal Apoyos Eje 1 y 2 – ELEE

LONGITUD m	Carga axial admisible ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1,00	438,2	633,0	861,9
2,00	564,9	803,5	1081,0
3,00	672,0	949,5	1270,9
4,00	779,1	1083,4	1431,6
5,00	886,2	1217,4	1592,3
6,00	993,4	1351,3	1753,0
7,00	1315,0	1820,3	2396,3
8,00	1636,6	2289,4	3039,6
9,00	2117,5	2957,5	3921,8
10,00	2383,9	3290,5	4321,4
11,00	2650,2	3623,4	4720,9
12,00	2916,6	3956,4	5120,5
13,00	3183,0	4289,4	5520,0
14,00	3449,3	4622,3	5919,6

LONGITUD m	Carga axial admisible ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
15,00	3715,7	4955,3	6319,1
16,00	3982,1	5288,3	6718,7
17,00	4313,7	5723,1	7265,0
18,00	4648,6	6163,1	7818,7
19,00	5018,7	6648,2	8427,7
20,00	5326,7	7036,2	8896,8
21,00	5634,4	7423,7	9365,3
22,00	5932,9	7796,9	9813,2
23,00	6240,3	8184,0	10281,1

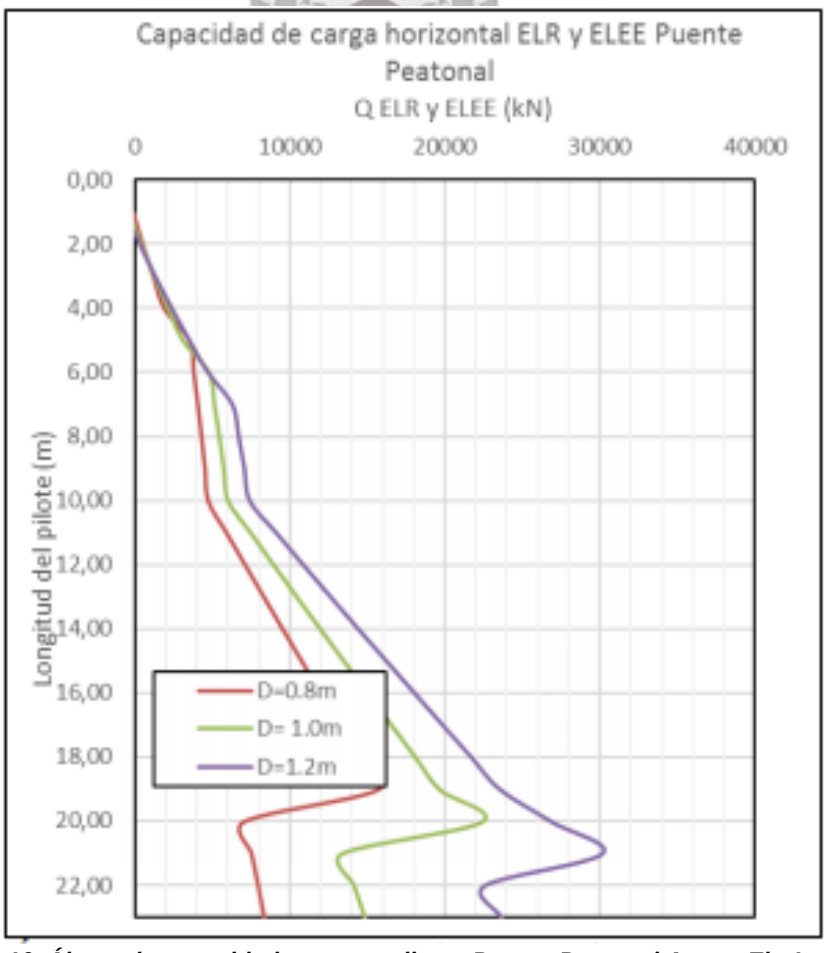


Figura 14-10. Ábaco de capacidad portante pilotes Puente Peatonal Apoyo Eje 1 y 2 – ELEE

Tabla 14-11. Capacidad portante pilotes Puente Peatonal Apoyos Eje 1 y 2 – ELS

LONGITUD m	Carga admisible axial ELS para 20 mm (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1,00	180,7	259,9	352,8
2,00	236,7	334,8	448,5
3,00	284,9	399,9	532,5
4,00	333,1	460,2	604,8
5,00	381,3	520,4	677,1
6,00	429,5	580,7	749,4
7,00	563,5	775,0	1014,8
8,00	697,5	969,3	1280,1
9,00	903,2	1253,2	1653,0
10,00	1023,0	1403,0	1832,8
11,00	1142,9	1552,9	2012,6
12,00	1262,8	1702,7	2192,4
13,00	1382,6	1852,5	2372,2
14,00	1502,5	2002,4	2552,0
15,00	1622,4	2152,2	2731,8
16,00	1742,2	2302,0	2911,6
17,00	1947,7	2585,6	3283,9
18,00	2154,9	2872,0	3660,3
19,00	2951,2	3895,2	4921,7
20,00	3130,3	4119,1	5190,4
21,00	3314,7	4351,2	5470,8
22,00	3498,8	4582,9	5750,8
23,00	3682,8	4814,5	6030,5
24,00	3866,7	5045,8	6309,9

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

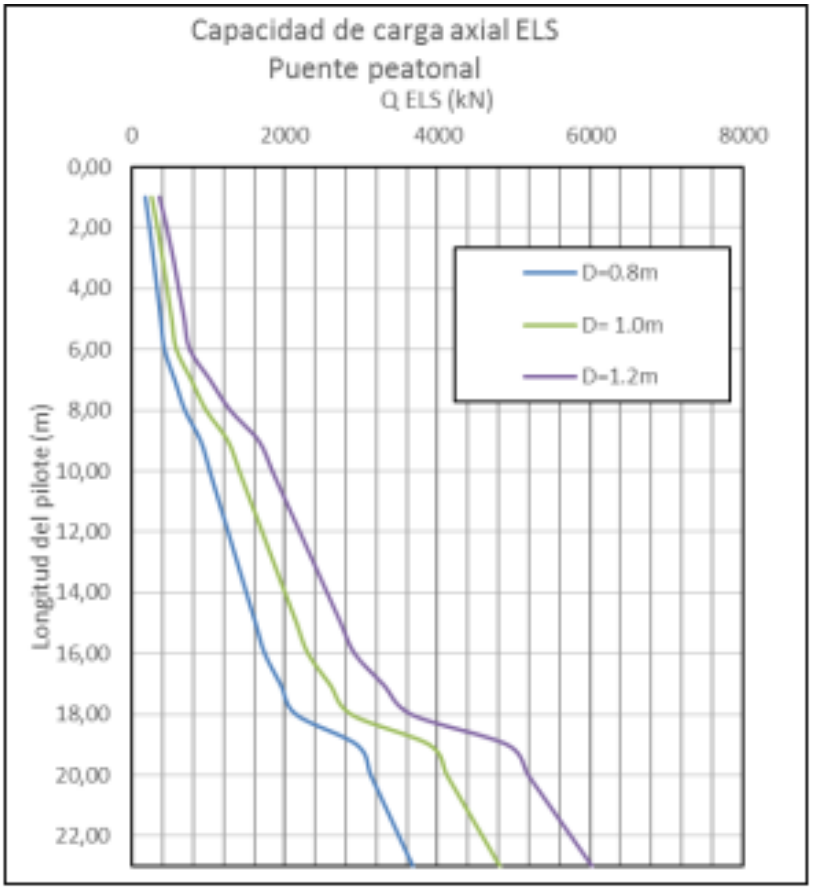


Figura 14-11. Ábaco de capacidad portante pilotes Puente Peatonal Apoyo Eje 1 y 2 – ELS

En la Tabla 14-12 se presentan los valores de capacidad de carga lateral para cada uno de los diferentes diámetros, con respecto a los Estados Límite de Resistencia y a los Estados Límite de Evento Extremo y en la Figura 14-12 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-12. Resumen valores de carga lateral (ELR y ELEE) - Puente Peatonal Apoyos Eje 1 y 2

LONGITUD m	Carga horizontal ELR y ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1,00	-89,2	-320,7	-635,8
2,00	535,6	460,4	301,5
3,00	1205,2	1297,3	1305,8
4,00	1919,5	2190,2	2377,2
5,00	3536,5	3138,9	3515,7
6,00	3830,0	4809,9	4721,2
7,00	4088,0	5160,3	6283,7
8,00	4323,9	5476,1	6687,7

9,00	4545,1	5768,7	7058,5
10,00	4755,8	6045,2	7405,9
11,00	5941,0	7500,1	9119,9
12,00	7140,4	8977,2	10866,0
13,00	8350,8	10471,5	12636,7
14,00	9569,9	11979,3	14426,8
15,00	10795,8	13497,8	16232,4
16,00	12027,4	15025,1	18050,5
17,00	13263,5	16559,6	19879,1
18,00	14503,6	18100,1	21716,2
19,00	15746,9	19645,6	23560,7
20,00	7087,2	22420,6	26857,9
21,00	7558,1	13396,7	30173,9
22,00	7986,1	14156,0	22567,4
23,00	8376,9	14849,3	23673,6
24,00	8735,1	15484,9	24687,6

AL CALDÍA MAYOR

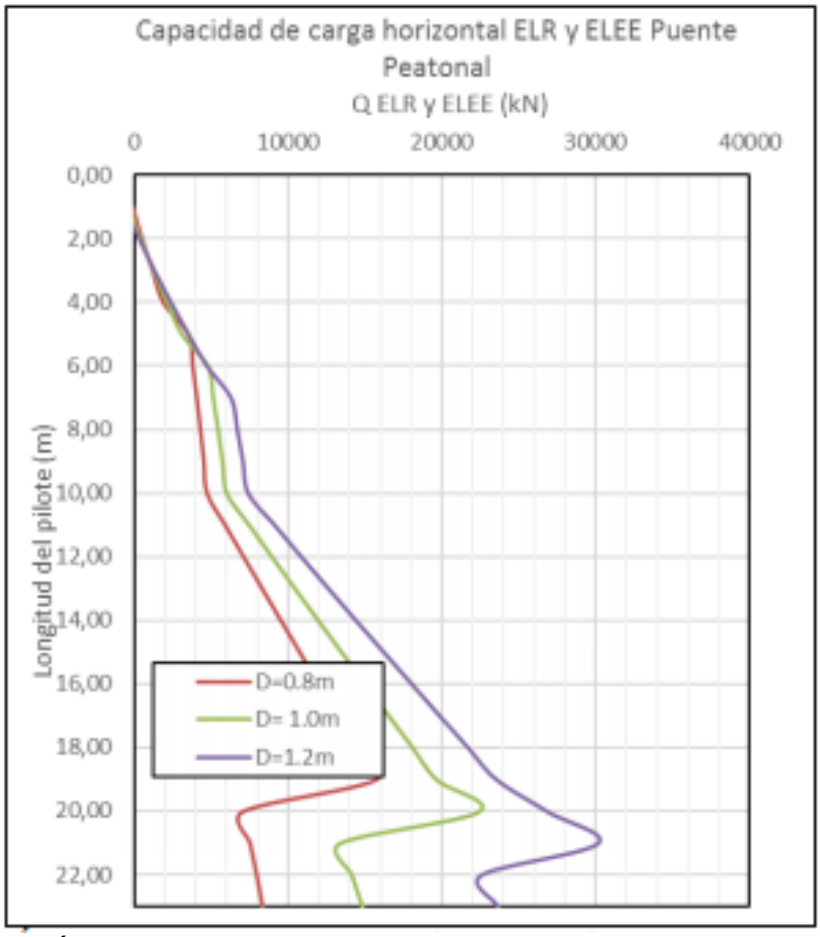


Figura 14-12. Ábaco de carga lateral ejes 1 y 2 (ELR y ELEE) – Puente peatonal 20 de Julio.

Adicionalmente en la Tabla 14-13 se muestran los resultados de capacidad de carga lateral para los diferentes diámetros con respecto a los valores de Estado Límite de Servicio y en la Figura 14-13 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-13. Resumen valores de carga lateral (ELS) - Puente Peatonal Apoyos Eje 1 y 2

LONGITUD m	Carga horizontal ELS para 20 mm(kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1,00	-89,2	-320,7	-635,8
2,00	535,6	460,4	301,5
3,00	1205,2	1297,3	1305,8
4,00	1902,4	2190,2	2377,2
5,00	1902,4	2382,9	3515,7
6,00	1902,4	2382,9	2863,4
7,00	1902,4	2382,9	2863,4
8,00	1902,4	2382,9	2863,4
9,00	2186,7	2740,8	3285,0
10,00	2412,3	3015,3	3613,5
11,00	2579,0	3231,1	3873,4
12,00	2726,1	3412,5	4089,1
13,00	2843,7	3559,6	4265,6
14,00	2941,8	3687,1	4422,5
15,00	3030,1	3794,9	4550,0
16,00	3108,5	3883,2	4657,9
17,00	3167,3	3961,6	4755,9
18,00	3226,2	4040,1	4844,2
19,00	3383,1	4236,2	5079,5
20,00	3520,4	4402,9	5280,5
21,00	3647,8	4559,8	5471,7
22,00	3755,7	4697,1	5638,5
23,00	3853,8	4824,6	5785,5
24,00	3951,8	4932,4	5917,9

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

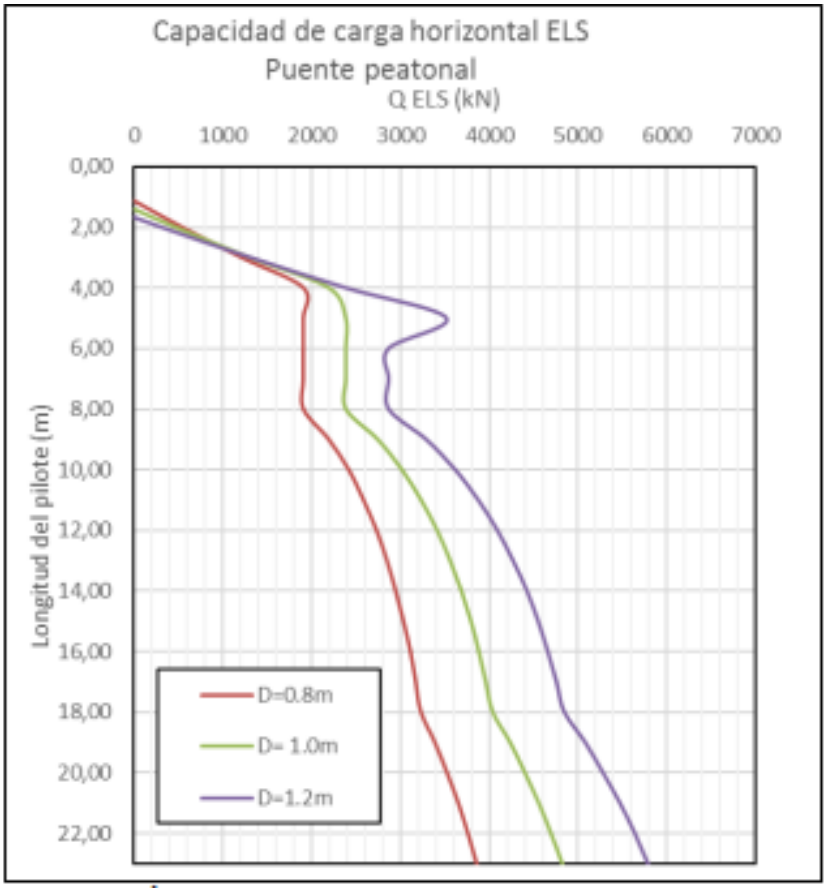


Figura 14-13. Ábaco de carga lateral (ELS) – Puente peatonal 20 de Julio.

14.1.3.2 Módulos de reacción horizontal y vertical Apoyos Ejes 1 y 2

En la Tabla 14-14 y en la Figura 14-14 se presentan los valores de los módulos de reacción que pueden ser utilizados para el modelo estructural.

Tabla 14-14. Módulos de reacción horizontal y vertical apoyos Ejes 1 y 2 – Puente peatonal

Longitud (m)	Diámetro = 0.8 m		Diámetro = 1.0 m		Diámetro = 1.2 m	
	kh (kN/m^3)	kv (kN/m^3)	kh (kN/m^3)	kv (kN/m^3)	kh (kN/m^3)	kv (kN/m^3)
1,00	57785	67983	46228	54386	38524	45322
2,00	57785	67983	46228	54386	38524	45322
3,00	57785	67983	46228	54386	38524	45322
4,00	57785	67983	46228	54386	38524	45322
5,00	57785	67983	46228	54386	38524	45322
6,00	57785	67983	46228	54386	38524	45322
7,00	57785	67983	46228	54386	38524	45322
8,00	57785	67983	46228	54386	38524	45322
9,00	163725	192618	130980	154095	109150	128412

10,00	163725	192618	130980	154095	109150	128412
11,00	163725	192618	130980	154095	109150	128412
12,00	163725	192618	130980	154095	109150	128412
13,00	163725	192618	130980	154095	109150	128412
14,00	163725	192618	130980	154095	109150	128412
15,00	163725	192618	130980	154095	109150	128412
16,00	163725	192618	130980	154095	109150	128412
17,00	163725	192618	130980	154095	109150	128412
18,00	163725	192618	130980	154095	109150	128412
19,00	260034	305923	208027	244739	173356	203949
20,00	260034	305923	208027	244739	173356	203949
21,00	260034	305923	208027	244739	173356	203949
22,00	260034	305923	208027	244739	173356	203949
23,00	260034	305923	208027	244739	173356	203949
24,00	260034	305923	208027	244739	173356	203949

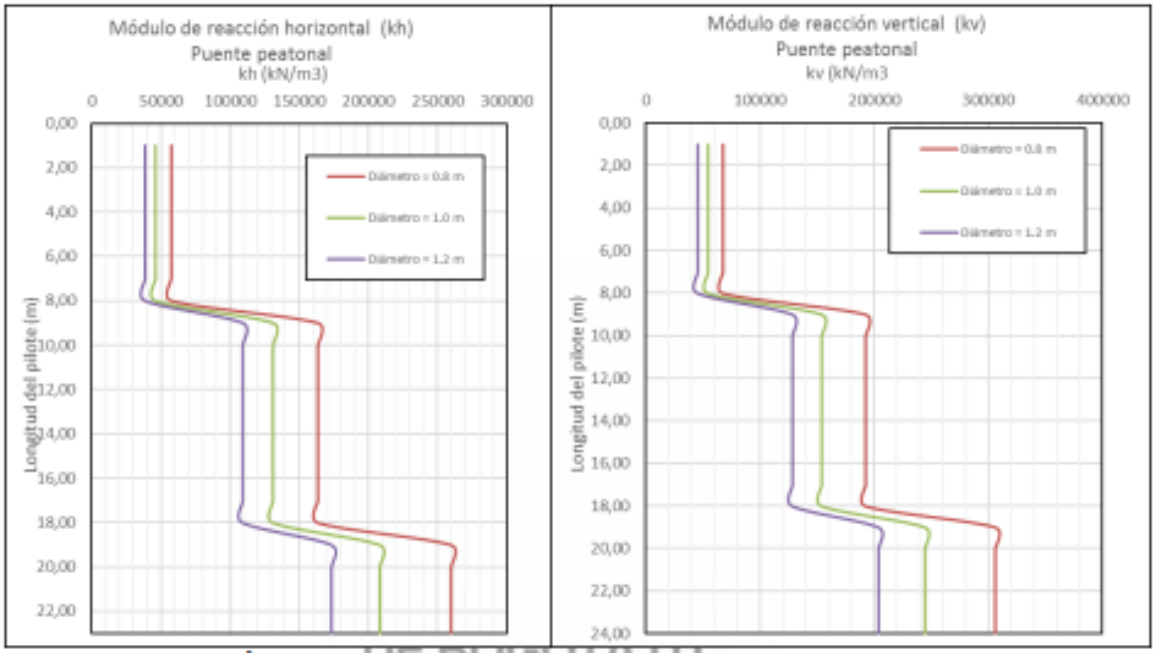


Figura 14-14. Ábaco módulos de reacción horizontal y vertical puente peatonal 20 de julio

14.1.3.3 Capacidad portante Apoyos Ejes 3

Para este apoyo se recomienda que la base del dado quede a una profundidad de 2 m y la profundidad mínima de cimentacion de los pilotes que se recomienda es de 15 m. de la Tabla 14-15 a la

Tabla 14-17 se presentan los valores de capacidad de soporte para los pilotes evaluados y para cada estado limite de análisis. Igualmente de la Figura 14-15 a la Figura 14-17 se incluyen los gráficos de variación de la capacidad de soporte en función de la profundidad.

Tabla 14-15. Capacidad portante pilotes Puente Peatonal Apoyos Eje 3 - ELR

LONGITUD m	Carga axial ELR (kN)			Carga admisible por tracción ELR (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1,00	412,3	634,8	905,0	66,57	86,91	108,73
2,00	465,2	700,9	984,4	174,67	225,73	279,76
3,00	530,9	783,0	1082,9	305,87	393,44	485,44
4,00	566,4	878,6	1197,6	456,76	585,75	720,65
5,00	636,8	986,2	1326,8	625,12	799,90	982,07
6,00	710,6	1099,0	1462,1	800,96	1023,39	1254,70
7,00	787,7	1216,7	1603,3	983,98	1255,86	1538,10
8,00	815,1	1256,8	1631,7	1173,93	1496,99	1831,90
9,00	845,6	1301,5	1665,6	1370,57	1746,49	2135,73
10,00	809,8	1068,2	1349,1	1519,36	1936,19	2367,80
11,00	871,4	1145,3	1441,5	1668,16	2125,88	2599,87
12,00	943,1	1238,0	1556,6	1816,95	2315,57	2831,94
13,00	1014,8	1330,8	1671,7	1965,74	2505,26	3064,00
14,00	1096,8	1436,5	1802,3	2137,59	2723,77	3330,65
15,00	1168,8	1526,5	1910,4	2309,44	2942,27	3597,30
16,00	1240,8	1616,5	2018,4	2481,29	3160,78	3863,94
17,00	1377,9	1808,2	2272,8	2653,13	3379,29	4130,59
18,00	1515,0	1999,9	2527,3	2824,98	3597,79	4397,23
19,00	1666,1	2209,1	2802,7	3027,94	3855,19	4710,55
20,00	1752,1	2316,7	2931,8	3230,90	4112,59	5023,87
21,00	1838,1	2424,2	3060,8	3433,86	4369,99	5337,19
22,00	1924,2	2531,7	3189,8	3636,83	4627,39	5650,51
23,00	2010,2	2639,2	3318,8	3839,79	4884,80	5963,83
24,00	2096,2	2746,7	3447,8	4042,75	5142,20	6277,15

ALCALDÍA MAYOR BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

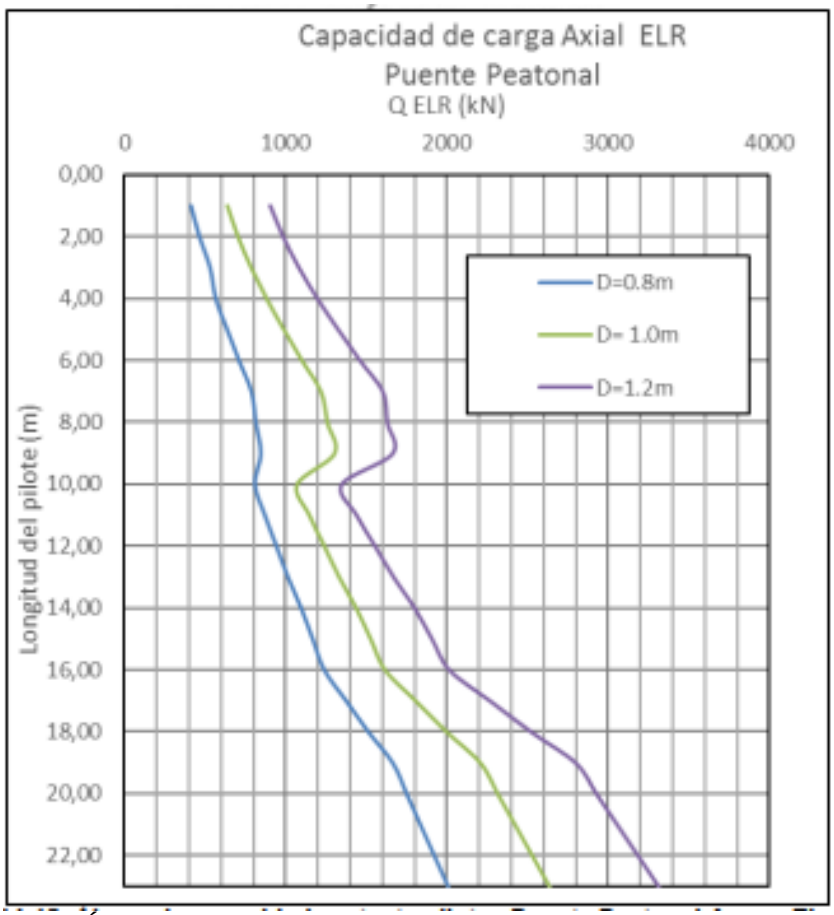


Figura 14-15. Ábaco de capacidad portante pilotes Puente Peatonal Apoyo Eje 3 – ELR

Tabla 14-16. Capacidad portante pilotes Puente Peatonal Apoyos Eje 3 – ELEE

LONGITUD m	Carga axial admisible ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1,00	819,1	1262,7	1801,8
2,00	915,3	1383,0	1946,2
3,00	1034,7	1532,2	2125,3
4,00	1173,7	1706,0	2333,9
5,00	1330,3	1901,7	2568,6
6,00	1494,3	2106,7	2814,7
7,00	1665,5	2320,7	3071,4
8,00	1738,2	2378,7	3101,5
9,00	1817,7	2445,1	3141,7
10,00	1849,2	2451,6	3110,0
11,00	1986,2	2622,8	3315,5
12,00	2148,3	2833,3	3577,5
13,00	2310,4	3043,8	3839,5

LONGITUD m	Carga axial admisible ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
14,00	2495,6	3283,1	4136,1
15,00	2655,6	3483,1	4376,2
16,00	2815,6	3683,2	4616,2
17,00	3138,3	4137,4	5222,3
18,00	3461,1	4591,7	5828,5
19,00	3814,9	5084,9	6481,3
20,00	4006,1	5323,8	6768,0
21,00	4197,2	5562,7	7054,7
22,00	4388,3	5801,6	7341,4
23,00	4579,4	6040,5	7628,1

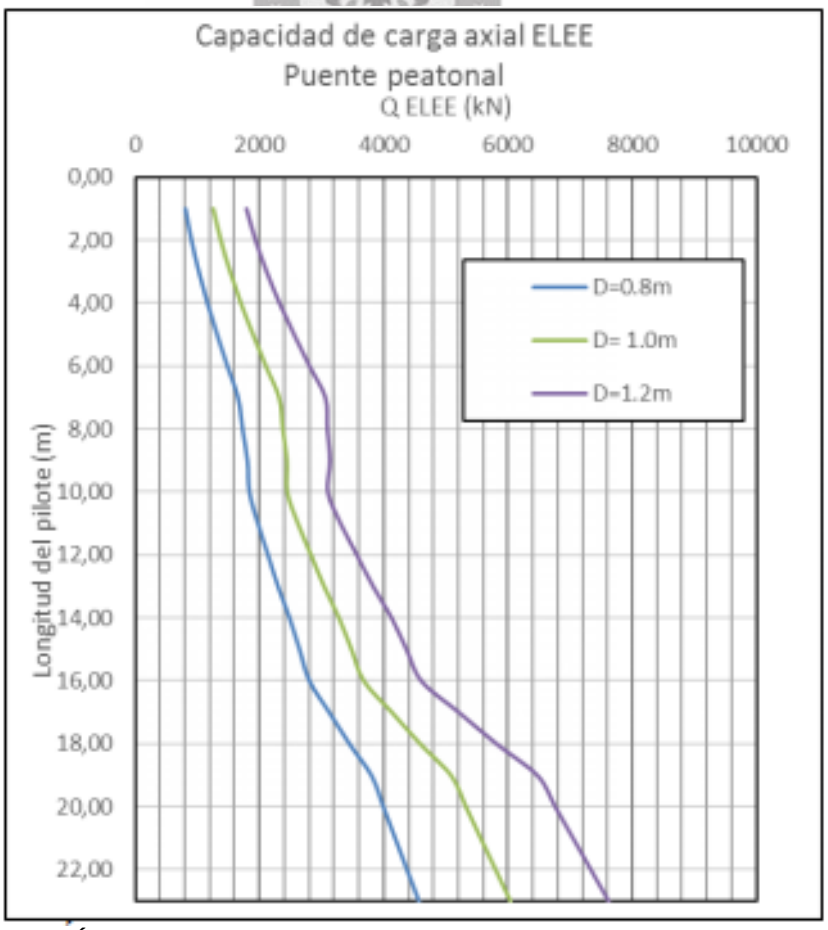


Figura 14-16. Ábaco de capacidad portante pilotes Puente Peatonal Apoyo Eje 3 – ELEE

Tabla 14-17. Capacidad portante pilotes Puente Peatonal Apoyos Eje 3 - ELS

LONGITUD m	Carga admisible axial ELS para 20 mm (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1,00	297,7	365,6	431,0
2,00	345,6	421,3	495,9
3,00	407,4	494,0	581,8
4,00	439,9	581,1	685,1
5,00	505,6	680,9	803,9
6,00	575,0	786,5	929,7
7,00	647,8	897,3	1062,1
8,00	705,5	1018,3	1234,4
9,00	767,7	1146,1	1415,1
10,00	809,8	1068,2	1349,1
11,00	871,4	1145,3	1441,5
12,00	943,1	1238,0	1556,6
13,00	1014,8	1330,8	1671,7
14,00	1096,8	1436,5	1802,3
15,00	1168,8	1526,5	1910,4
16,00	1240,8	1616,5	2018,4
17,00	1377,9	1808,2	2272,8
18,00	1515,0	1999,9	2527,3
19,00	1666,1	2209,1	2802,7
20,00	1752,1	2316,7	2931,8
21,00	1838,1	2424,2	3060,8
22,00	1924,2	2531,7	3189,8
23,00	2010,2	2639,2	3318,8
24,00	2096,2	2746,7	3447,8

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

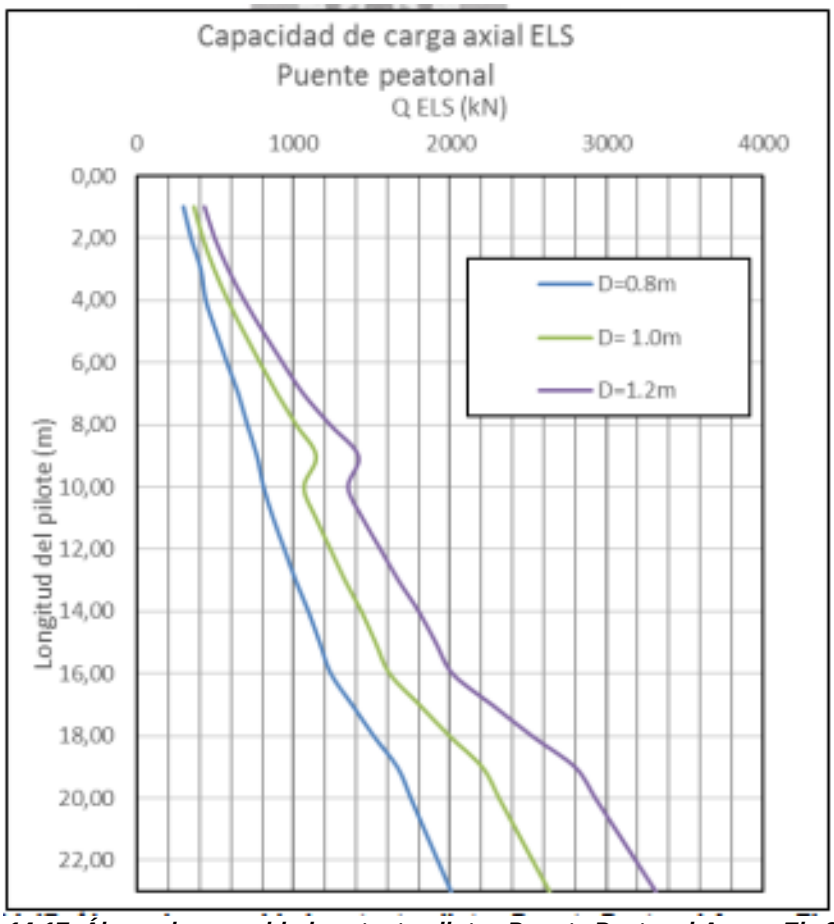


Figura 14-17. Ábaco de capacidad portante pilotes Puente Peatonal Apoyo Eje 3 – ELS

En la Tabla 14-18 se presentan los valores de capacidad de carga lateral para cada uno de los diferentes diámetros, con respecto a los Estados Límite de Resistencia y a los Estados Límite de Evento Extremo y en la Figura 14-18 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-18. Resumen valores de carga lateral (ELR y ELEE) - Puente Peatonal Apoyo Eje 3

LONGITUD m	Carga horizontal ELR y ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1,00	60,3	75,4	90,4
2,00	241,2	301,5	361,8
3,00	542,7	678,3	814,0
4,00	454,0	567,5	1447,1
5,00	3536,5	841,2	1009,4
6,00	3830,0	4809,9	1175,5
7,00	4088,0	5160,3	6283,7
8,00	4323,9	5476,1	6687,7

9,00	4545,1	5768,7	7058,5
10,00	4755,8	6045,2	7405,9
11,00	5941,0	7500,1	9119,9
12,00	7140,4	8977,2	10866,0
13,00	8350,8	10471,5	12636,7
14,00	9569,9	11979,3	14426,8
15,00	10795,8	13497,8	16232,4
16,00	12027,4	15025,1	18050,5
17,00	13263,5	16559,6	19879,1
18,00	14503,6	18100,1	21716,2
19,00	15746,9	19645,6	23560,7
20,00	7087,2	22420,6	26857,9
21,00	7558,1	13396,7	30173,9
22,00	7986,1	14156,0	22567,4
23,00	8376,9	14849,3	23673,6

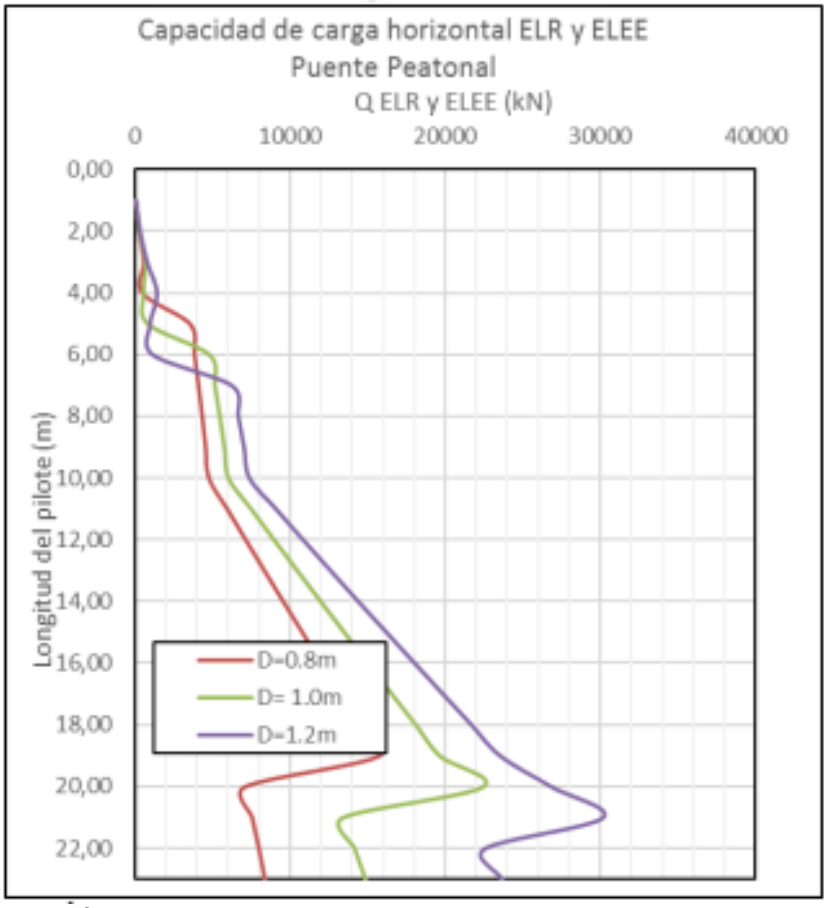


Figura 14-18. Ábaco de carga lateral ejes 3 (ELR y ELEE) – Puente peatonal 20 de Julio.

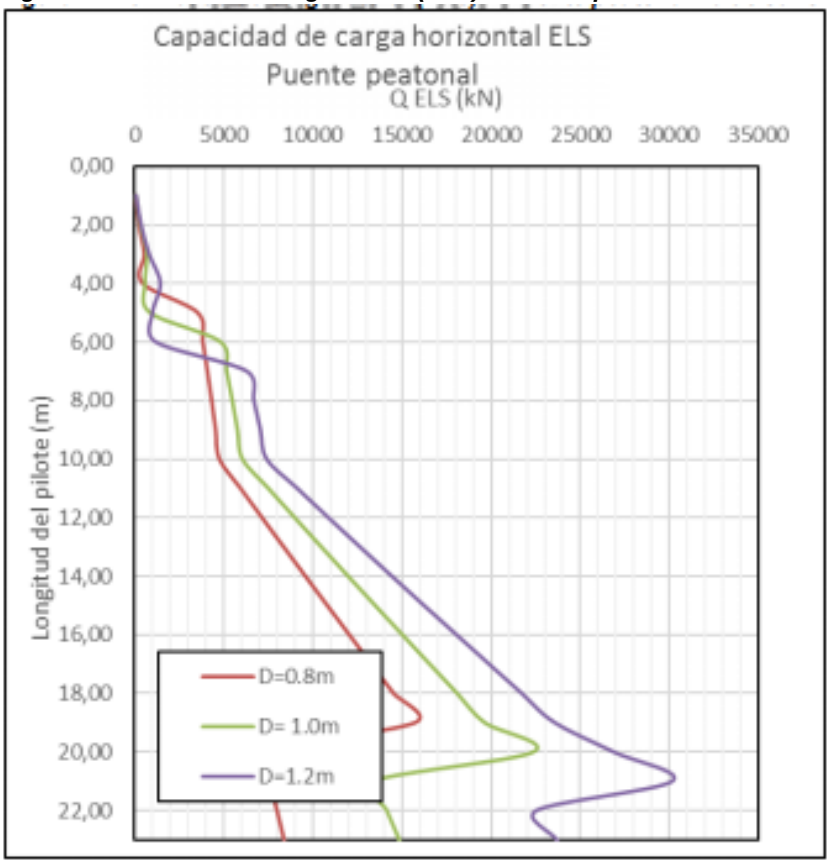
Adicionalmente en la Tabla 14-19 se muestran los resultados de capacidad de carga lateral para los diferentes diámetros con respecto a los valores de Estado Límite de Servicio y en la Figura 14-19 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-19. Resumen valores de carga lateral (ELS) - Puente Peatonal Apoyos Eje 3

LONGITUD m	Carga horizontal ELS para 20 mm(kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1,00	60,3	75,4	90,4
2,00	241,2	301,5	361,8
3,00	542,7	678,3	814,0
4,00	454,0	567,5	1447,1
5,00	3536,5	841,2	1009,4
6,00	3830,0	4809,9	1175,5
7,00	4088,0	5160,3	6283,7
8,00	4323,9	5476,1	6687,7
9,00	4545,1	5768,7	7058,5
10,00	4755,8	6045,2	7405,9
11,00	5941,0	7500,1	9119,9
12,00	7140,4	8977,2	10866,0
13,00	8350,8	10471,5	12636,7
14,00	9569,9	11979,3	14426,8
15,00	10795,8	13497,8	16232,4
16,00	12027,4	15025,1	18050,5
17,00	13263,5	16559,6	19879,1
18,00	14503,6	18100,1	21716,2
19,00	15746,9	19645,6	23560,7
20,00	7087,2	22420,6	26857,9
21,00	7558,1	13396,7	30173,9
22,00	7986,1	14156,0	22567,4
23,00	8376,9	14849,3	23673,6
24,00	8735,1	15484,9	24687,6

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Figura 14-19. Ábaco de carga lateral (ELS) – Puente peatonal 20 de Julio.



14.1.3.4 Módulos de reacción horizontal y vertical Apoyos Ejes 3

Los módulos de reacción horizontal y vertical se encuentran en la Tabla 14-20 y su variación se puede apreciar en la Figura 14-20. Con estos valores se peude generar el modelo estructural de la cimentación si se requiere.

Tabla 14-20. Módulos de reacción horizontal y vertical apoyos Ejes 3 – Puente peatonal

Longitud (m)	Diámetro = 0.8 m		Diámetro = 1.0 m		Diámetro = 1.2 m	
	kh (kN/m^3)	kv (kN/m^3)	kh (kN/m^3)	kv (kN/m^3)	kh (kN/m^3)	kv (kN/m^3)
1,00	24757	29126	19806	23301	16505	19418
2,00	24757	29126	19806	23301	16505	19418
3,00	24757	29126	19806	23301	16505	19418
4,00	24757	29126	19806	23301	16505	19418
5,00	24757	29126	19806	23301	16505	19418
6,00	24757	29126	19806	23301	16505	19418
7,00	24757	29126	19806	23301	16505	19418
8,00	24757	29126	19806	23301	16505	19418
9,00	24757	29126	19806	23301	16505	19418

Longitud (m)	Diámetro = 0.8 m		Diámetro = 1.0 m		Diámetro = 1.2 m	
	kh (kN/m³)	kv (kN/m³)	kh (kN/m³)	kv (kN/m³)	kh (kN/m³)	kv (kN/m³)
10,00	73837	86867	59069	69494	49225	57911
11,00	73837	86867	59069	69494	49225	57911
12,00	73837	86867	59069	69494	49225	57911
13,00	73837	86867	59069	69494	49225	57911
14,00	86678	101974	69342	81580	57785	67983
15,00	86678	101974	69342	81580	57785	67983
16,00	86678	101974	69342	81580	57785	67983
17,00	86678	101974	69342	81580	57785	67983
18,00	86678	101974	69342	81580	57785	67983
19,00	166935	196395	133548	157116	111290	130930
20,00	166935	196395	133548	157116	111290	130930
21,00	166935	196395	133548	157116	111290	130930
22,00	166935	196395	133548	157116	111290	130930
23,00	166935	196395	133548	157116	111290	130930

ALCALDIA MAYOR

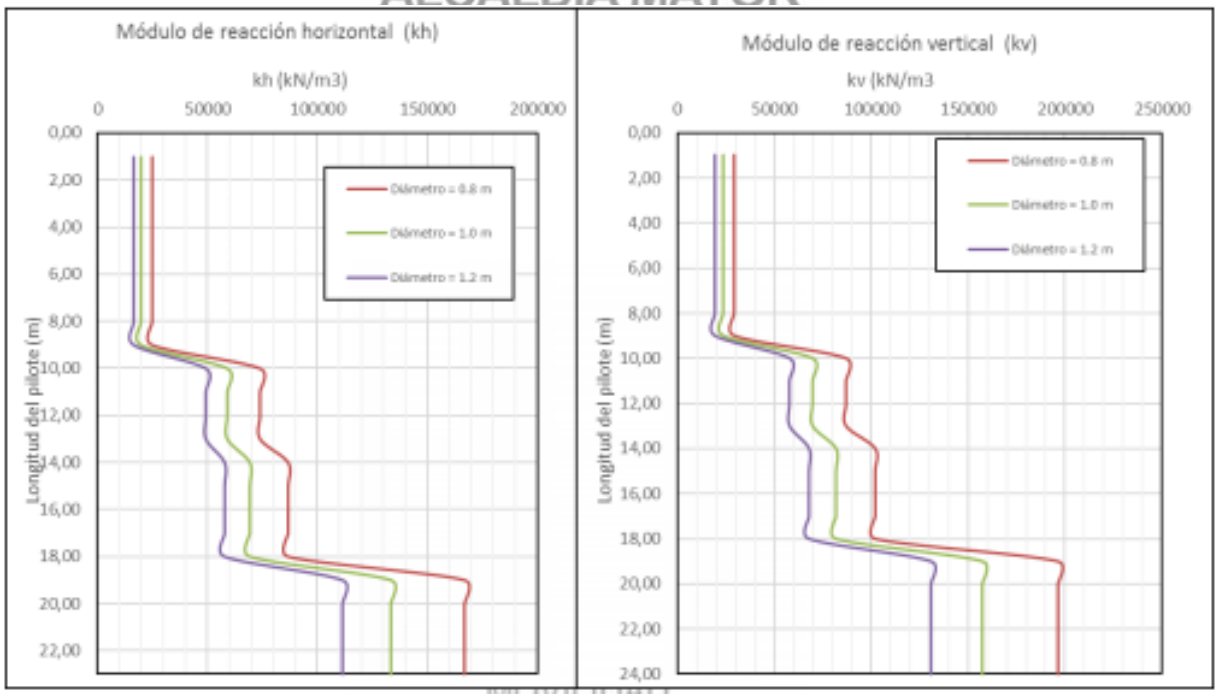


Figura 14-20. Módulos de reacción horizontal y vertical apoyos Ejes 3

14.1.4 Tanque enterrado

De acuerdo con la geometría del tanque enterrado que tendrá 6.0 m de profundidad máxima, ancho de 4.0 m y longitud de 5.75 m, y a partir del perfil estratigráfico típico de la

zona del portal 20 de Julio obtenido de la campaña de exploración geotécnica, se presenta a continuación los empujes y coeficiente de reacción vertical para esta estructura.

14.1.4.1 Capacidad portante, asentamientos y módulo de reacción vertical tanque enterrado

El tanque estará apoyado sobre la capa arcillosa por lo que se aplica la siguiente ecuación:

$$qadm\left(\frac{kN}{m2}\right) = \frac{5.14Cu * \left(1 + \frac{0.195B}{L}\right) * \left(1 + 0.4\frac{Df}{B}\right)}{FS}$$

Tabla 14-21. Capacidad portante -Tanque enterrado estación 20 julio

Cu (kN/m^2)	81.6
B(m)	4
L(m)	5.75
Df(m)	6
FS	3
qu(kN/m^2)	**762.1**
qadm(kN/m^2)	**254.0**

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Para el cálculo de asentamientos y módulo de reacción vertical se acudió a la teoría de elasticidad obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 14-22. Asentamientos y Kv – Tanque enterrado estación 20 de julio

B (m)	L/B	B/L	L(m)	Qadm (kN/m²)	Es (kN/m²)	v	a	ar	Se (cm)	Kv (kN/m^3)
4	1.4375	0.70	5.75	254.0	61214	0.4	1.33	1.1	1.53	**16562.2**

14.1.4.2 Empujes sobre muros de contención.

Para taludes verticales mediante el uso de tablestacas o muros de concreto del tanque, los empujes de tierras son los siguientes:

Tabla 14-23. Empujes tanque enterrado estación 20 de julio

Profundidad (m)	Peso unitario (kN/m^3)	Esf vertical efectivo (kN/m^2)	ϕ (°)	C (kN/m^2)	Ka -	esf activo (kN/m^2)
0	20.6	0	30.47	0	0.327	0.0
3	20.6	61.8	30.47	0	0.327	20.2
5	20.6	83.38	30.47	0	0.327	27.3
6	20.5	94.07	25.5	7	0.398	28.6

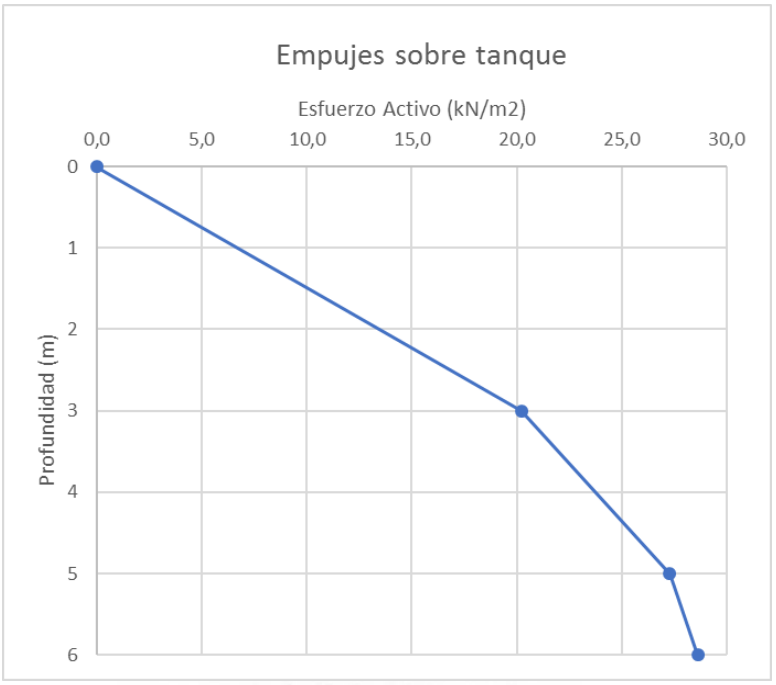


Figura 14-21. Empujes tanque

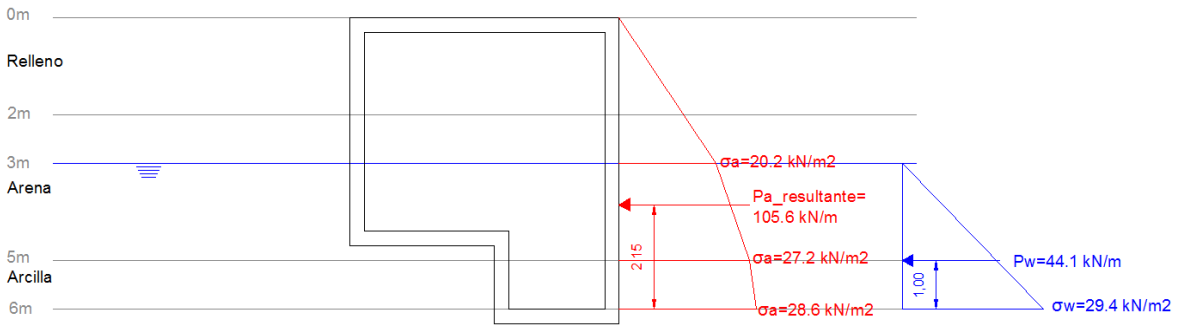


Figura 14-22. Empujes tanque enterrado estación 20 de julio

En el caso de la excavación vertical temporal será necesario el uso de sistemas de entibado temporales para la construción del tanque, en este caso por las caractaristicas de suelos se tiene que la presion horizontal que debe ser soportada por el sistema de entibado de acuerdo con los diagramas de Peck-1969 es Pa=0.3*γ*H, donde γ es el peso unitario del suelo y H la profundidad de la excavación.

En este caso la profundidad maxima de excavacion es de 6 m y gamma se pude tomar de 20 kN/m3, en este caso la presión horizontal por efecto del suelo es de 36 kPa, ahora adoptando un valor de sobre carga por efecto de la maquinaria y materiales de 15 kPa, se tiene que la presión horizontal de diseño del sistema de entibado puede ser de 51 kPa, ene ste caso se puede utilizar un entibado de cajón metálico tipo Krings o similar o una

estrcutura de entibado diseñada por el especialista en estructuras del proyecto de acuerdo con la geommetria y la presion de diseño indicada.

En caso que se tenga espacio suficiente para la excavacion es posible su ejecución sin el uso de entibados utilizando taludes con inclinación no mayor 0.75H;1V entre 0 y 4 m de produndidad. La porción de la excavacion entre 4.0 y 6.0 m de profundidad que corresponde con el foso se debe realizar con un sistema de entibado de cajón metálico tipo Kings o similar o con una estructura de entibado diseñado por el especialista en estructuras, en todo cado el entibado debe tener la capacidad estructural de soportar 51 kPa de presión horizontal.

Los rellenos para las estructuras de contención del tanque deben corresponder con material de suelo seleccionado o con recebo de acuerdo con el Artículo 610 de las especificaciones del INVIAS y su procentaje de compactación debe ser del 95% de la densidad máxima obtenida en el ensayo de Proctor Modificado.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

14.2 ESTACIÓN LA VICTORIA

A partir del perfil geológico-geotécnico establecido en la zona donde se dispondra esta esta estación, se asignaron los parámetros geotécnicos para el cálculo de la capacidad portante para pilotes con diámetros de 0.6, 0.8, 1.0 y 1.2 m.

Para la cimentación, se recomienda que el nivel de de la base cabezal sea de 2.0 m con el fin de pasar el relleno inicial. Adicionalmente por las condiciones del suelo de fundación, la profundidad minima de los pilotes con respecto al nivel actual del terreno debe ser de 10 m con respecto al nivel de la pataforma proyectada donde se presente corte y de minimo 14 m de profundudad con respecto al nivel de terreno actual.

14.2.1.1 Capacidad portante

La capacidad portante se determinó bajo las consideraciones del reglamento NSR-10 y Se limitó la capacidad portante admisible hasta un asentamiento elástico máximo de 25 mm. En el ANEXO D. Memorias de cálculo, se presentan la evaluación detallada de la capacidad portante para pilotes de 0.6, 0.8, 1..0 y 1.2 m de diámetro y hasta 18 m de longitud considerando la profundidad de exploración.

En la Tabla 14-24 se presenta el resumen de los resultados de la capacidad portante para los pilotes analizados y en la Figura 14-23 se muestra la vairiación de la capacidad de soporte con la longitud.

Tabla 14-24. Capacidad portante pilotes Estación La Victoria

Longitud Pilote (m)	Qadm estático(kN)				Qadm dinámico(kN)			
	0.6	0.8	1	1.2	0.6	0.8	1	1.2
1.00	86.6	138.7	202.5	277.9	160.8	260.9	384.2	530.9
2.00	120.9	184.4	259.6	346.5	216.9	335.7	477.7	643.0
3.00	155.2	230.1	316.8	415.0	272.9	410.4	571.2	755.2
4.00	189.4	275.9	373.9	483.6	329.0	485.2	664.7	867.4
5.00	223.7	321.6	431.0	552.1	385.1	560.0	758.2	979.6
6.00	258.0	367.3	488.1	620.7	441.2	634.8	851.6	1091.8
7.00	292.3	413.0	545.3	689.2	497.3	709.6	945.1	1203.9
8.00	326.6	458.7	602.4	757.8	553.4	784.4	1038.6	1316.1
9.00	403.1	578.1	773.4	989.0	692.8	1005.0	1357.9	1751.4
10.00	440.5	628.0	835.7	1063.9	754.0	1086.7	1459.9	1873.9
11.00	477.9	677.8	898.1	1138.7	815.3	1168.3	1562.0	1996.3
12.00	515.3	727.7	960.5	1213.5	876.5	1249.9	1664.0	2118.8
13.00	552.7	777.6	1022.8	1288.4	937.7	1331.6	1766.1	2241.2
14.00	590.2	827.5	1085.2	1363.2	999.0	1413.2	1868.1	2363.7
15.00	627.6	877.4	1147.5	1438.0	1060.2	1494.9	1970.2	2486.1
16.00	773.1	1119.4	1534.0	1973.9	1337.5	1960.7	2711.8	3520.1
17.00	810.5	1169.3	1620.4	2077.4	1398.8	2042.4	2853.0	3689.6
18.00	847.9	1219.2	1706.7	2181.0	1460.0	2124.0	2994.3	3859.2

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

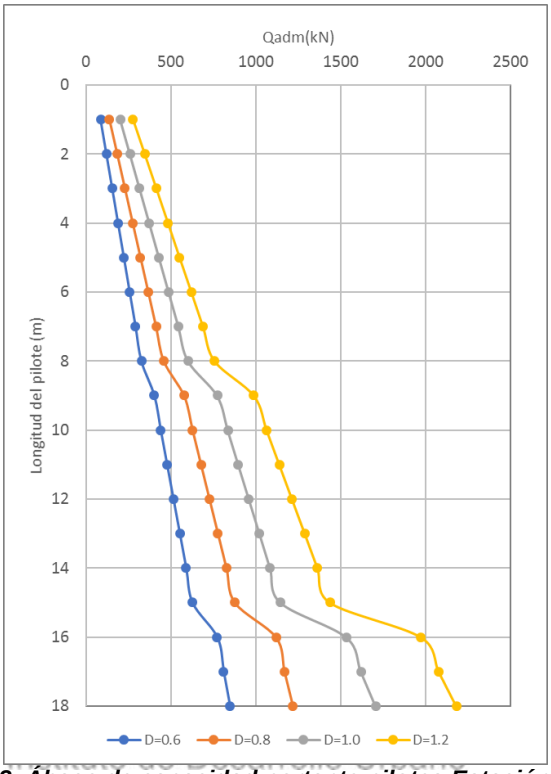


Figura 14-23. Ábaco de capacidad portante pilotes Estación La Victoria

14.2.1.2 Módulo de reacción horizontal

La Tabla 14-25 contiene los valores de los módulos de reacción horizontal y la Figura 14-24 muestra la variación con la profundidad valores que pueden ser utilizados para la elaboración del modelo de diseño estructural.

Tabla 14-25. Módulos de reacción horizontal pilotes Estación La Victoria

Longitud Pilote (m)	Kh(kN/m³)			
	0.6	0.8	1	1.2
1.00	56501.8	42376.4	33901.1	28250.9
2.00	56501.8	42376.4	33901.1	28250.9
3.00	56501.8	42376.4	33901.1	28250.9
4.00	56501.8	42376.4	33901.1	28250.9
5.00	56501.8	42376.4	33901.1	28250.9
6.00	56501.8	42376.4	33901.1	28250.9
7.00	56501.8	42376.4	33901.1	28250.9
8.00	56501.8	42376.4	33901.1	28250.9
9.00	56501.8	42376.4	33901.1	28250.9
10.00	56501.8	42376.4	33901.1	28250.9
11.00	98717.9	74038.5	59230.8	49359.0
12.00	98717.9	74038.5	59230.8	49359.0
13.00	98717.9	74038.5	59230.8	49359.0
14.00	98717.9	74038.5	59230.8	49359.0
15.00	98717.9	74038.5	59230.8	49359.0
16.00	98717.9	74038.5	59230.8	49359.0
17.00	98717.9	74038.5	59230.8	49359.0
18.00	215384.6	161538.5	129230.8	107692.3

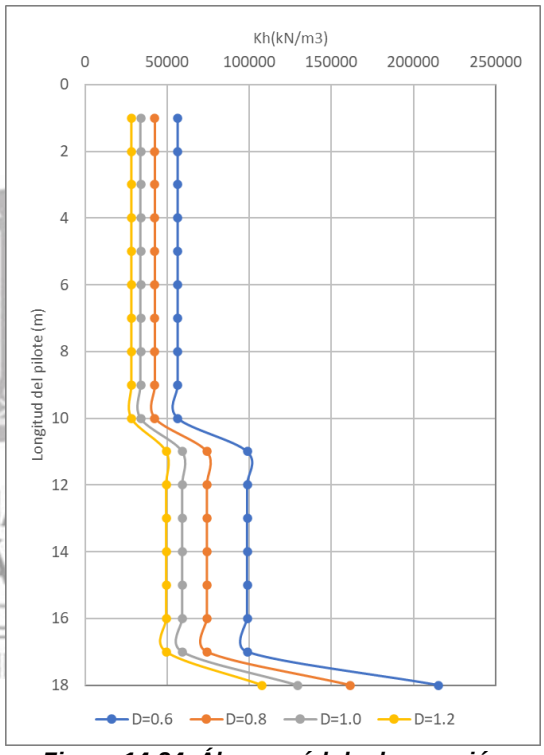


Figura 14-24. Ábaco módulo de reacción horizontal pilotes Estación La Victoria

14.2.1.3 Módulo de reacción vertical

La Tabla 14-26 contiene los valores de los módulos de reacción vertical y la Figura 14-25 muestra la variación con la profundidad valores que pueden ser utilizados para la elaboración del modelo de diseño estructural.

Tabla 14-26. Módulos de reacción vertical pilotes Estación La Victoria

Longitud Pilote (m)	Kv(kN/m³)			
	0.6	0.8	1	1.2
1.00	66472.7	49854.6	39883.6	33236.4
2.00	66472.7	49854.6	39883.6	33236.4
3.00	66472.7	49854.6	39883.6	33236.4
4.00	66472.7	49854.6	39883.6	33236.4
5.00	66472.7	49854.6	39883.6	33236.4
6.00	66472.7	49854.6	39883.6	33236.4
7.00	66472.7	49854.6	39883.6	33236.4
8.00	66472.7	49854.6	39883.6	33236.4
9.00	66472.7	49854.6	39883.6	33236.4
10.00	66472.7	49854.6	39883.6	33236.4
11.00	116138.8	87104.1	69683.3	58069.4
12.00	116138.8	87104.1	69683.3	58069.4
13.00	116138.8	87104.1	69683.3	58069.4
14.00	116138.8	87104.1	69683.3	58069.4
15.00	116138.8	87104.1	69683.3	58069.4
16.00	116138.8	87104.1	69683.3	58069.4
17.00	116138.8	87104.1	69683.3	58069.4
18.00	253393.7	190045.2	152036.2	126696.8

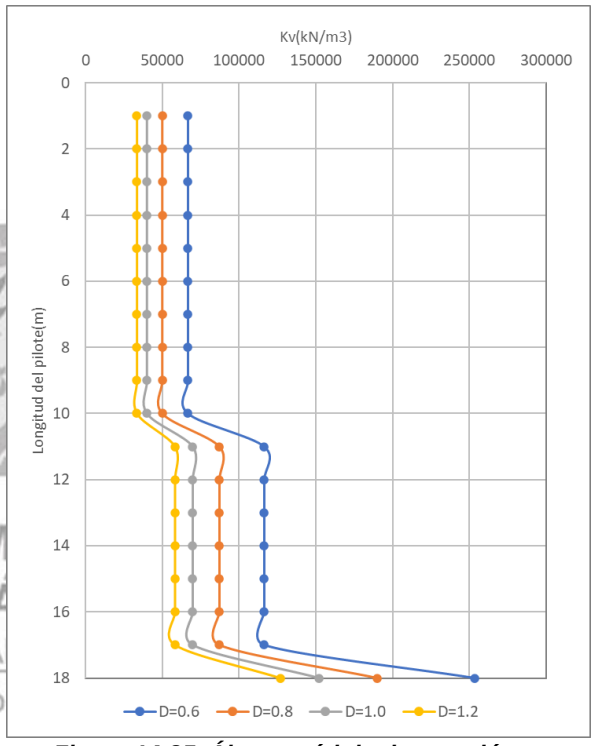


Figura 14-25. Ábaco módulo de reacción horizontal pilotes Estación La Victoria

14.2.1.4 Recomendación de cimentación

De acuerdo con las variaciones de las profundidades del nivel del suelo duro, el uso de cimentación superficial debe limitarse por asentamientos diferenciales. Para el caso de cimientos profundos, se aprecia que para el área de influencia de cada sondeo, la profundidad mínima de apoyo de la base de pilotes es variable; sin embargo, es dificil definir con precisión el área que puede aplicarse a cada sondeo, en este caso por seguridad y homogeneidad en el diseño de la cimentación.

Se recomienda prever que la profundidad minima de cimentación con respecto a la plataforma de diseño de la estación (nivel de rasante final), quede a 10 m, tomando en consideracion que el nivel de rasante se aproxima al nivel de terreno en el área de influencia del sondeo P2EV, como punto más bajo, y, que en los puntos más altos, se requiere excavación del orden de 5 a 6 m.

14.2.1.5 Tanque enterrado

De acuerdo con la geometría del tanque enterrado que tendrá 5.0 m de profundidad, ancho de 3.5 m y longitud de 8.7 m, y a partir del perfil estratigráfico típico de la zona en donde se proyecta la estación La Victoria obtenido de la campaña de exploración geotécnica, se presenta a continuación los empujes y coeficiente de reacción vertical para esta estructura.

14.2.1.6 Capacidad portante, asentamientos y módulo de reacción vertical tanque enterrado

El tanque estará apoyado sobre la capa arcillosa por lo que se aplica la siguiente ecuación:

$$qadm\left(\frac{kN}{m2}\right) = \frac{5.14Cu * \left(1 + \frac{0.195B}{L}\right) * \left(1 + 0.4\frac{Df}{B}\right)}{FS}$$

Tabla 14-27. Capacidad portante -Tanque enterrado estación La Victoria

Cu (kN/m²)	62
B(m)	3.5
L(m)	8.7
Df(m)	5.3
FS	3
qu(kN/m²)	**551.9**
qadm(kN/m²)	**184**

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Para el cálculo de asentamientos y módulo de reacción vertical se acudió a la teoría de elasticidad obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 14-28. Asentamientos y Kv – Tanque enterrado estación La Victoria

B (m)	L/B	B/L	L(m)	Qadm (kN/m²)	Es (kN/m²)	v	a	ar	Se (cm)	Kv (kN/m³)
3.5	2.48	0.40	8.7	184	30850	0.4	1.67	1.1	1.93	**9539.3**

14.2.1.7 Empujes

Para taludes verticales mediante el uso de tablestacas o similares, los empujes son los siguientes:

Tabla 14-29. Empujes tanque enterrado estación La Victoria

Profundidad	Peso unitario	Esf vertical	Phi	C	Ka	Esf activo	Presión hidroestática
(m)	(kN/m3)	efectivo (kN/m2)	°	(kN/m2)	-	(kN/m2)	(kN/m2)
0	19.5	0	30	0	0.333	0.0	0
2	19.5	39	30	0	0.333	13.0	0
2	19.5	39	24	0	0.422	16.4	0
4	20.6	62.78	24	0	0.422	26.5	19.6
5	20.6	73.57	24	0	0.422	31.0	29.4

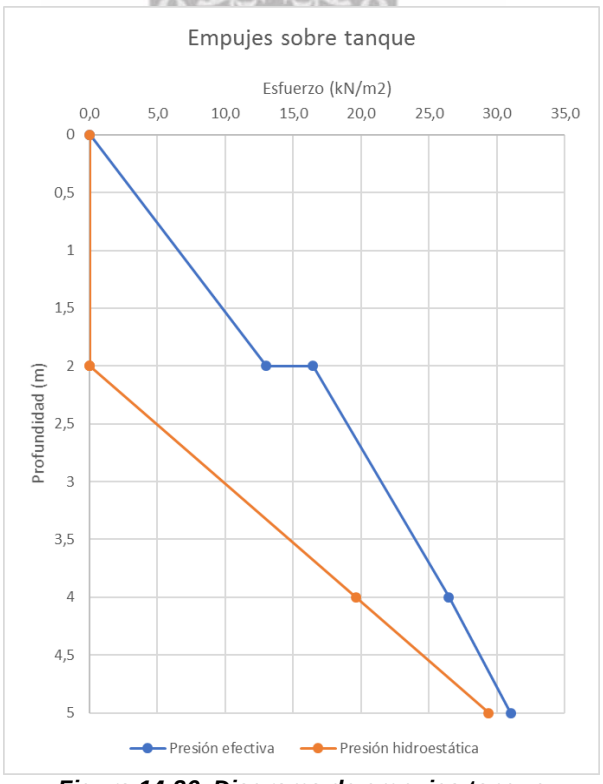


Figura 14-26. Diagrama de empujes tanque

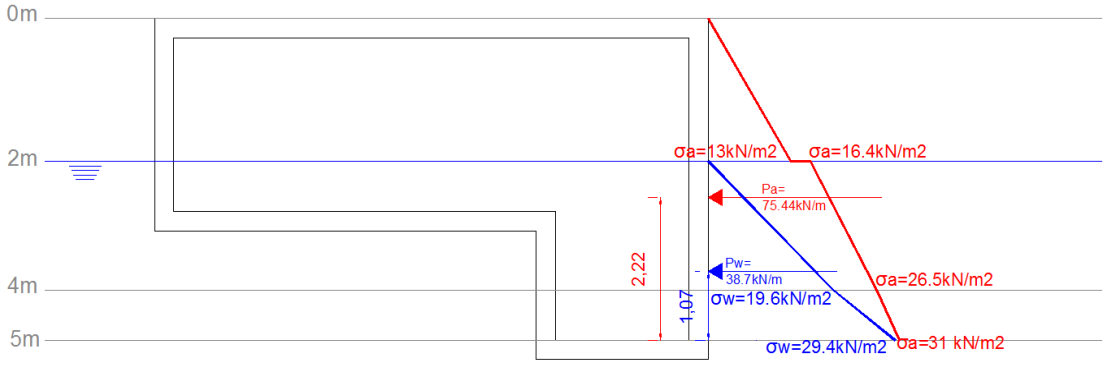


Figura 14-27. Empujes tanque enterrado estación La Victoria

En el caso de la excavación vertical temporal será necesario el uso de sistemas de entibado temporales para la construción del tanque, en este caso por las caractaristicas de suelos se tiene que la presion horizontal que debe ser soportada por el sistema de entibado de acuerdo con los diagramas de Peck-1969 es Pa=0.3*γ*H, donde γ es el peso unitario del suelo y H la profundidad de la excavación.

En este caso la profundidad maxima de excavacion es de 6 m y gamma se pude tomar de 20 kN/m3, en este caso la presión horizontal por efecto del suelo es de 30 kPa, ahora adoptando un valor de sobre carga por efecto de la maquinaria y materiales de 15 kPa, se tiene que la presión horizontal de diseño del sistema de entibado puede ser de 45 kPa, en este caso se puede utilizar un entibado de cajón metálico tipo Krings o similar o una estructura de entibado diseñada por el especialista en estructuras del proyecto de acuerdo con la geometria y la presion de diseño indicada.

En caso que se tenga espacio suficiente para la excavacion es posible su ejecución sin el uso de entibados utilizando taludes con inclinación no mayor 0.75H;1V entre 0 y 4 m de produndidad. La porción de la excavacion entre 4.0 y 6.0 m de profundidad que corresponde con el foso se debe realizar con un sistema de entibado de cajón metálico tipo Kings o similar o con una estructura de entibado diseñado por el especialista en estructuras, en todo cado el entibado debe tener la capacidad estructural de soportar 45 kPa de presión horizontal.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Los rellenos para las estructuras de contención del tanque deben corresponder con material de suelo seleccionado o con recebo de acuerdo con el Artículo 610 de las especificaciones del INVIAS y su procentaje de compactación debe ser del 95% de la densidad máxima obtenida en el ensayo de Proctor Modificado.

14.2.1.8 Recomendaciones de cimentación para obras menores

14.2.1.8.1 Capacidad de carga y asentamientos obras de urbanismo.

A partir del diseño de urbanismo se logro identificar la presencia de estructuras menores (muros, bordillos, alcorques, etc) en la zona donde se dispondra la estación La Victoria. Estos deberán ser apoyados por medio de cimientos superficiales con una profundidad de desplante minima de 0.5m, apoyado sobre el material denominado como arcilla de color gris de consistencia firme, garantizando que los cimientos no quedaran apoyados sobre rellenos antropicos, en dado caso que se evidencie este tipo de material, deberá ser retirado y dispuesto un material de relleno seleccionado compactado al 95%.

Para los muros de contención con alturas de hasta 3.0 m, se incluye en el ANEXO D. memorias de cálculo, el predimensionamiento de estos muros y la evaluación de los factores de seguridad al deslizamiento y volcamiento.

Según el perfil estratigráfico típico de la zona en donde se proyecta la estación La Victoria, obtenido de la campaña de exploración geotécnica, se presenta a continuación la capacidad de carga y asentamientos.

El análisis de resistencia se realizó mediante la ecuación general de capacidad portante. Los factores de capacidad portante y los factores de corrección por forma, profundidad de cimentación, excentricidad e inclinación de la carga, fueron establecidos mediante las propuestas de Meyerhoff (1963), Hansen y Vesic (1970) y Chen (1975).

Para el cálculo de la capacidad portante de cimentaciones superficiales se utilizó la ecuación general de capacidad portante.

$$\sigma_{adm} = \frac{1}{F.S.}\left(cN_c s_c d_c + qN_q s_q d_q + \frac{1}{2}\gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma\right)$$

Con el fin de considerar la incidencia de la geometría de la fundación y la profundidad de desplante se llevó a cabo un análisis de sensibilidad en el cual se contemplaron diferentes dimensiones de cimiento y relaciones ancho/largo (B/L). Los valores presentados a continuación corresponden a la capacidad de carga del cimiento superficial. Para propositos del diseño se toma una capacidad de carga de 138 kPa.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD

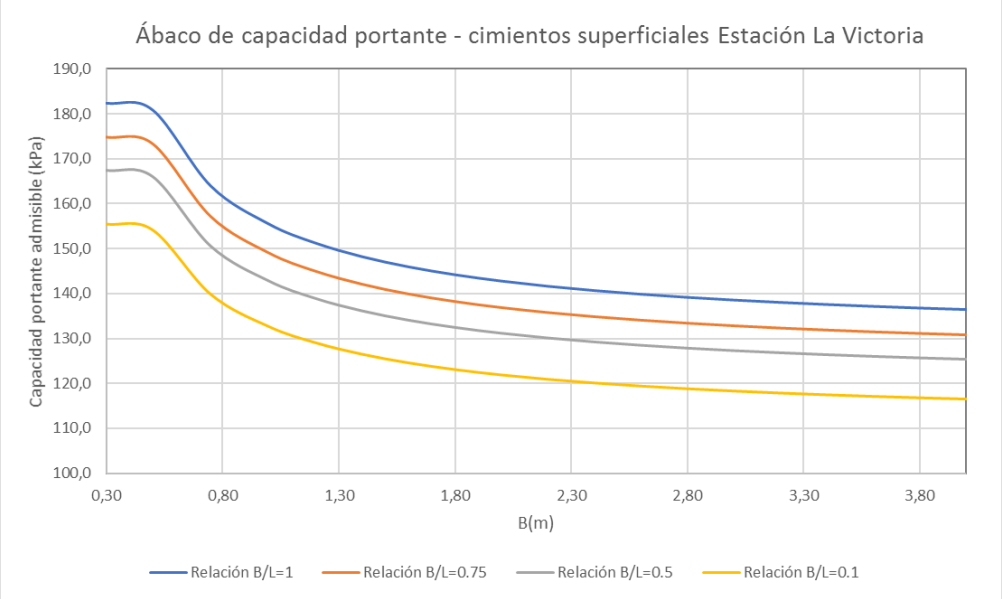


Figura 14-28. Capacidad de carga para cimientos superficiales Estación La Victoria

El análisis de asentamientos se llevó a cabo mediante la Teoría Elástica y fue realizado de acuerdo con las propuestas existentes, fundamentadas en correlaciones entre el módulo de elasticidad, la relación de Poisson del material de fundación y coeficientes en función de la geometría del cimiento.

Con base en lo anterior, han sido determinados los asentamientos elásticos máximos esperados para las estructuras menoras proyectadas en la zona donde se dispondrá la Estación La Victoria.

Tabla 14-30. Asentamientos cimientos superficiales Estación La Victoria

Estación	Asentamiento maximo esperado (cm)
La Victoria	1.63

14.2.1.8.2 Coeficientes de presión de tierras

Para el diseño de los elementos estructurales que soportan la acción de cargas generadas por los materiales de relleno, han sido realizados los análisis de esfuerzos laterales, los cuales fueron evaluados mediante la teoría clásica de Rankine.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

De la misma forma con base en la formulación pseudo-estática propuesta por Mononobe – Okabe, fueron determinados los coeficientes de presión de tierras para condición dinámica.

De acuerdo a lo anterior, se recomienda utilizar diagramas de presiones laterales triangulares, propias de suelos friccionantes, considerando los siguientes parámetros:

Tabla 14-31. Coeficientes de presión de tierras

Aceleración Aa	0,22
Peso unitario del material de relleno	19 kN/m3
Ángulo de fricción interno	32°
Coeficiente de presión activa (Ka)	0,30
Coeficiente de presión activo dinámico (Kae)	0,40

Se recomiendan materiales de relleno tipo seleccionado, los cuales deberán seleccionarse de acuerdo con los lineamientos establecidos por el artículo No. 610 del INVIAS.

Recomendaciones

- Para los muros de contención se deben incluir filtros en el trasdós, esto con el fin de que se evacuen las aguas residuales hacia los sistemas de drenajes, para evitar la acumulación de estas en la cara del muro, las cuales pueden ocasionar afectaciones a la estructura.
- Las caras de los cortes y la base de fundación de los cimientos, deberán ser protegidos con mortero para evitar la degradación de estas por presencia de aguas superficiales.

14.3 ESTACIÓN ALTAMIRA

A partir del perfil geologico-geotécnico establecido en la zona donde se dispondra esta esta estación, se asignaron los parámetros geotécnicos para el cálculo de la capacidad portante para pilotes con diámetros de 0.6, 0.8, 1.0 y 1.2 m.

Para la cimentación, se recomienda que el nivel de cabezal sea de 2.0 m con el fin de pasar el relleno inicial.

14.3.1.1 Capacidad portante

Se limitó la capacidad portante admisible hasta un asentamiento elástico máximo de 25 mm.

Tabla 14-32. Capacidad portante pilotes Estación Altamira

Longitud Pilote (m)	Qadm estático(kN)				Qadm dinámico(kN)			
	0.6	0.8	1	1.2	0.6	0.8	1	1.2
1.00	62.5	98.0	140.9	191.2	114.3	181.8	264.0	360.9
2.00	91.9	137.3	190.0	250.0	162.5	246.0	344.3	457.2
3.00	121.3	176.5	239.0	308.9	210.6	310.2	424.5	553.5
4.00	174.8	256.3	349.4	454.1	305.0	453.1	624.5	819.0
5.00	209.0	301.9	406.5	522.6	361.1	527.9	717.9	931.2
6.00	243.3	347.6	463.6	591.1	417.1	602.6	811.3	1043.3
7.00	277.6	393.3	520.7	659.6	473.2	677.4	904.8	1155.4
8.00	311.8	439.0	577.8	728.2	529.3	752.1	998.2	1267.6
9.00	346.1	484.7	634.9	796.7	585.3	826.9	1091.7	1379.7
10.00	380.4	530.4	692.0	865.2	641.4	901.7	1185.1	1491.8
11.00	414.6	576.1	749.1	933.8	697.5	976.4	1278.6	1604.0
12.00	643.2	957.1	1320.8	1734.3	1133.9	1711.0	2387.5	3163.6
13.00	700.1	1033.0	1415.6	1848.0	1227.0	1835.1	2542.7	3349.8
14.00	757.0	1108.8	1510.4	1961.8	1320.1	1959.2	2697.8	3536.0
15.00	813.9	1184.7	1605.3	2075.6	1413.2	2083.3	2853.0	3722.2
16.00	870.8	1260.5	1700.1	2189.4	1506.3	2207.5	3008.1	3908.4
17.00	927.7	1336.4	1794.9	2303.2	1599.4	2331.6	3163.3	4094.5
18.00	984.5	1412.2	1889.7	2416.9	1692.5	2455.7	3318.5	4280.7

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

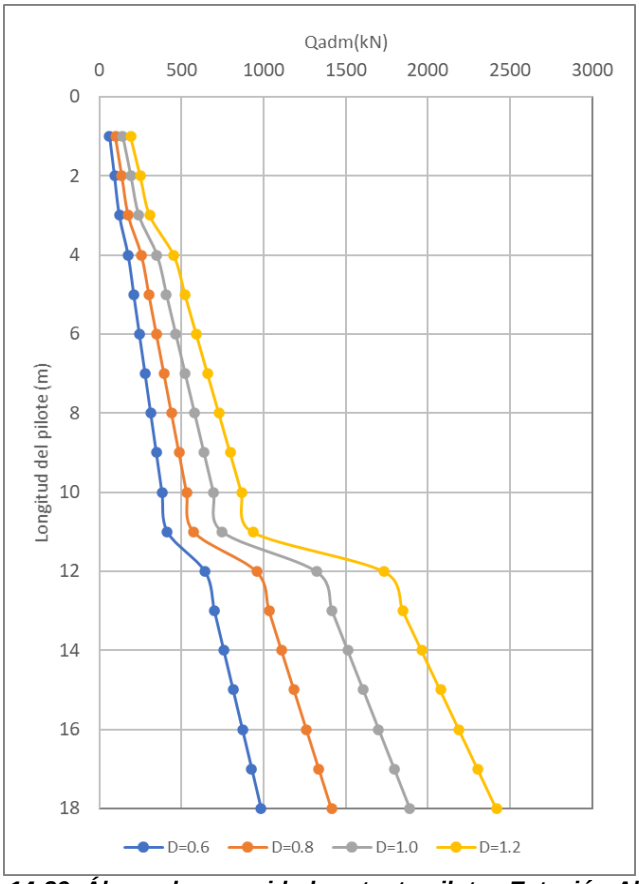


Figura 14-29. Ábaco de capacidad portante pilotes Estación Altamira

14.3.1.2 Módulo de reacción horizontal

Tabla 14-33. Módulos de reacción horizontal pilotes Estación Altamira

Longitud Pilote (m)	Kh(kN/m3)			
	0.6	0.8	1	1.2
1.00	38492.1	28869.0	23095.2	19246.0
2.00	38492.1	28869.0	23095.2	19246.0
3.00	38492.1	28869.0	23095.2	19246.0
4.00	38492.1	28869.0	23095.2	19246.0
5.00	38492.1	28869.0	23095.2	19246.0
6.00	61210.3	45907.7	36726.2	30605.2
7.00	61210.3	45907.7	36726.2	30605.2
8.00	61210.3	45907.7	36726.2	30605.2
9.00	61210.3	45907.7	36726.2	30605.2
10.00	61210.3	45907.7	36726.2	30605.2

Longitud Pilote (m)	Kh(kN/m3)			
	0.6	0.8	1	1.2
11.00	61210.3	45907.7	36726.2	30605.2
12.00	61210.3	45907.7	36726.2	30605.2
13.00	261904.8	196428.6	157142.9	130952.4
14.00	261904.8	196428.6	157142.9	130952.4
15.00	261904.8	196428.6	157142.9	130952.4
16.00	261904.8	196428.6	157142.9	130952.4
17.00	261904.8	196428.6	157142.9	130952.4
18.00	261904.8	196428.6	157142.9	130952.4

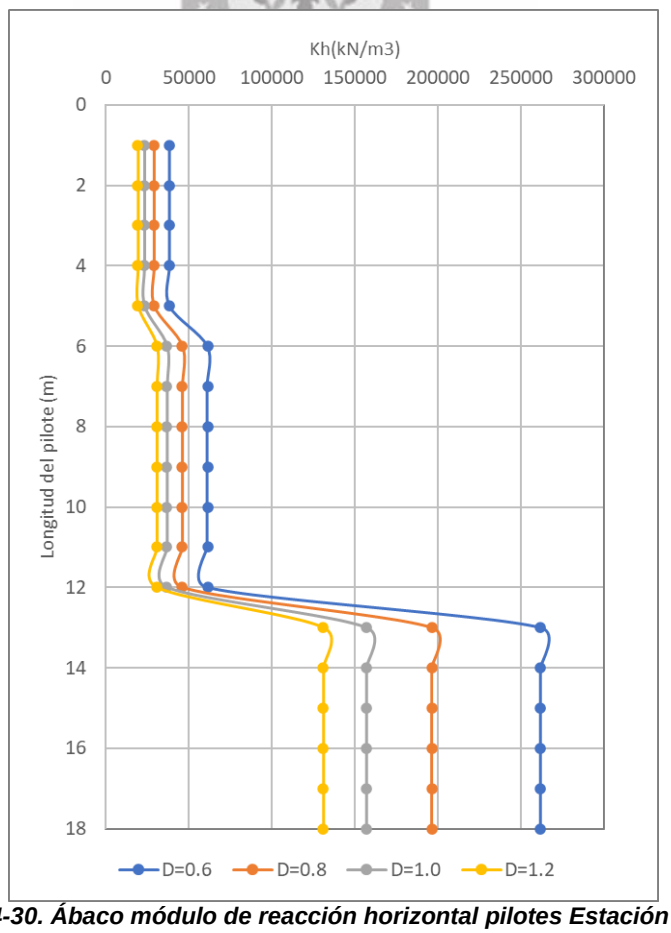


Figura 14-30. Ábaco módulo de reacción horizontal pilotes Estación Altamira

14.3.1.3 Módulo de reacción vertical

Tabla 14-34. Módulos de reacción vertical pilotes Estación Altamira

Longitud Pilote (m)	Kv(kN/m3)			
	0.6	0.8	1	1.2
1.00	45284.8	33963.6	27170.9	22642.4
2.00	45284.8	33963.6	27170.9	22642.4
3.00	45284.8	33963.6	27170.9	22642.4
4.00	45284.8	33963.6	27170.9	22642.4
5.00	45284.8	33963.6	27170.9	22642.4
6.00	72012.1	54009.1	43207.3	36006.1
7.00	72012.1	54009.1	43207.3	36006.1
8.00	72012.1	54009.1	43207.3	36006.1
9.00	72012.1	54009.1	43207.3	36006.1
10.00	72012.1	54009.1	43207.3	36006.1
11.00	72012.1	54009.1	43207.3	36006.1
12.00	72012.1	54009.1	43207.3	36006.1
13.00	308123.2	231092.4	184873.9	154061.6
14.00	308123.2	231092.4	184873.9	154061.6
15.00	308123.2	231092.4	184873.9	154061.6
16.00	308123.2	231092.4	184873.9	154061.6
17.00	308123.2	231092.4	184873.9	154061.6
18.00	308123.2	231092.4	184873.9	154061.6

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

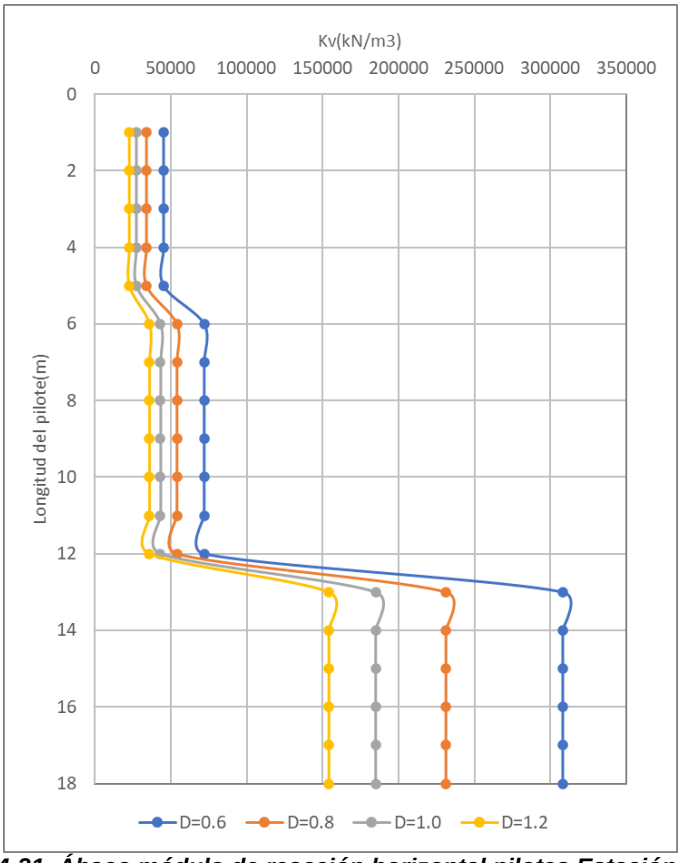


Figura 14-31. Ábaco módulo de reacción horizontal pilotes Estación Altamira

14.3.1.4 Recomendación de cimentación

De acuerdo con las variaciones de las profundidades del nivel de suelos duro, el uso de cimentación superficial debe limitarse por asentamientos diferenciales. Para el caso de cimientos profundos, se aprecia que para el área de influencia de cada sondeo la profundidad mínima de apoyo de la base de pilotes es variable; sin embargo, es difícil definir con precisión el área que puede aplicarse a cada sondeo, en este caso por seguridad y homogeneidad en el diseño de la cimentación

Se recomienda prever que la profundidad mínima de cimentación con respecto a la plataforma de diseño de la estación (nivel de rasante final) quede a 17 m tomando en consideración que el nivel de rasante se aproxima al nivel de terreno en el área de influencia del sondeo P2AL como punto más bajo y que en los puntos más altos se requiere excavación del orden de 7 m.

14.3.1.5 Empujes

A partir de la implantación de la estructura proyectada en la zona, se vio la necesidad de generar excavaciones con profundidades máximas de 7.0 m de altura, las cuales se desarrollarán hacia el costado noreste de la estación. Con el fin de contener dichas excavaciones, se ha concebido la implantación de una pantalla en concreto cimentada sobre pilotes con un diámetro de 0.6m y separados cada 1.8 m, empotrados 6 m con respecto a al nivel mínimo de excavación. Es importante mencionar que se ha optado por esta alternativa de contención y la distribución de los elementos de cimentación debido a que esta zona se encuentra muy cerca a la vía existente, lo que impide considerar los cortes de las excavaciones con algún grado de inclinación.

Cabe mencionar que los muros laterales perimetrales que sean de menor altura deberán ser implantados por medio de excavaciones con pendiente 1H:2V y los empujes serán dominados por las propiedades de rellenos granulares seleccionados y compactados.

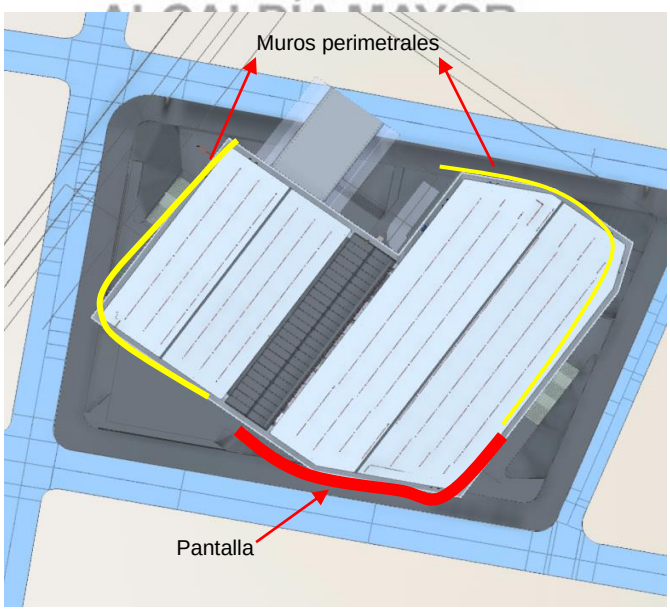


Figura 14-32. Localización estructuras de contención Estación Altamira

En la Tabla 14-35 se presentan los empujes generados sobre la pantalla y en la Figura 14-33 se presentan los diagramas de presiones correspondientes.

Tabla 14-35. Empujes Pantalla Estación Altamira.

Profundidad	γ	σ_v	μ	$\sigma_{v'}$	φ	Ka	Kae	$\sigma_{h'\ estático}$	$\sigma_{h'\ sismo}$	$\sigma_{hidroestática}$
m	kN/m3	kN/m2	kN/m2	kN/m2	°	-	-	kN/m2	kN/m2	kN/m2
0	19.5	0	0	0	32	0.31	0.40	0.00	0	0
1	19.5	19.5	0	19.5	32	0.31	0.40	5.99	7.80	0

Profundidad	γ	σ_v	μ	$\sigma_{v'}$	φ	Ka	Kae	$\sigma_{h' estático}$	$\sigma_{h' sismo}$	$\sigma_{hidroestática}$
2	19.5	39	0	39	32	0.31	0.40	11.98	15.60	0
2	19.5	39	0	39	31	0.32	0.42	12.48	16.38	0
3	19.5	58.5	0	58.5	31	0.32	0.42	18.73	24.57	0
4	19.5	78	9.8	68.1	31	0.32	0.42	21.83	28.64	9.81
5	19.5	97.5	19.6	77.8	31	0.32	0.42	24.94	32.68	19.62
5	19.5	97.5	19.6	77.8	21	0.5	0.47	36.80	46.01	19.62
6	19.5	117	29.4	87.57	21	0.5	0.47	41.38	51.74	29.43
7	19.5	136.5	39.2	97.3	21	0.5	0.47	45.96	57.47	39.24

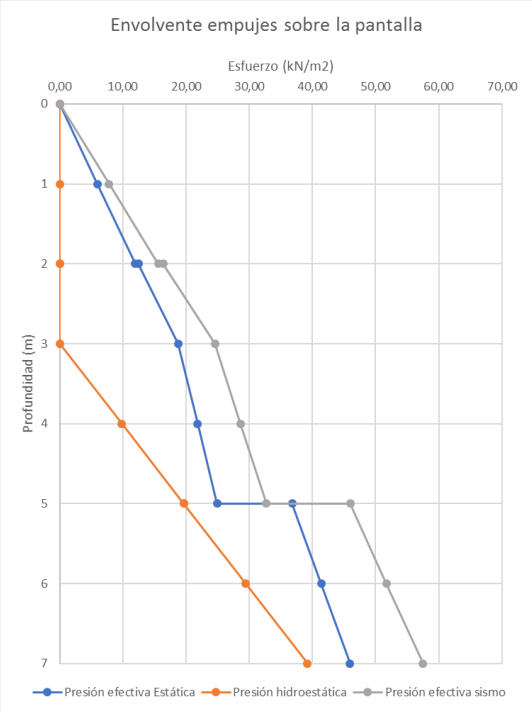


Figura 14-33. Envolvente empujes pantalla

14.3.1.6 Análisis excavaciones y pantalla de contención

Con el fin de determinar la distribución de la cimentación para la pantalla proyectada, se realizó un análisis de las excavaciones proyectadas por medio del software Plaxis 8.5, en donde se analizaron las etapas de construcción considerando la sobrecarga vehicular y de las viviendas cercanas, a partir de dicho análisis se determinó la necesidad de incluir la pantalla de pilotes en la zona donde la excavación presenta altura hasta de 7,0 m. A continuación se presentan dichos análisis.

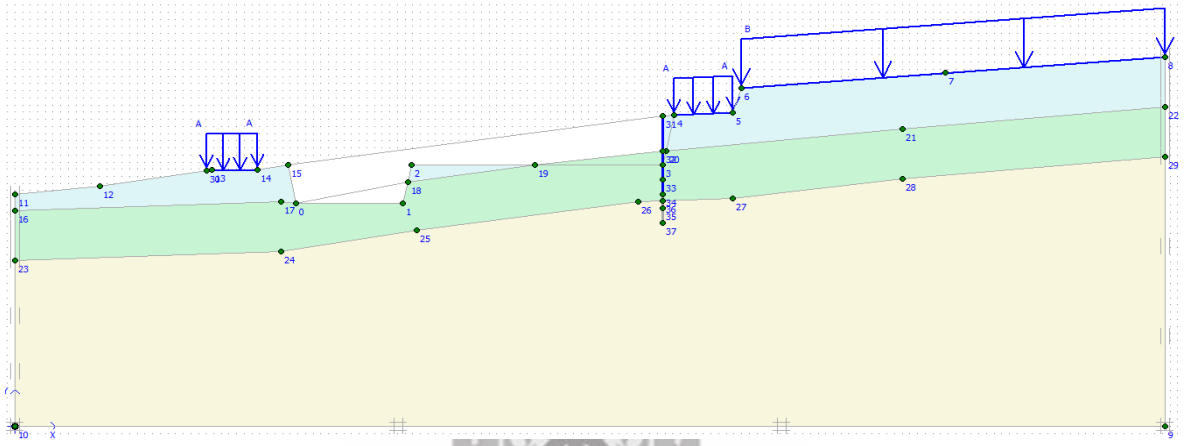


Figura 14-34. Sección de análisis Estación Altamira.

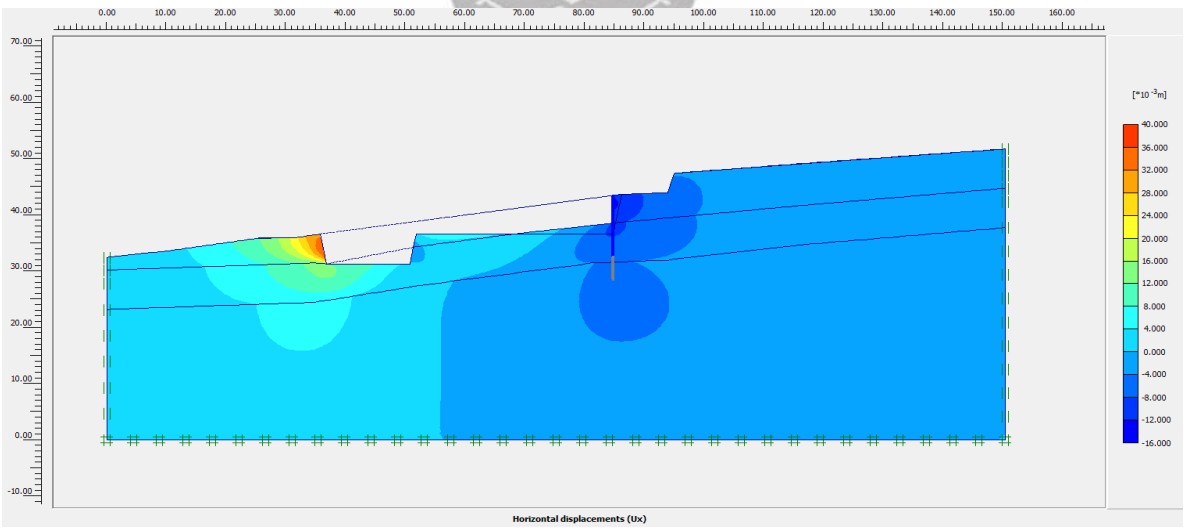


Figura 14-35. Deformaciones

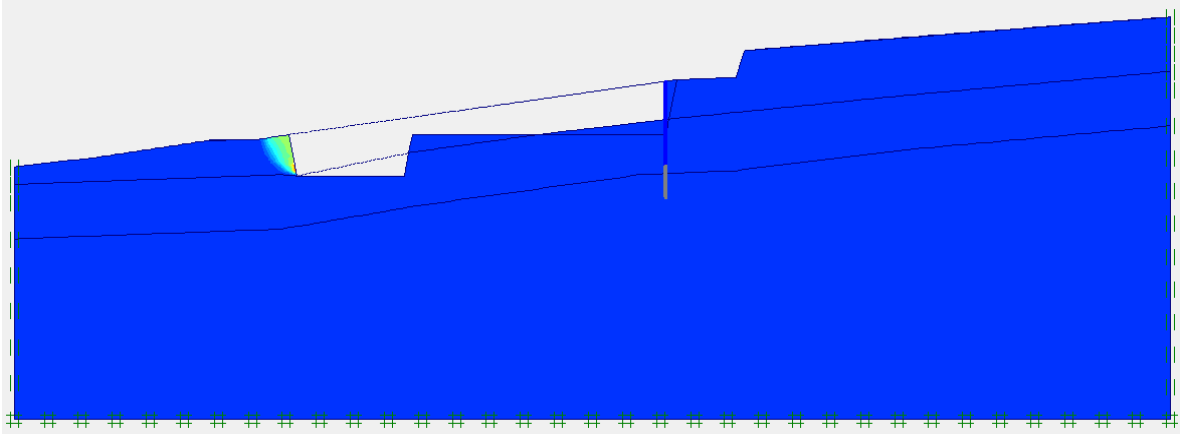


Figura 14-36. Factor de seguridad estático F.S = 1.46

14.3.1.7 Recomendaciones de cimentación para obras menores

A partir del diseño de urbanismo se logro identificar la presencia de estructuras menores en la zona donde se dispondra la estación Altamira. Estos deberán ser apoyados por medio de cimientos superficiales con una profundidad de desplante minima de 0.5m, apoyado sobre el material denominado como *arcilla de color gris de consistencia media y humedad baja*, garantizando que los cimientos no quedarán apoyados sobre rellenos antropicos, en dado caso que se evidencie este tipo de material, deberá ser retirado y dispuesto un material de relleno seleccionado compactado al 95%.

Para los muros de contención con alturas de hasta 2.0 m, se incluye en el ANEXO D. memorias de cálculo, el predimensionamiento de estos muros y la evaluación de los factores de seguridad al deslizamiento y volcamiento.

14.3.1.7.1 Capacidad de carga y asentamientos obras de urbanismo.

Según el perfil estratigráfico típico de la zona en donde se proyecta la estación Altamira, obtenido de la campaña de exploración geotécnica, se presenta a continuación la capacidad de carga y asentamientos.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD

El análisis de resistencia se realizó mediante la ecuación general de capacidad portante. Los factores de capacidad portante y los factores de corrección por forma, profundidad de cimentación, excentricidad e inclinación de la carga, fueron establecidos mediante las propuestas de Meyerhoff (1963), Hansen y Vesic (1970) y Chen (1975).

Para el cálculo de la capacidad portante de cimentaciones superficiales se utilizó la ecuación general de capacidad portante.

$$\sigma_{adm} = \frac{1}{F.S.}\left(cN_c s_c d_c + qN_q s_q d_q + \frac{1}{2}\gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma\right)$$

Con el fin de considerar la incidencia de la geometría de la fundación y la profundidad de desplante se llevó a cabo un análisis de sensibilidad en el cual se contemplaron diferentes dimensiones de cimiento y relaciones ancho/largo (B/L). Los valores presentados a continuación corresponden a la capacidad de carga del cimiento superficial. Para propositos del diseño se toma una capacidad de carga de 88 kPa.

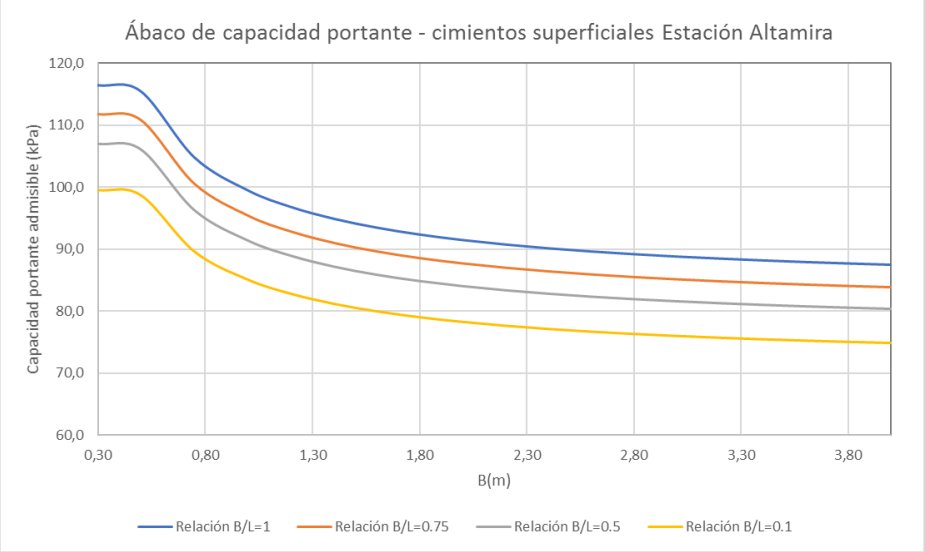


Figura 14-37. Capacidad de carga para cimientos superficiales Estación Altamira

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

El análisis de asentamientos se llevó a cabo mediante la Teoría Elástica y fue realizado de acuerdo con las propuestas existentes, fundamentadas en correlaciones entre el módulo de elasticidad, la relación de Poisson del material de fundación y coeficientes en función de la geometría del cimiento.

Con base en lo anterior, han sido determinados los asentamientos elásticos máximos esperados para las estructuras menoras proyectadas en la zona donde se dispondrá la estación Altamira

Tabla 14-36. Asentamientos cimientos superficiales Estación Altamira

Estación	Asentamiento maximo esperado (cm)
Altamira	1.66

14.3.1.7.2 Coeficientes de presión de tierras

Para el diseño de los elementos estructurales que soportan la acción de cargas generadas por los materiales de relleno, han sido realizados los análisis de esfuerzos laterales, los cuales fueron evaluados mediante la teoría clásica de Rankine.

De la misma forma con base en la formulación pseudo-estática propuesta por Mononobe – Okabe, fueron determinados los coeficientes de presión de tierras para condición dinámica.

De acuerdo a lo anterior, se recomienda utilizar diagramas de presiones laterales triangulares, propias de suelos friccionantes, considerando los siguientes parámetros:

Tabla 14-37. Coeficientes de presión de tierras

Aceleración Aa	0,22
Peso unitario del material de relleno	19 kN/m3
Ángulo de fricción interno	32°
Coeficiente de presión activa (Ka)	0,30
Coeficiente de presión activo dinámico (Kae)	0,40

Se recomiendan materiales de relleno tipo seleccionado, los cuales deberán seleccionarse de acuerdo con los lineamientos establecidos por el artículo No. 610 del INVIAS.

Recomendaciones

- Para los muros de contención se deben incluir filtros en el trasdós, esto con el fin de que se evacuen las aguas residuales hacia los sistemas de drenajes, para evitar la acumulación de estas en la cara del muro, las cuales pueden ocasionar afectaciones a la estructura.
- Las caras de los cortes y la base de fundación de los cimientos, deberán ser protegidos con mortero para evitar la degradación de estas por presencia de aguas superficiales.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

14.4 PILONA 1

Se modelaron cimentaciones profundas debido a la naturaleza de las cargas a las cuales serán sometidas las estructuras. Para ello se consideraron diámetros de 0.8 m 1.0 m y 1.2 m. Adicionalmente, se realizó una verificación por carga lateral por el método de Broms.

14.4.1 Recomendaciones generales

A partir del suelo encontrado en la zona de estudio, se definieron las siguientes recomendaciones generales para la pilona 1.

Tabla 14-38. Recomendaciones generales pilona 1

Suelo de fundación en la base	Prof. mínima base del pilote respecto a nivel de terreno (m)	Prof. mínima de desplante del dado respecto a nivel del terreno (m)	Observaciones
Arcillolita muy meteorizada marrón rojizo (F. Bogotá)	21.0	2.0	Retirar el nivel de relleno para el desplante del dado. Excavaciones apuntaladas.

14.4.2 Capacidad

En la Tabla 14-39, se presentan los resultados de la carga axial admisible y carga de tracción para el Estado Límite de Resistencia (ELR) y en la Figura 14-38 se presenta la gráficas de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-39. Resumen de valores de carga axial admisible y carga por tracción ELR – Pilona 1

LONGITUD m	Carga axial ELR (kN)			Carga admisible por tracción ELR (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1,00	141,8	204,0	276,9	95,91	123,58	152,74
2,00	185,7	262,7	352,0	191,82	247,17	305,48
3,00	223,6	313,8	417,9	287,73	370,75	458,22
4,00	261,4	361,1	474,6	383,64	494,34	610,96
5,00	299,2	408,4	531,4	479,54	617,92	763,70
6,00	370,2	507,5	662,7	575,45	741,51	916,43
7,00	441,2	606,6	794,0	671,36	865,09	1069,17
8,00	546,3	748,3	976,6	843,21	1083,60	1335,82
9,00	618,3	838,4	1084,6	1015,06	1302,10	1602,47
10,00	690,3	928,4	1192,6	1186,90	1520,61	1869,11
11,00	762,3	1018,4	1300,6	1358,75	1739,12	2135,76
12,00	834,3	1108,4	1408,6	1530,60	1957,62	2402,40
13,00	906,3	1198,4	1516,6	1702,44	2176,13	2669,05
14,00	978,3	1288,4	1624,6	1874,29	2394,64	2935,70
15,00	1037,2	1357,9	1703,1	2046,14	2613,15	3202,34
16,00	1096,1	1427,4	1781,5	2217,98	2831,65	3468,99
17,00	1141,4	1479,9	1839,7	2359,73	3012,53	3690,48
18,00	1199,9	1553,0	1927,3	2501,47	3193,41	3911,97
19,00	1258,3	1626,0	2015,0	2643,21	3374,28	4133,46
20,00	1316,8	1699,1	2102,7	2784,95	3555,16	4354,95
21,00	1375,2	1772,2	2190,4	2926,70	3736,04	4576,44
22,00	1433,7	1845,3	2278,1	3068,44	3916,91	4797,93
23,00	1492,2	1918,3	2365,8	3210,18	4097,79	5019,42

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

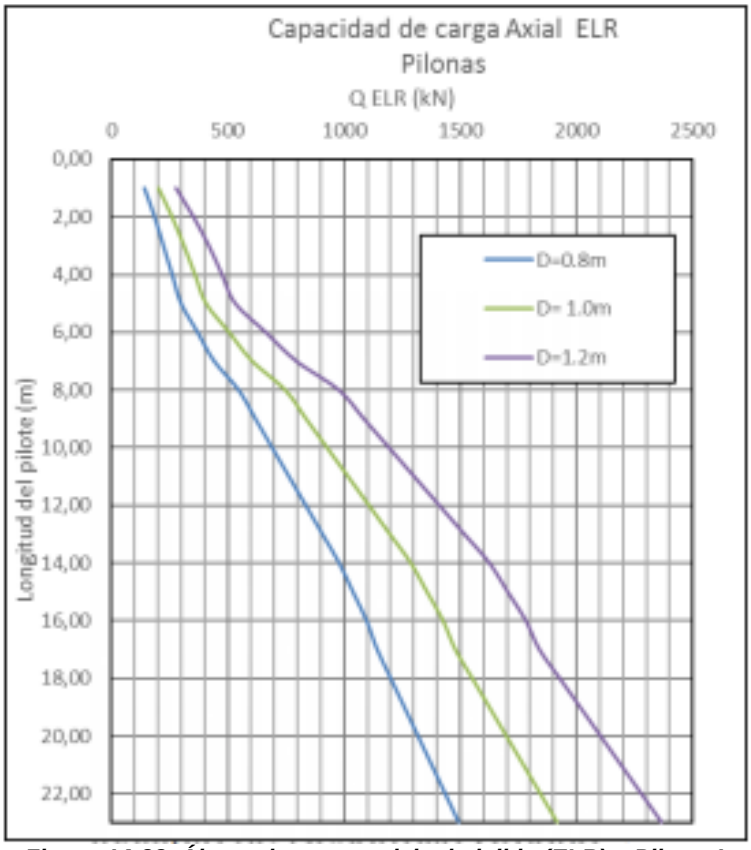


Figura 14-38. Ábaco de carga axial admisible (ELR) – Pilona 1

Adicionalmente, para en la Tabla 14-40 se presentan los resultados obtenidos para la carga axial admisible correspondiente al Estado Límite de Evento Extremo (ELEE) y en la Figura 14-39 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-40. Resumen de valores de carga axial admisible ELEE – Pilona 1

LONGITUD m	Carga axial admisible ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1,00	343,9	496,8	676,4
2,00	443,3	630,6	848,4
3,00	527,4	745,2	997,4
4,00	611,4	850,3	1123,5
5,00	695,5	955,4	1249,6
6,00	862,4	1189,9	1562,2
7,00	1029,4	1424,5	1874,7
8,00	1272,2	1753,9	2301,1
9,00	1432,2	1953,9	2541,1
10,00	1592,2	2153,9	2781,1
11,00	1752,2	2354,0	3021,1

LONGITUD m	Carga axial admisible ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
12,00	1912,3	2554,0	3261,1
13,00	2072,3	2754,0	3501,2
14,00	2232,3	2954,0	3741,2
15,00	2359,5	3102,7	3907,3
16,00	2486,6	3251,4	4073,4
17,00	2583,7	3362,5	4194,4
18,00	2713,6	3524,9	4389,3
19,00	2843,5	3687,2	4584,1
20,00	2973,4	3849,6	4779,0
21,00	3103,3	4012,0	4973,9
22,00	3233,2	4174,4	5168,7
23,00	3363,1	4336,8	5363,6

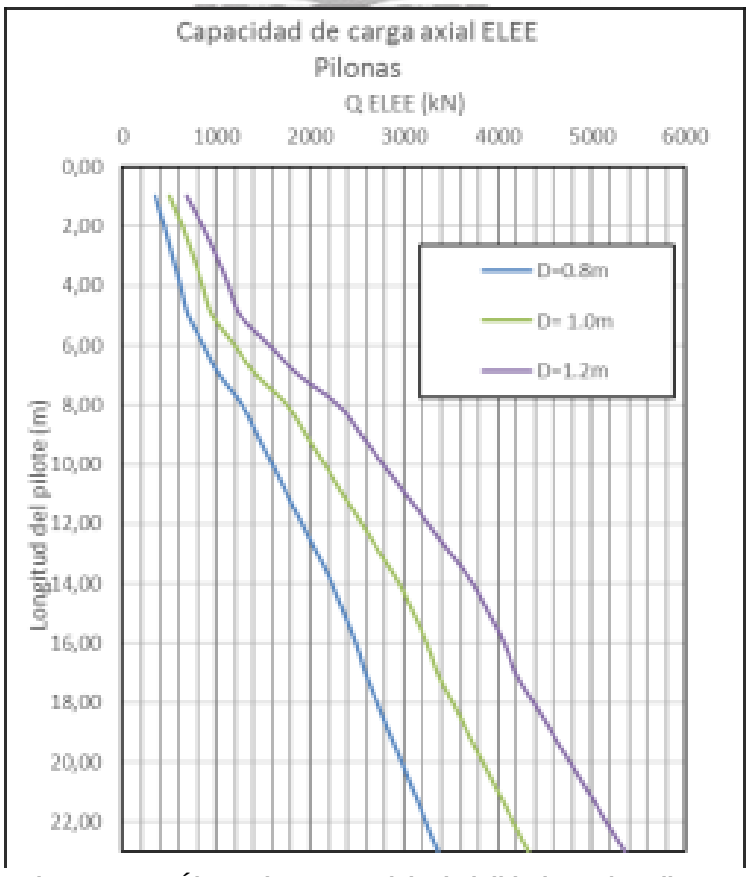


Figura 14-39. Ábaco de carga axial admisible (ELEE) – Pilona 1

Las cargas admisibles para el Estado Límite de Servicio (ELS), se presentan en la Tabla 14-41 y en la Figura 14-40 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-41. Resumen de valores de carga axial admisible ELS – Pilona 1

LONGITUD m	Carga admisible axial ELS para 20 mm (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1,00	343,9	496,8	676,4
2,00	443,3	630,6	848,4
3,00	527,4	745,2	997,4
4,00	611,4	850,3	1123,5
5,00	695,5	955,4	1249,6
6,00	862,4	1189,9	1562,2
7,00	1029,4	1424,5	1874,7
8,00	1272,2	1753,9	2301,1
9,00	1432,2	1953,9	2541,1
10,00	1592,2	2153,9	2781,1
11,00	1752,2	2354,0	3021,1
12,00	1912,3	2554,0	3261,1
13,00	2072,3	2754,0	3356,9
14,00	2232,3	2954,0	3449,4
15,00	2359,5	3102,7	3613,9
16,00	2486,6	3251,4	3916,0
17,00	2583,7	3362,5	4169,8
18,00	2713,6	3524,9	4345,0
19,00	2843,5	3687,2	4523,5
20,00	2973,4	3849,6	4715,1
21,00	3103,3	4012,0	4900,2
22,00	3233,2	4174,4	5075,4
23,00	3363,1	4336,8	5250,6

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

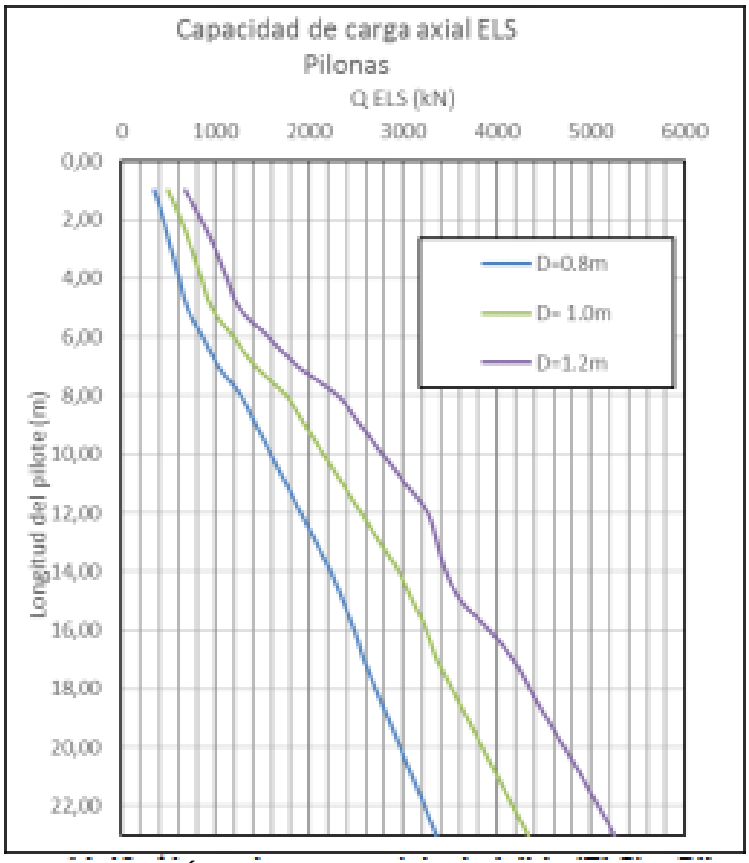


Figura 14-40. Ábaco de carga axial admisible (ELS) – Pilona 1

En la Tabla 14-42 se presentan los valores de capacidad de carga lateral para cada uno de los diferentes diámetros, con respecto a los Estados Límite de Resistencia y a los Estados Límite de Evento Extremo y en la Figura 14-41 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-42. Resumen de valores de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 1

LONGITUD m	Carga horizontal ELR y ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1,00	-64,6	-244,9	-490,9
2,00	442,0	388,3	269,0
3,00	994,4	1078,9	1097,7
4,00	1592,8	1826,9	1995,2
5,00	2218,5	2632,2	2961,6
6,00	2656,3	3435,2	4291,1
7,00	3094,0	3982,4	4947,7
8,00	3869,8	4934,8	6070,0
9,00	4658,4	5907,0	7220,5
10,00	5455,8	6893,0	8390,8

LONGITUD m	Carga horizontal ELR y ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
11,00	6259,7	7889,0	9575,5
12,00	7068,5	8892,6	10771,1
13,00	7881,0	9902,0	11974,9
14,00	8696,5	10916,0	13185,3
15,00	9514,3	11933,6	14400,9
16,00	10334,0	12954,2	15620,8
17,00	11009,3	13797,9	16632,8
18,00	11684,6	14641,7	17645,0
19,00	12360,1	15485,7	18657,5
20,00	5234,3	16329,9	19670,1
21,00	5238,7	17174,2	20683,0
22,00	5242,6	9289,2	21696,0
23,00	5246,2	9295,6	22709,2

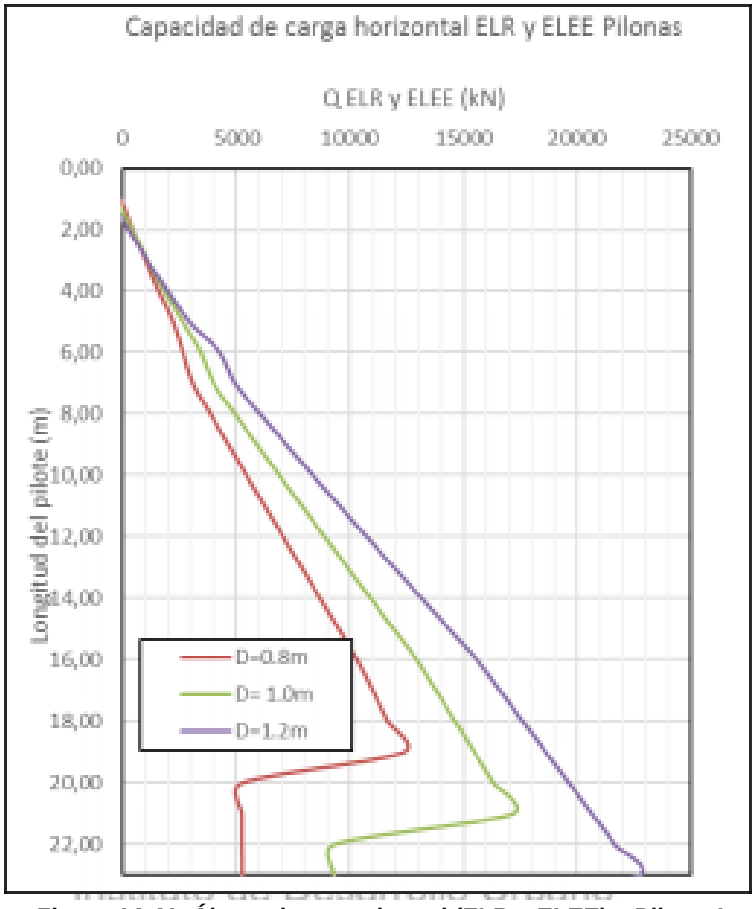


Figura 14-41. Ábaco de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 1

Adicionalmente en la Tabla 14-43 se muestran los resultados de capacidad de carga lateral para los diferentes diámetros con respecto a los valores de Estado Límite de Servicio y en la Figura 14-42 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-43. Resumen de valores de carga lateral (ELS) – Pilona 1

LONGITUD m	Carga horizontal ELR y ELEE (kN)			Carga horizontal ELS para 20 mm(kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1,00	-64,6	-244,9	-490,9	-64,6	-244,9	-490,9
2,00	442,0	388,3	269,0	442,0	388,3	269,0
3,00	994,4	1078,9	1097,7	994,4	1078,9	1097,7
4,00	1592,8	1826,9	1995,2	1578,8	1826,9	1995,2
5,00	2218,5	2632,2	2961,6	1578,8	1971,0	2961,6
6,00	2656,3	3435,2	4291,1	1578,8	1971,0	2373,1
7,00	3094,0	3982,4	4947,7	1578,8	1971,0	2353,4
8,00	3869,8	4934,8	6070,0	1716,1	2108,3	2549,6
9,00	4658,4	5907,0	7220,5	1814,1	2255,4	2647,6
10,00	5455,8	6893,0	8390,8	1863,1	2353,4	2843,7
11,00	6259,7	7889,0	9575,5	1961,2	2451,5	2941,8
12,00	7068,5	8892,6	10771,1	2010,2	2500,5	3030,1
13,00	7881,0	9902,0	11974,9	2059,3	2579,0	3088,9
14,00	8696,5	10916,0	13185,3	2098,5	2598,6	3137,9
15,00	9514,3	11933,6	14400,9	2118,1	2628,0	3187,0
16,00	10334,0	12954,2	15620,8	2147,5	2637,8	3236,0
17,00	11009,3	13797,9	16632,8	2147,5	2696,7	3236,0
18,00	11684,6	14641,7	17645,0	2157,3	2696,7	3236,0
19,00	12360,1	15485,7	18657,5	2167,1	2696,7	3255,6
20,00	5234,3	16329,9	19670,1	2167,1	2696,7	3255,6
21,00	5238,7	17174,2	20683,0	2167,1	2696,7	3255,6
22,00	5242,6	9289,2	21696,0	2167,1	2696,7	3255,6
23,00	5246,2	9295,6	22709,2	2167,1	2696,7	3255,6
24,00	5045,5	8939,1	14243,6	2108,3	2598,6	3177,1

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

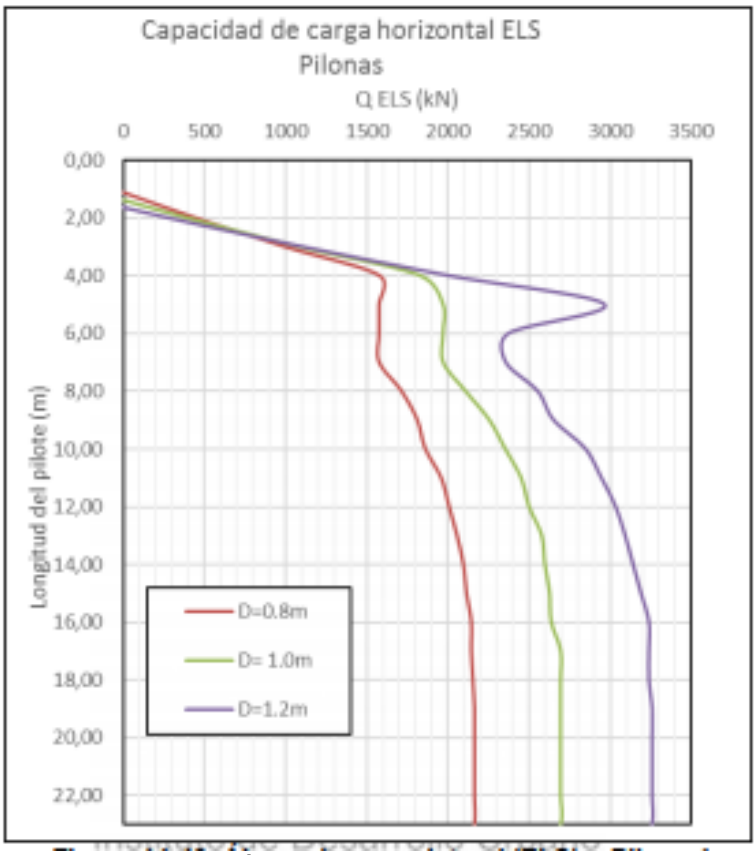


Figura 14-42. Ábaco de carga lateral (ELS) – Pilona 1

14.4.3 Módulo de reacción horizontal y vertical

En la Tabla 14-44 se presentan los valores de los módulos de reacción vertical y horizontal, para cada uno de los diámetros contemplados y la Figura 14-43 muestra la variación con la profundidad valores que pueden ser utilizados para la elaboración del modelo de diseño estructural.

Tabla 14-44. Resumen de valores módulos de reacción horizontal y vertical

Longitud (m)	Diámetro = 0.8 m		Diámetro = 1.0 m		Diámetro = 1.2 m	
	kh (kN/m^3)	kv (kN/m^3)	kh (kN/m^3)	kv (kN/m^3)	kh (kN/m^3)	kv (kN/m^3)
1,00	45163	53133	36130	42506	30109	35422
2,00	45163	53133	36130	42506	30109	35422
3,00	45163	53133	36130	42506	30109	35422
4,00	45163	53133	36130	42506	30109	35422
5,00	45163	53133	36130	42506	30109	35422
6,00	45163	53133	36130	42506	30109	35422
7,00	45163	53133	36130	42506	30109	35422
8,00	86678	101974	69342	81580	57785	67983

Longitud (m)	Diámetro = 0.8 m		Diámetro = 1.0 m		Diámetro = 1.2 m	
	kh (kN/m³)	kv (kN/m³)	kh (kN/m³)	kv (kN/m³)	kh (kN/m³)	kv (kN/m³)
9,00	86678	101974	69342	81580	57785	67983
10,00	86678	101974	69342	81580	57785	67983
11,00	86678	101974	69342	81580	57785	67983
12,00	86678	101974	69342	81580	57785	67983
13,00	86678	101974	69342	81580	57785	67983
14,00	86678	101974	69342	81580	57785	67983
15,00	86678	101974	69342	81580	57785	67983
16,00	86678	101974	69342	81580	57785	67983
17,00	69897	82232	55918	65786	46598	54821
18,00	69897	82232	55918	65786	46598	54821
19,00	69897	82232	55918	65786	46598	54821
20,00	69897	82232	55918	65786	46598	54821
21,00	69897	82232	55918	65786	46598	54821
22,00	69897	82232	55918	65786	46598	54821
23,00	69897	82232	55918	65786	46598	54821

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.

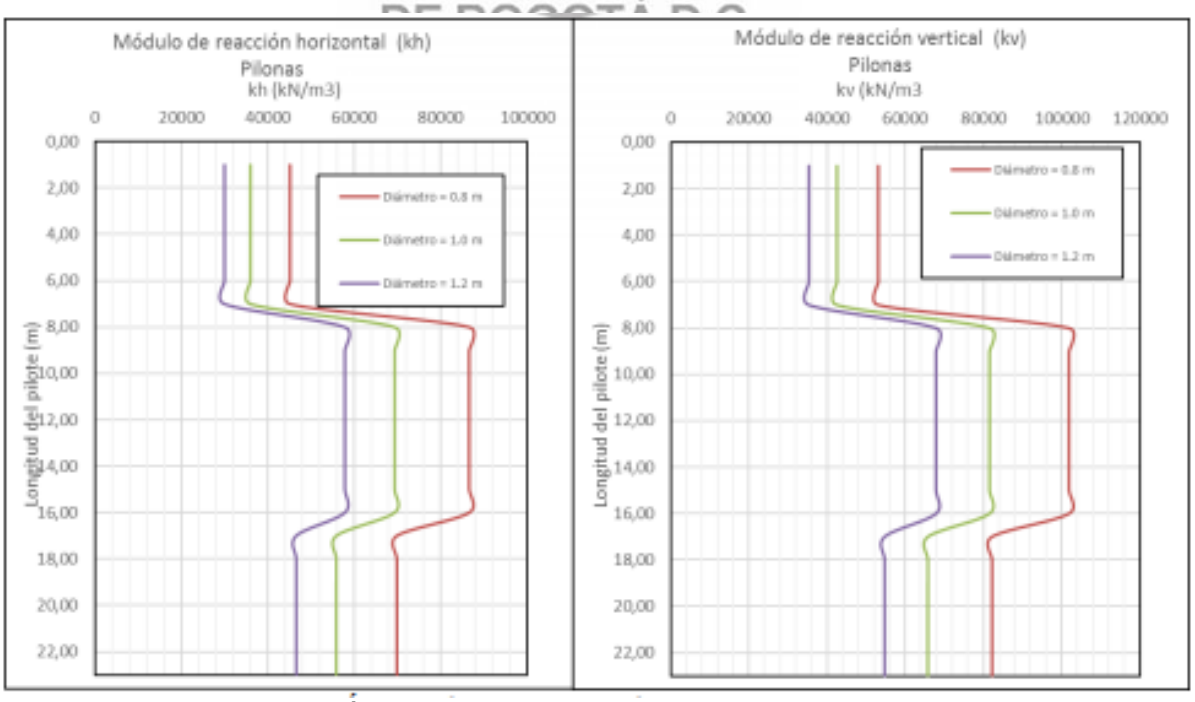


Figura 14-43. Ábaco módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 1

14.5 PILONA 2

Se modelaron cimentaciones profundas debido a la naturaleza de las cargas a las cuales serán sometidas las estructuras. Para ello se consideraron diámetros de 0.8 m 1.0 m y 1.2 m. Adicionalmente, se realizó una verificación por carga lateral por el método de Broms.

14.5.1 Recomendaciones generales

A partir del suelo encontrado en la zona de estudio, se definieron las siguientes recomendaciones generales para la pilona 2.

Tabla 14-45. Recomendaciones generales pilona 2

Suelo de fundación en la base	Prof. mínima base del pilote respecto a nivel de terreno (m)	Prof. mínima de desplante del dado respecto a nivel del terreno (m)	Observaciones
Limolita meteorizada de color Marron rojizo (F. Bogotá)	15.0	1.5	La profundiad de desplante del dado de la pilona es para reducir empujes laterales de los pilotes sobre el muro de contención existente. Excavaciones apuntaladas.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

14.5.2 Capacidad

En la Tabla 14-46 se presentan los resultados de la carga axial admisible y carga de tracción para el Estado Límite de Resistencia (ELR) y en la Figura 14-44 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-46. Resumen de valores de carga axial admisible y carga por tracción ELR – Pilona 2

Longitud m	Carga axial admisible ELR (kN)			Carga admisible por tracción ELR (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	40.5	58.2	79.0	35.84	48.49	62.63
2.00	53.0	75.0	100.5	71.67	96.99	125.26
3.00	63.8	89.6	119.3	107.51	145.48	187.89
4.00	137.5	201.4	277.0	143.35	193.97	250.52
5.00	211.2	313.2	434.8	179.18	242.47	313.15
6.00	349.8	506.0	689.8	359.16	471.15	592.00
7.00	425.5	600.6	803.3	539.15	699.82	870.85
8.00	501.1	695.2	916.8	719.13	928.50	1149.70
9.00	576.8	789.8	1030.3	899.11	1157.18	1428.55
10.00	652.5	884.4	1143.8	1079.10	1385.85	1707.40
11.00	728.1	978.9	1257.3	1259.08	1614.53	1986.26
12.00	950.7	1303.1	1701.4	1439.06	1843.21	2265.11
13.00	1173.3	1627.3	2145.4	1619.05	2071.89	2543.96
14.00	1459.9	2031.4	2685.6	1941.31	2478.42	3036.23

Longitud m	Carga axial admisible ELR (kN)			Carga admisible por tracción ELR (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
15.00	1599.6	2206.1	2895.1	2263.58	2884.95	3528.51
16.00	1739.3	2380.7	3104.7	2585.84	3291.48	4020.78
17.00	1879.0	2555.3	3314.2	2908.11	3698.01	4513.06
18.00	2018.7	2729.9	3523.7	3230.38	4104.54	5005.33
19.00	2158.4	2904.5	3733.3	3552.64	4511.07	5497.61
20.00	2298.1	3079.2	3942.8	3874.91	4917.60	5989.88
21.00	2437.8	3253.8	4152.4	4197.17	5324.13	6482.16
22.00	2577.5	3428.4	4361.9	4519.44	5730.66	6974.43
23.00	2717.2	3603.0	4571.4	4841.71	6137.19	7466.71
24.00	2856.9	3777.6	4781.0	5163.97	6543.72	7958.98

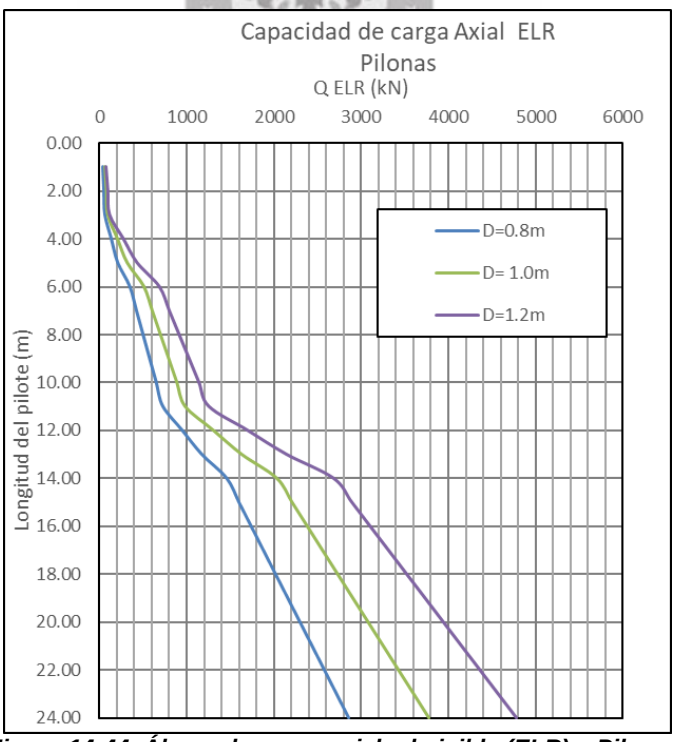


Figura 14-44. Ábaco de carga axial admisible (ELR) – Pilona 2

Adicionalmente en la Tabla 14-47 se presentan los resultados obtenidos para la carga axial admisible correspondiente al Estado Límite de Evento Extremo (ELEE) y en la Figura 14-45 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-47. Resumen de valores de carga axial admisible ELEE – Pilona 2

Longitud m	Carga axial admisible ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	98.2	141.8	193.1
2.00	126.6	180.0	242.2
3.00	150.6	212.7	284.7
4.00	331.8	488.5	674.6
5.00	513.1	764.2	1064.4
6.00	838.5	1220.0	1670.4
7.00	1006.6	1430.2	1922.6
8.00	1174.8	1640.4	2174.9
9.00	1342.9	1850.6	2427.1
10.00	1511.1	2060.8	2679.3
11.00	1679.2	2271.0	2931.5
12.00	2214.7	3055.1	4010.2
13.00	2750.1	3839.2	5088.9
14.00	3427.9	4801.2	6381.0
15.00	3738.3	5189.2	6846.6
16.00	4048.7	5577.2	7312.3
17.00	4359.2	5965.3	7777.9
18.00	4669.6	6353.3	8243.6
19.00	4980.0	6741.4	8709.2
20.00	5290.5	7129.4	9174.9
21.00	5600.9	7517.4	9640.5
22.00	5911.3	7905.5	10106.2
23.00	6221.8	8293.5	10571.8
24.00	6532.2	8681.6	11037.5

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

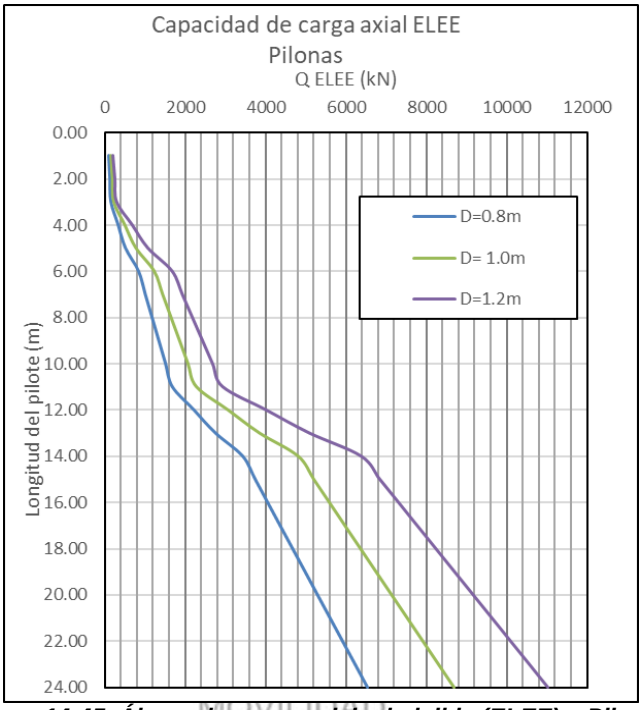


Figura 14-45. Ábaco de carga axial admisible (ELEE) – Pilona 2

Instituto de Desarrollo Urbano

Las cargas admisibles para el Estado Límite de Servicio (ELS), se presentan en la Tabla 14-48 y y en la Figura 14-46 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-48. Resumen de valores de carga axial admisible ELS – Pilona 2

Longitud m	Carga admisible axial ELS para 20 mm (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	40.5	58.2	79.0
2.00	53.0	75.0	100.5
3.00	63.8	89.6	119.3
4.00	137.5	201.4	277.0
5.00	211.2	313.2	434.8
6.00	349.8	506.0	689.8
7.00	425.5	600.6	803.3
8.00	501.1	695.2	916.8
9.00	576.8	789.8	1030.3
10.00	652.5	884.4	1143.8
11.00	728.1	978.9	1257.3
12.00	950.7	1303.1	1701.4
13.00	1173.3	1627.3	2145.4
14.00	1459.9	2031.4	2685.6
15.00	1599.6	2206.1	2895.1
16.00	1739.3	2380.7	3104.7

Longitud m	Carga admisible axial ELS para 20 mm (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
17.00	1879.0	2555.3	3314.2
18.00	2018.7	2729.9	3523.7
19.00	2158.4	2904.5	3733.3
20.00	2298.1	3079.2	3942.8
21.00	2437.8	3253.8	4152.4
22.00	2577.5	3428.4	4361.9
23.00	2717.2	3603.0	4571.4
24.00	2856.9	3777.6	4781.0

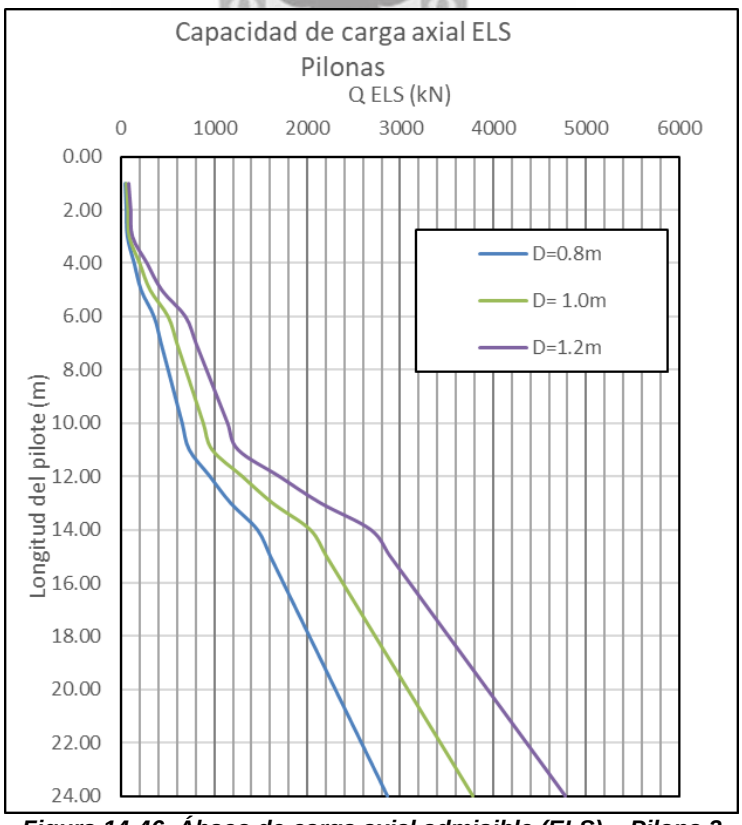


Figura 14-46. Ábaco de carga axial admisible (ELS) – Pilona 2

En la Tabla 14-49 se presentan los valores de capacidad de carga lateral para cada uno de los diferentes diámetros, con respecto a los Estados Límite de Resistencia y a los Estados Límite de Evento Extremo y en la Figura 14-47 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-49. Resumen de valores de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 2

Longitud m	Carga horizontal ELR y ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	-2.6	-50.2	-116.4
2.00	189.4	189.9	171.6
3.00	426.2	485.8	526.8
4.00	707.6	837.7	949.0
5.00	1026.6	1245.4	1438.3
6.00	1752.5	2374.3	2787.9
7.00	2521.2	3301.8	4173.4
8.00	3316.6	4271.1	5306.6
9.00	4129.8	5268.2	6479.8
10.00	4955.4	6284.7	7681.0
11.00	5790.1	7315.4	8902.6
12.00	6631.6	8356.6	10139.5
13.00	7478.3	9406.1	11388.1
14.00	9932.4	12419.4	14938.9
15.00	12409.8	15469.0	18541.9
16.00	14906.1	18548.2	22187.5
17.00	17417.9	21651.6	25868.0
18.00	19942.8	24775.3	29577.6
19.00	9227.0	27916.0	33311.8
20.00	9719.1	17230.0	37066.9
21.00	10164.2	18019.8	28731.7
22.00	10568.9	18737.7	29877.2
23.00	10938.4	19393.3	30923.1
24.00	11277.1	19994.2	31881.8

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

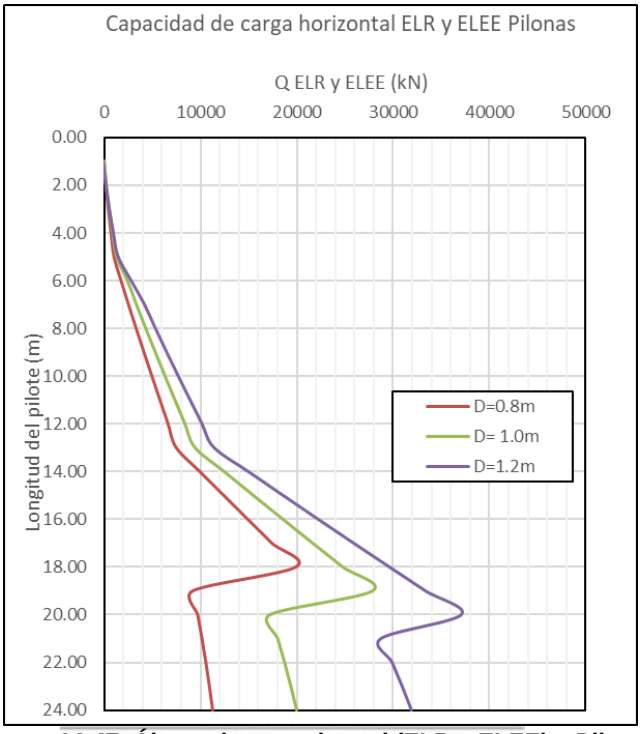


Figura 14-47. Ábaco de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 2

Instituto de Desarrollo Urbano

Adicionalmente en la Tabla 14-50 se muestran los resultados de capacidad de carga lateral para los diferentes diámetros con respecto a los valores de Estado Límite de Servicio y en la Figura 14-48 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-50. Resumen de valores de carga lateral (ELS) – Pilona 2

Longitud m	Carga horizontal ELS para 20 mm(kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	-2.6	-50.2	-116.4
2.00	172.6	172.6	171.6
3.00	258.9	258.9	258.9
4.00	345.2	345.2	345.2
5.00	431.5	430.5	430.5
6.00	876.7	1093.4	1650.3
7.00	1181.6	1477.8	1772.9
8.00	1394.4	1743.5	2092.6
9.00	1553.3	1941.6	2329.9
10.00	1657.2	2078.9	2480.9
11.00	1676.8	2098.5	2510.3
12.00	1696.4	2118.1	2539.8
13.00	1706.2	2127.9	2559.4

Longitud m	Carga horizontal ELS para 20 mm(kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
14.00	1716.1	2137.7	2569.2
15.00	1725.9	2147.5	2579.0
16.00	1725.9	2157.3	2588.8
17.00	1755.3	2196.5	2628.0
18.00	1774.9	2226.0	2667.2
19.00	1804.3	2255.4	2706.5
20.00	1823.9	2275.0	2745.7
21.00	1843.5	2294.6	2765.3
22.00	1863.1	2324.0	2784.9
23.00	1872.9	2343.6	2804.5
24.00	1882.8	2373.1	2824.1

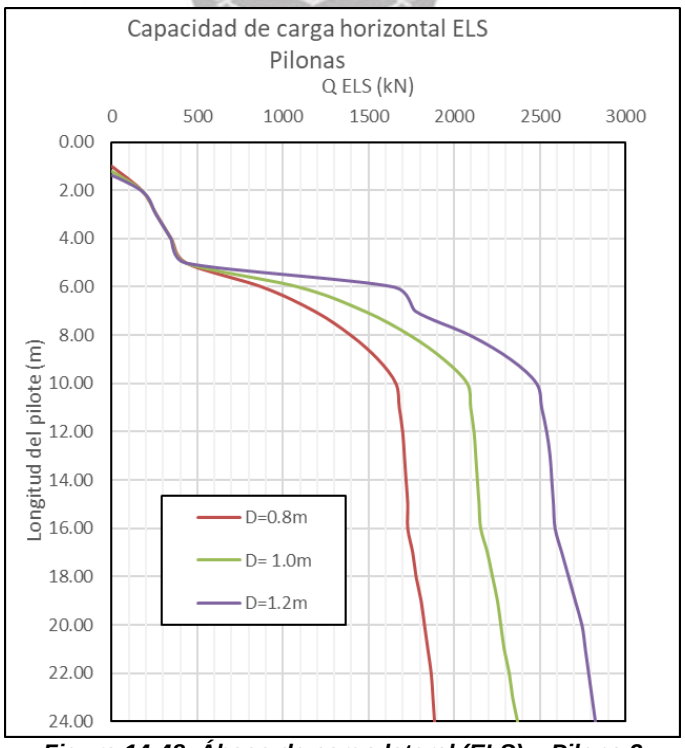


Figura 14-48. Ábaco de carga lateral (ELS) – Pilona 2

14.5.3 Módulo de reacción horizontal y vertical

En la Tabla 14-51 se presentan los valores de los módulos de reacción vertical y horizontal, para cada uno de los diámetros contemplados y la Figura 14-49 muestra la variación con la profundidad valores que pueden ser utilizados para la elaboración del modelo de diseño estructural.

Tabla 14-51. Resumen de valores módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 2

Longitud (m)	Diámetro = 0.8 m		Diámetro = 1.0 m		Diámetro = 1.2 m	
	kh (kN/m^3)	kv (kN/m^3)	kh (kN/m^3)	kv (kN/m^3)	kh (kN/m^3)	kv (kN/m^3)
1.00	6421	7554	5136	6043	4280	5036
2.00	6421	7554	5136	6043	4280	5036
3.00	6421	7554	5136	6043	4280	5036
4.00	6421	7554	5136	6043	4280	5036
5.00	6421	7554	5136	6043	4280	5036
6.00	90691	106695	72553	85356	60461	71130
7.00	90691	106695	72553	85356	60461	71130
8.00	90691	106695	72553	85356	60461	71130
9.00	90691	106695	72553	85356	60461	71130
10.00	90691	106695	72553	85356	60461	71130
11.00	90691	106695	72553	85356	60461	71130
12.00	90691	106695	72553	85356	60461	71130
13.00	90691	106695	72553	85356	60461	71130
14.00	269957	317597	215965	254078	179971	211731
15.00	269957	317597	215965	254078	179971	211731
16.00	269957	317597	215965	254078	179971	211731
17.00	269957	317597	215965	254078	179971	211731
18.00	269957	317597	215965	254078	179971	211731
19.00	269957	317597	215965	254078	179971	211731
20.00	269957	317597	215965	254078	179971	211731
21.00	269957	317597	215965	254078	179971	211731
22.00	269957	317597	215965	254078	179971	211731
23.00	269957	317597	215965	254078	179971	211731
24.00	269957	317597	215965	254078	179971	211731

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

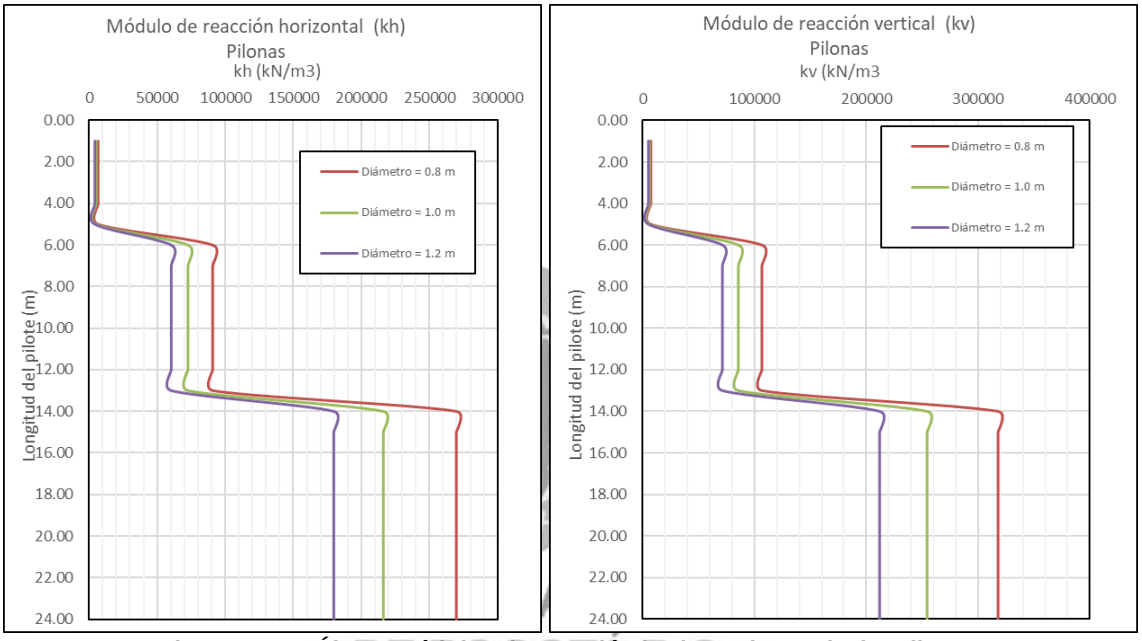


Figura 14-49. Ábaco módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 2

DE BOGOTA D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

14.6 PILONA 3

Se modelaron cimentaciones profundas debido a la naturaleza de las cargas a las cuales serán sometidas las estructuras. Para ello se consideraron diámetros de 0.8 m 1.0 m y 1.2 m. Adicionalmente, se realizó una verificación por carga lateral por el método de Broms.

14.6.1 Recomendaciones generales

A partir del suelo encontrado en la zona de estudio, se definieron las siguientes recomendaciones generales para la pilona 3.

Tabla 14-52. Recomendaciones generales pilona 3

Suelo de fundación en la base	Prof. mínima base del pilote respecto a nivel de terreno (m)	Prof. mínima de desplante del dado respecto a nivel del terreno (m)	Observaciones
Arcillolita meteorizada de color violeta y marron con vetas grices. (F. Bogotá)	8.0	1.5	Profundiad de desplante del dado mínimo, para garantizar un nivel de suelo homogéneo.

14.6.2 Capacidad

En la Tabla 14-53 se presentan los resultados de la carga axial admisible y carga de tracción para el Estado Límite de Resistencia (ELR) y en la Figura 14-50 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-53. Resumen de valores de carga axial admisible y carga por tracción ELR – Pilona 3

Longitud m	Carga axial admisible ELR (kN)			Carga admisible por tracción ELR (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	140.9	202.7	275.1	95.37	122.91	151.93
2.00	230.9	333.5	454.1	190.73	245.81	303.85
3.00	314.9	456.8	624.0	286.10	368.72	455.78
4.00	446.7	636.1	856.5	487.78	624.52	767.17
5.00	532.2	742.9	984.6	689.46	880.31	1078.57
6.00	735.9	1034.6	1379.0	891.14	1136.11	1389.96
7.00	939.7	1326.3	1773.5	1092.82	1391.91	1701.36
8.00	1270.8	1685.4	2248.9	1577.40	1797.67	2192.70
9.00	1483.5	1859.7	2458.0	2061.97	2203.42	2684.05
10.00	1622.9	2034.0	2667.1	2383.62	2609.18	3175.40
11.00	1762.3	2208.3	2876.2	2705.27	3014.94	3666.74
12.00	1901.8	2382.5	3085.4	3026.91	3420.69	4158.09
13.00	2041.2	2556.8	3294.5	3348.56	3826.45	4649.44
14.00	2180.6	2731.1	3503.6	3670.21	4232.21	5140.78
15.00	2320.0	2905.3	3712.7	3991.85	4637.97	5632.13
16.00	2459.4	3079.6	3921.9	4313.50	5043.72	6123.47
17.00	2598.8	3253.9	4131.0	4635.15	5449.48	6614.82
18.00	2738.3	3428.1	4340.1	4956.79	5855.24	7106.17
19.00	2877.7	3602.4	4549.2	5278.44	6260.99	7597.51
20.00	3017.1	3776.7	4758.3	5600.09	6666.75	8088.86
21.00	3156.5	3950.9	4967.5	5921.74	7072.51	8580.20
22.00	3295.9	4125.2	5176.6	6243.38	7478.26	9071.55
23.00	3435.3	4299.5	5385.7	6565.03	7884.02	9562.90
24.00	3574.8	4473.8	5594.8	6886.68	8289.78	10054.24

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

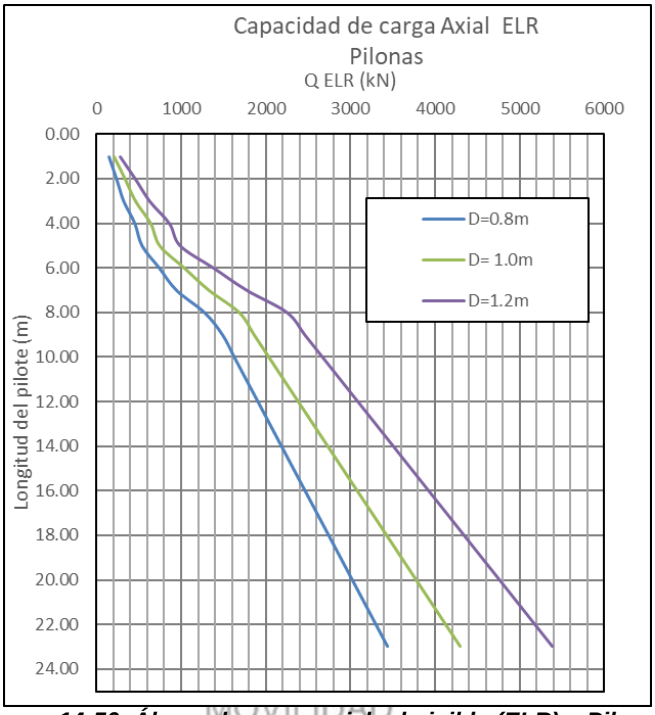


Figura 14-50. Ábaco de carga axial admisible (ELR) – Pilona 3

Instituto de Desarrollo Urbano

Adicionalmente en la Tabla 14-54 para se presentan los resultados obtenidos para la carga axial admisible correspondiente al Estado Límite de Evento Extremo (ELEE) y en la Figura 14-51 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-54. Resumen de valores de carga axial admisible ELEE – Pilona 3

Longitud m	Carga axial admisible ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	341.7	493.6	672.1
2.00	556.4	807.7	1103.9
3.00	755.9	1102.8	1512.9
4.00	1061.8	1521.4	2058.6
5.00	1251.6	1758.7	2343.4
6.00	1737.3	2458.2	3293.8
7.00	2223.0	3157.8	4244.3
8.00	2991.6	4007.4	5374.7
9.00	3464.4	4394.7	5839.4
10.00	3774.2	4781.9	6304.1
11.00	4084.0	5169.2	6768.9
12.00	4393.8	5556.5	7233.6
13.00	4703.6	5943.7	7698.3
14.00	5013.4	6331.0	8163.0
15.00	5323.2	6718.2	8627.7
16.00	5633.0	7105.5	9092.5
17.00	5942.9	7492.8	9557.2
18.00	6252.7	7880.0	10021.9
19.00	6562.5	8267.3	10486.6

Longitud m	Carga axial admisible ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
20.00	6872.3	8654.6	10951.3
21.00	7182.1	9041.8	11416.0
22.00	7491.9	9429.1	11880.8
23.00	7801.7	9816.4	12345.5
24.00	8111.5	10203.6	12810.2

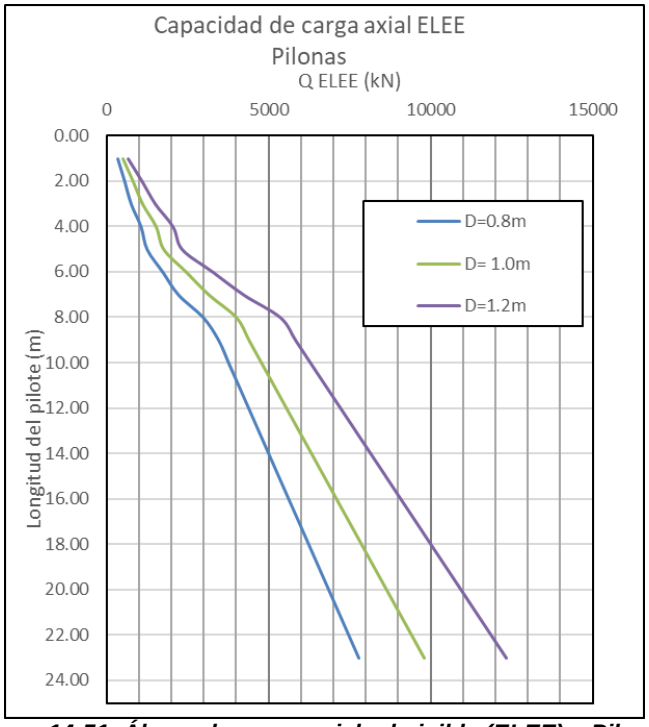


Figura 14-51. Ábaco de carga axial admisible (ELEE) – Pilona 3

Las cargas admisibles para el Estado Límite de Servicio (ELS), se presentan en la Tabla 14-55 y en la Figura 14-52 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-55. Resumen de valores de carga axial admisible ELS – Pilona 3

Longitud m	Carga admisible axial ELS para 20 mm (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	140.9	202.7	275.1
2.00	230.9	333.5	454.1
3.00	314.9	456.8	624.0
4.00	446.7	636.1	856.5
5.00	532.2	742.9	984.6
6.00	735.9	1034.6	1379.0
7.00	939.7	1326.3	1773.5
8.00	1270.8	1685.4	2248.9

Longitud m	Carga admisible axial ELS para 20 mm (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
9.00	1483.5	1859.7	2458.0
10.00	1622.9	2034.0	2667.1
11.00	1762.3	2208.3	2876.2
12.00	1901.8	2382.5	3085.4
13.00	2041.2	2556.8	3294.5
14.00	2180.6	2731.1	3503.6
15.00	2320.0	2905.3	3712.7
16.00	2459.4	3079.6	3921.9
17.00	2598.8	3253.9	4131.0
18.00	2738.3	3428.1	4340.1
19.00	2877.7	3602.4	4549.2
20.00	3017.1	3776.7	4758.3
21.00	3156.5	3950.9	4967.5
22.00	3295.9	4125.2	5176.6
23.00	3435.3	4299.5	5385.7
24.00	3574.8	4473.8	5594.8

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.

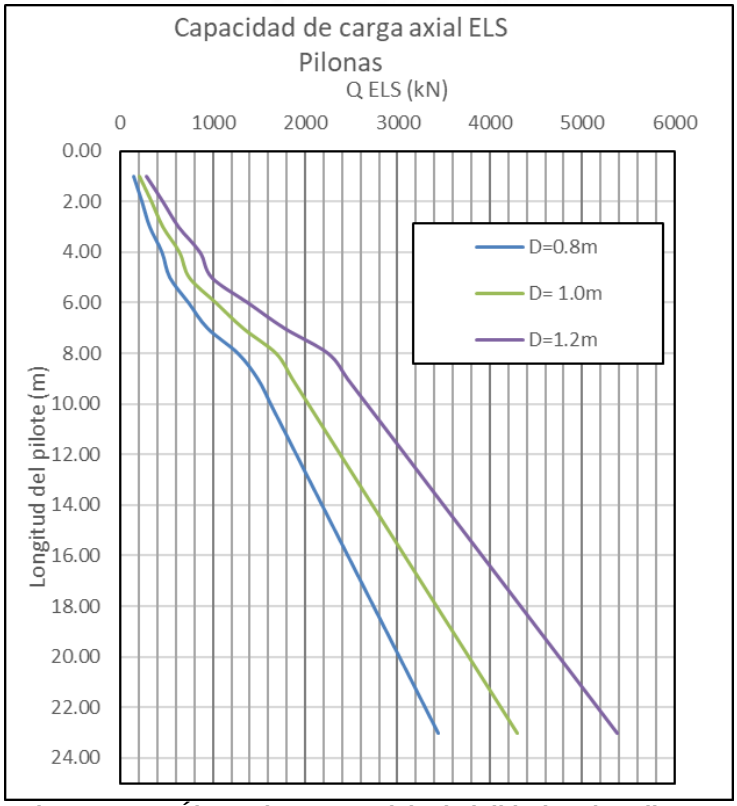


Figura 14-52. Ábaco de carga axial admisible (ELS) – Pilona 3

En la Tabla 14-56 se presentan también los valores de capacidad de carga lateral para cada uno de los diferentes diámetros, con respecto a los Estados Límite de Resistencia y a los Estados Límite de Evento Extremo y en laFigura 14-53 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-56. Resumen de valores de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 3

Longitud m	Carga horizontal ELR y ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	-64.0	-243.1	-487.5
2.00	439.7	386.6	268.2
3.00	989.4	1073.6	1092.6
4.00	1974.7	2253.4	2446.1
5.00	3050.5	3595.9	4019.7
6.00	3972.9	4979.2	6022.0
7.00	4914.1	6141.1	7398.6
8.00	7070.5	8761.2	10452.6
9.00	9281.1	11465.8	13628.0
10.00	11529.7	14229.6	16888.4
11.00	13805.9	17036.4	20210.6
12.00	16102.8	19875.5	23579.2
13.00	18415.6	22739.4	26983.5
14.00	20740.9	25622.9	30415.8
15.00	23076.3	28521.9	33870.6
16.00	25419.8	31433.7	37343.6
17.00	27770.0	34355.9	40831.6
18.00	30125.7	37286.8	44332.2
19.00	13195.4	40225.0	47843.3
20.00	13409.7	23778.5	51363.4
21.00	13603.7	24122.5	38469.7
22.00	13779.9	24435.3	38968.7
23.00	13940.9	24720.9	39424.4
24.00	14088.5	24982.6	39842.1

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

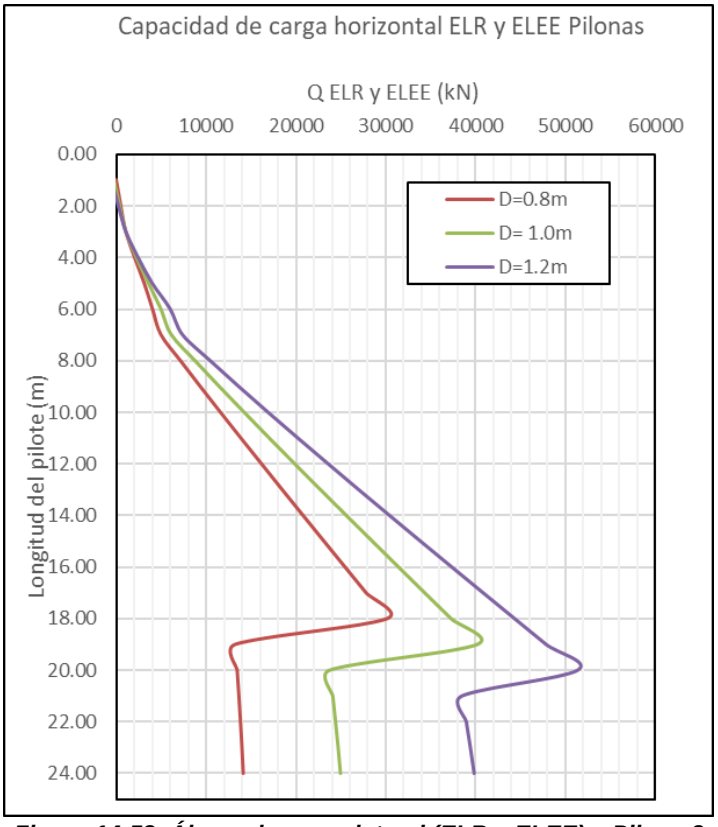


Figura 14-53. Ábaco de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 3

Adicionalmente en la Tabla 14-57 se muestran los resultados de capacidad de carga lateral para los diferentes diámetros con respecto a los valores de Estado Límite de Servicio y en la Figura 14-54 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-57. Resumen de valores de carga lateral (ELS) – Pilona 3

Longitud m	Carga horizontal ELS para 20 mm(kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	-64.0	-243.1	-487.5
2.00	439.7	386.6	268.2
3.00	989.4	1073.6	1092.6
4.00	1578.8	2253.4	2446.1
5.00	1578.8	1971.0	4019.7
6.00	1578.8	1971.0	2363.2
7.00	1578.8	1971.0	2373.1
8.00	1618.0	2020.0	2422.1
9.00	1637.6	2049.5	2451.5
10.00	1657.2	2078.9	2480.9
11.00	1676.8	2098.5	2510.3
12.00	1696.4	2118.1	2539.8
13.00	1706.2	2127.9	2559.4

Longitud m	Carga horizontal ELS para 20 mm(kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
14.00	1716.1	2137.7	2569.2
15.00	1725.9	2147.5	2579.0
16.00	1725.9	2157.3	2588.8
17.00	1755.3	2196.5	2628.0
18.00	1774.9	2226.0	2667.2
19.00	1804.3	2255.4	2706.5
20.00	1823.9	2275.0	2745.7
21.00	1843.5	2294.6	2765.3
22.00	1863.1	2324.0	2784.9
23.00	1872.9	2343.6	2804.5
24.00	1882.8	2373.1	2824.1

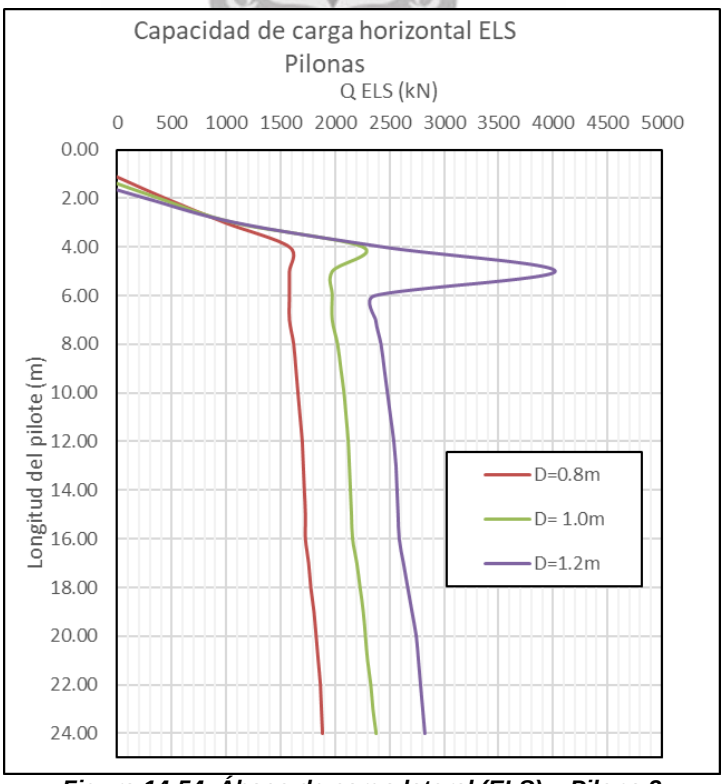


Figura 14-54. Ábaco de carga lateral (ELS) – Pilona 3

14.6.3 Módulo de reacción horizontal y vertical

En la Tabla 14-58 se presentan los valores de los módulos de reacción vertical y horizontal, para cada uno de los diámetros contemplados y la Figura 14-55 muestra la variación con la profundidad valores que pueden ser utilizados para la elaboración del modelo de diseño estructural.

Tabla 14-58. Resumen de valores módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 3

Longitud (m)	Diámetro = 0.8 m		Diámetro = 1.0 m		Diámetro = 1.2 m	
	kh (kN/m^3)	kv (kN/m^3)	kh (kN/m^3)	kv (kN/m^3)	kh (kN/m^3)	kv (kN/m^3)
1.00	44944	52876	35955	42300	29963	35250
2.00	44944	52876	35955	42300	29963	35250
3.00	44944	52876	35955	42300	29963	35250
4.00	102730	120859	82184	96687	68486	80572
5.00	102730	120859	82184	96687	68486	80572
6.00	102730	120859	82184	96687	68486	80572
7.00	102730	120859	82184	96687	68486	80572
8.00	250403	294593	200323	235674	166935	196395
9.00	250403	294593	200323	235674	166935	196395
10.00	250403	294593	200323	235674	166935	196395
11.00	250403	294593	200323	235674	166935	196395
12.00	250403	294593	200323	235674	166935	196395
13.00	250403	294593	200323	235674	166935	196395
14.00	250403	294593	200323	235674	166935	196395
15.00	250403	294593	200323	235674	166935	196395
16.00	250403	294593	200323	235674	166935	196395
17.00	250403	294593	200323	235674	166935	196395
18.00	250403	294593	200323	235674	166935	196395
19.00	250403	294593	200323	235674	166935	196395
20.00	250403	294593	200323	235674	166935	196395
21.00	250403	294593	200323	235674	166935	196395
22.00	250403	294593	200323	235674	166935	196395
23.00	250403	294593	200323	235674	166935	196395
24.00	250403	294593	200323	235674	166935	196395

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

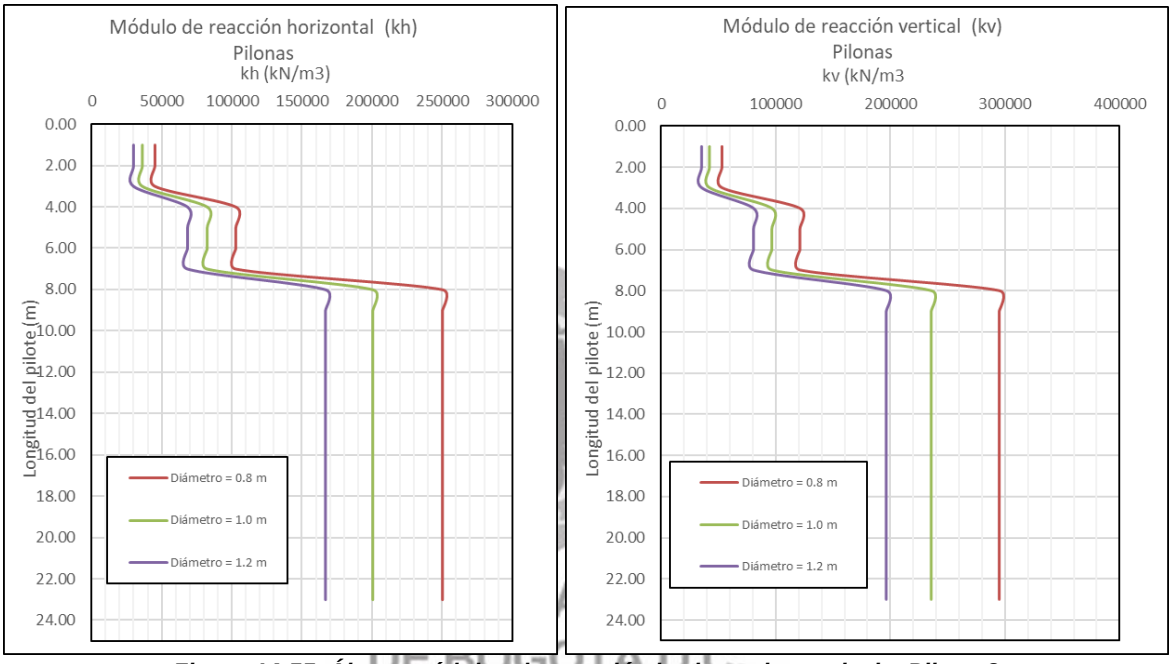


Figura 14-55. Ábaco módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 3

MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

14.6.4 Recomendaciones de cimentación para obras menores

14.6.4.1 Muro Pantalla

Como se evidencia en la siguiente figura, en la zona en donde se dispondrá la pilona 3, se proyecta la construcción de un muro perimetral que colinda con las vivienda existentes, por la condición de espacio, no es posible construir el talón de un muro de contención convencional, que permita darle resistencia al volteo, por ello se recomienda el uso de un muro pantalla instalado mediante el preexcavado de la zanja dependiendo de la longitud de empotramiento.

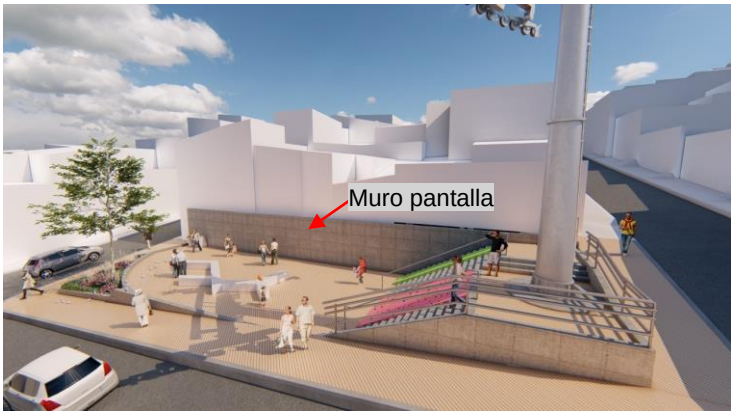


Figura 14-56. Panorámica Pilona 3

En la Figura 14-57 se muesta el esquema del muro proyectado.

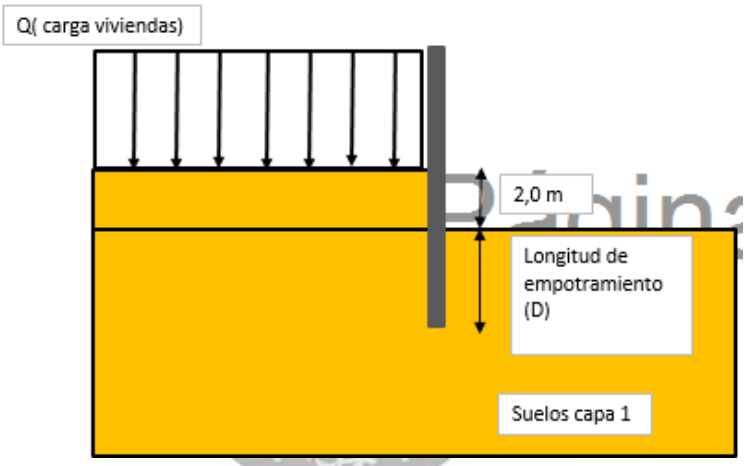


Figura 14-57. Esquema muro pantalla proyectado Pilona 3

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

Para este caso se sigue el método de cálculo de muro en tablestaca en arcilla en ausencia de nivel freático referido en el texto de DAS-2001 pp. 473.

Para el cálculo de la longitud de empotramiento y definición de momento máximo y módulo de sección de la tablestaca se utiliza el diagrama de presiones mostrado en la siguiente figura:

En la figura en vez del estrato de arena, la tablestaca no contiene suelo sino que funciona como muro divisorio.

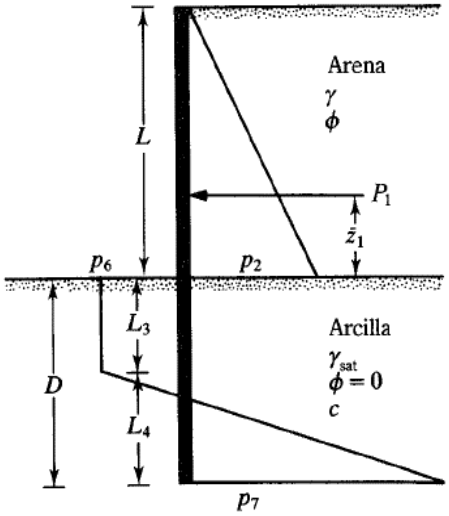


Figura 14-58. Diagrama de presiones muro pantalla proyectado Pilona 3

- **Cálculo de estabilidad del muro pantalla**

1. Cálculo de p2, P1 y z_1

L(altura libre del muro)	2
p2=gama*L*Ka (kPa)	40
P1=p2*L/2+Q*L*Ka (kN/m)	89,05
z_1(m)	0,85

2. Calculo de p6, p7

p6=4*c-gama*L (kPa)	200
p7=4*c+gama*L (kPa)	280

- **Calculo profundidad de empotramiento**

Se calcula mediante la siguiente ecuación y resolviendo para D:

$$D^2(4c - \gamma L) - 2DP_1 - \frac{P_1(P_1 + 12c\bar{z}_1)}{\gamma L + 2c} = 0$$

ALCALDÍA MAYOR
Instituto de Desarrollo Urbano

Resolviendo al ecuación cuadrática se tiene que de es:

a =(4*c-gama*L)	200
b=-2*P1	-178,1
c= - P1*(P1+12*C*z1)/(gama*L+2C)	-390,29
Solución X1	1,9114294
solución X2	-1,020929
Empotramiento teórico -D (m)	1,91
Empotramiento recomendado (1.3 D)	**2,5**

Longitud total del muro pantalla:	**4,5**

- **Cálculo momento máximo de diseño**

El momento máximo para la pantalla esta dado por:

$$M_{máx} = P_1(z' + \bar{z}_1) - \frac{p_6 z'^2}{2}$$

Z'=P1/p6 (m)	0,45
Max (kN.m)	**95,54**

- **Módulo de sección**

El cálculo del módulo de sección corresponde con la siguiente expresión:

$$S=M_{max}/\sigma_{adm}$$

De acuerdo con esto se tiene que el modulo de sección del perfil de la pantalla depende del esfuerzo admisible del material que se utilice. Se recomienda que el especialista en estructuras defina con los criterios de diseño estructural y los esfuerzos admisibles de los materiales la sección adecuada de la pantalla.

- **Recomendación de instalación**

Para la instalación de la pantalla se recomienda hacer las excavaciones y la fundición por tramos con longitudes no mayores a 2.0m para evitar afectaciones en estructuras vecinas

14.6.4.2 Capacidad de carga y asentamientos obras de urbanismo.

A partir del diseño de urbanismo se logro identificar la presencia de muros con alturas hasta de 2.0m y estructuras menores en la zona donde se dispondra la pilona. Estos deberán ser apoyados por medio de cimientos superficiales con una profundidad de desplante minima de 0.5m, apoyado sobre el material denominado como *arcillas de color gris de consistencia media*, garantizando que los cimientos no quedarán apoyados sobre rellenos antropicos, en dado caso que se evidencie este tipo de material, deberá ser retirado y dispuesto un material de relleno seleccionado compactado al 95%.

Para los muros de contención con alturas de hasta 2,0 m, se incluye en el ANEXO D. memorias de cálculo, el predimensionamiento de estos muros y la evaluación de los factores de seguridad al deslizamiento y volcamiento.

Según el perfil estratigráfico típico de la zona en donde se proyecta la pilona 3 obtenido de la campaña de exploración geotécnica, se presenta a continuación la capacidad de carga y asentamientos.

El análisis de resistencia se realizó mediante la ecuación general de capacidad portante. Los factores de capacidad portante y los factores de corrección por forma, profundidad de cimentación, excentricidad e inclinación de la carga, fueron establecidos mediante las propuestas de Meyerhoff (1963), Hansen y Vesic (1970) y Chen (1975).

Para el cálculo de la capacidad portante de cimentaciones superficiales se utilizó la ecuación general de capacidad portante.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

$$\sigma_{adm} = \frac{1}{F.S.}\left(cN_c s_c d_c + qN_q s_q d_q + \frac{1}{2}\gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma\right)$$

Con el fin de considerar la incidencia de la geometría de la fundación y la profundidad de desplante se llevó a cabo un análisis de sensibilidad en el cual se contemplaron diferentes dimensiones de cimiento y relaciones ancho/largo (B/L). Los valores presentados a continuación corresponden a la capacidad de carga del cimiento superficial. Para propositos del diseño se toma una capacidad de carga de 130 kPa.

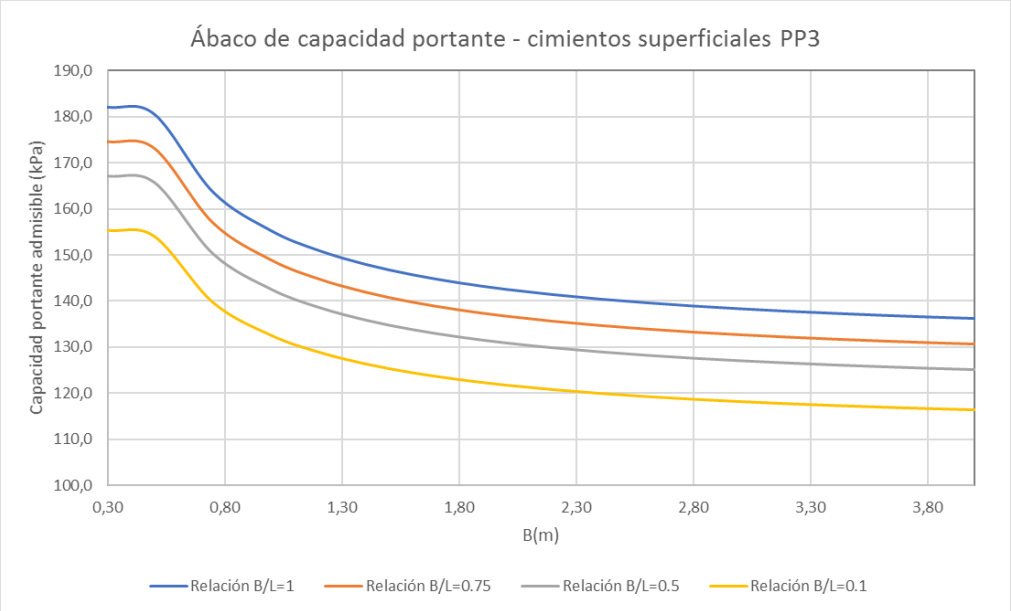


Figura 14-59. Capacidad de carga para cimientos superficiales pilona 3

El análisis de asentamientos se llevó a cabo mediante la Teoría Elástica y fue realizado de acuerdo con las propuestas existentes, fundamentadas en correlaciones entre el módulo de elasticidad, la relación de Poisson del material de fundación y coeficientes en función de la geometría del cimiento.

Con base en lo anterior, han sido determinados los asentamientos elásticos máximos esperados para las estructuras menoras proyectadas en la zona donde se dispondrá la pilona 3.

Tabla 14-59. Asentamientos cimientos superficiales Pilona 3.

Pilona	Asentamiento maximo esperado (cm)
3	1.63

14.6.4.3 Coeficientes de presión de tierras

Para el diseño de los elementos estructurales que soportan la acción de cargas generadas por los materiales de relleno, han sido realizados los análisis de esfuerzos laterales, los cuales fueron evaluados mediante la teoría clásica de Rankine.

De la misma forma con base en la formulación pseudo-estática propuesta por Mononobe – Okabe, fueron determinados los coeficientes de presión de tierras para condición dinámica.

De acuerdo a lo anterior, se recomienda utilizar diagramas de presiones laterales triangulares, propias de suelos friccionantes, considerando los siguientes parámetros:

Tabla 14-60. Coeficientes de presión de tierras

Aceleración Aa	0,22
Peso unitario del material de relleno	19 kN/m3
Ángulo de fricción interno	32°
Coeficiente de presión activa (Ka)	0,30
Coediciente de presión activo dinámico (Kae)	0,40

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

Se recomiendan materiales de relleno tipo seleccionado, los cuales deberán seleccionarse de acuerdo con los lineamientos establecidos por el artículo No. 610 del INVIAS.

Recomendaciones

- Para los muros de contención se deben incluir filtros en el trasdós, esto con el fin de que se evacuen las aguas residuales hacia los sistemas de drenajes, para evitar la acumulación de estas en la cara del muro, las cuales pueden ocasionar afectaciones a la estructura.
- Las caras de los cortes y la base de fundación de los cimientos, deberán ser protegidos con mortero para evitar la degradación de estas por presencia de aguas superficiales.

14.7 PILONA 4

Se modelaron cimentaciones profundas debido a la naturaleza de las cargas a las cuales serán sometidas las estructuras. Para ello se consideraron diámetros de 0.8 m 1.0 m y 1.2 m. Adicionalmente, se realizó una verificación por carga lateral por el método de Broms.

14.7.1 Recomendaciones generales

A partir del suelo encontrado en la zona de estudio, se definieron las siguientes recomendaciones generales para la pilona 4.

Tabla 14-61. Recomendaciones generales pilona 4

Suelo de fundación en la base	Prof. mínima base del pilote respecto a nivel de terreno (m)	Prof. mínima de desplante del dado respecto a nivel del terreno (m)	Observaciones
Arcilla limosa , color marrón rojizo con vetas amarillas y grices, consistencia muy dura. (F. Bogotá)	8.0	1.5	Profundiad de desplante del dado mínimo, para garantizar un nivel de suelo homogéneo.

14.7.2 Capacidad

En la Tabla 14-62 se presentan los resultados de la carga axial admisible y carga de tracción para el Estado Límite de Resistencia (ELR) y en la Figura 14-60 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-62. Resumen de valores de carga axial admisible y carga por tracción ELR – Pilona 4

Longitud m	Carga axial ELR (kN)			Carga admisible por tracción ELR (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	301.4	442.3	609.5	148.79	189.69	232.07
2.00	443.4	648.0	890.2	297.59	379.38	464.13
3.00	632.5	912.6	1241.6	573.15	727.53	886.35
4.00	751.2	1061.0	1419.6	848.70	1075.67	1308.56
5.00	869.8	1209.3	1597.6	1124.26	1423.81	1730.77
6.00	861.7	1159.6	1490.4	1399.82	1771.96	2152.98
7.00	853.6	1109.8	1383.2	1675.37	2120.10	2575.19
8.00	1024.1	1284.1	1545.7	2117.30	2676.21	3246.96
9.00	1239.1	1552.9	1868.3	2559.23	3232.32	3918.73
10.00	1454.2	1821.7	2190.8	3001.16	3788.44	4590.50
11.00	1669.2	2090.5	2513.4	3443.09	4344.55	5262.27
12.00	1884.3	2359.3	2836.0	3885.02	4900.66	5934.04
13.00	2099.3	2628.1	3158.6	4326.95	5456.77	6605.82
14.00	2314.4	2897.0	3481.1	4768.88	6012.88	7277.59
15.00	2529.4	3165.8	3803.7	5210.81	6568.99	7949.36
16.00	2744.5	3434.6	4126.3	5652.74	7125.10	8621.13
17.00	2959.5	3703.4	4448.9	6094.67	7681.21	9292.90
18.00	3174.6	3972.2	4771.4	6536.60	8237.32	9964.67
19.00	3389.6	4241.0	5094.0	6978.53	8793.43	10636.44
20.00	3604.7	4509.8	5416.6	7420.46	9349.55	11308.21
21.00	3819.7	4778.6	5739.1	7862.39	9905.66	11979.98
22.00	4034.8	5047.4	6061.7	8304.32	10461.77	12651.76
23.00	4249.8	5316.2	6384.3	8746.25	11017.88	13323.53

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

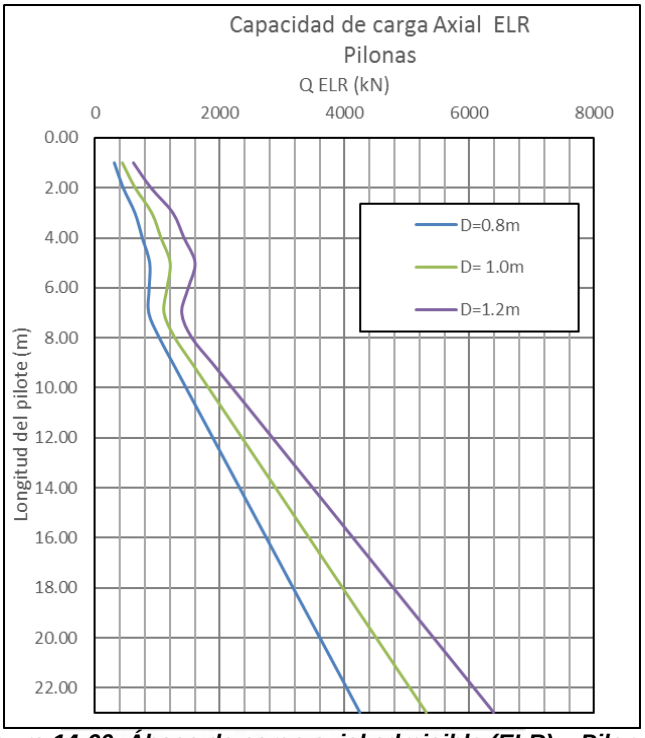


Figura 14-60. Ábaco de carga axial admisible (ELR) – Pilona 4

Instituto de Desarrollo Urbano

Adicionalmente, en la Tabla 14-63 se presentan los resultados obtenidos para la carga axial admisible correspondiente al Estado Límite de Evento Extremo (ELEE) y el Figura 14-61 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-63. Resumen de valores de carga axial admisible ELEE – Pilona 4

Carga axial admisible ELEE (kN)		
D=0.8m	**D= 1.0m**	**D=1.2m**
736.3	1084.4	1498.0
1074.2	1577.3	2174.2
1514.0	2197.6	3003.2
1777.7	2527.2	3398.8
2041.4	2856.9	3794.4
1988.2	2691.3	3476.9
1935.0	2525.8	3159.4
2048.2	2568.2	3091.4
2478.3	3105.8	3736.6
2908.4	3643.4	4381.7
3338.5	4181.1	5026.8
3768.6	4718.7	5672.0
4198.6	5256.3	6317.1
4628.7	5793.9	6962.3
5058.8	6331.5	7607.4
5488.9	6869.2	8252.6
5919.0	7406.8	8897.7
6349.1	7944.4	9542.8

Carga axial admisible ELEE (kN)		
D=0.8m	**D= 1.0m**	**D=1.2m**
6779.2	8482.0	10188.0
7209.3	9019.6	10833.1
7639.4	9557.2	11478.3
8069.5	10094.9	12123.4
8499.6	10632.5	12768.6

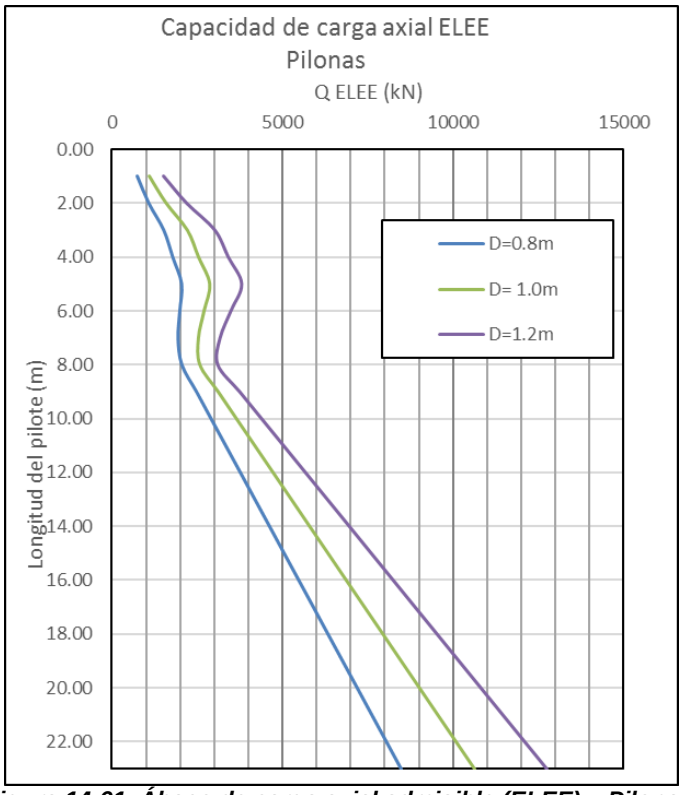


Figura 14-61. Ábaco de carga axial admisible (ELEE) – Pilona 4

Las cargas admisibles para el Estado Límite de Servicio (ELS), se presentan en la Tabla 14-64 y en la Figura 14-62 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-64. Resumen de valores de carga axial admisible ELS – Pilona 4

Longitud m	**Carga admisible axial ELS para 20 mm (kN)**		
	D=0.8m	**D= 1.0m**	**D=1.2m**
1.00	736.3	1084.4	1498.0
2.00	1074.2	1577.3	2174.2
3.00	1514.0	2197.6	3003.2
4.00	1777.7	2527.2	3398.8
5.00	2041.4	2856.9	3794.4
6.00	1988.2	2691.3	3476.9

Longitud m	Carga admisible axial ELS para 20 mm (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
7.00	1935.0	2525.8	3159.4
8.00	2048.2	2568.2	3091.4
9.00	2478.3	3105.8	3736.6
10.00	2908.4	3643.4	4381.7
11.00	3338.5	4181.1	5026.8
12.00	3768.6	4718.7	5672.0
13.00	4198.6	5256.3	6546.5
14.00	4628.7	5793.9	7417.7
15.00	5058.8	6331.5	8360.9
16.00	5488.9	6869.2	9068.2
17.00	5919.0	7406.8	9772.2
18.00	6349.1	7944.4	10397.7
19.00	6779.2	8482.0	11026.5
20.00	7209.3	9019.6	11668.4
21.00	7639.4	9557.2	12303.7
22.00	8069.5	10094.9	12929.2
23.00	8499.6	10632.5	13554.8

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD

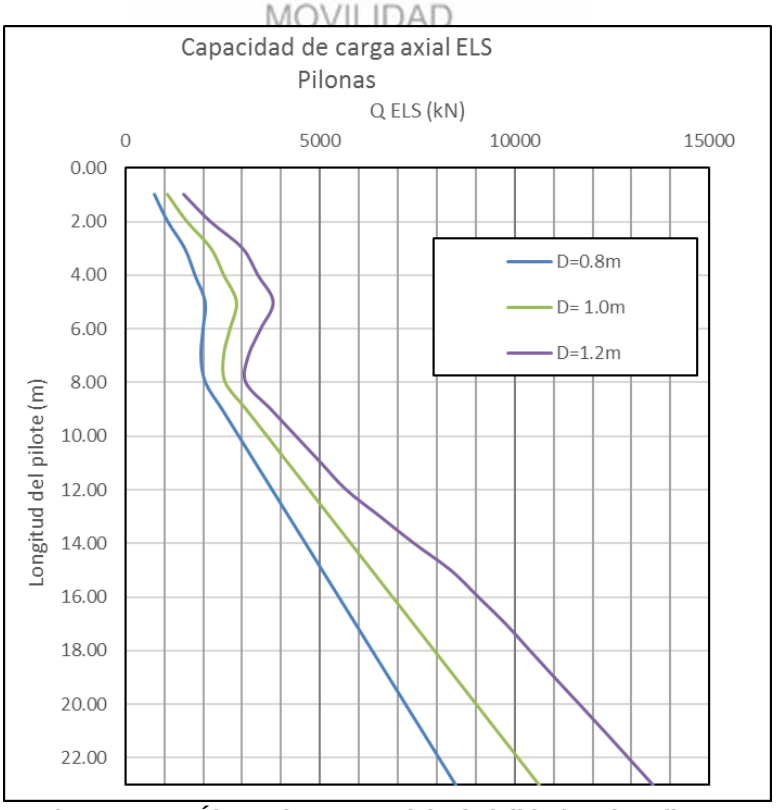


Figura 14-62. Ábaco de carga axial admisible (ELS) – Pilona 4

En la Tabla 14-65 se presentan los valores de capacidad de carga lateral para cada uno de los diferentes diámetros, con respecto a los Estados Límite de Resistencia y a los Estados Límite de Evento Extremo y en la Figura 14-63 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-65. Resumen de valores de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 4

Longitud m	Carga horizontal ELR y ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	-117.0	-413.6	-817.2
2.00	673.1	573.9	367.8
3.00	2017.5	2149.4	2132.4
4.00	3580.5	4050.7	4350.9
5.00	5194.2	6120.3	6796.6
6.00	6680.1	8159.6	9595.2
7.00	8185.3	10026.0	11816.8
8.00	8659.5	15351.2	24474.8
9.00	7761.5	13758.2	21933.3
10.00	7043.2	12483.9	19900.1
11.00	6455.4	11441.2	18236.6
12.00	5965.6	10572.3	16850.3
13.00	5551.1	9837.1	15677.3
14.00	5195.9	9206.9	14671.9
15.00	4888.0	8660.8	13800.5
16.00	4618.6	8182.9	13038.0
17.00	4380.9	7761.2	12365.3
18.00	4169.6	7386.4	11767.3
19.00	3980.6	7051.0	11232.2
20.00	3810.4	6749.2	10750.6
21.00	3656.5	6476.1	10314.9
22.00	3516.6	6227.8	9918.9
23.00	3388.8	6001.2	9557.2
24.00	3265.8	5782.7	9208.3

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

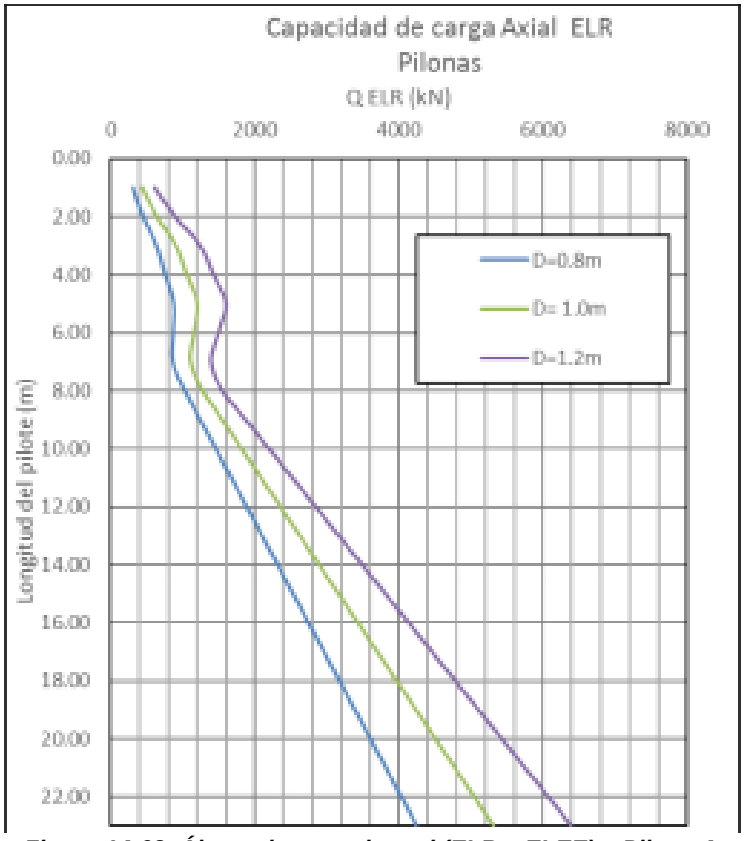


Figura 14-63. Ábaco de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 4

Adicionalmente en la Tabla 14-66 se muestran los resultados de capacidad de carga lateral para los diferentes diámetros con respecto a los valores de Estado Límite de Servicio y en la Figura 14-64 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-66. Resumen de valores de carga lateral (ELS) – Pilona 4

LONGITUD m	Carga horizontal ELS para 20 mm(kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	-117.0	-413.6	-817.2
2.00	673.1	573.9	367.8
3.00	2017.5	2149.4	2132.4
4.00	2275.0	3961.6	3961.6
5.00	2657.4	3324.2	3991.0
6.00	2912.4	3638.0	4363.7
7.00	3079.1	3853.8	4618.6
8.00	3245.8	4059.7	4873.6
9.00	3373.3	4216.6	5050.1
10.00	7043.2	12483.9	19900.1
11.00	6455.4	11441.2	18236.6

12.00	5965.6	10572.3	16850.3
13.00	5551.1	9837.1	15677.3
14.00	5195.9	9206.9	14671.9
15.00	4888.0	8660.8	13800.5
16.00	4618.6	8182.9	13038.0
17.00	4380.9	7761.2	12365.3
18.00	4169.6	7386.4	11767.3
19.00	3980.6	7051.0	11232.2
20.00	3810.4	6749.2	10750.6
21.00	3656.5	6476.1	10314.9
22.00	3516.6	6227.8	9918.9
23.00	3388.8	6001.2	9557.2
24.00	3265.8	5782.7	9208.3

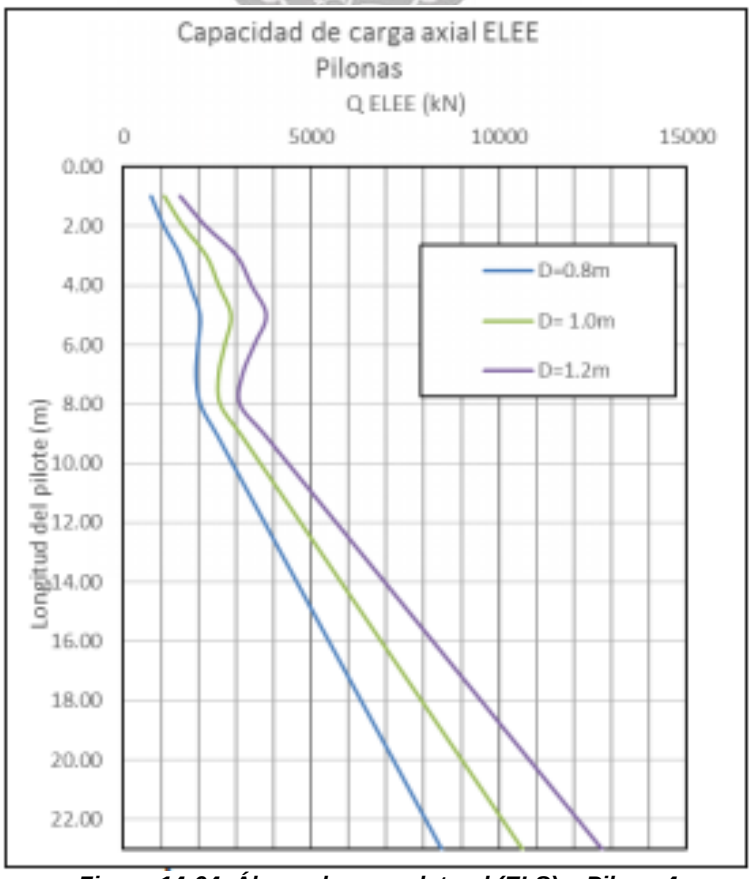


Figura 14-64. Ábaco de carga lateral (ELS) – Pilona 4

14.7.3 Módulo de reacción horizontal y vertical

En la Tabla 14-67 se presentan los valores de los módulos de reacción vertical y horizontal, para cada uno de los diámetros contemplados y la Figura 14-65 muestra la variación con la profundidad valores que pueden ser utilizados para la elaboración del modelo de diseño estructural.

Tabla 14-67. Resumen de valores módulos de reacción horizontal y vertical

Longitud (m)	Diámetro = 0.8 m		Diámetro = 1.0 m		Diámetro = 1.2 m	
	kh (kN/m^3)	kv (kN/m^3)	kh (kN/m^3)	kv (kN/m^3)	kh (kN/m^3)	kv (kN/m^3)
1.00	73399	86352	58719	69082	48933	57568
2.00	73837	86867	59069	69494	49225	57911
3.00	77772	91496	62217	73197	51848	60998
4.00	77772	91496	62217	73197	51848	60998
5.00	169069	198905	135255	159124	112713	132603
6.00	169069	198905	135255	159124	112713	132603
7.00	169069	198905	135255	159124	112713	132603
8.00	135934	159922	108747	127938	90622	106615
9.00	135934	159922	108747	127938	90622	106615
10.00	9446147	11113140	7556917	8890512	6297431	7408760
11.00	9446147	11113140	7556917	8890512	6297431	7408760
12.00	9446147	11113140	7556917	8890512	6297431	7408760
13.00	9446147	11113140	7556917	8890512	6297431	7408760
14.00	9446147	11113140	7556917	8890512	6297431	7408760
15.00	9446147	11113140	7556917	8890512	6297431	7408760
16.00	9446147	11113140	7556917	8890512	6297431	7408760
17.00	9446147	11113140	7556917	8890512	6297431	7408760
18.00	9446147	11113140	7556917	8890512	6297431	7408760
19.00	9446147	11113140	7556917	8890512	6297431	7408760
20.00	9446147	11113140	7556917	8890512	6297431	7408760
21.00	9446147	11113140	7556917	8890512	6297431	7408760
22.00	9446147	11113140	7556917	8890512	6297431	7408760
23.00	9446147	11113140	7556917	8890512	6297431	7408760

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

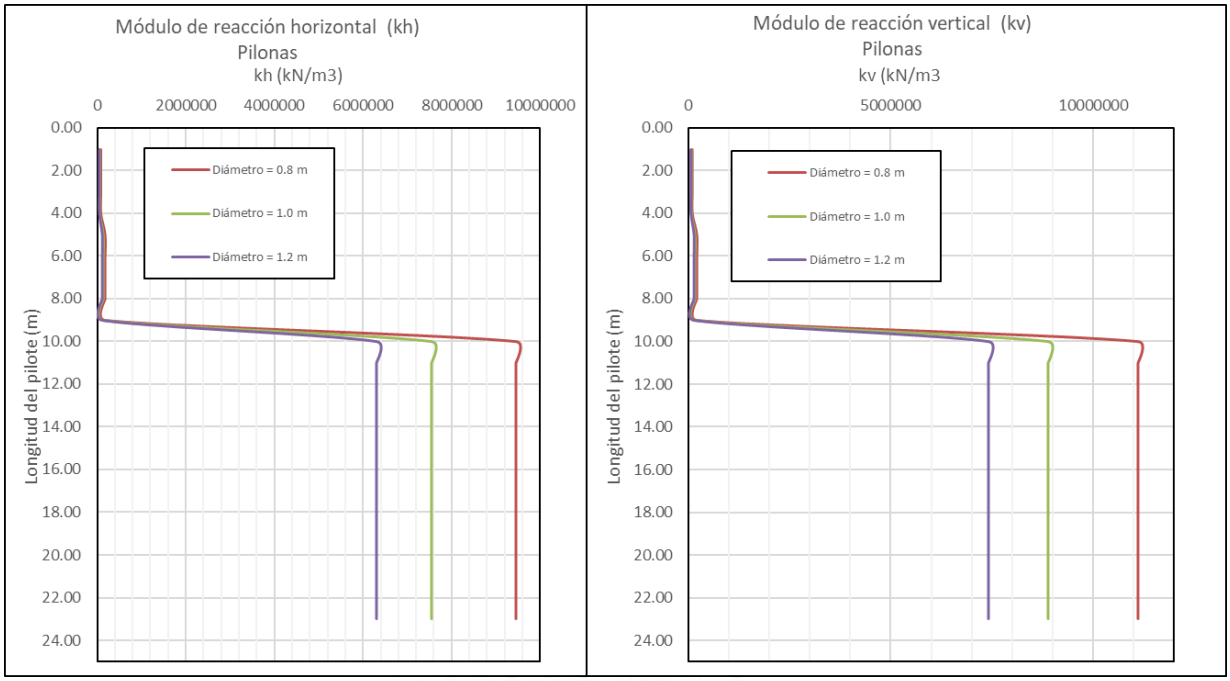


Figura 14-65. Ábaco módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 4

MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

14.7.4 Recomendaciones de cimentación para obras menores

A partir del diseño de urbanismo se logro identificar la presencia de muros con alturas hasta de 1.5m y estructuras menores en la zona donde se dispondra la pilona. Estos deberán ser apoyados por medio de cimientos superficiales con una profundidad de desplante minima de 0.5m, apoyado sobre el material denominado como arcilla arenosa de consistencia firme, garantizando que los cimientos no quedaran apoyados sobre rellenos antropicos, en dado caso que se evidencie este tipo de material, deberá ser retirado y dispuesto un material de relleno seleccionado compactado al 95%.

Para los muros de contención con alturas de hasta 1.5 m, se incluye en el ANEXO D. memorias de cálculo, el predimensionamiento de estos muros y la evaluación de los factores de seguridad al deslizamiento y volcamiento.

14.7.4.1 Capacidad de carga y asentamientos obras de urbanismo.

Según el perfil estratigráfico típico de la zona en donde se proyecta la pilona 4 obtenido de la campaña de exploración geotécnica, se presenta a continuación la capacidad de carga y asentamientos.

El análisis de resistencia se realizó mediante la ecuación general de capacidad portante. Los factores de capacidad portante y los factores de corrección por forma, profundidad de

cimentación, excentricidad e inclinación de la carga, fueron establecidos mediante las propuestas de Meyerhoff (1963), Hansen y Vesic (1970) y Chen (1975).

Para el cálculo de la capacidad portante de cimentaciones superficiales se utilizó la ecuación general de capacidad portante.

$$\sigma_{adm} = \frac{1}{F.S.}\left(cN_c s_c d_c + qN_q s_q d_q + \frac{1}{2}\gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma\right)$$

Con el fin de considerar la incidencia de la geometría de la fundación y la profundidad de desplante se llevó a cabo un análisis de sensibilidad en el cual se contemplaron diferentes dimensiones de cimiento y relaciones ancho/largo (B/L). Los valores presentados a continuación corresponden a la capacidad de carga del cimiento superficial. Para propositos del diseño se toma una capacidad de carga de 223.4 kPa.

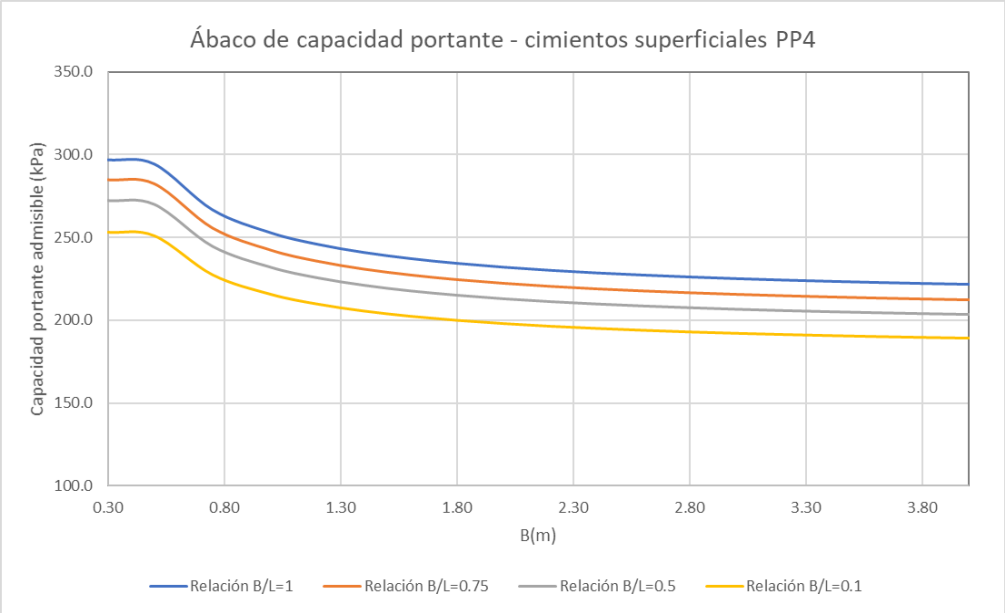


Figura 14-66. Capacidad de carga para cimientos superficiales pilona 4

El análisis de asentamientos se llevó a cabo mediante la Teoría Elástica y fue realizado de acuerdo con las propuestas existentes, fundamentadas en correlaciones entre el módulo de elasticidad, la relación de Poisson del material de fundación y coeficientes en función de la geometría del cimiento.

Con base en lo anterior, han sido determinados los asentamientos elásticos máximos esperados para las estructuras menoras proyectadas en la zona donde se dispondrá la pilona 4.

Tabla 14-68. Asentamientos cimientos superficiales Pilona 4.

Pilona	Asentamiento maximo esperado (cm)
4	1.62

14.7.4.2 Coeficientes de presión de tierras

Para el diseño de los elementos estructurales que soportan la acción de cargas generadas por los materiales de relleno, han sido realizados los análisis de esfuerzos laterales, los cuales fueron evaluados mediante la teoría clásica de Rankine.

De la misma forma con base en la formulación pseudo-estática propuesta por Mononobe – Okabe, fueron determinados los coeficientes de presión de tierras para condición dinámica.

De acuerdo a lo anterior, se recomienda utilizar diagramas de presiones laterales triangulares, propias de suelos friccionantes, considerando los siguientes parámetros:

Tabla 14-69. Coeficientes de presión de tierras

Aceleración Aa	0,22
Peso unitario del material de relleno	19 kN/m3
Ángulo de fricción interno	32°
Coeficiente de presión activa (Ka)	0,30
Coediciente de presión activo dinámico (Kae)	0,40

Se recomiendan materiales de relleno tipo seleccionado, los cuales deberán seleccionarse de acuerdo con los lineamientos establecidos por el artículo No. 610 del INVIAS.

Recomendaciones

- Para los muros de contención se deben incluir filtros en el trasdós, esto con el fin de que se evacuen las aguas residuales hacia los sistemas de drenajes, para evitar la acumulación de estas en la cara del muro, las cuales pueden ocasionar afectaciones a la estructura.
- Las caras de los cortes y la base de fundación de los cimientos, deberán ser protegidos con mortero para evitar la degradación de estas por presencia de aguas superficiales.

14.8 PILONA 5

Se modelaron cimentaciones profundas debido a la naturaleza de las cargas a las cuales serán sometidas las estructuras. Para ello se consideraron diámetros de 0.8 m 1.0 m y 1.2 m. Adicionalmente, se realizó una verificación por carga lateral por el método de Broms.

14.8.1 Recomendaciones generales

A partir del suelo encontrado en la zona de estudio, se definieron las siguientes recomendaciones generales para la pilona 5.

Tabla 14-70. Recomendaciones generales pilona 5

Suelo de fundación en la base	Prof. mínima base del pilote respecto a nivel de terreno (m)	Prof. mínima de desplante del dado respecto a nivel del terreno (m)	Observaciones
Arcilla limoarenosa de color marrón rojizo con vetas violeta y grises, consistencia muy dura. (F. Bogotá)	11.0	1.5	Profundiad de desplante del dado mínimo, para garantizar un nivel de suelo homogéneo.

14.8.2 Capacidad

En la Tabla 14-71 se presentan los resultados de la carga axial admisible y carga de tracción para el Estado Límite de Resistencia (ELR) y en la Figura 14-67 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Tabla 14-71. Resumen de valores de carga axial admisible y carga por tracción ELR – Pilona 5

Longitud m	Carga axial admisible ELR (kN)			Carga admisible por tracción ELR (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	143.6	206.6	280.4	96.99	124.94	154.37
2.00	188.1	266.1	356.5	193.99	249.88	308.73
3.00	292.2	420.7	571.3	290.98	374.82	463.10
4.00	396.4	571.4	776.9	387.97	499.76	617.47
5.00	564.7	802.3	1078.6	627.57	802.95	985.73
6.00	667.1	930.5	1232.4	867.16	1106.14	1354.00
7.00	835.9	1162.1	1535.2	1106.75	1409.33	1722.26
8.00	1004.7	1393.8	1838.1	1346.35	1712.52	2090.52
9.00	1204.9	1664.8	2188.1	1655.79	2103.02	2563.57
10.00	1338.8	1832.2	2389.0	1965.24	2493.53	3036.61
11.00	1524.8	2080.9	2707.0	2274.68	2884.03	3509.66
12.00	1710.8	2329.7	3025.1	2584.13	3274.54	3982.70
13.00	1902.5	2585.6	3351.7	2906.29	3680.94	4474.82
14.00	2042.2	2760.2	3561.2	3228.45	4087.34	4966.93
15.00	2181.8	2934.7	3770.6	3550.61	4493.73	5459.05
16.00	2321.5	3109.3	3980.1	3872.77	4900.13	5951.17
17.00	2461.1	3283.8	4189.6	4194.93	5306.53	6443.28
18.00	2600.7	3458.4	4399.1	4517.09	5712.93	6935.40
19.00	2740.4	3633.0	4608.5	4839.25	6119.33	7427.52
20.00	2880.0	3807.5	4818.0	5161.41	6525.73	7919.63
21.00	3019.7	3982.1	5027.5	5483.57	6932.13	8411.75

Longitud m	Carga axial admisible ELR (kN)			Carga admisible por tracción ELR (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
22.00	3159.3	4156.6	5236.9	5805.73	7338.52	8903.86
23.00	3299.0	4331.2	5446.4	6127.89	7744.92	9395.98
24.00	3438.6	4505.8	5655.9	6450.05	8151.32	9888.10

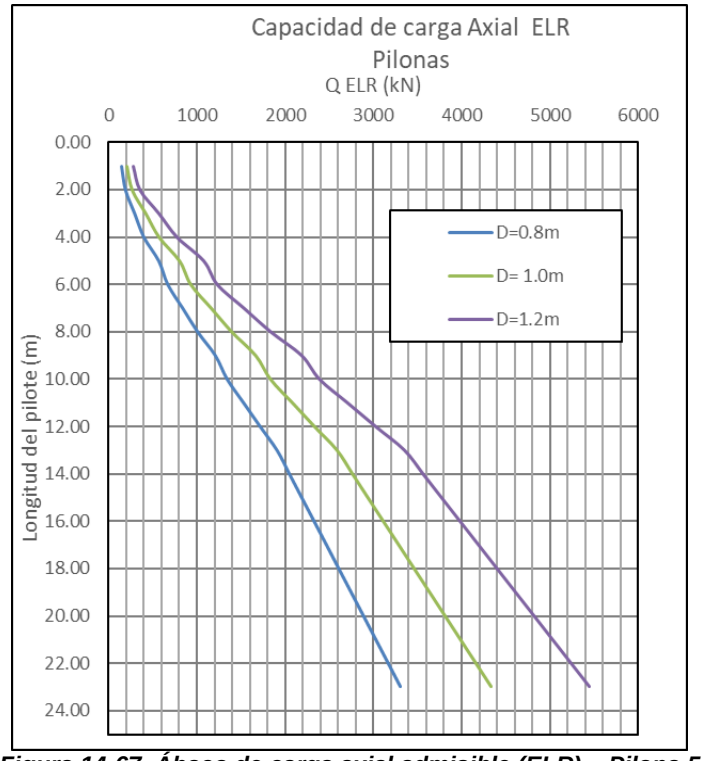


Figura 14-67. Ábaco de carga axial admisible (ELR) – Pilona 5

Adicionalmente en la Tabla 14-72 se presentan los resultados obtenidos para la carga axial admisible correspondiente al Estado Límite de Evento Extremo (ELEE) y en la Figura 14-68 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-72. Resumen de valores de carga axial admisible ELEE – Pilona 5

Longitud m	Carga axial admisible ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	348.4	503.2	685.1
2.00	449.0	638.7	859.3
3.00	698.7	1011.9	1380.4
4.00	948.3	1375.3	1878.3
5.00	1340.6	1917.1	2590.0
6.00	1568.4	2201.8	2931.7
7.00	1961.8	2745.3	3646.1
8.00	2355.2	3288.9	4360.5
9.00	2818.5	3919.8	5179.7
10.00	3116.1	4291.8	5626.2

Longitud m	Carga axial admisible ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
11.00	3543.9	4867.2	6365.5
12.00	3971.7	5442.7	7104.8
13.00	4412.2	6034.0	7863.2
14.00	4722.6	6421.9	8328.7
15.00	5032.9	6809.8	8794.2
16.00	5343.2	7197.7	9259.7
17.00	5653.5	7585.6	9725.1
18.00	5963.9	7973.5	10190.6
19.00	6274.2	8361.4	10656.1
20.00	6584.5	8749.3	11121.6
21.00	6894.8	9137.2	11587.1
22.00	7205.2	9525.1	12052.6
23.00	7515.5	9913.0	12518.1
24.00	7825.8	10300.9	12983.6

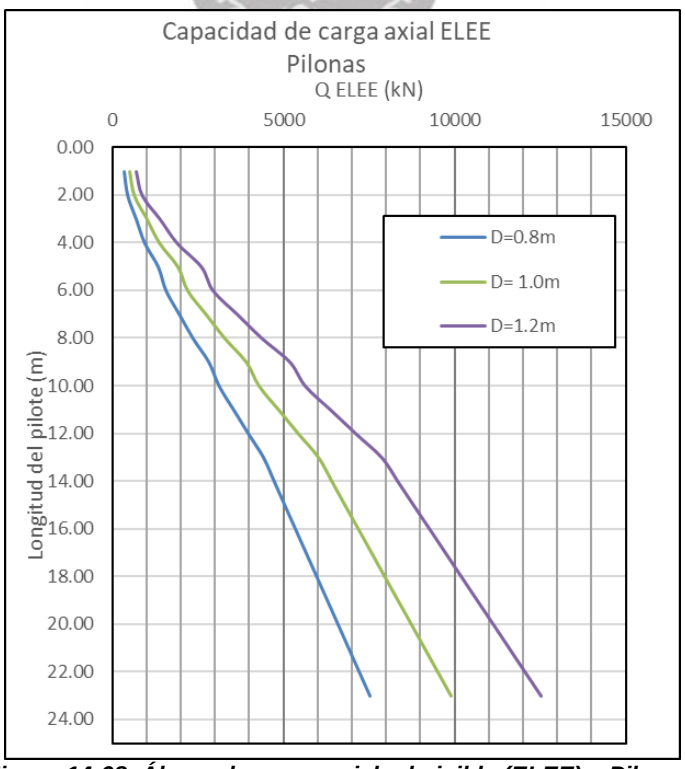


Figura 14-68. Ábaco de carga axial admisible (ELEE) – Pilona 5

Las cargas admisibles para el Estado Límite de Servicio (ELS), se presentan en la Tabla 14-73 y en la Figura 14-69 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-73. Resumen de valores de carga axial admisible ELS – Pilona 5

Longitud m	Carga admisible axial ELS para 20 mm (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	143.6	206.6	280.4
2.00	188.1	266.1	356.5
3.00	292.2	420.7	571.3
4.00	396.4	571.4	776.9
5.00	564.7	802.3	1078.6
6.00	667.1	930.5	1232.4
7.00	835.9	1162.1	1535.2
8.00	1004.7	1393.8	1838.1
9.00	1204.9	1664.8	2188.1
10.00	1338.8	1832.2	2389.0
11.00	1524.8	2080.9	2707.0
12.00	1710.8	2329.7	3025.1
13.00	1902.5	2585.6	3351.7
14.00	2042.2	2760.2	3561.2
15.00	2181.8	2934.7	3770.6
16.00	2321.5	3109.3	3980.1
17.00	2461.1	3283.8	4189.6
18.00	2600.7	3458.4	4399.1
19.00	2740.4	3633.0	4608.5
20.00	2880.0	3807.5	4818.0
21.00	3019.7	3982.1	5027.5
22.00	3159.3	4156.6	5236.9
23.00	3299.0	4331.2	5446.4
24.00	3438.6	4505.8	5655.9

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

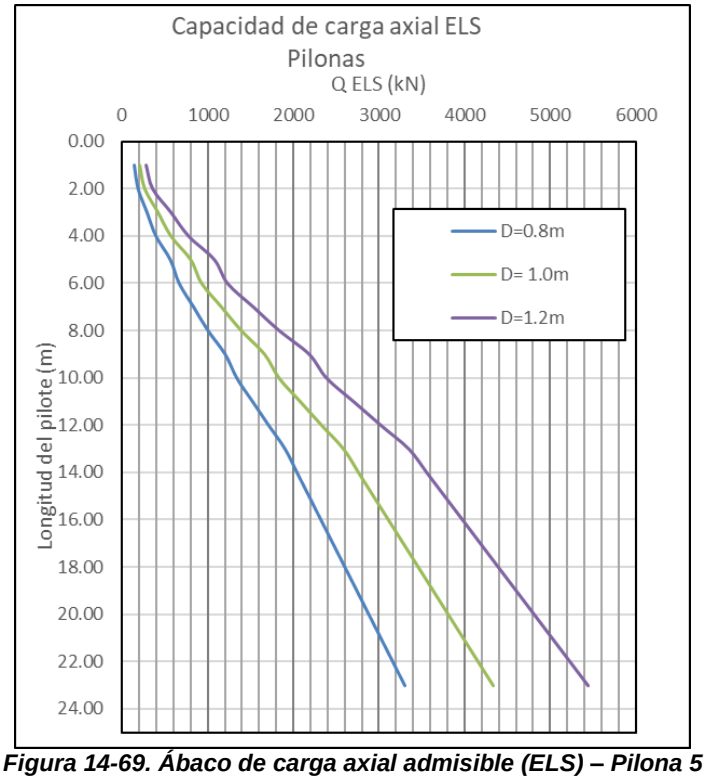


Figura 14-69. Ábaco de carga axial admisible (ELS) – Pilona 5

En la Figura 14-74 se presentan también los valores de capacidad de carga lateral para cada uno de los diferentes diámetros, con respecto a los Estados Límite de Resistencia y a los Estados Límite de Evento Extremo y en la Figura 14-70 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-74. Resumen de valores de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 5

Longitud m	Carga horizontal ELR y ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	-66.3	-249.2	-498.5
2.00	444.1	388.9	267.2
3.00	999.3	1082.9	1099.9
4.00	1599.2	1832.7	1999.8
5.00	2834.6	3332.8	3729.2
6.00	3938.4	4937.0	5670.6
7.00	5077.8	6333.6	7614.8
8.00	6239.5	7764.9	9307.6
9.00	8102.1	10044.5	11984.9
10.00	9996.0	12373.0	14732.4
11.00	11912.8	14737.1	17531.1
12.00	13846.5	17127.8	20368.1
13.00	16358.5	20227.9	24040.6
14.00	18888.7	23356.6	27754.3
15.00	21433.7	26508.2	31500.9
16.00	23990.6	29678.5	35274.2
17.00	26557.4	32864.1	39069.6
18.00	29132.3	36062.5	42883.4
19.00	12885.5	39271.6	46712.6
20.00	13199.6	23405.2	50555.0
21.00	13483.8	23909.4	38129.2
22.00	13742.2	24367.8	38860.6
23.00	13978.1	24786.3	39528.3
24.00	14194.3	25169.9	40140.4

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

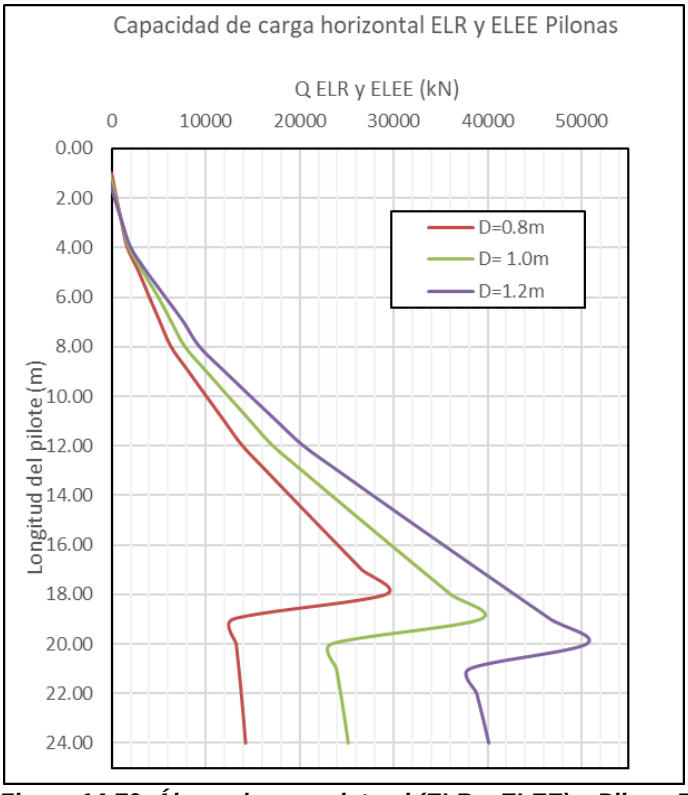


Figura 14-70. Ábaco de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 5

Adicionalmente en la Tabla 14-75 se muestran los resultados de capacidad de carga lateral para los diferentes diámetros con respecto a los valores de Estado Límite de Servicio y en la Figura 14-71 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-75. Resumen de valores de carga lateral (ELS) – Pilona 5

Longitud m	Carga horizontal ELS para 20 mm(kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	-66.3	-249.2	-498.5
2.00	444.1	388.9	267.2
3.00	999.3	1082.9	1099.9
4.00	1578.8	1832.7	1999.8
5.00	1578.8	1971.0	3729.2
6.00	1578.8	1971.0	2363.2
7.00	1578.8	1971.0	2373.1
8.00	1618.0	2020.0	2422.1
9.00	1637.6	2049.5	2451.5
10.00	1657.2	2078.9	2480.9
11.00	1676.8	2098.5	2510.3
12.00	1696.4	2118.1	2539.8
13.00	1706.2	2127.9	2559.4
14.00	1716.1	2137.7	2569.2
15.00	1725.9	2147.5	2579.0
16.00	1725.9	2157.3	2588.8

Longitud m	Carga horizontal ELS para 20 mm(kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
17.00	1755.3	2196.5	2628.0
18.00	1774.9	2226.0	2667.2
19.00	1804.3	2255.4	2706.5
20.00	1823.9	2275.0	2745.7
21.00	1843.5	2294.6	2765.3
22.00	1863.1	2324.0	2784.9
23.00	1872.9	2343.6	2804.5
24.00	1882.8	2373.1	2824.1

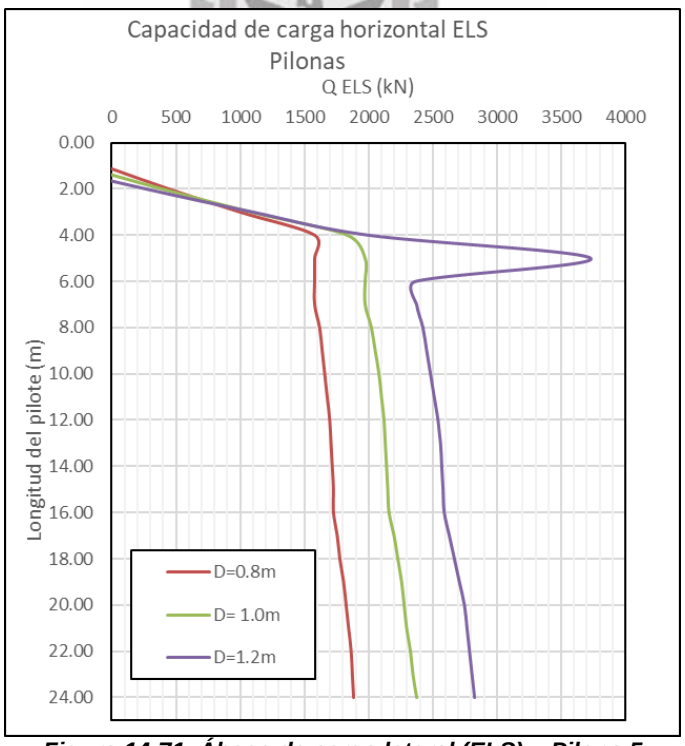


Figura 14-71. Ábaco de carga lateral (ELS) – Pilona 5

14.8.3 Módulo de reacción horizontal y vertical

En la Tabla 14-76 se presentan los valores de los módulos de reacción vertical y horizontal, para cada uno de los diámetros contemplados y la Figura 14-72 muestra la variación con la profundidad valores que pueden ser utilizados para la elaboración del modelo de diseño estructural.

Tabla 14-76. Resumen de valores módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 5

Longitud (m)	Diámetro = 0.8 m		Diámetro = 1.0 m		Diámetro = 1.2 m	
	kh (kN/m^3)	kv (kN/m^3)	kh (kN/m^3)	kv (kN/m^3)	kh (kN/m^3)	kv (kN/m^3)
1.00	45820	53906	36656	43125	30546	35937
2.00	45820	53906	36656	43125	30546	35937
3.00	45820	53906	36656	43125	30546	35937
4.00	45820	53906	36656	43125	30546	35937
5.00	127332	149803	101866	119842	84888	99869
6.00	127332	149803	101866	119842	84888	99869
7.00	127332	149803	101866	119842	84888	99869
8.00	127332	149803	101866	119842	84888	99869
9.00	208669	245494	166935	196395	139113	163663
10.00	208669	245494	166935	196395	139113	163663
11.00	208669	245494	166935	196395	139113	163663
12.00	208669	245494	166935	196395	139113	163663
13.00	272875	321031	218300	256824	181917	214020
14.00	272875	321031	218300	256824	181917	214020
15.00	272875	321031	218300	256824	181917	214020
16.00	272875	321031	218300	256824	181917	214020
17.00	272875	321031	218300	256824	181917	214020
18.00	272875	321031	218300	256824	181917	214020
19.00	272875	321031	218300	256824	181917	214020
20.00	272875	321031	218300	256824	181917	214020
21.00	272875	321031	218300	256824	181917	214020
22.00	272875	321031	218300	256824	181917	214020
23.00	272875	321031	218300	256824	181917	214020
24.00	272875	321031	218300	256824	181917	214020

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

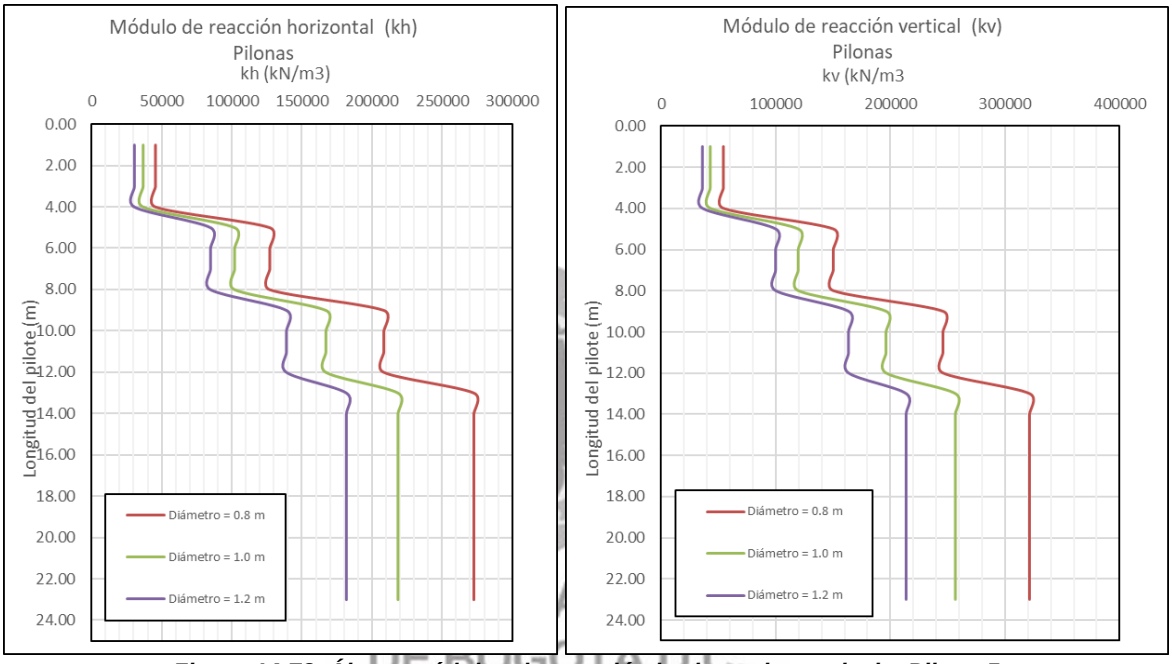


Figura 14-72. Ábaco módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 5

MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

14.8.4 Recomendaciones de cimentación para obras menores

A partir del diseño de urbanismo se logro identificar la presencia de muros con alturas hasta de 2.5m y estructuras menores en la zona donde se dispondra la pilona. Estos deberán ser apoyados por medio de cimientos superficiales con una profundidad de desplante minima de 0.5m, apoyado sobre el material denominado como *arcilla rojiza de consistencia firme*, garantizando que los cimientos no quedaran apoyados sobre rellenos antropicos, en dado caso que se evidencie este tipo de material, deberá ser retirado y dispuesto un material de relleno seleccionado compactado al 95%.

Para los muros de contención con alturas de hasta 2.5 m, se incluye en el ANEXO D. memorias de cálculo, el predimensionamiento de estos muros y la evaluación de los factores de seguridad al deslizamiento y volcamiento.

14.8.4.1 Capacidad de carga y asentamientos obras de urbanismo.

Según el perfil estratigráfico típico de la zona en donde se proyecta la pilona 5 obtenido de la campaña de exploración geotécnica, se presenta a continuación la capacidad de carga y asentamientos.

El análisis de resistencia se realizó mediante la ecuación general de capacidad portante. Los factores de capacidad portante y los factores de corrección por forma, profundidad de

cimentación, excentricidad e inclinación de la carga, fueron establecidos mediante las propuestas de Meyerhoff (1963), Hansen y Vesic (1970) y Chen (1975).

Para el cálculo de la capacidad portante de cimentaciones superficiales se utilizó la ecuación general de capacidad portante.

$$\sigma_{adm} = \frac{1}{F.S.}\left(cN_c s_c d_c + qN_q s_q d_q + \frac{1}{2}\gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma\right)$$

Con el fin de considerar la incidencia de la geometría de la fundación y la profundidad de desplante se llevó a cabo un análisis de sensibilidad en el cual se contemplaron diferentes dimensiones de cimiento y relaciones ancho/largo (B/L). Los valores presentados a continuación corresponden a la capacidad de carga del cimiento superficial. Para propositos del diseño se toma una capacidad de carga de 139.8 kPa.

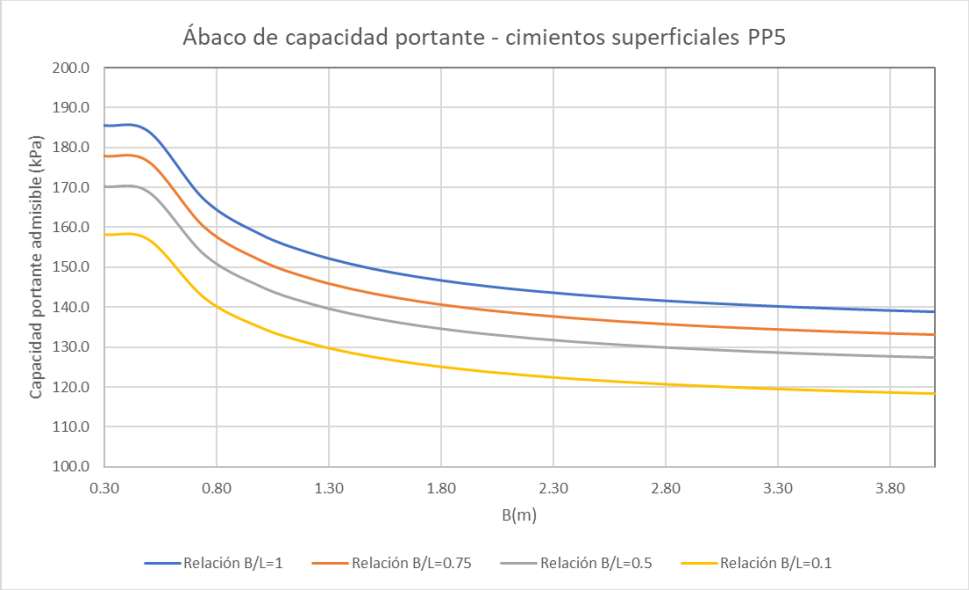


Figura 14-73. Capacidad de carga para cimientos superficiales pilona 5

El análisis de asentamientos se llevó a cabo mediante la Teoría Elástica y fue realizado de acuerdo con las propuestas existentes, fundamentadas en correlaciones entre el módulo de elasticidad, la relación de Poisson del material de fundación y coeficientes en función de la geometría del cimiento.

Con base en lo anterior, han sido determinados los asentamientos elásticos máximos esperados para las estructuras menoras proyectadas en la zona donde se dispondrá la pilona 5.

Tabla 14-77. Asentamientos cimientos superficiales Pilona 5.

Pilona	Asentamiento maximo esperado (cm)
5	1.63

14.8.4.2 Coeficientes de presión de tierras

Para el diseño de los elementos estructurales que soportan la acción de cargas generadas por los materiales de relleno, han sido realizados los análisis de esfuerzos laterales, los cuales fueron evaluados mediante la teoría clásica de Rankine.

De la misma forma con base en la formulación pseudo-estática propuesta por Mononobe – Okabe, fueron determinados los coeficientes de presión de tierras para condición dinámica.

De acuerdo a lo anterior, se recomienda utilizar diagramas de presiones laterales triangulares, propias de suelos friccionantes, considerando los siguientes parámetros:

Tabla 14-78. Coeficientes de presión de tierras

Aceleración Aa	0,22
Peso unitario del material de relleno	19 kN/m3
Ángulo de fricción interno	32°
Coeficiente de presión activa (Ka)	0,30
Coediciente de presión activo dinámico (Kae)	0,40

Se recomiendan materiales de relleno tipo seleccionado, los cuales deberán seleccionarse de acuerdo con los lineamientos establecidos por el artículo No. 610 del INVIAS.

Recomendaciones

- Para los muros de contención se deben incluir filtros en el trasdós, esto con el fin de que se evacuen las aguas residuales hacia los sistemas de drenajes, para evitar la acumulación de estas en la cara del muro, las cuales pueden ocasionar afectaciones a la estructura.
- Las caras de los cortes y la base de fundación de los cimientos, deberán ser protegidos con mortero para evitar la degradación de estas por presencia de aguas superficiales.

14.9 PILONA 6

Se modelaron cimentaciones profundas debido a la naturaleza de las cargas a las cuales serán sometidas las estructuras. Para ello se consideraron diámetros de 0.8 m 1.0 m y 1.2 m. Adicionalmente, se realizó una verificación por carga lateral por el método de Broms.

14.9.1 Recomendaciones generales

A partir del suelo encontrado en la zona de estudio, se definieron las siguientes recomendaciones generales para la pilona 6.

Tabla 14-79. Recomendaciones generales pilona 6

Suelo de fundación en la base	Prof. mínima base del pilote respecto a nivel de terreno (m)	Prof. mínima de desplante del dado respecto a nivel del terreno (m)	Observaciones
Arcilla color marron amarillento de plasticidad media con gravas menores a 4", consistencia muy dura. (F. Bogotá)	14.0	2.0	Profundiad de desplante del dado mínimo, para garantizar un nivel de suelo homogéneo.

14.9.2 Capacidad

En la Tabla 14-80 se presentan los resultados de la carga axial admisible y carga de tracción para el Estado Límite de Resistencia (ELR) y en la Figura 14-74 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Tabla 14-80. Resumen de valores de carga axial admisible y carga por tracción ELR – Pilona 6

LONGITUD m	Carga axial ELR (kN)			Carga admisible por tracción ELR (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1,00	414,0	646,9	931,5	11,83	18,49	26,63
2,00	374,4	585,0	842,4	23,67	36,98	53,26
3,00	334,8	523,0	753,2	35,50	55,47	79,88
4,00	346,8	516,6	719,5	227,69	299,41	377,04
5,00	457,6	664,3	907,8	419,88	543,34	674,20
6,00	593,2	843,0	1133,4	667,31	856,32	1054,21
7,00	699,2	975,5	1292,5	914,73	1169,30	1434,23
8,00	805,2	1108,0	1451,5	1162,16	1482,29	1814,25
9,00	911,2	1240,6	1610,5	1409,59	1795,27	2194,26
10,00	1017,3	1373,1	1769,5	1657,01	2108,25	2574,28
11,00	1123,3	1505,6	1928,6	1904,44	2421,23	2954,30
12,00	1229,3	1638,1	2087,6	2151,87	2734,21	3334,31
13,00	1383,2	1845,5	2354,4	2399,29	3047,20	3714,33
14,00	1537,2	2053,0	2709,2	2646,72	3360,18	4094,34
15,00	1715,0	2290,2	3011,9	2947,19	3739,46	4553,92
16,00	1844,9	2452,6	3220,2	3247,66	4118,75	5043,46
17,00	1974,8	2614,9	3327,1	3548,13	4498,03	5503,04
18,00	2104,7	2777,3	3521,9	3848,60	4877,31	5962,62
19,00	2234,5	2939,6	3716,8	4149,07	5256,60	6422,20
20,00	2427,1	3200,0	4052,7	4449,53	5635,88	6881,78
21,00	2619,8	3460,4	4388,7	4750,00	6015,17	7341,36

LONGITUD m	Carga axial ELR (kN)			Carga admisible por tracción ELR (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
22,00	2822,2	3733,0	4739,4	5072,39	6421,85	7833,81
23,00	2962,0	3907,7	4949,1	5394,78	6828,53	8326,27
24,00	3101,7	4082,4	5158,7	5717,16	7235,21	8818,73

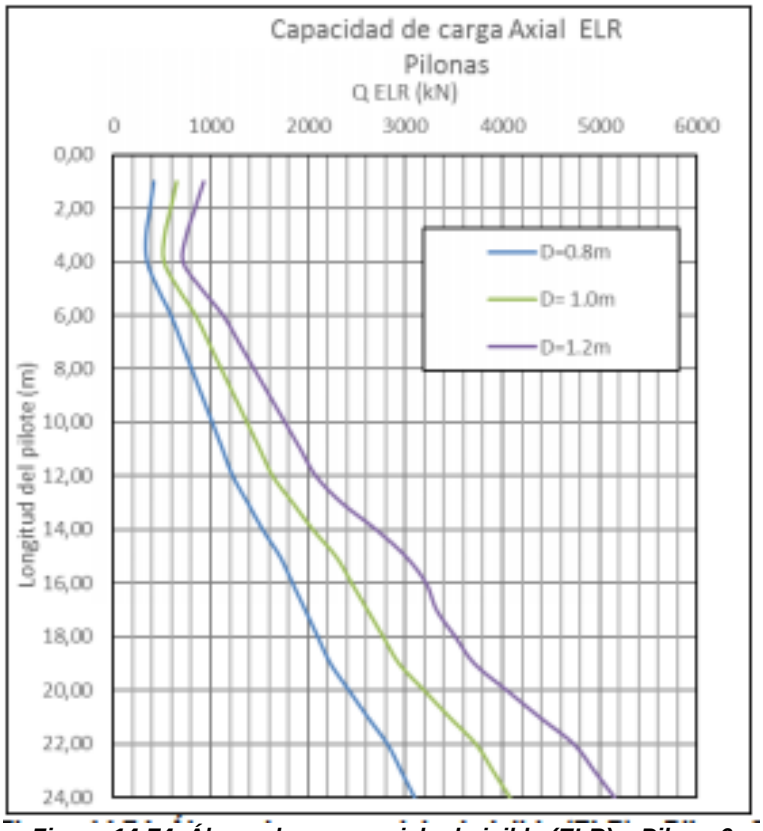


Figura 14-74. Ábaco de carga axial admisible (ELR) – Pilona 6

Adicionalmente en la Tabla 14-81 para se presentan los resultados obtenidos para la carga axial admisible correspondiente al Estado Límite de Evento Extremo (ELEE) y en la Figura 14-75 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-81. Resumen de valores de carga axial admisible ELEE – Pilona 6

LONGITUD m	Carga axial ELR (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1,00	414,0	646,9	931,5
2,00	374,4	585,0	842,4
3,00	334,8	523,0	753,2
4,00	346,8	516,6	719,5
5,00	457,6	664,3	907,8
6,00	593,2	843,0	1133,4

LONGITUD m	Carga axial ELR (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
7,00	699,2	975,5	1292,5
8,00	805,2	1108,0	1451,5
9,00	911,2	1240,6	1610,5
10,00	1017,3	1373,1	1769,5
11,00	1123,3	1505,6	1928,6
12,00	1229,3	1638,1	2087,6
13,00	1383,2	1845,5	2354,4
14,00	1537,2	2053,0	2709,2
15,00	1715,0	2290,2	3011,9
16,00	1844,9	2452,6	3220,2
17,00	1974,8	2614,9	3327,1
18,00	2104,7	2777,3	3521,9
19,00	2234,5	2939,6	3716,8
20,00	2427,1	3200,0	4052,7
21,00	2619,8	3460,4	4388,7
22,00	2822,2	3733,0	4739,4
23,00	2962,0	3907,7	4949,1
24,00	3101,7	4082,4	5158,7

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

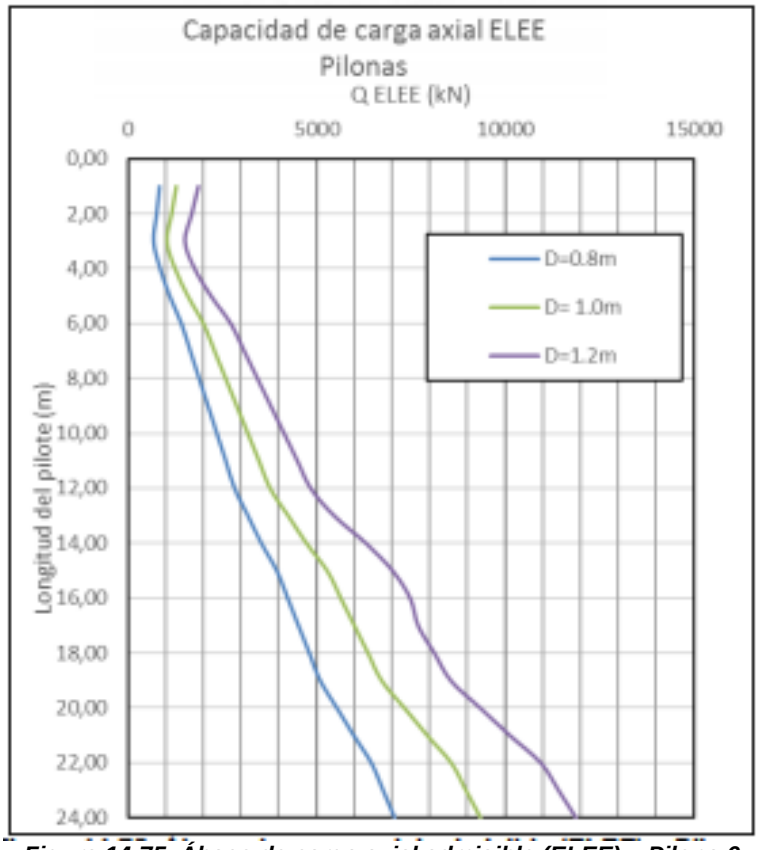


Figura 14-75. Ábaco de carga axial admisible (ELEE) – Pilona 6

Las cargas admisibles para el Estado Límite de Servicio (ELS), se presentan en la Tabla 14-82 y en la Figura 14-76 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-82. Resumen de valores de carga axial admisible ELS – Pilona 6

LONGITUD m	Carga admisible axial ELS para 20 mm (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1,00	414,0	646,9	931,5
2,00	354,7	554,2	798,1
3,00	295,4	461,6	664,7
4,00	346,8	516,6	719,5
5,00	457,6	664,3	907,8
6,00	593,2	843,0	1133,4
7,00	699,2	975,5	1292,5
8,00	805,2	1108,0	1451,5
9,00	911,2	1240,6	1610,5
10,00	1017,3	1373,1	1769,5
11,00	1123,3	1505,6	1928,6

LONGITUD m	Carga admisible axial ELS para 20 mm (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
12,00	1229,3	1638,1	2087,6
13,00	1383,2	1845,5	2354,4
14,00	1537,2	2053,0	2709,2
15,00	1715,0	2290,2	3011,9
16,00	1844,9	2452,6	3220,2
17,00	1974,8	2614,9	3327,1
18,00	2104,7	2777,3	3521,9
19,00	2234,5	2939,6	3716,8
20,00	2364,4	3102,0	3911,6
21,00	2494,3	3264,3	4106,4
22,00	2822,2	3733,0	4739,4
23,00	2962,0	3907,7	4949,1
24,00	3101,7	4082,4	5158,7

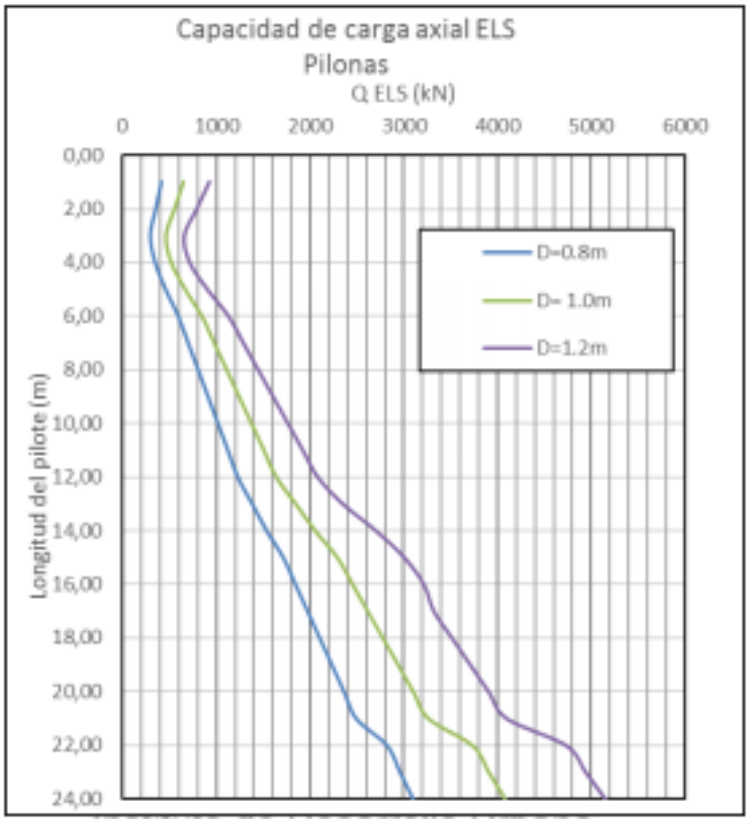


Figura 14-76. Ábaco de carga axial admisible (ELS) – Pilona 6

En la Tabla 14-83 Se presentan también los valores de capacidad de carga lateral para cada uno de los diferentes diámetros, con respecto a los Estados Límite de Resistencia y a los Estados Límite de Evento Extremo y en la Figura 14-77 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-83. Resumen de valores de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 6

LONGITUD m	Carga horizontal ELR y ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1,00	-141,4	-483,9	-949,3
2,00	744,6	623,7	379,8
3,00	1675,4	1787,1	1776,0
4,00	2739,6	3106,2	3345,4
5,00	3849,1	4506,5	5017,7
6,00	5057,9	6250,4	7445,1
7,00	6290,5	7772,9	9250,4
8,00	7537,9	9318,5	11088,8
9,00	8795,3	10879,5	12949,4
10,00	10059,6	12451,4	14825,4
11,00	11328,9	14031,1	16712,7
12,00	12602,0	15616,7	18608,5
13,00	13878,0	17206,8	20510,8
14,00	15156,4	18800,5	22418,2
15,00	16962,6	21040,4	25084,5
16,00	19207,1	23819,4	28387,4
17,00	21028,6	26083,0	31087,9
18,00	22854,8	28354,0	33799,0
19,00	10103,3	30631,2	36519,1
20,00	10282,5	18229,9	39246,7
21,00	10444,6	18517,6	29526,3
22,00	10847,5	19232,3	30666,6
23,00	11215,3	19884,8	31707,8
24,00	11552,5	20483,0	32662,2

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

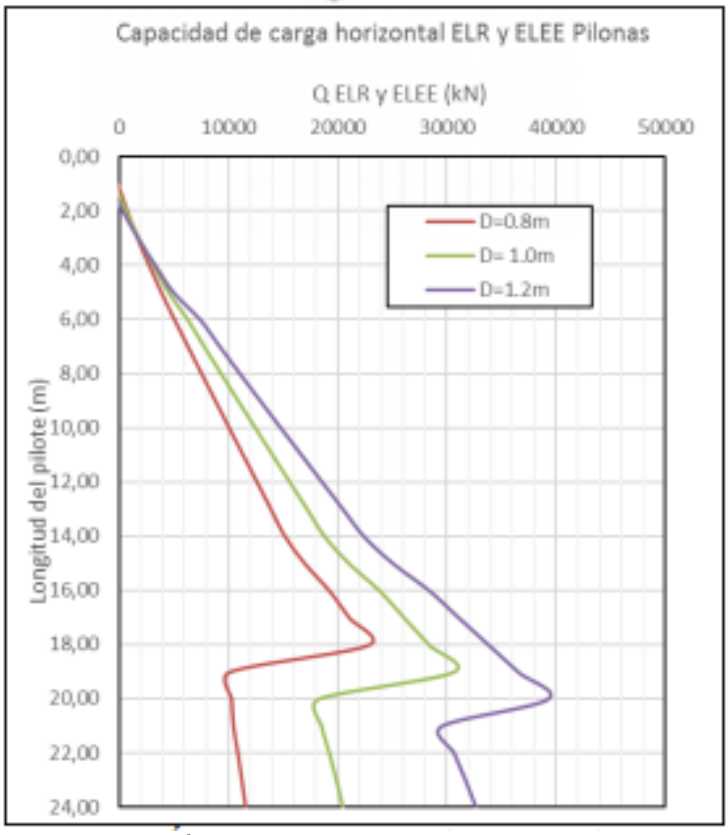


Figura 14-77. Ábaco de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 6

Adicionalmente en la Tabla 14-84 se muestran los resultados de capacidad de carga lateral para los diferentes diámetros con respecto a los valores de Estado Límite de Servicio y en la Figura 14-78 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-84. Resumen de valores de carga lateral (ELS) – Pilona 6

LONGITUD m	Carga horizontal ELS para 20 mm(kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1,00	-141,4	-483,9	-949,3
2,00	744,6	623,7	379,8
3,00	1675,4	1787,1	1776,0
4,00	2667,2	3106,2	3345,4
5,00	2706,5	3402,7	4079,3
6,00	2843,7	3589,0	4314,6
7,00	2981,0	3726,3	4461,7
8,00	3059,5	3824,3	4589,2
9,00	3118,3	3902,8	4677,5
10,00	3167,3	3942,0	4755,9
11,00	3206,6	4010,7	4804,9

12,00	3236,0	4049,9	4863,8
13,00	3265,4	4089,1	4883,4
14,00	3294,8	4118,5	4922,6
15,00	3383,1	4236,2	5089,3
16,00	3461,5	4353,9	5187,4
17,00	3559,6	4422,5	5305,0
18,00	3628,2	4510,8	5412,9
19,00	3687,1	4599,0	5520,8
20,00	3726,3	4677,5	5589,4
21,00	3765,5	4736,3	5658,1
22,00	3902,8	4854,0	5864,0
23,00	4000,8	5001,1	6030,7
24,00	4089,1	5118,7	6177,8

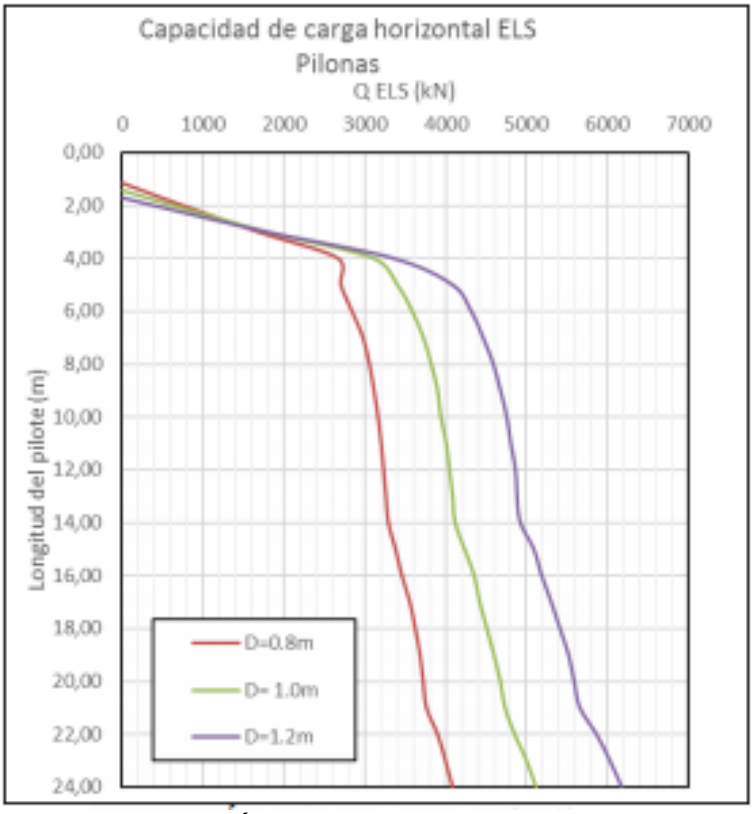


Figura 14-78. Ábaco de carga lateral (ELS) – Pilona 6

14.9.3 Módulo de reacción horizontal y vertical

En la Tabla 14-85 se presentan los valores de los módulos de reacción vertical y horizontal, para cada uno de los diámetros contemplados y la Figura 14-79 muestra la variación con la profundidad valores que pueden ser utilizados para la elaboración del modelo de diseño estructural.

Tabla 14-85. Resumen de valores módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 6

Longitud (m)	Diámetro = 0.8 m		Diámetro = 1.0 m		Diámetro = 1.2 m	
	kh (kN/m^3)	kv (kN/m^3)	kh (kN/m^3)	kv (kN/m^3)	kh (kN/m^3)	kv (kN/m^3)
1,00	78610	92482	62888	73986	52406	61655
2,00	78610	92482	62888	73986	52406	61655
3,00	85160	100189	68128	80151	56774	66793
4,00	101562	119485	81250	95588	67708	79657
5,00	101562	119485	81250	95588	67708	79657
6,00	134249	157940	107399	126352	89499	105293
7,00	134249	157940	107399	126352	89499	105293
8,00	134249	157940	107399	126352	89499	105293
9,00	134249	157940	107399	126352	89499	105293
10,00	134249	157940	107399	126352	89499	105293
11,00	134249	157940	107399	126352	89499	105293
12,00	134249	157940	107399	126352	89499	105293
13,00	134249	157940	107399	126352	89499	105293
14,00	134249	157940	107399	126352	89499	105293
15,00	193260	227365	154608	181892	128840	151577
16,00	193260	227365	154608	181892	128840	151577
17,00	193260	227365	154608	181892	128840	151577
18,00	193260	227365	154608	181892	128840	151577
19,00	193260	227365	154608	181892	128840	151577
20,00	193260	227365	154608	181892	128840	151577
21,00	193260	227365	154608	181892	128840	151577
22,00	269957	317597	215965	254078	179971	211731
23,00	269957	317597	215965	254078	179971	211731
24,00	269957	317597	215965	254078	179971	211731

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

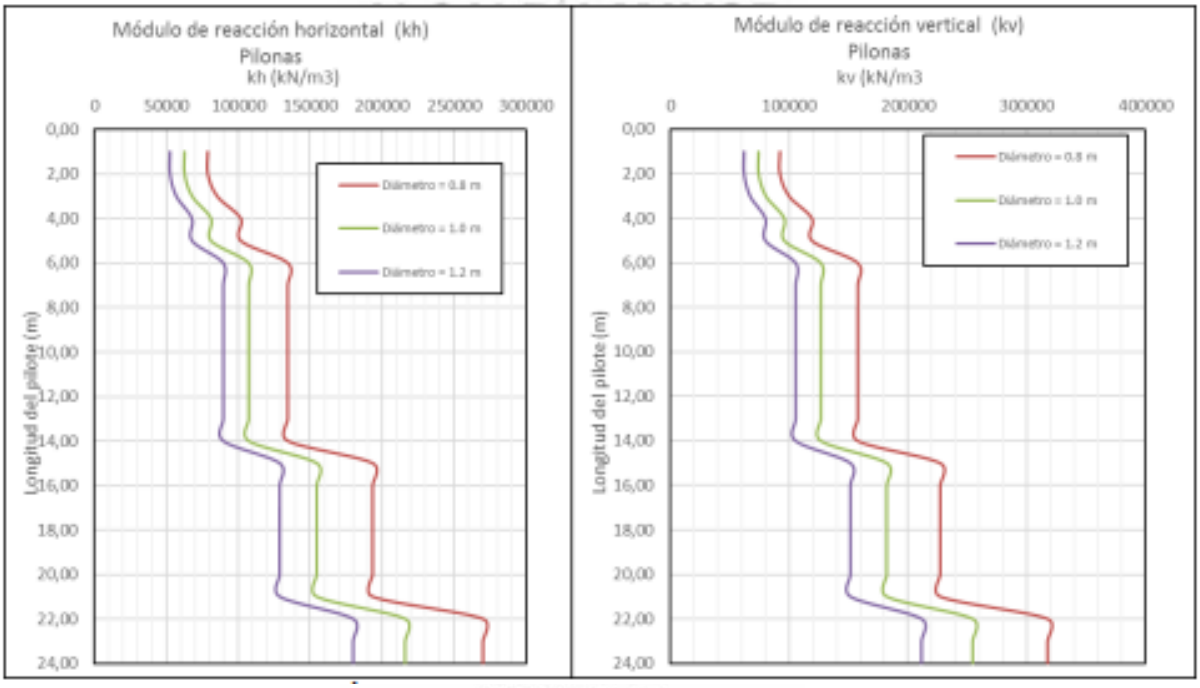


Figura 14-79. Ábaco módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 6

MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

14.9.4 Recomendaciones de cimentación para obras menores

A partir del diseño de urbanismo se logro identificar la presencia de muros con alturas hasta de 2.5m y estructuras menores en la zona donde se dispondra la pilona. Estos deberán ser apoyados por medio de cimientos superficiales con una profundidad de desplante minima de 0.5m, apoyado sobre el material denominado como *fragmentos de arenisca en matriz de arena densa*, garantizando que los cimientos no quedaran apoyados sobre rellenos antropicos, en dado caso que se evidencie este tipo de material, deberá ser retirado y dispuesto un material de relleno seleccionado compactado al 95%.

Para los muros de contención con alturas de hasta 2.5 m, se incluye en el ANEXO D. memorias de cálculo, el predimensionamiento de estos muros y la evaluación de los factores de seguridad al deslizamiento y volcamiento.

14.9.4.1 Capacidad de carga y asentamientos obras de urbanismo.

Según el perfil estratigráfico típico de la zona en donde se proyecta la pilona 6 obtenido de la campaña de exploración geotécnica, se presenta a continuación la capacidad de carga y asentamientos.

El análisis de resistencia se realizó mediante la ecuación general de capacidad portante. Los factores de capacidad portante y los factores de corrección por forma, profundidad de

cimentación, excentricidad e inclinación de la carga, fueron establecidos mediante las propuestas de Meyerhoff (1963), Hansen y Vesic (1970) y Chen (1975).

Para el cálculo de la capacidad portante de cimentaciones superficiales se utilizó la ecuación general de capacidad portante.

$$\sigma_{adm} = \frac{1}{F.S.}\left(cN_c s_c d_c + qN_q s_q d_q + \frac{1}{2}\gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma\right)$$

Con el fin de considerar la incidencia de la geometría de la fundación y la profundidad de desplante se llevó a cabo un análisis de sensibilidad en el cual se contemplaron diferentes dimensiones de cimiento y relaciones ancho/largo (B/L). Los valores presentados a continuación corresponden a la capacidad de carga del cimiento superficial. Para propositos del diseño se toma una capacidad de carga de 255.6 kPa.

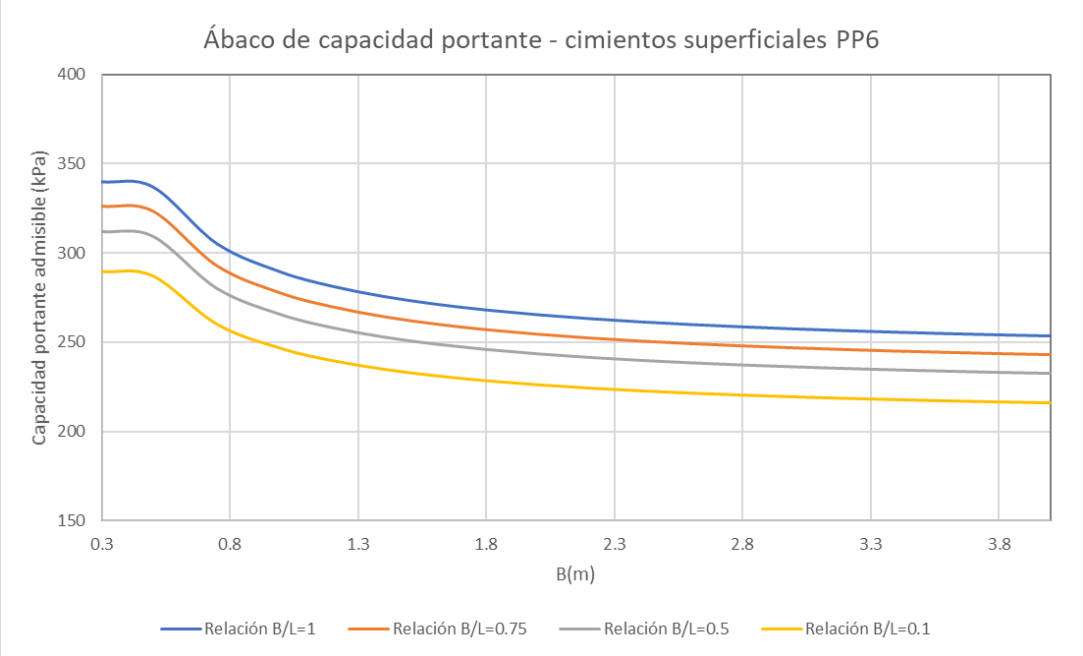


Figura 14-80. Capacidad de carga para cimientos superficiales pilona 6

El análisis de asentamientos se llevó a cabo mediante la Teoría Elástica y fue realizado de acuerdo con las propuestas existentes, fundamentadas en correlaciones entre el módulo de elasticidad, la relación de Poisson del material de fundación y coeficientes en función de la geometría del cimiento.

Con base en lo anterior, han sido determinados los asentamientos elásticos máximos esperados para las estructuras menoras proyectadas en la zona donde se dispondrá la pilona 6.

Tabla 14-86. Asentamientos cimientos superficiales Pilona 6.

Pilona	Asentamiento maximo esperado (cm)
6	1.63

14.9.4.2 Coeficientes de presión de tierras

Para el diseño de los elementos estructurales que soportan la acción de cargas generadas por los materiales de relleno, han sido realizados los análisis de esfuerzos laterales, los cuales fueron evaluados mediante la teoría clásica de Rankine.

De la misma forma con base en la formulación pseudo-estática propuesta por Mononobe – Okabe, fueron determinados los coeficientes de presión de tierras para condición dinámica.

De acuerdo a lo anterior, se recomienda utilizar diagramas de presiones laterales triangulares, propias de suelos friccionantes, considerando los siguientes parámetros:

Tabla 14-87. Coeficientes de presión de tierras

Aceleración Aa	0,22
Peso unitario del material de relleno	19 kN/m3
Ángulo de fricción interno	32°
Coeficiente de presión activa (Ka)	0,30
Coediciente de presión activo dinámico (Kae)	0,40

Se recomiendan materiales de relleno tipo seleccionado, los cuales deberán seleccionarse de acuerdo con los lineamientos establecidos por el artículo No. 610 del INVIAS.

<u>Recomendaciones</u>

- Para los muros de contención se deben incluir filtros en el trasdós, esto con el fin de que se evacuen las aguas residuales hacia los sistemas de drenajes, para evitar la acumulación de estas en la cara del muro, las cuales pueden ocasionar afectaciones a la estructura.
- Las caras de los cortes y la base de fundación de los cimientos, deberán ser protegidos con mortero para evitar la degradación de estas por presencia de aguas superficiales.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto de Desarrollo Urbano

14.10 PILONA 7

Se modelaron cimentaciones profundas debido a la naturaleza de las cargas a las cuales serán sometidas las estructuras. Para ello se consideraron diámetros de 0.8 m 1.0 m y 1.2 m. Adicionalmente, se realizó una verificación por carga lateral por el método de Broms.

14.10.1 Recomendaciones generales

A partir del suelo encontrado en la zona de estudio, se definieron las siguientes recomendaciones generales para la pilona 7.

Tabla 14-88. Recomendaciones generales pilona 7

Suelo de fundación en la base	Prof. mínima base del pilote respecto a nivel de terreno (m)	Prof. mínima de desplante del dado respecto a nivel del terreno (m)	Observaciones
Limolita gris oscura fracturada con lentes meteorizados, muy dura. (F. Bogotá)	19.0	2.0	Profundidad de desplante del dado mínimo, para garantizar un nivel de suelo homogéneo.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

14.10.2 Capacidad

En la Tabla 14-89, se presentan los resultados de la carga axial admisible y carga de tracción para el Estado Límite de Resistencia (ELR) y en la Figura 14-81 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-89. Resumen de valores de carga axial admisible y carga por tracción ELR – Pilona 7

LONGITUD m	Carga axial ELR (kN)			Carga admisible por tracción ELR (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1,00	180,7	259,9	352,8	118,96	152,40	187,32
2,00	236,7	334,8	448,5	237,92	304,80	374,64
3,00	380,1	548,8	746,8	356,88	457,20	561,95
4,00	523,6	757,9	1033,5	475,85	609,60	749,27
5,00	743,2	1062,1	1434,3	763,88	973,34	1190,19
6,00	867,4	1217,4	1620,7	1051,91	1337,07	1631,12
7,00	991,7	1372,8	1807,1	1339,94	1700,81	2072,04
8,00	1116,0	1528,2	1993,6	1627,97	2064,55	2512,96
9,00	1204,8	1628,1	2100,1	1916,00	2428,28	2953,88
10,00	1293,6	1727,9	2206,7	2204,03	2792,02	3394,80
11,00	1363,0	1803,5	2284,1	2448,89	3101,79	3770,97
12,00	1467,8	1934,6	2441,4	2693,75	3411,56	4147,13
13,00	1572,7	2065,7	2598,7	2938,60	3721,33	4523,29

LONGITUD m	Carga axial ELR (kN)			Carga admisible por tracción ELR (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
14,00	1677,5	2196,8	2755,9	3183,46	4031,10	4899,46
15,00	1782,4	2327,8	2913,2	3428,32	4340,88	5275,62
16,00	1887,3	2458,9	3070,5	3673,18	4650,65	5651,78
17,00	1992,1	2590,0	3227,8	3918,04	4960,42	6027,95
18,00	2185,7	2859,8	3584,8	4162,90	5270,19	6404,11
19,00	2379,4	3129,5	3941,8	4407,76	5579,96	6780,28
20,00	2607,0	3441,8	4349,8	4728,20	5984,21	7269,81
21,00	2745,9	3615,4	4558,1	5048,64	6388,46	7759,35
22,00	2884,7	3789,0	4766,5	5369,08	6792,71	8248,89
23,00	3023,6	3962,6	4974,8	5689,52	7196,96	8738,43
24,00	3162,5	4136,2	5183,1	6009,96	7601,21	9227,97

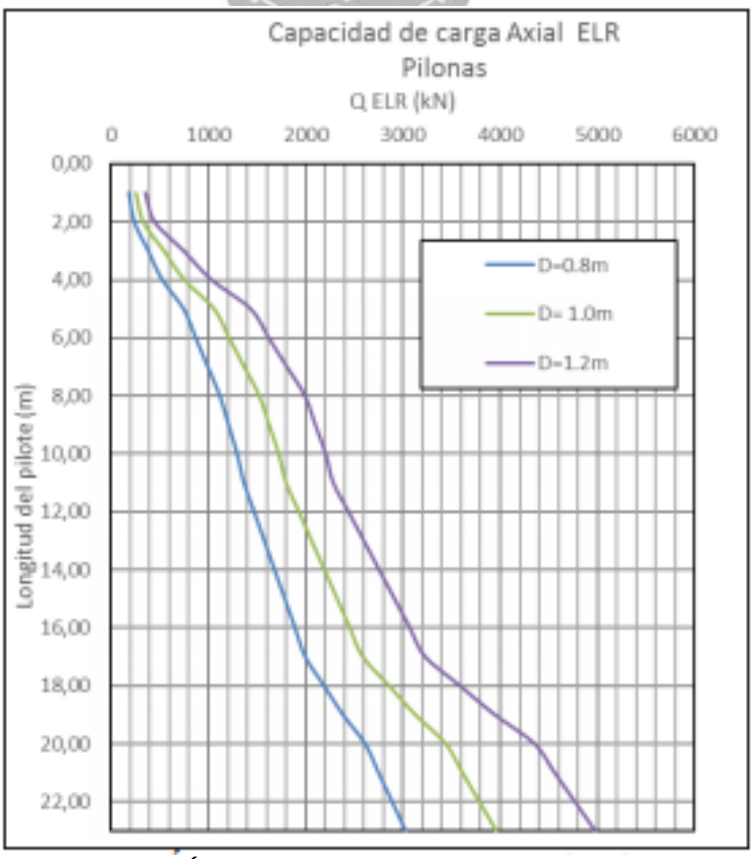


Figura 14-81. Ábaco de carga axial admisible (ELR) – Pilona 7

Adicionalmente en la Tabla 14-90 se presentan los resultados obtenidos para la carga axial admisible correspondiente al Estado Límite de Evento Extremo (ELEE) y en la Figura 14-82 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-90. Resumen de valores de carga axial admisible ELEE – Pilona 7

LONGITUD m	Carga axial admisible ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1,00	438,2	633,0	861,9
2,00	564,9	803,5	1081,0
3,00	910,1	1321,7	1806,8
4,00	1255,4	1827,7	2503,4
5,00	1769,8	2545,1	3453,5
6,00	2046,0	2890,4	3867,8
7,00	2322,2	3235,6	4282,1
8,00	2598,4	3580,8	4696,4
9,00	2785,8	3787,4	4911,0
10,00	2973,3	3994,0	5125,6
11,00	3117,5	4146,6	5275,4
12,00	3350,6	4437,8	5625,0
13,00	3583,6	4729,1	5974,5
14,00	3816,6	5020,4	6324,0
15,00	4049,6	5311,7	6673,6
16,00	4282,7	5603,0	7023,1
17,00	4515,7	5894,2	7372,6
18,00	4970,6	6532,2	8221,4
19,00	5425,5	7170,2	9070,3
20,00	5956,0	7902,7	10032,4
21,00	6264,6	8288,5	10495,3
22,00	6573,2	8674,2	10958,3
23,00	6881,8	9060,0	11421,2
24,00	7190,5	9445,7	11884,1

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

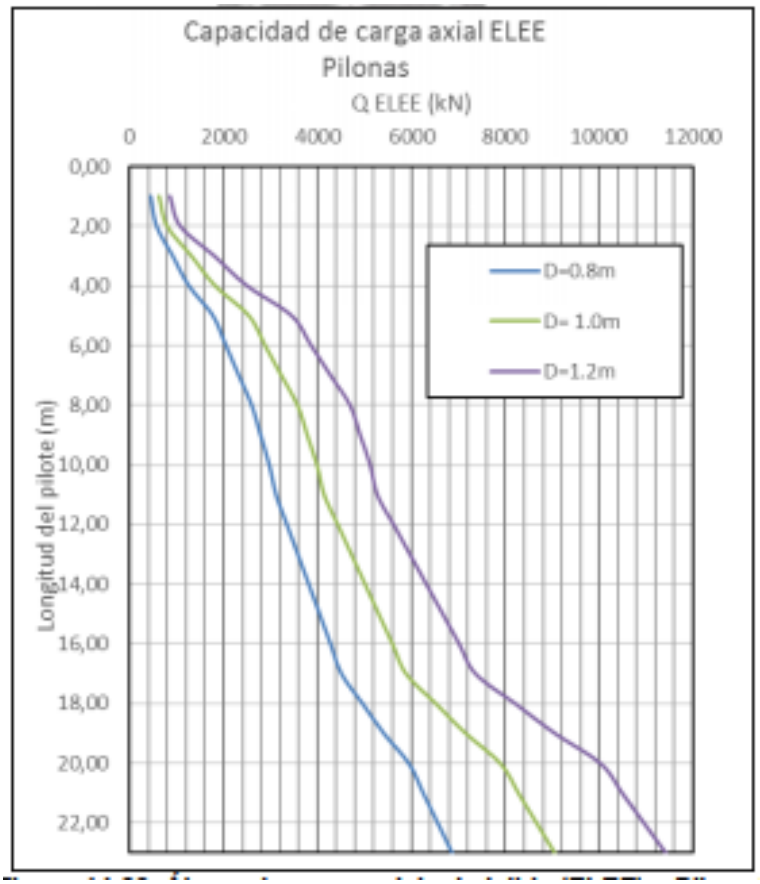


Figura 14-82. Ábaco de carga axial admisible (ELEE) – Pilona 7

Las cargas admisibles para el Estado Límite de Servicio (ELS), se presentan en la Tabla 14-91 y en la Figura 14-83 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-91. Resumen de valores de carga axial admisible ELS – Pilona 7

LONGITUD m	Carga admisible axial ELS para 20 mm (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1,00	180,7	259,9	352,8
2,00	236,7	334,8	448,5
3,00	380,1	548,8	746,8
4,00	523,6	757,9	1033,5
5,00	743,2	1062,1	1434,3
6,00	867,4	1217,4	1620,7
7,00	991,7	1372,8	1807,1
8,00	1116,0	1528,2	1993,6
9,00	1204,8	1628,1	2100,1
10,00	1293,6	1727,9	2206,7
11,00	1363,0	1803,5	2284,1

LONGITUD m	Carga admisible axial ELS para 20 mm (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
12,00	1467,8	1934,6	2441,4
13,00	1572,7	2065,7	2598,7
14,00	1677,5	2196,8	2755,9
15,00	1782,4	2327,8	2913,2
16,00	1887,3	2458,9	3070,5
17,00	1992,1	2590,0	3227,8
18,00	2185,7	2859,8	3584,8
19,00	2379,4	3129,5	3941,8
20,00	2607,0	3441,8	4349,8
21,00	2745,9	3615,4	4558,1
22,00	2884,7	3789,0	4766,5
23,00	3023,6	3962,6	4974,8
24,00	3162,5	4136,2	5183,1

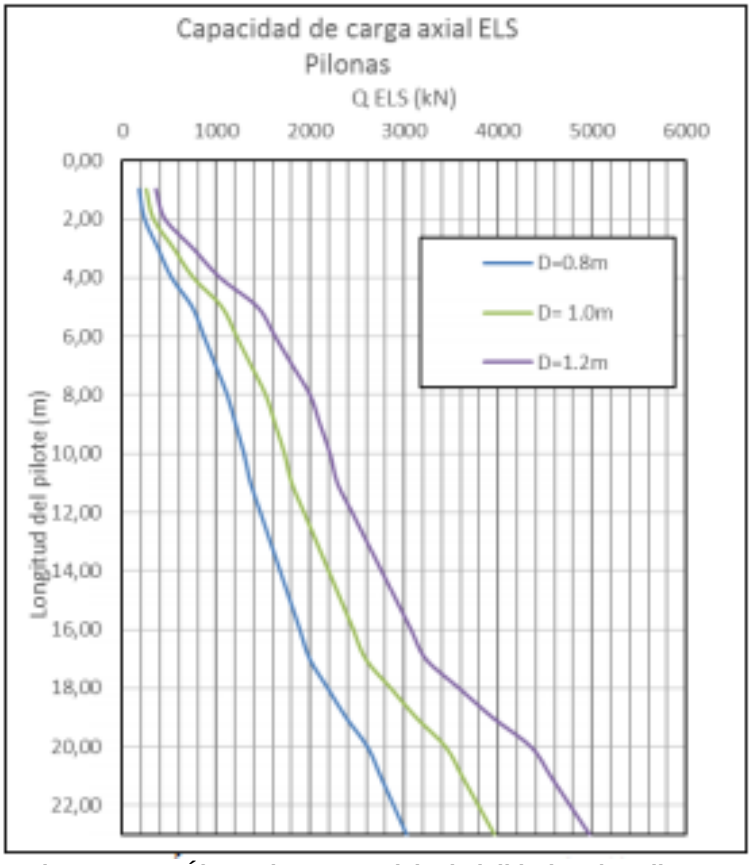


Figura 14-83. Ábaco de carga axial admisible (ELS) – Pilona 7

En la Tabla 14-92 se presentan los valores de capacidad de carga lateral para cada uno de los diferentes diámetros, con respecto a los Estados Límite de Resistencia y a los Estados Límite de Evento Extremo y en la Figura 14-84 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-92. Resumen de valores de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 7

LONGITUD m	Carga horizontal ELR y ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1,00	-89,2	-320,7	-635,8
2,00	535,6	460,4	301,5
3,00	1205,2	1297,3	1305,8
4,00	1919,5	2190,2	2377,2
5,00	3536,5	4140,9	4615,8
6,00	3830,0	4809,9	7129,5
7,00	4088,0	5160,3	6283,7
8,00	4323,9	5476,1	6687,7
9,00	4545,1	5768,7	7058,5
10,00	4755,8	6045,2	7405,9
11,00	5941,0	7500,1	9119,9
12,00	7140,4	8977,2	10866,0
13,00	8350,8	10471,5	12636,7
14,00	9569,9	11979,3	14426,8
15,00	10795,8	13497,8	16232,4
16,00	12027,4	15025,1	18050,5
17,00	13263,5	16559,6	19879,1
18,00	14503,6	18100,1	21716,2
19,00	15746,9	19645,6	23560,7
20,00	7087,2	22420,6	26857,9
21,00	7558,1	13396,7	30173,9
22,00	7986,1	14156,0	22567,4
23,00	8376,9	14849,3	23673,6
24,00	8735,1	15484,9	24687,6

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

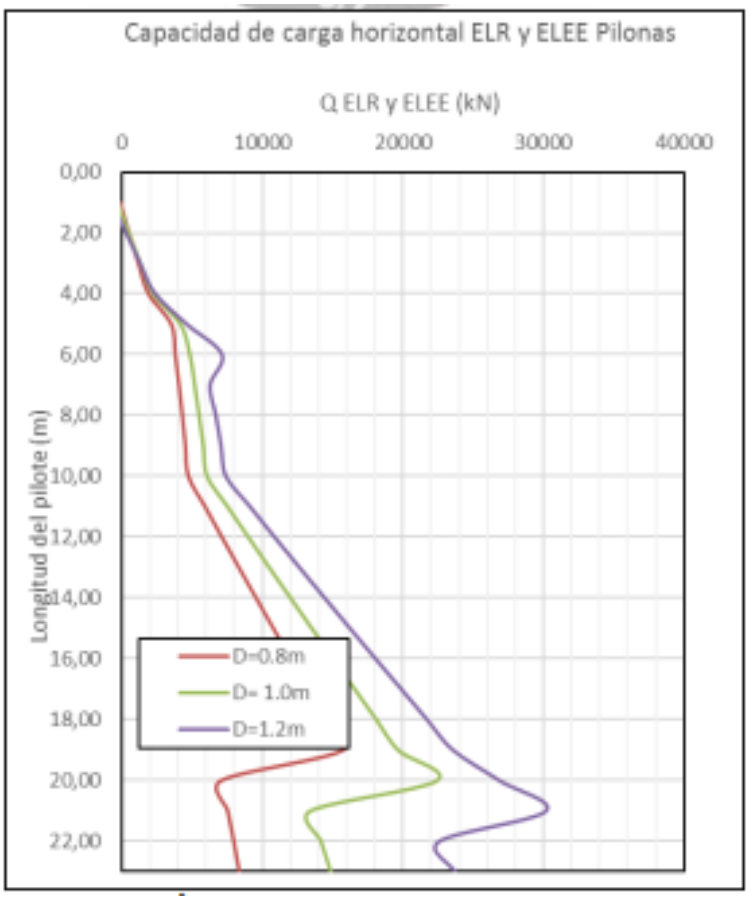


Figura 14-84. Ábaco de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 7

Adicionalmente, en la Tabla 14-93 se muestran los resultados de capacidad de carga lateral para los diferentes diámetros con respecto a los valores de Estado Límite de Servicio y en la Figura 14-85 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-93. Resumen de valores de carga lateral (ELS) – Pilona 7

LONGITUD m	Carga horizontal ELS para 20 mm(kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1,00	-89,2	-320,7	-635,8
2,00	535,6	460,4	301,5
3,00	1205,2	1297,3	1305,8
4,00	1804,3	2190,2	2377,2
5,00	2392,7	2990,8	4615,8
6,00	2765,3	3451,7	7129,5
7,00	3010,4	3765,5	4520,6
8,00	3196,8	4000,8	4804,9
9,00	3343,8	4177,4	5010,9
10,00	3451,7	4314,6	5177,6

LONGITUD m	Carga horizontal ELS para 20 mm(kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
11,00	3461,5	4324,4	5187,4
12,00	3451,7	4334,3	5197,2
13,00	3471,3	4344,1	5207,0
14,00	3471,3	4344,1	5216,8
15,00	3471,3	4353,9	5226,6
16,00	3471,3	4353,9	5226,6
17,00	3471,3	4353,9	5226,6
18,00	3471,3	4363,7	5236,4
19,00	3471,3	4363,7	5236,4
20,00	3608,6	4501,0	5403,1
21,00	3706,7	4628,4	5560,0
22,00	3775,3	4746,1	5667,9
23,00	3873,4	4844,2	5815,0
24,00	3951,8	4942,2	5922,8

ALCALDÍA MAYOR

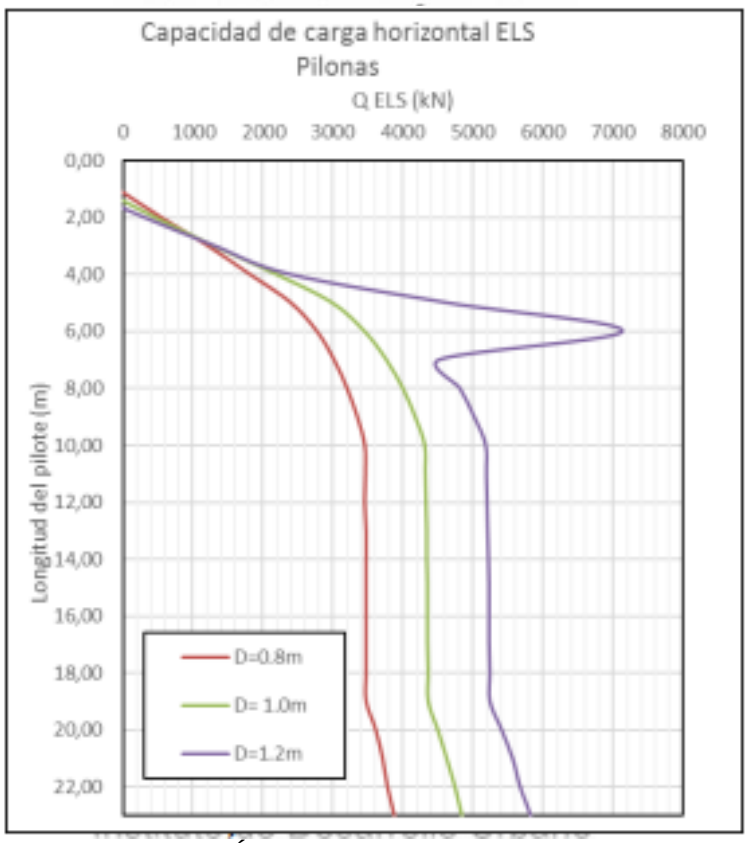


Figura 14-85. Ábaco de carga lateral (ELS) – Pilona 7

14.10.3 Módulo de reacción horizontal y vertical

En la Tabla 14-94 se presentan los valores de los módulos de reacción vertical y horizontal, para cada uno de los diámetros contemplados y la

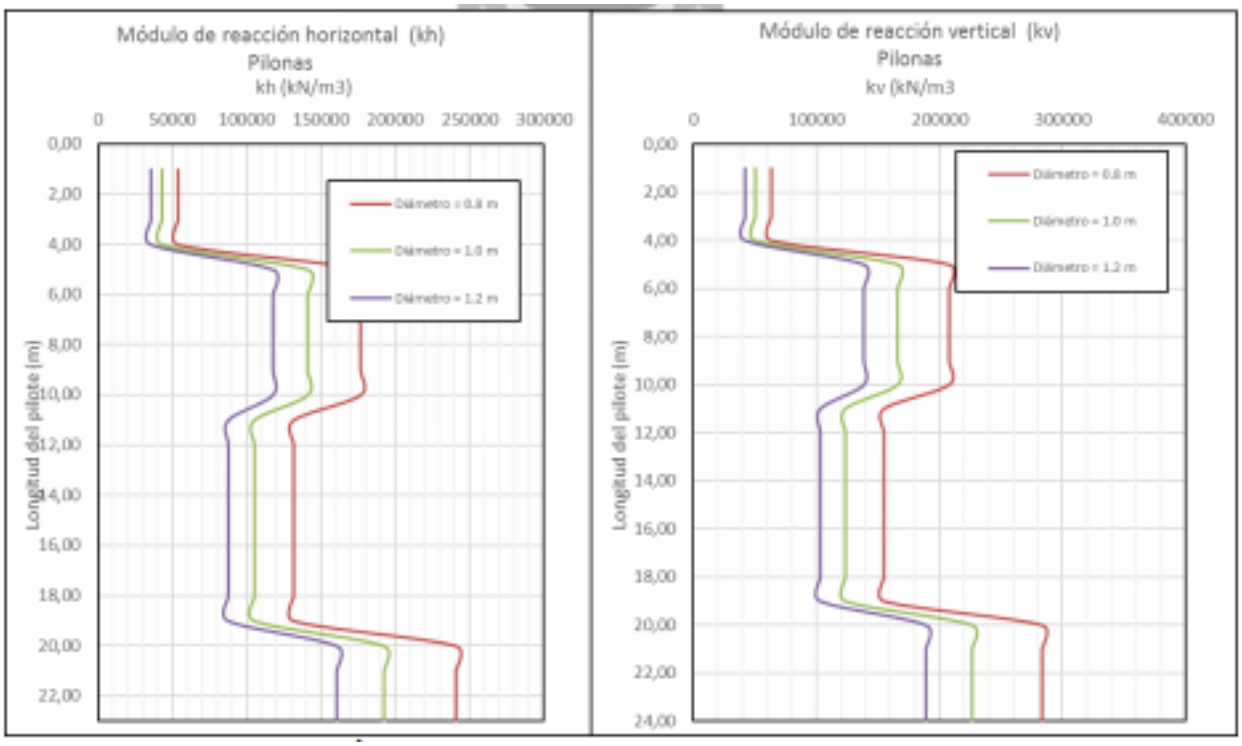


Figura ***14-86*** muestra la variación con la profundidad valores que pueden ser utilizados para la elaboración del modelo de diseño estructural.

Tabla 14-94. Resumen de valores módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 7

Longitud (m)	Diámetro = 0.8 m		Diámetro = 1.0 m		Diámetro = 1.2 m	
	kh (kN/m³)	kv (kN/m³)	kh (kN/m³)	kv (kN/m³)	kh (kN/m³)	kv (kN/m³)
1,00	53845	63348	43076	50678	35897	42232
2,00	53845	63348	43076	50678	35897	42232
3,00	53845	63348	43076	50678	35897	42232
4,00	53845	63348	43076	50678	35897	42232
5,00	176566	207726	141253	166181	117711	138484
6,00	176566	207726	141253	166181	117711	138484
7,00	176566	207726	141253	166181	117711	138484
8,00	176566	207726	141253	166181	117711	138484
9,00	176566	207726	141253	166181	117711	138484
10,00	176566	207726	141253	166181	117711	138484
11,00	131622	154850	105298	123880	87748	103233

Longitud (m)	Diámetro = 0.8 m		Diámetro = 1.0 m		Diámetro = 1.2 m	
	kh (kN/m^3)	kv (kN/m^3)	kh (kN/m^3)	kv (kN/m^3)	kh (kN/m^3)	kv (kN/m^3)
12,00	131622	154850	105298	123880	87748	103233
13,00	131622	154850	105298	123880	87748	103233
14,00	131622	154850	105298	123880	87748	103233
15,00	131622	154850	105298	123880	87748	103233
16,00	131622	154850	105298	123880	87748	103233
17,00	131622	154850	105298	123880	87748	103233
18,00	131622	154850	105298	123880	87748	103233
19,00	131622	154850	105298	123880	87748	103233
20,00	240772	283262	192618	226610	160515	188841
21,00	240772	283262	192618	226610	160515	188841
22,00	240772	283262	192618	226610	160515	188841
23,00	240772	283262	192618	226610	160515	188841
24,00	240772	283262	192618	226610	160515	188841

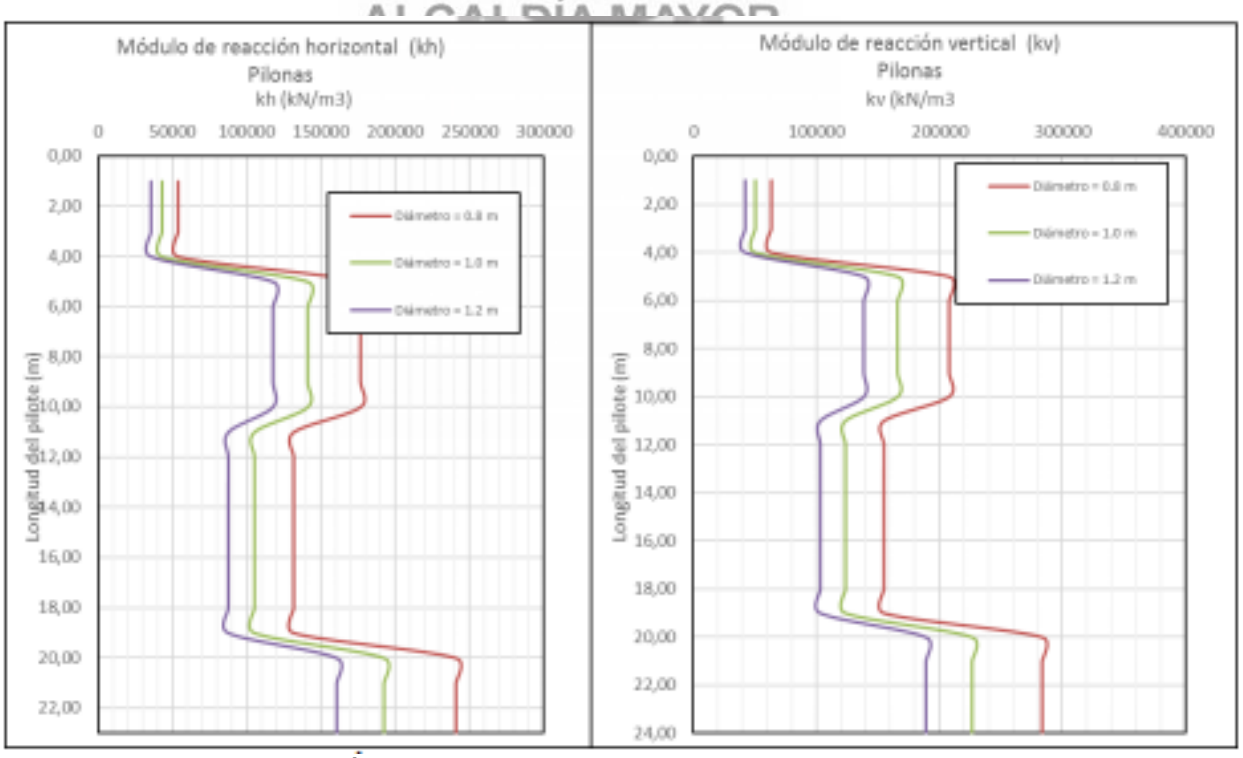


Figura 14-86. Ábaco módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 7

14.10.4 Recomendaciones de cimentación para obras menores

A partir del diseño de urbanismo se logro identificar la presencia de muros con alturas hasta de 2.5m y estructuras menores en la zona donde se dispondra la pilona. Estos deberán ser

apoyados por medio de cimientos superficiales con una profundidad de desplante minima de 0.5m, apoyado sobre el material denominado como *Limo arcilloso marrón oscuro, con pintas de óxido, consistencia firme*, garantizando que los cimientos no quedaran apoyados sobre rellenos antropicos, en dado caso que se evidencie este tipo de material, deberá ser retirado y dispuesto un material de relleno seleccionado compactado al 95%.

Para los muros de contención con alturas de hasta 2.5 m, se incluye en el ANEXO D. memorias de cálculo, el predimensionamiento de estos muros y la evaluación de los factores de seguridad al deslizamiento y volcamiento.

14.10.4.1 Capacidad de carga y asentamientos obras de urbanismo.

Según el perfil estratigráfico típico de la zona en donde se proyecta la pilona 7 obtenido de la campaña de exploración geotécnica, se presenta a continuación la capacidad de carga y asentamientos.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

El análisis de resistencia se realizó mediante la ecuación general de capacidad portante. Los factores de capacidad portante y los factores de corrección por forma, profundidad de cimentación, excentricidad e inclinación de la carga, fueron establecidos mediante las propuestas de Meyerhoff (1963), Hansen y Vesic (1970) y Chen (1975).

Para el cálculo de la capacidad portante de cimentaciones superficiales se utilizó la ecuación general de capacidad portante.

$$\sigma_{adm} = \frac{1}{F.S.}\left(cN_c s_c d_c + qN_q s_q d_q + \frac{1}{2}\gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma\right)$$

Con el fin de considerar la incidencia de la geometría de la fundación y la profundidad de desplante se llevó a cabo un análisis de sensibilidad en el cual se contemplaron diferentes dimensiones de cimiento y relaciones ancho/largo (B/L). Los valores presentados a continuación corresponden a la capacidad de carga del cimiento superficial. Para propositos del diseño se toma una capacidad de carga de 175.1 kPa.

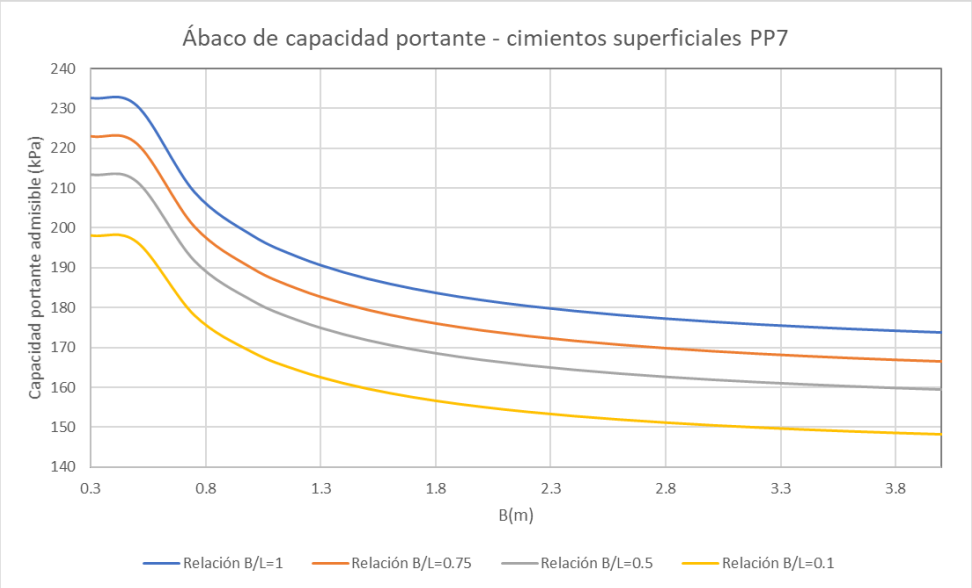


Figura 14-87. Capacidad de carga para cimientos superficiales pilona 7

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

El análisis de asentamientos se llevó a cabo mediante la Teoría Elástica y fue realizado de acuerdo con las propuestas existentes, fundamentadas en correlaciones entre el módulo de elasticidad, la relación de Poisson del material de fundación y coeficientes en función de la geometría del cimiento.

Con base en lo anterior, han sido determinados los asentamientos elásticos máximos esperados para las estructuras menoras proyectadas en la zona donde se dispondrá la pilona 7.

Tabla 14-95. Asentamientos cimientos superficiales Pilona 7.

Pilona	Asentamiento maximo esperado (cm)
7	1.62

14.10.4.2 Coeficientes de presión de tierras

Para el diseño de los elementos estructurales que soportan la acción de cargas generadas por los materiales de relleno, han sido realizados los análisis de esfuerzos laterales, los cuales fueron evaluados mediante la teoría clásica de Rankine.

De la misma forma con base en la formulación pseudo-estática propuesta por Mononobe – Okabe, fueron determinados los coeficientes de presión de tierras para condición dinámica.

De acuerdo a lo anterior, se recomienda utilizar diagramas de presiones laterales triangulares, propias de suelos friccionantes, considerando los siguientes parámetros:

Tabla 14-96. Coeficientes de presión de tierras

Aceleración Aa	0,22
Peso unitario del material de relleno	19 kN/m3
Ángulo de fricción interno	32°
Coeficiente de presión activa (Ka)	0,30
Coediciente de presión activo dinámico (Kae)	0,40

Se recomiendan materiales de relleno tipo seleccionado, los cuales deberán seleccionarse de acuerdo con los lineamientos establecidos por el artículo No. 610 del INVIAS.

Recomendaciones

- Para los muros de contención se deben incluir filtros en el trasdós, esto con el fin de que se evacuen las aguas residuales hacia los sistemas de drenajes, para evitar la acumulación de estas en la cara del muro, las cuales pueden ocasionar afectaciones a la estructura.
- Las caras de los cortes y la base de fundación de los cimientos, deberán ser protegidos con mortero para evitar la degradación de estas por presencia de aguas superficiales.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

14.11 PILONA 8

Se modelaron cimentaciones profundas debido a la naturaleza de las cargas a las cuales serán sometidas las estructuras. Para ello se consideraron diámetros de 0.8 m 1.0 m y 1.2 m. Adicionalmente, se realizó una verificación por carga lateral por el método de Broms.

14.11.1 Recomendaciones generales

A partir del suelo encontrado en la zona de estudio, se definieron las siguientes recomendaciones generales para la pilona 8.

Tabla 14-97. Recomendaciones generales pilona 8

Suelo de fundación en la base	Prof. mínima base del pilote respecto a nivel de terreno (m)	Prof. mínima de desplante del dado respecto a nivel del terreno (m)	Observaciones
Limolita meteorizada gris oscuro con vetas violeta, lente sde arena fina. (F. Bogotá)	10.0	2.0	Profundiad de desplante del dado mínimo, para garantizar un nivel de suelo homogéneo.

14.11.2 Capacidad

En la Tabla 14-98 se presentan los resultados de la carga axial admisible y carga de tracción para el Estado Límite de Resistencia (ELR) y en la Figura 14-88 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-98. Resumen de valores de carga axial admisible y carga por tracción ELR – Pilona 8

Longitud m	Carga axial admisible ELR (kN)			Carga admisible por tracción ELR (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	169.2	243.5	330.5	112.18	143.92	177.15
2.00	260.7	374.6	508.0	224.36	287.85	354.30
3.00	344.9	496.6	674.5	336.54	431.77	531.44
4.00	542.8	779.1	1055.6	538.22	687.57	842.84
5.00	701.6	1000.5	1348.9	739.90	943.37	1154.23
6.00	904.9	1277.5	1708.8	1040.37	1322.65	1613.81
7.00	1034.7	1439.9	1903.6	1340.84	1701.94	2073.39
8.00	1164.6	1602.2	2098.4	1641.31	2081.22	2532.97
9.00	1346.6	1846.0	2410.4	1941.78	2460.51	2992.55
10.00	1528.5	2089.7	2722.4	2242.25	2839.79	3452.13
11.00	1753.8	2387.5	3099.3	2638.93	3339.34	4056.03
12.00	1927.0	2604.0	3359.1	3035.61	3838.89	4659.92
13.00	2100.2	2820.5	3618.9	3432.29	4338.44	5263.82
14.00	2273.3	3036.9	3878.7	3828.97	4837.99	5867.71
15.00	2446.5	3253.4	4138.4	4225.65	5337.53	6471.61
16.00	2586.3	3428.1	4348.1	4548.11	5744.31	6964.18
17.00	2726.1	3602.9	4557.8	4870.57	6151.08	7456.74
18.00	2865.9	3777.6	4767.4	5193.03	6557.86	7949.31
19.00	3005.6	3952.3	4977.1	5515.49	6964.63	8441.88
20.00	3145.4	4127.1	5186.8	5837.95	7371.40	8934.44
21.00	3285.2	4301.8	5396.5	6160.41	7778.18	9427.01
22.00	3425.0	4476.5	5606.1	6482.87	8184.95	9919.58
23.00	3564.8	4651.2	5815.8	6805.33	8591.73	10412.14
24.00	3704.6	4826.0	6025.5	7127.79	8998.50	10904.71

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

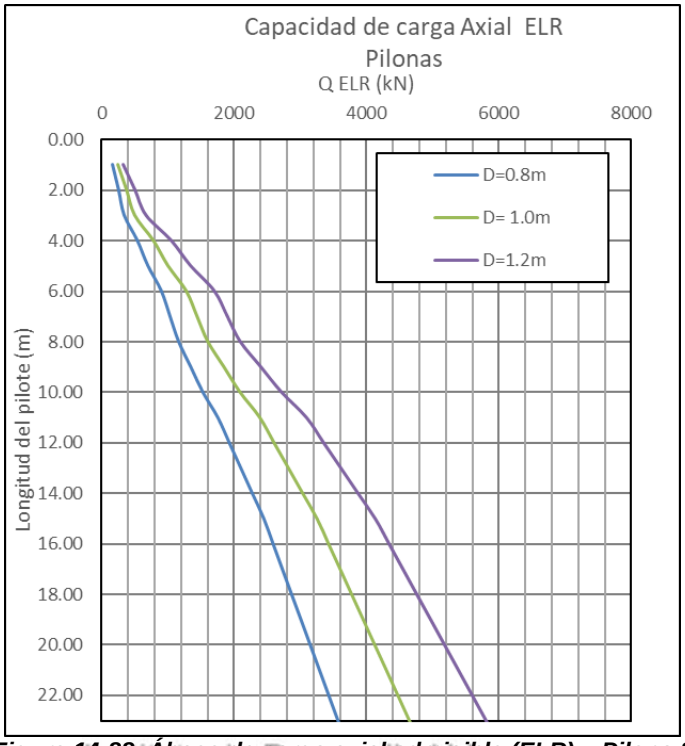


Figura 14-88. Ábaco de carga axial admisible (ELR) – Pilona 8

Adicionalmente en la Tabla 14-99 para se presentan los resultados obtenidos para la carga axial admisible correspondiente al Estado Límite de Evento Extremo (ELEE) y en la Figura 14-89 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-99. Resumen de valores de carga axial admisible ELEE – Pilona 8

Longitud m	Carga axial admisible ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	410.5	593.0	807.3
2.00	626.7	905.2	1232.3
3.00	824.7	1194.5	1629.8
4.00	1295.6	1871.0	2547.0
5.00	1668.9	2394.9	3244.5
6.00	2141.0	3042.4	4090.2
7.00	2429.6	3403.1	4523.1
8.00	2718.2	3763.9	4956.1
9.00	3137.1	4328.1	5681.9
10.00	3555.9	4892.3	6407.8
11.00	4070.9	5576.8	7278.0
12.00	4455.7	6057.9	7855.2
13.00	4840.6	6538.9	8432.5
14.00	5225.4	7020.0	9009.8
15.00	5610.3	7501.0	9587.0
16.00	5920.9	7889.3	10053.0
17.00	6231.5	8277.6	10518.9
18.00	6542.2	8665.9	10984.9

Longitud m	Carga axial admisible ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
19.00	6852.8	9054.2	11450.8
20.00	7163.4	9442.4	11916.7
21.00	7474.0	9830.7	12382.7
22.00	7784.7	10219.0	12848.6
23.00	8095.3	10607.3	13314.6
24.00	8405.9	10995.6	13780.5

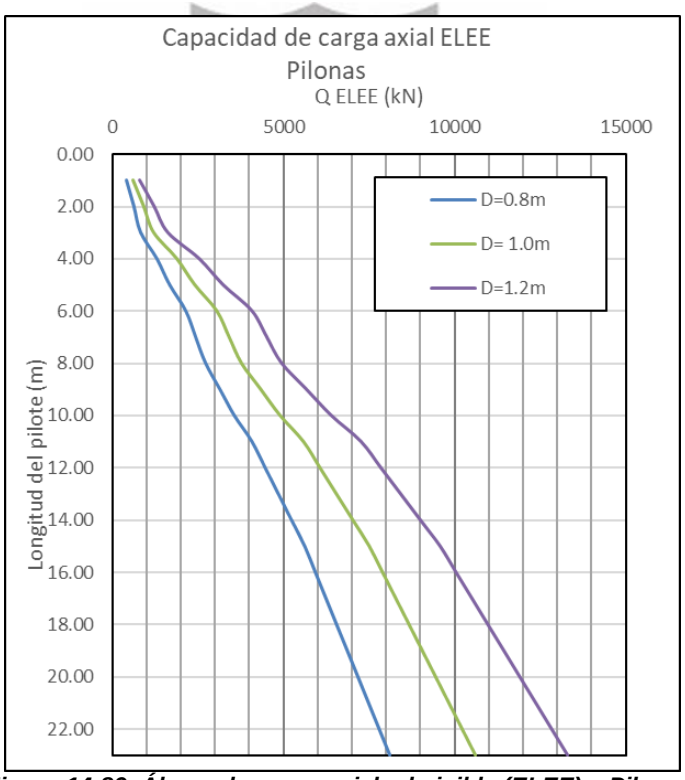


Figura 14-89. Ábaco de carga axial admisible (ELEE) – Pilona 8

Las cargas admisibles para el Estado Límite de Servicio (ELS), se presentan en la Tabla 14-100 y en la Figura 14-90 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-100. Resumen de valores de carga axial admisible ELS – Pilona 8

Longitud m	Carga admisible axial ELS para 20 mm (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	169.2	243.5	330.5
2.00	260.7	374.6	508.0
3.00	344.9	496.6	674.5
4.00	542.8	779.1	1055.6
5.00	701.6	1000.5	1348.9
6.00	904.9	1277.5	1708.8
7.00	1034.7	1439.9	1903.6
8.00	1164.6	1602.2	2098.4

Longitud m	Carga admisible axial ELS para 20 mm (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
9.00	1346.6	1846.0	2410.4
10.00	1528.5	2089.7	2722.4
11.00	1753.8	2387.5	3099.3
12.00	1927.0	2604.0	3359.1
13.00	2100.2	2820.5	3618.9
14.00	2273.3	3036.9	3878.7
15.00	2446.5	3253.4	4138.4
16.00	2586.3	3428.1	4348.1
17.00	2726.1	3602.9	4557.8
18.00	2865.9	3777.6	4767.4
19.00	3005.6	3952.3	4977.1
20.00	3145.4	4127.1	5186.8
21.00	3285.2	4301.8	5396.5
22.00	3425.0	4476.5	5606.1
23.00	3564.8	4651.2	5815.8
24.00	3704.6	4826.0	6025.5

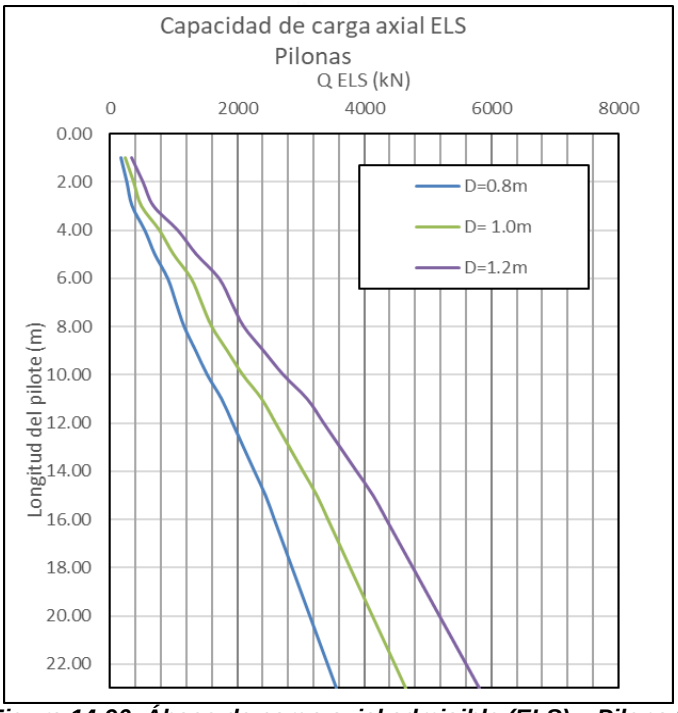


Figura 14-90. Ábaco de carga axial admisible (ELS) – Pilona 8

En la Tabla 14-101 Se presentan también los valores de capacidad de carga lateral para cada uno de los diferentes diámetros, con respecto a los Estados Límite de Resistencia y a los Estados Límite de Evento Extremo y en la Figura 14-91 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-101. Resumen de valores de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 8

Longitud m	Carga horizontal ELR y ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	-82.1	-298.6	-593.4
2.00	507.4	438.3	290.9
3.00	1141.7	1231.1	1242.3
4.00	2149.2	2446.8	2648.7
5.00	3246.7	3807.3	4249.7
6.00	4880.6	6041.0	6907.1
7.00	6580.1	8114.3	9635.1
8.00	8320.8	10251.7	12154.0
9.00	10088.8	12431.9	14734.5
10.00	11876.0	14642.1	17358.0
11.00	14231.9	17546.9	20795.9
12.00	16609.4	20485.4	24282.2
13.00	21410.5	26434.3	31358.1
14.00	23827.9	29435.2	34934.1
15.00	26253.9	32449.2	38529.0
16.00	28686.8	35474.2	42139.5
17.00	31125.5	38508.2	45763.1
18.00	13617.8	41549.8	49397.7
19.00	13840.3	24541.6	53041.5
20.00	14041.6	24898.8	39707.6
21.00	14224.6	25223.5	40225.7
22.00	14391.7	25520.0	40698.7
23.00	14544.9	25791.7	41132.3
24.00	14544.9	25791.7	41132.3

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

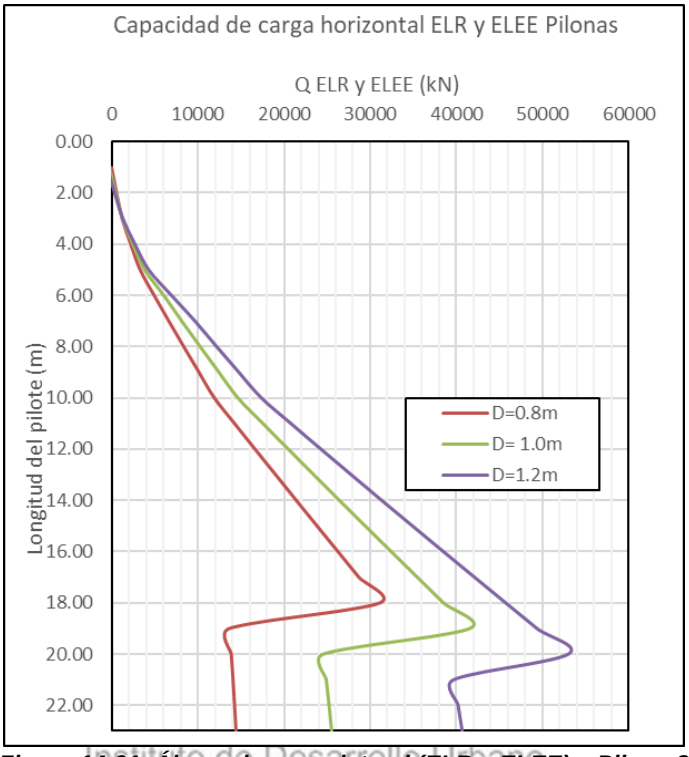


Figura 14-91. Ábaco de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 8

Adicionalmente en la Tabla 14-102 se muestran los resultados de capacidad de carga lateral para los diferentes diámetros con respecto a los valores de Estado Límite de Servicio y en la Figura 14-92 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-102. Resumen de valores de carga lateral (ELS) – Pilona 8

Longitud m	Carga horizontal ELS para 20 mm(kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	-82.1	-298.6	-593.4
2.00	507.4	438.3	290.9
3.00	1141.7	1231.1	1242.3
4.00	2118.1	2446.8	2648.7
5.00	2294.6	2863.4	4249.7
6.00	2735.9	3422.3	4108.7
7.00	3039.9	3804.7	4569.6
8.00	3265.4	4079.3	4903.0
9.00	3432.1	4295.0	5158.0
10.00	3569.4	4461.7	5354.1
11.00	3794.9	4736.3	5687.5
12.00	3971.4	4971.6	5962.0
13.00	4255.8	5314.9	6383.7
14.00	4363.7	5461.9	6550.4
15.00	4461.7	5579.6	6697.5
16.00	4550.0	5687.5	6815.2
17.00	4628.4	5785.5	6942.6
18.00	4687.3	5864.0	7040.7

Longitud m	Carga horizontal ELS para 20 mm(kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
19.00	4746.1	5942.4	7129.0
20.00	4804.9	6001.3	7197.6
21.00	4854.0	6060.1	7276.1
22.00	4893.2	6118.9	7334.9
23.00	4942.2	6177.8	7403.5
24.00	4942.2	6177.8	7403.5

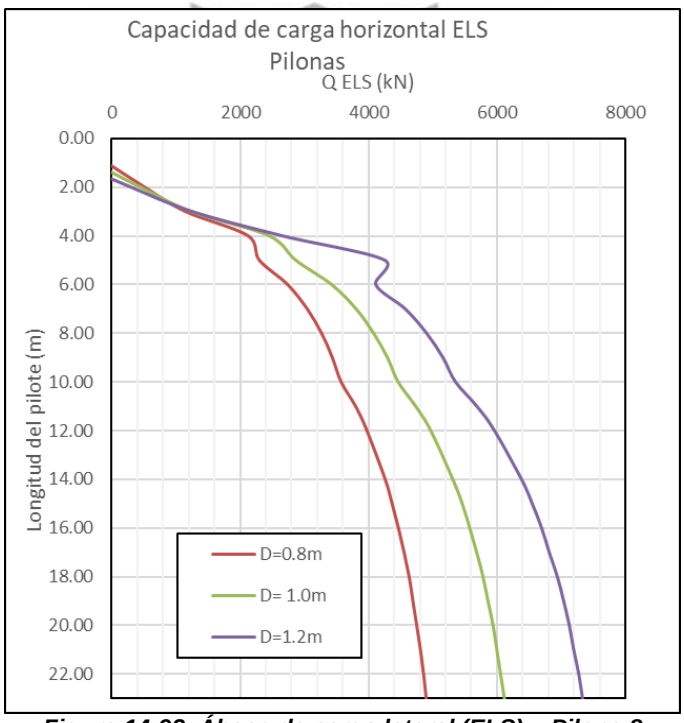


Figura 14-92. Ábaco de carga lateral (ELS) – Pilona 8

14.11.3 Módulo de reacción horizontal y vertical

En la Tabla 14-103 se presentan los valores de los módulos de reacción vertical y horizontal, para cada uno de los diámetros contemplados y la Figura 14-93 muestra la variación con la profundidad valores que pueden ser utilizados para la elaboración del modelo de diseño estructural.

Tabla 14-103. Resumen de valores módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 8

Longitud (m)	Diámetro = 0.8 m		Diámetro = 1.0 m		Diámetro = 1.2 m	
	kh (kN/m^3)	kv (kN/m^3)	kh (kN/m^3)	kv (kN/m^3)	kh (kN/m^3)	kv (kN/m^3)
1.00	54575	64206	43660	51365	36383	42804
2.00	54575	64206	43660	51365	36383	42804
3.00	54575	64206	43660	51365	36383	42804
4.00	102730	120859	82184	96687	68486	80572
5.00	102730	120859	82184	96687	68486	80572

Longitud (m)	Diámetro = 0.8 m		Diámetro = 1.0 m		Diámetro = 1.2 m	
	kh (kN/m³)	kv (kN/m³)	kh (kN/m³)	kv (kN/m³)	kh (kN/m³)	kv (kN/m³)
6.00	192618	226610	154094	181288	128412	151073
7.00	192618	226610	154094	181288	128412	151073
8.00	192618	226610	154094	181288	128412	151073
9.00	192618	226610	154094	181288	128412	151073
10.00	192618	226610	154094	181288	128412	151073
11.00	256824	302146	205459	241717	171216	201431
12.00	256824	302146	205459	241717	171216	201431
13.00	256824	302146	205459	241717	171216	201431
14.00	256824	302146	205459	241717	171216	201431
15.00	256824	302146	205459	241717	171216	201431
16.00	256824	302146	205459	241717	171216	201431
17.00	256824	302146	205459	241717	171216	201431
18.00	256824	302146	205459	241717	171216	201431
19.00	256824	302146	205459	241717	171216	201431
20.00	256824	302146	205459	241717	171216	201431
21.00	256824	302146	205459	241717	171216	201431
22.00	256824	302146	205459	241717	171216	201431
23.00	256824	302146	205459	241717	171216	201431
24.00	256824	302146	205459	241717	171216	201431

ALCALDÍA MAYOR BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD

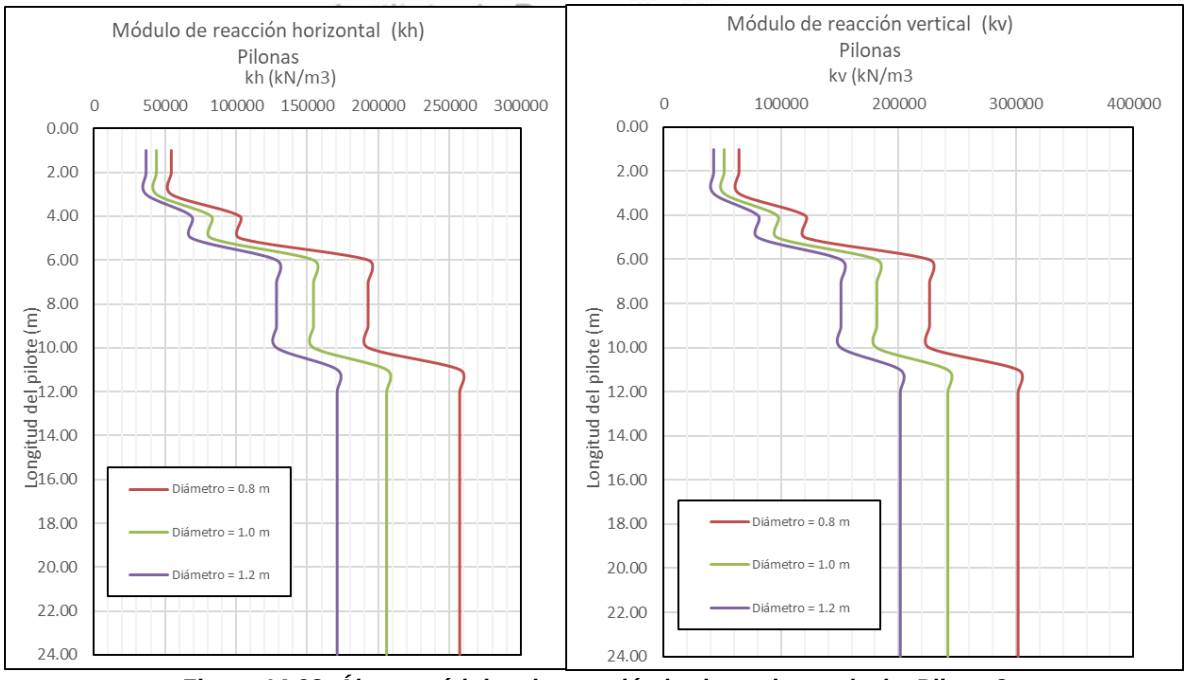


Figura 14-93. Ábaco módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 8

14.11.4 Recomendaciones de cimentación para obras menores

A partir del diseño de urbanismo se logro identificar la presencia de muros con alturas hasta de 2.5m y estructuras menores en la zona donde se dispondra la pilona. Estos deberán ser apoyados por medio de cimientos superficiales con una profundidad de desplante minima de 0.5m, apoyado sobre el material denominado como *arcilla con trazas de arena, gris, de consistencia firme*, garantizando que los cimientos no quedaran apoyados sobre rellenos antropicos, en dado caso que se evidencie este tipo de material, deberá ser retirado y dispuesto un material de relleno seleccionado compactado al 95%.

Para los muros de contención con alturas de hasta 2.5 m, se incluye en el ANEXO D. memorias de cálculo, el predimensionamiento de estos muros y la evaluación de los factores de seguridad al deslizamiento y volcamiento.

14.11.4.1 Capacidad de carga y asentamientos obras de urbanismo.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

Según el perfil estratigráfico típico de la zona en donde se proyecta la pilona 8 obtenido de la campaña de exploración geotécnica, se presenta a continuación la capacidad de carga y asentamientos.

El análisis de resistencia se realizó mediante la ecuación general de capacidad portante. Los factores de capacidad portante y los factores de corrección por forma, profundidad de cimentación, excentricidad e inclinación de la carga, fueron establecidos mediante las propuestas de Meyerhoff (1963), Hansen y Vesic (1970) y Chen (1975).

Para el cálculo de la capacidad portante de cimentaciones superficiales se utilizó la ecuación general de capacidad portante.

$$\sigma_{adm} = \frac{1}{F.S.}\left(cN_c s_c d_c + qN_q s_q d_q + \frac{1}{2}\gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma\right)$$

Con el fin de considerar la incidencia de la geometría de la fundación y la profundidad de desplante se llevó a cabo un análisis de sensibilidad en el cual se contemplaron diferentes dimensiones de cimiento y relaciones ancho/largo (B/L). Los valores presentados a continuación corresponden a la capacidad de carga del cimiento superficial. Para propositos del diseño se toma una capacidad de carga de 164.2 kPa.

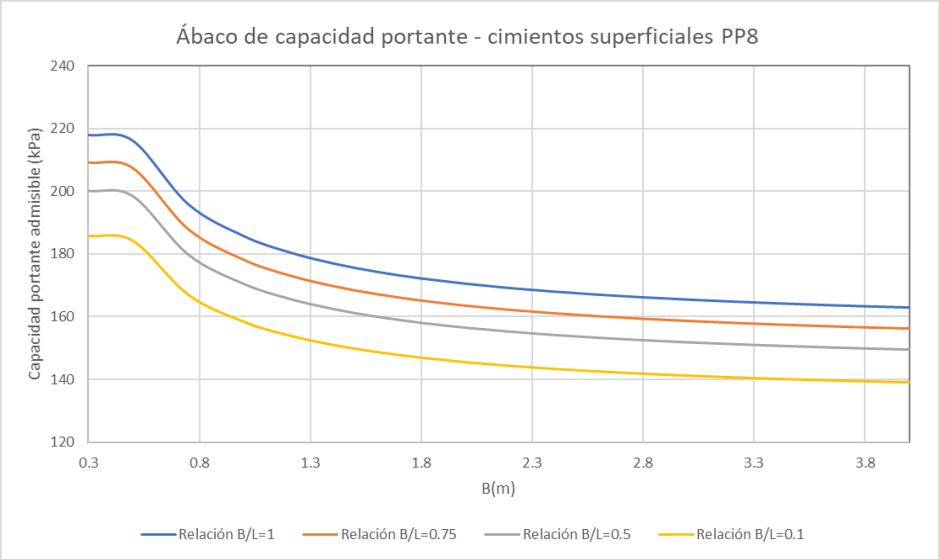


Figura 14-94. Capacidad de carga para cimientos superficiales pilona 8

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

El análisis de asentamientos se llevó a cabo mediante la Teoría Elástica y fue realizado de acuerdo con las propuestas existentes, fundamentadas en correlaciones entre el módulo de elasticidad, la relación de Poisson del material de fundación y coeficientes en función de la geometría del cimiento.

Con base en lo anterior, han sido determinados los asentamientos elásticos máximos esperados para las estructuras menoras proyectadas en la zona donde se dispondrá la pilona 8.

Tabla 14-104. Asentamientos cimientos superficiales Pilona 8.

Pilona	Asentamiento maximo esperado (cm)
8	1.61

14.11.4.2 Coeficientes de presión de tierras

Para el diseño de los elementos estructurales que soportan la acción de cargas generadas por los materiales de relleno, han sido realizados los análisis de esfuerzos laterales, los cuales fueron evaluados mediante la teoría clásica de Rankine.

De la misma forma con base en la formulación pseudo-estática propuesta por Mononobe – Okabe, fueron determinados los coeficientes de presión de tierras para condición dinámica.

De acuerdo a lo anterior, se recomienda utilizar diagramas de presiones laterales triangulares, propias de suelos friccionantes, considerando los siguientes parámetros:

Tabla 14-105. Coeficientes de presión de tierras

Aceleración Aa	0,22
Peso unitario del material de relleno	19 kN/m3
Ángulo de fricción interno	32°
Coeficiente de presión activa (Ka)	0,30
Coediciente de presión activo dinámico (Kae)	0,40

Se recomiendan materiales de relleno tipo seleccionado, los cuales deberán seleccionarse de acuerdo con los lineamientos establecidos por el artículo No. 610 del INVIAS.

Recomendaciones

- Para los muros de contención se deben incluir filtros en el trasdós, esto con el fin de que se evacuen las aguas residuales hacia los sistemas de drenajes, para evitar la acumulación de estas en la cara del muro, las cuales pueden ocasionar afectaciones a la estructura.
- Las caras de los cortes y la base de fundación de los cimientos, deberán ser protegidos con mortero para evitar la degradación de estas por presencia de aguas superficiales.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

14.12 PILONA 9

Se modelaron cimentaciones profundas debido a la naturaleza de las cargas a las cuales serán sometidas las estructuras. Para ello se consideraron diámetros de 0.8 m 1.0 m y 1.2m. Adicionalmente, se realizó una verificación por carga lateral por el método de Broms.

14.12.1 Recomendaciones generales

A partir del suelo encontrado en la zona de estudio, se definieron las siguientes recomendaciones generales para la pilona 9.

Tabla 14-106. Recomendaciones generales pilona 9

Suelo de fundación en la base	Prof. mínima base del pilote respecto a nivel de terreno (m)	Prof. mínima de desplante del dado respecto a nivel del terreno (m)	Observaciones
Arcillolita meteorizada de color gris claro rojiza de consistencia muy dura. (F. Bogotá)	12.0	1.7	Profundiad de desplante del dado mínimo, para garantizar un nivel de suelo homogéneo.

14.12.2 Capacidad

En la Tabla 14-107 se presentan los resultados de la carga axial admisible y carga de tracción para el Estado Límite de Resistencia (ELR) y en la Figura 14-95 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-107. Resumen de valores de carga axial admisible y carga por tracción ELR – Pilona 9

Longitud m	Carga axial admisible ELR (kN)			Carga admisible por tracción ELR (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	288.1	414.5	562.7	182.70	232.07	282.92
2.00	377.4	533.9	715.3	365.39	464.13	565.84
3.00	454.3	637.8	849.3	548.09	696.20	848.76
4.00	588.0	822.7	1092.4	730.78	928.27	1131.67
5.00	721.7	1007.6	1335.5	913.48	1160.34	1414.59
6.00	897.8	1245.4	1642.3	1190.37	1510.15	1838.80
7.00	1017.1	1394.5	1821.2	1467.26	1859.96	2263.02
8.00	1136.4	1543.6	2000.1	1744.15	2209.77	2687.23
9.00	1372.8	1875.8	2442.6	2021.04	2559.58	3111.44
10.00	1609.2	2207.9	2885.1	2297.93	2909.39	3535.65
11.00	1862.4	2561.0	3352.7	2611.96	3305.64	4015.58
12.00	1998.4	2731.0	3556.7	2926.00	3701.88	4495.51
13.00	2134.4	2900.9	3760.7	3240.04	4098.13	4975.44
14.00	2270.4	3070.9	3964.7	3554.08	4494.37	5455.38
15.00	2406.3	3240.9	4168.7	3868.11	4890.62	5935.31
16.00	2542.3	3410.9	4372.7	4182.15	5286.86	6415.24
17.00	2678.3	3580.9	4576.7	4496.19	5683.10	6895.17
18.00	2814.3	3750.9	4780.7	4810.22	6079.35	7375.10
19.00	2950.3	3920.9	4984.6	5124.26	6475.59	7855.03
20.00	3086.3	4090.9	5188.6	5438.30	6871.84	8334.96
21.00	3222.3	4260.9	5392.6	5752.34	7268.08	8814.90
22.00	3358.3	4430.8	5596.6	6066.37	7664.33	9294.83
23.00	3494.3	4600.8	5800.6	6380.41	8060.57	9774.76
24.00	3630.3	4770.8	6004.6	6694.45	8456.82	10254.69

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

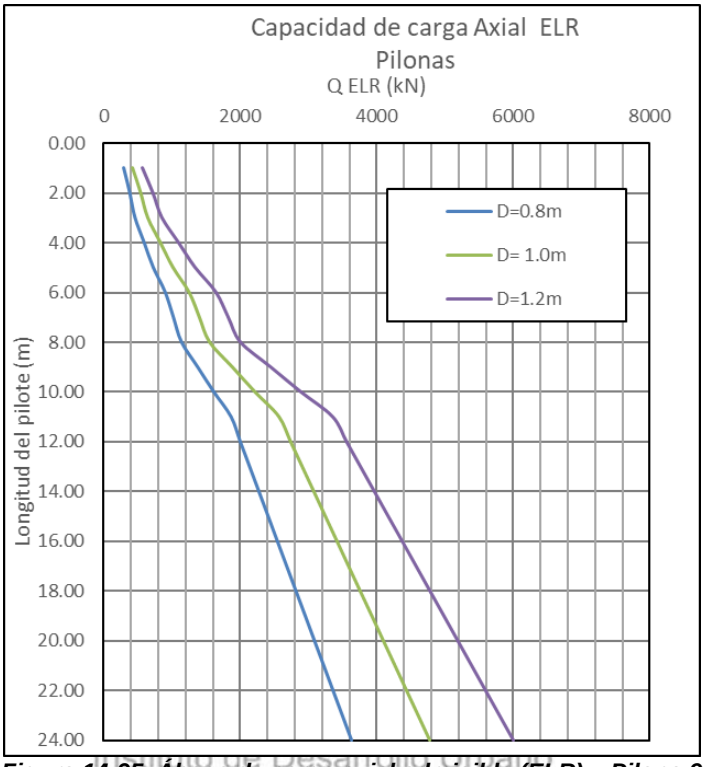


Figura 14-95. Ábaco de carga axial admisible (ELR) – Pilona 9

Adicionalmente en la Tabla 14-108 se presentan los resultados obtenidos para la carga axial admisible correspondiente al Estado Límite de Evento Extremo (ELEE) y en la Figura 14-96 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-108. Resumen de valores de carga axial admisible ELEE – Pilona 9

Longitud m	Carga axial admisible ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	699.0	1009.6	1374.7
2.00	900.9	1281.5	1724.1
3.00	1071.8	1514.4	2027.0
4.00	1384.6	1949.9	2602.9
5.00	1697.5	2385.4	3178.7
6.00	2104.6	2938.6	3895.8
7.00	2369.6	3269.9	4293.4
8.00	2634.7	3601.2	4691.0
9.00	3192.7	4390.2	5747.6
10.00	3750.6	5179.2	6804.2
11.00	4345.7	6014.6	7916.5
12.00	4647.9	6392.4	8369.8
13.00	4950.1	6770.1	8823.1
14.00	5252.3	7147.9	9276.4
15.00	5554.5	7525.6	9729.7
16.00	5856.7	7903.4	10183.0
17.00	6158.9	8281.1	10636.4
18.00	6461.1	8658.9	11089.7

Longitud m	Carga axial admisible ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
19.00	6763.3	9036.7	11543.0
20.00	7065.5	9414.4	11996.3
21.00	7367.7	9792.2	12449.6
22.00	7669.9	10169.9	12902.9
23.00	7972.2	10547.7	13356.2
24.00	8274.4	10925.4	13809.5

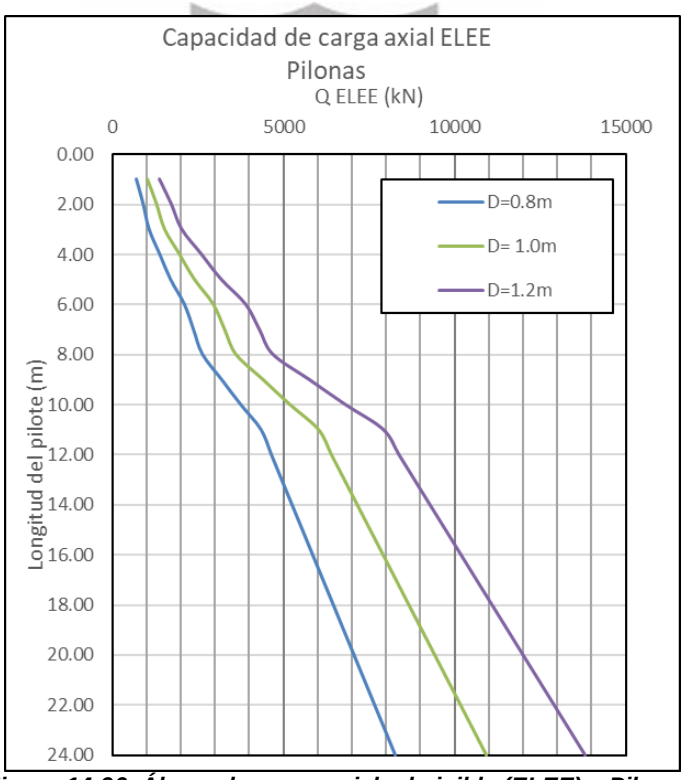


Figura 14-96. Ábaco de carga axial admisible (ELEE) – Pilona 9

Las cargas admisibles para el Estado Límite de Servicio (ELS), se presentan en Tabla 14-109 y en la Figura 14-97 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-109. Resumen de valores de carga axial admisible ELS – Pilona 9

Longitud m	Carga admisible axial ELS para 20 mm (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	288.1	414.5	562.7
2.00	377.4	533.9	715.3
3.00	454.3	637.8	849.3
4.00	588.0	822.7	1092.4
5.00	721.7	1007.6	1335.5
6.00	897.8	1245.4	1642.3

Longitud m	Carga admisible axial ELS para 20 mm (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
7.00	1017.1	1394.5	1821.2
8.00	1136.4	1543.6	2000.1
9.00	1372.8	1875.8	2442.6
10.00	1609.2	2207.9	2885.1
11.00	1862.4	2561.0	3352.7
12.00	1998.4	2731.0	3556.7
13.00	2134.4	2900.9	3760.7
14.00	2270.4	3070.9	3964.7
15.00	2406.3	3240.9	4168.7
16.00	2542.3	3410.9	4372.7
17.00	2678.3	3580.9	4576.7
18.00	2814.3	3750.9	4780.7
19.00	2950.3	3920.9	4984.6
20.00	3086.3	4090.9	5188.6
21.00	3222.3	4260.9	5392.6
22.00	3358.3	4430.8	5596.6
23.00	3494.3	4600.8	5800.6
24.00	3630.3	4770.8	6004.6

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

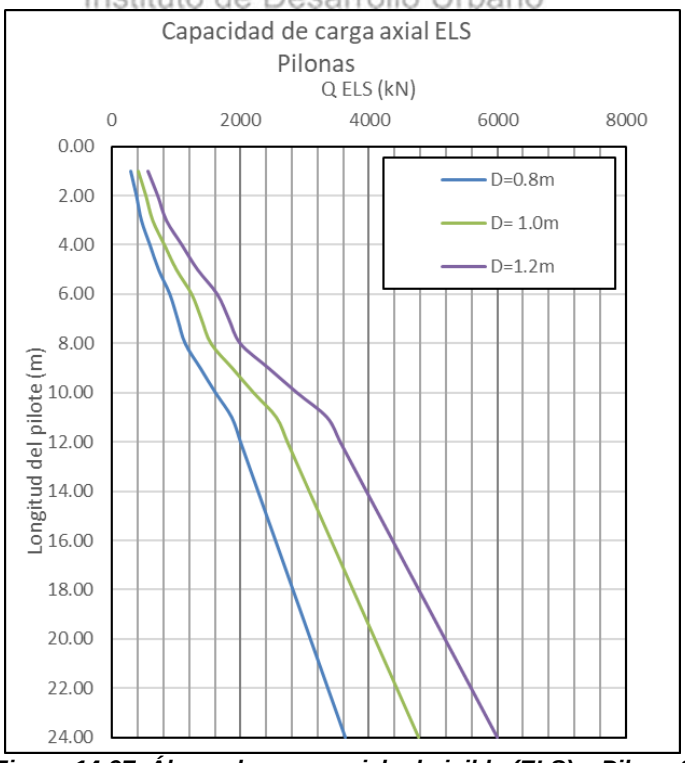


Figura 14-97. Ábaco de carga axial admisible (ELS) – Pilona 9

En la Tabla 14-110 se presentan también los valores de capacidad de carga lateral para cada uno de los diferentes diámetros, con respecto a los Estados Límite de Resistencia y a los Estados Límite de Evento Extremo y en la Figura 14-98 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-110. Resumen de valores de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 9

Longitud m	Carga horizontal ELR y ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	-155.6	-528.1	-1034.0
2.00	801.1	667.8	401.0
3.00	1802.5	1919.5	1903.1
4.00	2848.6	3227.2	3472.3
5.00	3932.2	4590.7	5108.5
6.00	5365.2	6608.2	7534.1
7.00	6836.5	8417.6	9978.4
8.00	8331.9	10264.5	12167.9
9.00	9843.3	12136.4	14393.3
10.00	11365.9	14025.7	16643.9
11.00	14143.3	17439.1	20670.1
12.00	16952.0	20901.4	24766.6
13.00	19784.8	24401.2	28917.2
14.00	22636.5	27930.6	33110.2
15.00	25503.3	31483.6	37337.2
16.00	28382.5	35055.9	41591.9
17.00	31271.8	38643.9	45869.2
18.00	34169.6	42245.1	50165.6
19.00	15004.0	45857.4	54477.9
20.00	15326.2	27177.6	43343.4
21.00	15617.7	27694.8	44168.6
22.00	15882.7	28165.0	44918.8
23.00	16124.7	28594.3	45603.7
24.00	16346.5	28987.8	46231.6

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

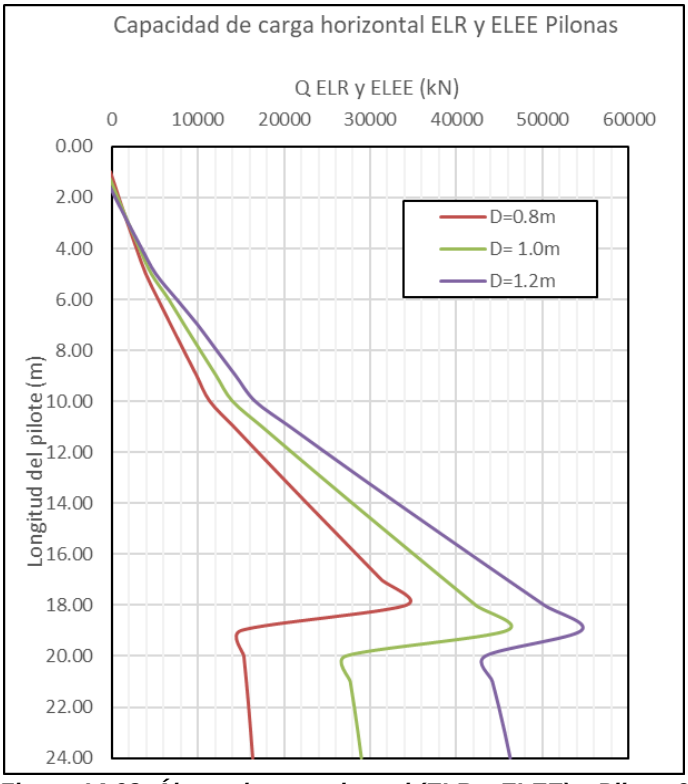


Figura 14-98. Ábaco de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 9

Adicionalmente, en la Tabla 14-111 se muestran los resultados de capacidad de carga lateral para los diferentes diámetros con respecto a los valores de Estado Límite de Servicio y en la Figura 14-99 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-111. Resumen de valores de carga lateral (ELS) – Pilona 9

Longitud m	Carga horizontal ELS para 20 mm(kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	-155.6	-528.1	-1034.0
2.00	801.1	667.8	401.0
3.00	1802.5	1919.5	1903.1
4.00	2510.3	3227.2	3472.3
5.00	2510.3	3137.9	5108.5
6.00	2804.5	3510.5	4206.8
7.00	3000.6	3765.5	4491.1
8.00	3157.5	3951.8	4726.5
9.00	3255.6	4089.1	4893.2
10.00	3353.7	4206.8	5040.3
11.00	3687.1	4618.6	5520.8
12.00	3951.8	4942.2	5962.0
13.00	4197.0	5226.6	6295.5
14.00	4393.1	5491.4	6589.6
15.00	4559.8	5687.5	6844.6
16.00	4706.9	5883.6	7060.3
17.00	4824.6	6030.7	7236.8

Longitud m	Carga horizontal ELS para 20 mm(kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
18.00	4922.6	6168.0	7393.7
19.00	5020.7	6295.5	7550.6
20.00	5118.7	6393.5	7678.1
21.00	5197.2	6491.6	7795.8
22.00	5265.8	6589.6	7893.8
23.00	5334.5	6668.1	7991.9
24.00	5393.3	6736.7	8090.0

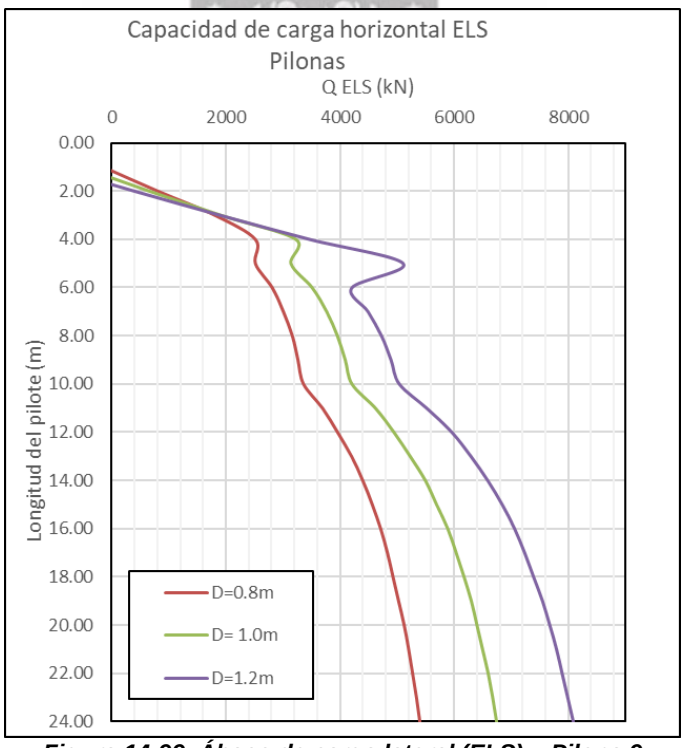


Figura 14-99. Ábaco de carga lateral (ELS) – Pilona 9

14.12.3 Módulo de reacción horizontal y vertical

En la Tabla 14-112 se presentan los valores de los módulos de reacción vertical y horizontal, para cada uno de los diámetros contemplados y la Figura 14-100 muestra la variación con la profundidad valores que pueden ser utilizados para la elaboración del modelo de diseño estructural.

Tabla 14-112. Resumen de valores módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 9

Longitud (m)	Diámetro = 0.8 m		Diámetro = 1.0 m		Diámetro = 1.2 m	
	kh (kN/m^3)	kv (kN/m^3)	kh (kN/m^3)	kv (kN/m^3)	kh (kN/m^3)	kv (kN/m^3)
1.00	83541	98283	66833	78627	55694	65522
2.00	83541	98283	66833	78627	55694	65522
3.00	83541	98283	66833	78627	55694	65522
4.00	83541	98283	66833	78627	55694	65522

Longitud (m)	Diámetro = 0.8 m		Diámetro = 1.0 m		Diámetro = 1.2 m	
	kh (kN/m³)	kv (kN/m³)	kh (kN/m³)	kv (kN/m³)	kh (kN/m³)	kv (kN/m³)
5.00	83541	98283	66833	78627	55694	65522
6.00	162675	191382	130140	153106	108450	127588
7.00	162675	191382	130140	153106	108450	127588
8.00	162675	191382	130140	153106	108450	127588
9.00	162675	191382	130140	153106	108450	127588
10.00	162675	191382	130140	153106	108450	127588
11.00	307911	362249	246329	289800	205274	241500
12.00	307911	362249	246329	289800	205274	241500
13.00	307911	362249	246329	289800	205274	241500
14.00	307911	362249	246329	289800	205274	241500
15.00	307911	362249	246329	289800	205274	241500
16.00	307911	362249	246329	289800	205274	241500
17.00	307911	362249	246329	289800	205274	241500
18.00	307911	362249	246329	289800	205274	241500
19.00	307911	362249	246329	289800	205274	241500
20.00	307911	362249	246329	289800	205274	241500
21.00	307911	362249	246329	289800	205274	241500
22.00	307911	362249	246329	289800	205274	241500
23.00	307911	362249	246329	289800	205274	241500
24.00	307911	362249	246329	289800	205274	241500

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

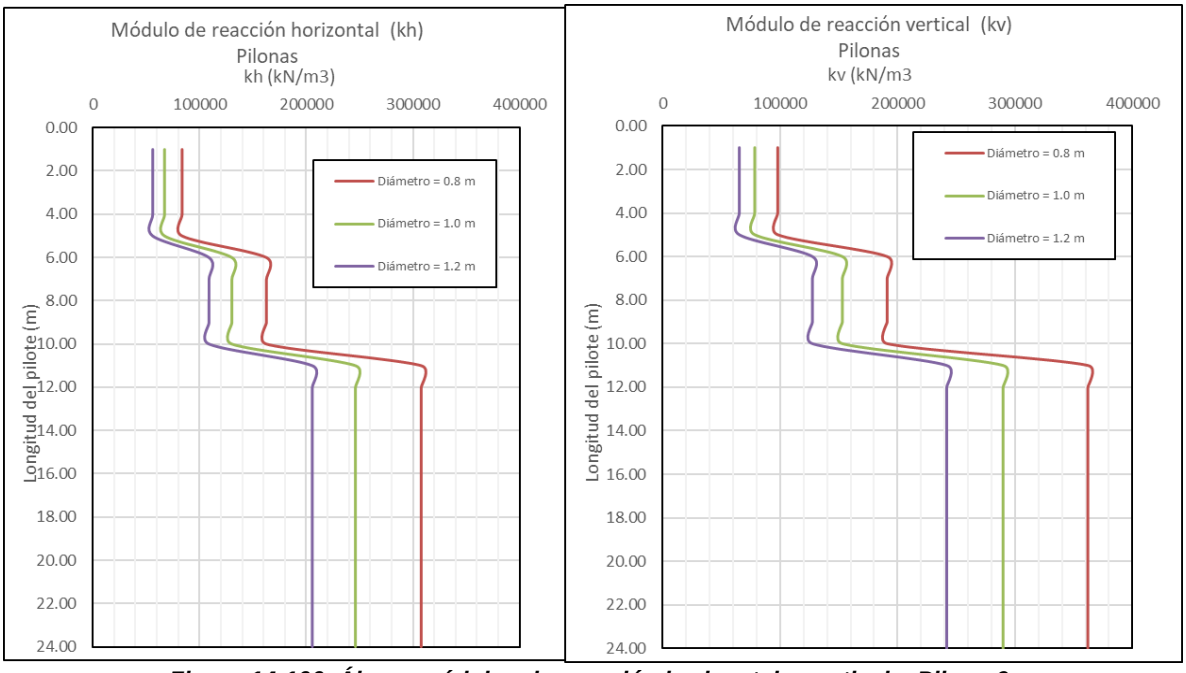


Figura 14-100. Ábaco módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 9

14.12.4 Recomendaciones de cimentación para obras menores

A partir del diseño de urbanismo se logro identificar la presencia de estructuras menores en la zona donde se dispondra la pilona. Estas deberán ser apoyados por medio de cimientos superficiales con una profundidad de desplante mínima de 0.5m, apoyado sobre el material denominado como *arcilla arenosa de color gris clara, de baja plasticidad y consistencia firme*, garantizando que los cimientos no quedaran apoyados sobre rellenos antropicos, en dado caso que se evidencie este tipo de material, deberá ser retirado y dispuesto un material de relleno seleccionado compactado al 95%.

Según el perfil estratigráfico típico de la zona en donde se proyecta la pilona 9 obtenido de la campaña de exploración geotécnica, se presenta a continuación la capacidad de carga y asentamientos.

14.12.4.1 Capacidad de carga y asentamientos obras de urbanismo.

El análisis de resistencia se realizó mediante la ecuación general de capacidad portante. Los factores de capacidad portante y los factores de corrección por forma, profundidad de cimentación, excentricidad e inclinación de la carga, fueron establecidos mediante las propuestas de Meyerhoff (1963), Hansen y Vesic (1970) y Chen (1975).

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Para el cálculo de la capacidad portante de cimentaciones superficiales se utilizó la ecuación general de capacidad portante.

$$\sigma_{adm} = \frac{1}{F.S.}\left(cN_c s_c d_c + qN_q s_q d_q + \frac{1}{2}\gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma\right)$$

Con el fin de considerar la incidencia de la geometría de la fundación y la profundidad de desplante se llevó a cabo un análisis de sensibilidad en el cual se contemplaron diferentes dimensiones de cimiento y relaciones ancho/largo (B/L). Los valores presentados a continuación corresponden a la capacidad de carga del cimiento superficial. Para propositos del diseño se toma una capacidad de carga de 255.6 kPa.

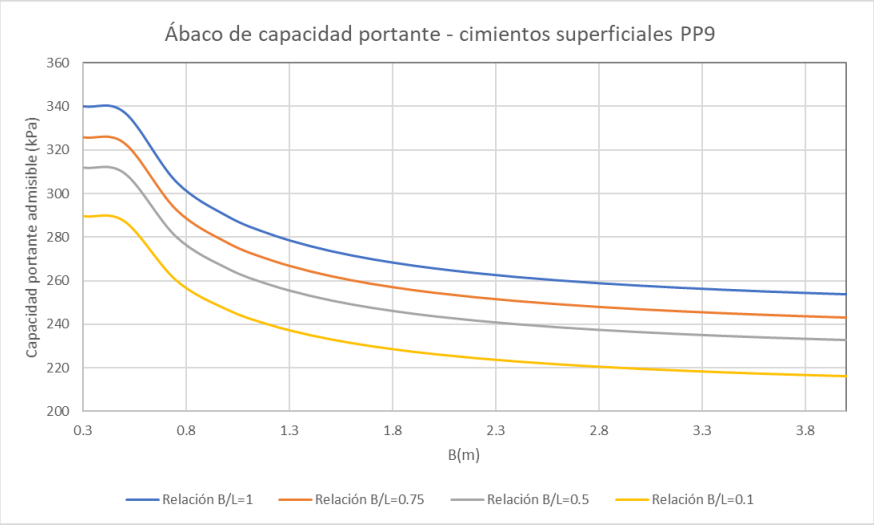


Figura 14-101. Capacidad de carga para cimientos superficiales pilona 9

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

El análisis de asentamientos se llevó a cabo mediante la Teoría Elástica y fue realizado de acuerdo con las propuestas existentes, fundamentadas en correlaciones entre el módulo de elasticidad, la relación de Poisson del material de fundación y coeficientes en función de la geometría del cimiento.

Con base en lo anterior, han sido determinados los asentamientos elásticos máximos esperados para las estructuras menoras proyectadas en la zona donde se dispondrá la pilona 9.

Tabla 14-113. Asentamientos cimientos superficiales Pilona 9.

Pilona	Asentamiento maximo esperado (cm)
9	1.64

14.12.4.2 Coeficientes de presión de tierras

Para el diseño de los elementos estructurales que soportan la acción de cargas generadas por los materiales de relleno, han sido realizados los análisis de esfuerzos laterales, los cuales fueron evaluados mediante la teoría clásica de Rankine.

De la misma forma con base en la formulación pseudo-estática propuesta por Mononobe – Okabe, fueron determinados los coeficientes de presión de tierras para condición dinámica.

De acuerdo a lo anterior, se recomienda utilizar diagramas de presiones laterales triangulares, propias de suelos friccionantes, considerando los siguientes parámetros:

Tabla 14-114. Coeficientes de presión de tierras

Aceleración Aa	0,22
Peso unitario del material de relleno	19 kN/m3
Ángulo de fricción interno	32°
Coeficiente de presión activa (Ka)	0,30
Coediciente de presión activo dinámico (Kae)	0,40

Se recomiendan materiales de relleno tipo seleccionado, los cuales deberán seleccionarse de acuerdo con los lineamientos establecidos por el artículo No. 610 del INVIAS.

Recomendaciones

- Para los muros de contención se deben incluir filtros en el trasdós, esto con el fin de que se evacuen las aguas residuales hacia los sistemas de drenajes, para evitar la acumulación de estas en la cara del muro, las cuales pueden ocasionar afectaciones a la estructura.
- Las caras de los cortes y la base de fundación de los cimientos, deberán ser protegidos con mortero para evitar la degradación de estas por presencia de aguas superficiales.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

14.13 PILONA 10

Se modelaron cimentaciones profundas debido a la naturaleza de las cargas a las cuales serán sometidas las estructuras. Para ello se consideraron diámetros de 0.8 m 1.0 m y 1.2 m. Adicionalmente, se realizó una verificación por carga lateral por el método de Broms.

14.13.1 Recomendaciones generales

A partir del suelo encontrado en la zona de estudio, se definieron las siguientes recomendaciones generales para la pilona 10.

Tabla 14-115. Recomendaciones generales pilona 10

Suelo de fundación en la base	Prof. mínima base del pilote respecto a nivel de terreno (m)	Prof. mínima de desplante del dado respecto a nivel del terreno (m)	Observaciones
Arcillolita meteorizada gris y violeta consitencia muy dura (Dep. Fg)	18.0	2.0	Profundiad de desplante del dado mínimo, para garantizar un nivel de suelo homogéneo.

14.13.2 Capacidad

En la Tabla 14-116, se presentan los resultados de la carga axial admisible y carga de tracción para el Estado Límite de Resistencia (ELR) y en la Figura 14-102 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-116. Resumen de valores de carga axial admisible y carga por tracción ELR – Pilona 10

Longitud m	Carga axial admisible ELR (kN)			Carga admisible por tracción ELR (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	181.1	260.6	353.7	119.23	152.74	187.72
2.00	237.3	335.6	449.6	238.47	305.48	375.45
3.00	285.6	400.9	533.8	357.70	458.22	563.17
4.00	354.5	493.5	652.6	476.93	610.96	750.90
5.00	423.4	586.1	771.5	596.16	763.70	938.62
6.00	513.6	705.2	922.1	762.59	975.42	1197.13
7.00	583.1	792.2	1026.5	929.01	1187.15	1455.64
8.00	652.7	879.1	1130.8	1095.43	1398.88	1714.15
9.00	884.1	1219.0	1599.3	1261.85	1610.60	1972.66
10.00	1115.5	1558.8	2067.8	1428.28	1822.33	2231.17
11.00	1828.1	2553.8	3387.0	1890.55	2403.87	2933.46
12.00	2078.8	2867.2	3763.1	2358.23	2992.16	3643.85
13.00	2330.8	3182.2	4141.1	2828.29	3583.44	4357.82
14.00	2582.5	3496.8	4518.6	3297.76	4173.97	5070.90
15.00	2832.3	3809.0	4893.3	3763.72	4760.12	5778.72
16.00	3078.5	4116.9	5262.7	4223.29	5338.29	6476.95
17.00	3319.7	4418.3	5624.5	4673.64	5904.92	7161.35
18.00	3554.3	4711.6	5976.3	5111.97	6456.53	7827.71
19.00	3780.7	4994.6	6316.0	5535.51	6989.65	8471.90
20.00	3997.5	5265.6	6641.2	5941.53	7500.88	9089.82
21.00	4203.2	5522.7	6949.7	6327.35	7986.85	9677.41
22.00	4396.3	5764.1	7239.4	6690.28	8444.22	10230.69
23.00	4575.4	5987.9	7508.0	7027.70	8869.69	10745.70
24.00	3866.0	5066.1	6341.6	7348.59	9273.23	11234.38

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

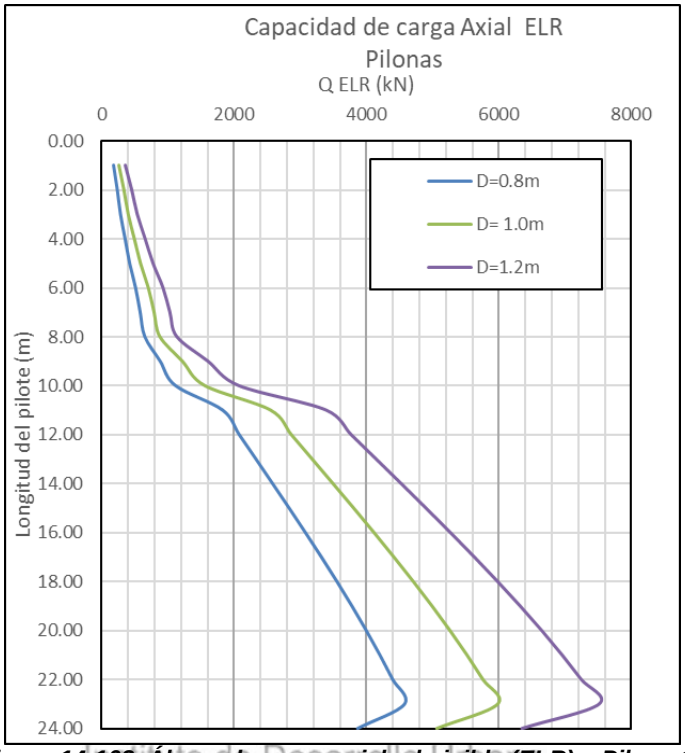


Figura 14-102. Ábaco de carga axial admisible (ELR) – Pilona 10

Adicionalmente en la Tabla 14-117 se presentan los resultados obtenidos para la carga axial admisible correspondiente al Estado Límite de Evento Extremo (ELEE) y en la Figura 14-103 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-117. Resumen de valores de carga axial admisible ELEE – Pilona 10

Longitud m	Carga axial admisible ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	439.4	634.6	864.1
2.00	566.3	805.5	1083.7
3.00	673.7	951.9	1274.1
4.00	832.6	1166.6	1551.1
5.00	991.4	1381.3	1828.0
6.00	1197.5	1655.0	2175.7
7.00	1352.1	1848.2	2407.6
8.00	1506.7	2041.5	2639.5
9.00	2065.9	2866.9	3781.7
10.00	2625.1	3692.3	4923.9
11.00	3480.1	4887.5	6509.9
12.00	3935.9	5457.3	7193.7
13.00	4394.2	6030.1	7881.0
14.00	4851.8	6602.2	8567.5

Longitud m	Carga axial admisible ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
15.00	5305.9	7169.8	9248.7
16.00	5753.7	7729.5	9920.3
17.00	6192.2	8277.6	10578.0
18.00	6618.7	8810.7	11217.8
19.00	7030.4	9325.4	11835.3
20.00	7424.6	9818.1	12426.6
21.00	7798.5	10285.6	12987.6
22.00	8149.6	10724.5	13514.3
23.00	8475.2	11131.4	14002.6
24.00	8782.0	11561.5	14529.6

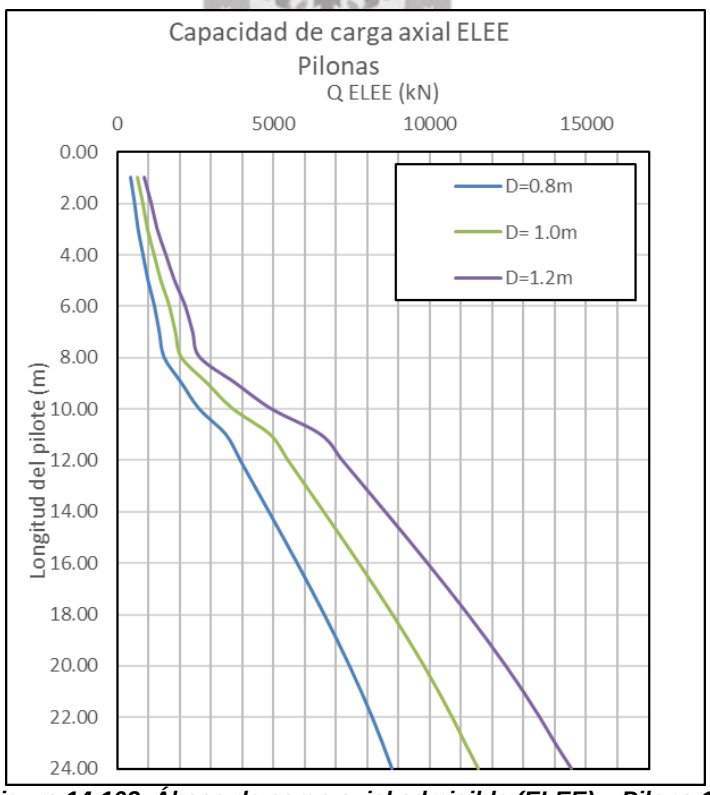


Figura 14-103. Ábaco de carga axial admisible (ELEE) – Pilona 10

Las cargas admisibles para el Estado Límite de Servicio (ELS), se presentan en la Tabla 14-118 y en la Figura 14-104 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-118. Resumen de valores de carga axial admisible ELS – Pilona 10

Longitud m	Carga admisible axial ELS para 20 mm (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	181.1	260.6	353.7
2.00	237.3	335.6	449.6
3.00	285.6	400.9	533.8
4.00	354.5	493.5	652.6
5.00	423.4	586.1	771.5
6.00	513.6	705.2	922.1
7.00	583.1	792.2	1026.5
8.00	652.7	879.1	1130.8
9.00	941.4	1308.5	1728.3
10.00	1230.2	1737.9	2325.8
11.00	1828.1	2553.8	3387.0
12.00	2078.8	2867.2	3750.9
13.00	2330.8	3182.2	4100.1
14.00	2582.5	3496.8	4431.8
15.00	2832.3	3809.0	4756.5
16.00	3078.5	4116.9	5076.1
17.00	3319.7	4416.5	5388.9
18.00	3554.3	4692.9	5692.0
19.00	3780.7	4944.0	5983.3
20.00	3997.5	5215.0	6308.5
21.00	4203.2	5427.0	6568.9
22.00	4396.3	5625.2	6812.5
23.00	4575.4	5805.9	7036.0
24.00	3866.0	5066.1	6341.6

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

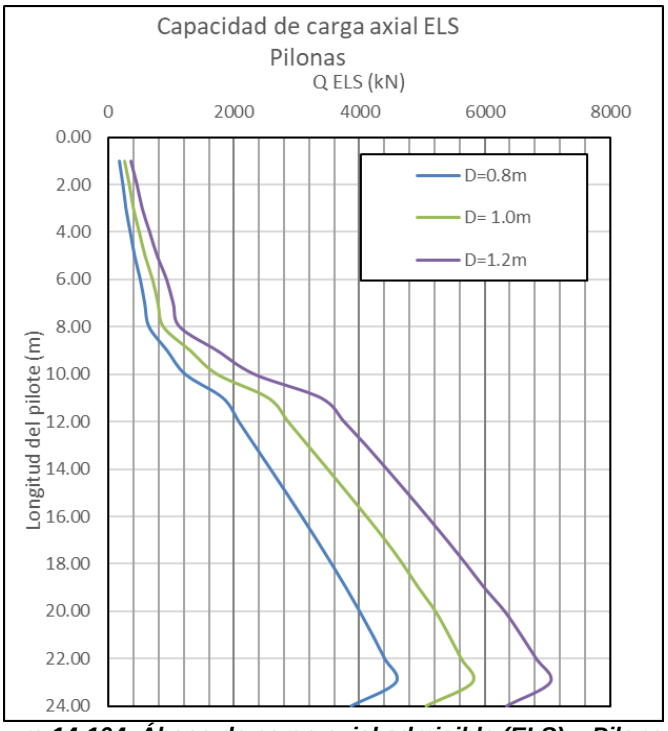


Figura 14-104. Ábaco de carga axial admisible (ELS) – Pilona 10

En la Tabla 14-119 se presentan los valores de capacidad de carga lateral para cada uno de los diferentes diámetros, con respecto a los Estados Límite de Resistencia y a los Estados Límite de Evento Extremo y en la Figura 14-105 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-119. Resumen de valores de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 10

Longitud (m)	Carga horizontal ELR y ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1,00	-89,5	-321,5	-637,5
2,00	536,8	461,3	301,9
3,00	1207,7	1300,0	1308,3
4,00	1923,4	2194,6	2381,9
5,00	2676,5	3145,1	3522,5
6,00	3433,5	4344,5	4998,7
7,00	4204,0	5297,2	6438,2
8,00	4976,7	6263,3	7588,1
9,00	5768,1	7238,3	8750,7
10,00	6557,0	8219,5	9922,3
11,00	4936,8	8747,3	13938,4
12,00	4587,1	8127,7	12950,9
13,00	4291,2	7603,7	12115,7
14,00	4037,5	7154,6	11400,0
15,00	3817,8	6765,4	10779,9
16,00	3625,5	6424,9	10237,4
17,00	3455,8	6124,5	9758,8
18,00	3305,0	5857,5	9333,3
19,00	3170,1	5618,6	8952,7
20,00	3048,6	5403,6	8610,1
21,00	2938,7	5209,0	8300,2
22,00	2838,7	5032,1	8018,4
23,00	2747,5	4870,6	7761,1
24,00	3472,9	6157,1	15163,6

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

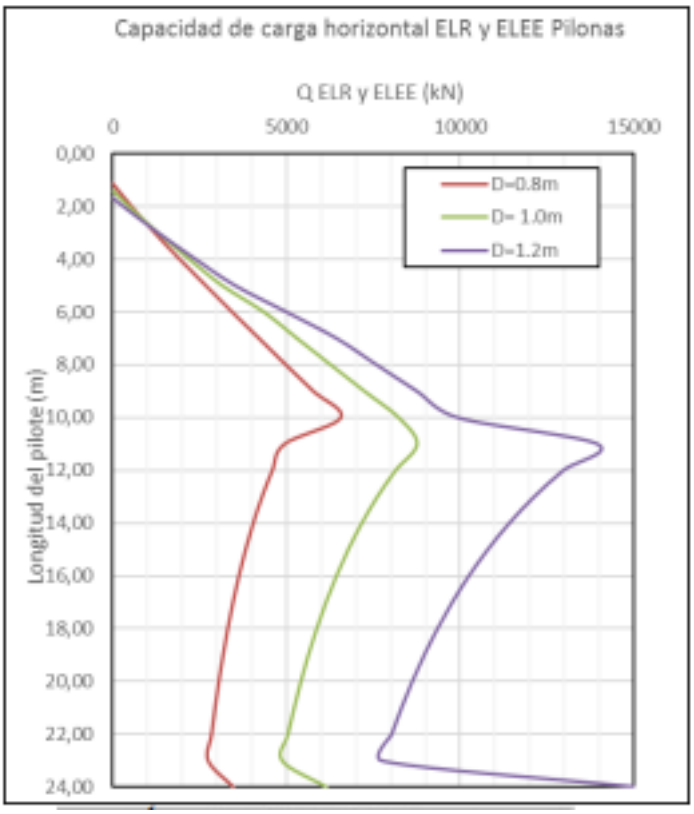


Figura 14-105. Ábaco de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 10

Adicionalmente en la Tabla 14-120 se muestran los resultados de capacidad de carga lateral para los diferentes diámetros con respecto a los valores de Estado Límite de Servicio y en la

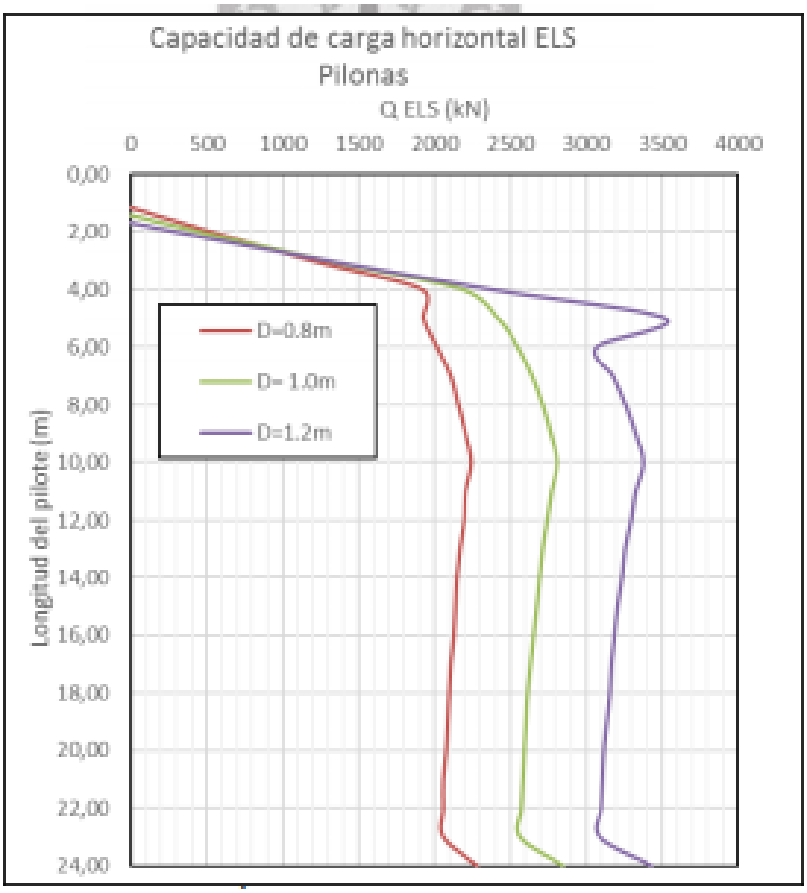


Figura 14-106 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-120. Resumen de valores de carga lateral (ELS) – Pilona 10

Longitud (m)	Carga horizontal ELS para 20 mm(kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1,00	-89,5	-321,5	-637,5
2,00	536,8	461,3	301,9
3,00	1207,7	1300,0	1308,3
4,00	1923,4	2194,6	2381,9
5,00	1931,8	2423,1	3522,5
6,00	2020,0	2554,5	3065,4
7,00	2108,3	2647,6	3177,1
8,00	2157,3	2716,3	3259,5
9,00	2206,4	2770,2	3324,2

Longitud (m)	Carga horizontal ELS para 20 mm(kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
10,00	2245,6	2812,4	3374,2
11,00	2206,4	2775,1	3324,2
12,00	2196,5	2745,7	3294,8
13,00	2167,1	2716,3	3255,6
14,00	2147,5	2696,7	3236,0
15,00	2137,7	2677,0	3206,6
16,00	2127,9	2657,4	3187,0
17,00	2108,3	2637,8	3167,3
18,00	2098,5	2618,2	3157,5
19,00	2088,7	2608,4	3137,9
20,00	2078,9	2598,6	3118,3
21,00	2059,3	2588,8	3108,5
22,00	2059,3	2579,0	3098,7
23,00	2059,3	2569,2	3088,9
24,00	2284,8	2853,5	3432,1

ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

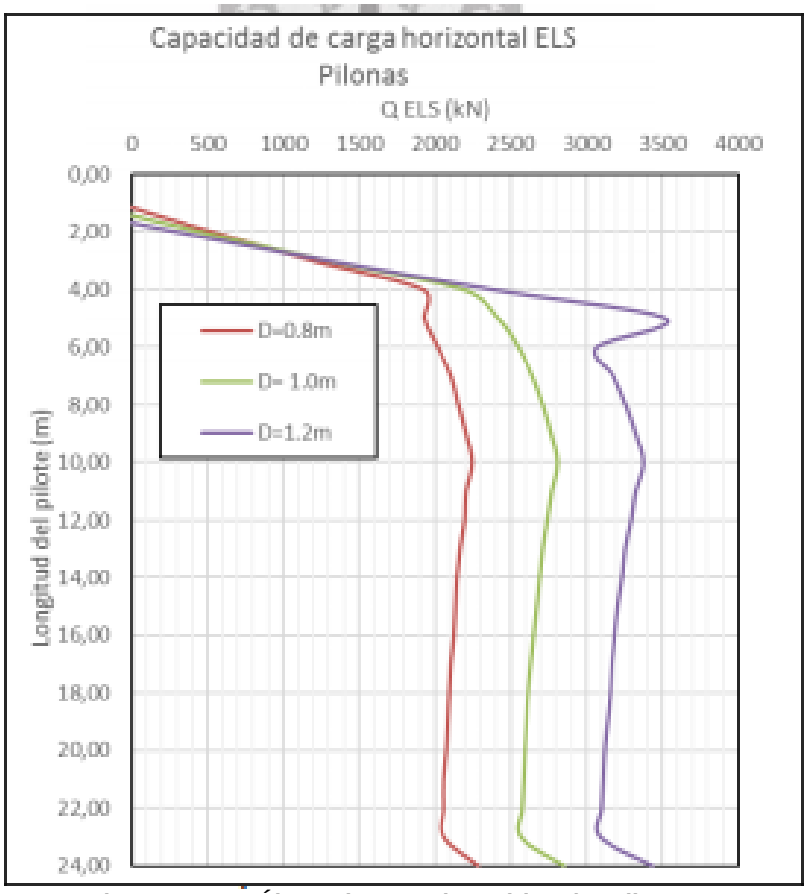


Figura 14-106. Ábaco de carga lateral (ELS) – Pilona 10

14.13.3 Módulo de reacción horizontal y vertical

En la Tabla 14-121 se presentan los valores de los módulos de reacción vertical y horizontal, para cada uno de los diámetros contemplados y la Figura 14-107 se muestra la variación con la profundidad valores que pueden ser utilizados para la elaboración del modelo de diseño estructural.

Tabla 14-121. Resumen de valores módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 10

Longitud (m)	Diámetro = 0.8 m		Diámetro = 1.0 m		Diámetro = 1.2 m	
	kh (kN/m^3)	kv (kN/m^3)	kh (kN/m^3)	kv (kN/m^3)	kh (kN/m^3)	kv (kN/m^3)
1,00	58953	69356	47162	55485	39302	46238
2,00	58953	69356	47162	55485	39302	46238
3,00	58953	69356	47162	55485	39302	46238
4,00	58953	69356	47162	55485	39302	46238
5,00	58953	69356	47162	55485	39302	46238
6,00	84869	99846	67895	79877	56579	66564
7,00	84869	99846	67895	79877	56579	66564

8,00	84869	99846	67895	79877	56579	66564
9,00	84869	99846	67895	79877	56579	66564
10,00	84869	99846	67895	79877	56579	66564
11,00	54855	64535	43884	51628	36570	43024
12,00	54855	64535	43884	51628	36570	43024
13,00	54855	64535	43884	51628	36570	43024
14,00	54855	64535	43884	51628	36570	43024
15,00	54855	64535	43884	51628	36570	43024
16,00	54855	64535	43884	51628	36570	43024
17,00	54855	64535	43884	51628	36570	43024
18,00	54855	64535	43884	51628	36570	43024
19,00	54855	64535	43884	51628	36570	43024
20,00	54855	64535	43884	51628	36570	43024
21,00	54855	64535	43884	51628	36570	43024
22,00	54855	64535	43884	51628	36570	43024
23,00	54855	64535	43884	51628	36570	43024
24,00	288270	339142	230616	271314	192180	226095

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.

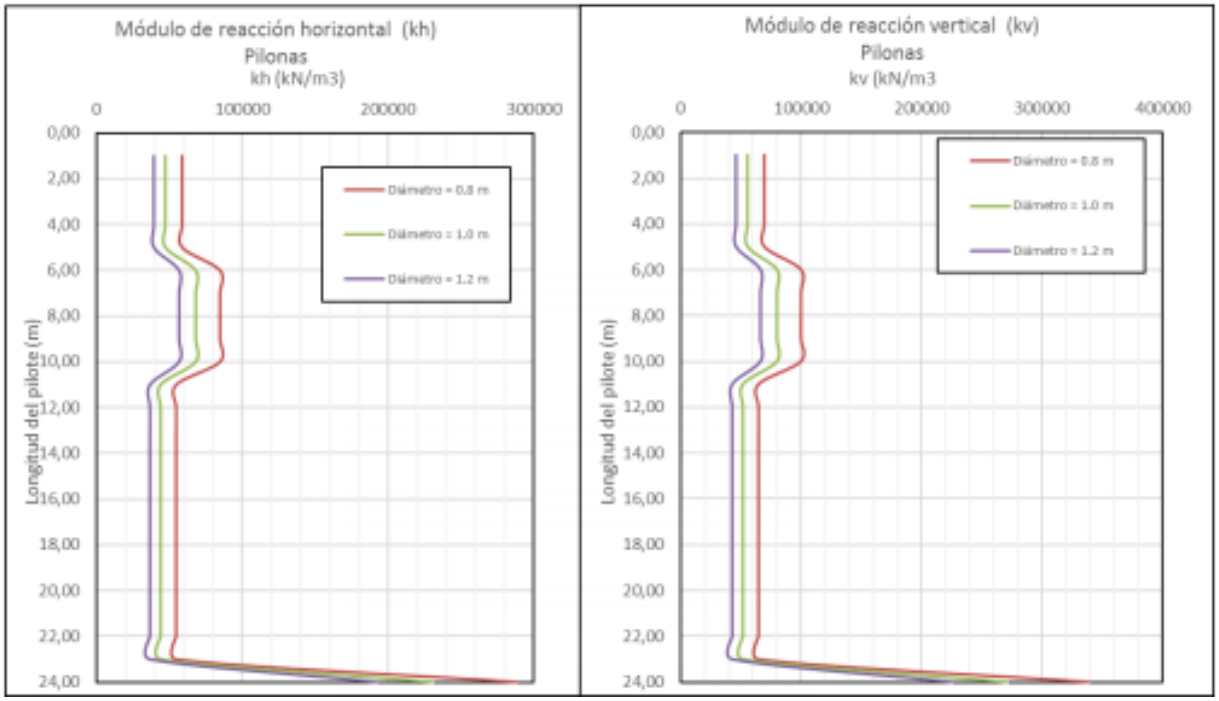


Figura 14-107. Ábaco módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 10

14.13.4 Recomendaciones de cimentación para obras menores

A partir del diseño de urbanismo se logro identificar la presencia de estructuras menores en la zona donde se dispondra la pilona. Estas deberán ser apoyados por medio de cimientos

superficiales con una profundidad de desplante mínima de 0.5m, apoyado sobre el material denominado como *arcilla de color gris de consistencia media y plasticidad baja*, garantizando que los cimientos no quedaran apoyados sobre rellenos antropicos, en dado caso que se evidencie este tipo de material, deberá ser retirado y dispuesto un material de relleno seleccionado compactado al 95%.

Según el perfil estratigráfico típico de la zona en donde se proyecta la pilona 10 obtenido de la campaña de exploración geotécnica, se presenta a continuación la capacidad de carga y asentamientos.

14.13.4.1 Capacidad de carga y asentamientos obras de urbanismo.

El análisis de resistencia se realizó mediante la ecuación general de capacidad portante. Los factores de capacidad portante y los factores de corrección por forma, profundidad de cimentación, excentricidad e inclinación de la carga, fueron establecidos mediante las propuestas de Meyerhoff (1963), Hansen y Vesic (1970) y Chen (1975).

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

Para el cálculo de la capacidad portante de cimentaciones superficiales se utilizó la ecuación general de capacidad portante.

$$\sigma_{adm} = \frac{1}{F.S.}\left(cN_c s_c d_c + qN_q s_q d_q + \frac{1}{2}\gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma\right)$$

Con el fin de considerar la incidencia de la geometría de la fundación y la profundidad de desplante se llevó a cabo un análisis de sensibilidad en el cual se contemplaron diferentes dimensiones de cimiento y relaciones ancho/largo (B/L). Los valores presentados a continuación corresponden a la capacidad de carga del cimiento superficial. Para propositos del diseño se toma una capacidad de carga de 177.2 kPa.

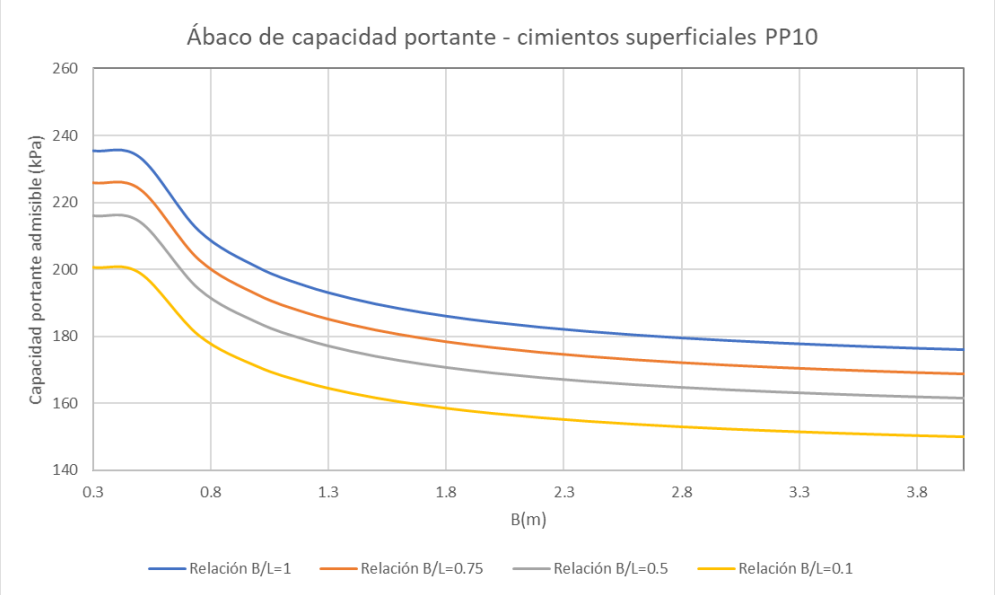


Figura 14-108. Capacidad de carga para cimientos superficiales pilona 10

DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

El análisis de asentamientos se llevó a cabo mediante la Teoría Elástica y fue realizado de acuerdo con las propuestas existentes, fundamentadas en correlaciones entre el módulo de elasticidad, la relación de Poisson del material de fundación y coeficientes en función de la geometría del cimiento.

Con base en lo anterior, han sido determinados los asentamientos elásticos máximos esperados para las estructuras menoras proyectadas en la zona donde se dispondrá la pilona 10.

Tabla 14-122. Asentamientos cimientos superficiales Pilona 10.

Pilona	Asentamiento maximo esperado (cm)
10	1.61

14.13.4.2 Coeficientes de presión de tierras

Para el diseño de los elementos estructurales que soportan la acción de cargas generadas por los materiales de relleno, han sido realizados los análisis de esfuerzos laterales, los cuales fueron evaluados mediante la teoría clásica de Rankine.

De la misma forma con base en la formulación pseudo-estática propuesta por Mononobe – Okabe, fueron determinados los coeficientes de presión de tierras para condición dinámica.

De acuerdo a lo anterior, se recomienda utilizar diagramas de presiones laterales triangulares, propias de suelos friccionantes, considerando los siguientes parámetros:

Tabla 14-123. Coeficientes de presión de tierras

Aceleración Aa	0,22
Peso unitario del material de relleno	19 kN/m3
Ángulo de fricción interno	32°
Coeficiente de presión activa (Ka)	0,30
Coediciente de presión activo dinámico (Kae)	0,40

Se recomiendan materiales de relleno tipo seleccionado, los cuales deberán seleccionarse de acuerdo con los lineamientos establecidos por el artículo No. 610 del INVIAS.

Recomendaciones

- Para los muros de contención se deben incluir filtros en el trasdós, esto con el fin de que se evacuen las aguas residuales hacia los sistemas de drenajes, para evitar la acumulación de estas en la cara del muro, las cuales pueden ocasionar afectaciones a la estructura.
- Las caras de los cortes y la base de fundación de los cimientos, deberán ser protegidos con mortero para evitar la degradación de estas por presencia de aguas superficiales.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD

14.14 PILONA 11

Se modelaron cimentaciones profundas debido a la naturaleza de las cargas a las cuales serán sometidas las estructuras. Para ello se consideraron diámetros de 0.8 m 1.0 m y 1.2 m. Adicionalmente, se realizó una verificación por carga lateral por el método de Broms.

14.14.1 Recomendaciones generales

A partir del suelo encontrado en la zona de estudio, se definieron las siguientes recomendaciones generales para la pilona 11.

Tabla 14-124. Recomendaciones generales pilona 11

Suelo de fundación en la base	Prof. mínima base del pilote respecto a nivel de terreno (m)	Prof. mínima de desplante del dado respecto a nivel del terreno (m)	Observaciones
Bloques de arenisca en matriz de arcilla marron oscuro, consistencia muy dura (Dep. Fg)	19	1.5	Profundiad de desplante del dado mínimo, para garantizar un nivel de suelo homogéneo.

14.14.2 Capacidad

En la Tabla 14-125 se presentan los resultados de la carga axial admisible y carga de tracción para el Estado Límite de Resistencia (ELR) y en la Figura 14-109 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-125. Resumen de valores de carga axial admisible y carga por tracción ELR – Pilona 11

Longitud m	Carga axial admisible ELR (kN)			Carga admisible por tracción ELR (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	141.8	204.0	276.9	95.91	123.58	152.74
2.00	185.7	262.7	352.0	191.82	247.17	305.48
3.00	223.6	313.8	417.9	287.73	370.75	458.22
4.00	286.2	400.0	530.6	383.64	494.34	610.96
5.00	348.9	486.1	643.2	479.54	617.92	763.70
6.00	437.2	604.3	794.3	632.41	812.70	1001.86
7.00	500.7	683.6	889.5	785.27	1007.47	1240.03
8.00	564.2	762.9	984.7	938.13	1202.25	1478.20
9.00	627.6	842.2	1079.9	1090.99	1397.03	1716.37
10.00	691.1	921.6	1175.1	1243.86	1591.80	1954.54
11.00	754.6	1000.9	1270.3	1396.72	1786.58	2192.71
12.00	818.0	1080.2	1365.5	1549.58	1981.36	2430.88
13.00	881.5	1159.6	1460.7	1702.44	2176.13	2669.05
14.00	944.9	1238.9	1555.9	1855.31	2370.91	2907.22
15.00	1008.4	1318.2	1651.1	2008.17	2565.68	3145.39
16.00	1134.8	1495.9	1888.0	2161.03	2760.46	3383.56
17.00	1262.5	1675.5	2127.5	2313.89	2955.24	3621.73
18.00	1953.1	2603.4	3318.5	2604.28	3321.92	4066.19
19.00	2156.8	2859.4	3627.4	2947.73	3754.93	4590.23
20.00	2360.2	3115.1	3936.0	3291.18	4187.94	5114.28
21.00	2563.5	3370.6	4244.2	3634.62	4620.94	5638.33
22.00	2762.5	3619.4	4542.8	3978.07	5053.95	6162.37
23.00	2965.7	3874.7	4850.7	4321.52	5486.96	6686.42
24.00	3168.8	4129.8	5158.3	4664.96	5919.96	7210.47

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

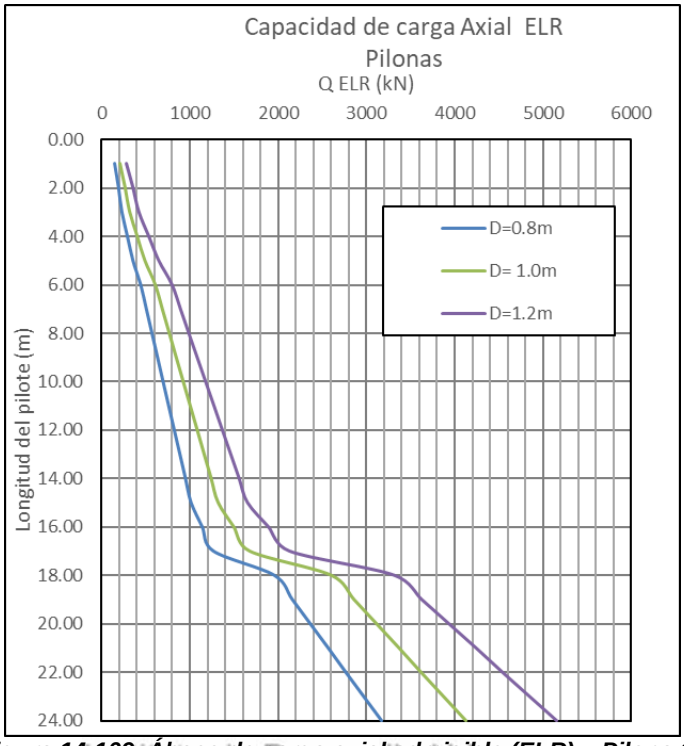


Figura 14-109. Ábaco de carga axial admisible (ELR) – Pilona 11

Adicionalmente en la Tabla 14-126 se presentan los resultados obtenidos para la carga axial admisible correspondiente al Estado Límite de Evento Extremo (ELEE) y en la Figura 14-110 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-126. Resumen de valores de carga axial admisible ELEE – Pilona 11

Longitud m	Carga axial admisible ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	343.9	496.8	676.4
2.00	443.3	630.6	848.4
3.00	527.4	745.2	997.4
4.00	673.6	947.4	1263.3
5.00	819.8	1149.5	1529.2
6.00	1022.9	1422.9	1880.6
7.00	1164.0	1599.2	2092.1
8.00	1305.0	1775.5	2303.7
9.00	1446.0	1951.8	2515.2
10.00	1587.1	2128.1	2726.7
11.00	1728.1	2304.3	2938.3
12.00	1869.1	2480.6	3149.8
13.00	2010.1	2656.9	3361.4
14.00	2151.2	2833.2	3572.9
15.00	2292.2	3009.5	3784.5
16.00	2590.7	3431.8	4350.2
17.00	2892.0	3858.6	4922.6
18.00	3333.8	4461.7	5707.5

Longitud m	Carga axial admisible ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
19.00	3673.8	4889.5	6224.0
20.00	4013.6	5316.8	6739.8
21.00	4353.1	5743.6	7255.0
22.00	4684.8	6158.3	7752.6
23.00	5024.1	6584.7	8267.2
24.00	5363.1	7010.8	8781.3

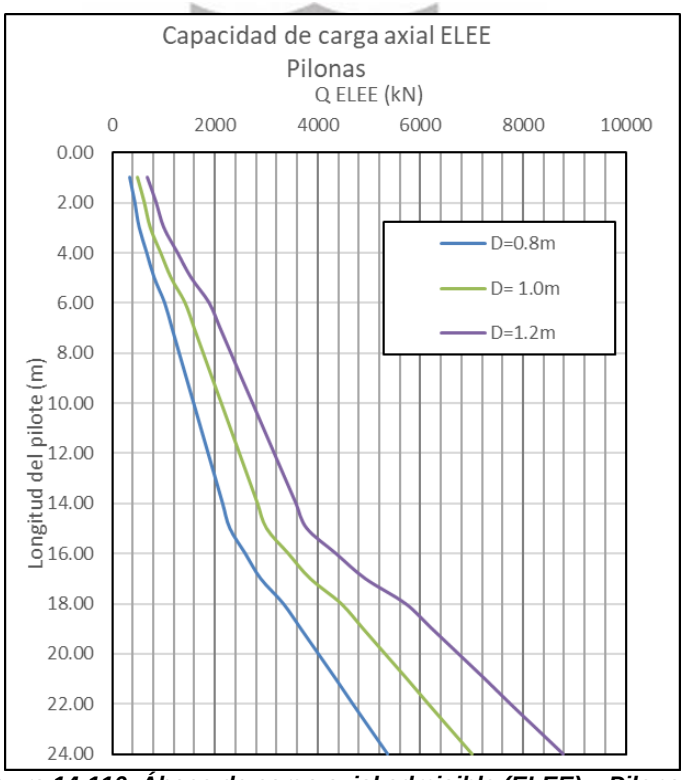


Figura 14-110. Ábaco de carga axial admisible (ELEE) – Pilona 11

Las cargas admisibles para el Estado Límite de Servicio (ELS), se presentan en la Tabla 14-127 y en la Figura 14-111 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-127. Resumen de valores de carga axial admisible ELS – Pilona 11

Longitud m	Carga admisible axial ELS para 20 mm (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	141.8	204.0	276.9
2.00	185.7	262.7	352.0
3.00	223.6	313.8	417.9
4.00	286.2	400.0	530.6
5.00	348.9	486.1	643.2
6.00	437.2	604.3	794.3

Longitud m	Carga admisible axial ELS para 20 mm (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
7.00	500.7	683.6	889.5
8.00	564.2	762.9	984.7
9.00	627.6	842.2	1079.9
10.00	691.1	921.6	1175.1
11.00	754.6	1000.9	1270.3
12.00	818.0	1080.2	1365.5
13.00	881.5	1159.6	1460.7
14.00	944.9	1238.9	1555.9
15.00	1008.4	1318.2	1651.1
16.00	1181.5	1568.9	1993.0
17.00	1356.3	1822.1	2338.6
18.00	1953.1	2603.4	3318.5
19.00	2156.8	2859.4	3627.4
20.00	2355.8	3108.2	3926.0
21.00	2559.2	3363.9	4234.5
22.00	2762.5	3619.4	4542.8
23.00	2965.7	3874.7	4850.7
24.00	3168.8	4129.8	5158.3

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

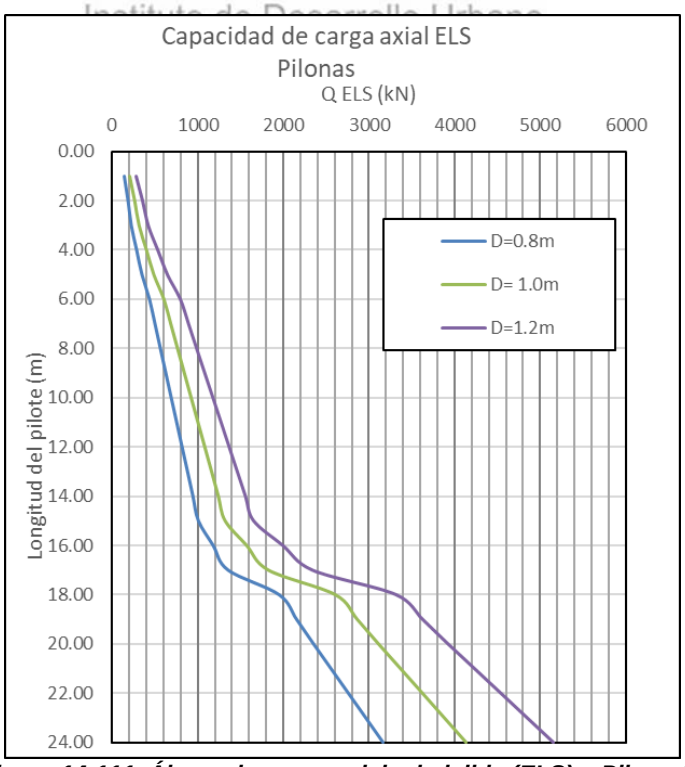


Figura 14-111. Ábaco de carga axial admisible (ELS) – Pilona 11

En la Tabla 14-128 se presentan los valores de capacidad de carga lateral para cada uno de los diferentes diámetros, con respecto a los Estados Límite de Resistencia y a los Estados Límite de Evento Extremo y en la Figura 14-112 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-128. Resumen de valores de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 11

Longitud m	Carga horizontal ELR y ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	-65.2	-245.6	-491.8
2.00	439.6	385.4	265.5
3.00	989.2	1072.3	1089.8
4.00	1583.4	1815.1	1981.1
5.00	2215.1	2613.8	2939.6
6.00	2890.7	3708.0	4281.7
7.00	3583.0	4560.4	5601.3
8.00	4285.8	5429.2	6632.2
9.00	4995.6	6308.8	7678.7
10.00	5710.3	7196.1	8736.2
11.00	6428.5	8089.0	9801.7
12.00	7149.5	8986.0	10873.1
13.00	7872.4	9886.2	11949.2
14.00	8597.0	10789.0	13028.9
15.00	9322.9	11693.7	14111.5
16.00	10049.8	12600.1	15196.4
17.00	10777.6	13507.8	16283.3
18.00	12593.8	15752.2	18945.6
19.00	14418.7	18010.3	21627.5
20.00	6433.1	20279.9	24326.2
21.00	6790.2	12034.2	27039.1
22.00	7114.9	12610.2	20100.6
23.00	7411.3	13136.1	20939.7
24.00	7683.1	13618.1	21708.8

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

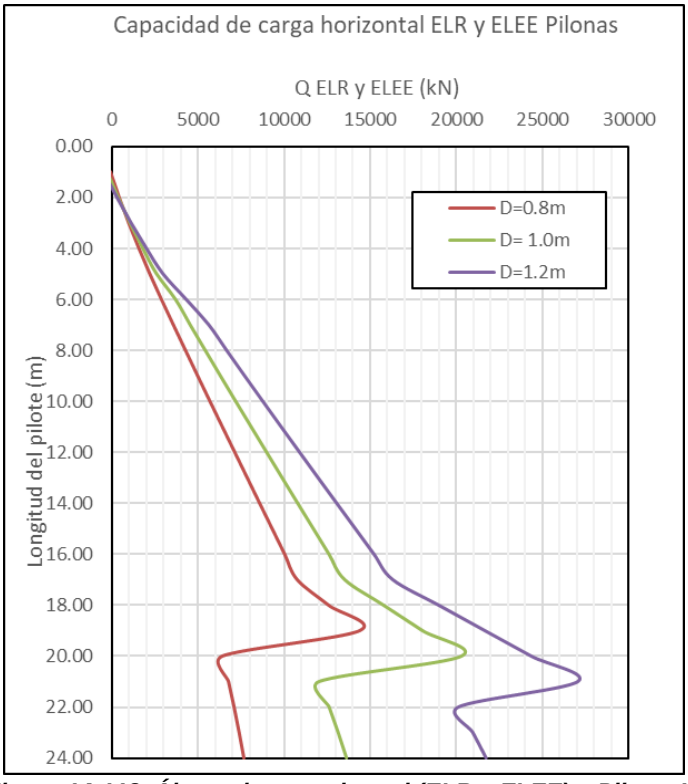


Figura 14-112. Ábaco de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 11

Adicionalmente en la Tabla 14-129 se muestran los resultados de capacidad de carga lateral para los diferentes diámetros con respecto a los valores de Estado Límite de Servicio y en la Figura 14-113 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-129. Resumen de valores de carga lateral (ELS) – Pilona 11

Longitud m	Carga horizontal ELS para 20 mm(kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	-65.2	-245.6	-491.8
2.00	439.6	385.4	265.5
3.00	989.2	1072.3	1089.8
4.00	1578.8	1815.1	1981.1
5.00	1578.8	1971.0	2939.6
6.00	1716.1	2137.7	2569.2
7.00	1804.3	2255.4	2706.5
8.00	1872.9	2343.6	2814.3
9.00	1931.8	2402.5	2892.8
10.00	1971.0	2451.5	2961.4
11.00	2000.4	2500.5	3010.4
12.00	2029.8	2539.8	3049.7
13.00	2059.3	2569.2	3088.9
14.00	2078.9	2588.8	3118.3
15.00	2098.5	2608.4	3147.7
16.00	2108.3	2628.0	3167.3

Longitud m	Carga horizontal ELS para 20 mm(kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
17.00	2127.9	2647.6	3187.0
18.00	2294.6	2863.4	3441.9
19.00	2441.7	3049.7	3667.4
20.00	2569.2	3216.4	3863.6
21.00	2686.8	3363.5	4040.1
22.00	2784.9	3490.9	4197.0
23.00	2883.0	3608.6	4334.3
24.00	2971.2	3716.5	4461.7

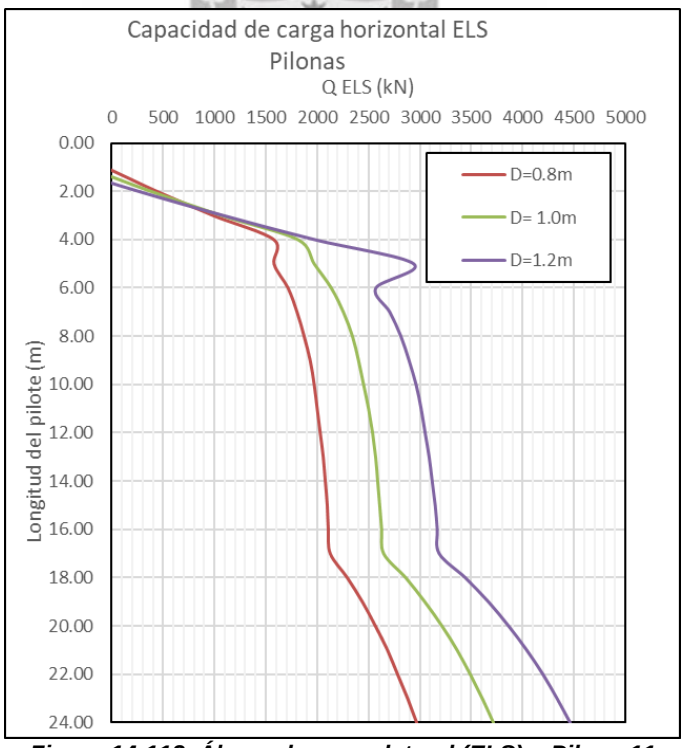


Figura 14-113. Ábaco de carga lateral (ELS) – Pilona 11

14.14.3 Módulo de reacción horizontal y vertical

En la Tabla 14-130 se presentan los valores de los módulos de reacción vertical y horizontal, para cada uno de los diámetros contemplados y la Figura 14-114 se muestra la variación con la profundidad valores que pueden ser utilizados para la elaboración del modelo de diseño estructural.

Tabla 14-130. Resumen de valores módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 11

Longitud (m)	Diámetro = 0.8 m		Diámetro = 1.0 m		Diámetro = 1.2 m	
	kh (kN/m^3)	kv (kN/m^3)	kh (kN/m^3)	kv (kN/m^3)	kh (kN/m^3)	kv (kN/m^3)
1.00	44944	52876	35955	42300	29963	35250
2.00	44944	52876	35955	42300	29963	35250

Longitud (m)	Diámetro = 0.8 m		Diámetro = 1.0 m		Diámetro = 1.2 m	
	kh (kN/m³)	kv (kN/m³)	kh (kN/m³)	kv (kN/m³)	kh (kN/m³)	kv (kN/m³)
3.00	44944	52876	35955	42300	29963	35250
4.00	44944	52876	35955	42300	29963	35250
5.00	44944	52876	35955	42300	29963	35250
6.00	75982	89391	60786	71513	50655	59594
7.00	75982	89391	60786	71513	50655	59594
8.00	75982	89391	60786	71513	50655	59594
9.00	75982	89391	60786	71513	50655	59594
10.00	75982	89391	60786	71513	50655	59594
11.00	75982	89391	60786	71513	50655	59594
12.00	75982	89391	60786	71513	50655	59594
13.00	75982	89391	60786	71513	50655	59594
14.00	75982	89391	60786	71513	50655	59594
15.00	75982	89391	60786	71513	50655	59594
16.00	75982	89391	60786	71513	50655	59594
17.00	75982	89391	60786	71513	50655	59594
18.00	195828	230387	156663	184309	130552	153591
19.00	195828	230387	156663	184309	130552	153591
20.00	195828	230387	156663	184309	130552	153591
21.00	195828	230387	156663	184309	130552	153591
22.00	195828	230387	156663	184309	130552	153591
23.00	195828	230387	156663	184309	130552	153591
24.00	195828	230387	156663	184309	130552	153591

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

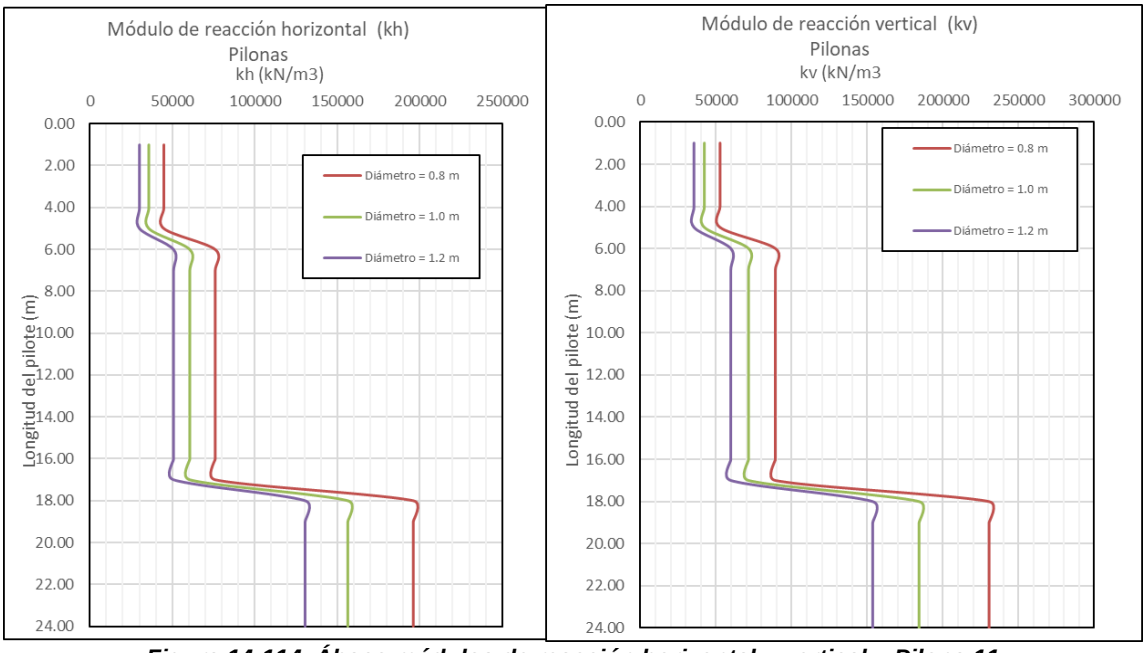


Figura 14-114. Ábaco módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 11

14.14.4 Recomendaciones de cimentación para obras menores

A partir del diseño de urbanismo se logro identificar la presencia de estructuras menores en la zona donde se dispondra la pilona. Estas deberán ser apoyados por medio de cimientos superficiales con una profundidad de desplante mínima de 0.5m, apoyado sobre el material denominado como *arcilla gris y violeta de consistencia firme*, garantizando que los cimientos no quedaran apoyados sobre rellenos antropicos, en dado caso que se evidencie este tipo de material, deberá ser retirado y dispuesto un material de relleno seleccionado compactado al 95%.

Según el perfil estratigráfico típico de la zona en donde se proyecta la pilona 11 obtenido de la campaña de exploración geotécnica, se presenta a continuación la capacidad de carga y asentamientos.

14.14.4.1 Capacidad de carga y asentamientos obras de urbanismo.

El análisis de resistencia se realizó mediante la ecuación general de capacidad portante. Los factores de capacidad portante y los factores de corrección por forma, profundidad de cimentación, excentricidad e inclinación de la carga, fueron establecidos mediante las propuestas de Meyerhoff (1963), Hansen y Vesic (1970) y Chen (1975).

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Para el cálculo de la capacidad portante de cimentaciones superficiales se utilizó la ecuación general de capacidad portante.

$$\sigma_{adm} = \frac{1}{F.S.}\left(cN_c s_c d_c + qN_q s_q d_q + \frac{1}{2}\gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma\right)$$

Con el fin de considerar la incidencia de la geometría de la fundación y la profundidad de desplante se llevó a cabo un análisis de sensibilidad en el cual se contemplaron diferentes dimensiones de cimiento y relaciones ancho/largo (B/L). Los valores presentados a continuación corresponden a la capacidad de carga del cimiento superficial. Para propositos del diseño se toma una capacidad de carga de 138.1 kPa.

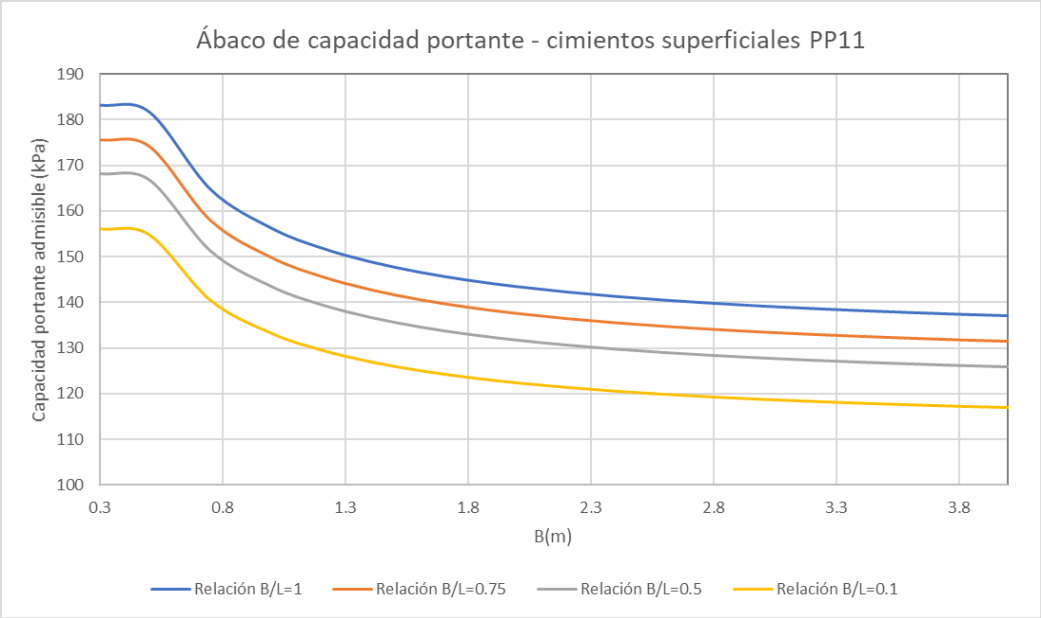


Figura 14-115. Capacidad de carga para cimientos superficiales pilona 11

DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

El análisis de asentamientos se llevó a cabo mediante la Teoría Elástica y fue realizado de acuerdo con las propuestas existentes, fundamentadas en correlaciones entre el módulo de elasticidad, la relación de Poisson del material de fundación y coeficientes en función de la geometría del cimiento.

Con base en lo anterior, han sido determinados los asentamientos elásticos máximos esperados para las estructuras menoras proyectadas en la zona donde se dispondrá la pilona 11.

Tabla 14-131. Asentamientos cimientos superficiales Pilona 11.

Pilona	Asentamiento maximo esperado (cm)
11	1.64

14.14.4.2 Coeficientes de presión de tierras

Para el diseño de los elementos estructurales que soportan la acción de cargas generadas por los materiales de relleno, han sido realizados los análisis de esfuerzos laterales, los cuales fueron evaluados mediante la teoría clásica de Rankine.

De la misma forma con base en la formulación pseudo-estática propuesta por Mononobe – Okabe, fueron determinados los coeficientes de presión de tierras para condición dinámica.

De acuerdo a lo anterior, se recomienda utilizar diagramas de presiones laterales triangulares, propias de suelos friccionantes, considerando los siguientes parámetros:

Tabla 14-132. Coeficientes de presión de tierras

Aceleración Aa	0,22
Peso unitario del material de relleno	19 kN/m3
Ángulo de fricción interno	32°
Coeficiente de presión activa (Ka)	0,30
Coediciente de presión activo dinámico (Kae)	0,40

Se recomiendan materiales de relleno tipo seleccionado, los cuales deberán seleccionarse de acuerdo con los lineamientos establecidos por el artículo No. 610 del INVIAS.

Recomendaciones

- Para los muros de contención se deben incluir filtros en el trasdós, esto con el fin de que se evacuen las aguas residuales hacia los sistemas de drenajes, para evitar la acumulación de estas en la cara del muro, las cuales pueden ocasionar afectaciones a la estructura.
- Las caras de los cortes y la base de fundación de los cimientos, deberán ser protegidos con mortero para evitar la degradación de estas por presencia de aguas superficiales.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

14.15 PILONA 12-13-14

Se modelaron cimentaciones profundas debido a la naturaleza de las cargas a las cuales serán sometidas las estructuras. Para ello se consideraron diámetros de 0.8 m 1.0 m y 1.2 m. Adicionalmente, se realizó una verificación por carga lateral por el método de Broms.

14.15.1 Recomendaciones generales

A partir del suelo encontrado en la zona de estudio, se definieron las siguientes recomendaciones generales para la pilona 12-13-14.

Tabla 14-133. Recomendaciones generales pilona 12-13-14

Suelo de fundación en la base	Prof. mínima base del pilote respecto a nivel de terreno (m)	Prof. mínima de desplante del dado respecto a nivel del terreno (m)	Observaciones
Arcilla limoarenosa gris claro con gravas de consistencia firme, humedad baja y plasticidad baja. (F. Bogotá)	20	1.5	Profundiad de desplante del dado mínimo, para garantizar un nivel de suelo homogéneo.

14.15.2 Capacidad

En la Tabla 14-134 se presentan los resultados de la carga axial admisible y carga de tracción para el Estado Límite de Resistencia (ELR) y en la Figura 14-116 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-134. Resumen de valores de carga axial admisible y carga por tracción ELR – Pilona 12-13-14

Longitud m	Carga axial admisible ELR (kN)			Carga admisible por tracción ELR (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	150.9	217.1	294.7	101.33	130.36	160.88
2.00	197.7	279.7	374.7	202.67	260.73	321.75
3.00	261.7	371.1	498.1	304.00	391.09	482.63
4.00	325.6	458.4	611.8	405.33	521.46	643.50
5.00	413.9	576.2	762.0	560.91	719.62	885.74
6.00	478.6	657.1	859.1	716.48	917.79	1127.98
7.00	543.3	737.9	956.1	872.06	1115.96	1370.21
8.00	608.0	818.8	1053.1	1027.63	1314.12	1612.45
9.00	672.7	899.7	1150.1	1183.20	1512.29	1854.69
10.00	737.4	980.5	1247.2	1338.78	1710.46	2096.93
11.00	802.0	1061.4	1344.2	1494.35	1908.62	2339.16
12.00	866.7	1142.2	1441.2	1649.93	2106.79	2581.40
13.00	931.4	1223.1	1538.2	1805.50	2304.95	2823.64
14.00	996.1	1303.9	1635.3	1961.08	2503.12	3065.88
15.00	1060.8	1384.8	1732.3	2116.65	2701.29	3308.11
16.00	1125.5	1465.6	1829.3	2272.22	2899.45	3550.35
17.00	1190.1	1546.5	1926.3	2427.80	3097.62	3792.59
18.00	1254.8	1627.3	2023.4	2583.37	3295.79	4034.83
19.00	1350.3	1756.3	2189.6	2738.95	3493.95	4277.06
20.00	1445.7	1885.2	2355.9	2894.52	3692.12	4519.30
21.00	1572.3	2053.0	2568.8	3119.23	3976.70	4865.24
22.00	1668.1	2172.8	2712.5	3343.94	4261.28	5211.17
23.00	1763.9	2292.5	2856.2	3568.64	4545.86	5557.11
24.00	1859.7	2412.2	2999.9	3793.35	4830.45	5903.04

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

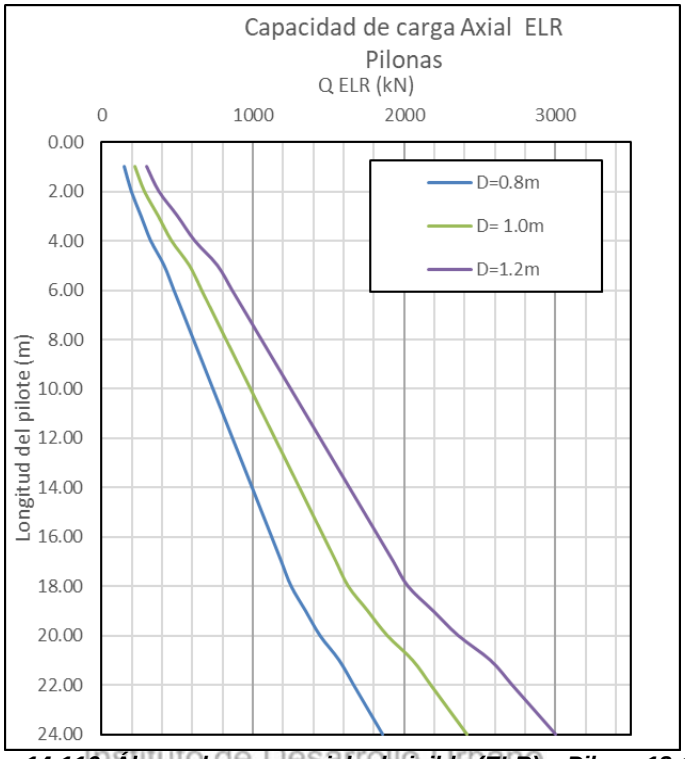


Figura 14-116. Ábaco de carga axial admisible (ELR) – Pilona 12-13-14

Adicionalmente en la Tabla 14-135 se presentan los resultados obtenidos para la carga axial admisible correspondiente al Estado Límite de Evento Extremo (ELEE) y en la Figura 14-117 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-135. Resumen de valores de carga axial admisible ELEE – Pilona 12-13-14

Longitud m	Carga axial admisible ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	366.1	528.9	720.1
2.00	471.9	671.2	903.1
3.00	620.6	885.7	1194.9
4.00	769.2	1090.1	1462.3
5.00	972.2	1362.2	1811.0
6.00	1115.9	1541.9	2026.7
7.00	1259.6	1721.6	2242.3
8.00	1403.4	1901.2	2457.9
9.00	1547.1	2080.9	2673.5
10.00	1690.9	2260.6	2889.1
11.00	1834.6	2440.3	3104.7
12.00	1978.3	2619.9	3320.3
13.00	2122.1	2799.6	3535.9
14.00	2265.8	2979.3	3751.5
15.00	2409.6	3158.9	3967.1
16.00	2553.3	3338.6	4182.8
17.00	2697.0	3518.3	4398.4
18.00	2840.8	3698.0	4614.0

Longitud m	Carga axial admisible ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
19.00	3061.4	3997.8	5002.7
20.00	3282.1	4297.7	5391.4
21.00	3571.9	4684.0	5883.7
22.00	3784.8	4950.1	6203.1
23.00	3997.6	5216.2	6522.4
24.00	4210.5	5482.3	6841.7

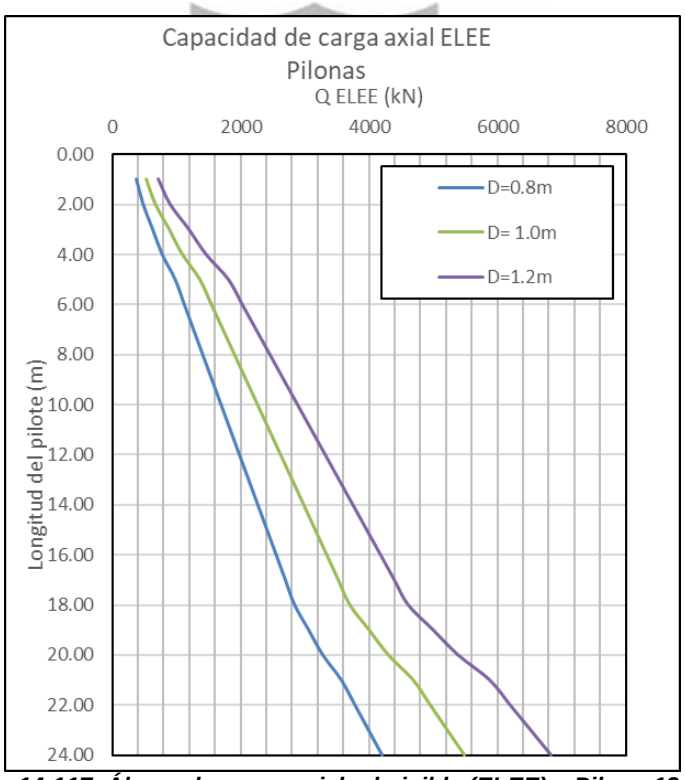


Figura 14-117. Ábaco de carga axial admisible (ELEE) – Pilona 12-13-14

Las cargas admisibles para el Estado Límite de Servicio (ELS), se presentan en la Tabla 14-136 y en la Figura 14-118 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-136. Resumen de valores de carga axial admisible ELS – Pilona 12-13-14

Longitud m	Carga admisible axial ELS para 20 mm (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	150.9	217.1	294.7
2.00	197.7	279.7	374.7
3.00	261.7	371.1	498.1
4.00	325.6	458.4	611.8
5.00	413.9	576.2	762.0
6.00	478.6	657.1	859.1
7.00	543.3	737.9	956.1
8.00	608.0	818.8	1053.1

Longitud m	Carga admisible axial ELS para 20 mm (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
9.00	672.7	899.7	1150.1
10.00	737.4	980.5	1247.2
11.00	802.0	1061.4	1344.2
12.00	866.7	1142.2	1441.2
13.00	931.4	1223.1	1538.2
14.00	996.1	1303.9	1635.3
15.00	1060.8	1384.8	1732.3
16.00	1125.5	1465.6	1829.3
17.00	1190.1	1546.5	1926.3
18.00	1254.8	1627.3	2023.4
19.00	1350.3	1756.3	2189.6
20.00	1384.2	1789.0	2217.4
21.00	1572.3	2053.0	2568.8
22.00	1668.1	2172.8	2712.5
23.00	1763.9	2292.5	2856.2
24.00	1859.7	2412.2	2999.9

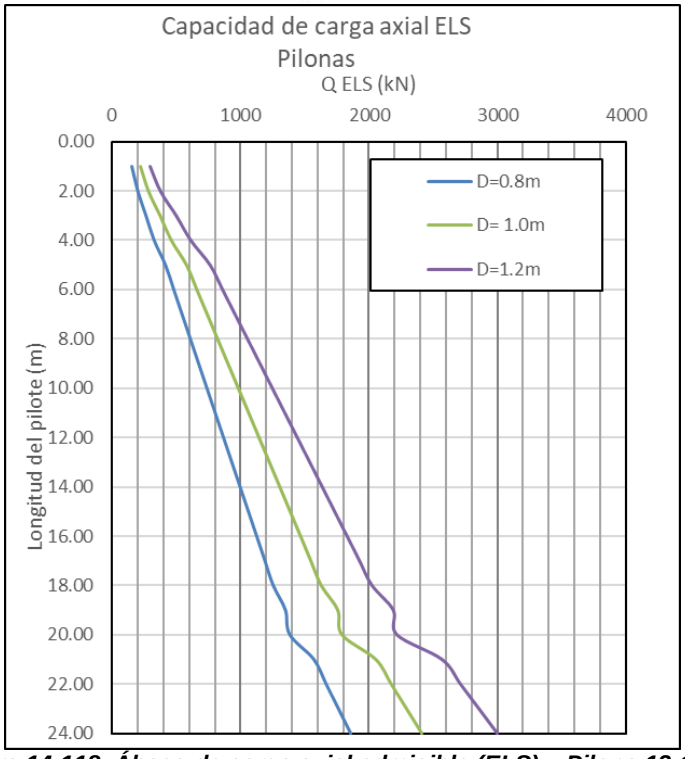


Figura 14-118. Ábaco de carga axial admisible (ELS) – Pilona 12-13-14

En la Tabla 14-137 se presentan los valores de capacidad de carga lateral para cada uno de los diferentes diámetros, con respecto a los Estados Límite de Resistencia y a los Estados Límite de Evento Extremo y en la Figura 14-119 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-137. Resumen de valores de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 12-13-14

Longitud m	Carga horizontal ELR y ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	-70.8	-263.3	-525.6
2.00	462.2	403.0	273.9
3.00	1040.0	1125.2	1140.6
4.00	1662.5	1903.3	2074.3
5.00	2537.8	2988.1	3350.7
6.00	3241.4	4119.4	4746.7
7.00	3957.9	5005.1	6106.3
8.00	4682.3	5903.2	7175.1
9.00	5412.1	6809.6	8255.9
10.00	6145.5	7721.9	9345.1
11.00	6881.7	8638.3	10440.3
12.00	7620.0	9558.0	11540.1
13.00	8359.8	10480.0	12643.4
14.00	9100.8	11404.0	13749.5
15.00	9842.8	12329.6	14857.7
16.00	10585.6	13256.3	15967.8
17.00	11329.0	14184.1	17079.3
18.00	12073.0	15112.8	18192.1
19.00	12817.5	16042.1	19305.8
20.00	5425.7	16972.1	20420.5
21.00	5567.9	18329.1	22039.9
22.00	5697.2	10095.0	23664.2
23.00	5815.2	10304.5	16421.8
24.00	5923.4	10496.4	16728.1

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

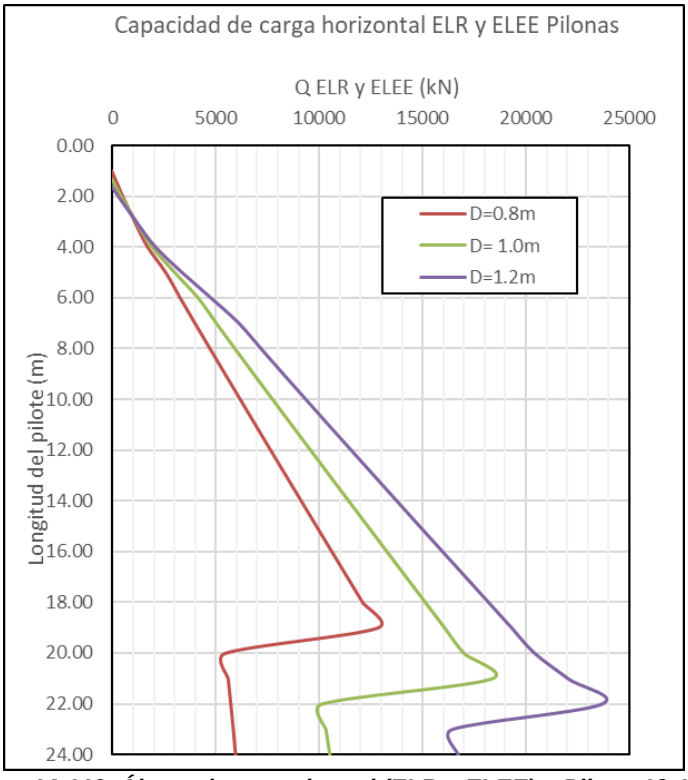


Figura 14-119. Ábaco de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 12-13-14

Adicionalmente en la Tabla 14-138 se muestran los resultados de capacidad de carga lateral para los diferentes diámetros con respecto a los valores de Estado Límite de Servicio y en la Figura 14-119 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-138. Resumen de valores de carga lateral (ELS) – Pilona 12-13-14

Longitud m	Carga horizontal ELS para 20 mm(kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	-70.8	-263.3	-525.6
2.00	462.2	403.0	273.9
3.00	1040.0	1125.2	1140.6
4.00	1662.5	1903.3	2074.3
5.00	1813.1	2266.2	3350.7
6.00	1909.2	2384.8	2864.3
7.00	1976.9	2471.1	2965.3
8.00	2026.9	2533.9	3040.8
9.00	2064.2	2582.9	3099.7
10.00	2097.5	2621.1	3133.0
11.00	2122.0	2653.5	3184.0
12.00	2142.6	2679.0	3215.4
13.00	2161.2	2701.6	3241.9

Longitud m	Carga horizontal ELS para 20 mm(kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
14.00	2176.0	2720.2	3264.4
15.00	2188.7	2736.9	3284.0
16.00	2199.5	2750.6	3300.7
17.00	2210.3	2763.3	3316.4
18.00	2219.1	2774.1	3328.2
19.00	2226.9	2783.9	3340.9
20.00	2234.8	2792.7	3351.7
21.00	2279.9	2854.5	3424.3
22.00	2328.9	2910.4	3492.9
23.00	2369.1	2961.4	3552.7
24.00	2405.4	3007.5	3609.6

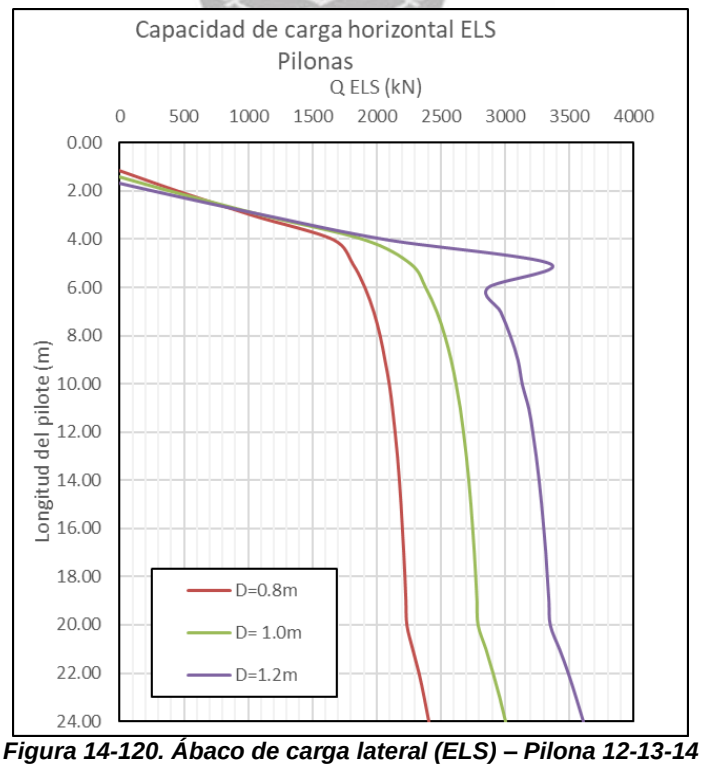


Figura 14-120. Ábaco de carga lateral (ELS) – Pilona 12-13-14

14.15.3 Módulo de reacción horizontal y vertical

En la Tabla 14-139 se presentan los valores de los módulos de reacción vertical y horizontal, para cada uno de los diámetros contemplados y la Figura 14-121 se muestra la variación con la profundidad valores que pueden ser utilizados para la elaboración del modelo de diseño estructural.

Tabla 14-139. Resumen de valores módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 12-13-14

Longitud (m)	Diámetro = 0.8 m		Diámetro = 1.0 m		Diámetro = 1.2 m	
	kh (kN/m³)	kv (kN/m³)	kh (kN/m³)	kv (kN/m³)	kh (kN/m³)	kv (kN/m³)
1.00	48154	56652	38524	45322	32103	37768
2.00	48154	56652	38524	45322	32103	37768
3.00	48154	56652	38524	45322	32103	37768
4.00	48154	56652	38524	45322	32103	37768
5.00	77047	90644	61638	72515	51365	60429
6.00	77047	90644	61638	72515	51365	60429
7.00	77047	90644	61638	72515	51365	60429
8.00	77047	90644	61638	72515	51365	60429
9.00	77047	90644	61638	72515	51365	60429
10.00	77047	90644	61638	72515	51365	60429
11.00	77047	90644	61638	72515	51365	60429
12.00	77047	90644	61638	72515	51365	60429
13.00	77047	90644	61638	72515	51365	60429
14.00	77047	90644	61638	72515	51365	60429
15.00	77047	90644	61638	72515	51365	60429
16.00	77047	90644	61638	72515	51365	60429
17.00	77047	90644	61638	72515	51365	60429
18.00	77047	90644	61638	72515	51365	60429
19.00	77047	90644	61638	72515	51365	60429
20.00	77047	90644	61638	72515	51365	60429
21.00	115571	135966	92457	108773	77047	90644
22.00	115571	135966	92457	108773	77047	90644
23.00	115571	135966	92457	108773	77047	90644
24.00	115571	135966	92457	108773	77047	90644

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

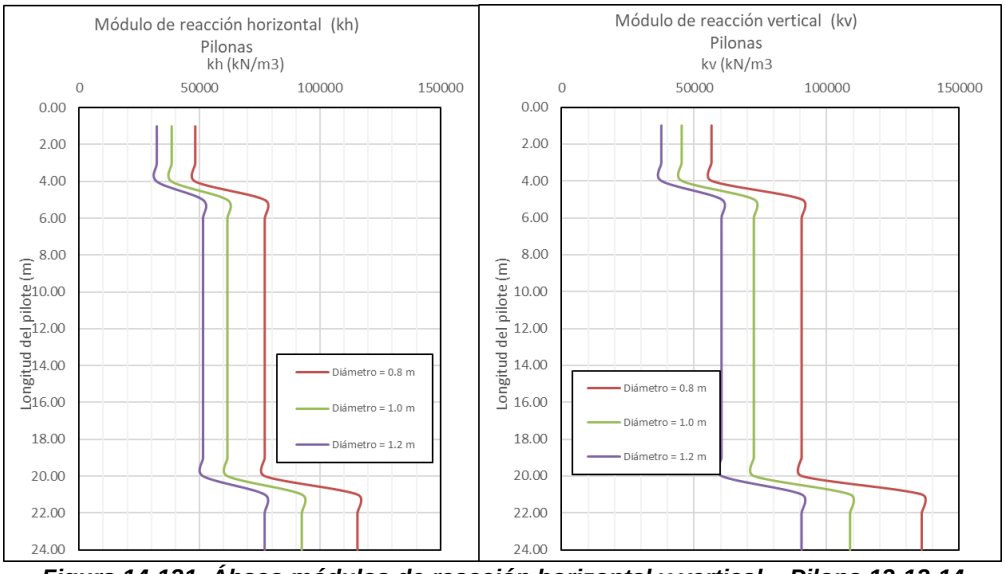


Figura 14-121. Ábaco módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 12-13-14

14.15.4 Recomendaciones de cimentación para obras menores

A partir del diseño de urbanismo se logro identificar la presencia de estructuras menores en la zona donde se dispondra la pilona. Estas deberán ser apoyados por medio de cimientos superficiales con una profundidad de desplante mínima de 0.5m, apoyado sobre el material denominado como *arcilla de color gris de consistencia media a firme.*, garantizando que los cimientos no quedaran apoyados sobre rellenos antropicos, en dado caso que se evidencie este tipo de material, deberá ser retirado y dispuesto un material de relleno seleccionado compactado al 95%.

Según el perfil estratigráfico típico de la zona en donde se proyecta la pilona 12-13-14 obtenido de la campaña de exploración geotécnica, se presenta a continuación la capacidad de carga y asentamientos.

14.15.4.1 Capacidad de carga y asentamientos obras de urbanismo.

El análisis de resistencia se realizó mediante la ecuación general de capacidad portante. Los factores de capacidad portante y los factores de corrección por forma, profundidad de cimentación, excentricidad e inclinación de la carga, fueron establecidos mediante las propuestas de Meyerhoff (1963), Hansen y Vesic (1970) y Chen (1975).

Para el cálculo de la capacidad portante de cimentaciones superficiales se utilizó la ecuación general de capacidad portante.

$$\sigma_{adm} = \frac{1}{F.S.}\left(cN_c s_c d_c + qN_q s_q d_q + \frac{1}{2}\gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma\right)$$

Con el fin de considerar la incidencia de la geometría de la fundación y la profundidad de desplante se llevó a cabo un análisis de sensibilidad en el cual se contemplaron diferentes dimensiones de cimiento y relaciones ancho/largo (B/L). Los valores presentados a continuación corresponden a la capacidad de carga del cimiento superficial. Para propositos del diseño se toma una capacidad de carga de 146.8 kPa.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

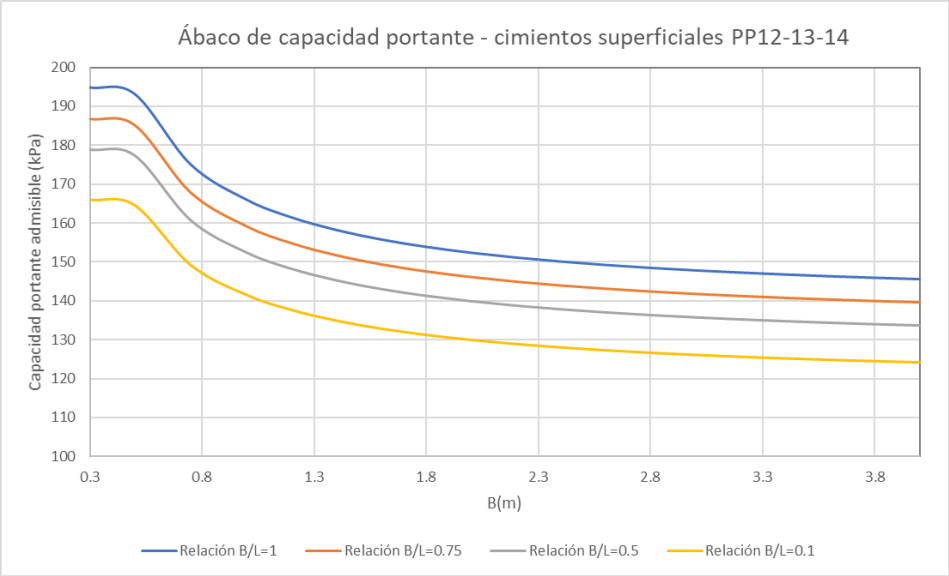


Figura 14-122. Capacidad de carga para cimientos superficiales pilona 12-13-14

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

El análisis de asentamientos se llevó a cabo mediante la Teoría Elástica y fue realizado de acuerdo con las propuestas existentes, fundamentadas en correlaciones entre el módulo de elasticidad, la relación de Poisson del material de fundación y coeficientes en función de la geometría del cimiento.

Con base en lo anterior, han sido determinados los asentamientos elásticos máximos esperados para las estructuras menoras proyectadas en la zona donde se dispondrá la pilona 12-13-14.

Tabla 14-140. Asentamientos cimientos superficiales Pilona 12-13-14.

Pilona	Asentamiento maximo esperado (cm)
12-13-14	1.63

14.15.4.2 Coeficientes de presión de tierras

Para el diseño de los elementos estructurales que soportan la acción de cargas generadas por los materiales de relleno, han sido realizados los análisis de esfuerzos laterales, los cuales fueron evaluados mediante la teoría clásica de Rankine.

De la misma forma con base en la formulación pseudo-estática propuesta por Mononobe – Okabe, fueron determinados los coeficientes de presión de tierras para condición dinámica.

De acuerdo a lo anterior, se recomienda utilizar diagramas de presiones laterales triangulares, propias de suelos friccionantes, considerando los siguientes parámetros:

Tabla 14-141. Coeficientes de presión de tierras

Aceleración Aa	0,22
Peso unitario del material de relleno	19 kN/m3
Ángulo de fricción interno	32°
Coeficiente de presión activa (Ka)	0,30
Coediciente de presión activo dinámico (Kae)	0,40

Se recomiendan materiales de relleno tipo seleccionado, los cuales deberán seleccionarse de acuerdo con los lineamientos establecidos por el artículo No. 610 del INVIAS.

Recomendaciones

- Para los muros de contención se deben incluir filtros en el trasdós, esto con el fin de que se evacuen las aguas residuales hacia los sistemas de drenajes, para evitar la acumulación de estas en la cara del muro, las cuales pueden ocasionar afectaciones a la estructura.
- Las caras de los cortes y la base de fundación de los cimientos, deberán ser protegidos con mortero para evitar la degradación de estas por presencia de aguas superficiales.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

14.16 PILONA 15

Se modelaron cimentaciones profundas debido a la naturaleza de las cargas a las cuales serán sometidas las estructuras. Para ello se consideraron diámetros de 0.8 m 1.0 m y 1.2 m. Adicionalmente, se realizó una verificación por carga lateral por el método de Broms.

14.16.1 Recomendaciones generales

A partir del suelo encontrado en la zona de estudio, se definieron las siguientes recomendaciones generales para la pilona 15.

Tabla 14-142. Recomendaciones generales pilona 15

Suelo de fundación en la base	Prof. mínima base del pilote respecto a nivel de terreno (m)	Prof. mínima de desplante del dado respecto a nivel del terreno (m)	Observaciones
Limo arcilloso rojo con vetas grices, consistencia dura a muy dura. (F. Bogotá)	16	1.8	Profundiad de desplante del dado mínimo, para garantizar un nivel de suelo homogéneo.

14.16.2 Capacidad

En la Tabla 14-143 se presentan los resultados de la carga axial admisible y carga de tracción para el Estado Límite de Resistencia (ELR) y en la Figura 14-123 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-143. Resumen de valores de carga axial admisible y carga por tracción ELR – Pilona 15

Longitud m	Carga axial admisible ELR (kN)			Carga admisible por tracción ELR (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	150.9	217.1	294.7	101.33	130.36	160.88
2.00	197.7	279.7	374.7	202.67	260.73	321.75
3.00	238.0	334.1	444.8	304.00	391.09	482.63
4.00	278.3	384.4	505.3	405.33	521.46	643.50
5.00	318.5	434.8	565.7	506.66	651.82	804.38
6.00	358.8	485.1	626.1	608.00	782.19	965.25
7.00	399.1	535.5	686.5	709.33	912.55	1126.13
8.00	439.4	585.8	746.9	810.66	1042.92	1287.00
9.00	521.1	700.9	900.5	912.00	1173.28	1447.88
10.00	602.7	815.9	1054.1	1013.33	1303.64	1608.75
11.00	727.2	984.4	1271.8	1209.59	1552.66	1912.01
12.00	810.1	1088.1	1396.3	1405.84	1801.68	2215.27
13.00	893.1	1191.9	1520.8	1602.10	2050.70	2518.53
14.00	976.1	1295.6	1645.3	1798.35	2299.72	2821.79
15.00	1059.1	1399.3	1769.7	1994.61	2548.73	3125.05
16.00	1142.1	1503.1	1894.2	2190.86	2797.75	3428.31
17.00	1225.1	1606.8	2018.7	2387.12	3046.77	3731.57
18.00	1308.1	1710.5	2143.2	2583.37	3295.79	4034.83
19.00	1501.4	1997.5	2531.5	2779.63	3544.80	4338.09
20.00	1696.5	2286.8	2923.3	2975.88	3793.82	4641.35
21.00	2698.2	3664.0	4705.1	3421.65	4354.73	5318.87
22.00	2958.6	3989.6	5095.7	3867.42	4915.63	5996.40
23.00	3226.0	4324.6	5500.0	4313.18	5476.54	6673.92
24.00	3506.1	4675.5	5923.4	4780.65	6064.57	7383.99

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

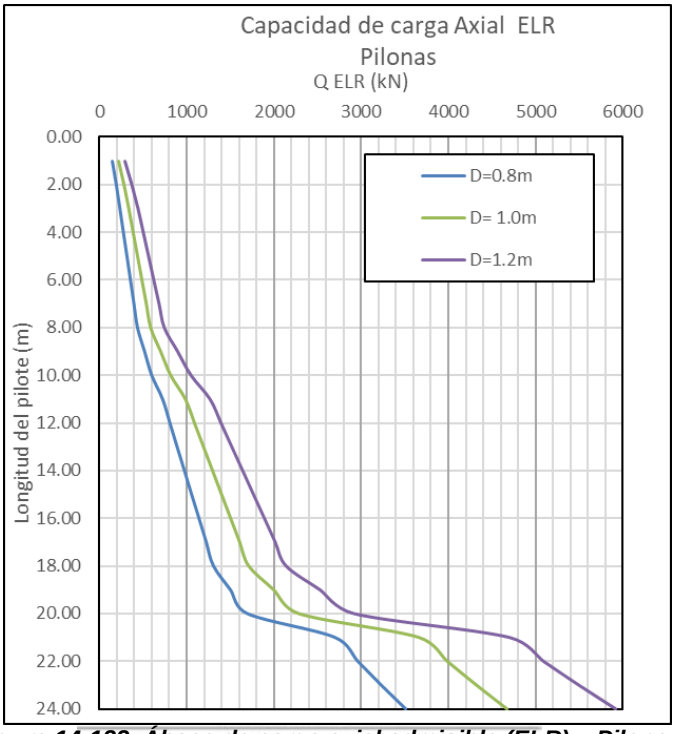


Figura 14-123. Ábaco de carga axial admisible (ELR) – Pilona 15

Instituto de Desarrollo Urbano

Adicionalmente en la Tabla 14-144 para se presentan los resultados obtenidos para la carga axial admisible correspondiente al Estado Límite de Evento Extremo (ELEE) y en la Figura 14-124 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-144. Resumen de valores de carga axial admisible ELEE – Pilona 15

Longitud m	Carga axial admisible ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	366.1	528.9	720.1
2.00	471.9	671.2	903.1
3.00	561.4	793.3	1061.8
4.00	650.9	905.2	1196.0
5.00	740.4	1017.0	1330.3
6.00	829.9	1128.9	1464.5
7.00	919.4	1240.8	1598.8
8.00	1008.9	1352.6	1733.0
9.00	1201.9	1626.3	2100.3
10.00	1395.0	1900.0	2467.5
11.00	1683.0	2292.3	2977.1
12.00	1867.4	2522.8	3253.7
13.00	2051.8	2753.4	3530.4
14.00	2236.2	2983.9	3807.0
15.00	2420.6	3214.4	4083.6
16.00	2605.1	3445.0	4360.3
17.00	2789.5	3675.5	4636.9
18.00	2973.9	3906.0	4913.5
19.00	3434.2	4594.6	5849.8

Longitud m	Carga axial admisible ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
20.00	3898.9	5289.1	6794.6
21.00	4617.3	6301.3	8121.9
22.00	5051.4	6843.9	8773.1
23.00	5498.0	7403.6	9448.9
24.00	5965.9	7990.0	10156.6

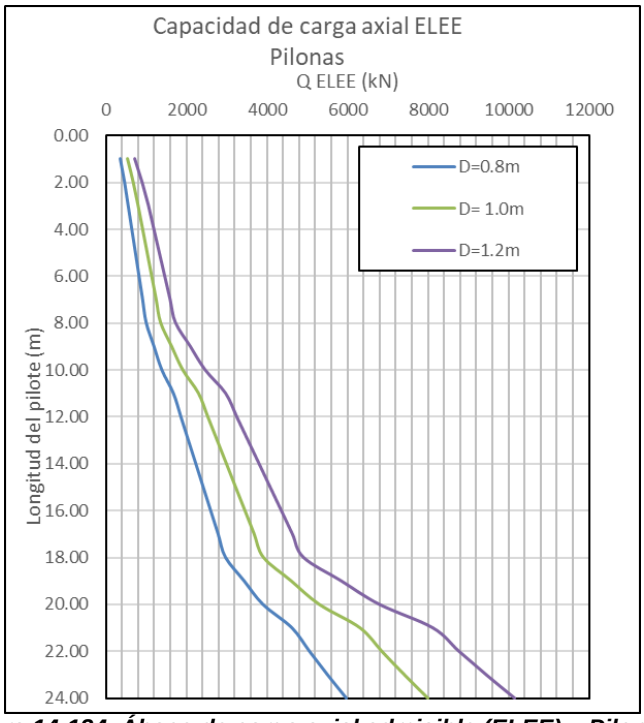


Figura 14-124. Ábaco de carga axial admisible (ELEE) – Pilona 15

Las cargas admisibles para el Estado Límite de Servicio (ELS), se presentan en la Tabla 14-145 y en la Figura 14-125 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-145. Resumen de valores de carga axial admisible ELS – Pilona 15

Longitud m	Carga admisible axial ELS para 20 mm (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	150.9	217.1	294.7
2.00	197.7	279.7	374.7
3.00	238.0	334.1	444.8
4.00	278.3	384.4	505.3
5.00	318.5	434.8	565.7
6.00	358.8	485.1	626.1
7.00	399.1	535.5	686.5
8.00	439.4	585.8	746.9
9.00	521.1	700.9	900.5
10.00	602.7	815.9	1054.1
11.00	727.2	984.4	1271.8

Longitud m	Carga admisible axial ELS para 20 mm (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
12.00	810.1	1088.1	1396.3
13.00	893.1	1191.9	1520.8
14.00	976.1	1295.6	1645.3
15.00	1059.1	1399.3	1769.7
16.00	1142.1	1503.1	1894.2
17.00	1225.1	1606.8	2018.7
18.00	1308.1	1710.5	2143.2
19.00	1573.0	2113.4	2698.4
20.00	1474.1	1918.0	2392.2
21.00	2691.1	3654.3	4691.1
22.00	2958.6	3989.6	5095.7
23.00	3226.0	4324.6	5500.0
24.00	3506.1	4675.5	5923.4

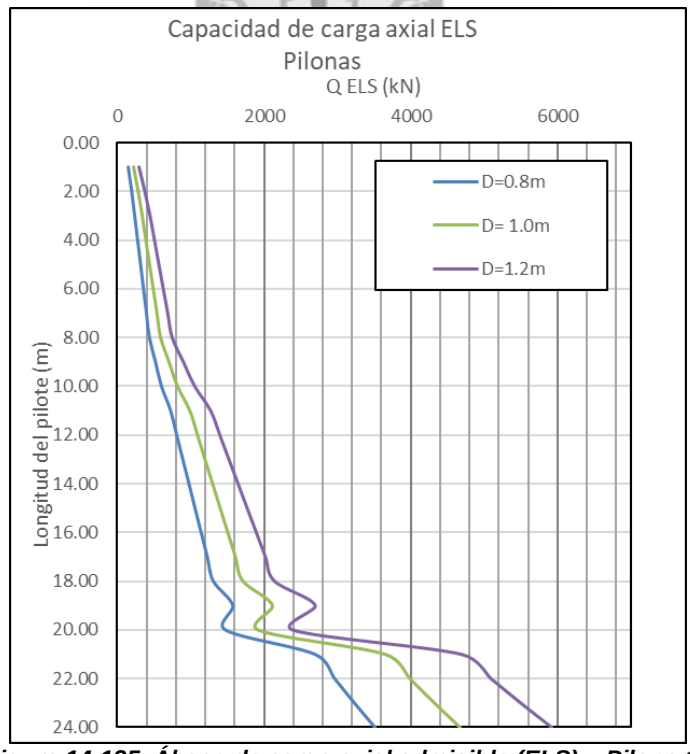


Figura 14-125. Ábaco de carga axial admisible (ELS) – Pilona 15

En la Tabla 14-146 Se presentan también los valores de capacidad de carga lateral para cada uno de los diferentes diámetros, con respecto a los Estados Límite de Resistencia y a los Estados Límite de Evento Extremo y en la Figura 14-126 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-146. Resumen de valores de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 15

Longitud m	Carga horizontal ELR y ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	-70.8	-263.3	-525.6
2.00	462.2	403.0	273.9
3.00	1040.0	1125.2	1140.6
4.00	1662.5	1903.3	2074.3
5.00	2322.4	2737.3	3075.1
6.00	2788.4	3587.8	4143.0
7.00	3254.4	4170.3	5157.8
8.00	3720.4	4752.8	5856.8
9.00	4186.4	5335.2	6555.8
10.00	4652.3	5917.7	7254.7
11.00	5558.9	7034.3	8574.7
12.00	6474.5	8164.8	9914.7
13.00	7396.9	9306.1	11270.1
14.00	8324.7	10455.8	12637.6
15.00	9256.8	11612.2	14014.9
16.00	10192.5	12774.1	15400.0
17.00	11131.0	13940.5	16791.6
18.00	12071.9	15110.7	18188.7
19.00	13014.9	16284.0	19590.3
20.00	5573.8	17460.1	20995.7
21.00	6377.1	11301.2	25350.5
22.00	7107.4	12596.7	20079.1
23.00	7774.1	13779.6	21966.5
24.00	8385.3	14863.9	23696.5

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

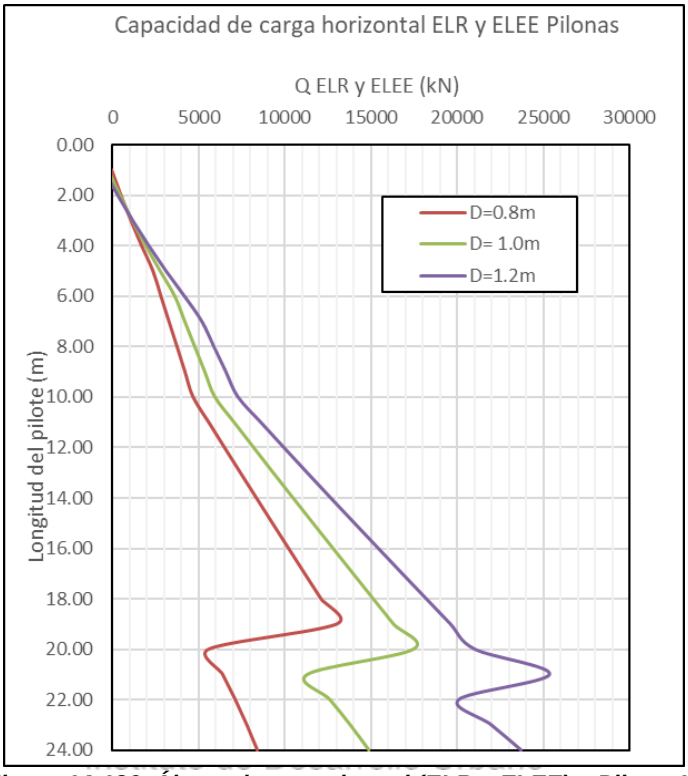


Figura 14-126. Ábaco de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 15

Adicionalmente en la Tabla 14-147 se muestran los resultados de capacidad de carga lateral para los diferentes diámetros con respecto a los valores de Estado Límite de Servicio y en la Figura 14-127 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-147. Resumen de valores de carga lateral (ELS) – Pilona 15

Longitud m	Carga horizontal ELS para 20 mm(kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	-70.8	-263.3	-525.6
2.00	462.2	403.0	273.9
3.00	1040.0	1125.2	1140.6
4.00	1662.5	1903.3	2074.3
5.00	1667.0	2078.9	3075.1
6.00	1667.0	2078.9	2500.5
7.00	1667.0	2078.9	2500.5
8.00	1667.0	2078.9	2500.5
9.00	1667.0	2078.9	2500.5
10.00	1667.0	2078.9	2500.5
11.00	1784.7	2235.8	2677.0
12.00	1882.8	2353.4	2824.1
13.00	1961.2	2461.3	2951.6
14.00	2029.8	2539.8	3049.7
15.00	2088.7	2618.2	3137.9
16.00	2147.5	2677.0	3206.6

Longitud m	Carga horizontal ELS para 20 mm(kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
17.00	2186.7	2735.9	3285.0
18.00	2226.0	2784.9	3343.8
19.00	2265.2	2833.9	3402.7
20.00	2294.6	2873.2	3441.9
21.00	2569.2	3206.6	3853.8
22.00	2804.5	3510.5	4206.8
23.00	3010.4	3765.5	4520.6
24.00	3206.6	4010.7	4804.9

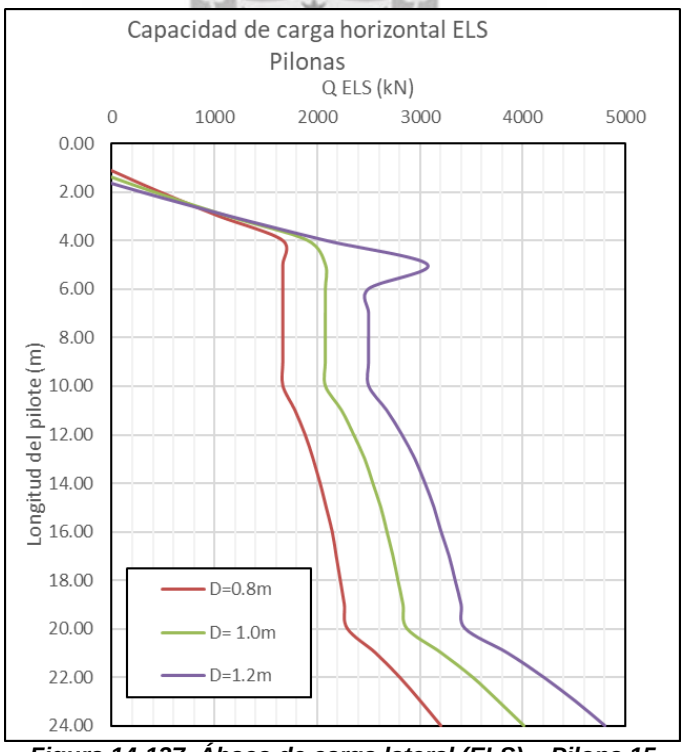


Figura 14-127. Ábaco de carga lateral (ELS) – Pilona 15

14.16.3 Módulo de reacción horizontal y vertical

En la Tabla 14-148 se presentan los valores de los módulos de reacción vertical y horizontal, para cada uno de los diámetros contemplados y la Figura 14-128 se muestra la variación con la profundidad valores que pueden ser utilizados para la elaboración del modelo de diseño estructural.

Tabla 14-148. Resumen de valores módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 15

Longitud (m)	Diámetro = 0.8 m		Diámetro = 1.0 m		Diámetro = 1.2 m	
	kh (kN/m^3)	kv (kN/m^3)	kh (kN/m^3)	kv (kN/m^3)	kh (kN/m^3)	kv (kN/m^3)
1.00	48315	56841	38652	45473	32210	37894
2.00	48315	56841	38652	45473	32210	37894

Longitud (m)	Diámetro = 0.8 m		Diámetro = 1.0 m		Diámetro = 1.2 m	
	kh (kN/m³)	kv (kN/m³)	kh (kN/m³)	kv (kN/m³)	kh (kN/m³)	kv (kN/m³)
3.00	48315	56841	38652	45473	32210	37894
4.00	48315	56841	38652	45473	32210	37894
5.00	48315	56841	38652	45473	32210	37894
6.00	48315	56841	38652	45473	32210	37894
7.00	48315	56841	38652	45473	32210	37894
8.00	48315	56841	38652	45473	32210	37894
9.00	48315	56841	38652	45473	32210	37894
10.00	48315	56841	38652	45473	32210	37894
11.00	99869	117494	79896	93995	66580	78329
12.00	99869	117494	79896	93995	66580	78329
13.00	99869	117494	79896	93995	66580	78329
14.00	99869	117494	79896	93995	66580	78329
15.00	99869	117494	79896	93995	66580	78329
16.00	99869	117494	79896	93995	66580	78329
17.00	99869	117494	79896	93995	66580	78329
18.00	99869	117494	79896	93995	66580	78329
19.00	99869	117494	79896	93995	66580	78329
20.00	99869	117494	79896	93995	66580	78329
21.00	322197	379056	257758	303245	214798	252704
22.00	322197	379056	257758	303245	214798	252704
23.00	322197	379056	257758	303245	214798	252704
24.00	322197	379056	257758	303245	214798	252704

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

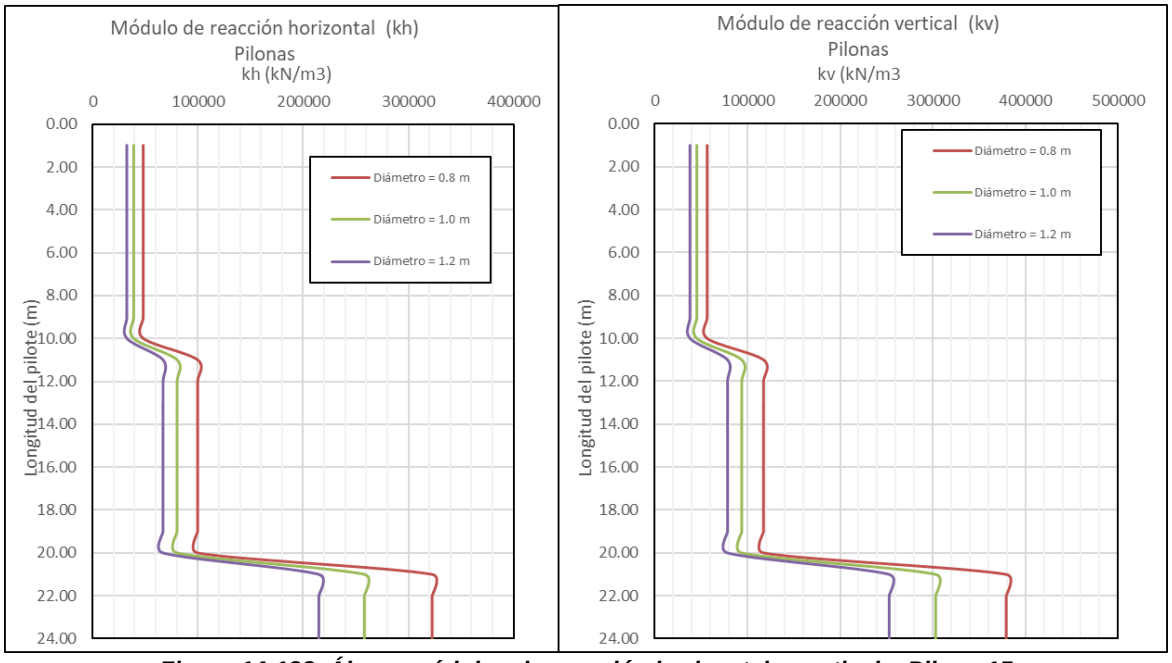


Figura 14-128. Ábaco módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 15

14.16.4 Recomendaciones de cimentación para obras menores

A partir del diseño de urbanismo se logro identificar la presencia de muros con alturas hasta de 3.5m y estructuras menores en la zona donde se dispondra la pilona. Estos deberán ser apoyados por medio de cimientos superficiales con una profundidad de desplante minima de 0.5m, apoyado sobre el material denominado como *arcilla limosa de consistencia firme*, garantizando que los cimientos no quedaran apoyados sobre rellenos antropicos, en dado caso que se evidencie este tipo de material, deberá ser retirado y dispuesto un material de relleno seleccionado compactado al 95%.

Para los muros de contención con alturas de hasta 3.5 m, se incluye en el ANEXO D. memorias de cálculo, el predimensionamiento de estos muros y la evaluación de los factores de seguridad al deslizamiento y volcamiento.

14.16.4.1 Capacidad de carga y asentamientos obras de urbanismo.

Según el perfil estratigráfico típico de la zona en donde se proyecta la pilona 15 obtenido de la campaña de exploración geotécnica, se presenta a continuación la capacidad de carga y asentamientos.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

El análisis de resistencia se realizó mediante la ecuación general de capacidad portante. Los factores de capacidad portante y los factores de corrección por forma, profundidad de cimentación, excentricidad e inclinación de la carga, fueron establecidos mediante las propuestas de Meyerhoff (1963), Hansen y Vesic (1970) y Chen (1975).

Para el cálculo de la capacidad portante de cimentaciones superficiales se utilizó la ecuación general de capacidad portante.

$$\sigma_{adm} = \frac{1}{F.S.}\left(cN_c s_c d_c + qN_q s_q d_q + \frac{1}{2}\gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma\right)$$

Con el fin de considerar la incidencia de la geometría de la fundación y la profundidad de desplante se llevó a cabo un análisis de sensibilidad en el cual se contemplaron diferentes dimensiones de cimiento y relaciones ancho/largo (B/L). Los valores presentados a continuación corresponden a la capacidad de carga del cimiento superficial. Para propositos del diseño se toma una capacidad de carga de 146.8 kPa.

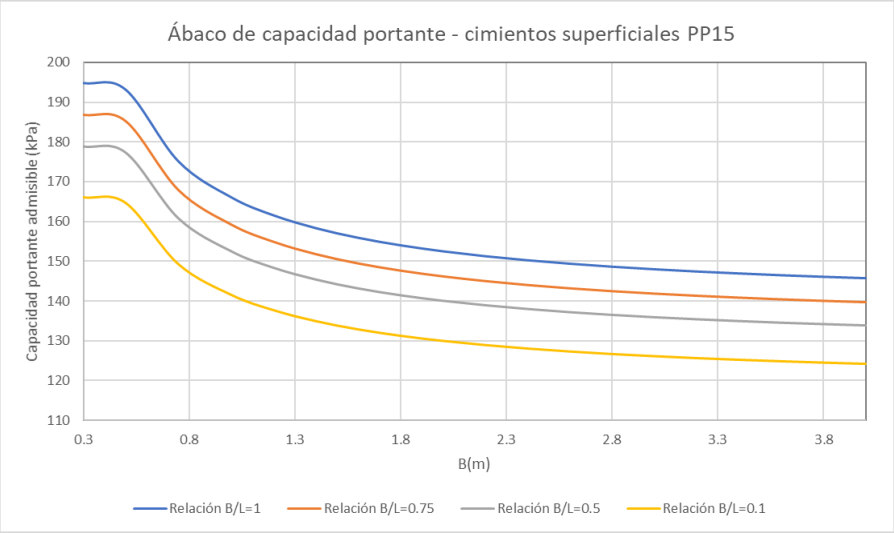


Figura 14-129. Capacidad de carga para cimientos superficiales pilona 15

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

El análisis de asentamientos se llevó a cabo mediante la Teoría Elástica y fue realizado de acuerdo con las propuestas existentes, fundamentadas en correlaciones entre el módulo de elasticidad, la relación de Poisson del material de fundación y coeficientes en función de la geometría del cimiento.

Con base en lo anterior, han sido determinados los asentamientos elásticos máximos esperados para las estructuras menoras proyectadas en la zona donde se dispondrá la pilona 15.

Tabla 14-149. Asentamientos cimientos superficiales Pilona 15.

Pilona	Asentamiento maximo esperado (cm)
15	1.63

14.16.4.2 Coeficientes de presión de tierras

Para el diseño de los elementos estructurales que soportan la acción de cargas generadas por los materiales de relleno, han sido realizados los análisis de esfuerzos laterales, los cuales fueron evaluados mediante la teoría clásica de Rankine.

De la misma forma con base en la formulación pseudo-estática propuesta por Mononobe – Okabe, fueron determinados los coeficientes de presión de tierras para condición dinámica.

De acuerdo a lo anterior, se recomienda utilizar diagramas de presiones laterales triangulares, propias de suelos friccionantes, considerando los siguientes parámetros:

Tabla 14-150. Coeficientes de presión de tierras

Aceleración Aa	0,22
Peso unitario del material de relleno	19 kN/m3
Ángulo de fricción interno	32°
Coeficiente de presión activa (Ka)	0,30
Coediciente de presión activo dinámico (Kae)	0,40

Se recomiendan materiales de relleno tipo seleccionado, los cuales deberán seleccionarse de acuerdo con los lineamientos establecidos por el artículo No. 610 del INVIAS.

Recomendaciones

- Para los muros de contención se deben incluir filtros en el trasdós, esto con el fin de que se evacuen las aguas residuales hacia los sistemas de drenajes, para evitar la acumulación de estas en la cara del muro, las cuales pueden ocasionar afectaciones a la estructura.
- Las caras de los cortes y la base de fundación de los cimientos, deberán ser protegidos con mortero para evitar la degradación de estas por presencia de aguas superficiales.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

14.17 PILONA 16

Se modelaron cimentaciones profundas debido a la naturaleza de las cargas a las cuales serán sometidas las estructuras. Para ello se consideraron diámetros de 0.8 m 1.0 m y 1.2 m. Adicionalmente, se realizó una verificación por carga lateral por el método de Broms.

14.17.1 Recomendaciones generales

A partir del suelo encontrado en la zona de estudio, se definieron las siguientes recomendaciones generales para la pilona 16.

Tabla 14-151. Recomendaciones generales pilona 16

Suelo de fundación en la base	Prof. mínima base del pilote respecto a nivel de terreno (m)	Prof. mínima de desplante del dado respecto a nivel del terreno (m)	Observaciones
Arcillolita medianamente meteorizada.	12.0	2.7	Profundiad de desplante del dado mínimo, para garantizar un nivel de suelo homogéneo.

14.17.2 Capacidad

En la Tabla 14-152 se presentan los resultados de la carga axial admisible y carga de tracción para el Estado Límite de Resistencia (ELR) y en la Figura 14-130 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-152. Resumen de valores de carga axial admisible y carga por tracción ELR – Pilona 16

Longitud m	Carga axial admisible ELR (kN)			Carga admisible por tracción ELR (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	331.8	509.3	724.7	65.09	85.06	106.51
2.00	382.2	572.3	800.3	168.56	218.09	270.59
3.00	447.8	655.3	901.2	293.31	377.73	466.59
4.00	523.3	750.8	1017.0	436.11	559.93	689.66
5.00	511.3	717.3	954.7	639.14	817.42	1003.09
6.00	597.3	824.9	1083.7	842.18	1074.91	1316.52
7.00	683.4	932.4	1212.8	1045.21	1332.40	1629.95
8.00	769.4	1040.0	1341.8	1248.25	1589.90	1943.38
9.00	777.5	1025.7	1295.5	1451.28	1847.39	2256.81
10.00	785.5	1011.4	1249.1	1654.32	2104.88	2570.24
11.00	853.4	1071.9	1292.4	1990.27	2528.52	3083.04
12.00	999.3	1254.2	1511.2	2326.22	2952.15	3595.84
13.00	1145.1	1436.5	1730.0	2662.17	3375.79	4108.64
14.00	1291.0	1618.8	1948.7	2998.12	3799.42	4621.44
15.00	1916.4	2402.6	2891.6	3334.07	4223.06	5134.24
16.00	2110.9	2645.7	3183.3	3670.01	4646.69	5647.04
17.00	2305.4	2888.8	3475.0	4005.96	5070.33	6159.84
18.00	2499.9	3131.9	3766.7	4341.91	5493.96	6672.63
19.00	2694.3	3374.9	4058.4	4677.86	5917.59	7185.43
20.00	2888.8	3618.0	4350.1	5013.81	6341.23	7698.23
21.00	3083.3	3861.1	4641.8	5349.76	6764.86	8211.03
22.00	3277.7	4104.2	4933.5	5685.71	7188.50	8723.83
23.00	3472.2	4347.3	5225.2	6021.66	7612.13	9236.63
24.00	3666.7	4590.4	5516.9	6357.61	8035.77	9749.43

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

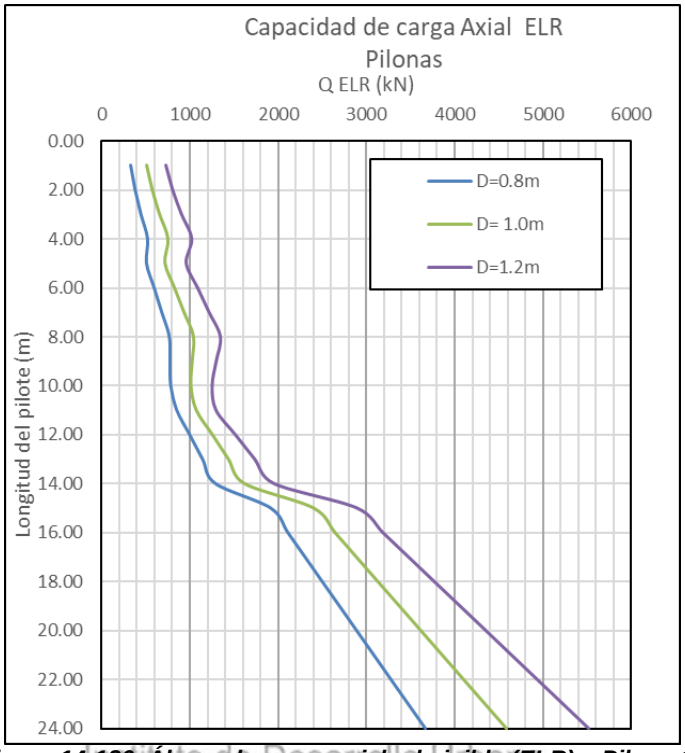


Figura 14-130. Ábaco de carga axial admisible (ELR) – Pilona 16

Adicionalmente en la Tabla 14-153 se presentan los resultados obtenidos para la carga axial admisible correspondiente al Estado Límite de Evento Extremo (ELEE) y la Figura 14-130 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-153. Resumen de valores de carga axial admisible ELEE – Pilona 16

Longitud m	Carga axial admisible ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	658.3	1012.0	1441.3
2.00	750.0	1126.6	1578.8
3.00	869.8	1278.5	1763.7
4.00	1007.6	1452.9	1975.6
5.00	1205.7	1702.7	2277.9
6.00	1396.9	1941.7	2564.7
7.00	1588.1	2180.7	2851.5
8.00	1779.3	2419.7	3138.3
9.00	1775.6	2354.1	2986.5
10.00	1771.9	2288.5	2834.7
11.00	1901.0	2389.1	2882.3
12.00	2225.1	2794.2	3368.4
13.00	2549.3	3199.4	3854.6
14.00	2873.4	3604.5	4340.8
15.00	3197.5	4009.7	4826.9
16.00	3521.6	4414.8	5313.1
17.00	3845.7	4819.9	5799.3
18.00	4169.8	5225.1	6285.5
19.00	4493.9	5630.2	6771.6

Longitud m	Carga axial admisible ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
20.00	4818.1	6035.4	7257.8
21.00	5142.2	6440.5	7744.0
22.00	5466.3	6845.7	8230.1
23.00	5790.4	7250.8	8716.3
24.00	6114.5	7655.9	9202.5

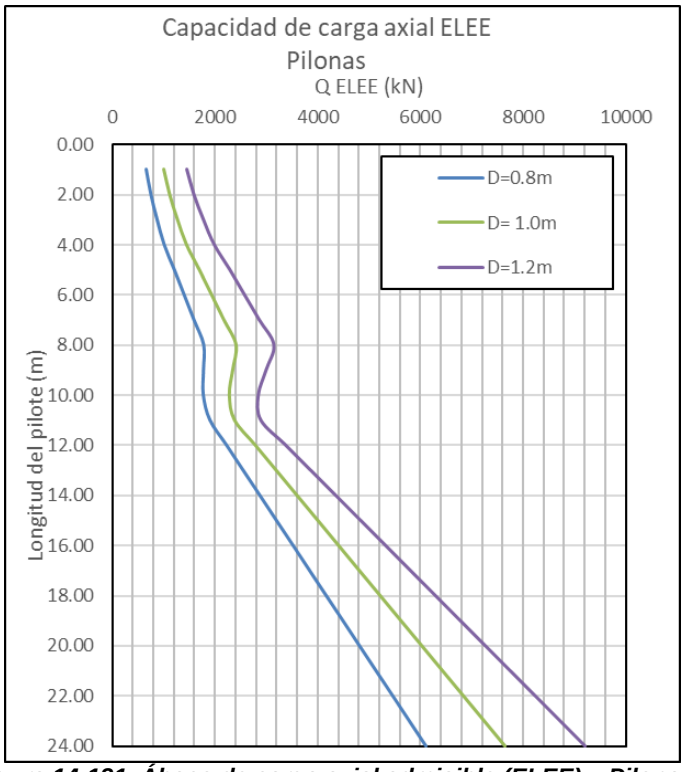


Figura 14-131. Ábaco de carga axial admisible (ELEE) – Pilona 16

Las cargas admisibles para el Estado Límite de Servicio (ELS), se presentan en la Tabla 14-154 y en la Figura 14-132 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-154. Resumen de valores de carga axial admisible ELS – Pilona 16

Longitud m	Carga admisible axial ELS para 20 mm (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	331.8	509.3	724.7
2.00	382.2	572.3	800.3
3.00	426.9	622.8	854.2
4.00	481.5	685.6	923.1
5.00	511.3	717.3	954.7
6.00	597.3	824.9	1083.7
7.00	683.4	932.4	1212.8
8.00	769.4	1040.0	1341.8
9.00	777.5	1025.7	1295.5

Longitud m	Carga admisible axial ELS para 20 mm (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
10.00	785.5	1011.4	1249.1
11.00	853.4	1071.9	1292.4
12.00	999.3	1254.2	1511.2
13.00	1147.2	1439.7	1734.6
14.00	1295.1	1625.2	1958.0
15.00	1916.4	2402.6	2891.6
16.00	2110.9	2645.7	3183.3
17.00	2305.4	2888.8	3475.0
18.00	2499.9	3131.9	3766.7
19.00	2694.3	3374.9	4058.4
20.00	2888.8	3618.0	4350.1
21.00	3083.3	3861.1	4641.8
22.00	3277.7	4104.2	4933.5
23.00	3472.2	4347.3	5225.2
24.00	3666.7	4590.4	5516.9

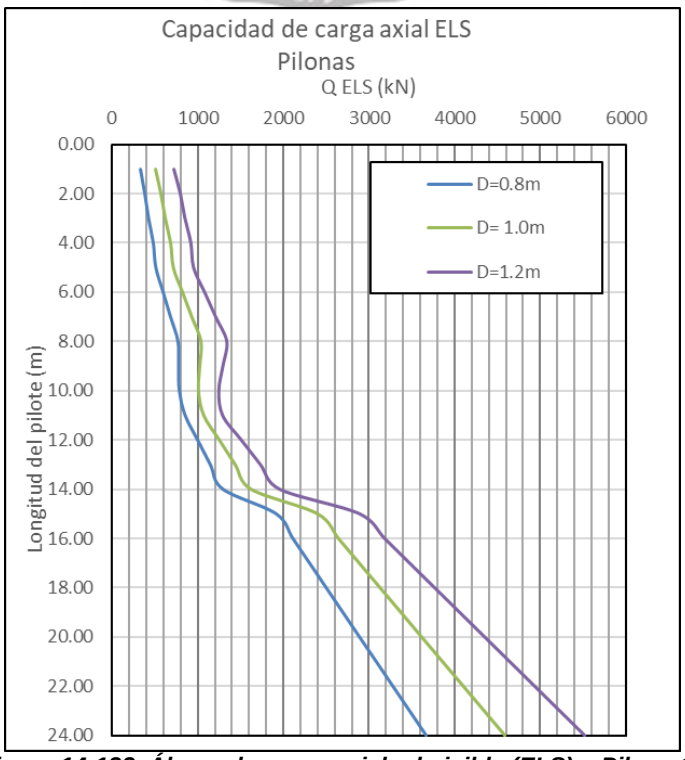


Figura 14-132. Ábaco de carga axial admisible (ELS) – Pilona 16

En la Tabla 14-155 se presentan los valores de capacidad de carga lateral para cada uno de los diferentes diámetros, con respecto a los Estados Límite de Resistencia y a los Estados Límite de Evento Extremo y en la Figura 14-133 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-155. Resumen de valores de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 16

Longitud m	Carga horizontal ELR y ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	61.0	76.3	91.6
2.00	244.2	305.2	366.3
3.00	549.4	686.8	824.1
4.00	690.8	1225.3	1465.1
5.00	1421.3	2047.3	2822.9
6.00	2239.6	3009.2	3902.3
7.00	3108.4	4051.6	5099.7
8.00	4008.7	5144.4	6370.9
9.00	4930.2	6270.9	7691.4
10.00	5866.5	7420.9	9046.5
11.00	4431.0	7852.6	12513.7
12.00	4110.6	7284.0	11606.5
13.00	3839.5	6802.9	10838.7
14.00	3607.0	6390.4	10180.4
15.00	3405.5	6032.9	9609.9
16.00	3229.2	5720.0	9110.6
17.00	3073.6	5443.9	8670.0
18.00	2935.3	5198.5	8278.4
19.00	2811.6	4978.9	7927.9
20.00	2700.2	4781.2	7612.5
21.00	2599.4	4602.4	7327.1
22.00	2507.8	4439.8	7067.6
23.00	2424.1	4291.3	6830.7
24.00	2347.4	4155.2	6613.5

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

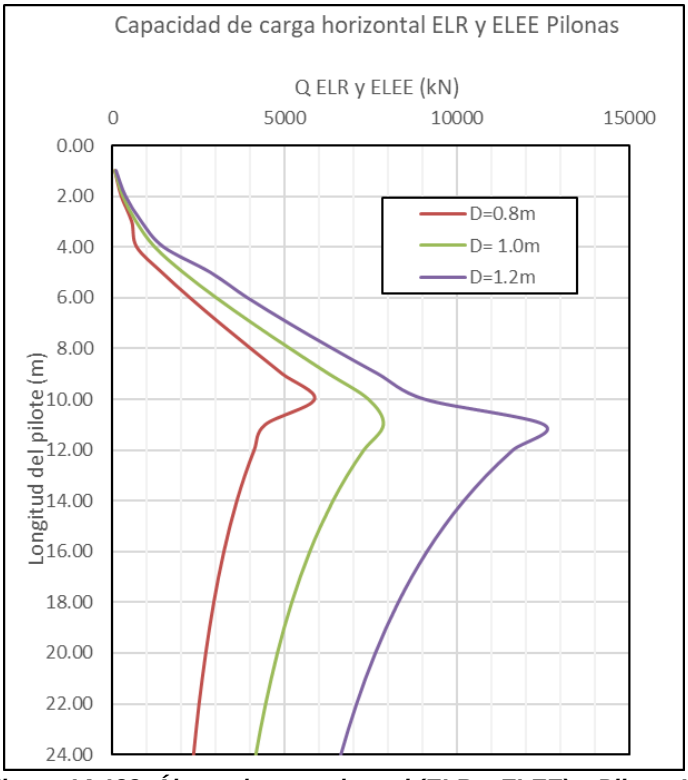


Figura 14-133. Ábaco de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 16

Adicionalmente en la Tabla 14-156 se muestran los resultados de capacidad de carga lateral para los diferentes diámetros con respecto a los valores de Estado Límite de Servicio y en la Figura 14-134 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-156. Resumen de valores de carga lateral (ELS) – Pilona 16

Longitud m	Carga horizontal ELS para 20 mm(kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	61.0	76.3	91.6
2.00	244.2	305.2	366.3
3.00	549.4	686.8	824.1
4.00	690.8	1137.5	1137.5
5.00	1402.3	2047.3	2520.1
6.00	1696.4	2118.1	2549.6
7.00	1892.6	2363.2	2843.7
8.00	2039.6	2549.6	3059.5
9.00	2147.5	2677.0	3216.4
10.00	2226.0	2784.9	3343.8
11.00	4431.0	7852.6	12335.9
12.00	4110.6	7284.0	11606.5
13.00	3839.5	6802.9	10838.7
14.00	3607.0	6390.4	10180.4
15.00	3405.5	6032.9	9609.9
16.00	3229.2	5720.0	9110.6

Longitud m	Carga horizontal ELS para 20 mm(kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
17.00	3073.6	5443.9	8670.0
18.00	2935.3	5198.5	8278.4
19.00	2811.6	4978.9	7927.9
20.00	2700.2	4781.2	7612.5
21.00	2599.4	4602.4	7327.1
22.00	2507.8	4439.8	7067.6
23.00	2424.1	4291.3	6830.7
24.00	2347.4	4155.2	6613.5

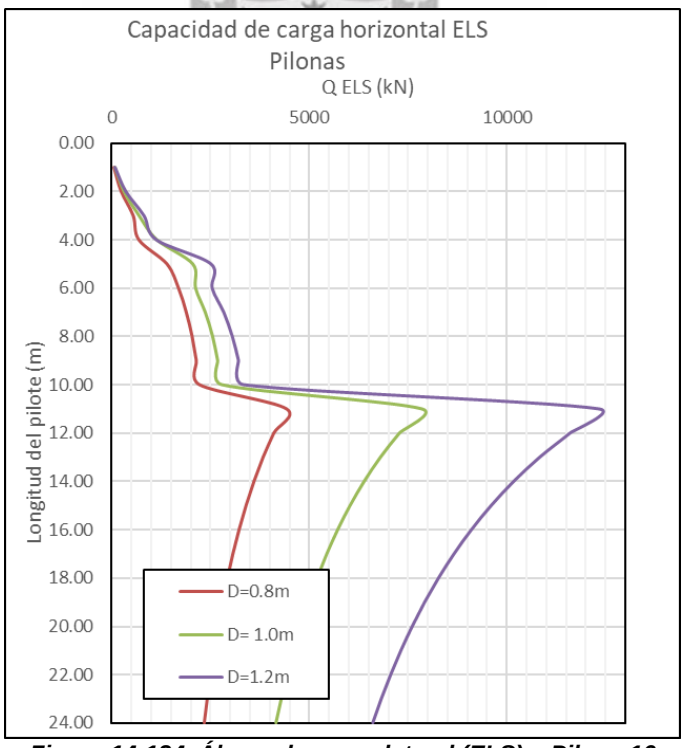


Figura 14-134. Ábaco de carga lateral (ELS) – Pilona 16

14.17.3 Módulo de reacción horizontal y vertical

En la Tabla 14-157 se presentan los valores de los módulos de reacción vertical y horizontal, para cada uno de los diámetros contemplados y la Figura 14-135 se muestra la variación con la profundidad valores que pueden ser utilizados para la elaboración del modelo de diseño estructural.

Tabla 14-157. Resumen de valores módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 16

Longitud (m)	Diámetro = 0.8 m		Diámetro = 1.0 m		Diámetro = 1.2 m	
	kh (kN/m^3)	kv (kN/m^3)	kh (kN/m^3)	kv (kN/m^3)	kh (kN/m^3)	kv (kN/m^3)
1.00	19666	23136	15733	18509	13111	15424
2.00	19666	23136	15733	18509	13111	15424
3.00	19666	23136	15733	18509	13111	15424

Longitud (m)	Diámetro = 0.8 m		Diámetro = 1.0 m		Diámetro = 1.2 m	
	kh (kN/m³)	kv (kN/m³)	kh (kN/m³)	kv (kN/m³)	kh (kN/m³)	kv (kN/m³)
4.00	19666	23136	15733	18509	13111	15424
5.00	103094	121288	82475	97030	68730	80858
6.00	103094	121288	82475	97030	68730	80858
7.00	103094	121288	82475	97030	68730	80858
8.00	103094	121288	82475	97030	68730	80858
9.00	103094	121288	82475	97030	68730	80858
10.00	103094	121288	82475	97030	68730	80858
11.00	3193563	3757141	2554850	3005713	2129042	2504761
12.00	3193563	3757141	2554850	3005713	2129042	2504761
13.00	3193563	3757141	2554850	3005713	2129042	2504761
14.00	3193563	3757141	2554850	3005713	2129042	2504761
15.00	3193563	3757141	2554850	3005713	2129042	2504761
16.00	3193563	3757141	2554850	3005713	2129042	2504761
17.00	3193563	3757141	2554850	3005713	2129042	2504761
18.00	3193563	3757141	2554850	3005713	2129042	2504761
19.00	3193563	3757141	2554850	3005713	2129042	2504761
20.00	3193563	3757141	2554850	3005713	2129042	2504761
21.00	3193563	3757141	2554850	3005713	2129042	2504761
22.00	3193563	3757141	2554850	3005713	2129042	2504761
23.00	3193563	3757141	2554850	3005713	2129042	2504761
24.00	3193563	3757141	2554850	3005713	2129042	2504761

ALCALDÍA MAYOR BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

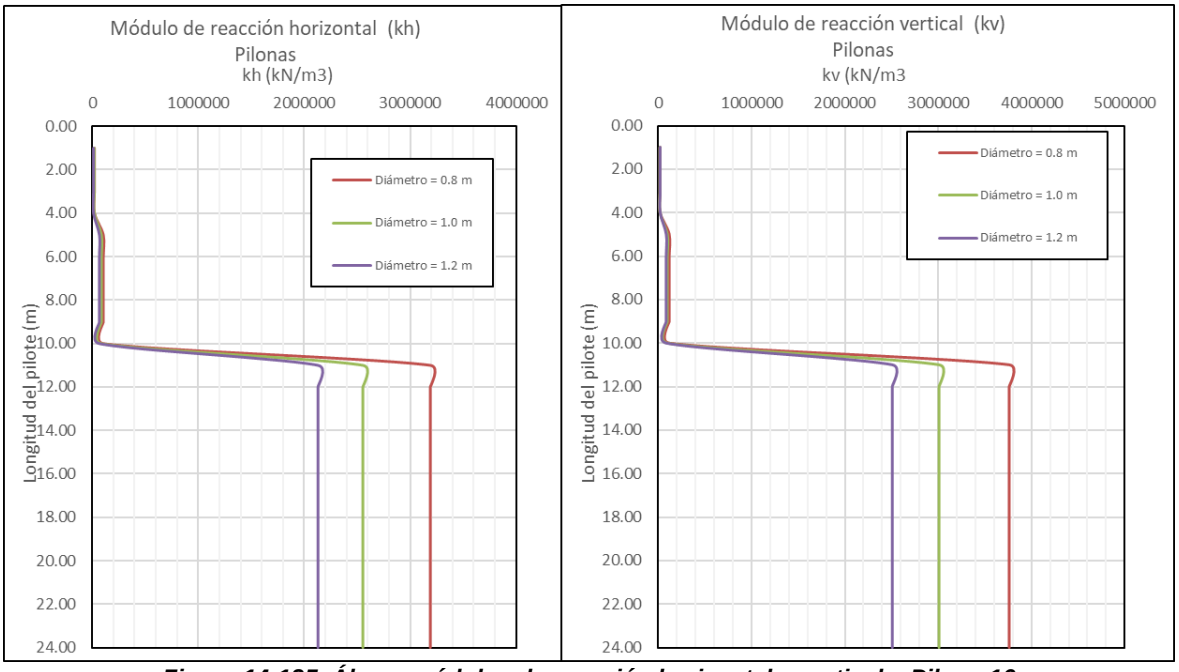


Figura 14-135. Ábaco módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 16

14.18 PILONA 17

Se modelaron cimentaciones profundas debido a la naturaleza de las cargas a las cuales serán sometidas las estructuras. Para ello se consideraron diámetros de 0.8 m 1.0 m y 1.2 m. Adicionalmente, se realizó una verificación por carga lateral por el método de Broms.

14.18.1 Recomendaciones generales

A partir del suelo encontrado en la zona de estudio, se definieron las siguientes recomendaciones generales para la pilona 17.

Tabla 14-158. Recomendaciones generales pilona 17

Suelo de fundación en la base	Prof. mínima base del pilote respecto a nivel de terreno (m)	Prof. mínima de desplante del dado respecto a nivel del terreno (m)	Observaciones
Arcilla meteorizada de color marrón rojizo, con vetas grises, consistencia dura a muy dura	15	2.0	Profundidad de desplante del dado mínimo para garantizar un nivel de suelo homogéneo..

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

14.18.2 Capacidad

En la Tabla 14-159 se presentan los resultados de la carga axial admisible y carga de tracción para el Estado Límite de Resistencia (ELR) y en la Figura 14-136 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-159. Resumen de valores de carga axial admisible y carga por tracción ELR – Pilona 17

Longitud m	Carga axial ELR (kN)			Carga admisible por tracción ELR (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	221.8	319.1	433.2	143.37	182.91	223.93
2.00	290.6	411.0	550.7	286.74	365.82	447.86
3.00	349.8	491.0	653.8	430.11	548.73	671.79
4.00	409.0	565.0	742.6	573.48	731.64	895.72
5.00	509.6	703.7	924.6	716.85	914.55	1119.66
6.00	610.2	842.4	1106.5	860.22	1097.47	1343.59
7.00	751.2	1031.7	1349.2	1093.45	1392.70	1702.31
8.00	850.9	1156.2	1498.6	1326.68	1687.94	2061.03
9.00	912.0	1232.6	1590.3	1474.39	1876.27	2291.47
10.00	1007.6	1362.9	1759.6	1622.10	2064.61	2521.91
11.00	1104.9	1495.8	1932.6	1769.81	2252.94	2752.35
12.00	1649.5	2235.8	2891.6	1963.90	2499.25	3052.36
13.00	1810.8	2439.3	3138.2	2233.92	2840.48	3466.27

Longitud m	Carga axial ELR (kN)			Carga admisible por tracción ELR (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
14.00	1971.8	2642.4	3384.2	2503.94	3181.71	3880.18
15.00	2205.4	2936.3	3739.0	2895.47	3674.81	4476.34
16.00	2438.8	3229.8	4093.3	3286.99	4167.92	5072.51
17.00	2672.0	3523.0	4447.2	3678.52	4661.02	5668.67
18.00	2905.0	3815.9	4800.6	4070.04	5154.12	6264.83
19.00	3137.8	4108.5	5153.6	4461.57	5647.23	6861.00
20.00	3370.5	4400.8	5506.2	4853.09	6140.33	7457.16
21.00	3603.0	4692.9	5858.5	5244.62	6633.44	8053.32
22.00	3835.4	4984.8	6210.5	5636.14	7126.54	8649.48
23.00	3861.4	4954.3	6098.2	6027.67	7619.65	9245.65
24.00	3885.9	4921.4	5982.4	6419.19	8112.75	9841.81

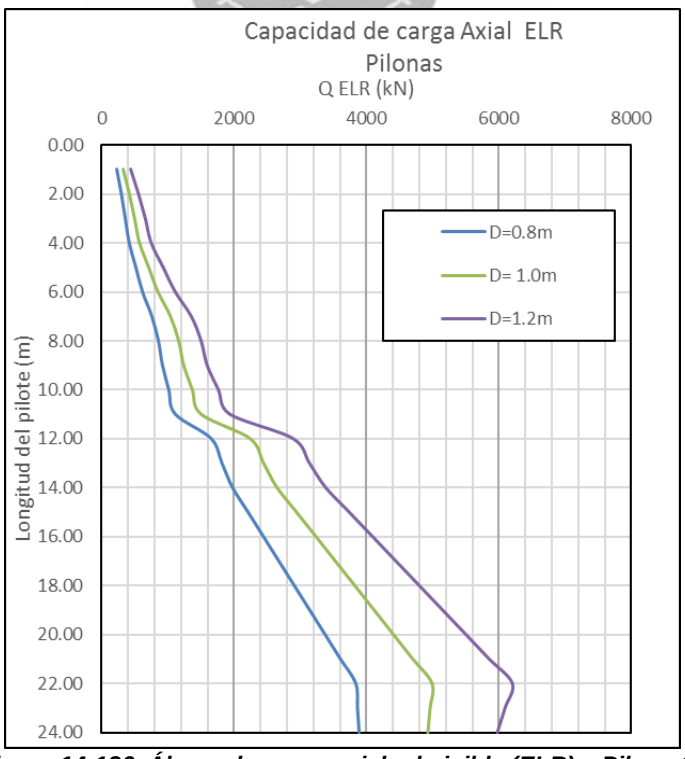


Figura 14-136. Ábaco de carga axial admisible (ELR) – Pilona 17

Adicionalmente en la Tabla 14-160 para se presentan los resultados obtenidos para la carga axial admisible correspondiente al Estado Límite de Evento Extremo (ELEE) y en la Figura 14-137 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-160. Resumen de valores de carga axial admisible ELEE – Pilona 17

Longitud m	Carga axial admisible ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	538.1	777.3	1058.3
2.00	693.6	986.5	1327.3
3.00	825.1	1165.9	1560.5
4.00	956.6	1330.3	1757.8
5.00	1191.7	1656.5	2188.1
6.00	1426.8	1982.7	2618.4
7.00	1751.7	2421.3	3183.5
8.00	1973.1	2698.0	3515.6
9.00	2109.0	2867.9	3719.4
10.00	2331.1	3172.4	4117.1
11.00	2557.2	3483.2	4523.9
12.00	2833.5	3858.0	5009.0
13.00	3103.2	4198.8	5422.2
14.00	3372.4	4538.7	5834.3
15.00	3762.7	5029.9	6427.6
16.00	4152.6	5520.4	7020.0
17.00	4542.0	6010.3	7611.6
18.00	4931.2	6499.6	8202.4
19.00	5320.0	6988.5	8792.4
20.00	5708.5	7476.9	9381.8
21.00	6096.7	7964.9	9970.6
22.00	6484.7	8452.4	10558.8
23.00	6497.5	8353.8	10302.8
24.00	6507.5	8250.8	10040.5

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

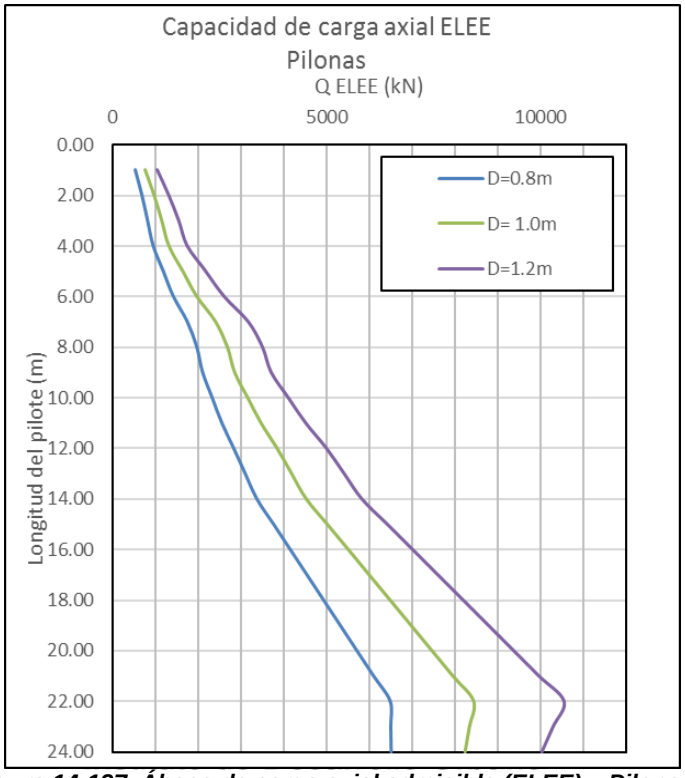


Figura 14-137. Ábaco de carga axial admisible (ELEE) – Pilona 17

Las cargas admisibles para el Estado Límite de Servicio (ELS), se presentan en la Tabla 14-161 y en la Figura 14-138 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-161. Resumen de valores de carga axial admisible ELS – Pilona 17

Longitud m	Carga admisible axial ELS para 20 mm (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	221.8	319.1	433.2
2.00	290.6	411.0	550.7
3.00	349.8	491.0	653.8
4.00	409.0	565.0	742.6
5.00	509.6	703.7	924.6
6.00	610.2	842.4	1106.5
7.00	751.2	1031.7	1349.2
8.00	850.9	1156.2	1498.6
9.00	912.0	1232.6	1590.3
10.00	1057.6	1441.1	1872.1
11.00	1205.4	1652.9	2158.8
12.00	1649.5	2235.8	2891.6
13.00	1810.8	2439.3	3138.2
14.00	1971.8	2642.4	3384.2

Longitud m	Carga admisible axial ELS para 20 mm (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
15.00	2205.4	2936.3	3739.0
16.00	2438.8	3229.8	4093.3
17.00	2672.0	3523.0	4447.2
18.00	2905.0	3815.9	4800.6
19.00	3137.8	4108.5	5153.6
20.00	3365.7	4393.3	5495.4
21.00	3598.4	4685.7	5848.1
22.00	3830.9	4977.8	6200.4
23.00	4063.2	5269.7	6552.3
24.00	4295.5	5561.3	6904.0

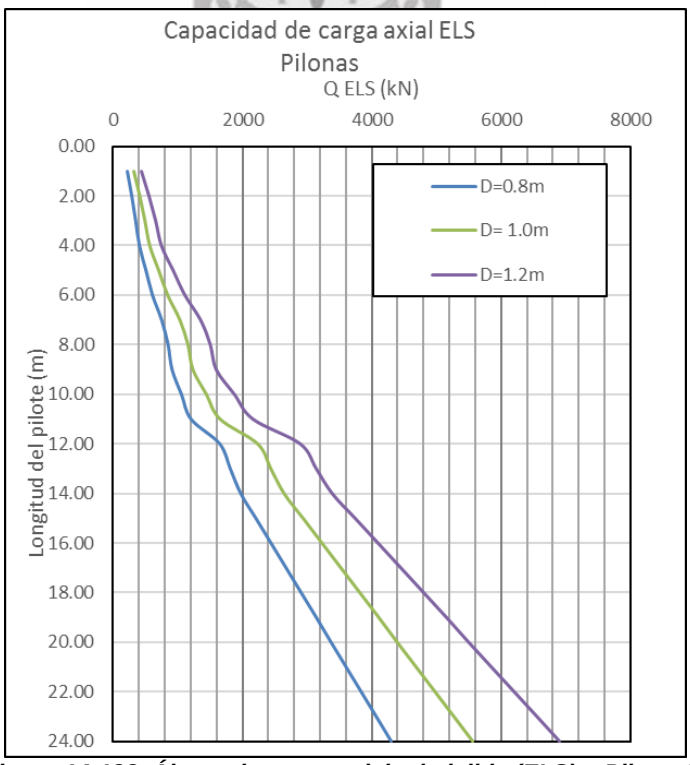


Figura 14-138. Ábaco de carga axial admisible (ELS) – Pilona 17

En la Tabla 14-162 se presentan los valores de capacidad de carga lateral para cada uno de los diferentes diámetros, con respecto a los Estados Límite de Resistencia y a los Estados Límite de Evento Extremo y en la Figura 14-139 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-162. Resumen de valores de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 17

Longitud m	Carga horizontal ELR y ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	-114.0	-399.3	-787.4
2.00	639.7	542.8	343.1
3.00	1439.2	1542.2	1542.5
4.00	2284.7	2599.1	2810.7
5.00	3157.6	3713.3	4147.8
6.00	3842.4	4825.2	5847.9
7.00	4937.2	6167.6	7427.3
8.00	6053.1	7542.8	9054.1
9.00	7183.1	8939.9	10712.3
10.00	8322.8	10352.4	12392.6
11.00	9469.7	11776.0	14089.0
12.00	11518.5	14297.9	17068.3
13.00	13586.6	16849.9	20091.1
14.00	15670.0	19425.7	23148.1
15.00	17765.5	22020.5	26232.3
16.00	19870.8	24630.7	29338.8
17.00	21984.4	27253.6	32463.5
18.00	24104.7	29887.1	35603.5
19.00	10713.4	32529.5	38756.3
20.00	10971.5	19452.1	41920.0
21.00	11205.0	19866.3	31678.0
22.00	11417.2	20242.9	32278.9
23.00	11611.0	20586.7	32827.4
24.00	11788.7	20901.9	33330.3

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

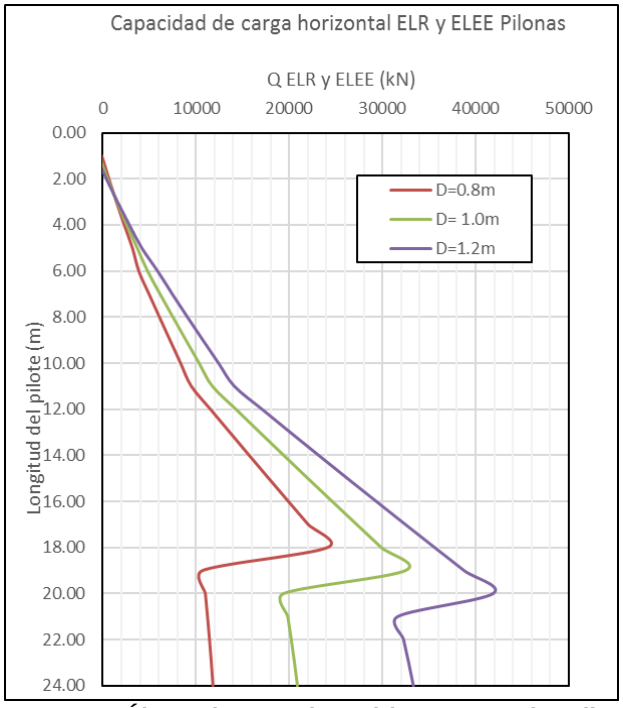


Figura 14-139. Ábaco de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 17

Adicionalmente en la Tabla 14-163 se muestran los resultados de capacidad de carga lateral para los diferentes diámetros con respecto a los valores de Estado Límite de Servicio y en la Figura 14-140 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-163. Resumen de valores de carga lateral (ELS) – Pilona 17

Longitud m	Carga horizontal ELS para 20 mm(kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	-114.0	-399.3	-787.4
2.00	639.7	542.8	343.1
3.00	1439.2	1542.2	1542.5
4.00	2196.5	2599.1	2810.7
5.00	2196.5	2755.5	4147.8
6.00	2196.5	2755.5	3304.6
7.00	2363.2	2971.2	3559.6
8.00	2500.5	3128.1	3745.9
9.00	2598.6	3245.8	3902.8
10.00	2677.0	3343.8	4020.5
11.00	2735.9	3422.3	4108.7
12.00	2892.8	3716.5	4461.7
13.00	3167.3	3961.6	4755.9
14.00	3334.0	4167.6	5001.1
15.00	3471.3	4344.1	5207.0
16.00	3598.8	4501.0	5393.3
17.00	3706.7	4628.4	5560.0
18.00	3794.9	4746.1	5697.3
19.00	3873.4	4844.2	5815.0
20.00	3951.8	4942.2	5932.6
21.00	4020.5	5020.7	6030.7
22.00	4079.3	5099.1	6118.9
23.00	4138.1	5167.8	6207.2
24.00	4187.2	5226.6	6275.8

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

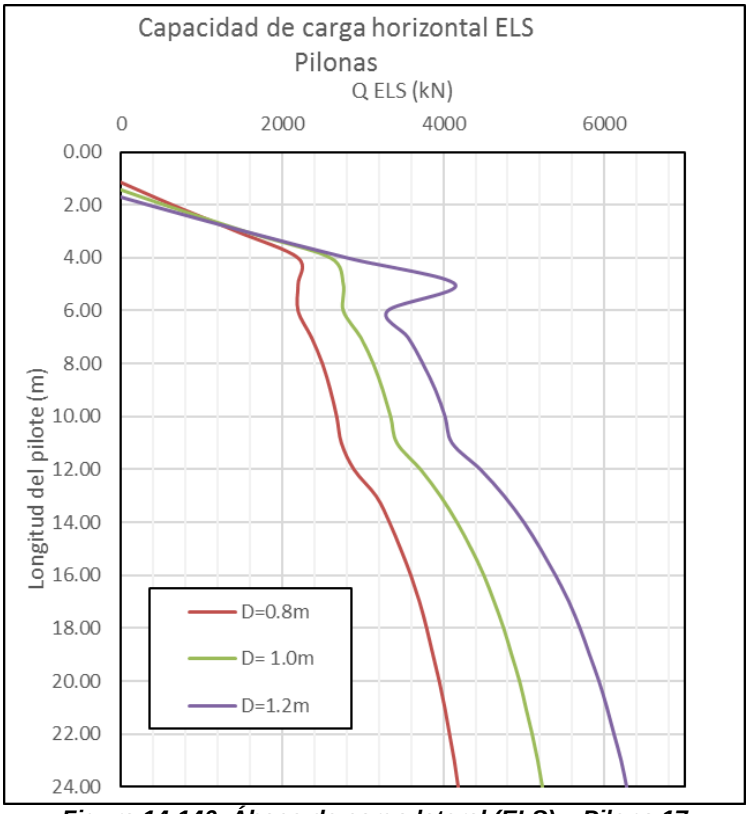


Figura 14-140. Ábaco de carga lateral (ELS) – Pilona 17

14.18.3 Módulo de reacción horizontal y vertical

En la Tabla 14-164 se presentan los valores de los módulos de reacción vertical y horizontal, para cada uno de los diámetros contemplados y la Figura 14-141 se muestra la variación con la profundidad valores que pueden ser utilizados para la elaboración del modelo de diseño estructural.

Tabla 14-164. Resumen de valores módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 17

Longitud m	Diámetro = 0.8 m		Diámetro = 1.0 m		Diámetro = 1.2 m	
	kh (kN/m³)	kv (kN/m³)	kh (kN/m³)	kv (kN/m³)	kh (kN/m³)	kv (kN/m³)
1.00	70043	82404	56034	65923	46695	54936
2.00	70043	82404	56034	65923	46695	54936
3.00	70043	82404	56034	65923	46695	54936
4.00	70043	82404	56034	65923	46695	54936
5.00	70043	82404	56034	65923	46695	54936
6.00	70043	82404	56034	65923	46695	54936
7.00	121991	143520	97593	114816	81328	95680
8.00	121991	143520	97593	114816	81328	95680
9.00	121991	143520	97593	114816	81328	95680

Longitud m	Diámetro = 0.8 m		Diámetro = 1.0 m		Diámetro = 1.2 m	
	kh (kN/m³)	kv (kN/m³)	kh (kN/m³)	kv (kN/m³)	kh (kN/m³)	kv (kN/m³)
10.00	121991	143520	97593	114816	81328	95680
11.00	121991	143520	97593	114816	81328	95680
12.00	224721	264378	179777	211502	149814	176252
13.00	224721	264378	179777	211502	149814	176252
14.00	224721	264378	179777	211502	149814	176252
15.00	224721	264378	179777	211502	149814	176252
16.00	224721	264378	179777	211502	149814	176252
17.00	224721	264378	179777	211502	149814	176252
18.00	224721	264378	179777	211502	149814	176252
19.00	224721	264378	179777	211502	149814	176252
20.00	224721	264378	179777	211502	149814	176252
21.00	224721	264378	179777	211502	149814	176252
22.00	224721	264378	179777	211502	149814	176252
23.00	224721	264378	179777	211502	149814	176252
24.00	224721	264378	179777	211502	149814	176252

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.

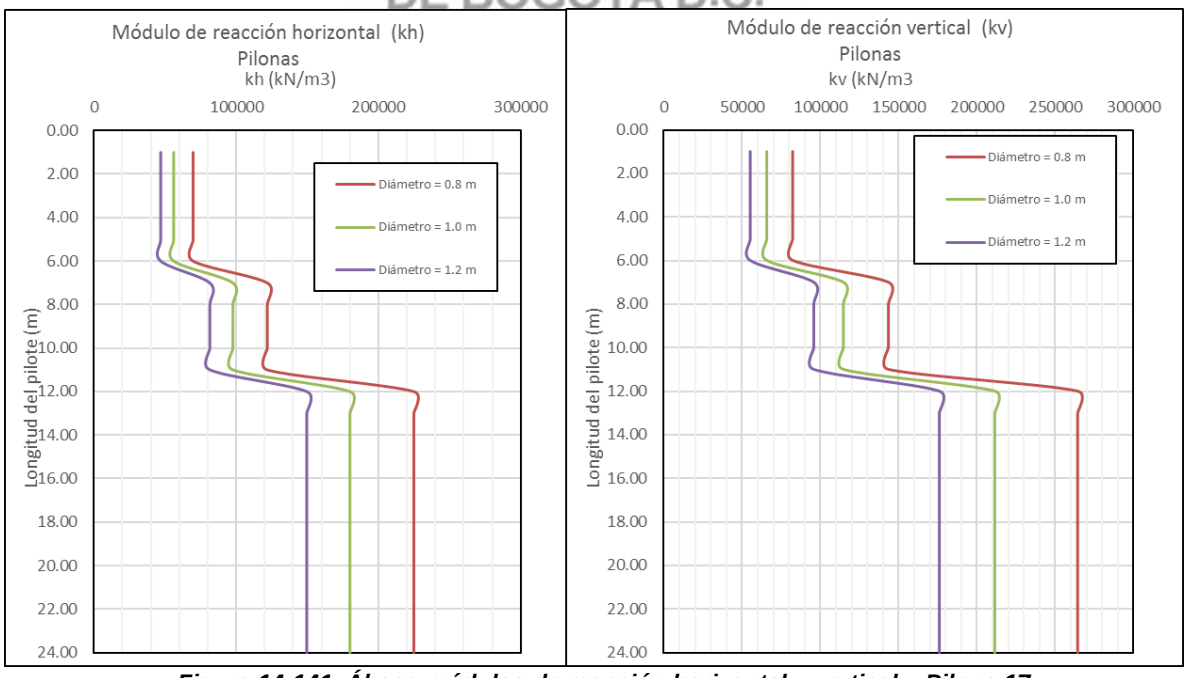


Figura 14-141. Ábaco módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 17

14.18.4 Recomendaciones de cimentación para obras menores

A partir del diseño de urbanismo se logro identificar la presencia de muros con alturas hasta de 3.5m y estructuras menores en la zona donde se dispondra la pilona. Estos deberán ser apoyados por medio de cimientos superficiales con una profundidad de desplante minima de 0.5m, apoyado sobre el material denominado como *arcilla de consistencia firme*, garantizando que los cimientos no quedaran apoyados sobre rellenos antropicos, en dado caso que se evidencie este tipo de material, deberá ser retirado y dispuesto un material de relleno seleccionado compactado al 95%.

Para los muros de contención con alturas de hasta 3.5 m, se incluye en el ANEXO D. memorias de cálculo, el predimensionamiento de estos muros y la evaluación de los factores de seguridad al deslizamiento y volcamiento.

14.18.4.1 Capacidad de carga y asentamientos obras de urbanismo.

Según el perfil estratigráfico típico de la zona en donde se proyecta la pilona 17 obtenido de la campaña de exploración geotécnica, se presenta a continuación la capacidad de carga y asentamientos.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

El análisis de resistencia se realizó mediante la ecuación general de capacidad portante. Los factores de capacidad portante y los factores de corrección por forma, profundidad de cimentación, excentricidad e inclinación de la carga, fueron establecidos mediante las propuestas de Meyerhoff (1963), Hansen y Vesic (1970) y Chen (1975).

Para el cálculo de la capacidad portante de cimentaciones superficiales se utilizó la ecuación general de capacidad portante.

$$\sigma_{adm} = \frac{1}{F.S.}\left(cN_c s_c d_c + qN_q s_q d_q + \frac{1}{2}\gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma\right)$$

Con el fin de considerar la incidencia de la geometría de la fundación y la profundidad de desplante se llevó a cabo un análisis de sensibilidad en el cual se contemplaron diferentes dimensiones de cimiento y relaciones ancho/largo (B/L). Los valores presentados a continuación corresponden a la capacidad de carga del cimiento superficial. Para propositos del diseño se toma una capacidad de carga de 214.3 kPa.

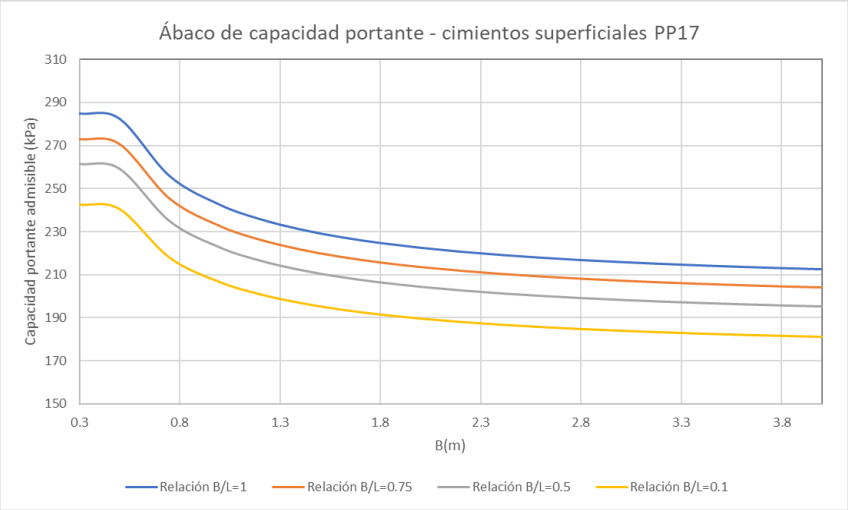


Figura 14-142. Capacidad de carga para cimientos superficiales pilona 17

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

El análisis de asentamientos se llevó a cabo mediante la Teoría Elástica y fue realizado de acuerdo con las propuestas existentes, fundamentadas en correlaciones entre el módulo de elasticidad, la relación de Poisson del material de fundación y coeficientes en función de la geometría del cimiento.

Con base en lo anterior, han sido determinados los asentamientos elásticos máximos esperados para las estructuras menoras proyectadas en la zona donde se dispondrá la pilona 17.

Tabla 14-165. Asentamientos cimientos superficiales Pilona 17.

Pilona	Asentamiento maximo esperado (cm)
17	1.64

14.18.4.2 Coeficientes de presión de tierras

Para el diseño de los elementos estructurales que soportan la acción de cargas generadas por los materiales de relleno, han sido realizados los análisis de esfuerzos laterales, los cuales fueron evaluados mediante la teoría clásica de Rankine.

De la misma forma con base en la formulación pseudo-estática propuesta por Mononobe – Okabe, fueron determinados los coeficientes de presión de tierras para condición dinámica.

De acuerdo a lo anterior, se recomienda utilizar diagramas de presiones laterales triangulares, propias de suelos friccionantes, considerando los siguientes parámetros:

Tabla 14-166. Coeficientes de presión de tierras

Aceleración Aa	0,22
Peso unitario del material de relleno	19 kN/m3

Ángulo de fricción interno	32°
Coeficiente de presión activa (Ka)	0,30
Coediciente de presión activo dinámico (Kae)	0,40

Se recomiendan materiales de relleno tipo seleccionado, los cuales deberán seleccionarse de acuerdo con los lineamientos establecidos por el artículo No. 610 del INVIAS.

Recomendaciones

- Para los muros de contención se deben incluir filtros en el trasdós, esto con el fin de que se evacuen las aguas residuales hacia los sistemas de drenajes, para evitar la acumulación de estas en la cara del muro, las cuales pueden ocasionar afectaciones a la estructura.
- Las caras de los cortes y la base de fundación de los cimientos, deberán ser protegidos con mortero para evitar la degradación de estas por presencia de aguas superficiales.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

14.19 PILONA 18

Se modelaron cimentaciones profundas debido a la naturaleza de las cargas a las cuales serán sometidas las estructuras. Para ello se consideraron diámetros de 0.8 m 1.0 m y 1.2 m. Adicionalmente, se realizó una verificación por carga lateral por el método de Broms.

14.19.1 Recomendaciones generales

A partir del suelo encontrado en la zona de estudio, se definieron las siguientes recomendaciones generales para la pilona 18.

Tabla 14-167. Recomendaciones generales pilona 18

Suelo de fundación en la base	Prof. mínima base del pilote respecto a nivel de terreno (m)	Prof. mínima de desplante del dado respecto a nivel del terreno (m)	Observaciones
Arcilla limoarenosa color gris, con fragmentos de areniscas grises claras, humedad baja y consistencia firme.	10	1.8	Profundiad de desplante del dado mínimo, para garantizar un nivel de suelo homogéneo.

14.19.2 Capacidad

En la Tabla 14-168 se presentan los resultados de la carga axial admisible y carga de tracción para el Estado Límite de Resistencia (ELR) y en la Figura 14-143 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-168. Resumen de valores de carga axial admisible y carga por tracción ELR – Pilona 18

Longitud m	Carga axial admisible ELR (kN)			Carga admisible por tracción ELR (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	171.1	246.1	334.0	113.27	145.28	178.77
2.00	224.1	317.0	424.6	226.53	290.56	357.55
3.00	314.8	449.1	605.6	339.80	435.84	536.32
4.00	405.5	576.6	775.5	453.06	581.12	715.10
5.00	542.8	762.2	1015.2	669.66	855.57	1048.87
6.00	634.9	877.4	1153.4	886.26	1130.01	1382.64
7.00	747.5	1027.1	1341.3	1102.85	1404.45	1716.41
8.00	861.8	1179.1	1532.6	1319.45	1678.90	2050.18
9.00	1321.1	1804.8	2340.4	1542.50	1961.41	2393.63
10.00	1454.1	1972.4	2543.8	1765.55	2243.92	2737.08
11.00	1586.7	2139.6	2746.5	1988.60	2526.43	3080.54
12.00	1719.1	2306.4	2948.7	2211.65	2808.94	3423.99
13.00	1851.2	2472.9	3150.4	2434.70	3091.46	3767.44
14.00	2017.6	2682.2	3403.4	2715.36	3445.97	4197.30
15.00	2183.9	2891.2	3656.0	2996.01	3800.49	4627.16
16.00	2349.9	3100.0	3908.3	3276.67	4155.01	5057.02
17.00	2515.8	3308.5	4160.1	3557.32	4509.53	5486.88
18.00	2681.5	3516.8	4411.6	3837.98	4864.04	5916.73
19.00	2877.7	3763.2	4708.9	4169.84	5282.57	6423.40
20.00	3073.9	4009.5	5006.0	4501.70	5701.09	6930.06
21.00	3269.9	4255.6	5302.7	4833.56	6119.61	7436.73
22.00	3465.8	4501.5	5599.2	5165.42	6538.13	7943.39
23.00	3484.8	4469.2	5495.1	5497.28	6956.65	8450.06
24.00	3502.6	4435.0	5388.2	5829.13	7375.18	8956.72

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

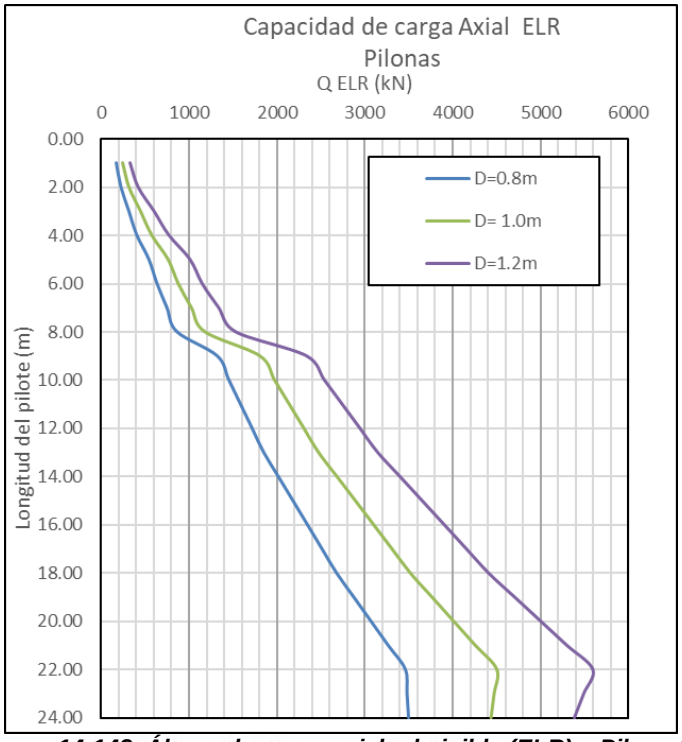


Figura 14-143. Ábaco de carga axial admisible (ELR) – Pilona 18

Adicionalmente en la Tabla 14-169 se presentan los resultados obtenidos para la carga axial admisible correspondiente al Estado Límite de Evento Extremo (ELEE) y en la Figura 14-144 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-169. Resumen de valores de carga axial admisible ELEE – Pilona 18

Longitud m	Carga axial admisible ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	414.9	599.4	816.1
2.00	534.8	760.7	1023.5
3.00	749.0	1075.2	1457.0
4.00	963.1	1378.1	1862.8
5.00	1280.6	1810.2	2423.5
6.00	1485.4	2066.1	2730.7
7.00	1741.4	2408.4	3162.0
8.00	2001.3	2756.5	3601.9
9.00	2271.5	3118.2	4059.4
10.00	2494.1	3399.0	4400.4
11.00	2716.0	3679.0	4740.3
12.00	2937.5	3958.3	5079.1
13.00	3158.5	4236.9	5416.9
14.00	3436.6	4587.0	5840.4
15.00	3714.4	4936.5	6263.0
16.00	3991.9	5285.5	6684.9
17.00	4269.0	5634.1	7106.2
18.00	4545.8	5982.2	7526.9
19.00	4873.6	6393.9	8023.8

Longitud m	Carga axial admisible ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
20.00	5201.1	6805.3	8520.1
21.00	5528.4	7216.4	9016.0
22.00	5855.5	7627.1	9511.5
23.00	5861.0	7532.0	9278.6
24.00	5864.2	7433.5	9040.7

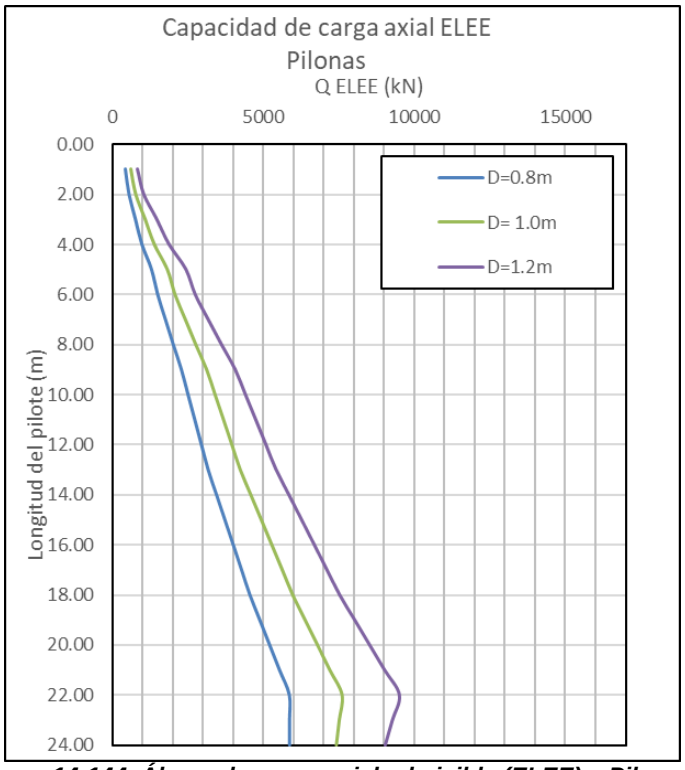


Figura 14-144. Ábaco de carga axial admisible (ELEE) – Pilona 18

Las cargas admisibles para el Estado Límite de Servicio (ELS), se presentan en la Tabla 14-170 y en la Figura 14-145 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-170. Resumen de valores de carga axial admisible ELS – Pilona 18

Longitud m	Carga admisible axial ELS para 20 mm (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	171.1	246.1	334.0
2.00	224.1	317.0	424.6
3.00	314.8	449.1	605.6
4.00	405.5	576.6	775.5
5.00	542.8	762.2	1015.2
6.00	634.9	877.4	1153.4
7.00	788.7	1092.4	1435.3
8.00	944.8	1310.6	1721.9

Longitud m	Carga admisible axial ELS para 20 mm (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
9.00	1321.1	1804.8	2340.4
10.00	1454.1	1972.4	2543.8
11.00	1586.7	2139.6	2746.5
12.00	1719.1	2306.4	2948.7
13.00	1851.2	2472.9	3150.4
14.00	2017.6	2682.2	3403.4
15.00	2183.9	2891.2	3656.0
16.00	2349.9	3100.0	3908.3
17.00	2515.8	3308.5	4160.1
18.00	2681.5	3516.8	4411.6
19.00	2877.7	3763.2	4708.9
20.00	3069.8	4003.3	4997.1
21.00	3265.9	4249.6	5294.1
22.00	3461.9	4495.6	5590.8
23.00	3657.8	4741.5	5887.3
24.00	3853.6	4987.3	6183.5

ALCALDÍA MAYOR

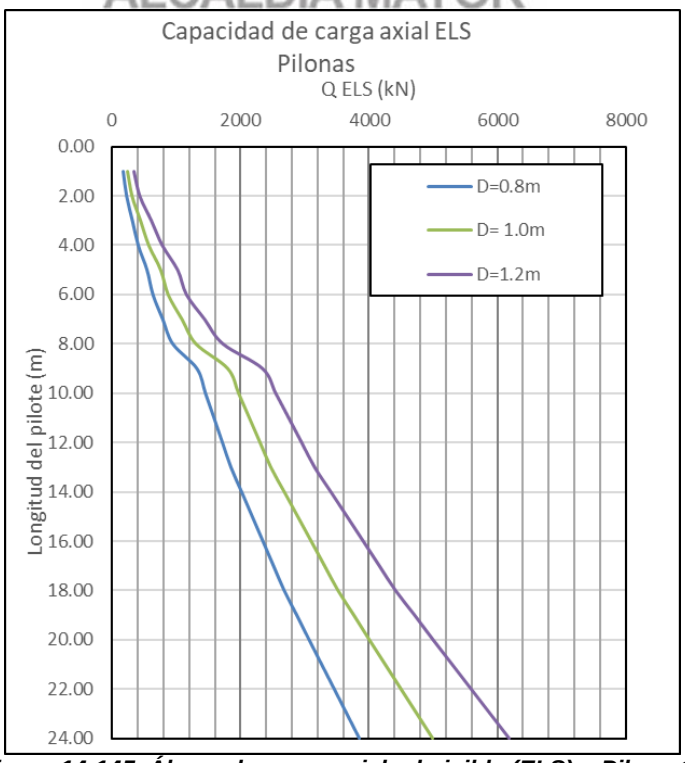


Figura 14-145. Ábaco de carga axial admisible (ELS) – Pilona 18

En la Tabla 14-171 se presentan los valores de capacidad de carga lateral para cada uno de los diferentes diámetros, con respecto a los Estados Límite de Resistencia y a los Estados Límite de Evento Extremo y en la Figura 14-145 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-171. Resumen de valores de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 18

Longitud m	Carga horizontal ELR y ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	-83.3	-302.1	-600.2
2.00	511.9	441.9	292.6
3.00	1151.8	1241.7	1252.4
4.00	1836.4	2097.5	2279.4
5.00	2968.1	3483.6	3894.2
6.00	3948.6	4948.1	5674.8
7.00	4953.5	6185.3	7445.3
8.00	5973.8	7446.3	8941.4
9.00	7669.1	9522.7	11381.7
10.00	9391.9	11641.9	13883.7
11.00	11134.8	13792.5	16430.7
12.00	12892.6	15966.4	19011.5
13.00	14662.0	18158.4	21618.1
14.00	16440.4	20364.5	24245.1
15.00	18226.1	22581.9	26888.5
16.00	20017.7	24808.6	29545.0
17.00	21814.2	27042.8	32212.5
18.00	23614.7	29283.3	34889.1
19.00	10389.9	31529.2	37573.3
20.00	10543.5	18692.6	40264.1
21.00	10682.5	18939.2	30198.6
22.00	10808.9	19163.4	30556.3
23.00	10924.2	19368.0	30882.8
24.00	11030.0	19555.7	31182.2

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

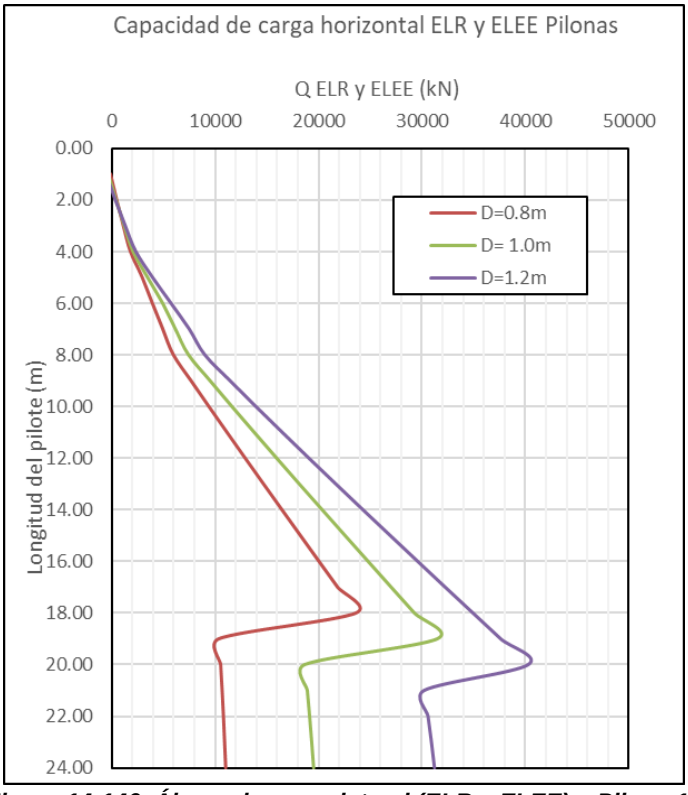


Figura 14-146. Ábaco de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 18

Adicionalmente, en la Tabla 14-172 se muestran los resultados de capacidad de carga lateral para los diferentes diámetros con respecto a los valores de Estado Límite de Servicio y en la Figura 14-147 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-172. Resumen de valores de carga lateral (ELS) – Pilona 18

Longitud m	Carga horizontal ELS para 20 mm(kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	-83.3	-302.1	-600.2
2.00	511.9	441.9	292.6
3.00	1151.8	1241.7	1252.4
4.00	1832.7	2097.5	2279.4
5.00	2101.4	2630.9	3894.2
6.00	2279.9	2849.6	3417.4
7.00	2402.5	3003.6	3601.7
8.00	2492.7	3113.4	3740.0
9.00	2757.4	3443.9	4131.3
10.00	2963.4	3701.8	4445.1
11.00	3129.1	3908.7	4689.2
12.00	3261.5	4080.3	4894.2
13.00	3375.2	4221.5	5062.8
14.00	3473.3	4341.1	5208.9
15.00	3555.7	4444.1	5329.6

Longitud m	Carga horizontal ELS para 20 mm(kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
16.00	3627.2	4533.3	5438.4
17.00	3690.0	4610.8	5533.5
18.00	3743.9	4680.4	5613.9
19.00	3794.9	4741.2	5691.4
20.00	3838.1	4797.1	5759.1
21.00	3879.3	4847.1	5806.1
22.00	3914.6	4894.2	5867.9
23.00	3947.9	4934.4	5920.9
24.00	3974.4	4972.6	5967.0

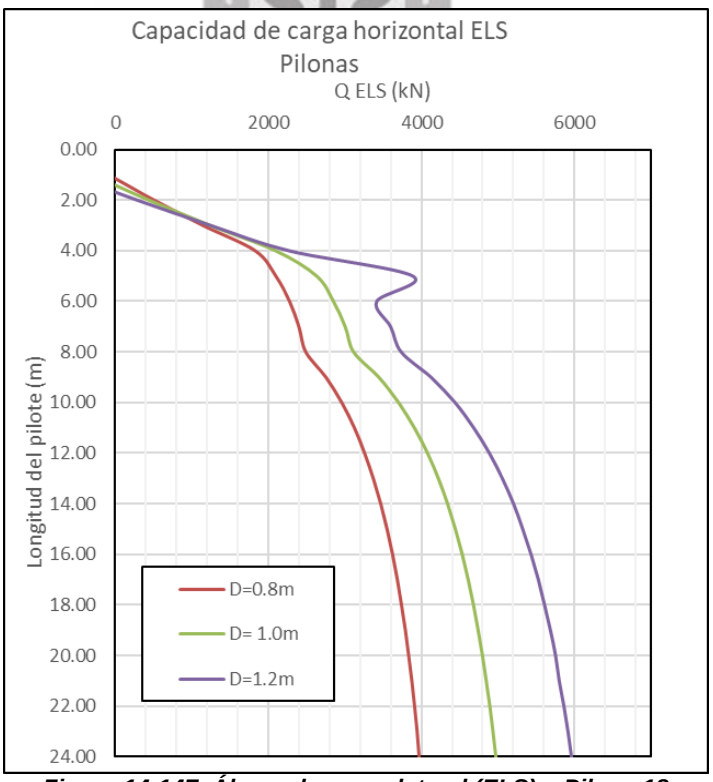


Figura 14-147. Ábaco de carga lateral (ELS) – Pilona 18

14.19.3 Módulo de reacción horizontal y vertical

En la Tabla 14-173 se presentan los valores de los módulos de reacción vertical y horizontal, para cada uno de los diámetros contemplados y la Figura 14-148 se muestra la variación con la profundidad valores que pueden ser utilizados para la elaboración del modelo de diseño estructural.

Tabla 14-173. Resumen de valores módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 18

Longitud (m)	Diámetro = 0.8 m		Diámetro = 1.0 m		Diámetro = 1.2 m	
	kh (kN/m³)	kv (kN/m³)	kh (kN/m³)	kv (kN/m³)	kh (kN/m³)	kv (kN/m³)
1.00	54721	64378	43777	51502	36481	42919
2.00	54721	64378	43777	51502	36481	42919
3.00	54721	64378	43777	51502	36481	42919
4.00	54721	64378	43777	51502	36481	42919
5.00	110215	129665	88172	103732	73477	86444
6.00	110215	129665	88172	103732	73477	86444
7.00	110215	129665	88172	103732	73477	86444
8.00	110215	129665	88172	103732	73477	86444
9.00	189408	222833	151526	178266	126272	148555
10.00	189408	222833	151526	178266	126272	148555
11.00	189408	222833	151526	178266	126272	148555
12.00	189408	222833	151526	178266	126272	148555
13.00	189408	222833	151526	178266	126272	148555
14.00	189408	222833	151526	178266	126272	148555
15.00	189408	222833	151526	178266	126272	148555
16.00	189408	222833	151526	178266	126272	148555
17.00	189408	222833	151526	178266	126272	148555
18.00	189408	222833	151526	178266	126272	148555
19.00	189408	222833	151526	178266	126272	148555
20.00	189408	222833	151526	178266	126272	148555
21.00	189408	222833	151526	178266	126272	148555
22.00	189408	222833	151526	178266	126272	148555
23.00	189408	222833	151526	178266	126272	148555
24.00	189408	222833	151526	178266	126272	148555

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

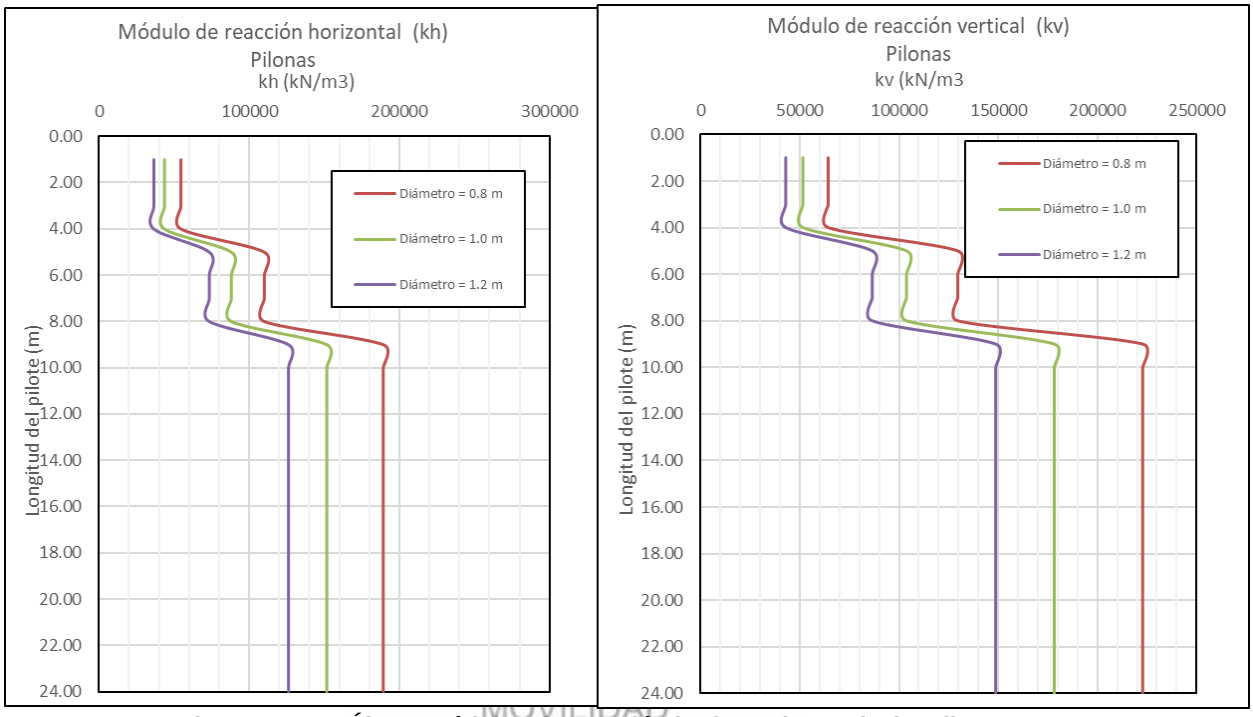


Figura 14-148. Ábaco módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 18

MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

14.19.4 Recomendaciones de cimentación para obras menores

A partir del diseño de urbanismo se logro identificar la presencia de muros con alturas hasta de 3.5m y estructuras menores en la zona donde se dispondra la pilona. Estos deberán ser apoyados por medio de cimientos superficiales con una profundidad de desplante minima de 0.5m, apoyado sobre el material denominado como *fragmentos de areniscas color gris claro con pintas de óxido y matriz arcillosa, humedad baja y consistencia firme*, garantizando que los cimientos no quedaran apoyados sobre rellenos antropicos, en dado caso que se evidencie este tipo de material, deberá ser retirado y dispuesto un material de relleno seleccionado compactado al 95%.

Para los muros de contención con alturas de hasta 3.5 m, se incluye en el ANEXO D. memorias de cálculo, el predimensionamiento de estos muros y la evaluación de los factores de seguridad al deslizamiento y volcamiento.

14.19.4.1 Capacidad de carga y asentamientos obras de urbanismo.

Según el perfil estratigráfico típico de la zona en donde se proyecta la pilona 18 obtenido de la campaña de exploración geotécnica, se presenta a continuación la capacidad de carga y asentamientos.

El análisis de resistencia se realizó mediante la ecuación general de capacidad portante. Los factores de capacidad portante y los factores de corrección por forma, profundidad de cimentación, excentricidad e inclinación de la carga, fueron establecidos mediante las propuestas de Meyerhoff (1963), Hansen y Vesic (1970) y Chen (1975).

Para el cálculo de la capacidad portante de cimentaciones superficiales se utilizó la ecuación general de capacidad portante.

$$\sigma_{adm} = \frac{1}{F.S.}\left(cN_c s_c d_c + qN_q s_q d_q + \frac{1}{2}\gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma\right)$$

Con el fin de considerar la incidencia de la geometría de la fundación y la profundidad de desplante se llevó a cabo un análisis de sensibilidad en el cual se contemplaron diferentes dimensiones de cimiento y relaciones ancho/largo (B/L). Los valores presentados a continuación corresponden a la capacidad de carga del cimiento superficial. Para propositos del diseño se toma una capacidad de carga de 165.9 kPa.

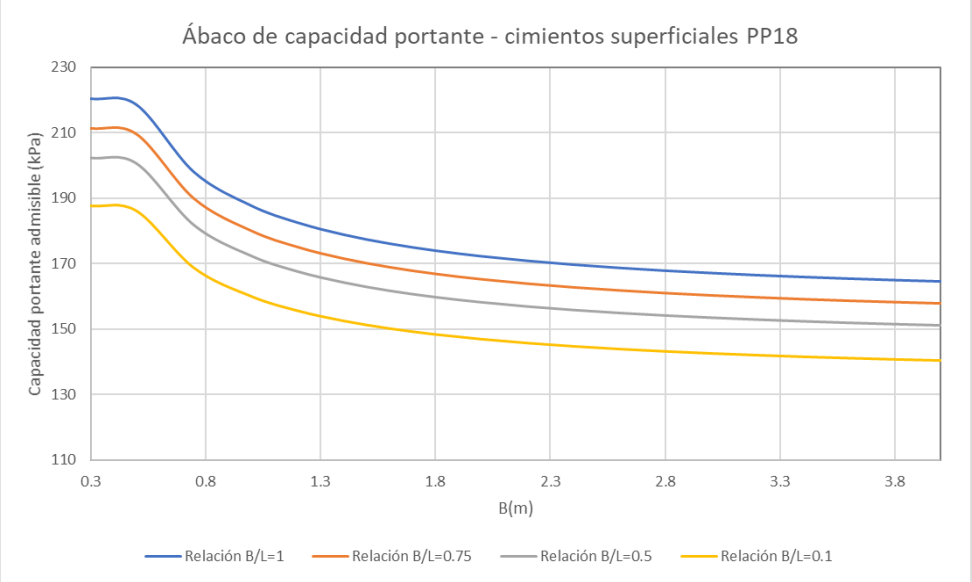


Figura 14-149. Capacidad de carga para cimientos superficiales pilona 18

El análisis de asentamientos se llevó a cabo mediante la Teoría Elástica y fue realizado de acuerdo con las propuestas existentes, fundamentadas en correlaciones entre el módulo de elasticidad, la relación de Poisson del material de fundación y coeficientes en función de la geometría del cimiento.

Con base en lo anterior, han sido determinados los asentamientos elásticos máximos esperados para las estructuras menoras proyectadas en la zona donde se dispondrá la pilona 18.

Tabla 14-174. Asentamientos cimientos superficiales Pilona 18.

Pilona	Asentamiento maximo esperado (cm)
18	1.62

14.19.4.2 Coeficientes de presión de tierras

Para el diseño de los elementos estructurales que soportan la acción de cargas generadas por los materiales de relleno, han sido realizados los análisis de esfuerzos laterales, los cuales fueron evaluados mediante la teoría clásica de Rankine.

De la misma forma con base en la formulación pseudo-estática propuesta por Mononobe – Okabe, fueron determinados los coeficientes de presión de tierras para condición dinámica.

De acuerdo a lo anterior, se recomienda utilizar diagramas de presiones laterales triangulares, propias de suelos friccionantes, considerando los siguientes parámetros:

Tabla 14-175. Coeficientes de presión de tierras

Aceleración Aa	0,22
Peso unitario del material de relleno	19 kN/m3
Ángulo de fricción interno	32°
Coeficiente de presión activa (Ka)	0,30
Coediciente de presión activo dinámico (Kae)	0,40

Se recomiendan materiales de relleno tipo seleccionado, los cuales deberán seleccionarse de acuerdo con los lineamientos establecidos por el artículo No. 610 del INVIAS.

Recomendaciones

- Para los muros de contención se deben incluir filtros en el trasdós, esto con el fin de que se evacuen las aguas residuales hacia los sistemas de drenajes, para evitar la acumulación de estas en la cara del muro, las cuales pueden ocasionar afectaciones a la estructura.
- Las caras de los cortes y la base de fundación de los cimientos, deberán ser protegidos con mortero para evitar la degradación de estas por presencia de aguas superficiales.

14.20 PILONA 19

Se modelaron cimentaciones profundas debido a la naturaleza de las cargas a las cuales serán sometidas las estructuras. Para ello se consideraron diámetros de 0.8 m 1.0 m y 1.2 m. Adicionalmente, se realizó una verificación por carga lateral por el método de Broms.

14.20.1 Recomendaciones generales

A partir del suelo encontrado en la zona de estudio, se definieron las siguientes recomendaciones generales para la pilona 19.

Tabla 14-176. Recomendaciones generales pilona 19

Suelo de fundación en la base	Prof. mínima base del pilote respecto a nivel de terreno (m)	Prof. mínima de desplante del dado respecto a nivel del terreno (m)	Observaciones
Arcilla limosa color marrón y gris claro verdoso con vetas moradas, humedad baja, plasticidad media y dura	15	1.9	Profundidad de desplante del dado mínimo para garantizar un nivel de suelo homogéneo.

14.20.2 Capacidad

En la Tabla 14-177, se presentan los resultados de la carga axial admisible y carga de tracción para el Estado Límite de Resistencia (ELR) y en la Figura 14-150 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Tabla 14-177. Resumen de valores de carga axial admisible y carga por tracción ELR – Pilona 19

Longitud m	Carga axial ELR (kN)			Carga admisible por tracción ELR (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	253.8	365.2	495.7	162.35	206.64	252.41
2.00	332.5	470.4	630.1	324.71	413.28	504.82
3.00	400.2	561.9	748.2	487.06	619.92	757.22
4.00	512.5	716.2	950.0	649.42	826.57	1009.63
5.00	627.0	873.8	1156.7	811.77	1033.21	1262.04
6.00	1104.2	1525.1	2003.9	1139.11	1446.08	1761.92
7.00	1310.5	1785.5	2319.5	1480.93	1877.05	2283.52
8.00	1455.6	1947.7	2491.2	1836.40	2325.09	2825.61
9.00	1606.3	2116.2	2669.4	2205.88	2790.63	3388.70
10.00	1218.6	1586.9	1980.7	2373.38	3003.71	3648.83
11.00	1288.6	1674.4	2085.8	2540.89	3216.79	3908.97
12.00	1426.6	1868.2	2343.7	2708.40	3429.88	4169.11
13.00	1564.6	2061.9	2601.6	2875.91	3642.96	4429.24
14.00	1754.0	2319.8	2936.7	3157.69	3998.89	4860.80
15.00	1875.5	2471.7	3118.9	3439.47	4354.81	5292.35
16.00	1996.9	2623.5	3301.1	3721.26	4710.74	5723.90
17.00	2118.4	2775.4	3483.3	4003.04	5066.67	6155.45
18.00	2239.9	2927.2	3665.5	4284.82	5422.60	6587.00
19.00	2361.4	3079.1	3847.7	4566.61	5778.52	7018.55
20.00	2482.8	3230.9	4030.0	4848.39	6134.45	7450.10

Longitud m	Carga axial ELR (kN)			Carga admisible por tracción ELR (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
21.00	2604.3	3382.8	4212.2	5130.17	6490.38	7881.65
22.00	2725.8	3534.6	4394.4	5411.96	6846.31	8313.20
23.00	2711.4	3474.2	4270.9	5693.74	7202.23	8744.75
24.00	2697.0	3413.7	4147.4	5975.52	7558.16	9176.30

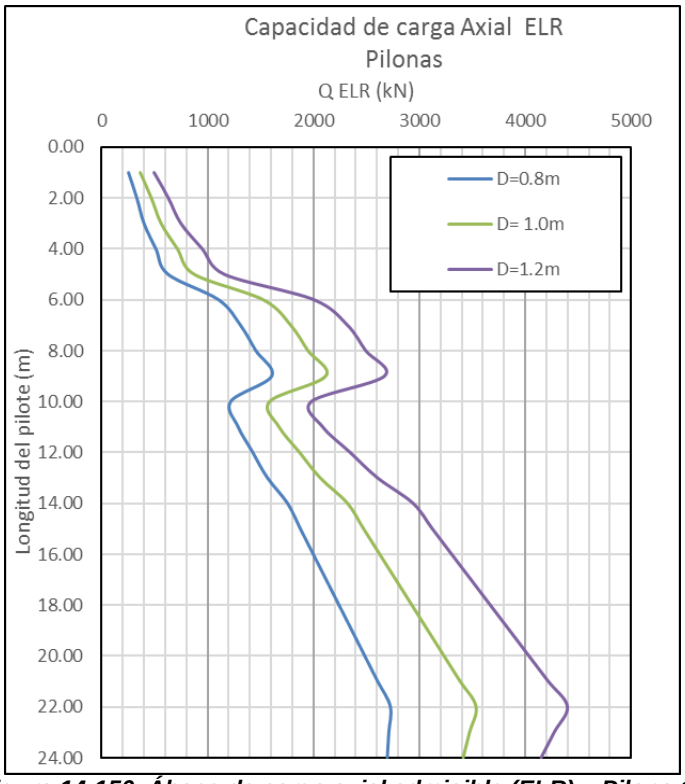


Figura 14-150. Ábaco de carga axial admisible (ELR) – Pilona 19

Adicionalmente, en la Tabla 14-178 se presentan los resultados obtenidos para la carga axial admisible correspondiente al Estado Límite de Evento Extremo (ELEE) y en la Figura 14-150 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-178. Resumen de valores de carga axial admisible ELEE – Pilona 19

Longitud m	Carga axial admisible ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	615.8	889.4	1211.0
2.00	793.7	1128.9	1518.9
3.00	944.2	1334.2	1785.7
4.00	1206.1	1696.3	2262.1
5.00	1473.3	2066.9	2750.5
6.00	1910.6	2651.5	3497.7
7.00	2255.6	3087.5	4026.6
8.00	2488.1	3343.4	4292.0

Longitud m	Carga axial admisible ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
9.00	2729.6	3609.0	4567.2
10.00	2764.5	3614.9	4528.9
11.00	2920.2	3809.4	4762.4
12.00	3245.7	4269.4	5378.0
13.00	3571.2	4729.3	5993.6
14.00	4011.0	5332.1	6780.6
15.00	4280.9	5669.6	7185.6
16.00	4550.9	6007.0	7590.5
17.00	4820.8	6344.4	7995.4
18.00	5090.8	6681.9	8400.3
19.00	5360.7	7019.3	8805.3
20.00	5630.6	7356.7	9210.2
21.00	5900.6	7694.2	9615.1
22.00	6170.5	8031.6	10020.0
23.00	6100.8	7838.3	9660.7
24.00	6031.1	7645.1	9301.5

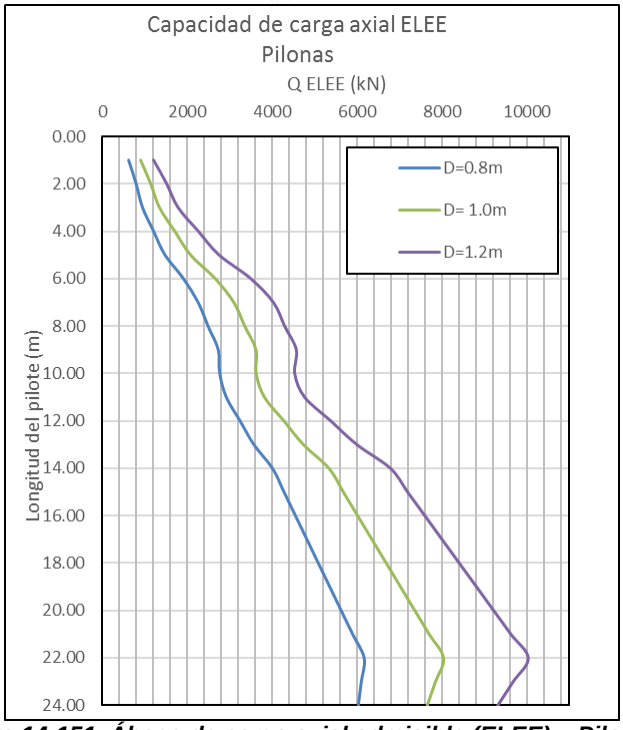


Figura 14-151. Ábaco de carga axial admisible (ELEE) – Pilona 19

Las cargas admisibles para el Estado Límite de Servicio (ELS), se presentan en la Tabla 14-179 y en la Figura 14-152 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-179. Resumen de valores de carga axial admisible ELS – Pilona 19

Longitud	Carga admisible axial ELS para 20 mm (kN)		
m	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	253.8	365.2	495.7
2.00	332.5	470.4	630.1
3.00	400.2	561.9	748.2
4.00	553.9	780.7	1029.0
5.00	710.4	1004.2	1300.0
6.00	1104.2	1525.1	1912.9
7.00	1310.5	1790.8	2180.4
8.00	1430.1	1913.2	2325.3
9.00	1555.3	2041.9	2492.7
10.00	1218.6	1586.9	1980.7
11.00	1288.6	1674.4	2085.8
12.00	1426.6	1868.2	2343.7
13.00	1564.6	2061.9	2601.6
14.00	1754.0	2319.8	2936.7
15.00	1875.5	2471.7	3118.9
16.00	1996.9	2623.5	3301.1
17.00	2118.4	2775.4	3483.3
18.00	2239.9	2927.2	3665.5
19.00	2361.4	3079.1	3847.7
20.00	2482.8	3230.9	4030.0
21.00	2604.3	3382.8	4212.2
22.00	2725.8	3534.6	4394.4
23.00	2847.3	3686.5	4576.6
24.00	2968.8	3838.3	4758.8

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

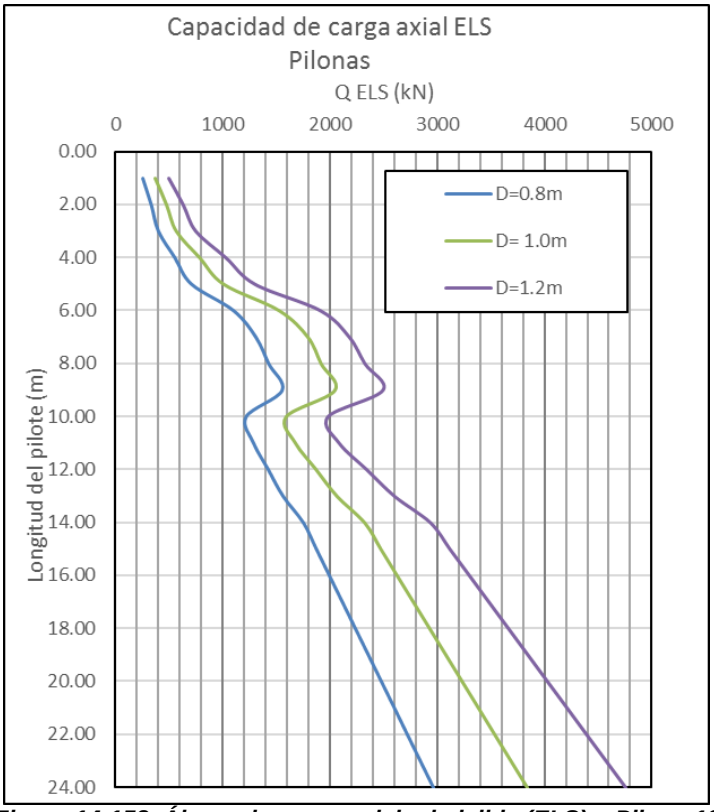


Figura 14-152. Ábaco de carga axial admisible (ELS) – Pilona 19

En la Tabla 14-180 se presenta los valores de capacidad de carga lateral para cada uno de los diferentes diámetros, con respecto a los Estados Límite de Resistencia y a los Estados Límite de Evento Extremo y en la Figura 14-153 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-180. Resumen de valores de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 19

Longitud m	Carga horizontal ELR y ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	-133.6	-460.8	-905.7
2.00	719.7	605.7	374.2
3.00	1619.3	1730.2	1723.6
4.00	2565.2	2912.7	3142.5
5.00	3534.5	4153.1	4631.0
6.00	5187.0	9192.2	14649.6
7.00	4553.8	8070.7	12862.1
8.00	4078.8	7229.7	11522.0
9.00	3709.4	6575.6	10479.7
10.00	4796.6	6145.4	7592.5
11.00	5562.9	7087.2	8702.6

Longitud m	Carga horizontal ELR y ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
12.00	6336.5	8040.9	9830.3
13.00	7115.8	9003.7	10971.6
14.00	8641.0	10878.9	13184.1
15.00	10178.9	12774.4	15425.8
16.00	11727.3	14686.1	17691.3
17.00	13284.2	16611.4	19976.3
18.00	14848.2	18547.9	22277.7
19.00	16418.2	20493.8	24592.7
20.00	7110.9	22447.8	26919.4
21.00	7342.4	13016.3	29256.1
22.00	7552.7	13389.4	21346.4
23.00	7744.8	13730.0	21889.8
24.00	7920.9	14042.3	22387.9

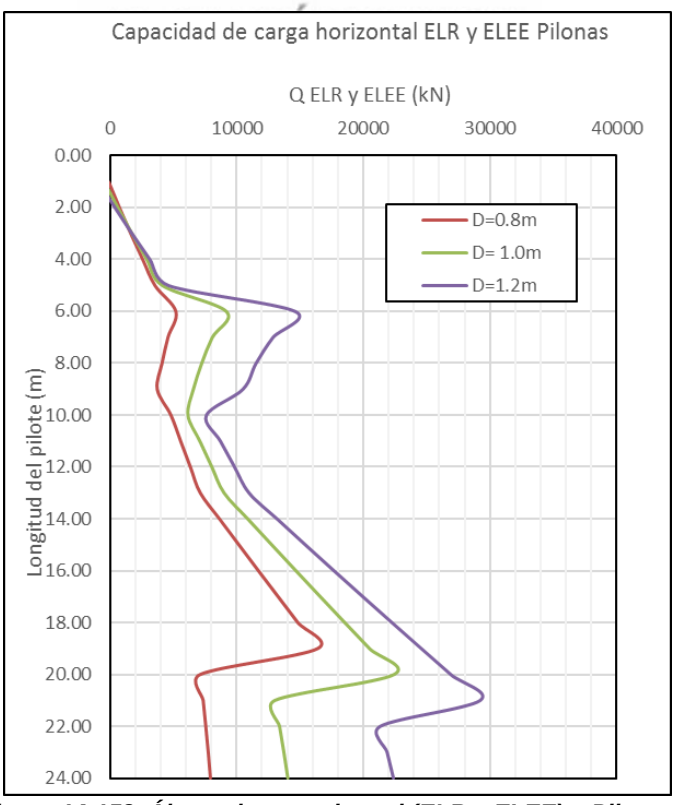


Figura 14-153. Ábaco de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 19

Adicionalmente en la Tabla 14-181 se muestran los resultados de capacidad de carga lateral para los diferentes diámetros con respecto a los valores de Estado Límite de Servicio y en la Figura 14-154 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-181. Resumen de valores de carga lateral (ELS) – Pilona 19

Longitud m	Carga horizontal ELS para 20 mm(kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	-133.6	-460.8	-905.7
2.00	719.7	605.7	374.2
3.00	1619.3	1730.2	1723.6
4.00	2451.5	2912.7	3142.5
5.00	2451.5	3069.3	4631.0
6.00	2431.9	3039.9	3647.8
7.00	2412.3	3010.4	3618.4
8.00	2392.7	3000.6	3598.8
9.00	2382.9	2981.0	3579.2
10.00	2392.7	3000.6	3598.8
11.00	2402.5	3010.4	3618.4
12.00	2422.1	3020.2	3628.2
13.00	2422.1	3030.1	3638.0
14.00	2569.2	3216.4	3853.8
15.00	2696.7	3363.5	4040.1
16.00	2794.7	3500.7	4197.0
17.00	2892.8	3608.6	4334.3
18.00	2971.2	3716.5	4451.9
19.00	3039.9	3804.7	4559.8
20.00	3108.5	3883.2	4657.9
21.00	3157.5	3951.8	4746.1
22.00	3216.4	4020.5	4824.6
23.00	3255.6	4079.3	4893.2
24.00	3304.6	4128.3	4952.0

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

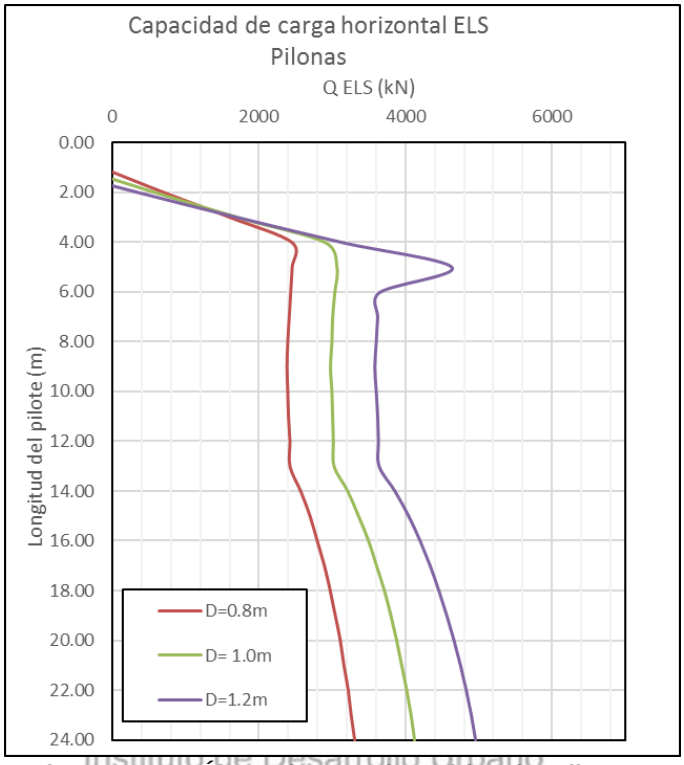


Figura 14-154. Ábaco de carga lateral (ELS) – Pilona 19

14.20.3 Módulo de reacción horizontal y vertical

En la Tabla 14-182 se presentan los valores de los módulos de reacción vertical y horizontal, para cada uno de los diámetros contemplados y la Figura 14-155 se muestra la variación con la profundidad valores que pueden ser utilizados para la elaboración del modelo de diseño estructural.

Tabla 14-182. Resumen de valores módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 19

Longitud m	Diámetro = 0.8 m		Diámetro = 1.0 m		Diámetro = 1.2 m	
	kh (kN/m³)	kv (kN/m³)	kh (kN/m³)	kv (kN/m³)	kh (kN/m³)	kv (kN/m³)
1.00	80987	95279	64790	76223	53991	63519
2.00	80987	95279	64790	76223	53991	63519
3.00	80987	95279	64790	76223	53991	63519
4.00	80987	95279	64790	76223	53991	63519
5.00	80987	95279	64790	76223	53991	63519
6.00	66273	77968	53018	62374	44182	51979
7.00	66273	77968	53018	62374	44182	51979
8.00	66273	77968	53018	62374	44182	51979
9.00	66273	77968	53018	62374	44182	51979
10.00	83769	98552	67015	78842	55846	65701
11.00	83769	98552	67015	78842	55846	65701
12.00	83769	98552	67015	78842	55846	65701
13.00	83769	98552	67015	78842	55846	65701
14.00	167538	197104	134031	157683	111692	131403

Longitud m	Diámetro = 0.8 m		Diámetro = 1.0 m		Diámetro = 1.2 m	
	kh (kN/m³)	kv (kN/m³)	kh (kN/m³)	kv (kN/m³)	kh (kN/m³)	kv (kN/m³)
15.00	167538	197104	134031	157683	111692	131403
16.00	167538	197104	134031	157683	111692	131403
17.00	167538	197104	134031	157683	111692	131403
18.00	167538	197104	134031	157683	111692	131403
19.00	167538	197104	134031	157683	111692	131403
20.00	167538	197104	134031	157683	111692	131403
21.00	167538	197104	134031	157683	111692	131403
22.00	167538	197104	134031	157683	111692	131403
23.00	167538	197104	134031	157683	111692	131403
24.00	167538	197104	134031	157683	111692	131403

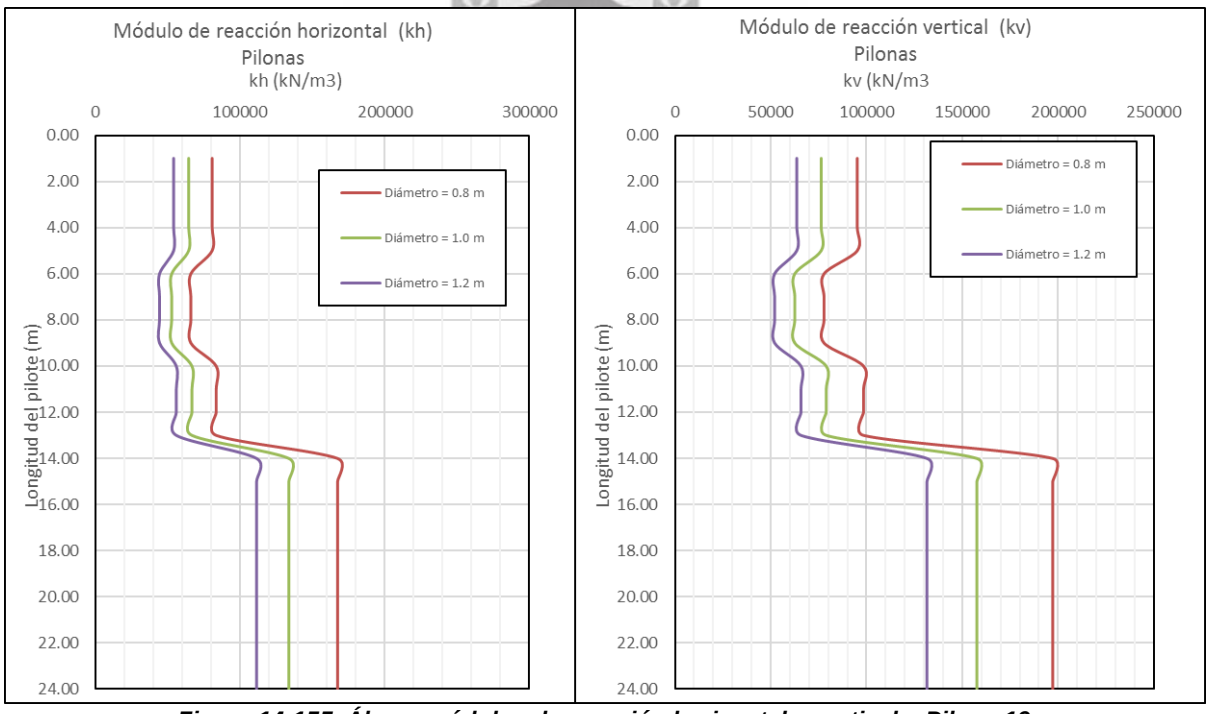


Figura 14-155. Ábaco módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 19

14.20.4 Recomendaciones de cimentación para obras menores

A partir del diseño de urbanismo se logro identificar la presencia de muros con alturas hasta de 3.5m y estructuras menores en la zona donde se dispondra la pilona. Estos deberán ser apoyados por medio de cimientos superficiales con una profundidad de desplante minima de 0.5m, apoyado sobre el material denominado *arcilla de color gris claro de consistencia blanda*, garantizando que los cimientos no quedaran apoyados sobre rellenos antropicos, en dado caso que se evidencie este tipo de material, deberá ser retirado y dispuesto un material de relleno seleccionado compactado al 95%.

Para los muros de contención con alturas de hasta 3.5 m, se incluye en el ANEXO D. memorias de cálculo, el predimensionamiento de estos muros y la evaluación de los factores de seguridad al deslizamiento y volcamiento.

14.20.4.1 Capacidad de carga y asentamientos obras de urbanismo.

Según el perfil estratigráfico típico de la zona en donde se proyecta la pilona 19 obtenido de la campaña de exploración geotécnica, se presenta a continuación la capacidad de carga y asentamientos.

El análisis de resistencia se realizó mediante la ecuación general de capacidad portante. Los factores de capacidad portante y los factores de corrección por forma, profundidad de cimentación, excentricidad e inclinación de la carga, fueron establecidos mediante las propuestas de Meyerhoff (1963), Hansen y Vesic (1970) y Chen (1975).

Para el cálculo de la capacidad portante de cimentaciones superficiales se utilizó la ecuación general de capacidad portante.

$$\sigma_{adm} = \frac{1}{F.S.}\left(cN_c s_c d_c + qN_q s_q d_q + \frac{1}{2}\gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma\right)$$

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Con el fin de considerar la incidencia de la geometría de la fundación y la profundidad de desplante se llevó a cabo un análisis de sensibilidad en el cual se contemplaron diferentes dimensiones de cimiento y relaciones ancho/largo (B/L). Los valores presentados a continuación corresponden a la capacidad de carga del cimiento superficial. Para propositos del diseño se toma una capacidad de carga de 244.7 kPa.

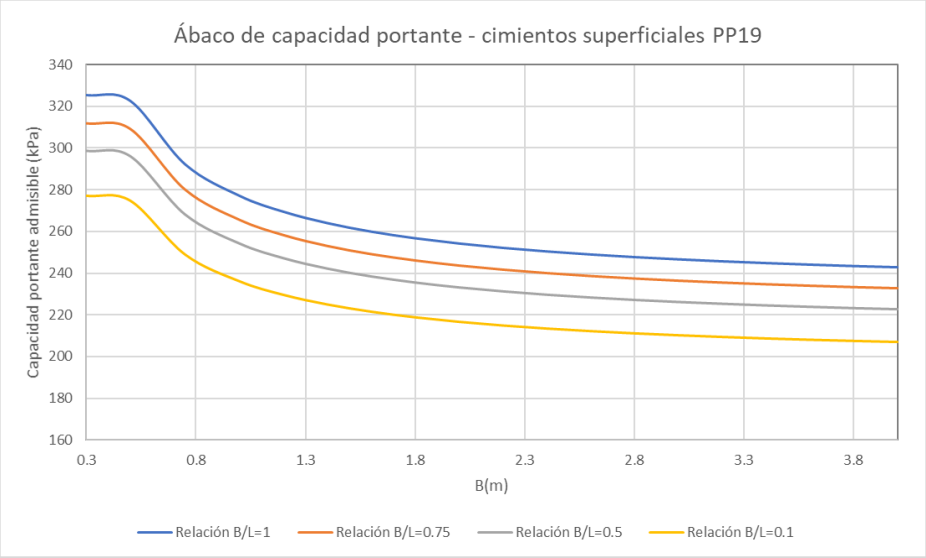


Figura 14-156. Capacidad de carga para cimientos superficiales pilona 19

El análisis de asentamientos se llevó a cabo mediante la Teoría Elástica y fue realizado de acuerdo con las propuestas existentes, fundamentadas en correlaciones entre el módulo de elasticidad, la relación de Poisson del material de fundación y coeficientes en función de la geometría del cimiento.

Con base en lo anterior, han sido determinados los asentamientos elásticos máximos esperados para las estructuras menoras proyectadas en la zona donde se dispondrá la pilona 19.

Tabla 14-183. Asentamientos cimientos superficiales Pilona 19.

Pilona	Asentamiento maximo esperado (cm)
19	1.62

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

14.20.4.2 Coeficientes de presión de tierras

Para el diseño de los elementos estructurales que soportan la acción de cargas generadas por los materiales de relleno, han sido realizados los análisis de esfuerzos laterales, los cuales fueron evaluados mediante la teoría clásica de Rankine.

De la misma forma con base en la formulación pseudo-estática propuesta por Mononobe – Okabe, fueron determinados los coeficientes de presión de tierras para condición dinámica.

De acuerdo a lo anterior, se recomienda utilizar diagramas de presiones laterales triangulares, propias de suelos friccionantes, considerando los siguientes parámetros:

Tabla 14-184. Coeficientes de presión de tierras

Aceleración Aa	0,22
Peso unitario del material de relleno	19 kN/m3
Ángulo de fricción interno	32°
Coeficiente de presión activa (Ka)	0,30
Coediciente de presión activo dinámico (Kae)	0,40

Se recomiendan materiales de relleno tipo seleccionado, los cuales deberán seleccionarse de acuerdo con los lineamientos establecidos por el artículo No. 610 del INVIAS.

Recomendaciones

- Para los muros de contención se deben incluir filtros en el trasdós, esto con el fin de que se evacuen las aguas residuales hacia los sistemas de drenajes, para evitar la acumulación de estas en la cara del muro, las cuales pueden ocasionar afectaciones a la estructura.

- Las caras de los cortes y la base de fundación de los cimientos, deberán ser protegidos con mortero para evitar la degradación de estas por presencia de aguas superficiales.

14.21 PILONA 20

Se modelaron cimentaciones profundas debido a la naturaleza de las cargas a las cuales serán sometidas las estructuras. Para ello se consideraron diámetros de 0.8 m 1.0 m y 1.2 m. Adicionalmente, se realizó una verificación por carga lateral por el método de Broms.

14.21.1 Recomendaciones generales

A partir del suelo encontrado en la zona de estudio, se definieron las siguientes recomendaciones generales para la pilona 20.

Tabla 14-185. Recomendaciones generales pilona 20

Suelo de fundación en la base	Prof. mínima base del pilote respecto a nivel de terreno (m)	Prof. mínima de desplante del dado respecto a nivel del terreno (m)	Observaciones
Arcillolita meteorizada color marrón oscuro, consistencia dura.	16	1.9	Profundiad de desplante del dado mínimo para garantizar un nivel de suelo homogéneo.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

14.21.2 Capacidad

En la Tabla 14-186 se presentan los resultados de la carga axial admisible y carga de tracción para el Estado Límite de Resistencia (ELR) y en la Figura 14-157 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-186. Resumen de valores de carga axial admisible y carga por tracción ELR – Pilona 20

Longitud m	Carga axial admisible ELR (kN)			Carga admisible por tracción ELR (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	201.2	289.5	393.0	131.17	167.66	205.62
2.00	263.6	372.9	499.6	262.33	335.31	411.25
3.00	317.3	445.5	593.1	393.50	502.97	616.87
4.00	371.0	512.6	673.7	524.66	670.62	822.50
5.00	424.7	579.7	754.2	655.83	838.28	1028.12
6.00	478.4	646.8	834.8	786.99	1005.93	1233.75
7.00	532.1	714.0	915.3	918.16	1173.59	1439.37
8.00	585.8	781.1	995.9	1049.33	1341.24	1645.00
9.00	639.5	848.2	1076.4	1180.49	1508.90	1850.62
10.00	693.2	915.3	1157.0	1311.66	1676.55	2056.25
11.00	746.9	982.4	1237.5	1442.82	1844.21	2261.87

Longitud m	Carga axial admisible ELR (kN)			Carga admisible por tracción ELR (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
12.00	800.6	1049.6	1318.1	1573.99	2011.87	2467.49
13.00	921.0	1221.0	1548.8	1705.15	2179.52	2673.12
14.00	1042.7	1394.2	1782.2	1836.32	2347.18	2878.74
15.00	1497.3	2026.3	2617.2	1848.16	2365.67	2905.37
16.00	1502.1	2033.7	2627.9	1859.99	2384.16	2932.00
17.00	1506.6	2040.9	2638.1	1871.82	2402.65	2958.63
18.00	1511.0	2047.7	2648.0	1883.66	2421.14	2985.25
19.00	1515.3	2054.4	2657.6	1895.49	2439.63	3011.88
20.00	1519.4	2060.8	2666.9	1907.33	2458.13	3038.51
21.00	1523.4	2067.1	2675.9	1919.16	2476.62	3065.14
22.00	1523.4	2067.1	2676.0	1931.00	2495.11	3091.76
23.00	1527.3	2073.2	2684.7	1942.83	2513.60	3118.39
24.00	1531.1	2079.1	2693.1	1954.67	2532.09	3145.02

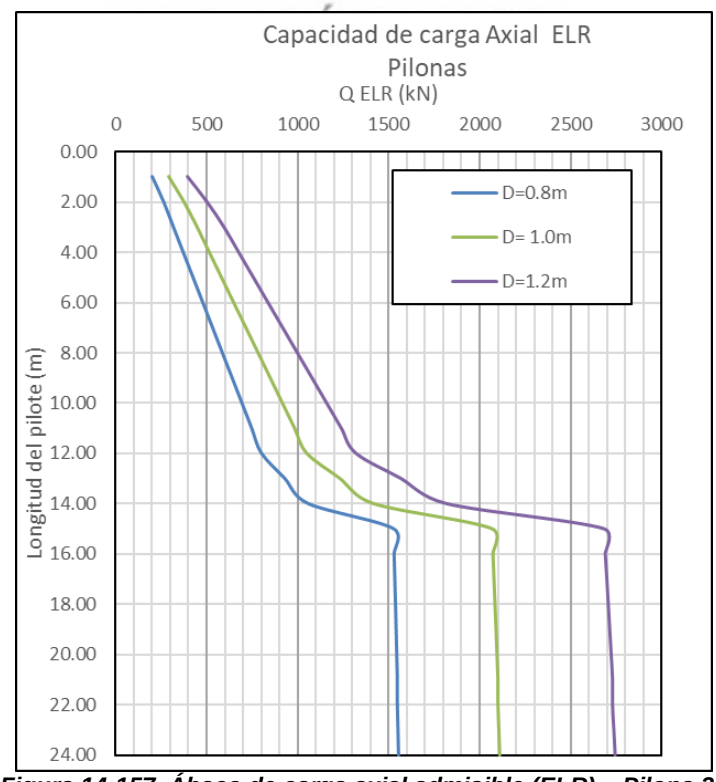


Figura 14-157. Ábaco de carga axial admisible (ELR) – Pilona 20

Adicionalmente en la Tabla 14-187 se presentan los resultados obtenidos para la carga axial admisible correspondiente al Estado Límite de Evento Extremo (ELEE) y en la Figura 14-158 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-187. Resumen de valores de carga axial admisible ELEE – Pilona 20

Longitud m	Carga axial admisible ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	488.2	705.1	960.1
2.00	629.2	895.0	1204.2
3.00	748.5	1057.7	1415.7
4.00	867.9	1206.9	1594.7
5.00	987.2	1356.0	1773.7
6.00	1106.5	1505.2	1952.7
7.00	1225.9	1654.4	2131.7
8.00	1345.2	1803.5	2310.7
9.00	1464.5	1952.7	2489.7
10.00	1583.9	2101.9	2668.7
11.00	1703.2	2251.0	2847.7
12.00	1822.5	2400.2	3026.7
13.00	2108.7	2810.0	3581.1
14.00	2397.8	3224.6	4142.2
15.00	2570.5	3494.4	4530.7
16.00	2579.2	3507.9	4550.1
17.00	2587.5	3520.8	4568.8
18.00	2595.5	3533.3	4586.8
19.00	2603.2	3545.4	4604.2
20.00	2610.7	3557.1	4621.1
21.00	2617.9	3568.5	4637.4
22.00	2618.0	3568.6	4637.6
23.00	2625.1	3579.6	4653.4
24.00	2631.9	3590.3	4668.8

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

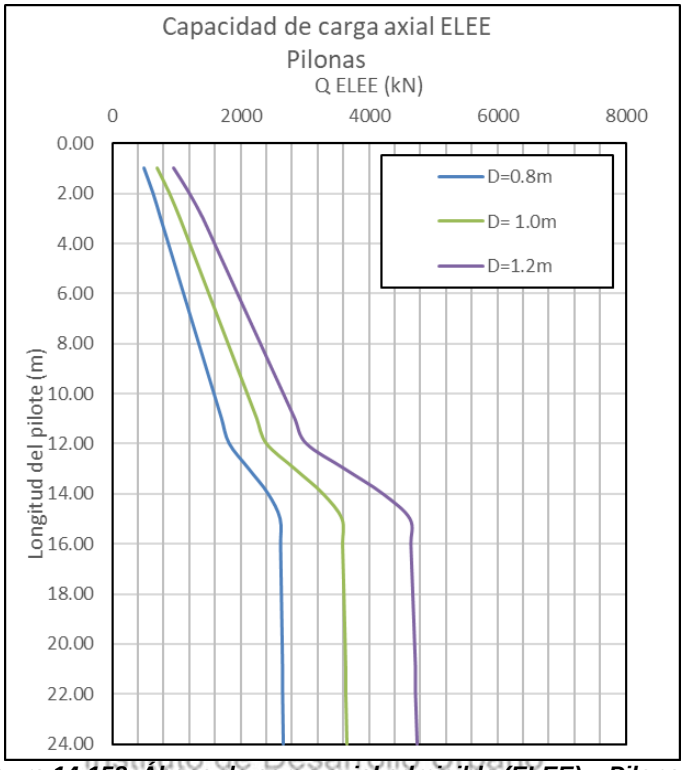


Figura 14-158. Ábaco de carga axial admisible (ELEE) – Pilona 20

Las cargas admisibles para el Estado Límite de Servicio (ELS), se presentan en la Tabla 14-188 y en la Figura 14-159 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-188. Resumen de valores de carga axial admisible ELS – Pilona 20

Longitud m	Carga admisible axial ELS para 20 mm (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	201.2	289.5	393.0
2.00	263.6	372.9	499.6
3.00	317.3	445.5	593.1
4.00	371.0	512.6	673.7
5.00	424.7	579.7	754.2
6.00	478.4	646.8	834.8
7.00	532.1	714.0	915.3
8.00	585.8	781.1	995.9
9.00	639.5	848.2	1076.4
10.00	693.2	915.3	1157.0
11.00	746.9	982.4	1237.5
12.00	800.6	1049.6	1318.1
13.00	965.6	1290.6	1649.0
14.00	1132.2	1534.2	1983.7
15.00	1497.3	2026.3	2617.2
16.00	1502.1	2033.7	2627.9
17.00	1506.6	2040.9	2638.1

Longitud m	Carga admisible axial ELS para 20 mm (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
18.00	1511.0	2047.7	2648.0
19.00	1515.3	2054.4	2657.6
20.00	1515.3	2054.5	2657.7
21.00	1519.5	2060.9	2667.0
22.00	1523.4	2067.1	2676.0
23.00	1527.3	2073.2	2684.7
24.00	1531.1	2079.1	2693.1

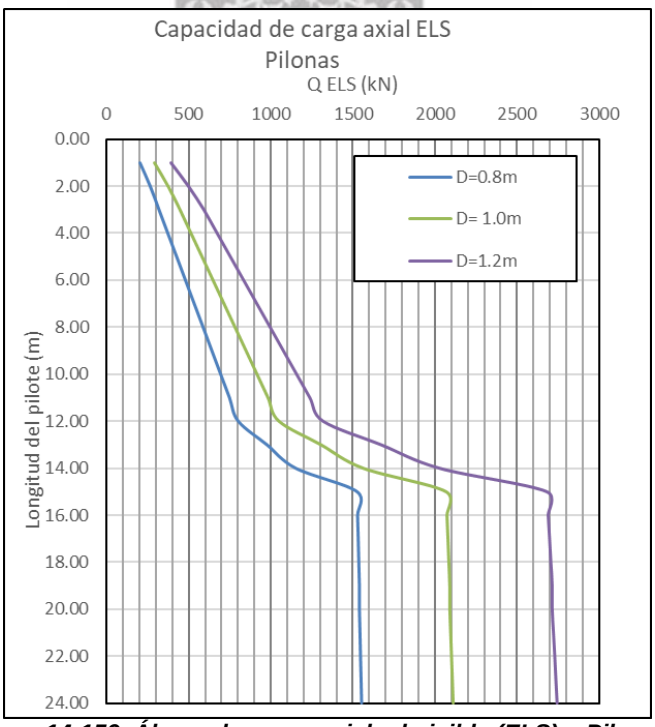


Figura 14-159. Ábaco de carga axial admisible (ELS) – Pilona 20

En la Tabla 14-189 se presentan los valores de capacidad de carga lateral para cada uno de los diferentes diámetros, con respecto a los Estados Límite de Resistencia y a los Estados Límite de Evento Extremo y en la Figura 14-160 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud. En la

Tabla 14-189. Resumen de valores de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 20

Longitud m	Carga horizontal ELR y ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	-101.9	-360.4	-712.0
2.00	586.5	500.1	320.5
3.00	1319.6	1416.5	1420.2
4.00	2097.4	2388.7	2586.9
5.00	2912.7	3416.9	3820.7

Longitud m	Carga horizontal ELR y ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
6.00	3534.0	4461.5	5121.6
7.00	4155.3	5238.2	6369.4
8.00	4776.6	6014.8	7301.3
9.00	5397.9	6791.4	8233.3
10.00	6019.2	7568.1	9165.3
11.00	6640.5	8344.7	10097.2
12.00	7261.8	9121.3	11029.2
13.00	7883.1	9898.0	11961.1
14.00	8504.5	10674.6	12893.1
15.00	10269.2	12849.6	15466.0
16.00	12046.3	15044.0	18066.8
17.00	13833.7	17254.3	20690.5
18.00	15629.6	19477.9	23333.4
19.00	17432.6	21712.7	25992.3
20.00	7551.4	23957.0	28665.0
21.00	7843.2	13901.9	31349.4
22.00	8108.4	14372.4	22912.1
23.00	8350.5	14802.0	23597.5
24.00	8572.5	15195.8	24225.7

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

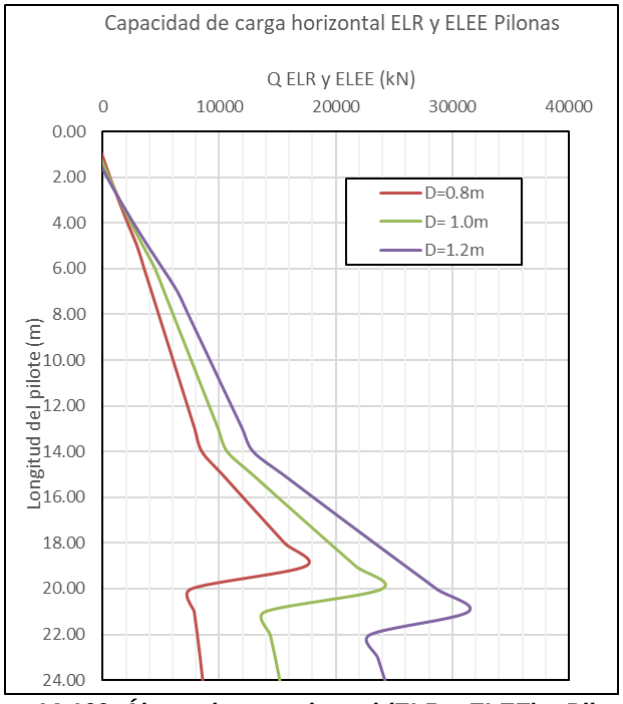


Figura 14-160. Ábaco de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 20

Adicionalmente en la Tabla 14-190 se muestran los resultados de capacidad de carga lateral para los diferentes diámetros con respecto a los valores de Estado Límite de Servicio y en la Figura 14-161 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-190. Resumen de valores de carga lateral (ELS) – Pilona 20

Longitud m	Carga horizontal ELS para 20 mm(kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	-101.9	-360.4	-712.0
2.00	586.5	500.1	320.5
3.00	1319.6	1416.5	1420.2
4.00	2069.1	2388.7	2586.9
5.00	2069.1	2588.8	3820.7
6.00	2069.1	2588.8	3098.7
7.00	2069.1	2588.8	3098.7
8.00	2069.1	2588.8	3098.7
9.00	2069.1	2588.8	3098.7
10.00	2069.1	2588.8	3098.7
11.00	2069.1	2588.8	3098.7
12.00	2069.1	2588.8	3098.7
13.00	2069.1	2588.8	3098.7
14.00	2069.1	2588.8	3098.7
15.00	2275.0	2843.7	3412.5
16.00	2441.7	3059.5	3667.4
17.00	2598.6	3245.8	3893.0
18.00	2726.1	3412.5	4089.1
19.00	2843.7	3549.8	4265.6
20.00	2941.8	3677.3	4412.7
21.00	3030.1	3794.9	4550.0
22.00	3118.3	3893.0	4677.5
23.00	3196.8	3991.0	4785.3
24.00	3255.6	4079.3	4893.2

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

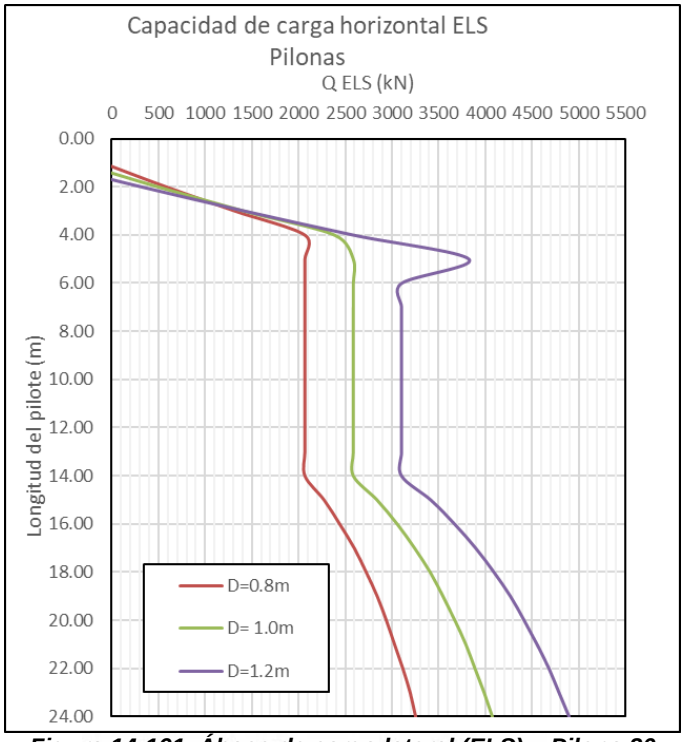


Figura 14-161. Ábaco de carga lateral (ELS) – Pilona 20

Instituto de Desarrollo Urbano

14.21.3 Módulo de reacción horizontal y vertical

En la Tabla 14-191 se presentan los valores de los módulos de reacción vertical y horizontal, para cada uno de los diámetros contemplados y la Figura 14-162 se muestra la variación con la profundidad valores que pueden ser utilizados para la elaboración del modelo de diseño estructural.

Tabla 14-191. Resumen de valores módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 20

Longitud (m)	Diámetro = 0.8 m		Diámetro = 1.0 m		Diámetro = 1.2 m	
	kh (kN/m^3)	kv (kN/m^3)	kh (kN/m^3)	kv (kN/m^3)	kh (kN/m^3)	kv (kN/m^3)
1.00	64425	75794	51540	60635	42950	50529
2.00	64425	75794	51540	60635	42950	50529
3.00	64425	75794	51540	60635	42950	50529
4.00	64425	75794	51540	60635	42950	50529
5.00	64425	75794	51540	60635	42950	50529
6.00	64425	75794	51540	60635	42950	50529
7.00	64425	75794	51540	60635	42950	50529
8.00	64425	75794	51540	60635	42950	50529
9.00	64425	75794	51540	60635	42950	50529
10.00	64425	75794	51540	60635	42950	50529
11.00	64425	75794	51540	60635	42950	50529
12.00	64425	75794	51540	60635	42950	50529

Longitud (m)	Diámetro = 0.8 m		Diámetro = 1.0 m		Diámetro = 1.2 m	
	kh (kN/m³)	kv (kN/m³)	kh (kN/m³)	kv (kN/m³)	kh (kN/m³)	kv (kN/m³)
13.00	64425	75794	51540	60635	42950	50529
14.00	64425	75794	51540	60635	42950	50529
15.00	193318	227434	154655	181947	128879	151623
16.00	193318	227434	154655	181947	128879	151623
17.00	193318	227434	154655	181947	128879	151623
18.00	193318	227434	154655	181947	128879	151623
19.00	193318	227434	154655	181947	128879	151623
20.00	193318	227434	154655	181947	128879	151623
21.00	193318	227434	154655	181947	128879	151623
22.00	193318	227434	154655	181947	128879	151623
23.00	193318	227434	154655	181947	128879	151623
24.00	193318	227434	154655	181947	128879	151623

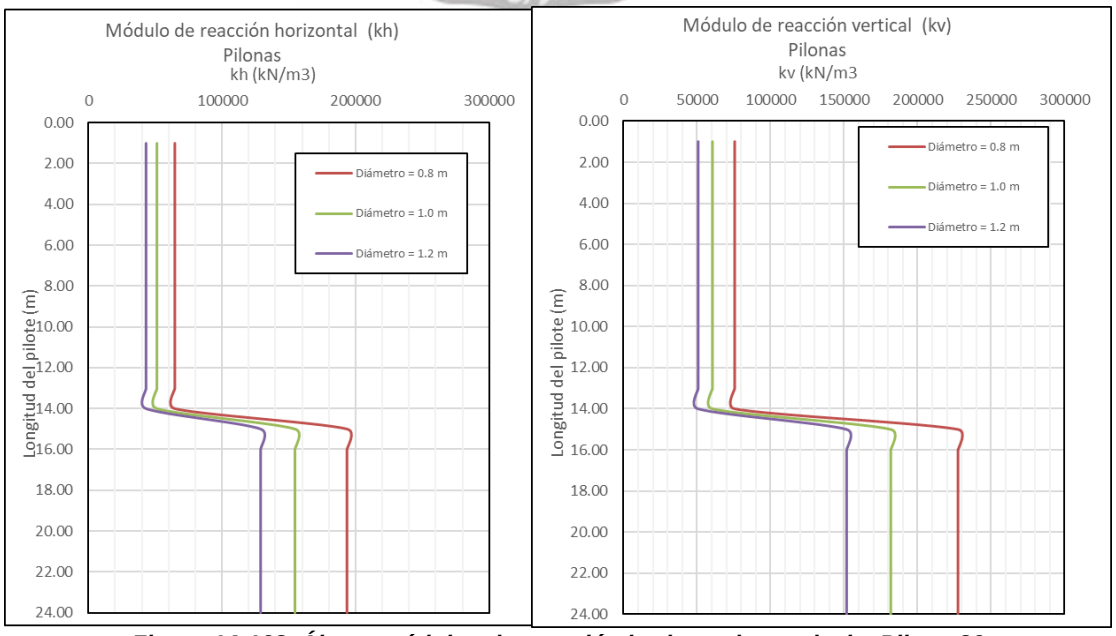


Figura 14-162. Ábaco módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 20

14.21.4 Recomendaciones de cimentación para obras menores

A partir del diseño de urbanismo se logro identificar la presencia de muros con alturas hasta de 3.5m y estructuras menores en la zona donde se dispondra la pilona. Estos deberán ser apoyados por medio de cimientos superficiales con una profundidad de desplante minima de 0.5m, apoyado sobre el material denominado *Arcilla limosa de color café de consistencia firme*, garantizando que los cimientos no quedaran apoyados sobre rellenos antropicos, en dado caso que se evidencie este tipo de material, deberá ser retirado y dispuesto un material de relleno seleccionado compactado al 95%.

Para los muros de contención con alturas de hasta 3.5 m, se incluye en el ANEXO D. memorias de cálculo, el predimensionamiento de estos muros y la evaluación de los factores de seguridad al deslizamiento y volcamiento.

14.21.4.1 Capacidad de carga y asentamientos obras de urbanismo.

Según el perfil estratigráfico típico de la zona en donde se proyecta la pilona 20 obtenido de la campaña de exploración geotécnica, se presenta a continuación la capacidad de carga y asentamientos.

El análisis de resistencia se realizó mediante la ecuación general de capacidad portante. Los factores de capacidad portante y los factores de corrección por forma, profundidad de cimentación, excentricidad e inclinación de la carga, fueron establecidos mediante las propuestas de Meyerhoff (1963), Hansen y Vesic (1970) y Chen (1975).

Para el cálculo de la capacidad portante de cimentaciones superficiales se utilizó la ecuación general de capacidad portante.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
NO VALIDO
Instituto de Desarrollo Urbano

$$\sigma_{adm} = \frac{1}{F.S.}\left(cN_c s_c d_c + qN_q s_q d_q + \frac{1}{2}\gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma\right)$$

Con el fin de considerar la incidencia de la geometría de la fundación y la profundidad de desplante se llevó a cabo un análisis de sensibilidad en el cual se contemplaron diferentes dimensiones de cimiento y relaciones ancho/largo (B/L). Los valores presentados a continuación corresponden a la capacidad de carga del cimiento superficial. Para propositos del diseño se toma una capacidad de carga de 194.7 kPa.

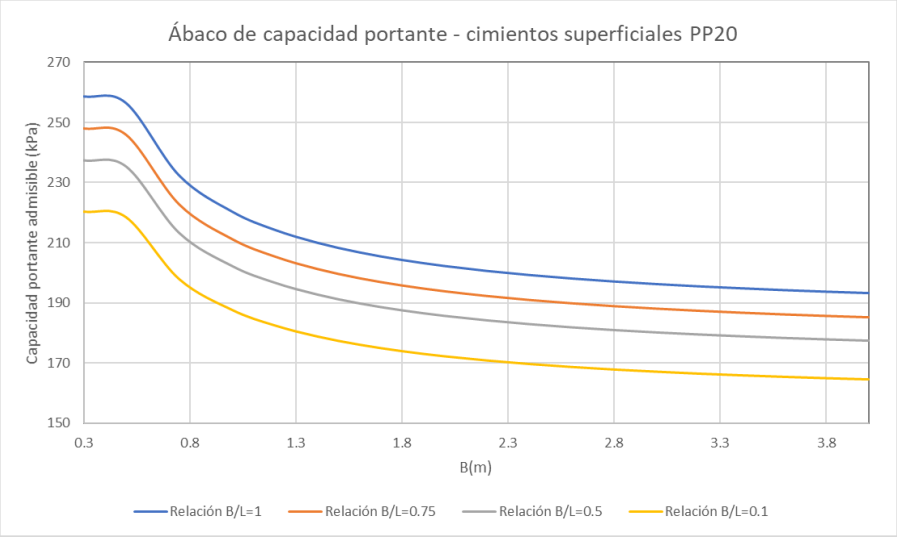


Figura 14-163. Capacidad de carga para cimientos superficiales pilona 20

El análisis de asentamientos se llevó a cabo mediante la Teoría Elástica y fue realizado de acuerdo con las propuestas existentes, fundamentadas en correlaciones entre el módulo de elasticidad, la relación de Poisson del material de fundación y coeficientes en función de la geometría del cimiento.

Con base en lo anterior, han sido determinados los asentamientos elásticos máximos esperados para las estructuras menoras proyectadas en la zona donde se dispondrá la pilona 20.

Tabla 14-192. Asentamientos cimientos superficiales Pilona 20.

Pilona	Asentamiento maximo esperado (cm)
20	1.62

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

14.21.4.2 Coeficientes de presión de tierras

Para el diseño de los elementos estructurales que soportan la acción de cargas generadas por los materiales de relleno, han sido realizados los análisis de esfuerzos laterales, los cuales fueron evaluados mediante la teoría clásica de Rankine.

De la misma forma con base en la formulación pseudo-estática propuesta por Mononobe – Okabe, fueron determinados los coeficientes de presión de tierras para condición dinámica.

De acuerdo a lo anterior, se recomienda utilizar diagramas de presiones laterales triangulares, propias de suelos friccionantes, considerando los siguientes parámetros:

Tabla 14-193. Coeficientes de presión de tierras

Aceleración Aa	0,22
Peso unitario del material de relleno	19 kN/m3
Ángulo de fricción interno	32°
Coeficiente de presión activa (Ka)	0,30
Coediciente de presión activo dinámico (Kae)	0,40

Se recomiendan materiales de relleno tipo seleccionado, los cuales deberán seleccionarse de acuerdo con los lineamientos establecidos por el artículo No. 610 del INVIAS.

Recomendaciones

- Para los muros de contención se deben incluir filtros en el trasdós, esto con el fin de que se evacuen las aguas residuales hacia los sistemas de drenajes, para evitar la acumulación de estas en la cara del muro, las cuales pueden ocasionar afectaciones a la estructura.

- Las caras de los cortes y la base de fundación de los cimientos, deberán ser protegidos con mortero para evitar la degradación de estas por presencia de aguas superficiales.

14.22 PILONA 21

Se modelaron cimentaciones profundas debido a la naturaleza de las cargas a las cuales serán sometidas las estructuras. Para ello se consideraron diámetros de 0.8 m 1.0 m y 1.2m. Adicionalmente, se realizó una verificación por carga lateral por el método de Broms.

14.22.1 Recomendaciones generales

A partir del suelo encontrado en la zona de estudio, se definieron las siguientes recomendaciones generales para la pilona 21.

Tabla 14-194. Recomendaciones generales pilona 21

Suelo de fundación en la base	Prof. mínima base del pilote respecto a nivel de terreno (m)	Prof. mínima de desplante del dado respecto a nivel del terreno (m)	Observaciones
Limolita roja con pintas grises claras, fracturada, porosa. Altamente meteorizada	15	1.8	Profundiad de desplante del dado mínimo para garantizar un nivel de suelo homogéneo.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

14.22.2 Capacidad

En la Tabla 14-195 se presentan los resultados de la carga axial admisible y carga de tracción para el Estado Límite de Resistencia (ELR) y en la Figura 14-164 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-195. Resumen de valores de carga axial admisible y carga por tracción ELR – Pilona 21

Longitud m	Carga axial admisible ELR (kN)			Carga admisible por tracción ELR (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	90.6	130.3	176.8	65.53	85.62	107.18
2.00	118.6	167.8	224.8	131.07	171.23	214.35
3.00	142.8	200.5	266.9	196.60	256.85	321.53
4.00	167.0	230.7	303.2	262.13	342.46	428.70
5.00	191.1	260.9	339.4	327.67	428.08	535.88
6.00	215.3	291.1	375.6	393.20	513.69	643.06
7.00	239.4	321.3	411.9	458.74	599.31	750.23
8.00	305.3	416.6	541.9	524.27	684.92	857.41
9.00	371.1	511.9	671.8	589.80	770.54	964.59
10.00	479.9	660.9	866.3	750.80	975.48	1214.96
11.00	547.0	744.8	966.9	911.80	1180.43	1465.33

Longitud m	Carga axial admisible ELR (kN)			Carga admisible por tracción ELR (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
12.00	667.9	912.7	1188.6	1072.80	1385.38	1715.71
13.00	790.1	1082.6	1413.2	1233.80	1590.32	1966.08
14.00	846.4	1170.7	1540.0	1245.63	1608.81	1992.71
15.00	850.3	1176.7	1548.6	1257.47	1627.31	2019.34
16.00	854.1	1182.6	1557.1	1269.30	1645.80	2045.96
17.00	857.7	1188.3	1565.3	1281.13	1664.29	2072.59
18.00	861.2	1193.8	1573.2	1292.97	1682.78	2099.22
19.00	864.6	1199.1	1580.8	1304.80	1701.27	2125.85
20.00	867.9	1204.2	1588.2	1316.64	1719.76	2152.47
21.00	871.0	1209.1	1595.3	1328.47	1738.25	2179.10
22.00	871.0	1209.1	1595.4	1340.31	1756.75	2205.73
23.00	874.1	1213.9	1602.2	1352.14	1775.24	2232.36
24.00	1039.1	1421.0	1851.9	1363.98	1793.73	2258.99

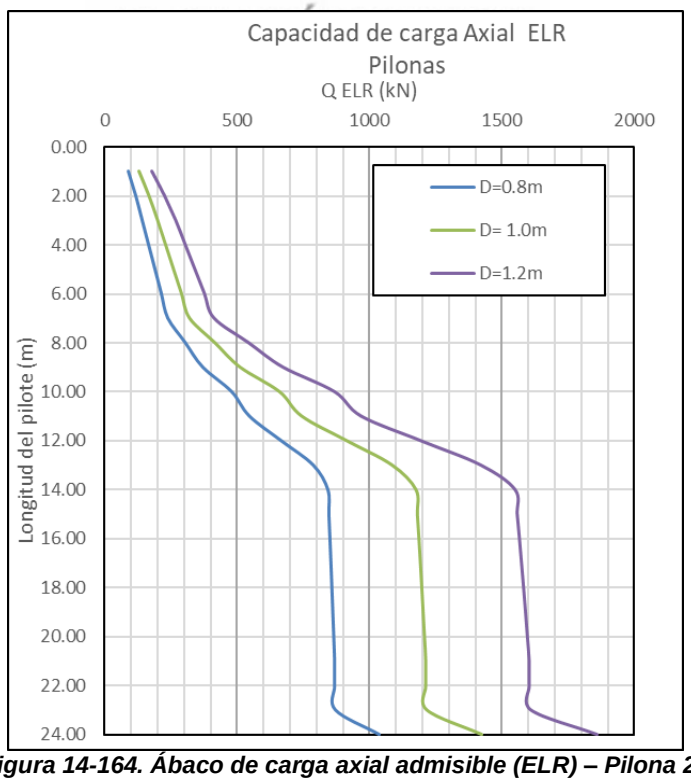


Figura 14-164. Ábaco de carga axial admisible (ELR) – Pilona 21

Adicionalmente en la Tabla 14-196 se presentan los resultados obtenidos para la carga axial admisible correspondiente al Estado Límite de Evento Extremo (ELEE) y en la Figura 14-165 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-196. Resumen de valores de carga axial admisible ELEE – Pilona 21

Longitud m	Carga axial admisible ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	219.7	317.3	432.0
2.00	283.1	402.7	541.9
3.00	336.8	476.0	637.1
4.00	390.5	543.1	717.6
5.00	444.2	610.2	798.2
6.00	497.9	677.3	878.7
7.00	551.6	744.5	959.3
8.00	709.5	974.3	1274.1
9.00	867.3	1204.2	1589.0
10.00	1120.6	1553.3	2047.1
11.00	1269.8	1739.8	2270.8
12.00	1553.4	2136.3	2797.1
13.00	1840.2	2537.8	3330.4
14.00	1981.1	2757.9	3647.4
15.00	1990.6	2772.9	3669.0
16.00	2000.1	2787.7	3690.3
17.00	2009.3	2802.0	3710.9
18.00	2018.0	2815.7	3730.6
19.00	2026.5	2828.9	3749.6
20.00	2034.6	2841.6	3768.0
21.00	2042.5	2854.0	3785.7
22.00	2042.6	2854.1	3785.9
23.00	2050.3	2866.0	3803.1
24.00	2057.7	2877.6	3819.8

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

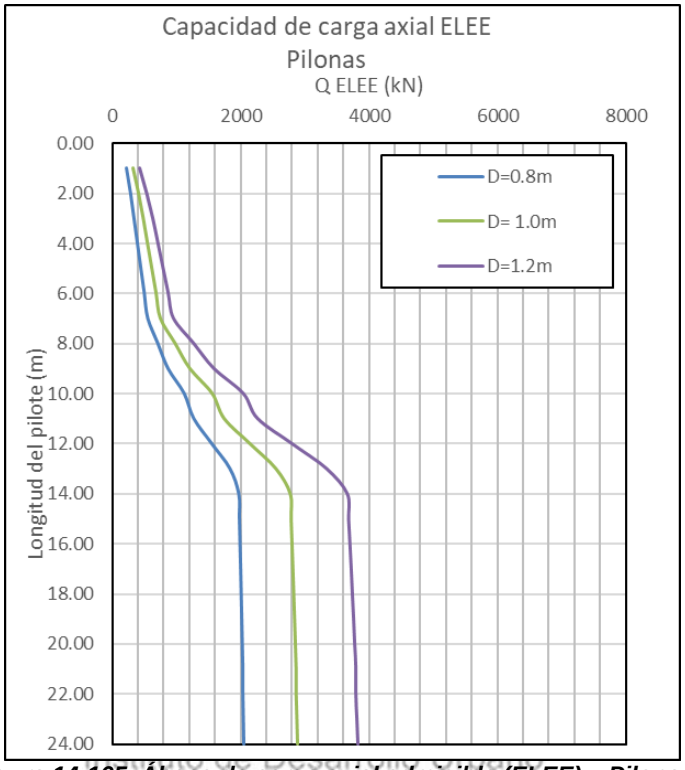


Figura 14-165. Ábaco de carga axial admisible (ELEE) – Pilona 21

Las cargas admisibles para el Estado Límite de Servicio (ELS), se presentan en la Tabla 14-197 y en la Figura 14-165 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-197. Resumen de valores de carga axial admisible ELS – Pilona 21

Longitud m	Carga admisible axial ELS para 20 mm (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	90.6	130.3	176.8
2.00	118.6	167.8	224.8
3.00	142.8	200.5	266.9
4.00	167.0	230.7	303.2
5.00	191.1	260.9	339.4
6.00	215.3	291.1	375.6
7.00	239.4	321.3	411.9
8.00	305.3	416.6	541.9
9.00	371.1	511.9	671.8
10.00	479.9	660.9	866.3
11.00	547.0	744.8	966.9
12.00	667.9	912.7	1188.6
13.00	790.1	1082.6	1413.2
14.00	846.4	1170.7	1540.0
15.00	850.3	1176.7	1548.6
16.00	854.1	1182.6	1557.1
17.00	857.7	1188.3	1565.3

Longitud m	Carga admisible axial ELS para 20 mm (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
18.00	861.2	1193.8	1573.2
19.00	864.6	1199.1	1580.8
20.00	864.6	1199.1	1580.9
21.00	867.9	1204.2	1588.3
22.00	871.0	1209.1	1595.4
23.00	874.1	1213.9	1602.2
24.00	1039.1	1421.0	1851.9

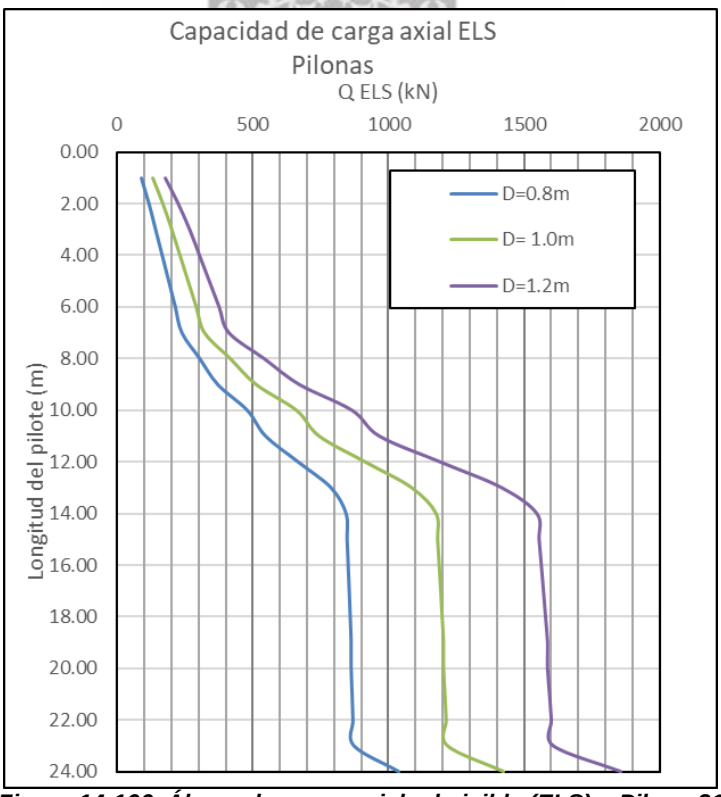


Figura 14-166. Ábaco de carga axial admisible (ELS) – Pilona 21

En la Tabla 14-198 Se presentan los valores de capacidad de carga lateral para cada uno de los diferentes diámetros, con respecto a los Estados Límite de Resistencia y a los Estados Límite de Evento Extremo y en la Figura 14-167 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-198. Resumen de valores de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 21

Longitud m	Carga horizontal ELR y ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	-33.6	-146.8	-302.0
2.00	313.1	286.5	218.0
3.00	704.5	775.8	805.1
4.00	1140.6	1320.9	1459.2

Longitud m	Carga horizontal ELR y ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
5.00	1615.5	1929.2	2189.3
6.00	1896.0	2543.5	2989.9
7.00	2176.3	2894.2	3712.7
8.00	2456.3	3244.6	4133.5
9.00	2736.3	3594.8	4554.0
10.00	3453.6	4472.9	5585.7
11.00	4181.7	5367.9	6641.6
12.00	4917.8	6275.5	7715.6
13.00	5660.2	7192.9	8803.7
14.00	7401.6	9331.3	11323.9
15.00	9159.3	11495.3	13881.0
16.00	10930.7	13680.8	16469.1
17.00	12713.0	15883.3	19081.6
18.00	14504.4	18099.9	21714.6
19.00	16303.4	20328.5	24364.6
20.00	7131.0	22567.2	27029.3
21.00	7443.2	18192.8	29706.5
22.00	7727.1	13696.3	21833.8
23.00	7986.2	14156.1	22567.4
24.00	8223.8	14577.5	23239.8

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

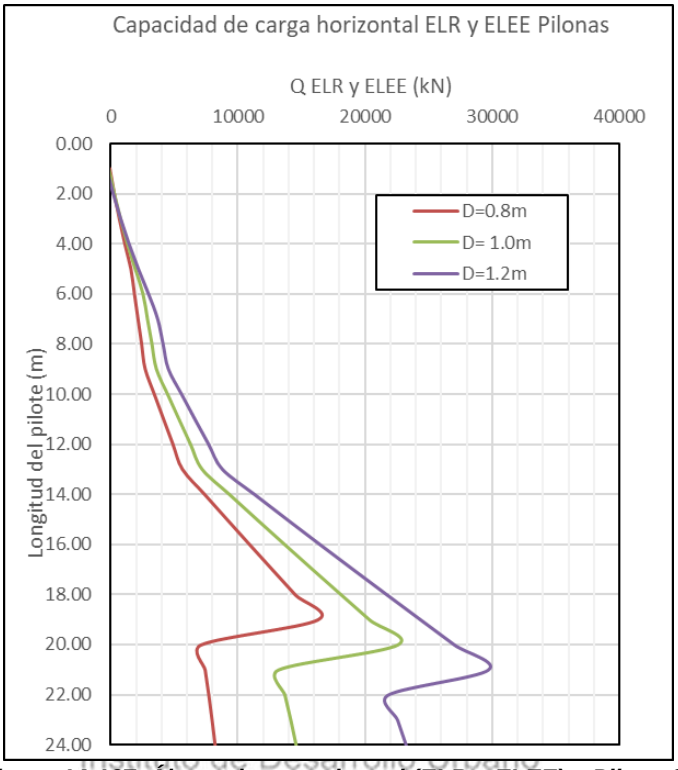


Figura 14-167. Ábaco de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 21

Adicionalmente en la Tabla 14-199 se muestran los resultados de capacidad de carga lateral para los diferentes diámetros con respecto a los valores de Estado Límite de Servicio y en la Figura 14-168 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-199. Resumen de valores de carga lateral (ELS) – Pilona 21

Longitud m	Carga horizontal ELS para 20 mm(kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	-33.6	-146.8	-302.0
2.00	313.1	286.5	218.0
3.00	704.5	775.8	805.1
4.00	1140.6	1320.9	1459.2
5.00	1137.5	1929.2	1941.6
6.00	1137.5	1421.9	2333.8
7.00	1137.5	1421.9	1696.4
8.00	1137.5	1421.9	1696.4
9.00	1137.5	1421.9	1696.4
10.00	1284.6	1608.2	1922.0
11.00	1402.3	1755.3	2098.5
12.00	1490.5	1863.1	2235.8
13.00	1578.8	1961.2	2353.4
14.00	1843.5	2314.2	2775.1
15.00	2069.1	2588.8	3108.5
16.00	2265.2	2814.3	3392.9
17.00	2431.9	3020.2	3638.0

Longitud m	Carga horizontal ELS para 20 mm(kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
18.00	2569.2	3216.4	3853.8
19.00	2696.7	3353.7	4030.3
20.00	2794.7	3510.5	4216.6
21.00	2892.8	3638.0	4363.7
22.00	2990.8	3745.9	4501.0
23.00	3079.1	3844.0	4618.6
24.00	3137.9	3942.0	4716.7

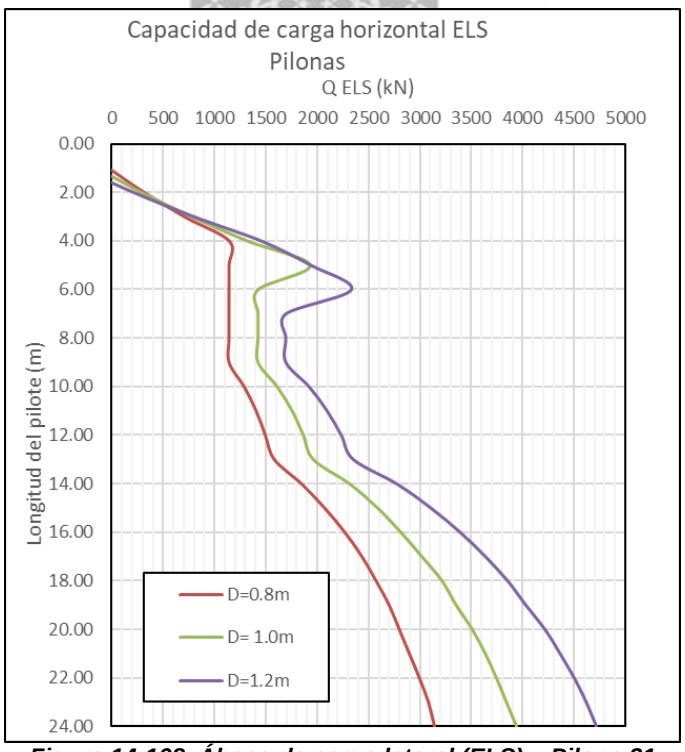


Figura 14-168. Ábaco de carga lateral (ELS) – Pilona 21

14.22.3 Módulo de reacción horizontal y vertical

En la Tabla 14-200 se presentan los valores de los módulos de reacción vertical y horizontal, para cada uno de los diámetros contemplados y la Figura 14-169 se muestra la variación con la profundidad valores que pueden ser utilizados para la elaboración del modelo de diseño estructural.

Tabla 14-200. Resumen de valores módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 21

Longitud (m)	Diámetro = 0.8 m		Diámetro = 1.0 m		Diámetro = 1.2 m	
	kh (kN/m^3)	kv (kN/m^3)	kh (kN/m^3)	kv (kN/m^3)	kh (kN/m^3)	kv (kN/m^3)
1.00	28995	34112	23196	27289	19330	22741
2.00	28995	34112	23196	27289	19330	22741
3.00	28995	34112	23196	27289	19330	22741

Longitud (m)	Diámetro = 0.8 m		Diámetro = 1.0 m		Diámetro = 1.2 m	
	kh (kN/m³)	kv (kN/m³)	kh (kN/m³)	kv (kN/m³)	kh (kN/m³)	kv (kN/m³)
4.00	28995	34112	23196	27289	19330	22741
5.00	28995	34112	23196	27289	19330	22741
6.00	28995	34112	23196	27289	19330	22741
7.00	28995	34112	23196	27289	19330	22741
8.00	28995	34112	23196	27289	19330	22741
9.00	28995	34112	23196	27289	19330	22741
10.00	80549	94764	64439	75811	53700	63176
11.00	80549	94764	64439	75811	53700	63176
12.00	80549	94764	64439	75811	53700	63176
13.00	80549	94764	64439	75811	53700	63176
14.00	193318	227434	154655	181947	128879	151623
15.00	193318	227434	154655	181947	128879	151623
16.00	193318	227434	154655	181947	128879	151623
17.00	193318	227434	154655	181947	128879	151623
18.00	193318	227434	154655	181947	128879	151623
19.00	193318	227434	154655	181947	128879	151623
20.00	193318	227434	154655	181947	128879	151623
21.00	193318	227434	154655	181947	128879	151623
22.00	193318	227434	154655	181947	128879	151623
23.00	193318	227434	154655	181947	128879	151623
24.00	193318	227434	154655	181947	128879	151623

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

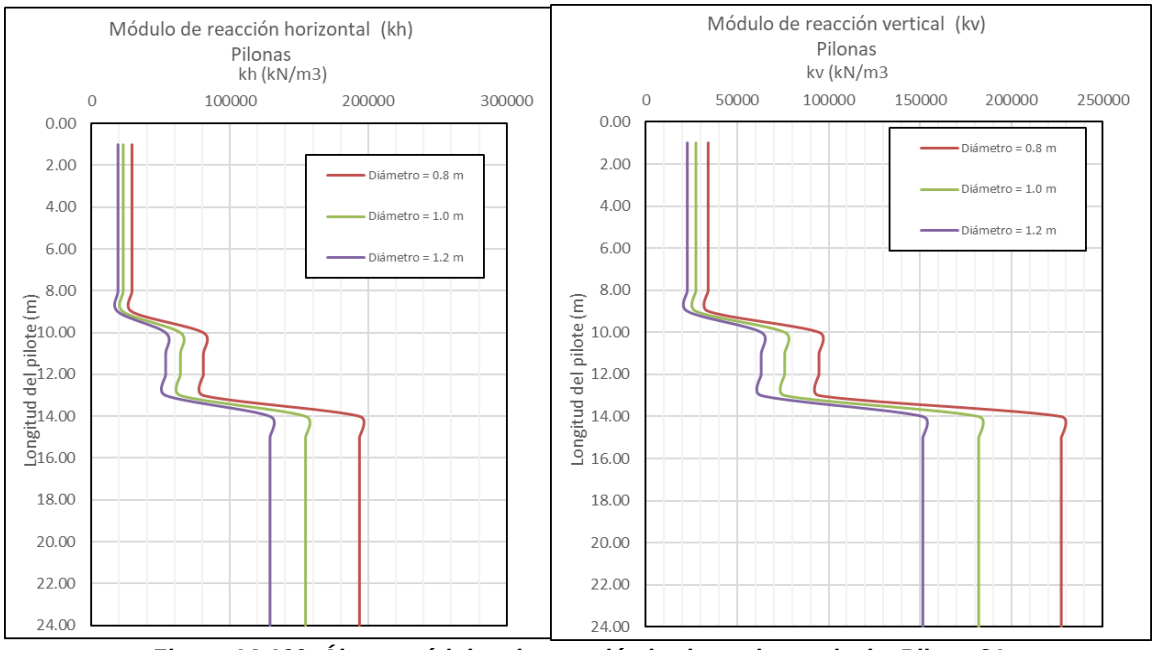


Figura 14-169. Ábaco módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 21

14.22.4 Recomendaciones de cimentación para obras menores

A partir del diseño de urbanismo se logro identificar la presencia de muros con alturas hasta de 3.0m y estructuras menores en la zona donde se dispondra la pilona. Estos deberán ser apoyados por medio de cimientos superficiales con una profundidad de desplante minima de 0.5m, apoyado sobre el material denominado *arcilla limo arenosa ocre con fragmentos de arenisca de grano fino, pintas de óxido, humedad natural baja y consistencia firme*, garantizando que los cimientos no quedaran apoyados sobre rellenos antropicos, en dado caso que se evidencie este tipo de material, deberá ser retirado y dispuesto un material de relleno seleccionado compactado al 95%.

Para los muros de contención con alturas de hasta 3.0 m, se incluye en el ANEXO D. memorias de cálculo, el predimensionamiento de estos muros y la evaluación de los factores de seguridad al deslizamiento y volcamiento.

14.22.4.1 Capacidad de carga y asentamientos obras de urbanismo.

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Según el perfil estratigráfico típico de la zona en donde se proyecta la pilona 21 obtenido de la campaña de exploración geotécnica, se presenta a continuación la capacidad de carga y asentamientos.

El análisis de resistencia se realizó mediante la ecuación general de capacidad portante. Los factores de capacidad portante y los factores de corrección por forma, profundidad de cimentación, excentricidad e inclinación de la carga, fueron establecidos mediante las propuestas de Meyerhoff (1963), Hansen y Vesic (1970) y Chen (1975).

Para el cálculo de la capacidad portante de cimentaciones superficiales se utilizó la ecuación general de capacidad portante.

$$\sigma_{adm} = \frac{1}{F.S.}\left(cN_c s_c d_c + qN_q s_q d_q + \frac{1}{2}\gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma\right)$$

Con el fin de considerar la incidencia de la geometría de la fundación y la profundidad de desplante se llevó a cabo un análisis de sensibilidad en el cual se contemplaron diferentes dimensiones de cimiento y relaciones ancho/largo (B/L). Los valores presentados a continuación corresponden a la capacidad de carga del cimiento superficial. Para propositos del diseño se toma una capacidad de carga de 88.0 kPa.

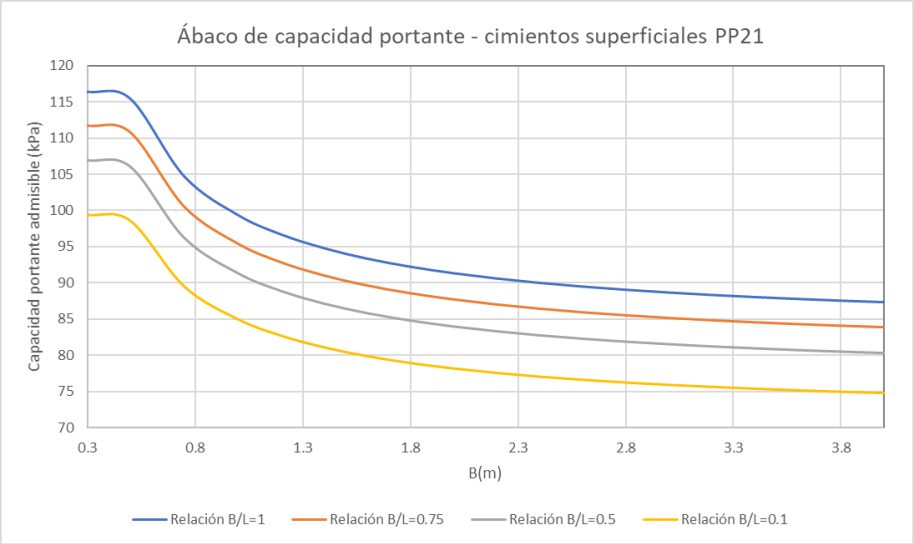


Figura 14-170. Capacidad de carga para cimientos superficiales pilona 21

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

El análisis de asentamientos se llevó a cabo mediante la Teoría Elástica y fue realizado de acuerdo con las propuestas existentes, fundamentadas en correlaciones entre el módulo de elasticidad, la relación de Poisson del material de fundación y coeficientes en función de la geometría del cimiento.

Con base en lo anterior, han sido determinados los asentamientos elásticos máximos esperados para las estructuras menoras proyectadas en la zona donde se dispondrá la pilona 21.

Tabla 14-201. Asentamientos cimientos superficiales Pilona 21.

Pilona	Asentamiento maximo esperado (cm)
21	1.63

14.22.4.2 Coeficientes de presión de tierras

Para el diseño de los elementos estructurales que soportan la acción de cargas generadas por los materiales de relleno, han sido realizados los análisis de esfuerzos laterales, los cuales fueron evaluados mediante la teoría clásica de Rankine.

De la misma forma con base en la formulación pseudo-estática propuesta por Mononobe – Okabe, fueron determinados los coeficientes de presión de tierras para condición dinámica.

De acuerdo a lo anterior, se recomienda utilizar diagramas de presiones laterales triangulares, propias de suelos friccionantes, considerando los siguientes parámetros:

Tabla 14-202. Coeficientes de presión de tierras

Aceleración Aa	0,22
Peso unitario del material de relleno	19 kN/m3
Ángulo de fricción interno	32°
Coeficiente de presión activa (Ka)	0,30
Coediciente de presión activo dinámico (Kae)	0,40

Se recomiendan materiales de relleno tipo seleccionado, los cuales deberán seleccionarse de acuerdo con los lineamientos establecidos por el artículo No. 610 del INVIAS.

Recomendaciones

- Para los muros de contención se deben incluir filtros en el trasdós, esto con el fin de que se evacuen las aguas residuales hacia los sistemas de drenajes, para evitar la acumulación de estas en la cara del muro, las cuales pueden ocasionar afectaciones a la estructura.
- Las caras de los cortes y la base de fundación de los cimientos, deberán ser protegidos con mortero para evitar la degradación de estas por presencia de aguas superficiales.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

14.23 PILONA 22

Se modelaron cimentaciones profundas debido a la naturaleza de las cargas a las cuales serán sometidas las estructuras. Para ello se consideraron diámetros de 0.8 m 1.0 m y 1.2 m. Adicionalmente, se realizó una verificación por carga lateral por el método de Broms.

14.23.1 Recomendaciones generales

A partir del suelo encontrado en la zona de estudio, se definieron las siguientes recomendaciones generales para la pilona 22.

Tabla 14-203. Recomendaciones generales pilona 22

Suelo de fundación en la base	Prof. mínima base del pilote respecto a nivel de terreno (m)	Prof. mínima de desplante del dado respecto a nivel del terreno (m)	Observaciones
Arcilla roja con vetas gris claras de consistencia dura a muy dura	23	1.8	Profundiad de desplante del dado mínimo, para garantizar un nivel de suelo homogéneo.

14.23.2 Capacidad

En la Tabla 14-204 se presentan los resultados de la carga axial admisible y carga de tracción para el Estado Límite de Resistencia (ELR) y en la Figura 14-171 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-204. Resumen de valores de carga axial admisible y carga por tracción ELR – Pilona 22

Longitud m	Carga axial admisible ELR (kN)			Carga admisible por tracción ELR (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	161.0	231.6	314.4	107.30	137.82	169.83
2.00	210.9	298.3	399.7	214.60	275.65	339.65
3.00	277.3	393.0	527.2	321.90	413.47	509.48
4.00	343.7	483.3	644.4	429.20	551.29	679.30
5.00	434.2	603.8	797.8	590.20	756.24	929.67
6.00	501.4	687.7	898.5	751.20	961.18	1180.05
7.00	568.5	771.6	999.2	912.19	1166.13	1430.42
8.00	635.6	855.5	1099.9	1073.19	1371.08	1680.80
9.00	702.7	939.4	1200.5	1234.19	1576.02	1931.17
10.00	769.8	1023.3	1301.2	1395.19	1780.97	2181.54
11.00	837.0	1107.2	1401.9	1556.19	1985.92	2431.92
12.00	904.1	1191.1	1502.6	1717.19	2190.86	2682.29
13.00	971.2	1275.0	1603.3	1878.19	2395.81	2932.66
14.00	1077.4	1420.0	1791.8	2039.18	2600.76	3183.04
15.00	1183.6	1564.9	1980.4	2200.18	2805.70	3433.41
16.00	1325.9	1755.0	2223.2	2441.55	3111.11	3804.34
17.00	1429.2	1884.1	2378.1	2682.92	3416.52	4175.27
18.00	1532.5	2013.3	2533.1	2924.28	3721.92	4546.19
19.00	1635.8	2142.4	2688.0	3165.65	4027.33	4917.12
20.00	1739.1	2271.5	2842.9	3407.02	4332.74	5288.05
21.00	1842.4	2400.6	2997.9	3648.39	4638.15	5658.97
22.00	1945.7	2529.7	3152.8	3889.75	4943.55	6029.90
23.00	2048.9	2658.8	3307.7	4131.12	5248.96	6400.82
24.00	2152.2	2787.9	3462.7	4372.49	5554.37	6771.75

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

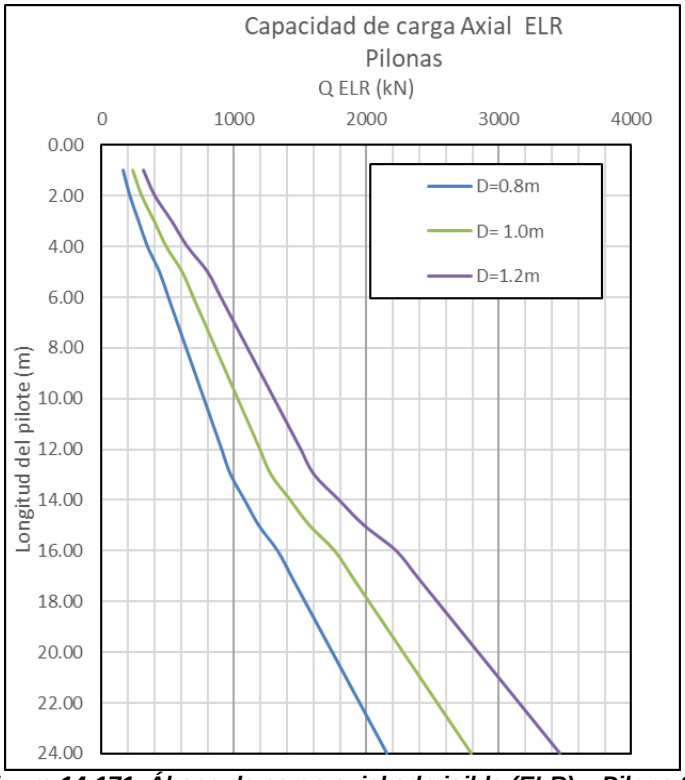


Figura 14-171. Ábaco de carga axial admisible (ELR) – Pilona 22

Adicionalmente en la Tabla 14-205 se presentan los resultados obtenidos para la carga axial admisible correspondiente al Estado Límite de Evento Extremo (ELEE) y en la Figura 14-172 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-205. Resumen de valores de carga axial admisible ELEE – Pilona 22

Longitud m	Carga axial admisible ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	390.5	564.1	768.1
2.00	503.4	716.0	963.3
3.00	657.4	937.7	1264.4
4.00	811.5	1148.6	1539.4
5.00	1019.2	1426.6	1894.9
6.00	1168.4	1613.0	2118.7
7.00	1317.5	1799.5	2342.4
8.00	1466.7	1985.9	2566.2
9.00	1615.9	2172.4	2789.9
10.00	1765.0	2358.8	3013.7
11.00	1914.2	2545.3	3237.4
12.00	2063.3	2731.7	3461.1
13.00	2212.5	2918.2	3684.9
14.00	2459.3	3257.2	4128.3
15.00	2706.1	3596.2	4571.7
16.00	3033.3	4035.7	5135.7
17.00	3262.8	4322.6	5480.0

Longitud m	Carga axial admisible ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
18.00	3492.3	4609.5	5824.3
19.00	3721.9	4896.4	6168.6
20.00	3951.4	5183.3	6512.9
21.00	4180.9	5470.3	6857.2
22.00	4410.5	5757.2	7201.5
23.00	4640.0	6044.1	7545.8
24.00	4869.5	6331.0	7890.1

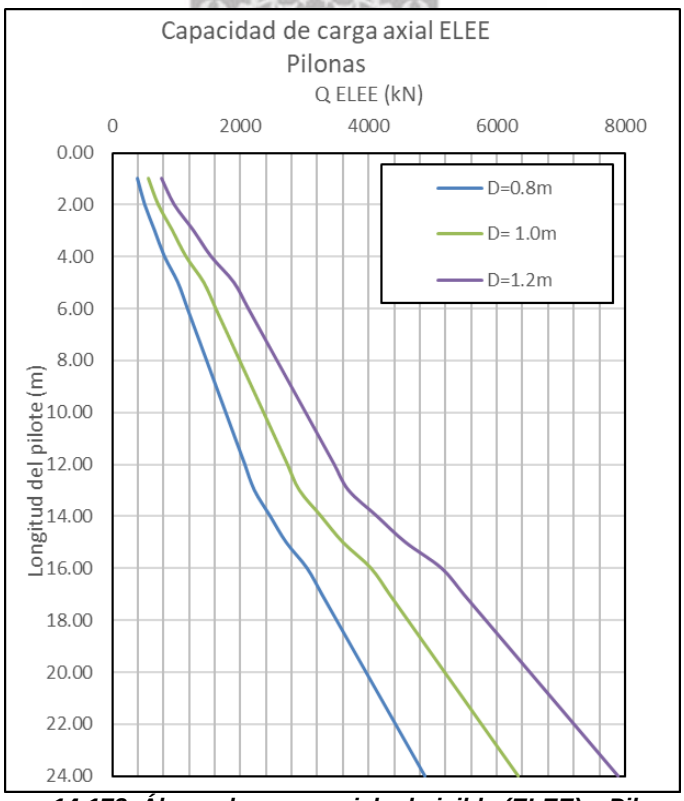


Figura 14-172. Ábaco de carga axial admisible (ELEE) – Pilona 22

Las cargas admisibles para el Estado Límite de Servicio (ELS), se presentan en la Tabla 14-206 y en la Figura 14-173 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-206. Resumen de valores de carga axial admisible ELS – Pilona 22

Longitud m	Carga admisible axial ELS para 20 mm (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	161.0	231.6	314.4
2.00	210.9	298.3	399.7
3.00	277.3	393.0	527.2
4.00	343.7	483.3	644.4
5.00	434.2	603.8	797.8
6.00	501.4	687.7	898.5

Longitud m	Carga admisible axial ELS para 20 mm (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
7.00	568.5	771.6	999.2
8.00	635.6	855.5	1099.9
9.00	702.7	939.4	1200.5
10.00	769.8	1023.3	1301.2
11.00	837.0	1107.2	1401.9
12.00	904.1	1191.1	1502.6
13.00	971.2	1275.0	1603.3
14.00	1077.4	1420.0	1791.8
15.00	1183.6	1564.9	1980.4
16.00	1325.9	1755.0	2223.2
17.00	1429.2	1884.1	2378.1
18.00	1532.5	2013.3	2533.1
19.00	1635.8	2142.4	2688.0
20.00	1739.1	2271.5	2842.9
21.00	1842.4	2400.6	2997.9
22.00	1945.7	2529.7	3152.8
23.00	2048.9	2658.8	3307.7
24.00	2152.2	2787.9	3462.7

ALCALDÍA MAYOR

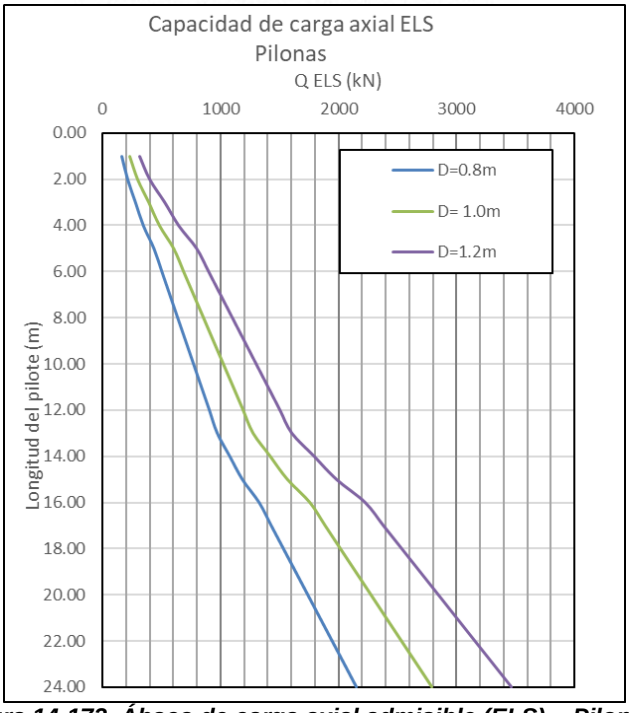


Figura 14-173. Ábaco de carga axial admisible (ELS) – Pilona 22

En la Tabla 14-207 se presentan los valores de capacidad de carga lateral para cada uno de los diferentes diámetros, con respecto a los Estados Límite de Resistencia y a los Estados Límite de Evento Extremo y en la Figura 14-174 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-207. Resumen de valores de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 22

Longitud m	Carga horizontal ELR y ELEE (kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	-77.1	-282.7	-562.9
2.00	487.1	422.4	283.3
3.00	1095.9	1183.5	1196.5
4.00	1749.5	2000.4	2176.8
5.00	2654.4	3125.3	3501.5
6.00	3387.2	4291.0	4947.0
7.00	4132.5	5213.0	6343.5
8.00	4885.6	6147.3	7456.0
9.00	5644.0	7089.6	8580.1
10.00	6406.0	8037.7	9712.4
11.00	7170.7	8989.8	10850.6
12.00	7937.4	9945.1	11993.3
13.00	8705.6	10902.8	13139.4
14.00	9475.0	11862.3	14288.2
15.00	10245.4	12823.4	15439.2
16.00	11448.0	14314.3	17213.5
17.00	12655.3	15812.5	18998.3
18.00	13866.5	17316.8	20791.9
19.00	15081.0	18826.3	22592.9
20.00	6453.0	20340.2	24400.2
21.00	6589.2	11677.8	26212.9
22.00	6713.0	11897.5	28030.3
23.00	6826.1	12098.0	19283.7
24.00	6929.7	12281.9	19577.1

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

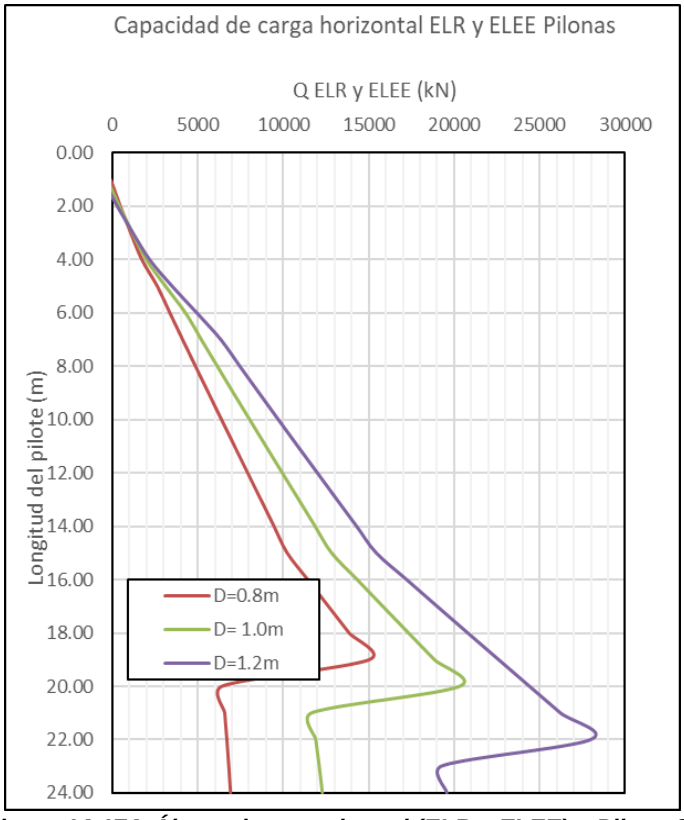


Figura 14-174. Ábaco de carga lateral (ELR y ELEE) – Pilona 22

Adicionalmente en la Tabla 14-208, se muestran los resultados de capacidad de carga lateral para los diferentes diámetros con respecto a los valores de Estado Límite de Servicio y en la Figura 14-175 se presenta la gráfica de variación de la resistencia con la respecto a la longitud.

Tabla 14-208. Resumen de valores de carga lateral (ELS) – Pilona 22

Longitud m	Carga horizontal ELS para 20 mm(kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
1.00	-77.1	-282.7	-562.9
2.00	487.1	422.4	283.3
3.00	1095.9	1183.5	1196.5
4.00	1749.5	2000.4	2176.8
5.00	1892.6	2373.1	3501.5
6.00	1980.8	2490.7	2990.8
7.00	2049.5	2569.2	3088.9
8.00	2108.3	2637.8	3157.5
9.00	2147.5	2686.8	3216.4
10.00	2176.9	2716.3	3265.4
11.00	2196.5	2745.7	3304.6
12.00	2216.2	2775.1	3334.0

Longitud m	Carga horizontal ELS para 20 mm(kN)		
	D=0.8m	D= 1.0m	D=1.2m
13.00	2235.8	2784.9	3363.5
14.00	2255.4	2804.5	3383.1
15.00	2265.2	2814.3	3402.7
16.00	2343.6	2932.0	3520.4
17.00	2422.1	3010.4	3628.2
18.00	2480.9	3088.9	3726.3
19.00	2539.8	3167.3	3804.7
20.00	2588.8	3236.0	3883.2
21.00	2628.0	3294.8	3951.8
22.00	2657.4	3343.8	4010.7
23.00	2706.5	3383.1	4069.5
24.00	2735.9	3422.3	4118.5

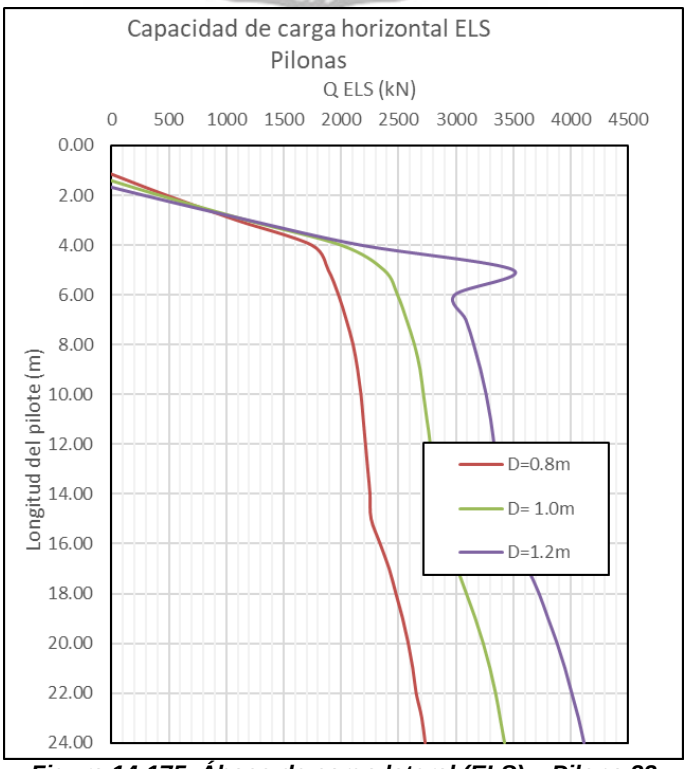


Figura 14-175. Ábaco de carga lateral (ELS) – Pilona 22

14.23.3 Módulo de reacción horizontal y vertical

En la Tabla 14-209 se presentan los valores de los módulos de reacción vertical y horizontal, para cada uno de los diámetros contemplados y la Figura 14-176 se muestra la variación con la profundidad valores que pueden ser utilizados para la elaboración del modelo de diseño estructural.

Tabla 14-209. Resumen de valores módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 22

Longitud (m)	Diámetro = 0.8 m		Diámetro = 1.0 m		Diámetro = 1.2 m	
	kh (kN/m³)	kv (kN/m³)	kh (kN/m³)	kv (kN/m³)	kh (kN/m³)	kv (kN/m³)
1.00	51554	60652	41244	48522	34370	40435
2.00	51554	60652	41244	48522	34370	40435
3.00	51554	60652	41244	48522	34370	40435
4.00	51554	60652	41244	48522	34370	40435
5.00	80549	94764	64439	75811	53700	63176
6.00	80549	94764	64439	75811	53700	63176
7.00	80549	94764	64439	75811	53700	63176
8.00	80549	94764	64439	75811	53700	63176
9.00	80549	94764	64439	75811	53700	63176
10.00	80549	94764	64439	75811	53700	63176
11.00	80549	94764	64439	75811	53700	63176
12.00	80549	94764	64439	75811	53700	63176
13.00	80549	94764	64439	75811	53700	63176
14.00	80549	94764	64439	75811	53700	63176
15.00	80549	94764	64439	75811	53700	63176
16.00	128850	151588	103080	121271	85900	101059
17.00	128850	151588	103080	121271	85900	101059
18.00	128850	151588	103080	121271	85900	101059
19.00	128850	151588	103080	121271	85900	101059
20.00	128850	151588	103080	121271	85900	101059
21.00	128850	151588	103080	121271	85900	101059
22.00	128850	151588	103080	121271	85900	101059
23.00	128850	151588	103080	121271	85900	101059
24.00	128850	151588	103080	121271	85900	101059

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

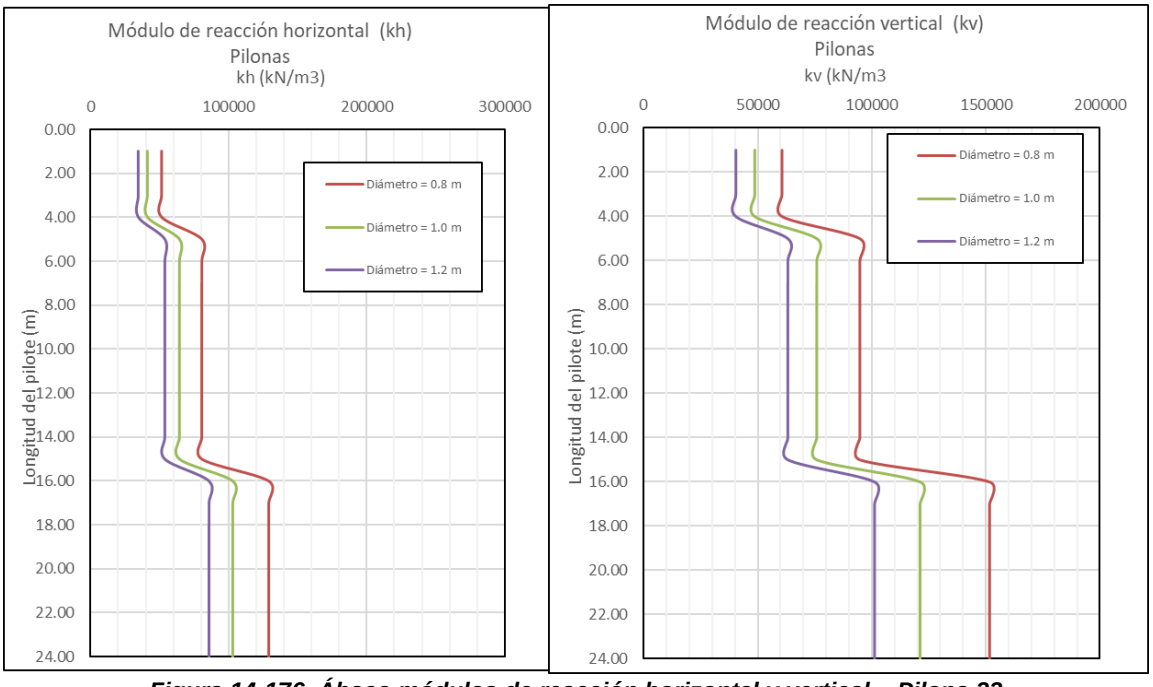


Figura 14-176. Ábaco módulos de reacción horizontal y vertical – Pilona 22

14.23.4 Recomendaciones de cimentación para obras menores

A partir del diseño de urbanismo se logro identificar la presencia de muros con alturas hasta de 3.0m y estructuras menores en la zona donde se dispondra la pilona. Estos deberán ser apoyados por medio de cimientos superficiales con una profundidad de desplante minima de 0.5m, apoyado sobre el material denominado *limo arcilloso y arcilla limosa marrón claro con bastante óxido, fisurado, humedad baja y consistencia firme*, garantizando que los cimientos no quedaran apoyados sobre rellenos antropicos, en dado caso que se evidencie este tipo de material, deberá ser retirado y dispuesto un material de relleno seleccionado compactado al 95%.

Para los muros de contención con alturas de hasta 3.0 m, se incluye en el ANEXO D. memorias de cálculo, el predimensionamiento de estos muros y la evaluación de los factores de seguridad al deslizamiento y volcamiento.

14.23.4.1 Capacidad de carga y asentamientos obras de urbanismo.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

Según el perfil estratigráfico típico de la zona en donde se proyecta la pilona 22 obtenido de la campaña de exploración geotécnica, se presenta a continuación la capacidad de carga y asentamientos.

El análisis de resistencia se realizó mediante la ecuación general de capacidad portante. Los factores de capacidad portante y los factores de corrección por forma, profundidad de cimentación, excentricidad e inclinación de la carga, fueron establecidos mediante las propuestas de Meyerhoff (1963), Hansen y Vesic (1970) y Chen (1975).

Para el cálculo de la capacidad portante de cimentaciones superficiales se utilizó la ecuación general de capacidad portante.

$$\sigma_{adm} = \frac{1}{F.S.}\left(cN_c s_c d_c + qN_q s_q d_q + \frac{1}{2}\gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma\right)$$

Con el fin de considerar la incidencia de la geometría de la fundación y la profundidad de desplante se llevó a cabo un análisis de sensibilidad en el cual se contemplaron diferentes dimensiones de cimiento y relaciones ancho/largo (B/L). Los valores presentados a continuación corresponden a la capacidad de carga del cimiento superficial. Para propositos del diseño se toma una capacidad de carga de 155.5 kPa.

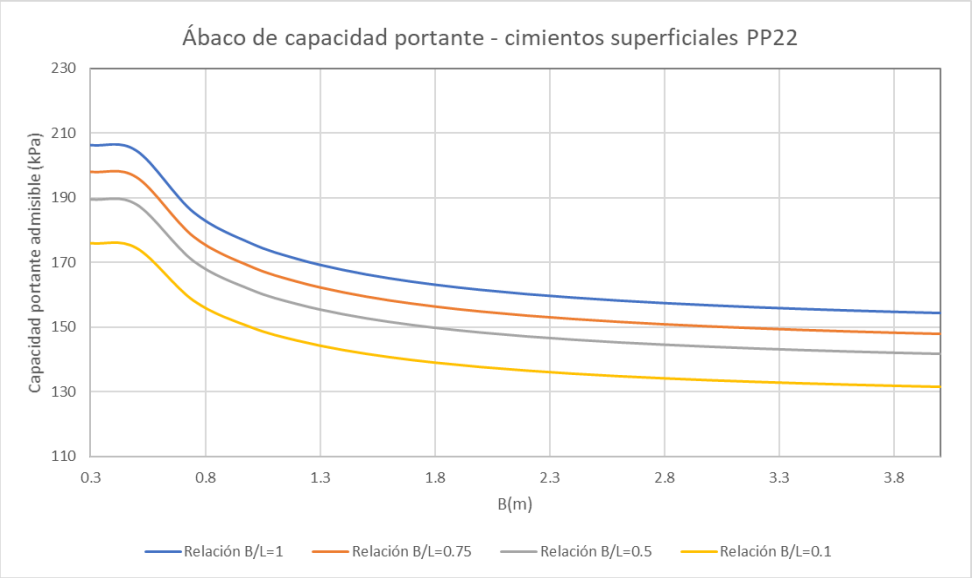


Figura 14-177. Capacidad de carga para cimientos superficiales pilona 22

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

El análisis de asentamientos se llevó a cabo mediante la Teoría Elástica y fue realizado de acuerdo con las propuestas existentes, fundamentadas en correlaciones entre el módulo de elasticidad, la relación de Poisson del material de fundación y coeficientes en función de la geometría del cimiento.

Con base en lo anterior, han sido determinados los asentamientos elásticos máximos esperados para las estructuras menoras proyectadas en la zona donde se dispondrá la pilona 22.

Tabla 14-210. Asentamientos cimientos superficiales Pilona 22.

Pilona	Asentamiento maximo esperado (cm)
22	1.61

14.23.4.2 Coeficientes de presión de tierras

Para el diseño de los elementos estructurales que soportan la acción de cargas generadas por los materiales de relleno, han sido realizados los análisis de esfuerzos laterales, los cuales fueron evaluados mediante la teoría clásica de Rankine.

De la misma forma con base en la formulación pseudo-estática propuesta por Mononobe – Okabe, fueron determinados los coeficientes de presión de tierras para condición dinámica.

De acuerdo a lo anterior, se recomienda utilizar diagramas de presiones laterales triangulares, propias de suelos friccionantes, considerando los siguientes parámetros:

Tabla 14-211. Coeficientes de presión de tierras

Aceleración Aa	0,22
Peso unitario del material de relleno	19 kN/m3
Ángulo de fricción interno	32°
Coeficiente de presión activa (Ka)	0,30
Coediciente de presión activo dinámico (Kae)	0,40

Se recomiendan materiales de relleno tipo seleccionado, los cuales deberán seleccionarse de acuerdo con los lineamientos establecidos por el artículo No. 610 del INVIAS.

Recomendaciones

- Para los muros de contención se deben incluir filtros en el trasdós, esto con el fin de que se evacuen las aguas residuales hacia los sistemas de drenajes, para evitar la acumulación de estas en la cara del muro, las cuales pueden ocasionar afectaciones a la estructura.
- Las caras de los cortes y la base de fundación de los cimientos, deberán ser protegidos con mortero para evitar la degradación de estas por presencia de aguas superficiales.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

15 CIMENTACIONES DE REDES

15.1 CAPACIDAD PORTANTE

La capacidad de soporte neta se define como el peso total de la tubería llena de agua hasta su máximo nivel, incrementado por el peso de la cimentación y el peso del relleno sobre esta, restando el peso unitario del suelo excavado en el ancho de la zanja, correspondiente al peso unitario del suelo existente.

Para las tres estaciones se realizó el cálculo de la capacidad de soporte neta del terreno sobre el suelo de fundación; de acuerdo con esto, para ninguno de los casos el esfuerzo generado por la combinación de carga viva y muerta sobre el suelo de fundación, deberá superar la capacidad mencionada anteriormente. En el ANEXO I se presenta el calculo de la misma.

Tabla 15-1. Capacidad portante redes

Estación	Tipo de red	Prof. apoyo minima (m)	q_{adm} (kN/m^2)
Portal 20 de julio	Combinada	1.27	195.0
La Victoria	Pluvial y sanitaria	1.37	126.1
Altamira	Pluvial y sanitaria	1.40	83.2

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

15.2 CIMENTACIÓN

De acuerdo con el tipo de tuberías (diámetro, material, etc.) y la profundidad de apoyo de las mismas, se realizó el análisis de cargas y se obtuvo el tipo de cimentación más adecuado. En el ANEXO I aparece discriminado para cada una de las estaciones y los tramos, la evaluación de cargas, la profundidad y el tipo de cimentación recomendada.

El análisis de cargas muertas causadas por el peso del suelo se hizo considerando el peso del prisma del suelo directamente sobre la tubería, menos las fuerzas cortantes de fricción que se transfieren a este prisma por los suelos adyacentes. En cuanto al análisis de cargas vivas debidas al tránsito, se realizó un análisis como se estipula en el Numeral 4.6.3. de la Norma NS-035 de la EAB-ESP, según el cual el camión de diseño es el C40-95 que aplica una carga de 8000 Kg en un área de 0.25 x 0.50 m. En el proyecto no se presupuesta que existan otras cargas que puedan afectar a las tuberías.

Por otra parte, se determinó que la tubería cumpliera con la condición límite de deflexión y pandeo, exigidas por la Normalización Técnica de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (NS-035) para tuberías de PVC. Los materiales a utilizar para la cimentación de las tuberías y los rellenos sobre estas deberán cumplir las normas y especificaciones vigentes de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. De esta manera, la cimentación a implementar se presenta en el ANEXO I.

Finalmente, teniendo en cuenta el diseño y materiales de cimentación para tuberías recomendados en la norma NS-035, se presenta el diseño tipico de la misma. Los espesores para cada tramo de la red se pueden observar en el ANEXO I.

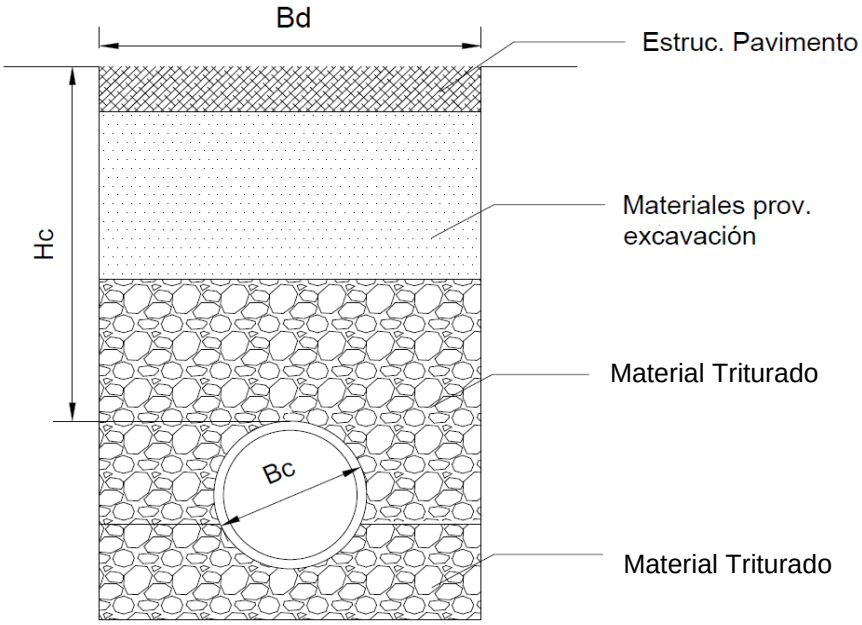


Figura 15-1. Cimentación recomendada para redes y drenajes

15.3 ENTIBADOS

Las excavaciones para las zanjas con alturas superiores a 1.00 m se realizarán en forma vertical empleando entibados dependiendo de la altura de la misma. Para las excavaciones con alturas hasta de 5m, se recomienda el entibados tipo EC3 continuo metálico con parales metálicos.

Esto con el fin de evitar deslizamientos, garantizar la seguridad para el personal de obra, además del manejo y operación segura de los equipos. Para los casos en los cuales se presencien en las excavaciones suelos naturales de densidad suelta, se debe poner a criterio del interventor de obra el uso de otro tipo de entibado siguiendo las especificaciones de la norma del acueducto.

En los casos que la condición límite de pandeo no cumpla, se debe emplear cárcamo de protección. Los esquemas de los entibados deberán cumplir las especificaciones de la norma NS-072 de la EAAB-ESP; podrán definirse de acuerdo con lo establecido en el ANEXO I

15.3.1 Altura crítica

En el ANEXO I se presenta la memoria respectiva para la determinación de la altura de excavación crítica para la red de cada estación, calculada mediante la siguiente ecuación.

$$Z_C = \frac{2 . Cu}{FS . \gamma}$$

En donde Cu es la resistencia al corte no drenado, FS el factor de seguridad y γ el peso unitario del suelo.

A continuacion, se presenta la altura critica para cada estación.

Tabla 15-2. Altura critica

Estación	Tipo de red	Zc (m)
Portal 20 de julio	Combinada	7.97
La Victoria	Pluvial y sanitaria	2.12
Altamira	Pluvial y sanitaria	1.33

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

16 ESTABILIDAD DE TALUDES

A continuación se presentan los correspondientes análisis de estabilidad para los cortes generados para la implantación de las obras proyectadas a lo largo de la zona de intervención.

16.1 ESTACIÓN LA VICTORIA

Para el análisis de estabilidad de la estación La Victoria, se tuvieron en cuenta las alturas de las excavaciones así como la de los rellenos proyectados en la zona. Se considero una etapa de construcción en la cual se evaluo la estabilidad de las excavaciones y posteriormente se considero la condicion final, en la que se evaluo la estabilidad de los rellenos para la conformacion e implantacion de las estación con sus respectivas obras de urbanismo, asi como tambien se incluyen las estructuras de contención (H=5.8m) para el sostenimiento de las excavaciones. Para la ejecución de los cortes de las excavaciones se debe considerar una pendiente minima de 2H:1V para una altura de 3.0 m.

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C.

A continuacion, se presentan los resultados de dichos análisis.

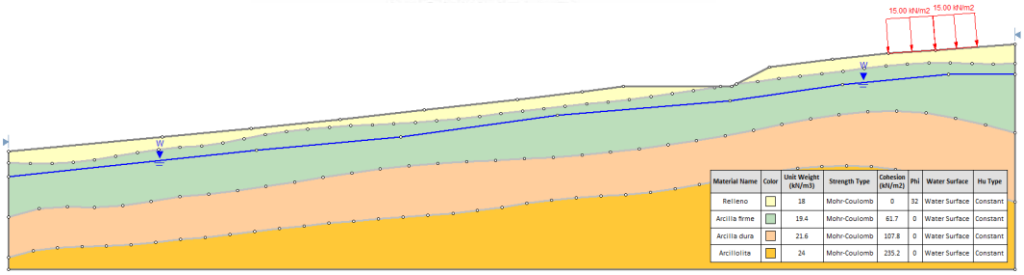


Figura 16-1. Sección de análisis construcción Estación La Victoria.

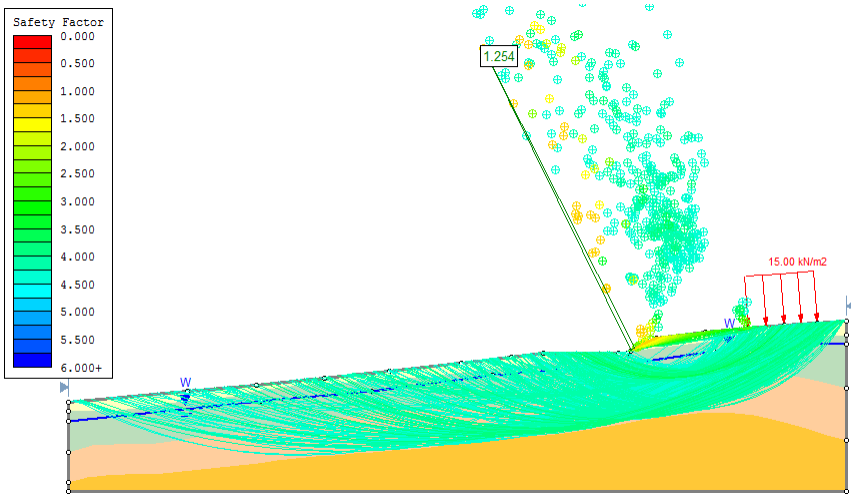


Figura 16-2. Análisis de estabilidad construcción estático F.S:1.25 – Estación La Victoria

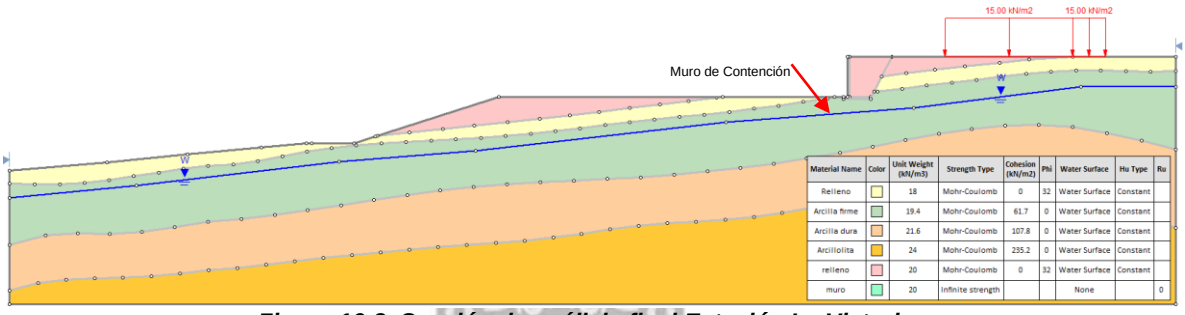


Figura 16-3. Sección de análisis final Estación La Victoria.

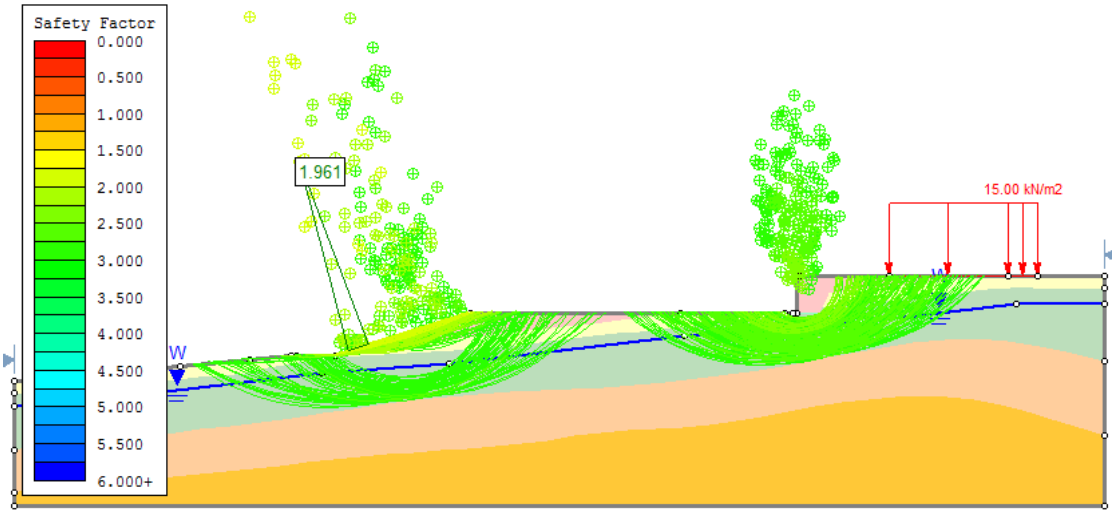


Figura 16-4. Análisis de estabilidad final estático F.S:1.96 – Estación La Victoria

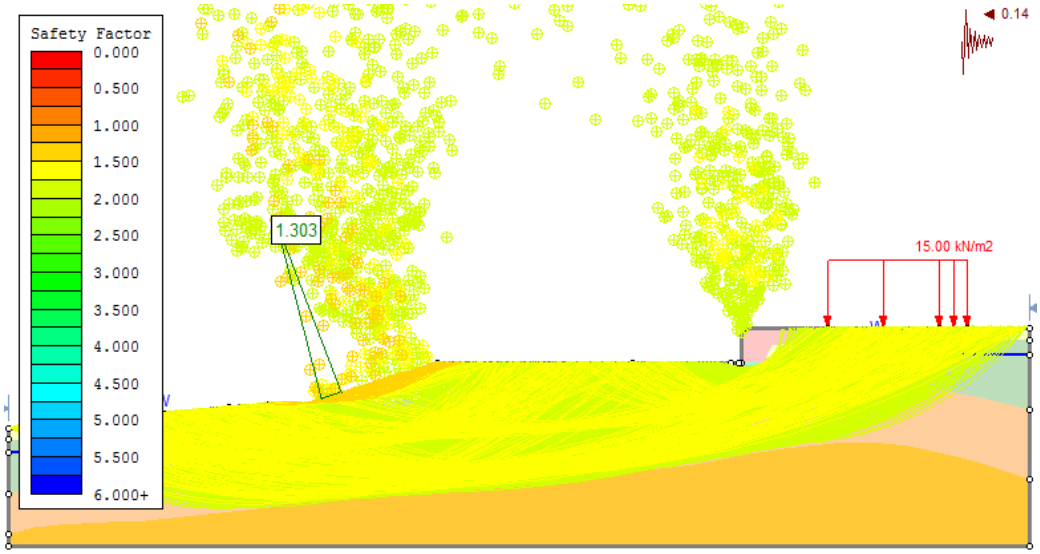


Figura 16-5. Análisis de estabilidad final pseudoestático F.S:1.30 – Estación La Victoria

16.2 ESTACIÓN ALTAMIRA

Se realizo un análisis de las excavaciones proyectadas por medio del software Plaxis 8.5, en donde se análizaron las etapas de construcción considerando la sobrecarga vehicular y de las viviendas cercanas, a partir de dicho análisis se determinó la necesidad de incluir la pantalla de pilotes en la zona donde la excavación presenta altura hasta de 7,0 m. A continuación se presentan dichos análisis.

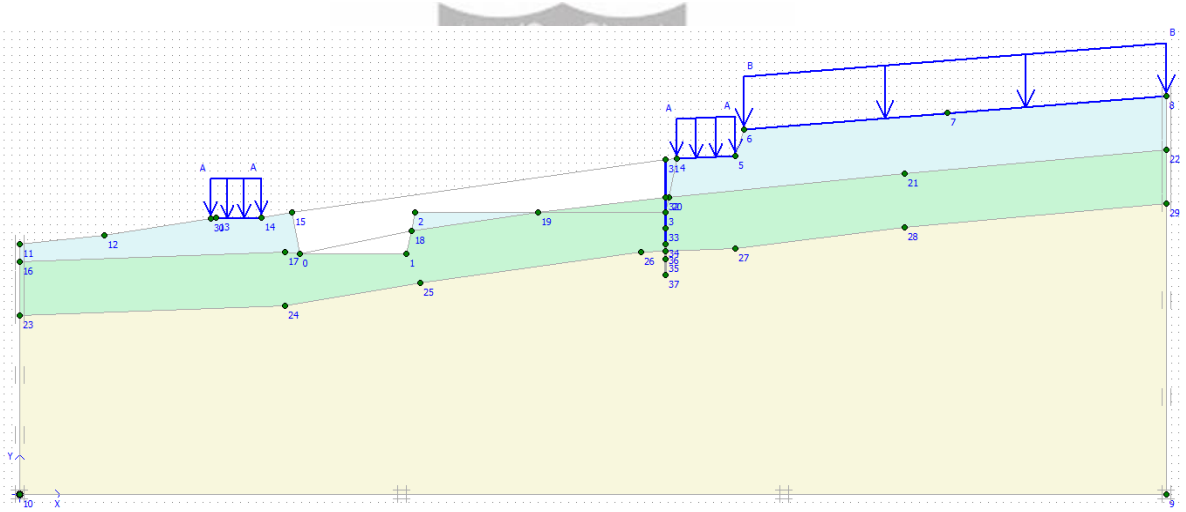


Figura 16-6. Sección de análisis Estación Altamira.

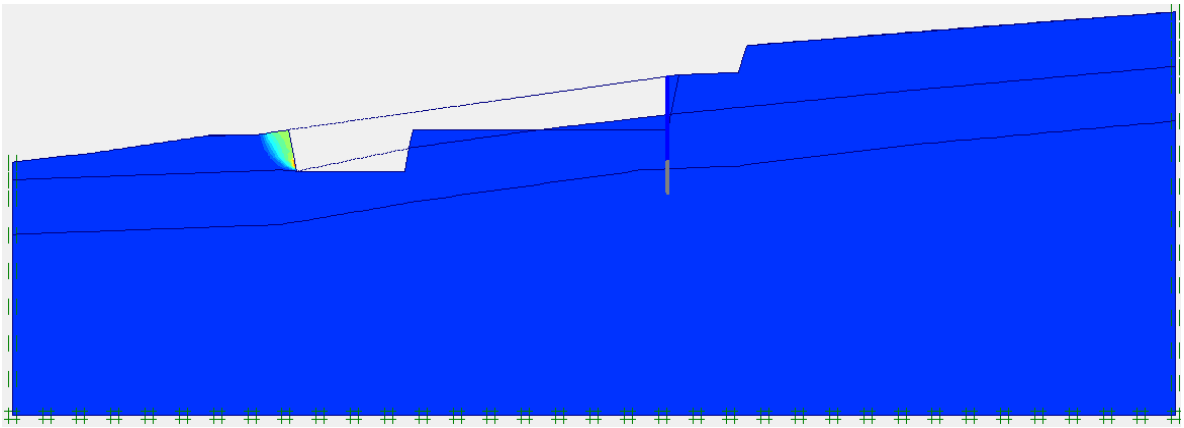


Figura 16-7. Análisis de estabilidad excavación estático F.S:1.46 – Estación Altamira

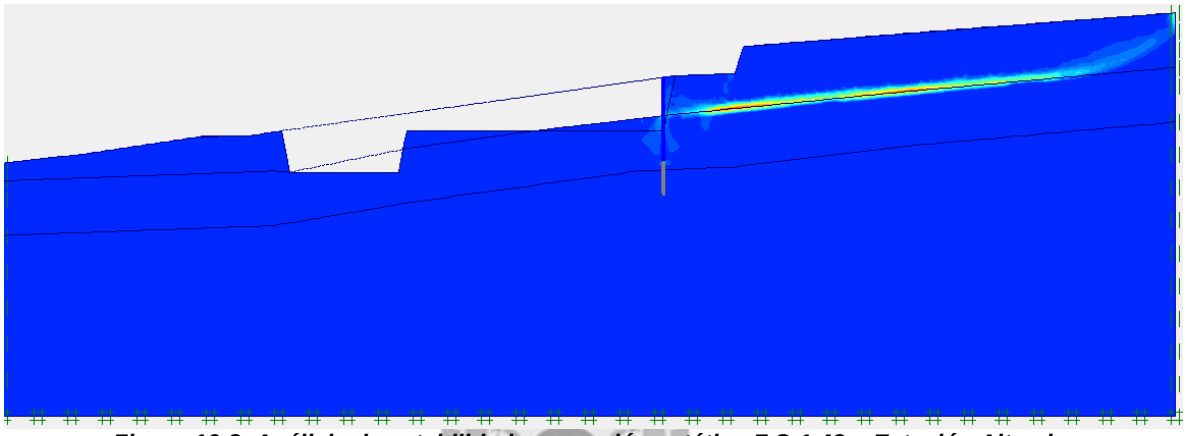


Figura 16-8. Análisis de estabilidad excavación estático F.S:1.42 – Estación Altamira

16.3 PILONAS

A continuación se presenta los análisis de estabilidad de los cortes proyectados para la construcción de la cimentación de las pilonas que se encuentran situadas a lo largo del cable áereo, para dicho análisis se tuvieron encuenta factores como la sobrecarga de las viviendas cercanas, presencia de niveles freáticos y las sobrecargas originadas en la etapa de construcción (maquinaria).

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

Con el fin de evaluar la estabilidad de los cortes, se tuvo en cuenta la exploración ejecutada para cada pilona, se debe resaltar, que en algunas ocasiones no fue posible realizar la perforación geotecnica en el sitio exacto donde se proyectará la pilona, esto debido a que aun se encuentran algunas viviendas en la localización de las pilonas, lo que obligó a que las perforaciones se movieran al lugar de acceso más cercano, siendo estos las vías existentes o los andenes. En relación a lo anterior, se pudo identificar que en un porcentaje significativo de las perforaciones se encontró en promedio una capa granular de 2.0 m y que el presente análisis se realizó con base a esta informacion.

Para el sostenimiento de dichas excavaciones se proponen las siguientes alternativas.

I. Sostenimiento con entibado por medio de cajones continuos bien sea metálico o de madera, en la zona en donde se evidencie el relleno antrópico identificado en la etapa de exploración y que por espacio no sea posible generar un corte con un grado de pendiente, los cuales deben sostener la presión admisible indicada en cada uno de los análisis de estabilidad referenciados a continuación.
II. La ejecución de cortes en las zonas donde se identifique el material de relleno y se cuente con el espacio suficiente (mínimo 5 m), estos cortes deben ser generados con pendientes 2H:1V para cortes temporales y para cortes permanentes con pendiente de 2.5H:1V, esto definido a partir de la siguiente expresión:

$$F.S = \frac{Tan\Phi}{Tan\,\beta}$$

Usando un factor de 1.25 para los cortes temporales y una de 1.5 para cortes permanentes, al despejar β se obtiene un ángulo de 26° (2H:1V) para los cortes temporales y 22° (2.5H:1V) para los cortes permanentes. Se estima que el ***Φ*** de los rellenos corresponde 32°.

Posteriormente las excavaciones deben ser rellanadas con material tipo suelo seleccionado o recebo de acuerdo con el articulo 610 de las especificaciones del INVIAS, con un grado de compactación del 95%.

III. En las zonas en donde no se identifique el material de relleno y por el contrario se evidencie el estrato arcilloso de mejores características, se podrán generar cortes verticales sin entibado hasta una profundidad de 1.5 m y para profundidades entre 1.5 y 3.0 m emplear entibados discontinuos o dejar una inclinación de los cortes de 1H:1V. Para profundidades mayores se debe hacer un análisis especifico de la estabilidad del corte para definir la capacidad del entibado.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

A continuacion se presentan el proceso de análisis de estabilidad para cada una de las pilonas, de acuerdo con lo niveles de fundación definidos y las alturas de las excavaciones.

- **PILONA 1**

En la Figura 16-9 y Figura 16-10 se evidencia el análsis de estabilidad de la excavación para la construccion del dado que hace parte del sistema de cimentacion de la pilona, como se logra apreciar en las figuras es necesario incorporar un sistema de sostenimiento para la excavacion ya que no cumple con los factores minimos establecidos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR - 10.

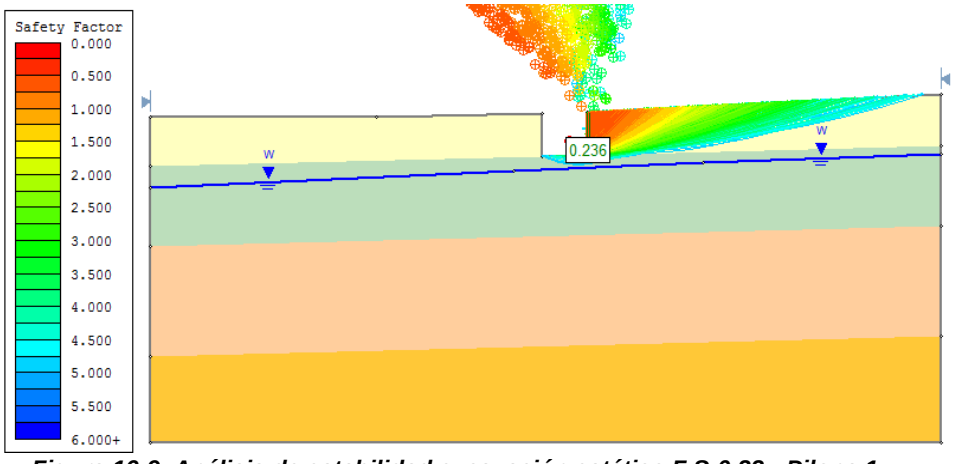


Figura 16-9. Análisis de estabilidad excavación estático F.S:0.23 - Pilona 1

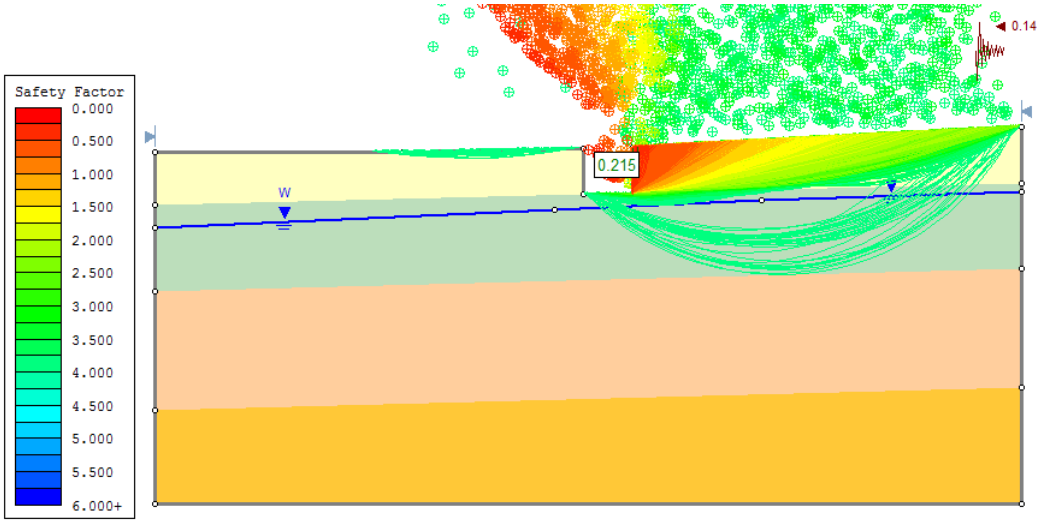
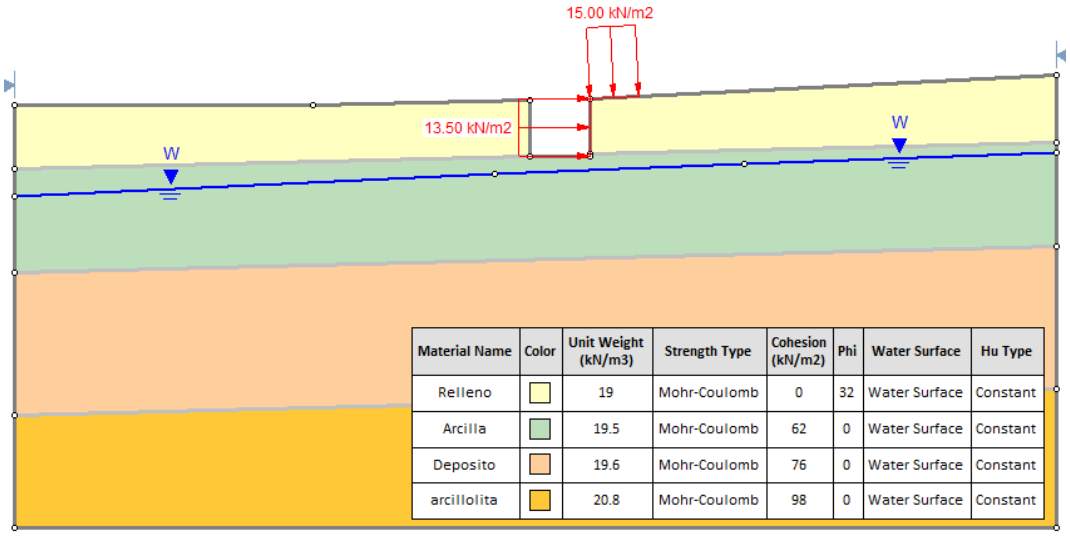


Figura 16-10. Análisis de estabilidad excavación pseudoestático F.S:0.21 - Pilona 1

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

A partir de lo anterior, en la Figura 16-12 y Figura 16-13 se presenta el análisis de la excavación incluyendo el sostenimiento, que en este caso se considera un entibado continuo, en cual deberá ser diseñado para que cumpla una presión admisible de 13.5 kPa, en las zonas donde se identifique el material de relleno y no haya espacio para generar cortes con algún grado de pendiente. Como se aprecia en las figuras, los factores de seguridad cumplen con los estipulados en el el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR - 10.



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi	Water Surface	Hu Type
Relleno		19	Mohr-Coulomb	0	32	Water Surface	Constant
Arcilla		19.5	Mohr-Coulomb	62	0	Water Surface	Constant
Deposito		19.6	Mohr-Coulomb	76	0	Water Surface	Constant
arcillolita		20.8	Mohr-Coulomb	98	0	Water Surface	Constant

Figura 16-11. Sección de análisis Entibado Pa=13.50kPa - Pilona 1

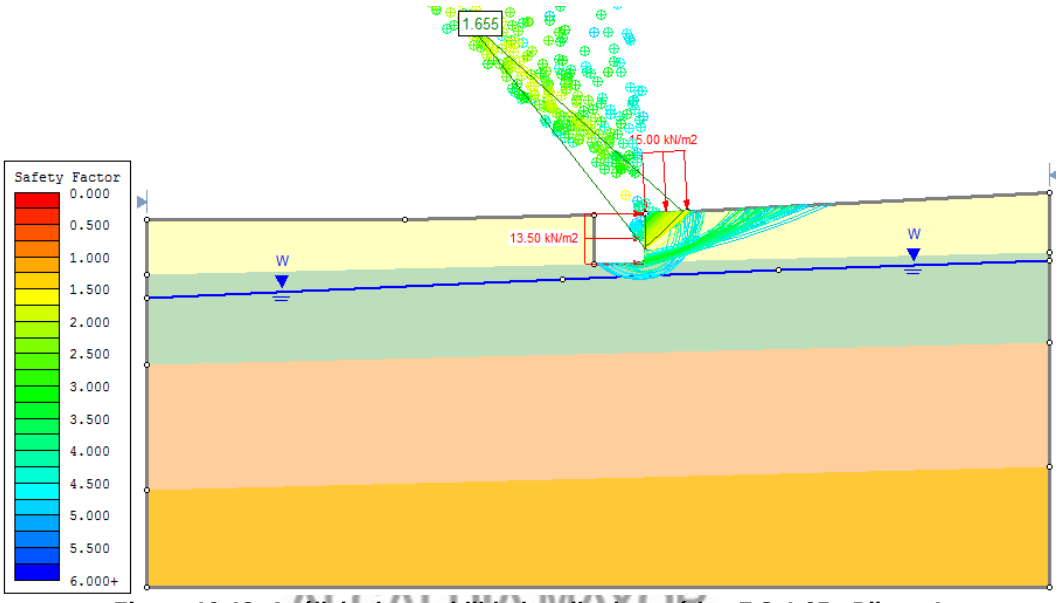


Figura 16-12. Análisis de estabilidad entibado estático F.S:1.65 - Pilona 1

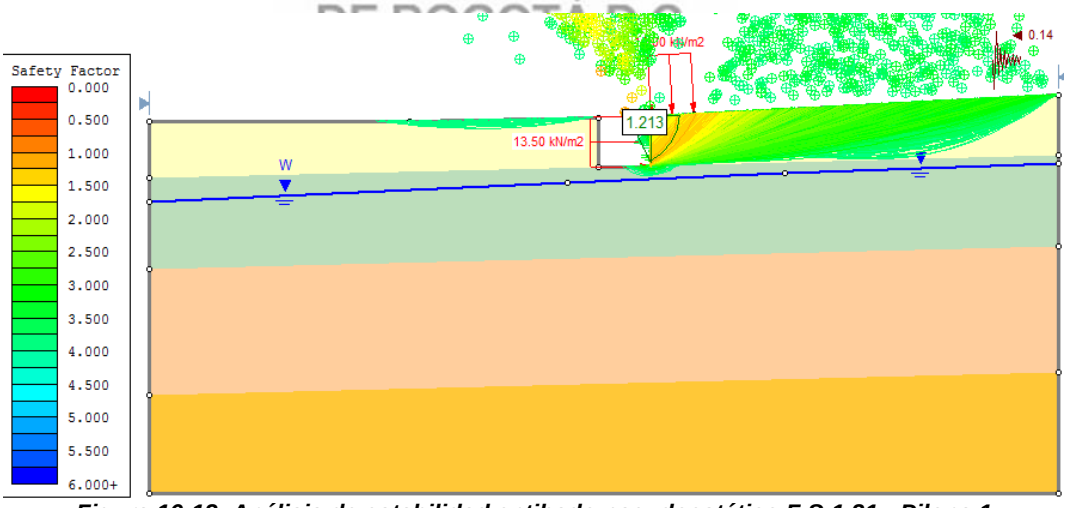


Figura 16-13. Análisis de estabilidad entibado pseudoestático F.S:1.21 - Pilona 1

Adicionalmente se realizó la verificación de la estabilidad actual de la zona en donde se proyecta la pilona 1, se contempló la condición actual de estabilidad de la zona, en donde se tuvo en cuenta la ubicación del muro de contención que se encuentra actualmente, obteniendo un factor de seguridad satisfactorio. En la Figura 16-14 se presenta dicho análisis.

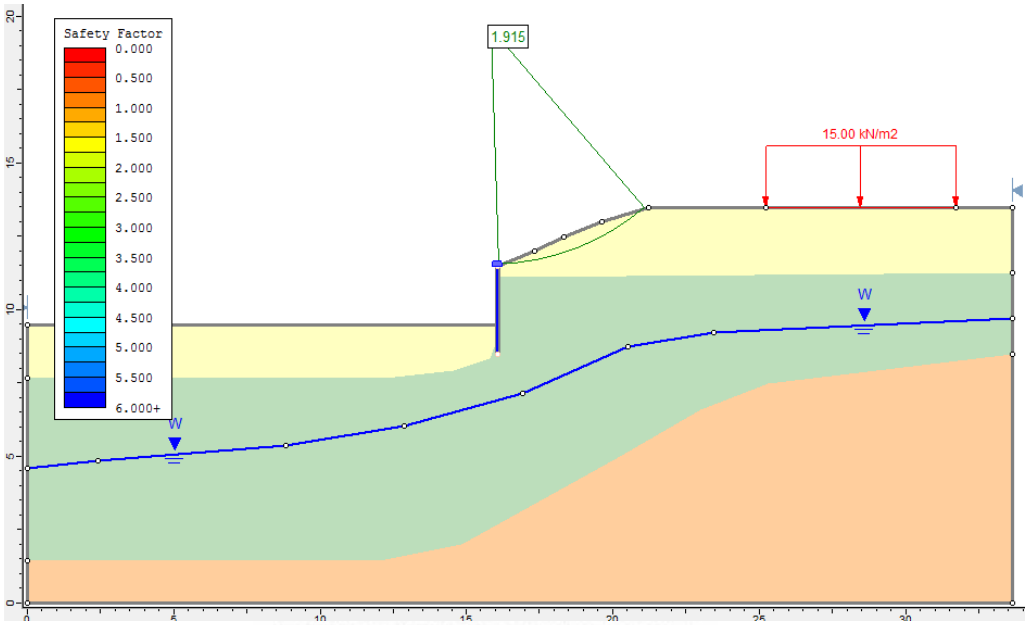


Figura 16-14. Análisis de estabilidad condición actual estático Pilona 1 – F.S 1.91

DE BOGOTA D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

Para la construcción de la pilona que se proyecta en la zona se debe retirar el muro que se encuentra actualmente, esto con el fin de dar continuidad con el alineamiento proyectado. Como se logra evidenciar en la Figura 16-15, al retirar el muro se deben considerar elementos de contención ya que no se cumple con los factores mínimos establecidos en la normatividad colombiana.

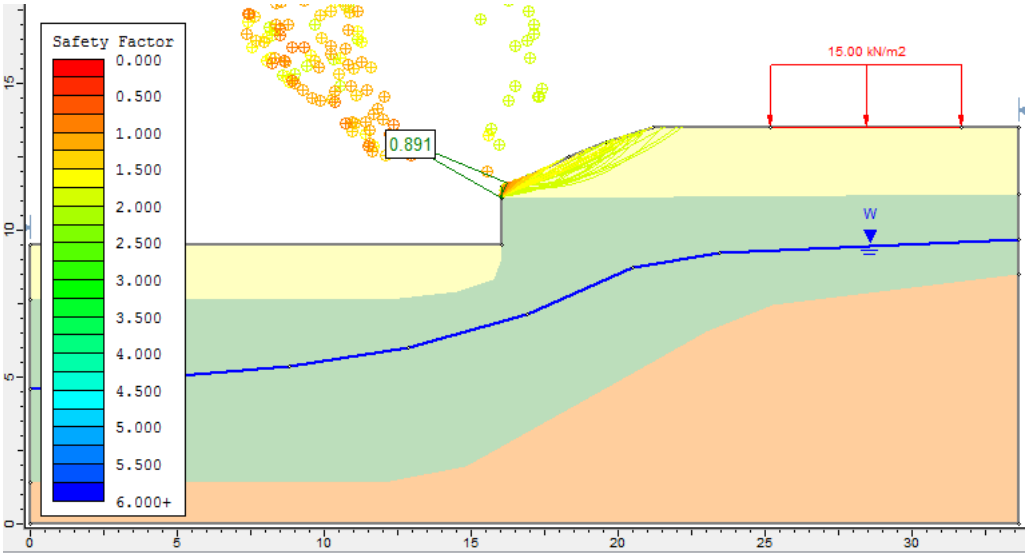


Figura 16-15. Análisis de estabilidad condición actual sin muro estático Pilona 1 – F.S 0.89

Como elementos de contención se propone una fila de pilotes con una longitud de 8.5m, un diámetro de 1.0m, separados cada 2.0m entre centros, con un cortante mínimo de 50 kN. Se propone este diámetro ya que se proyecta que los pilotes sean construidos con la misma máquina que se va a emplear para construir la cimentación de la pilona. En la Figura 16-16 y Figura 16-17 se presentan los respectivos análisis, los cuales evidencian que cumplen con los factores se seguridad mínimos establecidos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR - 10.

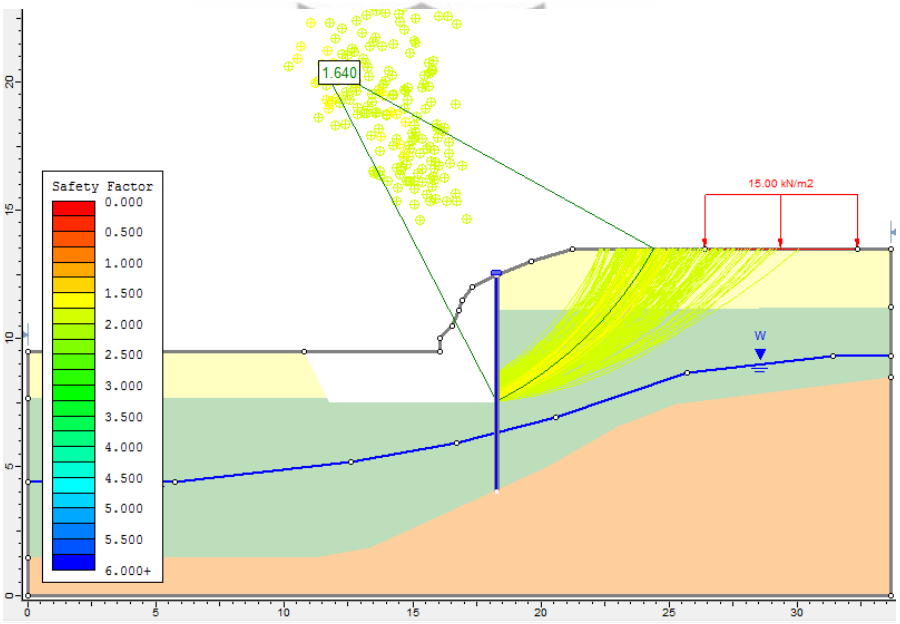


Figura 16-16. Análisis de estabilidad condición obras estático Pilona 1 – F.S 1.64

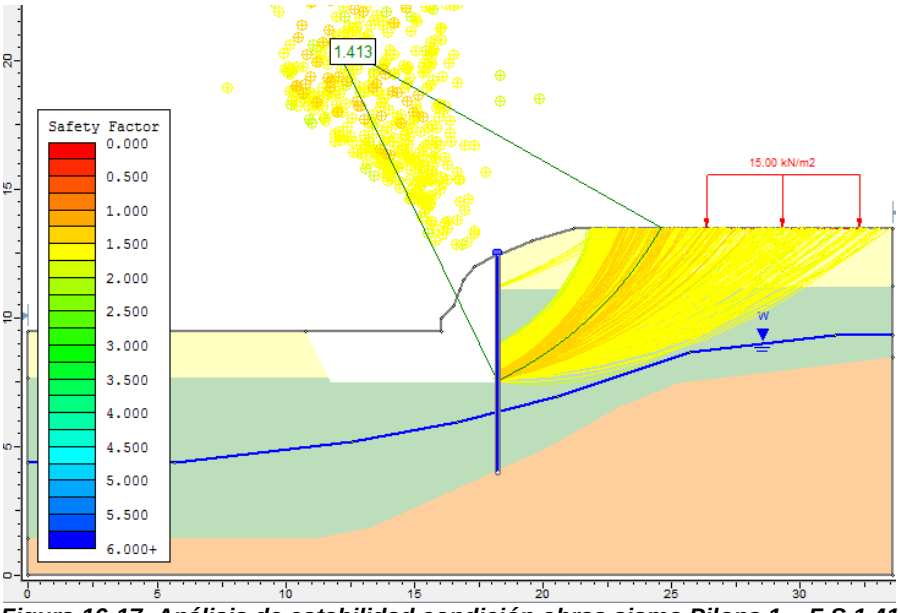


Figura 16-17. Análisis de estabilidad condición obras sismo Pilona 1 – F.S 1.41

- **PILONA 2**

En la Figura 16-18 y Figura 16-19 se evidencia el anàlsis de estabilidad de la excavación para la construccion del dado que hace parte del sistema de cimentacion de la pilona, como se logra apreciar en las figuras es necesario incorporar un sistema de sostenimiento para la excavacion ya que no cumple con los factores minimos establecidos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR - 10.

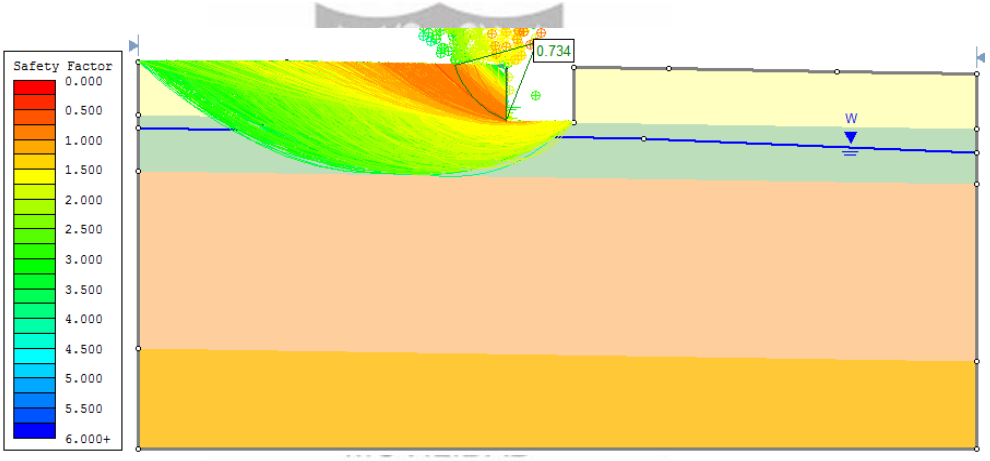


Figura 16-18. Análisis de estabilidad excavación estático F.S:0.73 - Pilona 2

Instituto de Desarrollo Urbano

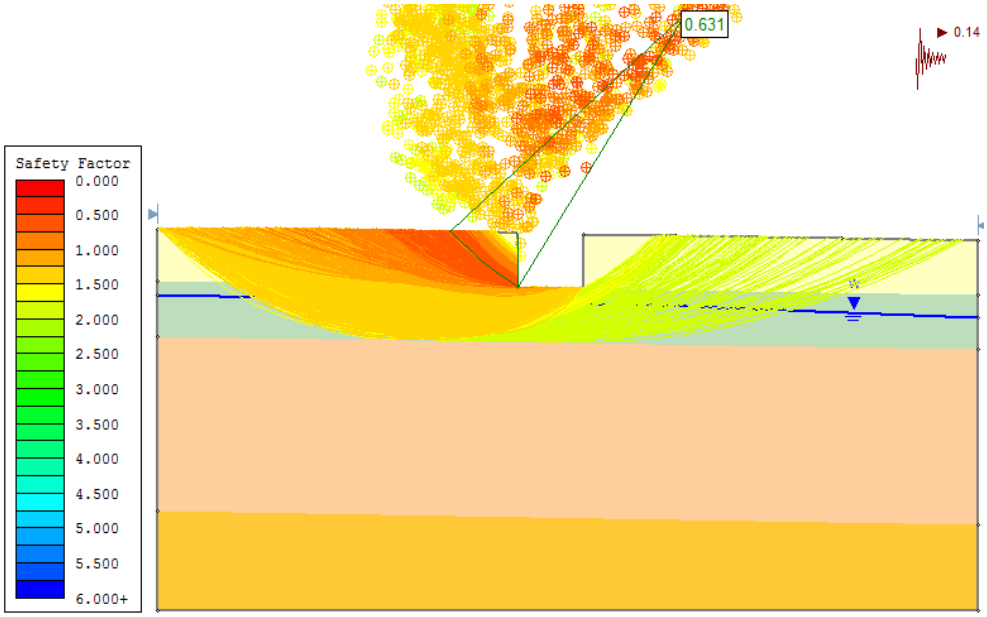
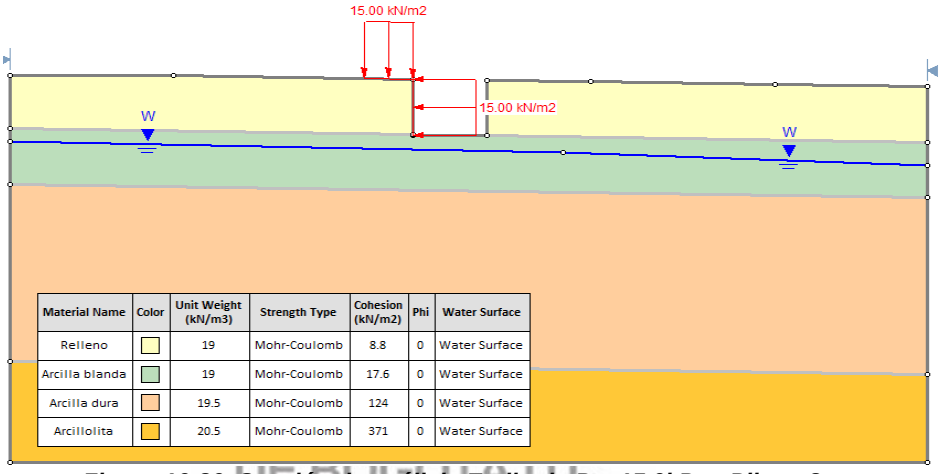


Figura 16-19. Análisis de estabilidad excavación pseudoestático F.S:0.63 - Pilona 2

A partir de lo anterior, en la Figura 16-21 y Figura 16-22 se presenta el análisis de la excavación incluyendo el sostenimiento, que en este caso se considera un entibado continuo,

en cual deberá ser diseñado para que cumpla una presión admisible de 15.0 kPa, en las zonas donde se identifique el material de relleno y no haya espacio para generar cortes con algún grado de pendiente. Como se aprecia en las figuras, los factores de seguridad cumplen con los estipulados en el el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR - 10.



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi	Water Surface
Relleno		19	Mohr-Coulomb	8.8	0	Water Surface
Arcilla blanda		19	Mohr-Coulomb	17.6	0	Water Surface
Arcilla dura		19.5	Mohr-Coulomb	124	0	Water Surface
Arcillolita		20.5	Mohr-Coulomb	371	0	Water Surface

Figura 16-20. Sección de análisis Entibado Pa=15.0kPa - Pilona 2

MOVILIDAD

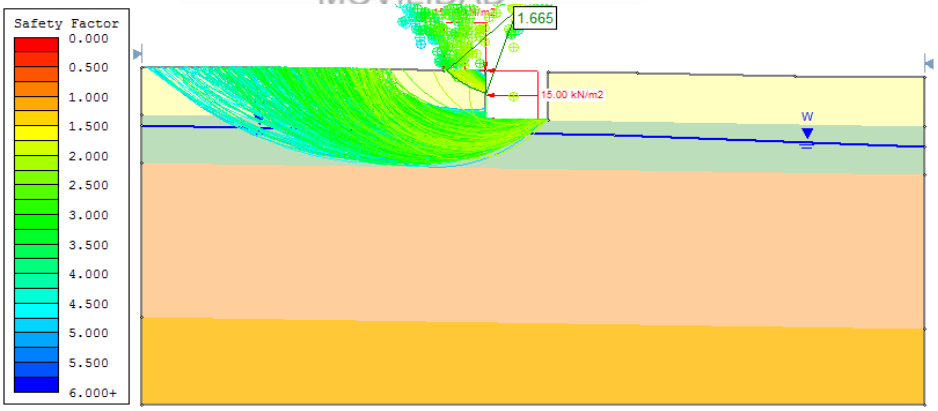


Figura 16-21. Análisis de estabilidad entibado estático F.S:1.66 - Pilona 2

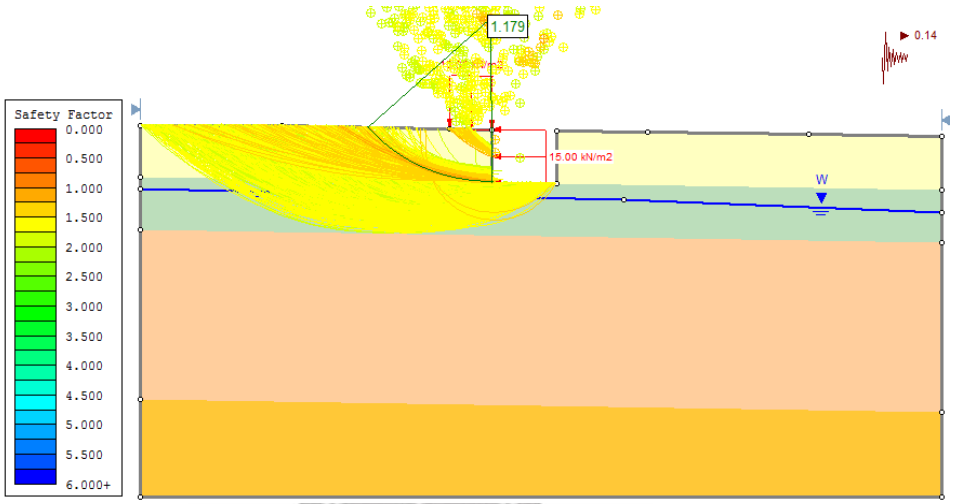


Figura 16-22. Análisis de estabilidad entibado pseudoestático F.S:1.17 - Pilona 3

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD

- **PILONA 3**

En la Figura 16-23 y Figura 16-24 se evidencia el análsis de estabilidad de la excavación para la construccion del dado que hace parte del sistema de cimentacion de la pilona, como se logra apreciar en las figuras es necesario incorporar un sistema de sostenimiento para la excavacion ya que no cumple con los factores minimos establecidos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR - 10.

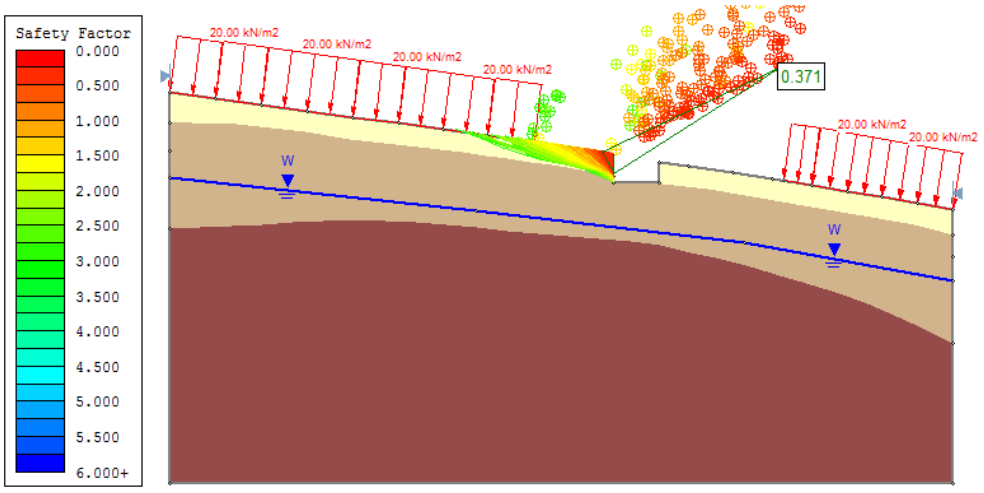


Figura 16-23. Análisis de estabilidad excavación estático F.S:0.37 - Pilona 3

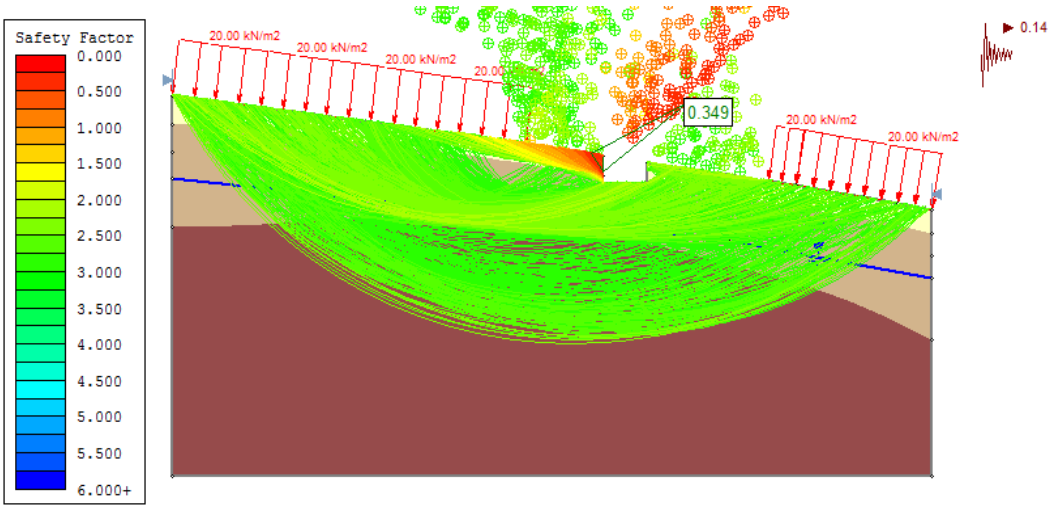
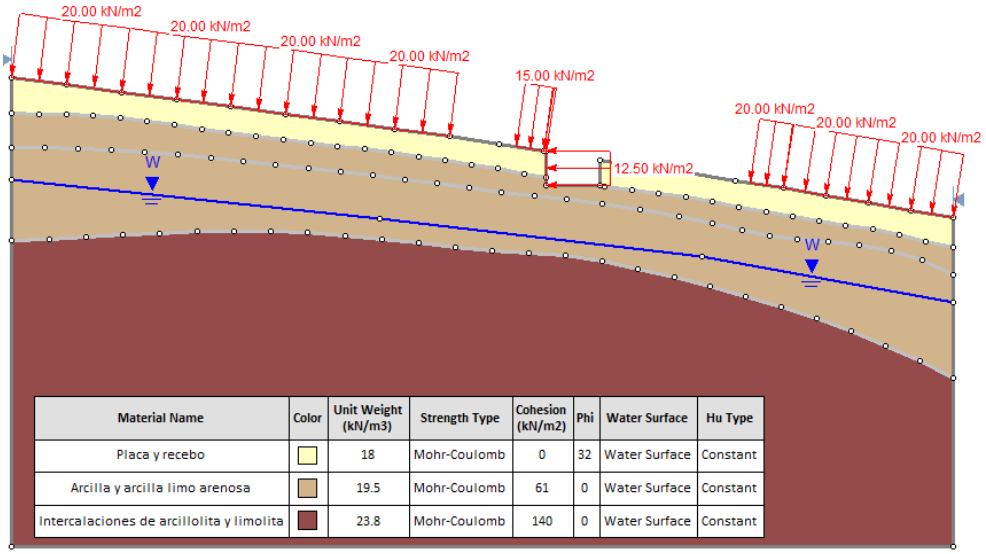


Figura 16-24. Análisis de estabilidad excavación pseudoestático F.S:0.34 - Pilona 3

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO

A partir de lo anterior, en la Figura 16-26 y Figura 16-27 se presenta el análisis de la excavación incluyendo el sostenimiento, que en este caso se considera un entibado continuo, en cual deberá ser diseñado para que cumpla una presión admisible de 12.5 kPa, en las zonas donde se identifique el material de relleno y no haya espacio para generar cortes con algún grado de pendiente. Como se aprecia en las figuras, los factores de seguridad cumplen con los estipulados en el el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR - 10.



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi	Water Surface	Hu Type
Placa y recebo		18	Mohr-Coulomb	0	32	Water Surface	Constant
Arcilla y arcilla limo arenosa		19.5	Mohr-Coulomb	61	0	Water Surface	Constant
Intercalaciones de arcillolita y limolita		23.8	Mohr-Coulomb	140	0	Water Surface	Constant

Figura 16-25. Sección de análisis Entibado Pa=12.50kPa - Pilona 3

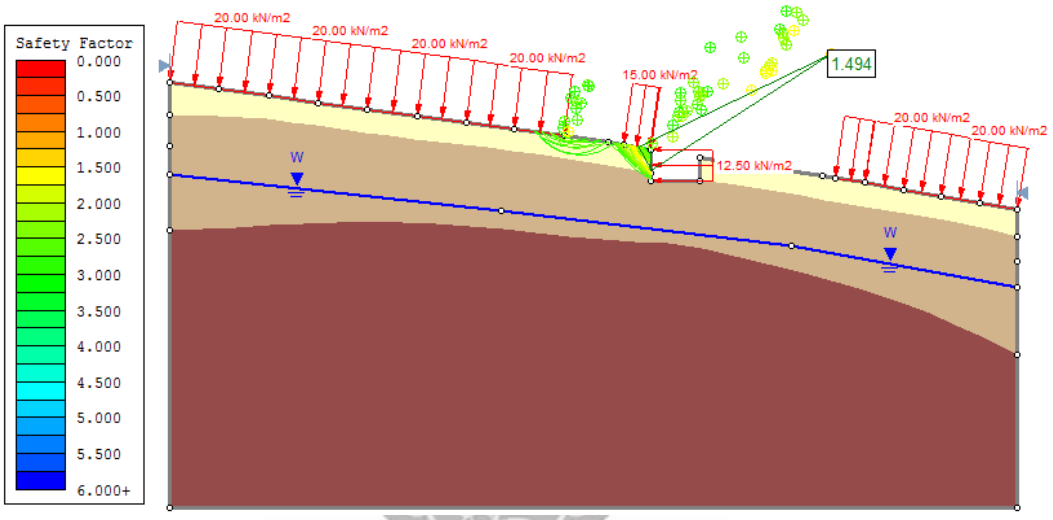


Figura 16-26. Análisis de estabilidad entibado estático F.S:1.49 - Pilona 3

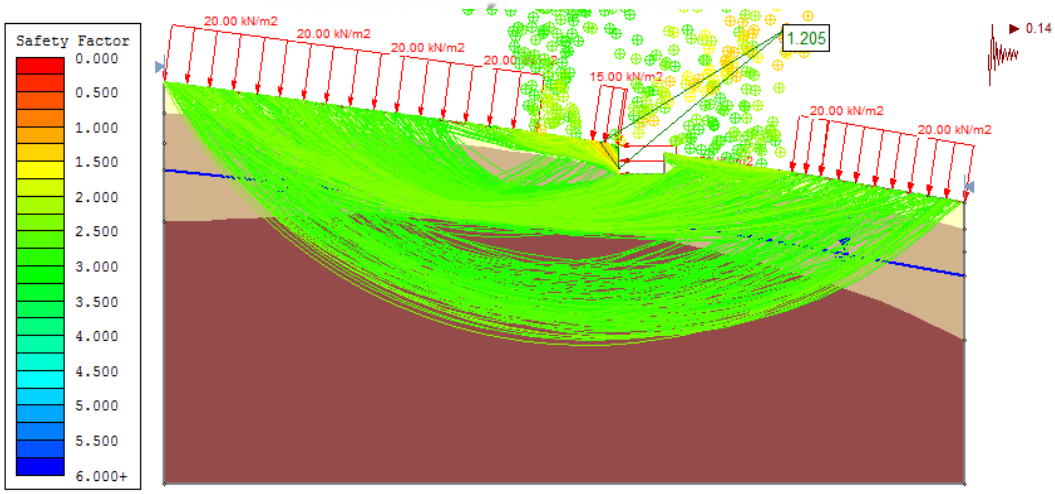


Figura 16-27. Análisis de estabilidad entibado estático F.S:1.20 - Pilona 3

- **PILONA 4**

En la Figura 16-28 y Figura 16-29 se evidencia el análsis de estabilidad de la excavación para la construccion del dado que hace parte del sistema de cimentacion de la pilona, como se logra apreciar en las figuras es necesario incorporar un sistema de sostenimiento para la excavacion ya que no cumple con los factores minimos establecidos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR – 10.

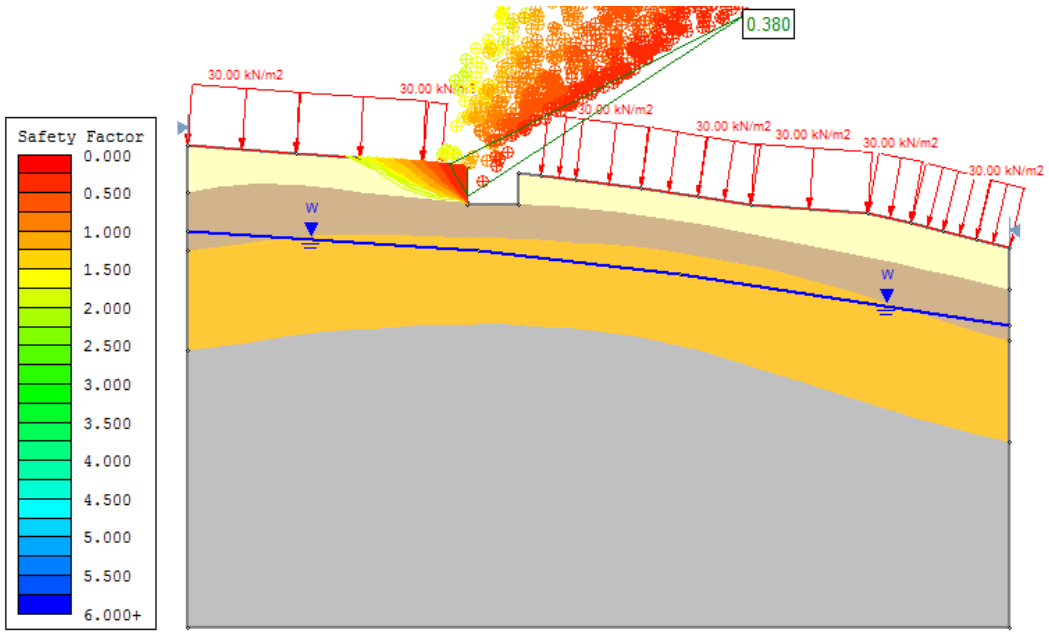


Figura 16-28. Análisis de estabilidad excavación estático F.S:0.38 - Pilona 4

DE BOGOTÁ D.C.

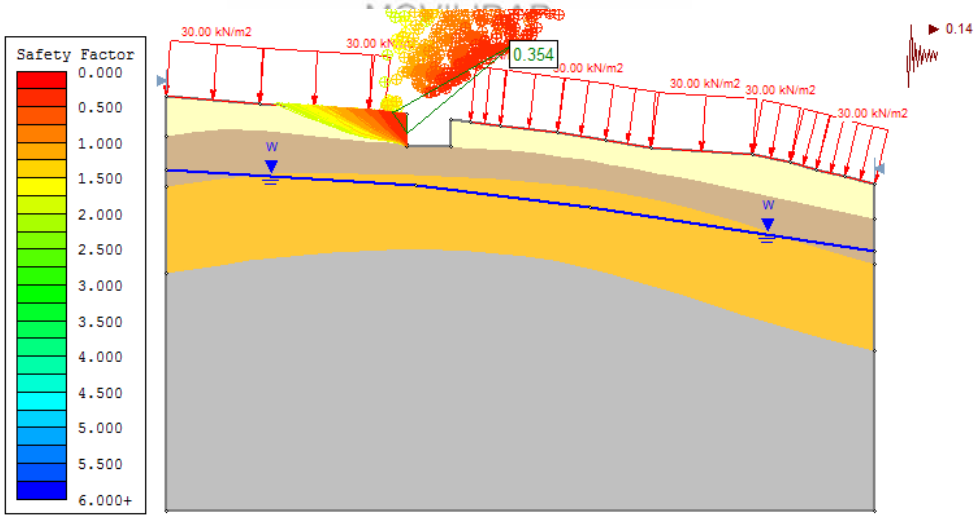


Figura 16-29. Análisis de estabilidad excavación pseudoestático F.S:0.35 - Pilona 4

A partir de lo anterior, en la Figura 16-31 y Figura 16-32 se presenta el análisis de la excavación incluyendo el sostenimiento, que en este caso se considera un entibado continuo, en cual deberá ser diseñado para que cumpla una presión admisible de 12.5 kPa, en las zonas donde se identifique el material de relleno y no haya espacio para generar cortes con algún grado de pendiente. Como se aprecia en las figuras, los factores de seguridad cumplen con los estipulados en el el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR - 10.

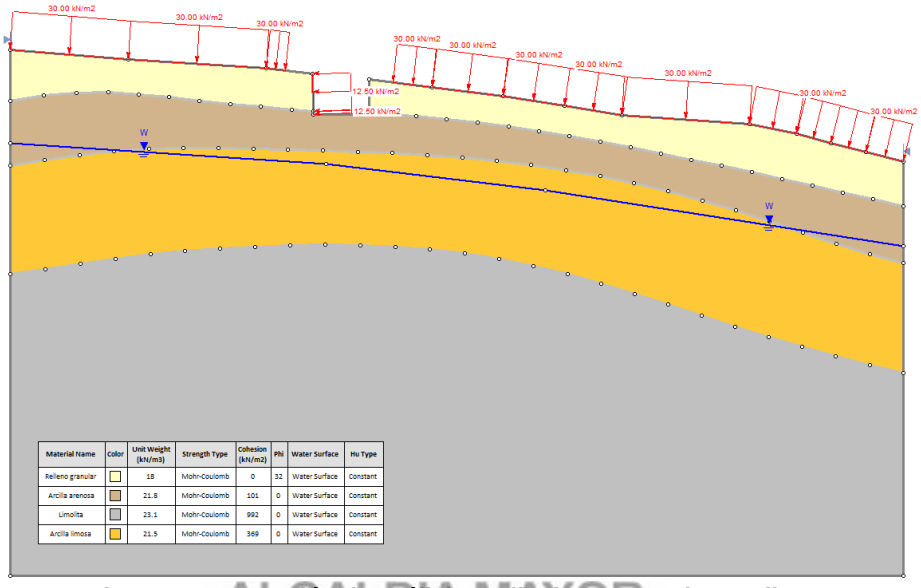


Figura 16-30. Sección de análisis Entibado Pa=12.50kPa - Pilona 4

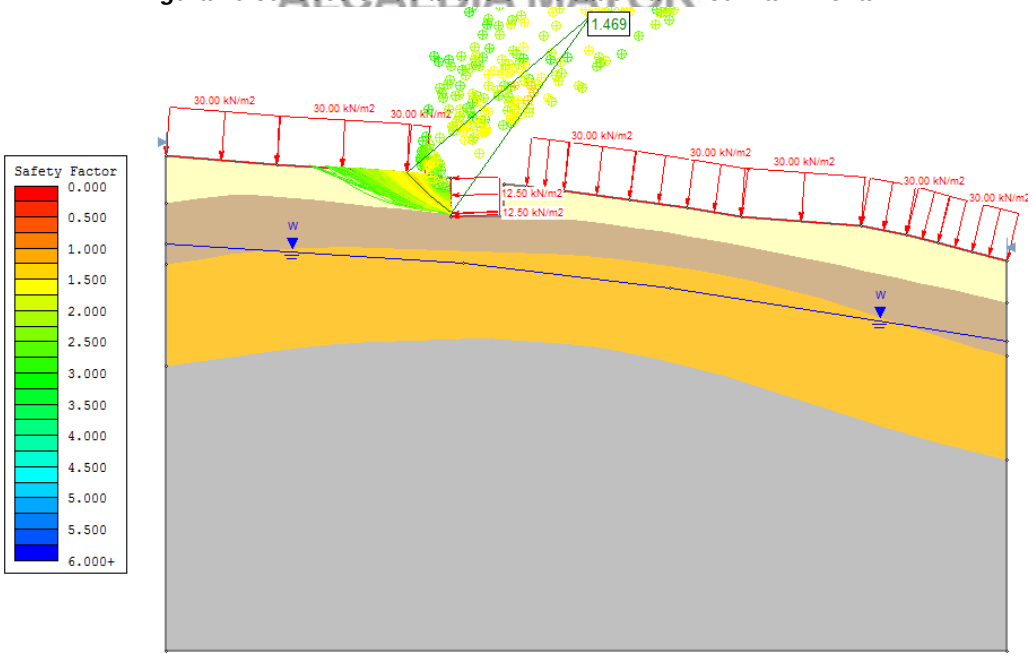


Figura 16-31. Análisis de estabilidad entibado estático F.S:1.46 - Pilona 4

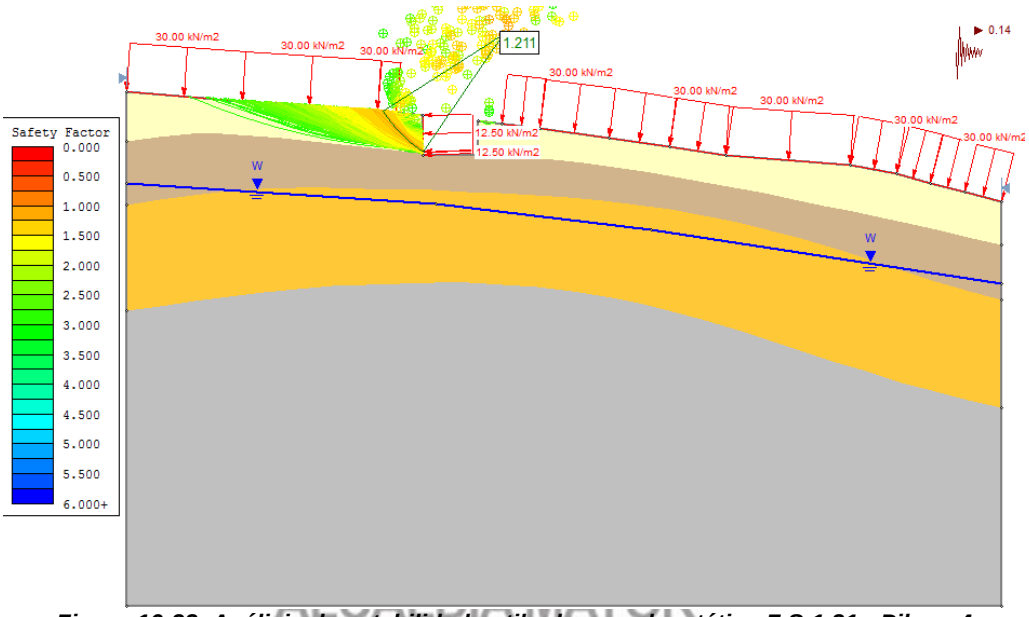


Figura 16-32. Análisis de estabilidad entibado pseudoestático F.S:1.21 - Pilona 4

DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD

- **PILONA 5**

En la Figura 16-33 y Figura 16-34 se evidencia el análsis de estabilidad de la excavación para la construccion del dado que hace parte del sistema de cimentacion de la pilona, como se logra apreciar en las figuras es necesario incorporar un sistema de sostenimiento para la excavacion ya que no cumple con los factores minimos establecidos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR – 10.

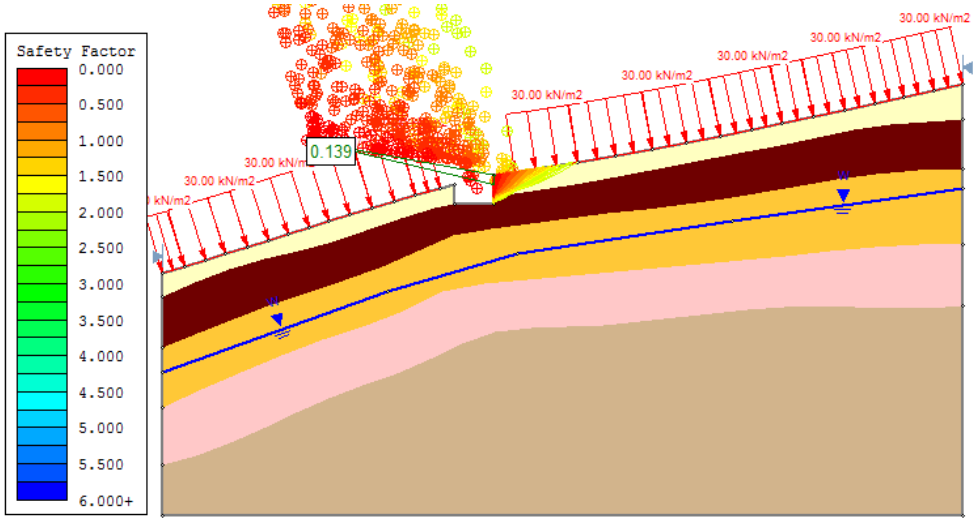


Figura 16-33. Análisis de estabilidad excavación estático F.S:0.13 - Pilona 5

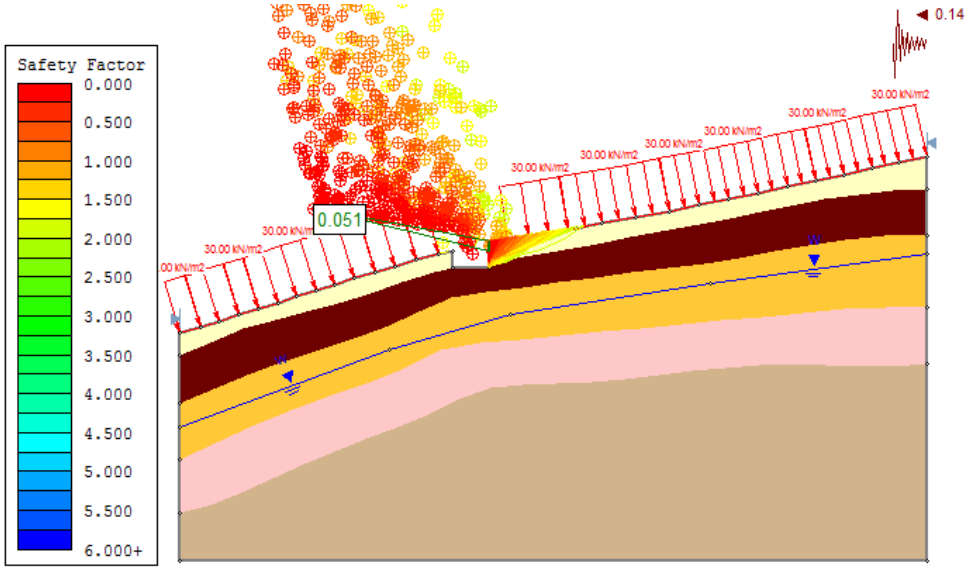
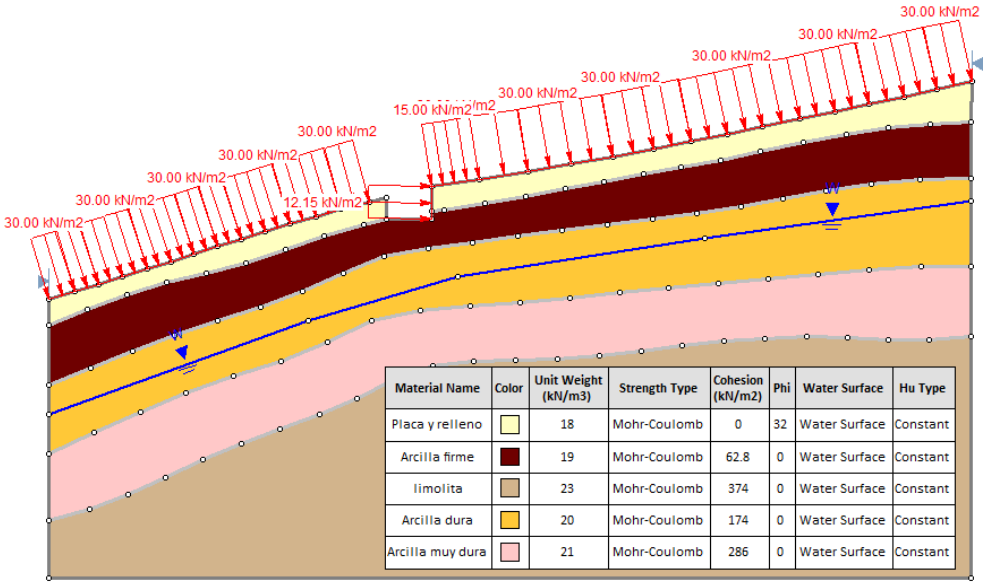


Figura 16-34. Análisis de estabilidad excavación pseudoestático F.S:0.051 - Pilona 5

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

A partir de lo anterior, en la Figura 16-36 y Figura 16-37 se presenta el análisis de la excavación incluyendo el sostenimiento, que en este caso se considera un entibado continuo, en cual deberá ser diseñado para que cumpla una presión admisible de 12.15kPa, en las zonas donde se identifique el material de relleno y no haya espacio para generar cortes con algún grado de pendiente. Como se aprecia en las figuras, los factores de seguridad cumplen con los estipulados en el el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR - 10.



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi	Water Surface	Hu Type
Placa y relleno		18	Mohr-Coulomb	0	32	Water Surface	Constant
Arcilla firme		19	Mohr-Coulomb	62.8	0	Water Surface	Constant
limolita		23	Mohr-Coulomb	374	0	Water Surface	Constant
Arcilla dura		20	Mohr-Coulomb	174	0	Water Surface	Constant
Arcilla muy dura		21	Mohr-Coulomb	286	0	Water Surface	Constant

Figura 16-35. Sección de análisis Entibado Pa=12.15kPa - Pilona 5

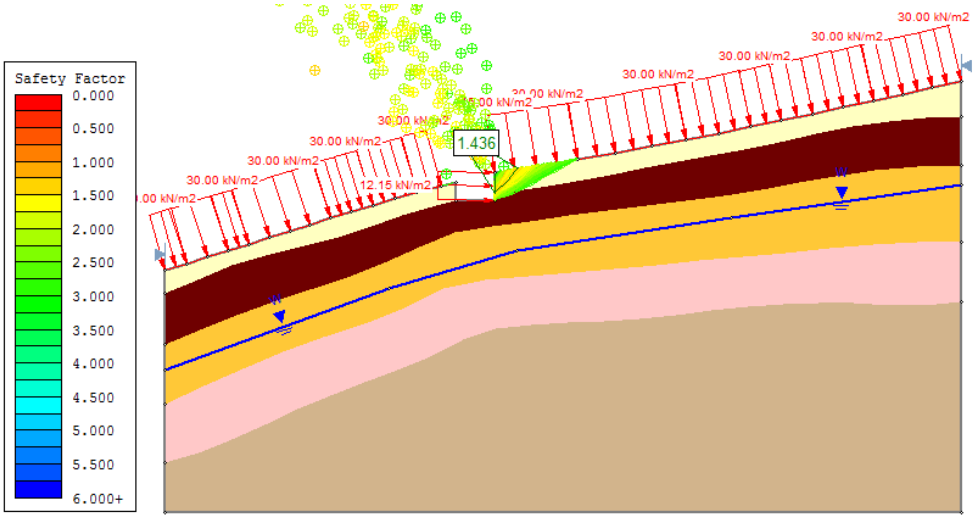


Figura 16-36. Análisis de estabilidad entibado estático F.S:1.43 - Pilona 5

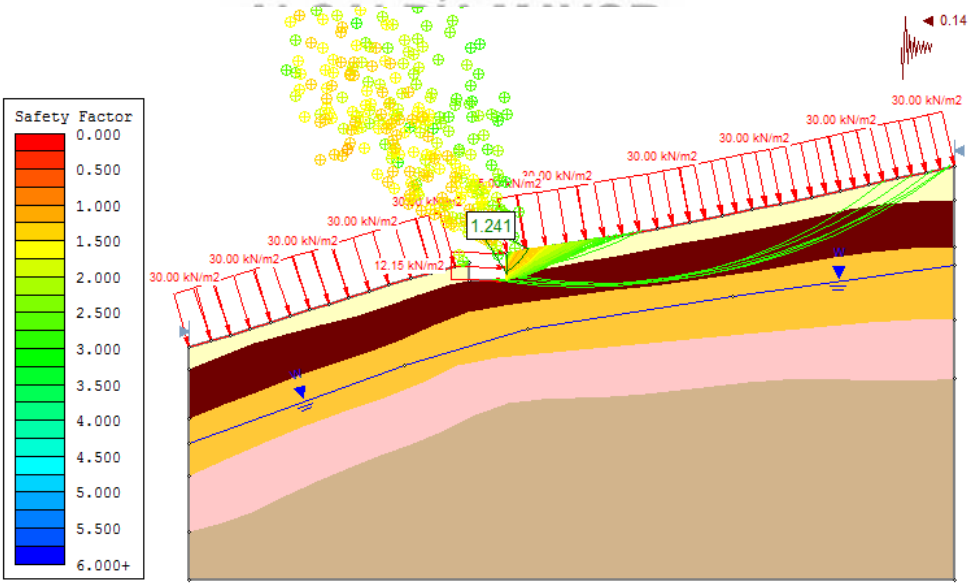


Figura 16-37. Análisis de estabilidad entibado pseudoestático F.S:1.24 - Pilona 5

- **PILONA 6**

En la Figura 16-38 y Figura 16-39 se evidencia el anásis de estabilidad de la excavación para la construccion del dado que hace parte del sistema de cimentacion de la pilona, como se logra apreciar en las figuras es necesario incorporar un sistema de sostenimiento para la excavacion ya que no cumple con los factores minimos establecidos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR – 10.

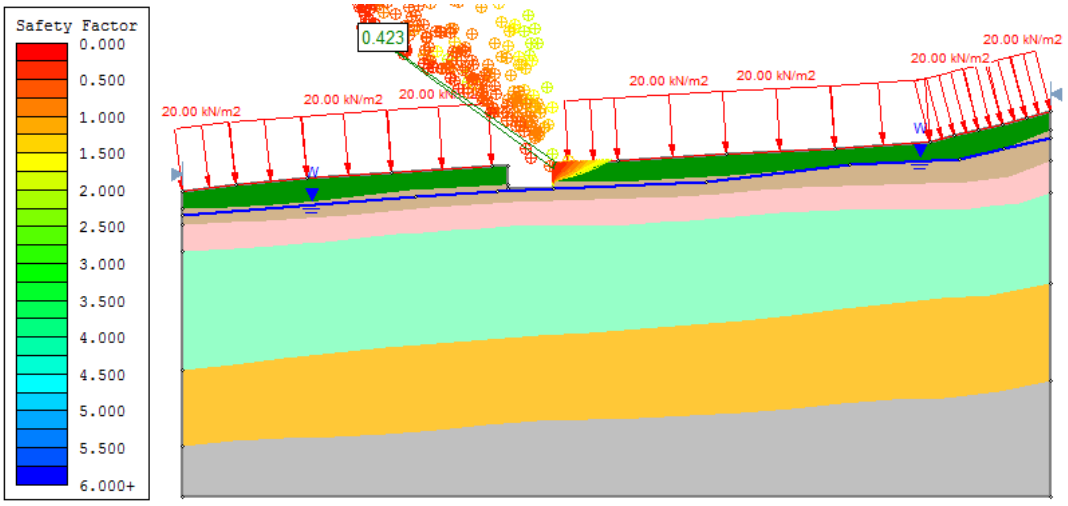


Figura 16-38. Análisis de estabilidad excavación estático F.S:0.42 - Pilona 6

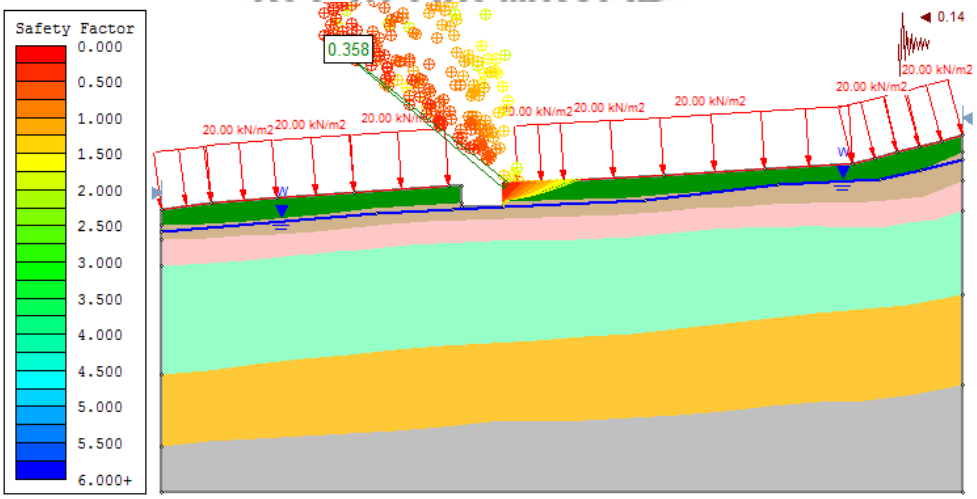
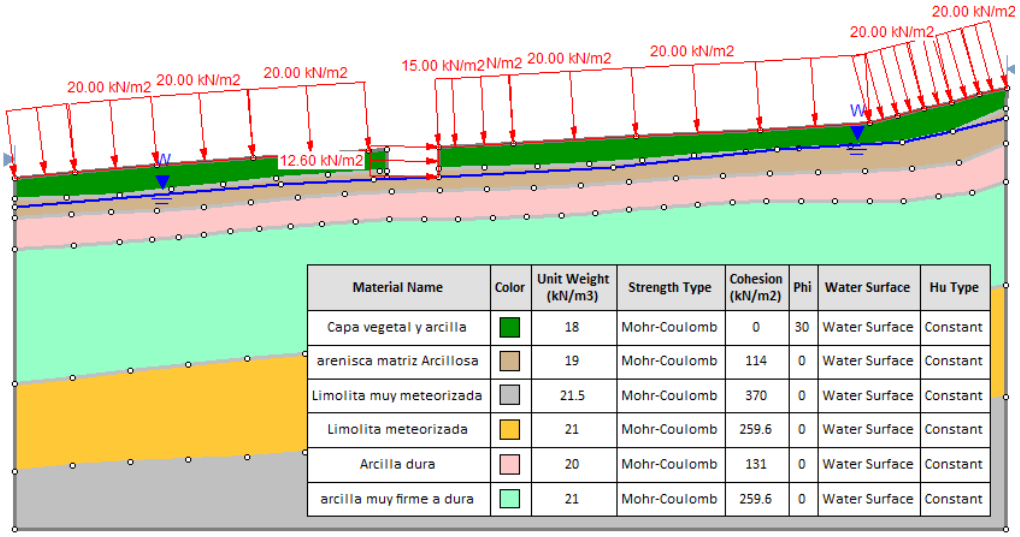


Figura 16-39. Análisis de estabilidad excavación pseudoestático F.S:0.35 - Pilona 6

A partir de lo anterior, en la Figura 16-41 y Figura 16-42 se presenta el análisis de la excavación incluyendo el sostenimiento, que en este caso se considera un entibado continuo, en cual deberá ser diseñado para que cumpla una presión admisible de 12.6 kPa, en las zonas donde se identifique el material de relleno y no haya espacio para generar cortes con algún grado de pendiente. Como se aprecia en las figuras, los factores de seguridad cumplen con los estipulados en el el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR - 10.



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi	Water Surface	Hu Type
Capa vegetal y arcilla		18	Mohr-Coulomb	0	30	Water Surface	Constant
arenisca matriz Arcillosa		19	Mohr-Coulomb	114	0	Water Surface	Constant
Limolita muy meteorizada		21.5	Mohr-Coulomb	370	0	Water Surface	Constant
Limolita meteorizada		21	Mohr-Coulomb	259.6	0	Water Surface	Constant
Arcilla dura		20	Mohr-Coulomb	131	0	Water Surface	Constant
arcilla muy firme a dura		21	Mohr-Coulomb	259.6	0	Water Surface	Constant

Figura 16-40. Sección de análisis Entibado Pa=12.60kPa - Pilona 6

Figura 16-41. Análisis de estabilidad entibado estático F.S:1.42 - Pilona 6

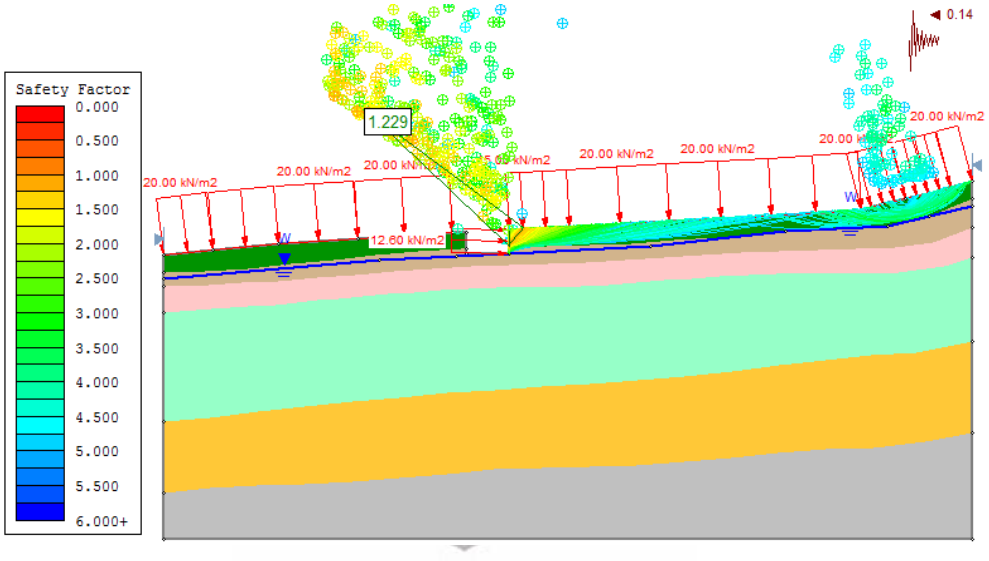


Figura 16-42. Análisis de estabilidad entibado pseudoestático F.S:1.22 - Pilona 6

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

- **PILONA 7**

En la Figura 16-43 y Figura 16-44 se evidencia el análsis de estabilidad de la excavación para la construccion del dado que hace parte del sistema de cimentacion de la pilona, como se logra apreciar en las figuras es necesario incorporar un sistema de sostenimiento para la excavacion ya que no cumple con los factores minimos establecidos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR – 10.

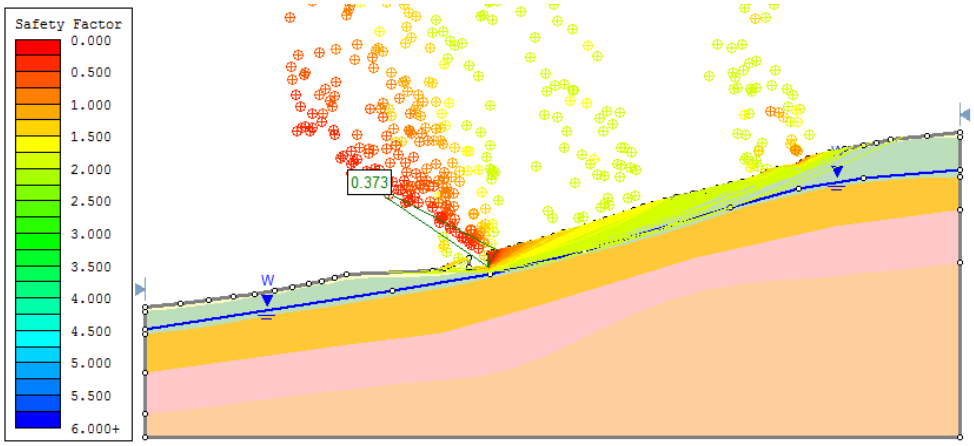


Figura 16-43. Análisis de estabilidad excavación estático F.S:0.37 - Pilona 7

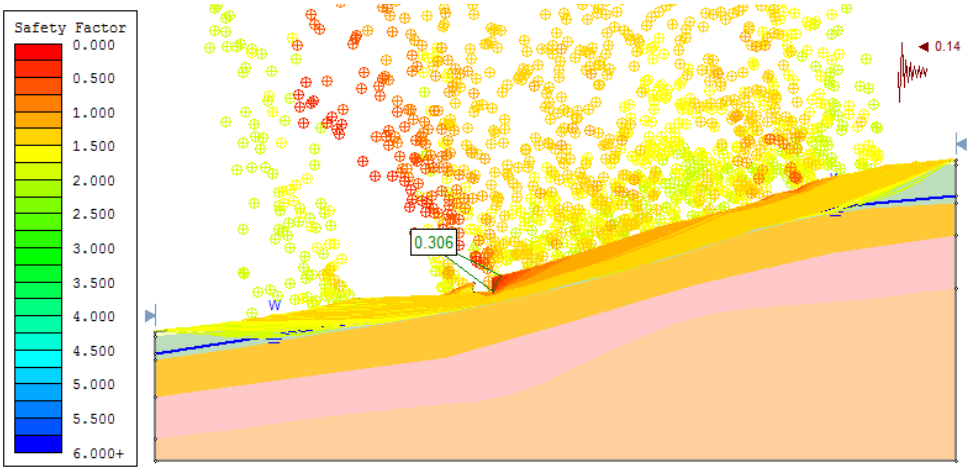
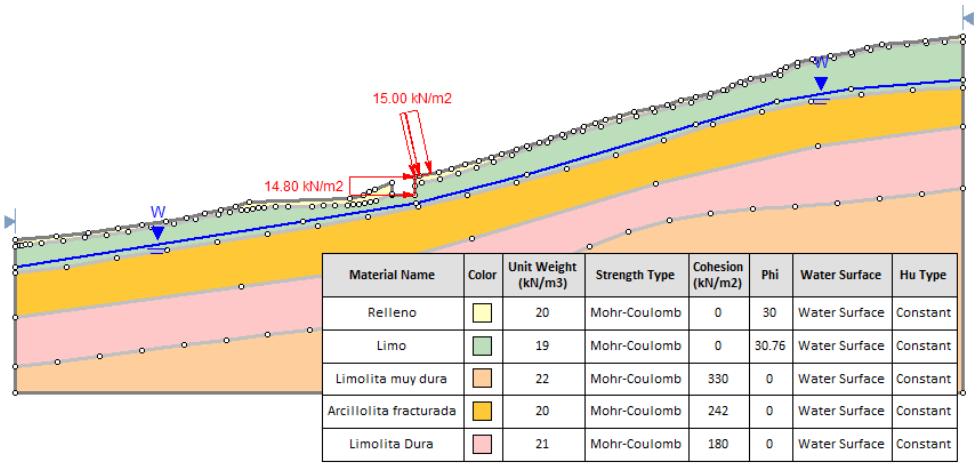


Figura 16-44. Análisis de estabilidad excavación pseudoestático F.S:0.30 - Pilona 7

A partir de lo anterior, en la Figura 16-46 y Figura 16-47 se presenta el análisis de la excavación incluyendo el sostenimiento, qué en este caso se considera un entibado continuo, en cual deberá ser diseñado para que cumpla una presión admisible de 14.8 kPa, en las zonas donde se identifique el material de relleno y no haya espacio para generar cortes con algún grado de pendiente. Como se aprecia en las figuras, los factores de seguridad cumplen con los estipulados en el el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR - 10.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi	Water Surface	Hu Type
Relleno		20	Mohr-Coulomb	0	30	Water Surface	Constant
Limo		19	Mohr-Coulomb	0	30.76	Water Surface	Constant
Limolita muy dura		22	Mohr-Coulomb	330	0	Water Surface	Constant
Arcillolita fracturada		20	Mohr-Coulomb	242	0	Water Surface	Constant
Limolita Dura		21	Mohr-Coulomb	180	0	Water Surface	Constant

Figura 16-45. Sección de análisis Entibado Pa=14.80kPa - Pilona 7

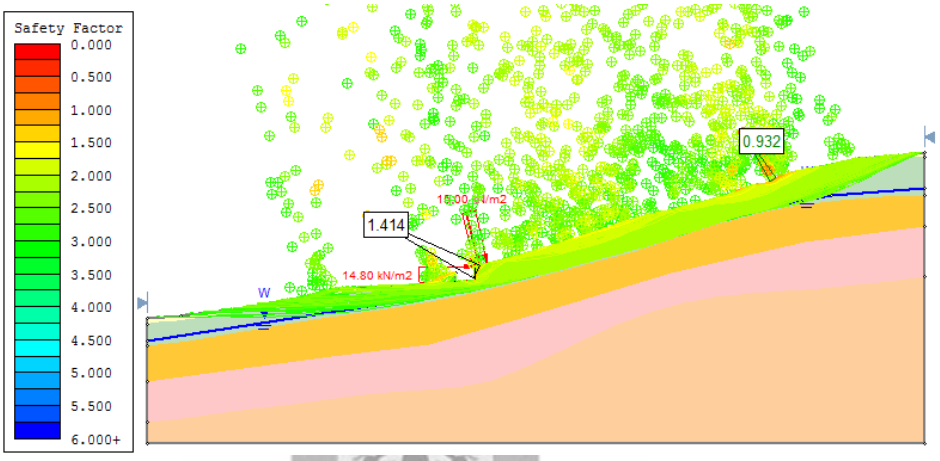


Figura 16-46. Análisis de estabilidad entibado estático F.S:1.41 - Pilona 7

Figura 16-47. Análisis de estabilidad entibado pseudoestático F.S:1.21 - Pilona 7

- **PILONA 8**

En la Figura 16-48 y Figura 16-49 se evidencia el análsis de estabilidad de la excavación para la construccion del dado que hace parte del sistema de cimentacion de la pilona, como se logra apreciar en las figuras es necesario incorporar un sistema de sostenimiento para la excavacion ya que no cumple con los factores minimos establecidos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR – 10.

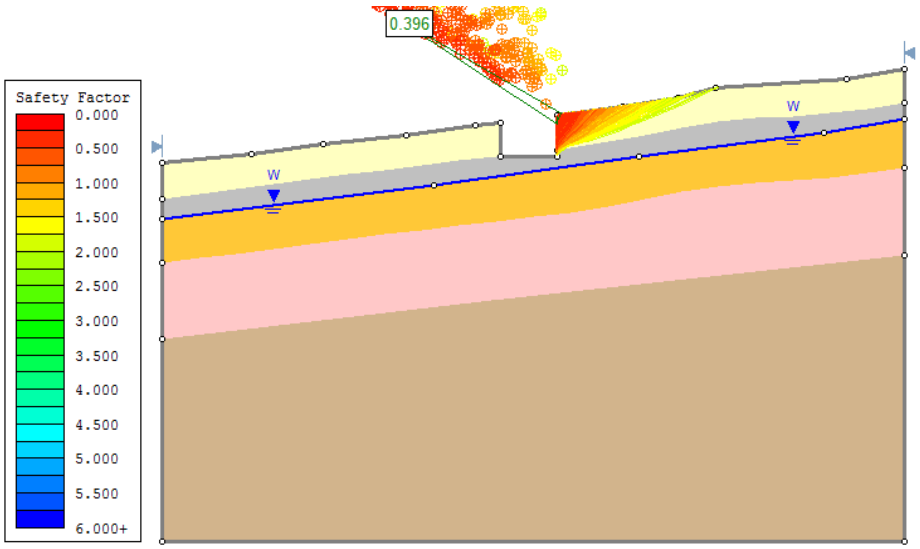


Figura 16-48. Análisis de estabilidad excavación estático F.S:0.39 - Pilona 8

ALCALDÍA MAYOR

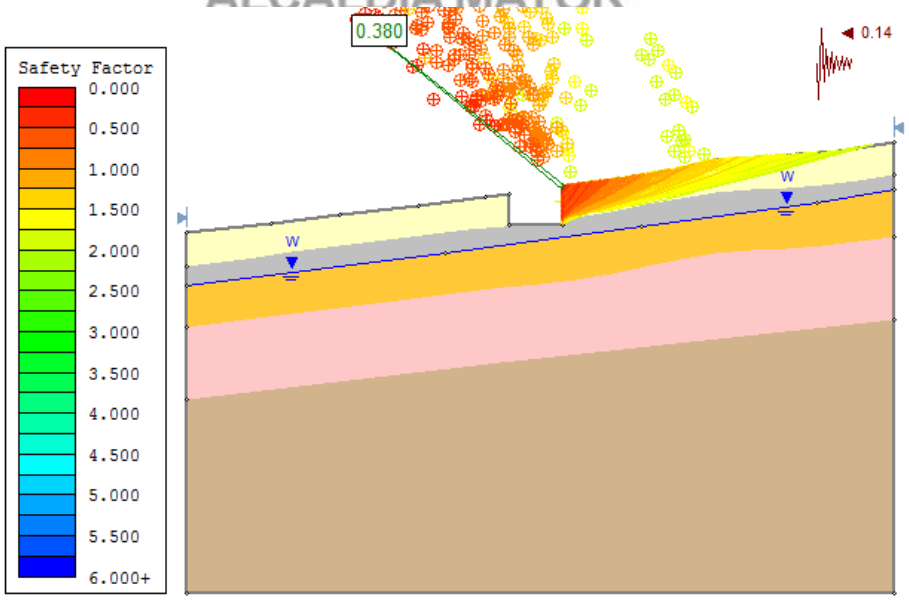
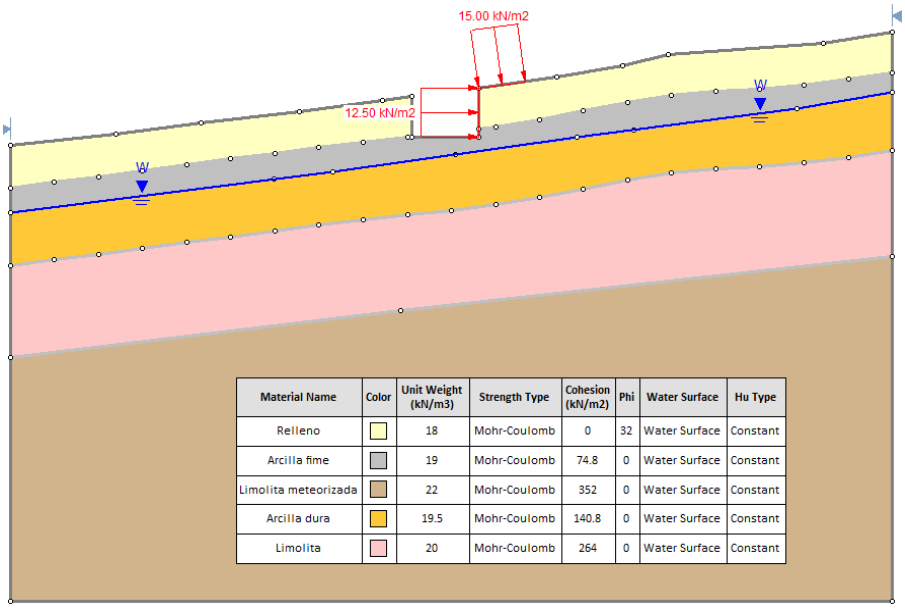


Figura 16-49. Análisis de estabilidad excavación pseudoestático F.S:0.38 - Pilona 8

A partir de lo anterior, en la Figura 16-51 y Figura 16-52 se presenta el análisis de la excavación incluyendo el sostenimiento, que en este caso se considera un entibado continuo, en cual deberá ser diseñado para que cumpla una presión admisible de 12.5 kPa, en las zonas donde se identifique el material de relleno y no haya espacio para generar cortes con algún grado de pendiente. Como se aprecia en las figuras, los factores de seguridad cumplen con los estipulados en el el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR - 10.



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi	Water Surface	Hu Type
Relleno		18	Mohr-Coulomb	0	32	Water Surface	Constant
Arcilla fime		19	Mohr-Coulomb	74.8	0	Water Surface	Constant
Limolita meteorizada		22	Mohr-Coulomb	352	0	Water Surface	Constant
Arcilla dura		19.5	Mohr-Coulomb	140.8	0	Water Surface	Constant
Limolita		20	Mohr-Coulomb	264	0	Water Surface	Constant

Figura 16-50. Sección de análisis Entibado Pa=12.50kPa - Pilona 8

DE BOGOTA D.C.

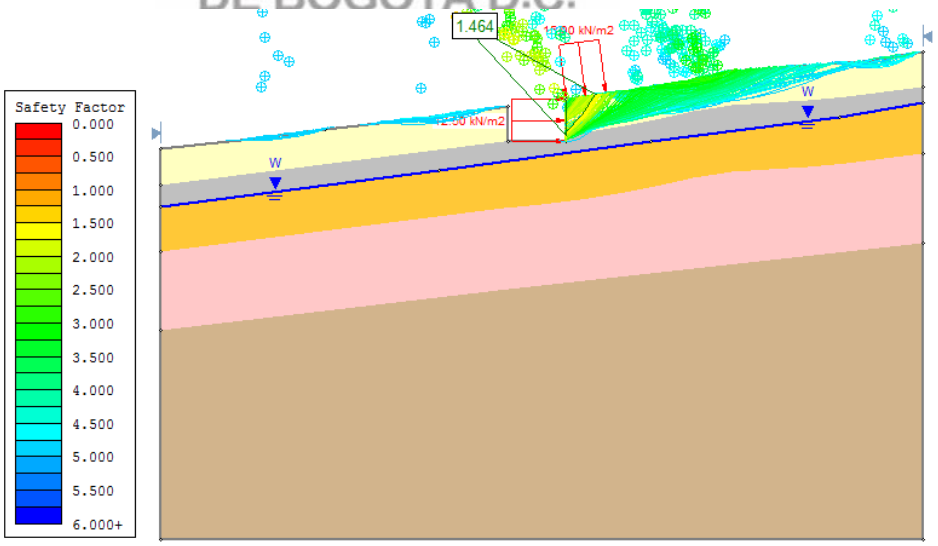


Figura 16-51. Análisis de estabilidad entibado estático F.S:1.46 - Pilona 8

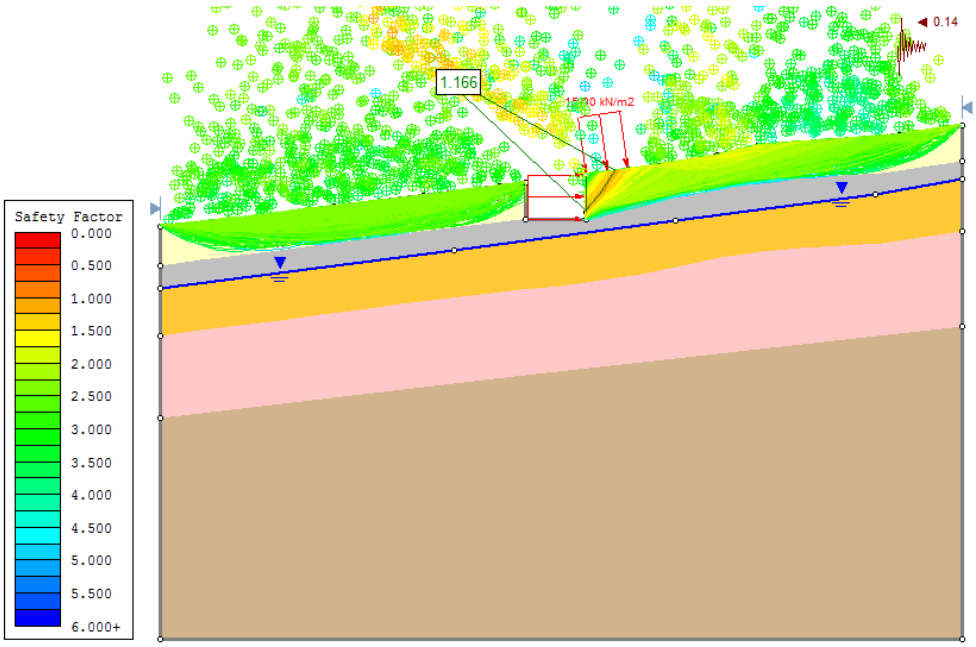


Figura 16-52. Análisis de estabilidad entibado pseudoestático F.S:1.16 - Pilona 8

DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

- **PILONA 9**

En la Figura 16-53 y Figura 16-54 se evidencia el análsis de estabilidad de la excavación para la construccion del dado que hace parte del sistema de cimentacion de la pilona, como se logra apreciar en las figuras es necesario incorporar un sistema de sostenimiento para la excavacion ya que no cumple con los factores minimos establecidos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR – 10.

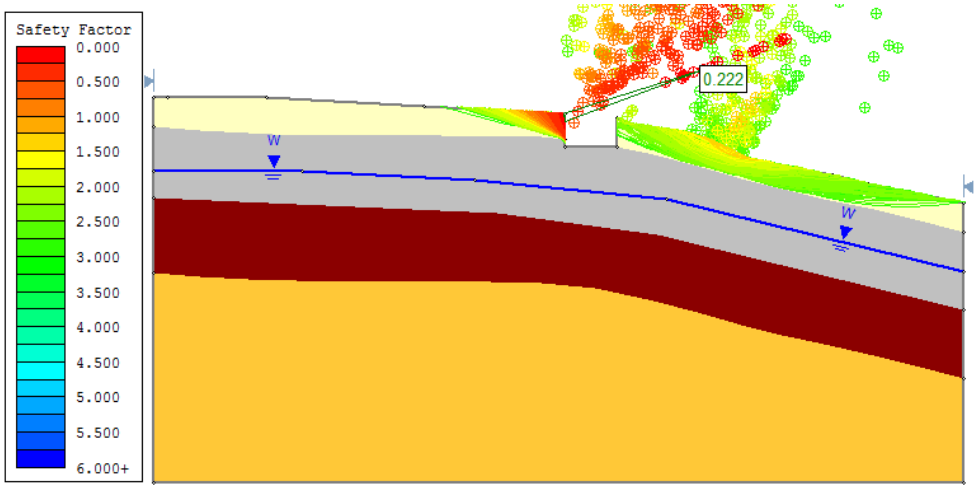


Figura 16-53. Análisis de estabilidad excavación estático F.S:0.22 - Pilona 9

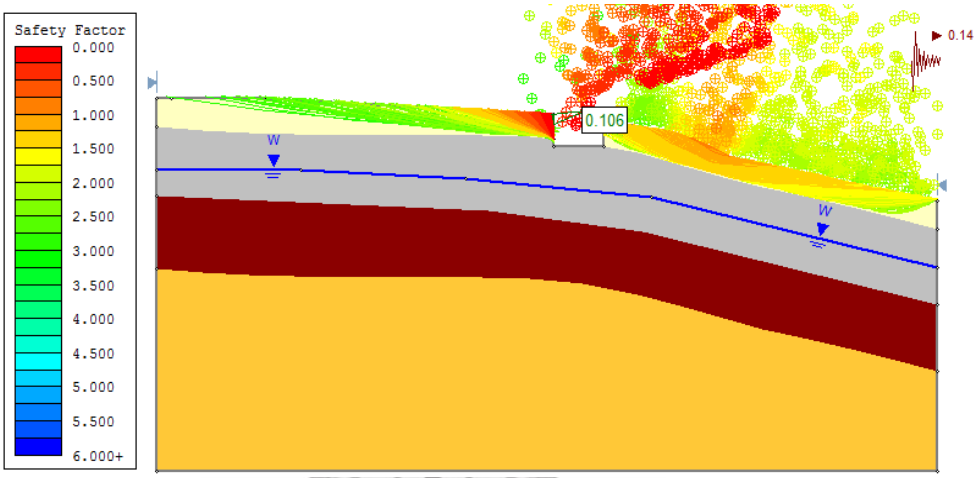
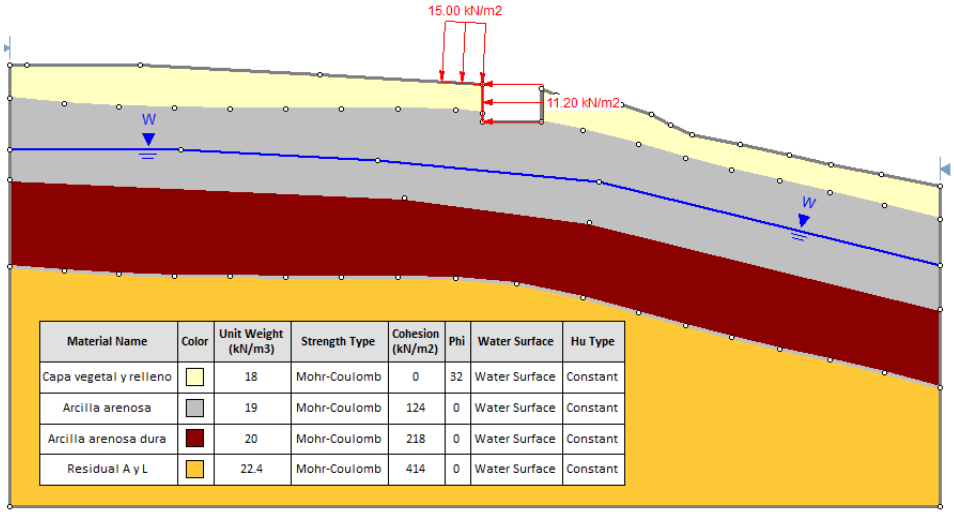


Figura 16-54. Análisis de estabilidad excavación estático F.S:0.10 - Pilona 9

A partir de lo anterior, en la Figura 16-56 y Figura 16-57 se presenta el análisis de la excavación incluyendo el sostenimiento, que en este caso se considera un entibado continuo, en cual deberá ser diseñado para que cumpla una presión admisible de 11.2 kPa, en las zonas donde se identifique el material de relleno y no haya espacio para generar cortes con algún grado de pendiente. Como se aprecia en las figuras, los factores de seguridad cumplen con los estipulados en el el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR - 10.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi	Water Surface	Hu Type
Capa vegetal y relleno		18	Mohr-Coulomb	0	32	Water Surface	Constant
Arcilla arenosa		19	Mohr-Coulomb	124	0	Water Surface	Constant
Arcilla arenosa dura		20	Mohr-Coulomb	218	0	Water Surface	Constant
Residual A y L		22.4	Mohr-Coulomb	414	0	Water Surface	Constant

Figura 16-55. Sección de análisis Entibado Pa=11.20kPa - Pilona 9

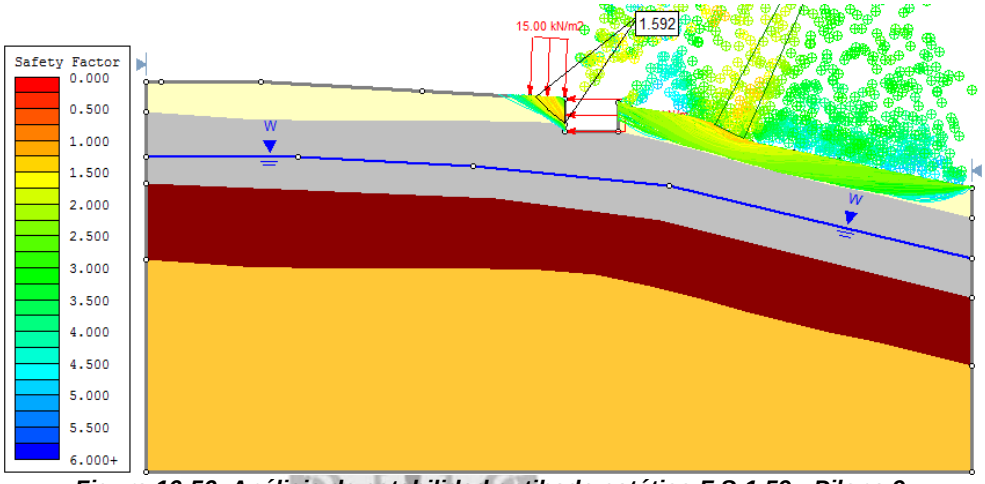


Figura 16-56. Análisis de estabilidad entibado estático F.S:1.59 - Pilona 9

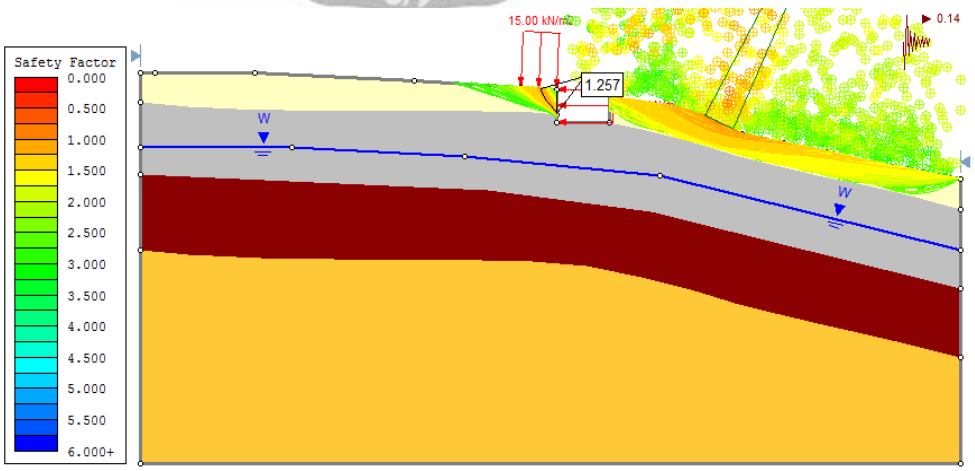


Figura 16-57. Análisis de estabilidad entibado pseudoestático F.S:1.25 - Pilona 9

- **PILONA 10**

En la Figura 16-58 y Figura 16-59 se evidencia el análsis de estabilidad de la excavación para la construccion del dado que hace parte del sistema de cimentacion de la pilona, como se logra apreciar en las figuras es necesario incorporar un sistema de sostenimiento para la excavacion ya que no cumple con los factores minimos establecidos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR – 10.

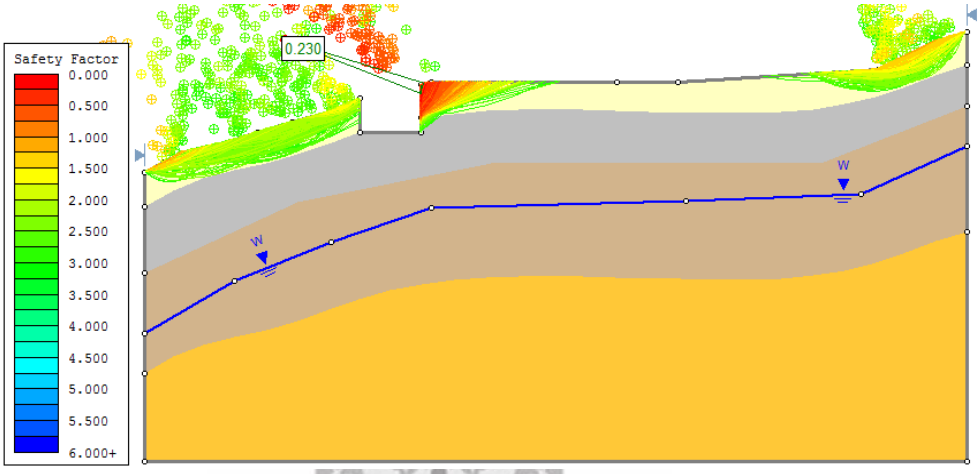


Figura 16-58. Análisis de estabilidad excavación estático F.S:0.23 - Pilona 10

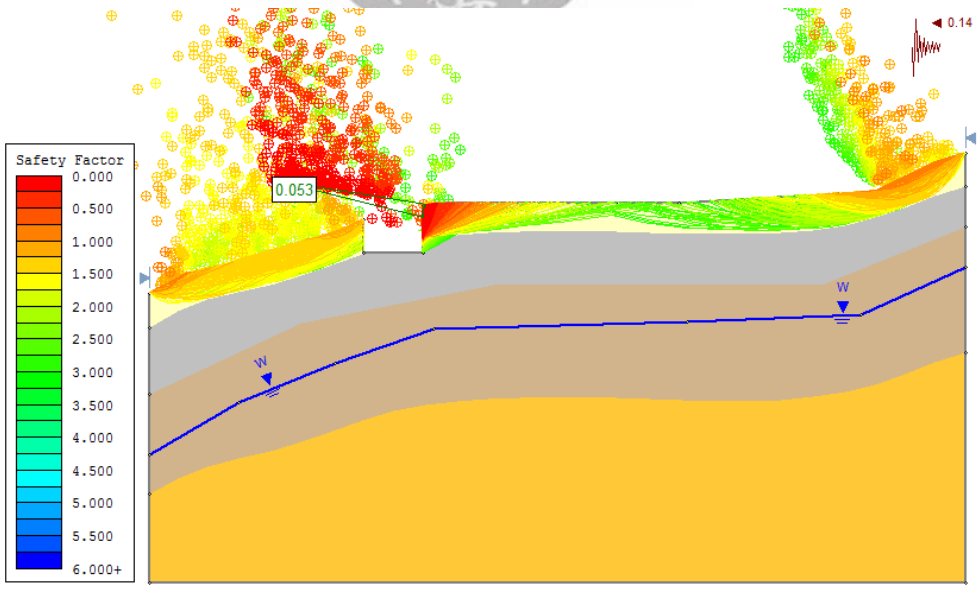
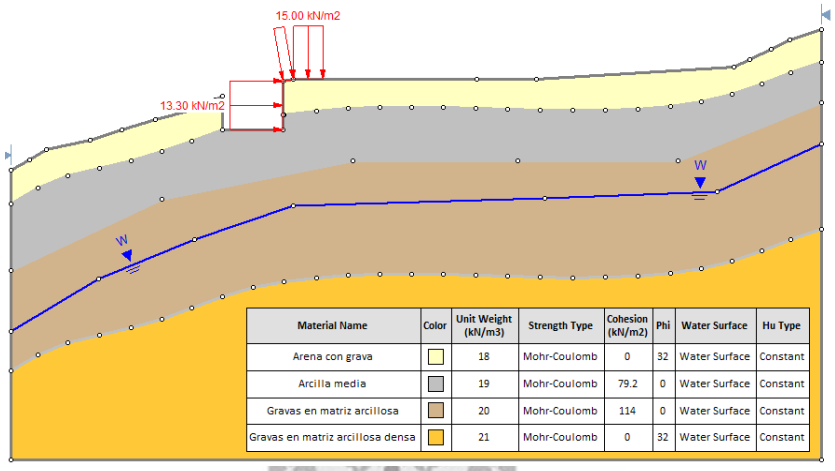


Figura 16-59. Análisis de estabilidad excavación pseudoestático F.S:0.053 - Pilona 10

A partir de lo anterior, en la Figura 16-61 y Figura 16-62 se presenta el análisis de la excavación incluyendo el sostenimiento, que en este caso se considera un entibado continuo, en cual deberá ser diseñado para que cumpla una presión admisible de 13.3 kPa, en las zonas donde se identifique el material de relleno y no haya espacio para generar cortes con algún grado de pendiente. Como se aprecia en las figuras, los factores de seguridad cumplen con los estipulados en el el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR - 10.



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi	Water Surface	Hu Type
Arena con grava		18	Mohr-Coulomb	0	32	Water Surface	Constant
Arcilla media		19	Mohr-Coulomb	79.2	0	Water Surface	Constant
Gravas en matriz arcillosa		20	Mohr-Coulomb	114	0	Water Surface	Constant
Gravas en matriz arcillosa densa		21	Mohr-Coulomb	0	32	Water Surface	Constant

Figura 16-60. Sección de análisis Entibado Pa=13.30kPa - Pilona 10

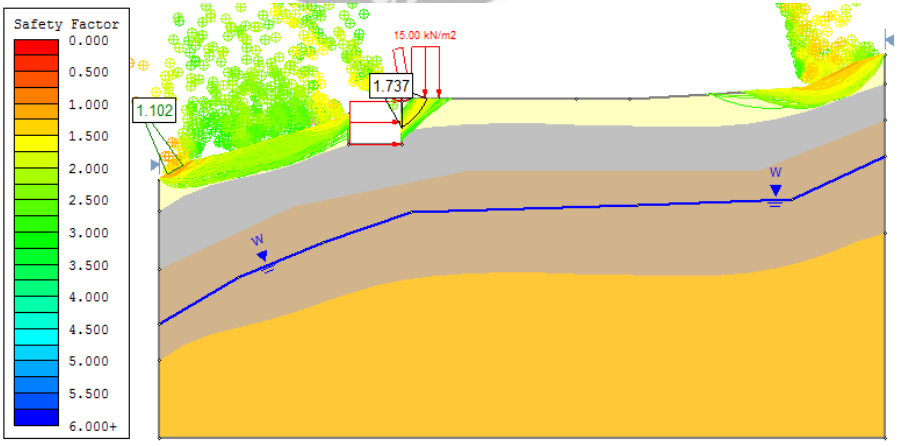


Figura 16-61. Análisis de estabilidad entibado estático F.S:1.73 - Pilona 10

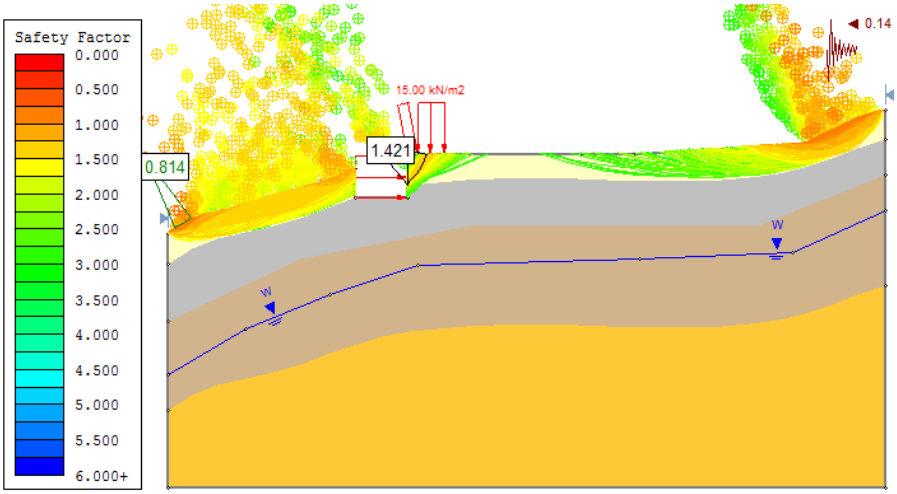


Figura 16-62. Análisis de estabilidad entibado pseudoestático F.S:1.42 - Pilona 10

- **PILONA 11**

En la Figura 16-63 y Figura 16-64 se evidencia el análsis de estabilidad de la excavación para la construccion del dado que hace parte del sistema de cimentacion de la pilona, como se logra apreciar en las figuras es necesario incorporar un sistema de sostenimiento para la excavacion ya que no cumple con los factores minimos establecidos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR – 10.

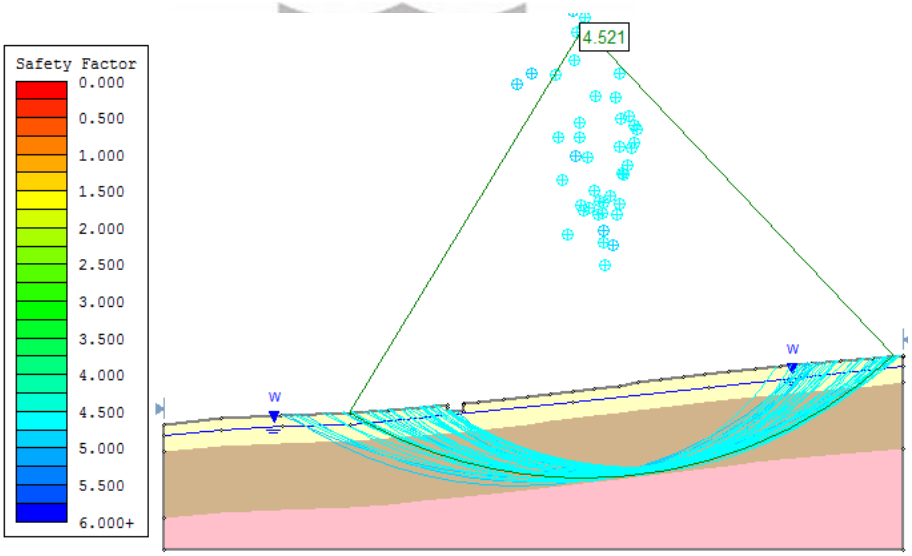


Figura 16-63. Análisis de estabilidad excavación estático F.S:4.52 - Pilona 11

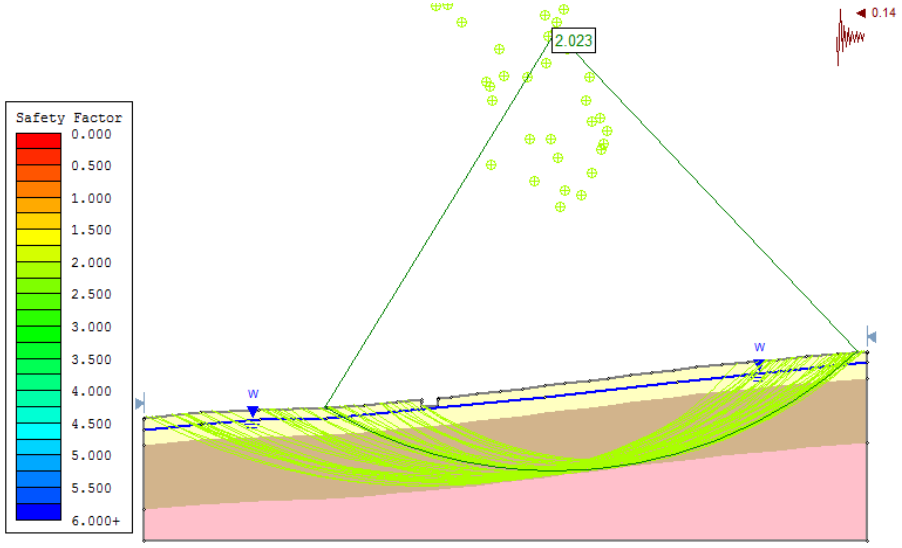


Figura 16-64. Análisis de estabilidad excavación pseudoestático F.S:2.02 - Pilona 11

A partir de lo anterior, en la Figura 16-66 y Figura 16-67 se presenta el análisis de la excavación incluyendo el sostenimiento, que en este caso se considera un entibado continuo,

en cual deberá ser diseñado para que cumpla una presión admisible de 10 kPa, en las zonas donde se identifique el material de relleno y no haya espacio para generar cortes con algún grado de pendiente. Como se aprecia en las figuras, los factores de seguridad cumplen con los estipulados en el el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR - 10.

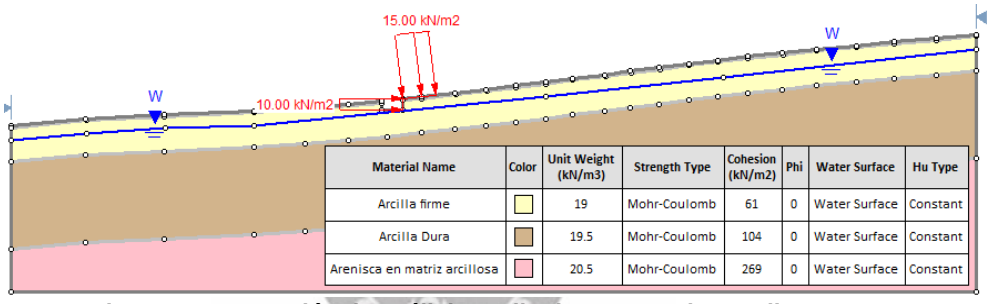


Figura 16-65. Sección de análisis Entibado Pa=10.00kPa - Pilona 11

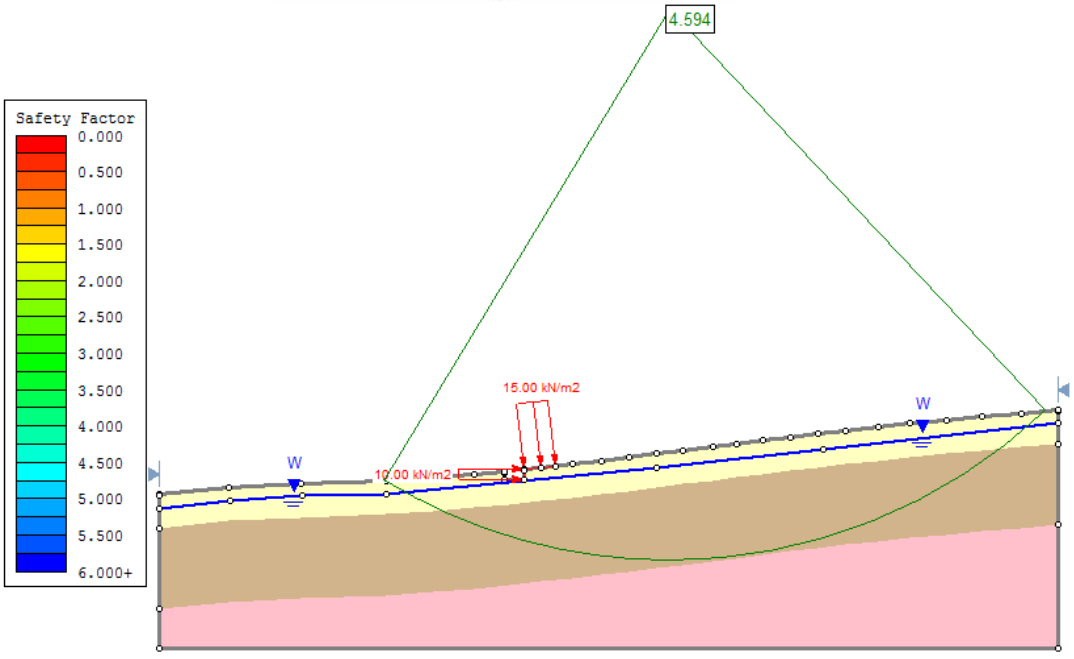


Figura 16-66. Análisis de estabilidad entibado estático F.S:4.5 - Pilona 11

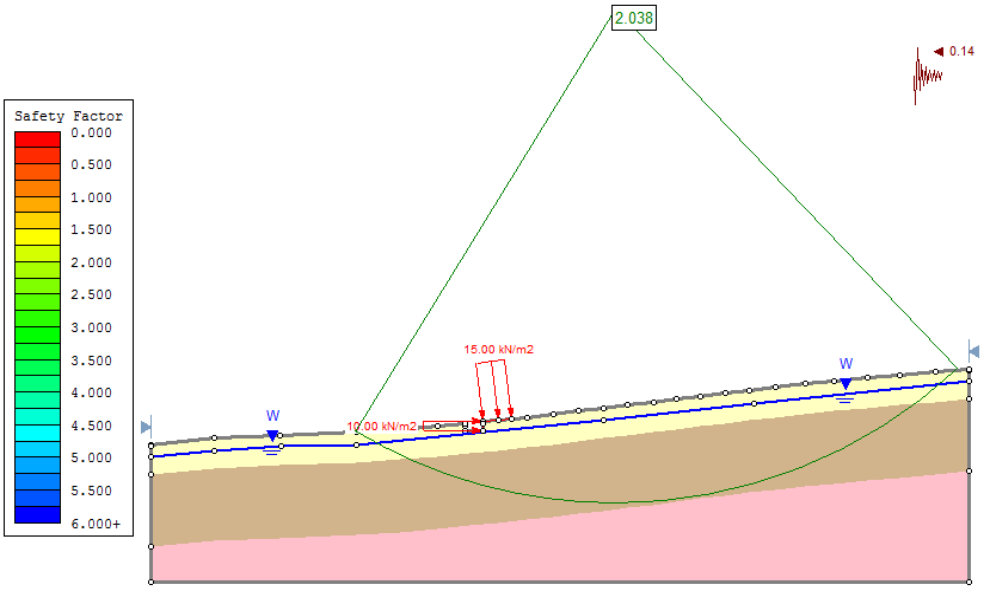


Figura 16-67. Análisis de estabilidad entibado pseudoestático F.S: 2.03 - Pilona 11

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

- **PILONA 12-13-14**

En la Figura 16-68 y Figura 16-69 se evidencia el análsis de estabilidad de la excavación para la construccion del dado que hace parte del sistema de cimentacion de la pilona, como se logra apreciar en las figuras es necesario incorporar un sistema de sostenimiento para la excavacion ya que no cumple con los factores minimos establecidos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR – 10.

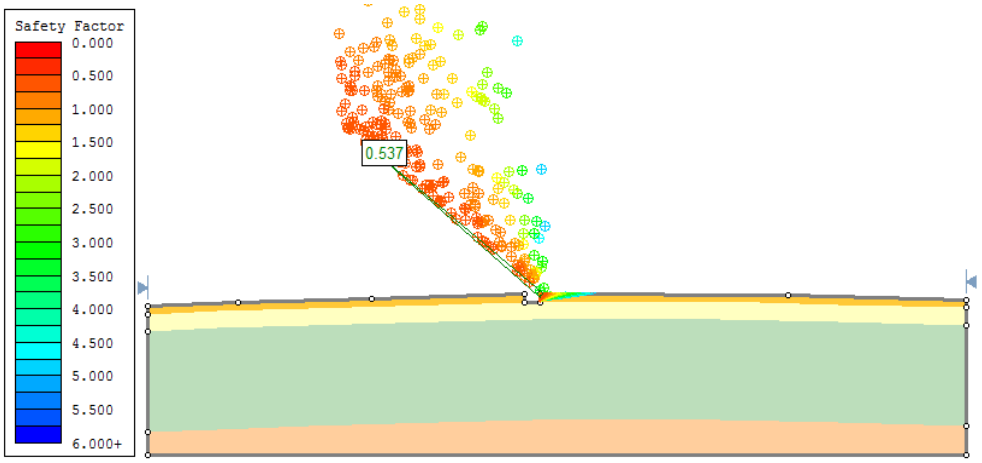


Figura 16-68. Análisis de estabilidad excavación estático F.S:0.53 - Pilona 12-13-14

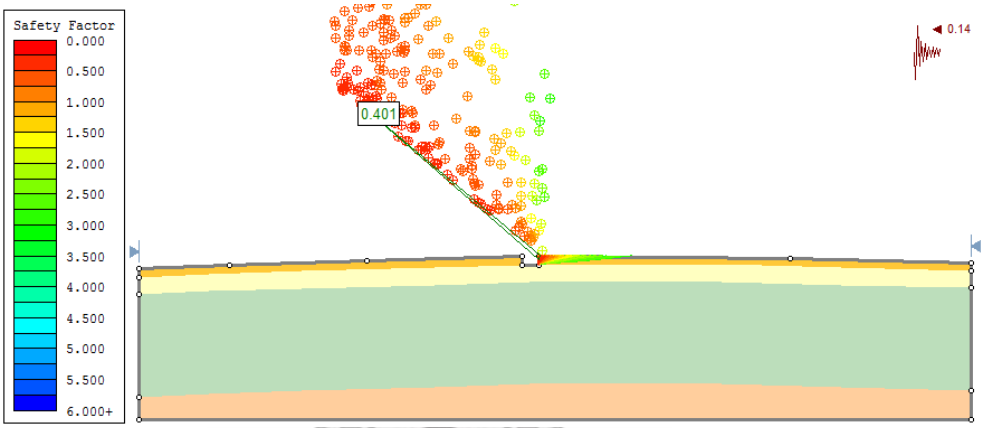
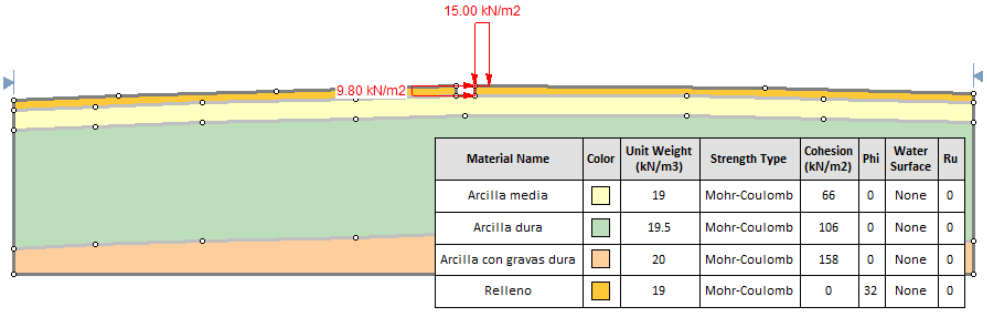


Figura 16-69. Análisis de estabilidad excavación pseudoestático F.S:0.40 - Pilona 12-13-14

A partir de lo anterior, en la Figura 16-71 y Figura 16-72 y se presenta el análisis de la excavación incluyendo el sostenimiento, que en este caso se considera un entibado continuo, en cual deberá ser diseñado para que cumpla una presión admisible de 10 kPa, en las zonas donde se identifique el material de relleno y no haya espacio para generar cortes con algún grado de pendiente. Como se aprecia en las figuras, los factores de seguridad cumplen con los estipulados en el el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR - 10.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi	Water Surface	Ru
Arcilla media		19	Mohr-Coulomb	66	0	None	0
Arcilla dura		19.5	Mohr-Coulomb	106	0	None	0
Arcilla con gravas dura		20	Mohr-Coulomb	158	0	None	0
Relleno		19	Mohr-Coulomb	0	32	None	0

Figura 16-70. Sección de análisis Entibado Pa=9.80 kPa - Pilona 12-13-14

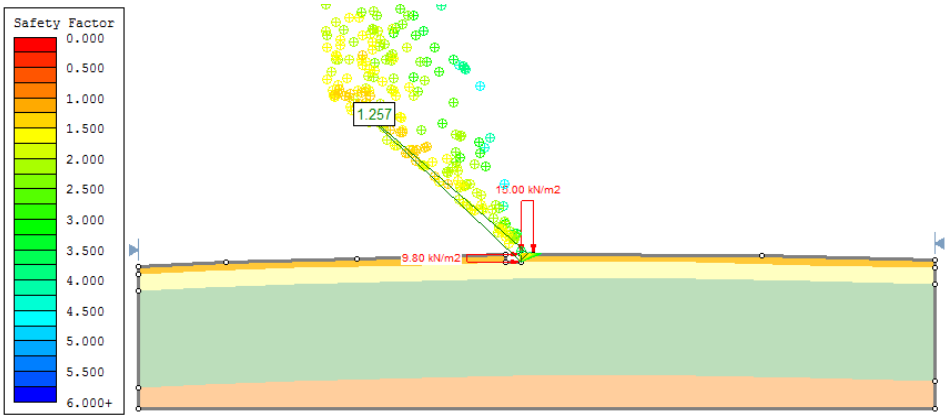


Figura 16-71. Análisis de estabilidad entibado estático F.S:4.5 - Pilona 12-13-14

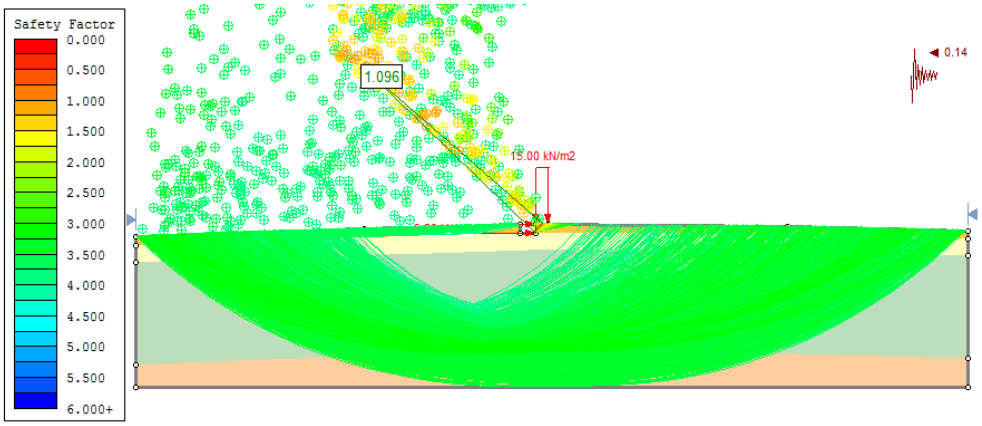


Figura 16-72. Análisis de estabilidad entibado pseudoestático F.S:1.09 - Pilona 12-13-14

- **PILONA 15**

En la Figura 16-73 y Figura 16-74 se evidencia el análsis de estabilidad de la excavación para la construccion del dado que hace parte del sistema de cimentacion de la pilona, como se logra apreciar en las figuras es necesario incorporar un sistema de sostenimiento para la excavacion ya que no cumple con los factores minimos establecidos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR – 10.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

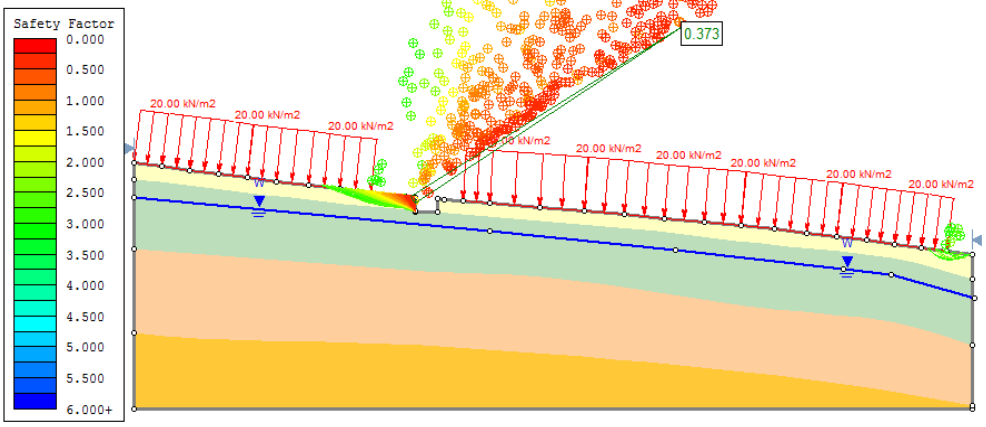
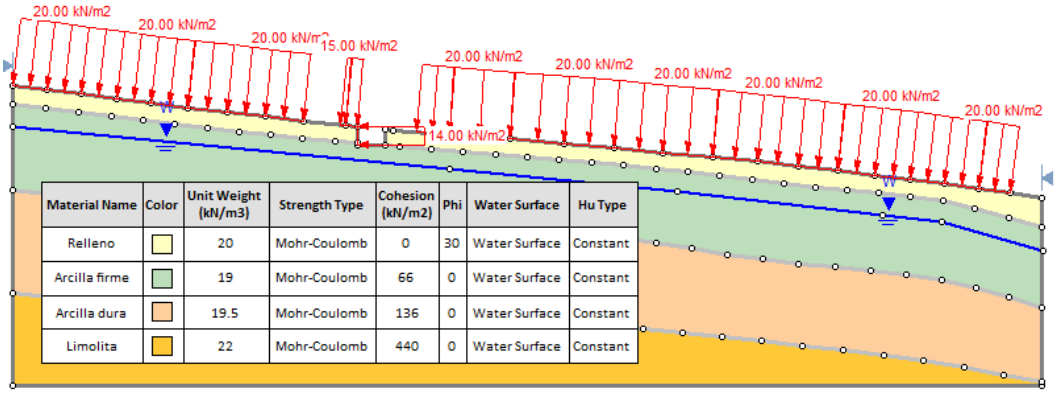


Figura 16-73. Análisis de estabilidad excavación estático F.S:0.37 - Pilona 15

Figura 16-74. Análisis de estabilidad excavación pseudoestático F.S:0.34 - Pilona 15

A partir de lo anterior, en la Figura 16-76 y Figura 16-77 se presenta el análisis de la excavación incluyendo el sostenimiento, que en este caso se considera un entibado continuo, en cual deberá ser diseñado para que cumpla una presión admisible de 14 kPa, en las zonas donde se identifique el material de relleno y no haya espacio para generar cortes con algún grado de pendiente. Como se aprecia en las figuras, los factores de seguridad cumplen con los estipulados en el el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR - 10.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi	Water Surface	Hu Type
Relleno		20	Mohr-Coulomb	0	30	Water Surface	Constant
Arcilla firme		19	Mohr-Coulomb	66	0	Water Surface	Constant
Arcilla dura		19.5	Mohr-Coulomb	136	0	Water Surface	Constant
Limolita		22	Mohr-Coulomb	440	0	Water Surface	Constant

Figura 16-75. Sección de análisis Entibado Pa=14 kPa - Pilona 15

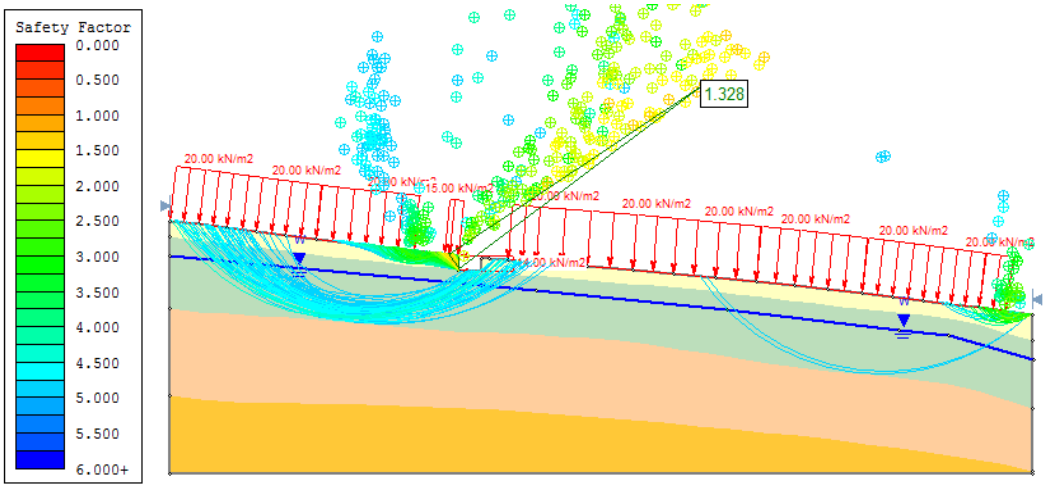


Figura 16-76. Análisis de estabilidad entibado estático F.S:1.32 - Pilona 15

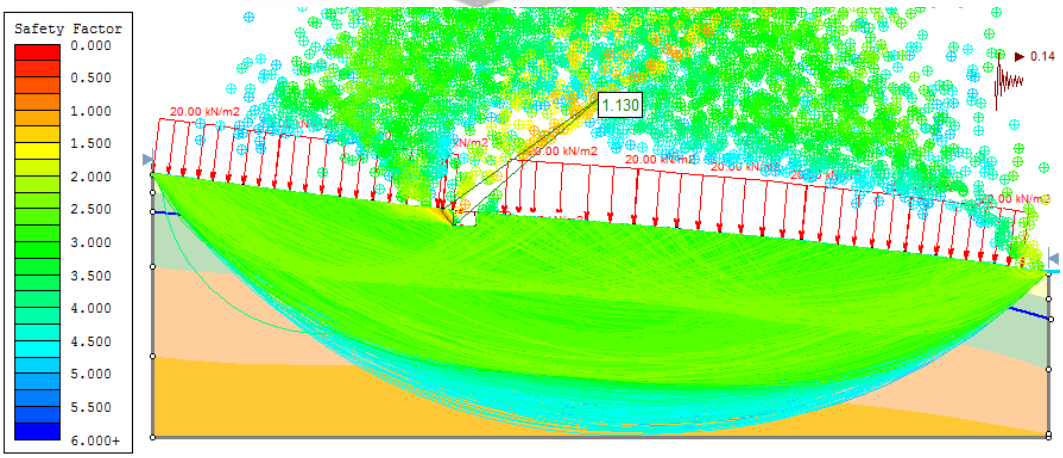


Figura 16-77. Análisis de estabilidad entibado pseudoestático F.S:1.13 - Pilona 15

- **PILONA 16**

En la Figura 16-78 y Figura 16-79 se evidencia el análsis de estabilidad de la excavación para la construccion del dado que hace parte del sistema de cimentacion de la pilona, como se logra apreciar en las figuras es necesario incorporar un sistema de sostenimiento para la excavacion ya que no cumple con los factores minimos establecidos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR – 10.

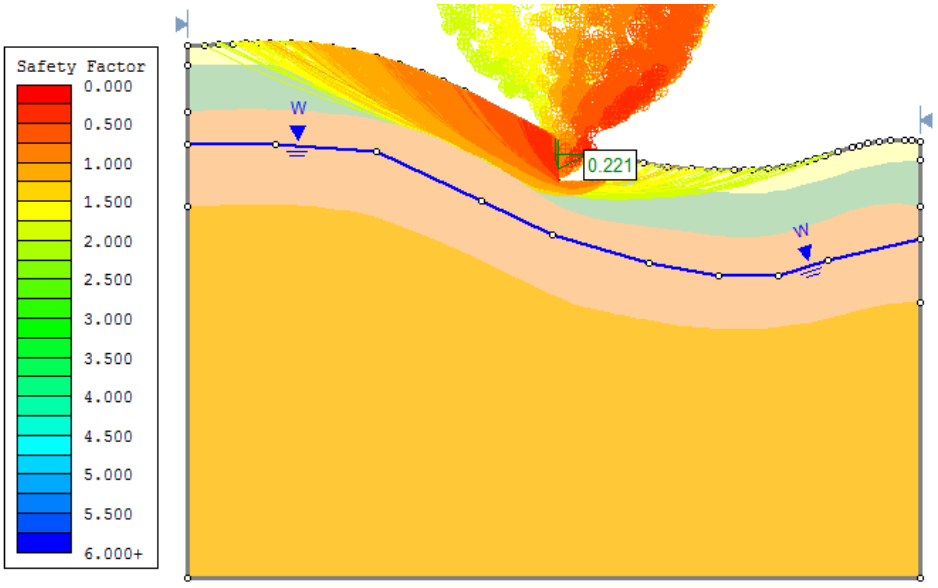


Figura 16-78. Análisis de estabilidad excavación estático F.S:0.22 - Pilona 16

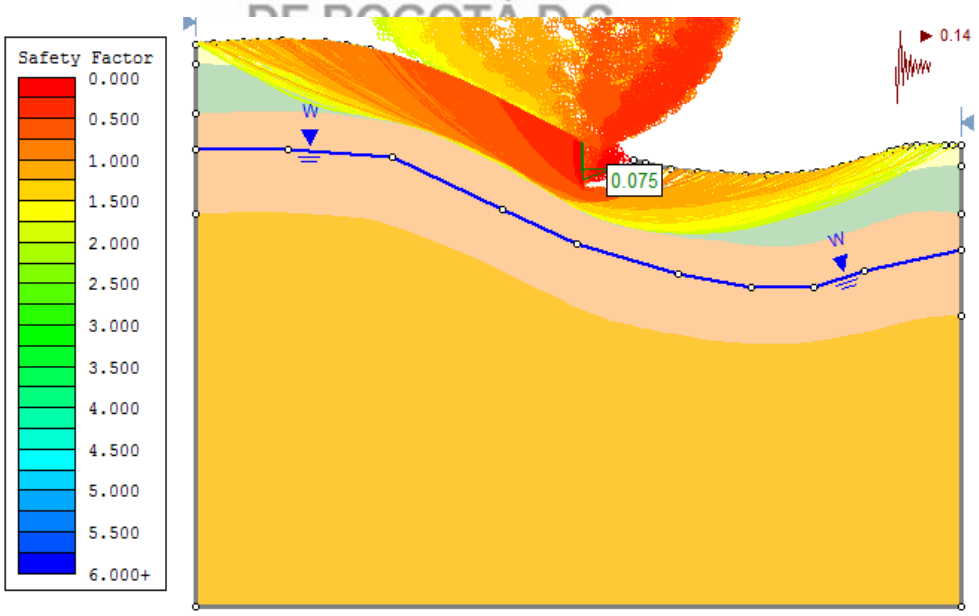
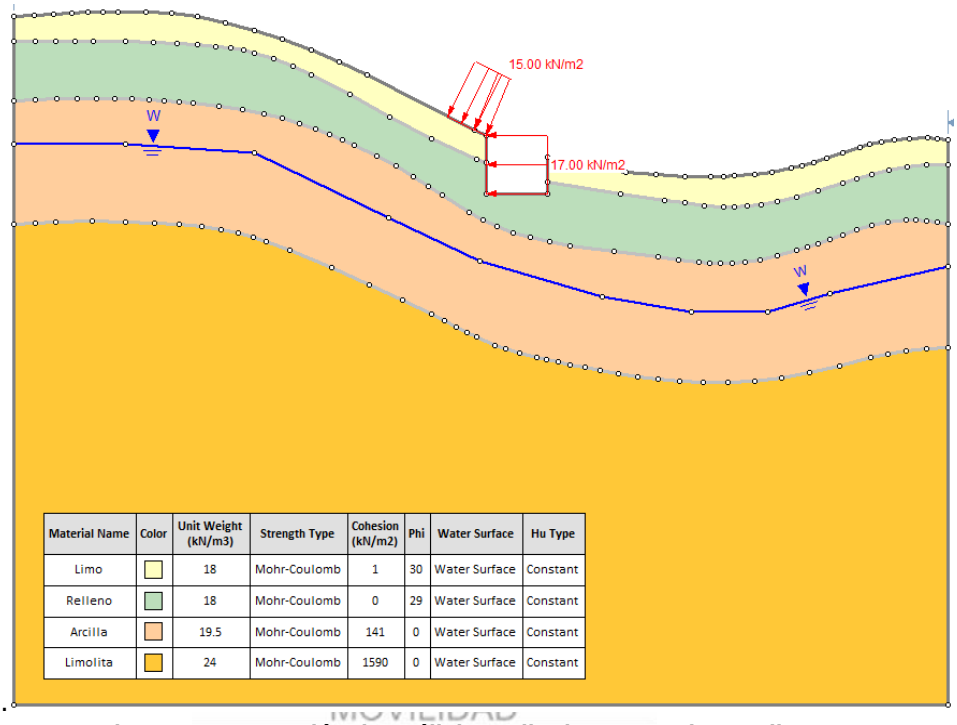


Figura 16-79. Análisis de estabilidad excavación pseudoestático F.S:0.075 - Pilona 16

A partir de lo anterior, en la Figura 16-81 y Figura 16-82 se presenta el análisis de la excavación incluyendo el sostenimiento, que en este caso se considera un entibado continuo, en cual deberá ser diseñado para que cumpla una presión admisible de 17 kPa, en las zonas donde se identifique el material de relleno y no haya espacio para generar cortes con algún grado de pendiente. Como se aprecia en las figuras, los factores de seguridad cumplen con los estipulados en el el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR - 10.



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi	Water Surface	Hu Type
Limo		18	Mohr-Coulomb	1	30	Water Surface	Constant
Relleno		18	Mohr-Coulomb	0	29	Water Surface	Constant
Arcilla		19.5	Mohr-Coulomb	141	0	Water Surface	Constant
Limolita		24	Mohr-Coulomb	1590	0	Water Surface	Constant

Figura 16-80. Sección de análisis Entibado Pa=17.0 kPa - Pilona 16

Instituto de Desarrollo Urbano

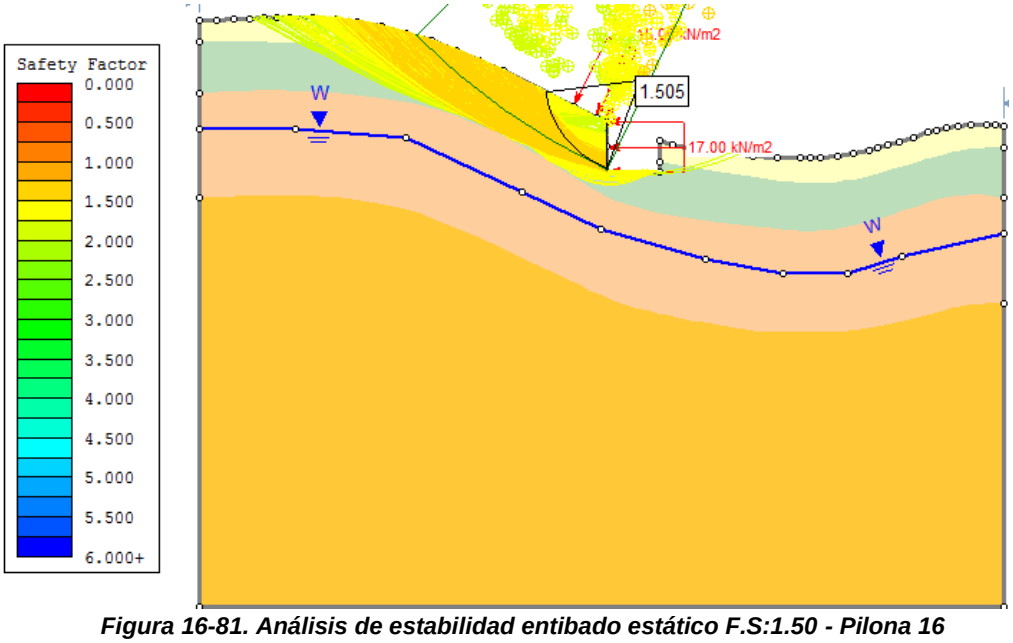


Figura 16-81. Análisis de estabilidad entibado estático F.S:1.50 - Pilona 16

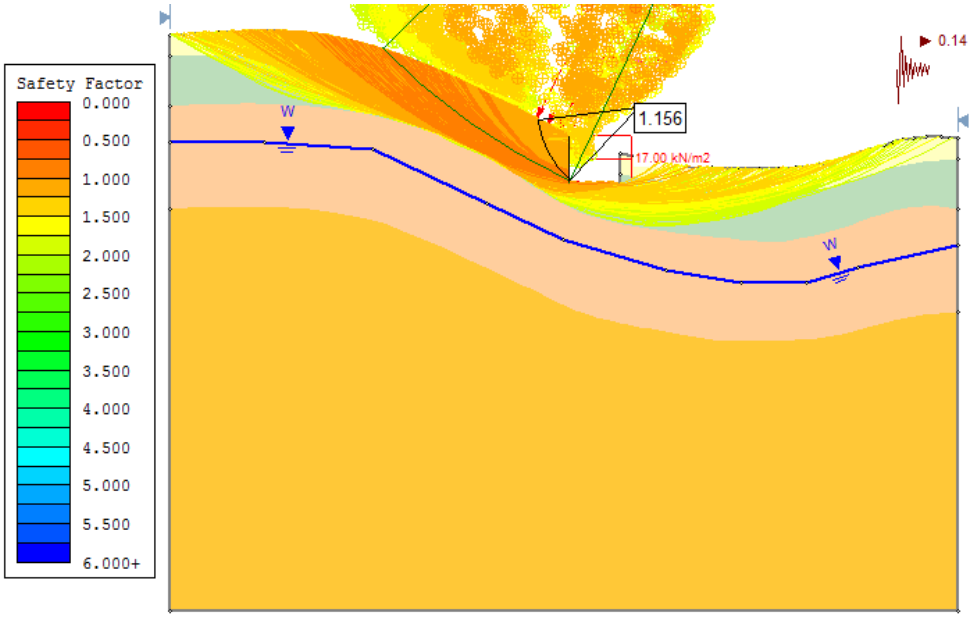


Figura 16-82. Análisis de estabilidad entibado pseudoestático F.S:1.15 - Pilona 16

DE BOGOTA D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

- **PILONA 17**

En la Figura 16-83 y Figura 16-84 se evidencia el análisis de estabilidad de la excavación para la construccion del dado que hace parte del sistema de cimentacion de la pilona, como se logra apreciar en las figuras es necesario incorporar un sistema de sostenimiento para la excavacion ya que no cumple con los factores minimos establecidos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR – 10.

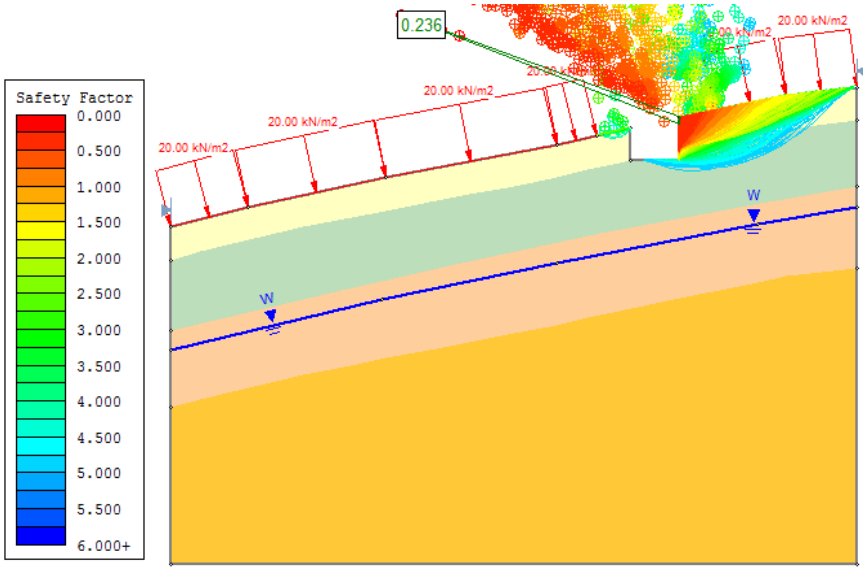


Figura 16-83. Análisis de estabilidad excavación estático F.S:0.23 - Pilona 17

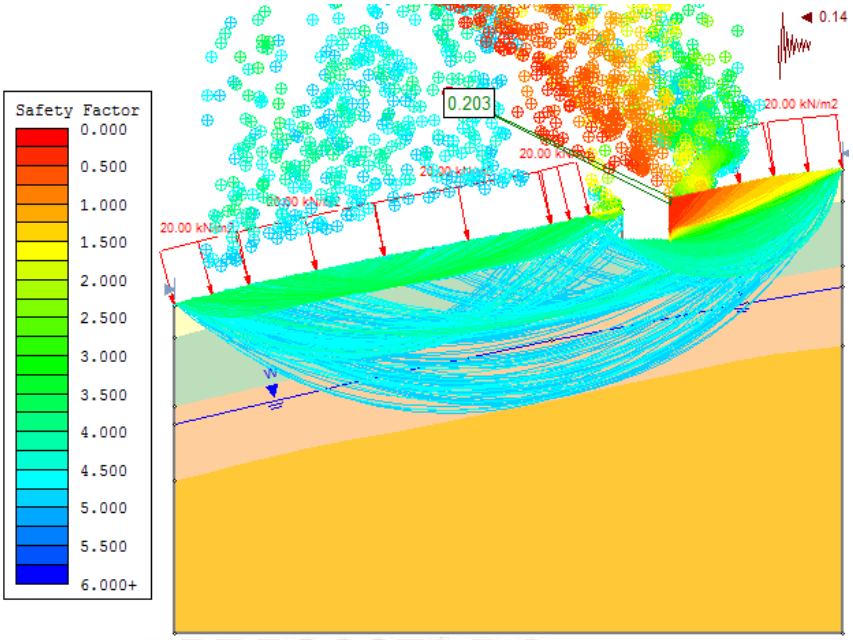


Figura 16-84. Análisis de estabilidad excavación pseudoestático F.S:0.20 - Pilona 17

DE BOGOTA D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

A partir de lo anterior, en la Figura 16-86 y Figura 16-87 se presenta el análisis de la excavación incluyendo el sostenimiento, que en este caso se considera un entibado continuo, en cual deberá ser diseñado para que cumpla una presión admisible de 14 kPa, en las zonas donde se identifique el material de relleno y no haya espacio para generar cortes con algún grado de pendiente. Como se aprecia en las figuras, los factores de seguridad cumplen con los estipulados en el el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR - 10.

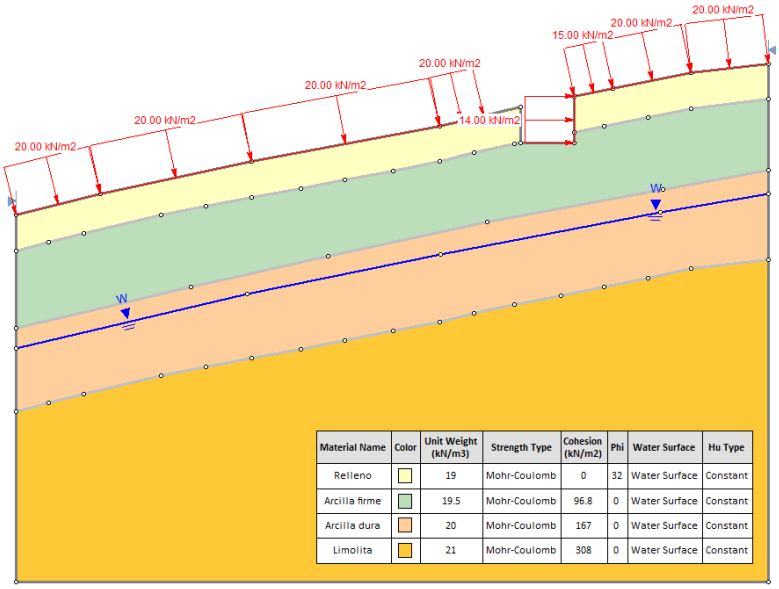


Figura 16-85. Sección de análisis Entibado Pa=14.0 kPa - Pilona 17

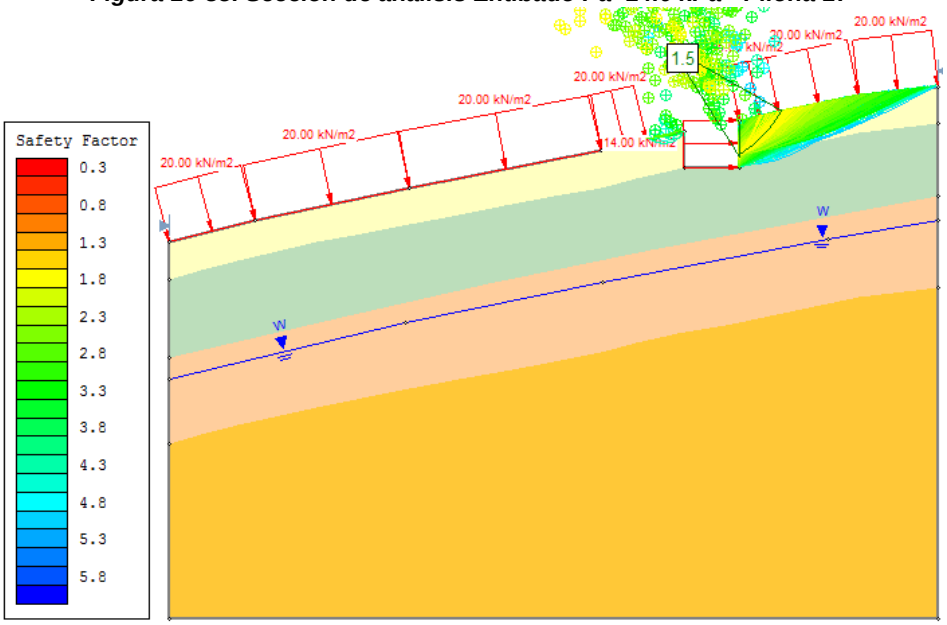


Figura 16-86. Análisis de estabilidad entibado estático F.S:1.50 - Pilona 17

MOVILIDAD

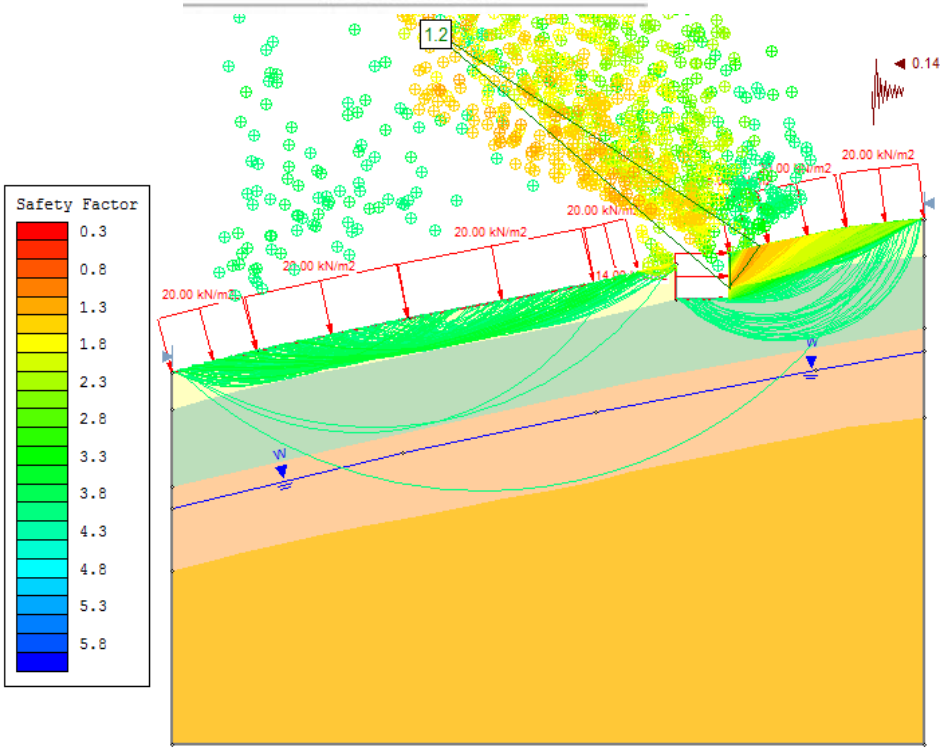


Figura 16-87. Análisis de estabilidad entibado pseudoestático F.S:1.20 - Pilona 17

- **PILONA 18**

En la Figura 16-88 y Figura 16-89 se evidencia el análsis de estabilidad de la excavación para la construccion del dado que hace parte del sistema de cimentacion de la pilona, como se logra apreciar en las figuras es necesario incorporar un sistema de sostenimiento para la excavacion ya que no cumple con los factores minimos establecidos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR – 10.

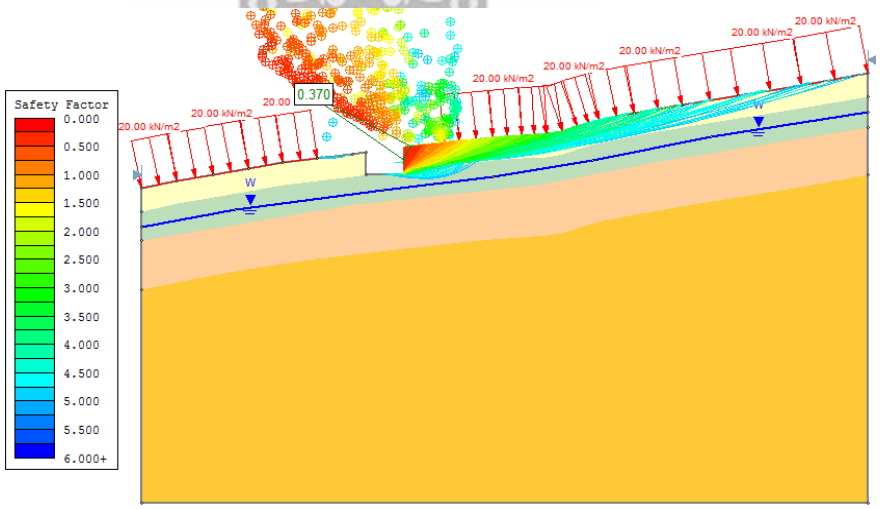


Figura 16-88. Análisis de estabilidad excavación estático F.S:0.37 - Pilona 18

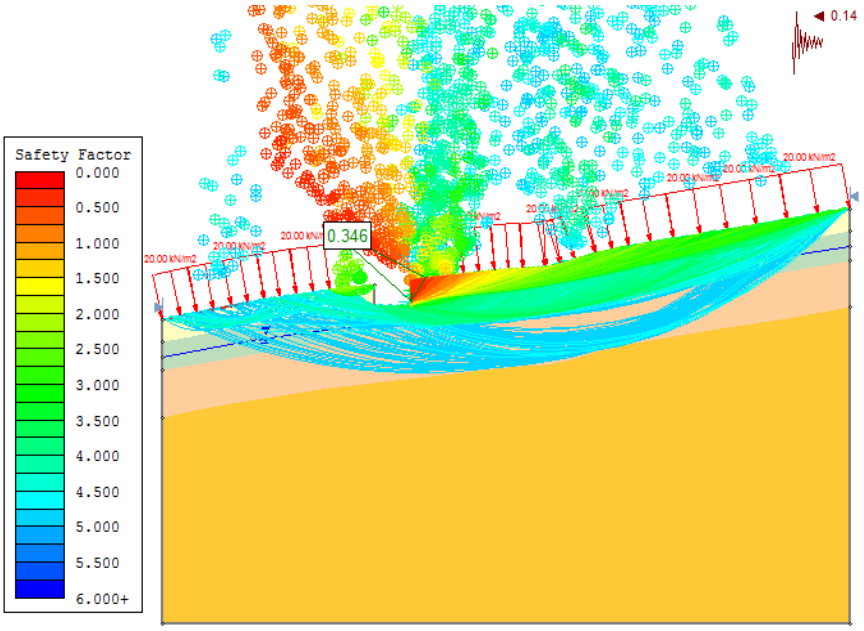


Figura 16-89. Análisis de estabilidad excavación pseudoestático F.S:0.34 - Pilona 18

A partir de lo anterior, en la Figura 16-91 y Figura 16-92 se presenta el análisis de la excavación incluyendo el sostenimiento, que en este caso se considera un entibado continuo, en cual deberá ser diseñado para que cumpla una presión admisible de 13.2 kPa, en las zonas donde se identifique el material de relleno y no haya espacio para generar cortes con algún grado de pendiente. Como se aprecia en las figuras, los factores de seguridad cumplen con los estipulados en el el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR - 10.

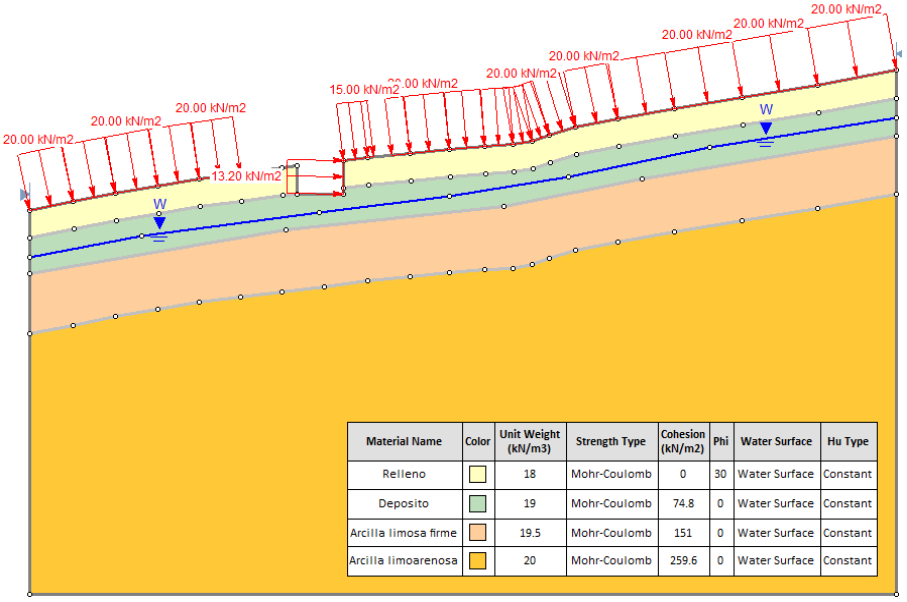


Figura 16-90. Sección de análisis Entibado Pa=13.2 kPa - Pilona 18

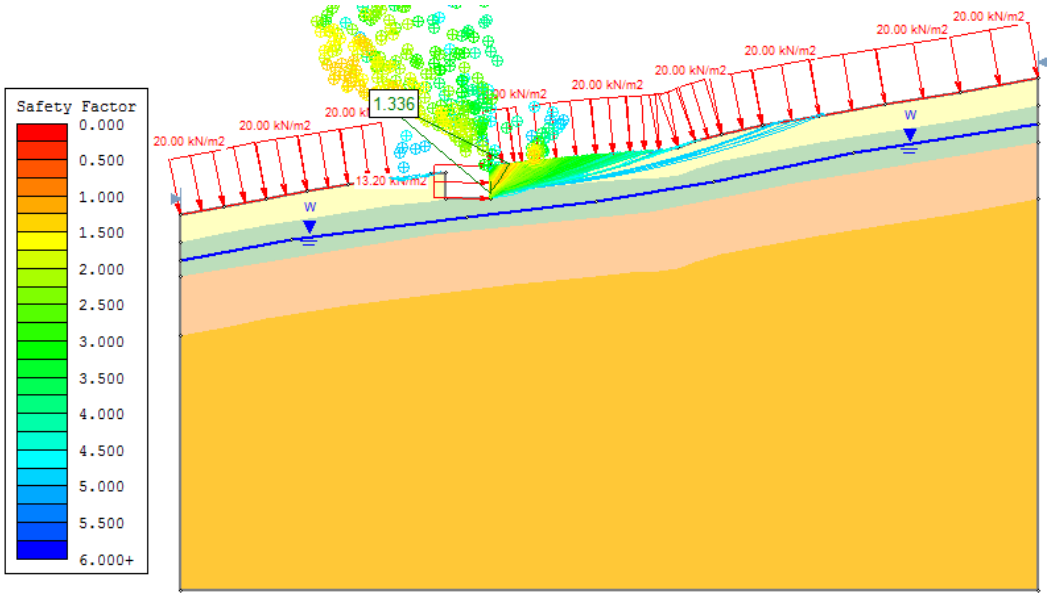


Figura 16-91. Análisis de estabilidad entibado estático F.S:1.33 - Pilona 18

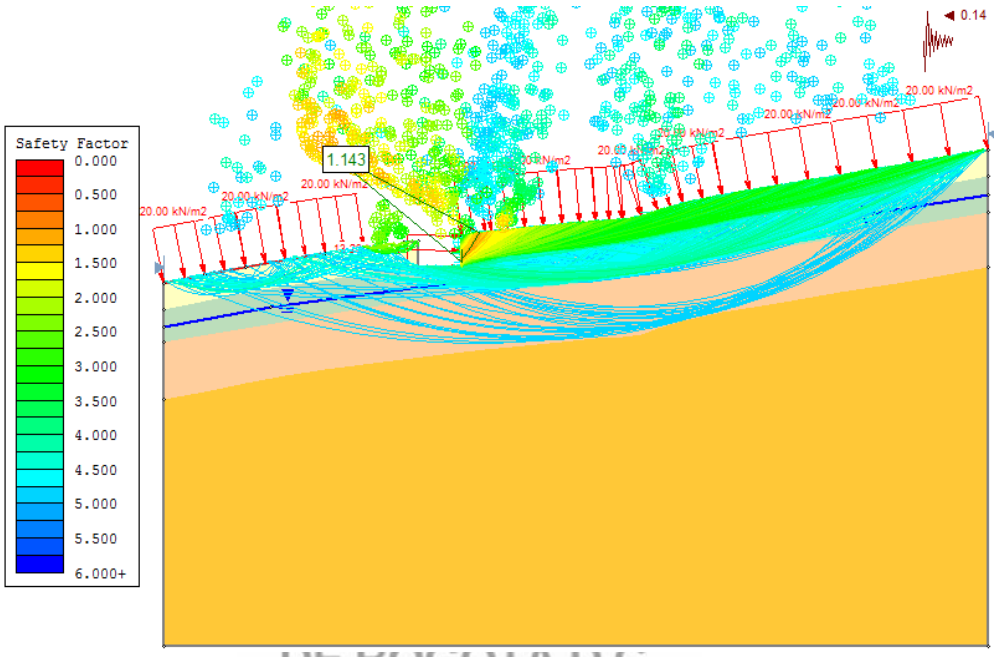


Figura 16-92. Análisis de estabilidad entibado pseudoestático F.S:1.14 - Pilona 18

MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

- **PILONA 19**

En la Figura 16-93 y Figura 16-94 se evidencia el análsis de estabilidad de la excavación para la construccion del dado que hace parte del sistema de cimentacion de la pilona, como se logra apreciar en las figuras es necesario incorporar un sistema de sostenimiento para la excavacion ya que no cumple con los factores minimos establecidos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR – 10.

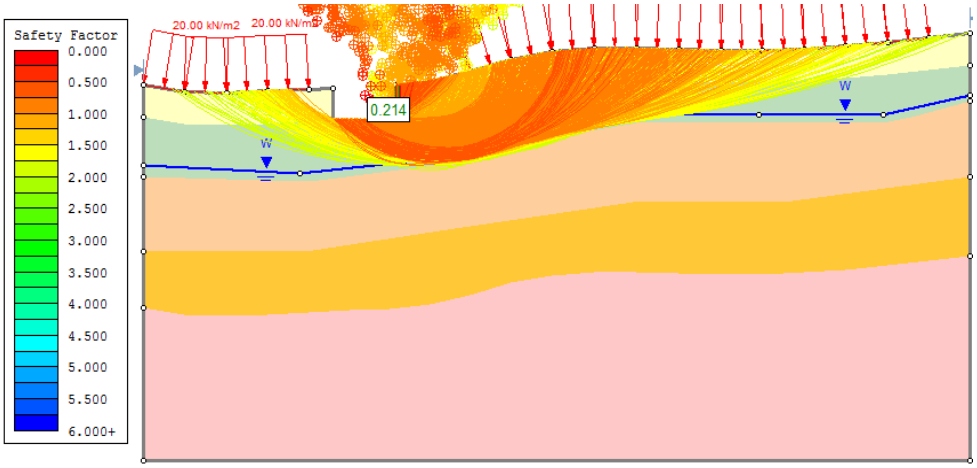


Figura 16-93. Análisis de estabilidad excavación estático F.S:0.21 - Pilona 19

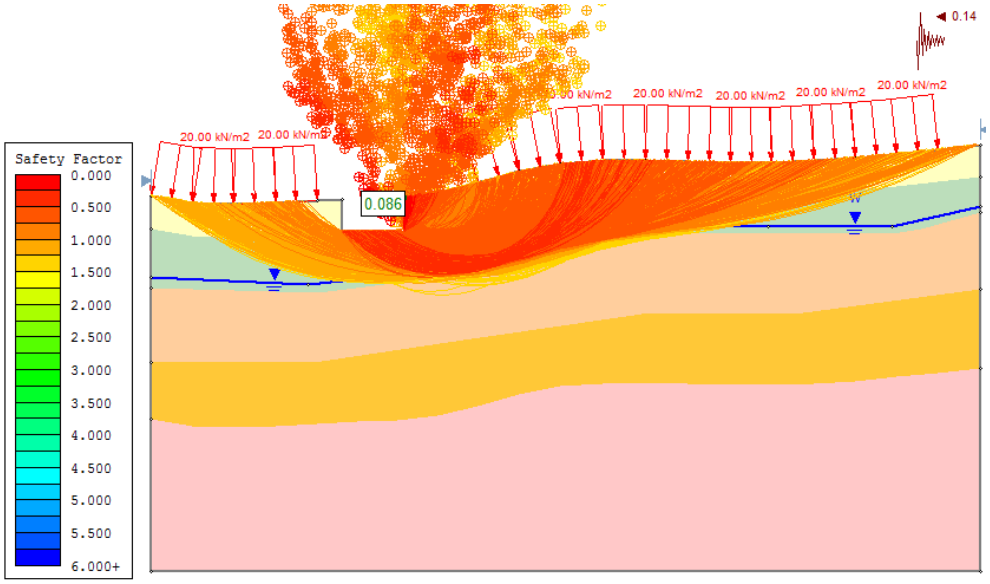
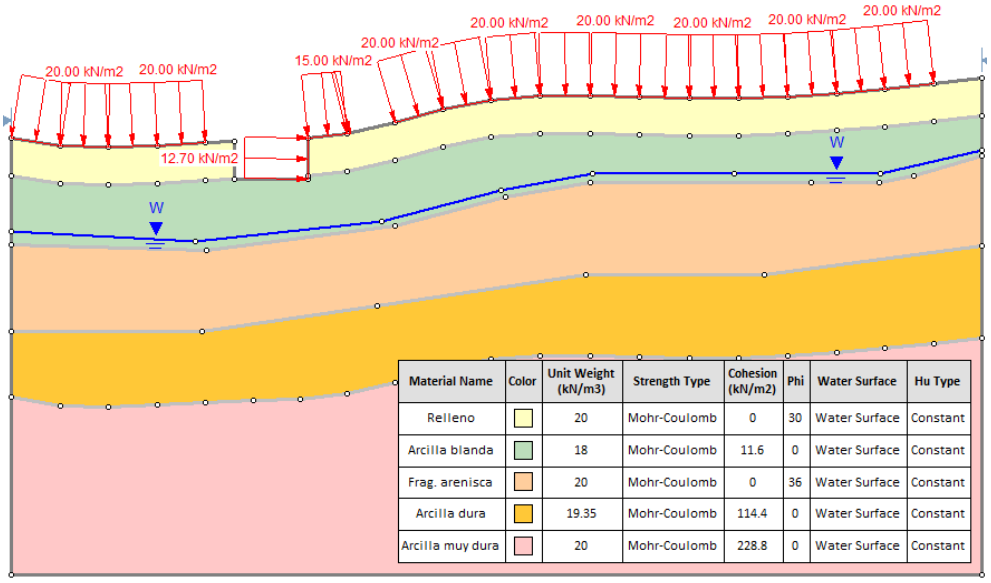


Figura 16-94. Análisis de estabilidad excavación pseudoestático F.S:0.086 - Pilona 19

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

A partir de lo anterior, en la Figura 16-96 y Figura 16-97 se presenta el análisis de la excavación incluyendo el sostenimiento, que en este caso se considera un entibado continuo, en cual deberá ser diseñado para que cumpla una presión admisible de 12.7 kPa, en las zonas donde se identifique el material de relleno y no haya espacio para generar cortes con algún grado de pendiente. Como se aprecia en las figuras, los factores de seguridad cumplen con los estipulados en el el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR - 10.



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi	Water Surface	Hu Type
Relleno		20	Mohr-Coulomb	0	30	Water Surface	Constant
Arcilla blanda		18	Mohr-Coulomb	11.6	0	Water Surface	Constant
Frag. arenisca		20	Mohr-Coulomb	0	36	Water Surface	Constant
Arcilla dura		19.35	Mohr-Coulomb	114.4	0	Water Surface	Constant
Arcilla muy dura		20	Mohr-Coulomb	228.8	0	Water Surface	Constant

Figura 16-95. Sección de análisis Entibado Pa=12.7 kPa - Pilona 19

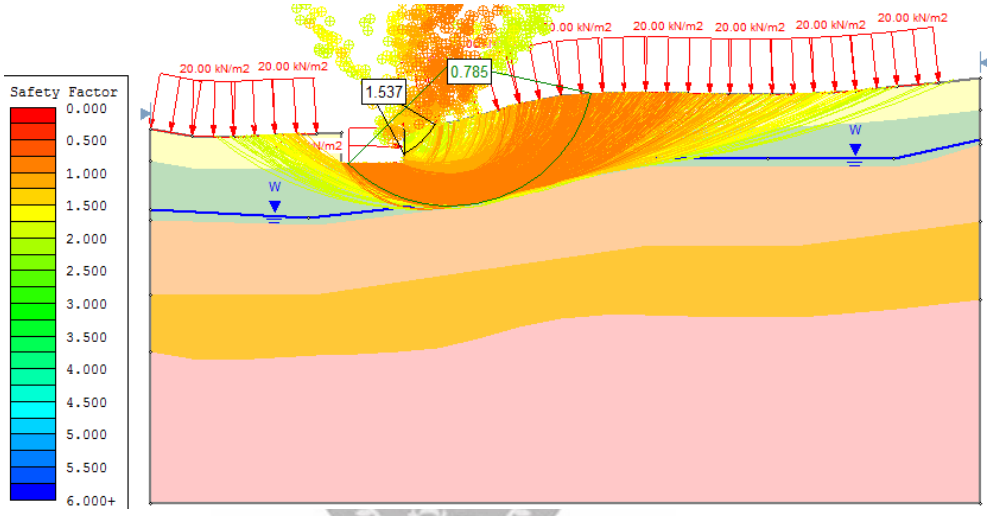


Figura 16-96. Análisis de estabilidad entibado estático F.S:1.53 - Pilona 19

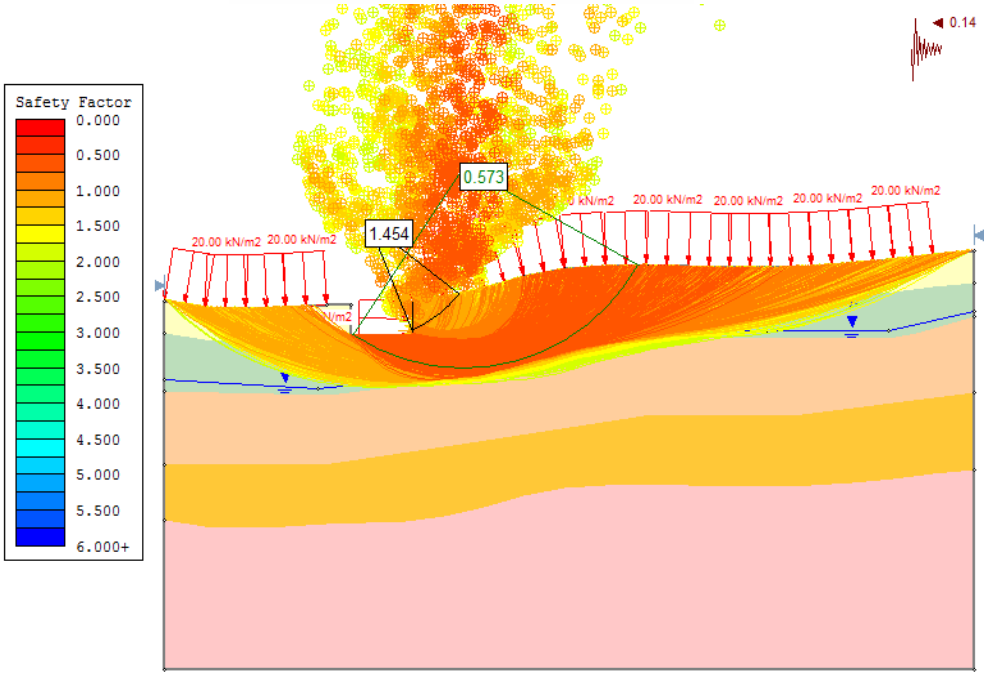


Figura 16-97. Análisis de estabilidad entibado pseudoestático F.S:1.45 - Pilona 19

- **PILONA 20**

En la Figura 16-98 y Figura 16-99 se evidencia el análsis de estabilidad de la excavación para la construccion del dado que hace parte del sistema de cimentacion de la pilona, como se logra apreciar en las figuras es necesario incorporar un sistema de sostenimiento para la excavacion ya que no cumple con los factores minimos establecidos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR – 10.

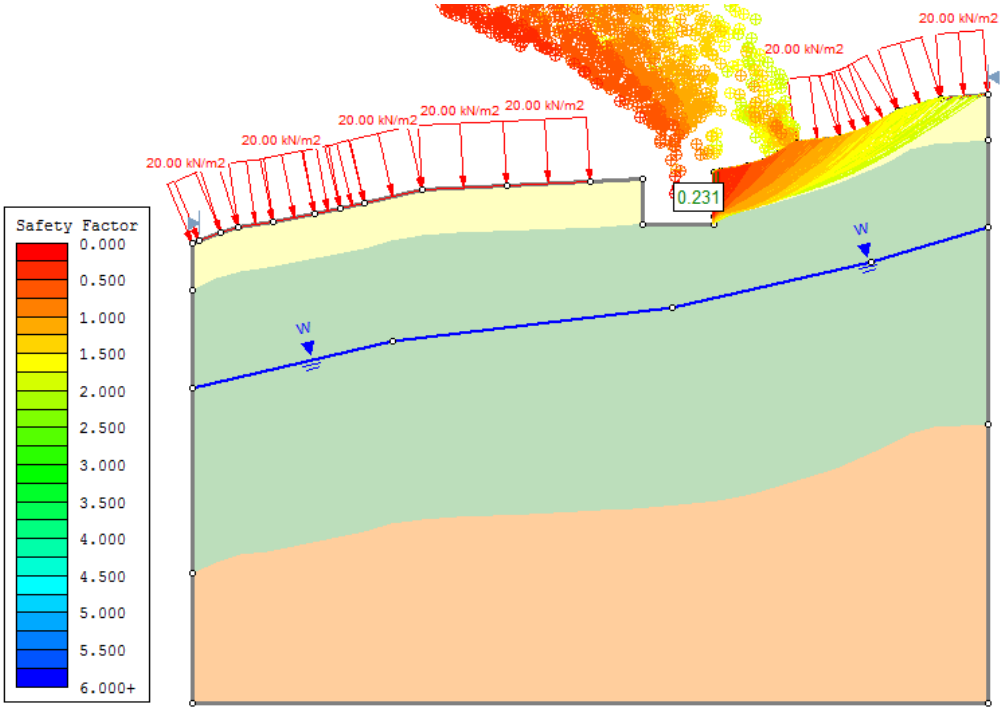


Figura 16-98. Análisis de estabilidad excavación estático F.S:0.23 - Pilona 20

Instituto de Desarrollo Urbano

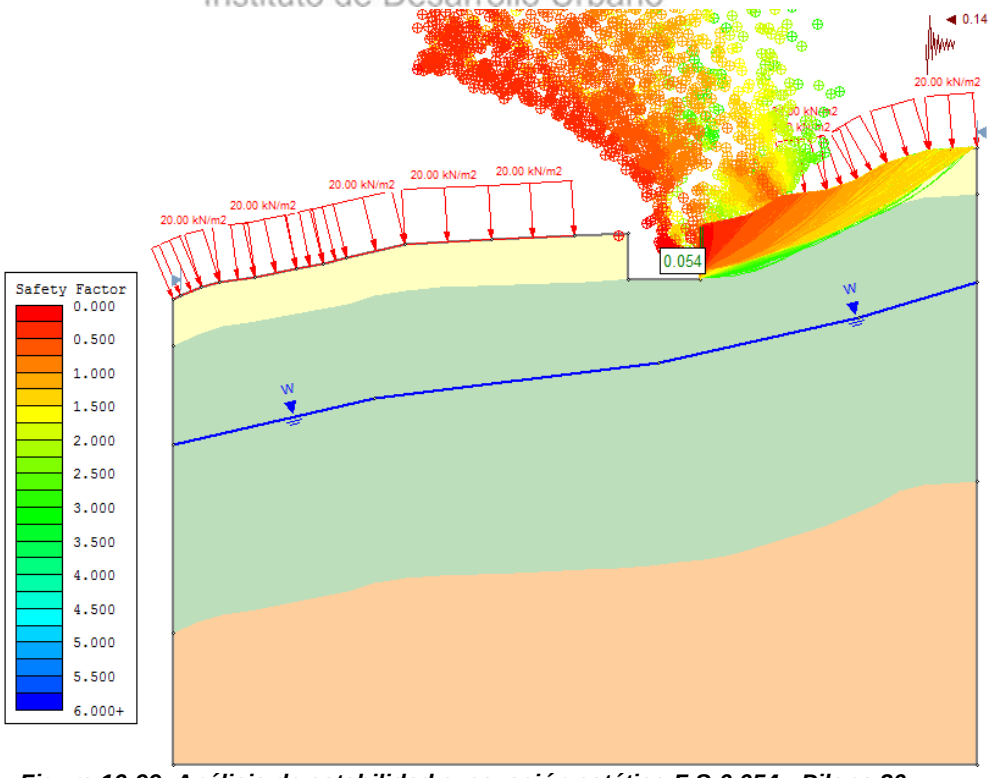


Figura 16-99. Análisis de estabilidad excavación estático F.S:0.054 - Pilona 20

A partir de lo anterior, en la Figura 16-101 y Figura 16-102 se presenta el análisis de la excavación incluyendo el sostenimiento, que en este caso se considera un entibado continuo, en cual deberá ser diseñado para que cumpla una presión admisible de 13.0 kPa, en las zonas donde se identifique el material de relleno y no haya espacio para generar cortes con algún grado de pendiente. Como se aprecia en las figuras, los factores de seguridad cumplen con los estipulados en el el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR - 10.

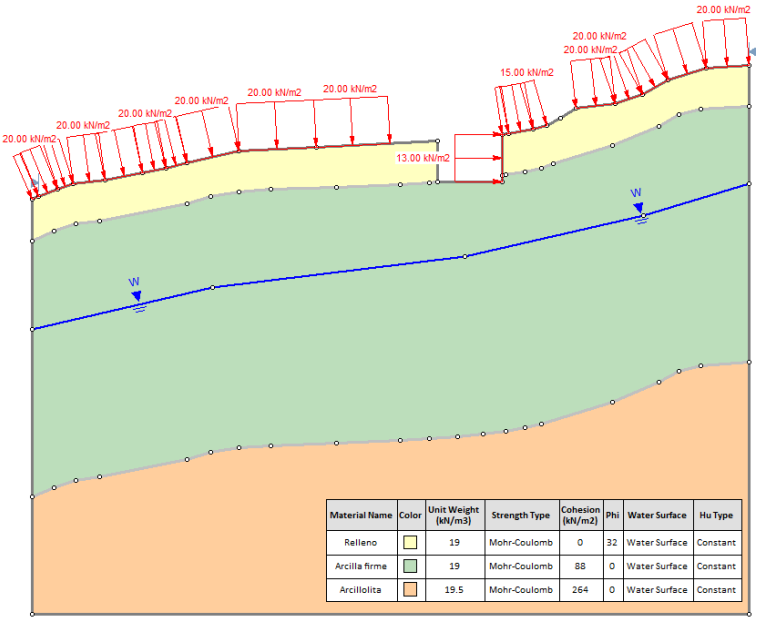


Figura 16-100. Sección de análisis Entibado Pa=13.0 kPa - Pilona 20

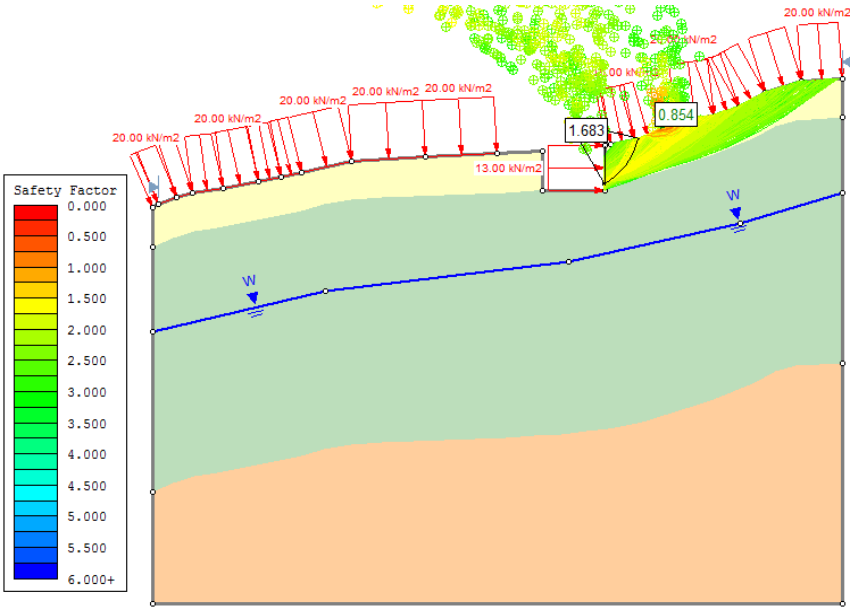


Figura 16-101. Análisis de estabilidad entibado estático F.S:1.68 - Pilona 20

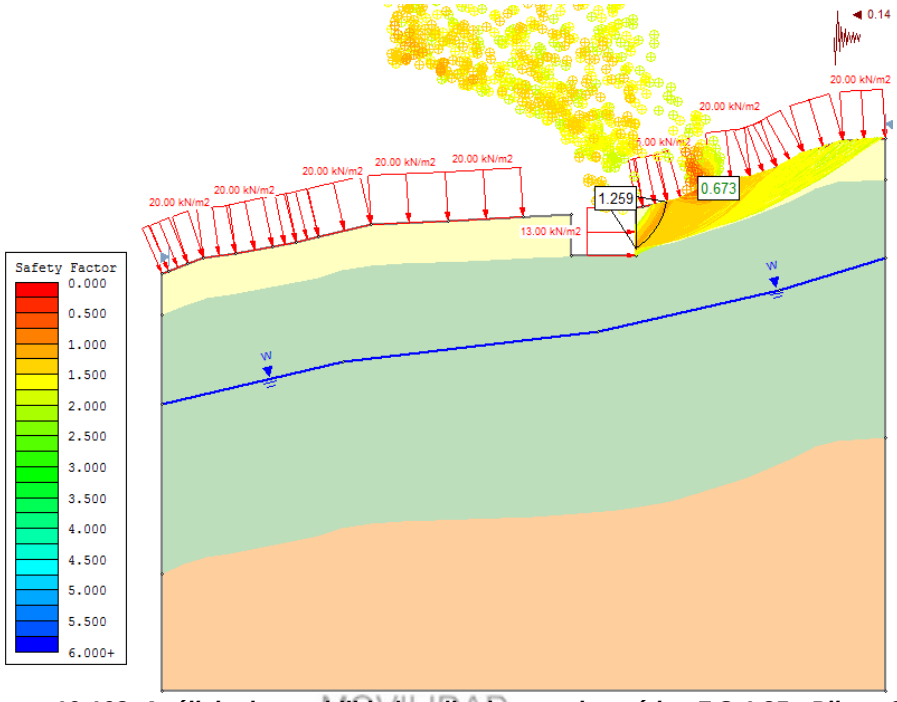


Figura 16-102. Análisis de estabilidad entibado pseudoestático F.S:1.25 - Pilona 20

MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

- **PILONA 21**

En la Figura 16-103 y Figura 16-104 se evidencia el análsis de estabilidad de la excavación para la construccion del dado que hace parte del sistema de cimentacion de la pilona, como se logra apreciar en las figuras es necesario incorporar un sistema de sostenimiento para la excavacion ya que no cumple con los factores minimos establecidos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR – 10.

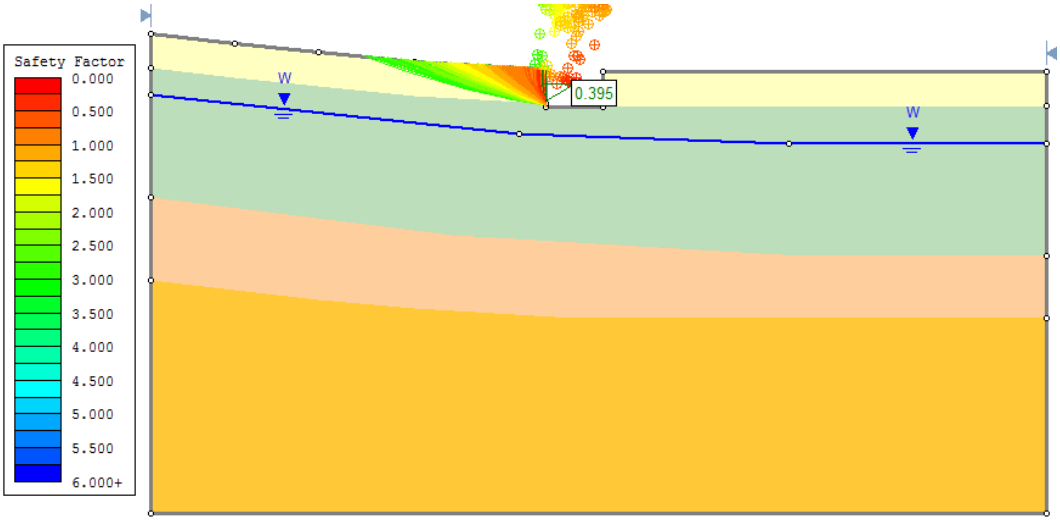


Figura 16-103. Análisis de estabilidad excavación estático F.S:0.39 - Pilona 21

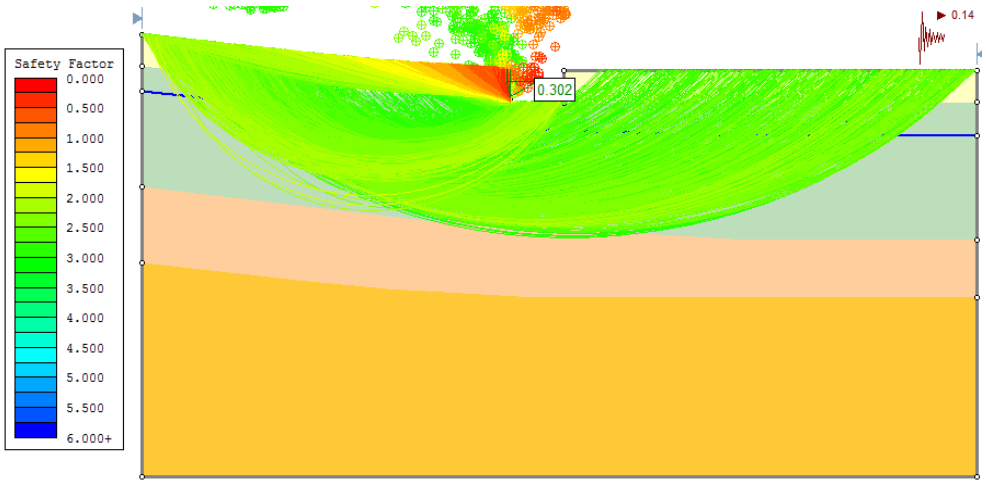
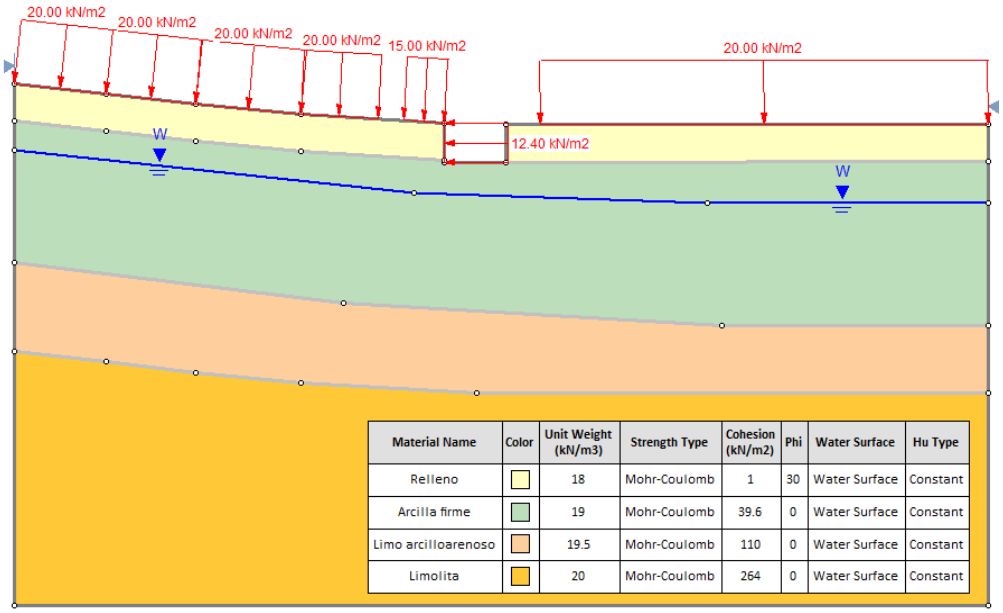


Figura 16-104. Análisis de estabilidad excavación pseudoestático F.S:0.30 - Pilona 21

A partir de lo anterior, en la Figura 16-106 y Figura 16-107 se presenta el análisis de la excavación incluyendo el sostenimiento, que en este caso se considera un entibado continuo, en cual deberá ser diseñado para que cumpla una presión admisible de 13.0 kPa, en las zonas donde se identifique el material de relleno y no haya espacio para generar cortes con algún grado de pendiente. Como se aprecia en las figuras, los factores de seguridad cumplen con los estipulados en el el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR - 10.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi	Water Surface	Hu Type
Relleno		18	Mohr-Coulomb	1	30	Water Surface	Constant
Arcilla firme		19	Mohr-Coulomb	39.6	0	Water Surface	Constant
Limo arcilloarenoso		19.5	Mohr-Coulomb	110	0	Water Surface	Constant
Limolita		20	Mohr-Coulomb	264	0	Water Surface	Constant

Figura 16-105. Sección de análisis Entibado Pa=13.0 kPa - Pilona 21

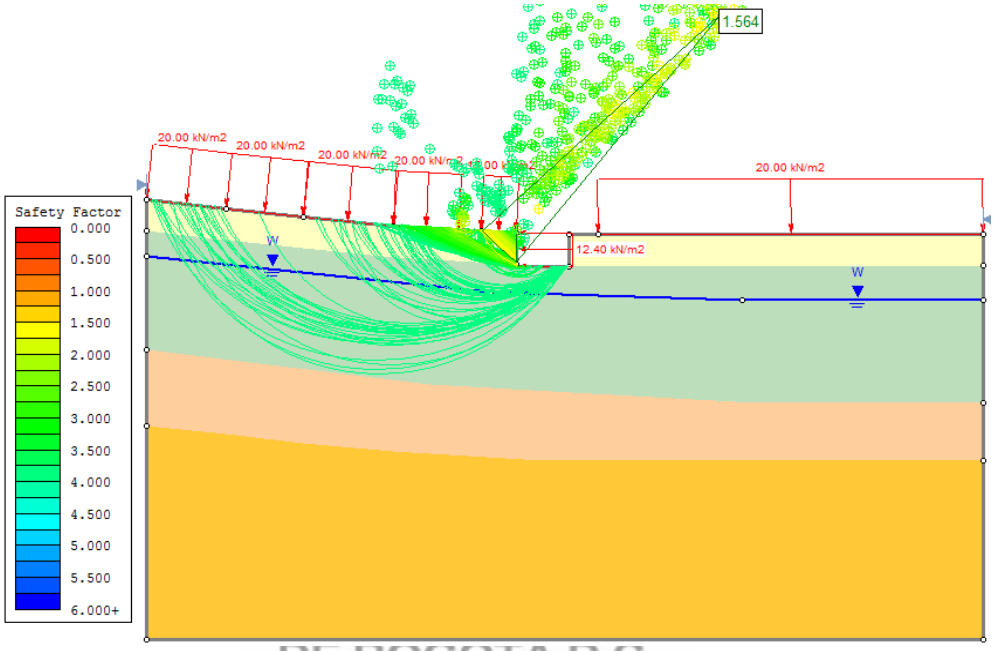


Figura 16-106. Análisis de estabilidad entibado estático F.S:1.56 - Pilona 21

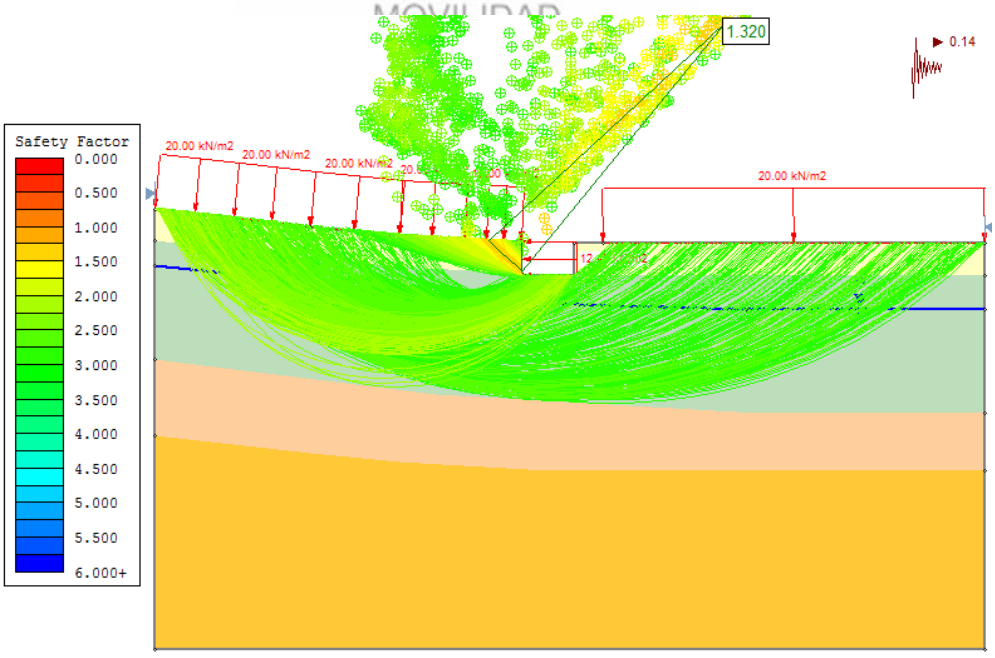


Figura 16-107. Análisis de estabilidad entibado pseudoestático F.S:1.32 - Pilona 21

- **PILONA 22**

En la Figura 16-108 y Figura 16-109 se evidencia el anásis de estabilidad de la excavación para la construccion del dado que hace parte del sistema de cimentacion de la pilona, como se logra apreciar en las figuras es necesario incorporar un sistema de sostenimiento para la excavacion ya que no cumple con los factores minimos establecidos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR – 10.

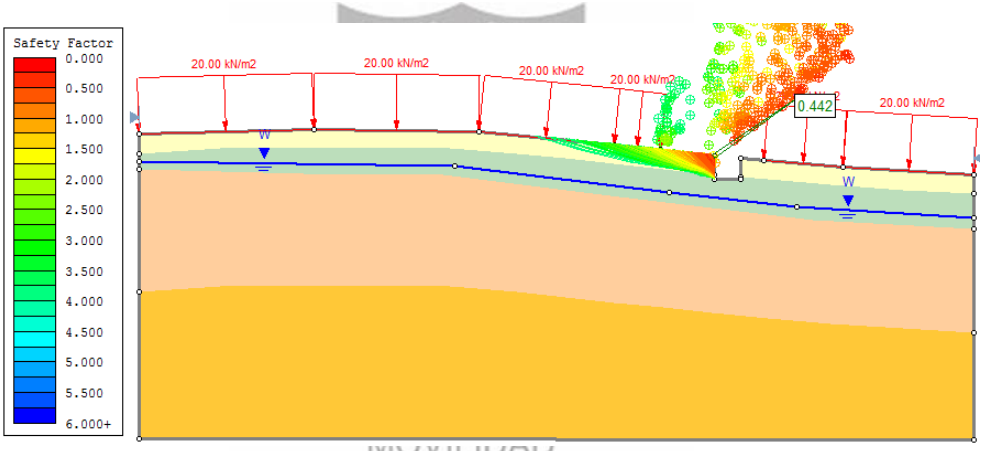


Figura 16-108. Análisis de estabilidad excavación estático F.S:0.44 - Pilona 22

Instituto de Desarrollo Urbano

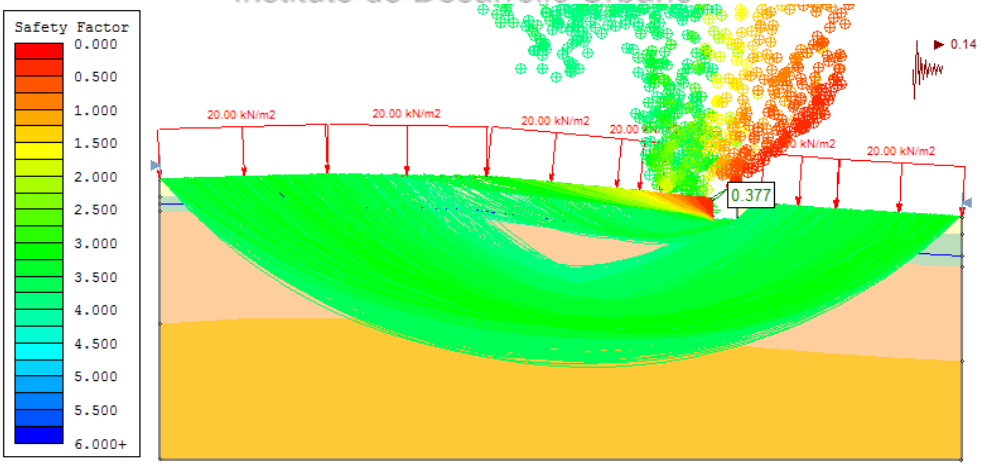
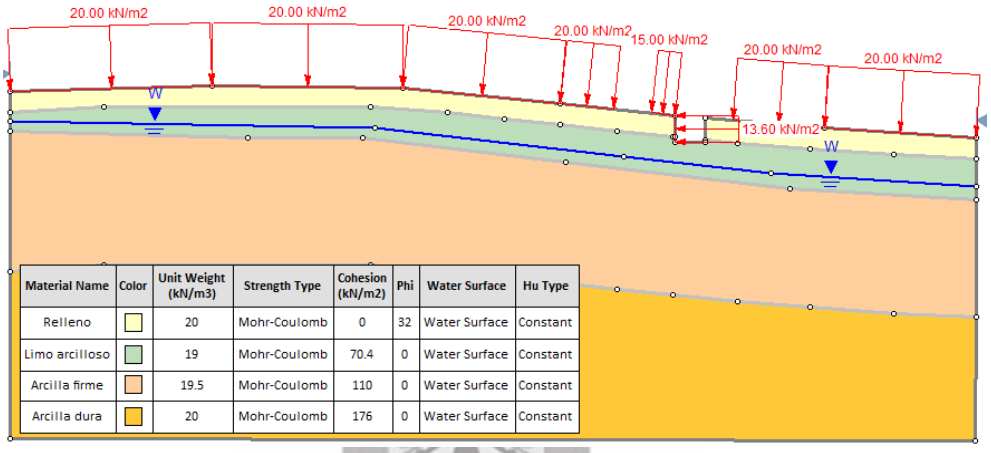


Figura 16-109. Análisis de estabilidad excavación pseudoestático F.S:0.37 - Pilona 22

A partir de lo anterior, en la Figura 16-111 y Figura 16-112 se presenta el análisis de la excavación incluyendo el sostenimiento, que en este caso se considera un entibado continuo, en cual deberá ser diseñado para que cumpla una presión admisible de 13.6 kPa, en las zonas donde se identifique el material de relleno y no haya espacio para generar cortes con algún grado de pendiente. Como se aprecia en las figuras, los factores de seguridad cumplen con los estipulados en el el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR - 10.



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi	Water Surface	Hu Type
Relleno		20	Mohr-Coulomb	0	32	Water Surface	Constant
Limo arcilloso		19	Mohr-Coulomb	70.4	0	Water Surface	Constant
Arcilla firme		19.5	Mohr-Coulomb	110	0	Water Surface	Constant
Arcilla dura		20	Mohr-Coulomb	176	0	Water Surface	Constant

Figura 16-110. Sección de análisis Entibado Pa=13.6 kPa - Pilona 22

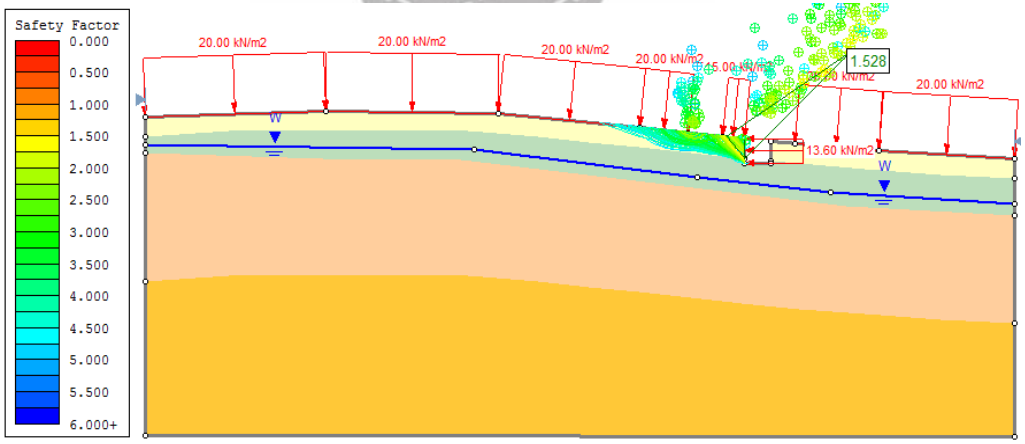


Figura 16-111. Análisis de estabilidad entibado estático F.S:1.52 - Pilona 22

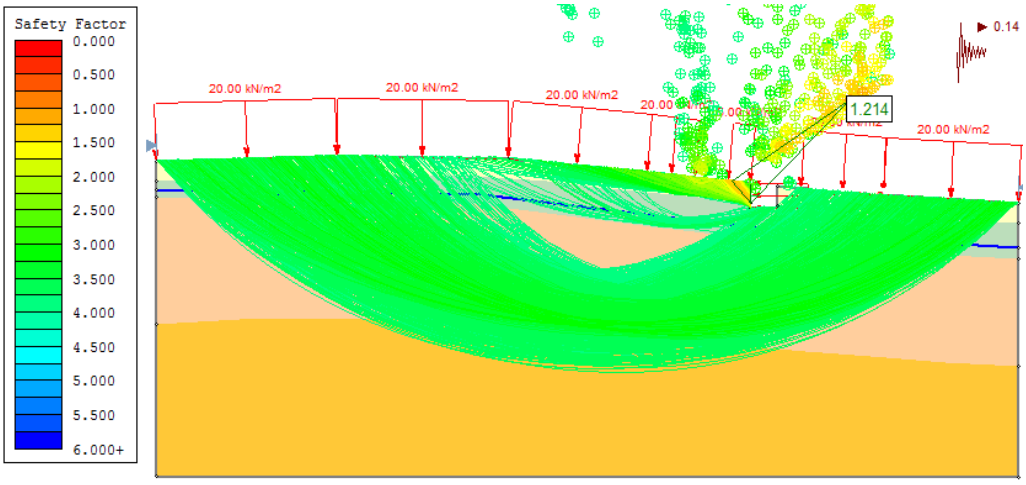


Figura 16-112. Análisis de estabilidad entibado pseudoestático F.S:1.21 - Pilona 22

17 AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO

De acuerdo con las condiciones del proyecto y las consideraciones consignadas en la resolución 227 de 2006 del IDIGER, el presente capítulo contiene la evaluación de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo Fase 1, para las estaciones las pilonas de las líneas de conexón entre las estaciones 20 de julio-La Victoria y La Victoria-Altamira. Elementos que hacen parte del proyecto Cable Aéreo San Cristóbal. Cabe resaltar que para las pilonas 1 y 2 no se realiza este analisis, ya que se encuentran en una zona estable de topografia plana.

17.1 PARÁMETROS DE RESISTENCIA

Inicialmente, en el ANEXO G se presentan los parametros de resistencia de los materiales encontrados (Cohesion y ángulo de friccion), los cuales fueron determinados mediante ensayos de laboratorio (corte directo) y correlaciones estipuladas por Alvaro Gonzalez (valor de N corregido por energía y confinamiento) y por Bjerrum y Simons, 1960 (estimacion del ángulo de fricción mediante el IP).

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

17.1.1 Correlación Álvaro González

De acuerdo con los resultados de los ensayos de SPT, se realizó la correcion del N_{campo}, teniendo en cuenta el confinamiento y la energía promedio aplicada:

$$N_1: N \times Cn \times n_1 \times n_2 \times n_3 \times n_4$$

En donde:

N_1 : Número de golpes corregido para un esfuerzo de confinamiento de 1 kg/cm² y un determinado nivel de transmisión de energía

C_n : Factor de ajuste del nivel de confinamiento.

$$C_n = 1 - 1.41 \log\left(\frac{\sigma'_v}{10}\right) \quad \text{Para } \sigma'_v < 1 \text{ Ton/m}^2$$

$$C_n = 1 - 0.92 \log\left(\frac{\sigma'_v}{10}\right) \quad \text{Para } \sigma'_v > 1 \text{ Ton/m}^2$$

$$C_n <= 2$$

η_1 : Factor de corrección por energía del martillo. Las eficiencias medias son diferentes en cada país así, para Japón la eficiencia es del 72%, para USA del 60% y para Colombia del orden de 45%.

η_2 : Factor de corrección por longitud de la varilla, el factor de corrección es 1.0.

η_3 : Factor de corrección por revestimiento interno de tomamuestras, el factor de corrección es 1.0.

η_4 : Factor de corrección por diámetro de la perforación, por lo cual el factor de corrección es 1.0

Una vez se obtiene el numero de golpes corregido, se efectua una correlación para determinar el valor de ángulo de fricción efectivo equivalente (ϕ_{eq}'), dado por la siguiente expresion:

$$\phi_{eq}' = \arctan(\tau/\sigma')$$

Este valor se puede comparar con el ángulo de fricción real (ϕ'), con el fin de evaluar qué valor es el que se está obteniendo a partir de las ecuaciones propuestas, esto a partir de la siguiente gráfica:

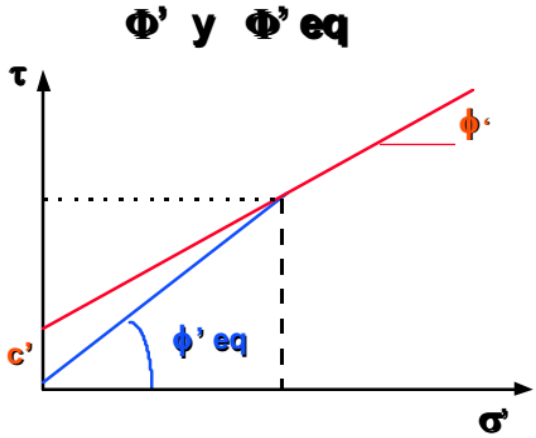


Figura 17-1. Ángulo de fricción real (ϕ') y equivalente (ϕ'eq).

De acuerdo con lo anterior, se tienen las siguientes relaciones de N_1 y ϕ'eq:

Tabla 17-1. Relaciones de N1 y ϕ'eq

Autor	Ecuación
Peck	$\phi'_{eq}=28.5+0.25xN_{1-45}$
Peck, Hanson y Thornburn	$\phi'_{eq}=26.25x(2-\exp(-N_{1-45}/62)$
Kishida	$\phi'_{eq}=15+(20xN_{1-72})^{0.5}$
Japan National Railway (JNR)	$\phi'_{eq}=27+(0.30xN_{1-72})$
Japan Road Bureau (JRB)	$\phi'_{eq}=15+(15xN_{1-72})^{0.5}$

Es asi, como con el valor de ϕ_{equiv} se calcularon los parámetros de c' y ϕ' para cada material, siguiendo la metodología propuesta por González A. J. (1999) que consiste en graficar puntos (σ_v', η) en planos Mohr-Coulomb, donde los coeficientes obtenidos en una regresión lineal,

corresponden a los parámetros de resistencia del suelo buscados. En el ANEXO G se presentan los valores de cada material de cada pilona.

17.1.2 Correlación Bjerrum y Simons

De acuerdo con los ensayos triaxiales realizados por Bjerrum y Simons, 1960, se estimó la grafica presentada en la Figura 17-2 , en donde se evidencia que el ángulo fricción (ϕ) decrece al aumentar el indice de plasticidad (IP).

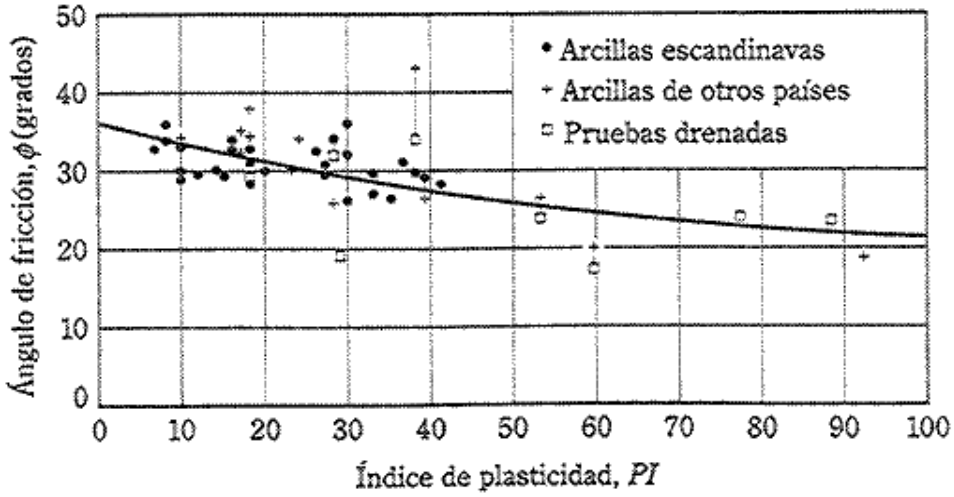


Figura 17-2. Ángulo de fricción real (ϕ') y equivalente (ϕ'eq).

Asi, se estimó la siguiente ecuación en funcion del indice de plasticidad, teniendo en cuenta la grafica anterioremnte mencionada.

$$\phi = 0.001.\mathrm{IP}^2 - 0.242.\mathrm{IP} + 35.56$$

17.2 EVALUACIÓN DE AMENAZA

De acuerdo con la resolucion 227 de 2006, una zona se puede clasificar en amenaza baja, media o alta, de acuerdo con el factor de seguridad obtenido. La evaluación de la amenaza se deberá realizar para los siguientes escenarios:

1. Condición actual y procesos de remoción en masa identificados como parte del modelo geológico - geotécnico propuesto para los distintos sectores y estructuras, bajo las condiciones normales y extremas de niveles de agua y de sismo a las que podrá estar expuesta el área de estudio.

2. Condición extrema por el cambio de uso (obras de urbanismo y plan de construcciones más probables) teniendo en cuenta en cada caso cortes, excavaciones, rellenos, sobrecargas, modificaciones del drenaje, etc., para los fenómenos de remoción en masa, reactivados o inducidos durante y después de la ejecución de las obras, tanto en el área del proyecto como en el área de influencia, bajo condiciones normales y extremas de niveles de agua y de sismo.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD

Con el fin de realizar el análisis de estabilidad en condiciones dinámicas o de sismo, se emplea la aceleración máxima en la superficie del suelo, estimada como el producto entre el coeficiente de aceleración pico efectiva (PGA) y el factor de sitio para periodo nulo en el espectro de respuesta de aceleraciones (F_{PGA}), para el análisis pseudoestático del talud de acuerdo con lo establecido en la Norma Colombiana de Diseno de Puentes CCP14. Se adopta para los análisis básicos la aceleración máxima de tipo pseudo-estática de 0.1473.

Tabla 17-2. Clasificación amenaza por remoción en masa – Condición Normal

Condicion Normal	F.S.
Amenaza baja	>1.9
Amenaza media	1.2-1.9
Amenaza alta	<1.2

Tabla 17-3. Clasificación amenaza por remoción en masa – Condición extrema

Condición extrema (50 años)	F.S.
Amenaza baja	>1.3
Amenaza media	1.0-1.3
Amenaza alta	<1.3

De esta manera, en el ANEXO G se presentan los analisis de estabilidad realizados para cada pilona; en los casos en los cuales se registró amenaza media y/o alta, se proyectaron las obras propuestas para la cimentación de la pilona (pilonas 3 y 20) y las necesarias para generar mayor estabilidad en la zona como lo son micropilotes y muros en gaviones (pilona 7 y 16). A continuación, se presenta un resumen de los factores de seguridad obtenidos para cada escenario.

Tabla 17-4. Clasificación de Amenaza por pilona

Pilona	Condición actual			Condición extrema		
	F.S. Estatico	F.S. Dinamico	Amenaza	F.S. Estatico	F.S. Dinamico	Amenaza
PP3	1.416	1.289	Media	3.887	2.459	Baja
PP4	3.898	2.453	Baja	-	-	-
PP5	2.167	1.784	Baja	-	-	-
PP6	2.250	2.085	Baja	-	-	-
PP7	1.791	1.245	Media	2.32	1.430	Baja
PP8	2.794	1.897	Baja	-	-	-
PP9	2.394	1.490	Baja	-	-	-
PP10	1.984	1.772	Baja	-	-	-
PP11	2.948	1.997	Baja	-	-	-
PP12-13-14	7.959	3.178	Baja	-	-	-
PP15	4.989	2.399	Baja	-	-	-
PP16	1.478	0.884	Media y alta	2.273	1.444	Baja
PP17	2.810	2.248	Baja	-	-	-
PP18	2.382	1.447	Baja	-	-	-
PP19	3.281	1.747	Baja	-	-	-
PP20	1.798	1.118	Media	2.842	1.749	Baja
PP21	5.547	3.384	Baja	-	-	-
PP22	5.984	2.850	Baja	-	-	-

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
Instituto de Desarrollo Urbano

A partir de los análisis de estabilidad se establecio que al implementar las obras de cimentación de las pilonas 3 y 20, se aumentan los factores de seguiridad obteniendo que estas se encuentran en amenaza baja, cabe resaltar, que en la condición inicial los factores de seguridad cumplen con lo establecido en la Norma Colombiana Sismo Resistente NSR-10. Por otra parte, para las pilonas 7 y 16, se planteron obras de estabilización con el fin de aportar a la estabilidad de la zona, obteniendo que se encuentra en amenaza baja, para la pilona 7 se evaluó la implementación de un muro en gaviones con una altura de 3,0m y una longitud de 10m ubicado en la parte baja de la ladera, y para la pilona 16 se proyectaron 2 filas de micropilotes con una longitud de 3.0m, un diametro de 0.25m y una separación de 1.0m localizados en la parte superior de la ladera.

En este sentido, el análisis detallado del trazado de intervención concluyó que las zonas de intervención se encuentran en estado de amenaza baja, por lo cual no se considera necesario efectuar un estudio de análisis detallado de amenaza, vulnerabilidad y riesgo según lo estipulado en el decreto 227 del Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climática IDIGER.

17.3 EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD

Se determinó que la zona de intervención presenta un nivel de vulnerabilidad baja, esto asociado a que la evaluación de amenaza presenta un nivel de amenaza baja y que las estructuras proyectadas son nuevas, diseñadas y ejecutadas bajo los lineamientos

establecidos en la normatividad, no se considera que se presente algún nivel de vulnerabilidad que pueda afectar la zona.

17.4 EVALUACIÓN DE RIESGOS

En relación con los numerales anteriores, se concluye que la zona no presenta niveles de riesgo, esto en relación a que la evaluación de amenaza y vulnerabilidad presentan niveles bajos.

ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

18 PLAN DE INSTRUMENTACIÓN Y MONITOREO

A partir de las obras proyectadas para la confirmacion del cable aéreo, se presenta el siguiente plan de instrumentacion y monitoreo.

Para la estación Altamira, se deben considerar la implementación de 2 inclinometros en la zona en donde se proyectan las excavaciones de mayor altura (7m), uno de los dos debe estar situado en el costado donde se llevaran a cabo las excavaciones y el otro debe estar localizado en el otro costado de la vía, esto con el de evaluar las deformaciones que se puedan generar en el terreno.

Adicionalmente, se debe incluir una fila de mojones topograficos, localizada en el borde de la vía, estos elementos deben estar separados cada 10 m , esto con el fin de evaluar los desplazamientos horizontales que puedan desarrollarse y llevar un control topografico de las excavaciones que se desarrollaran para la implantación de la plataforma de la estación.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.

En la Figura 18-1, se incluye la localización aproximada de los elementos de instrumentación geotecnica.

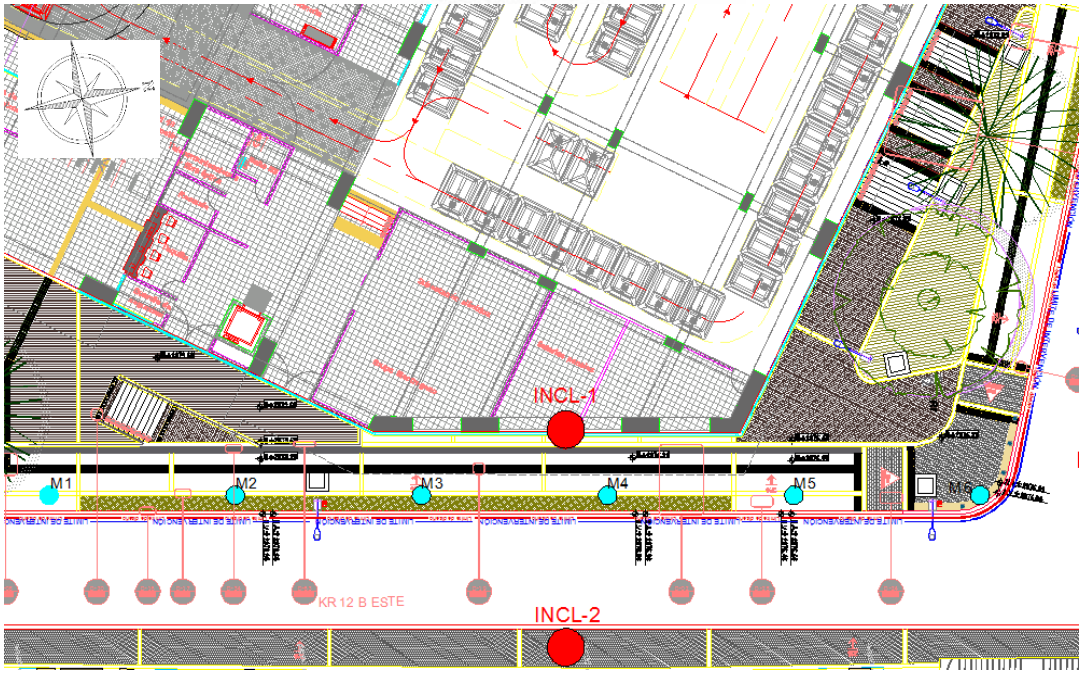


Figura 18-1. Localización instrumentación Estación Altamira.

Asimismo para las pilonas 7 y 16, se deben incluir puntos de control topograficos en los dados de la cimentación, esto con el fin de evaluar los desplazamientos horizontales que puedan generarse, ya que estas zonas cuentan con un potencial de inestabilidad, según lo evaluado en el capitulo 17.

19 PLAN DE CONTINGENCIAS

A partir de las actividades originadas para el desarrollo de la construcción de cable aereo se plantea el siguiente plan de contingencias. En el cual se tienen a consideración dos posibles escenarios, el primero es que se generen derrumbes en las excavaciones generadas para la implantación de las estructuras proyectadas, y en el segundo escenario, se evalua la posibilidad de ocurrencia de sismo durante la etapa de construcción.

Antes de la posible ocurrencia de derrumbe, se debe instalar el sistema de instrumentación monitoreo que se tiene previsto y que se indica en el numeral 18 del presente documento, con el fin de realizar un monitoreo constante durante la etapa de construcción, esto con el fin de identificar posibles cambios que generen cambios en la estabilidad de las excavaciones que puedan desencadenar derrumbes en la obra.

Es fundamental que el personal de obra cuente con capacitación previa en cuanto a la prevención, acción y control en caso de emergencia.

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Para los escenarios planteados, se debe tener en cuenta el siguiente plan de acción cuando se haya generado la emergencia:

1. Se debe informar inmediatamente a los encargados del área de seguridad y salud en el trabajo, para que, según su plan de emergencia, generen las acciones respectivas de acuerdo al manejo del personal y el plan de acción determinado por el constructor.
2. Inmediatamente se debe dar aviso a la brigada de emergencia para que se ejecute el procedimiento planteado por constructor en caso de derrumbe.
3. Se debe dar atención primaria las victimas atrapadas.
4. Luego se debe hacer el respectivo apuntalamiento de las excavaciones y delimitación del lugar.
5. Posteriormente, se debe seguir con el monitoreo para determinar el área de influencia que pueda tener el derrumbe, para verificar si puede afectar estructuras exteriores que colinden con la obra (viviendas, edificaciones, etc), para así informar oportunamente sobre procesos de evacuación de las personas en caso de que se requiera
6. Informar a la unidad nacional para la gestión de riesgos para que realice las evaluaciones correspondientes en caso de afectación del personal de la obra o de terceros
7. Informar a los especialistas en geotecnia, tanto el consultor, interventoría y construcción para definir las causas del derrumbe, para así evaluar las acciones respectivas desde el punto de vista geotécnico.
8. En caso de sismo se debe evacuar la zona, dirigiéndose a los puntos de encuentro establecidos en el plan de seguridad y salud en el trabajo planteado por el constructor.

20 CANTIDADES DE OBRA

En la Tabla 20-1 se relaciona el resumen de las cantidades de obra consideradas desde la componente de geotecnia. En el ANEXO E del presente informe, se incluye el detalle de las cantidades relacionadas.

Tabla 20-1. Cuadro resumen de cantidades

ESTACIÓN DE SALIDA	ESTACIÓN DE LLEGADA	ESPECIALIDAD	SUBESPECIALIDAD	Nº ITEM	CÓDIGO ÍTEM IDU	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	ESPECIFICACIÓN TECNICA DE CONSTRUCCIÓN	OBSERVACIONES
Portal 20 de Julio	Estación Intermedia La Victoria	Geotecnia	Geotecnia	1	3464	Excavación manual en material común. Incluye cargue	m³	5668,66	IDU 301-18	Las cantidades fueron tomadas de la plataforma BIM360
				2	4792	Relleno en recebo común (suministro e instalación extendido manual, humedecimiento y compactación, transporte a 28 Km)	m³	2290,18	ART.610 - INVIAS	Las cantidades fueron tomadas de la plataforma BIM360
				3	6333	Gaviones - suministro y construcción. Incluye Rajón, malla para gaviones y alambre recocido. (Pilona 7)	m³	28,08	ART.681 - INVIAS	Esquema en hoja Gavión
				4	4788	Geodren planar H=10m suministro e instalación	ml	5,00	ART.674 - INVIAS	Esquema en hoja Gavión
				5	5180	Filtro de drenaje de 0,6m x 1,0m, suministro e instalación (Incluye tubería perforada D=4", grava común 1/2" y geotextil NT 4000 o similar	ml	30,00	ART 673 - INVIAS	Las cantidades fueron tomadas de la plataforma BIM360
Estación Intermedia La Victoria	Estación de retorno Altamira	Geotecnia	Geotecnia	1	3464	Excavación manual en material común. Incluye cargue	m³	15181,33	IDU 301-18	Las cantidades fueron tomadas de la plataforma BIM360
				2	4792	Relleno en recebo común (suministro e instalación extendido manual, humedecimiento y compactación, transporte a 28 Km)	m³	1255,34	ART.610 - INVIAS	Las cantidades fueron tomadas de la plataforma BIM360
				3	5180	Filtro de drenaje de 0,6m x 1,0m, suministro e instalación (Incluye tubería perforada D=4", grava común 1/2" y geotextil NT 4000 o similar	ml	70	ART 673 - INVIAS	Las cantidades fueron tomadas de la plataforma BIM360

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

21 RECOMENDACIONES CONSTRUCTIVAS

A continuación se presentan las recomendaciones de construcción para cada una de las estructuras proyectadas.

21.1 Estación 20 de Julio

Para la ejecución de las actividades de construcción en la estación del 20 de Julio se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones constructivas:

- Inicialmente se debe realizar la localización y replanteo de las obras proyectadas en la zona.
- Seguidamente se debe proceder a retirar los materiales de relleno antrópico identificados en la zona, hasta encontrar los materiales aptos para la disposición de la cimentación de la estación, puente peatonal y edificio de conexión.
- Se debe realizar la instalación de los sistemas de pilotaje.
- Luego se deben ejecutar las excavaciones de los dados que hacen parte del sistema de cimentación, con las inclinaciones o sistemas de entibados recomendados en el numeral 16.
- En el caso del tanque enterrado ubicado en la zona, se debe ejecutar la excavación con un sostenimiento por medio de entibados. El proceso de excavación se debe realizar por niveles de 1 m y simultáneamente ir bajando el sistema de entibado para garantizar la estabilidad hasta llegar al nivel de fundación de dicho tanque, posteriormente se deben disponer las formaletas para fundir las paredes de la estructura y extraer finalmente el sistema de entibado.
- Durante la etapa de construcción, se debe contar con sistemas de bombeo permanente, para el manejo de aguas de infiltración que puedan existir, ya que en algunos casos se identificaron niveles freáticos que puede generar entrada de agua por infiltración a la cimentación.

21.2 Estación La Victoria

Para la ejecución de las actividades de construcción en la estación La Victoria se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones constructivas:

- Una vez ejecutada la demolición de las estructuras que se encuentran actualmente en la zona, se debe realizar la localización y replanteo de las obras proyectadas en la zona.
- Seguidamente se debe proceder a retirar los materiales de relleno antrópico identificados en la zona, los cuales cuentan con un espesor aproximado de 2.0 m, hasta encontrar los materiales aptos para la disposición de la cimentación de la estación.
- Con el fin de corroborar la información de la exploración geotécnica ejecutada, se deben realizar perforaciones de verificación (al menos 3 perforaciones) en la parte interna de la estación una vez se haga la demolición de las estructuras que se encuentran actualmente en el área, esto debido a que la exploración actual se ejecutó

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. NO VALIDO Instituto de Desarrollo Urbano

en las periferias de la estación proyectada, ya que a la fecha aún se localizan viviendas que impidieron la ejecución de los sondeos en la zona, y no fue posible determinar las condiciones geotécnicas de la zona central del edificio, es necesario verificar estas condiciones con el fin de corroborar que las propiedades son similares a lo que se estableció en los estudios y diseños. Si no hay una variación significativa de los parámetros se puede continuar con el proceso de construcción, de lo contrario se debe informar al diseñador para generar los ajustes necesarios.

- Luego se podrá continuar con las excavaciones necesarias para llegar al nivel establecido de la plataforma, estas se deberán ejecutar según lo establecido en el numeral 16.
- Se realizará la construcción del sistema de pilotaje para la cimentación de la estación, posteriormente generar las excavaciones para la construcción de los dados que hacen parte del sistema de cimentación.
- Se dispondrán los rellenos contemplados para alcanzar los niveles establecidos en el diseño de urbanismo, los cuales corresponden a material de suelo seleccionado o con recebo de acuerdo con el Artículo 610 de las especificaciones del INVIAS y su porcentaje de compactación debe ser del 95% de la densidad máxima obtenida en el ensayo de Proctor Modificado.
- Los taludes permanentes deberán ser protegidos por medio de revegetalización.
- Durante la etapa de construcción, se debe contar con sistemas de bombeo permanente, para el manejo de aguas de infiltración que puedan existir, ya que en algunos casos se identificaron niveles freáticos que puede generar entrada de agua por infiltración a la cimentación.
- Todas las excavaciones temporales deben ser protegidas con plástico N° 8 para evitar que haya perdida de humedad o entrada de agua lluvia en caso de que se presente para evitar afectaciones locales mientras se hace el proceso de construcción.

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

21.3 Estación Altamira

Para la ejecución de las actividades de construcción en la estación Altamira se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones constructivas:

- Una vez ejecutada la demolición de las estructuras que se encuentran actualmente en la zona se debe realizar la localización y replanteo de las obras proyectadas en la zona.
- Seguidamente se debe proceder a retirar los materiales de relleno antrópico identificados en la zona los cuales cuentan con un espesor aproximado de 2.0 m, hasta encontrar los materiales aptos para la disposición de la cimentación de la estación.
- Con el fin de corroborar la información de la exploración geotécnica ejecutada, se deben realizar perforaciones de verificación (al menos 3 perforaciones) en la parte interna de la estación una vez se haga la demolición de las estructuras que se encuentran actualmente en el área, esto debido a que la exploración actual se ejecutó en las periferias de la estación proyectada, ya que a la fecha aún se localizan viviendas que impidieron la ejecución de los sondeos en la zona, y no fue posible

determinar las condiciones geotécnicas de la zona central del edificio, es necesario verificar estas condiciones con el fin de corroborar que las propiedades son similares a lo que se estableció en los estudios y diseños. Si no hay una variación significativa de los parámetros se puede continuar con el proceso de construcción, de lo contrario se debe informar al diseñador para generar los ajustes necesarios.

- Seguidamente se debe empezar con la ejecución de la pantalla de micropilotes en el costado noreste de la estación, en la cual se generan excavaciones de hasta 7m, una vez construida la pantalla de micropilotes se deben empezar con el proceso de excavación por niveles de 1m e ir fundiendo la cortina de cierre del sistema de la pantalla hasta llegar al nivel de diseño. Simultáneamente se pueden fundir los pilotes del sistema de cimentación que estén proyectados, una vez construidos se puede empezar con el proceso de excavación de los dados y realizar la fundida de los dados.
- En las zonas en donde estén dispuestos los muros se deben generar taludes con las inclinaciones de 2H:1V para el proceso de construcción. Estos muros deberán ser construidos por módulos no mayores a 6m, dejando bermas intermedias construyendo secciones intermedias para ir garantizando el proceso de contención y no generar procesos de desconfinamiento total de área del muro.
- Luego se dispondrán los materiales de relleno los cuales corresponden a material de suelo seleccionado o con recebo de acuerdo con el Artículo 610 de las especificaciones del INVIAS y su porcentaje de compactación debe ser del 95% de la densidad máxima obtenida en el ensayo de Proctor Modificado.
- Los taludes permanentes deberán ser protegidos por medio de revegetalización.
- Durante la etapa de construcción, se debe contar con sistemas de bombeo permanente, para el manejo de aguas de infiltración que puedan existir, ya que en algunos casos se identificaron niveles freáticos que puede generar entrada de agua por infiltración a la cimentación.
- Todas las excavaciones temporales deben ser protegidas con plástico N°8 para evitar que haya perdida de humedad o entrada de agua lluvia en caso de que se presente, para evitar afectaciones locales mientras se hace el proceso de construcción.

21.4 Pilonas

Para la ejecución de las actividades de construcción en la estación Altamira se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones constructivas:

- Una vez ejecutada la demolición de las estructuras que se encuentran actualmente en la zona, se debe realizar la localización y replanteo de las obras proyectadas en el sector.
- Seguidamente se debe proceder a retirar los materiales de relleno antrópico identificados en la zona, los cuales cuentan con un espesor aproximado de 2.0 m, hasta encontrar los materiales aptos para la disposición de la cimentación de la estación.
- En las zonas donde hay taludes perimetrales, se debe realizar los muros de colindancia y las zonas de recalce de acuerdo a los diseños y las recomendaciones, esto con el fin de proteger para las cimentaciones vecinas.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

- Seguidamente se debe generar la excavación y la conformación de la plataforma de trabajo.
- Luego se debe seguir con la construcción del sistema de pilotaje y dado de la cimentación.
- Conformación de obras menores (muros, bordillos, etc.) dispuestas en el diseño de urbanismo.
- Los materiales de relleno corresponden a material de suelo seleccionado o con recebo de acuerdo con el Artículo 610 de las especificaciones del INVIAS y su porcentaje de compactación debe ser del 95% de la densidad máxima obtenida en el ensayo de Proctor Modificado.
- Los taludes permanentes deberán ser protegidos por medio de revegetalización.
- Todas las excavaciones temporales deben ser protegidas con plástico N° 8 para evitar que haya perdida de humedad o entrada de agua lluvia en caso de que se presente para evitar afectaciones locales mientras se hace el proceso de construcción.
- Durante la etapa de construcción, se debe contar con sistemas de bombeo permanente, para el manejo de aguas de infiltración que puedan existir, ya que en algunos casos se identificaron niveles freáticos que puede generar entrada de agua por infiltración a la cimentación.
- Detrás de los muros de contención se debe incluir un filtro en el trasdós que desagüe al sistema de alcantarillado pluvial.
- Para las pilonas 7 y 16, se deben construir primero las obras de contención recomendadas, con el fin de estabilizar la zona y luego si proceder a la construcción de la pilona.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

22 ESPECIFICACIONES GENERALES Y PARTICULARES DE CONSTRUCCIÓN

Con el fin de llevar a cabo la correcta ejecución de las actividades de construcción, se disponen las siguientes especificaciones tecnicas para las actividades de obra que se consideran desde la componente geotecnica. El control de calidad de los materiales y los procesos se deben ceñir a las especificaciones técnicas de referencia, estos deben corresponder con los criterios de aceptación que se indiquen en estas.

Tabla 22-1. Especificaciones técnicas

ACTIVIDAD	ENTIDAD	ET	ITEM	UNIDAD
DESMONTE Y LIMPIEZA				
Desmonte y limpieza en zona no boscosa	INVIAS	ART. 200	200.2	Ha
RELLENOS PARA ESTRUCTURAS				
Rellenos para estructuras con recebo	INVIAS	ART. 610	610.2	m³
EXCAVACIONES VARIAS				
Excavaciones varias en material común	IDU	301-18	301.9.2	m³
PILOTES PREEXCAVADOS				
Pilote de concreto vaciado in situ de diámetro 0,8m	INVIAS	ART.621	621.1	m
Micropilote de concreto vaciado in situ de diámetro 0,25m	INVIAS	ART.621	621.1	m
MURO EN GAVIONES DE MALLA DE ALAMBRE DE ACERO ENTRELAZADO				
Gaviones de malla de alambre de acero entrelazado - clase 1: recubrimiento de zinc	INVIAS	ART. 681	681.1	m³
Rellenos para estructuras con recebo	INVIAS	ART. 610	610.2	m³
Geotextil para separación de suelos de subrasante y capas granulares	INVIAS	ART. 231	231.1	m²
ENTIBADOS Y TABLESTACADOS				
Entibados	ACUEDUCTO	NS-072		m²

ALCALDÍA MAYOR
Á D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

23 RIESGOS PREVISIBLES

En el ANEXO H, se evidencia la matriz de riesgos previsibles, donde se identifican los riesgos operacionales que pueden presentarse durante la ejecución del proyecto en los 3 posibles escenarios (oficina, laboratorio y campo), se evalúa el riesgo y se implementan controles con el fin de disminuir dichos riesgos y que el proyecto se pueda ejecutar con el mínimo de eventos adversos sin afectar el cronograma del proyecto.

ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

24 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El proyecto del cable aéreo de San Cristóbal se desarrolla en un marco geológico regional integrado por 9 unidades sedimentarias lito estratigráficas depositadas desde el Cretáceo superior al Pleistoceno, cubiertas por depósitos del cuaternario superior tipo fluvio-lacustres, terrazas aluviales y depósitos de complejos de conos.
- El proyecto del cable aéreo de San Cristóbal se desarrolla en rocas que han sido deformadas por acción orogénica de la Cordillera Oriental en plegamiento anticlinales asimétricos, recumbentes y fallas regionales y locales inversas de importancia.
- Geomorfológicamente presenta geoformas del terreno propias de ambientes morfogenéticos estructural, denudacional, fluvial y antrópicas.
- De acuerdo con la información secundaria recopilada y la exploración geotécnica ejecutada para la etapa de estudios y diseños, se definió el modelo geológico-geotécnico típico para el área de estudio. Se identificaron en los diferentes tramos rellenos antrópicos de espesores variables seguidos por depósitos fluvioglaciares matriz soportados en algunos sectores. Posteriormente se encuentran suelos residuales arcillosos de la formación Bogotá con consistencia variable entre firme a muy dura en la mayoría de los casos, y finalmente, se encuentra roca bien sea arcillolita o arenisca dependiendo de la ubicación. La arenisca se encuentra hacia el costado norte del Portal 20 de Julio mientras que la arcillolita aflora hacia el costado sur y en general en toda el área del proyecto.
- A partir de las líneas de refracción sísmica ejecutadas para la campaña de exploración en fase de factibilidad, se determinó un perfil de suelo tipo C para toda el área de estudio.
- Para los muros de contención se deben incluir filtros en el trasdós, esto con el fin de que se evacuen las aguas residuales hacia los sistemas de drenajes, para evitar la acumulación de estas en la cara del muro, las cuales pueden ocasionar afectaciones a la estructura.
- Las caras de los cortes y la base de fundación de los cimientos, deberán ser protegidos con mortero para evitar la degradación de estas por presencia de aguas superficiales.
- A partir de la implantación de la estructura proyectada en la zona donde se ubicará la estación Altamira, se vio la necesidad de generar excavaciones con profundidades máximas de 7.0 m de altura, las cuales se desarrollarán hacia el costado noreste de la estación. Con el fin de contener dichas excavaciones, se ha concebido la implantación de una pantalla en concreto cimentada sobre pilotes con un diámetro de 0.6m y separados cada 1.8 m, empotrados 6 m con respecto a al nivel mínimo de excavación. Es importante mencionar que se ha optado por esta alternativa de contención y la distribución de los elementos de cimentación debido a que esta zona se encuentra muy cerca a la vía existente, lo que impide considerar los cortes de las excavaciones con algún grado de inclinación.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

- Los muros laterales perimetrales que sean de una altura menos a 7m deberán ser implantados por medio de excavaciones con pendiente 1H:2V y los empujes serán dominados por las propiedades de rellenos granulares seleccionados y compactados.
- A partir del diseño de urbanismo se logró identificar la presencia de estructuras menores en la zona donde se dispondrán en las estaciones y las pilonas. Estos deberán ser apoyados por medio de cimientos superficiales con una profundidad de desplante mínima de 0.5m, apoyado sobre el material denominado como arcilla, garantizando que los cimientos no quedaran apoyados sobre rellenos antrópicos, en dado caso que se evidencie este tipo de material, deberá ser retirado y dispuesto un material de relleno seleccionado compactado al 95%.
- Análisis de estabilidad de las excavaciones para pilonas:

    - Con el fin de evaluar la estabilidad de los cortes, se tuvo en cuenta la exploración ejecutada para cada pilona, se debe resaltar, que en algunas ocasiones no fue posible realizar la perforación geotécnica en el sitio exacto donde se proyectará la pilona, esto debido a que aún se encuentran algunas viviendas en la localización de las pilonas, lo que obligo a que las perforaciones se movieran al lugar de acceso más cercano, siendo estos las vías existentes o los andenes. En relación a lo anterior, se pudo identificar que en un porcentaje significativo de las perforaciones se encuentro en promedio una capa granular de 2.0 m y que el presente análisis se realizó con base a esta información.
    - Para el sostenimiento de dichas excavaciones se proponen las siguientes alternativas.

        - Sostenimiento con entibado por medio de cajones continuos bien sea metálico o de madera, en la zona en donde se evidencie el relleno antrópico identificado en la etapa de exploración y que por espacio no sea posible generar un corte con un grado de pendiente, los cuales deben sostener la presión admisible indicada en cada uno de los análisis de estabilidad referenciados a continuación.
        - La ejecución de cortes con pendientes de 2H:1V en las zonas donde se identifique el material de relleno y se cuente con el espacio suficiente (mínimo 5 m) para generar dichas excavaciones, para posteriormente rellenar con material tipo Invias seleccionado con un grado de compactación del 95%.
        - En las zonas en donde no se identifique el material de relleno y por el contrario se evidencie el estrato arcilloso de mejores características, se podrán generar cortes verticales con un entibado discontinuo o dejar una inclinación de los cortes de 0.5H:1V.
- Con el fin de corroborar la información de la exploración geotécnica ejecutada en las Estaciones La Victoria y Altamira, se deben realizar perforaciones de verificación (al menos 3 perforaciones) en la parte interna de la estación una vez se haga la demolición de las estructuras que se encuentran actualmente en el área, esto debido a que la exploración actual se ejecutó en las periferias de la estación proyectada, ya que a la fecha aún se localizan viviendas que impidieron la ejecución de los sondeos

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

en la zona, y no fue posible determinar las condiciones geotécnicas de la zona central del edificio, es necesario verificar estas condiciones con el fin de corroborar que las propiedades son similares a lo que se estableció en los estudios y diseños. Si no hay una variación significativa de los parámetros se puede continuar con el proceso de construcción, de lo contrario se debe informar al diseñador para generar los ajustes necesarios.

- Los rellenos contemplados para alcanzar los niveles establecidos en el diseño de urbanismo, corresponden a material de suelo seleccionado o con recebo de acuerdo con el Artículo 610 de las especificaciones del INVIAS y su porcentaje de compactación debe ser del 95% de la densidad máxima obtenida en el ensayo de Proctor Modificado.
- El control de calidad de los materiales y los procesos se deben ceñir a las especificaciones técnicas de referencia, estos deben corresponder con los criterios de aceptación que se indiquen en estas.
- A partir del análisis ejecutado para la evaluación de amenaza, vulnerabilidad y riegos, se establece que la zona de intervención presenta niveles de amenaza, vulnerabilidad y riesgo bajo.

ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano