

Introducción y Antecedentes

Información disponible

Caracterización geométrica

**Evaluación de cargas y efectos
actuales**

**Inspección Técnica de estaciones y
puentes**

**Modelación experimental del
estado actual**

**Modelación analítica de los pisos
existentes**

Nuevos Sistemas

Especificaciones Técnicas

Anexos



ALCALDIA MAYOR
DE BOGOTA D.C.

Instituto
Desarrollo Urbano

INFORME FINAL

ANÁLISIS, DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE SOLUCIÓN DEL SISTEMA DE PISOS DE PUENTES PEATONALES Y ESTACIONES DEL SISTEMA TRANSMILENIO



CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES Y OBRAS CIVILES - CIMOC

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES

BOGOTA - COLOMBIA

MAYO DE 2007

TABLA DE CONTENIDO

1 Introducción y Antecedentes

1.1 Introducción y antecedentes	1-1
1.2 Objetivos y alcance	1-4
1.3 Metodología del estudio	1-5

2 Información disponible

2.1 Introducción	2-1
2.2 Planos	2-1
2.3 Memorias.....	2-1
2.4 Especificaciones	2-1
2.5 Otros	2-1

3 Caracterización geométrica

3.1 Caracterización geométrica de los pisos de estaciones	3-1
3.2 Caracterización geométrica de los pisos de puentes.....	3-5
3.3 Caracterización geométrica de las láminas de piso	3-8

4 Evaluación de cargas y efectos actuantes

4.1 Introducción	4-1
4.2 Estadísticas de tráfico peatonal	4-2
4.2.1 Estadísticas de tráfico peatonal en estaciones.....	4-2
4.2.2 Estadísticas de tráfico peatonal en puente.....	4-9
4.3 Registro de cargas en elementos de pisos.....	4-16
4.3.1 Calibración de equipos de instrumentación.....	4-17
4.3.2 Instrumentación de la estación calle 76.....	4-19
4.3.3 Instrumentación de la estación calle 100	4-27

4.3.4 Instrumentación de la rampa del puente de la calle 10.....	4-36
4.4 Espectro de carga peatonal recomendado.....	4-44
5 Inspección Técnica de estaciones y puentes	
5.1 Inventario de estaciones y puentes	5-1
5.2 Metodología	5-8
5.2.1 Formato A – Hoja No 1 Inspección y levantamiento	5-8
5.2.2 Formato A – Hoja No 2 Inspección y levantamiento.	5-17
5.2.3 Formato B – Inspección y levantamiento, Inventario de fotografías.	5-17
5.3 Procesamiento de la información recolectada	5-18
5.3.1 Información procesada para Estaciones	5-18
5.3.2 Información procesada para puentes	5-22
5.4 Correlación Edad - Tránsito - Daño	5-25
5.5 Análisis de patologías típicas	5-31
5.5.1 Pisos iniciales	5-31
5.5.2 Pisos actuales.....	5-37
5.5.3 Estudio Fractográfico de las fallas recientes	5-37
5.5.4 Propiedades de los materiales.....	5-44
5.5.5 Conclusiones	5-46
6 Modelación experimental del estado actual	
6.1 Generalidades	6-1
6.2 Caracterización de materiales y secciones	6-2
6.2.1 Composición Química	6-2
6.2.2 Dureza	6-3
6.2.3 Ensayo de tensión pura en lámina	6-4
6.3 Caracterización de elementos del sistema	6-8
6.3.1 Ensayo de flexión en perfil.....	6-8
6.3.2 Desgarramiento en lámina.....	6-11
6.3.3 Flexión con carga distribuida en componente	6-16

6.3.4	Fatiga por aceptación.....	6-23
6.3.5	Medición de ruido	6-29
6.3.6	Ensayo de desgaste en laboratorio.....	6-31
6.3.7	Ensayo de envejecimiento	6-32
7	Modelación analítica de los pisos existentes	
7.1	Esquemas de modelos analíticos	7-1
7.1.1	Modelo N°1	7-2
7.1.2	Modelo N°2	7-4
7.1.3	Modelo N°3	7-8
7.2	Modelación analítica de zonas instrumentadas en campo	7-13
7.2.1	Estación Avenida Caracas por Calle 76	7-13
7.2.2	Estación Autopista Norte por Calle 100	7-16
7.2.3	Puente peatonal Autopista Norte con Avenida Calle 100	7-19
7.2.4	Resumen	7-22
7.3	Modelación analítica de ensayo de desgarramiento	7-23
7.3.1	Descripción del modelo	7-23
7.3.2	Resultados y comparación.....	7-24
7.4	Posición crítica de carga para fatiga.....	7-28
7.4.1	Perfil A-1 (A-2)	7-28
7.4.2	Perfil L-1.....	7-31
7.5	Evaluación analítica de la fatiga.....	7-34
7.5.1	Introducción	7-34
7.5.2	Espectros de cargas	7-35
7.5.3	Espectros de esfuerzos críticos	7-36
7.5.4	Determinación de curva fr-N de diseño.....	7-38
7.5.5	Estimación de la vida útil	7-39
7.5.6	Comparación con resultados experimentales	7-41
7.5.7	Resultados para otros ensayos	7-41

7.6	Diagnóstico técnico	7-42
7.6.1	Diagnóstico general sobre el sistema de pisos en perfilería de aluminio	7-42
7.6.2	Diagnóstico particular de los sistemas ensayados	7-46
7.6.3	Recomendaciones	7-47
8	Nuevos Sistemas	
8.1	Introducción	8-1
8.2	Materiales sintéticos	8-6
8.2.1	Descripción general	8-6
8.2.2	Comportamiento experimental	8-11
8.2.3	Verificaciones de diseño	8-22
8.2.4	Verificación de conectores	8-28
8.2.5	Verificación de viguetas de apoyo	8-28
8.2.6	Procedimiento de instalación	8-29
8.2.7	Mantenimiento	8-30
8.2.8	Análisis de costos	8-31
8.3	Concreto Pretensado	8-32
8.3.1	Datos generales	8-32
8.3.2	Descripción general	8-32
8.3.3	Comportamiento experimental	8-38
8.3.4	Verificaciones de diseño	8-50
8.3.5	Verificación de conectores	8-56
8.3.6	Verificación de viguetas de apoyo	8-57
8.3.7	Procedimiento de instalación	8-57
8.3.8	Mantenimiento	8-59
8.3.9	Análisis de costos	8-59
8.4	Concreto con fibra de vidrio (GRC)	8-60
8.4.1	Datos generales	8-60
8.4.2	Descripción general	8-60

8.4.3 Comportamiento experimental	8-66
8.4.4 Verificaciones de diseño	8-79
8.4.5 Verificación de conectores	8-88
8.4.6 Verificación de viguetas de apoyo	8-89
8.4.7 Procedimiento de instalación	8-89
8.4.8 Mantenimiento	8-91
8.4.9 Análisis de costos	8-91
8.5 Aluminio con nueva sección transversal	8-92
8.5.1 Datos generales	8-92
8.5.2 Descripción general	8-92
8.5.3 Comportamiento experimental	8-97
8.5.4 Verificaciones de diseño	8-103
8.5.5 Verificación de conectores	8-111
8.5.6 Verificación de viguetas de apoyo	8-111
8.5.7 Procedimiento de instalación	8-112
8.5.8 Mantenimiento	8-113
8.5.9 Análisis de costos	8-113
8.6 Rejillas metálicas	8-114
8.6.1 Datos generales	8-114
8.6.2 Descripción general	8-114
8.6.3 Comportamiento experimental	8-120
8.6.4 Verificaciones de diseño	8-130
8.6.5 Verificación de conectores	8-138
8.6.6 Verificación de viguetas de apoyo	8-139
8.6.7 Procedimiento de instalación	8-139
8.6.8 Mantenimiento	8-140
8.6.9 Análisis de costos	8-141
8.7 Steeldeck	8-142

8.7.1 Datos generales	8-142
8.7.2 Descripción general.....	8-142
8.8 Madera	8-145
8.8.1 Datos generales	8-145
8.8.2 Descripción general.....	8-145
8.9 Pegas elásticas.....	8-147
8.9.1 Generales.....	8-147
8.9.2 Descripción general.....	8-147
8.9.3 Comportamiento experimental	8-147
8.9.4 Procedimiento de instalación	8-163
8.9.5 Condiciones especiales de uso	8-163
8.9.6 Conclusiones	8-164
8.10 Cantidades de obra	8-166
8.11 Conclusiones	8-170
8.11.1 Generales.....	8-170
8.11.2 Específicas para cada uno de los sistemas	8-170
8.11.3 Aspectos comparativos en sistemas estudiados	8-177
8.11.4 Especificaciones para nuevos sistemas de piso	8-179
8.11.5 Criterios para selección de sistemas de piso	8-180
8.12 Alternativas definitivas.....	8-181
8.12.1 Alternativa de Concreto Pretensado seleccionada.....	8-181
8.12.2 Alternativa de Aluminio seleccionada.....	8-183
9 Especificaciones Técnicas para nuevos sistemas de piso	
9.1 Objetivo.....	9-1
9.3 Alcance.....	9-1
9.4 Definiciones	9-1
9.5 Aspectos generales	9-3
9.6 Vida útil de diseño y de mantenimiento.....	9-3

9.7 Cargas vivas de diseño	9-4
9.8 Combinaciones de carga y factores	9-6
9.9 Verificaciones mínimas.....	9-7
9.10 Instalación	9-8
9.11 Mantenimiento	9-9
9.12 Información mínima requerida para aprobación por parte del IDU	9-9
9.13 Tramo de prueba	9-12
10 Especificaciones Técnicas de construcción y Guía para control de calidad de obra	
10.1 Item paneles en concreto preesforzado 5000 PSI.....	10-1
10.1.1 Definición.....	10-1
10.1.2 Características técnicas del panel.....	10-1
10.1.3 Materiales.....	10-1
10.1.4 Ejecución.....	10-2
10.1.5 Control de calidad y ensayos.....	10-3
10.1.6 Precio Unitario.....	10-4
10.1.7 Medición y pago.....	10-4
10.2 Item perfiles de aluminio.....	10-5
10.2.1 Definición.....	10-5
10.2.2 Características técnicas del panel.....	10-5
10.2.3 Materiales.....	10-5
10.2.4 Ejecución.....	10-5
10.2.5 Control de calidad y ensayos.....	10-6
10.2.6 Precio Unitario.....	10-7
10.2.7 Medición y pago.....	10-7
10.3 Item desmonte de viguetas de acero.....	10-8
10.3.1 Definición.....	10-8
10.3.2 Materiales.....	10-8
10.3.3 Ejecución.....	10-8

10.3.4	Precio Unitario.....	10-9
10.3.5	Medición y pago.....	10-9
10.4	Item instalación de viguetas de acero.....	10-9
10.4.1	Definición.....	10-9
10.4.2	Materiales.....	10-10
10.4.3	Ejecución:	10-10
10.4.4	Precio Unitario.....	10-11
10.4.5	Medición y pago.....	10-11
10.5	Especificaciones generales concreto 3000 psi.....	10-12
10.5.1	Definición.....	10-12
10.5.2	Ejecución.....	10-12
10.5.3	Materiales.....	10-14
10.5.4	Mezclado del Concreto.....	10-20
10.5.5	Transporte y Colocación.....	10-21
10.5.6	Vibrado.....	10-23
10.5.7	Curado y Protección.....	10-24
10.5.8	Juntas de Dilatación.....	10-25
10.5.9	Acabados de la Superficie.....	10-26
10.5.10	Pruebas y Ensayos de Concreto.....	10-27
10.5.11	Medición y pago.....	10-29
10.6	Especificaciones generales acero de refuerzo.	10-31
10.6.1	Definición.....	10-31
10.6.2	Materiales.....	10-31
10.6.3	Ejecución.....	10-37
10.6.4	Soldadura.....	10-38
10.6.5	Abrasivos y disolventes.....	10-39
10.6.6	Equipo.....	10-39
10.6.7	Ejecución de los trabajos.....	10-39

10.6.8	Condiciones para el recibo de los trabajos.....	10-49
10.7	Item mantenimiento paneles de concreto.....	10-51
10.7.1	Definición.....	10-51
10.7.2	Materiales.....	10-51
10.7.3	Ejecución.....	10-51
10.7.4	Medición y pago.....	10-52

Guía para el control de calidad en obra

10.9	Item paneles en concreto preesforzado 5000 PSI.....	10-53
10.10	Item perfiles de aluminio.....	10-54

11 Anexos

Anexo 11-1	Información disponible
Anexo 11-2	Planos y detalles típicos de puentes y estaciones
Anexo 11-3	Gráficos de flujo de usuarios en portales
Anexo 11-4	Formatos de inspección
Anexo 11-5	Formato de toma de datos de instrumentación
Anexo 11-6	Análisis de datos de instrumentación
Anexo 11-7	Ensayos de laboratorio
Anexo 11-8	Macro empleado para el análisis de datos de instrumentación
Anexo 11-9	Estimación de la fatiga (tomado de la nsr98)
Anexo 11-10	Resultados de ensayos de laboratorio para materiales sintéticos
Anexo 11-11	Análisis de precios unitarios materiales sintéticos
Anexo 11-12	Resultados de ensayos de laboratorio para concreto pretensado
Anexo 11-13	Análisis de precios unitarios para concreto pretensado
Anexo 11-14	Resultados de ensayos de laboratorio para GRC
Anexo 11-15	Análisis de precios unitarios para GRC
Anexo 11-16	Resultados de ensayos de laboratorio para aluminio
Anexo 11-17	Análisis de precios unitarios para aluminio



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

ALCALDÍA MAYOR - IDU
Instituto de Desarrollo Urbano

CIMOC

**Centro de Investigación en
Materiales y Obras Civiles**



-
- Anexo 11-18 Resultados de ensayos de laboratorio para rejillas metálicas
 - Anexo 11-19 Análisis de precios unitarios para rejillas metálicas
 - Anexo 11-20 Resultados de ensayos de laboratorio para pegas elásticas
 - Anexo 11-21 Hojas de chequeo de viguetas de soporte
 - Anexo 11-22 Cotizaciones alternativas de piso

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1 Esquema de la fecha de inicio de las troncales del sistema Transmilenio.....	1-2
Figura 3-1 Detalles de estructura de soporte Vagón estaciones.....	3-1
Figura 3-2 Estructura de soporte de pisos.	3-2
Figura 3-3 Distribución de pisos de la estación.	3-3
Figura 3-4 Distribución de la estructura de soporte de estación.	3-4
Figura 3-5 Distribución modificada de la estructura de soporte de estación.	3-4
Figura 3-6 Detalle en planta estructura de soporte pisos de puentes.....	3-5
Figura 3-7 Corte típico estructura de soporte de pisos en puentes.....	3-6
Figura 3-8 Corte típico estructura de soporte de pisos en puentes	3-7
Figura 3-9 Dimensiones de las secciones típicas de láminas de piso A-1 y A-2.....	3-9
Figura 3-10 Dimensiones de las secciones típicas de láminas de piso A-3.....	3-9
Figura 3-11 Dimensiones de las secciones típicas de láminas de piso A-4.....	3-9
Figura 3-12 Dimensiones de las secciones típicas de láminas de piso L-1 y L-2.....	3-9
Figura 3-13 Dimensiones de las secciones típicas de láminas de piso L-3	3-10
Figura 3-14 Dimensiones de las secciones típicas de láminas de piso L-4	3-10
Figura 4-1 Flujo de peatones en un día típico estación Portal Norte.....	4-3
Figura 4-2 Variación del flujo promedio diario de personas/15 minutos. Portal Norte.....	4-3
Figura 4-3 Gráfico resumen del flujo promedio diario de personas/15 minutos. Portal Norte.....	4-4
Figura 4-4 Gráfico flujo de personas día hábil - Estaciones.....	4-7
Figura 4-5 Esquema del flujo de miles de personas en un día hábil en cada una de las estaciones.....	4-8
Figura 4-6 Gráfico flujo de personas día hábil – Puentes Peatonales.....	4-11
Figura 4-7 Esquema del flujo de miles de personas en un día hábil en puentes peatonales.....	4-12
Figura 4-8 Grafica de calibración de Strain gages.....	4-18

Figura 4-9 Grafica de calibración de la forney.....	4-18
Figura 4-10 Esquema general de la localización sector instrumentado	4-19
Figura 4-11 Esquema en alzado de la localización de los LVDT.....	4-20
Figura 4-12 Localización de los LVDT.....	4-21
Figura 4-13 Esquema general de la localización de los Strain gages.....	4-22
Figura 4-14-Localización de los Strain gages.	4-22
Figura 4-15 Resultados de mediciones para la prueba de calibración LVDT.....	4-26
Figura 4-16 Esquema general de la localización sector instrumentado.	4-27
Figura 4-17 Esquema en alzado de la localización de los LVDT.....	4-28
Figura 4-18 Localización de los LVDT.....	4-29
Figura 4-19 Esquema general de la localización de los LVDT.....	4-30
Figura 4-20 Localización de los Strain gages.....	4-30
Figura 4-21 Resultados de mediciones para la prueba de calibración LVDT.....	4-35
Figura 4-22 Esquema general de la localización sector instrumentado.	4-36
Figura 4-23 Esquema en alzado de la localización de los LVDT.....	4-37
Figura 4-24 Localización de los LVDT.....	4-38
Figura 4-25 Esquema general de la localización de los LVDT.....	4-39
Figura 4-26 Localización de los Strain gages.....	4-39
Figura 4-27 Resultados de mediciones para la prueba de calibración LVDT.....	4-43
Figura 4-28 Espectro de desplazamiento Estación Calle 76.....	4-45
Figura 4-29 Espectro de carga Estación Calle 76.....	4-45
Figura 4-30 Espectro de desplazamiento Estación Calle 100.....	4-46
Figura 4-31 Espectro de carga Estación Calle 100.....	4-46
Figura 4-32 Espectro de desplazamiento Puente Calle 100.....	4-47
Figura 4-33 Espectro de carga Puente Calle 100.....	4-47
Figura 4-34 Espectros de carga para las dos estaciones, el puente y espectro de diseño.	4-47
Figura 4-35 Espectro de carga peatonal de diseño para un (1) día de transito intenso.....	4-48
Figura 5-1 Tipo de piso.....	5-8

Figura 5-2 Tipo de piso.....	5-9
Figura 5-3 Tipo de apoyo.....	5-9
Figura 5-4 Hundimiento permanente en láminas	5-11
Figura 5-5 Daños por grietas y fisuras en láminas.....	5-12
Figura 5-6 Levantamiento permanente en láminas.....	5-13
Figura 5-7 Anclajes desajustado.....	5-13
Figura 5-8 Generación de ruido por desajuste en apoyos.....	5-13
Figura 5-9 Pérdida de remaches y tornillos.....	5-14
Figura 5-10 Desgaste en láminas.....	5-14
Figura 5-11 Corrimientos de láminas.....	5-15
Figura 5-12 Daño en condición de apoyo.....	5-15
Figura 5-13 Daño en condición de apoyo	5-16
Figura 5-14 Pérdida de láminas.....	5-16
Figura 5-15 Perforaciones ocasionadas por agentes externos	5-16
Figura 5-16 Pérdida de láminas y daños ocasionados por golpes.....	5-17
Figura 5-17 Graficas de comparación de daños (Calle 80)	5-18
Figura 5-18 Graficas de comparación de daños (Av. Las Americas)	5-19
Figura 5-19 Graficas de comparación de daños (Autopista Norte).....	5-20
Figura 5-20 Graficas de comparación de daños (NQS)	5-20
Figura 5-21 Graficas de comparación de daños (Av. Caracas).....	5-21
Figura 5-22 Graficas de comparación de daños en puentes	5-22
Figura 5-23 Graficas de comparación de daños en puentes	5-23
Figura 5-24 Graficas de comparación de daños en puentes	5-23
Figura 5-25 Graficas de comparación de daños en puentes	5-24
Figura 5-26 Graficas de correlación Edad-tránsito-daño (Calle 80).....	5-26
Figura 5-27 Graficas de correlación Edad-tránsito-daño (Av. Las Américas).....	5-27
Figura 5-28 Graficas de correlación Edad-tránsito-daño (Autopista Norte).....	5-28
Figura 5-29 Graficas de correlación Edad-tránsito-daño (NQS).....	5-28

Figura 5-30 Graficas de correlación Edad-tránsito-daño (Av. Caracas).....	5-29
Figura 5-31 Perfil lehner utilizado inicialmente	5-31
Figura 5-32 Detalle de las fracturas presentadas en los perfiles perforados, 2002	5-31
Figura 5-33 Desgaste en la parte inferior de un perfil.....	5-32
Figura 5-34 Tornillos y arandelas usadas para sujetar los perfiles sobre las aletas superiores de las vigas que sostienen el conjunto del piso.....	5-32
Figura 5-35 Detalle de un punto de sujeción fallado	5-33
Figura 5-36 Fractura total de la aleta del perfil de aluminio donde está sujetado.....	5-33
Figura 5-37 Detalle del perfil extruído en aluminio por Lehner.	5-33
Figura 5-38 Especificaciones del montaje de los pisos para Transmilenio según planos	5-34
Figura 5-39 Corte seccional de la estructura de soporte para el piso de aluminio.	5-34
Figura 5-40 Vista en planta de la estructura para soportar el piso en un módulo.	5-35
Figura 5-41 Perfil de aluminio 6261 T6. Vista de la aleta inferior de apoyo donde se observan varios orificios debido a posibles re-trabajos.....	5-38
Figura 5-42 Detalle del desgaste en la canal de conexión.....	5-38
Figura 5-43 Detalle de fractura generada por abrasión en el interior de la canal localizada sobre el punto de sujeción que falló.	5-39
Figura 5-44 Desgaste dentro de la canal del mismo perfil descrito arriba pero a mitad de distancia entre puntos de sujeción.	5-40
Figura 5-45 Detalle de una fractura por propagación de grietas durante el proceso de fatiga.....	5-40
Figura 5-46 Fractura total de la región de sujeción en la aleta de un perfil de Lehner bajo condiciones de campo	5-41
Figura 5 47 - Vista de la aleta de la lámina de Lehner descrita arriba	5-41
Figura 5-48 Perfil de Alúmina	5-42
Figura 5-49 Detalle de la falla presentada en prueba realizada sobre el perfil.....	5-43
Figura 5-50 Fractografía (x5) de la zona donde progresó la grieta del perfil fallado.	5-43
Figura 5-51 Fractografía de una parte de la zona fallada.....	5-44
Figura 5-52 Resultados de las mediciones de dureza.....	5-45
Figura 5-53 Microfisuras en láminas reinstaladas.....	5-48
Figura 5-54 Desgaste en apoyos en láminas reinstaladas.	5-49

Figura 5-55	Desgaste en apoyos en láminas reinstaladas.	5-49
Figura 5-56	Exceso de perforaciones en láminas reinstaladas.	5-49
Figura 6 1	Esquema de ensayo a tensión	6-5
Figura 6 2	Grafica típica de Esfuerzo Vs. Deformación unitaria aluminio 6261 T6.	6-6
Figura 6 3	Modos de falla de probetas a tensión	6-7
Figura 6 4	Esquema de ensayo a flexión de láminas	6-8
Figura 6 5	Curvas de carga Vs. deflexión en el centro de la luz	6-9
Figura 6 6	Figuras esquemas de falla ensayo de flexión	6-10
Figura 6 7	Esquema de ensayo de desgarramiento	6-11
Figura 6 8	Detalle de montaje del ensayo No 1	6-12
Figura 6 9	Detalle de montaje del perfil para el ensayo No 1	6-12
Figura 6 10	Localización de perforación para el ensayo No 1	6-13
Figura 6 11	Grafica Carga Vs. Deformación para el ensayo No 1	6-13
Figura 6 12	Modos de falla para el ensayo No 1	6-14
Figura 6 13	Detalle de modos de falla para el ensayo No 1	6-14
Figura 6 14	Grafica Carga Vs. Deformación para el ensayo No 2	6-15
Figura 6 15	Modos de falla para el ensayo No 2	6-15
Figura 6 16	Modos de falla para el ensayo No 3	6-16
Figura 6 17	Esquema de Montaje para ensayo de flexión bajo carga distribuida	6-18
Figura 6 18	Fotografías ensayo de carga distribuida	6-19
Figura 6 19	Registro de deformaciones prueba de carga laboratorio	6-20
Figura 6 20	Estimación de esfuerzos a partir de deformaciones unitarias	6-21
Figura 6 21	Esquema de Montaje para ensayo de fatiga	6-23
Figura 6 22	Variación temporal de cargas ensayo de fatiga (corresponde a un día en actividad)	6-24
Figura 6 23	Variación del desplazamiento del cabezote con respecto a la deformación inicial	6-26
Figura 6 24	Tipos de falla para ensayo de fatiga en perfiles A-4	6-27
Figura 6 25	Tipos de falla para ensayo de fatiga en perfiles A-1	6-27
Figura 6 26	Tipos de falla para ensayo de fatiga en perfiles L-1	6-28

Figura 6 27 Esquema de montaje ensayo de nivel de ruido	6-30
Figura 6 28 Máquina usada en el ensayo de envejecimiento	6-32
Figura 6 29 Probetas para el ensayo de envejecimiento.....	6-33
Figura 7 1 Modelo A-1 (A-2) (114 frame y 14 n-link)	7-2
Figura 7 2 Modelo A-4 (87 frame y 22 n-link).....	7-3
Figura 7 3 Modelo L-1 (89 frame y 15 n-link).....	7-3
Figura 7 4 Modelo L-4 (89 frame y 15 n-link).....	7-4
Figura 7 5 Modelo A-1 (A-2) sin troquelar (7052 shell)	7-5
Figura 7 6 Modelo A-1 (A-2) Troquelada (7068 shell)	7-5
Figura 7 7 Modelo A-4 sin troquelar (4554 shell).....	7-6
Figura 7 8 Modelo L-1 sin troquelar (5504 shell)	7-6
Figura 7 9 Modelo L-1 troquelada (5382 shell)	7-7
Figura 7 10 Modelo L-4 sin troquelar (5354 shell)	7-7
Figura 7 11 Modelo A-1 (A-2) sin troquelar (33945 shell)	7-9
Figura 7 12 Modelo A-1 (A-2) troquelado (40041 shell)	7-9
Figura 7 13 Modelo A-1 (A-2) troquelado - detalle	7-10
Figura 7 14 Modelo A-4 sin troquelar (27915 shell).....	7-10
Figura 7 15 Modelo L-1 sin troquelar (30360 shell)	7-11
Figura 7 16 Modelo L-1 troquelado (36240 shell)	7-11
Figura 7 17 Modelo L-4 sin troquelar (29394 shell)	7-12
Figura 7 18 Disposición de los lvdt.....	7-14
Figura 7 19 Modelo analítico y detalle de apoyo	7-14
Figura 7 20 Desplazamientos verticales ante carga de calibración estática	7-15
Figura 7 21 Desplazamientos verticales ante carga estática de calibración (en campo)	7-15
Figura 7 22 Disposición de los lvdt.....	7-17
Figura 7 23 Modelo analítico	7-17
Figura 7 24 Desplazamientos verticales ante carga de calibración estática	7-18
Figura 7 25 Desplazamientos verticales ante carga estática de calibración (en campo)	7-18

Figura 7 26 Disposición de los LVDT	7-19
Figura 7 27 Modelo analítico	7-20
Figura 7 28 Desplazamientos verticales ante carga de calibración estática	7-21
Figura 7 29 Desplazamientos verticales ante carga estática de calibración (en campo)	7-21
Figura 7 30 Modelo a desgarramiento, tornillo centrado	7-23
Figura 7 31 Modelo a desgarramiento, tornillo cerca al borde	7-24
Figura 7 32 Deformada modelo a desgarramiento, tornillo centrado.....	7-25
Figura 7 33 Deformada modelo a desgarramiento, tornillo cerca al borde.....	7-25
Figura 7 34 Esfuerzos 11 (MPa), modelo a desgarramiento, tornillo centrado.....	7-26
Figura 7 35 Esfuerzos 11 (MPa), modelo a desgarramiento, tornillo cerca al borde.....	7-26
Figura 7 36 Comparación rango elástico	7-27
Figura 7 37 Posiciones de carga analizadas, de arriba abajo A, B, C y D	7-28
Figura 7 38 Línea de influencia para apoyo exterior	7-29
Figura 7 39 Línea de influencia para apoyo interior	7-30
Figura 7 40 Posiciones de carga analizadas, de arriba abajo A, B, C y D	7-31
Figura 7 41 Línea de influencia para apoyo de borde	7-32
Figura 7 42 Línea de influencia para apoyo interior	7-33
Figura 7 43 Espectro de carga.....	7-36
Figura 7 44 Estado de esfuerzos, (kg/cm ²).....	7-37
Figura 7 45 Espectro de esfuerzos	7-38
Figura 7 46 Curvas fr - N de diseño.....	7-39
Figura 8.1 1 Módulo de piso en materiales sintético.....	8-2
Figura 8.1 2 Módulo de piso en Aluminio	8-2
Figura 8.1 3 Módulo de piso en concreto pretensado	8-3
Figura 8.1 4 Módulo de piso en concreto reforzado con fibra	8-3
Figura 8.1 5 Módulo de piso en Rejillas metálicas	8-3
Figura 8.4 1 Planta superior sistema de pisos en GRC (dimensiones en mm).....	8-62
Figura 8.4 2 Planta inferior sistema de pisos en GRC (dimensiones en mm).....	8-62

Figura 8.4 3 Corte A-A Sistema de GRC (dimensiones en mm)	8-62
Figura 8.4 4 Corte B-B Sistema de GRC (dimensiones en mm).....	8-62
Figura 8.4 5 Distribución de los módulos y viguetas de GRC en la estación (dimensiones en mm) 8-63	
Figura 8.4 6 Corte C-C Distribución de los módulos y viguetas de GRC en la estación (dimensiones en mm)	8-64
Figura 8.4 7 Corte D-D Distribución de los módulos y viguetas de GRC en la estación (dimensiones en mm)	8-64
Figura 8.4 8 Detalle perimetral sistema de apoyo (dimensiones en mm)	8-65
Figura 8.4 9 Detalle sistema de conexión (Vista inferior)	8-65
Figura 8.4 10 Graficas de esfuerzo vs deformación (con medición de modulo).....	8-67
Figura 8.4 11 Graficas de esfuerzo vs deformación (sin medición de modulo).....	8-68
Figura 8.4 12 Probeta y montaje de ensayo de desgaste para GRC	8-69
Figura 8.4 13 Esquema de ensayo a flexión de láminas.....	8-71
Figura 8.4 14 Curvas de carga vs. desplazamiento en el centro de la luz	8-72
Figura 8.4 15 Curvas de momento vs. desplazamiento en el centro de la luz.....	8-72
Figura 8.4 16 Montaje de ensayo de punzonamiento.....	8-73
Figura 8.4 17 Mecanismo de falla ensayo de punzonamiento	8-73
Figura 8.4 18 Montaje para ensayo de fatiga de GRC	8-74
Figura 8.4 19 Curva deflexión vs no de ciclos ensayo de fatiga	8-75
Figura 8.4 20 Medición de ruido condición No 1	8-76
Figura 8.4 21 Medición de ruido condición No 2	8-76
Figura 8.4 22 Medición de ruido condición No 3	8-76
Figura 8.4 23 Modelo tridimensional.....	8-80
Figura 8.4 24 Deflexiones obtenidas en el modelo	8-80
Figura 8.4 25 Distribución de esfuerzos por flexión obtenidos en el modelo (kg/cm ²)	8-81
Figura 8.4 26 Distribución de esfuerzos cortantes obtenidas en el modelo (kg/cm ²)	8-81
Figura 8.4 27 Deflexiones obtenidas en el modelo	8-82
Figura 8.4 28 Distribución de esfuerzos por flexión momentos obtenidos en el modelo (kg/cm ²) ..	8-83
Figura 8.4 29 Distribución de esfuerzos cortantes obtenidas en el modelo (kg/cm ²)	8-83

Figura 8.4 30 Deflexiones obtenidas en el modelo	8-84
Figura 8.4 31 Distribución de esfuerzos por flexión obtenidos en el modelo (kg/cm ²)	8-85
Figura 8.4 32 Distribución de esfuerzos cortantes obtenidas en el modelo (kg/cm ²)	8-85
Figura 8.4 33 Deflexiones obtenidas en el modelo	8-86
Figura 8.4 34 Distribución de esfuerzos por flexión obtenidos en el modelo (kg/cm ²)	8-86
Figura 8.4 35 Distribución de esfuerzos cortantes obtenidas en el modelo (kg/cm ²)	8-87
Figura 8.4 36 Deformada por temperatura	8-87
Figura 8.4 37 Deformada por defectos constructivos	8-88
Figura 8.5 1 Sección transversal del perfil de aluminio (dimensiones en mm)	8-93
Figura 8.5 2 Distribución de los módulos de aluminio y viguetas en la estación (dimensiones en mm) 8-94	
Figura 8.5 3 Corte C-C Distribución de los módulos de aluminio y viguetas en la estación (dimensiones en mm)	8-95
Figura 8.5 4 Corte D-D Distribución de los módulos y viguetas de aluminio en la estación (dimensiones en mm)	8-95
Figura 8.5 5 Detalle perimetral sistema de apoyo (dimensiones en mm)	8-96
Figura 8.5 6 Detalle sistema de conexión (dimensiones en mm)	8-96
Figura 8.5 7 Detalle de la grapa de amarre (dimensiones en mm)	8-97
Figura 8.5 8 Esquema de ensayo a flexión de láminas	8-98
Figura 8.5 9 Curvas de carga vs. desplazamiento en el centro de la luz	8-99
Figura 8.5 10 Curvas de momento vs. desplazamiento en el centro de la luz	8-99
Figura 8.5 11 Montaje para ensayo de fatiga de Aluminio	8-100
Figura 8.5 12 Curva deflexión Vs No de ciclos ensayo de fatiga de aluminio	8-100
Figura 8.5 13 Medición de ruido condición No 1	8-101
Figura 8.5 14 Medición de ruido condición No 2	8-101
Figura 8.5 15 Medición de ruido condición No 3	8-102
Figura 8.5 16 Modelo tridimensional	8-103
Figura 8.5 17 Deflexiones obtenidas en el modelo	8-104
Figura 8.5 18 Distribución de esfuerzos por flexión obtenidos en el modelo (Kg/mm ²)	8-104

Figura 8.5 19 Distribución de esfuerzos cortantes obtenidas en el modelo (Kg/mm ²)	8-105
Figura 8.5 20 Deflexiones obtenidas en el modelo	8-106
Figura 8.5 21 Distribución de esfuerzos por flexión obtenidos en el modelo (kg/mm ²).....	8-107
Figura 8.5 22 Distribución de esfuerzos cortantes obtenidas en el modelo (kg/mm ²)	8-107
Figura 8.5 23 Deformada por defectos constructivos	8-109
Figura 8.5 24 Deformada por cambios térmicos	8-109
Figura 8.5 25 Esfuerzos máximos en la lámina por la carga del análisis a la fatiga (kg/mm ²)	8-110
Figura 8.6 1 Planta superior sistema de pisos en rejillas metálicas (dimensiones en mm)	8-115
Figura 8.6 2 Corte A-A Sistema de rejillas metálicas (dimensiones en mm)	8-116
Figura 8.6 3 Corte B-B Sistema de rejillas metálicas (dimensiones en mm)	8-116
Figura 8.6 4 Detalle de elementos que conforman el sistema(Vista inferior)	8-116
Figura 8.6 5 Distribución de los módulos y viguetas de rejillas metálicas en la estación (dimensiones en mm)	8-117
Figura 8.6 6 Corte C-C Distribución de los módulos y viguetas de rejillas metálicas en la estación (dimensiones en mm)	8-119
Figura 8.6 7 Corte D-D Distribución de los módulos y viguetas de rejillas metálicas en la estación (dimensiones en mm)	8-119
Figura 8.6 8 Detalle perimetral sistema de apoyo (dimensiones en mm)	8-120
Figura 8.6 9 Probeta y montaje de ensayo de desgaste para rejillas metálicas	8-121
Figura 8.6 10 Esquema de ensayo a flexión de láminas.....	8-122
Figura 8.6 11 Curvas de carga vs. desplazamiento en el centro de la luz (Probeta No 1)	8-123
Figura 8.6 12 Curvas de momento vs. desplazamiento en el centro de la luz (Probeta No 1)	8-123
Figura 8.6 13 Curvas de carga vs. Desplazamiento en el centro de la luz (Probeta No 2).....	8-124
Figura 8.6 14 Curvas de momento vs. Desplazamiento en el centro de la luz (Probeta No 2)	8-124
Figura 8.6 15 Montaje de ensayo de punzonamiento probeta No 1	8-125
Figura 8.6 16 Mecanismo de falla ensayo de punzonamiento probeta No 1.....	8-125
Figura 8.6 17 Montaje de ensayo de punzonamiento probeta No 2	8-126
Figura 8.6 18 Mecanismo de falla ensayo de punzonamiento probeta No 2.....	8-126
Figura 8.6 19 Montaje para ensayo de fatiga de rejillas metálicas.....	8-127

Figura 8.6 20 Curva deflexión vs No de ciclos ensayo de fatiga	8-127
Figura 8.6 21 Medición de ruido condición No 1	8-128
Figura 8.6 22 Medición de ruido condición No 2	8-128
Figura 8.6 23 Medición de ruido condición No 3	8-129
Figura 8.6 24 Modelo tridimensional.....	8-130
Figura 8.6 25 Deflexiones obtenidas en el modelo	8-131
Figura 8.6 26 Distribución de esfuerzos por flexión obtenidos en el modelo (kg/cm ²)	8-131
Figura 8.6 27 Distribución de esfuerzos cortantes obtenidas en el modelo (kg/cm ²)	8-132
Figura 8.6 28 Deflexiones obtenidas en el modelo	8-133
Figura 8.6 29 Distribución de esfuerzos por flexión momentos obtenidos en el modelo (kg/cm ²)	8-133
Figura 8.6 30 Distribución de esfuerzos cortantes obtenidas en el modelo (kg/cm ²)	8-134
Figura 8.6 31 Deflexiones obtenidas en el modelo	8-135
Figura 8.6 32 Distribución de esfuerzos por flexión obtenidos en el modelo (kg/cm ²)	8-135
Figura 8.6 33 Distribución de esfuerzos cortantes obtenidas en el modelo (kg/cm ²)	8-136
Figura 8.6 34 Deflexiones obtenidas en el modelo	8-137
Figura 8.6 35 Distribución de esfuerzos por flexión obtenidos en el modelo (kg/cm ²)	8-137
Figura 8.6 36 Distribución de esfuerzos cortantes obtenidas en el modelo (kg/cm ²)	8-138
Figura 8.10 1 Detalles de estructura de Vagón típico de la estación estaciones	8-166
Figura 8.10 2 Detalles de estructura de modulo típico del puente	8-169
Figura 8.12 1 Planta superior sistema de pisos en concreto pretensado (dimensiones en mm)	8-182
Figura 8.12 2 Corte A-A Sistema de pisos en concreto pretensado (dimensiones en mm)	8-182
Figura 8.12 3 Corte B-B Sistema de pisos en concreto pretensado (dimensiones en mm).....	8-182
Figura 8.12 4 Sección transversal del perfil de aluminio (dimensiones en mm).....	8-183
Figura 9.7 1 Caso de carga 1	9-4
Figura 9.7 2 Caso de carga 2.....	9-4
Figura 9.7 3 Caso de carga 3.....	9-5
Figura 9.7 4 Espectro de carga peatonal de diseño para un (1) día de transito intenso.....	9-6

LISTA DE TABLAS

Tabla 1-1 Inicio de tróncales del sistema Transmilenio.....	1-2
Tabla 1-2 Actividades del estudio.....	1-5
Tabla 3 1 Dimensiones de láminas de piso instaladas	3-8
Tabla 4 1 Flujo de personas día hábil	4-5
Tabla 4 2 Flujo de personas día hábil para los puentes peatonales del sistema Transmilenio ...	4-10
Tabla 4 3 Comparación flujo de personas estación y puente peatonal	4-13
Tabla 4 4 Constantes de calibración LVDT	4-17
Tabla 4 5 Resumen de datos tomados en por los LVDT y Strain gage en Estación calle 76 ...	4-24
Tabla 4 6 Resumen de datos tomados en por los LVDT y Strain gages en Estación calle 100 ...	4-32
Tabla 4 7 Resumen de datos tomados en por los LVDT y strain gages en el puente de calle 100 ...	4-40
Tabla 4 8 Calculo de rigidez	4-44
Tabla 5 1 Inventario de estaciones inspeccionadas	5-1
Tabla 5 2 Inventario de puentes inspeccionados.....	5-5
Tabla 5 3 Clasificación de los tipos de apoyo	5-10
Tabla 5 4 Códigos para definir los módulos en las estaciones.	5-10
Tabla 5 5 Códigos para definir los módulos en los puentes.	5-11
Tabla 6 1 Ensayos a realizados y norma recomendada	6-1
Tabla 6 2 Resultados de ensayos composición química	6-3
Tabla 6 3 Resultados de ensayos dureza	6-4
Tabla 6 4 Resultados de ensayos tensión	6-5
Tabla 6 5 Resultados ensayos de flexión	6-9
Tabla 6 6 Resultados ensayo carga distribuida	6-20
Tabla 6 7 Resultados ensayo carga distribuida	6-21

Tabla 6 8 Resultados estimación experimental de la rigidez	6-22
Tabla 6 9 Principales resultados ensayos de fatiga por aceptación	6-25
Tabla 6 10 Resultados de ensayos de medición de ruido	6-30
Tabla 6 11 Principales resultados mediciones de desgaste	6-31
Tabla 7 1 Propiedades básicas para modelación	7-1
Tabla 7 2 Rigidez obtenida en las calibraciones	7-22
Tabla 7 3 Cálculo de ciclos fatiga	7-40
Tabla 7 4 Parámetros empleados en el cálculo de fatiga	7-41
Tabla 7 5 Vida estimada ante fatiga de las muestras	7-42
Tabla 7 6 Comentarios a los perfiles de aluminio	7-45
Tabla 8.2 1 Propiedades geométricas del módulo de piso en materiales sintéticos	8-6
Tabla 8.2 2 Ensayos realizados a materiales sintéticos	8-11
Tabla 8.2 3 Resultados de ensayos tensión	8-12
Tabla 8.2 4 Resultados de ensayos compresión	8-13
Tabla 8.2 5 Resultados de ensayos de tensión indirecta	8-14
Tabla 8.2 6 Principales resultados mediciones de desgaste	8-15
Tabla 8.2 7 Resultados ensayos de flexión	8-17
Tabla 8.2 8 Resultados de ensayos de medición de ruido	8-21
Tabla 8.2 9 Propiedades y parámetros básicos del material sintético	8-22
Tabla 8.2 10 Resultados del análisis con carga distribuida	8-24
Tabla 8.2 11 Resultados del análisis con cargas concentradas.....	8-26
Tabla 8.2 12 Resultados del análisis con cargas concentradas.....	8-27
Tabla 8.2 13 Resultados verificación viguetas de apoyo	8-29
Tabla 8.3 1 Propiedades geométricas del módulo de piso en concreto pretensado.....	8-33
Tabla 8.3 2 Ensayos realizados al concreto pretensado	8-38
Tabla 8.3 3 Resultados de ensayos de tensión indirecta	8-38
Tabla 8.3 4 Principales resultados mediciones de desgaste	8-40
Tabla 8.3 5 Resultados ensayos de flexión	8-42

Tabla 8.3 6 Resultados de ensayos de medición de ruido	8-47
Tabla 8.3 7 Resultados de ensayos de tensión realizados a los cables	8-48
Tabla 8.3 8 Resultados del análisis con carga distribuida	8-52
Tabla 8.3 9 Resultados del análisis con cargas concentradas	8-54
Tabla 8.3 10 Resultados del análisis con cargas concentradas	8-56
Tabla 8.3 11 Resultados verificación viguetas de apoyo	8-57
Tabla 8.4 1 Propiedades geométricas del módulo de piso en GRC	8-61
Tabla 8.4 2 Ensayos realizados al modulo de GRC	8-66
Tabla 8.4 3 Resultados de ensayos compresión	8-67
Tabla 8.4 4 Resultados de ensayos de tensión indirecta	8-68
Tabla 8.4 5 Principales resultados mediciones de desgaste	8-70
Tabla 8.4 6 Resultados ensayos de flexión	8-71
Tabla 8.4 7 Resultados de ensayos de medición de ruido	8-77
Tabla 8.4 8 Propiedades de la fibra de vidrio alcalino resistente	8-78
Tabla 8.4 9 Propiedades y parámetros básicos del material GRC	8-78
Tabla 8.4 10 Chequeos con el modelo simplificado	8-79
Tabla 8.4 11 Resultados del análisis con carga distribuida	8-82
Tabla 8.4 12 Resultados del análisis con cargas concentradas	8-84
Tabla 8.4 13 Resultados del análisis con cargas concentradas	8-85
Tabla 8.4 14 Resultados del análisis con cargas concentradas	8-87
Tabla 8.4 15 Resultados verificación viguetas de apoyo	8-89
Tabla 8.5 1 Propiedades de la sección de aluminio	8-93
Tabla 8.5 2 Ensayos realizados a módulos de aluminio	8-97
Tabla 8.5 3 Resultados ensayos de flexión	8-99
Tabla 8.5 4 Resultados de ensayos de medición de ruido	8-102
Tabla 8.5 5 Propiedades y parámetros básicos del material aluminio	8-103
Tabla 8.5 6 Resultados del análisis con carga distribuida	8-105
Tabla 8.5 7 Resultados del análisis con cargas concentradas	8-108

Tabla 8.5 8 Resultados del análisis con carga de punzonamiento.....	8-108
Tabla 8.5 9 Cálculo de la vida útil	8-111
Tabla 8.5 10 Resultados verificación viguetas de apoyo	8-111
Tabla 8.6 1 Propiedades geométricas del módulo de piso en rejillas metálicas.....	8-115
Tabla 8.6 2 Ensayos realizados a rejillas	8-120
Tabla 8.6 3 Principales resultados mediciones de desgaste	8-121
Tabla 8.6 4 Resultados ensayos de flexión	8-123
Tabla 8.6 5 Resultados de ensayos de medición de ruido	8-129
Tabla 8.6 6 Propiedades y parámetros básicos del material rejillas metálicas.....	8-130
Tabla 8.6 7 Resultados del análisis con carga distribuida.....	8-132
Tabla 8.6 8 Resultados del análisis con cargas concentradas.....	8-134
Tabla 8.6 9 Resultados del análisis con cargas concentradas.....	8-136
Tabla 8.6 10 Resultados del análisis con cargas concentradas.....	8-138
Tabla 8.6 11 Resultados verificación viguetas de apoyo	8-139
Tabla 8.8 1 Tipos de maderas	8-146
Tabla 8.8 2 Propiedades físicas de los diferentes tipos de maderas.....	8-146
Tabla 8.9 1 Ensayos realizados	8-148
Tabla 8.9 2 Resultados ensayos de tensión en sustrato	8-149
Tabla 8.9 3 Resultados ensayos de tensión en imprimante	8-153
Tabla 8.9 4 Resultados ensayos de tensión en pega elástica.....	8-156
Tabla 8.9 5 Comparación de resistencias de pega elástica, de la pintura contra otros materiales....	8-160
Tabla 8.9 6 Comparación de tensiones en sustrato, de la pintura contra los otros materiales	8-160
Tabla 8.9 7 Comparación de tensiones en imprimante, de la pintura contra los otros materiales. ..	8-161
Tabla 8.9 8 Resultados ensayos de corte en pega elástica	8-161
Tabla 8.10 1 Tabla de cantidades de obra alternativa Material sintético.	8-166
Tabla 8.10 2 Tabla de cantidades de obra alternativa Concreto pretensado.	8-167
Tabla 8.10 3 Tabla de cantidades de obra alternativa Concreto reforzado con fibras.....	8-167
Tabla 8.10 4 Tabla de cantidades de obra alternativa Aluminio para estaciones.....	8-168

Tabla 8.10 5	Tabla de cantidades de obra rejillas.	8-168
Tabla 8.10 6	Tabla de cantidades de obra alternativa Aluminio para puentes.	8-169
Tabla 8.11 1	Tabla comparativa de los sistemas propuestos.....	8-177
Tabla 8.12 1	Propiedades geométricas del módulo de piso en concreto preesforzado.....	8-181
Tabla 8.12 2	Propiedades geométricas de la sección de aluminio.....	8-183
Tabla 8.12 3	Tabla comparativa de los sistemas definitivos.....	8-185
Tabla 9.7 1	Datos espectro de fatiga.....	9-5
Tabla 10 1	Tamices ICONTEC	10-16
Tabla 10 2	Radios de doblado	10-43

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES



TABLA DE CONTENIDO

1 Introducción y Antecedentes

1.1	Introducción y antecedentes	1-1
1.2	Objetivos y alcance	1-4
1.3	Metodología del estudio	1-5

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1 Esquema de la fecha de inicio de las troncales del sistema Transmilenio.....1-2

LISTA DE TABLAS

Tabla 1-1 Inicio de tróncales del sistema Transmilenio.....	1-2
Tabla 1-2 Actividades del estudio.....	1-5

1.1 INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

El sistema Transmilenio en la actualidad¹ esta conformado de la siguiente manera:

- Troncal Caracas la cual se conecta con la Autopista norte a la altura de la calle 76.
- Troncal NQS la cual se conecta con la Autopista Norte en la Calle 100.
- Transversal Calle 80 la cual conecta con la troncal Avenida Caracas en la Calle 76.
- Transversal Avenida las Américas la cual conecta con la troncal Avenida Caracas en la Avenida Jiménez.

El primer tramo puesto en servicio fue la Transversal calle 80 desde el portal 80 hasta la estación Polo, simultáneamente con la Avenida Caracas desde la estación Calle 76 hasta la estación Tercer Milenio, en Diciembre del 2000. Después fue puesto en servicio el tramo sur de la Avenida Caracas, desde la estación Hospital hasta la estación Olaya en Abril de 2001 y desde la estación Quiroga hasta la estación Molinos en Junio del 2001. El tramo de la Autopista Norte desde la estación Calle 85 hasta el portal Norte fue puesto en servicio en Agosto del 2001. La troncal Caracas fue complementada en Marzo del 2002 con el tramo que va desde la estación Calle 40 sur hasta el portal del Tunal.

La transversal Calle 13 – Avenida de las América fue puesta en servicio en dos tramos, el primero de ellos en Noviembre del 2003 desde la estación de la Sabana hasta la estación puente Aranda y el segundo desde la estación Carrera 53 A hasta el portal de las Américas en Diciembre del mismo año.

Recientemente, en Junio y septiembre del 2005, inició la operación de la NQS desde la estación General Santander hasta la Estación de la Castellana conectando en la calle 100, troncal autopista Norte. Hacia mediados del 2006 se tiene prevista la iniciación de la Avenida Suba. El plan hacia el futuro es poner en funcionamiento la carrera 7 y la Calle 26. En la Tabla 1-1 y Figura 1-1 se presentan las fechas de inicio de cada uno de los tramos de transmilenio.

¹ Esta información corresponde a lo existente hasta Julio de 2006

Tabla 1-1 Inicio de tróncales del sistema Transmilenio

No	Tramo	Desde	Hasta	Fecha de inicio
1	Calle 80	Portal 80	Estacion el Polo	Diciembre de 2000
2	Avenida Caracas	Estacion Calle 76	Estacion Tercer Milenio	Diciembre de 2000
3	Avenida Caracas	Estacion Hospital	Estacion Olaya	Abril de 2001
4	Avenida Caracas	Estacion Molinos	Estacion Quiroga	Junio de 2001
5	Autopista Norte	Estacion Toberin	Estacion Calle 85	Agosto de 2001
6	Avenida Caracas	Estacion Biblioteca	Portal Tunal	Marzo de 2002
7	Calle 13	Estacion Puente Aranda	Estacion de la Sabana	Noviembre de 2003
8	Avenida las Americas	Estacion Cra 53 A	Portal de las Americas	Diciembre de 2003
9	NQS	Estacion la Castellana	Estacion Santa Isabel	Julio de 2005
9	NQS	General Santander	Estacion SENA	Septiembre de 2005

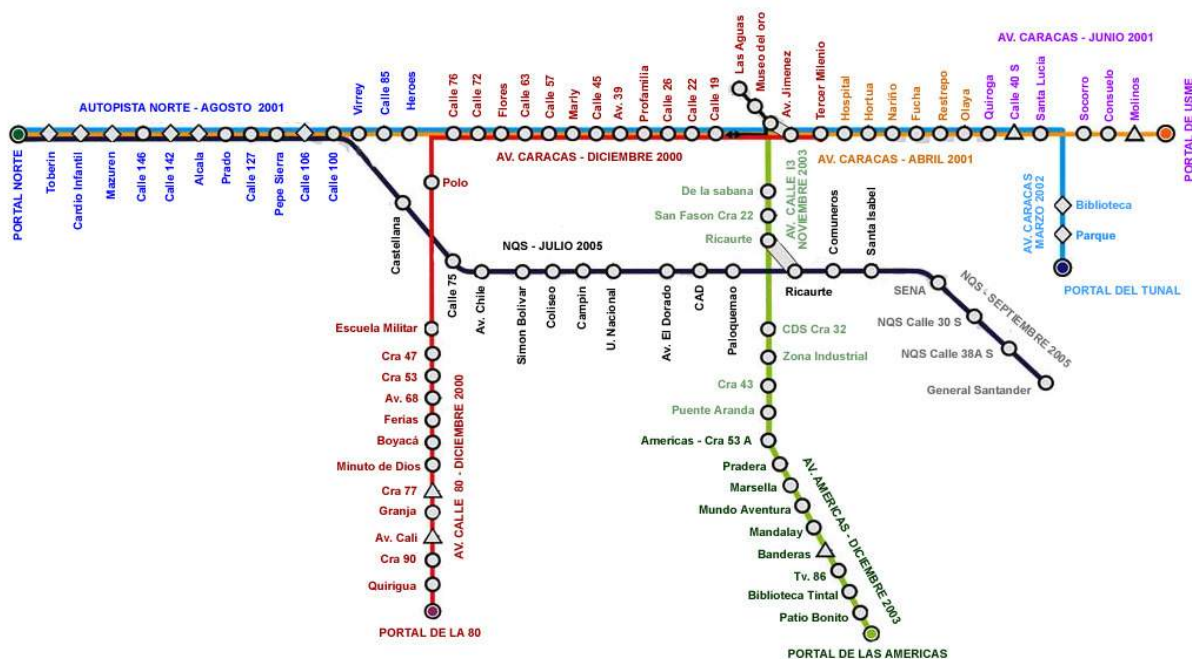


Figura 1-1 Esquema de la fecha de inicio de las troncales del sistema Transmilenio

Luego de 5 años de funcionamiento el sistema de piso de los puentes peatonales y de las estaciones en los tramos de la Autopista del Norte y de la Avenida Caracas ha venido presentando una serie de problemas relacionados con grandes deflexiones, huecos en el piso, desajuste en las láminas, ruido intenso con el tránsito de personas y otros efectos que impiden el normal funcionamiento del sistema y ponen en riesgo a los transeúntes. Ante esta situación el IDU ha venido requiriendo a los contratistas respectivos con el fin de que respondan por los daños y efectos que se han presentado antes que se cumpla la vida útil esperada en el diseño.

Con los anteriores antecedentes el IDU elaboró los términos de referencia IDU-CP-DTC-039-2005 que tienen como propósito adelantar el análisis, diagnóstico y generación de alternativas de solución del sistema de pisos de puentes peatonales y estaciones del sistema transmilenio. Esta licitación fue adjudicada a la Universidad de los Andes en Diciembre de 2005.

El estudio pretende realizar un diagnóstico detallado del problema existente en la actualidad y plantear una serie de alternativas de solución que permitan resolver el problema en el corto plazo garantizando una duración mínima de acuerdo a una vida útil establecida. Simultáneamente se pretenden establecer las bases para los requerimientos generales que deben considerarse en el diseño, construcción, instalación y mantenimiento de este tipo de pisos en el futuro con el fin de garantizar el cumplimiento de unos criterios mínimos de funcionamiento relacionados con capacidad, funcionalidad, durabilidad y economía.

El presente informe resume los trabajos adelantados en el Contrato 122 de 2005 entre el IDU y la Universidad de los Andes con los propósitos mencionados.

1.2 OBJETIVOS Y ALCANCE

El objetivo principal del estudio consiste en adelantar el análisis, diagnóstico y generación de alternativas de solución para el sistema de pisos de puentes peatonales y estaciones del sistema Transmilenio en Bogotá.

Como objetivos específicos se plantean los siguientes:

- (a) Identificar los puntos donde se presentan mayores problemas en los pisos y estaciones del sistema Transmilenio.
- (b) Identificar estaciones y puentes peatonales con mayor flujo de usuarios y peatones con el fin de relacionar el estado actual de cada uno de ellos.
- (c) Adelantar modelos analíticos que permitan determinar el comportamiento de los pisos existentes y el de las nuevas alternativas propuestas.
- (d) Evaluar el efecto que producen los nuevos sistemas propuestos sobre las estructuras de soporte.
- (e) Realizar los ensayos de laboratorio requeridos para caracterizar las propiedades y parámetros de comportamiento de los principales materiales y elementos utilizados en la construcción de los pisos.
- (f) Determinar cuales de los sistemas utilizados actualmente presentan mayores dificultades y dar las recomendaciones del caso para su refuerzo o reemplazo.
- (g) Desarrollar la documentación necesaria que le permita al IDU adelantar los procesos de reparación, reforzamiento y/o reemplazo de los sistemas de piso afectados. Se deben incluir diseños definitivos, especificaciones técnicas, presupuestos, cantidades de obras, recursos y plazos requeridos.
- (h) Requerimientos de mantenimiento en el futuro para los nuevos sistemas propuestos y análisis económico.

1.3 METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

El estudio incluye la realización de aquellas actividades necesarias para alcanzar los resultados deseados, incluyendo una serie de desarrollos tecnológicos recientes que permiten una mayor eficiencia y alcance de los trabajos propuestos.

Las actividades a realizadas fueron las siguientes:

Tabla 1-2 Actividades del estudio

No	Actividad
1	Recopilación y revisión de la información relacionada con sistemas de pisos utilizados para puentes peatonales
2	Inspección Técnica de puentes peatonales con el fin de caracterizar los sistemas, materiales y patologías
3	Evaluación de cargas y efectos actuantes sobre los pisos
4	Recuperación y conformación de muestras para ensayos de laboratorio
5	Ensayos de laboratorio
6	Modelación analítica de esfuerzos y deformaciones de casos típicos
7	Propuesta de nuevos sistemas modulares y evaluación de las mismas
8	Informes, Presentación y Entrega

INFORMACIÓN DISPONIBLE



TABLA DE CONTENIDO

2 Información disponible

2.1	Introducción	2-1
2.2	Planos	2-1
2.3	Memorias	2-1
2.4	Especificaciones	2-1
2.5	Otros	2-1

2.1 INTRODUCCIÓN

La información suministrada por el Instituto de Desarrollo Urbano IDU y los contratistas de Transmilenio sobre planos, memorias y especificaciones fue depurada para generar la información requerida en el estudio. En el Anexo 11-1 se presentan tabulados los aspectos enunciados en el siguiente orden:

2.2 PLANOS

Un total de 1183 planos hacen parte de la base de datos para soporte de la investigación. El inventario de los planos se presenta en el Anexo 11-1, en la primera columna se presenta el nombre de la carpeta principal en la que se hallan alojados, seguidamente se encuentra la columna que proporciona el nombre del archivo y posteriormente se muestra el contenido de dichos planos.

2.3 MEMORIAS

Las memorias incluyen aspectos del proyecto tales como estudios de tráfico, informes de visitas técnicas, memorias de estudios de ruido en puentes peatonales formatos de inspección y levantamiento, parámetros de diseño y especificaciones, entre otros. En el Anexo 11-1 se puede apreciar la referencia a dichas memorias organizadas de igual forma que los planos.

2.4 ESPECIFICACIONES

Las tablas sobre especificaciones hacen alusión a los archivos sobre análisis estructurales y especificaciones técnicas y a los documentos sobre el proceso de reclamación del IDU a los fabricantes de los pisos de Transmilenio. En el Anexo 11-1 se presenta el inventario de las especificaciones.

2.5 OTROS

La presencia de un alto registro fotográfico se expone como información disponible para el proyecto. El inventario de fotografías se encuentra en el Anexo 11-1.

CARACTERIZACIÓN GEOMÉTRICA

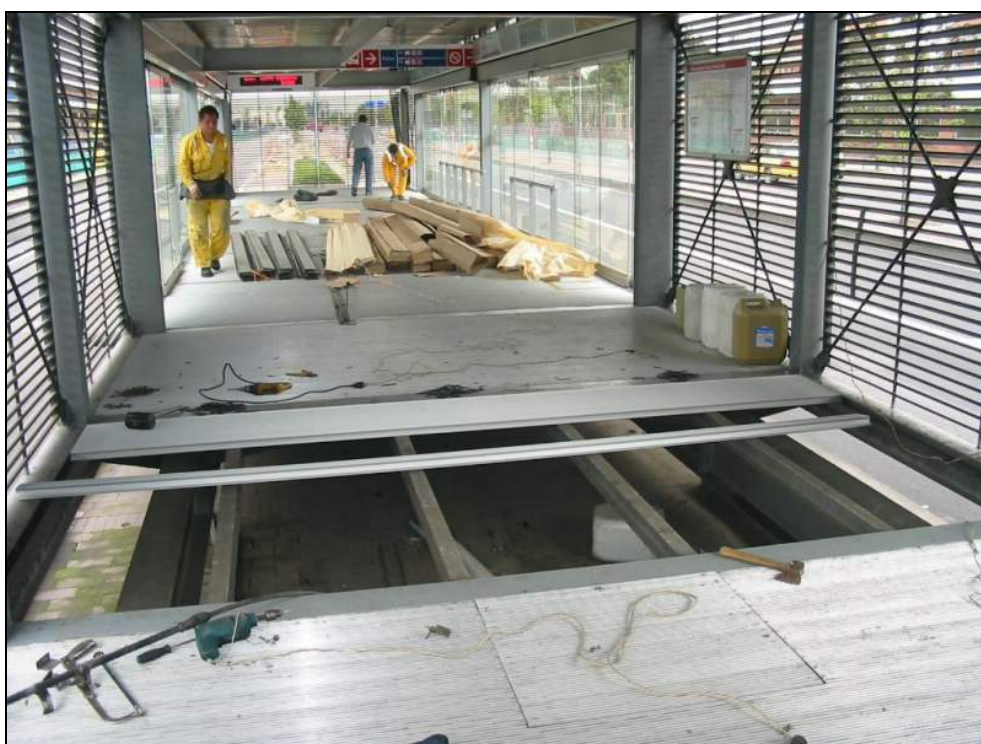


TABLA DE CONTENIDO

3 Caracterización geométrica

3.1 Caracterización geométrica de los pisos de estaciones.....	3-1
3.2 Caracterización geométrica de los pisos de puentes.....	3-5
3.3 Caracterización geométrica de las láminas de piso	3-8

LISTA DE FIGURAS

Figura 3-1 Detalles de estructura de soporte Vagón estaciones	3-1
Figura 3-2 Estructura de soporte de pisos.	3-2
Figura 3-3 Distribución de pisos de la estación.	3-3
Figura 3-4 Distribución de la estructura de soporte de estación.	3-4
Figura 3-5 Distribución modificada de la estructura de soporte de estación.	3-4
Figura 3-6 Detalle en planta estructura de soporte pisos de puentes.	3-5
Figura 3-7 Corte típico estructura de soporte de pisos en puentes.	3-6
Figura 3-8 Corte típico estructura de soporte de pisos en puentes.	3-7
Figura 3-9 Dimensiones de las secciones típicas de láminas de piso A-1 y A-2	3-9
Figura 3-10 Dimensiones de las secciones típicas de láminas de piso A-3	3-9
Figura 3-11 Dimensiones de las secciones típicas de láminas de piso A-4	3-9
Figura 3-12 Dimensiones de las secciones típicas de láminas de piso L-1 y L-2	3-9
Figura 3-13 Dimensiones de las secciones típicas de láminas de piso L-3	3-10
Figura 3-14 Dimensiones de las secciones típicas de láminas de piso L-4	3-10

LISTA DE TABLAS

Tabla 3-1 Dimensiones de láminas de piso instaladas	3-8
---	-----

3.1 CARACTERIZACIÓN GEOMÉTRICA DE LOS PISOS DE ESTACIONES

Las estaciones del sistema Transmilenio, arquitectónicamente, están conformadas por tres secciones las cuales se identifican de la siguiente manera:

- Primera sección: rampa de acceso a la estación.
- Segunda sección: Vagones
- Tercera sección: sección intermedia o pasillos

La estructura de soporte de los pisos está conformada por dos vigas metálicas longitudinales (IPE 360), localizadas en los extremos. Sobre estas vigas van localizadas unas vigas metálicas en el sentido transversales cada 2.248 m en perfiles HEA 160, las cuales reciben las viguetas de soporte de las láminas de piso que en la mayoría de los casos son perfiles C4x5.4 o IPE – 120 separados 1.0 m para láminas de piso suministradas por Alumina y 0.80 m para láminas de piso suministradas por Lehner, aunque en algunos casos pueden encontrarse otras separaciones. En las Figuras 3-1, 3-2 y 3-3 y en el Anexo 11-2 se presentan detalles típicos de la estructura de soporte de los pisos de las estaciones.

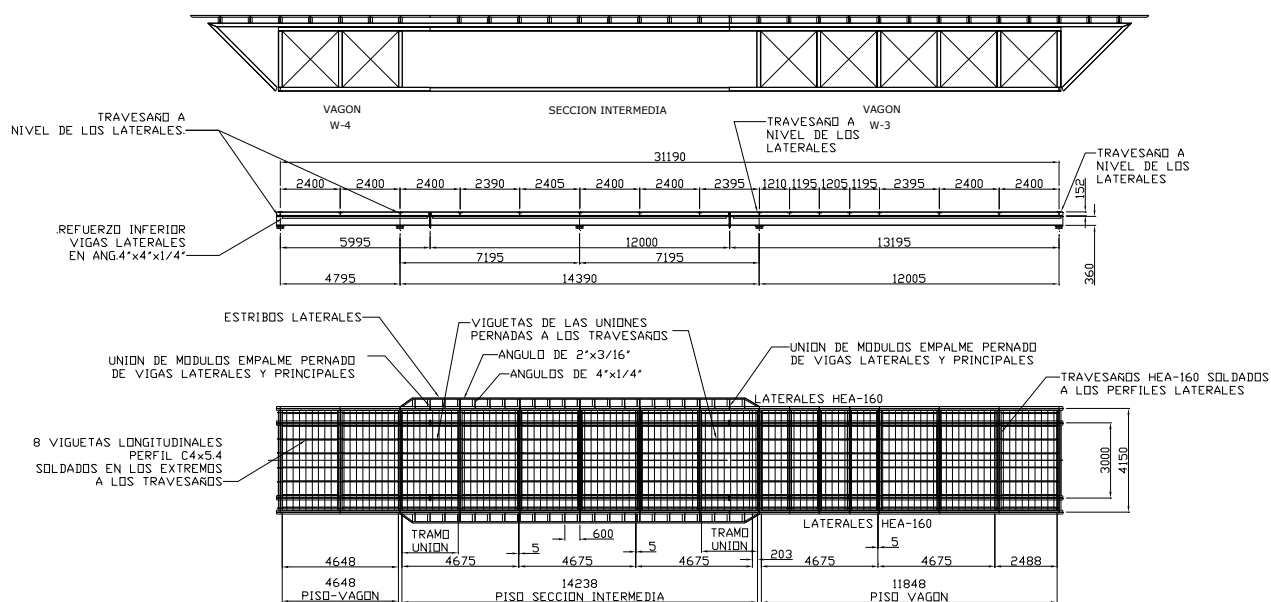


Figura 3-1 Detalles de estructura de soporte Vagón estaciones

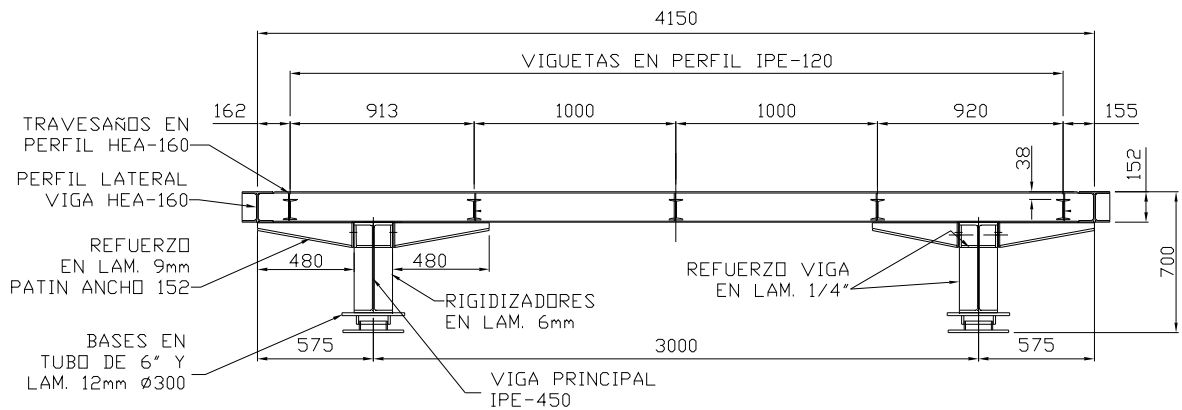
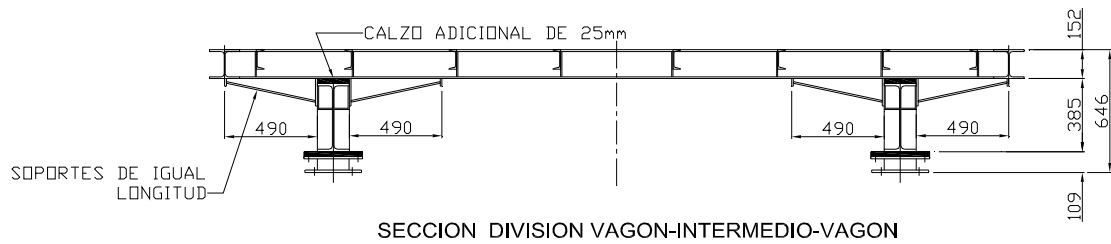
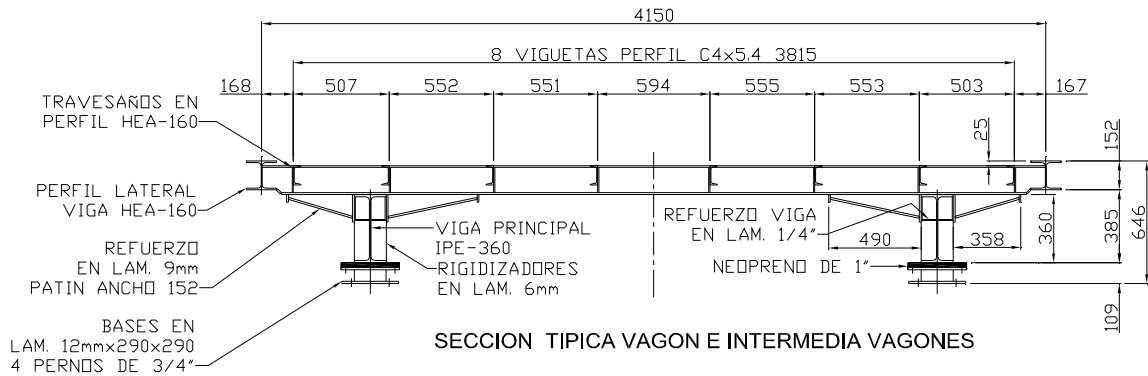


Figura 3-2 Estructura de soporte de pisos.

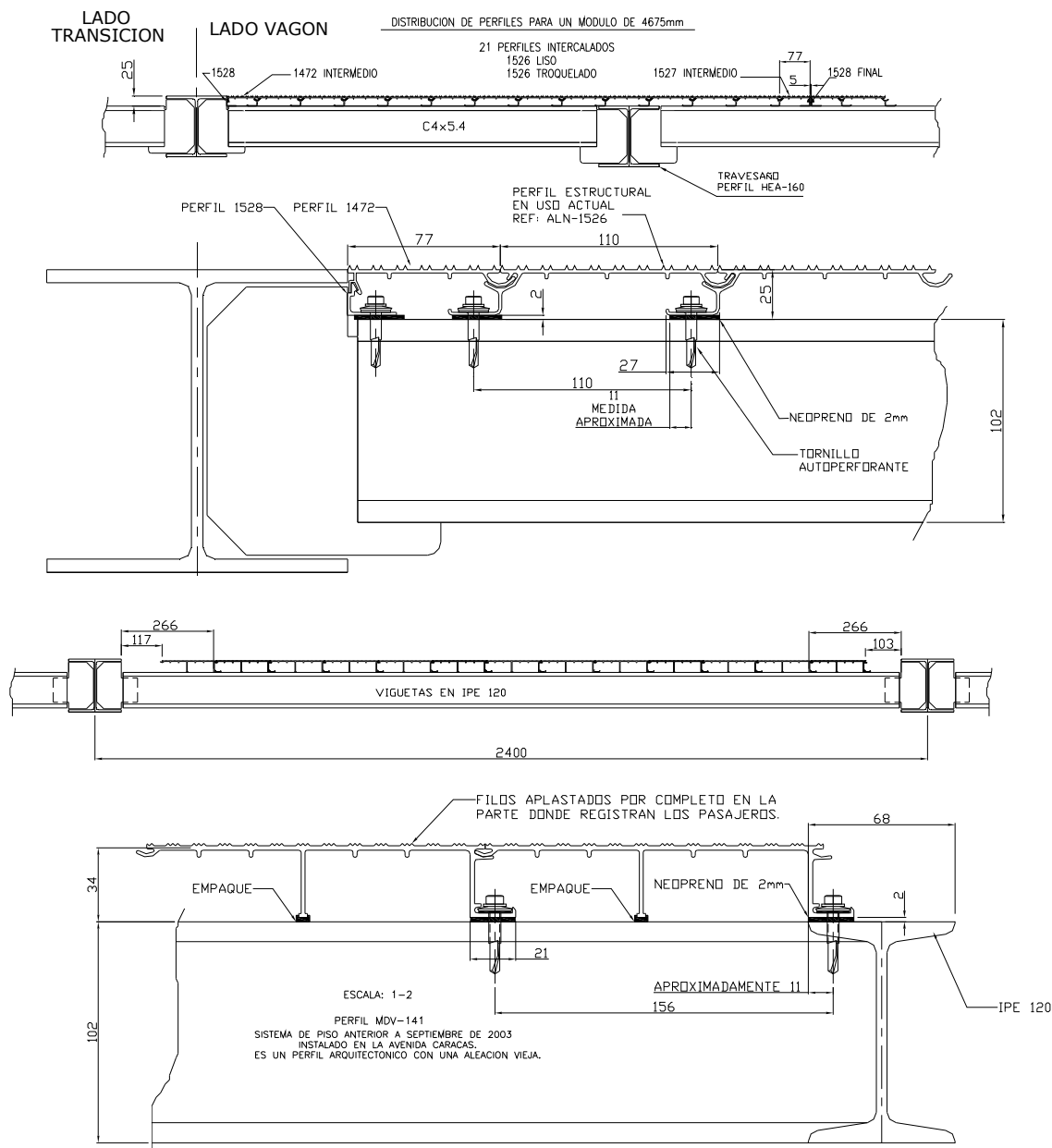


Figura 3-3 Distribución de pisos de la estación.

Durante los ensayos de instrumentación de las estaciones y recuperación de pisos se observó que en algunas estaciones se han instalado módulos con un perfil C4x 5.4 adicionales a los existentes para reducir las luces de apoyo.



Figura 3-4 Distribución de la estructura de soporte de estación.



Figura 3-5 Distribución modificada de la estructura de soporte de estación.

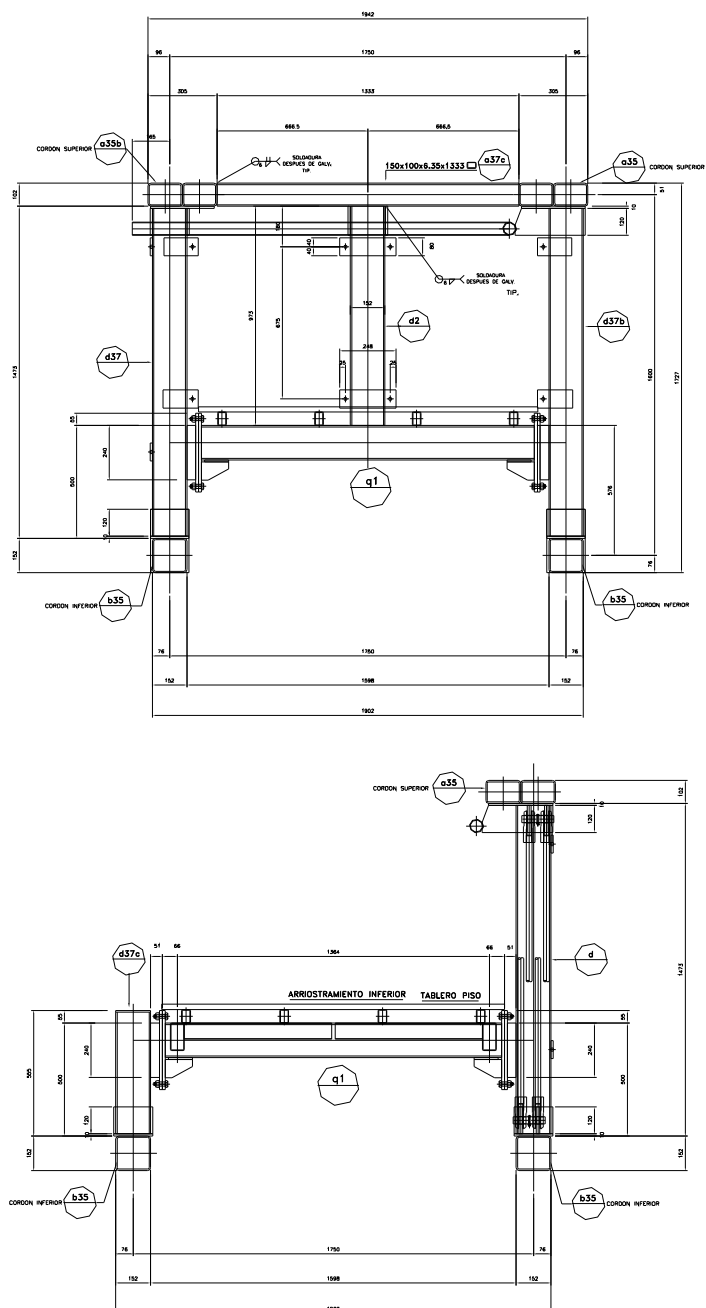


Figura 3-7 Corte típico estructura de soporte de pisos en puentes

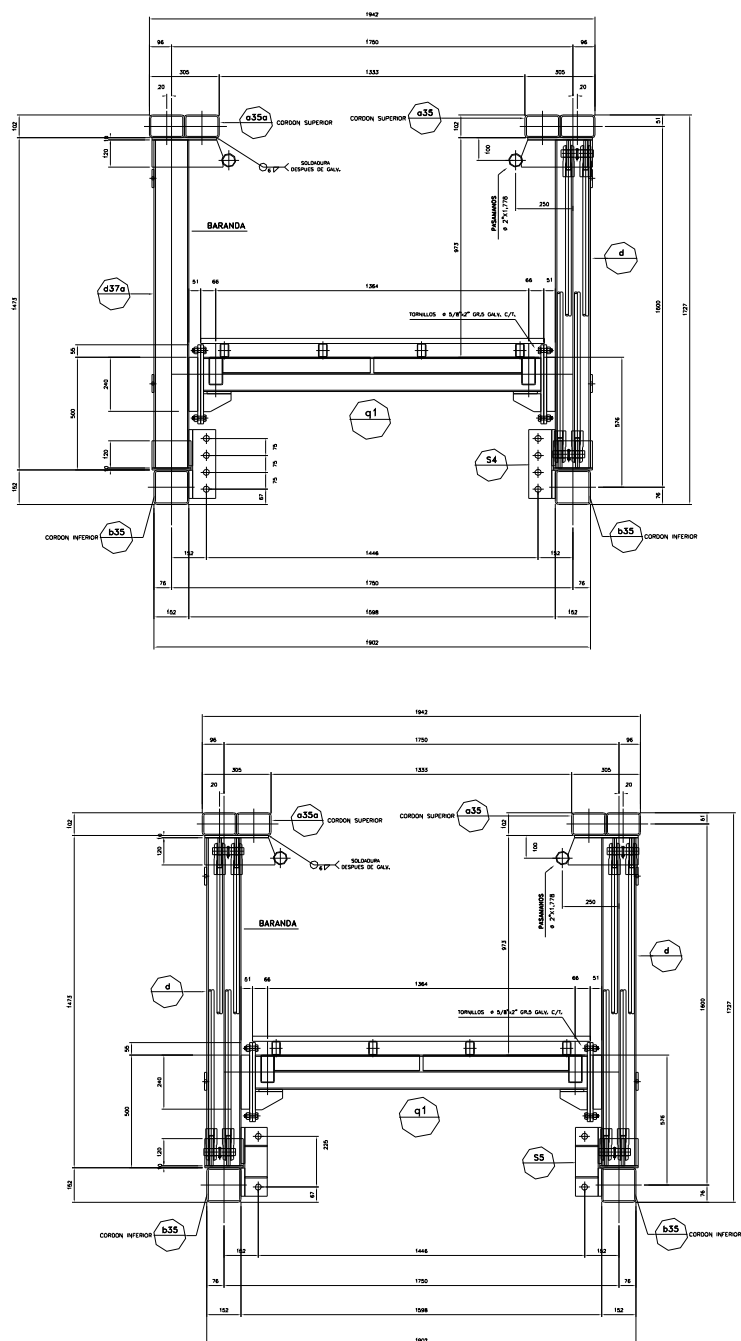
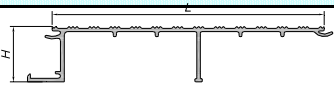
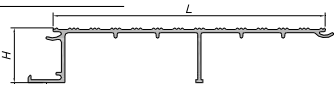
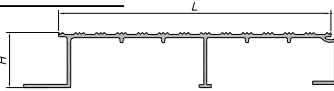
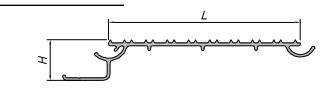
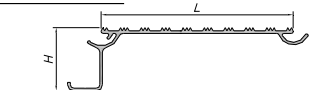
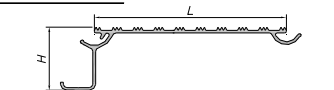
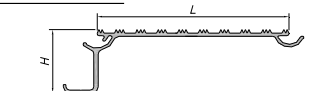
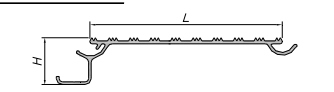


Figura 3-8 Corte típico estructura de soporte de pisos en puentes

3.3 CARACTERIZACIÓN GEOMÉTRICA DE LAS LÁMINAS DE PISO

En la Tabla 3-1 se presentan los diferentes tipos de láminas encontradas y los proveedores a los cuales corresponden.

Tabla 3-1 Dimensiones de láminas de piso instaladas

Tipo	Proveedor	H [mm]	L [mm]	Área [mm ²]	Perfil de Apoyo	Aleación	Peso [Kg/m]	Peso [Kg/m ²]	Esquema
A-1	Alumina	34.0	156.0	579.8	Perfil C4-5.4	6063-T5	1.6	10.0	
A-2	Alumina	34.0	156.0	579.8	Perfil C4-5.4	6261-T6	1.6	10.0	
A-3	Alumina	34.0	156.0	650.7	Perfil C4-5.4	6261-T6	1.8	11.3	
A-4	Alumina	25.0	110.0	370.2	Perfil C4-5.4	6261-T6	1.0	9.1	
L-1	Lenher	38.9	110.0	385.8	Perfil I	6063-T5	1.0	9.5	
L-2	Lenher	38.9	110.0	385.8	Perfil I	6261-T6	1.0	9.5	
L-3	Lenher	38.9	110.0	410.8	Perfil I	6261-T6	1.1	10.1	
L-4	Lenher	28.9	110.0	369.8	Perfil I	6261-T6	1.0	9.1	

La aleación 6063-T5 es una aleación de tipo arquitectónico con baja capacidad para aplicaciones de tipo estructural, por esta razón fue reemplazada por la aleación 6261-T6. En las Figuras 3-9, 3-10 y 3-11 se presentan las dimensiones de las láminas de piso suministradas por Alumina y en las Figuras 3-12, 3-13 y 3-14 se presentan las dimensiones de las láminas de piso suministradas por Lenher.

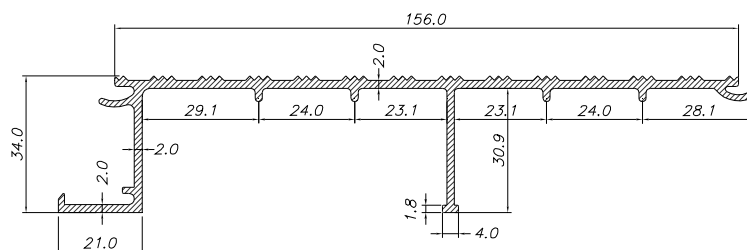


Figura 3-9 Dimensiones de las secciones típicas de láminas de piso A-1 y A-2

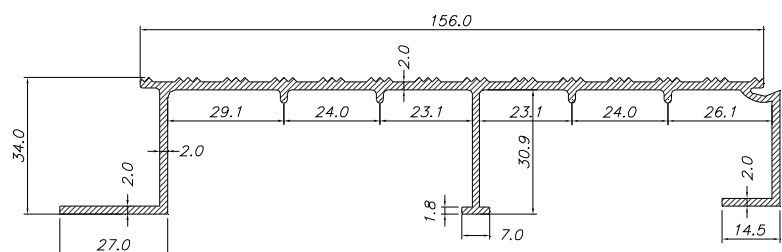


Figura 3-10 Dimensiones de las secciones típicas de láminas de piso A-3

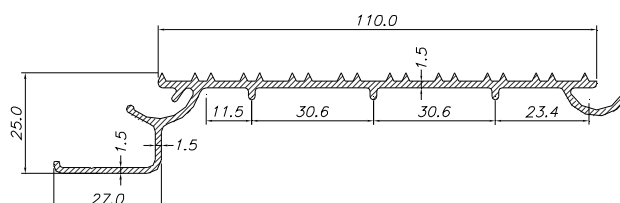


Figura 3-11 Dimensiones de las secciones típicas de láminas de piso A-4

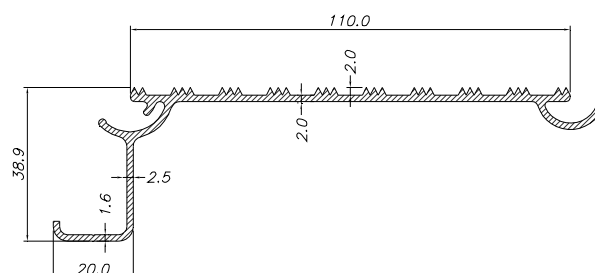


Figura 3-12 Dimensiones de las secciones típicas de láminas de piso L-1 y L-2

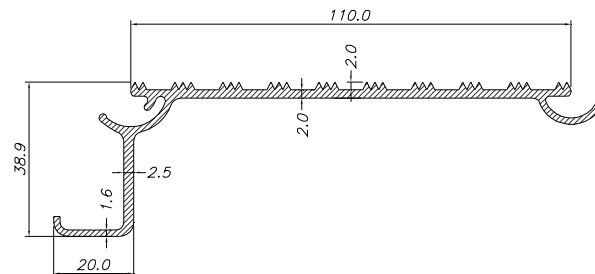


Figura 3-13 Dimensiones de las secciones típicas de láminas de piso L-3

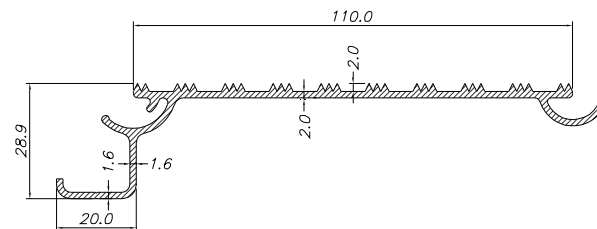


Figura 3-14 Dimensiones de las secciones típicas de láminas de piso L-4

EVALUACIÓN DE CARGAS Y EFECTOS ACTUANTES



TABLA DE CONTENIDO

4 Evaluación de cargas y efectos actuantes

4.1	Introducción	4-1
4.2	Estadísticas de tráfico peatonal	4-2
4.2.1	Estadísticas de tráfico peatonal en estaciones.....	4-2
4.2.2	Estadísticas de tráfico peatonal en puente	4-9
4.3	Registro de cargas en elementos de pisos	4-16
4.3.1	Calibración de equipos de instrumentación.....	4-17
4.3.2	Instrumentación de la estación calle 76.....	4-19
4.3.3	Instrumentación de la estación calle 100.....	4-27
4.3.4	Instrumentación de la rampa del puente de la calle 100.....	4-36
4.4	Espectro de carga peatonal recomendado	4-44

LISTA DE FIGURAS

Figura 4-1 Flujo de peatones en un día típico estación Portal Norte	4-3
Figura 4-2 Variación del flujo promedio diario de No de personas/15 minutos. Portal Norte	4-3
Figura 4-3 Gráfico resumen del flujo promedio diario de No de personas/15 minutos. Portal Norte .	4-4
Figura 4-4 Gráfico flujo de personas día hábil - Estaciones.....	4-7
Figura 4-5 Esquema del flujo de miles de personas en un día hábil en cada una de las estaciones.....	4-8
Figura 4-6 Gráfico flujo de personas día hábil – Puentes Peatonales	4-11
Figura 4-7 Esquema del flujo de miles de personas en un día hábil en puentes peatonales.....	4-12
Figura 4-8 Grafica de calibración de Strain gages	4-18
Figura 4-9 Grafica de calibración de la forney	4-18
Figura 4-10 Esquema general de la localización sector instrumentado.....	4-19
Figura 4-11 Esquema en alzado de la localización de los LVDT	4-20
Figura 4-12 Localización de los LVDT	4-21
Figura 4-13 Esquema general de la localización de los Strain gages.....	4-22
Figura 4-14 Localización de los Strain gages	4-22
Figura 4-15 Resultados de mediciones para la prueba de calibración LVDT	4-26
Figura 4-16 Esquema general de la localización sector instrumentado.....	4-27
Figura 4-17 Esquema en alzado de la localización de los LVDT	4-28
Figura 4-18 Localización de los LVDT	4-29
Figura 4-19 Esquema general de la localización de los LVDT	4-30
Figura 4-20 Localización de los Strain gages.....	4-30
Figura 4-21 Resultados de mediciones para la prueba de calibración LVDT	4-35
Figura 4-22 Esquema general de la localización sector instrumentado.....	4-36
Figura 4-23 Esquema en alzado de la localización de los LVDT	4-37

Figura 4-24 Localización de los LVDT	4-38
Figura 4-25 Esquema general de la localización de los LVDT	4-39
Figura 4-26 Localización de los Strain gages	4-39
Figura 4-27 Resultados de mediciones para la prueba de calibración LVDT	4-43
Figura 4-28 Espectro de desplazamiento Estación Calle 76.....	4-45
Figura 4-29 Espectro de carga Estación Calle 76	4-45
Figura 4-30 Espectro de desplazamiento Estación Calle 100.....	4-46
Figura 4-31 Espectro de carga Estación Calle 100	4-46
Figura 4-32 Espectro de desplazamiento Puente Calle 100.....	4-47
Figura 4-33 Espectro de carga Puente Calle 100	4-47
Figura 4-34 Espectros de carga para las dos estaciones, el puente y espectro de diseño.	4-47
Figura 4-35 Espectro de carga peatonal de diseño para un (1) día de transito intenso	4-48

LISTA DE TABLAS

Tabla 4-1 Flujo de personas día hábil	4-5
Tabla 4-2 Flujo de personas día hábil para los puentes peatonales del sistema Transmilenio	4-10
Tabla 4-3 Comparación flujo de personas estación y puente peatonal	4-13
Tabla 4-4 Constantes de calibración LVDT	4-17
Tabla 4-5 Resumen de datos tomados en por los LVDT y Strain gage en Estación calle 76.....	4-24
Tabla 4-6 Resumen de datos tomados en por los LVDT y Strain gages en Estación calle 100	4-32
Tabla 4-7 Resumen de datos tomados en por los LVDT y strain gages en el puente de calle 100....	4-40
Tabla 4-8 Calculo de rigidez	4-44

4.1 INTRODUCCIÓN

En general, los puentes del sistema Transmilenio están sometidos a una serie de solicitaciones que debe soportar la estructura durante su vida útil. Las principales cargas que actúan sobre los puentes y estaciones son las siguientes:

1. Cargas debidas al peso propio tanto de la estructura principal como del sistema de piso.
2. Cargas vivas debidas al tránsito de peatones: estas cargas en realidad se trata de cargas dinámicas con amplitudes y frecuencias variables.
3. Cargas sísmicas.
4. Cargas de viento.
5. Cargas eventuales extraordinarias.

De las anteriores cargas, el presente estudio se limita al estudio de las cargas (1) y (2), es decir las cargas gravitacionales debidas al peso propio de la estructura misma de los pisos y las cargas vivas debidas al tránsito de peatones. Las cargas correspondientes a sismo viento y cargas extraordinarias no se consideraron dentro de los análisis del sistema de pisos ya que estos elementos no se ven afectados de manera directa por estas solicitaciones.

Desde el punto de vista de la normativa (Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes, Ministerio de Transporte, 1995), la carga viva para puentes peatonales se considera como una carga estática uniformemente distribuida con un valor nominal de 400 kg/m². El Instituto de Desarrollo Urbano, IDU, establece que la carga mínima de diseño a considerar debe ser de 450 kg/m² (ver Términos de Referencia). No se establecen requisitos adicionales específicos y se deja a criterio del calculista la consideración de los efectos dinámicos y del fenómeno de fatiga asociado con el carácter cíclico de estas cargas.

Las cargas vivas principales en los puentes peatonales y estaciones del sistema Transmilenio corresponden a las cargas de los peatones que por su naturaleza es de amplitud y frecuencia variables. Las cargas, de tipo aleatorio, corresponden al peso de los peatones que transitan por diferentes puntos y que se aplican a manera de impulso. Por su carácter de cargas cíclicas repetitivas generan las condiciones para que se desarrollen problemas de fatiga en los puntos de conexión de las láminas de piso y en puntos donde se presentan cambios geométricos significativos.

Con el fin de caracterizar la naturaleza de estas cargas deben determinarse tanto la frecuencia como la amplitud de las cargas. La frecuencia de aplicación de las cargas es función del número de peatones que pasen por un puente en particular o por una zona específica de cada una de las estaciones. La amplitud de las cargas dependerá de la distribución del peso de las personas, de la distancia de la pisada hasta el punto de interés y de la velocidad con que transiten dado que se produce un efecto de impacto dinámico en la medida que el peatón transite a mayor velocidad.

4.2 ESTADÍSTICAS DE TRÁFICO PEATONAL

Se cuenta con dos tipos de estadísticas de tránsito peatonal. La primera la que resulta del conteo de las máquinas registradoras ubicadas en la entrada de las estaciones y la segunda proveniente de conteos realizados por la empresa Transmilenio en los puentes peatonales.

4.2.1 Estadísticas de tráfico peatonal en estaciones

Se cuenta con información del número de personas que pasan por cada una de las máquinas registradoras en cada una de las estaciones totalizadas cada 15 minutos. A manera de ejemplo se selecciona la Estación Portal del Norte para el año comprendido entre el 1 de Junio de 2004 y el 31 de Mayo de 2005.

En la Figura 4-1 se presenta el flujo diario típico en un día de semana con valores reportados cada 15 minutos, desde el inicio de operaciones a las 5 a.m. hasta la terminación de las mismas a las 11 p.m. Como puede apreciarse de la figura se presentan dos horas pico, en la mañana entre las 7:00 AM y las 8:30 a.m. y en la tarde entre las 5:00 p.m. y las 7:30 p.m. El flujo máximo de personas se presenta hacia las 7:30 a.m. con un valor de 3.020 personas que entraron en los 15 minutos de medición. El total de registro de peatones en este día para esta estación es de 85.620 personas que entraron y 79.550 personas que salieron por el Portal.

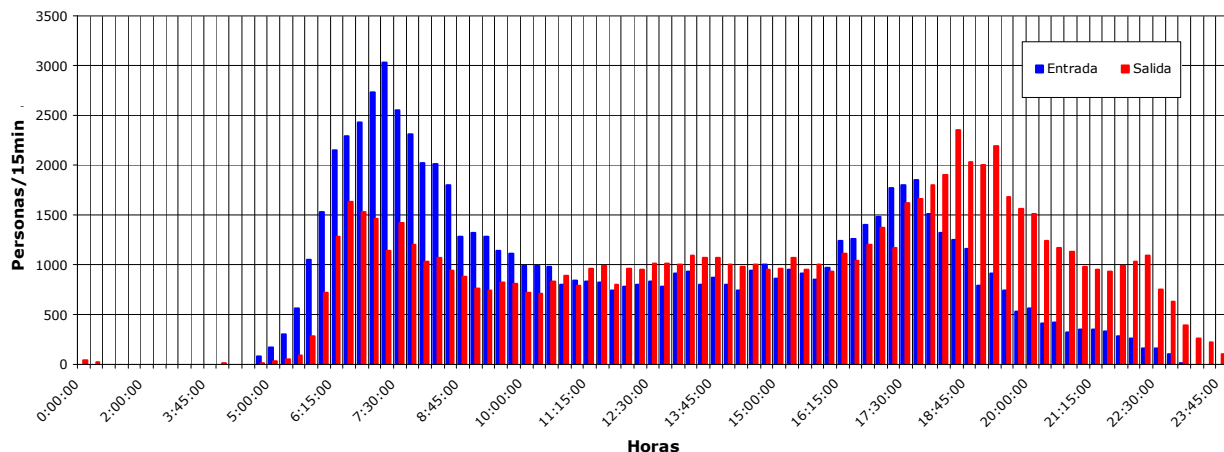


Figura 4-1 Flujo de peatones en un día típico estación Portal Norte

Por otro lado la Figura 4-2 presenta la totalización de tránsito peatonal a nivel mensual. La figura presenta el número total de personas por día que entraron y salieron de la estación en promedio cada 15 minutos. La Figura indica que el flujo es mayor en los días hábiles que en los fines de semana. El registro de peatones es del orden de 160.000 peatones por día entre semana (resultado de la suma del flujo de entrada y de salida) y de 98.000 peatones por día para los fines de semana.

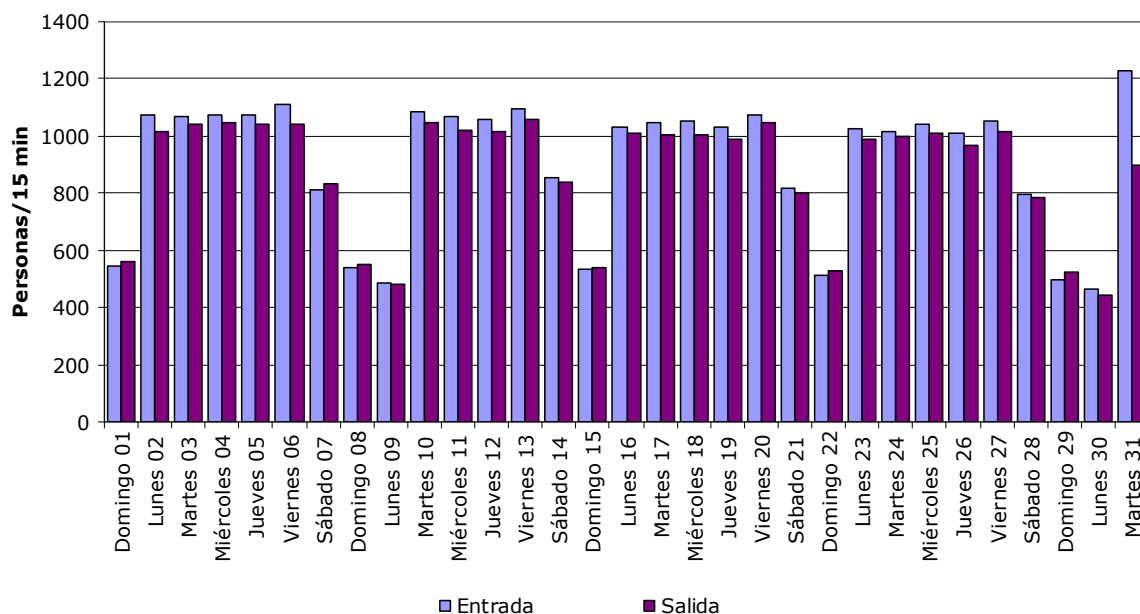


Figura 4-2 Variación del flujo promedio diario de No de personas/15 minutos. Portal Norte

Finalmente en la Figura 4-3 se presenta un gráfico resumen del flujo por día del número de personas que entraron y salieron de la estación en promedio cada 15 minutos. La figura evidencia que los meses de diciembre, enero, junio y julio presentan en general un menor flujo, coincidiendo esto con el período normal de vacaciones de los centros educativos. El registro máximo de personas a nivel mensual por la estación es de 4'620.000 personas el cual resulta de sumar todos los registros diarios disponibles para el mes de mayor tránsito peatonal.

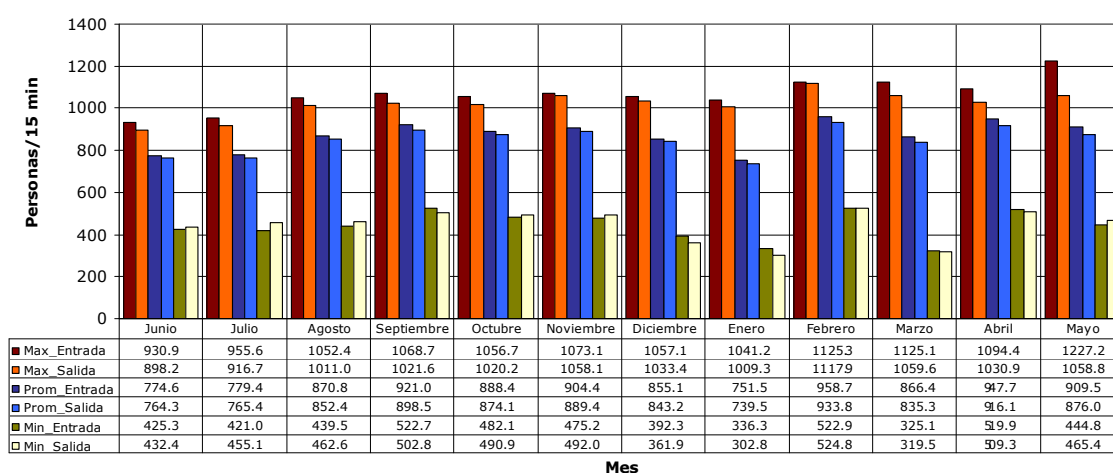


Figura 4-3 Gráfico resumen del flujo promedio diario de No de personas/15 minutos. Portal Norte

Análisis similares al anterior se obtienen para los siguientes portales y los resultados obtenidos se presentan en el Anexo 11-3:

- Portal Norte
- Portal 80
- Portal Usme
- Portal Tunal.

Por otro lado y con el ánimo de conocer el flujo relativo de peatones entre estaciones, se propone el cálculo de un índice que corresponde al flujo de personas en un día hábil para cada una de las estaciones en las cuales se cuenta con información acerca del tráfico.

En la Tabla 4-1 y en la Figura 4-4 se presenta el resultado de este análisis. La tabla resume para cada estación el número total de peatones registrados a la entrada y salida de la misma en millones de personas al año y el tráfico promedio diario en un día hábil (T.D.) en miles de personas por día el cual se obtiene tomando el promedio diario de personas cada 15 minutos (Ver Figura 4-2) (sumando los máximos de entradas y salidas) de un día hábil multiplicándolo por 4 y por 18 horas al día.

La Figura 4-4 por su parte presenta estos resultados a manera de diagrama de barras para efectos comparativos entre estaciones.

Tabla 4-1 Flujo de personas día hábil

ID	Nombre	Número de Personas/Año [Millones]			T.D [miles de personas/día]
		Entrada	Salida	Total	
2000	Portal Norte	24.4	25.9	50.3	161
2101	Toberín	4.0	3.8	7.8	27
2102	Calle 160	1.0	1.1	2.1	7
2103	Mazurén	1.7	1.7	3.5	12
2104	Calle 146	3.3	3.1	6.3	21
2105	Calle 142	2.4	2.4	4.8	16
2200	Alcalá	4.8	4.9	9.7	33
2201	Prado Veraniego	3.8	3.8	7.6	25
2202	Calle 127	4.9	4.5	9.3	33
2204	Pepe Sierra	3.5	3.3	6.8	24
2205	Calle 106	2.3	2.3	4.6	16
2300	Calle 100	6.0	5.6	11.6	42
2302	Virrey	3.5	3.2	6.7	25
2303	Calle 85	3.6	3.5	7.1	26
2304	Heroes	4.2	4.2	8.4	30
4000	Portal de la 80	21.8	23.8	45.7	145
4001	Quirigua	2.2	2.2	4.4	14
4002	Carrera 90	1.5	1.4	2.9	10
4003	Avenida Ciudad de Cali	4.6	4.3	8.8	28
4004	Granja	1.5	1.4	3.0	10
4100	Carrera 77	7.0	6.8	13.8	45
4101	Minuto de Dios	2.1	1.7	3.8	13
4102	Avenida Boyacá	0.9	0.8	1.6	5
4103	Las Ferias	1.5	1.7	3.2	10
4104	Avenida 68	3.3	2.2	5.5	17
4105	Carrera 53	1.2	1.1	2.4	8
4106	Carrera 47	1.1	1.2	2.3	7
4107	Escuela Militar	2.0	1.7	3.7	12
4108	Polo	2.1	2.1	4.2	14

Continuación Tabla 4-1 Flujo de personas día hábil

ID	Nombre	Número de Personas/Año [Millones]			T.D [miles de personas/día]
		Entrada	Salida	Total	
8000	Portal Tunal	12.2	12.4	24.6	78
8001	Parque	0.6	0.6	1.1	4
8002	Biblioteca	0.6	0.7	1.3	4
9000	Portal Usme	11.3	13.7	24.9	79
9001	Molinos	4.8	4.9	9.7	30
9002	Consuelo	0.5	0.5	1.0	3
9003	Socorro	0.9	0.9	1.9	6
9004	Santa Lucía	2.4	2.7	5.1	16
9100	Calle 40 Sur	4.3	5.0	9.3	30
9101	Quiroga	1.7	1.7	3.5	11
9103	Olaya	3.1	3.1	6.2	20
9104	Restrepo	6.4	7.2	13.5	42
9105	Fucha	2.6	2.6	5.3	16
9106	Nariño	1.9	1.9	3.9	13
9107	Hortúa	3.1	3.0	6.0	20
9108	Hospital	1.1	1.2	2.3	7
9109	Tercer Milenio	2.4	2.3	4.7	15
9110	Avenida Jiménez	10.7	11.8	22.5	73
9111	Calle 19	6.2	5.7	11.9	41
9113	Calle 22	2.9	3.3	6.2	21
9114	Calle 26	5.0	5.8	10.8	40
9115	Profamilia	3.9	4.1	8.0	29
9116	Avenida 39	4.5	5.5	9.9	37
9117	Calle 45	7.2	7.2	14.4	52
9118	Marly	7.2	7.7	14.9	53
9119	Calle 57	5.0	5.2	10.2	35
9120	Calle 63	9.2	9.0	18.2	62
9121	Flores	4.6	4.2	8.8	30
9122	Calle 72	8.5	8.8	17.3	63



ID	Nombre	Número de Personas/Año [Millones]			T.D [miles de personas/día]
		Entrada	Salida	Total	
9122	Calle 72	8.5	8.8	17.3	63
9123	Calle 76	8.1	8.7	16.8	61
12000	Puente Aranda	0.9	0.9	1.8	6
12001	Carrera 43	1.1	0.9	2.0	7
12002	CDs Carrera 32	1.3	1.3	2.6	9
12003	Ricaute	1.7	1.6	3.3	12
12004	San Façon Cr 22	1.6	1.7	3.2	10
12007	Zona Industrial	1.7	1.7	3.4	11
14001	De la Sabana	1.1	1.2	2.4	8
14004	Museo del Oro	5.8	6.3	12.1	44
14005	Aguas	3.5	3.5	7.0	24

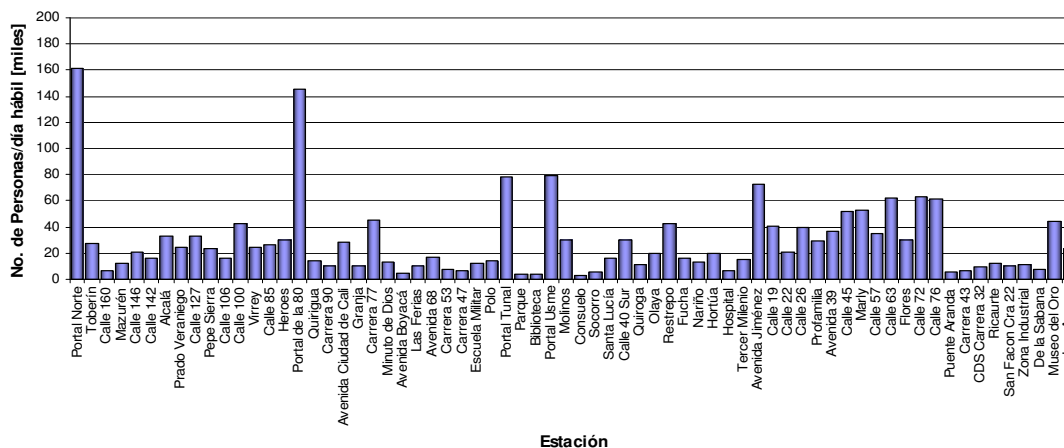


Figura 4-4 Gráfico flujo de personas día hábil - Estaciones

De las anteriores figuras puede concluirse que las estaciones de mayor tránsito corresponden a los portales, y a las estaciones Avenida Jiménez, Calle 76 y Calle 72 ubicadas en la Troncal Caracas.

La Figura 4-5 presenta un esquema general del sistema y se indica con un círculo de tamaño y color variable el tránsito total registrado en cada una de las estaciones en las que se dispone de información.



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

ALCALDÍA MAYOR - IDU
Instituto de Desarrollo Urbano

CIMOC

Centro de Investigación en
Materiales y Obras Civiles

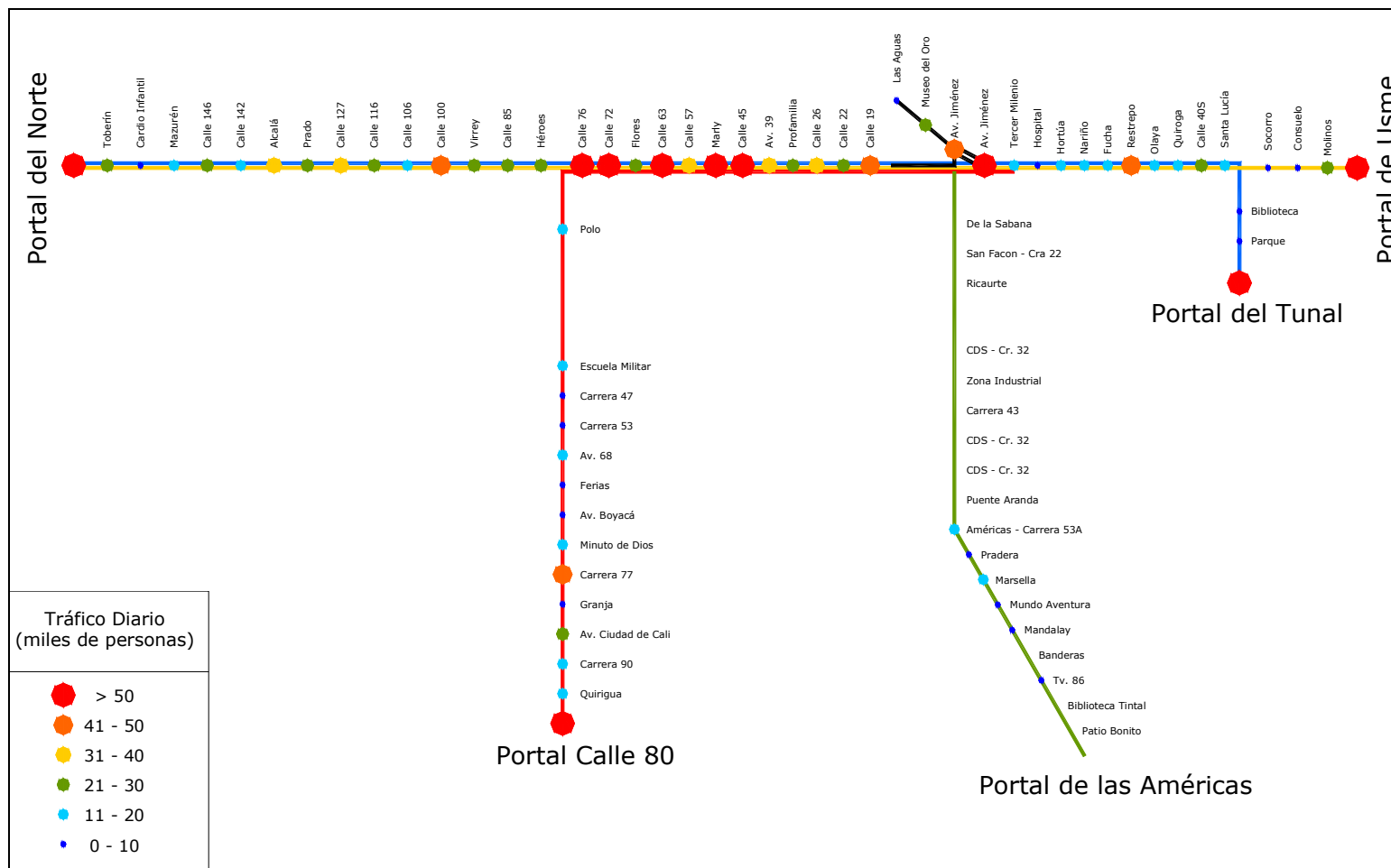


Figura 4-5 Esquema del flujo de miles de personas en un día hábil en cada una de las estaciones

Los anteriores resultados tienen las siguientes consideraciones:

- (a) Los datos corresponden al flujo de personas en el año comprendido entre el 1 de Junio de 2004 hasta el 31 de Mayo de 2005.
- (b) El registro de peatones no necesariamente corresponde al número total de personas que transitan por la estación debido a que en varias de ellas se generan transbordos (especialmente en la estación Calle 76 y la estación de la Avenida Jiménez de la Troncal Caracas) que no son contabilizados en las máquinas registradoras.
- (c) De acuerdo con el concepto de Transmilenio y con lo observado en el funcionamiento del mismo, las estaciones Calle 76, Calle 72 y Avenida Jiménez representan estaciones con un funcionamiento al máximo de la capacidad, al menos durante las horas pico mencionadas.

4.2.2 Estadísticas de tráfico peatonal en puente

También existen algunos conteos de tránsito de personas en algunos de los puentes peatonales del sistema. El conteo se realiza durante días hábiles típicos (entre el 8 de Noviembre y el 2 de Diciembre de 2004) y se contabilizan todos los peatones que pasan en cualquier dirección por un punto definido del puente.

La información suministrada se ha procesado con el fin de establecer el tránsito total en cada una de los puentes a nivel diario.

En la Tabla 4-2 se resumen los resultados del tránsito total de peatones a nivel diario en los puentes que cuentan con información. La Figura 4-6 presenta la misma información en formato de barras. El tránsito diario (T.D.) se obtiene sumando la totalidad de las personas que pasan por un sitio determinado del puente en un día hábil completo.

Tabla 4-2 Flujo de personas día hábil para los puentes peatonales del sistema Transmilenio

ID	Troncal	Puente	No. Total de personas/día (6am - 8pm)	Volumen Máximo [Peatones/Hora]	T. D. miles de personas/día
1.01	Troncal Autopista Norte	Portal Norte	32984	3550	38
1.02	Troncal Autopista Norte	Toberín	29783	4208	34
1.03	Troncal Autopista Norte	Cardio Infantil	8312	1060	9
1.04	Troncal Autopista Norte	Mazurén	12628	1576	14
1.05	Troncal Autopista Norte	Calle 146	21600	3543	25
1.06	Troncal Autopista Norte	Calle 142	17302	2342	20
1.07	Troncal Autopista Norte	Alcalá	44169	5530	50
1.08	Troncal Autopista Norte	Prado	30006	3374	34
1.09	Troncal Autopista Norte	Calle 127	34145	3735	39
1.10	Troncal Autopista Norte	Pepe Sierra	27651	4128	32
1.11	Troncal Autopista Norte	Calle 106	20669	2459	24
1.12	Troncal Autopista Norte	Calle 100	50887	7753	58
1.13	Troncal Autopista Norte	Virrey	27067	3353	31
1.14	Troncal Autopista Norte	Calle 85	27724	3693	32
1.15	Troncal Autopista Norte	Héroes	37945	4479	43
2.01	Troncal Calle 80	Portal 80	3875	518	5
2.02	Troncal Calle 80	Quirigua	15556	3002	18
2.03	Troncal Calle 80	Carrera 90	8695	1151	10
2.04	Troncal Calle 80	Av. Ciudad de Cali	26329	3384	31
2.05	Troncal Calle 80	Carrera 77	46071	6119	54
2.06	Troncal Calle 80	Minuto de Dios	17186	2125	20
2.07	Troncal Calle 80	Av. Boyacá	5379	673	6
2.08	Troncal Calle 80	Ferías	8684	979	10
2.09	Troncal Calle 80	Av. 68	19227	2177	23
2.10	Troncal Calle 80	Carrera 53	14067	1135	17
2.11	Troncal Calle 80	Escuela Militar	12003	1486	14
2.12	Troncal Calle 80	Polo	12496	1502	15
3.01	Troncal Avenida Caracas	Portal Tunal	2717	416	3

Continuación Tabla 4-2 Flujo de personas día hábil para los puentes peatonales del sistema Transmilenio

ID	Troncal	Puente	No. Total de personas/día (6am - 8pm)	Volumen Máximo [Peatones/Hora]	T. D. miles de personas/día
4.01	Troncal Usme	Molinos	29659	3431	37
5.01	Troncal Americas	Transversal 86	2187	272	2
5.02	Troncal Americas	Mandalay	4266	487	5
5.03	Troncal Americas	Mundo Aventura	5340	844	6
5.04	Troncal Americas	Marsella	14111	2162	15
5.05	Troncal Americas	Pradera	10332	1328	11
5.06	Troncal Americas	Carrera 53A	8695	2056	9

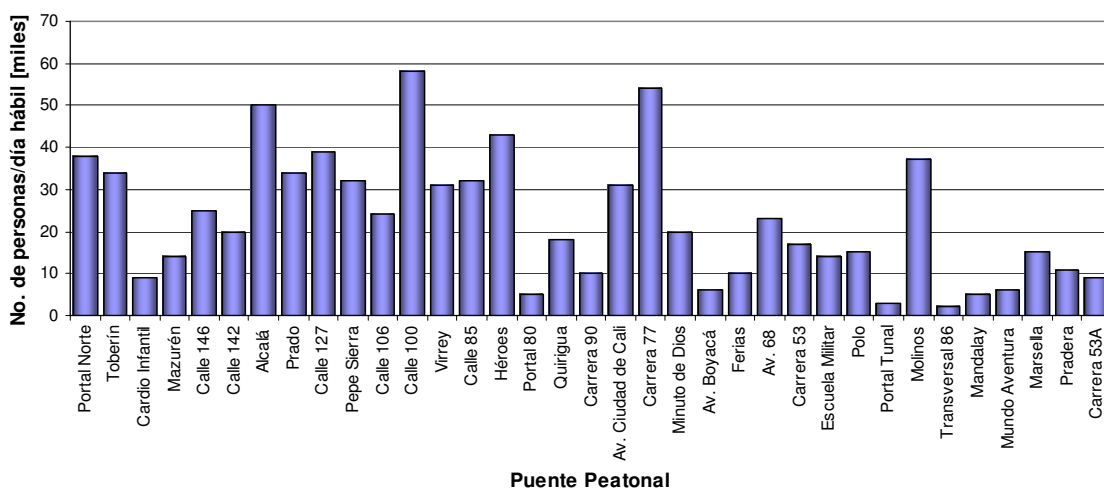


Figura 4-6 Gráfico flujo de personas día hábil – Puentes Peatonales

Como puede apreciarse de las anteriores figuras, el máximo tránsito de peatones a nivel diario se presenta en el puente peatonal de la estación Calle 100 perteneciente a la Troncal Autopista Norte y corresponde a 58.000 personas por día.

La Figura 4-7 presenta de nuevo el esquema del sistema Transmilenio indicando con hexágonos de tamaño y color variable el tránsito total de personas en un día hábil (en miles) como un índice del tránsito total de personas en cada puente en los que se tiene registro.

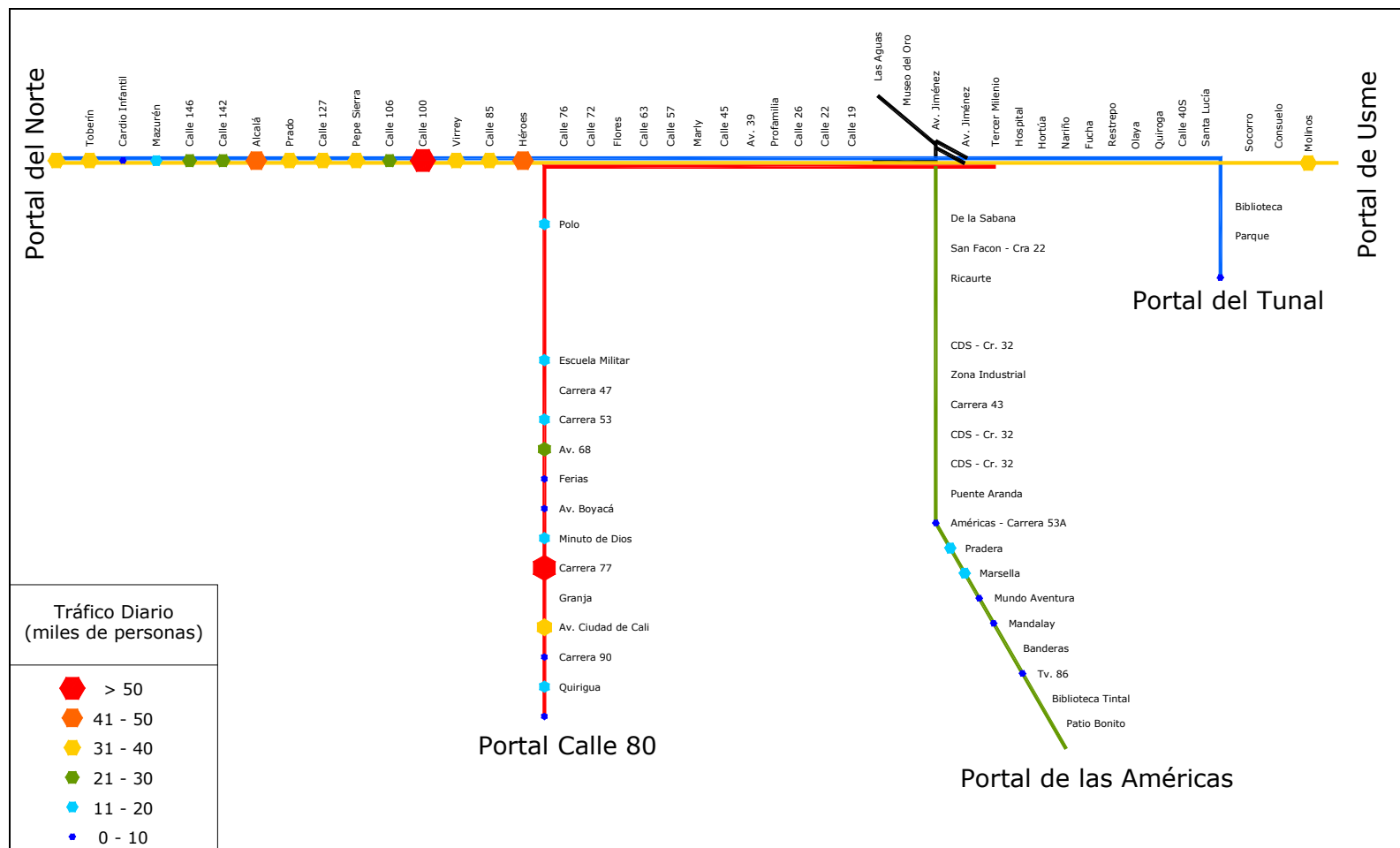


Figura 4-7 Esquema del flujo de miles de personas en un día hábil en puentes peatonales

Para efectos comparativos se presenta la Tabla 4-3 y la Figura 4-7 en la cual se comparan los registros de máximo número de peatones en las estaciones (según los registros de las máquinas) con los de los puentes (según el conteo de personas que transitan en cualquier dirección en un punto definido del puente).

Tabla 4-3 Comparación flujo de personas estación y puente peatonal

Nombre	T.D [miles de personas/día] Estación	T.D [miles de personas/día] Puente Peatonal
Portal Norte	161	38
Toberín	27	34
CardioInfantil	7	9
Mazurén	12	14
Calle 146	21	25
Calle 142	16	20
Alcalá	33	50
Prado Veraniego	25	34
Calle 127	33	39
Pepe Sierra	24	32
Calle 106	16	24
Calle 100	42	58
Virrey	25	31
Calle 85	26	32
Heroes	30	43
Portal de la 80	145	5
Quirigua	14	18
Carrera 90	10	10
Avenida Ciudad de Cali	28	31
Granja	10	N.D.
Carrera 77	45	54
Minuto de Dios	13	20
Avenida Boyacá	5	6
Las Ferias	10	10
Avenida 68	17	23
Carrera 53	8	17
Carrera 47	7	N.D.

Continuación Tabla 4-3 Comparación flujo de personas estación y puente peatonal

Nombre	T.D [miles de personas/día] Estación	T.D [miles de personas/día] Puente Peatonal
Escuela Militar	12	14
Polo	14	15
Portal Tunal	78	3
Parque	4	N.D.
Biblioteca	4	N.D.
Portal Usme	79	N.D.
Molinos	30	37
Consuelo	3	N.D.
Socorro	6	N.D.
Santa Lucía	16	N.D.
Calle 40 Sur	30	N.D.
Quiroga	11	N.D.
Olaya	20	N.D.
Restrepo	42	N.D.
Fucha	16	N.D.
Nariño	13	N.D.
Hortúa	20	N.D.
Hospital	7	N.D.
Tercer Milenio	15	N.D.
Avenida Jiménez	73	N.D.
Calle 19	41	N.D.
Calle 22	21	N.D.
Calle 26	40	N.D.
Profamilia	29	N.D.
Avenida 39	37	N.D.
Calle 45	52	N.D.
Marly	53	N.D.
Calle 57	35	N.D.
Calle 63	62	N.D.
Flores	30	N.D.

Continuación Tabla 4-3 Comparación flujo de personas estación y puente peatonal

Nombre	T.D [miles de personas/día] Estación	T.D [miles de personas/día] Puente Peatonal
Calle 72	63	N.D.
Calle 76	61	N.D.
Transversal 86	6	2
Mandalay	7	5
Mundo Aventura	9	6
Marsella	12	15
Pradera	10	11
Carrera 53A	11	9
Estación 14001	8	N.D.
Estación 14004	44	N.D.
Estación 14005	24	N.D.

La información presentada permite establecer las siguientes conclusiones:

- El tránsito máximo registrado en los puentes se presenta en la Calle 100 (Troncal Autopista Norte) y corresponde a 58.000 personas al día. El tránsito máximo peatonal en estaciones se presenta en el portal Norte con 161000 personas al día.
- La comparación entre el flujo de personas por las estaciones y por los puentes permite concluir que el flujo es mayor en los puentes peatonales (con la excepción de los puentes peatonales de acceso a los portales) aunque para las estaciones falta contabilizar las salidas (que podría corresponder al doble del flujo de entrada) y a las personas que hacen trasbordos (que para las estaciones Avenida Jiménez, Calle 76 y Calle 72 pueden representar un valor considerable). Con estas consideraciones probablemente el tránsito de número de personas sería mayor en las estaciones que en los puentes.

Los anteriores índices son útiles para definir el nivel máximo de flujo de personas en cada estación y puente pero no representan la repetibilidad de la carga en cada uno de los elementos del puente, y en particular en los elementos del sistema de piso.

4.3 REGISTRO DE CARGAS EN ELEMENTOS DE PISOS

Con el fin de completar la información necesaria para la caracterización de las cargas peatonales se adelantó la instrumentación de dos estaciones y de un tramo de puente peatonal. Las estaciones seleccionadas son Calle 76 y Calle 100 (Troncal Caracas y Autopista Norte). El puente peatonal seleccionado es el de Calle 100 (Troncal Autopista Norte).

La realización de la instrumentación tiene los siguientes objetivos principales:

- (a) Obtener un registro del patrón de cargas en los elementos de entrepiso en sitios críticos en términos de la historia típica de cargas, su magnitud, su recurrencia y su variabilidad en el tiempo.
- (b) Contar con información directa tomada en campo en la situación de instalación real de los entrepisos respecto a deflexiones características para los patrones reales de carga y medidas de las deformaciones unitarias principales en elementos seleccionados que permitan estimar la historia de esfuerzos reales a los que se ve sometido un elemento de piso característico.
- (c) Contar con información directa tomada en campo sobre la flexibilidad y esfuerzos inducidos en un montaje característico con una distribución de cargas estáticas de magnitud y distribución conocida, información que sirve para efectos de calibración general de los modelos analíticos y experimentales a desarrollar.

Dentro del proceso de instrumentación de las estaciones y puente peatonal se incluyen las siguientes actividades:

- (a) Calibración de equipos a utilizar en la prueba.
- (b) Selección de la zona a instrumentar.
- (c) Instalación de equipos para instrumentación.
- (d) Calibración en campo de equipos y toma de registros.
- (e) Prueba de carga estándar.

A continuación se presentan en detalle las actividades generales para adelantar estos trabajos de campo y en forma complementaria cada una de las actividades realizadas en la estación Calle 76, Estación Calle 100 y puente peatonal de la Calle 100, sitios seleccionados para la instrumentación.

4.3.1 Calibración de equipos de instrumentación

4.3.1.1 Metodología de calibración de los LVDT

La verificación de calibración para deformímetros tipo LVDT se realiza mediante la comparación de mediciones relativas con un calibrador pie de rey. El LVDT es sujeto a una base fija, conectándose al sistema de adquisición y fuente de alimentación que se utiliza en las mediciones de campo respectivas. El calibrador se ajusta a una medida fija y se toma la lectura estática generada por el sistema de adquisición de datos, generándose una tabla de lectura estática del sistema de adquisición de datos contra deformación medida por el calibrador. Con estos datos se calcula la pendiente de la lectura y se compara con la calibración del sensor, verificando la posible variación de la misma. Las constantes de calibración verificadas se presentan en la Tabla 4-4.

Tabla 4-4 Constantes de calibración LVDT

Equipo	Constante de calibración [cm/Voltio]
LVDT1	0.2935
LVDT2	0.5556
LVDT3	0.2546
LVDT4	0.1700

4.3.1.2 Metodología de calibración de los Strain gages

El procedimiento de calibración de strain gages esta basado en la comparación de lecturas entre el puente de Wheatstone configurado dentro de la tarjeta de adquisición de datos y un extensómetro del tipo inductivo, previamente calibrado. El procedimiento consiste en el pegado de un strain gage sobre una varilla de prueba de ½ in, junto con el montaje del extensómetro patrón. El montaje se ajusta a una máquina universal de prueba de tensión y se somete a una deformación de baja velocidad, almacenándose tanto las deformaciones del patrón en el sistema de adquisición de datos de la Máquina Universal, como en la lectura en voltios de los strain gages. Se calcula la pendiente de las lecturas (contra el tiempo) de la Máquina Universal (Ver Figura 4-9) sobre la pendiente en voltios obtenida por el strain gage (Ver Figura 4-8) para estimar la constante de calibración del sistema. La constante de calibración obtenida para los strain gages fue 8.7146E-05 (mm/mm)/voltio.

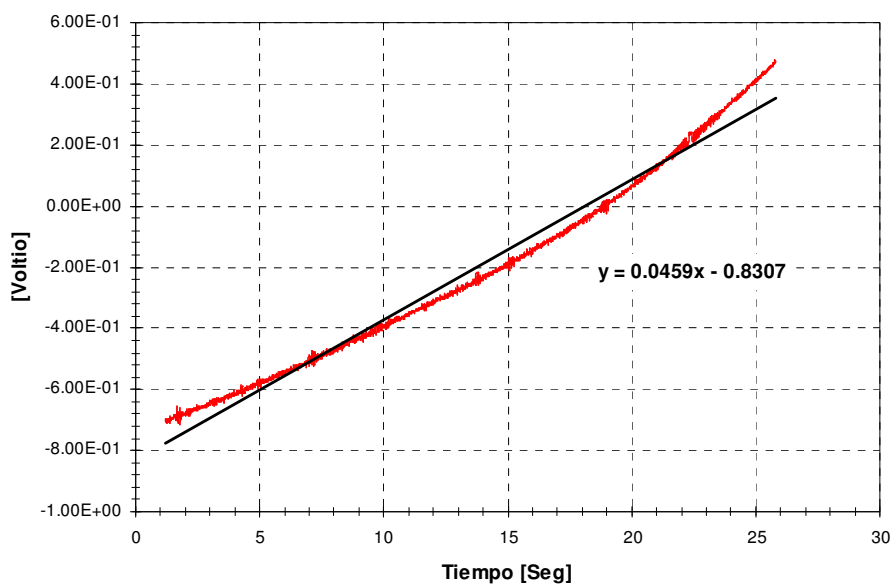


Figura 4-8 Grafica de calibración de Strain gages

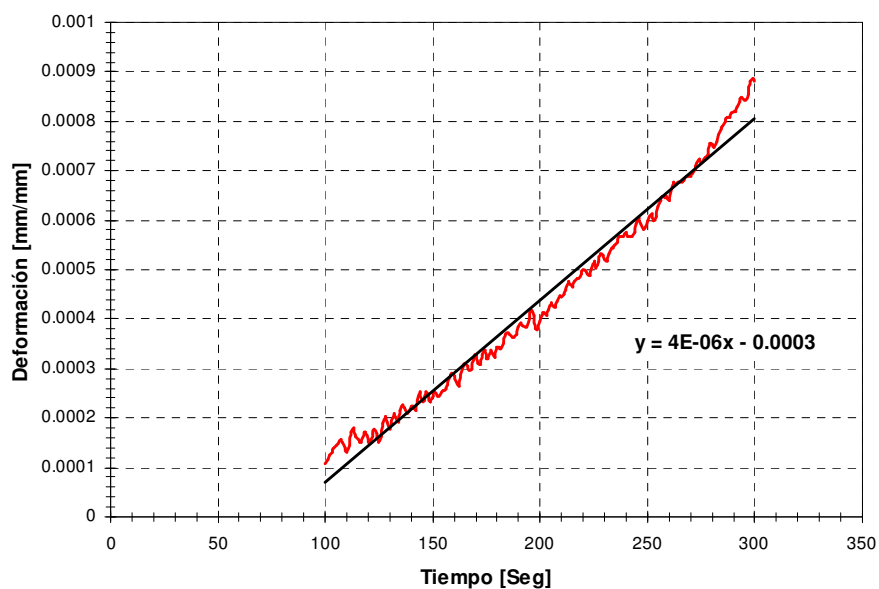


Figura 4-9 Grafica de calibración de la forney

4.3.2 Instrumentación de la estación calle 76

4.3.2.1 Descripción

Se seleccionó esta estación para realizar la instrumentación por ser una de las estaciones con mayor flujo peatonal, por tener pisos nuevos y en buen estado. La selección exacta del sector a instrumentar se hizo de acuerdo con los siguientes criterios:

- Alto flujo y paso de personas.
- Zonas de mayor susceptibilidad a daños.
- Zonas centrales de elementos para maximizar las lecturas.
- Accesibilidad al sitio para instalación de instrumentos.
- Facilidad para colocar el sistema de captura de datos sin interrumpir el tráfico.

Para realizar la instrumentación se seleccionó el vagón del costado norte, del cual se tomó el módulo final del costado sur al inicio del pasillo. En la Figura 4-10 se presenta un esquema general de localización del sector instrumentado.

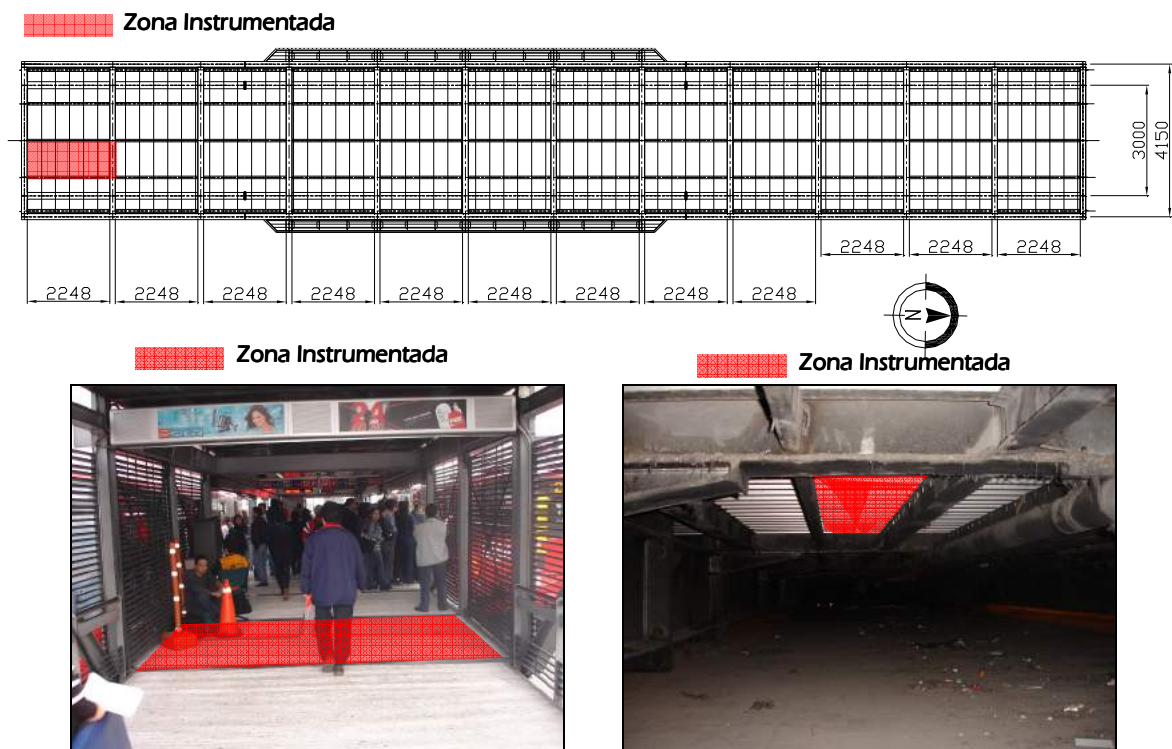


Figura 4-10 Esquema general de la localización sector instrumentado.

Se instaló bajo el sector seleccionado un perfil metálico ajustado mediante tornillos de presión a las vigas de soporte de la estructura del piso de la estación para posteriormente montar en esta los LVDTs. La siguiente tarea es ubicar y pegar (con pegamento epóxico) los strain gages sobre las vigas y láminas de piso en la zona de estudio. Toda la instrumentación y equipo de adquisición de datos quedaron ubicados bajo el piso del sector instrumentado para evitar interferencias con el tráfico.

Se instalaron cuatro (4) deformímetros eléctricos (LVDT) de registro continuo que permiten establecer las deflexiones puntuales del sistema ante las diferentes cargas impuestas a una frecuencia de muestreo de 100 datos por segundo. A continuación se presentan cada uno de los LVDT instalados y la correspondiente ubicación:

- (a) LVDT1: debajo de perfiles de acero de soporte en el centro de la luz.
- (b) LVDT2: debajo del nervio del perfil instrumentado también centrado con respecto a los perfiles de acero de soporte.
- (c) LVDT3: en el centro del perfil instrumentado bajo la lámina que conforma la aleta superior.
- (d) LVDT4: en el alma del perfil de piso también centrado con respecto a los perfiles de acero de soporte.

Se registró la localización exacta de cada uno de los equipos de instrumentación para poder realizar la calibración de los modelos analítico con los resultados obtenidos de la prueba. En la Figura 4-11 y 4-12 se presentan los esquemas generales de la localización de los LVDT.

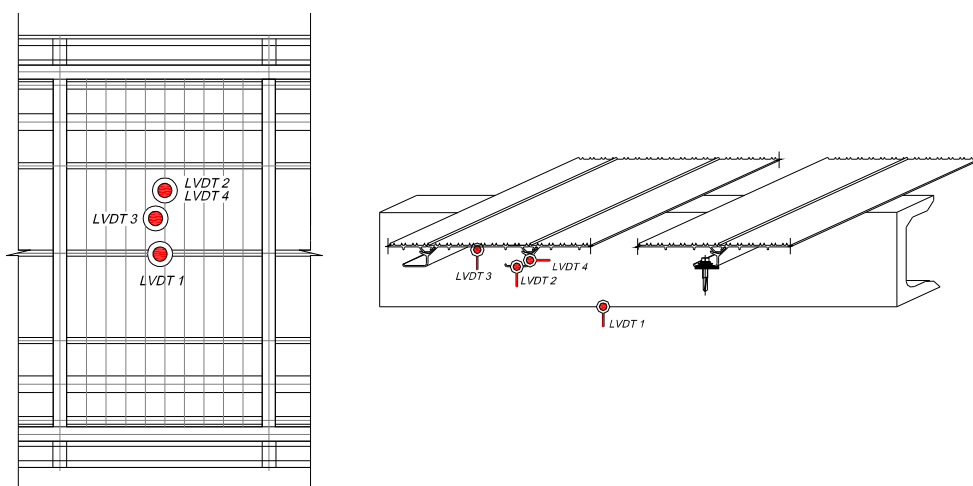


Figura 4-11 Esquema en alzado de la localización de los LVDT

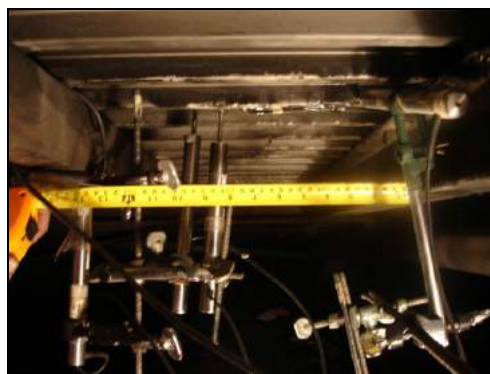


Figura 4-12 Localización de los LVDT

De igual forma se instalaron tres (3) Strain gages de registro continuo que permiten establecer la deformación unitaria y el esfuerzo principal en el punto de medición a una frecuencia de muestreo de 100 datos por segundo. A continuación se presentan cada uno de los Strain gages instalados y la correspondiente ubicación:

- (a) SG1: en la parte inferior de un perfil de acero de soporte adyacente a los anteriores SG2 y SG3, para registro de deformaciones unitarias en la dirección longitudinal del perfil de acero de soporte del piso.
- (b) SG2: en la parte inferior y en el centro de un perfil de piso en aluminio, centrado además con respecto a los perfiles de acero de soporte, registrando deformaciones unitarias en la dirección longitudinal al perfil de piso, contiguo al LVDT3.
- (c) SG3: en la parte inferior y en el centro de un perfil de piso en aluminio, centrado además con respecto a los perfiles de acero de soporte, registrando deformaciones unitarias en la dirección transversal del perfil de piso, contiguo al LVDT3.

Se registró la localización exacta de cada uno de los equipos de instrumentación para poder realizar la calibración de los modelos analíticos con los resultados obtenidos de la prueba. En la Figura 4-13 y 4-14 se presentan los esquemas generales de la localización de los Strain gages instalados.

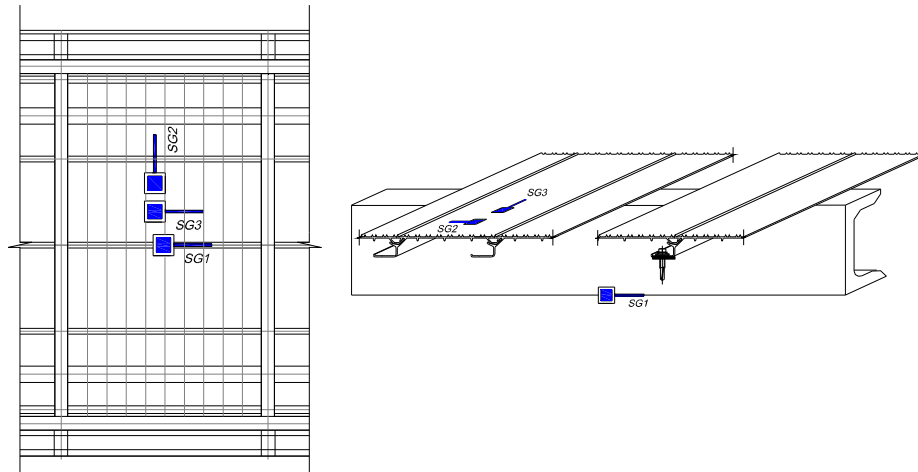


Figura 4-13 Esquema general de la localización de los Strain gages



Figura 4-14 Localización de los Strain gages.

4.3.2.2 Pruebas de carga realizadas

Se registraron las siguientes situaciones específicas de carga:

- (a) Condición de Carga 1 - Carga conocida: para tener un mayor control en las condiciones de ensayo se realizó una serie de mediciones bajo una carga conocida (74 Kg). Se registró la ubicación exacta de la carga para poder realizar la calibración del modelo analítico para cada una de las situaciones. Los modos de cargas fueron los siguientes:
- Lámina de piso sin carga.
 - Aplicación de carga estática (74 Kg).
 - Aplicación de carga generada por saltos separados por un intervalo de tiempo aproximado de 2 seg.
 - Aplicación de carga generada por saltos continuos.
 - Aplicación de carga generada al caminar.
 - Aplicación de carga generada al correr.
- (b) Condición de Carga 2 - Carga en condición dinámica aleatoria: se registraron las lecturas de los instrumentos en la operación normal de la estación. En cada medición se registraron 3 minutos continuos de la siguiente manera:
- Cada media hora desde las 6 A.M hasta las 8:30 A.M.
 - Cada hora desde las 9:00 A.M. hasta las 5:00 P.M.
 - Cada media hora desde las 5:30 P.M. hasta las 8:30 P.M.

En la Tabla 4-5 se presenta un resumen de las lecturas obtenidas por los LVDT y los strain gage y en el Anexo 11-6 se presentan los formatos de toma de datos de la instrumentación.

Tabla 4-5 Resumen de datos tomados en por los LVDT y Strain gage en Estación calle 76

Codigo	Hora	Fenomeno	Datos	Resultados LVDT				Resultados Strain gage			
				1	2	3	4	1	2	3	4
0	6:00:00 a.m.	Trafico Normal	Max	-	-	-	-	-	-	-	-
			Min	-	-	-	-	-	-	-	-
MED01	6:32:00 a.m.	Trafico Normal	Max	0.07	0.08	0.33	0.03	0.05	0.06	0.60	0.00
			Min	-0.01	-0.30	-0.41	-0.05	-0.89	-0.12	-0.07	0.00
MED02	6:45:00 a.m.	Trafico Normal	Max	0.07	0.00	0.09	0.04	0.31	0.11	0.67	0.00
			Min	-0.03	0.00	-0.05	-0.04	-0.90	-0.05	-0.07	0.00
MED03	7:04:00 a.m.	Trafico Normal	Max	0.05	0.15	0.34	0.04	0.27	0.07	0.64	0.00
			Min	-0.07	-0.04	-0.02	-0.04	-0.93	-0.09	-0.06	0.00
MED04	7:34:00 a.m.	Trafico Normal	Max	0.10	0.17	0.21	0.05	0.97	0.07	1.20	0.00
			Min	-0.02	-0.03	-0.37	-0.06	-1.32	-0.10	-0.07	0.00
MED05	7:56:00 a.m.	Trafico Normal	Max	0.11	0.12	0.09	0.10	0.48	0.04	0.99	0.00
			Min	-0.04	-0.10	-0.38	-0.06	-1.65	-0.13	-0.06	0.00
MED06	8:30:00 a.m.	Trafico Normal	Max	0.11	0.12	0.07	0.05	0.29	0.05	0.55	0.00
			Min	-0.02	-0.05	-0.28	-0.03	-1.84	-0.11	-0.08	0.00
MED07	9:00:00 a.m.	Trafico Normal	Max	0.05	0.18	0.17	0.02	1.068	0.0835	1.3125	0
			Min	-0.08	-0.01	-0.05	-0.07	-1.607	-0.1012	-0.0559	0
MED08	10:00:00 a.m.	Persona haciendo interferencia	Max	0.00	0.07	0.05	0.01	23.39	0.0189	0.0502	0.0371
			Min	-0.06	-0.01	-0.01	-0.04	0	-0.0437	-0.0448	-0.0305
MED09	10:11:00 a.m.	Trafico Normal	Max	0.06	0.14	0.13	0.02	179.99	0.0911	0.0907	0.5845
			Min	-0.04	-0.02	-0.02	-0.04	0	-0.4498	-0.0665	-0.0469
MED10	11:00:00 a.m.	Trafico Normal	Max	0.13	0.17	0.13	0.01	179.99	0.1407	0.0714	0.8611
			Min	-0.02	-0.02	-0.02	-0.05	0	-0.3561	-0.0655	-0.038
MED11	12:00:00 p.m.	Trafico Normal	Max	0.10	0.18	0.12	0.03	179.99	0.077	0.0791	0.5644
			Min	-0.05	-0.01	-0.02	-0.04	0	-0.2224	-0.0927	-0.0765
MED12	1:00:00 p.m.	Trafico Normal	Max	0.10	0.14	0.13	0.00	179.99	0.1323	0.1117	0.8433
			Min	-0.01	-0.01	-0.01	-0.08	0	-0.367	-0.0767	-0.0842
MED13	2:07:00 p.m.	Trafico Normal	Max	0.09	0.18	0.17	0.05	179.99	0.0777	0.1252	1.2961
			Min	-0.04	-0.03	-0.04	-0.04	0	-0.3447	-0.0835	-0.0632
MED18	3:00:00 p.m.	Trafico Normal	Max	0.07	0.15	0.19	0.05	179.99	0.0688	0.1618	0.7902
			Min	-0.03	-0.04	-0.05	-0.03	0	-0.6421	-0.4486	-0.2882
MED19	3:24:00 p.m.	Trafico Normal	Max	0.10	0.12	0.16	0.02	179.99	0.08	0.0933	0.3274
			Min	-0.01	-0.01	-0.14	-0.04	0	-0.2115	-0.0779	-0.0575
MED20	4:00:00 p.m.	Trafico Normal	Max	0.05	0.09	0.17	0.03	180	0.077	0.0791	0.564
			Min	-0.04	-0.05	-0.05	-0.04	0	-0.222	-0.0927	-0.0765
MED21	4:30:00 p.m.	Trafico Normal	Max	0.07	0.15	0.14	0.03	179.99	0.0796	0.0833	0.4501
			Min	-0.03	-0.03	-0.04	-0.04	0	-0.3829	-0.084	-0.0902

Continuación Tabla 4-5 Resumen de datos tomados en por los LVDT en Estación calle 76

Codigo	Hora	Fenomeno	Datos	Resultados LVDT				Resultados Strain gage			
				1	2	3	4	1	2	3	4
MED22	5:00:00 p.m.	Trafico Normal	Max	0.07	0.15	0.06	0.03	179.99	0.0396	0.1327	0.3876
			Min	-0.03	0.00	-0.10	-0.06	0	-0.283	-0.0762	-0.0706
MED23	5:30:00 p.m.	Trafico Normal	Max	0.08	0.15	0.26	0.02	0.02	0.11	0.88	0.00
			Min	-0.02	-0.02	-0.04	-0.04	-0.39	-0.08	-0.09	0.00
MED28	6:00:00 p.m.	Trafico Normal	Max	0.09	0.14	0.12	0.03	0.01	0.13	0.38	0.00
			Min	-0.03	-0.02	-0.06	-0.07	-0.40	-0.08	-0.07	0.00
MED29	6:34:00 p.m.	Trafico Normal	Max	0.07	0.16	0.13	0.04	0.26	0.11	1.09	0.00
			Min	-0.02	-0.04	-0.05	-0.06	-0.34	-0.08	-0.06	0.00
MED30	7:00:00 p.m.	Trafico Normal	Max	0.09	0.17	0.13	0.04	0.01	0.12	0.82	0.00
			Min	-0.01	-0.01	-0.01	-0.06	-0.34	-0.08	-0.07	0.00
MED31	7:30:00 p.m.	Trafico Normal	Max	0.08	0.14	0.11	0.05	0.03	0.10	0.62	0.00
			Min	-0.04	-0.03	-0.04	-0.04	-0.43	-0.12	-0.07	0.00
MED32	8:00:00 p.m.	Trafico Normal	Max	0.05	0.17	0.13	0.02	0.02	0.09	0.51	0.00
			Min	-0.05	-0.01	-0.02	-0.06	-0.43	-0.10	-0.10	0.00
MED33	8:37:00 p.m.	Trafico Normal	Max	0.06	0.14	0.11	0.04	0.02	0.11	0.45	0.00
			Min	-0.02	-0.01	-0.03	-0.04	-0.28	-0.07	-0.06	0.00

4.3.2.3 Resultados de LVDT

A cada uno de los registros tomados en campo se le realizó el siguiente procedimiento:

- Filtrado para disminuir el nivel de ruido de la señal.
- Multiplicación por la constante obtenida en la calibración de los instrumentos para obtener los datos en la unidad de medida correspondiente (cm)
- Se corrigieron los datos para establecer el nivel cero.
- Grafica de cada uno de los registros.

En el Anexo 11-6 se presentan las graficas de los registros de los LVDT y strain gage para cada uno de los registros realizados. En la Figura 4-15 se presentan los resultados de la pruebas de calibración de los instrumentos con una carga conocida.

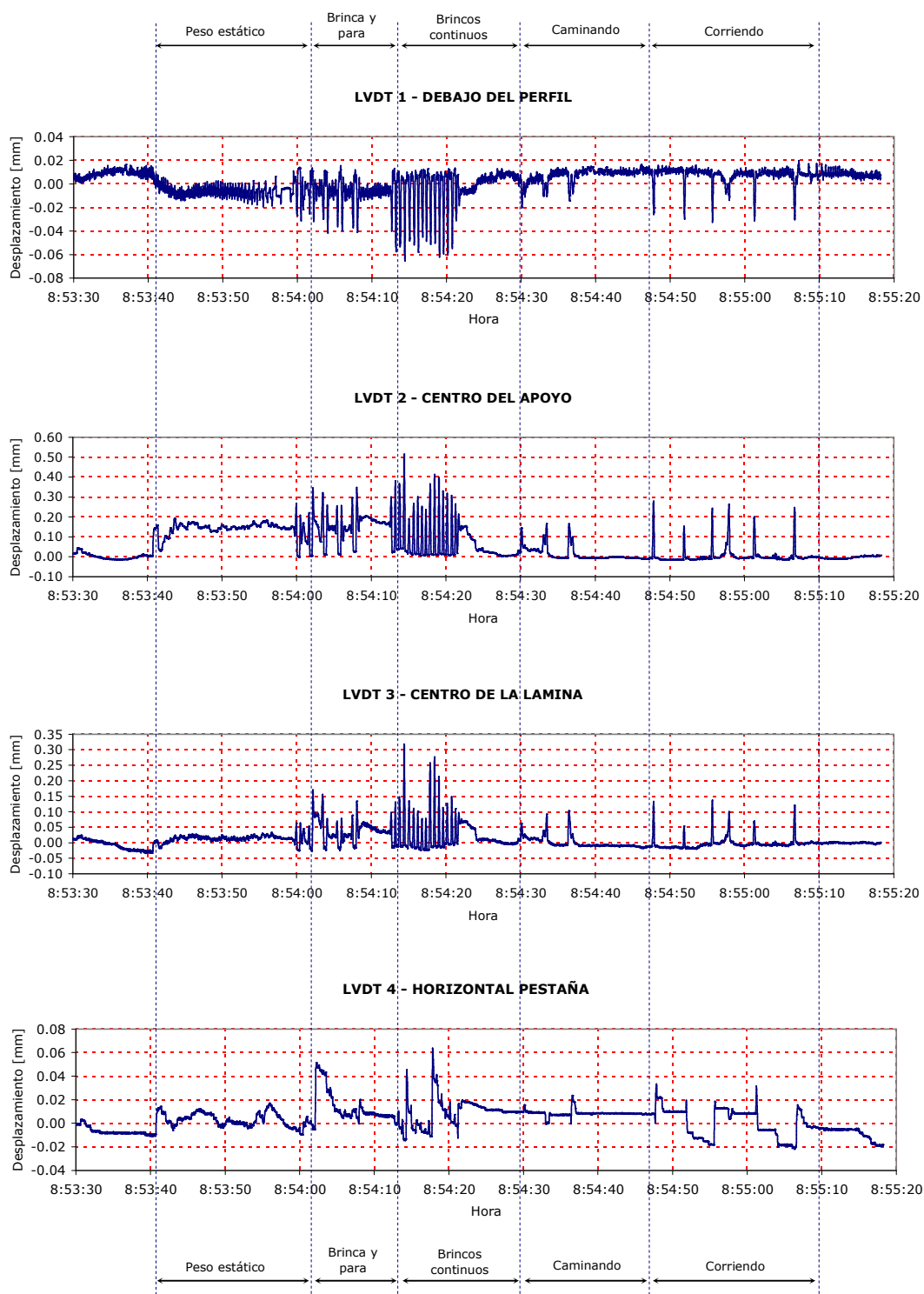


Figura 4-15 Resultados de mediciones para la prueba de calibración LVDT

4.3.3 Instrumentación de la estación calle 100

4.3.3.1 Descripción

Se seleccionó esta estación para realizar la instrumentación por ser una de las estaciones con mayor flujo peatonal, por tener pisos de la primera generación. La selección exacta del sector a instrumentar se hizo de acuerdo con los siguientes criterios:

- Alto flujo y paso de personas.
- Zonas de mayor susceptibilidad a daños y que se encontraran en buen estado.
- Zonas centrales de elementos para maximizar las lecturas.
- Accesibilidad al sitio para instalación de instrumentos.
- Facilidad para colocar el sistema de captura de datos sin interrumpir el tráfico.

Para realizar la instrumentación se seleccionó el vagón del costado norte, del cual se tomó el módulo final del costado sur al inicio del pasillo. En la Figura 4-16 se presenta un esquema general de la localización del sector instrumentado.

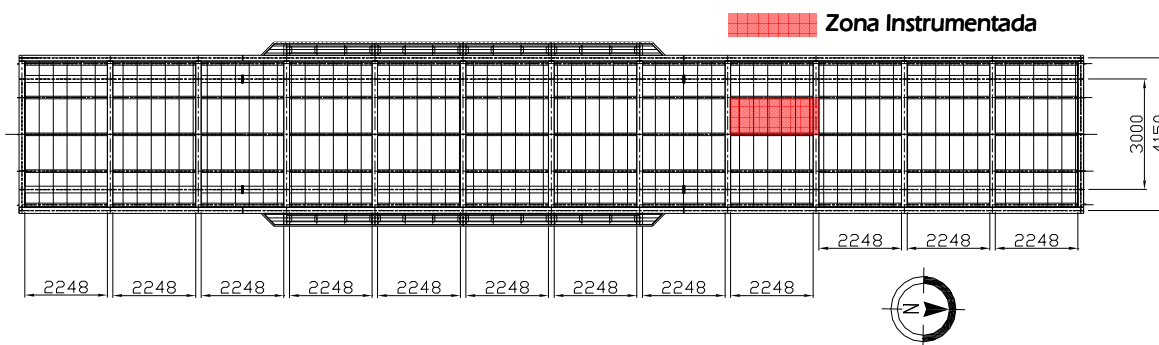


Figura 4-16 Esquema general de la localización sector instrumentado.

Se instaló bajo el sector seleccionado un perfil metálico ajustado mediante tornillos de presión a las vigas de soporte de la estructura del piso de la estación para posteriormente montar en esta los LVDTs. La siguiente tarea es ubicar y pegar (con pegamento epóxico) los strain gages sobre las vigas y láminas de piso en la zona de estudio. Toda la instrumentación y equipo de adquisición de datos quedaron ubicados bajo el piso del sector instrumentado para evitar interferencias con el tránsito.

Se instalaron cuatro (4) deformímetros eléctricos (LVDT) de registro continuo que permiten establecer las deflexiones puntuales del sistema ante las diferentes cargas impuestas a una frecuencia de muestreo de 100 datos por segundo. A continuación se presentan cada uno de los LVDT instalados y la correspondiente ubicación:

- (a) LVDT1: debajo de perfiles de acero de soporte en el centro de la luz.
- (b) LVDT2: debajo del nervio del perfil instrumentado también centrado con respecto a los perfiles de acero de soporte.
- (c) LVDT3: en el centro del perfil instrumentado bajo la lámina que conforma la aleta superior.
- (d) LVDT4: en el alma del perfil de piso también centrado con respecto a los perfiles de acero de soporte.

Se registro la localización exacta de cada uno de los equipos de instrumentación para poder realizar la calibración de los modelos analíticos con los resultados obtenidos de la prueba. En la Figura 4-17 y 4-18 se presentan los esquemas generales de la localización de los LVDT.

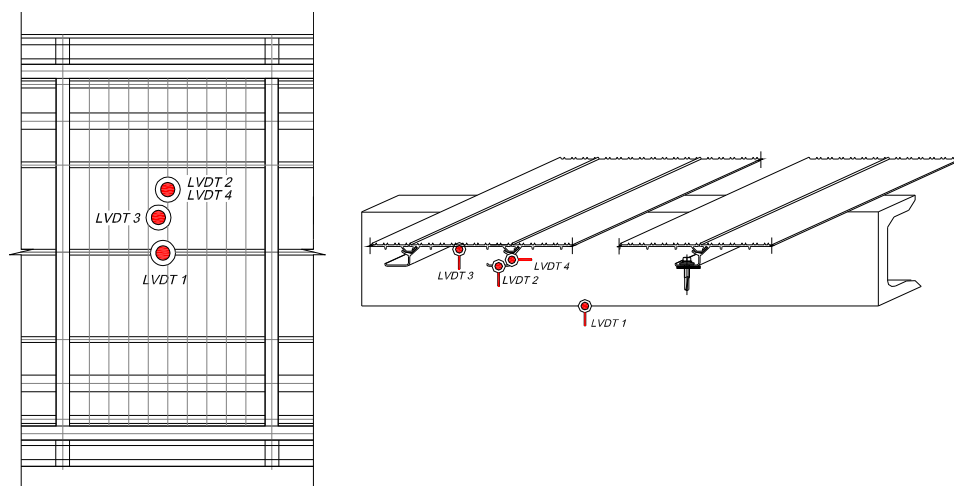


Figura 4-17 Esquema en alzado de la localización de los LVDT



Figura 4-18 Localización de los LVDT

De igual forma se instalaron tres (3) Strain gages de registro continuo que permiten establecer la deformación unitaria y el esfuerzo principal en el punto de medición a una frecuencia de muestreo de 100 datos por segundo. A continuación se presentan cada uno de los Strain gages instalados y la correspondiente ubicación:

- (a) SG1: en la parte inferior de un perfil de acero de soporte adyacente a los anteriores SG2 y SG3, para registro de deformaciones unitarias en la dirección longitudinal del perfil de acero de soporte del piso.
- (b) SG2: en la parte inferior y en el centro de un perfil de piso en aluminio, centrado además con respecto a los perfiles de acero de soporte, registrando deformaciones unitarias en la dirección longitudinal al perfil de piso, contiguo al LVDT3.

- (d) SG3: en la parte inferior y en el centro de un perfil de piso en aluminio, centrado además con respecto a los perfiles de acero de soporte, registrando deformaciones unitarias en la dirección transversal del perfil de piso, contiguo al LVDT3.

Se registro la localización exacta de cada uno de los equipos de instrumentación para poder realizar la calibración de los modelos analítico con los resultados obtenidos de la prueba. En la Figura 4-19 y 4-20 se presentan los esquemas generales de la localización de los Strain gages instalados.

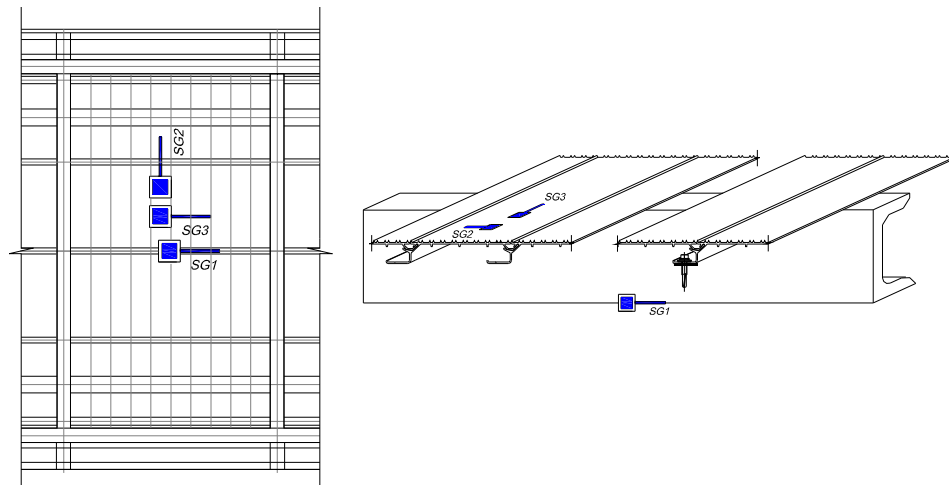


Figura 4-19 Esquema general de la localización de los LVDT



Figura 4-20 Localización de los Strain gages

4.3.3.2 Pruebas de carga realizadas

Se registraron las siguientes situaciones específicas de carga:

- (a) Condición de Carga 1 - Carga conocida: para tener un mayor control en las condiciones de ensayo se realizaron una serie de mediciones bajo una carga conocida (74 Kg) aplicada en la zona instrumentada lo más centrada posible. Se registró la ubicación exacta de la carga para

poder realizar la calibración del modelo analítico para cada una de las situaciones. Los modos de carga fueron los Siguietes:

- Lámina de piso sin carga.
- Aplicación de carga estática (74 Kg).
- Aplicación de carga generada por saltos separados por un intervalos de tiempo aproximado de 2 seg.
- Aplicación de carga generada por saltos continuos.
- Aplicación de carga generada al caminar.
- Aplicación de carga generada al correr.

(b) Condición de Carga 2 - Carga en condición dinámica aleatoria: se registraron las lecturas de los instrumentos en la operación normal de la estación. En cada medición se registraron 3 minutos continuos de la siguiente manera:

- Cada media hora desde las 6 A.M hasta las 8:30 A.M.
- Cada hora desde las 9:00 A.M. hasta las 5:00 P.M.
- Cada media hora desde las 5:30 P.M. hasta las 8:30 P.M.

En la Tabla 4-6 se presenta un resumen de las lecturas obtenidas por los LVDT y los strain gages y en el Anexo 11-5 se presentan los formatos de toma de datos de la instrumentación.

Tabla 4-6 Resumen de datos tomados en por los LVDT y Strain gages en Estación calle 100

Codigo	Hora	Fenomeno	Datos	Resultados LVDT				Resultados Strain gage			
				1	2	3	4	1	2	3	4
MED001	6:45:00 a.m.	Ninguna	Max	0.04	0.19	0.00	0.27	0.22	0.04	0.06	0.00
			Min	0.00	0.00	-0.04	0.00	-0.03	-0.11	-0.07	0.00
MED002	7:00:00 a.m.	Comportamiento extraño del LVDT0	Max	0.10	0.22	0.03	0.13	1.07	0.04	0.07	0.00
			Min	-0.28	-0.06	-0.06	-0.07	-0.24	-0.22	-0.04	0.00
MED003	7:18:00 a.m.	Cambio de sensor LVDT	Max	0.08	0.05	0.00	0.03	0.09	0.06	0.05	0.00
			Min	-0.07	-0.01	0.00	-0.02	-0.07	-0.03	-0.04	0.00
MED008	7:32:00 a.m.	Ninguna	Max	0.36	0.10	0.00	0.11	1.43	0.14	0.11	0.00
			Min	-0.10	-0.03	0.00	-0.03	-0.07	-0.10	-0.06	0.00
MED013	8:00:00 a.m.	Ruido en el sensor LVDT0	Max	0.32	0.18	0.00	0.04	0.20	0.06	0.01	0.00
			Min	-0.05	0.00	0.00	-0.01	-0.12	-0.09	-0.06	0.00
MED023	8:30:00 a.m.	Ruido en el sensor LVDT0	Max	0.12	0.17	0.00	0.09	1.82	0.21	0.04	0.00
			Min	-0.08	0.00	0.00	0.00	-0.06	-0.06	-0.07	0.00

Continuación Tabla 4-6 Resumen de datos tomados en por los LVDT y Strain gages en Estación calle 100

Codigo	Hora	Fenomeno	Datos	Resultados LVDT				Resultados Strain gage			
				1	2	3	4	1	2	3	4
MED023	8:30:00 a.m.	Ruido en el sensor LVDT0	Max	0.12	0.17	0.00	0.09	1.82	0.21	0.04	0.00
			Min	-0.08	0.00	0.00	0.00	-0.06	-0.06	-0.07	0.00
MED033	9:00:00 a.m.	Ruido en el sensor LVDT0	Max	0.07	0.11	0.00	0.08	2.46	0.02	0.05	0.00
			Min	-0.01	0.00	0.00	0.00	-0.07	-0.15	-0.04	0.00
MED038	10:00:00 a.m.	Ruido en el sensor LVDT0	Max	0.29	0.06	0.00	0.07	0.19	0.14	0.16	0.00
			Min	-0.02	-0.01	0.00	-0.03	-0.06	-0.14	-0.06	0.00
MED039	11:10:00 a.m.	Ruido en el sensor LVDT0	Max	0.22	0.17	0.00	0.11	2.13	0.10	0.04	0.00
			Min	-0.08	0.00	0.00	-0.02	-0.08	-0.31	-0.08	0.00
MED101	12:12:00 p.m.	Ruido en todos los canales	Max	0.09	0.16	0.00	0.10	1.78	1.32	0.97	0.00
			Min	-0.03	-0.05	0.00	-0.05	-0.45	-1.75	-1.43	0.00
MED102	12:16:00 p.m.	Ninguna	Max	0.35	0.04	0.00	0.05	0.04	0.07	0.04	0.00
			Min	-0.06	-0.04	0.00	-0.04	-0.07	-0.03	-0.06	0.00
MED103	1:00:00 p.m.	Ninguna	Max	0.00	0.09	0.00	0.05	0.20	0.05	0.07	0.00
			Min	-0.06	-0.11	0.00	-0.09	-0.05	-0.05	-0.06	0.00
MED108	2:01:00 p.m.	Ninguna	Max	0.03	0.08	0.00	0.10	0.08	0.04	0.10	0.00
			Min	-0.03	-0.03	0.00	-0.01	-0.04	-0.08	-0.01	0.00
MED109	3:00:00 p.m.	Ninguna	Max	0.01	0.00	0.00	0.04	0.08	0.02	0.05	0.00
			Min	-0.13	-0.07	0.00	-0.02	-0.04	-0.08	-0.04	0.00
MED110	4:00:00 p.m.	Ninguna	Max	0.20	0.18	0.00	0.14	2.46	0.36	0.11	0.00
			Min	-0.01	-0.03	0.00	-0.01	-0.03	-0.16	-0.05	0.00
MED111	5:00:00 p.m.	Ninguna	Max	0.05	0.07	0.00	0.06	0.02	0.06	0.05	0.00
			Min	-0.03	-0.05	0.00	-0.05	-0.06	-0.03	-0.07	0.00
MED112	5:30:00 p.m.	Ninguna	Max	0.03	0.16	0.00	0.11	1.08	0.07	0.12	0.00
			Min	-0.02	-0.02	0.00	-0.03	-0.09	-0.10	0.00	0.00
MED113	6:00:00 p.m.	Ninguna	Max	0.06	0.25	0.00	0.14	0.22	0.02	0.10	0.00
			Min	-0.01	-0.02	0.00	0.00	-0.26	-0.15	-0.01	0.00
MED118	6:30:00 p.m.	Ninguna	Max	0.01	0.11	0.00	0.08	0.23	0.08	0.09	0.00
			Min	-0.03	-0.05	0.00	-0.06	-0.06	-0.12	-0.13	0.00
MED119	7:00:00 p.m.	Ninguna	Max	0.10	0.17	0.00	0.08	1.11	0.06	0.11	0.00
			Min	-0.03	-0.01	0.00	-0.01	-0.05	-0.20	-0.01	0.00
MED120	7:30:00 p.m.	Ninguna	Max	0.16	0.10	0.00	0.08	0.36	0.03	0.11	0.00
			Min	-0.14	-0.02	0.00	-0.02	-0.06	-0.15	-0.07	0.00
MED121	8:00:00 p.m.	Ninguna	Max	0.01	0.09	0.00	0.07	0.24	0.12	0.12	0.00
			Min	-0.02	0.00	0.00	-0.01	-0.06	-0.08	-0.05	0.00
MED122	8:30:00 p.m.	Ninguna	Max	0.05	0.03	0.00	0.05	0.04	0.05	0.05	0.00
			Min	-0.01	-0.02	0.00	-0.03	-0.04	-0.06	-0.06	0.00

4.3.3.3 Resultados de LVDT

A cada uno de los registros tomados en campo se le realizó el siguiente procedimiento:

- Filtrado para disminuir el nivel de ruido de la señal
- Multiplicación por la constante obtenida en la calibración de los instrumentos para obtener los datos en la unidad de medida correspondiente (cm)
- Se corrigieron los datos para establecer el nivel cero.
- Grafica de cada uno de los registros.

En el Anexo 11-6 se presentan las graficas de los registros de los LVDT y strain gage para cada uno de los registros realizados. En la Figura 4-21 se presentan los resultados de la pruebas de calibración de los instrumentos con una carga conocida.

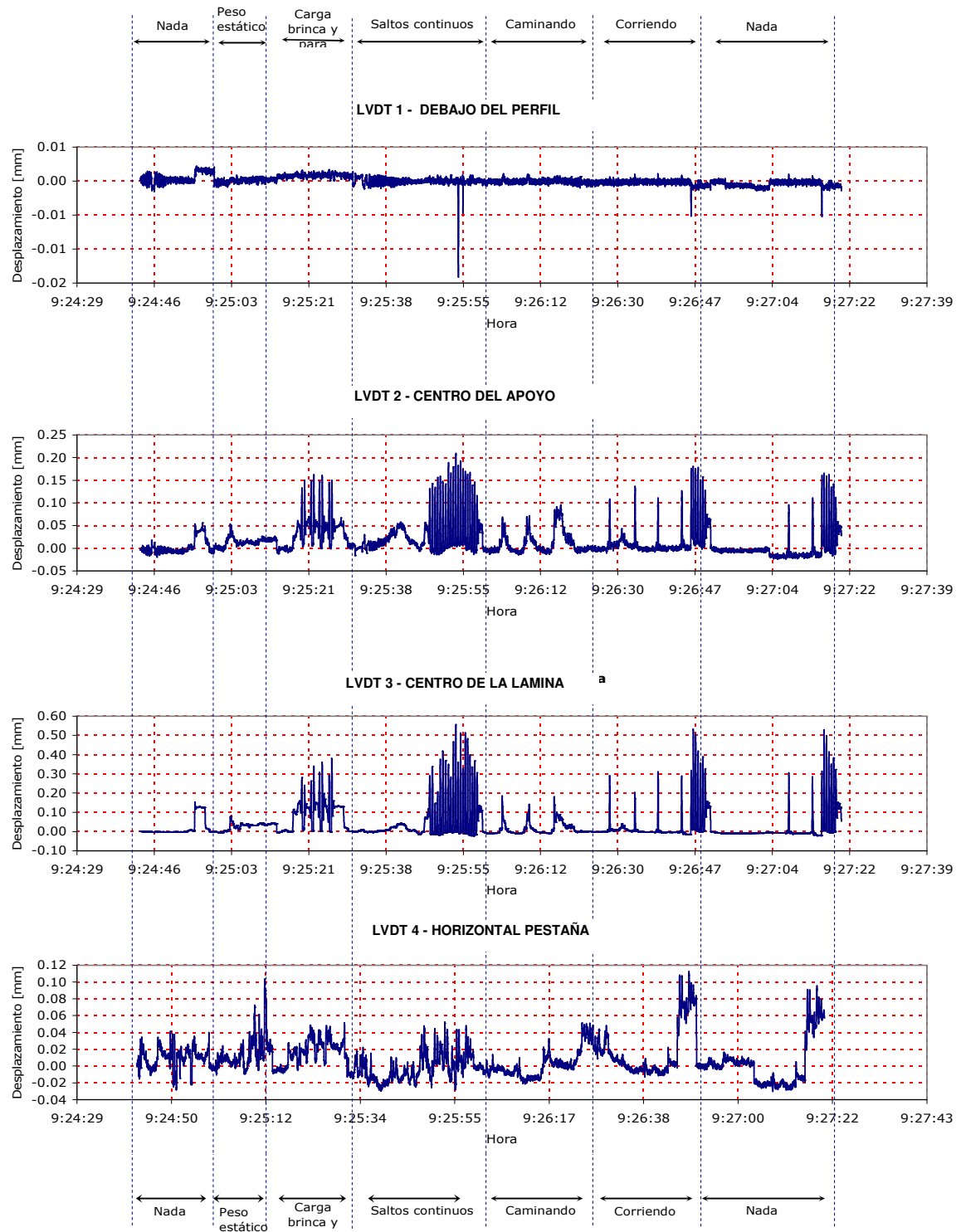


Figura 4-21 Resultados de mediciones para la prueba de calibración LVDT

4.3.4 Instrumentación de la rampa del puente de la calle 100

4.3.4.1 Descripción

Se seleccionó este puente para realizar la instrumentación por ser uno de los puentes con mayor flujo peatonal, por tener pisos en buen estado y para poder comparar con los datos obtenidos de la estación. La selección exacta del sector a instrumentar se hizo de acuerdo con los siguientes criterios:

- Alto flujo y paso de personas.
- Zonas de mayor susceptibilidad a daños.
- Zonas centrales de elementos para maximizar las lecturas.
- Accesibilidad al sitio para instalación de instrumentos.
- Facilidad para colocar el sistema de captura de datos sin interrumpir el tráfico.

Para realizar la instrumentación se seleccionó el costado sur de la rampa del puente. En la Figura 4-22 se presenta un esquema general de la localización del sector instrumentado.



Figura 4-22 Esquema general de la localización sector instrumentado.

Se instaló bajo la rampa un perfil metálico ajustado mediante tornillos de presión a las vigas de soporte de la estructura del piso de la estación para posteriormente montar en esta los LVDTs. La siguiente tarea es ubicar y pegar (con pegamento epóxico) los strain gages sobre las vigas y láminas de piso en la zona de estudio. Toda la instrumentación y equipo de adquisición de datos quedaron ubicados bajo el piso del sector instrumentado para evitar interferencias con el tráfico.

Se instalaron cuatro (4) deformímetros eléctricos (LVDT) de registro continuo que permiten establecer las deflexiones puntuales del sistema ante las diferentes cargas impuestas a una frecuencia de muestreo de 100 datos por segundo. A continuación se presentan cada uno de los LVDT instalados y la correspondiente ubicación:

- (e) LVDT1: debajo de perfiles de acero de soporte en el centro de la luz.
- (f) LVDT2: debajo del nervio del perfil instrumentado también centrado con respecto a los perfiles de acero de soporte.
- (g) LVDT3: en el centro del perfil instrumentado bajo la lámina que conforma la aleta superior.
- (a) LVDT4: en el alma del perfil de piso también centrado con respecto a los perfiles de acero de soporte. Durante las mediciones este LVDT presentaba movimientos, por esta razón antes de cada medición se realizaban ajustes del equipo para garantizar la calidad de las lecturas.

Se registró la localización exacta de cada uno de los equipos de instrumentación para poder realizar la calibración de los modelos analítico con los resultados obtenidos de la prueba. En la Figura 4-23 y 4-24 se presentan los esquemas generales de la localización de los LVDT.

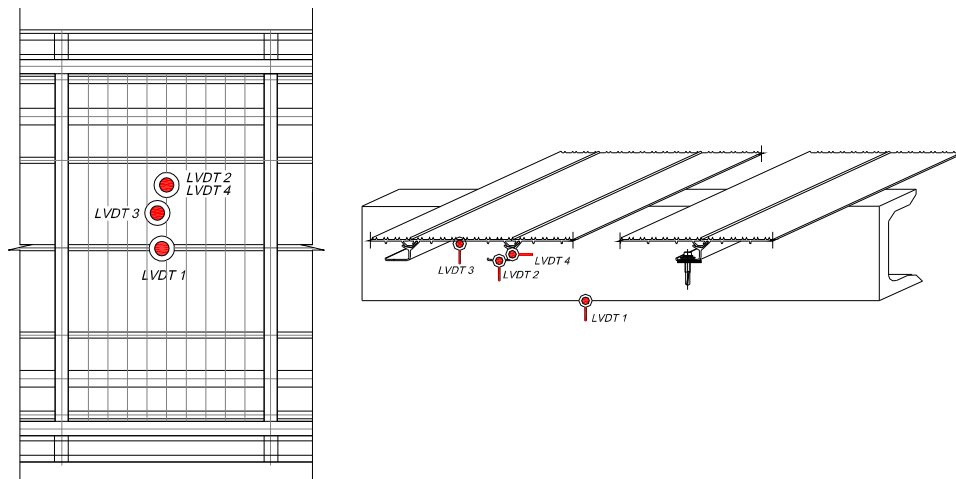


Figura 4-23 Esquema en alzado de la localización de los LVDT



Figura 4-24 Localización de los LVDT

De igual forma se instalaron tres (3) Strain gages de registro continuo que permiten establecer la deformación unitaria y el esfuerzo principal en el punto de medición a una frecuencia de muestreo de 100 datos por segundo. A continuación se presentan cada uno de los Strain gages instalados y la correspondiente ubicación:

- (a) SG1: en la parte inferior de un perfil de acero de soporte adyacente a los anteriores SG2 y SG3, para registro de deformaciones unitarias en la dirección longitudinal del perfil de acero de soporte del piso.
- (b) SG2: en la parte inferior y en el centro de un perfil de piso en aluminio, centrado además con respecto a los perfiles de acero de soporte, registrando deformaciones unitarias en la dirección longitudinal al perfil de piso, contiguo al LVDT3.
- (c) SG3: en la parte inferior y en el centro de un perfil de piso en aluminio, centrado además con respecto a los perfiles de acero de soporte, registrando deformaciones unitarias en la dirección transversal del perfil de piso, contiguo al LVDT3.

Se registro la localización exacta de cada uno de los equipos de instrumentación para poder realizar la calibración de los modelos analítico con los resultados obtenidos de la prueba. En la Figura 4-25 y 4-26 se presentan los esquemas generales de la localización de los Strain gages instalados.

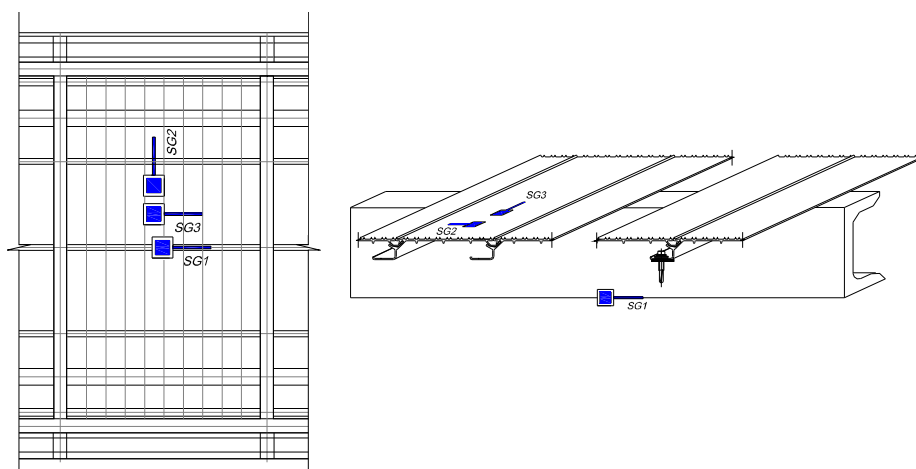


Figura 4-25 Esquema general de la localización de los LVDT



Figura 4-26 Localización de los Strain gages

4.3.4.2 Pruebas de carga realizadas

Se registraron las siguientes situaciones específicas de carga:

- (a) Condición de Carga 1 - Carga conocida: para tener un mayor control en las condiciones de ensayo se realizaron una serie de mediciones bajo una carga conocida (74 Kg) aplicada en la zona instrumentada lo más centrada posible. Se registró la ubicación exacta de la carga para poder realizar la calibración del modelo analítico para cada una de las situaciones. Los modos de carga fueron los siguientes:
 - Lámina de piso sin carga.
 - Aplicación de carga estática (74 Kg).
 - Aplicación de carga generada por saltos separados por un intervalos de tiempo aproximado de 2 seg.

- Aplicación de carga generada por saltos continuos.
 - Aplicación de carga generada al caminar.
 - Aplicación de carga generada al correr.
- (b) Condición de Carga 2 - Carga en condición dinámica aleatoria: se registraron las lecturas de los instrumentos en la operación normal de la estación. En cada medición se registraron 3 minutos continuos de la siguiente manera:
- Cada media hora desde las 6 A.M hasta las 8:30 A.M.
 - Cada hora desde las 9:00 A.M. hasta las 5:00 P.M.
 - Cada media hora desde las 5:30 P.M. hasta las 8:30 P.M.

En la Tabla 4-7 se presenta un resumen de las lecturas obtenidas por los LVDT y los strain gage y en el Anexo 11-5 se presentan los formatos de toma de datos de la instrumentación.

Tabla 4-7 Resumen de datos tomados en por los LVDT y strain gages en el puente de calle 100

Codigo	Hora	Fenomeno	Datos	Resultados				Resultados			
				LVDT				Strain gage			
				1	2	3	4	1	2	3	4
0	6:00:00 a.m.	Tráfico Normal	Max	-	-	-	-	-	-	-	-
			Min	-	-	-	-	-	-	-	-
MED01	6:32:00 a.m.	Tráfico Normal	Max	0.07	0.00	0.09	0.02	0.27	0.11	0.66	0.00
			Min	-0.03	0.00	-0.05	-0.03	-0.91	-0.04	-0.07	0.00
MED02	6:45:00 a.m.	Tráfico Normal	Max	0.07	0.00	0.09	0.02	0.27	0.11	0.66	0.00
			Min	-0.03	0.00	-0.05	-0.03	-0.91	-0.04	-0.07	0.00
MED03	7:04:00 a.m.	Tráfico Normal	Max	0.07	0.00	0.09	0.02	0.27	0.11	0.66	0.00
			Min	-0.03	0.00	-0.05	-0.03	-0.91	-0.04	-0.07	0.00
MED04	7:34:00 a.m.	Tráfico Normal	Max	0.10	0.28	0.21	0.02	0.97	0.07	1.19	0.00
			Min	-0.02	-0.05	-0.37	-0.04	-1.29	-0.09	-0.07	0.00
MED05	7:56:00 a.m.	Tráfico Normal	Max	0.10	0.21	0.09	0.06	0.49	0.04	0.98	0.00
			Min	-0.04	-0.18	-0.38	-0.03	-1.63	-0.12	-0.06	0.00
MED06	8:30:00 a.m.	Tráfico Normal	Max	0.11	0.20	0.06	0.03	0.28	0.03	0.56	0.00
			Min	-0.02	-0.09	-0.29	-0.01	-1.84	-0.12	-0.07	0.00
MED07	9:00:00 a.m.	Tráfico Normal	Max	0.05	0.30	0.16	0.01	1.07	0.08	1.31	0.00
			Min	-0.08	-0.01	-0.06	-0.04	-1.61	-0.10	-0.06	0.00

Continuación Tabla 4-7 Resumen de datos tomados en por los LVDT y strain gages en el puente de calle 100

Codigo	Hora	Fenomeno	Datos	Resultados LVDT				Resultados Strain gage			
				1	2	3	4	1	2	3	4
MED08	10:00:00 a.m.	Persona haciendo interferencia	Max	0.00	0.11	0.04	0.01	23.39	0.02	0.05	0.04
			Min	-0.06	-0.02	-0.01	-0.02	0.00	-0.04	-0.04	-0.03
MED09	10:11:00 a.m.	Tráfico Normal	Max	0.06	0.24	0.13	0.01	179.99	0.09	0.09	0.58
			Min	-0.04	-0.04	-0.02	-0.02	0.00	-0.45	-0.07	-0.05
MED10	11:00:00 a.m.	Tráfico Normal	Max	0.12	0.30	0.13	0.01	179.99	0.14	0.07	0.86
			Min	-0.02	-0.03	-0.02	-0.03	0.00	-0.36	-0.07	-0.04
MED11	12:00:00 p.m.	Tráfico Normal	Max	0.10	0.32	0.12	0.02	179.99	0.08	0.08	0.56
			Min	-0.05	-0.01	-0.01	-0.02	0.00	-0.22	-0.09	-0.08
MED12	1:00:00 p.m.	Tráfico Normal	Max	0.10	0.24	0.12	0.00	179.99	0.13	0.11	0.84
			Min	-0.01	-0.01	-0.02	-0.04	0.00	-0.37	-0.08	-0.08
MED13	2:07:00 p.m.	Tráfico Normal	Max	0.09	0.30	0.17	0.03	179.99	0.08	0.13	1.30
			Min	-0.04	-0.05	-0.04	-0.02	0.00	-0.34	-0.08	-0.06
MED18	3:00:00 p.m.	Tráfico Normal	Max	0.07	0.25	0.18	0.03	179.99	0.07	0.16	0.79
			Min	-0.03	-0.08	-0.06	-0.01	0.00	-0.64	-0.45	-0.29
MED19	3:24:00 p.m.	Tráfico Normal	Max	0.10	0.20	0.16	0.01	179.99	0.08	0.09	0.33
			Min	-0.01	-0.01	-0.14	-0.02	0.00	-0.21	-0.08	-0.06
MED20	4:00:00 p.m.	Tráfico Normal	Max	0.10	0.32	0.12	0.02	180.00	0.08	0.08	0.56
			Min	-0.05	-0.01	-0.01	-0.02	0.00	-0.22	-0.09	-0.08
MED21	4:30:00 p.m.	Tráfico Normal	Max	0.07	0.26	0.14	0.02	179.99	0.08	0.08	0.45
			Min	-0.03	-0.05	-0.03	-0.02	0.00	-0.38	-0.08	-0.09
MED22	5:00:00 p.m.	Tráfico Normal	Max	0.07	0.26	0.07	0.02	179.99	0.04	0.13	0.39
			Min	-0.03	-0.01	-0.09	-0.03	0.00	-0.28	-0.08	-0.07
MED23	5:30:00 p.m.	Tráfico Normal	Max	0.08	0.25	0.26	0.01	179.99	0.02	0.11	0.87
			Min	-0.02	-0.03	-0.03	-0.02	0.00	-0.38	-0.08	-0.09
MED28	6:00:00 p.m.	Tráfico Normal	Max	0.10	0.32	0.12	0.02	180.00	0.08	0.08	0.56
			Min	-0.05	-0.01	-0.01	-0.02	0.00	-0.22	-0.09	-0.08
MED29	6:34:00 p.m.	Tráfico Normal	Max	0.10	0.32	0.12	0.02	180.00	0.08	0.08	0.56
			Min	-0.05	-0.01	-0.01	-0.02	0.00	-0.22	-0.09	-0.08
MED30	7:00:00 p.m.	Tráfico Normal	Max	0.09	0.30	0.13	0.02	179.99	0.01	0.12	0.82
			Min	-0.01	-0.01	-0.01	-0.04	0.00	-0.33	-0.08	-0.07
MED31	7:30:00 p.m.	Tráfico Normal	Max	0.08	0.25	0.11	0.03	179.99	0.02	0.10	0.61
			Min	-0.03	-0.05	-0.04	-0.02	0.00	-0.43	-0.10	-0.07
MED32	8:00:00 p.m.	Tráfico Normal	Max	0.05	0.29	0.13	0.02	179.99	0.01	0.10	0.50
			Min	-0.05	-0.02	-0.02	-0.03	0.00	-0.43	-0.08	-0.10
MED33	8:37:00 p.m.	Tráfico Normal	Max	0.06	0.24	0.11	0.02	179.99	0.01	0.11	0.45
			Min	-0.02	-0.01	-0.03	-0.02	0.00	-0.28	-0.07	-0.05

4.3.4.3 Resultados de LVDT

A cada uno de los registros tomados en campo se le realizó el siguiente procedimiento:

- Filtrado para disminuir el nivel de ruido de la señal
- Multiplicación por la constante obtenida en la calibración de los instrumentos para obtener los datos en la unidad de medida correspondiente (cm)
- Se corrigieron los datos para establecer el nivel cero.
- Grafica de cada uno de los registros.

En el Anexo 11-6 se presentan las graficas de los registros de los LVDT y strain gage para cada uno de los registros realizados. En la Figura 4-27 se presentan los resultados de las pruebas de calibración de los instrumentos con una carga conocida.

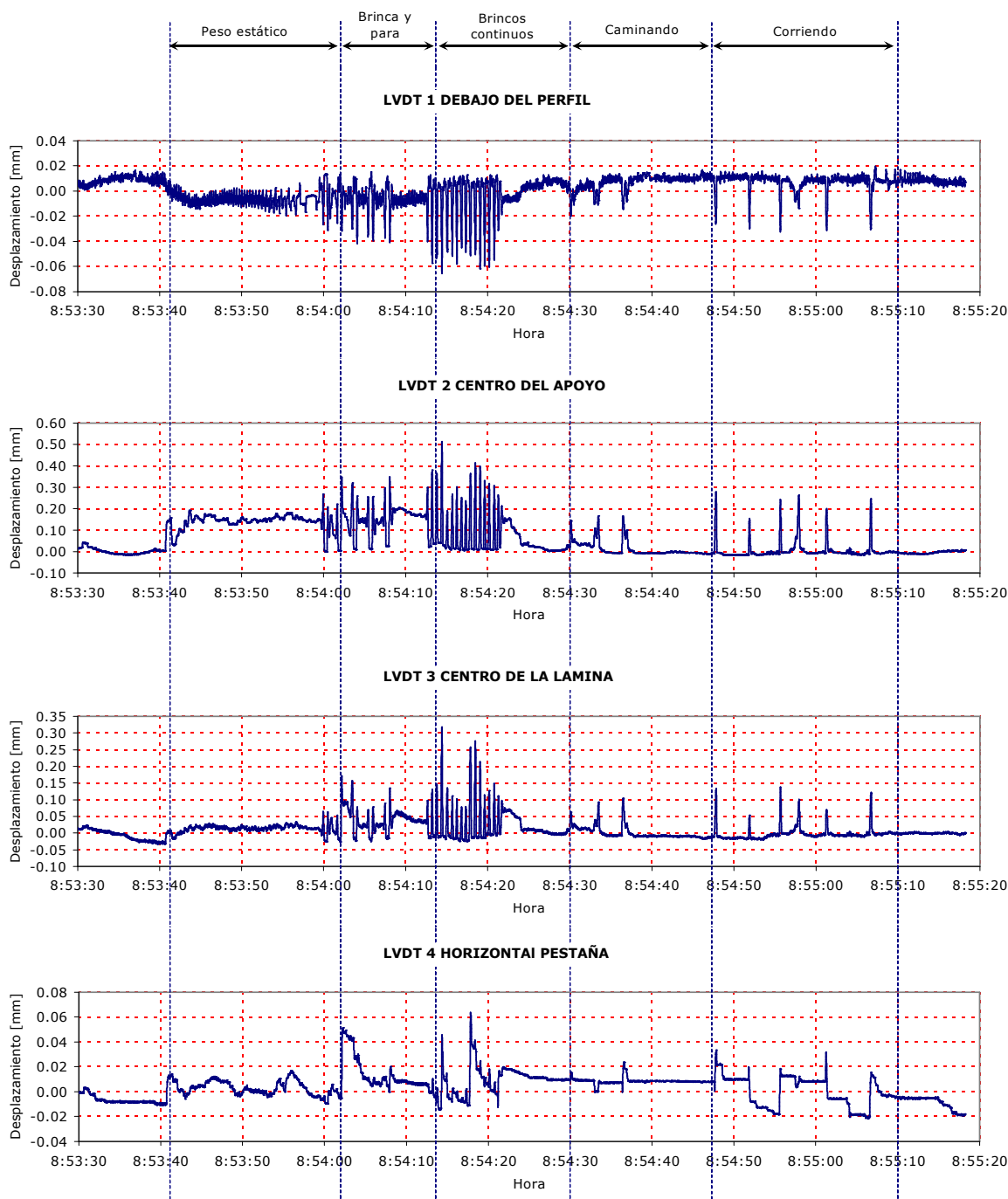


Figura 4-27 Resultados de mediciones para la prueba de calibración LVDT

4.4 ESPECTRO DE CARGA PEATONAL RECOMENDADO

Las mediciones y registros anteriores permiten obtener un espectro de carga peatonal recomendado para el diseño a la fatiga de los pisos de las estaciones y los puentes. El procedimiento que se sigue para la obtención de dicho espectro es el siguiente:

- (a) Seleccionar el registro de deflexiones verticales en el centro de la lámina del perfil y realizar las correcciones y ajustes correspondientes según lo explicado en el numeral anterior.
- (b) Con base en las mediciones de la Condición de Carga 1 (carga conocida) estimar la rigidez en el punto de medición mediante la relación entre la carga aplicada y la deflexión máxima registrada en el mismo punto. Aplicar correcciones según sea necesario utilizando los modelos analíticos disponibles para corregir el punto de aplicación de cargas o de registro de deflexiones.
- (c) Aplicar el factor de rigidez calculado al registro de deflexiones verticales para obtener así un registro de cargas equivalentes aplicadas. Este registro corresponde a un registro hipotético de cargas aplicadas sobre el punto de medición que generarían la historia real de deflexiones medidas en dicho punto. En otros términos corresponde a la historia equivalente de cargas reales que deben aplicarse en un punto cualquiera para representar en forma aproximada los esfuerzos causados en la realidad. Aquí se supone en forma aproximada que la forma de la deflectada no afecta sensiblemente la distribución de esfuerzos internos, y que estos pueden determinarse aproximadamente con la deflexión máxima. Esta hipótesis es cierta en la medida que las cargas aplicadas sean concentradas, que estas no se pueden aplicar con separaciones más cercanas que unos 50 cm (espacio aproximado de tránsito entre dos personas) y que las luces de apoyos son relativamente pequeñas, con lo cual no se generan muchas situaciones de carga en que existen varias cargas simultáneas en una luz y sector de análisis. Bajo la premisa de cargas concentradas únicas en la zona de influencia (que es en general bastante pequeña) la anterior hipótesis de análisis queda validada. En la Tabla 4-8 se presentan los valores de rigidez estimados para cada uno de los análisis realizados.

Tabla 4-8 Calculo de rigidez

Prueba No	Ubicación	Deformimetro	Factor de rigidez [Kg/cm]
MED331	Estacion Calle 76	LVDT 3 (D3)	500
MED 02	Estacion Calle 100	LVDT 2 (D1)	940
MED 39	Puente Calle 100	LVDT 2 (D1)	1000

- (d) El análisis anterior se aplica para cada uno de los registros representativos de las horas del día según las mediciones adelantadas.

- (e) Una vez se tiene el registro de cargas hipotéticas reales aplicadas, se procede a calcular el espectro de cargas correspondientes. Para esto se utiliza el procedimiento establecidos en el Título F de la NSR-98 y conocido como método del embalse.
- (f) Una vez se tiene el espectro de cargas para cada uno de los registros estos se afectan de la siguiente manera: los asociados a medias horas se multiplican por 10 (30 minutos/3 minutos de registro) y los asociados a una hora se multiplican por 20 (60 minutos/3 minutos de registro). Finalmente se suman todos los espectros del día con lo cual se obtiene el espectro total de cargas para un día completo típico de alto tránsito.

En las figuras de la 4-28 a la 4-33 se presentan los espectros de desplazamiento y carga resultantes para los ensayos realizados para las dos estaciones y el puente. Como puede observarse los patrones de carga son similares en los tres casos estudiados.

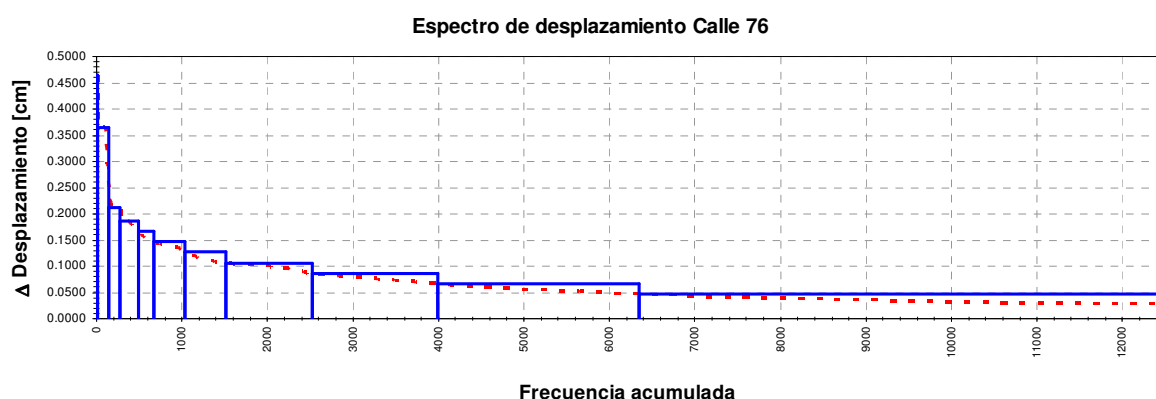


Figura 4-28 Espectro de desplazamiento Estación Calle 76

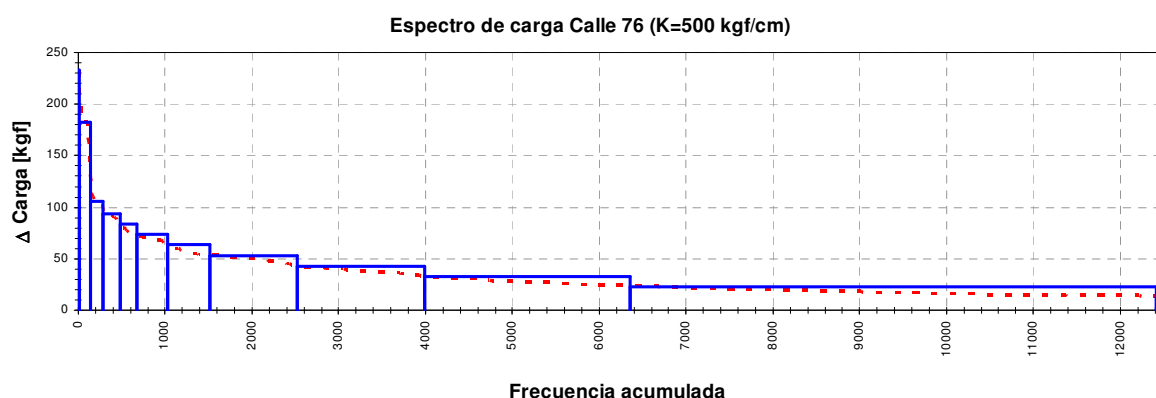


Figura 4-29 Espectro de carga Estación Calle 76

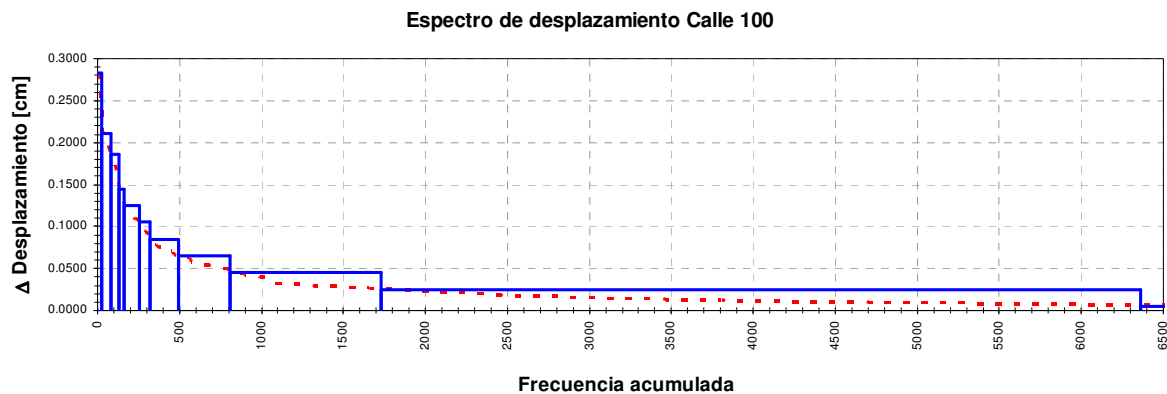


Figura 4-30 Espectro de desplazamiento Estación Calle 100

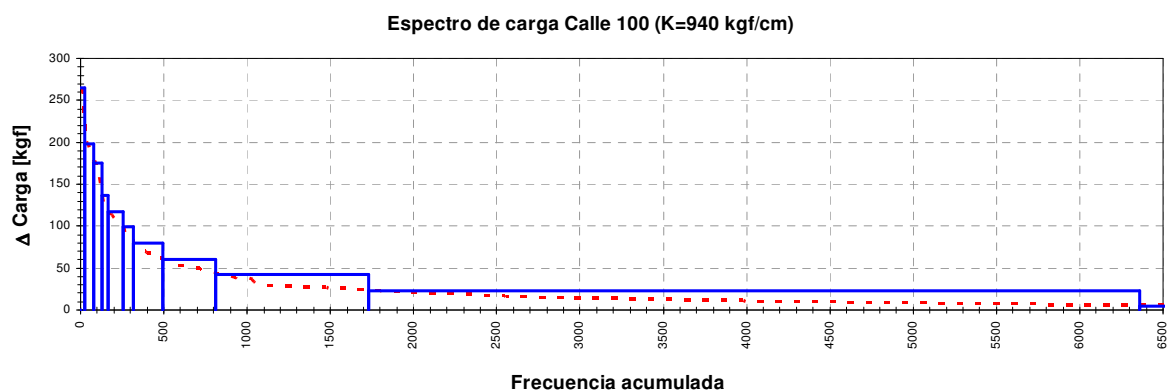


Figura 4-31 Espectro de carga Estación Calle 100

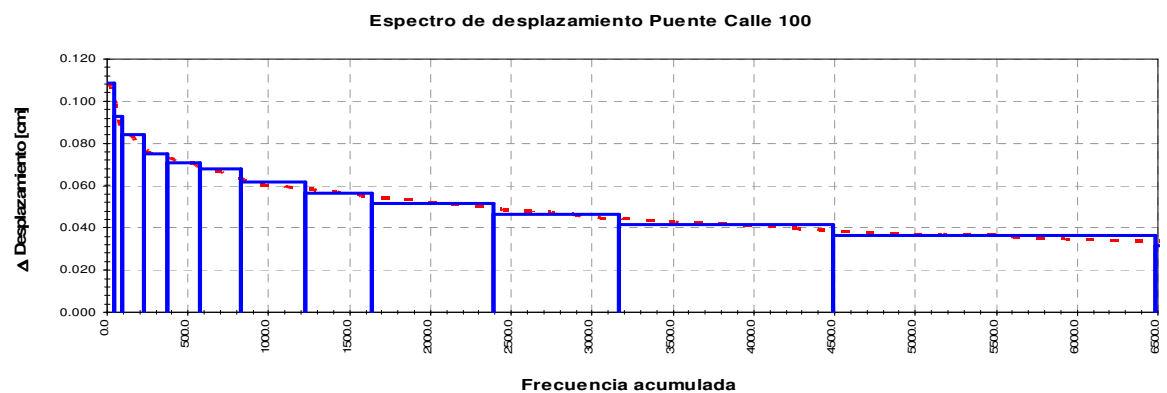


Figura 4-32 Espectro de desplazamiento Puente Calle 100

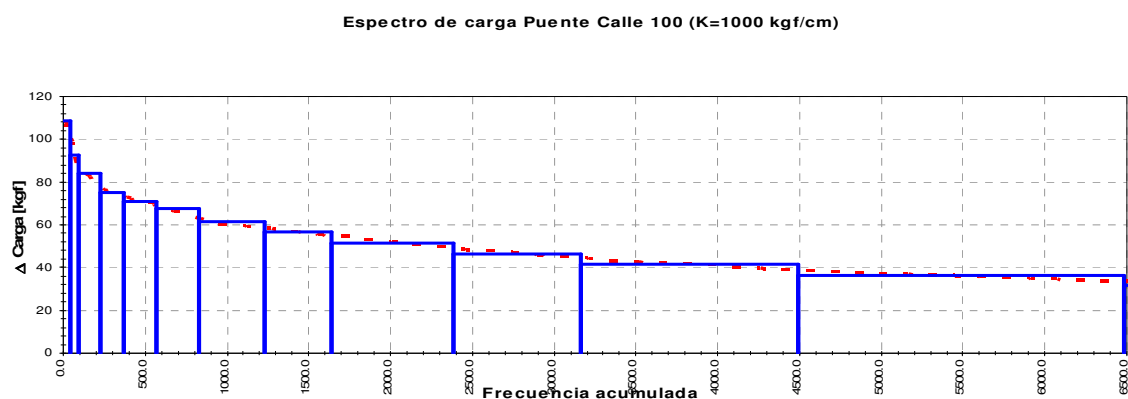


Figura 4-33 Espectro de carga Puente Calle 100

Finalmente y para efectos de análisis, diseño o ensayos de laboratorio se propone un espectro de carga simplificado basado en los resultados anteriores. La Figura 4-34 presenta los tres espectros de carga anteriores en una sola figura conjuntamente con el espectro de diseño definitivo propuesto para análisis y diseño y por otro lado la Figura 4-35 presenta el espectro de carga peatonal recomendado para un día de tránsito intenso. Este espectro debe utilizarse a nivel de cargas reales y para los análisis de fatiga, tanto a nivel de diagnóstico, como para efectos de diseño de nuevos elementos y para efectos de ensayos de laboratorio para estudio de fatiga con carga específica. Este espectro de cargas corresponde a estaciones y sitios de alto tránsito ya que se realizó con base en lecturas de las estaciones de mayor tránsito. En el espectro de diseño la carga se ha multiplicado por dos considerando que se aplicarían dos cargas simultáneas espaciadas a unos 30 cm.

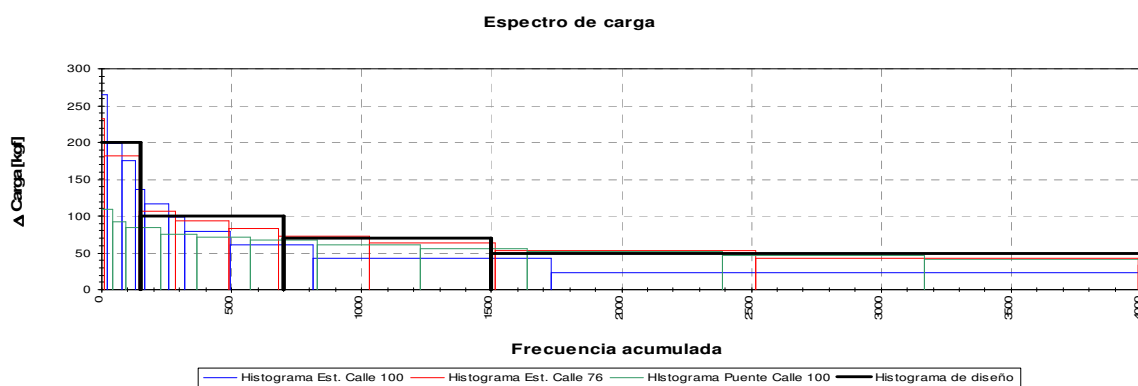


Figura 4-34 Espectros de carga para las dos estaciones, el puente y espectro de diseño.

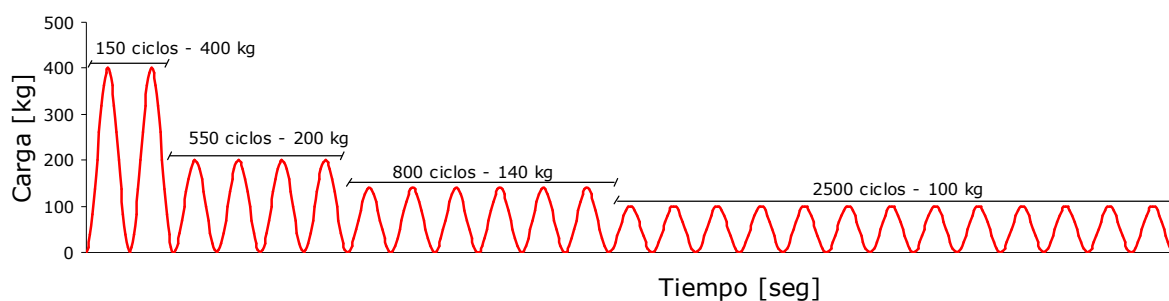


Figura 4-35 Espectro de carga peatonal de diseño para un (1) día de transito intenso

INSPECCIÓN TÉCNICA DE ESTACIONES Y PUENTES



TABLA DE CONTENIDO

5 Inspección Técnica de estaciones y puentes

5.1	Inventario de estaciones y puentes	5-1
5.2	Metodología	5-8
5.2.1	Formato A – Hoja No 1 Inspección y levantamiento	5-8
5.2.2	Formato A – Hoja No 2 Inspección y levantamiento.	5-17
5.2.3	Formato B – Inspección y levantamiento, Inventario de fotografías.	5-17
5.3	Procesamiento de la información recolectada	5-18
5.3.1	Información procesada para Estaciones	5-18
5.3.2	Información procesada para puentes	5-22
5.4	Correlación Edad - Tránsito - Daño	5-25
5.5	Análisis de patologías típicas	5-31
5.5.1	Pisos iniciales.....	5-31
5.5.2	Pisos actuales.....	5-37
5.5.3	Estudio Fractográfico de las fallas recientes.....	5-37
5.5.4	Propiedades de los materiales	5-44
5.5.5	Conclusiones.....	5-46

LISTA DE FIGURAS

Figura 5-1 Tipo de piso.....	5-8
Figura 5-2 Tipo de piso.....	5-9
Figura 5-3 Tipo de apoyo.....	5-9
Figura 5-4 Hundimiento permanente en láminas.....	5-11
Figura 5-5 Daños por grietas y fisuras en láminas.....	5-12
Figura 5-6 Levantamiento permanente en láminas.....	5-13
Figura 5-7 Anclajes desajustado.....	5-13
Figura 5-8 Generación de ruido por desajuste en apoyos.....	5-13
Figura 5-9 Pérdida de remaches y tornillos.....	5-14
Figura 5-10 Desgaste en láminas.....	5-14
Figura 5-11 Corrimientos de láminas.....	5-15
Figura 5-12 Daño en condición de apoyo.....	5-15
Figura 5-13 Daño en condición de apoyo.....	5-16
Figura 5-14 Pérdida de láminas.....	5-16
Figura 5-15 Perforaciones ocasionadas por agentes externos.....	5-16
Figura 5-16 Pérdida de láminas y daños ocasionados por golpes.....	5-17
Figura 5-17 Graficas de comparación de daños (Calle 80).....	5-18
Figura 5-18 Graficas de comparación de daños (Av. Las Americas).....	5-19
Figura 5-19 Graficas de comparación de daños (Autopista Norte).....	5-20
Figura 5-20 Graficas de comparación de daños (NQS).....	5-20
Figura 5-21 Graficas de comparación de daños (Av. Caracas).....	5-21
Figura 5-22 Graficas de comparación de daños en puentes.....	5-22
Figura 5-23 Graficas de comparación de daños en puentes.....	5-23

Figura 5-24 Graficas de comparación de daños en puentes	5-23
Figura 5-25 Graficas de comparación de daños en puentes	5-24
Figura 5-26 Graficas de correlación Edad-tránsito-daño (Calle 80).	5-26
Figura 5-27 Graficas de correlación Edad-tránsito-daño (Av. Las Américas).	5-27
Figura 5-28 Graficas de correlación Edad-tránsito-daño (Autopista Norte).	5-28
Figura 5-29 Graficas de correlación Edad-tránsito-daño (NQS).	5-28
Figura 5-30 Graficas de correlación Edad-tránsito-daño (Av. Caracas).	5-29
Figura 5-31 Perfil lehner utilizado inicialmente	5-31
Figura 5-32 Detalle de las fracturas presentadas en los perfiles perforados, 2002	5-31
Figura 5-33 Desgaste en la parte inferior de un perfil.....	5-32
Figura 5-34 Tornillos y arandelas usadas para sujetar los perfiles sobre las aletas superiores de las vigas que sostienen el conjunto del piso.....	5-32
Figura 5-35 Detalle de un punto de sujeción fallado	5-33
Figura 5-36 Fractura total de la aleta del perfil de aluminio donde está sujetado	5-33
Figura 5-37 Detalle del perfil extruído en aluminio por Lehner.....	5-33
Figura 5-38 Especificaciones del montaje de los pisos para Transmilenio según planos.	5-34
Figura 5-39 Corte seccional de la estructura de soporte para el piso de aluminio.	5-34
Figura 5-40 Vista en planta de la estructura para soportar el piso en un módulo.	5-35
Figura 5-41 Perfil de aluminio 6261 T6. Vista de la aleta inferior de apoyo donde se observan varios orificios debido a posibles re-trabajos.	5-38
Figura 5-42 Detalle del desgaste en la canal de conexión.....	5-38
Figura 5-43 Detalle de fractura generada por abrasión en el interior de la canal localizada sobre el punto de sujeción que falló.	5-39
Figura 5-44 Desgaste dentro de la canal del mismo perfil descrito arriba pero a mitad de distancia entre puntos de sujeción.	5-40
Figura 5-45 Detalle de una fractura por propagación de grietas durante el proceso de fatiga.....	5-40
Figura 5-46 Fractura total de la región de sujeción en la aleta de un perfil de Lehner bajo condiciones de campo.....	5-41
Figura 5-47 - Vista de la aleta de la lámina de Lehner descrita arriba.....	5-41

Figura 5-48 - Perfil de Alúmina.....	5-42
Figura 5-49 - Detalle de la falla presentada en prueba realizada sobre el perfil.....	5-43
Figura 5-50 Fractografía (x5) de la zona donde progresó la grieta del perfil fallado.	5-43
Figura 5-51 Fractografía de una parte de la zona fallada.	5-44
Figura 5-52 Resultados de las mediciones de dureza.....	5-45
Figura 5-53 Microfisuras en láminas reinstaladas.	5-48
Figura 5-54 Desgaste en apoyos en láminas reinstaladas.....	5-49
Figura 5-55 Desgaste en apoyos en láminas reinstaladas.....	5-49
Figura 5-56 Exceso de perforaciones en láminas reinstaladas.....	5-49

LISTA DE TABLAS

Tabla 5-1 Inventario de estaciones inspeccionadas	5-1
Tabla 5-2 Inventario de puentes inspeccionados	5-5
Tabla 5-3 Clasificación de los tipos de apoyo	5-10
Tabla 5-4 Códigos para definir los módulos en las estaciones.	5-10
Tabla 5-5 Códigos para definir los módulos en los puentes.	5-11

5.1 INVENTARIO DE ESTACIONES Y PUENTES

En la Tabla 5-1 y 5-2 se presenta el listado de las estaciones y puentes inspeccionados.

Tabla 5-1 Inventario de estaciones inspeccionadas

No	Estación	Corredor	Fecha de visita	Tipo de piso
1	Portal las Américas	Avenida de las Américas	Miércoles, 22 de Febrero de 2006	Concreto
2	Patio Bonito	Avenida de las Américas	Miércoles, 22 de Febrero de 2006	A-4
3	Biblioteca Tintal	Avenida de las Américas	Miércoles, 22 de Febrero de 2006	A-4
4	Transversal 86	Avenida de las Américas	Miércoles, 22 de Febrero de 2006	A-4
5	Banderas	Avenida de las Américas	Miércoles, 22 de Febrero de 2006	A-4
6	Mandalay	Avenida de las Américas	Miércoles, 22 de Febrero de 2006	A-4
7	Mundo Aventura	Avenida de las Américas	Miércoles, 22 de Febrero de 2006	A-4
8	Marsella	Avenida de las Américas	Miércoles, 22 de Febrero de 2006	A-4
9	Pradera	Avenida de las Américas	Jueves, 23 de Febrero de 2006	A-4
10	Américas Carrera 53 A	Avenida de las Américas	Jueves, 23 de Febrero de 2006	A-4
11	Puente Aranda	Avenida de las Américas	Jueves, 23 de Febrero de 2006	A-4
12	Carrera 43	Avenida de las Américas	Jueves, 23 de Febrero de 2006	A-4
13	Zona Industrial	Avenida de las Américas	Jueves, 23 de Febrero de 2006	A-4
14	CDs - Carrera. 32	Avenida de las Américas	Jueves, 23 de Febrero de 2006	A-4
15	Sans Facon - Carrera 22	Avenida de las Américas	Jueves, 23 de Febrero de 2006	A-4
16	De La Sabana	Avenida de las Américas	Jueves, 23 de Febrero de 2006	A-4
17	Las Aguas	Avenida de las Américas	Viernes, 24 de Febrero de 2006	A-4
18	Museo del Oro	Avenida de las Américas	Viernes, 24 de Febrero de 2006	A-4
19	General Santander	Avenida Ciudad de Quito	Viernes, 24 de Febrero de 2006	A-4
20	NQS - Calle 38 A sur	Avenida Ciudad de Quito	Viernes, 24 de Febrero de 2006	A-4
21	NQS - Calle 30 sur	Avenida Ciudad de Quito	Viernes, 24 de Febrero de 2006	A-4
22	SENA	Avenida Ciudad de Quito	Viernes, 24 de Febrero de 2006	A-4

Tabla 5-1 Inventario de estaciones inspeccionadas (Continuación)

No	Estación	Corredor	Fecha de visita	Tipo de piso
23	Santa Isabel	Avenida Ciudad de Quito	Viernes, 24 de Febrero de 2006	L-4
24	Comuneros	Avenida Ciudad de Quito	Viernes, 24 de Febrero de 2006	L-4
25	Ricaute	Avenida Ciudad de Quito	Viernes, 24 de Febrero de 2006	L-4
26	Paloquemao	Avenida Ciudad de Quito	Lunes, 27 de Febrero de 2006	L-4
27	CAD	Avenida Ciudad de Quito	Lunes, 27 de Febrero de 2006	L-4
28	Avenida el Dorado	Avenida Ciudad de Quito	Lunes, 27 de Febrero de 2006	L-4
29	Universidad Nacional	Avenida Ciudad de Quito	Lunes, 27 de Febrero de 2006	L-4
30	Campin	Avenida Ciudad de Quito	Lunes, 27 de Febrero de 2006	L-4
31	Coliseo	Avenida Ciudad de Quito	Martes, 28 de Febrero de 2006	L-4
32	Simón Bolívar	Avenida Ciudad de Quito	Martes, 28 de Febrero de 2006	A-4
33	Avenida Chile	Avenida Ciudad de Quito	Martes, 28 de Febrero de 2006	A-4
34	NQS - Calle 75	Avenida Ciudad de Quito	Martes, 28 de Febrero de 2006	A-4
35	La Castellana	Avenida Ciudad de Quito	Martes, 28 de Febrero de 2006	A-4
36	Profamilia	Av. Caracas	Miércoles, 01 de Marzo de 2006	L-1
37	Avenida 39	Av. Caracas	Miércoles, 01 de Marzo de 2006	L-3
38	Calle 45	Av. Caracas	Miércoles, 01 de Marzo de 2006	L-3
39	Marly	Av. Caracas	Jueves, 02 de Marzo de 2006	L-1
40	Calle 57	Av. Caracas	Jueves, 02 de Marzo de 2006	L-1
41	Calle 45	Av. Caracas	Lunes, 6 de Marzo	L-3
42	Calle 63	Av. Caracas	Lunes, 06 de Marzo de 2006	L-1
43	Flores	Av. Caracas	Lunes, 06 de Marzo de 2006	L-1
44	Calle 72	Av. Caracas	Lunes, 06 de Marzo de 2006	L-1
45	Calle 76	Av. Caracas	Lunes, 06 de Marzo de 2006	L-3
46	Héroes	Autopista Norte	Martes, 07 de Marzo de 2006	L-1
47	Calle 85	Autopista Norte	Martes, 07 de Marzo de 2006	L-1
48	Virrey	Autopista Norte	Martes, 07 de Marzo de 2006	L-1
49	Calle 100	Autopista Norte	Martes, 07 de Marzo de 2006	L-1

Tabla 5-1 Inventario de estaciones inspeccionadas (Continuación)

No	Estación	Corredor	Fecha de visita	Tipo de piso
50	Calle 106	Autopista Norte	Martes, 07 de Marzo de 2006	L-1
51	Pepe Sierra	Autopista Norte	Miércoles, 08 de Marzo de 2006	L-1
52	Calle 127	Autopista Norte	Miércoles, 08 de Marzo de 2006	L-1
53	Portal Tunal	Av. Caracas	Miércoles, 08 de Marzo de 2006	Concreto
54	Parque	Av. Caracas	Miércoles, 08 de Marzo de 2006	A-1
55	Biblioteca	Av. Caracas	Miércoles, 08 de Marzo de 2006	A-1
56	Portal Usme	Av. Caracas	Jueves, 09 de Marzo de 2006	A-1
57	Molinos	Av. Caracas	Jueves, 09 de Marzo de 2006	A-1
58	Consuelo	Av. Caracas	Jueves, 09 de Marzo de 2006	A-1
59	Socorro	Av. Caracas	Jueves, 09 de Marzo de 2006	A-1
60	Santa Lucía	Av. Caracas	Jueves, 09 de Marzo de 2006	A-1
61	Prado	Autopista Norte	Lunes, 13 de Marzo de 2006	A-1
62	Alcalá	Autopista Norte	Lunes, 13 de Marzo de 2006	A-1
63	Calle 142	Autopista Norte	Lunes, 13 de Marzo de 2006	A-1
64	Calle 146	Autopista Norte	Lunes, 13 de Marzo de 2006	A-1
65	Calle 40 sur	Av. Caracas	Lunes, 13 de Marzo de 2006	A-1
66	Quiroga	Av. Caracas	Lunes, 13 de Marzo de 2006	A-1
67	Olaya	Av. Caracas	Lunes, 13 de Marzo de 2006	A-1
68	Restrepo	Av. Caracas	Martes, 14 de Marzo de 2006	A-1
69	Avenida Jiménez	Av. Caracas	Martes, 14 de Marzo de 2006	A-1
70	Calle 19	Av. Caracas	Martes, 14 de Marzo de 2006	A-1
71	Calle 22	Av. Caracas	Martes, 14 de Marzo de 2006	L-1
72	Calle 26	Av. Caracas	Miércoles, 15 de Marzo de 2006	L-1
73	Fucha	Av. Caracas	Miércoles, 15 de Marzo de 2006	A-1
74	Nariño	Av. Caracas	Miércoles, 15 de Marzo de 2006	A-1
75	Hortúa	Av. Caracas	Miércoles, 15 de Marzo de 2006	A-1
76	Hospital	Av. Caracas	Jueves, 16 de Marzo de 2006	A-1
77	Tercer Milenio	Av. Caracas	Jueves, 16 de Marzo de 2006	A-1

Tabla 5-1 Inventario de estaciones inspeccionadas (Continuación)

No	Estación	Corredor	Fecha de visita	Tipo de piso
78	Mazurén	Autopista Norte	Jueves, 16 de Marzo de 2006	L-1
79	Cardio Infantil	Autopista Norte	Jueves, 16 de Marzo de 2006	L-1
80	Toberin	Autopista Norte	Jueves, 16 de Marzo de 2006	L-1
81	Portal del Norte	Autopista Norte	Jueves, 16 de Marzo de 2006	L-1
82	Quirigua	Avenida Calle 80	Viernes, 17 de Marzo de 2006	L-1
83	Carrera 90	Avenida Calle 80	Viernes, 17 de Marzo de 2006	L-1
84	Avenida Ciudad de Cali	Avenida Calle 80	Viernes, 17 de Marzo de 2006	L-1
85	Granja	Avenida Calle 80	Viernes, 17 de Marzo de 2006	L-1
86	Carrera 77	Avenida Calle 80	Viernes, 17 de Marzo de 2006	L-1
87	Minuto de Dios	Avenida Calle 80	Martes, 21 de Marzo de 2006	L-1
88	Boyacá	Avenida Calle 80	Martes, 21 de Marzo de 2006	L-1
89	Ferías	Avenida Calle 80	Martes, 21 de Marzo de 2006	L-1
90	Avenida 68	Avenida Calle 80	Martes, 21 de Marzo de 2006	L-1
91	Carrera 53	Avenida Calle 80	Martes, 21 de Marzo de 2006	L-1
92	Carrera 47	Avenida Calle 80	Martes, 21 de Marzo de 2006	L-1
93	Escuela Militar	Avenida Calle 80	Miércoles, 22 de Marzo de 2006	L-1
94	Polo	Avenida Calle 80	Miércoles, 22 de Marzo de 2006	L-1

Tabla 5-2 Inventario de puentes inspeccionados

No	Puente	Corredor	Fecha de visita	Tipo de piso
1	Av. Ciudad de Cali Portal Américas.	Av. Américas	Miércoles, 22 de Febrero de 2006	A-3
2	Av. de las Américas Av. Boyacá	Av. Américas	Miércoles, 22 de Febrero de 2006	A-3
3	Av. de las Américas por Carrera 52	Av. Américas	Miércoles, 22 de Febrero de 2006	A-3
4	Av. de las Américas por Carrera 60	Av. Américas	Miércoles, 22 de Febrero de 2006	A-3
5	Av. de las Américas por Carrera 67	Av. Américas	Miércoles, 22 de Febrero de 2006	A-3
6	Av. de las Américas por Carrera 69	Av. Américas	Miércoles, 22 de Febrero de 2006	A-3
7	Av. de las Américas por Carrera 74 A	Av. Américas	Jueves, 23 de Febrero de 2006	A-3
8	Av. de las Américas por Carrera 78	Av. Américas	Jueves, 23 de Febrero de 2006	A-3
9	Av. de las Américas por Carrera 86	Av. Américas	Jueves, 23 de Febrero de 2006	A-3
10	Av. Ciudad de Quito Calle 10	Av. Ciudad de Quito	Jueves, 23 de Febrero de 2006	A-3
11	Av. Ciudad de Quito Calle 17A	Av. Ciudad de Quito	Jueves, 23 de Febrero de 2006	A-3
12	Av. Ciudad de Quito Calle 22B	Av. Ciudad de Quito	Jueves, 23 de Febrero de 2006	A-3
13	Av. Ciudad de Quito Calle 24 (CAD)	Av. Ciudad de Quito	Viernes, 24 de Febrero de 2006	A-3
14	Av. Ciudad de Quito Calle 30 Sur	Av. Ciudad de Quito	Viernes, 24 de Febrero de 2006	A-3
15	Av. Ciudad de Quito Calle 46	Av. Ciudad de Quito	Viernes, 24 de Febrero de 2006	A-3
16	Av. Ciudad de Quito Calle 48	Av. Ciudad de Quito	Viernes, 24 de Febrero de 2006	A-3
17	Av. Ciudad de Quito Calle 54	Av. Ciudad de Quito	Viernes, 24 de Febrero de 2006	A-3
18	Av. Ciudad de Quito Calle 5A	Av. Ciudad de Quito	Viernes, 24 de Febrero de 2006	A-3
19	Av. Ciudad de Quito Calle 63J	Av. Ciudad de Quito	Lunes, 27 de Febrero de 2006	A-3
20	Av. Ciudad de Quito Calle 70	Av. Ciudad de Quito	Lunes, 27 de Febrero de 2006	A-3
21	Av. Ciudad de Quito Calle 72	Av. Ciudad de Quito	Lunes, 27 de Febrero de 2006	A-3
22	Av. Ciudad de Quito Calle 75A	Av. Ciudad de Quito	Lunes, 27 de Febrero de 2006	A-3
23	Av. Ciudad de Quito Calle 86	Av. Ciudad de Quito	Lunes, 27 de Febrero de 2006	A-3
24	Av. Ciudad de Quito Calle 8S	Av. Ciudad de Quito	Lunes, 27 de Febrero de 2006	A-3
25	Av. Ciudad de Quito Comuneros (occ)	Av. Ciudad de Quito	Lunes, 27 de Febrero de 2006	A-3
26	Av. Ciudad de Quito Comuneros (ori)	Av. Ciudad de Quito	Martes, 28 de Febrero de 2006	A-3
27	Av. Ciudad de Quito por Calle 24 (CAD)	Av. Ciudad de Quito	Martes, 28 de Febrero de 2006	A-3

Tabla 5-2 Inventario de puentes inspeccionados (Continuación)

No	Puente	Corredor	Fecha de visita	Tipo de piso
28	Av. Ciudad de Quito por Calle 74A	Av. Ciudad de Quito	martes, 28 de febrero de 2006	A-3
29	Av. Ciudad de Quito por Calle 8 Sur	Av. Ciudad de Quito	martes, 28 de febrero de 2006	A-3
30	Av. Ciudad de Quito por Calle 86	Av. Ciudad de Quito	martes, 28 de febrero de 2006	A-3
31	Autopista Sur Batallón Caldas (Occ)	Autopista Sur	martes, 28 de febrero de 2006	A-3
32	Autopista Sur Batallón Caldas (Ori)	Autopista Sur	martes, 28 de febrero de 2006	A-3
33	Autopista Sur Calle 128 B	Autopista Sur	miércoles, 01 de febrero de 2006	A-3
34	Autopista Sur Calle 30 Sur	Autopista Sur	miércoles, 01 de febrero de 2006	A-3
35	Autopista Sur Carrera 12-99 (Bosa)	Autopista Sur	miércoles, 01 de febrero de 2006	A-3
36	Autopista Sur Carrera 42	Autopista Sur	miércoles, 01 de febrero de 2006	A-3
37	Autopista Sur Carrera 49C	Autopista Sur	miércoles, 01 de febrero de 2006	A-3
38	Autopista Sur Carrera 54	Autopista Sur	miércoles, 01 de febrero de 2006	A-3
39	Carrera 62 (Bogotá) 10A (Bosa)	Autopista Sur	jueves, 02 de marzo de 2006	A-3
40	Autopista Sur Carrera 67G	Autopista Sur	jueves, 02 de marzo de 2006	A-3
41	Autopista Sur Carrera 76	Autopista Sur	jueves, 02 de marzo de 2006	A-3
42	Autopista Sur Carrera 86	Autopista Sur	jueves, 02 de marzo de 2006	A-3
43	Autopista Sur Diagonal 39 Sur	Autopista Sur	jueves, 02 de marzo de 2006	A-3
44	Autopista Sur por Calle 13	Autopista Sur	jueves, 02 de marzo de 2006	A-3
45	Autopista Sur por Calle 62	Autopista Sur	jueves, 02 de marzo de 2006	A-3
46	Autopista Norte Calle 90	Autopista Norte	lunes, 06 de marzo de 2006	A-3
47	Autopista Norte Calle 99 (97)	Autopista Norte	lunes, 06 de marzo de 2006	A-3
48	Autopista Norte Calle 161	Autopista Norte	lunes, 06 de marzo de 2006	A-3
49	Autopista Norte por Calle 105	Autopista Norte	lunes, 06 de marzo de 2006	A-3
50	Autopista Norte por Calle 116	Autopista Norte	lunes, 06 de marzo de 2006	A-3
51	Autopista Norte por Calle 122	Autopista Norte	martes, 07 de marzo de 2006	A-3
52	Autopista Norte por Calle 125	Autopista Norte	martes, 07 de marzo de 2006	A-3
53	Autopista Norte por Calle 128 B	Autopista Norte	martes, 07 de marzo de 2006	A-3
54	Autopista Norte por Calle 137	Autopista Norte	martes, 07 de marzo de 2006	A-3
55	Autopista Norte por Calle 161	Autopista Norte	martes, 07 de marzo de 2006	A-3
56	Autopista Norte Calle 166	Autopista Norte	miércoles, 08 de marzo de 2006	A-3

Tabla 5-2 Inventario de puentes inspeccionados (Continuación)

No	Puente	Corredor	Fecha de visita	Tipo de piso
57	Autopista Norte por Calle 173	Autopista Norte	miércoles, 08 de marzo de 2006	A-3
58	Autopista Norte por Calle 193	Autopista Norte	miércoles, 08 de marzo de 2006	A-3
59	Autopista Norte por Calle 200	Autopista Norte	miércoles, 08 de marzo de 2006	A-3
60	Av. Calle 80 Carrera 110	Av. Calle 80	miércoles, 08 de marzo de 2006	A-3
61	Av. Calle 80 Carrera 27	Av. Calle 80	jueves, 09 de marzo de 2006	A-3
62	Av. Calle 80 Carrera 39	Av. Calle 80	jueves, 09 de marzo de 2006	A-3
63	Av. Calle 80 Carrera 53	Av. Calle 80	jueves, 09 de marzo de 2006	A-3
64	Av. Calle 80 Carrera 60	Av. Calle 80	jueves, 09 de marzo de 2006	A-3
65	Av. Calle 80 Carrera 63	Av. Calle 80	jueves, 09 de marzo de 2006	A-3
66	Av. Calle 80 Carrera 69B	Av. Calle 80	viernes, 10 de marzo de 2006	A-3
67	Av. Calle 80 Carrera 74 A	Av. Calle 80	viernes, 10 de marzo de 2006	A-3
68	Av. Calle 80 Carrera 77	Av. Calle 80	lunes, 13 de marzo de 2006	A-3
69	Av. Calle 80 Carrera 86	Av. Calle 80	lunes, 13 de marzo de 2006	A-3
70	Av. Calle 80 Carrera 90	Av. Calle 80	lunes, 13 de marzo de 2006	A-3
71	Av. Calle 80 Carrera 94	Av. Calle 80	lunes, 13 de marzo de 2006	A-3
72	Av. Calle 80 Carrera 96	Av. Calle 80	miércoles, 15 de marzo de 2006	A-3
73	Av. Calle 80 por Carrera 67	Av. Calle 80	miércoles, 15 de marzo de 2006	A-3
74	Av. 68 por Américas	Av. 68	miércoles, 15 de marzo de 2006	A-3
75	Av. 68 por Calle 22 A	Av. 68	miércoles, 15 de marzo de 2006	A-3
76	Av. 68 por Calle 63	Av. 68	jueves, 16 de marzo de 2006	A-3
77	Av. 68 por Calle 68	Av. 68	jueves, 16 de marzo de 2006	A-3
78	Av. 68 por Calle 75	Av. 68	jueves, 16 de marzo de 2006	A-3
79	Av. 68 por Calle 77	Av. 68	jueves, 16 de marzo de 2006	A-3

5.2 METODOLOGÍA

Para la realización de las visitas de inspección se desarrollaron tres formatos con el fin de facilitar y aclarar el procedimiento a realizarse. Los formatos empleados son los siguientes:

- a) Formato A – Hoja 1 Inspección y levantamiento.
- b) Formato A – Hoja 2 Inspección y levantamiento.
- c) Formato B – Inspección y levantamiento, Inventario de fotografías.

5.2.1 Formato A – Hoja No 1 Inspección y levantamiento

Este formato tiene por objeto identificar las zonas de daño y detallar cada uno de los daños observados en dicha zona. A continuación se explican cada uno de los parámetros que conforman el formato:

- a) ID: Código de identificación de la estación suministrado por transmilenio.
- b) Localización: en esta casilla se registra la dirección en la cual se encuentra localizada la estación o puente inspeccionado.
- c) Tipo de piso: en esta casilla se registra el código del tipo de piso dependiendo de la clasificación realizada teniendo en cuenta la sección transversal y el proveedor de piso (Alumina o Lehner). En esta casilla no se tiene en cuenta si el piso instalado posee o no troquelado. En las Figuras 5-1 y 5-2 se presentan detalles de los tipos de piso encontrados.



Figura 5-1 Tipo de piso.



Figura 5-2 Tipo de piso.

- d) Tipo de apoyo: de acuerdo a la clasificación preliminar de la información suministrada para el estudio se observaron diferentes tipos de perfiles de apoyo para las láminas de aluminio en la Tabla 5-3 se presentan los códigos para cada uno de los tipos de apoyo encontrados. En la Figura 5-3 se presentan detalles de los tipos de apoyos encontrados.



Figura 5-3 Tipo de apoyo.

Tabla 5-3 Clasificación de los tipos de apoyo

TIPOS DE APOYO	
IR	Perfil I con remache
IT	Perfil I con tornillo auto perforante
CR	Perfil C con remache
CT	Perfil C con Tornillo auto perforante
LR	Perfil L con remache
LT	Perfil L con Tornillo auto perforante
TR	Perfil tubular con remache
TT	Perfil tubular con tornillo auto perforante

- e) Fecha: en esta casilla se registra la fecha de realización de la visita de inspección.
- f) Zona: corresponde a un número consecutivo asignado a cada una de las zonas de daño encontradas en la estructura analizada.
- g) Cant: corresponde al número de láminas con daños dentro de la zona.
- h) Loc: de acuerdo a la distribución arquitectónica de la estación o puente se definieron secciones a las cuales se les asignaron códigos para clasificar y ubicar de manera global cada una de las zonas de daño dentro de la estructura. Los códigos asignados y su correspondiente significado se presenta en la Tabla 5-4.

Tabla 5-4 Códigos para definir los módulos en las estaciones.

MÓDULOS EN ESTACIONES	
ERA	Rampa de acceso estación en Aluminio
EVA	Vagón estación en Aluminio
EPA	Pasillo estación en aluminio
ERC	Rampa de acceso estación en concreto
EVC	Vagón estación en Concreto
EPC	Pasillo estación en Concreto

Tabla 5-5 Códigos para definir los módulos en los puentes.

ZONAS EN PUENTES	
PRA	Rampa de acceso a puente en Aluminio
PTA	Tablero de puente en Aluminio
PEA	Escaleras de acceso a puente en aluminio
PRC	Rampa de acceso a puente en concreto
PTC	Tablero de puente en concreto
PEC	Escaleras de acceso a puente en concreto

- i) Hundimiento elástico: este daño se hace evidente al pisar la lámina, se observa un hundimiento de la lámina durante la aplicación de la carga y recuperación de la misma al quitarle la carga. El origen de este daño puede ser un desgaste en el sector de contacto del apoyo de la lámina con el perfil. En algunos casos y especialmente en láminas con troquelados se observa un hundimiento permanente en la zona del troquelado. En el formato se registra el número de láminas con este tipo de daño dentro de la zona analizada y el valor en mm del daño observado. En la Figura 5-4 se presentan detalles de los hundimientos encontrados.

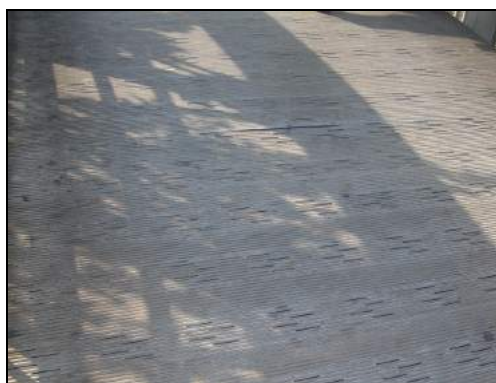


Figura 5-4 Hundimiento permanente en láminas

- j) Grietas: este daño se puede observar en las láminas que presentan troquelado principalmente. Es causado por la concentración de esfuerzos en la zona de las ranuras del troquelado. En el formato se registra el número de láminas con este tipo de daño dentro de la zona analizada y el valor en mm del daño observado. En la Figura 5-5 se presentan detalles de las fisuras y grietas encontrados.

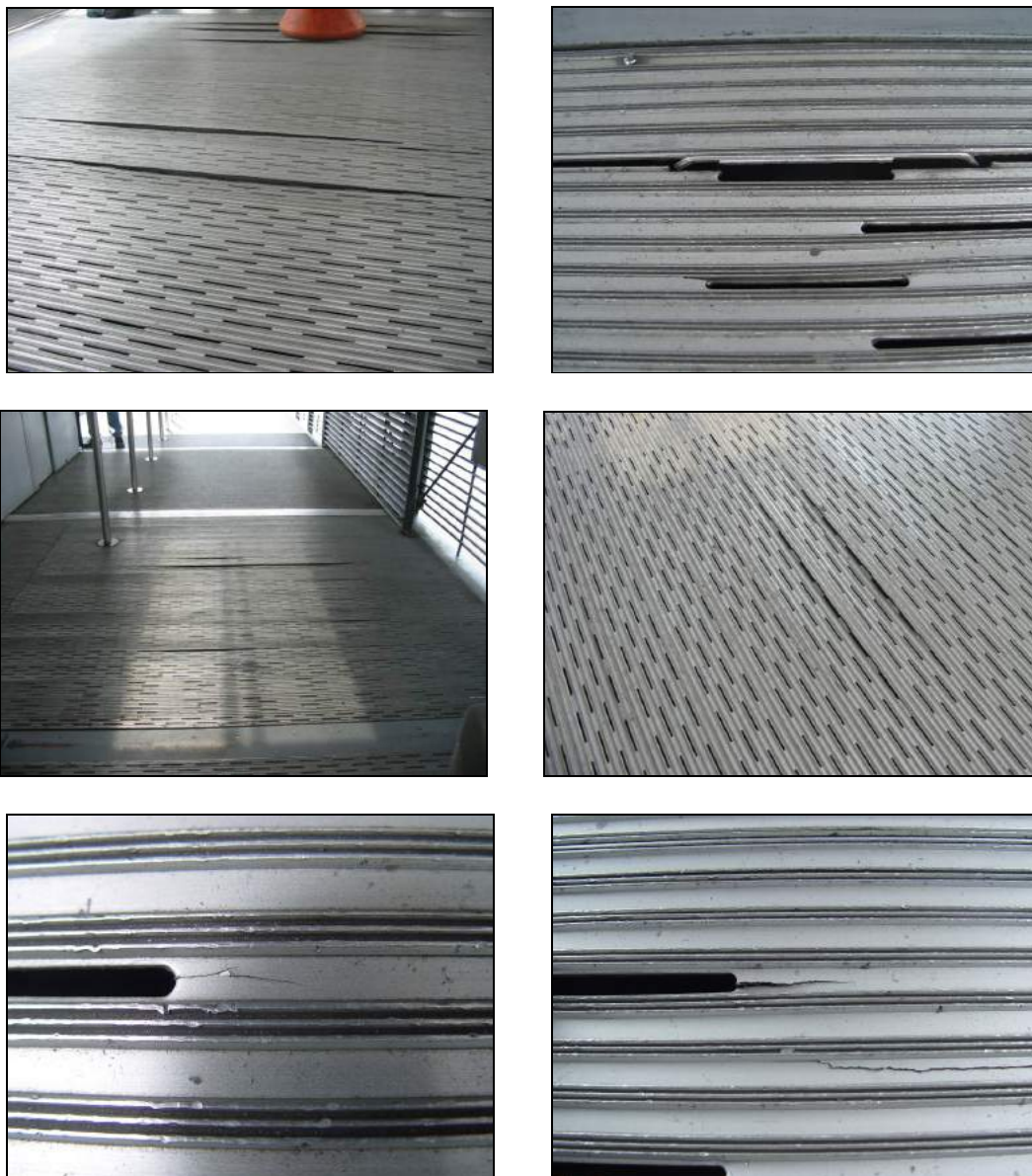


Figura 5-5 Daños por grietas y fisuras en láminas.

- k) Levantamiento permanente: este tipo de daño se observa principalmente en las láminas de inicio de cada uno de los tramos. En el formato se registra el número de láminas con este tipo de daño dentro de la zona analizada y el valor en mm del daño observado. En la Figura 5-6 se presentan detalles de los levantamientos encontrados.

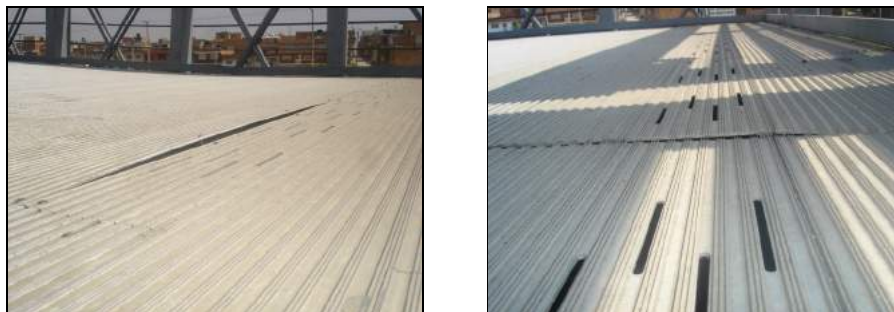


Figura 5-6 Levantamiento permanente en láminas.

- l) Anclaje desajustado: este tipo de daño se observa al pisar la lámina ya que origina un golpeteo con el perfil de apoyo, en algunos casos esta relacionado con el levantamiento permanente o el hundimiento elástico. En el formato se registra el número de láminas con este tipo de daño dentro de la zona analizada. En la Figura 5-7 se presentan detalles de los desajustes en anclajes encontrados.



Figura 5-7 Anclajes desajustado.

- m) Ruido excesivo: en esta casilla se registra si la zona analizada presenta niveles de ruido que representen incomodidad. Es calificado de manera cualitativa.



Figura 5-8 Generación de ruido por desajuste en apoyos.

- n) Pérdida de remache: este tipo de daño se observa al inicio y al final de cada uno de los tramos. Se registra la pérdida de remaches en la parte superior de la lámina. En el formato se registra el número de láminas con este tipo de daño dentro de la zona y el número de remaches ausentes. En la Figura 5-9 se presentan detalles de las pérdidas de remaches.



Figura 5-9 Pérdida de remaches y tornillos.

- o) Desgaste: este tipo de daño se observa principalmente en la zona de las registradoras en estaciones, en las escaleras de acceso y al inicio de las rampas en los puentes. En el formato se registra el número de láminas con este tipo de daño dentro de la zona y el valor en porcentaje aproximado de la pérdida de material. En la Figura 5-10 se presentan detalles de los desgastes encontrados.

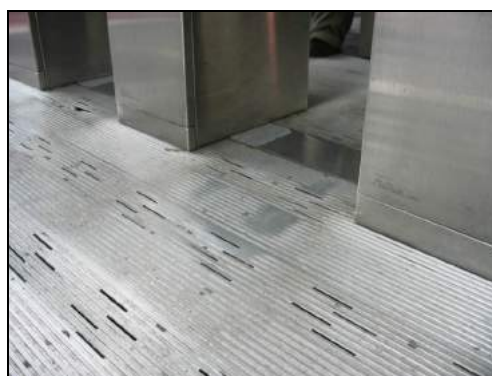


Figura 5-10 Desgaste en láminas.

- p) Corrimiento: este tipo de daño está relacionado con defectos constructivos. En la Figura 5-11 se presentan detalles de los defectos constructivos encontrados.



Figura 5-11 Corrimientos de láminas.

- q) Óxido/ corrosión: este tipo de daño aplica principalmente a los elementos de la estructura de soporte de la lámina y en muy pocos casos a las láminas de aluminio. En el formato se registra el número de láminas con este tipo de daño dentro de la zona y el valor en porcentaje aproximado del elemento con óxido o corrosión.
- r) Daño en la condición de apoyo: este tipo de daño se observa principalmente en las láminas de aluminio sin troquelado ya que en las láminas con troquelado presentan daños por agrietamiento en las ranuras antes de presentar un daño excesivo en la condición de apoyo. Este daño se observa al pisar las láminas ya que genera un golpeteo con el perfil de apoyo. Durante las visitas de inspección realizadas a las estaciones a las cuales se les estaba realizando mantenimiento se pudo verificar este tipo de daño. En el formato se registra si existe o no este tipo de daño. En la Figura 5-12 se presentan detalles de los daños en los apoyos encontrados.



Figura 5-12 Daño en condición de apoyo.



Figura 5-13 Daño en condición de apoyo

- s) Otros: en esta casilla se registra cualquier otro tipo de daño o anomalía observada durante la visita de inspección, tales como pérdida de láminas, perforaciones o hundimientos ocasionados por agentes externos, etc. En la Figura 5-14, 5-15 y 5-16 se presentan detalles de otros tipos de daño encontrados.



Figura 5-14 Pérdida de láminas

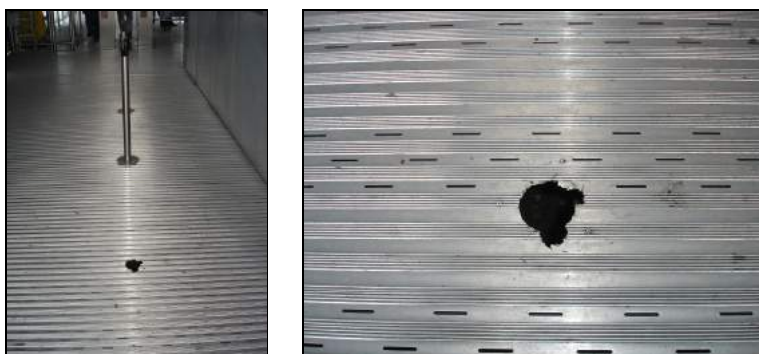


Figura 5-15 Perforaciones ocasionadas por agentes externos

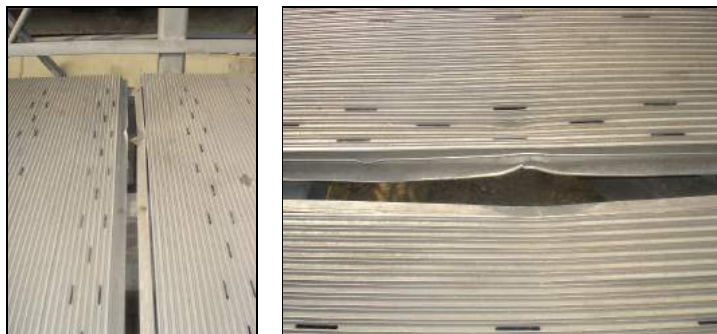


Figura 5-16 Pérdida de láminas y daños ocasionados por golpes.

- t) Calificación General: en esta casilla se da una calificación de 1 a 5 del estado de la estación observado durante la visita de inspección. El valor de 1 indica una estación en buen estado y un valor de 5 indica que la estación se encuentra en mal estado.

5.2.2 Formato A – Hoja No 2 Inspección y levantamiento.

En este formato se realiza un esquema de cada uno de los elementos inspeccionados (Estación o puente), demarcando las zonas y definiendo cuales de ellas presentan daños o patologías. Este formato es un complemento del Formato A, patología estructural.

5.2.3 Formato B – Inspección y levantamiento, Inventario de fotografías.

En este formato se registran las fotografías tomadas durante la visita de inspección. Un esquema de cada uno de los elementos inspeccionados (Estación o puente), demarcando las zonas y definiendo cuales de ellas presentan daños. Este formato es un complemento del Formato A, patología estructural. A continuación se explican cada uno de los parámetros que conforman el formato:

- a) Zona: en esta casilla se registra la zona a la cual corresponde la fotografía.
- b) Foto No: en esta casilla se registra el número consecutivo de la fotografía para cada una de las estaciones.
- c) Hundimiento, grietas, levantamiento, anclaje, desgaste, corrimiento, óxido/corrosión, daño en apoyo: en estas casillas se registra el tipo de daño al cual corresponde la fotografía.
- d) Observaciones: en esta casilla se hace una breve descripción de la fotografía.

En el Anexo 11-4 se presentan los formatos de inspección.

5.3 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN RECOLECTADA

5.3.1 Información procesada para Estaciones

Para cada una de las estaciones se realizó el levantamiento del número de módulos de 2.4 m que la conformaban, el tipo de lámina de piso que se encontraba instalada en cada una de ellas y el inventario general de daños. Con esta información se calculó el número total de láminas instaladas y el total de láminas con cada uno de los tipos de daño en cada una de las estaciones. Estos datos se graficaron con el fin de compararlos y evaluar el estado de cada una de las estaciones. A continuación se presentan las gráficas de los resultados obtenidos.

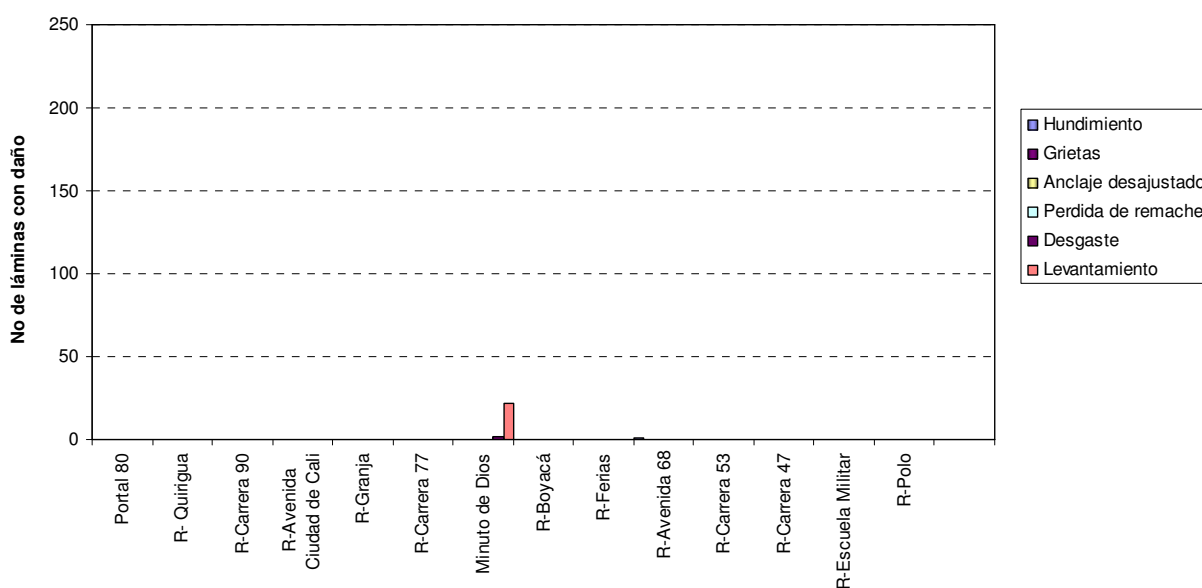


Figura 5-17 Gráficas de comparación de daños (Calle 80)

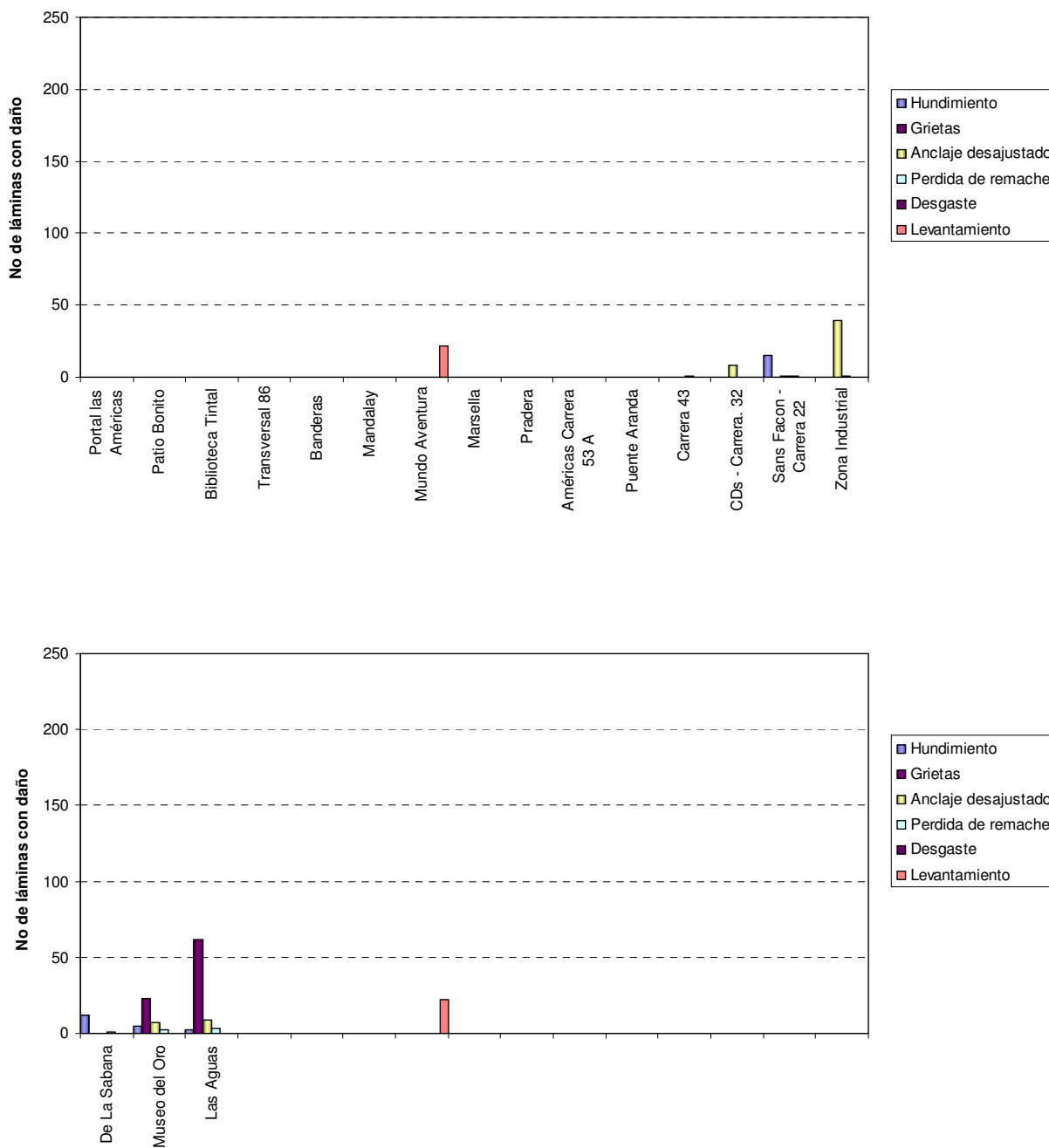


Figura 5-18 Gráficas de comparación de daños (Av. Las Américas)

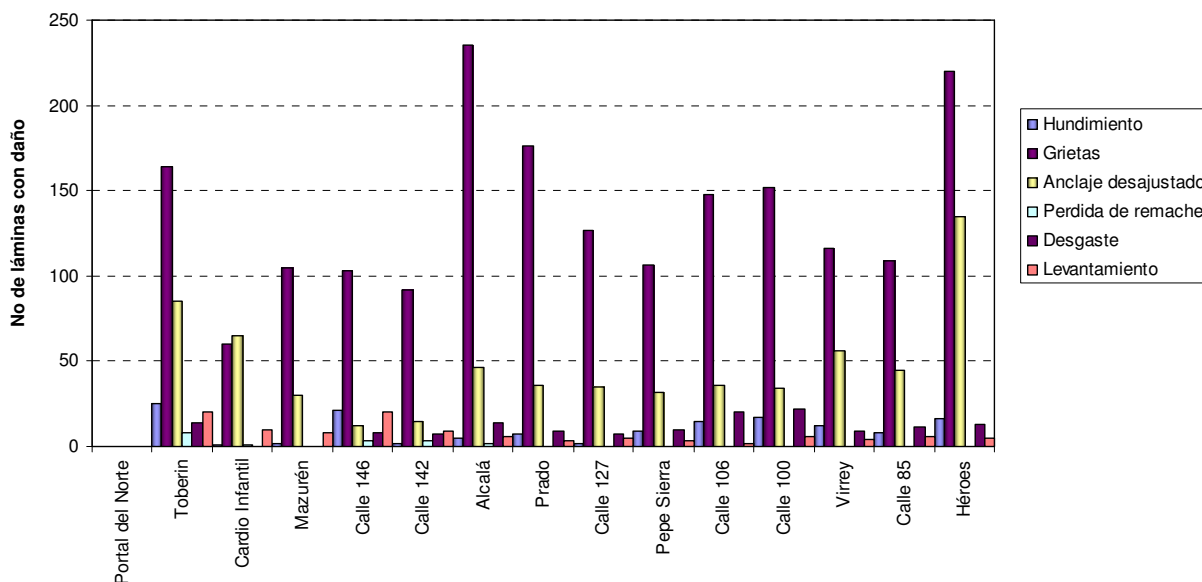


Figura 5-19 Gráficas de comparación de daños (Autopista Norte)

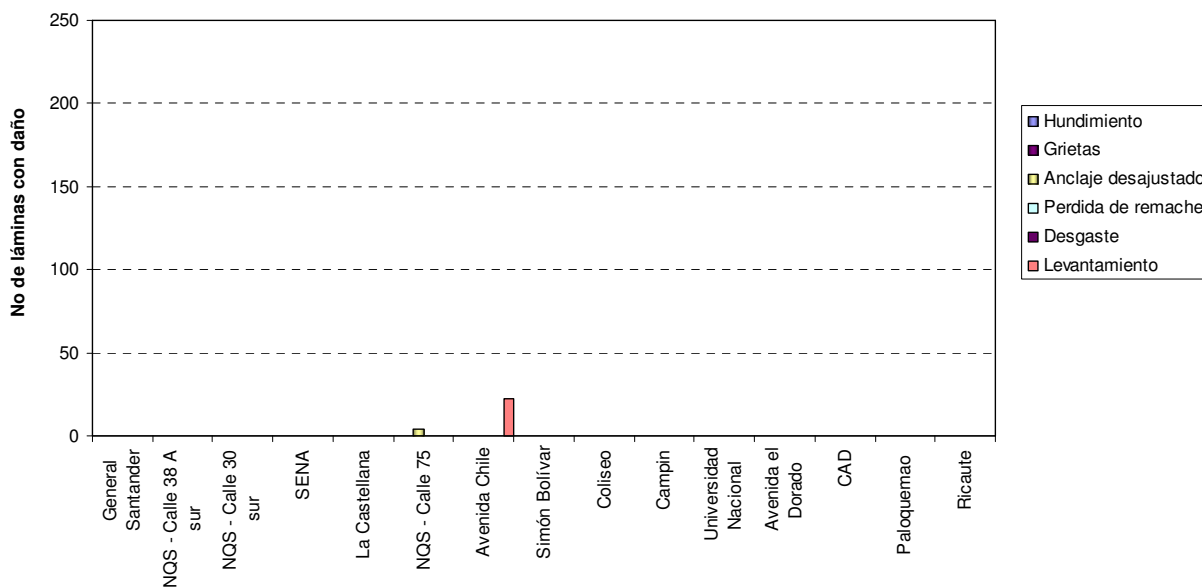


Figura 5-20 Gráficas de comparación de daños (NQS)

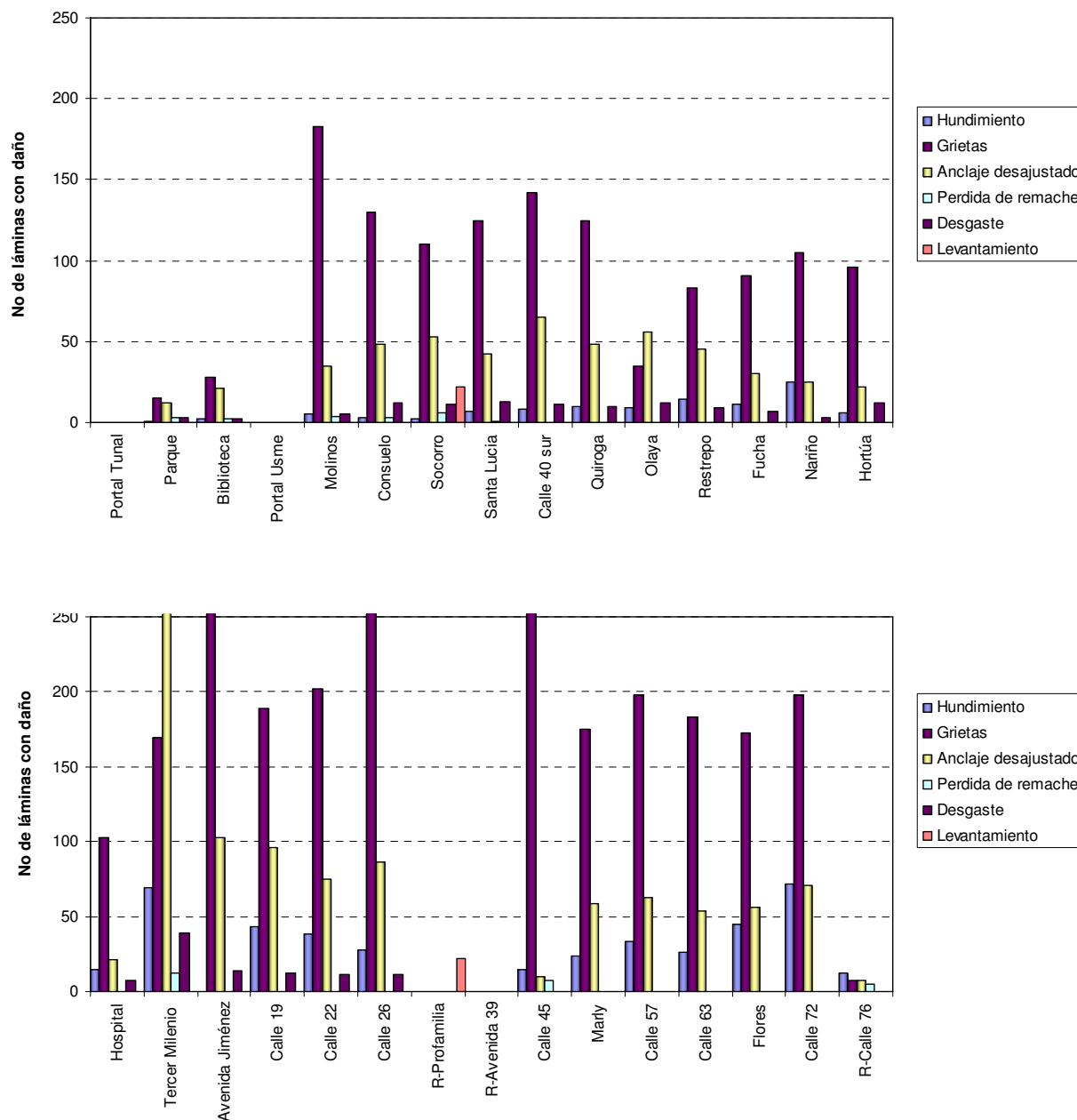


Figura 5-21 Graficas de comparación de daños (Av. Caracas)

En las graficas se puede observar que los daños predominante en las estaciones es la fisuración y agrietamiento de las láminas seguida de los daños en los apoyos. De igual manera se observa que las estaciones con más tipología de daño son las localizadas sobre la Troncal Caracas.

5.3.2 Información procesada para puentes

Para cada una de los puentes se realizó el levantamiento del número de láminas que lo conformaban, el tipo de lámina de piso que se encontraba instalada en cada uno de ellos y el inventario general de daños. Con esta información se calculó el número total de láminas con cada uno de los tipos de daño. Estos datos se graficaron con el fin de compararlos y evaluar el estado de cada uno de los puentes. A continuación se presentan las graficas de los resultados obtenidos:

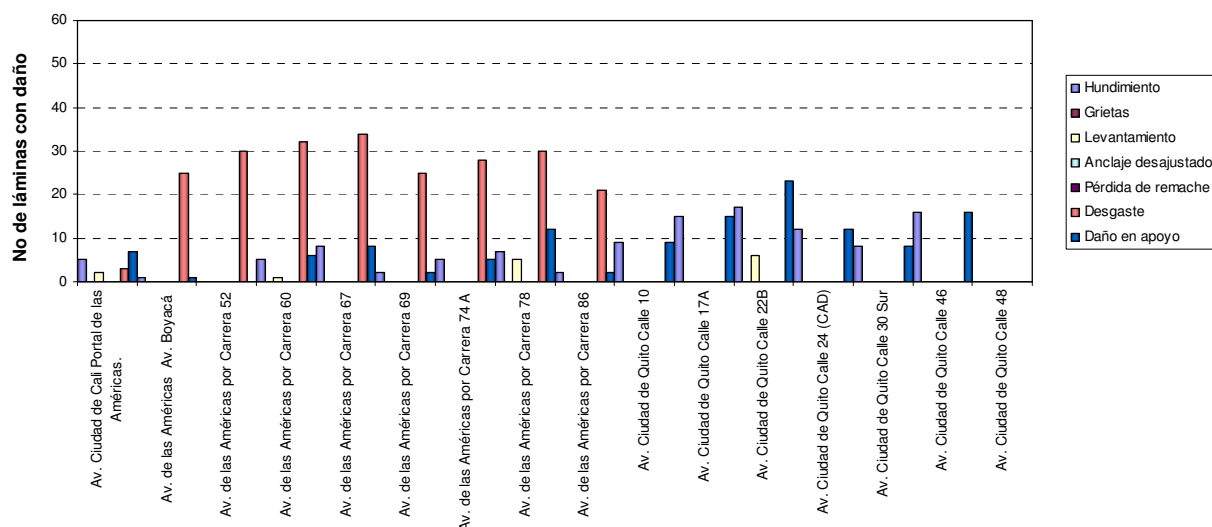


Figura 5-22 Graficas de comparación de daños en puentes



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

ALCALDÍA MAYOR - IDU
Instituto de Desarrollo Urbano

CIMOC
Centro de Investigación en
Materiales y Obras Civiles

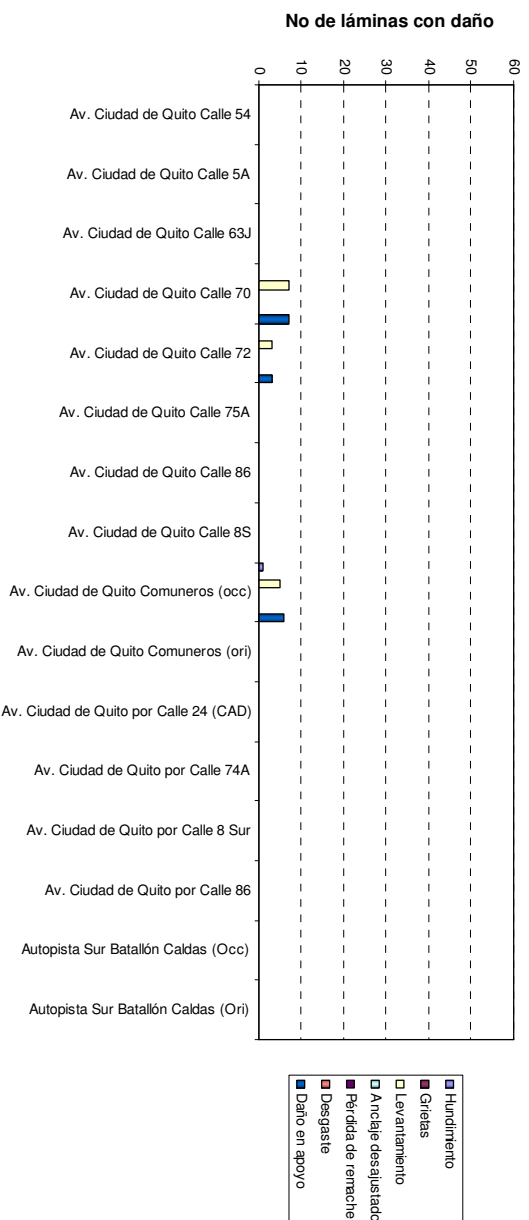


Figura 5-23 Gráficas de comparación de daños en puentes

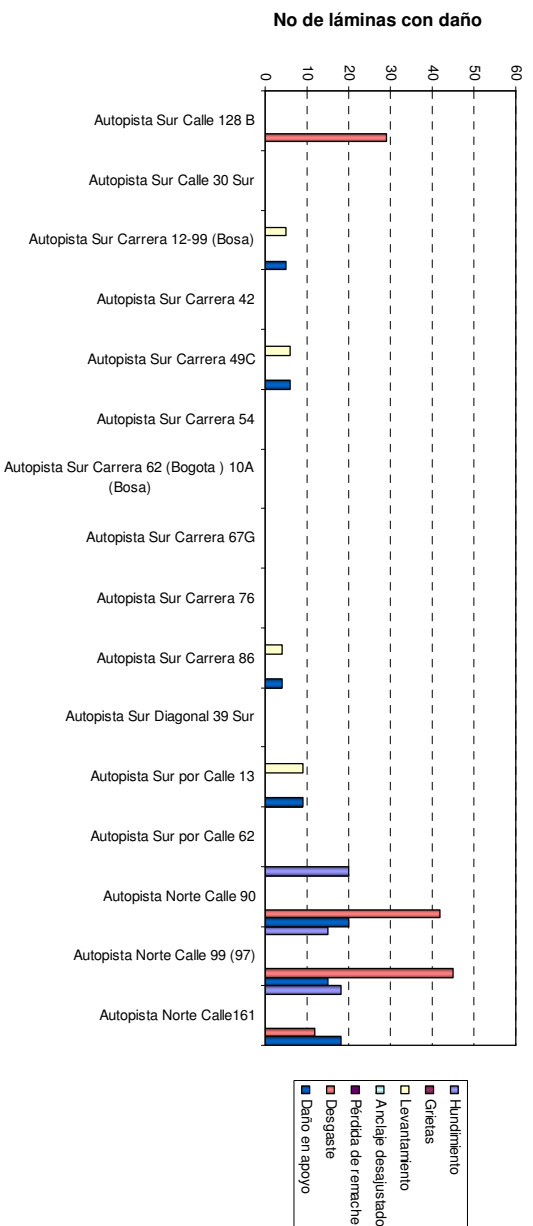


Figura 5-24 Gráficas de comparación de daños en puentes

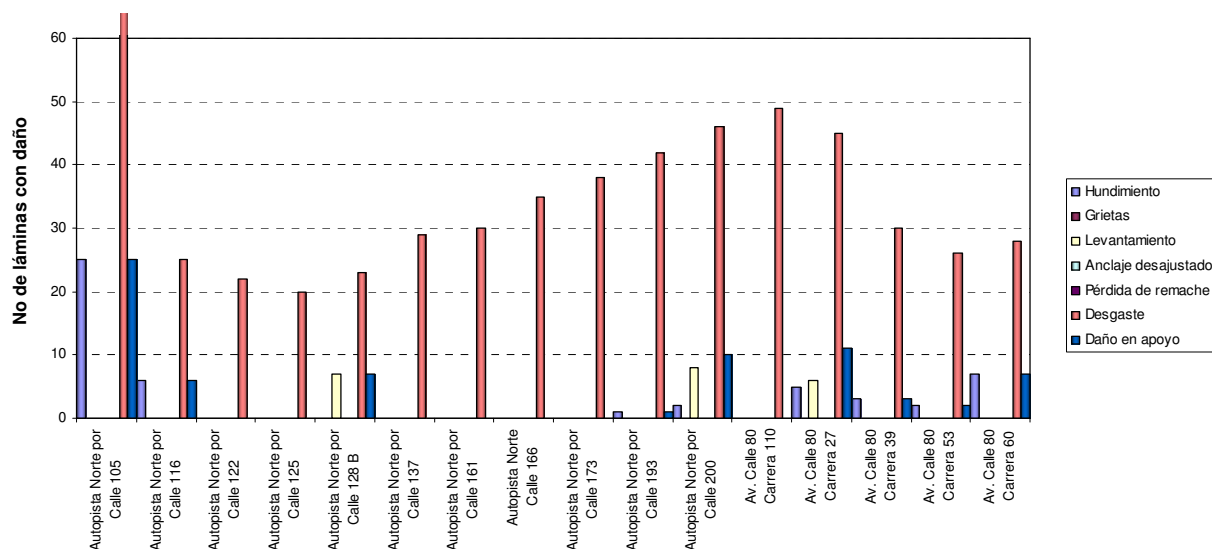


Figura 5-25 Graficas de comparación de daños en puentes

En general en los puentes inspeccionados el daño tipo encontrado fue desgaste, definido en la zona de entrada a las escaleras, inicio de rampas de acceso en la parte inicial y central del tablero. También se observaron defectos de tipo constructivo.

5.4 CORRELACIÓN EDAD - TRÁNSITO - DAÑO

Para cada una de las estaciones se realizó el levantamiento del número de módulos de 2.4 m que la conformaban, el tipo de lámina de piso que se encontraba instalada en cada una de ellas y el inventario general de daños. Con esta información se calculó el número total de láminas instaladas y el total de láminas con daño en cada una de las estaciones. Adicionalmente Transmilenio S.A. suministró para cada una de las estaciones la fecha de apertura y estudios de tránsito realizados desde el día de puesta en servicio de las mismas.

Con el fin de realizar gráficos de correlación de edad-tránsito-daño se propone el cálculo de una serie de índices relacionados con el daño y el tránsito. A continuación se explica la forma de cálculo de cada uno de ellos:

- Índice de edad (I_e):

$$I_e = \frac{E_2}{E_1}$$

E_1 = Días en servicio de la estación más antigua

E_2 = Días en servicio de la estación en consideración.

- Índice de tránsito (I_t):

$$I_t = \frac{T_2}{T_1}$$

T_1 = Número de personas por día de la estación con mas tránsito

T_2 = Número de personas por día de la estación

- Índice de daño (I_d):

$$I_d = \frac{N_{ld}}{N_{tl}}$$

N_{ld} = Número total de láminas con daño.

N_{tl} = Número total de láminas instaladas.

Con estos índices se realizaron las graficas de edad-tránsito-daño con el fin de observar y correlacionar para cada una de las estaciones el nivel de daño con la edad y el tránsito al cual están sometidas. De la Figura 5-26 a la Figura 5-30 se presentan los resultados obtenidos.

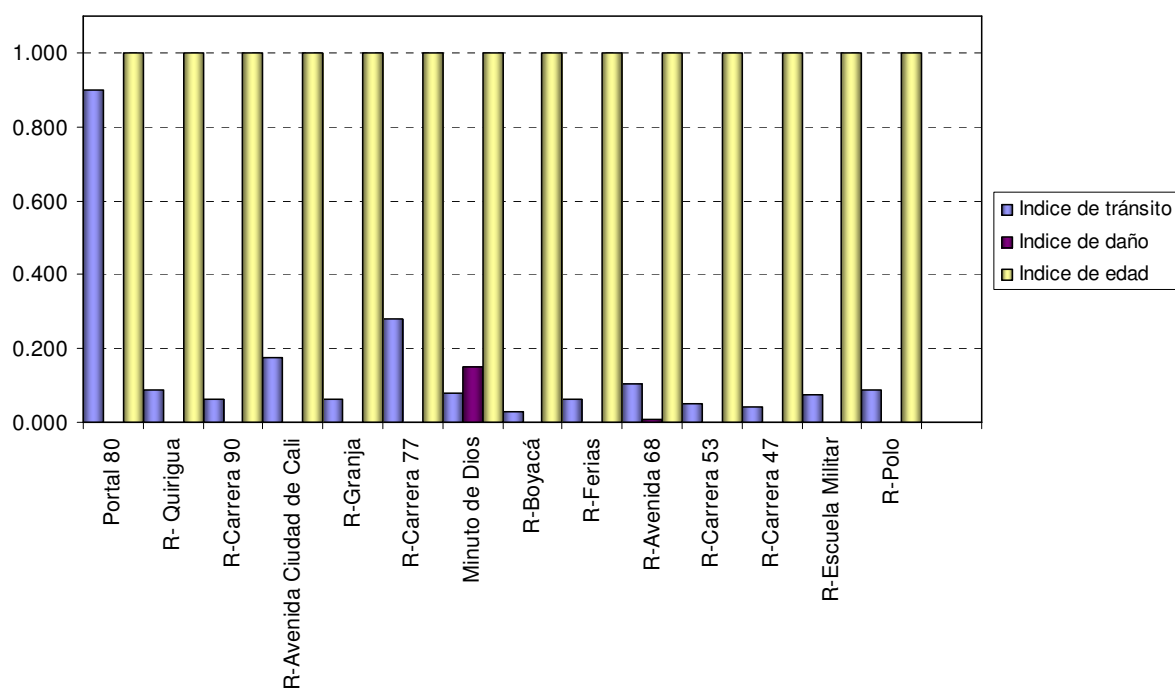


Figura 5-26 Graficas de correlación Edad-tránsito-daño (Calle 80).

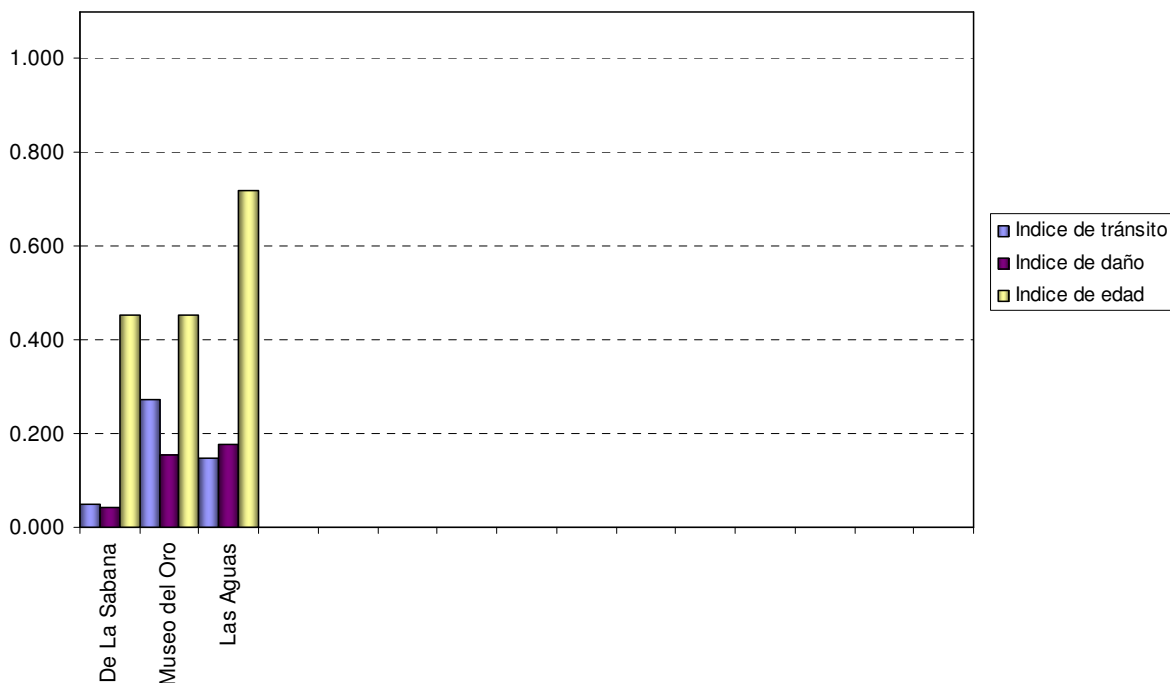
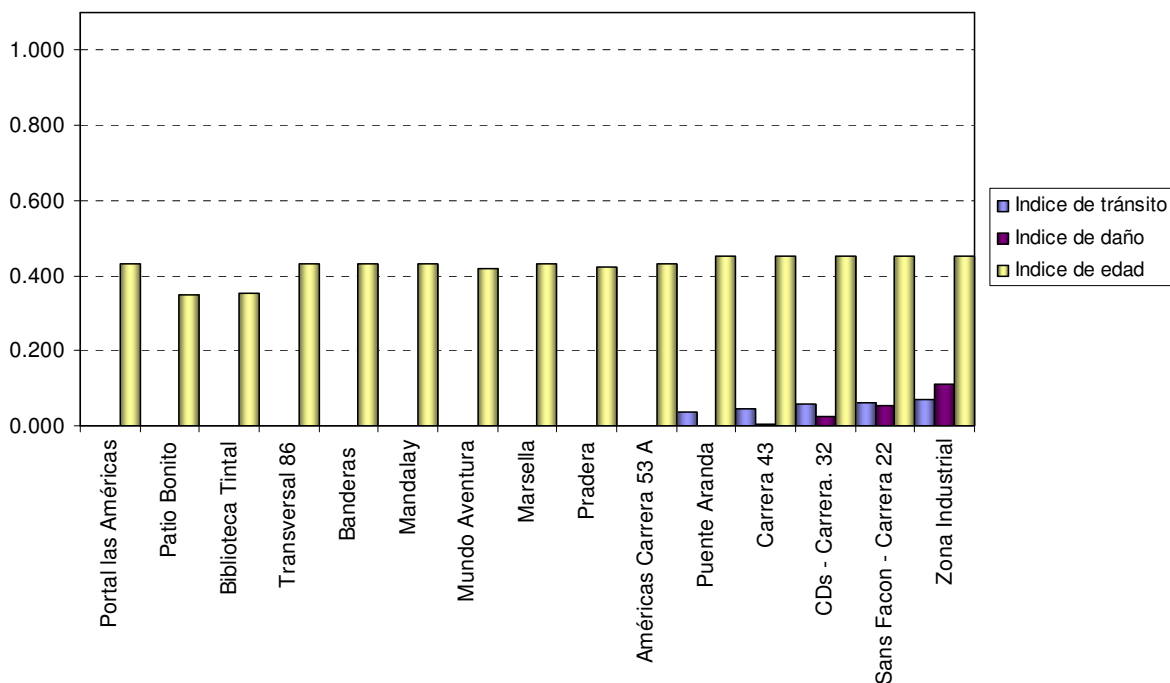


Figura 5-27 Gráficas de correlación Edad-tránsito-daño (Av. Las Américas).

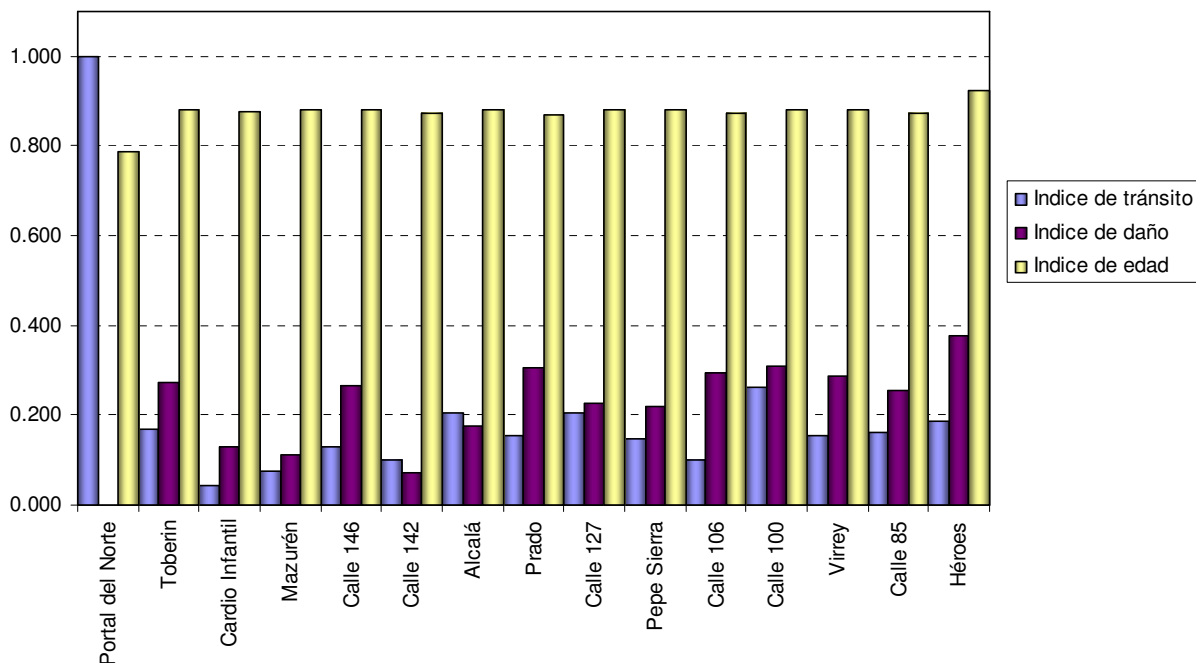


Figura 5-28 Graficas de correlación Edad-tránsito-daño (Autopista Norte).

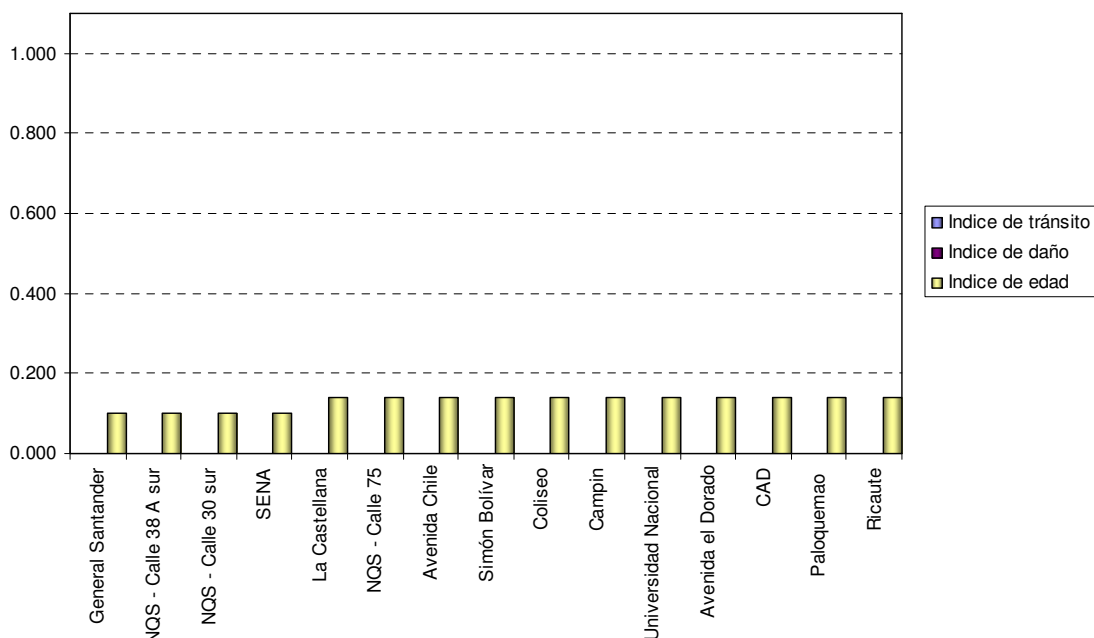


Figura 5-29 Graficas de correlación Edad-tránsito-daño (NQS).

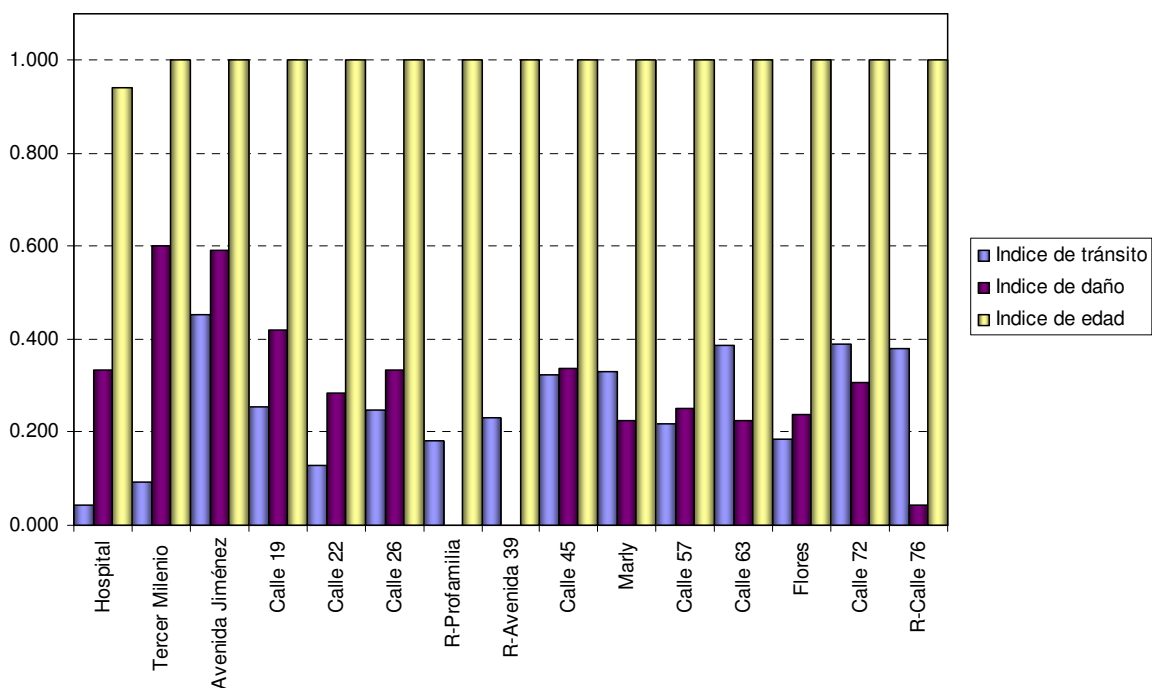
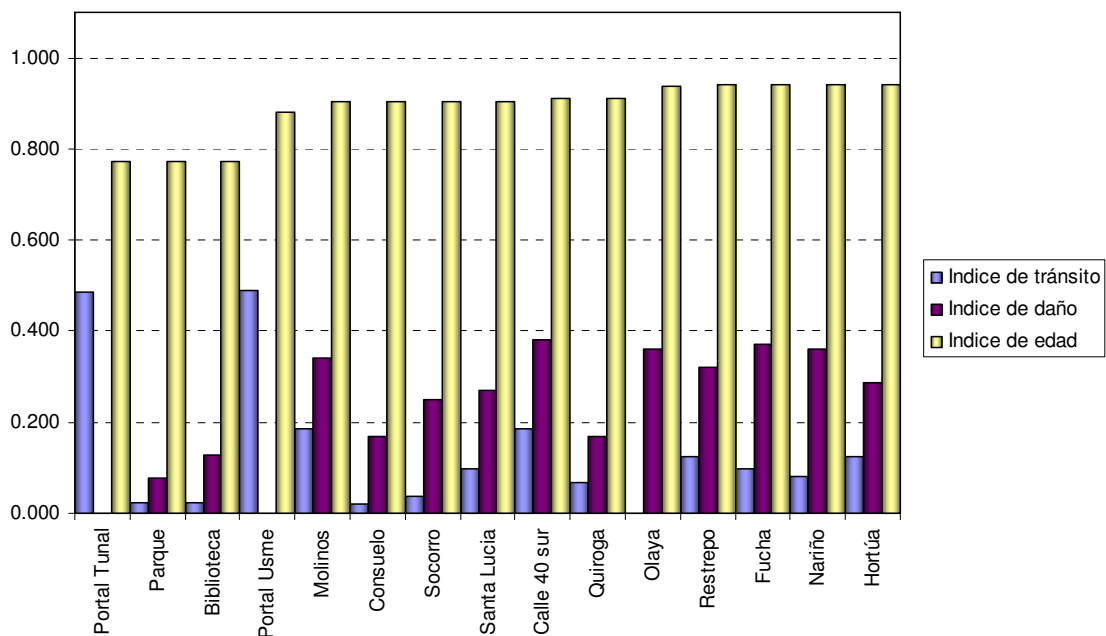


Figura 5-30 Graficas de correlación Edad-tránsito-daño (Av. Caracas).



Se puede observar que los niveles de daño totales en las estaciones presentan una correlación consistente con la edad de la misma y con el nivel de tránsito. Las estaciones más antiguas del sistema, las de la Calle 80 en el momento de la inspección ya se les había realizado el cambio de pisos por esta razón la correlación de daño con tiempo de uso no es muy representativa para estas estaciones. Sin embargo en estas estaciones se pudieron observar algunos defectos constructivos y desajustes de los nuevos pisos instalados. Las estaciones localizadas en la Avenida de las Américas y Carrera 30 son las estaciones más nuevas del sistema razón por la cual los daños observados son mínimos.

5.5 ANÁLISIS DE PATOLOGÍAS TÍPICAS

5.5.1 Pisos iniciales

Los primeros pisos instalados usaron aluminio extruido sin alear (básicamente 99..1% de Al, 0.27% Fe, 0.29%Mg ,0.26% Si y 0.07% Cu) con dureza 73.5 en la escala HR 15T. En el caso del perfil Lehner las siguientes figuras presentan una descripción de las fallas que fueron detectadas en el 2002 bajo el sistema de sujeción utilizado inicialmente. La Figura 5-31 muestra un ejemplo de los perfiles usados inicialmente, los cuales fueron retirados de la estación de la 76 con Caracas en el 2002. Actualmente se ha disminuido el número de perforaciones en los perfiles.



Figura 5-31 Perfil lehner utilizado inicialmente

La Figura 5-32 y la Figura 5-33 muestran un detalle de las fracturas que se presentaron en dichos perfiles. En el caso de la Figura 5-33 se tiene una vista de la parte inferior de un extremo, donde se observa la huella del desgaste producido por el contacto del perfil contra la superficie de apoyo donde se sujeta el perfil del aluminio sobre la viga ortogonal de acero. El orificio permite el paso de un tornillo de lámina. El polvo promueve la abrasión entre superficies que rocen.



Figura 5-32 Detalle de las fracturas presentadas en los perfiles perforados, 2002



Figura 5-33 Desgaste en la parte inferior de un perfil

La Figura 5-34 muestra los tornillos y arandelas utilizados en la sujeción de los perfiles, y la Figura 5-35 proporciona un detalle de un punto de sujeción fallado, se observa que ha ocurrido una fractura longitudinal en la esquina del perfil próxima al orificio de sujeción. La arandela ha bruñido con el polvo el aluminio que rodea el orificio y la parte superior de la viga ha desgastado el perfil de aluminio indicando que la unión operó floja por un periodo permitiendo desplazamientos transversales. En la Figura 5-36 es posible observar la fractura total de la aleta justo donde está fijada.

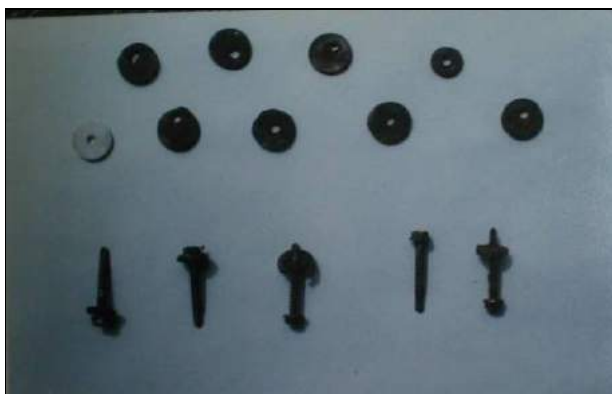


Figura 5-34 Tornillos y arandelas usadas para sujetar los perfiles sobre las aletas superiores de las vigas que sostienen el conjunto del piso.



Figura 5-35 Detalle de un punto de sujeción fallado



Figura 5-36 Fractura total de la aleta del perfil de aluminio donde está sujetado

Los detalles geométricos de la sección que era producida a la fecha se aprecian en la Figura 5-37 según el plano LEH-834 del 23-08-2000. Estas ranuras fueron posteriormente minimizadas en su cantidad.

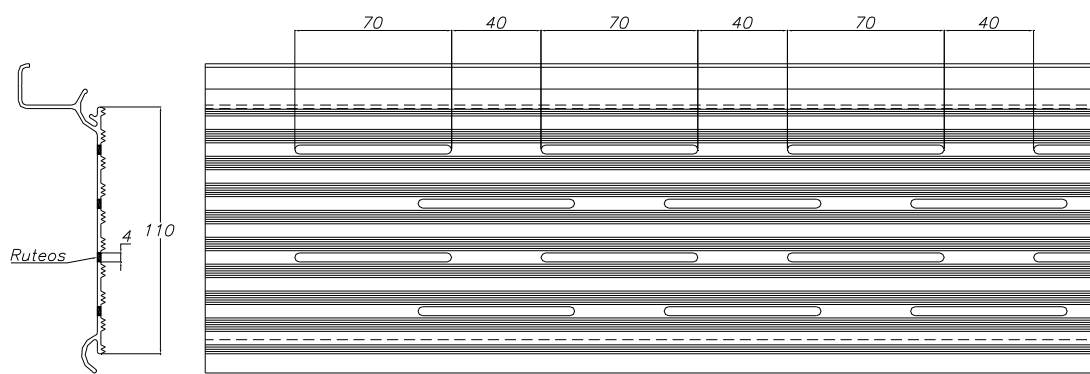


Figura 5-37 Detalle del perfil extruido en aluminio por Lehner.

En la Figura 5-38 y la Figura 5-39 se presenta la forma de anclaje y soporte de los perfiles adoptados inicialmente.

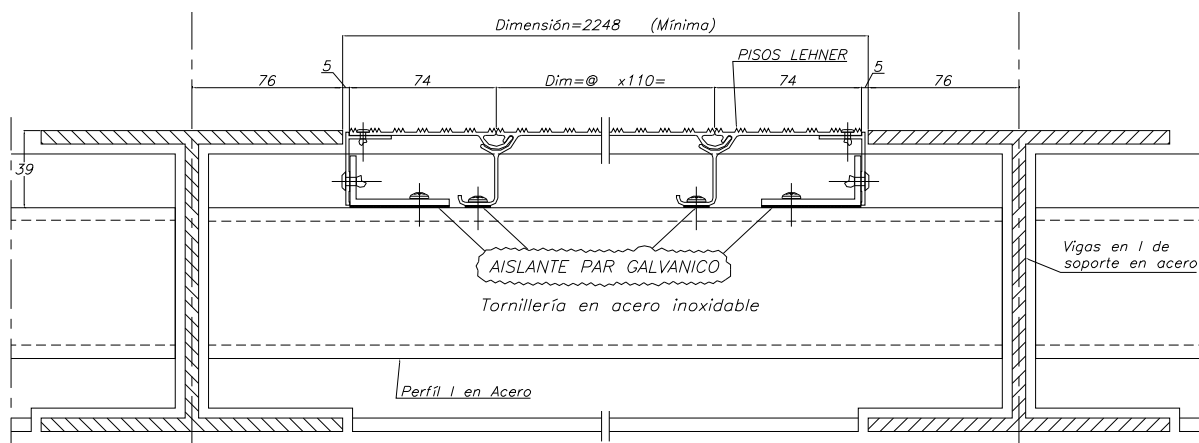


Figura 5-38 Especificaciones del montaje de los pisos para Transmilenio según planos.

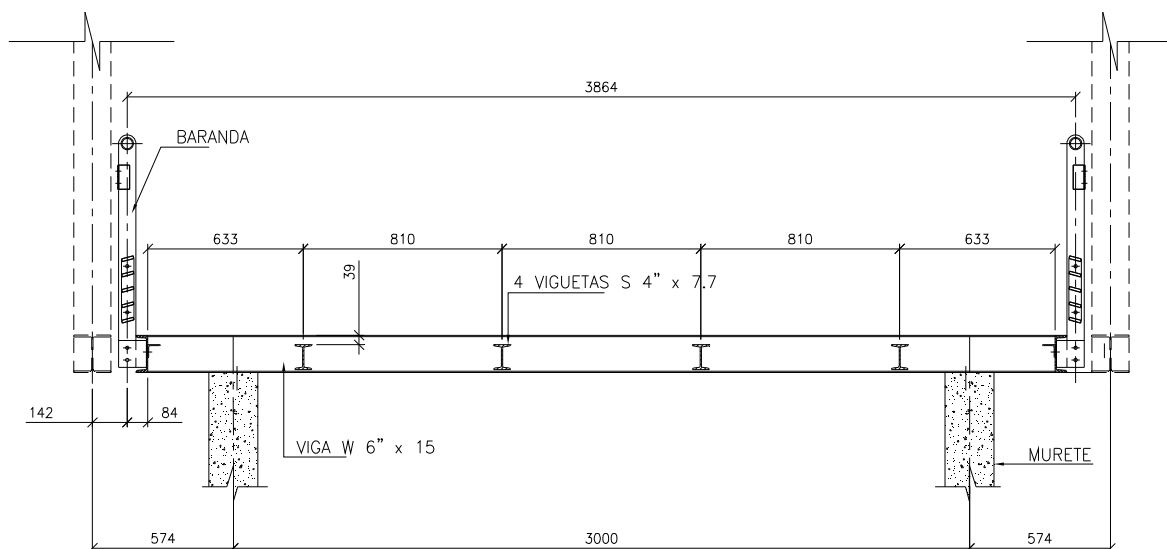


Figura 5-39 Corte seccional de la estructura de soporte para el piso de aluminio.

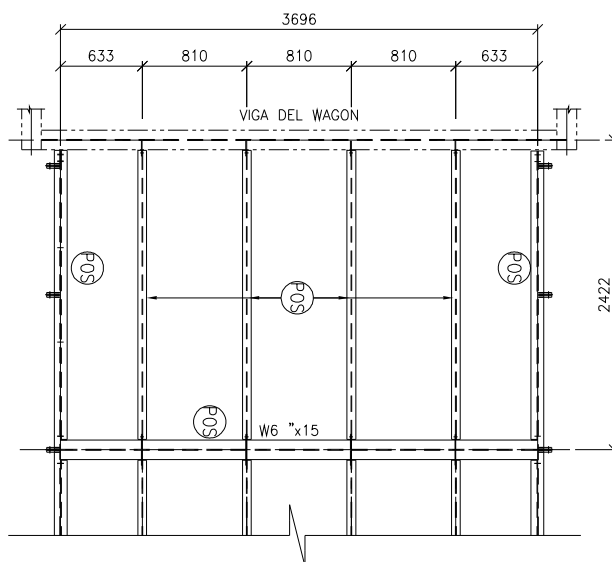


Figura 5-40 Vista en planta de la estructura para soportar el piso en un módulo.

Como se observa en estos planos los perfiles encajan entre sí por medio de un trabe mecánico de dos aletas cilíndricas con pestañas que limitan su giro. Toda la carga vertical es soportada por una pestaña inferior para cada perfil que está sujeto a las vigas de acero que corren en dirección normal al perfil, espaciadas entre sí unos 60 a 84 centímetros dependiendo del diseño de la estructura de soporte. Los perfiles de aluminio fueron sujetados con tornillos auto perforantes de acero de manera que estos apretaran la aleta del perfil contra la superficie superior del perfil de acero atrapando una arandela de caucho entre las dos superficies.

Las fallas encontradas con base en un análisis del piso de la estación de la Ave. Caracas, Calle 76 fueron las siguientes:

- Grietas en el material que comienzan en los extremos de las ranuras troqueladas en el perfil de aluminio. Ver Figura 5-32
- Fractura total en dirección longitudinal como resultado de la unión de estas grietas hasta afectar varias ranuras. Ver Figura 5-32
- Rotura por cizallado de los remaches que soportan el último perfil de aluminio a la estructura de soporte permitiendo juego en los elementos que ensamblan y giro sobre la aleta fijada a la estructura de soporte.
- Fracturas en la aleta alrededor de los tornillos de sujeción. Ver Figura 5-35 y Figura 5-36.
- Desgaste localizado por rozamiento entre elementos acentuado por el polvo abrasivo del ambiente. Ver Figura 5-33, Figura 5-35 y Figura 5-36.

- Corrosión leve en algunos puntos de contacto entre el acero estructural y los perfiles. Ver Figura 5-33.
- Fallas por aplastamiento de las arandelas, ó pérdida de estas al partirse el tornillo.
- El estudio de estas fallas permitió clasificarlas de la siguiente manera:
 - a) La fisura longitudinal entre ranuras es producida por cargas dinámicas de flexión unidireccionales que promueven el crecimiento de grietas por el proceso de fatiga del material. Las grietas comienzan en los extremos de las ranuras donde se concentran los esfuerzos de tensión en la superficie inferior, una vez iniciada la grieta su progreso pasa de ser gradual a relativamente rápido hasta unir las ranuras. Las cargas de los tacones imponen flexión que genera deflexiones máximas del piso entre aletas de apoyo sujetas a la viga. La sección que trabaja no tiene inercia adecuada a este tipo de carga y esta debilitada al poseer ranuras en la región central del perfil del piso.
 - b) La fractura de la región cercana al punto de sujeción con tornillo de la aleta del perfil como aparece en la Figura 5-35 y en la Figura 5-36 obedece a esfuerzos de flexión dinámicos producidos por las cargas de los peatones que generan momentos flectores superpuestos a la carga de compresión en esta unión. Hay flexión por torsión alineada con la dirección longitudinal del perfil y un momento flector alineado con las vigas de soporte normales a los perfiles. Este tipo de cargas es reversada y aleatoria por el paso de los peatones, somete el material a esfuerzos de tensión y compresión dinámicos concentrados en este punto de sujeción. Una vez el material presenta una pequeña grieta esta es propagada por el proceso de fatiga, la falla comienza en la esquina que conecta la aleta al elemento vertical que une la aleta al piso.
 - c) La falla de tipo abrasivo corresponde a un efecto de rozamiento cuando el conjunto pierde su sujeción permitiendo movilidad entre superficies cargadas. El movimiento relativo y la presión de contacto entre las superficies agravada por material abrasivo en el ambiente desgastó por abrasión la superficie más blanda, en este caso el aluminio.
 - d) La falla de las arandelas obedece a la elevada presión de contacto que aparece bajo cargas verticales de los peatones sobre el piso que es concentrada en los puntos de apoyo.

5.5.2 Pisos actuales

Los pisos actuales tienen características similares y donde se presentaron fallas se han introducido los siguientes cambios en la reposición:

- a) En algunos pisos que demandaron reposición de los perfiles de aluminio se han instalado los mismos perfiles con aluminio de mayor resistencia mecánica.
- b) El perfil fabricado por Lehner aumentó el espesor de la porción vertical de la aleta de apoyo de 1.5 a 2.5 mm.
- c) Se disminuyó la cantidad de las ranuras troqueladas en los perfiles suministrados por Lehner y Alúmina.
- d) En algunos puntos se modificó la arandela adoptando una forma rectangular pero se usa un solo tornillo.
- e) En algunos puntos de sujeción se han usado ahora tornillos auto-perforantes de 5 mm. con arandela metálica y de caucho entre la cabeza y la aleta del perfil.
- f) Se instalaron vigas centrales para disminuir la luz entre vigas de 80 centímetros a 40 centímetros en algunas estructuras de soporte del piso.
- g) Recientemente se han instalado pisos con perfiles de secciones diferentes en las troncales NQS y SUBA.

5.5.3 Estudio Fractográfico de las fallas recientes

Las fallas estudiadas recientemente obedecen a condiciones similares de trabajo de campo y corresponden a períodos de exposición al paso de los peatones del mismo orden pues aunque los proveedores han repuesto los pisos dañados con los cambios anotados arriba, estos han vuelto a fallar.

Los tipos de fallas recientes observados son los siguientes:

- a) Falla por deterioro del sistema de sujeción:

En la Figura 5-41 se observa uno de los extremos del perfil de aluminio ilustrando la problemática del montaje. Hay desgaste por abrasión con deformación plástica en la zona próxima al orificio de sujeción por acción del empaque ó contra la viga. Los contratistas realizan el trabajo de campo con dificultades y producen una variación amplia en cuanto a la calidad de la sujeción del piso a la estructura de soporte. El trabajo impuesto por las cargas de

los peatones afloja la sujeción permitiendo deslizamiento entre el perfil y las vigas estructurales de apoyo.



Figura 5-41 Perfil de aluminio 6261 T6. Vista de la aleta inferior de apoyo donde se observan varios orificios debido a posibles re-trabajos.

b) Fallas por rozamiento

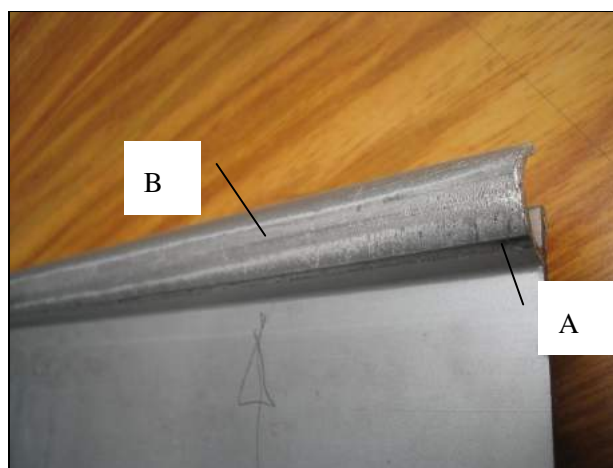


Figura 5-42 Detalle del desgaste en la canal de conexión

La Figura 5-42 presenta el deterioro por abrasión que desgasta la superficie inferior de la canal que ensambla internamente en la canal del perfil vecino. Se observa un surco (A) longitudinal causado por el golpeteo del alojamiento del perfil ensamblado contiguo y una zona desgastada por abrasión en la parte cilíndrica de esta (B). Este tipo de falla disminuye el espesor del perfil

de aluminio a medida que el material sufre abrasión exponiendo material nuevo que se oxida. Posteriormente el material oxidado es removido de nuevo hasta ir produciendo surcos en el caso de los filos que hacen contacto y disminución de los espesores por zonas cuando el roce es entre superficies generadas. El polvo del ambiente contribuye significativamente a este proceso que puede llevar a la desconexión final de los perfiles ensamblados y a su debilitamiento por falta de espesor. Durante el proceso de desgaste por abrasión, los elementos del piso aumentan los juegos que en un principio estaban limitados en una instalación sin desgaste y en consecuencia aumentan las deflexiones que se traducen en esfuerzos mayores. La Figura 5-43 y la Figura 5-44 presentan el aspecto de la fractura y del desgaste interno de la canal que abrasa en la conexión de perfiles. En estas fotografías se presenta evidencia de deformaciones diferentes según se esté cerca ó lejos del punto de sujeción ó de apoyo contra las vigas de la estructura de soporte. La Figura 5-43 muestra la fractura de la canal localizada sobre el punto de sujeción que falló. El polvo acentúa el desgaste entre las superficies de ensamble que conectan los perfiles entre sí. Claramente hay movimiento relativo entre las superficies. En la Figura 5-44 se observa el desgaste dentro de la canal del mismo perfil descrito arriba pero a mitad de distancia entre puntos de sujeción. Se observa que el patrón de desgaste por abrasión indica que los perfiles han sufrido deflexión torsional elástica bajo carga y acoplan con geometrías que favorecen contacto no uniforme.

En los perfiles de Alúmina el desgaste debilitó la sección portante de la canal de conexión que es pequeña en comparación a la de Lehner, este debilitamiento permitió la fractura de la canal y el desensamble de los perfiles.



Figura 5-43 Detalle de fractura generada por abrasión en el interior de la canal localizada sobre el punto de sujeción que falló.



Figura 5-44 Desgaste dentro de la canal del mismo perfil descrito arriba pero a mitad de distancia entre puntos de sujeción.



Figura 5-45 Detalle de una fractura por propagación de grietas durante el proceso de fatiga

En la Figura 5-45 se observa el mismo patrón de propagación de grietas por el proceso de fatiga. Hay una huella dejada por el mandril del taladro sobre el filo de la canal superior del perfil.

c) Fallas por agrietamiento de la aleta en el punto de sujeción.

Con el sistema de sujeción utilizado los esfuerzos a los que quedan sometidas las aletas de apoyo en los puntos de sujeción son considerables. La rigidez de la unión implica que los esfuerzos de flexión producidos por la torsión de los perfiles y su flexión combinada aumenten. Esta falla se caracteriza por la formación de una grieta longitudinal próxima al punto de

sujeción que crece hasta torcerse hacia los bordes de la aleta a unos pocos centímetros de donde comenzó como puede observarse en la Figura 5-46 y en la Figura 5-47 para un perfil de aluminio Lehner en material de mayor resistencia mecánica que el utilizado inicialmente.



Figura 5-46 Fractura total de la región de sujeción en la aleta de un perfil de Lehner bajo condiciones de campo

La superficie de fractura ha sido deformada por golpeteo pero posee características de propagación por el proceso de fatiga. La fisura comienza en la esquina próxima al tornillo, crece longitudinalmente y curva en su fase final



Figura 5-47 - Vista de la aleta de la lámina de Lehner descrita arriba

La fisura observada en la Figura 5-47 se propaga por flexión unidireccional en la porción vertical de la aleta al faltar apoyo después de una falla de la aleta en su punto de sujeción

En el caso de los perfiles suministrados por Alúmina, la falla presenta una geometría diferente. La Figura 5-48 presenta la forma típica de agrietamiento donde las grietas crecen normales a la longitud del perfil en el orificio de sujeción. Este tipo de grieta indica que la flexión impone mayores esfuerzos que la torsión dominante, en el caso del perfil de Lehner. En la Figura 5-49 y en la Figura 5-50 se presenta un detalle de las pruebas realizadas y una macrografía de la superficie de fractura interna en una grieta que no ha sufrido deformación de su superficie. La morfología de la superficie de la grieta indica que su propagación corresponde al proceso de fatiga por cargas dinámicas típicas en el aluminio. Aparecen estrías en el sentido de propagación y las playas características no son visibles al nivel de aumentos logrado.

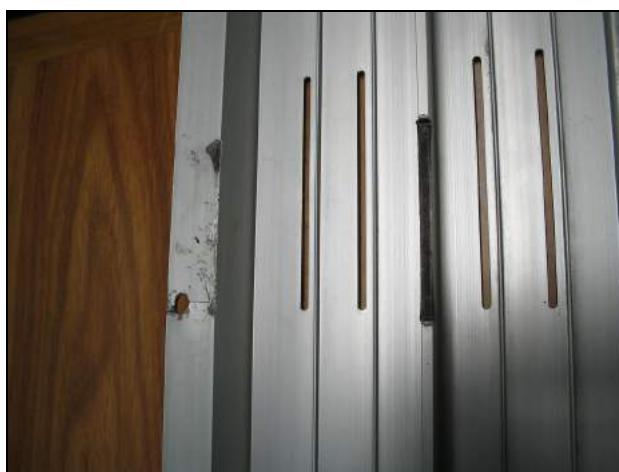


Figura 5-48 - Perfil de Alúmina

Se observa que en el perfil de Alúmina hay falla por presiones de contacto entre la superficie superior de la viga estructural y la vena vertical central y comienzo de propagación de grietas por fatiga debidas a flexión en punto de sujeción. Se observa que en el punto de sujeción el contacto es disparejo y aparece desgaste en el filo opuesto.



Figura 5-49 - Detalle de la falla presentada en prueba realizada sobre el perfil

En la Figura 5-50 la falla es similar a los casos anteriores pero el perfil es de geometría reciente que difiere en la altura de la porción vertical de la aleta de apoyo. Los detalles de esta prueba se presentan en el capítulo 6. Las grietas son propagadas de nuevo por el proceso de fatiga.



Figura 5-50 Fractografía (x5) de la zona donde progresó la grieta del perfil fallado.

En la Figura 5-50 se observa una región brillante en la porción izquierda superior de la foto que se produjo al partir el elemento para exponer la superficie de fractura asociada a la fatiga. La grieta se ha propagado en la dirección indicada por la flecha, se observa una gran diferencia entre rugosidades. El cambio de color se debe a la oxidación de la superficie expuesta, la fractura reciente y rugosa por sobrecarga no ha sido oxidada.

En la Figura 5-51 se presenta la fractografía de una parte de la zona fallada en el perfil de arriba donde el movimiento relativo entre superficies ha destruido el patrón de la superficie por martillado y deformación plástica.

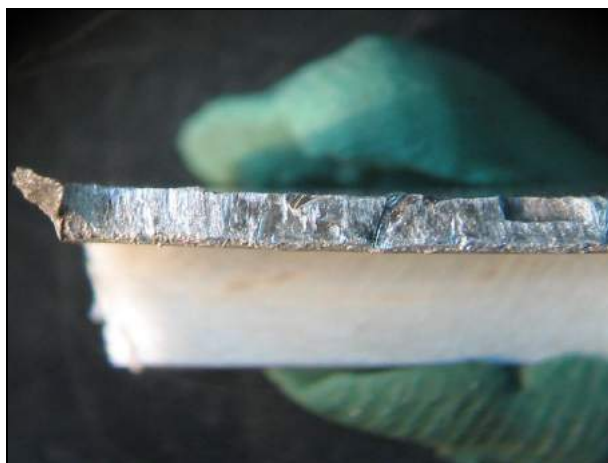


Figura 5-51 Fractografía de una parte de la zona fallada.

d) Fallas por contactos con presión de contacto elevada.

En el diseño de Alúmina hay una aleta rigidizadora en el centro inferior del perfil, esta se extiende hacia abajo hasta permitir el contacto con los perfiles de acero estructural sin sujeción alguno. Cuando los peatones pisan sobre el perfil de aluminio encima de este sitio, toda la carga es aplicada a la superficies en contacto que son a lo sumo $4 \times 70 = 280 \text{ mm}^2$ en el mejor de los casos. Esta superficie se logra a medida que se aplasta y desgasta por remoción de los óxidos debido a que la superficie del perfil de aluminio es más blanda. El contacto de estas superficies en forma intermitente pero repetida con el paso de los peatones aumenta la profundidad de la zona y permite el incremento gradual de las deflexiones en el piso de aluminio agravando los niveles de los demás esfuerzos en los puntos de sujeción. El polvo contribuye por abrasión acelerando esta forma de desgaste.

5.5.4 Propiedades de los materiales

El aluminio utilizado en los pisos era originalmente el de una especificación correspondiente a la especificación 6063 T5 de un aluminio designado como arquitectónico que posee una dureza medida promedio de 72.8 HB, una resistencia a la fluencia del orden de 205 MPa y última del orden de 240 MPa; estos valores para el aluminio designado estructural que se está instalando actualmente y que corresponde a una especificación 6261 T6 presentan valores de resistencia medidos a la fluencia del orden de 277 MPa y última de 312 MPa y posee una dureza de 94.8 HB. En la Figura 5-52 se incluyen

los resultados de las mediciones de dureza características de las muestras medidas. Las pruebas realizadas a muestras de los pisos indican que estos materiales coinciden con las especificaciones de los siguientes materiales:

El material arquitectónico corresponde a una designación 6063 con temple T6 cuya especificación según el Metals Handbook es 240 MPa S último, 215 S fluencia y 73 dureza HB y no a la designación T5 cuya dureza es de 60 HB.

El material estructural presenta una correspondencia con aluminio 6061 T651 cuya especificación según el Metals Handbook es 310 MPa S último, 275 S fluencia y 95 dureza HB.

HRK	Dureza Rockwell B							
HR15T	Dureza Rockwell K							
HB	Dureza superficial 15 T							
HB	Dureza Brinell							
	Al 6261T6		Al 6063 T5		Al 6063 T5		Al 6063 T5	
	Inf 6028-193		Inf 6032-198		Inf 2064		Inf 2064	
	HRB	HB/500Kg-10mm	HRK	HB/500Kg-10mm	HR 15T/Pla	HB/500Kg-10mm	HR 15T/Estr	HB/500Kg-10mm
	55.4	89	56.2	75	72.4	72	73.8	75
	59.4	94	50.6	70	64.7	58	75.1	79
	56.1	90	53.2	72	74.7	77	74.7	77
	58.9	94	51.6	72	74.2	76	72.5	72
	59.8	95	52.1	72	73.8	75	73.9	75
	61.3	96	51.1	71	75.2	79	73.9	75
	59.3	94	53.7	73	75.6	80	73.1	73
	61.8	98	56.8	75	74.7	77	71.9	71
	62.5	98	56.4	75	75.3	79	73.3	74
	62.1	98	52.7	72	74.2	76	72.2	72
	61.9	98	54.9	74	73.48	74.9	73.44	74.3
	59.2	94	52.6	72	3.22	6.37	1.04	2.45
Promedio	59.8	94.8	53.5	72.8				
Desv Estd	2.29	3.04	2.13	1.66				
HRB		HRK		HR15T		HB		
Carga	Carga 100Kg	Carga	Carga 150Kg	Carga	Carga 15 Kg	Carga	Carga 500 Kg	
Indentador	Bola de 1/16 In	Indentador	Bola de 1/8 In	Indentador	Bola de 1/16 In	Indentador	Bola de 10 mm	
Tiempo	2 seg Carga	Tiempo	2 seg Carga	Tiempo	2 seg Carga	Tiempo	30 seg Carga	

Figura 5-52 Resultados de las mediciones de dureza

5.5.5 Conclusiones

A partir de los análisis realizados pueden obtenerse las siguientes conclusiones:

- a) El análisis de las fallas permite concluir que el diseño actual con las modificaciones que fueron introducidas aún es inadecuado para resistir los niveles de esfuerzos impuestos por el paso de los peatones.
- b) Una causa que produce las fallas es el método de sujeción de los perfiles de aluminio a las vigas, la sujeción por medio de tornillos auto-perforantes impone una gran rigidez al perfil en el punto de conexión a la estructura de soporte. Esta sujeción concentra los esfuerzos locales en la esquina de la aleta de apoyo cerca del tornillo hasta producir una grieta que se propaga por fatiga bajo las cargas cíclicas de torsión y flexión. La fractura progresa hasta romper un elemento de la aleta y dejar libre el resto del perfil.
- c) Otra causa que produce otro tipo de falla es el juego existente en el diseño por el método de ensamble y la elasticidad del perfil ante la luz entre apoyos. Las cargas impuestas generan deflexiones que producen movimientos relativos entre las superficies en contacto y se produce un desgaste por abrasión combinado con presiones de contacto altas y polvo abrasivo del ambiente.

Las fallas son en general de dos tipos. Las Fallas por la formación de grietas en las aletas de apoyo en regiones próximas a los puntos de sujeción y fallas por desgaste abrasivo ó por presión de contacto con deslizamiento entre superficies de los perfiles de aluminio y entre el perfil de aluminio y la viga estructural en acero de soporte. En el primer caso el fenómeno es producido por esfuerzos localizados que sobrepasan la resistencia a la fatiga del material en los puntos de sujeción, en particular la esquina próxima al punto de sujeción de los tornillos. En el segundo caso las deflexiones de los perfiles y su movimiento relativo bajo carga someten las conexiones y puntos de contacto con el aluminio a desgaste por abrasión y presión de contacto que retiran material gradualmente y debilitan con el tiempo las secciones del perfil. Este último proceso agrava las deflexiones y permite aumentar los niveles de esfuerzos.

La causa principal que explica las fallas está en el diseño inadecuado del perfil (secciones abiertas y no simétricas) para soportar las sollicitaciones impuestas por las cargas de servicio y en el método de sujeción de los perfiles a la estructura que lo soporta lo cual permite deflexiones y movimientos inaceptables del perfil y la conexión. Agravante al diseño débil, está el problema de la calidad en la ejecución del montaje que impone condiciones de carga superiores a las contempladas en el caso de una instalación bien realizada. La calidad de la geometría de los elementos de acero estructural que soportan los perfiles de aluminio que constituyen el piso no son adecuados. Los perfiles de aluminio se

fabrican con gran exactitud y demandan una calidad equivalente. Al estar sujetos a un soporte torcido ó inclinado se genera una condición de precarga y de presiones de contacto elevadas. Finalmente la utilización de aluminio arquitectónico (6063T5) en lugar de aluminio estructural (6261T6) en algunos de los perfiles es un agravante general para anticipar los tipos de fallas observados.

Por otro lado, durante las visitas de inspección de estaciones y puentes se observaron diferentes tipos de patologías de las cuales se puede concluir lo siguiente:

- a) En todas las estaciones que tienen instaladas láminas con troquelados se observó que estas se encuentran con fisuras que representan incomodidad para los usuarios y generan debilitamiento estructural de la sección anticipando la falla del mismo.
- b) Para las láminas que no presentan troquelados se observó que el punto susceptible a daño era la zona de contacto entre el apoyo de la lámina y el perfil de soporte.
- c) En las estaciones se pudo observar que las zonas de mayor daño están localizadas en los sectores en los cuales se presenta tránsito de peatones. En las zonas en las cuales hay acumulación de peatones esperando abordar los vehículos los daños son menores.
- d) Para las estaciones los daños por desgaste generalmente se encuentran localizados cerca a las taquillas y torniquetes de acceso. Estas zonas tiene mayor flujo de peatones ya que son de tránsito obligatorio.
- e) Para los puentes los daños por desgaste se encuentran localizadas en las escaleras de acceso, en la zona de inicio de la rampa de acceso.
- f) En los puentes peatonales en la zona de inicio de las rampas se observaron en algunos casos deficiencias constructivas generadas por los cambios de alineación de la geometría en planta del puente. Estos cambios generan cortes en las láminas inferiores a la luz mínima entre apoyos lo cual genera deficiencia de apoyo en uno de los extremos de la lámina.
- g) En los pisos de las primeras generaciones se observó que los elementos instalados en el inicio y final de los módulos presentan deficiencias de anclaje y permiten la rotación. Este fenómeno genera fallas en los pernos de anclaje de dichos elementos y desprendimiento de las láminas adyacentes.
- h) En general se observó que las estaciones presentan un índice de daño mayor con respecto a los puentes peatonales. Las posibles causas de este efecto se mencionan a continuación:
 - Las láminas de los puentes peatonales presentan menos cantidad de ranuras de troquelado que las láminas de las estaciones.
 - La separación entre apoyos para las láminas de los puentes es menor que las de las estaciones (entre 0.80m y 1.0 para estaciones y 0.60 m para puentes).

- La sección transversal de las láminas de los puentes corresponde en general al tipo A-3 (Ver Tabla 3-1) que presenta en general mejores características geométricas que la mayoría de perfiles utilizados en estaciones (ver análisis en el capítulo 7).
 - La naturaleza del tránsito peatonal en los puentes genera espectros de carga en los cuales se presentan muy pocas cargas de alta intensidad en comparación con las de las estaciones con lo cual se genera una mayor vida útil para estas estructuras.
- i) Durante las visitas realizadas a las estaciones a las cuales se les estaba realizando mantenimiento y cambio de pisos se observaron algunas deficiencias constructivas las cuales pueden generar daños en poco tiempo. A continuación se mencionan algunos de los defectos encontrados:
- Reinstalación de láminas troqueladas con microfisuras.
 - Reinstalación de láminas con desgaste en la zona de apoyo.
 - Durante el anclaje de las láminas en algunos casos se realiza más de una perforación para el anclaje del tornillo autoperforante lo cual genera una debilidad en la zona de soporte.
 - Los pernos de conexiones no quedan en muchos casos ni centrados, ni alineados, ni con separaciones uniformes.

En las Figuras 5-53 a 5-57 se presentan algunos de los defectos encontrados.

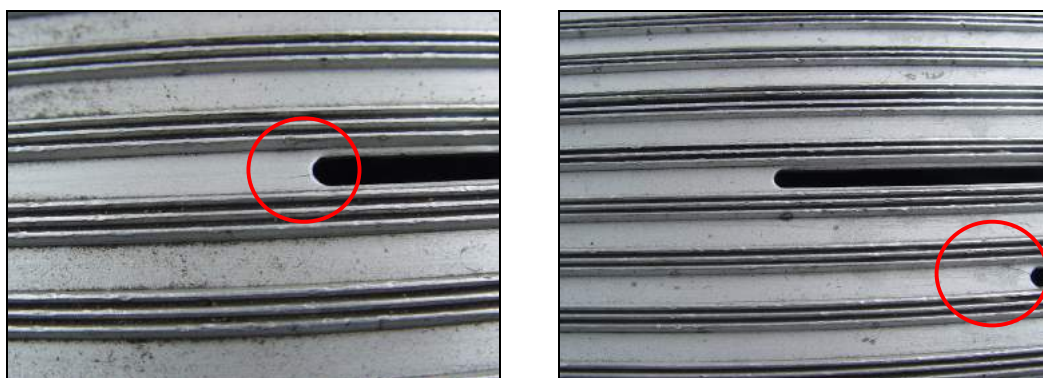


Figura 5-53 Microfisuras en láminas reinstaladas.



Figura 5-54 Desgaste en apoyos en láminas reinstaladas.



Figura 5-55 Desgaste en apoyos en láminas reinstaladas.



Figura 5-56 Exceso de perforaciones en láminas reinstaladas.

MODELACIÓN EXPERIMENTAL DEL ESTADO ACTUAL



TABLA DE CONTENIDO

6 Modelación experimental del estado actual

6.1	Generalidades.....	6-1
6.2	Caracterización de materiales y secciones	6-2
6.2.1	Composición Química.....	6-2
6.2.2	Dureza	6-3
6.2.3	Ensayo de tensión pura en lámina	6-4
6.3	Caracterización de elementos del sistema.....	6-8
6.3.1	Ensayo de flexión en perfil	6-8
6.3.2	Desgarramiento en lámina	6-11
6.3.3	Flexión con carga distribuida en componente.....	6-16
6.3.4	Fatiga por aceptación	6-23
6.3.5	Medición de ruido	6-29
6.3.6	Ensayo de desgaste en laboratorio	6-31
6.3.7	Ensayo de envejecimiento	6-32

LISTA DE FIGURAS

Figura 6-1 Esquema de ensayo a tensión	6-5
Figura 6-2 Grafica típica de Esfuerzo Vs. Deformación unitaria aluminio 6261 T6.	6-6
Figura 6-3 Modos de falla de probetas a tensión	6-7
Figura 6-4 Esquema de ensayo a flexión de láminas	6-8
Figura 6-5 Curvas de carga Vs. deflexión en el centro de la luz	6-9
Figura 6-6 Figuras esquemas de falla ensayo de flexión.....	6-10
Figura 6-7 Esquema de ensayo de desgarramiento	6-11
Figura 6-8 Detalle de montaje del ensayo No 1	6-12
Figura 6-9 Detalle de montaje del perfil para el ensayo No 1	6-12
Figura 6-10 Localización de perforación para el ensayo No 1	6-13
Figura 6-11 Grafica Carga Vs. Deformación para el ensayo No 1	6-13
Figura 6-12 Modos de falla para el ensayo No 1	6-14
Figura 6-13 Detalle de modos de falla para el ensayo No 1	6-14
Figura 6-14 Grafica Carga Vs. Deformación para el ensayo No 2	6-15
Figura 6-15 Modos de falla para el ensayo No 2	6-15
Figura 6-16 Modos de falla para el ensayo No 3	6-16
Figura 6-17 Esquema de Montaje para ensayo de flexión bajo carga distribuida.....	6-18
Figura 6-18 Fotografías ensayo de carga distribuida	6-19
Figura 6-19 Registro de deformaciones prueba de carga laboratorio	6-20
Figura 6-20 Estimación de esfuerzos a partir de deformaciones unitarias (Laboratorio).....	6-21
Figura 6-21 Esquema de Montaje para ensayo de fatiga.....	6-23
Figura 6-22 Variación temporal de cargas ensayo de fatiga (corresponde a un día en actividad)....	6-24
Figura 6-23 Variación del desplazamiento del cabezote con respecto a la deformación inicial.....	6-26

Figura 6-24 Tipos de falla para ensayo de fatiga en perfiles A-4	6-27
Figura 6-25 Tipos de falla para ensayo de fatiga en perfiles A-1	6-27
Figura 6-26 Tipos de falla para ensayo de fatiga en perfiles L-1	6-28
Figura 6-27 Esquema de montaje ensayo de nivel de ruido	6-30
Figura 6-28 Máquina usada en el ensayo de envejecimiento	6-32
Figura 6-29 Probetas para el ensayo de envejecimiento	6-33

LISTA DE TABLAS

Tabla 6-1 Ensayos a realizados y norma recomendada.....	6-1
Tabla 6-2 Resultados de ensayos composición química	6-3
Tabla 6-3 Resultados de ensayos dureza.....	6-4
Tabla 6-4 Resultados de ensayos tensión	6-5
Tabla 6-5 Resultados ensayos de flexión	6-9
Tabla 6-6 Resultados ensayo carga distribuida.....	6-20
Tabla 6-7 Resultados ensayo carga distribuida.....	6-21
Tabla 6-8 Resultados estimación experimental de la rigidez	6-22
Tabla 6-9 Principales resultados ensayos de fatiga por aceptación	6-25
Tabla 6-10 Resultados de ensayos de medición de ruido.....	6-30
Tabla 6-11 Principales resultados mediciones de desgaste	6-31

6.1 GENERALIDADES

Para efectos del diagnóstico del estado actual de los pisos de los puentes y estaciones de Transmilenio, se adelantan una serie de ensayos de laboratorio de caracterización de materiales y ensayos especiales para el sistema. Estos ensayos permiten el estudio del funcionamiento del sistema y la calibración de los modelos analíticos.

Para efectos de la caracterización general de materiales y la determinación de propiedades de los componentes del sistema se realizan los ensayos relacionados en la Tabla 6-1, en la cual se indican las normas o procedimiento de ensayo seguidos.

Tabla 6-1 Ensayos a realizados y norma recomendada

No	Ensayo	Cantidad	Norma
1	Composición Química	2	ASTM E34-94
2	Dureza	4	ASTM E -18
3	Ensayo de Tensión en lamina (Caracterización Material)	10	ASTM B 557
4	Ensayo de Flexión en perfil	4	ASTM C78
5	Desgarramiento en lamina	4	Procedimiento recomendado ASTM B 557
6	Flexión con carga distribuida en componente	1	ASTM C78
7	Fatiga para aceptación	4	Procedimiento recomendado ASTM C78
8	Medición de ruido	1	Metodología implementada
9	Ensayo de desgaste en laboratorio	6	ASTM D1044
10	Ensayo de efectos ambientales sobre los materiales (Envejecimiento)	4	Metodología implementada
11	Instrumentación de un sector	3	Metodología implementada

6.2 CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES Y SECCIONES

Se adelantan una serie de ensayos de caracterización de los materiales y secciones utilizados en la instalación de los pisos de aluminio. En general y como se explicó anteriormente, existen dos tipos de materiales instalados en los pisos de estaciones y puentes de Transmilenio de acuerdo con lo siguiente:

- Aluminio 6063 – T5 (tipo arquitectónico)
- Aluminio 6261 – T6 (tipo estructural)

Los ensayos de caracterización se realizan sobre los dos tipos de materiales.

6.2.1 Composición Química

Los ensayos de composición química se realizan con el fin de conocer en detalle el tipo de material utilizado en la fabricación de cada uno de los perfiles. Considerando que se han utilizado diferentes aleaciones en el proceso de fabricación de los perfiles actualmente instalados, este ensayo permite definir el tipo de aleación utilizada. Esta información resulta fundamental al establecer las propiedades físicas y mecánicas de los materiales, las cuales deben estar asociadas a la composición química particular.

Se realizan ensayos de composición química (uno por cada tipo de aleación utilizada para la fabricación de las láminas), siguiendo la norma (ASTM E34-94). Mediante este ensayo se determina la composición porcentual de la aleación de aluminio utilizada por cada uno de los fabricantes que distribuyen láminas de aluminio para los pisos de Transmilenio. Los resultados se comparan con los rangos que se encuentran en la normativa correspondiente y en la literatura internacional.

Se realizaron ensayos de composición química del aluminio para las Aleaciones 6063-T5 y 6261-T6 encontrándose la composición química presentada en la Tabla 6-2.

Tabla 6-2 Resultados de ensayos composición química

ELEMENTO	Ensayo Realizado		Bibliografía consultada	
	Aluminio 6261 T6 [%]	Aluminio 6063 T5 [%]	Aluminio 6261 T6 [%]	Aluminio 6063 T5 [%]
Hierro, Fe	0.424	0.430	0.40	0.15 - 0.35
Silicio, Si	0.729	0.502	0.40 - 0.70	0.30 - 0.60
Cobre, Cu	0.241	0.044	0.15 - 0.40	0.10
Titanio, Ti	0.018	0.021	0.10	0.10
Zinc, Zn	< 0.058	< 0.058	0.20	0.15
Magnesio, Mg	0.724	0.412	0.70 - 1.00	0.60 - 0.90
Manganeso, Mn	0.316	0.098	0.20 - 0.35	0.15
Níquel, Ni	< 0.034	< 0.034	---	---
Aluminio, Al	restante	restante	restante	restante

La composición porcentual encontrada en los ensayos de composición química corresponde a lo encontrado en la literatura internacional consultada (Metal Handbook Ninth Edition & UNICAN España). El aluminio 6063 se considera conveniente para extruido de secciones intrincadas de tensión media, presenta una buena resistencia a la corrosión y una buena terminación superficial. El aluminio 6261 es una aleación estructural con una buena terminación superficial y resistencia a la corrosión, presenta facilidad para soldar y responde bien a los tratamientos superficiales especialmente el anodizado.

6.2.2 Dureza

Los ensayos de dureza se realizan con el fin de obtener una caracterización sencilla y rápida a partir de la resistencia del material. De esta manera se construye un índice que permite calificar el tipo de aleación y el tratamiento térmico utilizado, desde el punto de vista de la resistencia final del material. Considerando que varios de los mecanismos de falla del sistema están asociados a parámetros de resistencia este parámetro resulta relevante. Igualmente es importante para comparar los diferentes tipos de materiales utilizados hasta el momento en el montaje de pisos.

Se realizan ensayos de dureza tipo Brinell con carga de 500 Kg y bola de 10 mm de diámetro (ASTM E-18) (uno por cada proveedor de lámina de aluminio). Mediante estos ensayos se determina la resistencia que opone el material a la penetración de una esfera de 10 mm de diámetro.

Se realizaron ensayos de dureza Brinell sobre probetas de aluminio con aleación 6063-T5 y 6261-T6 encontrándose los resultados que se presentan en la en la Tabla 6-3.

Tabla 6-3 Resultados de ensayos dureza

No de ensayo	Aluminio 6261 T6	Aluminio 6063 T5		
	Dureza Brinell			
1	89.0	75.0	72.0	75.0
2	94.0	70.0	58.0	79.0
3	90.0	72.0	77.0	77.0
4	94.0	72.0	76.0	72.0
5	95.0	72.0	75.0	75.0
6	96.0	72.0	79.0	75.0
7	94.0	72.0	80.0	73.0
8	98.0	71.0	77.0	71.0
9	98.0	73.0	79.0	74.0
10	98.0	75.0	76.0	72.0
Promedio	94.8	72.8	74.9	74.3
Desviación	3.04	1.66	6.37	2.45

La dureza del aluminio arquitectónico es cercana al 78% de la dureza encontrada en los ensayos realizados sobre aluminio estructural.

6.2.3 Ensayo de tensión pura en lámina

Con el fin de caracterizar las resistencias y la curva esfuerzo deformación del material utilizado en la fabricación de los perfiles de aluminio, utilizados en los pisos de las estaciones y de los puentes del sistema Transmilenio, se adelantan una serie de ensayos a tensión pura sobre probetas de aluminio, tomadas de las muestras de los pisos. Las dimensiones de las probetas a ensayar corresponden a las establecidas en la norma ASTM B 557. Por medio de este ensayo se determina el esfuerzo de fluencia, el esfuerzo de rotura, la ductilidad y el módulo elástico del aluminio empleado para la fabricación de las láminas. Dichas propiedades mecánicas son de la mayor importancia en la evaluación del diagnóstico y en el diseño de nuevas alternativas de pisos basadas en perfiles de aluminio.

En la Figura 6-1 se encuentra un esquema del montaje utilizado y la disposición de los elementos de medición empleados para la realización del ensayo.

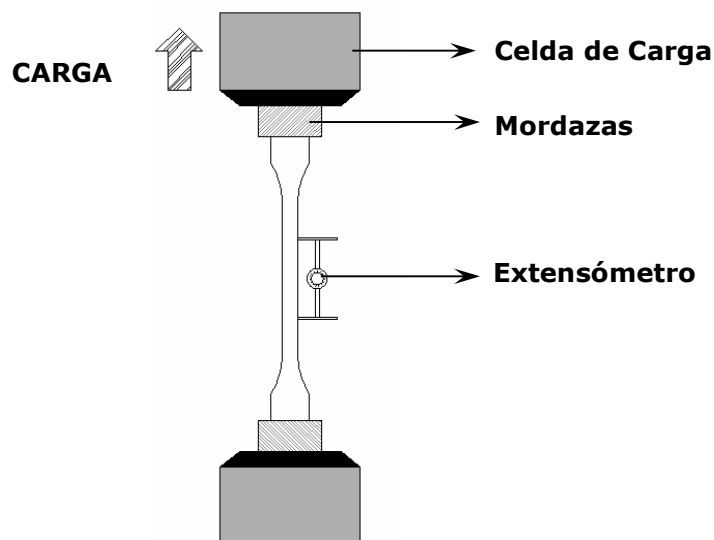


Figura 6-1 Esquema de ensayo a tensión

Se realizaron 5 ensayos de tensión sobre platinas de aluminio con aleación 6261 T6 y 5 sobre platinas de aluminio con aleación 6063-T5. Los resultados encontrados en estos ensayos se presentan en la Tabla 6-4. Se encuentra un valor promedio de resistencia a fluencia de 27.8 Kg/mm², un valor de módulo de elasticidad promedio de 705240 Kg/cm² para el aluminio de esta aleación. En la Figura 6-2 se presenta una curva típica (esfuerzo Vs. deformación) obtenida en los ensayos de tensión sobre láminas de aluminio.

Tabla 6-4 Resultados de ensayos tensión

Aleación	Probeta	Esfuerzo de Fluencia [Kg/mm ²]	Esfuerzo Maximo [Kg/mm ²]	Alargamiento medido [%]	Módulo de Elasticidad [Kg/cm ²]
6261 T6	P1	28.3	30.8	7.2	705884
6261 T6	P2	28.0	31.4	9.6	717258
6261 T6	P3	28.0	31.2	7.4	719261
6261 T6	P4	26.9	30.9	8.3	690207
6261 T6	P5	27.8	31.1	6.5	693590
6063 T5	P6	17.6	20.9	5.9	699420
6063 T5	P7	20.6	23.4	4.9	660257
6063 T5	P8	20.5	24.3	5.7	699075
6063 T5	P9	21.4	24.8	4.8	707248
6063 T5	P10	15.3	18.8	6.7	693513

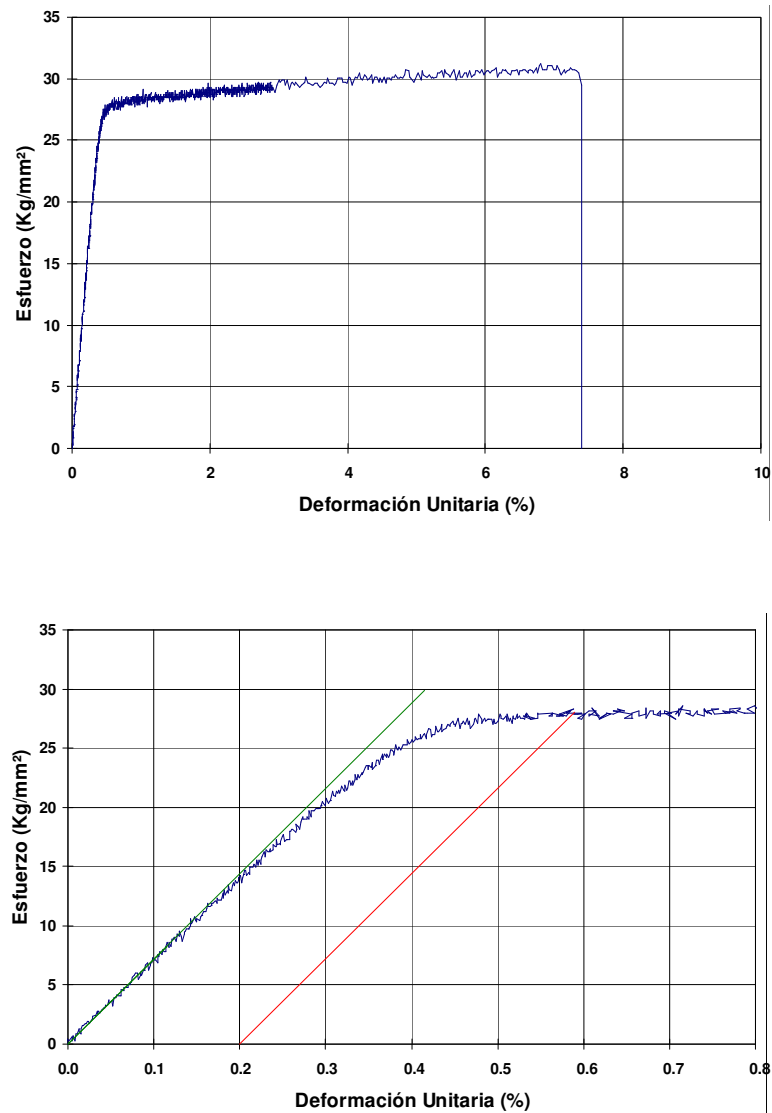


Figura 6-2 Grafica típica de Esfuerzo Vs. Deformación unitaria aluminio 6261 T6.

En la Figura 6-3 se presentan los modos de falla de 5 probetas falladas a tensión.

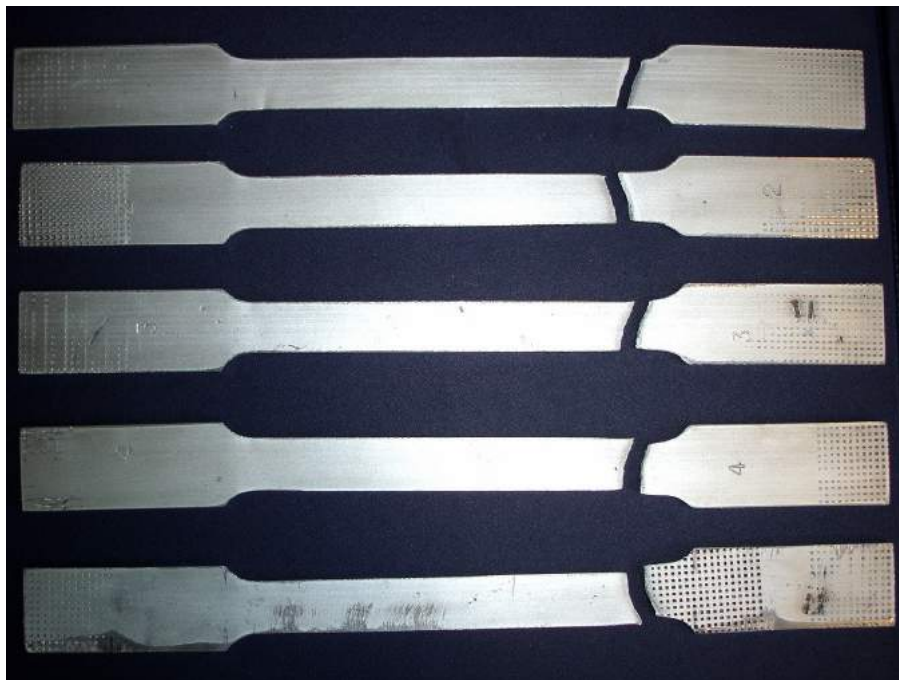


Figura 6-3 Modos de falla de probetas a tensión

Los resultados de los ensayos realizados permiten concluir que la resistencia a la fluencia para el material Aluminio 6063 – T5 (tipo arquitectónico) es de $f_y = 191$ MPa mientras que para el Aluminio 6261 – T6 (tipo estructural) es de $f_y = 278$ MPa. Los módulos elásticos de los dos materiales se mantienen más o menos en el mismo rango de valores alrededor de $E = 71$ GPa. Finalmente la resistencia última para cada uno de los materiales es de 224 MPa y de 321 MPa respectivamente. Estos valores están en el rango de valores esperados para estos materiales según la literatura disponible.

6.3 CARACTERIZACIÓN DE ELEMENTOS DEL SISTEMA

A continuación se presentan una serie de ensayos tendientes a lograr una caracterización del comportamiento mecánico de varios componentes y del sistema de piso mismo. De nuevo se utilizan diferentes tipos de secciones de perfilería de aluminio para cubrir las condiciones más críticas. En cada ensayo se especifica el tipo de perfil y el material utilizado.

6.3.1 Ensayo de flexión en perfil

Los ensayos de flexión en perfiles de aluminio se adelantan con el fin de caracterizar el comportamiento a flexión en términos de la rigidez y flexibilidad de los perfiles y de la resistencia a la flexión de dichos elementos. El ensayo permitirá realizar una calibración inicial de los modelos de análisis en términos de flexibilidad y capacidad a flexión y aportará información valiosa sobre propiedades mecánicas a flexión.

El ensayo se realiza sobre una serie de láminas dispuestas con la misma configuración que en la realidad y con luz libre de ensayo de 90 cm de longitud. La carga se aplica mediante una viga simplemente apoyada a los tercios de la luz con el fin de tener momento constante sin cortante en la zona central de la viga. Se registra simultáneamente la carga aplicada mediante una celda de carga, y la deformación mediante un LVDT colocado en el centro de la luz (Ver Figura 6-4). Mediante el desarrollo de los ensayos se determina experimentalmente la rigidez de la lámina de aluminio a flexión, así como el esfuerzo flector máximo resistente y la curva típica carga-deflexión bajo efectos de flexión. Por no tratarse de un ensayo convencional se utiliza como referencia la metodología equivalente propuesta en la norma ASTM C78 para ensayo a flexión de vigas de concreto.

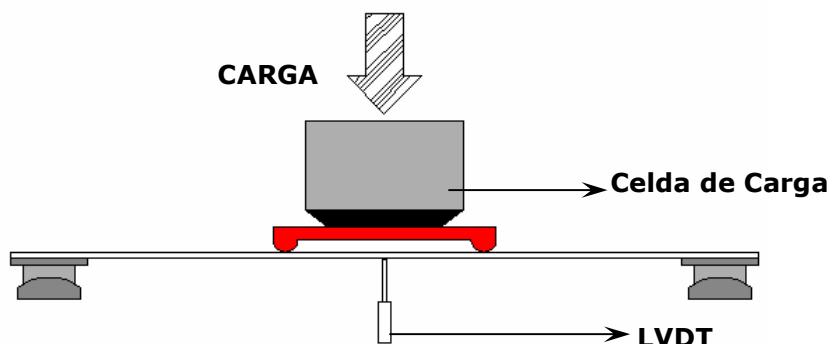


Figura 6-4 Esquema de ensayo a flexión de láminas

La Tabla 6-5 resume las características de los ensayos realizados y presenta los resultados obtenidos, incluyendo para cada probeta ensayada el factor de rigidez, carga máxima, deflexión máxima y la forma o mecanismo de falla.

Tabla 6-5 Resultados ensayos de flexión

ID	Perfil	Material	Luz del Ensayo [cm]	Factor de Rigidez [Kg/mm]	Carga Máxima [kg]	Deflexión Máxima [mm]	Momento Máximo [kg-cm]	Mecanismo de Falla
P1	A-1	6063 T5	90.0	12.12	208.3	35.1	4687	Falla por desprendimiento de perfiles laterales
P2	A-2	6261 T6	90.0	11.01	289.9	63.9	6523	Falla por desprendimiento de perfiles laterales
P3	A-4	6261 T6	90.0	4.46	134.4	79.0	3024	Falla por deformación excesiva
P4	L-1	6063 T5	90.0	9.15	176.6	44.6	3974	Falla en agujero para tornillo existente

En la Figura 6-5 se presentan las curvas carga-desplazamiento en el centro de la luz obtenidas en los diferentes ensayos realizados.

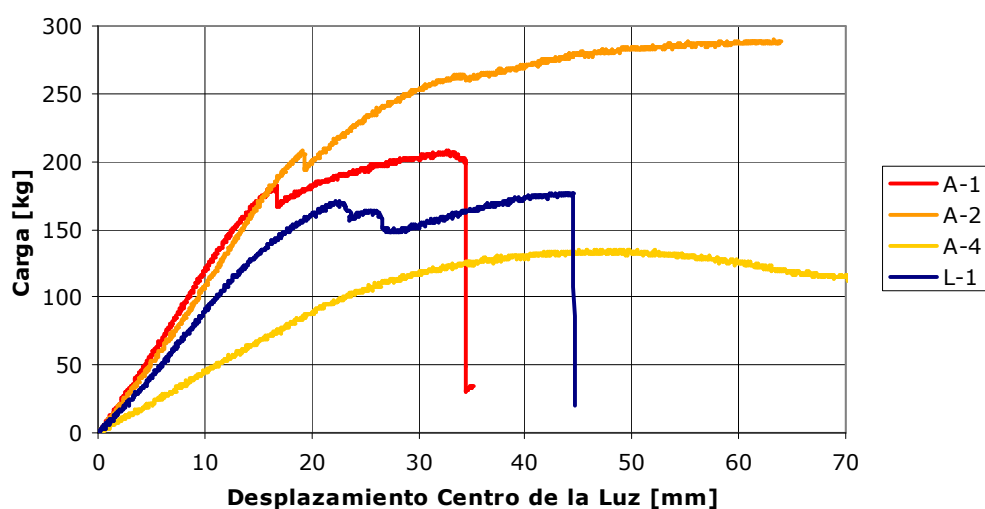


Figura 6-5 Curvas de carga Vs. deflexión en el centro de la luz

En la Figura 6-6 se incluyen fotografías de las formas de falla obtenidas en los diferentes ensayos.



Figura 6-6 Figuras esquemas de falla ensayo de flexión

Los ensayos realizados permiten establecer una serie de conclusiones específicas:

- (a) Los factores de rigidez (carga/desplazamiento) aproximados para el tipo de carga aplicada están entre 4.46 kg/mm y 12.12 kg/mm para perfiles A-4 aleación 6061 T6 y A-1 aleación 6063 T5 respectivamente.
- (b) La capacidad a momento de los perfiles ensayados varía entre 3024 kg.cm a 6522 kg.cm. Estos valores se comparan con los valores analíticos calculados con base en las resistencias últimas dadas en el numeral anterior y en los módulos plásticos de la sección transversal de cada sección. Dichos valores analíticos resultantes varían entre 4000 kg.cm y de 15000 kg.cm lo que indica que los perfiles, en flexión pura, no alcanzan a desarrollar su capacidad plástica a flexión.
- (c) Las formas de falla a flexión obtenidas son por pandeo local de las aletas (perfil A-4 y L-1) o desprendimiento de los perfiles laterales (perfiles tipo A-1 y A- 2).

6.3.2 Desgarramiento en lámina

Uno de los mecanismos de falla observados durante las visitas de inspección fue el de desgarramiento de la lámina de aluminio en la zona del conector al perfil de acero que sirve de apoyo. Para evaluar la capacidad al aplastamiento y al desgarramiento en la zona de conexión se realizan estos ensayos que permiten establecer la capacidad de la lámina en la zona de concentración de esfuerzos. El procedimiento de ensayo corresponde al mismo para ensayos de tensión y está referenciado en la norma ASTM B557.

Con el fin de determinar la resistencia al desgarramiento de las láminas de aluminio que hacen parte del sistema de piso de los puentes y de las estaciones de Transmilenio se realizan una serie de ensayos de tracción sobre probetas compuestas por cuatro secciones de perfiles unidas a láminas de acero mediante pernos, tal como se ilustra en una fotografía en la Figura 6-7. Sobre cada una de las probetas se aplica un esfuerzo de tensión que permite determinar el nivel de esfuerzo correspondiente a la falla de la probeta por desgarramiento, registrándose en forma simultánea el mecanismo de falla correspondiente. Los ensayos fueron realizados sobre perfiles tipo A-1, A-2 y A-4.



Figura 6-7 Esquema de ensayo de desgarramiento

Tomando como norma de referencia el ensayo de tensión en platinas, se construyó un montaje para el ensayo de desgarramiento (ver Figura 6-8 y Figura 6-9). En el montaje se unen dos láminas tipo A-2 (aleación 6261 T6) mediante un perno auto-perforante (del tipo actualmente usado en Transmilenio) en uno de los extremos y en el otro extremo mediante tres tonillos con tuerca. Como se puede observar, el tipo de conexión utilizada genera que la falla se presente en el extremo unido con un solo perno. En los ensayos se utiliza lámina sin troquelar.



Figura 6-8 Detalle de montaje del ensayo No 1



Figura 6-9 Detalle de montaje del perfil para el ensayo No 1

- (a) Ensayo No 1: En el primer ensayo de desgarramiento sobre un perfil sin troquelar se realiza la perforación en el centro de la pestaña, es decir a 11.5 mm del borde (Ver Figura 6-10). En el ensayo se aplica una carga monotónica hasta conseguir que la lámina en la zona de la pestaña se desgarre.



Figura 6-10 Localización de perforación para el ensayo No 1

En este ensayo se encuentra una carga máxima de 1039 Kg y una deformación reportada por la MTS de 18 mm. Debido a la geometría del montaje empleado (perno a 11.5 mm. del borde de la pestaña) la carga resistente por la lámina bajo las condiciones de ensayo es de 519 Kg (correspondiente a la mitad de la carga registrada). En la Figura 6-11 se presenta la curva de Carga vs. Deformación de la máquina para el ensayo de desgarramiento No 1. En la Figura 6-12 y en la Figura 6-13 se presenta la falla observada durante el ensayo.

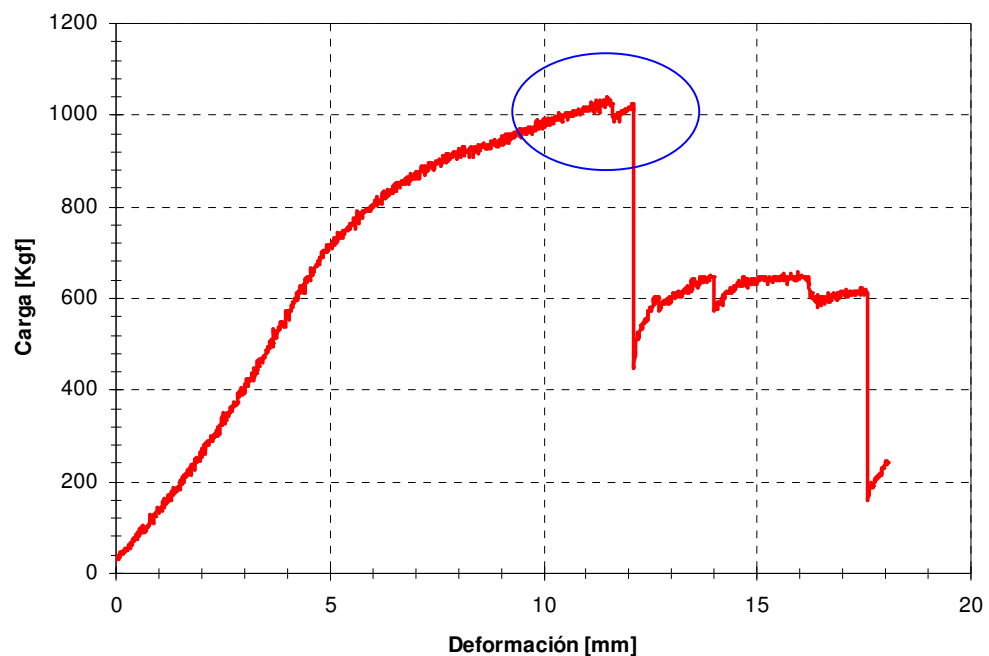


Figura 6-11 Grafica Carga Vs. Deformación para el ensayo No 1



Figura 6-12 Modos de falla para el ensayo No 1

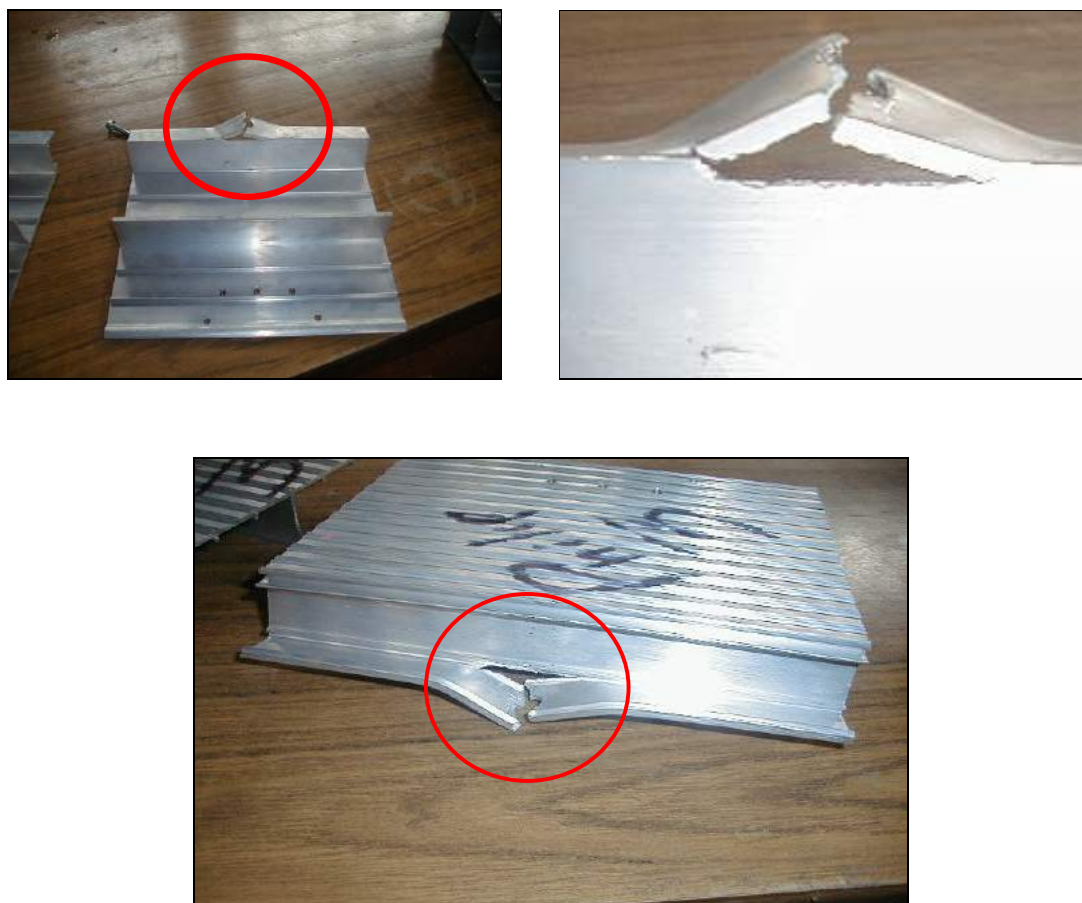


Figura 6-13 Detalle de modos de falla para el ensayo No 1

- (b) Ensayo No 2: Se utiliza el mismo montaje del ensayo No 1 (perfil sin troquelar), cambiando la posición del perno auto-perforante, el cual se ubica a 6.6 mm al extremo de la pestaña. Con lo

anterior se pretende simular de una manera más adecuada las condiciones reales de conexión de los pisos de Transmilenio.

El valor máximo registrado durante el ensayo es de 733 Kg y una deformación máxima de la máquina de 7.03 mm, con lo cual se encuentra una carga de desgarramiento para la lámina de 367 Kg. En la Figura 6-14 se presenta la gráfica Carga Vs. Deformación para el ensayo y en la Figura 6-15 se presentan los modos de falla de la lámina por desgarramiento.

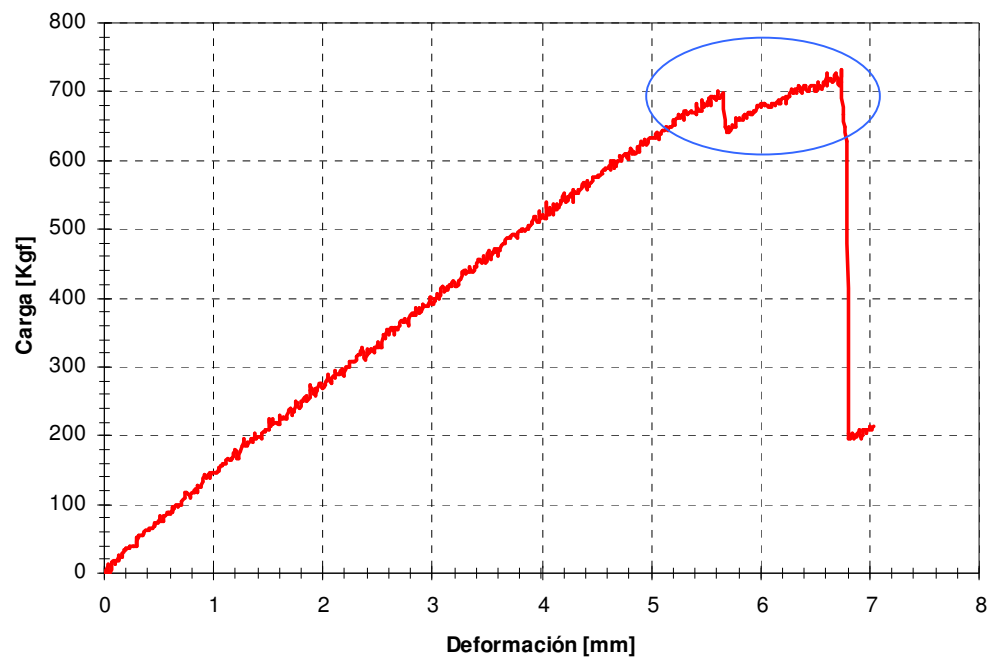


Figura 6-14 Grafica Carga Vs. Deformación para el ensayo No 2

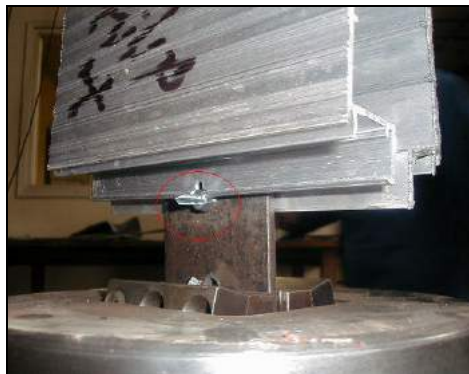


Figura 6-15 Modos de falla para el ensayo No 2

- (c) Ensayo No 3: Se utiliza el montaje de los ensayos anteriores, cambiando la posición del perno auto-perforante, el cual se ubica a 7 mm al extremo de la pestaña. El perfil ensayado corresponde a un Alumina tipo 1. El valor máximo registrado durante el ensayo es de 525 Kg y una deformación máxima de la máquina de 9.05 mm, con lo cual se encuentra una carga de desgarramiento para la lámina de 262 Kg. En la Figura 6-16 se presenta una fotografía con el esquema de falla de este ensayo.



Figura 6-16 Modos de falla para el ensayo No 3

- (d) Ensayo No 4: El perfil utilizado en este ensayo es A-4. El valor máximo registrado durante el ensayo es de 814 Kg y una deformación máxima de la máquina de 18.05 mm, con lo cual se encuentra una carga de desgarramiento para la lámina de 407 Kg.

Los anteriores resultados indican que las fuerzas de desgarramiento de la lámina en las zonas de instalación de los pernos o tornillos de anclaje varían entre 370 Kg y 520 Kg para los ensayos realizados sobre el mismo perfil (A-2). Lo anterior indica que estas fuerzas son altamente variables dependiendo del sitio exacto de colocación del conector. Igualmente permite concluir que el sistema de instalación y la calidad de la misma tendrán una influencia muy importante en los valores finales de resistencia del sistema. Se encuentra una alta variabilidad de los resultados en función tanto de la geometría como del material que conforma el perfil.

6.3.3 Flexión con carga distribuida en componente

Una de las consideraciones críticas del diseño hace referencia a la carga viva de diseño la cual corresponde a una carga estática uniformemente distribuida. El sistema debe ofrecer, entre otras cosas, un adecuado comportamiento ante este tipo de cargas. Para verificar esta condición de diseño se

plantea la realización de un ensayo con carga distribuida que corresponde a una prueba de carga sobre un sector de piso. El ensayo sirve simultáneamente para calibrar los modelos analíticos a desarrollar, en términos de flexibilidad y comportamiento bajo carga uniformemente distribuida.

Para la realización de ensayos de flexión bajo carga distribuida se implementa la siguiente metodología general la cual deberá aplicarse a cada sistema o a cada variación o modificación del sistema que se desee estudiar:

- Construcción de un espécimen que represente las características y detalles de los perfiles y conectores que se desean estudiar. En la Figura 6-17 que se presenta a continuación se encuentra un esquema del montaje utilizado para el ensayo. En el presente caso se utilizan perfiles A-2 de material tipo 6261 T6 con apoyos en vigas C espaciadas cada 100 cm.
- Mediante bultos de arena previamente calibrados se aplica progresivamente la carga uniformemente distribuida al módulo ensayado. La carga se aplica por etapas, en cada una de las cuales se realiza un incremento en la carga distribuida de 200 kg/m², hasta alcanzar una carga de 600 kg/m². En la primera etapa de la prueba se cargan los cuatro perfiles ubicados en la zona de la luz central hasta alcanzar la carga distribuida máxima. Luego se carga la luz contigua hasta alcanzar en ésta luz la carga máxima.
- Este espécimen se instrumenta con cuatro LVDT (en la lámina central, en la aleta de la lámina central, en la vigueta central y en la lámina de la luz contigua) y con tres “strain gage” (en la lámina central, en la aleta de la lámina central y en la vigueta central) para determinar el nivel de deflexiones en varios puntos y el nivel de esfuerzo principal compatible con el nivel de carga que se aplique. En la Figura 6-17 se presenta el esquema de distribución de la instrumentación. La Figura 6-18 presenta una fotografía que ilustra la manera de colocar los instrumentos en el espécimen de prueba.

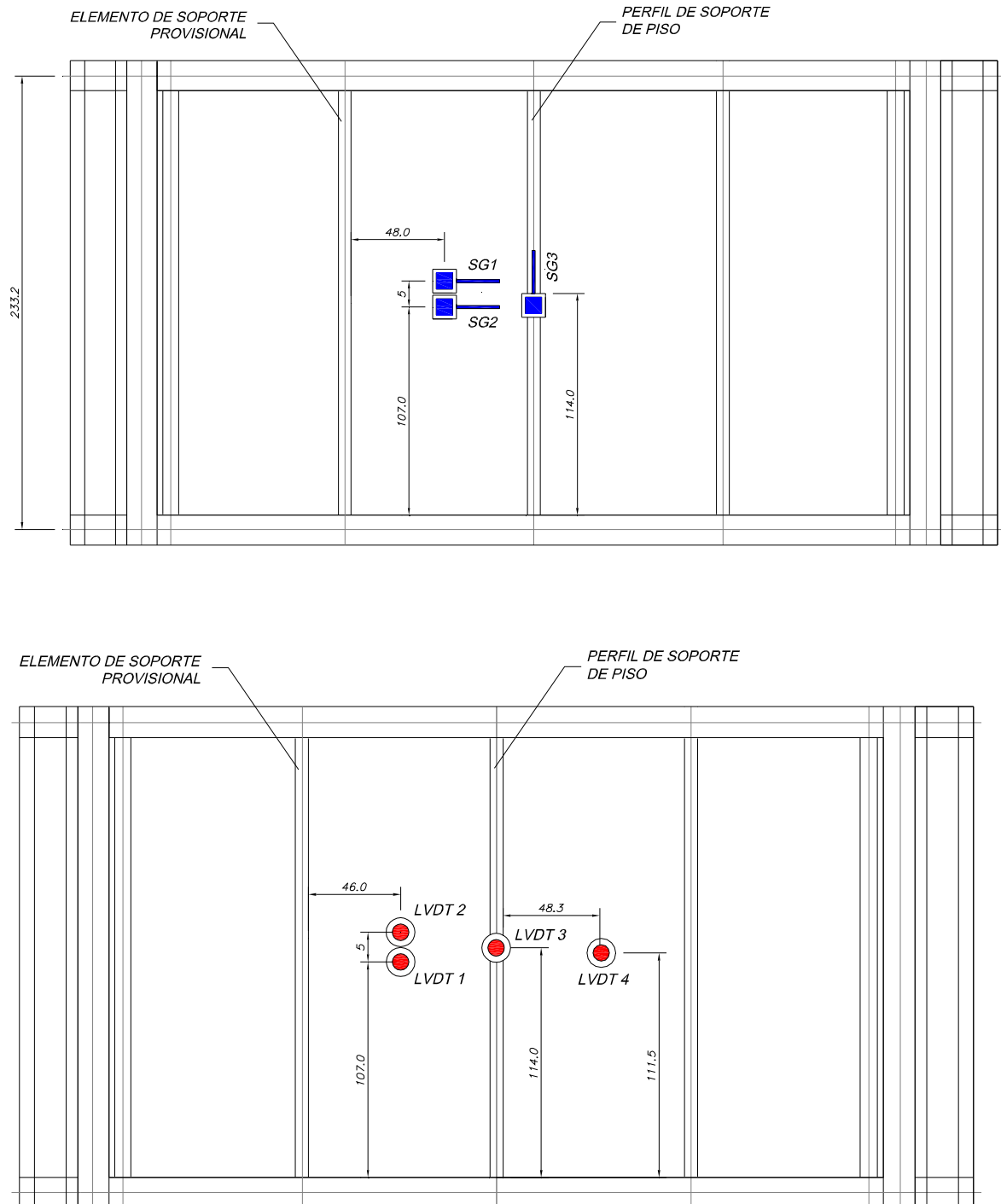


Figura 6-17 Esquema de Montaje para ensayo de flexión bajo carga distribuida



Figura 6-18 Fotografías ensayo de carga distribuida

- Durante los ensayos se realiza el seguimiento y la inspección de sitios críticos con el fin de identificar la aparición de grietas, el desgarramiento de la lámina o cualquier otro signo de mal funcionamiento del sistema. Durante el ensayo de carga distribuida no se observó que se generaran grietas, el comportamiento observado durante el ensayo es elástico en el cual se recuperan las deformaciones una vez removida la carga distribuida.
- El ensayo se adelanta hasta alcanzar una carga aproximada de 500 kg/m^2 en la lámina central seleccionada para el estudio. Durante todo el proceso de carga se registra tanto la carga total actuante en cada momento como las deflexiones y deformaciones unitarias según la instrumentación colocada. Se realiza una descripción detallada del comportamiento del sistema para cada una de las etapas de carga en especial la que corresponde a la carga máxima de diseño.

El espécimen sometido a carga no presentó en ningún momento ninguna evidencia de falla, deflexión excesiva o comportamiento anómalo.

Los resultados del ensayo se resumen en la Tabla 6-6.

Tabla 6-6 Resultados ensayo carga distribuida

Etapa	Carga [Kg]	Esfuerzo [Kg/cm ²]			Desplazamiento [cm]			
		Lámina	Pestaña	Vigueta	Lámina	Pestaña	Vigueta	Lámina contigua
Inicio	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Carga 1	110	2.730	0.272	-0.048	0.155	0.295	0.076	0.104
Carga 2	220	4.080	0.500	0.079	0.311	0.602	0.175	0.161
Carga 3	330	4.396	0.748	0.186	0.476	0.913	0.277	0.233
Carga 4	450	4.740	0.673	0.296	0.529	1.006	0.382	0.420
Carga 5	570	4.290	0.609	0.382	0.575	1.087	0.476	0.592
Carga 6	660	4.110	0.576	0.433	0.605	1.141	0.542	0.713
Descarga 1	570	3.720	0.635	0.461	0.563	1.075	0.469	0.597
Descarga 2	450	3.760	0.674	0.444	0.515	0.993	0.365	0.434
Descarga 3	330	3.760	0.747	0.672	0.468	0.912	0.243	0.243
Descarga 4	220	2.620	0.490	0.659	0.320	0.643	0.139	0.163
Descarga 5	110	1.160	0.254	0.639	0.166	0.340	0.033	0.083
Descarga 6	0	1.120	0.030	0.587	0.010	0.001	0.074	0.003

La Figura 6-19 muestra la etapa de carga o descarga contra deflexión registrada en cada uno de los cuatro LVDT instalados.

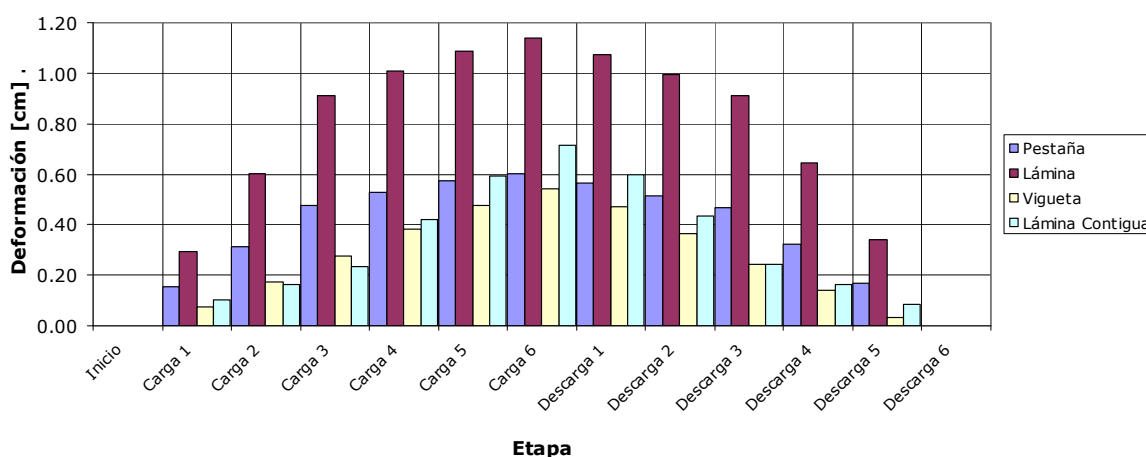


Figura 6-19 Registro de deformaciones prueba de carga laboratorio

Por otro lado en la Figura 6-20 se presenta la curva correspondiente para los “strain gages”.

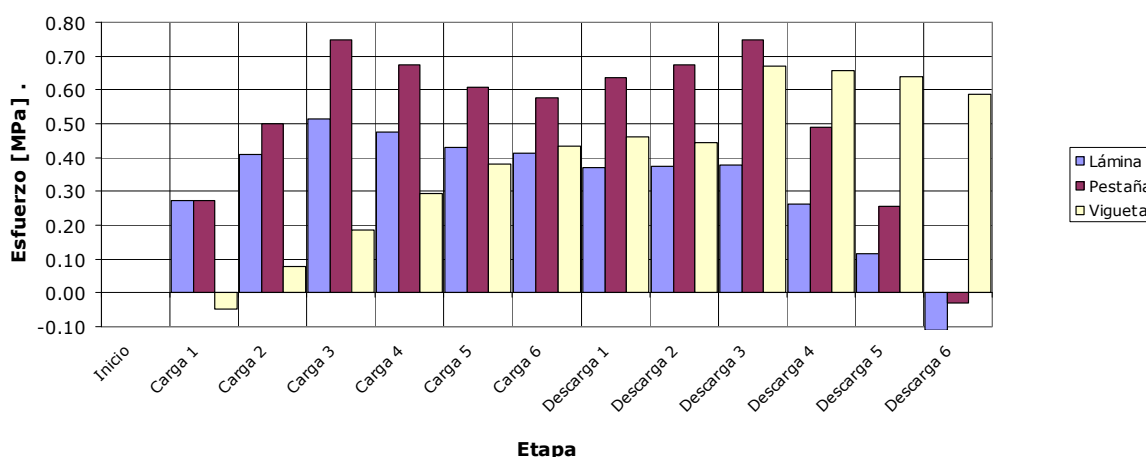


Figura 6-20 Estimación de esfuerzos a partir de deformaciones unitarias (Laboratorio)

Para el caso de la carga máxima, la Tabla 6-7 compara los valores máximos registrados con los valores analíticos que resultan de la aplicación de la carga correspondiente en el modelo analítico.

Tabla 6-7 Resultados ensayo carga distribuida

Parámetro	Valor Registrado	Valor Analítico	Observaciones
Deformación lámina centro de la luz carga de 330 kg	0.91 cm	0.77 cm	-
Deformación lámina centro de la luz carga de 660 kg	1.14 cm	0.98 cm	-
Esfuerzo lámina centro de la luz carga de 330 kg	0.51 MPa	0.46 MPa	-
Esfuerzo lámina centro de la luz carga de 660 kg	0.41 Mpa	0.35 Mpa	-

Los ensayos realizados permiten concluir que los perfiles ensayados tienen un buen comportamiento ante las cargas de diseño estáticas establecidas y que el modelo analítico desarrollado reproduce aceptablemente bien los resultados registrados en la prueba de laboratorio.

El espécimen se utilizó en forma complementaria para registrar factores de rigidez con el fin de verificar información similar de los ensayos de campo y de otros ensayos realizados. La prueba consiste en aplicar el peso de una persona concentrado en un solo pie justo en la parte superior del LVDT y registrar de esta manera la deflexión correspondiente. La Tabla 6-8 presenta los resultados obtenidos de estas mediciones con una carga estática de 75 kg aplicada en forma concentrada en un solo pie.

Tabla 6-8 Resultados estimación experimental de la rigidez

Punto de Medición	Deflexión [mm]	Factor de Rigidez [kg/cm]
Lámina debajo de la carga	2.51	302.8
Pestaña centro de la luz	1.71	444.4
Lámina luz contigua	0.70	1085.7

Finalmente se realiza una verificación de deflexiones máximas relativas. Observando los LVDT 2 y 3, se puede estimar la deflexión máxima de la lámina superior del perfil de aluminio con respecto a los nervios o viguetas de apoyo. Esta deflexión máxima resulta ser de 6.7 mm, que al compararla con la luz de dicha lámina entre nervios de apoyo (1000 mm) se obtiene una deflexión del orden de L/150. Este valor de deflexión relativa para la carga viva de diseño resulta demasiado alto con respecto a los límites normalmente establecidos para sistemas estructurales similares. Según la norma NSR-98 dichos valores para estructuras metálicas no deben sobrepasar en ningún caso valores alrededor de los L/360.

6.3.4 Fatiga por aceptación

Se realizan ensayos de fatiga por aceptación en los sistemas de aluminio actuales. Se realizaron un total de cuatro (4) ensayos de módulos de 0.60 m x 4.00 m contruidos con perfiles A-1 (troquelado), A-2, A-4 y L-1 (troquelado). La metodología de ensayo implementada es la siguiente:

- (a) Construcción del espécimen que represente las características y detalles de los perfiles y conectores que se desean estudiar. La Figura 6-21 presenta un espécimen característico a ensayar.



Figura 6-21 Esquema de Montaje para ensayo de fatiga

- (b) Mediante los modelos analíticos desarrollados se determinan esquemas de ubicación crítica de la carga. Considerando las observaciones realizadas sobre el tipo y patrón de cargas en el Capítulo 4 esta ubicación puede ser la correspondiente a la zona del apoyo o hacia los centros de luces. La ubicación de las cargas críticas será aquella que produzca los esfuerzos máximos en las zonas críticas de fatiga.
- (c) Una vez identificado un esquema de distribución crítica de carga, se aplica mediante cargas localizadas en neoprenos de 5 cm x 5 cm (ver Capítulo 4). La variación temporal de las cargas corresponde al espectro de cargas diario determinado para el análisis a fatiga en el Capítulo 4 (Ver Figura 6-22).

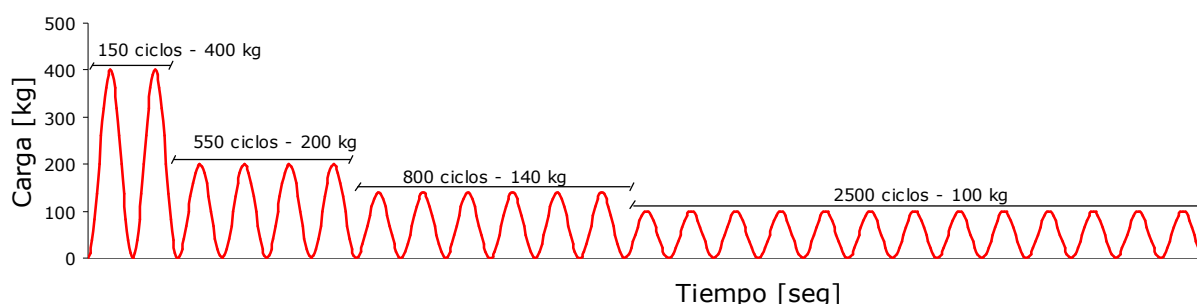


Figura 6-22 Variación temporal de cargas ensayo de fatiga (corresponde a un día en actividad)

- (f) Cada ciclo completo de carga representa un día de servicio del elemento. Se realiza el seguimiento del número de ciclos completos de carga (días), del nivel de carga especificado y de las deflexiones que se van presentando a lo largo del ensayo medidas a través del deformímetro del cabezote del actuador.
- (g) Durante los ensayos se realiza el seguimiento y la inspección de sitios críticos con el fin de identificar la aparición de grietas, el desgarramiento de la lámina o cualquier otro signo de fatiga. El aumento excesivo en las deflexiones se califica igualmente como un signo de fatiga.
- (h) Una vez se identifica un deterioro considerable del elemento, se reportan los datos principales del ensayo tales como nivel de fuerza aplicada, número de ciclos completos aplicado (días de servicio), variación de las deflexiones verticales con el número de ciclos completos y descripción del tipo de falla por fatiga.
- (i) Con los datos obtenidos se establecerá el número de ciclos completos (o días) de servicio para los cuales el elemento presenta un comportamiento aceptable desde el punto de vista de deflexiones, de capacidad o de aparición de grietas o de cualquier otro signo de fatiga.

Los ensayos se realizan sobre segmentos de piso instalados en condiciones equivalentes a las condiciones reales. Esto incluye el empleo del mismo tipo de viguetas metálicas de apoyo y bajo las condiciones que se indican más adelante. De igual manera, la instalación ha sido realizada con mano de obra experimentada, personal de los contratistas que ha realizado instalaciones recientes de pisos en el sistema. La instalación fue sometida a un control de calidad mínimo equivalente al que se tiene en campo, garantizando que esta quede en buen estado y garantice un trabajo adecuado de los perfiles. La Tabla 6-9 resume los parámetros básicos de cada ensayo y los resultados obtenidos en cada uno de ellos.

Tabla 6-9 Principales resultados ensayos de fatiga por aceptación

No	Perfil	Material	Luz [m]	Amplitud de carga aplicada [kg]	Distribución de ciclos	Número de ciclos completos de carga para Falla	Tipo de Falla	Observaciones
1	A-4	6261 T6	0.5	300	Constante	342000	Agrietamiento en la pestaña de apoyo	No se utilizó el espectro de carga por lo cual los ciclos no corresponden a ciclos diarios de carga
2	A-2	6261 T6	1.0	400 - 200 - 140 - 100	Figura 6-22	1194	Agrietamiento en el atiesador central del perfil	Puede aun contar con vida residual bajo daño controlado
3	A-1	6063 T5	1.0	400 - 200 - 140	Figura 6-22	441	Agrietamiento generalizado de la lámina superior y falla de las pestaña y atiesador de soporte	---
4	L-1	6063 T5	1.0	400 - 200 - 140	Figura 6-22	195	Agrietamiento generalizado de la lámina superior	No se puede continuar el ensayo por deformación excesiva en la zona de aplicación de la carga

La Figura 6-23 presenta las variaciones de la deflexión vertical con el número de ciclos para uno de los ensayos realizados (Ensayo con A-1 – Troquelado), como nivel de referencia (cero de la gráfica) se utiliza la deformación del cabezote correspondiente al primer ciclo de carga. La gráfica es un indicativo del nivel de deterioro que se obtiene a medida que se aplican ciclos de carga. Es la manera clara de identificar en este caso el problema de fatiga. Los aumentos instantáneos en la deformación correspondientes a las fisuras o microfisuras en el perfil. En este caso se observa un deterioro progresivo de las propiedades del perfil.

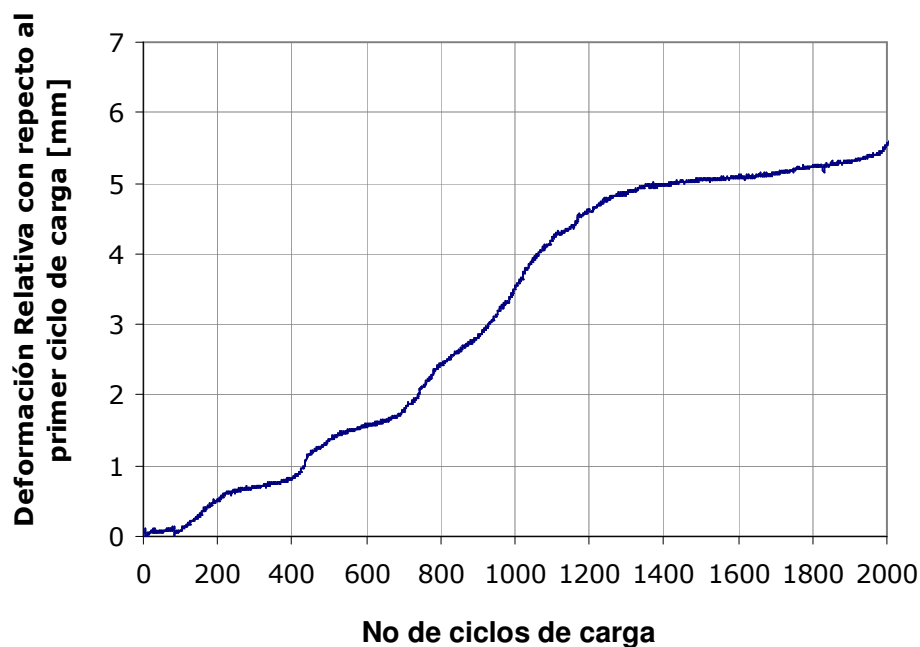


Figura 6-23 Variación del desplazamiento del cabezote con respecto a la deformación inicial

Por otro lado desde la Figura 6-24 hasta la Figura 6-26 se presentan las fotografías de los daños observados una vez terminado cada uno de los ensayos.

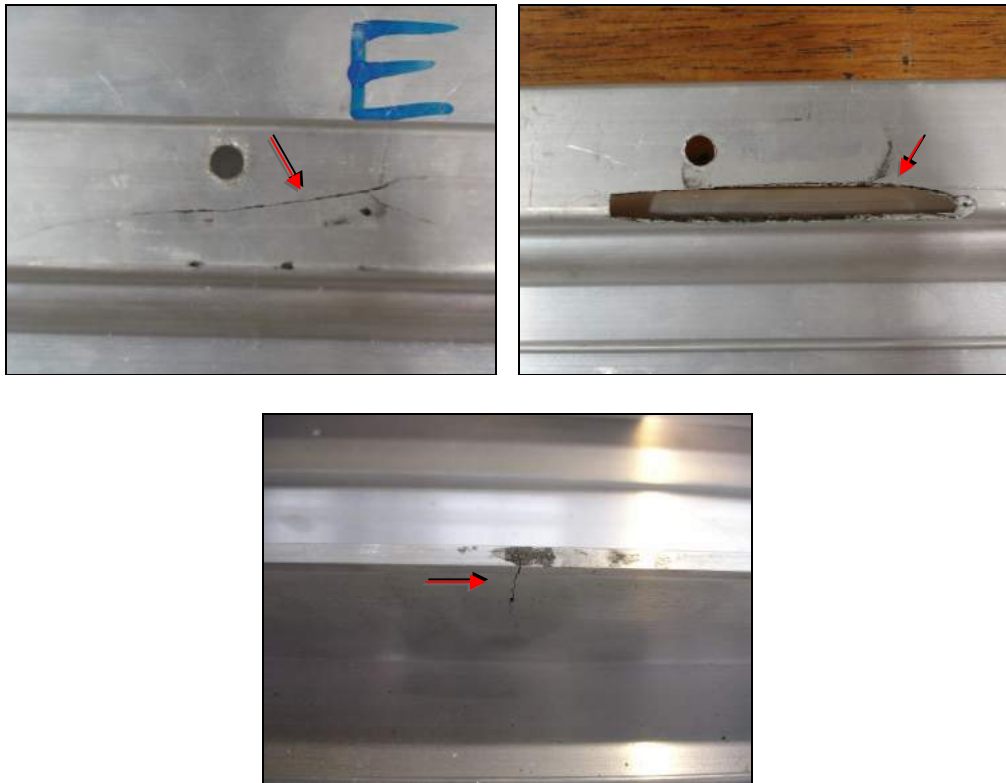


Figura 6-24 Tipos de falla para ensayo de fatiga en perfiles A-4

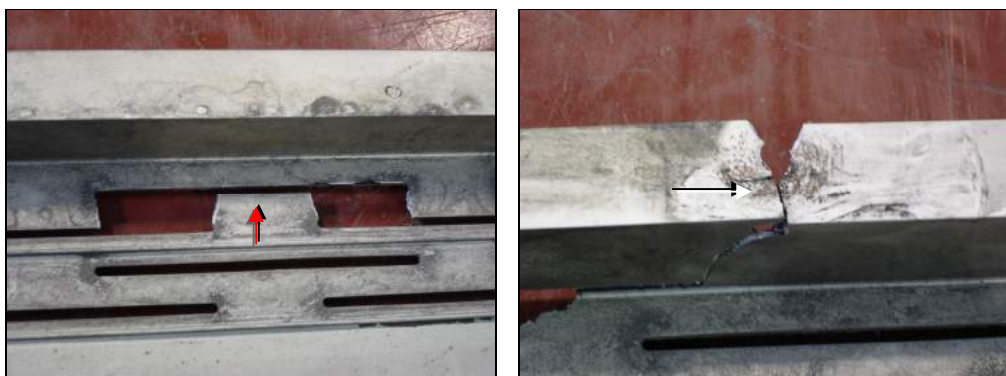


Figura 6-25 Tipos de falla para ensayo de fatiga en perfiles A-1

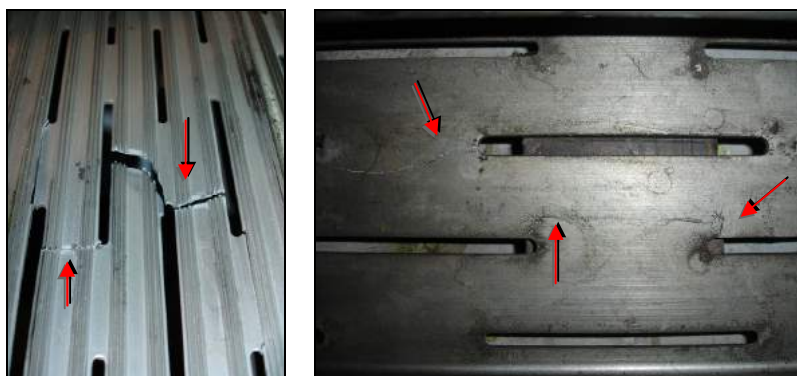


Figura 6-26 Tipos de falla para ensayo de fatiga en perfiles L-1

Los anteriores ensayos permiten establecer las siguientes conclusiones:

- (a) La forma de falla característica de los perfiles ensayados coincide aproximadamente con las formas de falla observadas en campo
- (b) Para las condiciones de ensayo definidas (patrón de cargas de estaciones de alto tráfico y condiciones de apoyo equivalentes a las usadas en campo) la vida útil de los perfiles ensayados (A-2 y A-4) son cercanas a los 3.3 años para módulos conformados con perfiles de aluminio estructural sin troquelado.
- (c) Los perfiles de la primera generación (A-1 y L-1) presentan vidas útiles entre 0.5 a 1.2 años para las condiciones de carga indicadas.

Los anteriores resultados son aplicables a las condiciones reales siempre y cuando se cumplan las siguientes consideraciones:

- (a) Las condiciones de instalación se realicen de manera adecuada. Esto significa que se garantice un adecuado control de calidad respecto a: instalación, ubicación y alineamiento preciso de pernos, pernos descabezados o sueltos, ajuste adecuado de pernos, evitar varias perforaciones simultáneas en una misma zona de conexión, alineamiento y nivelación adecuada de perfiles de acero de soporte y otros detalles de la instalación misma. En general, cualquiera que sea el defecto en el sistema de instalación, la tendencia es hacia una disminución en la vida útil estimada del sistema.

- (b) Las condiciones de intensidad y frecuencia de las cargas se deben mantener en los niveles correspondientes a los de las estaciones de mayor tráfico actual como son la de la Calle 76 con Avenida Caracas y la de la Calle 100 con Autopista del Norte. En caso de tenerse mayores intensidades de tráfico peatonal la vida útil estimada disminuiría, y en caso de tenerse menores intensidades de tráfico peatonal, la vida útil aumentaría con respecto a la estimada anteriormente.

6.3.5 Medición de ruido

El objetivo de este ensayo es disponer de un parámetro que permita la comparación del nivel de ruido entre las diferentes opciones de sistema de pisos para las estaciones y los puentes peatonales de Transmilenio. No existe una norma que sirva de referencia y que especifique el procedimiento a seguir, por esta razón se propone la metodología que se presenta a continuación. Se propone el desarrollo de una prueba de medición de ruido por cada sistema ensayado (existente y nuevo).

El ensayo se efectúa sobre un módulo del sistema similar al empleado para los ensayos de flexión. En el tramo central del módulo se coloca un trípode el cual sostiene una pesa cilíndrica de 10 kg de masa que se encuentra recubierta por una capa de material flexible. La pesa se deja caer desde una altura de 35 cm con el fin de generar una energía de impacto similar a la que puede ejercer sobre el sistema una persona corriendo. A un metro del sitio de impacto se coloca un sensor de intensidad de sonido con el cual se registra la intensidad producida por el golpe en decibeles. Este parámetro es comparado entre las opciones disponibles en la actualidad y las opciones propuestas en este estudio. Por medio de esta comparación se puede establecer la disminución porcentual en el nivel de ruido que se presenta en los pisos. En la Figura 6-27 que se presenta a continuación se encuentra un esquema del montaje implementado.

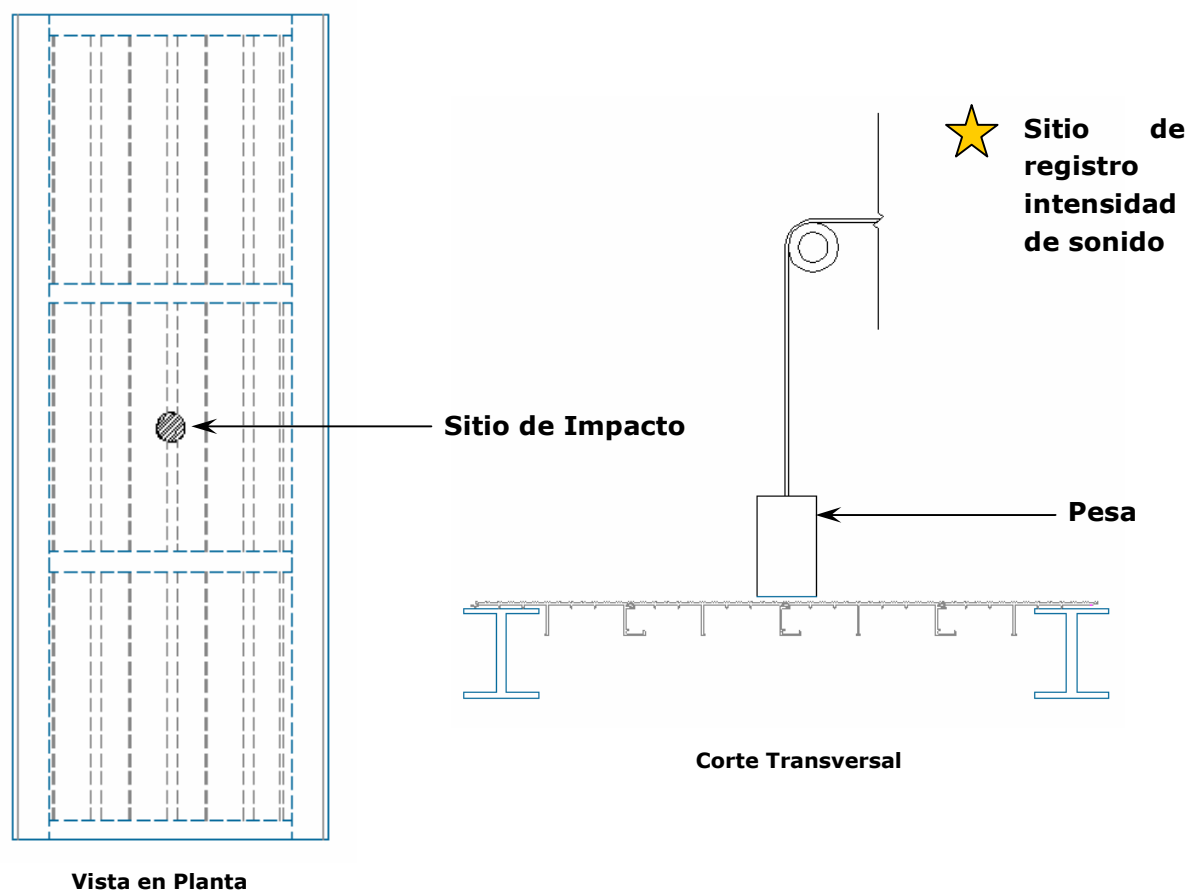


Figura 6-27 Esquema de montaje ensayo de nivel de ruido

Tabla 6-10 Resultados de ensayos de medición de ruido

Medicion	Nivel de ruido [dB]		
	Condicion 1	Condicion 2	Condicion 3
1	72.4	81.6	97.7
2	71.8	78.4	98.8
3	71.9	80.6	96.8
Promedio	72.0	80.2	97.8
Ruido generado	0.0	8.2	25.7

6.3.6 Ensayo de desgaste en laboratorio

El objetivo de este ensayo es disponer de un parámetro que permita la comparación del nivel de desgaste entre los diferentes materiales utilizados para la elaboración de perfiles que conforman los sistemas de pisos para las estaciones y los puentes peatonales de Transmilenio. Se desarrolla una prueba de desgaste por cada material analizado.

Se introduce una carga vertical mediante un disco abrasivo especial para aluminio que gira constantemente y que como consecuencia desgasta la lámina de aluminio. A intervalos de tiempo definidos se mide la pérdida de altura de la sección transversal de la lámina. Los resultados de las mediciones permiten establecer una comparación entre los diferentes sistemas de acuerdo a su resistencia al desgaste. La prueba de abrasión se desarrolla en una máquina de abrasión Taber siguiendo la metodología que se encuentra en la norma ASTM D3389.

En la Tabla 6-11 se presenta un resumen de los resultados preliminares encontrados.

Tabla 6-11 Principales resultados mediciones de desgaste

No	Tipo Material	Masa Pérdida por revolución [mg/rev]	Observaciones
1	6063 T5	0.060	Carga aplicada de 1000 gr - 500 ciclos
2	6063 T5	0.050	Carga aplicada de 1000 gr - 500 ciclos
3	6063 T5	0.050	Carga aplicada de 1000 gr - 500 ciclos
4	6261 T6	0.047	Carga aplicada de 1000 gr - 500 ciclos
5	6261 T6	0.044	Carga aplicada de 1000 gr - 500 ciclos
6	6261 T6	0.044	Carga aplicada de 1000 gr - 500 ciclos

Se puede observar que el aluminio arquitectónico presenta cerca de 20 % más de abrasión en comparación al aluminio estructural (medida como la masa promedio que pierde la probeta por revolución).

6.3.7 Ensayo de envejecimiento

Con el fin de determinar la susceptibilidad de los perfiles de aluminio ante factores climáticos como la radiación solar, la lluvia y la condensación, se están desarrollando cuatro (4) pruebas de envejecimiento en las cuales se introduce en un Fadeómetro cuatro probetas extraídas de perfiles Alumina A1, A2 y A4. En la máquina se genera un ciclo de duración de una hora, del cual, en la primera mitad se expone la probeta a rayos ultravioleta para reproducir aceleradamente el efecto que genera la exposición a la luz solar. En la segunda parte del ensayo se generan las condiciones necesarias para lograr condensación de agua, de esta manera se simulan los efectos presentados en las horas de la noche. La prueba completa un total de días equivalentes de envejecimiento, sin que hasta el momento haya observado ningún cambio visual significativo en ninguna de las cuatro probetas ensayadas.

En las Figuras 6-28 y 6-29 se presenta una fotografía de la máquina empleada para el ensayo de envejecimiento y las probetas ensayadas.



Figura 6-28 Máquina usada en el ensayo de envejecimiento

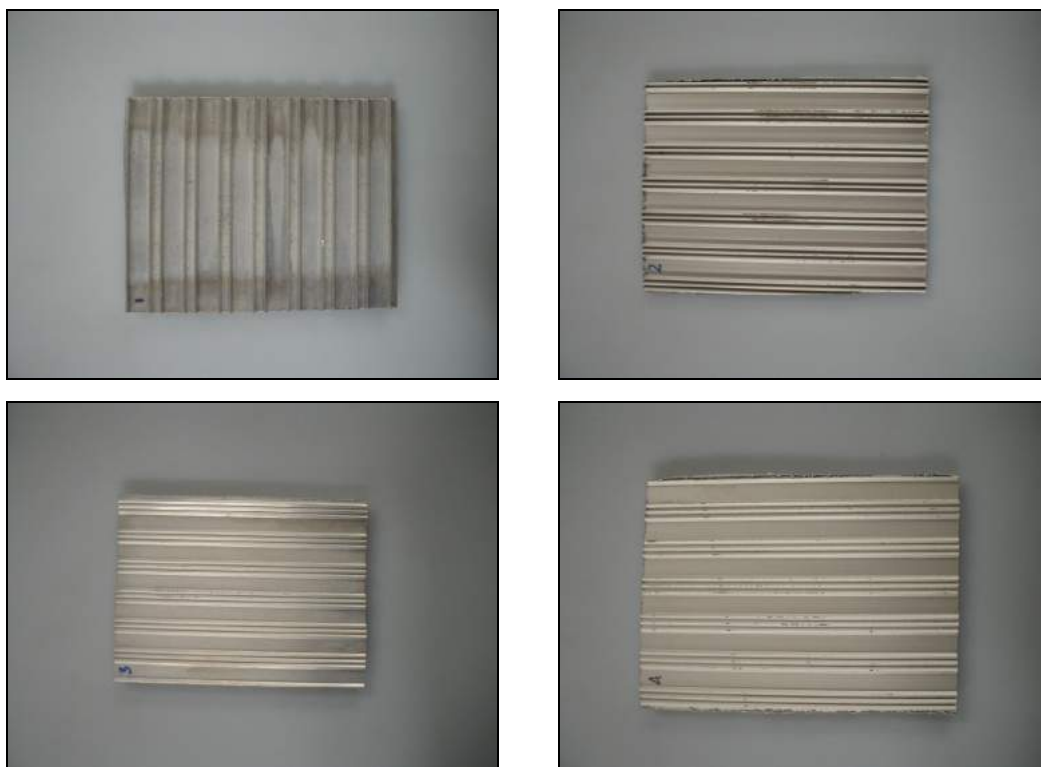


Figura 6-29 Probetas para el ensayo de envejecimiento

MODELACIÓN ANALÍTICA DE LOS PISOS EXISTENTES

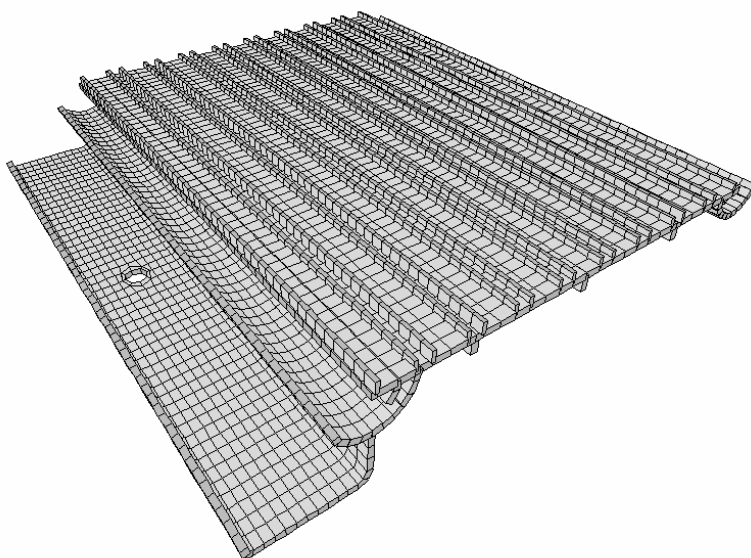


TABLA DE CONTENIDO

7 Modelación analítica de los pisos existentes

7.1	Esquemas de modelos analíticos	7-1
7.1.1	Modelo N°1	7-2
7.1.2	Modelo N°2	7-4
7.1.3	Modelo N°3	7-8
7.2	Modelación analítica de zonas instrumentadas en campo.....	7-13
7.2.1	Estación Avenida Caracas por Calle 76	7-13
7.2.2	Estación Autopista Norte por Calle 100.....	7-16
7.2.3	Puente peatonal Autopista Norte con Avenida Calle 100	7-19
7.2.4	Resumen	7-22
7.3	Modelación analítica de ensayo de desgarramiento	7-23
7.3.1	Descripción del modelo.....	7-23
7.3.2	Resultados y comparación.....	7-24
7.4	Posición crítica de carga para fatiga.....	7-28
7.4.1	Perfil A-1 (A-2)	7-28
7.4.2	Perfil L-1.....	7-31
7.5	Evaluación analítica de la fatiga.....	7-34
7.5.1	Introducción.....	7-34
7.5.2	Espectros de cargas	7-35
7.5.3	Espectros de esfuerzos críticos	7-36
7.5.4	Determinación de curva fr-N de diseño.....	7-38
7.5.5	Estimación de la vida útil	7-39
7.5.6	Comparación con resultados experimentales.....	7-41



7.5.7	Resultados para otros ensayos	7-41
7.6	Diagnóstico técnico	7-42
7.6.1	Diagnóstico general sobre el sistema de pisos en perfilería de aluminio	7-42
7.6.2	Diagnóstico particular de los sistemas ensayados.....	7-46
7.6.3	Recomendaciones.....	7-47

LISTA DE FIGURAS

Figura 7-1 Modelo A-1 (A-2) (114 frame y 14 n-link).....	7-2
Figura 7-2 Modelo A-4 (87 frame y 22 n-link).....	7-3
Figura 7-3 Modelo L-1 (89 frame y 15 n-link)	7-3
Figura 7-4 Modelo L-4 (89 frame y 15 n-link)	7-4
Figura 7-5 Modelo A-1 (A-2) sin troquelar (7052 shell)	7-5
Figura 7-6 Modelo A-1 (A-2) Troquelada (7068 shell).....	7-5
Figura 7-7 Modelo A-4 sin troquelar (4554 shell)	7-6
Figura 7-8 Modelo L-1 sin troquelar (5504 shell).....	7-6
Figura 7-9 Modelo L-1 troquelada (5382 shell).....	7-7
Figura 7-10 Modelo L-4 sin troquelar (5354 shell).....	7-7
Figura 7-11 Modelo A-1 (A-2) sin troquelar (33945 shell)	7-9
Figura 7-12 Modelo A-1 (A-2) troquelado (40041 shell)	7-9
Figura 7-13 Modelo A-1 (A-2) troquelado - detalle	7-10
Figura 7-14 Modelo A-4 sin troquelar (27915 shell)	7-10
Figura 7-15 Modelo L-1 sin troquelar (30360 shell).....	7-11
Figura 7-16 Modelo L-1 troquelado (36240 shell).....	7-11
Figura 7-17 Modelo L-4 sin troquelar (29394 shell).....	7-12
Figura 7-18 Disposición de los lvdt	7-14
Figura 7-19 Modelo analítico y detalle de apoyo	7-14
Figura 7-20 Desplazamientos verticales ante carga de calibración estática	7-15
Figura 7-21 Desplazamientos verticales ante carga estática de calibración (en campo).....	7-15
Figura 7-22 Disposición de los lvdt	7-17
Figura 7-23 Modelo analítico	7-17

Figura 7-24 Desplazamientos verticales ante carga de calibración estática	7-18
Figura 7-25 Desplazamientos verticales ante carga estática de calibración (en campo).....	7-18
Figura 7-26 Disposición de los LVDT	7-19
Figura 7-27 Modelo analítico	7-20
Figura 7-28 Desplazamientos verticales ante carga de calibración estática	7-21
Figura 7-29 Desplazamientos verticales ante carga estática de calibración (en campo).....	7-21
Figura 7-30 Modelo a desgarramiento, tornillo centrado	7-23
Figura 7-31 Modelo a desgarramiento, tornillo cerca al borde.....	7-24
Figura 7-32 Deformada modelo a desgarramiento, tornillo centrado	7-25
Figura 7-33 Deformada modelo a desgarramiento, tornillo cerca al borde	7-25
Figura 7-34 Esfuerzos 11 (MPa), modelo a desgarramiento, tornillo centrado	7-26
Figura 7-35 Esfuerzos 11 (MPa), modelo a desgarramiento, tornillo cerca al borde.....	7-26
Figura 7-36 Comparación rango elástico	7-27
Figura 7-37 Posiciones de carga analizadas, de arriba abajo A, B, C y D	7-28
Figura 7-38 Línea de influencia para apoyo exterior	7-29
Figura 7-39 Línea de influencia para apoyo interior.....	7-30
Figura 7-40 Posiciones de carga analizadas, de arriba abajo A, B, C y D	7-31
Figura 7-41 Línea de influencia para apoyo de borde.....	7-32
Figura 7-42 Línea de influencia para apoyo interior.....	7-33
Figura 7-43 Espectro de carga	7-36
Figura 7-44 Estado de esfuerzos, (kg/cm ²).....	7-37
Figura 7-45 Espectro de esfuerzos	7-38
Figura 7-46 Curvas fr - N de diseño	7-39

LISTA DE TABLAS

Tabla 7-1 Propiedades básicas para modelación	7-1
Tabla 7-2 Rigidez obtenida en las calibraciones.....	7-22
Tabla 7-3 Cálculo de ciclos fatiga	7-40
Tabla 7-4 Parámetros empleados en el cálculo de fatiga	7-41
Tabla 7-5 Vida estimada ante fatiga de las muestras	7-42
Tabla 7-6 Comentarios a los perfiles de aluminio	7-45

7.1 ESQUEMAS DE MODELOS ANALITICOS

Para efectos del diagnóstico del estado actual de los pisos de las estaciones y puentes se adelantan una serie de modelos analíticos que permiten establecer en detalle el funcionamiento del sistema. Estos modelos se calibran con base en los ensayos de caracterización de materiales realizados. A continuación se presentan cada uno de los modelos realizados

- Modelo No 1: para el desarrollo de este modelo se utilizan elementos *Frame* y apoyos no lineales tipo *N-link*. Estos modelos se analizan aplicando las cargas obtenidas a partir del análisis de la información de campo (instrumentación). En estos modelos se tendrán en cuenta láminas sin troquelar con geometría Tipo Alumina A-1 (A-2), Lehner L-1 y de última generación Tipo A-4 y L-4.
- Modelo No 2: para el desarrollo de este modelo se utilizan elementos *Shell*, apoyos lineales y cargas similares al modelo No 1. En estos modelos se tendrán en cuenta láminas troqueladas con geometría Tipo A-1 (A-2), L-1 y láminas sin troquelar con geometría Tipo A-1 (A-2), A-4, L-1 y L-4.
- Modelo No 3: para el desarrollo de este modelo se utilizan elementos *Shell* y apoyos lineales. En estos modelos se tendrán en cuenta láminas troqueladas Tipo A-1 (A-2), L-1 y láminas sin troquelar Tipo A-1 (A-2), A-4, L-1 y L-4.

En la Tabla 7-1 se presentan las propiedades básicas de los materiales utilizadas en todos los modelos:

Tabla 7-1 Propiedades básicas para modelación

Propiedad	Unidad	Valor
Densidad	g/cm ³	2.71
Modulo de Poisson		0.33
Modulo de elasticidad	Kg/cm ²	689000
Coefficiente de expansión termica	cm/°C	2.35x10 ⁻⁵

7.1.1 Modelo N°1

Con este modelo se busca:

- Evaluar la rigidez de la sección transversal y el comportamiento a flexión de las láminas en la zona del apoyo.
- Calcular el máximo desplazamiento que se presentaría en la zona de apoyo en el evento en que el sistema de fijación se desajuste.
- Disponer de un modelo simplificado que permita realizar comprobaciones y ajustes de modelos más sofisticados.
- Analizar el efecto no lineal del apoyo de la lámina cuando esta se encuentra suelta.

7.1.1.1 Geometría

El modelo representa la sección transversal de la lámina en la zona del apoyo. Estos modelos se efectúan usando elementos tipo frame, para la realización de cada modelo se emplearon entre 90 y 120 elementos tipo frame y para los apoyos elementos no lineares tipo n-link, que permitan obtener una caracterización del comportamiento de cada lamina ante cargas de uso.

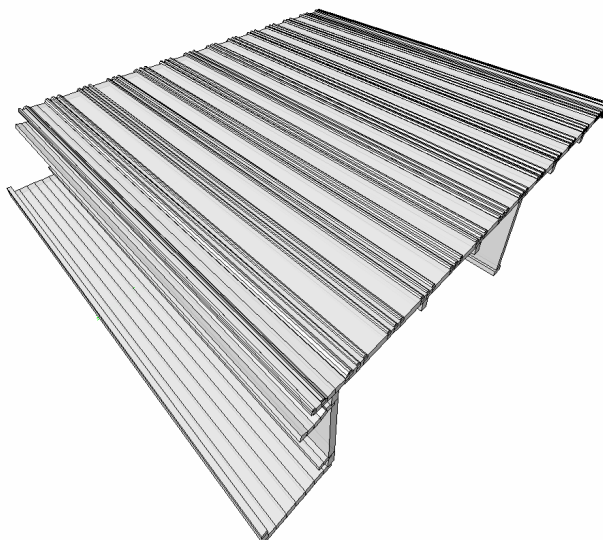


Figura 7-1 Modelo A-1 (A-2) (114 frame y 14 n-link)

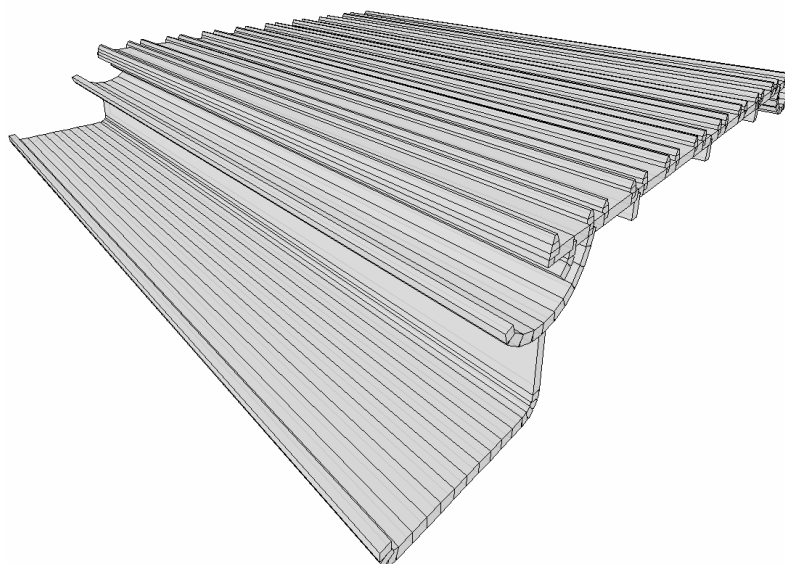


Figura 7-2 Modelo A-4 (87 frame y 22 n-link)

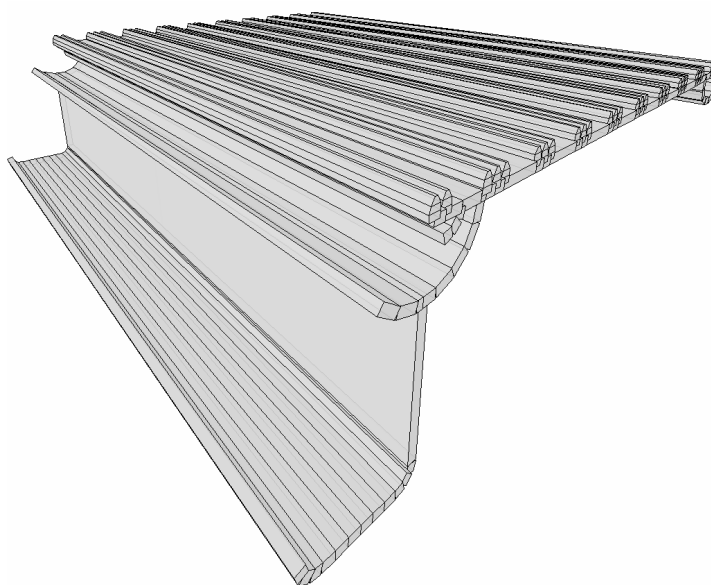


Figura 7-3 Modelo L-1 (89 frame y 15 n-link)

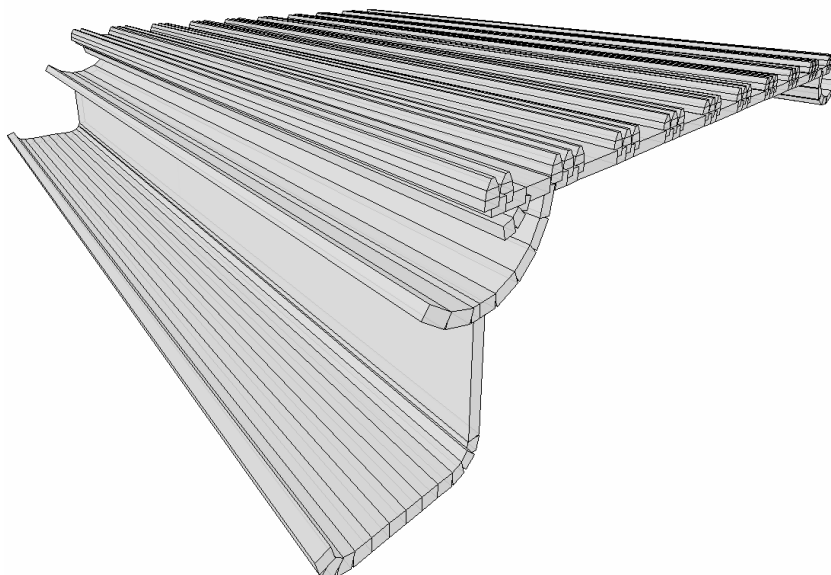


Figura 7-4 Modelo L-4 (89 frame y 15 n-link)

7.1.1.2 Apoyos

Cada uno de estos modelos se apoyó mediante elementos tipo n-link, los cuales permiten definir un comportamiento exclusivo ante las cargas empleadas, para el caso particular de este estudio se les dejó solo la capacidad de resistencia a la compresión.

7.1.1.3 Cargas

Las cargas aplicadas son las obtenidas a partir del análisis de la información de campo (instrumentación). En general, se variará la magnitud y área de distribución de la carga para representar los efectos medidos en campo.

7.1.2 Modelo N°2

Los objetivos de este modelo son:

- Evaluar la concentración de esfuerzos en la zona de apoyo de las láminas.
- Evaluar el efecto del troquelado y validar el modelo 1.

7.1.2.1 Geometría

El modelo representa la sección transversal de la lámina en la zona del apoyo. Estos modelos se efectúan usando elementos tipo shell, para la realización de cada modelo se emplearon entre 5500 y 7000 elementos tipo Shell.

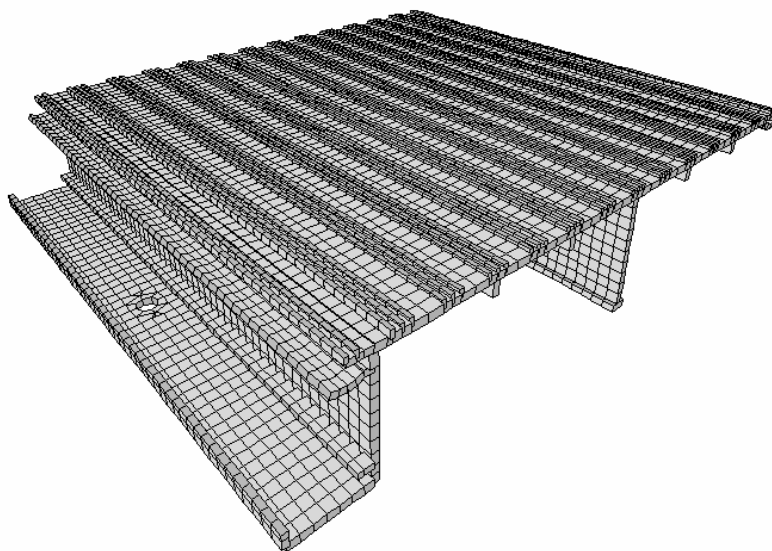


Figura 7-5 Modelo A-1 (A-2) sin troquelar (7052 shell)

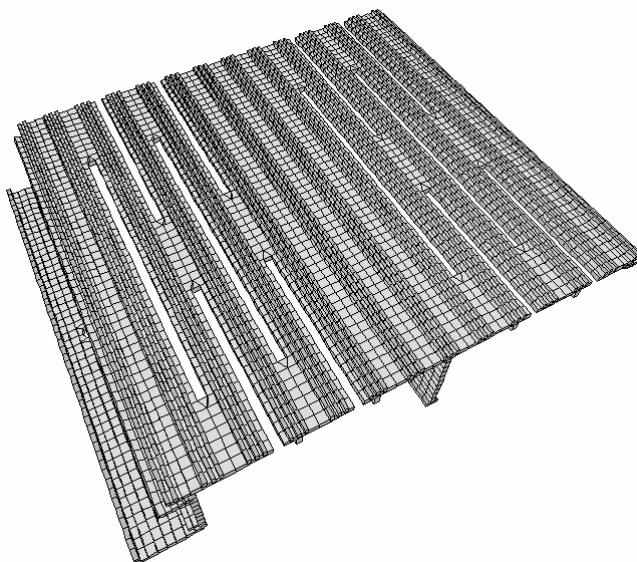


Figura 7-6 Modelo A-1 (A-2) Troquelada (7068 shell)

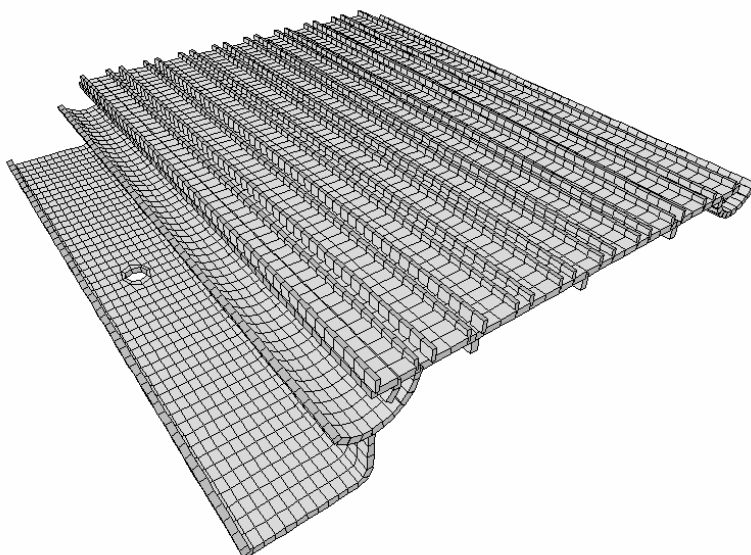


Figura 7-7 Modelo A-4 sin troquelar (4554 shell)

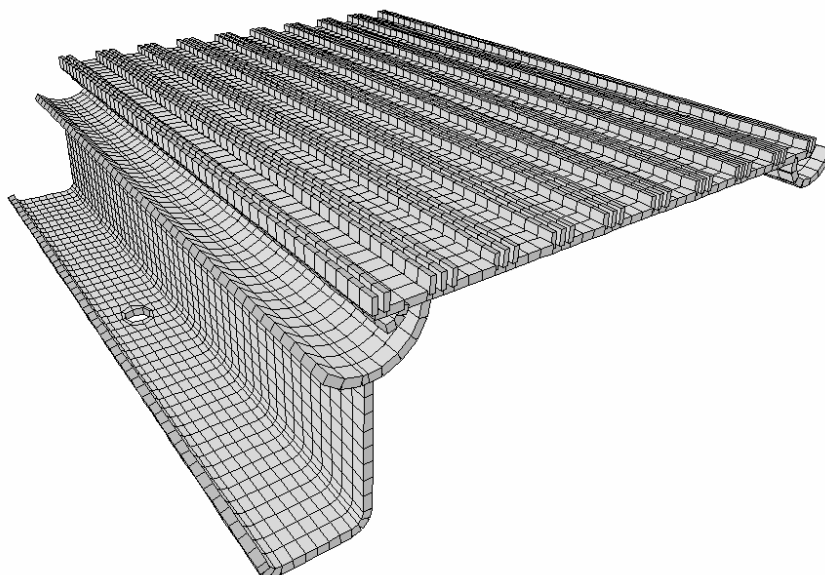


Figura 7-8 Modelo L-1 sin troquelar (5504 shell)

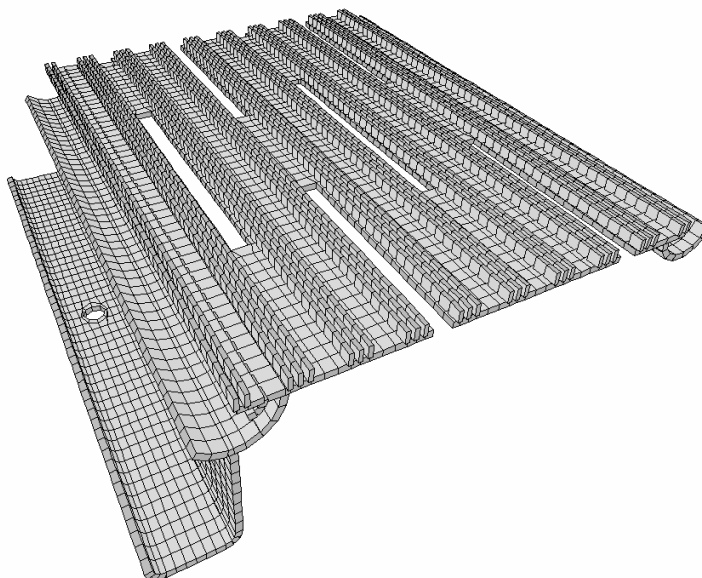


Figura 7-9 Modelo L-1 troquelada (5382 shell)

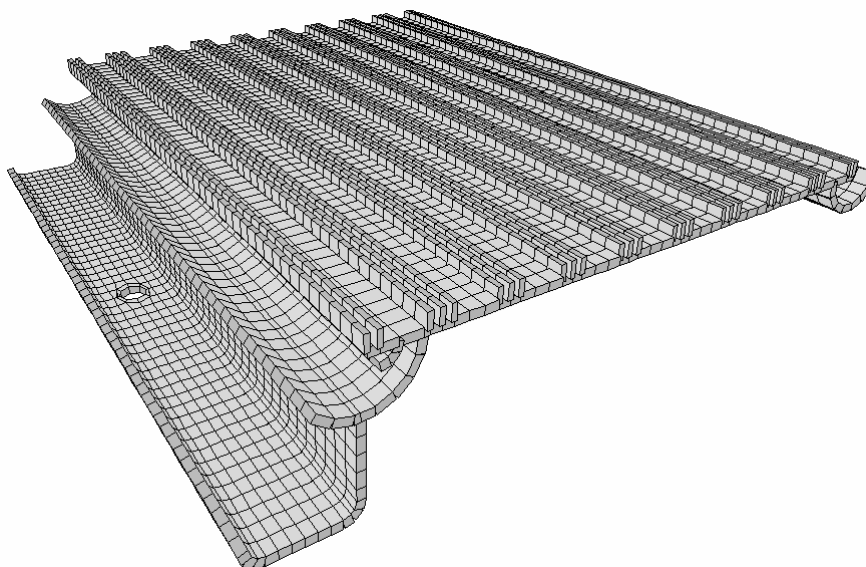


Figura 7-10 Modelo L-4 sin troquelar (5354 shell)

7.1.2.2 Apoyos

Cada uno de estos modelos se apoyó mediante resortes o apoyos fijos, buscando obtener y depurar los puntos de apoyo reales de la lámina.

7.1.2.3 Cargas

Las cargas aplicadas son las obtenidas a partir del análisis de la información de campo (instrumentación). En general, se variará la magnitud y área de distribución de la carga para representar los efectos medidos en campo.

7.1.3 Modelo N°3

Se busca con este modelo:

- Evaluar el efecto de los momentos flectores bidireccionales en el comportamiento de la lámina tanto en la zona de apoyo como en el centro de la luz.
- Evaluar el efecto de las imperfecciones geométricas de apoyos desnivelados.
- Obtener los esfuerzos y desplazamientos para evaluar teóricamente la posibilidad de fatiga.
- Evaluar el efecto de las láminas vecinas en el comportamiento de la lámina analizada.
- Evaluar el efecto del troquelado en el comportamiento del perfil.
- Definir la validez de los modelos 1 y 2.

7.1.3.1 Geometría

El modelo representa la geometría de tres láminas completas que descansan sobre varios apoyos. Se utilizan elementos Shell únicamente. Dado el tamaño del modelo el grado de discretización de la malla es diferente al de los modelos 1 y 2.

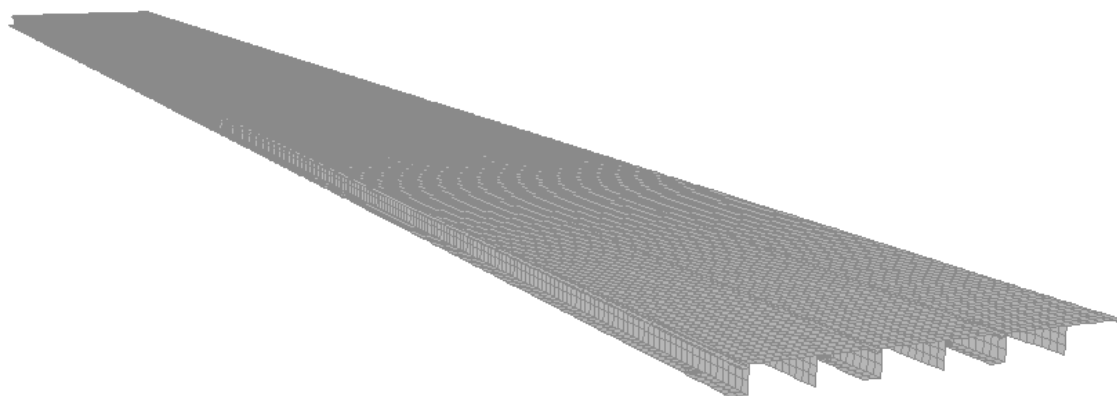


Figura 7-11 Modelo A-1 (A-2) sin troquelar (33945 shell)

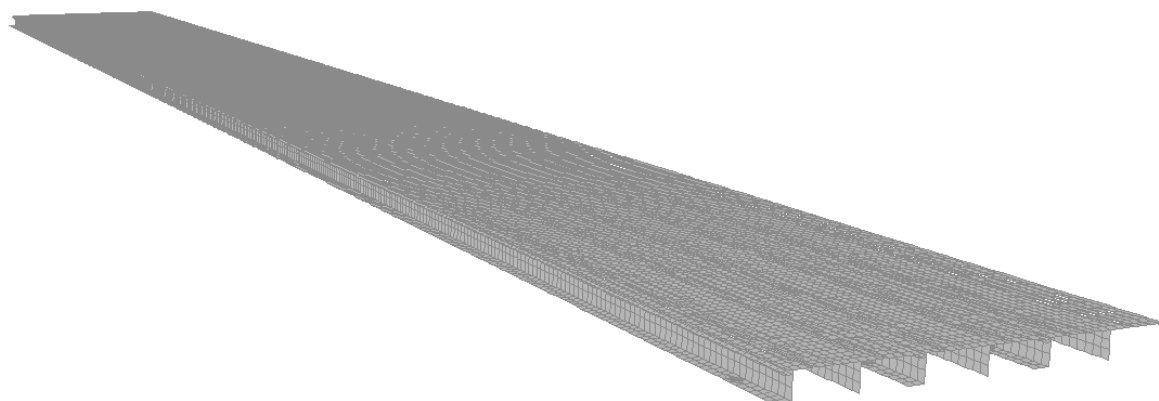


Figura 7-12 Modelo A-1 (A-2) troquelado (40041 shell)

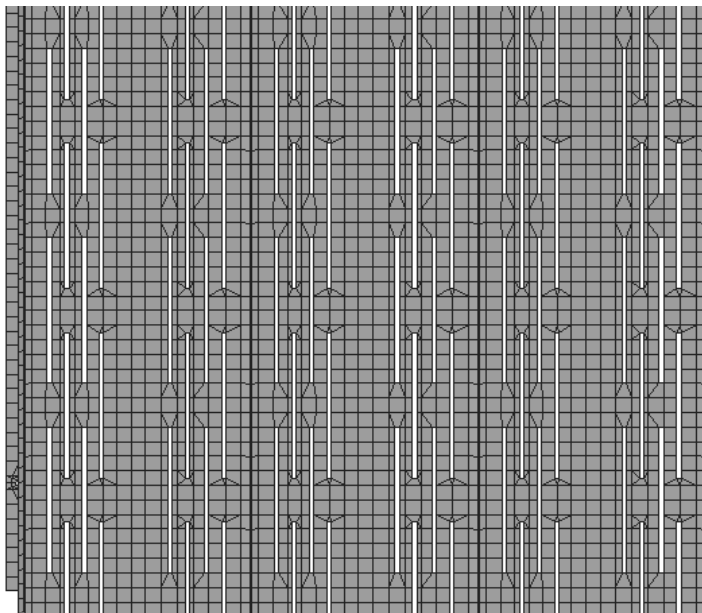


Figura 7-13 Modelo A-1 (A-2) troquelado - detalle

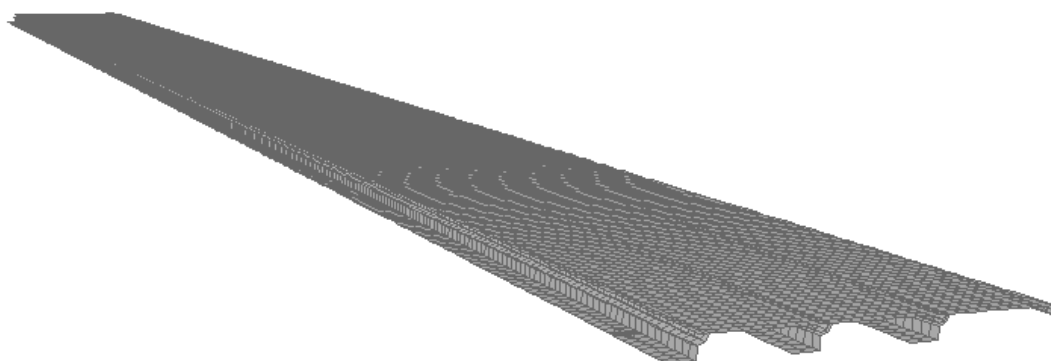


Figura 7-14 Modelo A-4 sin troquelar (27915 shell)

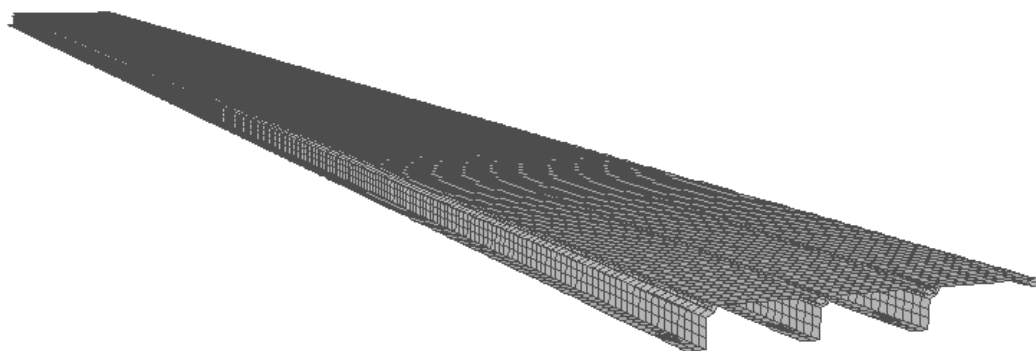


Figura 7-15 Modelo L-1 sin troquelar (30360 shell)

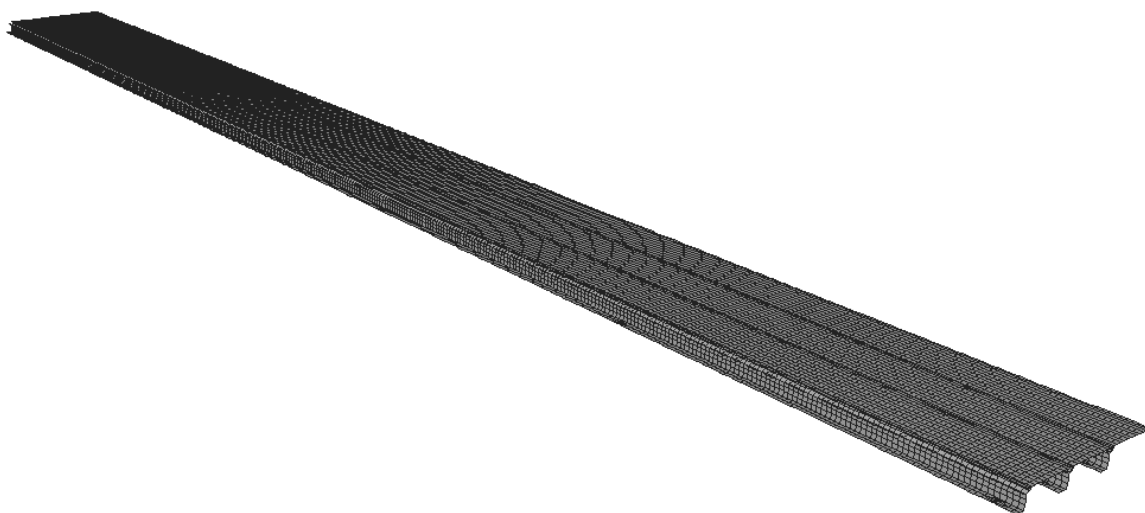


Figura 7-16 Modelo L-1 troquelado (36240 shell)

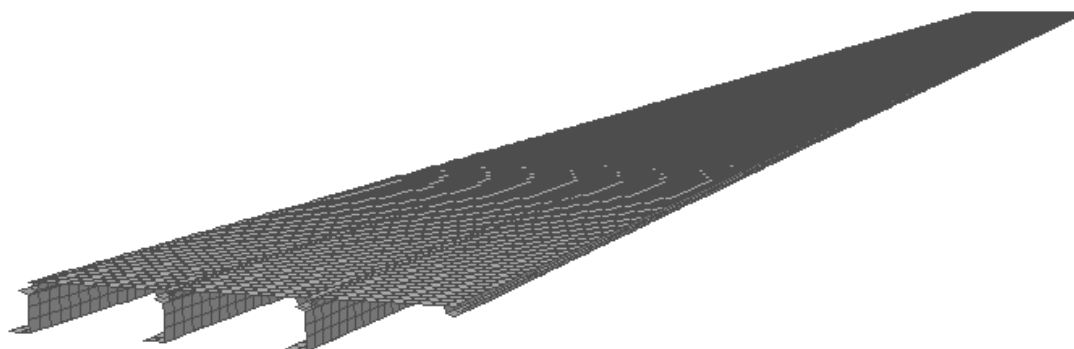


Figura 7-17 Modelo L-4 sin troquelar (29394 shell)

7.1.3.2 Apoyos

Cada uno de estos modelos se apoyó mediante resortes o apoyos fijos.

7.1.3.3 Cargas

Las cargas aplicadas son las siguientes:

- Cargas obtenidas a partir del análisis de la información de campo (instrumentación).
- Carga distribuida: carga distribuida uniforme de 450 kgf/m² colocada en las luces donde se generen los máximos efectos.
- Cargas utilizadas en los ensayos a flexión realizados en el laboratorio.
- Desplazamiento de los apoyos del modelo.

7.2 MODELACIÓN ANALÍTICA DE ZONAS INSTRUMENTADAS EN CAMPO

7.2.1 Estación Avenida Caracas por Calle 76

Se desarrolla un modelo representativo del comportamiento de la zona instrumentada de la estación, lo cual fue presentado en el Capítulo 6, para efectos puramente de calibración de las condiciones de apoyo y de rigidez del sistema. Para este modelo se empleó una variante del modelo 3 con perfiles tipo L-1 correspondiente a la geometría encontrada durante la inspección de la estación. Se incluyen en el modelo 4 láminas de piso, las cuales se apoyan en la zona de contacto con los perfiles metálicos de apoyo y los tornillos. Para el modelo se consideran las siguientes condiciones de apoyo:

- Zona de tornillo: en la zona de los tornillos se restringen los tres grados de libertad traslacionales de todos los nudos perimetrales al hueco de perforación. Todos los grados de libertad rotacionales se dejan libres.
- Zona de contacto: En cada una de las zonas de contacto de los perfiles con las aletas superiores del perfil acero de apoyo se coloca restricción traslacional en la dirección vertical únicamente. Todos los demás grados de libertad se dejan libres.
- Zona de interacción con otros perfiles de aluminio: esta conexión se modela mediante el uso de elementos tipo frame, los cuales no tienen ni masa, ni peso. Estos elementos se incluyen con una elevada rigidez axial y una rigidez a la flexión mínima. Se modelan siguiendo los radios de las cuñas de conexión.

La carga aplicada al modelo corresponde a dos cargas concentradas de 37.5 kg espaciadas a 30 cm en la parte central de uno de los perfiles de aluminio.

En la Figura 7-18 se muestra la ubicación de los LVDT y en la Figura 7-19 el modelo analítico con un detalle de la zona de apoyo.



Figura 7-18 Disposición de los lvdt

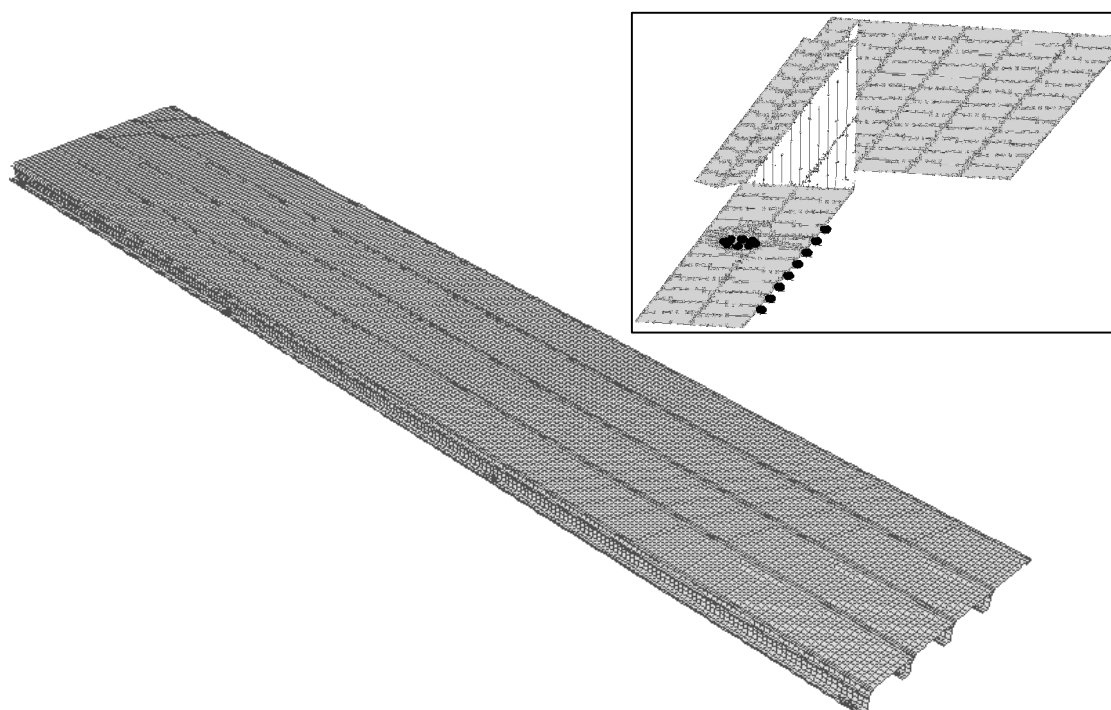


Figura 7-19 Modelo analítico y detalle de apoyo

La Figura 7-20 muestra la deformada del modelo ante las cargas de calibración estática impuestas, mencionadas anteriormente.

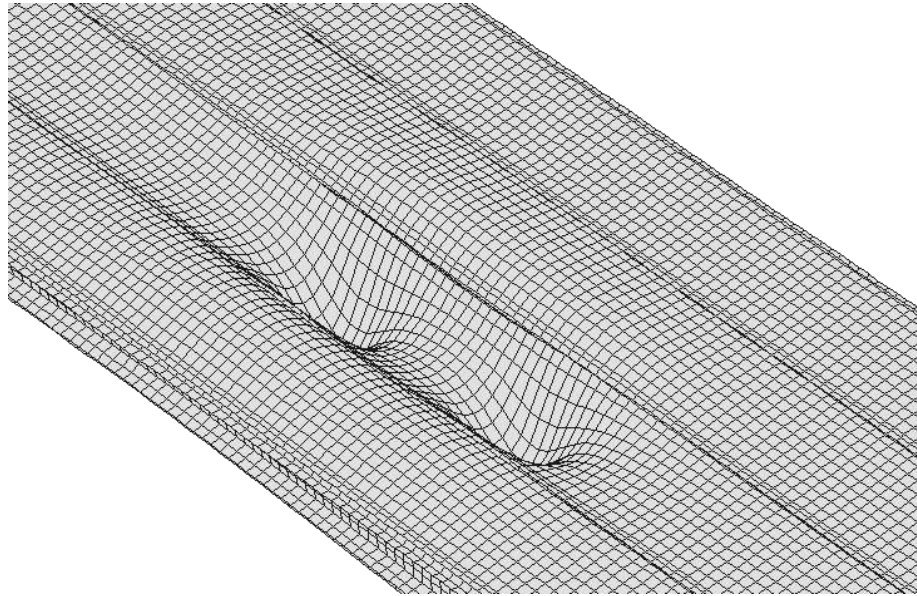


Figura 7-20 Desplazamientos verticales ante carga de calibración estática

Los resultados de deflexiones obtenidas del modelo de computador indican valores en el orden de 0.3 mm, los cuales se comparan con los valores equivalentes registrados en campo que se presentan en la Figura 7-21 y que resultan en el mismo orden de magnitud (ver línea verde en la figura correspondiente a la carga estática indicada).

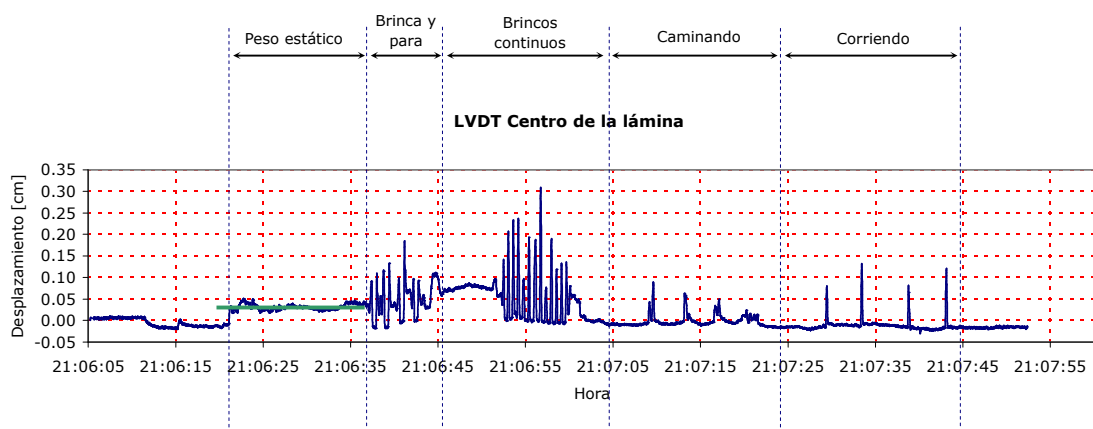


Figura 7-21 Desplazamientos verticales ante carga estática de calibración (en campo)

Por otro lado se puede estimar la rigidez del sistema como la carga dividida por la deflexión registrada. En este caso el factor de rigidez estimado para este sistema de piso y estas condiciones de carga es de 484 kg/cm. Para efectos de los cálculos se toma un factor de rigidez de 500 kg/cm.

7.2.2 Estación Autopista Norte por Calle 100

Se desarrolla un modelo representativo del comportamiento de la zona instrumentada de la estación, lo cual fue presentado en el Capítulo 6, para efectos puramente de calibración de las condiciones de apoyo y de rigidez del sistema. Para este modelo se empleó una variante del modelo 3 con perfiles tipo L-1 correspondiente a la geometría encontrada durante la inspección de la estación. Se incluyen en el modelo 4 láminas de piso, las cuales se apoyan en la zona de contacto con los perfiles metálicos de apoyo y los tornillos. Para el modelo se consideran las siguientes condiciones de apoyo:

- Zona de tornillo: en la zona de los tornillos se restringen los tres grados de libertad traslacionales de todos los nudos perimetrales al hueco de perforación. Todos los grados de libertad rotacionales se dejan libres.
- Zona de contacto: En cada una de las zonas de contacto de los perfiles con las aletas superiores del perfil acero de apoyo se coloca restricción traslacional en la dirección vertical únicamente. Todos los demás grados de libertad se dejan libres.
- Zona de interacción con otros perfiles de aluminio: esta conexión se modela mediante el uso de elementos tipo frame, los cuales no tienen ni masa, ni peso. Estos elementos se incluyen con una elevada rigidez axial y una rigidez a la flexión mínima. Se modelan siguiendo los radios de las cuñas de conexión.

La carga aplicada al modelo corresponde a dos cargas concentradas de 37.5 kg espaciadas a 30 cm en la parte central de uno de los perfiles de aluminio.



Figura 7-22 Disposición de los lvdt

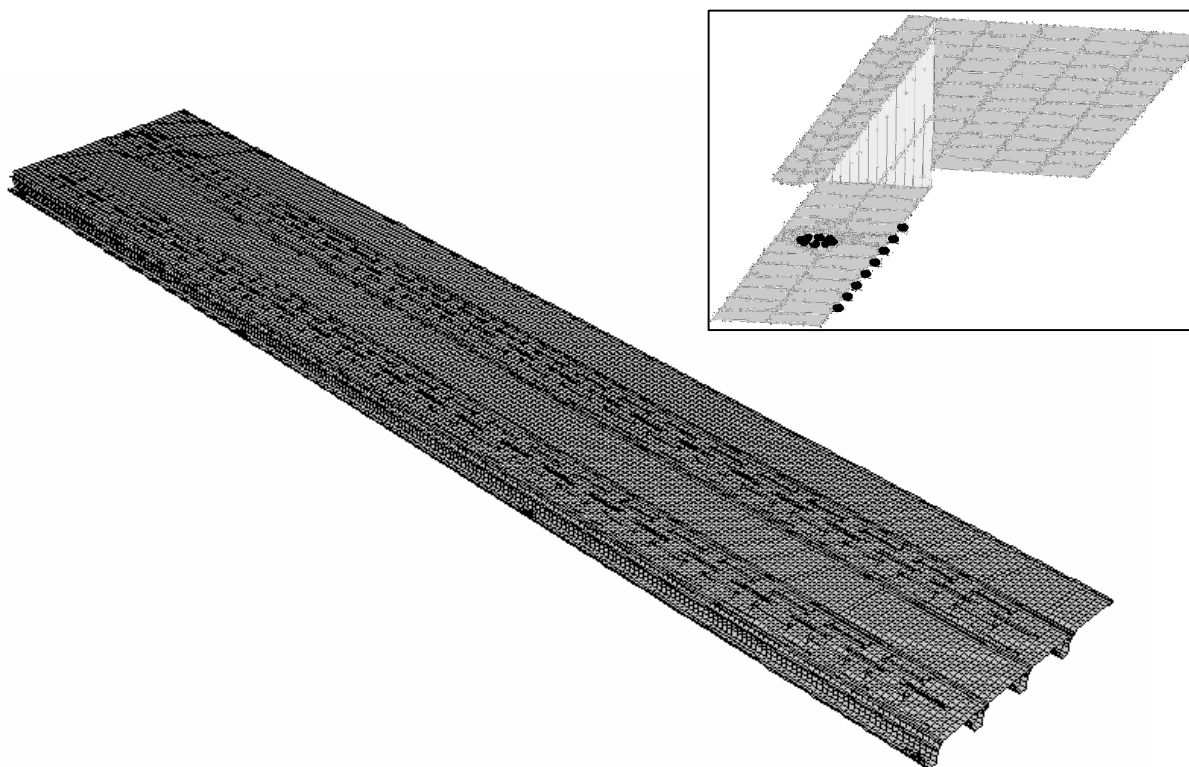


Figura 7-23 Modelo analítico

La Figura 7-24 muestra la forma deformada del modelo ante las cargas de calibración estática impuestas mencionadas anteriormente.

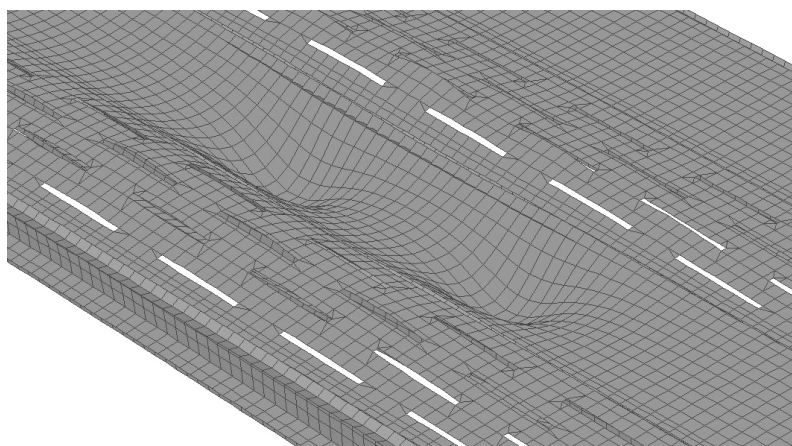


Figura 7-24 Desplazamientos verticales ante carga de calibración estática

Los resultados de deflexiones obtenidas del modelo de computador indican valores en el orden de 0.4 mm, los cuales se comparan con los valores equivalentes registrados en campo que se presentan en la Figura 7-21 y que resultan en el mismo orden de magnitud (ver línea verde en la figura correspondiente a la carga estática indicada).

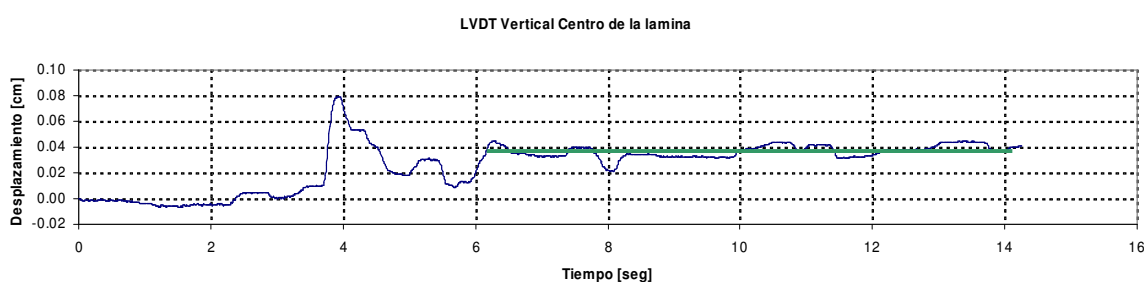


Figura 7-25 Desplazamientos verticales ante carga estática de calibración (en campo)

Por otro lado se puede estimar la rigidez del sistema como la carga dividida por la deflexión registrada. En este caso el factor de rigidez estimado para este sistema de piso y estas condiciones de carga es de 940 kg/cm.

7.2.3 Puente peatonal Autopista Norte con Avenida Calle 100

Se desarrolla un modelo representativo del comportamiento de la zona instrumentada de la rampa del puente peatonal, lo cual fue presentado en el Capítulo 6, para efectos puramente de calibración de las condiciones de apoyo y de rigidez del sistema. Para este modelo se empleó un modelo conformado por elementos tipo shell y la geometría tipo A-3, correspondiente a la geometría encontrada durante la inspección. Se incluyen en el modelo 4 láminas de piso, las cuales se apoyan en la zona de contacto con los perfiles metálicos de apoyo y los tornillos. Para el modelo se consideran las siguientes condiciones de apoyo:

- Zona de tornillo: en la zona de los tornillos se restringen los tres grados de libertad traslacionales de todos los nudos perimetrales al hueco de perforación. Todos los grados de libertad rotacionales se dejan libres.
- Zona de contacto: En cada una de las zonas de contacto de los perfiles con las aletas superiores del perfil acero de apoyo se coloca restricción traslacional en la dirección vertical únicamente. Todos los demás grados de libertad se dejan libres.
- Zona de interacción con otros perfiles de aluminio: esta conexión se modela mediante el uso de elementos tipo frame, los cuales no tienen ni masa, ni peso. Estos elementos se incluyen con una elevada rigidez axial y una rigidez a la flexión mínima. Se modelan siguiendo los radios de las cuñas de conexión.

La carga aplicada al modelo corresponde a dos cargas concentradas de 37.5 kg espaciadas a 30 cm en la parte central de uno de los perfiles de aluminio.



Figura 7-26 Disposición de los LVDT

La Figura 7-27 muestra la forma deformada del modelo ante las cargas de calibración estática impuestas, mencionadas anteriormente.

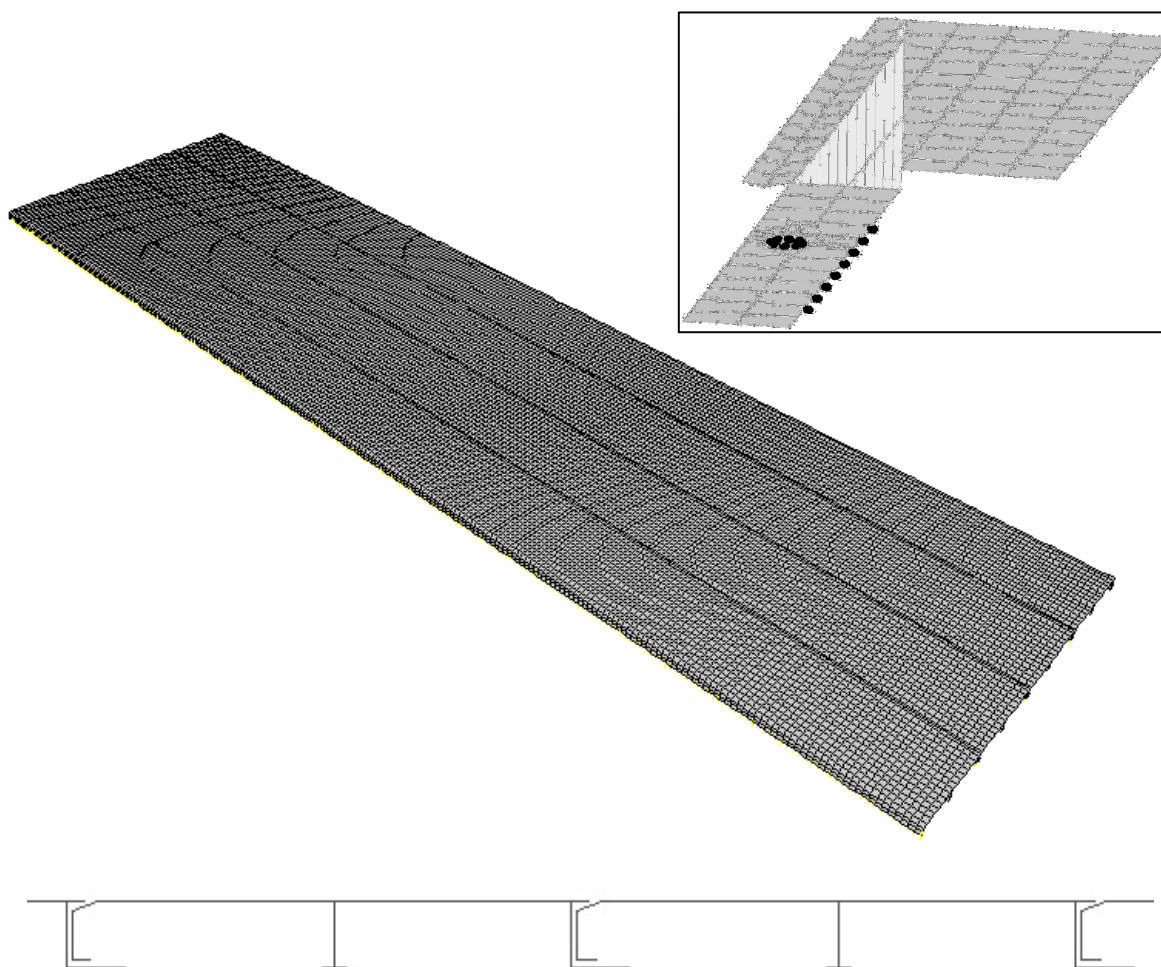


Figura 7-27 Modelo analítico

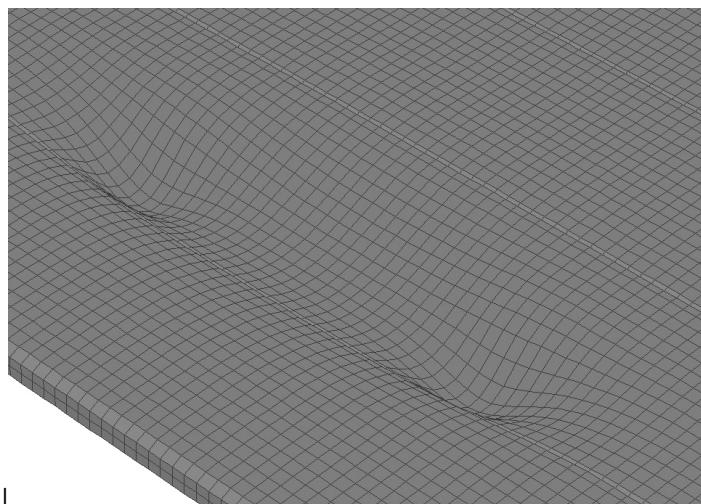


Figura 7-28 Desplazamientos verticales ante carga de calibración estática

Los resultados de deflexiones obtenidas del modelo de computador indican valores en el orden de 0.2 mm, los cuales se comparan con los valores equivalentes registrados en campo que se presentan en la Figura 7-29 y que resultan en el mismo orden de magnitud (ver línea verde en la figura correspondiente a la carga estática indicada).

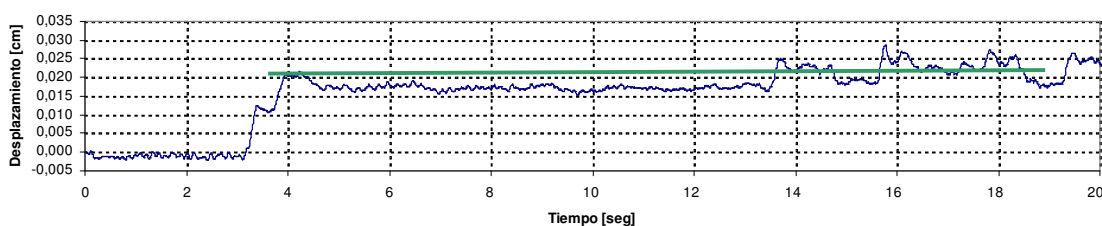


Figura 7-29 Desplazamientos verticales ante carga estática de calibración (en campo)

Por otro lado se puede estimar la rigidez del sistema como la carga dividida por la deflexión registrada. En este caso el factor de rigidez estimado para este sistema de piso y estas condiciones de carga es de 1000 kg/cm.

7.2.4 Resumen

A continuación se presenta la Tabla 7-22, en la cual se puede comparar la rigidez obtenida de las diferentes calibraciones realizadas.

Tabla 7-2 Rigidez obtenida en las calibraciones

Ubicación	Rigidez
Estacion Calle 76 por Avenida Caracas	500 Kg/cm
Estacion Calle 100 por Autopista Norte	940 Kg/cm
Puente peatonal Autopista Norte con calle 100	1000 Kg/cm

7.3 MODELACIÓN ANALÍTICA DE ENSAYO DE DESGARRAMIENTO

7.3.1 Descripción del modelo

Para efectos de la modelación de los ensayos de desgarramiento se desarrollan los siguientes modelos tridimensionales. Para la modelación se emplea la configuración del modelo 2 con perfilaría tipo A-2. Este modelo está conformado por elementos tipo Shell. El modelo se apoya en las zonas en las que se presenta la restricción del tornillo y se somete a una tensión equivalente a la que se tiene en el ensayo de laboratorio. Para efectos comparativos se desarrollaron dos modelos diferentes, para considerar los efectos de la posición de hueco del tornillo sobre la lámina. Las Figuras 7.30 y 7.31 presentan las configuraciones generales de los modelos desarrollados.

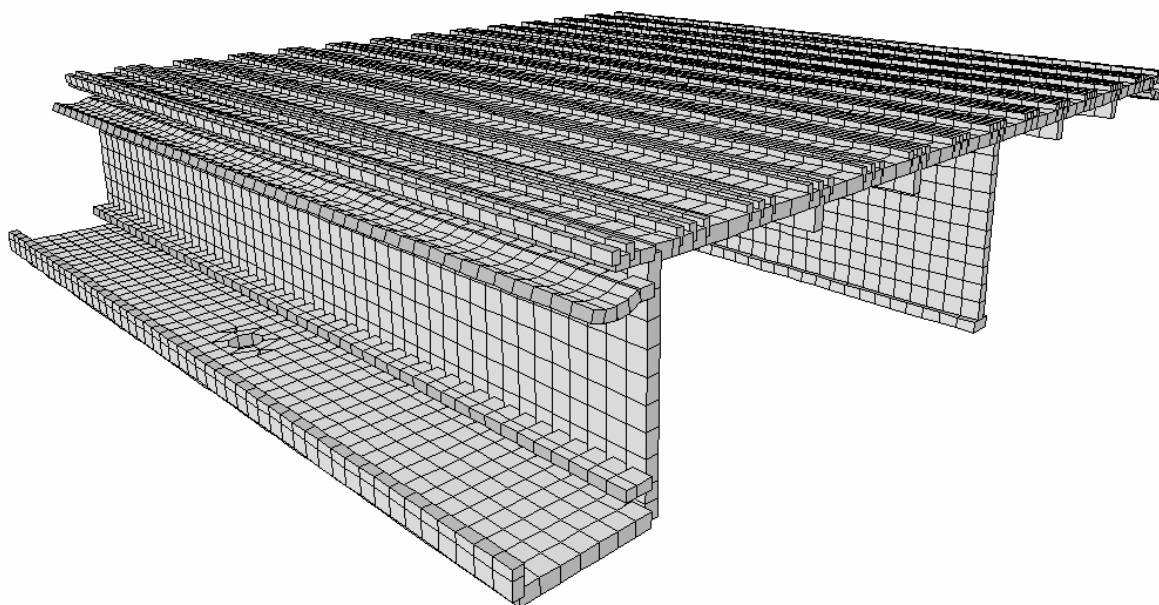


Figura 7-30 Modelo a desgarramiento, tornillo centrado

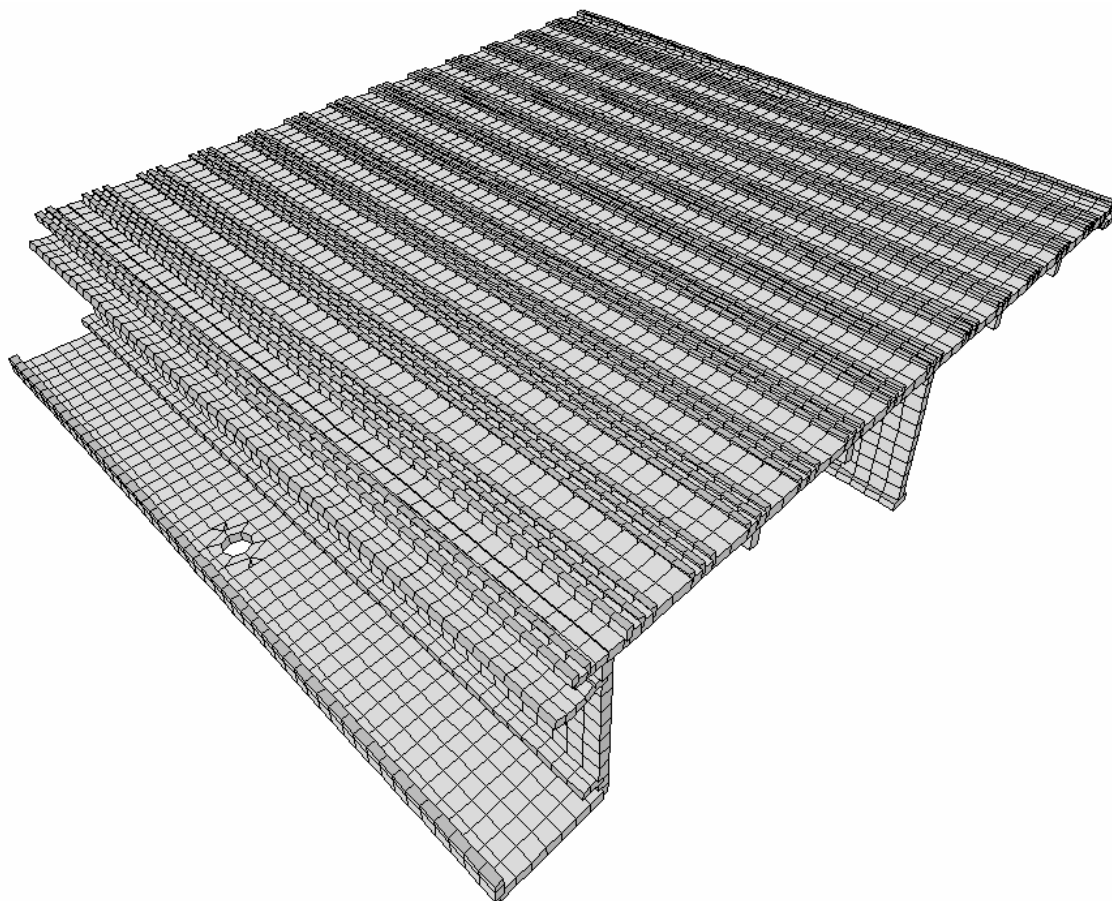


Figura 7-31 Modelo a desgarramiento, tornillo cerca al borde

7.3.2 Resultados y comparación

Las Figuras 7.32 y 7.33 presentan las deformadas correspondientes a cada uno de los modelos indicados ante la carga aplicada. Por otro lado las Figuras 7.34 y 7.35 presentan la distribución de esfuerzos de Von Mises para las condiciones analizadas.

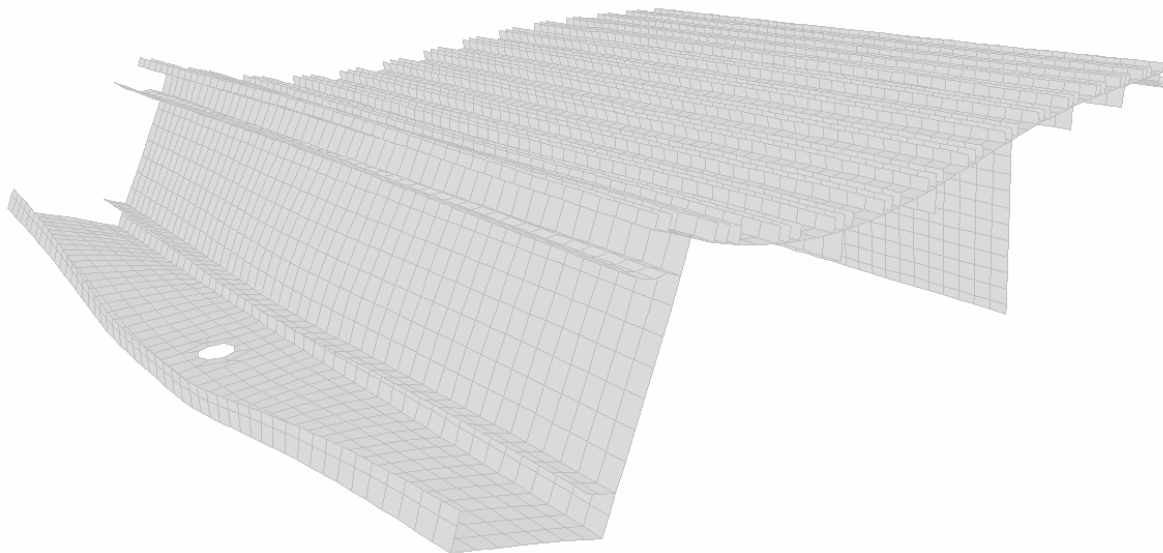


Figura 7-32 Deformada modelo a desgarramiento, tornillo centrado

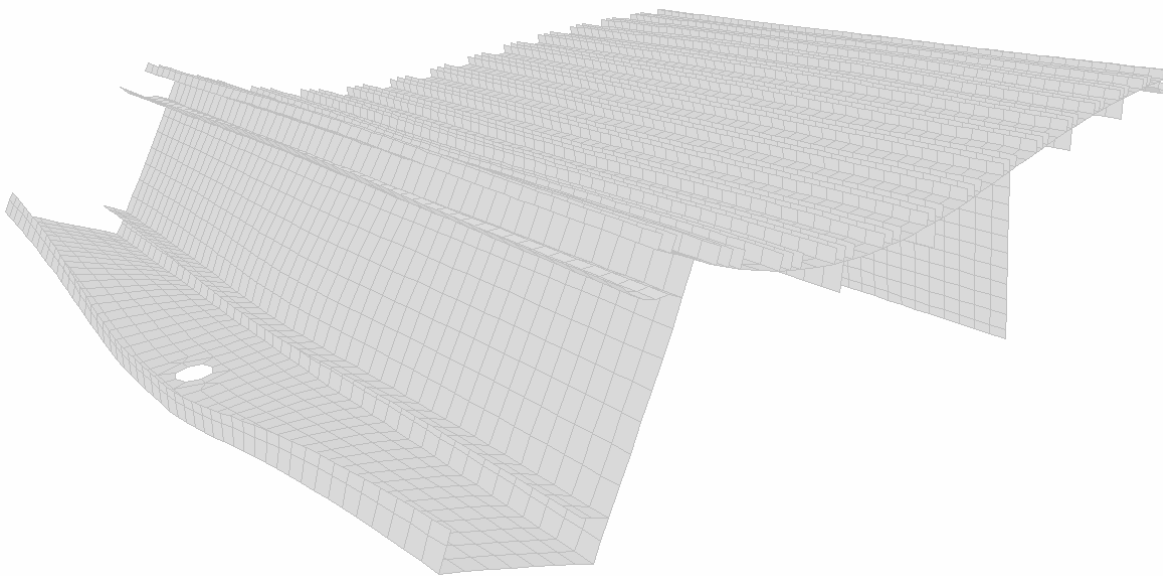


Figura 7-33 Deformada modelo a desgarramiento, tornillo cerca al borde

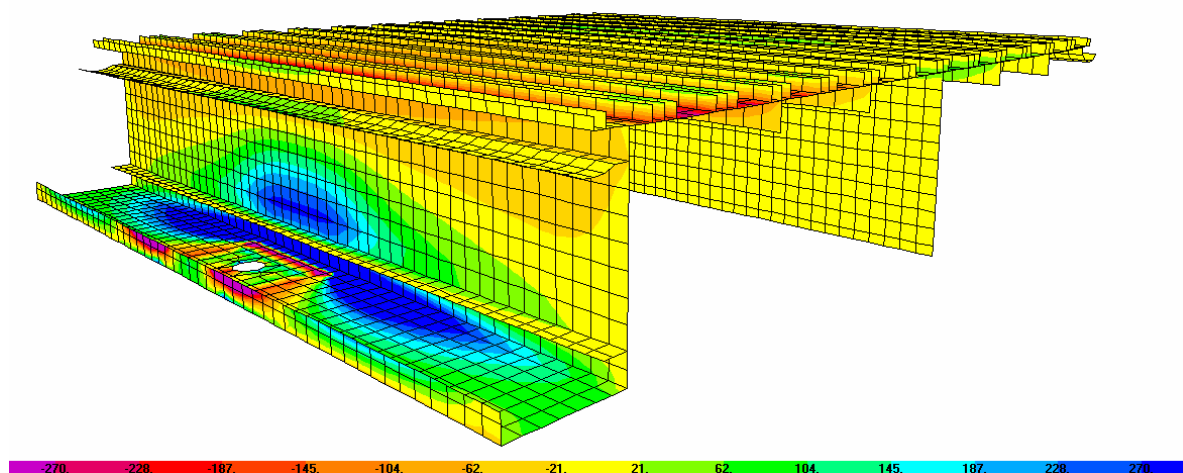


Figura 7-34 Esfuerzos 11 (MPa), modelo a desgarramiento, tornillo centrado

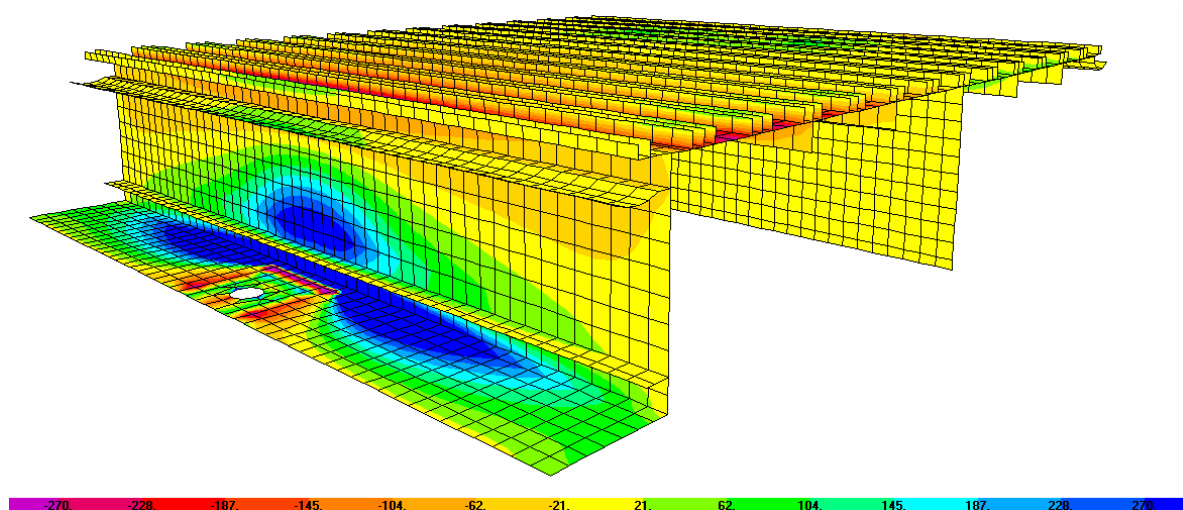


Figura 7-35 Esfuerzos 11 (MPa), modelo a desgarramiento, tornillo cerca al borde

Para efectos comparativos con los resultados experimentales se incluyen en la Figura 7-36 las curvas carga-deformación medida en el ensayo de laboratorio. Como puede apreciarse la probeta con el tornillo cerca al borde presenta una capacidad de carga al desgarramiento inferior.

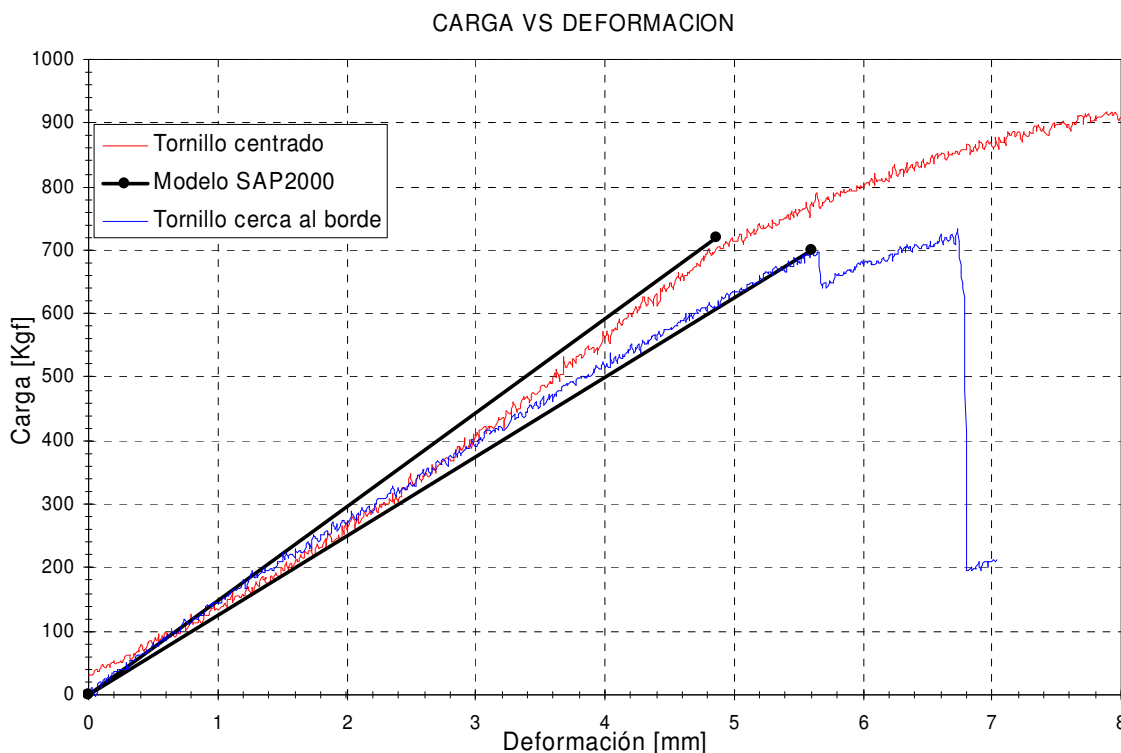


Figura 7-36 Comparación rango elástico

Los análisis realizados permiten concluir que los modelos analíticos desarrollados permiten establecer conclusiones claras relacionadas con variaciones de esfuerzos y sensibilidad ante diferentes parámetros aunque por si mismos no estarían en capacidad de estimar las cargas de falla. Los anteriores ensayos permiten realizar una calibración adicional de los modelos en términos de los esfuerzos de falla.

7.4 POSICIÓN CRÍTICA DE CARGA PARA FATIGA

Los modelos analíticos se utilizan para determinar la posición crítica de las cargas para efectos de generación de esfuerzos y por lo tanto para efectos de generar la fatiga del elemento. Para cada uno de los perfiles característicos se estudian las diferentes posibilidades de aplicación de cargas para determinar situaciones críticas.

7.4.1 Perfil A-1 (A-2)

Se eligió este perfil ya que tiene una geometría muy diferente a la presentada por los demás perfiles. Para efectos de determinar una posición de carga crítica en la lámina se elaboraron las líneas de influencia de este perfil ante esfuerzos de Von Misses críticos en el apoyo.

Se consideraron un total de 46 posiciones de carga a lo largo de la lámina para obtener las siguientes líneas de influencia en la zona del apoyo en la unión de la lámina inferior con la garganta del perfil. La Figura 7-37 indica las diferentes posiciones asumidas para la carga.

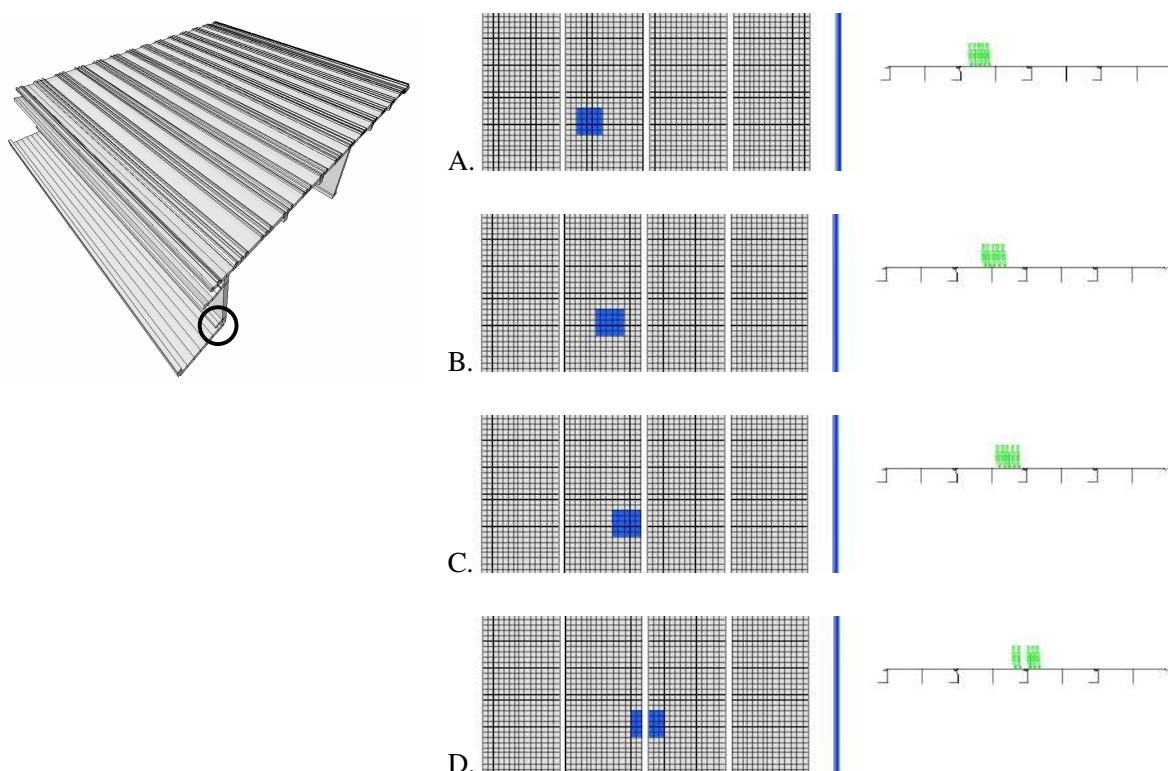


Figura 7-37 Posiciones de carga analizadas, de arriba abajo A, B, C y D

Las posiciones de carga se dividieron en varias zonas A, B, C y D, cada una de las cuales contó con varias ubicaciones a lo largo de la lámina, la zona A se encuentra ubicada entre el "alma" de la sección y la lamina rigidizadora a mitad del perfil, las demás posiciones de carga, fueron desplazándose hacia el siguiente perfil.

En la Figura 7-38 se presentan las líneas de influencia para el apoyo exterior mientras que en la Figura 7-39 se presentan las curvas correspondientes para el apoyo interior. Las curvas se presentan para las diferentes situaciones de carga analizadas.

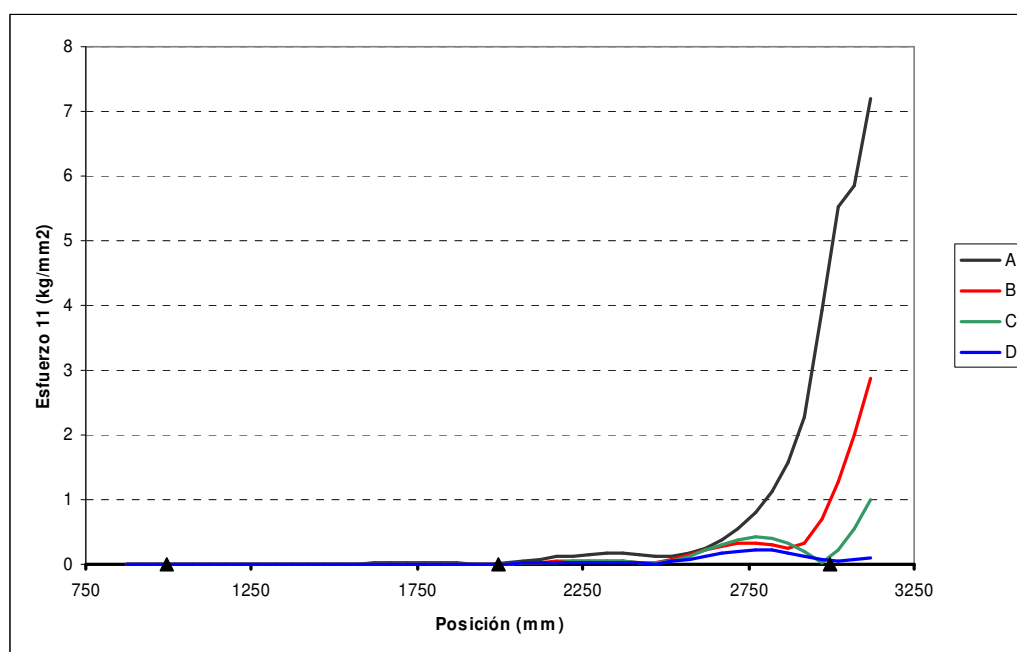


Figura 7-38 Línea de influencia para apoyo exterior

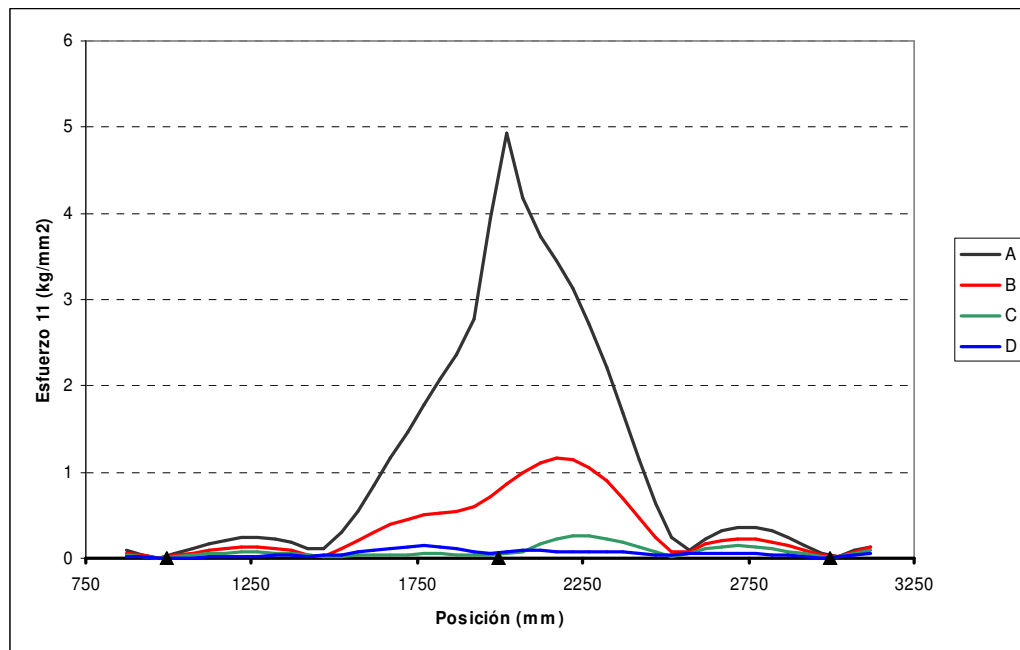


Figura 7-39 Línea de influencia para apoyo interior

Las anteriores figuras permiten concluir que desde el punto de vista de los esfuerzos que se generan en la zona de apoyo, la posición crítica de una sola carga correspondería a la zona adyacente de la lámina superior con respecto al nervio en que se encuentra el apoyo y ubicado lo más cerca posible del mismo.

Para considerar la posible ubicación de dos cargas espaciadas a unos 300 mm (150 mm a cada lado del nervio) cada una de las cuales tendría la magnitud de la carga única anterior, se obtendría un esfuerzo en el apoyo del orden de 6 kg/mm², que es mayor al máximo asociado a una sola carga en la posición más crítica. Esto permite concluir que la posición crítica de carga corresponde a dos cargas espaciadas a 150 mm a cada lado del nervio en que se encuentra la conexión al perfil de acero.

7.4.2 Perfil L-1

Se eligió este perfil ya que tiene una geometría similar a la presentada por los demás perfiles. Para efectos de determinar una posición de carga crítica en la lámina se elaboraron las líneas de influencia de este perfil ante esfuerzos de Von Misses críticos en el apoyo.

Se consideraron un total de 25 posiciones de carga a lo largo de la lámina para obtener las siguientes líneas de influencia en la zona del apoyo en la unión de la lámina inferior con la garganta del perfil. La Figura 7-40 indica las diferentes posiciones asumidas para la carga.

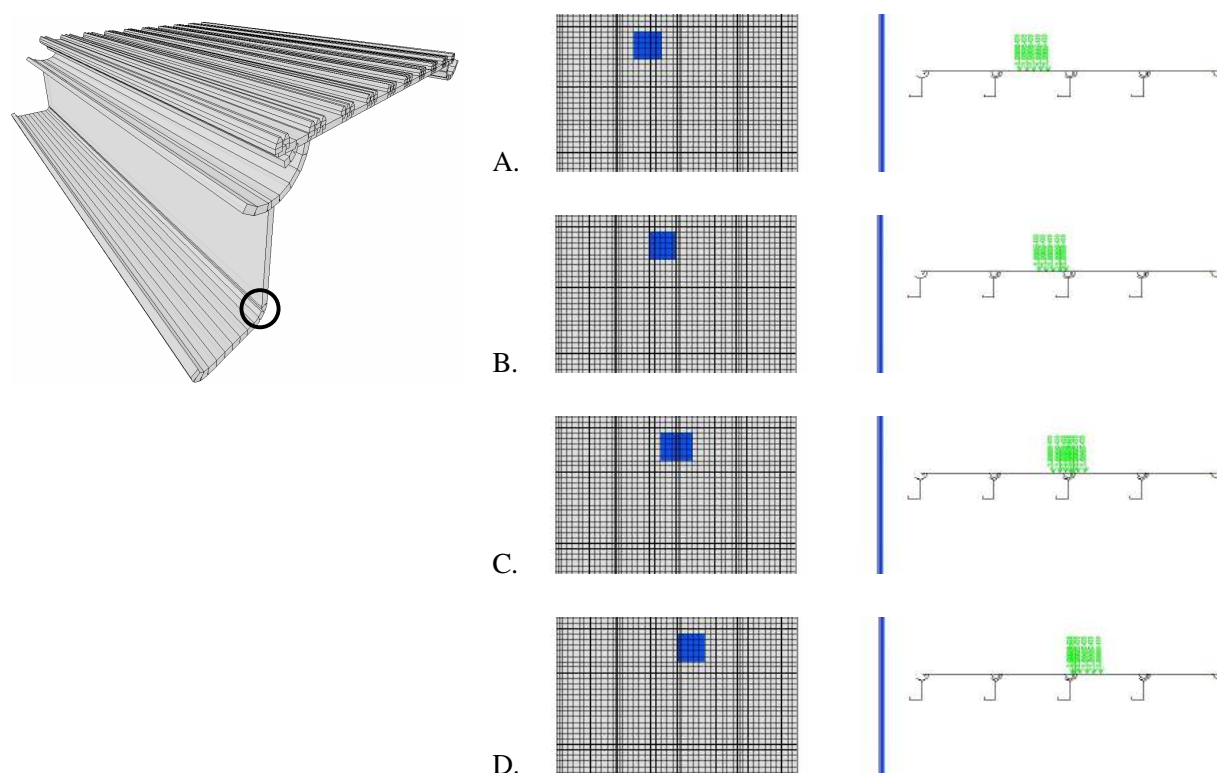


Figura 7-40 Posiciones de carga analizadas, de arriba abajo A, B, C y D

Las posiciones de carga se dividieron en varias zonas A, B, C y D, cada una de las cuales contó con n ubicaciones a lo largo de la lámina, la zona A se encuentra ubicada en la mitad del perfil, las demás posiciones de carga, fueron desplazándose hacia el próximo perfil.

En la Figura 7-41 se presentan las líneas de influencia para el apoyo exterior mientras que en la Figura 7-42 se presentan las curvas correspondientes para el apoyo interior. Las curvas se presentan para las diferentes situaciones de carga analizadas.

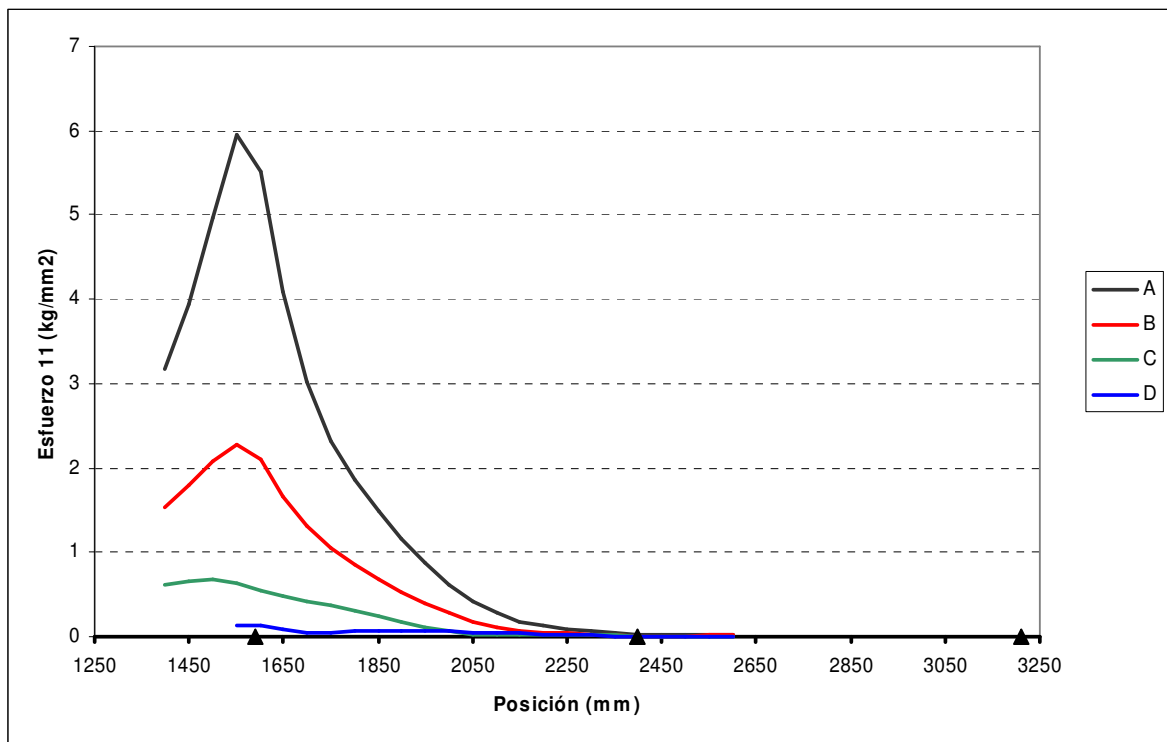


Figura 7-41 Línea de influencia para apoyo de borde

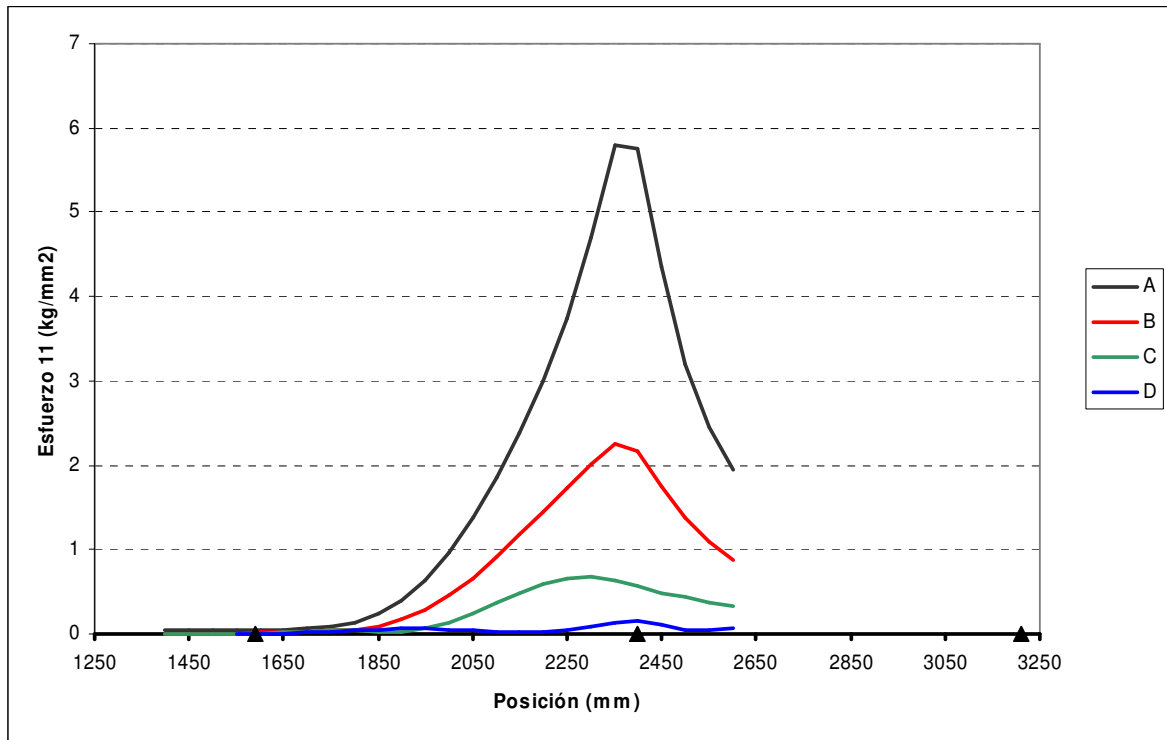


Figura 7-42 Línea de influencia para apoyo interior

Las anteriores figuras permiten concluir que desde el punto de vista de los esfuerzos que se generan en la zona de apoyo, la posición crítica de una sola carga correspondería a la zona adyacente de la lámina superior con respecto al nervio en que se encuentra el apoyo y ubicado lo más cerca posible del mismo.

Para considerar la posible ubicación de dos cargas espaciadas a unos 300 mm (150 mm a cada lado del nervio) cada una de las cuales tendría la magnitud de la carga única anterior, se obtendría un esfuerzo en el apoyo del orden de 6 kg/mm², que es mayor al máximo asociado a una sola carga en la posición más crítica. Esto permite concluir que la posición crítica de carga corresponde a dos cargas espaciadas a 150 mm a cada lado del nervio en que se encuentra la conexión al perfil de acero.

7.5 EVALUACIÓN ANALÍTICA DE LA FATIGA

7.5.1 Introducción

A continuación se presenta la evaluación analítica de la fatiga siguiendo como base la metodología establecida en el numeral **F.7.7 FATIGA** de las Normas NSR-98. Tal como lo establece dicha normativa, las estructuras sujetas a cargas fluctuantes pueden ser propensas a presentar fallar por fatiga, ante lo cual el grado de cumplimiento de los criterios de estado límite estático pueden no ser suficientes para controlar el riesgo de falla.

Para el análisis de fatiga se deben tener en cuenta los siguientes factores relevantes:

- (a) Se debe contar con una predicción de la secuencia de carga de servicio completa a lo largo de la vida útil de la estructura.
- (b) Se debe conocer la respuesta elástica de la estructura ante dichas cargas
- (c) Los detalles, el método de fabricación, la calidad de la instalación y demás aspectos constructivos tienen una gran incidencia en los resultados del análisis por lo cual todos estos factores deben estar controlados de la mejor manera.

Todos los anteriores factores llevan a concluir que los resultados del análisis de fatiga tienen altos niveles de incertidumbre y por lo tanto así debe manejarse la interpretación de los resultados.

El mecanismo de falla por fatiga en general no coincide con el mecanismo de falla por cargas estáticas equivalentes. La falla por fatiga se inicia usualmente alrededor de los puntos de alta concentración de esfuerzos, particularmente donde existen discontinuidades repentinas. Las grietas de fatiga se extienden incrementalmente bajo la acción del cambio cíclico de esfuerzos. La falla ocurre cuando la sección restante no fisurada resulta insuficiente para resistir las cargas o cuando las deflexiones u otros efectos asociados con el grado de afectación generan problemas funcionales al elemento o estructura.

Las grietas de fatiga se propagan aproximadamente a ángulos rectos en la dirección del rango máximo de esfuerzo principal. El crecimiento de la grieta es lento en la fase temprana por lo cual las grietas de fatiga tienden a ser poco llamativas y de difícil detección durante la mayor parte de la vida de servicio. Los problemas de fatiga solo se vuelven evidentes cuando, asociado a las grietas ya existentes, se presentan problemas de funcionalidad en el elemento.

Las estructuras de aluminio y en particular los pisos en láminas esbeltas de aluminio utilizadas para los pisos de las estaciones y puentes de Transmilenio deben diseñarse para brindar una vida segura. Se

debe garantizar que la probabilidad de falla de fatiga durante la vida de la estructura sea comparable con la de otros modos de falla para estado límite último. Aunque existen circunstancias en que la severidad de la carga, el grado de redundancia y la facilidad de inspección y reparación sean tales que resulten aceptables un acercamiento de seguridad a la falla o a la formación de grietas con respecto a los requeridos para un diseño de vida segura, en la presente situación, por tratarse de cargas y condiciones de carga de muy alta variabilidad, por involucrar la seguridad de miles de personas y la prestación de un servicio de vital importancia para la ciudad, para el presente caso no se considera aceptable la generación de agrietamientos, así sean controlados, por lo cual los diseños deben conducir a estructuras muy seguras y de muy alta confiabilidad en términos de la eventual generación de problemas de fatiga.

El procedimiento detallado de diseño a fatiga que se propone utilizar en la presente aplicación se incluye en el Anexo 11-9 y está basado en la NSR-98.

En este numeral se presenta el desarrollo de la metodología de diseño aplicada a los perfiles de Aluminio Tipo A-2 sin troquelar (material 6261 T6) instalado en laboratorio con viguetas de apoyo cada metro y tornillos conectores. Más adelante se presentan los resultados para las demás secciones analizadas.

7.5.2 Espectros de cargas

En el Capítulo 4 se realizó el estudio detallado de las cargas actuantes en los pisos estudiados. Los resultados de dicho análisis están basados en la instrumentación de una serie de tramos de pisos de estaciones y puentes con un elevado tránsito de personas. De acuerdo con esto el espectro de cargas recomendado para diseño equivale al patrón de cargas típico para un día de servicio de una estación o puente de muy alto tráfico (alrededor de 73000 personas por día, en el caso de la estación de la Avenida Jiménez, pasando por una sección determinada). La Figura 7-43 presenta el espectro de carga de diseño recomendado para los pisos de estaciones y puentes de Transmilenio para efectos de fatiga.

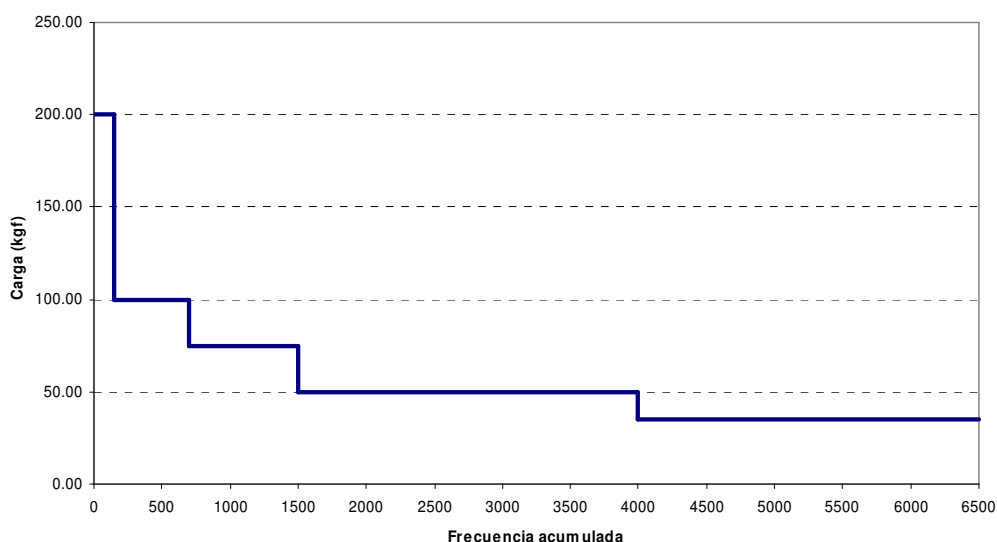


Figura 7-43 Espectro de carga

Este espectro corresponde a la mitad del espectro presentado en la Figura 4-35, esto se debe a que la carga es aplicada en dos puntos.

7.5.3 Espectros de esfuerzos críticos

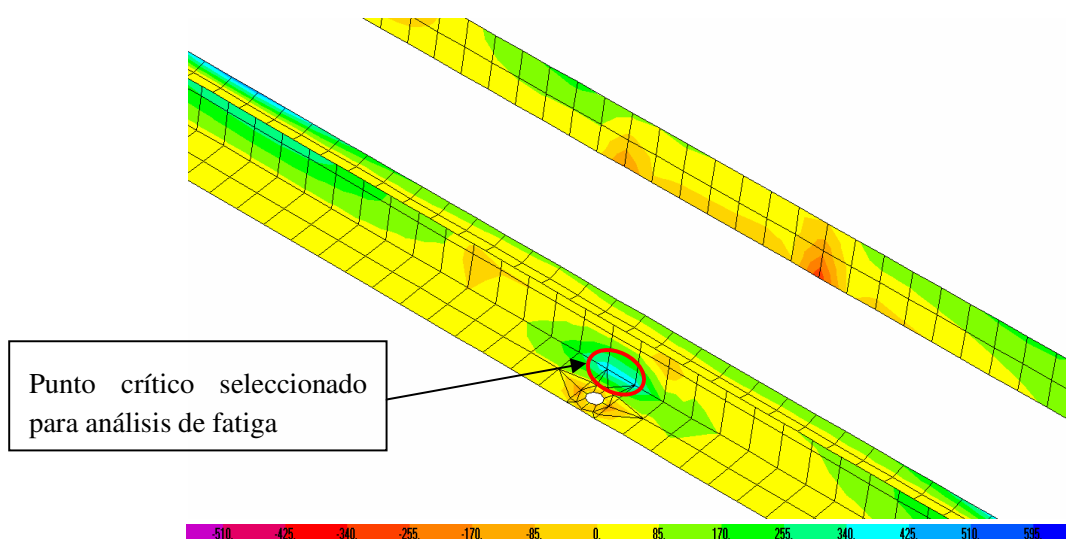
El diseño a fatiga se basa principalmente en el rango de esfuerzos principales de tensión para los detalles críticos susceptibles a fatigarse. El rango de esfuerzos corresponde a la mayor variación de esfuerzos en cada uno de los ciclos de carga (esfuerzo máximo menos el esfuerzo mínimo en el mismo punto). De acuerdo con esto se hace necesario calcular el máximo rango de esfuerzos que produce cada una de las cargas del espectro en el detalle crítico susceptible a la fatiga. Debido a la imposibilidad de medir dicho esfuerzo por métodos experimentales se hace necesario recurrir a modelos analíticos que representen de manera adecuada el comportamiento del elemento que se desea modelar. De acuerdo con esto se propone la realización de modelos tridimensionales que puedan ser calibrados para situaciones de carga simples medidas en el laboratorio y que permitan el cálculo de dichos esfuerzos. Una vez calibrado el modelo permitirá mediante la aplicación de las cargas en las posiciones críticas (ver numeral anterior) la estimación del rango de esfuerzos críticos en el detalle que se estudia. En resumen el procedimiento para calcular el rango de esfuerzo crítico es el siguiente:

- Mediante un modelo analítico elástico identificar los detalles críticos a analizar y la ubicación crítica de las cargas, de manera que estas produzcan una situación crítica de esfuerzos. Como se propuso anteriormente las cargas se trabajarán de manera normalizada

como concentradas en neoprenos de 5 cm x 5 cm tanto para los modelos analíticos como para los experimentales.

- (b) En la probeta de laboratorio a la cual se va a aplicar la carga cíclica para fatiga, se debe aplicar una carga estática conocida (en el rango elástico del elemento) en el punto de aplicación crítico de carga identificado anteriormente y se deberá medir la deflexión correspondiente justo debajo del punto de aplicación de la carga o cualquier otro parámetro que permita la calibración del modelo.
- (c) Una vez se cuente con un parámetro para calibrar el modelo, el modelo analítico se ajustará y calibrará hasta que con la carga aplicada en el laboratorio se obtenga la deflexión medida o el parámetro registrado en el laboratorio cualquiera que este sea (deflexión o esfuerzo).
- (d) Una vez calibrado el modelo analítico, se aplicarán las cargas en la posición crítica identificada y se evaluarán los esfuerzos principales en el detalle crítico identificado.
- (e) Se obtendrá con esto un factor de transformación de cargas a esfuerzos como la relación entre el esfuerzo máximo y la magnitud de la carga aplicada. Este factor se utilizará para convertir el espectro de cargas de diseño, al espectro de rangos de esfuerzos críticos en el detalle crítico seleccionado con base en el cual se adelantará el diseño a la fatiga.

En la Figura 7-44 se presentan un esquema del modelo calibrado en el cual se identifican los esfuerzos críticos en el detalle seleccionado para la distribución de cargas críticas. Con base en este resultado se calcula el espectro de esfuerzos que se aplicarían en el detalle crítico y que se ilustra en la Figura 7-45.



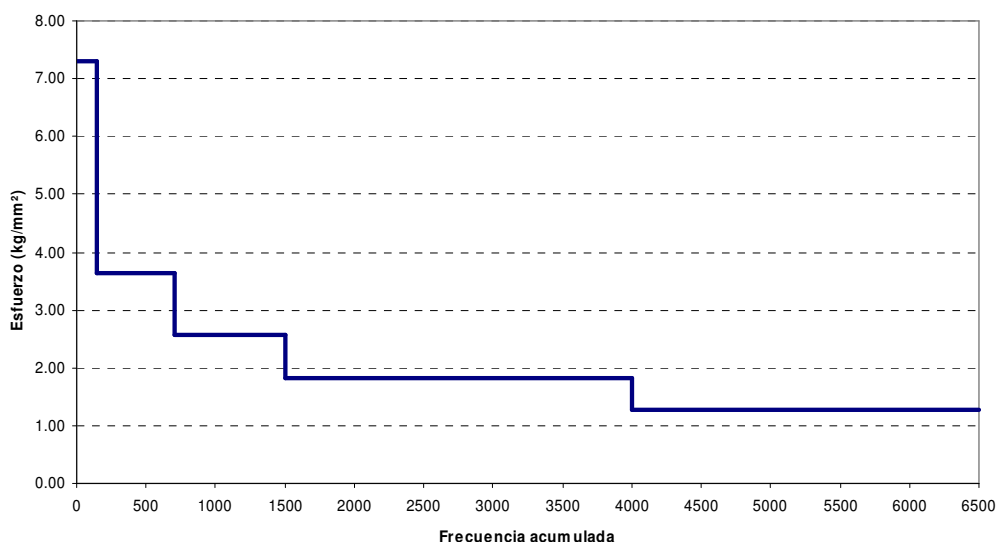


Figura 7-45 Espectro de esfuerzos

7.5.4 Determinación de curva $fr-N$ de diseño

De acuerdo con la metodología definida (ver Anexo 11.9), se debe ahora seleccionar la curva $fr-N$ de diseño. Para el caso que se estudia, el detalle crítico corresponde al de un ángulo conectado mediante pernos a un perfil metálico. Este detalle corresponde aproximadamente al detalle número 1.4 que se identifica en F.7.7.2.1 de la NSR-98 y que corresponde a una clase máxima 35 con valores de $m=3.25$, $K_2=2.09 \times 10^{11}$, $f_{oc}=2.13 \text{ kgf/mm}^2$, $f_{ov}=1.49 \text{ kgf/mm}^2$. En la Figura 7-46 se reproduce la curva $fr-N$ de diseño recomendada por la NSR-98 para este tipo de detalle.

En la Figura 7-46 se presentan las curvas $fr - N$ de diseño (para historias de esfuerzos de amplitud variable). Tomado del capítulo F.7 de la NSR98

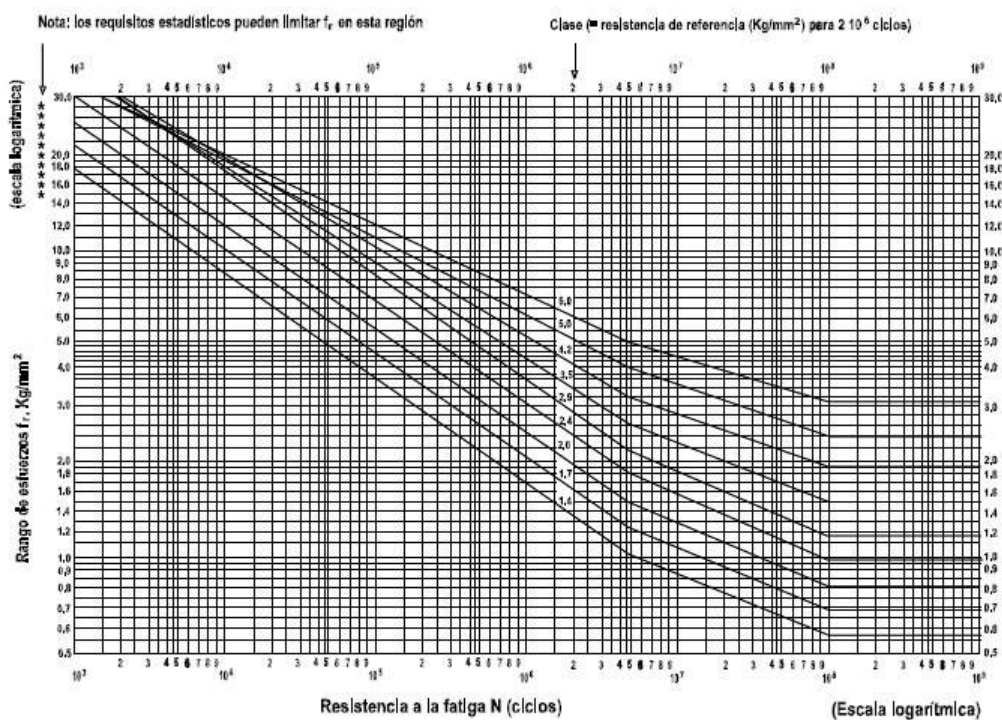


Figura 7-46 Curvas $f_r - N$ de diseño ¹

Como toda recomendación de diseño y según lo especifica la NSR-98, la anterior curva está corregida por la incertidumbre en los resultados con 2 desviaciones estándar con respecto a la media de resultados de laboratorio. De acuerdo con esto la curva de diseño debe tener un factor de seguridad que debe estar en el orden de 2 o similar.

7.5.5 Estimación de la vida útil

La información anterior permite evaluar la vida útil de diseño del elemento. La vida útil (en días) corresponderá al resultado de la siguiente ecuación:

$$\text{Vida útil estimada} = 1/(\Sigma(n/N))$$

¹ Tomado del capítulo 7 de la NSR -98

Donde $\Sigma n/N$ se deberá obtener para cada uno de los niveles de esfuerzo establecidos en el espectro de esfuerzo dado anteriormente.

n = Número de ciclos aplicados para cada nivel de esfuerzo

N = Número de ciclos de resistencia a la fatiga para el mismo nivel de esfuerzo y obtenido de la figura f_r-N correspondiente.

En la Tabla 7-33 se presenta un resumen de los cálculos realizados para el caso que se está analizando.

Tabla 7-3 Cálculo de ciclos fatiga

Nivel	Δ Esfuerzo Kg/mm ²	n	N	n/N
1	7.3	150	2.00E+05	7.50E-04
2	3.65	550	1.50E+06	3.67E-04
3	2.56	800	7.00E+06	1.14E-04
4	1.83	2500	2.80E+07	8.93E-05
5	1.28	2500	1.00E+10	2.50E-07
$\Sigma n/N$				1.32E-03

De acuerdo con lo anterior la vida útil de diseño (V_d) estimada para el perfil analizado en las circunstancias indicadas es de 757 días correspondientes aproximadamente a 2 años y 45 días.

Como se mencionó anteriormente este es un valor de diseño el cual tiene un factor de seguridad relativamente alto involucrado dado el alto nivel de incertidumbre que se maneja en general en este tipo de análisis.

Para el análisis de vida útil media (no la de diseño que involucra el factor de seguridad mencionado) se puede suponer tal como lo establece la NSR-98 en el apéndice F.7-J que de la curva correspondiente a valores medios de fatiga está aproximadamente un 30% por encima de la diseño. Para hacer este análisis se toman entonces esfuerzos un 30% inferiores a los correspondientes al diseño y se repite el ejercicio con la misma curva de fatiga. Con esta metodología se puede llegar a un estimativo de la vida útil promedio (y no de diseño) que es un dato más aproximado a lo que se llegaría en la realidad. Para el presente caso el análisis indica que para el perfil analizado la vida útil media (V_n) sería del orden de los 5 años y 10 meses.

7.5.6 Comparación con resultados experimentales

Para el caso de aplicación anterior, los resultados experimentales indican (ver Capítulo 6) que el sistema ensayado con el mismo espectro de cargas que el utilizado en los análisis anteriores presenta una vida útil total del orden de 1194 días ($D_u = 3.3$ años) momento en el cual los daños presentes generan situaciones de peligro para los transeúntes.

Como puede verse las metodologías analítica y experimental presentan una cierta concordancia dados los altos niveles de incertidumbre que se manejan. La metodología experimental arroja valores menores, probablemente debido a la incidencia de los defectos en la instalación, a los cuales se hace referencia al final del capítulo.

7.5.7 Resultados para otros ensayos

A continuación se presenta un resumen de los resultados encontrados para las demás secciones analizadas. Todos los análisis se realizan para el espectro de carga dado anteriormente y para condiciones ideales de instalación. La Tabla 7-4 y la Tabla 7-5 resumen los resultados encontrados.

Tabla 7-4 Parámetros empleados en el cálculo de fatiga

Ensayo No	Tipo de perfil	Tipo de material	Luz [m]	Factor de rigidez en ensayo elastico monotónico previo	Curva Fr-N utilizada	Observaciones
1	A-2	6261-T6	1.0	ND	35	No troquelado
2	A-4	6261-T6	1.0	ND	35	No troquelado
3	A-1	6063-T5	1.0	ND	35	Troquelado
4	L-1	6063-T5	1.0	ND	35	Troquelado

Tabla 7-5 Vida estimada ante fatiga de las muestras

Ensayo No	Tipo de perfil	Tipo de material	$V_d = 1/\Sigma(n/N)$	V_n	D_o	D_u	Observaciones
1	A-2	6261-T6	2.1	5.8	3.3	-	No troquelado
2	A-4	6261-T6	2.5	6.0	1.9**	-	No troquelado
3	A-1	6063-T5	1.8	5.7	1.2	-	Troquelado
4	L-1	6063-T5	1.2	3.3	0.5	-	Troquelado

Nota: Para los perfiles con troquelado, la verificación por fatiga en la zona de concentración de esfuerzos producida por el troquelado, indica la iniciación de fisuras con las primeras aplicaciones de carga, por lo cual el análisis se adelanta en la zona de esfuerzos críticos de los nervios.

** : se estima en 500 ciclos el equivalente a un día de tránsito, dado que se aplicó un espectro de carga constante.

En la Tabla anterior

V_d = vida útil de diseño = $1/\Sigma(n/N)$

V_n = Vida esperada analítica, años.

D_o = Vida útil experimental sin daño, años.

D_u = Vida útil experimental última, años. Requiere reemplazo.

7.6 DIAGNÓSTICO TÉCNICO

7.6.1 Diagnóstico general sobre el sistema de pisos en perfilería de aluminio

De acuerdo con los análisis realizados se puede establecer el siguiente diagnóstico general con respecto a las patologías presentadas en los pisos de aluminio instalados en la actualidad en las estaciones y puentes peatonales del sistema Transmilenio.

Los pisos actualmente instalados en las estaciones y puentes de Transmilenio y conformados por perfilería de aluminio de diferentes tipos y secciones presentan una serie de patologías que van desde daños mínimos en zonas de bajo o nulo tráfico peatonal hasta daño severo en las zonas de alto tránsito peatonal. A pesar de que el sistema de piso es adecuado para resistir las cargas vivas estáticas especificadas para el diseño las cuales son del orden de 450 kg/m², el comportamiento del sistema no

presenta una rigidez adecuada y su diseño estaría limitado por los fenómenos de fatiga que se generan por el carácter fluctuante de las cargas, hasta 200 kg, ver espectro de diseño.

Con respecto a la flexibilidad del sistema, la norma NSR establece limitaciones en las deflexiones verticales producidas por las cargas vivas tanto para elementos de concreto como para elementos metálicos en el orden de $L/360$, donde L es la luz entre apoyos de soporte. Las mediciones realizadas en las diferentes instrumentaciones de campo indican que para ciertas cargas específicas este límite en las deflexiones se ve sobrepasado ampliamente, lo que indica que en general el sistema carece de una rigidez adecuada.

Por otro lado, los mecanismos de falla por fatiga no coinciden por lo general con los mecanismos de falla para cargas estáticas equivalentes. La fallas por fatiga observadas se inician alrededor de los puntos de alta concentración de esfuerzos, particularmente donde existen discontinuidades repentinas, cambios de geometría, perforaciones, conexiones y en general sitios donde se presenten concentraciones de esfuerzos. Las grietas de fatiga se extienden incrementalmente bajo la acción del cambio cíclico en los esfuerzos. La falla ocurre cuando la sección restante no fisurada resulta insuficiente para resistir las cargas y cuando las deflexiones y en general las características funcionales del sistema no son las adecuadas para un funcionamiento seguro y efectivo.

De esta manera la perfilera de aluminio instalada presenta vidas útiles altamente variables dependiendo de diferentes factores. Los factores que inciden en la vida útil y la manera que inciden se explican a continuación:

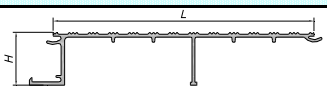
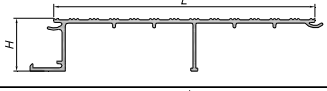
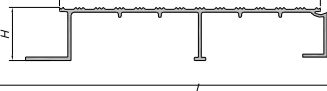
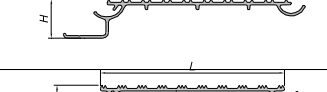
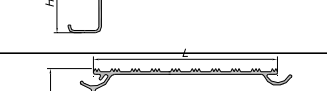
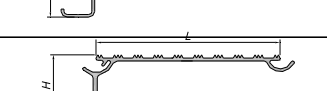
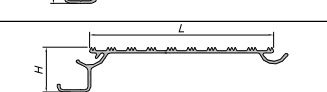
- (a) Magnitud y frecuencia de cargas: tanto las cargas altas como las más bajas tienen incidencia en el fenómeno de fatiga. A mayor frecuencia de ocurrencia de cargas altas menor será la vida útil. El patrón de cargas de las estaciones presenta pocos ciclos de cargas altas y muchos ciclos de cargas bajas todas las cuales suman al efecto de fatiga. Los análisis se han realizado para las condiciones de máximo tránsito peatonal de las estaciones que corresponde a una situación bastante crítica que según concepto de Transmilenio es cerca de la carga de saturación del sistema.
- (b) Material del perfil: la utilización de materiales no estructurales como el Aluminio 6063 – T5 (tipo arquitectónico) no garantiza un adecuado funcionamiento del sistema y acorta de manera considerable la vida útil del sistema. Su utilización en este tipo de aplicaciones debe prohibirse.
- (c) Características geométricas y detalles de perfiles: la vida útil del sistema depende directamente del nivel de esfuerzos máximos generados en los puntos críticos. En particular, mientras menor sea la luz entre los soportes de las láminas, menores serán los esfuerzos generados y por lo tanto mayor será la vida útil esperada. Por otro lado la vida útil del sistema será más corta cuanto más débil y más puntos de concentración de esfuerzos tenga el perfil. De esta manera el número de dobleces, cambios de sección, perforaciones, pernos o anclajes mecánicos puntuales y este tipo de características generarán situaciones más críticas y por lo tanto menores vidas

útiles. El perfil ideal que maximizaría la vida útil sería aquel de sección transversal uniforme preferiblemente cerrada y simétrica, con paredes de cierto espesor mínimo y conexiones que no generen concentraciones de esfuerzos tales como pegantes o sistemas de sujeción por contacto en áreas generosas.

- (d) Condiciones de instalación: las características y calidad de la construcción y de los detalles de la instalación juegan un papel fundamental en la vida útil del elemento. Los resultados presentados anteriormente corresponden a situaciones ideales de instalación en las cuales se garantice un adecuado control de calidad respecto a pernos mal instalados, ubicación y alineamiento preciso de pernos, pernos descabezados o sueltos, ajuste adecuado de pernos, evitar varias perforaciones simultáneas en una misma zona de conexión, alineamiento y nivelación adecuada de perfiles de acero de soporte y otros detalles de la instalación misma. En general cualquiera que sea el defecto en el sistema de instalación, la tendencia es hacia una disminución en la vida útil estimada del sistema. Defectos en la instalación pueden disminuir la vida útil en un factor de 2 o más, en el sitio y elemento defectuoso.
- (e) Definición del criterio de aceptabilidad: el fenómeno de fatiga es un fenómeno progresivo en el tiempo. Generalmente empieza con una pequeña grieta que en general no genera ningún tipo de afectación en el comportamiento del sistema y que en muchos casos ni siquiera es visible. Dicha grieta se va propagando en el tiempo para las mismas condiciones de carga que las originó hasta que se comienzan a evidenciar cambios en el comportamiento tales como pérdidas de rigidez, mayores deflexiones, nuevas deformaciones y otras. Posteriormente los problemas siguen incrementándose hasta que se generan grietas de consideración evidenciando con esto daños y problemas graves de funcionamiento. En este estado el elemento ya no presta un servicio seguro y adecuado y debe reemplazarse. La variación entre la aparición de la primera fisura y los daños evidentes que dificultan la funcionalidad del elemento puede ser considerable, en los casos estudiados puede ser de 1 o más años.

Con respecto a los perfiles estudiados (ver Tabla 3-1), se pueden establecer las comparaciones relativas que se indican en la 6, en dicha tabla se enumeran los puntos favorables de cada perfil, los puntos desfavorables de estos se analizaron a lo largo de este capítulo.

Tabla 7-6 Comentarios a los perfiles de aluminio

TIPO	ESQUEMA	COMENTARIOS (Ventajas relativas a otros perfiles)
A-1		- Apoyo intermedio
A-2		- Material tipo estructural - Apoyo intermedio
A-3		- Material tipo estructural - 3 nervios de rigidización - Zonas de apoyo ampliadas - Mayor peso por metro
A-4		- Material tipo estructural - Zonas de apoyo ampliadas - Mejor capacidad de conexión
L-1		- Mayor altura de la sección - Conexiones con mayor capacidad
L-2		- Material tipo estructural - Mayor altura de la sección - Conexiones con mayor capacidad
L-3		- Material tipo estructural - Mayor altura de la sección - Conexiones con mayor capacidad
L-4		- Material tipo estructural - Conexiones con mayor capacidad

Como conclusión general se establece que el diseño de los pisos conformados por perfiles de aluminio como los estudiados está controlado por la flexibilidad del mismo (ya que las secciones actuales son en general demasiado flexibles para el tipo de cargas actuantes) y por el fenómeno de fatiga, el cual limita la funcionalidad de los pisos por la aparición progresiva de grietas y defectos asociados. Diversos son los factores que definen la vida útil del piso tales como la magnitud y frecuencia de las cargas, el tipo de material, las características geométricas y detalles del perfil, las condiciones de instalación, y la definición del criterio de aceptabilidad (primera grieta o límite de funcionalidad o cualquier punto intermedio). El control de todas estas variables para efectos de diseño obligarían a una serie de medidas

que pueden resultar imprácticas. La factibilidad de utilización de estos sistemas, en las condiciones dimensionales y de conexiones actuales, estaría supeditada al rango de vida útil requerido y a la realización de una serie de controles que garanticen unas condiciones mínimas de calidad. En estos casos y dados los altos niveles de incertidumbre que se manejan con todas las variables mencionadas, se considera que para efectos de establecer una vida útil determinada deben obligatoriamente realizarse tanto análisis teóricos como experimentales de fatiga, en las condiciones más cercanas y ajustadas posibles a las condiciones de instalación de la realidad.

7.6.2 Diagnóstico particular de los sistemas ensayados

A continuación se presenta un diagnóstico particular sobre cada uno de los sistemas ensayados y que fueron posteriormente sometidos a evaluaciones analíticas.

Perfiles Tipo A-1 y L-1

Los ensayos experimentales realizados complementados por las evaluaciones teóricas correspondientes, permiten establecer que los perfiles tipo A-1 y L-1 con detalles de instalación equivalentes a los originales pero en condiciones ideales de laboratorio y ante las cargas correspondientes a las estaciones de mayor tránsito peatonal, tendrían vidas útiles que pueden oscilar entre 1 año y 2 años.

Perfiles Tipo A-2

Los ensayos experimentales realizados complementados por las evaluaciones teóricas correspondientes, permiten establecer que los perfiles tipo A-2 con detalles de instalación equivalentes a los originales pero en condiciones ideales de laboratorio y ante las cargas correspondientes a las estaciones de mayor tránsito peatonal, tendrían vidas útiles que pueden oscilar entre los 3 y los 5 años.

Perfiles Tipo A-3 (Puentes peatonales):

En general se observó que las estaciones presentan un índice de daño mayor con respecto a los puentes peatonales. Las posibles causas de este efecto se mencionan a continuación:

1. Las láminas de los puentes peatonales presentan menos cantidad de ranuras de troquelado que las láminas de las estaciones.
2. La separación entre apoyos para las láminas de los puentes es menor que las de las estaciones (entre 0.80m y 1.0 para estaciones y 0.60 m para puentes).

3. La sección transversal de las láminas de los puentes corresponde en general al tipo A-3 (Ver Tabla 3-1) que presenta en general mejores características estructurales que la mayoría de perfiles utilizados en estaciones.
4. La naturaleza del tránsito peatonal en los puentes genera espectros de carga en los cuales se presentan muy pocas cargas de alta intensidad en comparación con las de las estaciones con lo cual se genera una mayor vida útil para estas estructuras.

7.6.3 Recomendaciones

Se plantean las siguientes recomendaciones para lograr un mejoramiento sustancial e integral del sistema.

- (a) Modificar la sección transversal del perfil, se debe diseñar una sección mas rígida, mas pesada simétrica y con áreas de apoyo mas grandes.
- (b) Se debe evitar la realización de perforaciones o cambios geométricos drásticos en la sección para minimizar las concentraciones de esfuerzos.
- (c) Se debe cambiar el sistema de conexión y sujeción el cual es causante de gran parte de los problemas.
- (d) Se debe eliminar los troquelados que son factores que inciden de manera directa en la disminución de la vida útil.
- (e) Los sistemas de piso actualmente instalados no se pueden arreglar. Se recomienda el reemplazo integral del sistema de piso para todas las estaciones y puentes que presenten afectación. En el Capítulo 8 se presenta el análisis de las posibles alternativas para reemplazo de los sistemas de piso con sus respectivos esquemas de montaje y análisis económico. El reemplazo se debe realizar según el estado de daño particular en el tiempo de cada estación o puente, por lo cual no se puede estimar un costo actual de dicha intervención.

NUEVOS SISTEMAS



TABLA DE CONTENIDO

8	Nuevos Sistemas	8-0
8.1	Introducción.....	8-1
8.2	Materiales sintéticos	8-6
8.2.1	Descripción general	8-6
8.2.2	Comportamiento experimental	8-11
8.2.3	Verificaciones de diseño.....	8-22
8.2.4	Verificación de conectores	8-28
8.2.5	Verificación de viguetas de apoyo.....	8-28
8.2.6	Procedimiento de instalación.....	8-29
8.2.7	Mantenimiento.....	8-30
8.2.8	Análisis de costos	8-31
8.3	Concreto Pretensado	8-32
8.3.1	Datos generales.....	8-32
8.3.2	Descripción general	8-32
8.3.3	Comportamiento experimental	8-38
8.3.4	Verificaciones de diseño.....	8-50
8.3.5	Verificación de conectores	8-56
8.3.6	Verificación de viguetas de apoyo.....	8-57
8.3.7	Procedimiento de instalación.....	8-57
8.3.8	Mantenimiento.....	8-59
8.3.9	Análisis de costos	8-59
8.4	Concreto con fibra de vidrio (GRC).....	8-60

8.4.1	Datos generales.....	8-60
8.4.2	Descripción general	8-60
8.4.3	Comportamiento experimental	8-66
8.4.4	Verificaciones de diseño.....	8-79
8.4.5	Verificación de conectores	8-88
8.4.6	Verificación de viguetas de apoyo.....	8-89
8.4.7	Procedimiento de instalación.....	8-89
8.4.8	Mantenimiento.....	8-91
8.4.9	Análisis de costos	8-91
8.5	Aluminio con nueva sección transversal	8-92
8.5.1	Datos generales.....	8-92
8.5.2	Descripción general	8-92
8.5.3	Comportamiento experimental	8-97
8.5.4	Verificaciones de diseño.....	8-103
8.5.5	Verificación de conectores	8-111
8.5.6	Verificación de viguetas de apoyo.....	8-111
8.5.7	Procedimiento de instalación.....	8-112
8.5.8	Mantenimiento.....	8-113
8.5.9	Análisis de costos	8-113
8.6	Rejillas metálicas.....	8-114
8.6.1	Datos generales.....	8-114
8.6.2	Descripción general	8-114
8.6.3	Comportamiento experimental	8-120
8.6.4	Verificaciones de diseño.....	8-130
8.6.5	Verificación de conectores	8-138
8.6.6	Verificación de viguetas de apoyo.....	8-139
8.6.7	Procedimiento de instalación.....	8-139

8.6.8	Mantenimiento	8-140
8.6.9	Análisis de costos	8-141
8.7	Steeldeck	8-142
8.7.1	Datos generales.....	8-142
8.7.2	Descripción general	8-142
8.8	Madera.....	8-145
8.8.1	Datos generales.....	8-145
8.8.2	Descripción general	8-145
8.9	Pegas elásticas	8-147
8.9.1	Generales	8-147
8.9.2	Descripción general.....	8-147
8.9.3	Comportamiento experimental	8-147
8.9.4	Procedimiento de instalación.....	8-163
8.9.5	Condiciones especiales de uso.....	8-163
8.9.6	Conclusiones.....	8-164
8.10	Cantidades de obra	8-166
8.11	Conclusiones	8-170
8.11.1	Generales	8-170
8.11.2	Específicas para cada uno de los sistemas.....	8-170
8.11.3	Aspectos comparativos en sistemas estudiados.....	8-177
8.11.4	Especificaciones para nuevos sistemas de piso	8-179
8.11.5	Criterios para selección de sistemas de piso.....	8-180
8.12	Alternativas definitivas.....	8-181
8.12.1	Alternativa de Concreto Pretensado seleccionada.....	8-181
8.12.2	Alternativa de Aluminio seleccionada.....	8-183

LISTA DE FIGURAS

Figura 8.1-1 Módulo de piso en materiales sintético	8-2
Figura 8.1-2 Módulo de piso en Aluminio	8-2
Figura 8.1-3 Módulo de piso en concreto pretensado	8-3
Figura 8.1-4 Módulo de piso en concreto reforzado con fibra	8-3
Figura 8.1-5 Módulo de piso en Rejillas metálicas	8-3
Figura 8.4-1 Planta superior sistema de pisos en GRC (dimensiones en mm).....	8-62
Figura 8.4-2 Planta inferior sistema de pisos en GRC (dimensiones en mm).....	8-62
Figura 8.4-3 Corte A-A Sistema de GRC (dimensiones en mm).....	8-62
Figura 8.4-4 Corte B-B Sistema de GRC (dimensiones en mm)	8-62
Figura 8.4-5 Distribución de los módulos y viguetas de GRC en la estación (dimensiones en mm).....	8-63
Figura 8.4-6 Corte C-C Distribución de los módulos y viguetas de GRC en la estación (dimensiones en mm)	8-64
Figura 8.4-7 Corte D-D Distribución de los módulos y viguetas de GRC en la estación (dimensiones en mm)	8-64
Figura 8.4-8 Detalle perimetral sistema de apoyo (dimensiones en mm)	8-65
Figura 8.4-9 Detalle sistema de conexión (Vista inferior)	8-65
Figura 8.4-10 Graficas de esfuerzo vs deformación (con medición de modulo)	8-67
Figura 8.4-11 Graficas de esfuerzo vs deformación (sin medición de modulo).....	8-68
Figura 8.4-12 Probeta y montaje de ensayo de desgaste para GRC	8-69
Figura 8.4-13 Esquema de ensayo a flexión de láminas	8-71
Figura 8.4-14 Curvas de carga vs. desplazamiento en el centro de la luz	8-72
Figura 8.4-15 Curvas de momento vs. desplazamiento en el centro de la luz	8-72
Figura 8.4-16 Montaje de ensayo de punzonamiento.....	8-73

Figura 8.4-17 Mecanismo de falla ensayo de punzonamiento	8-73
Figura 8.4-18 Montaje para ensayo de fatiga de GRC	8-74
Figura 8.4-19 Curva deflexión vs no de ciclos ensayo de fatiga.....	8-75
Figura 8.4-20 Medición de ruido condición No 1	8-76
Figura 8.4-21 Medición de ruido condición No 2	8-76
Figura 8.4-22 Medición de ruido condición No 3	8-76
Figura 8.4-23 Modelo tridimensional.....	8-80
Figura 8.4-24 Deflexiones obtenidas en el modelo	8-80
Figura 8.4-25 Distribución de esfuerzos por flexión obtenidos en el modelo (kg/cm ²)	8-81
Figura 8.4-26 Distribución de esfuerzos cortantes obtenidas en el modelo (kg/cm ²)	8-81
Figura 8.4-27 Deflexiones obtenidas en el modelo	8-82
Figura 8.4-28 Distribución de esfuerzos por flexión momentos obtenidos en el modelo (kg/cm ²) ..	8-83
Figura 8.4-29 Distribución de esfuerzos cortantes obtenidas en el modelo (kg/cm ²)	8-83
Figura 8.4-30 Deflexiones obtenidas en el modelo	8-84
Figura 8.4-31 Distribución de esfuerzos por flexión obtenidos en el modelo (kg/cm ²)	8-85
Figura 8.4-32 Distribución de esfuerzos cortantes obtenidas en el modelo (kg/cm ²)	8-85
Figura 8.4-33 Deflexiones obtenidas en el modelo	8-86
Figura 8.4-34 Distribución de esfuerzos por flexión obtenidos en el modelo (kg/cm ²)	8-86
Figura 8.4-35 Distribución de esfuerzos cortantes obtenidas en el modelo (kg/cm ²)	8-87
Figura 8.4-36 Deformada por temperatura.....	8-87
Figura 8.4-37 Deformada por defectos constructivos	8-88
Figura 8.5-1 Sección transversal del perfil de aluminio (dimensiones en mm)	8-93
Figura 8.5-2 Distribución de los módulos de aluminio y viguetas en la estación (dimensiones en mm)	8-94
Figura 8.5-3 Corte C-C Distribución de los módulos de aluminio y viguetas en la estación (dimensiones en mm)	8-95
Figura 8.5-4 Corte D-D Distribución de los módulos y viguetas de aluminio en la estación (dimensiones en mm)	8-95

Figura 8.5-5 Detalle perimetral sistema de apoyo (dimensiones en mm)	8-96
Figura 8.5-6 Detalle sistema de conexión (dimensiones en mm).....	8-96
Figura 8.5-7 Detalle de la grapa de amarre (dimensiones en mm).....	8-97
Figura 8.5-8 Esquema de ensayo a flexión de láminas	8-98
Figura 8.5-9 Curvas de carga vs. desplazamiento en el centro de la luz	8-99
Figura 8.5-10 Curvas de momento vs. desplazamiento en el centro de la luz	8-99
Figura 8.5-11 Montaje para ensayo de fatiga de Aluminio	8-100
Figura 8.5-12 Curva deflexión Vs No de ciclos ensayo de fatiga de aluminio	8-100
Figura 8.5-13 Medición de ruido condición No 1	8-101
Figura 8.5-14 Medición de ruido condición No 2	8-101
Figura 8.5-15 Medición de ruido condición No 3	8-102
Figura 8.5-16 Modelo tridimensional.....	8-103
Figura 8.5-17 Deflexiones obtenidas en el modelo	8-104
Figura 8.5-18 Distribución de esfuerzos por flexión obtenidos en el modelo (Kg/mm ²).....	8-104
Figura 8.5-19 Distribución de esfuerzos cortantes obtenidas en el modelo (Kg/mm ²)	8-105
Figura 8.5-20 Deflexiones obtenidas en el modelo	8-106
Figura 8.5-21 Distribución de esfuerzos por flexión obtenidos en el modelo (kg/mm ²)	8-107
Figura 8.5-22 Distribución de esfuerzos cortantes obtenidas en el modelo (kg/mm ²)	8-107
Figura 8.5-23 Deformada por defectos constructivos	8-109
Figura 8.5-24 Deformada por cambios térmicos.....	8-109
Figura 8.5-25 Esfuerzos máximos en la lámina por la carga del análisis a la fatiga (kg/mm ²).....	8-110
Figura 8.6-1 Planta superior sistema de pisos en rejillas metálicas (dimensiones en mm)	8-115
Figura 8.6-2 Corte A-A Sistema de rejillas metálicas (dimensiones en mm)	8-116
Figura 8.6-3 Corte B-B Sistema de rejillas metálicas (dimensiones en mm).....	8-116
Figura 8.6-4 Detalle de elementos que conforman el sistema(Vista inferior).....	8-116
Figura 8.6-5 Distribución de los módulos y viguetas de rejillas metálicas en la estación (dimensiones en mm)	8-117

Figura 8.6-6 Corte C-C Distribución de los módulos y viguetas de rejillas metálicas en la estación (dimensiones en mm)	8-119
Figura 8.6-7 Corte D-D Distribución de los módulos y viguetas de rejillas metálicas en la estación (dimensiones en mm)	8-119
Figura 8.6-8 Detalle perimetral sistema de apoyo (dimensiones en mm)	8-120
Figura 8.6-9 Probeta y montaje de ensayo de desgaste para rejillas metálicas	8-121
Figura 8.6-10 Esquema de ensayo a flexión de láminas	8-122
Figura 8.6-11 Curvas de carga vs. desplazamiento en el centro de la luz (Probeta No 1)	8-123
Figura 8.6-12 Curvas de momento vs. desplazamiento en el centro de la luz (Probeta No 1)	8-123
Figura 8.6-13 Curvas de carga vs. Desplazamiento en el centro de la luz (Probeta No 2)	8-124
Figura 8.6-14 Curvas de momento vs. Desplazamiento en el centro de la luz (Probeta No 2)	8-124
Figura 8.6-15 Montaje de ensayo de punzonamiento probeta No 1	8-125
Figura 8.6-16 Mecanismo de falla ensayo de punzonamiento probeta No 1	8-125
Figura 8.6-17 Montaje de ensayo de punzonamiento probeta No 2	8-126
Figura 8.6-18 Mecanismo de falla ensayo de punzonamiento probeta No 2	8-126
Figura 8.6-19 Montaje para ensayo de fatiga de rejillas metálicas	8-127
Figura 8.6-20 Curva deflexión vs No de ciclos ensayo de fatiga	8-127
Figura 8.6-21 Medición de ruido condición No 1	8-128
Figura 8.6-22 Medición de ruido condición No 2	8-128
Figura 8.6-23 Medición de ruido condición No 3	8-129
Figura 8.6-24 Modelo tridimensional	8-130
Figura 8.6-25 Deflexiones obtenidas en el modelo	8-131
Figura 8.6-26 Distribución de esfuerzos por flexión obtenidos en el modelo (kg/cm ²)	8-131
Figura 8.6-27 Distribución de esfuerzos cortantes obtenidos en el modelo (kg/cm ²)	8-132
Figura 8.6-28 Deflexiones obtenidas en el modelo	8-133
Figura 8.6-29 Distribución de esfuerzos por flexión momentos obtenidos en el modelo (kg/cm ²)	8-133
Figura 8.6-30 Distribución de esfuerzos cortantes obtenidos en el modelo (kg/cm ²)	8-134
Figura 8.6-31 Deflexiones obtenidas en el modelo	8-135

Figura 8.6-32 Distribución de esfuerzos por flexión obtenidos en el modelo (kg/cm ²).....	8-135
Figura 8.6-33 Distribución de esfuerzos cortantes obtenidas en el modelo (kg/cm ²)	8-136
Figura 8.6-34 Deflexiones obtenidas en el modelo	8-137
Figura 8.6-35 Distribución de esfuerzos por flexión obtenidos en el modelo (kg/cm ²).....	8-137
Figura 8.6-36 Distribución de esfuerzos cortantes obtenidas en el modelo (kg/cm ²)	8-138
Figura 8.10-1 Detalles de estructura de Vagón típico de la estación estaciones	8-166
Figura 8.10-2 Detalles de estructura de modulo típico del puente	8-169
Figura 8.12 1 Planta superior sistema de pisos en concreto pretensado (dimensiones en mm)	8-182
Figura 8.12 2 Corte A-A Sistema de pisos en concreto pretensado (dimensiones en mm)	8-182
Figura 8.12 3 Corte B-B Sistema de pisos en concreto pretensado (dimensiones en mm).....	8-182
Figura 8.12 4 Sección transversal del perfil de aluminio (dimensiones en mm).....	8-183

LISTA DE TABLAS

Tabla 8.2-1 Propiedades geométricas del módulo de piso en materiales sintéticos	8-6
Tabla 8.2-2 Ensayos realizados a materiales sintéticos	8-11
Tabla 8.2-3 Resultados de ensayos tensión	8-12
Tabla 8.2-4 Resultados de ensayos compresión	8-13
Tabla 8.2-5 Resultados de ensayos de tensión indirecta	8-14
Tabla 8.2-6 Principales resultados mediciones de desgaste	8-15
Tabla 8.2-7 Resultados ensayos de flexión	8-17
Tabla 8.2-8 Resultados de ensayos de medición de ruido	8-21
Tabla 8.2-9 Propiedades y parámetros básicos del material sintético	8-22
Tabla 8.2-10 Resultados del análisis con carga distribuida	8-24
Tabla 8.2-11 Resultados del análisis con cargas concentradas	8-26
Tabla 8.2-12 Resultados del análisis con cargas concentradas	8-27
Tabla 8.2-13 Resultados verificación viguetas de apoyo	8-29
Tabla 8.3-1 Propiedades geométricas del módulo de piso en concreto pretensado	8-33
Tabla 8.3-2 Ensayos realizados al concreto pretensado	8-38
Tabla 8.3-3 Resultados de ensayos de tensión indirecta	8-38
Tabla 8.3-4 Principales resultados mediciones de desgaste	8-40
Tabla 8.3-5 Resultados ensayos de flexión	8-42
Tabla 8.3-6 Resultados de ensayos de medición de ruido	8-47
Tabla 8.3-7 Resultados de ensayos de tensión realizados a los cables	8-48
Tabla 8.3-8 Resultados del análisis con carga distribuida	8-52
Tabla 8.3-9 Resultados del análisis con cargas concentradas	8-54

Tabla 8.3-10 Resultados del análisis con cargas concentradas	8-56
Tabla 8.3-11 Resultados verificación viguetas de apoyo	8-57
Tabla 8.4-1 Propiedades geométricas del módulo de piso en GRC	8-61
Tabla 8.4-2 Ensayos realizados al modulo de GRC	8-66
Tabla 8.4-3 Resultados de ensayos compresión	8-67
Tabla 8.4-4 Resultados de ensayos de tensión indirecta	8-68
Tabla 8.4-5 Principales resultados mediciones de desgaste	8-70
Tabla 8.4-6 Resultados ensayos de flexión	8-71
Tabla 8.4-7 Resultados de ensayos de medición de ruido	8-77
Tabla 8.4-8 Propiedades de la fibra de vidrio alcalino resistente	8-78
Tabla 8.4-9 Propiedades y parámetros básicos del material GRC	8-78
Tabla 8.4-10 Chequeos con el modelo simplificado	8-79
Tabla 8.4-11 Resultados del análisis con carga distribuida	8-82
Tabla 8.4-12 Resultados del análisis con cargas concentradas	8-84
Tabla 8.4-13 Resultados del análisis con cargas concentradas	8-85
Tabla 8.4-14 Resultados del análisis con cargas concentradas	8-87
Tabla 8.4-15 Resultados verificación viguetas de apoyo	8-89
Tabla 8.5-1 Propiedades geometricas de la sección de aluminio	8-93
Tabla 8.5-2 Ensayos realizados a módulos de aluminio	8-97
Tabla 8.5-3 Resultados ensayos de flexión	8-99
Tabla 8.5-4 Resultados de ensayos de medición de ruido	8-102
Tabla 8.5-5 Propiedades y parámetros básicos del material aluminio	8-103
Tabla 8.5-6 Resultados del análisis con carga distribuida	8-105
Tabla 8.5-7 Resultados del análisis con cargas concentradas	8-108
Tabla 8.5-8 Resultados del análisis con carga de punzonamiento	8-108
Tabla 8.5-9 Cálculo de la vida útil	8-111
Tabla 8.5-10 Resultados verificación viguetas de apoyo	8-111

Tabla 8.6-1 Propiedades geométricas del módulo de piso en rejillas metálicas.....	8-115
Tabla 8.6-2 Ensayos realizados a rejillas	8-120
Tabla 8.6-3 Principales resultados mediciones de desgaste	8-121
Tabla 8.6-4 Resultados ensayos de flexión	8-123
Tabla 8.6-5 Resultados de ensayos de medición de ruido.....	8-129
Tabla 8.6-6 Propiedades y parámetros básicos del material rejillas metálicas.....	8-130
Tabla 8.6-7 Resultados del análisis con carga distribuida.....	8-132
Tabla 8.6-8 Resultados del análisis con cargas concentradas	8-134
Tabla 8.6-9 Resultados del análisis con cargas concentradas	8-136
Tabla 8.6-10 Resultados del análisis con cargas concentradas	8-138
Tabla 8.6-11 Resultados verificación viguetas de apoyo.....	8-139
Tabla 8.8-1 Tipos de maderas	8-146
Tabla 8.8-2 Propiedades físicas de los diferentes tipos de maderas.....	8-146
Tabla 8.9-1 Ensayos realizados.....	8-148
Tabla 8.9-2 Resultados ensayos de tensión en sustrato.....	8-149
Tabla 8.9-3 Resultados ensayos de tensión en imprimante.....	8-153
Tabla 8.9-4 Resultados ensayos de tensión en pega elástica.....	8-156
Tabla 8.9-5 Comparación de resistencias de pega elástica, de la pintura contra los otros materiales....	8-160
Tabla 8.9-6 Comparación de tensiones en sustrato, de la pintura contra los otros materiales	8-160
Tabla 8.9-7 Comparación de tensiones en imprimante, de la pintura contra los otros materiales. ..	8-161
Tabla 8.9-8 Resultados ensayos de corte en pega elástica	8-161
Tabla 8.10-1 Tabla de cantidades de obra alternativa Material sintético para estaciones.....	8-166
Tabla 8.10-2 Tabla de cantidades de obra alternativa Concreto pretensado para estaciones.....	8-167
Tabla 8.10-3 Tabla de cantidades de obra alternativa Concreto reforzado con fibras para estaciones. .	8-167
Tabla 8.10-4 Tabla de cantidades de obra alternativa Aluminio para estaciones.....	8-168
Tabla 8.10-5 Tabla de cantidades de obra rejillas para estaciones.....	8-168

Tabla 8.10-6	Tabla de cantidades de obra alternativa Aluminio para puentes.....	8-169
Tabla 8.11-1	Tabla comparativa de los sistemas analizados.....	8-177
Tabla 8.12-1	Propiedades geométricas del módulo de piso en concreto preesforzado	8-181
Tabla 8.12-2	Propiedades geométricas de la sección de aluminio	8-183
Tabla 8.12-3	Tabla comparativa de los sistemas definitivos.....	8-185

8.1 INTRODUCCIÓN

Los pisos actualmente instalados en las estaciones y puentes de Transmilenio y conformados por perfilera de aluminio de diferentes tipos y secciones presentan una serie de patologías que van desde daños mínimos en zonas de bajo o nulo tráfico peatonal hasta daño severo en las zonas de alto tránsito peatonal. A pesar de que el sistema de piso es adecuado para resistir las cargas vivas estáticas especificadas para el diseño las cuales son del orden de 450 kg/m^2 , el comportamiento del sistema no presenta una rigidez adecuada y su diseño estaría limitado por los fenómenos de fatiga que se generan por el carácter fluctuante de las cargas.

Los problemas presentados con los sistemas de pisos actuales han llevado al IDU a considerar la posibilidad de utilizar otras alternativas de pisos, tanto en términos de materiales como de estructuraciones, de manera que se cumplan unas especificaciones mínimas de seguridad, funcionalidad y durabilidad.

En resumen, y luego de llegar a unos acuerdos básicos con los representantes del IDU y con la Interventoría del proyecto, se establecen los siguientes criterios básicos para la selección de nuevas alternativas de sistemas de piso:

- (a) Peso promedio del sistema y viguetas de soporte en el orden de 80 kg/m^2 .
- (b) Capacidad de carga viva global del sistema: 450 kg/m^2 .
- (c) Resistencia a la fatiga mínima de 20 años para las condiciones de carga establecidas en el Capítulo 4.
- (d) Durabilidad máxima, sujeta a procedimientos de mantenimiento.
- (e) Mínimo impacto de ruido.
- (f) Facilidad de mantenimiento.
- (g) Funcionalidad en la instalación, reparación, mantenimiento y eventual remoción.

De acuerdo con los anteriores criterios y una vez realizado un sondeo con diferentes posibles fabricantes de sistemas de pisos, se han seleccionado los siguientes sistemas alternativos, los cuales presentan diferentes características que arrojan ventajas y desventajas, las cuales se analizan mas adelante en el capítulo:

1. Materiales sintéticos: se trata de materiales sintéticos que tratan de simular el comportamiento de un material determinado o que buscan obtener determinadas propiedades mecánicas. En el presente caso se seleccionó un polímetro reforzado con fibras, material de uso y aplicación comercial.

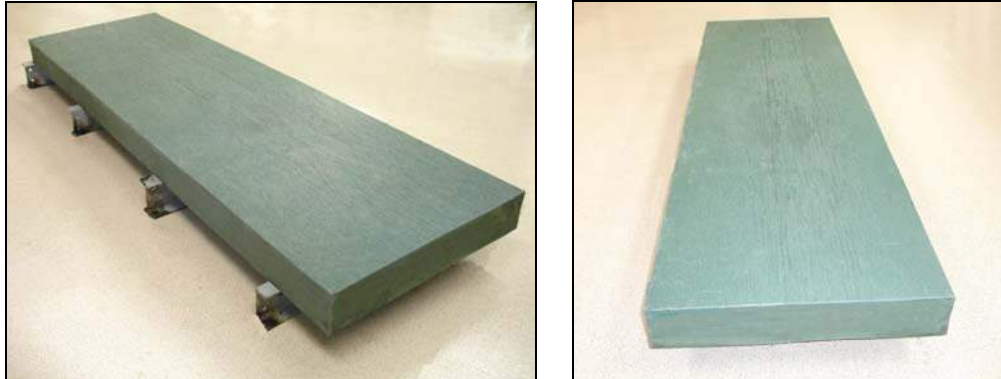


Figura 8.1-1 Módulo de piso en materiales sintético

2. Aluminio: de acuerdo con los resultados obtenidos en la fase de diagnóstico, esta alternativa requiere la definición con los proveedores de una nueva geometría de la sección transversal del perfil y del sistema de conectores o sujetadores.

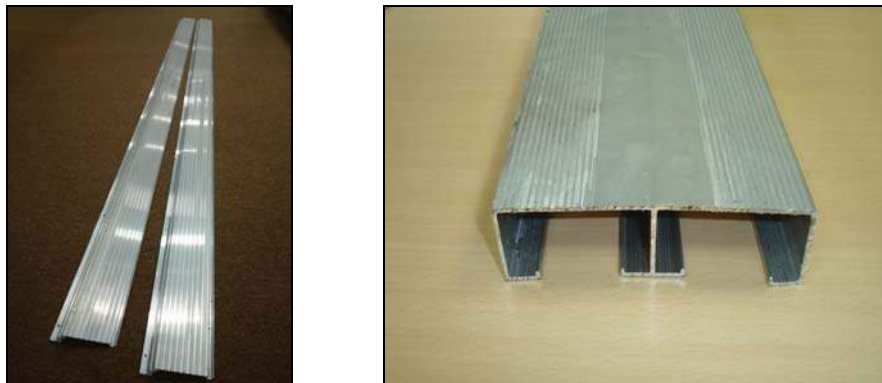


Figura 8.1-2 Módulo de piso en Aluminio

3. Concreto pretensado: se considera una opción de placas macizas prefabricadas en concreto pretensado.



Figura 8.1-3 Módulo de piso en concreto pretensado

4. Concreto con fibra de vidrio (GRC): se considera una alternativa conformada por placas de concreto con fibra de vidrio.



Figura 8.1-4 Módulo de piso en concreto reforzado con fibra

5. Rejillas de acero: esta alternativa está conformada por rejillas de láminas de acero estructural, normalmente utilizadas en aplicaciones industriales.



Figura 8.1-5 Módulo de piso en Rejillas metálicas

Para cada una de las alternativas de materiales y configuración estructural se presentan los cálculos, análisis y diseños que se requieren para comprobar el cumplimiento de dicha alternativa de las especificaciones planteadas (Ver numeral 8.2, 8.3, 8.4, 8.5, 8.6). En caso que uno de los materiales no cumpla con la especificación mínima establecida, se establecerán, previas modificaciones para optimizar el sistema, las condiciones límites que ofrece dicha alternativa, por ejemplo en términos de la vida útil de fatiga máxima que este presente.

Para cada una de las alternativas se presentan los siguientes aspectos principales:

1. Datos generales del sistema tales como nombre, empresa que lo puede producir, persona de contacto y otra información administrativa.
2. Descripción general:
 - Materiales
 - Dimensiones
 - Sistema de apoyo
 - Sistema de conexión
3. Comportamiento experimental:
 - Ensayos sobre materiales
 - Capacidad de carga.
 - Resistencia a la fatiga.
 - Resistencia de conectores especiales.
 - Resistencia al desgaste.
 - Características de durabilidad.
 - Resistencia a la flexión del elemento.
 - Resistencia al punzonamiento.
4. Verificaciones de diseño:
 - Capacidad a flexión y cortante y verificación de deflexiones ante carga monotónica distribuida.
 - Capacidad a flexión y cortante y chequeo de deflexiones ante cargas vivas concentradas especificadas.

- Capacidad de punzonamiento ante cargas tacón puntilla.
 - Resistencia a la fatiga según distribución y espectro de cargas especificado.
5. Verificación o diseño de conectores:
 - Pernos, remaches y otros
 - Soldadura
 - Pegantes
 6. Procedimiento de instalación
 7. Trabajos de mantenimiento requeridos
 8. Análisis de costos unitarios

Adicionalmente a las cinco alternativas propuestas para el estudio existen una serie de alternativas adicionales que pueden considerarse basadas en materiales tradicionales, tales como losas en concreto con Steel Deck o pisos en madera. Estas alternativas no se incluyen en detalles en el presente estudio por limitaciones en el alcance del mismo pero son susceptibles de utilizarse siempre y cuando cumplan con las especificaciones presentadas en el capítulo 9 “Especificaciones Técnicas para nuevos sistemas de piso”.

El IDU podrá aceptar la utilización de cualquiera de estos sistemas siempre y cuando cumplan con las especificaciones detalladas que se definan tales como peso máximo admisible, durabilidad mínima, resistencia mínima a la fatiga y otras; para tal efecto, en el Capítulo 9 se entregan las especificaciones técnicas que deben cumplir cualquiera de los sistemas que se propongan incluidos nuevos sistemas propuestos en el futuro, diferentes a los cinco mencionados en este informe. Cualquiera que sea el sistema propuesto se recomienda igualmente instalar un tramo de prueba para verificar su funcionamiento en un lapso determinado de tiempo y para confirmar la factibilidad de instalación, mantenimiento o reemplazo. La decisión final para varios sistemas que cumplan con las condiciones mínimas establecidas por el IDU podrá estar basada en consideraciones de tipo económico, de facilidad de montaje o en otras consideraciones particulares del sistema.

8.2 MATERIALES SINTÉTICOS

8.2.1 Descripción general

Aunque existen gran cantidad de materiales sintéticos, en el presente caso se ha seleccionado el estudio de un material que pretende sustituir a la madera en alguno de sus usos. Se trata de un polipropileno de alto impacto y reforzado con fibra. Este material se funde monolíticamente para conformar elementos aligerados en forma de plaquetas prefabricadas. El proceso de fabricación de los módulos puede ser mediante inyección, extracción o soplado siendo el mas recomendable el inyectado. El sistema está conformado por módulos de 2.10 m. x 0.60 m x 0.105 m. colocados en el sentido transversal de la estación y se apoyan directamente sobre viguetas IPE 120 las cuales se soportan sobre las vigas HEA 160 que conforman la estructura de la estación. En la Tabla 8.2-1 se presentan las propiedades geométricas del modulo de piso en materiales sintéticos. En las pruebas realizadas en laboratorio se analizaron probetas suministradas por la empresa Maderplast Ltda.

Tabla 8.2-1 Propiedades geométricas del módulo de piso en materiales sintéticos

Propiedad	Unidad	Valor
Ancho [a]	m	0.6
Altura [h]	m	0.105
Longitud (L)	m	2.1
Area [A]	m ²	1.26
Area sección transversal [At]	m ²	0.023
Densidad	Kg/m ³	840
Peso por módulo	Kg	42.80
Peso de viguetas	Kg	15.6
Peso por m ² (sin Viguetas)	Kg/m ²	34.0

El sistema de conexión propuesto entre el módulo de material sintético y los perfiles en acero es mediante tornillo autoperforantes embebidos en los módulos de materiales sintéticos y que atraviesan las aletas de los perfiles metálicos de apoyo.

En las Figura 8.2-1 y 8.2-2 se muestra la vista en planta superior e inferior de uno de los módulos y las Figuras 8.2-3 y 8.2-4 presentan los cortes longitudinales y transversales correspondientes.

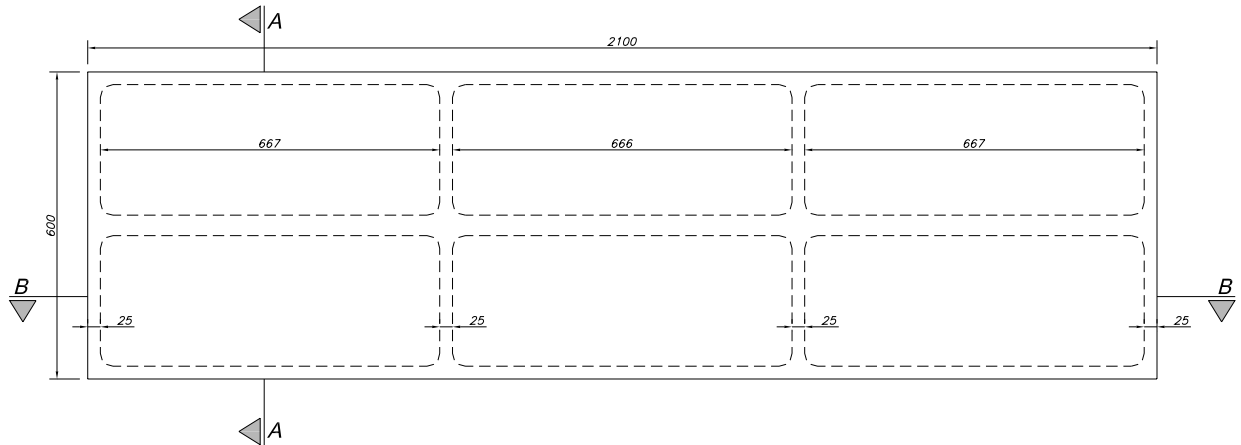


Figura 8.2-1 Planta superior sistema de pisos en materiales sintéticos (dimensiones en mm)

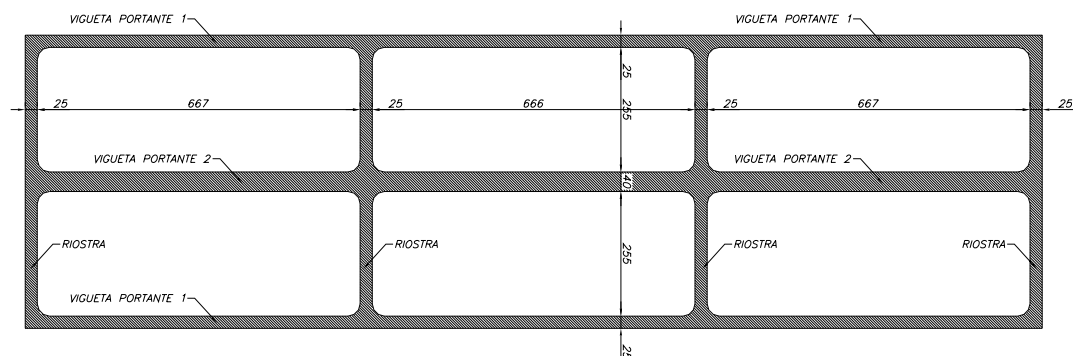


Figura 8.2-2 Planta inferior sistema de pisos en materiales sintéticos (dimensiones en mm)

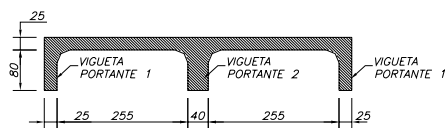


Figura 8.2-3 Corte A-A Sistema de materiales sintéticos (dimensiones en mm)

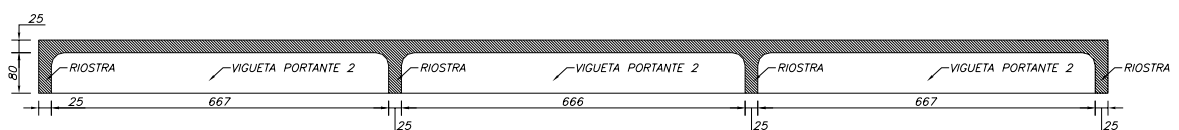


Figura 8.2-4 Corte B-B Sistema de materiales sintéticos (dimensiones en mm)

Se puede observar que la altura de la sección transversal del modulo de piso en materiales sintéticos presenta una altura mayor a las encontradas en la actualidad con los pisos de aluminio (105 mm para modulo de materiales sintéticos y 38 mm para perfiles de aluminio), con lo cual se requiere una reubicación de las vigas de apoyo para no variar el nivel final del piso y ajustarse así a las condiciones geométricas exigidas para el adecuado funcionamiento del sistema transmilenio.

Por otro lado, en las Figuras 8.2-5 a 8.2-8 se presenta una planta general con la orientación de los módulos y los cortes típicos que muestran el sistema de apoyo entre los módulos de material sintético y las viguetas de soporte en acero.

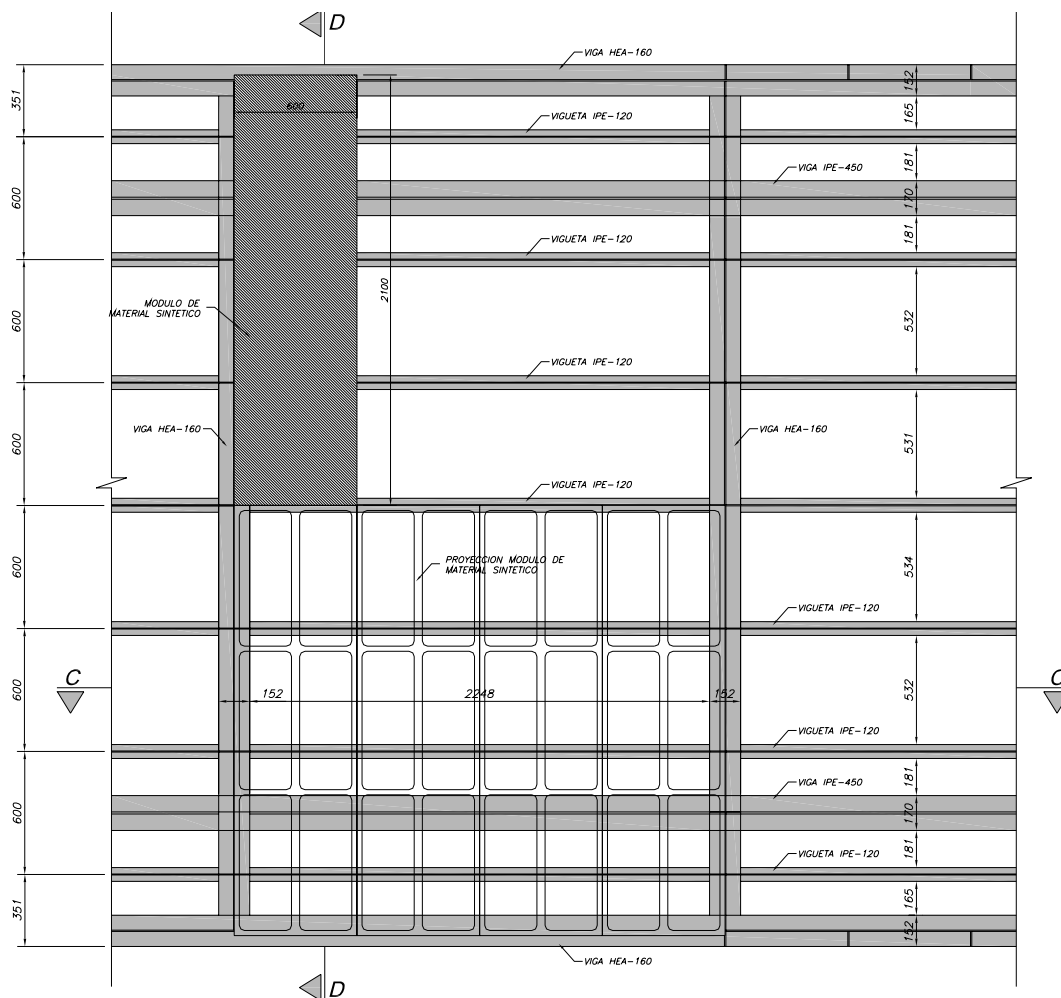


Figura 8.2-5 Distribución de los módulos y viguetas para materiales sintéticos en la estación (dimensiones en mm)

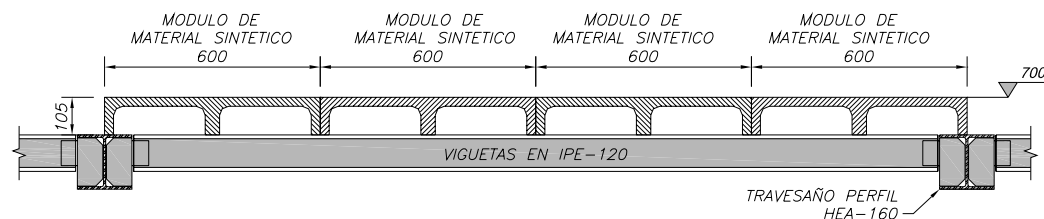


Figura 8.2-6 Corte C-C Distribución de los módulos y viguetas para materiales sintéticos en la estación (dimensiones en mm)

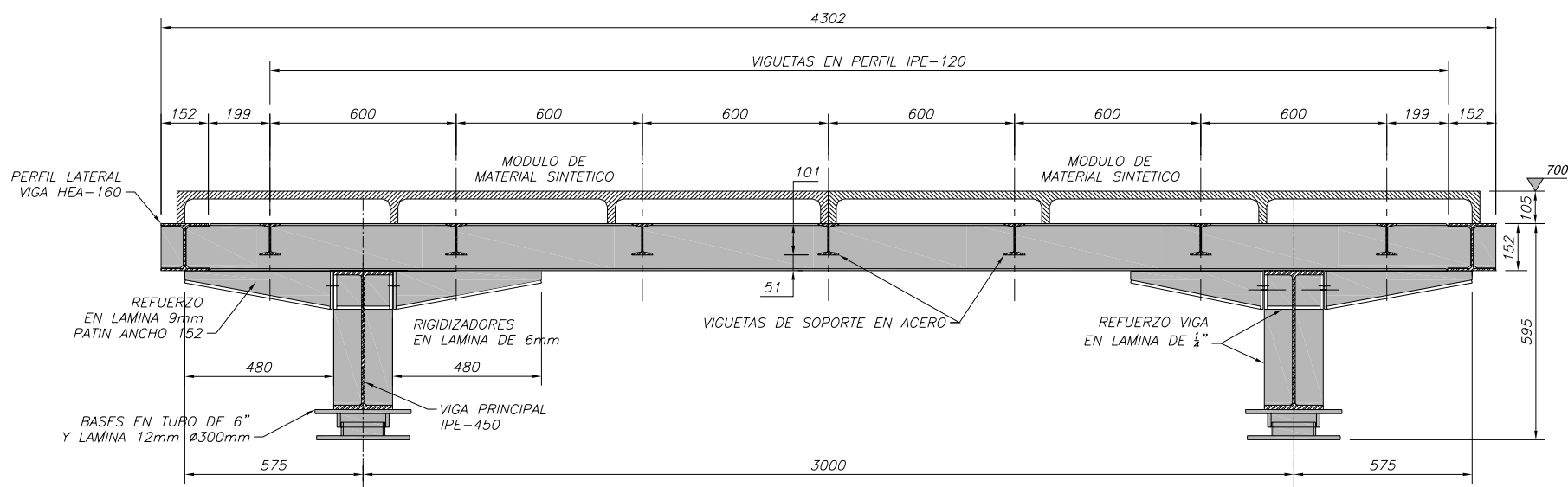


Figura 8.2-7 Corte D-D Distribución de los módulos y viguetas para materiales sintéticos en la estación (dimensiones en mm)

Nota: TFP = terminado final de piso. La cota debe definirse según criterio de funcionamiento. Con base en esta deben definirse la ubicación de todos los demás elementos estructurales

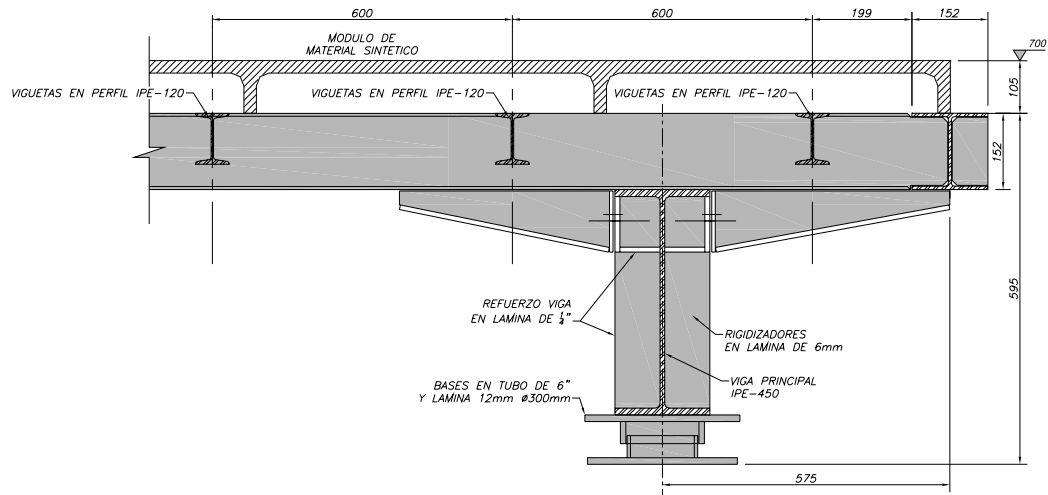


Figura 8.2-8 Detalle perimetral sistema de apoyo (dimensiones en mm)

Por otro lado la Figura 8.2-9 presenta los detalles del sistema de conexión propuesto.

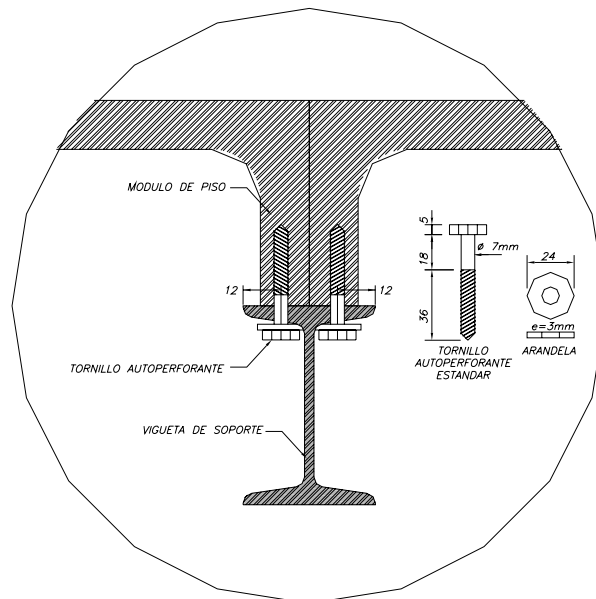


Figura 8.2-9 Detalle sistema de conexión (dimensiones en mm)

Nota: perforar en el centro de la aleta de la vigueta de soporte con tornillos tipo drywall phillips 3 cabeza avellana 13x3 calibre R2 de 3" de longitud de acero inoxidable a una distancia libre no menor de 12 mm. del borde.

8.2.2 Comportamiento experimental

Se adelantan una serie de ensayos de caracterización de los materiales y secciones utilizados en la instalación de los pisos en materiales sintéticos. En la Tabla 8.2-2 se resumen los ensayos realizados. En el Anexo 11-10 se presentan los informes de los ensayos realizados cuyos resultados se explican a continuación.

Tabla 8.2-2 Ensayos realizados a materiales sintéticos

Ensayo No	Ensayo	Cantidad
1	Ensayo de Tensión en lámina (Caracterización Material)	5
2	Compresión	4
3	Brasileño	4
4	Ensayo de desgaste en laboratorio	5
5	Ensayo de Flexión en perfil	5
6	Punzonamiento	1
7	Fatiga para aceptación	1
8	Medición de ruido	1
9	Ensayo de efectos ambientales sobre los materiales (Envejecimiento)	1

8.2.2.1 Ensayo de tensión pura en probetas

Con el fin de caracterizar las resistencias y la curva esfuerzo deformación del material utilizado en la fabricación de pisos en materiales sintéticos se adelantan una serie de ensayos a tensión pura sobre probetas. Las dimensiones de las probetas a ensayar corresponden a las establecidas en la norma ASTM B 557. Por medio de este ensayo se determina el esfuerzo de fluencia, el esfuerzo de rotura, la ductilidad y el módulo elástico del material empleado para la fabricación del sistema de pisos.

En la Figura 8.2-10 se encuentra un esquema del montaje utilizado y la disposición de los elementos de medición empleados para la realización del ensayo.

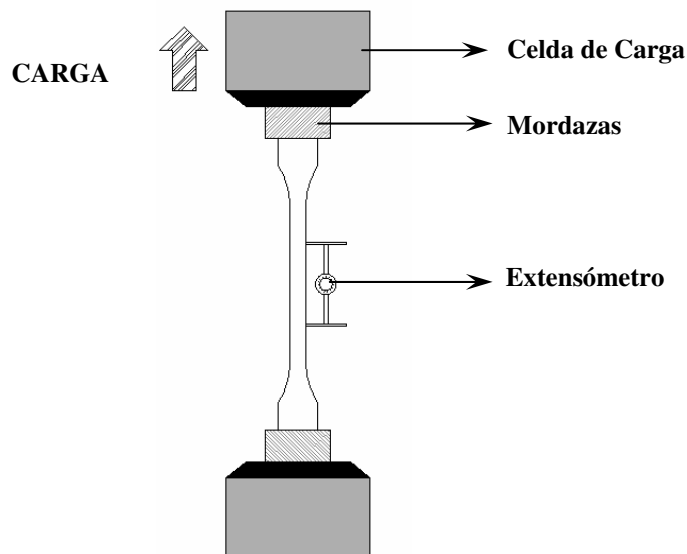


Figura 8.2-10 Esquema de ensayo a tensión

Se realizaron 5 ensayos de tensión. Los resultados encontrados en estos ensayos se presentan en la Tabla 8.2-3. La Figura 8.2-11 presenta las curvas esfuerzo vs deformación obtenidas en los ensayos realizados.

Tabla 8.2-3 Resultados de ensayos tensión

Probeta	Esfuerzo Maximo [Kg/cm ²]	Alargamiento medido [%]	Módulo de Elasticidad [Kg/cm ²]
P1	96	2.7	7162
P2	100	1.4	8636
P3	99	0.0	8214
P4	86	0.4	7937
P5	94	0.4	7884
Promedio	95	1.0	7967

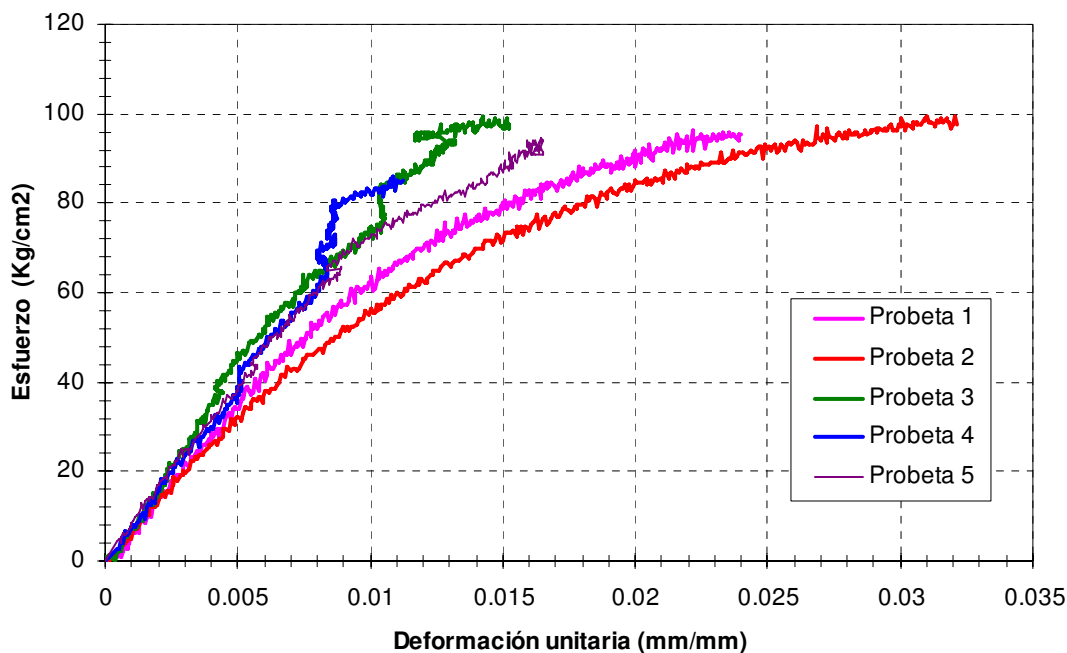


Figura 8.2-11 Curvas de Esfuerzo Vs. Deformación unitaria

8.2.2.2 Ensayo de compresión

Se realizan 4 ensayos de compresión sobre cilindros con diámetros de 60.5 mm y 41.1 mm y alturas de 121 mm y 82.5 mm respectivamente. Los ensayos se realizan siguiendo el procedimiento de la norma ASTM C-469-94. La Tabla 8.2-4 resume los resultados encontrados en los ensayos.

Tabla 8.2-4 Resultados de ensayos compresión

Nucleo	Resistencia a compresión [Kg/cm ²]	Módulo de Elasticidad [Kg/cm ²]
1	302	9212
2	302	8997
3	240	10271
4	314	9780
Promedio	289	9565

8.2.2.3 Ensayo de tensión indirecta

Se realizan ensayos de tensión indirecta siguiendo el procedimiento de la norma ASTM C-496-96. En la Tabla 8.2-5 se presentan los resultados encontrados.

Tabla 8.2-5 Resultados de ensayos de tensión indirecta

Probeta	Resistencia a la tensión indirecta [Kg/cm ²]
1	28
2	31
3	36
4	32
Promedio	31

8.2.2.4 Ensayo de desgaste

Los ensayos de desgaste se realizaron siguiendo el procedimiento explicado en el numeral 6.3.6. Las probetas seleccionadas del material se sometieron a ensayos de desgaste de acuerdo con la norma ASTM D3389. En la Figura 8.2-12 se presenta el montaje del ensayo de desgaste para probetas de materiales sintéticos. En la Tabla 8.2-6 se presentan los resultados de los ensayos.



Figura 8.2-12 Probeta y montaje de ensayo de desgaste para Material sintético

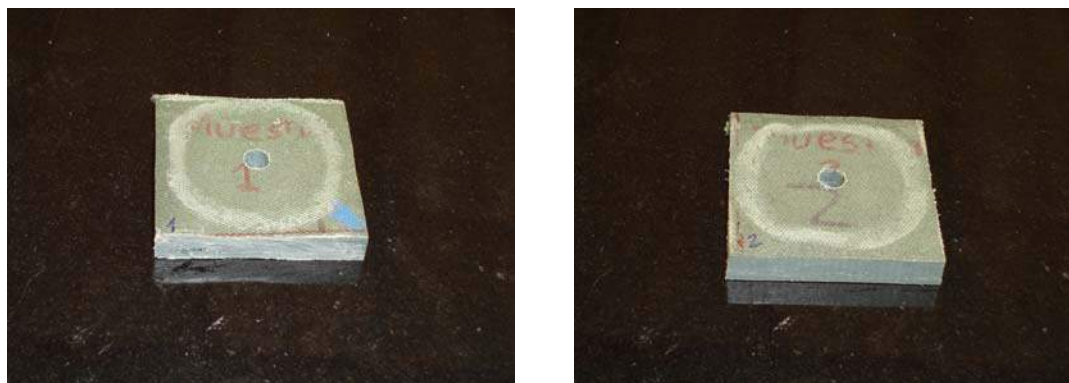


Figura 8.2-12 Probeta y montaje de ensayo de desgaste para Material sintético (Continuación)

Tabla 8.2-6 Principales resultados mediciones de desgaste

Probeta No	Masa Pérdida por revolución [mg/rev]	Observaciones
1	0.035	Carga aplicada de 1000 gr - 500 ciclos
2	0.006	Carga aplicada de 1000 gr - 500 ciclos
3	0.014	Carga aplicada de 1000 gr - 500 ciclos
4	0.037	Carga aplicada de 1000 gr - 500 ciclos
5	0.019	Carga aplicada de 1000 gr - 500 ciclos

Se puede observar que los materiales sintéticos presentan un desgaste promedio de 0.021 gr para las condiciones de ensayo. Este valor puede compararse con el valor de desgaste promedio de 0.0224 gr obtenido para el aluminio 6261 T6 utilizado en los sistemas de pisos actuales.

8.2.2.5 Ensayo de flexión

Estos ensayos se adelantan con el fin de caracterizar el comportamiento a flexión en términos de rigidez, flexibilidad de los perfiles y resistencia de dichos elementos. El ensayo permite realizar una calibración inicial de los modelos de análisis en términos de flexibilidad y capacidad a flexión y aporta información valiosa sobre propiedades mecánicas.

Debido a que para la fabricación del módulo propuesto se requeriría de una inversión económica alta por parte del fabricante, se acordó realizar el ensayo sobre un módulo ensamblado con dimensiones similares a las propuestas para el módulo real. De acuerdo con lo establecido por el fabricante dicho módulo, por su característica de ser ensamblado tiene tanto una capacidad de carga como una rigidez menores a las del módulo real propuesto.

La longitud de la luz libre de ensayo es de 40 cm. La carga se aplica mediante dos cargas concentradas simétricas con respecto al centro de la luz con el fin de tener momento constante sin cortante en la zona central de la viga. Se registra simultáneamente la carga aplicada mediante una celda de carga, y la deformación mediante un LVDT colocado en el centro de la luz (Ver Figura 8.2-13). Mediante el desarrollo de los ensayos se determina experimentalmente la rigidez de la probeta a flexión, así como el esfuerzo flector máximo resistente y la curva típica carga-deflexión bajo efectos de flexión. Por no tratarse de un ensayo convencional se utiliza como referencia la metodología equivalente propuesta en la norma ASTM C78 para ensayo a flexión de vigas de concreto.

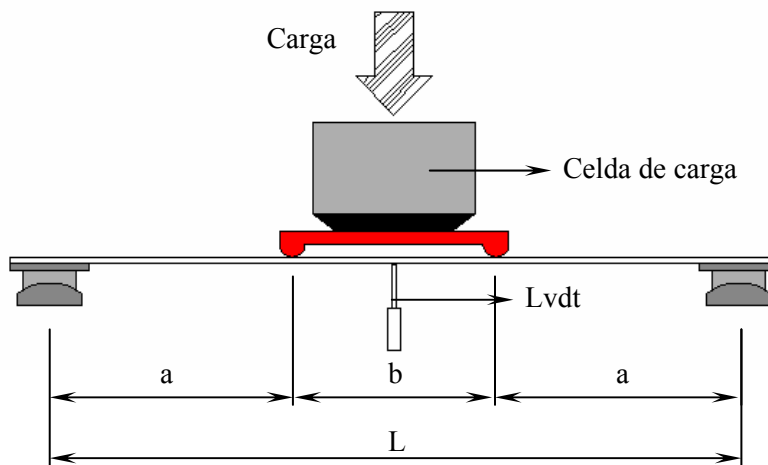


Figura 8.2-13 Esquema de ensayo a flexión de láminas

La Figura 8.2-14 resume las curvas de carga deflexión encontradas en cada uno de los ensayos realizados. Por su parte la Tabla 8.2-7 resume los parámetros obtenidos, incluyendo para cada probeta ensayada, la carga máxima, la deflexión máxima y la forma o mecanismo de falla.

Tabla 8.2-7 Resultados ensayos de flexión

Probeta	Luz del Ensayo [cm]	a [cm]	b [cm]	Carga Máxima [kg]	Momento Máximo [kg-cm]	Elemento	Mecanismo de Falla
P1	40	20	0	508	5080	Probeta	Deflexión excesiva
P2	40	20	0	515	5150	Probeta	Deflexión excesiva
P3	40	20	0	494	4939	Probeta	Deflexión excesiva
P4	40	20	0	490	4904	Probeta	Deflexión excesiva
P5	60	15	30	3300	24750	Módulo	Deflexión excesiva

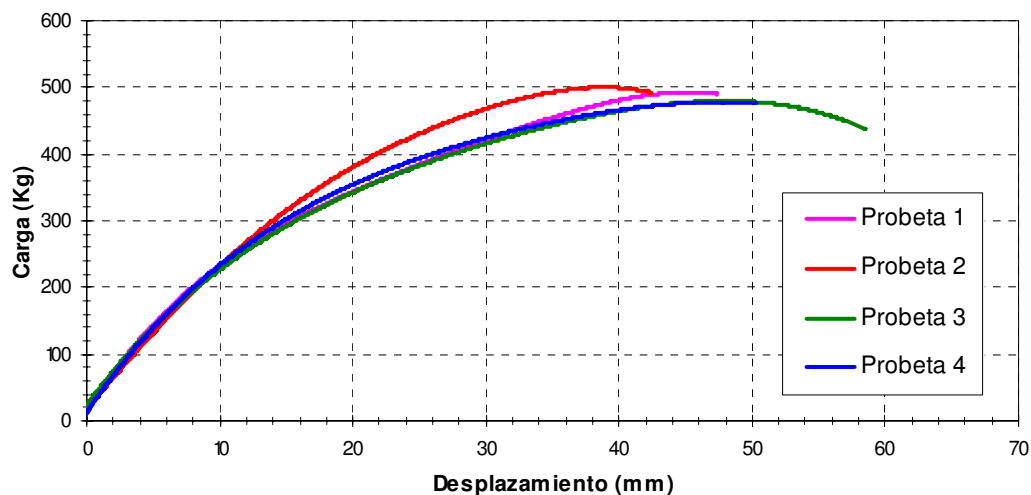


Figura 8.2-14 Curvas de carga Vs. desplazamiento en el centro de la luz

8.2.2.6 Ensayo de punzonamiento

Se realiza un ensayo de punzonamiento simple mediante una barra circular con un diámetro de 0.9 cm. La prueba consiste en aplicar la carga concentrada en diferentes puntos críticos de un elemento y establecer la resistencia máxima. En caso dado la prueba se interrumpe cuando llega a una carga de 2000 kg y no ha presentado falla o algún síntoma de daño. El esquema de montaje se muestra en la Figura 8.2-15.

En el presente caso la resistencia al punzonamiento del sistema alcanzó un valor de 714 Kg, para lo cual se presentó falla por punzonamiento en el punto de aplicación de la carga en la zona central del panel como se aprecia en la Figura 8.2-16.

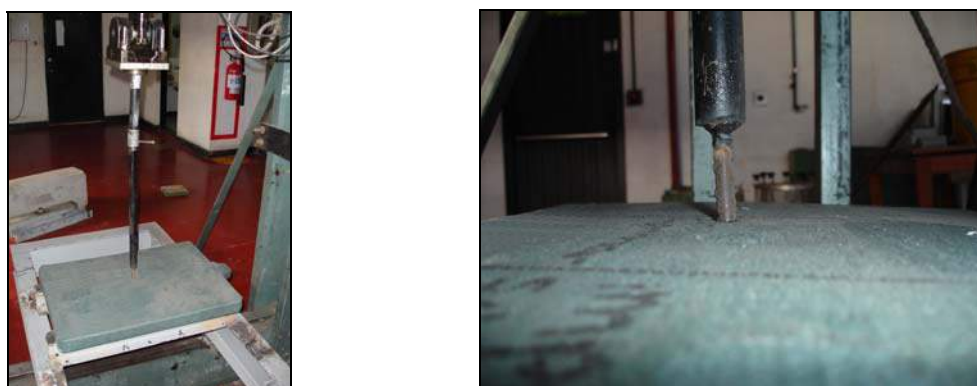


Figura 8.2-15 Montaje de ensayo de punzonamiento en materiales sintéticos

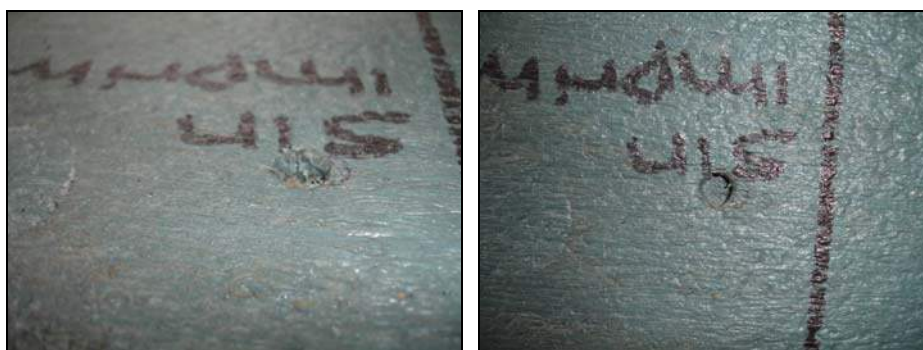


Figura 8.2-16 Mecanismo de falla en ensayo de punzonamiento

8.2.2.7 Ensayo de fatiga

Se realizó un ensayo de fatiga en las mismas condiciones que las explicadas en el numeral 6.3.4. La 8.2-17 ilustra las características del montaje realizado.



Figura 8.2-17 Montaje para ensayo de fatiga materiales sintéticos

Durante el ensayo de fatiga realizado se aplicaron un total de 3669 ciclos completos del espectro de carga especificado, equivalentes a 10 años de trabajo en condiciones de tránsito peatonal crítico y condiciones ideales de instalación. La probeta de ensayo no evidenció ningún signo de falla, fractura o fatiga.

En la Figura 8.2-18 se observa la curva deflexión vs No de ciclos para el ensayo de fatiga realizado.

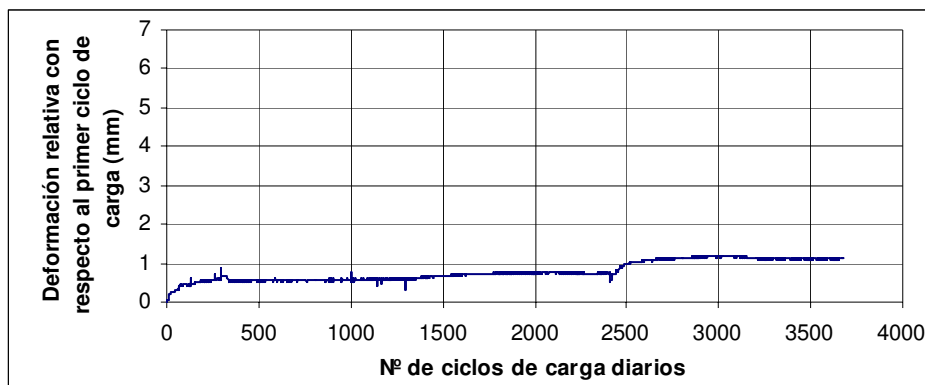


Figura 8.2-18 Curva deflexión vs no de ciclos ensayo de fatiga

8.2.2.8 Ensayo de medición de ruido generado

Siguiendo el procedimiento descrito para medición de ruido explicado en el numeral 6.3.5, se adelantaron los ensayos correspondientes para el panel instalado sobre las viguetas de apoyo. Se realizaron 3 mediciones de ruido para las siguientes condiciones de carga:

1. Medición ambiental.
2. Persona caminando.
3. Carga de impacto (13 Kg desde 1.10 m de altura)

En las Figuras 8.2-19, 8.2-20 y 8.2-21 se presentan las fotografías de realización del ensayo para cada una de las condiciones de cargas. Los resultados de los ensayos de ruido se presentan en la Tabla 8.2-8.



Figura 8.2-19 Medición de ruido condición No 1



Figura 8.2-20 Medición de ruido condición No 2



Figura 8.2-21 Medición de ruido condición No 3

Tabla 8.2-8 Resultados de ensayos de medición de ruido

Medicion	Nivel de ruido [dB]		
	Condicion 1	Condicion 2	Condicion 3
1	64.3	66.8	98.8
2	65.3	67.4	95.9
3	64.6	66.5	97.2
Promedio	64.7	66.9	97.3
Ruido generado	0.0	2.2	32.6

Para este sistema de piso se obtuvieron en los niveles máximos de ruido del orden de los 2.2 y 32.6 dB para las condiciones de personas caminando y carga de impacto respectivamente. Estos valores pueden compararse con los valores correspondientes a los sistemas de piso en láminas de aluminio actualmente instalados que dan valores de 23 y 53 dB respectivamente.

8.2.2.9 Ensayo de envejecimiento

Los ensayos de envejecimiento se realizaron siguiendo el procedimiento explicado en el numeral 6.3.7.

A cada una de las probetas se aplicaron 500 ciclos y se realizaron comparaciones visuales durante las 150 y 300 horas y se observó que el material únicamente sufre cambios de color pero no sufre ningún tipo de deterioro en las propiedades mecánicas. En la Figura 8.2-22 se presenta la comparación de las probetas para las 150 y 300 horas respectivamente.

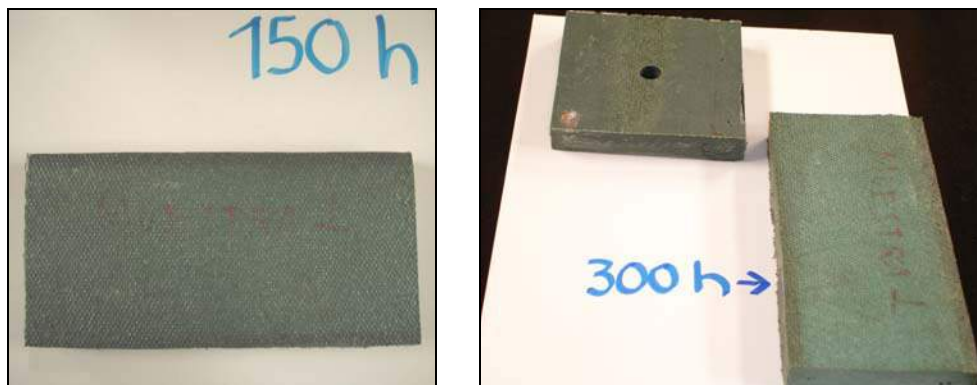


Figura 8.2-22 Muestras para ensayo de envejecimiento

8.2.2.10 Resumen de propiedades básicas

En la Tabla 8.2-9 se presenta un resumen de las propiedades y parámetros básicos del material obtenidos de fuentes proporcionadas por el fabricante o de ensayos de laboratorio realizados.

Tabla 8.2-9 Propiedades y parámetros básicos del material sintético

Propiedad	Unidad	Valor	Obtenido
Densidad	g/cm ³	0.85	Laboratorio
Modulo de Poisson		0.2	Literatura
Modulo de elasticidad	MPa	9565	Laboratorio
Coefficiente de expansión térmica	/°C	1.24E-04	Literatura

8.2.3 Verificaciones de diseño

A continuación se presentan las verificaciones de diseño para las diferentes condiciones de carga.

1. Modelo analítico: la Figura 8.2-23 presenta el modelo analítico desarrollado para el análisis de esfuerzos y deformaciones en el sistema propuesto. El modelo está conformado por un total de 825 elementos finitos tipo shell. Los apoyos se representan mediante restricciones simples

al desplazamiento en las zonas de contacto con las viguetas de apoyo. Las propiedades de análisis utilizadas son las indicadas en la Tabla 8.2-9.

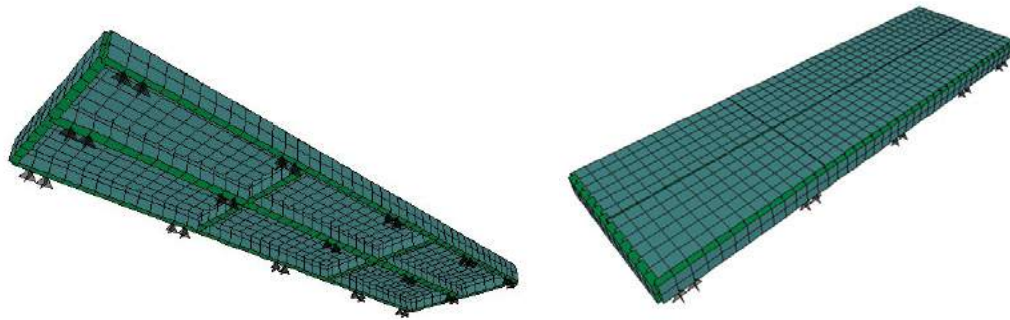


Figura 8.2-23 Modelo tridimensional

2. Carga viva de diseño: se aplica una carga viva uniformemente distribuida correspondiente a 450 kg/m^2 de superficie del piso. Las Figuras 8.2-24, 8.2-25 y 8.2-26 ilustran respectivamente las deflexiones verticales, la distribución de momentos y la distribución de cortante. La Tabla 8.2-10 compara las demandas máximas con los valores admisibles tomados a partir de los resultados de los ensayos experimentales o de límites comúnmente establecidos.

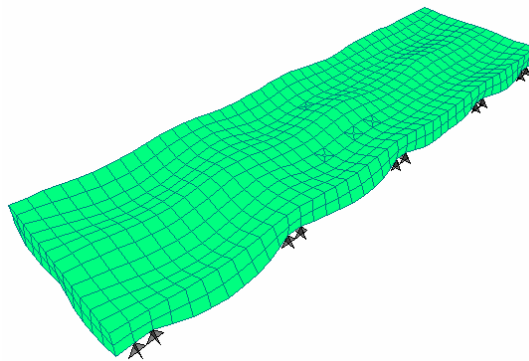


Figura 8.2-24 Deflexiones obtenidas en el modelo

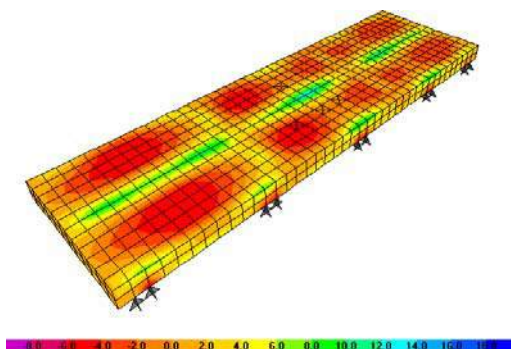


Figura 8.2-25 Distribución de esfuerzos de flexión obtenidos en el modelo (kg/cm²)

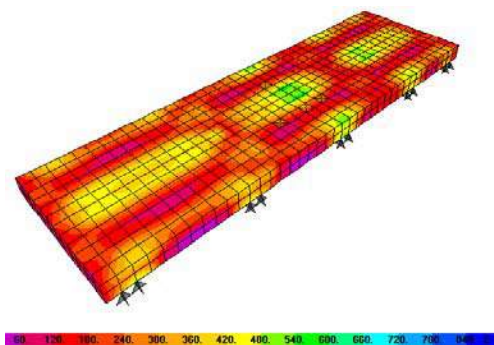


Figura 8.2-26 Distribución de esfuerzos cortantes obtenidas en el modelo (kg/cm²)

Tabla 8.2-10 Resultados del análisis con carga distribuida

Parámetro	Unidades	Valor Máximo	Valor último	Cumple	Observaciones
Deflexión máxima	cm	0.09	0.74	Ok	L/270
Momento máximo	Kg-cm/cm	9.10	400	Ok	
Esfuerzo de cortante máximo	Kg/cm²	0.72	48	Ok	Factor 0.5
Esfuerzo máximo a compresión	Kg/cm²	8.2	246	Ok	Factor 0.85
Esfuerzo máximo a tensión	Kg/cm²	4.3	81	Ok	Factor 0.85

3. Carga viva concentrada de diseño: la carga viva concentrada de diseño corresponde a dos cargas vivas de 100 kg cada una separadas 30 cm en el sentido longitudinal, aplicadas en un área de 5.0 cm x 5.0 cm, con un factor de impacto de 1.5. Para el análisis con este tipo de

carga se busca la ubicación más desfavorable en términos de esfuerzos de flexión, corte o punzonamiento. Las Figuras 8.2-27, 8.2-28 y 8.2-29 ilustran respectivamente las deflexiones verticales, la distribución de esfuerzos de flexión y la distribución de esfuerzos cortantes para una de las posiciones críticas de la carga. La Tabla 8.2-11 compara las demandas máximas con los valores admisibles tomados a partir de los resultados de los ensayos experimentales o de límites comúnmente establecidos.

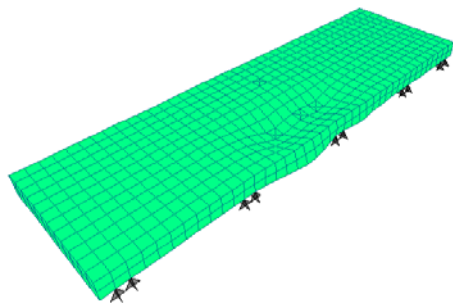


Figura 8.2-27 Deflexiones obtenidas en el modelo

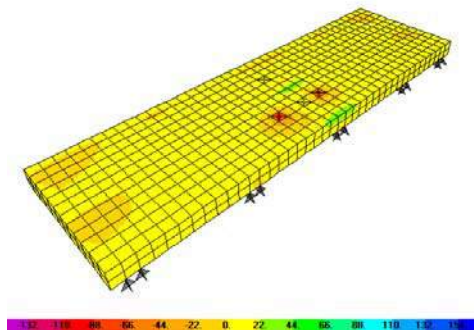


Figura 8.2-28 Distribución de esfuerzos por flexión obtenidos en el modelo (kg/cm²)

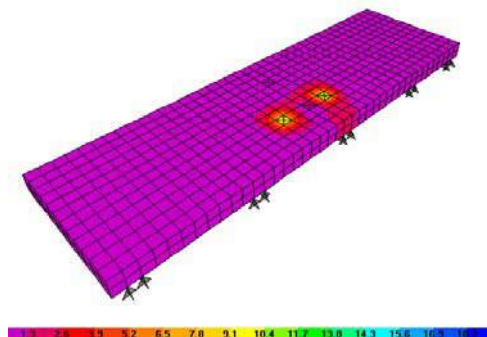


Figura 8.2-29 Distribución de esfuerzos cortantes obtenidas en el modelo (kg/cm²)

Tabla 8.2-11 Resultados del análisis con cargas concentradas

Parámetro	Unidades	Valor Máximo	Valor último	Cumple	Observaciones
Deflexión máxima	cm	0.38	0.74	Ok	L/270
Momento máximo	Kg-cm/cm	88.10	400	Ok	
Esfuerzo de cortante máximo	Kg/cm ²	9.60	48	Ok	Factor 0.7
Esfuerzo máximo a compresión	Kg/cm ²	35.0	246	Ok	Factor 0.85
Esfuerzo máximo a tensión	Kg/cm ²	51.2	81	Ok	Factor 0.85

4. Carga viva concentrada punzonamiento: la carga viva concentrada de punzonamiento corresponde a una carga viva de 100 kg, aplicada en un área de 1.0 cm x 1.0 cm con un factor de impacto de 1.5. Para el análisis con este tipo de carga se busca la ubicación más desfavorable en términos de esfuerzos de flexión, corte o punzonamiento. Las Figuras 8-30, 8-31 y 8-32 ilustran respectivamente las deflexiones verticales, la distribución de momentos y la distribución de cortante para una de las posiciones críticas de la carga. La Tabla 8.2-12 compara las demandas máximas con los valores admisibles tomados a partir de los resultados de los ensayos experimentales o de límites comúnmente establecidos.

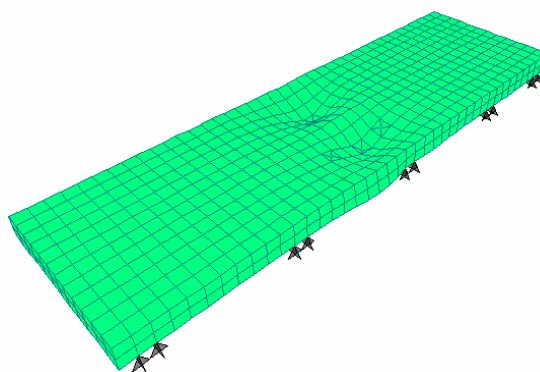


Figura 8.2-30 Deflexiones obtenidas en el modelo

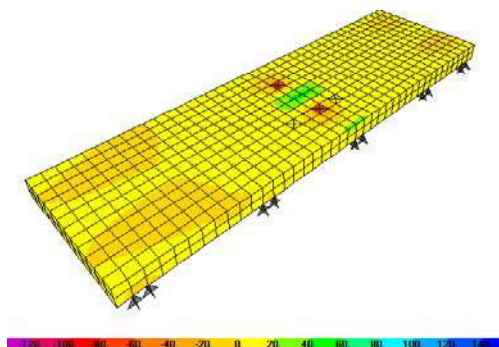


Figura 8.2-31 Distribución de esfuerzos por flexión obtenidos en el modelo (kg/cm²)

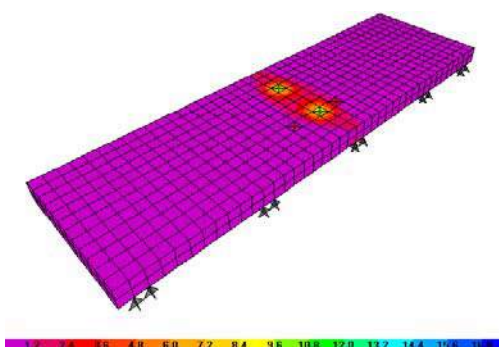


Figura 8.2-32 Distribución de esfuerzos cortantes obtenidas en el modelo (kg/cm²)

Tabla 8.2-12 Resultados del análisis con cargas concentradas

Parámetro	Unidades	Valor Máximo	Valor último	Cumple	Observaciones
Deflexión máxima	cm	0.28	0.74	Ok	L/270
Momento máximo	Kg-cm/cm	85.60	400	Ok	
Esfuerzo de cortante máximo	Kg/cm²	9.85	48	Ok	Factor 0.5
Esfuerzo máximo a compresión	Kg/cm²	17.6	246	Ok	Factor 0.85
Esfuerzo máximo a tensión	Kg/cm²	43.4	81	Ok	Factor 0.85

- Defectos constructivos, se aplicó una deformación de 1.0 cm en uno de los apoyos, buscando determinar los efectos sobre el perfil de esfuerzos generados durante la instalación del panel.

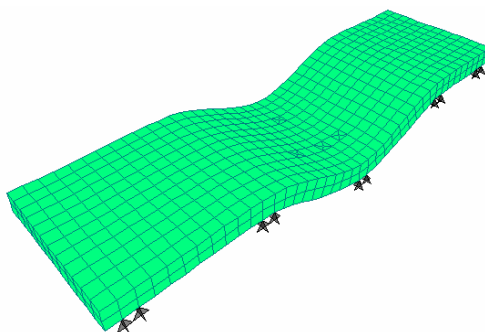


Figura 8.2-33 Deformada por defectos constructivos

Del análisis anterior se obtiene una reacción en los apoyos del orden de 1.0 Ton, lo cual es inferior a la capacidad de la conexión.

8.2.4 Verificación de conectores

Los conectores propuestos consisten en tornillos autoperforantes de 7 mm de diámetro y 50 mm de longitud. Estos van incrustados en las láminas de materiales sintéticos y sujetos a platinas soldadas a los perfiles metálicos de apoyo.

El sistema de conexión se ensayó a fatiga y no presentó ningún tipo de problema. Se concluye el sistema de conexión no es susceptible de sufrir fatiga.

8.2.5 Verificación de viguetas de apoyo

Las viguetas de apoyo consistentes en perfiles IPE 120 se verifican para las cargas vivas distribuidas de 450 kg/m² actuando simultáneamente en todo el panel. La distribución geométrica propuesta y las cargas muertas y vivas imponen las condiciones de deflexiones máximas, momentos y cortantes que se presentan en la Tabla 8.2-13.

Tabla 8.2-13 Resultados verificación viguetas de apoyo

Parámetro	Unidades	Valor Máximo	Valor último	Cumple
Deflexión máxima	cm	0.26	0.74	Ok
Momento máximo	Kg-cm	42200	113313	Ok
Cortante máximo	Kg	37.40	15240	Ok

8.2.6 Procedimiento de instalación

El procedimiento de instalación de los sistemas de pisos de paneles de materiales sintéticos incluyen los siguientes pasos principales:

1. Para una adecuada instalación del sistema de entepiso, la estructura metálica de soporte principal debe cumplir con todos los requisitos de fabricación, instalación, montaje y control de calidad establecidos en el literal F.2.13 de las NSR-98.
2. Se debe presentar para aprobación un plano con la distribución detallada de los módulos de entepiso en los cuales se indique claramente las zonas de apoyo y los puntos específicos de conexión. Especial atención debe darse al cubrimiento de zonas en que se presenten aberturas, cortes, o cambios en la distribución normal supuesta de dos paneles en el ancho de la sección total. La distribución debe considerar la ubicación de las compuertas o escotillas para acceso a la zona inferior. Esta debe ubicarse de manera que se pueda tener acceso desde la parte inferior a cualquier sector del sistema de piso. En casos específicos la distribución de viguetas metálicas de soporte también deberá ajustarse o complementarse para permitir la construcción de los detalles requeridos.
3. Se debe proceder con la instalación de las viguetas metálicas de soporte según perfil definido y características geométricas establecidas. La instalación debe cumplir con el espaciamiento establecido en los planos de distribución geométrica. Por otro lado la vigueta de soporte debe colocarse a la cota exacta que permite una adecuada instalación de los paneles de materiales sintéticos de manera que se llegue a la cota de piso terminado establecida. La holgura máxima

en variaciones de niveles finales de las viguetas en las cuales se van a apoyar los módulos es de máximo 1 cm. Las viguetas metálicas de soporte deben ser en acero A32 con terminado superficial en anticorrosivo epóxico de mínimo 3 mils de espesor y protección final con pintura de acabado de poliuretano de 2 mils de espesor mínimo.

4. Se debe proceder a realizar las perforaciones en las aletas de las viguetas metálicas de soporte que coincidan con los puntos establecidos en los planos. En total se estiman 10 tornillos para cada uno de los paneles en las condiciones típicas y conectores adicionales donde se requiera de manera específica. Las perforaciones deben realizarse en el centro de las aletas de los perfiles. No se permiten perforaciones a menos de 12 mm del borde de la aleta del perfil.
5. Se debe iniciar la colocación de paneles desde una de las esquinas de la estación hacia el centro de la misma. Se debe verificar la ubicación definitiva del panel antes de su utilización. Cada panel instalado debe sujetarse adecuadamente con todos los conectores establecidos.
6. Para las conexiones se deben utilizar tornillos autoperforantes (autoperforantes para la materiales sintéticos únicamente) según recomendación del fabricante. Estos deben instalarse únicamente en los sitios identificados en los planos. Las perforaciones deben realizarse en dirección vertical de abajo hacia arriba. No se aceptan tornillos con inclinaciones de más de 20 grados con la vertical. Los tornillos deben penetrar en su totalidad. No se permite retirar un tornillo para volverlo a colocar en otro sitio. En dicho caso será necesario realizar otra perforación contigua en el perfil a una distancia libre de no menos de 1 cm de la anterior. En caso de requerir de más de tres perforaciones adicionales a las inicialmente previstas deberá reemplazarse el panel por uno nuevo. El panel con las perforaciones no exitosas podrá reutilizarse previo tratamiento de las zonas afectadas.

8.2.7 Mantenimiento

El mantenimiento de los paneles de materiales sintéticos incluye aspectos relacionados con mantenimiento por desgaste normal del uso y mantenimiento por daño o afectación local inducida. El intervalo de tiempo entre mantenimientos dependerá del desgaste y deterioro normal de uso que para este sistema se estima en 5 años para las zonas críticas de tránsito.

El mantenimiento por desgaste normal de uso debe realizarse cuando se evidencia una superficie mas lisa de la especificada inicialmente la cual puede incluir algún tipo de afectación o riesgo a los

peatones. Para este tipo de afectación el panel no debe evidenciar ningún otro signo de deterioro tal como deflexión excesiva, rotura, grietas, deformaciones locales o cualquier otro, caso en el cual debe recurrirse al mantenimiento por daño o afectación. En el caso de desgaste normal de uso se requiere el siguiente tratamiento:

- (a) Limpieza del panel.
- (b) Aplicación de plancha caliente.

Con respecto al mantenimiento por daño o afectación local inducida, el procedimiento a seguir es el siguiente:

- (a) Identificar los paneles afectados y que requieren reemplazo. En esto debe evaluarse si la reparación puede llevarse a cabo con el método descrito para desgaste normal de uso o si se requiere un reemplazo completo del panel.
- (b) Ingresar por la parte inferior y retirar los tornillos del panel correspondiente.
- (c) Reinstalar un nuevo panel con el mismo procedimiento propuesto para la instalación.

8.2.8 Análisis de costos

En el Anexo 11-10 se presentan los análisis de precios unitarios para la alternativa de pisos en materiales sintéticos.

8.3 CONCRETO PRETENSADO

8.3.1 Datos generales

El sistema propuesto consta de módulo de concreto pretensado con cables de acero que permite trabajar espesores de concreto de 4.0 cm, debido que a estos se les inducen una carga de compresión a la sección de concreto que durante su uso estará sometida a cargas de tensión. Cabe anotar que este espesor no es suficiente para evitar corrosión en el cable, pero debido a que existe una limitante de peso para cada sistema de piso, resulta imposible proponer un espesor mayor. **En el Numeral 8.12.1 se presenta la Alternativa Definitiva para el concreto Pretensado.**

El material presenta las siguientes ventajas:

- (d) Permite el manejo de formas complejas.
- (e) Permite producir variedad de detalles y acabados superficiales en una amplia gama de colores y texturas de acabado.
- (f) Ofrece características como buen aislamiento acústico y térmico, resistencia al fuego, resistencia al desgaste debido a su capa superficial en mortero con alto contenido de arena de sílice, versatilidad para adecuarse a la geometría de la estructura de soporte.
- (g) Fácil y rápida instalación.

Con el objeto de permitir una fácil manejabilidad de cada pieza, estas deben fabricarse en dimensiones de 40x240 cm., con la limitante que el espesor del material no debe sobrepasar los 4 cm.; ya que las estructuras en donde se proponen utilizar los nuevos sistemas (puente peatonal prototipo para la ciudad de Bogotá), están diseñadas para soportar cargas menores a 80 Kg. En el eventual caso que se proponga espesores mayores para el concreto pretensado, se debe revisar los elementos de soporte de los pisos. Las probetas del ensayo fueron suministradas por la firma Moldar.

8.3.2 Descripción general

El sistema propuesto está compuesto por módulos de 40 cm x 240 cm conformados por un marco en ángulo de acero L 1½ x 1½ x ⅛ galvanizado. El marco angular confina el concreto, aporta rigidez al sistema y sirve de contacto de fijación a la estructura metálica de la estación o del puente y a su vez protege el concreto en la manipulación y montaje. Dentro de este marco metálico se funde una losa en concreto pretensado con alambres de acero.

Cada módulo se encuentra apoyado sobre perfiles metálicos (viguetas de apoyo) IPE 120 las cuales van soportadas en vigas HEA 160 y estas a su vez conforman la estructura principal de la estación o puente. La conexión entre el sistema y los perfiles en acero es mediante soldadura en los puntos de contacto entre ángulos confinantes y viguetas de apoyo. Cada modulo de 40x240 cm. está diseñado para trabajar con luces máximas hasta de 120 cm.; esto significa, que cada pieza de concreto debe tener por lo menos un perfil intermedio de soporte. En la Tabla 8.2-1 se presentan las propiedades geométricas del modulo de piso en concreto pretensado. En las pruebas realizadas en laboratorio se analizaron probetas suministradas por la firma Moldar.

Tabla 8.3-1 Propiedades geométricas del módulo de piso en concreto pretensado

Propiedad	Unidad	Valor
Ancho [a]	m	0.4
Altura [h]	m	0.04
Longitud (L)	m	2.4
Area en planta [A]	m ²	0.96
Area sección transversal [At]	m ²	0.016
Densidad	Kg/m ³	2400
Peso por módulo	Kg	92
Peso de viguetas	Kg	4.3
Peso por m ²	Kg	100.3

En la Figura 8.3-1 se presenta la vista en planta del módulo típico y las Figura 8.3-2 y Figura 8.3-3 presentan los cortes transversales y longitudinales correspondientes.

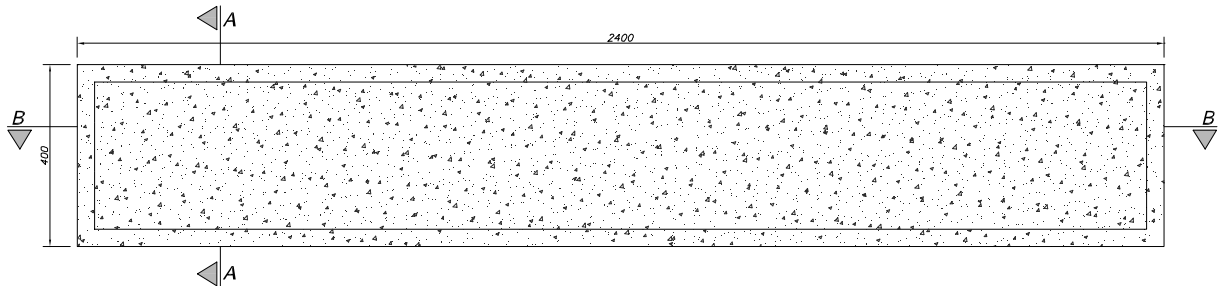


Figura 8.3-1 Planta superior sistema de pisos en concreto pretensado (dimensiones en mm)

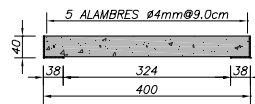


Figura 8.3-2 Corte A-A Sistema de pisos en concreto pretensado (dimensiones en mm)

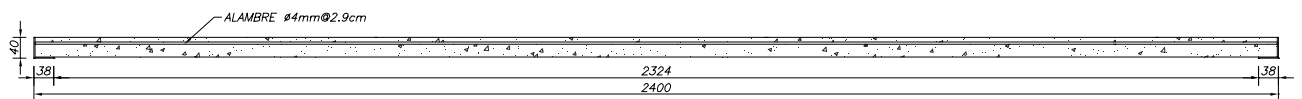


Figura 8.3-3 Corte B-B Sistema de pisos en concreto pretensado (dimensiones en mm)

Figura 8.3-4 a Figura 8.3-7 se presenta una planta general con la orientación de los módulos y los cortes típicos que muestran el sistema de apoyo entre los módulos de concreto pretensado y los perfiles de acero.

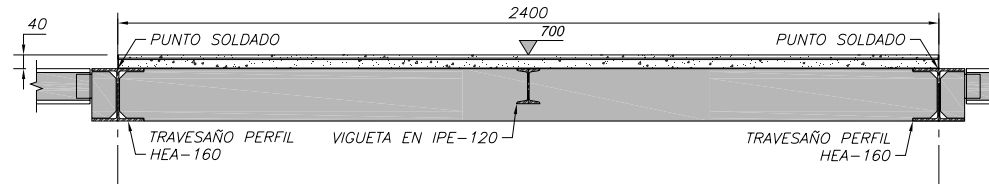


Figura 8.3-5 Corte C-C Distribución de los módulos sección longitudinal (dimensiones en mm)

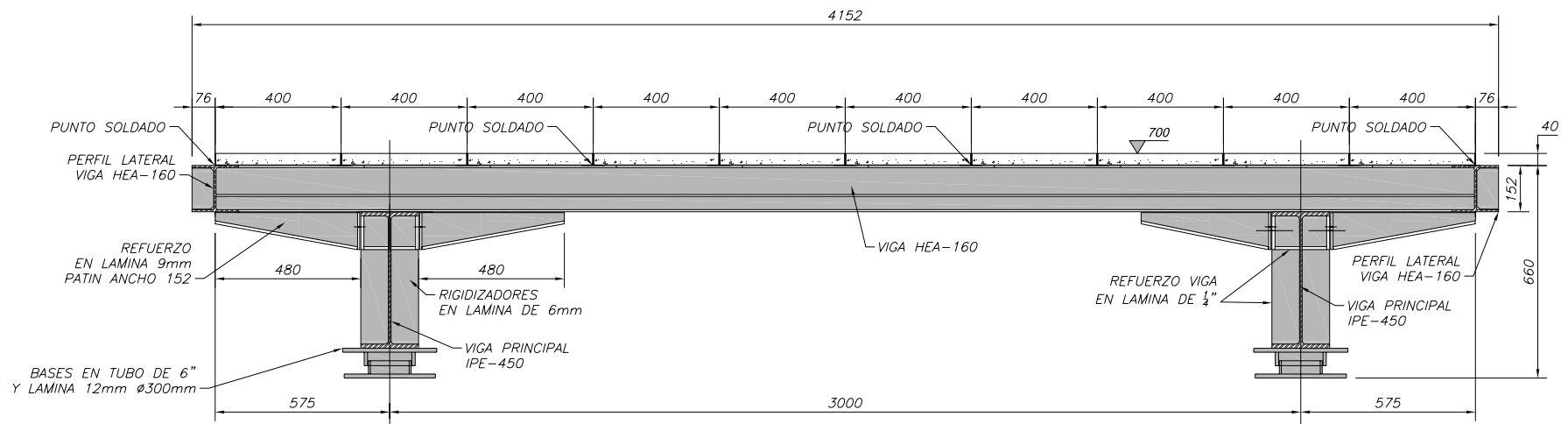


Figura 8.3-6 Corte D-D Distribución de los módulos sección transversal (dimensiones en mm)

Nota: TFP = terminado final de piso. La cota debe definirse según criterio de funcionamiento. Con base en esta deben definirse la ubicación de todos los demás elementos estructurales

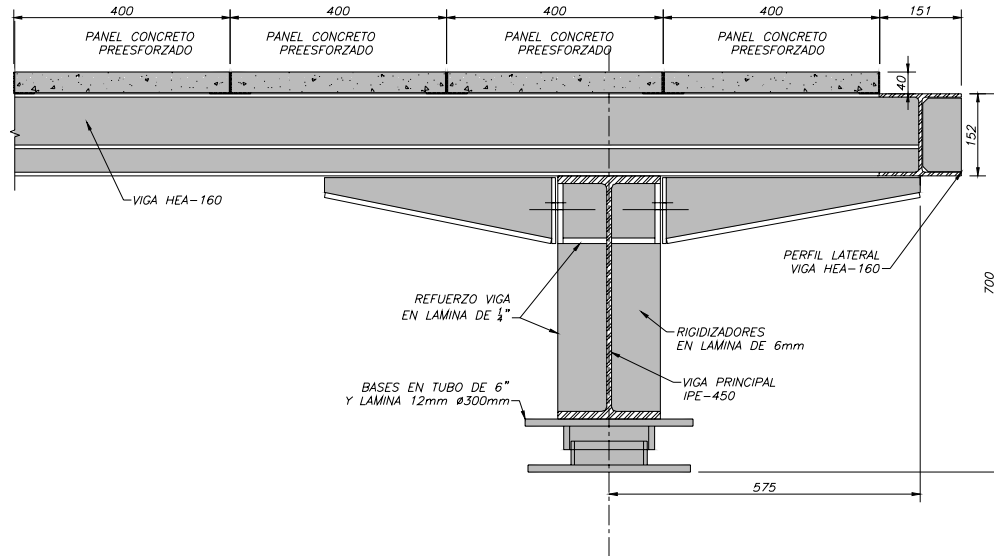


Figura 8.3-7 Detalle perimetral sistema de apoyo (dimensiones en mm)

Adicionalmente en la Figura 8.3-8 se presenta en detalle la conexión típica entre el sistema propuesto y los elementos metálicos de soporte.

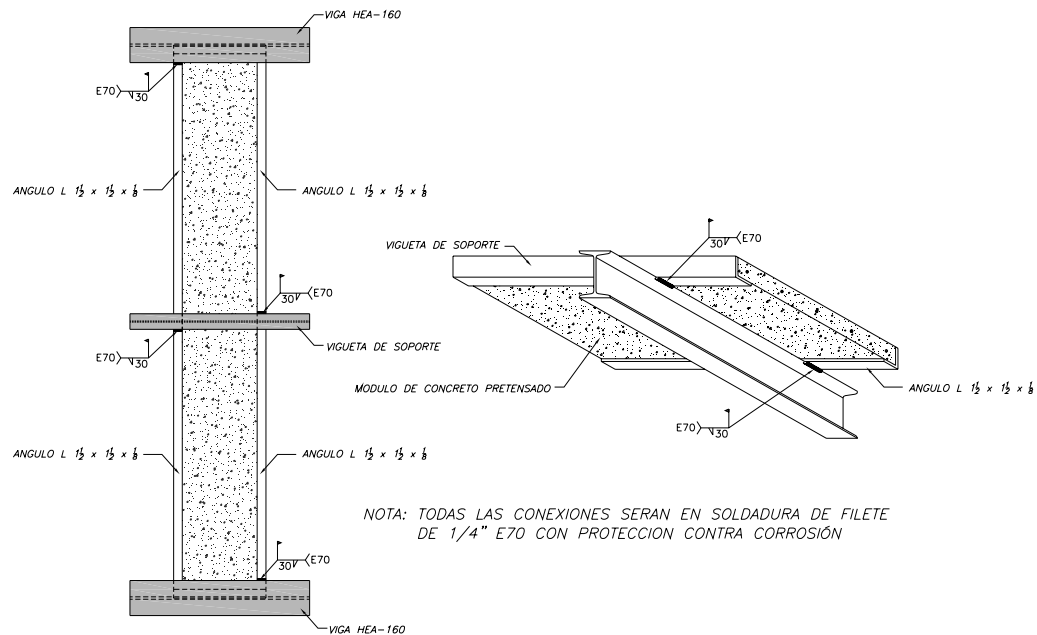


Figura 8.3-8 Detalle sistema de conexión (Vista inferior)

8.3.3 Comportamiento experimental

Se adelantan una serie de ensayos de caracterización de los materiales y secciones utilizados en la fabricación de los pisos en concreto pretensado. En la Tabla 8.2-2 se resumen los ensayos realizados. En el Anexo 11-11 se presentan los informes de los ensayos realizados cuyos resultados se explican a continuación.

Tabla 8.3-2 Ensayos realizados al concreto pretensado

Ensayo No	Ensayo	Cantidad
1	Brasilero (tensión indirecta en el concreto)	2
2	Ensayo de desgaste en laboratorio	5
3	Ensayo de Flexión en perfil	1
4	Punzonamiento	2
5	Fatiga	1
6	Medición de ruido	1
7	Ensayo de Tension para cable	3

8.3.3.1 Ensayo de tensión indirecta al concreto

Se realizan 2 ensayos de tensión indirecta siguiendo el procedimiento de la norma ASTM C-496-96. En la Tabla 8.2-5 se presentan los resultados encontrados.

Tabla 8.3-3 Resultados de ensayos de tensión indirecta

Probeta	Resistencia a la tensión indirecta [Kg/cm ²]
1	50.8
2	49.7
Promedio	50.3

8.3.3.2 Ensayo de desgaste

Los ensayos de desgaste se realizaron siguiendo el procedimiento explicado en el numeral 6.3.6. Las probetas seleccionadas del material se sometieron a ensayos de desgaste de acuerdo con la norma ASTM D3389. En la Figura 8.3-9 se presenta el montaje del ensayo de desgaste para probetas de concreto pretensado. En la Tabla 8.3-7 se presentan los resultados de los ensayos.



Figura 8.3-9 Probeta y montaje de ensayo de desgaste para el concreto pretensado

Tabla 8.3-4 Principales resultados mediciones de desgaste

Probeta No	Masa Pérdida por revolución [mg/rev]	Observaciones
1	0.2800	Carga aplicada de 1000 gr - 500 ciclos
2	0.2400	Carga aplicada de 1000 gr - 500 ciclos
3	0.1800	Carga aplicada de 1000 gr - 500 ciclos
4	0.2800	Carga aplicada de 1000 gr - 500 ciclos
5	0.2600	Carga aplicada de 1000 gr - 500 ciclos

8.3.3.3 Ensayo de flexión

Estos ensayos se adelantan con el fin de caracterizar el comportamiento a flexión en términos de rigidez, flexibilidad de los perfiles y resistencia de dichos elementos. El ensayo permite realizar una calibración inicial de los modelos de análisis en términos de flexibilidad y capacidad a flexión y aporta información valiosa sobre propiedades mecánicas.

La longitud de la luz libre de ensayo es de 120 cm. La carga se aplica mediante las cargas concentradas simétricas con respecto al centro de la luz con el fin de tener momento constante sin cortante en la zona central de la viga. Se registra simultáneamente la carga aplicada mediante una celda de carga, y la deformación mediante un LVDT colocado en el centro de la luz (Ver Figura 8.3-10 a Figura 8.3-12). Mediante el desarrollo de los ensayos se determina experimentalmente la rigidez de la probeta a flexión, así como el esfuerzo flector máximo resistente y la curva típica carga-deflexión bajo efectos de flexión. Por no tratarse de un ensayo convencional se utiliza como referencia la metodología equivalente propuesta en la norma ASTM C78 para ensayo a flexión de vigas de concreto.

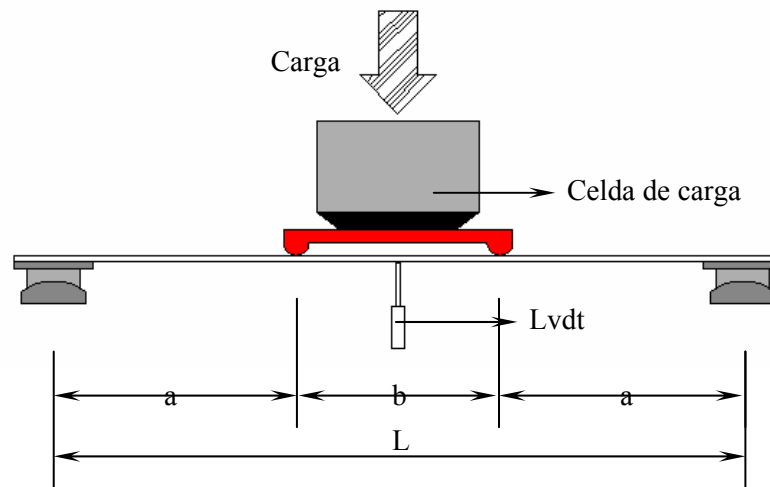


Figura 8.3-10 Esquema de ensayo a flexión de láminas



Figura 8.3-11 Esquema de ensayo a flexión de láminas



Figura 8.3-12 Mecanismo de falla del material fallado a flexión

La Figura 8.3-13 y Figura 8.3-14 presentan las curvas carga-deflexión obtenidas en los ensayos realizados. La Tabla 8.3-5 resume los parámetros obtenidos, incluyendo para cada probeta ensayada la carga máxima, el momento máximo y la forma o mecanismo de falla.

Tabla 8.3-5 Resultados ensayos de flexión

Probeta	Luz del Ensayo [cm]	a [cm]	b [cm]	Carga Máxima [kg]	Momento Máximo [kg-cm]	Elemento	Mecanismo de Falla
P1	120	45	30	1007	22700	Modulo	Falla por flexion en el centro de la luz

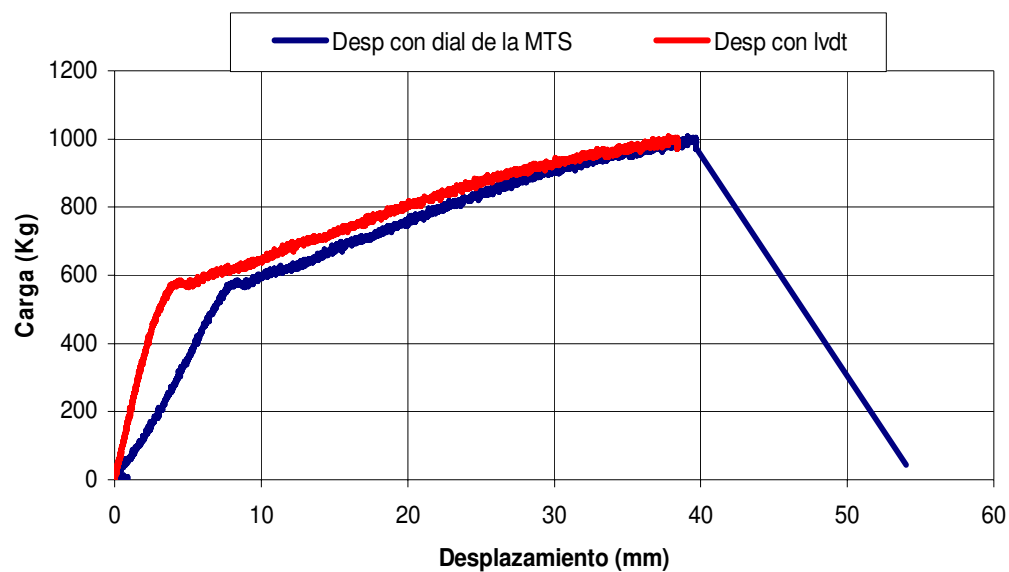


Figura 8.3-13 Curvas de carga vs. desplazamiento en el centro de la luz

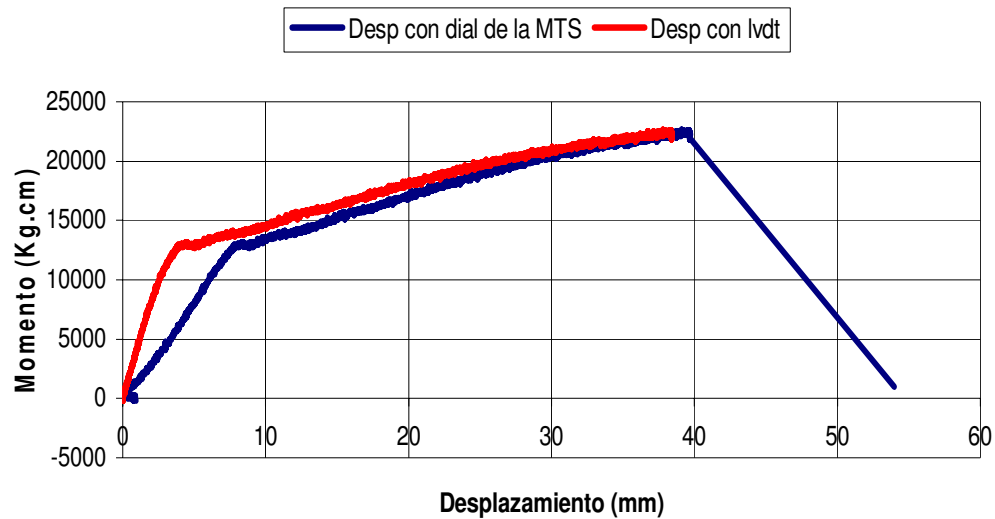


Figura 8.3-14 Curvas de momento vs. desplazamiento en el centro de la luz

8.3.3.4 Ensayo de punzonamiento

Se realiza un ensayo de punzonamiento simple mediante una barra circular con un diámetro de 1 cm. La prueba consiste en aplicar la carga concentrada en diferentes puntos críticos de un elemento y establecer la resistencia máxima. En caso dado la prueba se interrumpe cuando llega a una carga de 2000 kg y no ha presentado falla o algún síntoma de daño.

En el presente caso la resistencia al punzonamiento del sistema alcanzó un valor de 784 Kg en la parte central de la lámina y 634 Kg en los bordes, sin evidenciar fallas por punzonamiento, presento grietas a flexión. En la Figura 8.3-15 y Figura 8.3-16 se presentan el montaje del ensayo en cuestión y el mecanismo de falla del material respectivamente.



Figura 8.3-15 Montaje de ensayo de punzonamiento



Figura 8.3-16 Mecanismo de falla ensayo de punzonamiento

8.3.3.5 Ensayo de fatiga

Se adelanta un ensayo de fatiga en las mismas condiciones que las explicadas en el numeral 6.3.4. La Figura 8.3-17 ilustra las características del montaje realizado.



Figura 8.3-17 Montaje para ensayo de fatiga del concreto pretensado

Durante el ensayo de fatiga realizado se aplicaron un total de 5.616.000 ciclos completos del espectro de carga especificado, equivalentes a 10 años de trabajo en condiciones de tránsito peatonal crítico y condiciones ideales de instalación. La probeta de ensayo no evidenció ningún signo de falla, fractura o fatiga.

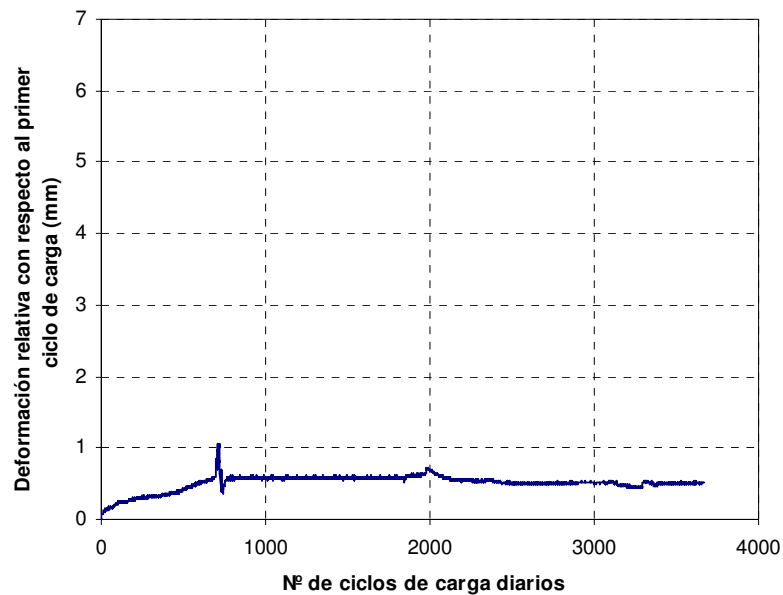


Figura 8.3-18 Curva deflexión vs No de ciclos ensayo de fatiga

8.3.3.6 Ensayo de medición de ruido generado

Siguiendo el procedimiento descrito para medición de ruido explicado en el numeral 6.3.5, se adelantaron los ensayos correspondientes para el modulo instalado sobre las viguetas de apoyo. Se realizaron los análisis de ruido para las siguientes condiciones de carga:

- (h) Medición ambiental.
- (i) Persona caminando.
- (j) Carga de impacto (13 Kg desde 1.10 m de altura)

En la Figura 8.3-19 a Figura 8.3-21 se presentan las fotografías de realización del ensayo para cada una de las condiciones de cargas. Los resultados de los ensayos de ruido se presentan en la Tabla 8.3-6.



Figura 8.3-19 Medición de ruido condición No 1



Figura 8.3-20 Medición de ruido condición No 2



Figura 8.3-21 Medición de ruido condición No 3

Tabla 8.3-6 Resultados de ensayos de medición de ruido

Medicion	Nivel de ruido [dB]		
	Condicion 1	Condicion 2	Condicion 3
1	60.2	65.7	97.7
2	60.9	65.9	95.6
3	59.0	68.2	96.7
Promedio	60.0	66.6	96.7
Ruido generado	0.0	6.6	36.6

Para este sistema de piso se obtuvieron en los niveles máximos de ruido del orden de los 6.6 y 37 dB para las condiciones de personas caminando y carga de impacto respectivamente. Estos valores pueden compararse con los valores correspondientes a los sistemas de piso en láminas de aluminio actualmente instalados que dan valores de 23 y 53 dB respectivamente.

8.3.3.7 Ensayo de tensión a los cables

Teniendo en cuenta que la resistencia a tensión y a cargas repetitiva de los cables que hacen parte de sistema juegan un papel muy importante en la vida útil del material, se realizaron ensayos de tensión a estos con el objeto de determinar su resistencia y así medir el porcentaje de esfuerzo al cual estará sometido durante su puesta en servicio con relación a su capacidad final, ya que este valor es un parámetro determinante en la vida útil esperada para este sistema.

En la Tabla 8.3-4 se presenta los valores obtenidos mediante los ensayos de caracterización mencionados anteriormente.

Tabla 8.3-7 Resultados de ensayos de tensión realizados a los cables

Probeta No	Resistencia a la tensión del cable (kg/cm ²)	Módulo de elasticidad (kg/cm ²)
1	18152	1985172
2	17976	1925706
3	17719	1952974
Promedio	17949	1954617

Durante el ensayo de tensión, para cada incremento de carga se tomaron lecturas de cada deformación correspondiente a la carga aplicada. Estas lecturas se resumen en curvas esfuerzo – deformación, las cuales se presentan en la Figura 8.3-22 a Figura 8.3-24.

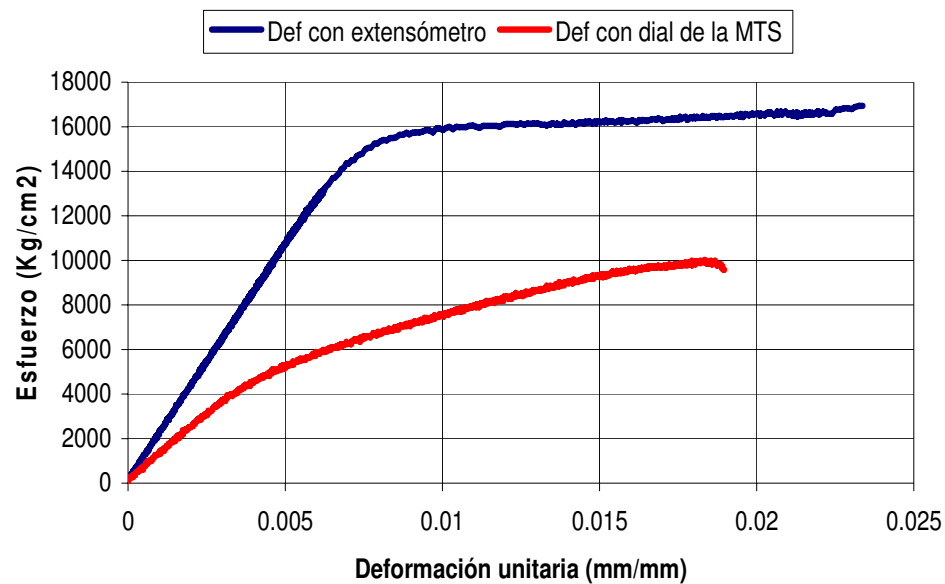


Figura 8.3-22 Curva esfuerzo deformación de los cables (muestra 1)

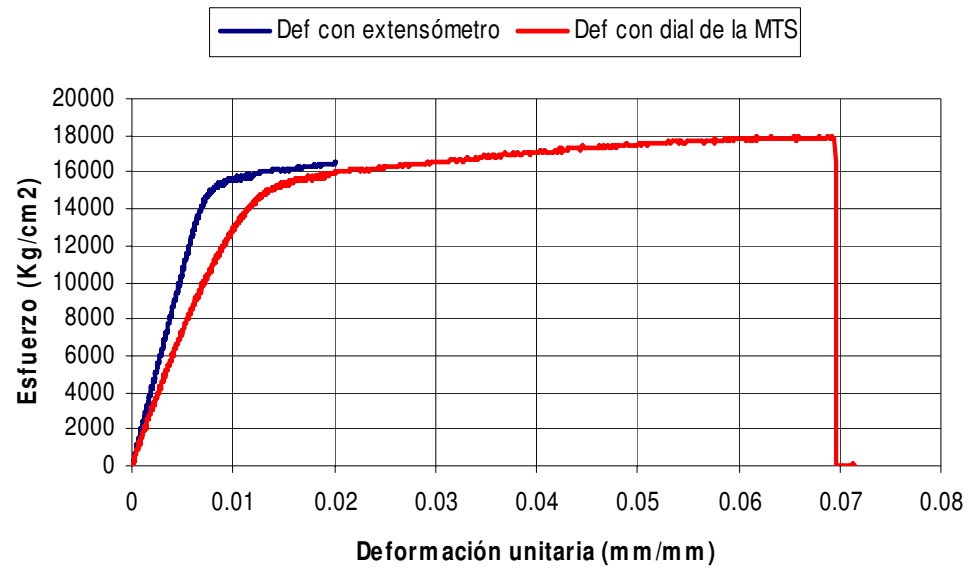


Figura 8.3-23 Curva esfuerzo deformación de los cables (muestra 2)

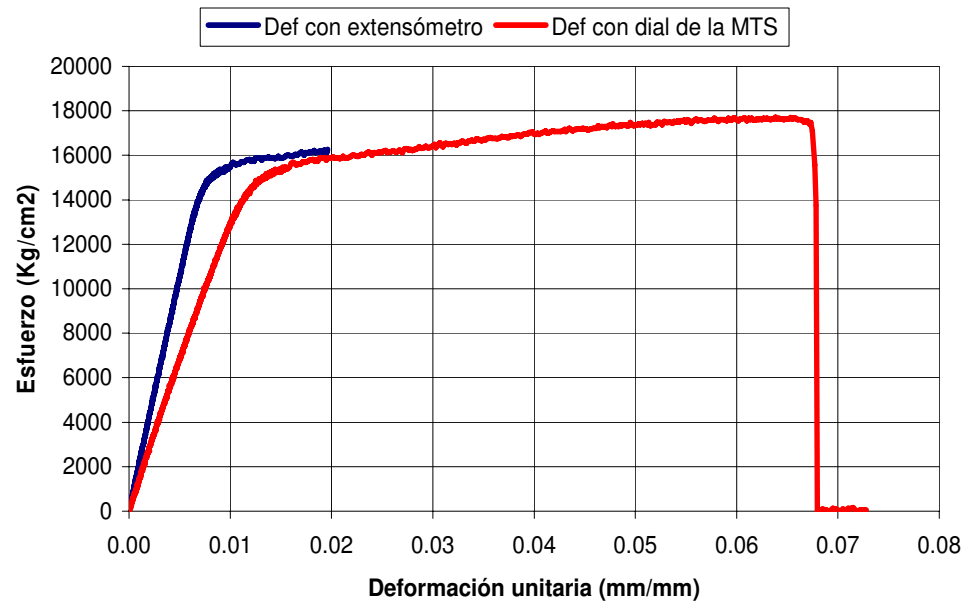


Figura 8.3-24 Curva esfuerzo deformación de los cables (muestra 3)

8.3.4 Verificaciones de diseño

A continuación se presentan las verificaciones de diseño para las diferentes condiciones de carga.

En la Figura 8.3-25 presenta el modelo analítico desarrollado para el análisis de esfuerzos y deformaciones en el sistema propuesto. El modelo está conformado por un total de 2400 elementos finitos tipo shell y 5 elementos tipo frame que simulan los cables que conforman el preesfuerzo. Los apoyos se representan mediante restricciones simples al desplazamiento en las zonas de contacto con las viguetas de apoyo. Las propiedades de análisis utilizadas son las indicadas anteriormente.

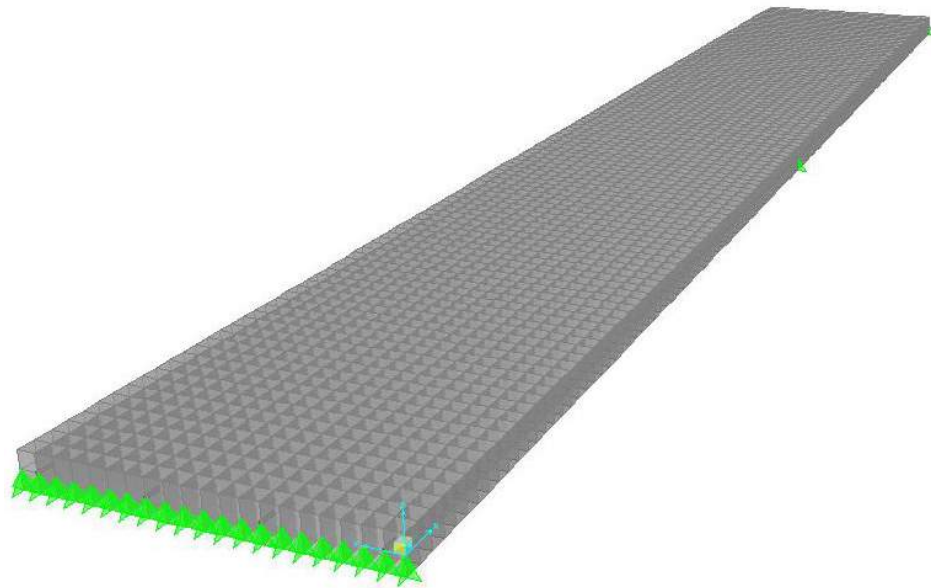


Figura 8.3-25 Modelo tridimensional

- (a) Carga viva de diseño: se aplica una carga viva uniformemente distribuida correspondiente a 450 kg/m^2 de superficie del piso. La Figura 8.3-26 a Figura 8.3-28 ilustran respectivamente las deflexiones verticales, la distribución de momentos y la distribución de cortante. En la Tabla 8.3-8 se compara las demandas máximas con los valores admisibles tomados a partir de los resultados de los ensayos experimentales o de límites comúnmente establecidos.

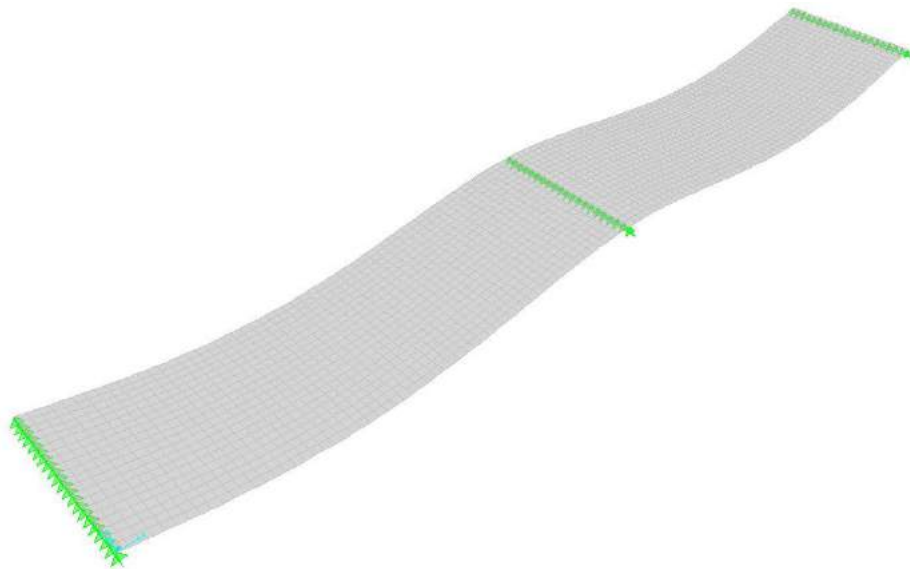


Figura 8.3-26 Deflexiones obtenidas en el modelo

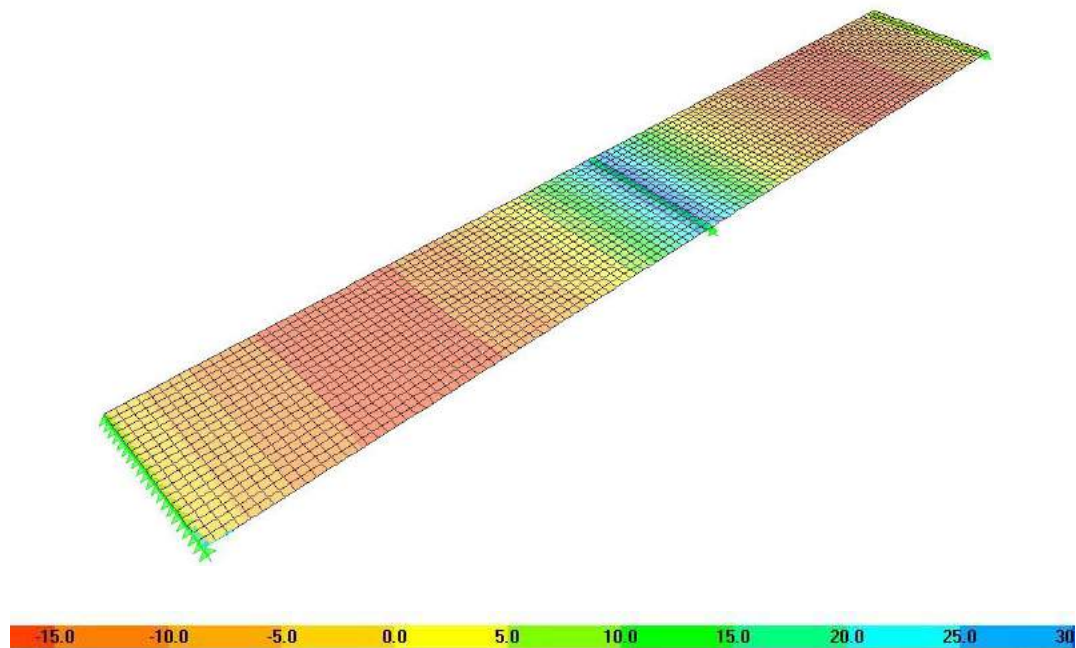


Figura 8.3-27 Distribución de esfuerzo por flexión (S11) obtenidos en el modelo

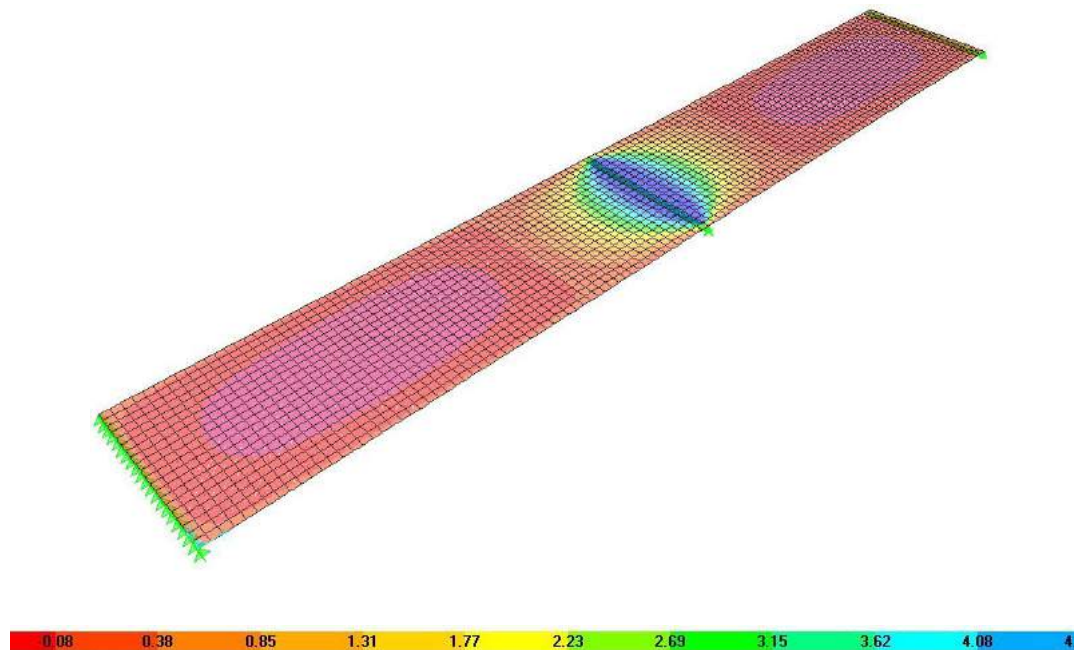


Figura 8.3-28 Distribución esfuerzo de cortante (S_{22}) obtenidas en el modelo

Tabla 8.3-8 Resultados del análisis con carga distribuida

Parámetro	Unidades	Valor Máximo	Valor admisible	Cumple
Deflexión máxima	cm	0.04	0.30	Ok
Momento máximo	Kg-cm	84.00	22659	Ok
Cortante máximo	Kg	12.70	503	Ok
Esfuerzo de flexión máximo	Kg/cm ²	31.00	212	Ok
Esfuerzo de tensión en el cable	Kg/cm ²	17.00	1537	Ok

- (b) Carga viva concentrada de diseño: la carga viva concentrada de diseño corresponde a dos cargas vivas de 100 kg cada una separadas 30 cm en el sentido largo, aplicadas cada una de ellas a una distancia de 15 cm del apoyo central. Para el análisis con este tipo de carga se busca la ubicación más desfavorable en términos de esfuerzos de flexión, corte o punzonamiento. La Figura 8.3-29 a Figura 8.3-31 ilustran respectivamente las deflexiones verticales, la distribución de momentos y la distribución de cortante para una de las posiciones críticas de la carga. La Tabla 8.3-9 compara las demandas máximas con los

valores admisibles tomados a partir de los resultados de los ensayos experimentales o de límites comúnmente establecidos. En la Tabla 8.3-9 se compara las demandas máximas con los valores admisibles tomados a partir de los resultados de los ensayos experimentales o de límites comúnmente establecidos.

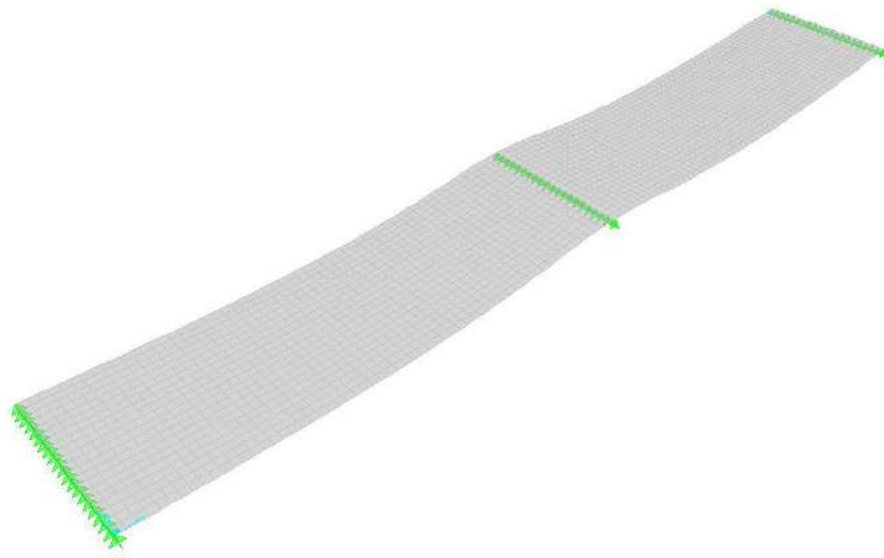


Figura 8.3-29 Deflexiones obtenidas en el modelo

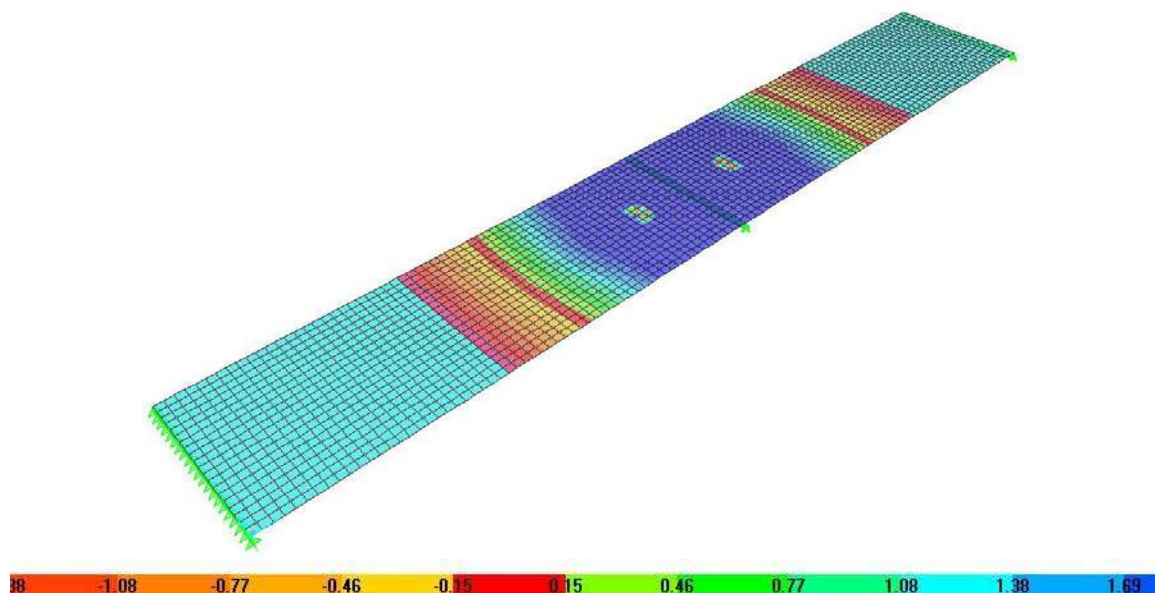


Figura 8.3-30 Distribución de esfuerzo por flexión (S11) obtenidos en el modelo

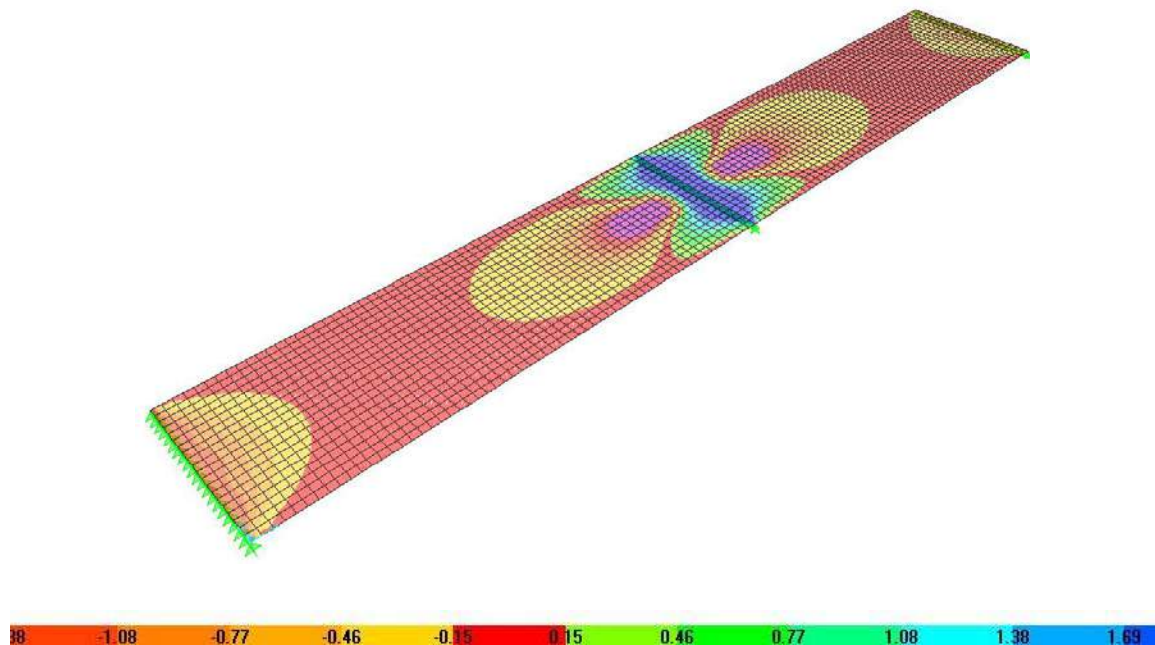


Figura 8.3-31 Distribución esfuerzo de cortante (S_{22}) obtenidas en el modelo

Tabla 8.3-9 Resultados del análisis con cargas concentradas

Parámetro	Unidades	Valor Máximo	Valor admisible	Cumple
Deflexión máxima	cm	0.03	0.30	Ok
Momento máximo	Kg-cm	39.08	22659	Ok
Cortante máximo	Kg	15.50	503	Ok
Esfuerzo de flexión máximo	Kg/cm ²	21.30	212	Ok
Esfuerzo de tensión en el cable	Kg/cm ²	16.50	1537	Ok

- (c) Carga viva concentrada de diseño: la carga viva concentrada de diseño corresponde a dos cargas vivas de 100 kg cada una separadas 30 cm en el sentido longitudinal, en la mitad de la primera luz. Para el análisis con este tipo de carga se busca la ubicación más desfavorable en términos de esfuerzos de flexión, corte o punzonamiento. Las Figura 8.3-32 a Figura 8.3-34 ilustran respectivamente las deflexiones verticales, la distribución de momentos y la distribución de cortante para una de las posiciones críticas de la carga. En la Tabla 8.3-10 se compara las demandas máximas con los valores admisibles tomados a partir de los resultados de los ensayos experimentales o de límites comúnmente establecidos.

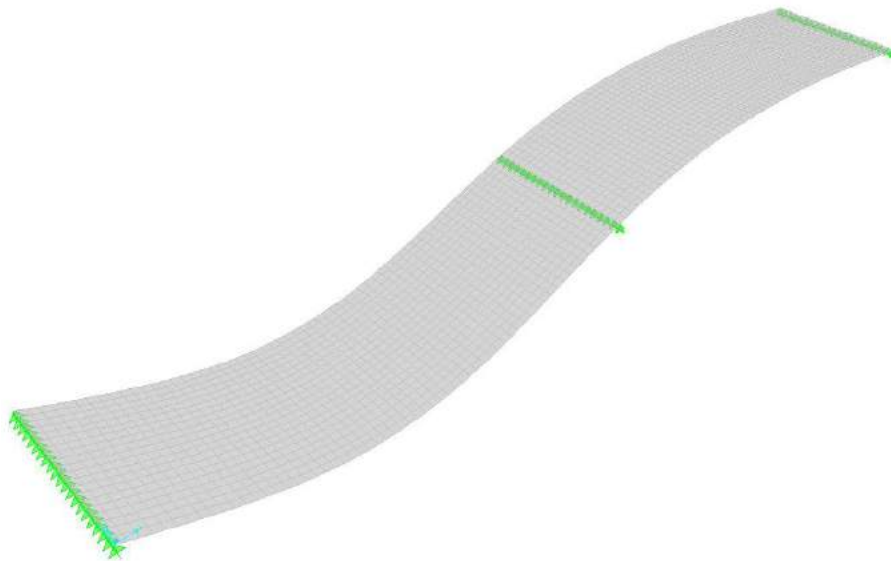


Figura 8.3-32 Deflexiones obtenidas en el modelo

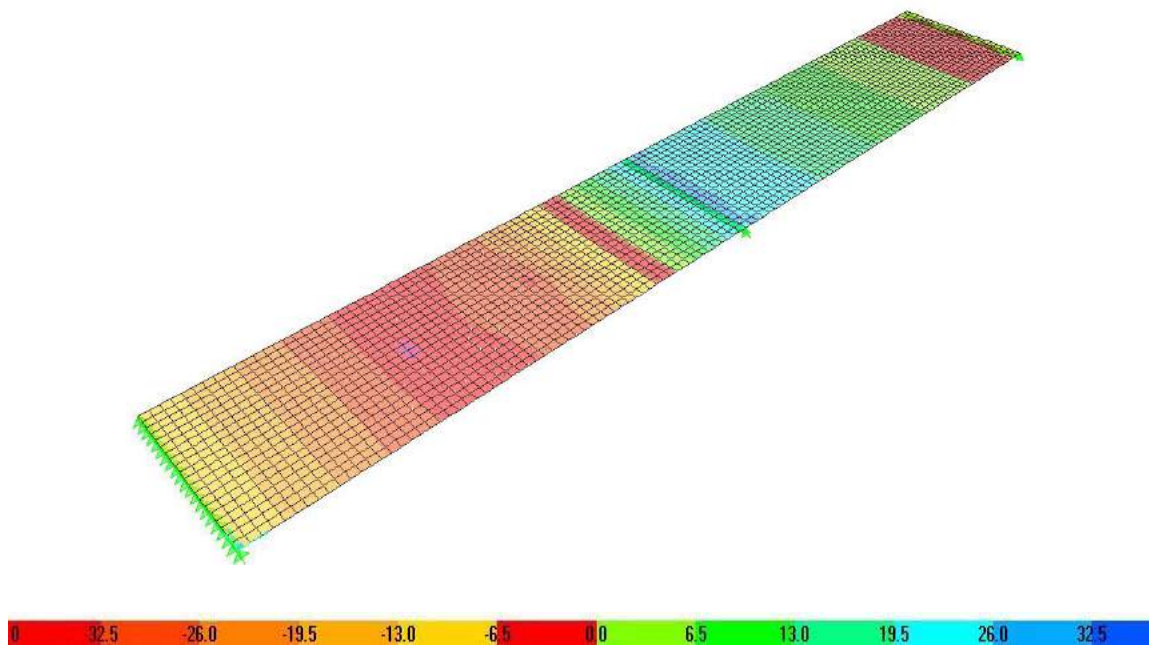


Figura 8.3-33 Distribución de esfuerzo por flexión (S11) obtenidos en el modelo

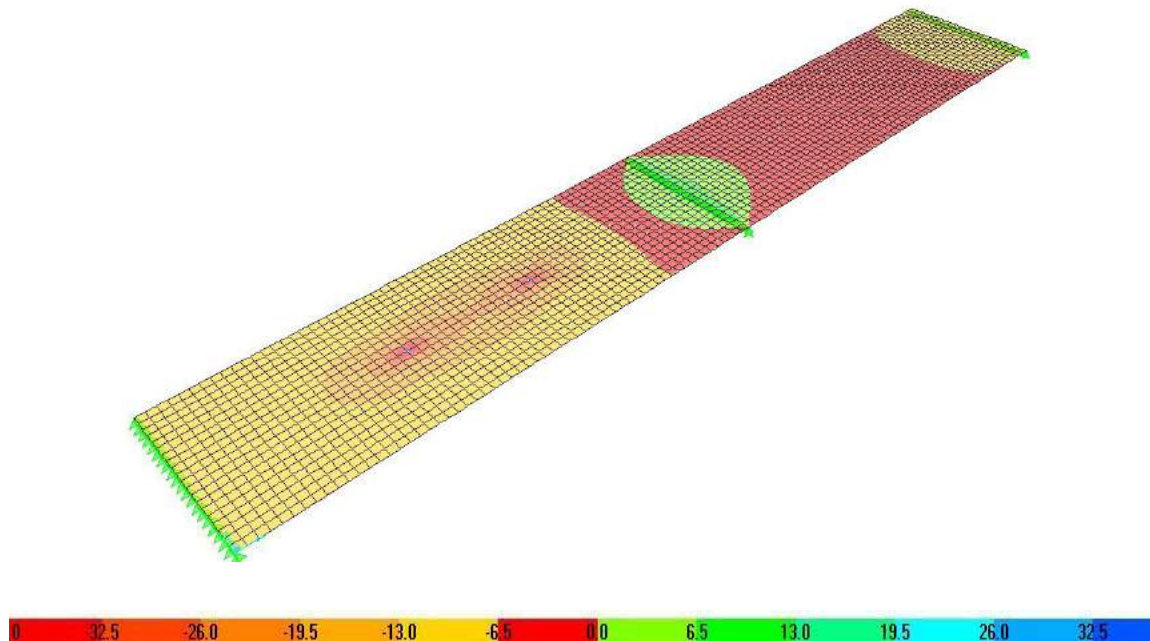


Figura 8.3-34 Distribución de cortantes obtenidas en el modelo (kg)

Tabla 8.3-10 Resultados del análisis con cargas concentradas

Parámetro	Unidades	Valor Máximo	Valor admisible	Cumple
Deflexión máxima	cm	0.09	0.30	Ok
Momento máximo	Kg-cm	120.00	22659	Ok
Cortante máximo	Kg	14.90	503	Ok
Esfuerzo de flexión máximo	Kg/cm ²	47.30	212	Ok
Esfuerzo de tensión en el cable	Kg/cm ²	16.20	1537	Ok

8.3.5 Verificación de conectores

El sistema de conexión propuesto para los módulos de concreto pretensado consiste en cordones de soldadura entre el ángulo perimetral del modulo y las viguetas de soporte.

Los conectores se verifican en las siguientes condiciones:

- (a) El sistema de conexión se ensayó a fatiga y no presentó ningún tipo de problema. Se concluye que el sistema de conexión no es susceptible de sufrir fatiga.
- (b) Por efecto de cambios términos, se puede estimar un movimiento horizontal total del orden de 0.35 mm al producirse un diferencial térmico máximo de 20 ° C. Este diferencial de T° produce unas fuerzas máximas de 4.1 Ton en las conexiones soldadas las cuales pueden ser soportadas por el cordón de soldadura de filete de ¼" y 5.0 cm de longitud.

8.3.6 Verificación de viguetas de apoyo

Las viguetas de apoyo consistentes en perfiles IPE 120 se verifican para las cargas vivas distribuidas de 450 kg/m² actuando simultáneamente en todo el modulo. La distribución geométrica propuesta y las cargas muertas y vivas imponen las condiciones de deflexiones máximas, momentos y cortantes que se presentan en la Tabla 8.3-11.

Tabla 8.3-11 Resultados verificación viguetas de apoyo

Parámetro	Unidades	Valor Máximo	Valor último	Cumple
Deflexión máxima	cm	0.18	0.74	Ok
Momento máximo	Kg-cm	43370	113313	Ok
Cortante máximo	Kg	40.40	15240	Ok

8.3.7 Procedimiento de instalación

El procedimiento de instalación de los sistemas de pisos de módulos de concreto pretensado incluyen los siguientes pasos principales:

1. Para una adecuada instalación del sistema de entrepiso, la estructura metálica de soporte principal debe cumplir con todos los requisitos de fabricación, instalación, montaje y control de calidad establecidos en el literal F.2.13 de las NSR-98.

2. Se debe presentar para aprobación un plano con la distribución detallada de los módulos de entrepiso en los cuales se indique claramente las zonas de apoyo y los puntos específicos de conexión. Especial atención debe darse al cubrimiento de zonas en que se presenten aberturas, cortes, o cambios en las distribuciones normales supuesta de dos módulos en el ancho de la sección total. La distribución debe considerar la ubicación de las compuertas o escotillas para acceso a la zona inferior. Esta debe ubicarse de manera que se pueda tener acceso desde la parte inferior a cualquier sector del sistema de piso. En casos específicos la distribución de viguetas metálicas de soporte también debe ajustarse o complementarse para permitir la construcción de los detalles requeridos.
3. Se debe proceder con la instalación de las viguetas metálicas de soporte según perfil definido y características geométricas establecidas. La instalación debe cumplir con el espaciamiento establecido en los planos de distribución geométrica. Por otro lado la vigueta de soporte debe colocarse a la cota exacta que permite una adecuada instalación de los módulos de concreto pretensado de manera que se llegue a la cota de piso terminado establecida. La holgura máxima en variaciones de niveles finales de las viguetas en las cuales se van a apoyar lo módulos es de máximo 0.1 cm.
4. Se debe iniciar la colocación de módulos desde una de las esquinas de la estación hacia el centro de la misma. Se debe verificar la ubicación definitiva del módulo antes de su utilización. Cada módulo instalado debe sujetarse adecuadamente con todos los conectores establecidos.
5. Las conexiones al sistema de soporte de viguetas se realizará mediante cordones de soldadura en filete en toda la longitud de contacto entre ángulos de confinamiento y viguetas de apoyo según se indica en los planos. La soldadura será de $\frac{1}{4}$ " del tipo E70. Para la aplicación de la soldadura se deberá limpiar la zona de contacto con chorro de arena, pulidora o un método manual aprobado. Luego de realizada la soldadura se deberá aplicar la protección contra la corrosión consistente en anticorrosivo epóxico de mínimo 3 mils de espesor y protección final con pintura de acabado de poliuretano de 2 mils de espesor mínimo. Todo el proceso de soldadura y protección estará sujeta a controles y calidad establecida en el Título F de la NSR-98. Para protección de la soldadura no se requiere Galvanizado solo pintura de protección. Para mayor claridad en los procedimientos constructivos debe seguirse las recomendaciones que se presentan en el Capítulo 10 "Especificaciones Técnicas de construcción y guía para control de calidad de obra".

8.3.8 Mantenimiento

El mantenimiento de los módulos de concreto pretensado incluye aspectos relacionados con mantenimiento por desgaste normal del uso y mantenimiento por daño o afectación local inducida. El intervalo de tiempo entre mantenimientos dependerá del desgaste y deterioro normal de uso que para este sistema se estima en 12 años para las zonas críticas de tránsito.

El mantenimiento por desgaste normal de uso debe realizarse cuando se evidencia una superficie mas lisa de la especificada inicialmente la cual puede incluir algún tipo de afectación o riesgo a los peatones. Para este tipo de afectación el panel no debe evidenciar ningún otro signo de deterioro tal como deflexión excesiva, rotura, grietas, deformaciones locales o cualquier otro, caso en el cual debe recurrirse al mantenimiento por daño o afectación. En el caso de desgaste normal de uso se requiere el siguiente tratamiento:

- (a) Limpieza del modulo.
- (b) Aplicación de sistema de piso en poliuretano-cemento, siguiendo las especificaciones del fabricante.

Con respecto al mantenimiento por daño o afectación local inducida, el procedimiento a seguir es el siguiente:

- (a) Identificar los módulos afectados y que requieren reemplazo. En esto debe evaluarse si la reparación puede llevarse a cabo con el método descrito para desgaste normal de uso o si se requiere un reemplazo completo del modulo.
- (b) Ingresar por la parte inferior y retirar las soldadura del modulo correspondiente.
- (c) Reinstalar un nuevo modulo con el mismo procedimiento propuesto para la instalación.

8.3.9 Análisis de costos

En el Anexo 11-13 se presentan los análisis de precios unitarios para la alternativa de pisos en concreto pretensado.

8.4 CONCRETO CON FIBRA DE VIDRIO (GRC)

8.4.1 Datos generales

El GRC (Glass reinforced concrete o Glass fiber reinforced concrete) es una composición de micro-concreto reforzado con fibras de vidrio, que combina las propiedades de resistencia a compresión de los morteros con la alta resistencia a la tracción que proporciona la fibra la cual reemplaza el acero de refuerzo tradicional. Al no tener elementos que proteger de la corrosión, el GRC resulta un material muy ligero, ya que permite altas resistencias con espesores bajos.

El material presenta las siguientes ventajas:

- (a) Permite el manejo de formas complejas.
- (b) Permite producir variedad de detalles y acabados superficiales en una amplia gama de colores y texturas de acabado.
- (c) Ofrece características como buen aislamiento acústico y térmico, resistente al fuego, resistente al desgaste debido a su capa superficial en mortero con alto contenido de arena de sílice, versatilidad para adecuarse a la geometría de la estructura de soporte.
- (d) Inalterable frente a la corrosión o la oxidación, para su fabricación se emplean fibras de vidrio resistentes a los ataques alcalinos, por lo que no se produce envejecimiento del material.
- (e) Fácil y rápida instalación.

Los módulos se puede fabricar en diferentes modulaciones que varían entre 0.40 m y 0.80 m de ancho con una longitud que preferiblemente debe conservar una relación máxima de 3 veces el ancho o mayor a esta siempre y cuando se realicen juntas de dilatación. En las pruebas realizadas en laboratorio se analizaron probetas suministradas por la empresa Titán, Manufacturas de Cemento S.A.

8.4.2 Descripción general

El sistema propuesto está compuesto por módulos de 0.40 m x 2.1 m conformados por un marco en ángulo de acero L 1½ x 1½ x ⅛ galvanizado y con juntas de dilatación cada 0.70 m para conservar la relación ancho/longitud recomendada. El marco angular confina el concreto, aporta rigidez al sistema y sirve de contacto de fijación a la estructura metálica de la estación o del puente y a su vez protege el

concreto en la manipulación y montaje. Dentro de este marco metálico se funde una losa en concreto reforzado con fibra de 15 mm de espesor en la parte central y 38 mm en el perímetro.

Cada módulo se encuentra apoyado sobre perfiles metálicos (viguetas de apoyo) IPE120 que están soportadas en vigas HEA 160 que conforman la estructura principal de la estación o puente. La conexión entre el sistema de GRC y los perfiles en acero es mediante soldadura en los puntos de contacto entre ángulos confinantes y viguetas de apoyo.

Tabla 8.4-1 Propiedades geométricas del módulo de piso en GRC

Propiedad	Unidad	Valor
Ancho [a]	m	0.4
Altura [h]	m	0.038
Longitud (L)	m	2.1
Area [A]	m ²	0.84
Area sección transversal [At]	m ²	0.0093
Densidad	Kg/m ³	1960
Peso por módulo	Kg	38
Peso de viguetas	Kg	10.4
Peso por m ²	Kg	56.0

En la Figura 8.4-1 y Figura 8.4-2 se presentan vista en planta superior e inferior de un módulo típico y la Figura 8.4-3 y Figura 8.4-4 presentan los cortes transversales y longitudinales correspondientes.

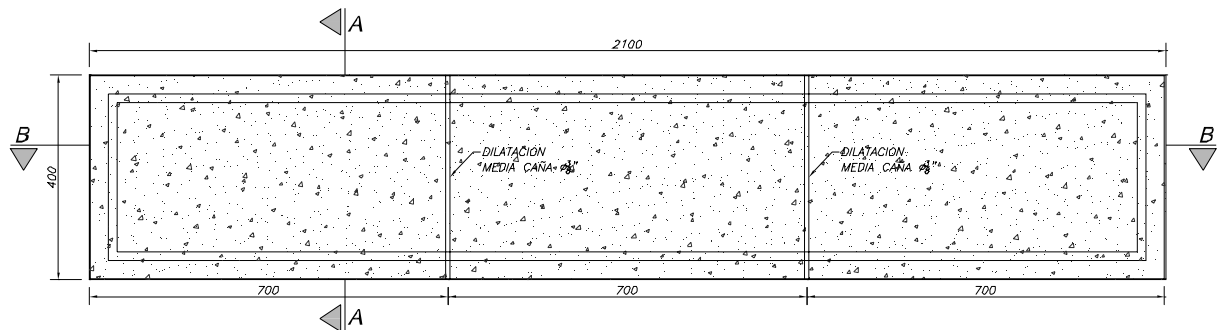


Figura 8.4-1 Planta superior sistema de pisos en GRC (dimensiones en mm)

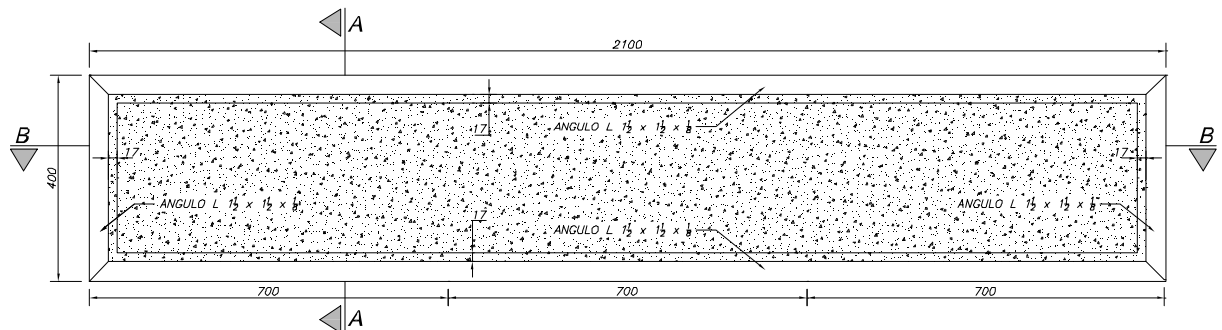


Figura 8.4-2 Planta inferior sistema de pisos en GRC (dimensiones en mm)

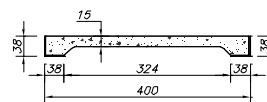


Figura 8.4-3 Corte A-A Sistema de GRC (dimensiones en mm)

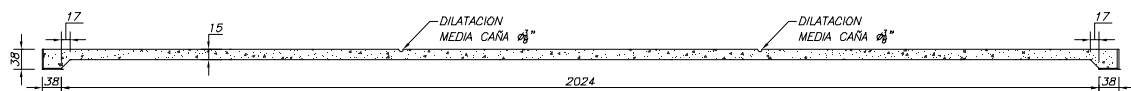


Figura 8.4-4 Corte B-B Sistema de GRC (dimensiones en mm)

Por otro lado, en las Figuras 8.4-5 a Figura 8.4-8 se presenta una planta general con la orientación de los módulos y los cortes típicos que muestran el sistema de apoyo entre los módulos de GRC y las viguetas de soporte en acero.

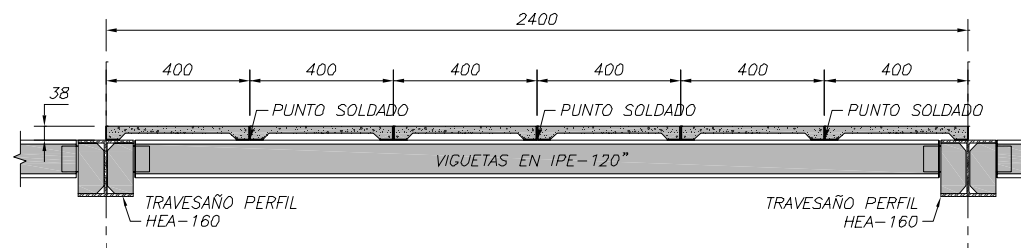


Figura 8.4-6 Corte C-C Distribución de los módulos y viguetas de GRC en la estación (dimensiones en mm)

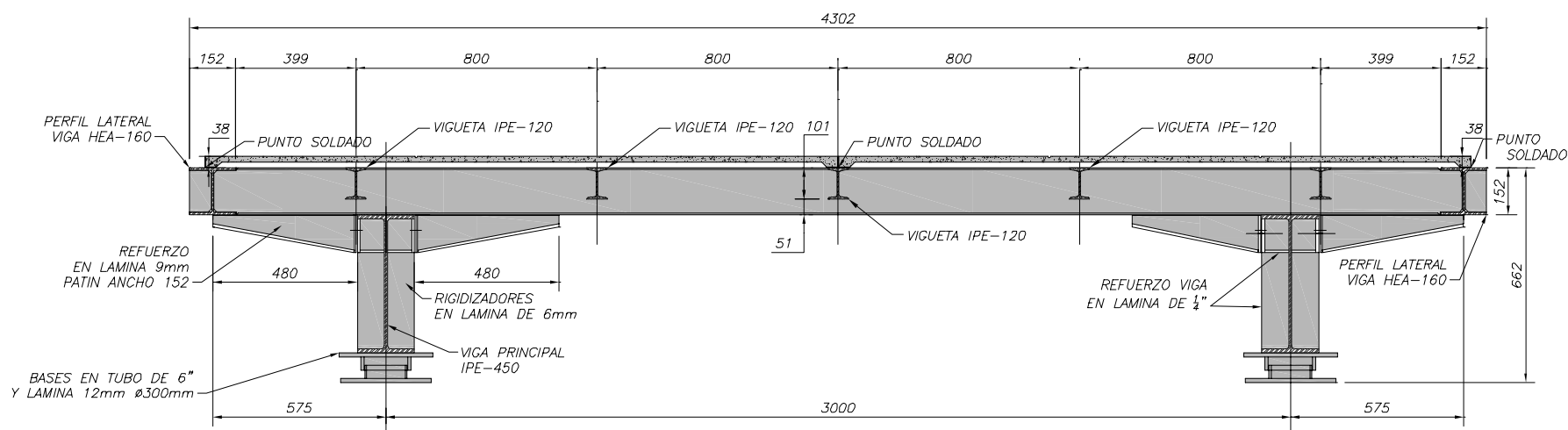


Figura 8.4-7 Corte D-D Distribución de los módulos y viguetas de GRC en la estación (dimensiones en mm)

Nota: TFP = terminado final de piso. La cota debe definirse según criterio de funcionamiento. Con base en esta deben definirse la ubicación de todos los demás elementos estructurales

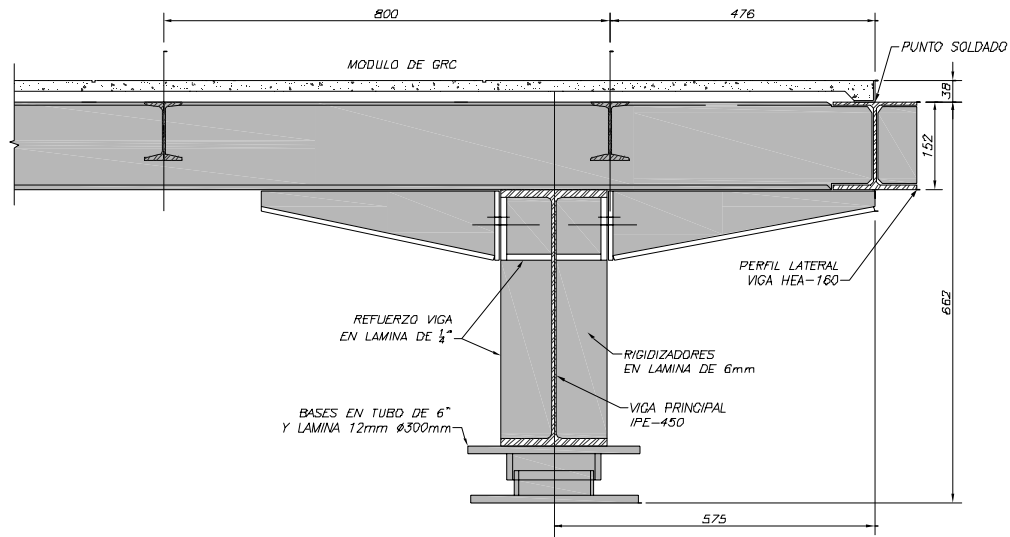


Figura 8.4-8 Detalle perimetral sistema de apoyo (dimensiones en mm)

Por otro lado la Figura 8.4-9 presenta los detalles del sistema de conexión propuesto.

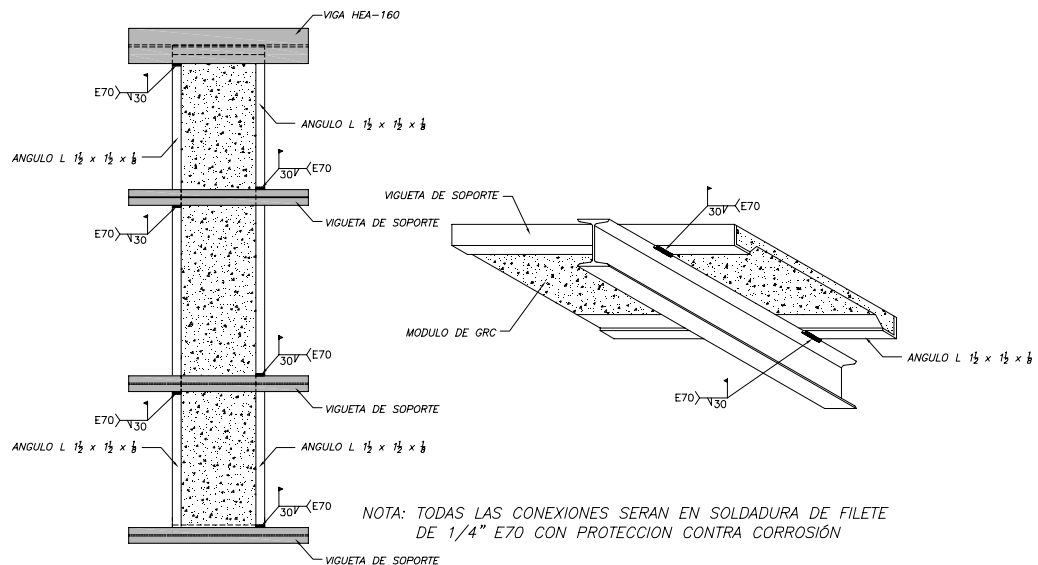


Figura 8.4-9 Detalle sistema de conexión (Vista inferior)

8.4.3 Comportamiento experimental

Se adelantan una serie de ensayos de caracterización de los materiales y secciones utilizados en la fabricación de los pisos en GRC. En la Tabla 8.4-2 se resumen los ensayos realizados. En el Anexo 11-14 se presentan los informes de los ensayos realizados cuyos resultados se explican a continuación.

Tabla 8.4-2 Ensayos realizados al modulo de GRC

Ensayo No	Ensayo	Cantidad
1	Compresión de cilindros	4
2	Brasileiro (Tensión indirecta)	2
3	Ensayo de desgaste en laboratorio	5
4	Ensayo de Flexión	6
5	Punzonamiento en lámina	2
6	Fatiga	1
7	Medición de ruido	1

8.4.3.1 Ensayo de compresión

Se realizan 4 ensayos de compresión sobre cilindros de diámetro de 49.23 mm, altura de 104 mm respectivamente. Los ensayos se realizan siguiendo el procedimiento de la norma ASTM C-469-94 La Tabla 8.4-3 resume los resultados encontrados en los ensayos.

Tabla 8.4-3 Resultados de ensayos compresión

Núcleo	Resistencia a compresión [Kg/cm ²]	Módulo de Elasticidad [Kg/cm ²]
1	340	No se midió el módulo
2	287	238719
3	370	No se midió el módulo
4	426	195208
Promedio	356	216964

En la Figura 8.4-10 y Figura 8.4-11 se presentan las curvas de esfuerzo vs deformación unitaria para los 4 ensayos de compresión realizados.

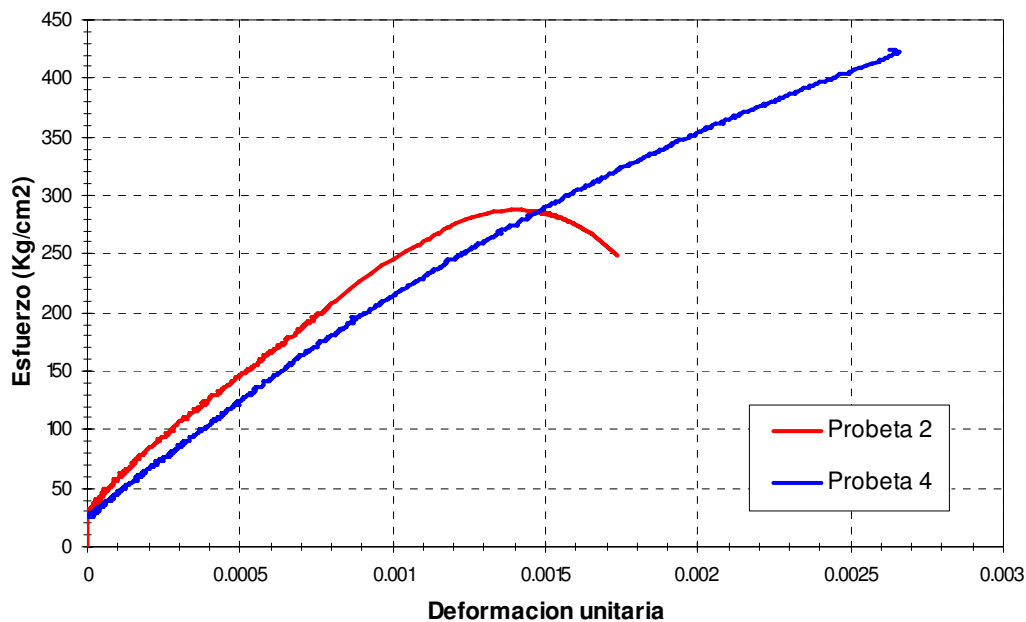


Figura 8.4-10 Gráficas de esfuerzo vs deformación (con medición de modulo)

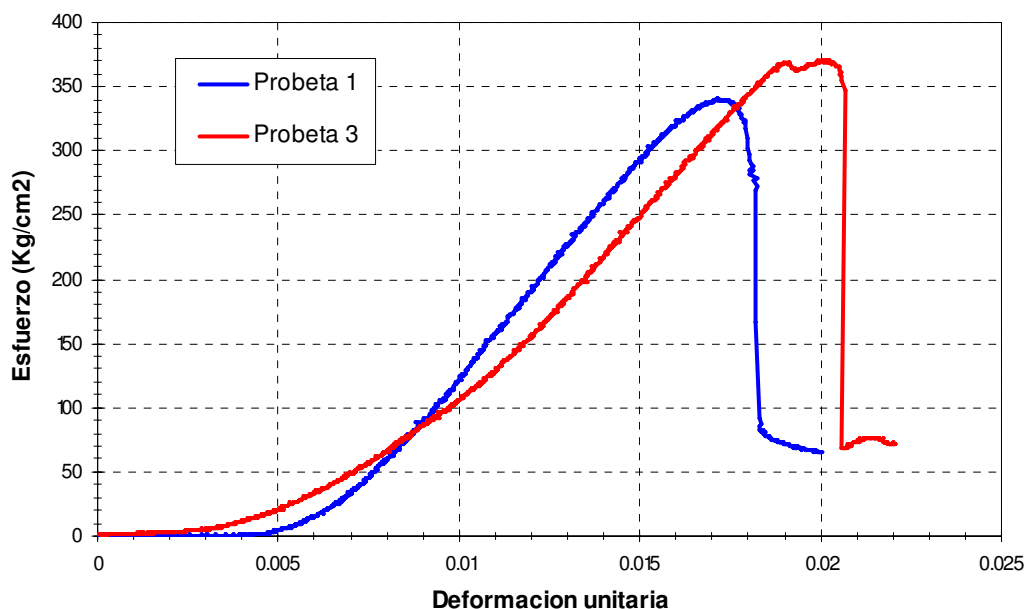


Figura 8.4-11 Gráficas de esfuerzo vs deformación (sin medición de modulo)

8.4.3.2 Ensayo de tensión indirecta

Se realizan 2 ensayos de tensión indirecta (método brasilero) siguiendo el procedimiento de la norma ASTM C-496-96. En la Tabla 8.4-4 se presentan los resultados encontrados.

Tabla 8.4-4 Resultados de ensayos de tensión indirecta

Probeta	Resistencia a la tensión indirecta [Kg/cm ²]
1	74.7
2	64.6
Promedio	69.6

8.4.3.3 Ensayo de desgaste

Los ensayos de desgaste se realizaron siguiendo el procedimiento explicado en el numeral 6.3.6. Las probetas seleccionadas del material se sometieron a ensayos de desgaste de acuerdo con la norma

ASTM D3389. En la Figura 8.4-12 se presenta el montaje del ensayo de desgaste para probetas de GRC. En la Tabla 8.4-5 se presentan los resultados de los ensayos.

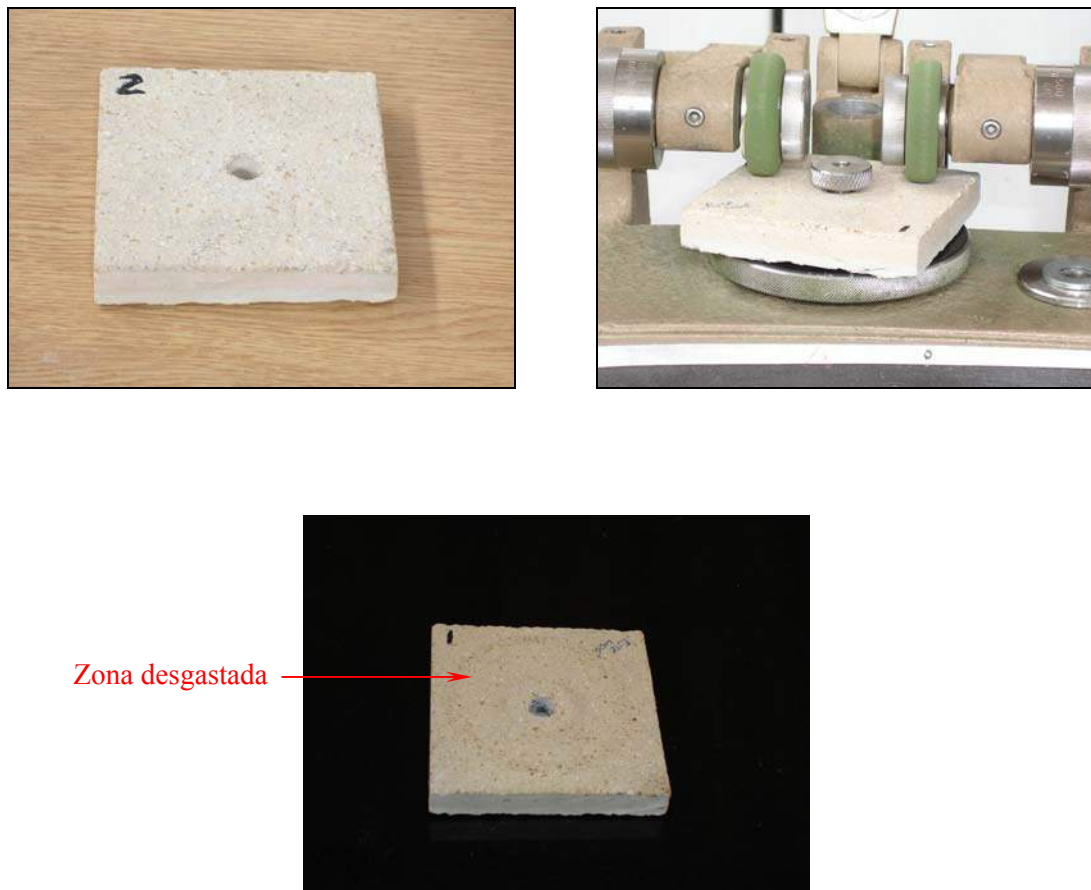


Figura 8.4-12 Probeta y montaje de ensayo de desgaste para GRC

Tabla 8.4-5 Principales resultados mediciones de desgaste

Probeta No	Masa Pérdida por revolución [mg/rev]	Observaciones
1	0.1400	Carga aplicada de 1000 gr - 500 ciclos
2	0.1200	Carga aplicada de 1000 gr - 500 ciclos
3	0.0900	Carga aplicada de 1000 gr - 500 ciclos
4	0.1400	Carga aplicada de 1000 gr - 500 ciclos
5	0.1300	Carga aplicada de 1000 gr - 500 ciclos

Se puede observar que las probetas de GRC presentan un desgaste promedio de 0.124 gr en las condiciones del ensayo, esto representa una pérdida de masa del 0.032%. Este valor puede compararse con el valor de desgaste promedio de 0.0224 gr obtenido para el aluminio 6261 T6 utilizado en los sistemas de pisos actuales, el cual representa una pérdida de masa del 0.037% respecto a la masa inicial.

8.4.3.4 Ensayo de flexión

Estos ensayos se adelantan con el fin de caracterizar el comportamiento a flexión en términos de rigidez, flexibilidad de los perfiles y resistencia de dichos elementos. El ensayo permite realizar una calibración inicial de los modelos de análisis en términos de flexibilidad y capacidad a flexión y aporta información valiosa sobre propiedades mecánicas.

La longitud de la luz libre de ensayo es de 67 cm. La carga se aplica mediante dos cargas concentradas centradas en la luz con el fin de tener momento constante sin cortante en la zona central de la viga. Se registra simultáneamente la carga aplicada mediante una celda de carga, y la deformación mediante un LVDT colocado en el centro de la luz (Ver Figura 8.4-13). Mediante el desarrollo de los ensayos se determina experimentalmente la rigidez de la probeta a flexión, así como el esfuerzo flector máximo resistente y la curva típica carga-deflexión bajo efectos de flexión. Por no tratarse de un ensayo convencional se utiliza como referencia la metodología equivalente propuesta en la norma ASTM C78 para ensayo a flexión de vigas de concreto.

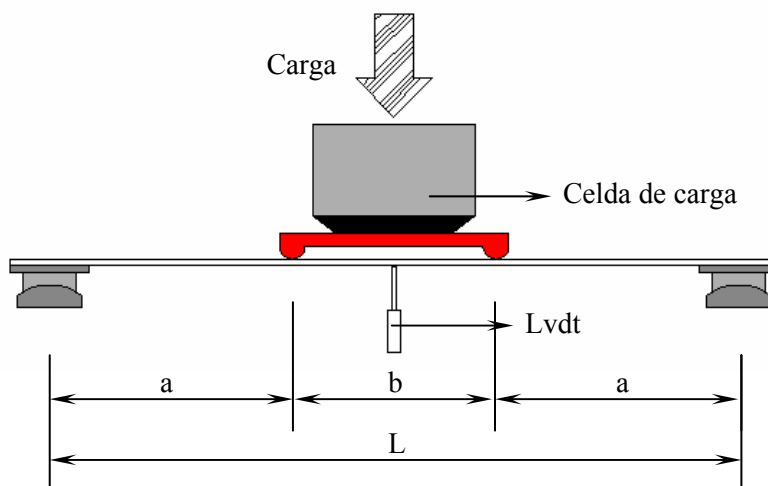


Figura 8.4-13 Esquema de ensayo a flexión de láminas

En las Figuras 8.4-14 y 8.4-15 se presentan las curvas momento- desplazamiento y carga- desplazamiento obtenidas en los ensayos realizados. La Tabla 8.3-5 resume los parámetros obtenidos, incluyendo para cada probeta ensayada la carga máxima, el momento máximo y la forma o mecanismo de falla.

Tabla 8.4-6 Resultados ensayos de flexión

Probeta	Luz del Ensayo [cm]	a [cm]	b [cm]	Carga Máxima [kg]	Momento Máximo [kg-cm]	Elemento	Mecanismo de Falla
P1	67	18.5	30	1084	10031	Módulo	Punzonamiento
P2	67	18.5	30	1629	15070	Módulo	Punzonamiento
P3	30	15	0	635	3176	Probeta	Tension en fibras inferiores
P4	30	15	0	578	2891	Probeta	Tension en fibras inferiores
P5	30	15	0	515	2576	Probeta	Tension en fibras inferiores
P6	30	15	0	644	3222	Probeta	Tension en fibras inferiores

La variación de los momentos resistentes de las probetas P1 y P2 en comparación con las P3, P4, P5 y P6 ocurre debido a las diferencias de las probetas. Las dos primeras son módulos de piso con borde en ángulo metálico mientras las demás sin marco. Por esta razón se observan también diferencias en el tipo de falla de las probetas P1 y P2 con relación a las demás.

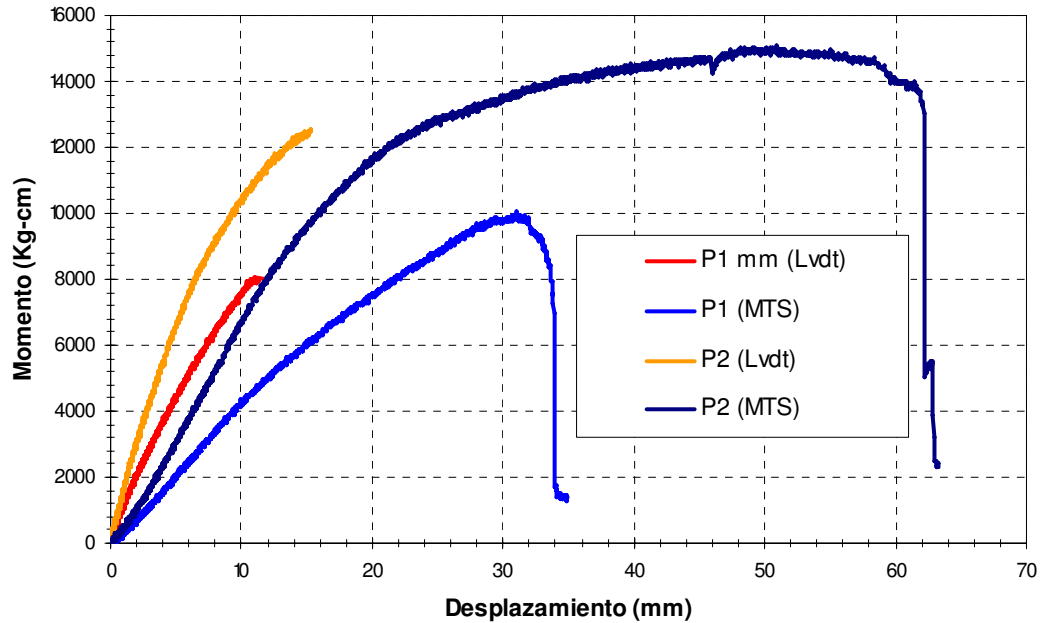


Figura 8.4-14 Curvas de carga vs. desplazamiento en el centro de la luz

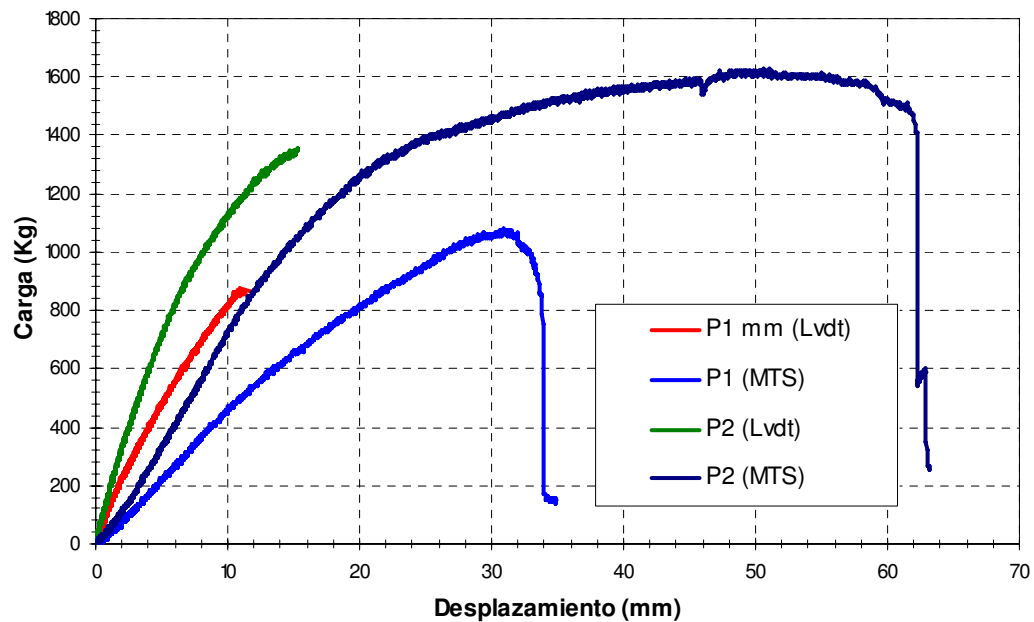


Figura 8.4-15 Curvas de momento vs. desplazamiento en el centro de la luz

8.4.3.5 Ensayo de punzonamiento

Se realiza un ensayo de punzonamiento simple mediante una barra circular con un diámetro de 1 cm. La prueba consiste en aplicar la carga concentrada en diferentes puntos críticos de un elemento y establecer la resistencia máxima. En caso dado la prueba se interrumpe cuando llega a una carga de 2000 kg y no ha presentado falla o algún síntoma de daño.

En el presente caso la resistencia al punzonamiento del sistema alcanzó un valor promedio de 500 Kg en la parte central de la lámina y 658 Kg en los bordes, produciéndose ruptura de la placa en los dos casos.



Figura 8.4-16 Montaje de ensayo de punzonamiento



Figura 8.4-17 Mecanismo de falla ensayo de punzonamiento



Figura 8.4 17 Mecanismo de falla ensayo de punzonamiento (Continuación)

8.4.3.6 Ensayo de fatiga

Se adelanta un ensayo de fatiga en las mismas condiciones que las explicadas en el numeral 6.34. La Figura 8.4-18 ilustra las características del montaje realizado.



Figura 8.4-18 Montaje para ensayo de fatiga de GRC

Durante el ensayo de fatiga realizado se aplicaron un total de 3671 ciclos completos del espectro de carga especificado, equivalentes a 10 años de trabajo en condiciones de tránsito peatonal crítico y condiciones ideales de instalación. La probeta de ensayo no evidenció ningún signo de falla, fractura o fatiga. En la Figura 8.4-19 se observa la curva deflexión vs No de ciclos para el ensayo de fatiga realizado.

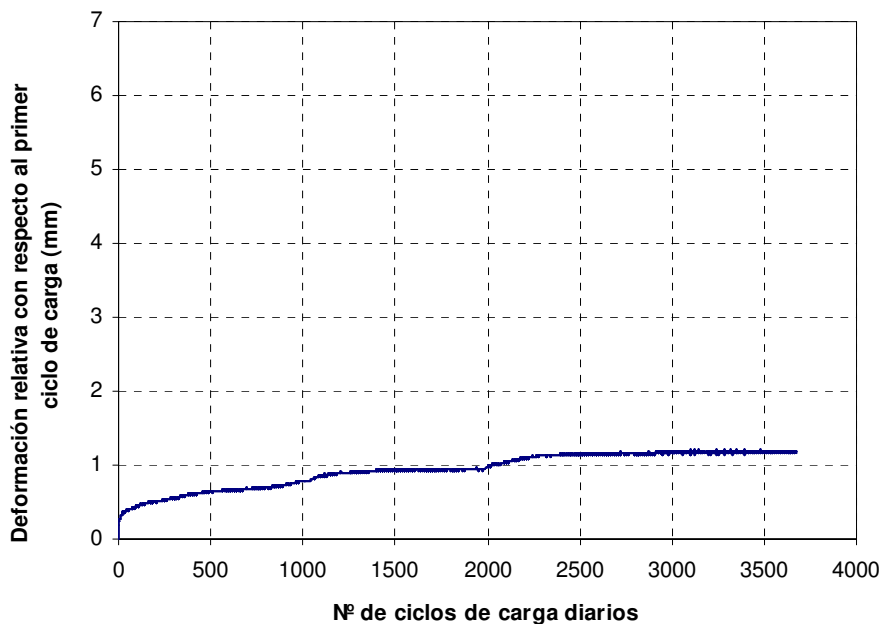


Figura 8.4-19 Curva deflexión vs no de ciclos ensayo de fatiga

8.4.3.7 Ensayo de medición de ruido generado

Siguiendo el procedimiento descrito para medición de ruido explicado en el numeral 6.3.5, se adelantaron los ensayos correspondientes para el modulo instalado sobre las viguetas de apoyo. Se realizaron los análisis de ruido para las siguientes condiciones de carga:

- (f) Medición ambiental.
- (g) Persona caminando.
- (h) Carga de impacto (13 Kg desde 1.10 m de altura)

En las Figura 8.4-20, Figura 8.4-21 y Figura 8.4-22 se presentan las fotografías de realización del ensayo para cada una de las condiciones de cargas. Los resultados de los ensayos de ruido se presentan en la Tabla 8.4-7.



Figura 8.4-20 Medición de ruido condición No 1

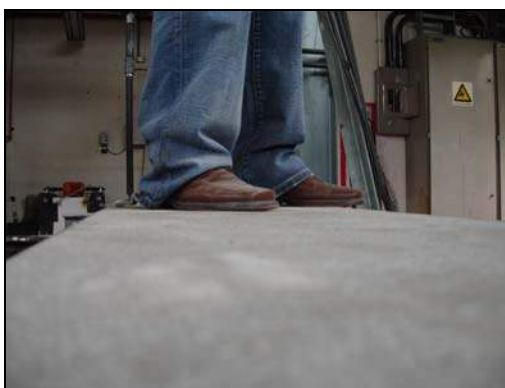


Figura 8.4-21 Medición de ruido condición No 2



Figura 8.4-22 Medición de ruido condición No 3

Tabla 8.4-7 Resultados de ensayos de medición de ruido

Medicion	Nivel de ruido [dB]		
	Condicion 1	Condicion 2	Condicion 3
1	59.5	64.3	95.8
2	59.8	66.6	95.9
3	58.8	66.2	100.5
Promedio	59.4	65.7	97.4
Ruido generado	0.0	6.3	38.0

Para este sistema de piso se obtuvieron en los niveles máximos de ruido del orden de los 6.3 y 38 dB para las condiciones de personas caminando y carga de impacto respectivamente. Estos valores pueden compararse con los valores correspondientes a los sistemas de piso en láminas de aluminio actualmente instalados que dan valores de 23 y 53 dB respectivamente.

8.4.3.8 Resumen de propiedades básicas

En la Tabla 8.4-8 se presentan las propiedades de la fibra empleada en la fabricación del GRC. Dichas propiedades han sido suministradas por Titán.

Por otro lado la Tabla 8.4-9 presenta un resumen de las propiedades y parámetros básicos del material GRC obtenidos de fuentes proporcionadas por el fabricante o de ensayos de laboratorio realizados.

Tabla 8.4-8 Propiedades de la fibra de vidrio alcalino resistente

Propiedad	Unidad	Valor	Fuente
Esfuerzo a tensión filamento virgen	MPa	3500	Literatura
Esfuerzo a tensión (hilo)	MPa	1700	Literatura
Módulo de elasticidad	GPa	72	Literatura
Gravedad específica	g/cm ³	2.68	Literatura
Alargamiento a la rotura	%	4.5	Literatura
Diámetro de filamento	mm	14 a 20	Literatura
Contenido de humedad	%	< 0.1	Literatura
Efectos a la temperatura	-	Incombustible	Literatura
Punto de ablandamiento	°C	860	Literatura

Tabla 8.4-9 Propiedades y parámetros básicos del material GRC

Propiedad	Unidad	Valor	Obtenido
Densidad	g/cm ³	1.96	Laboratorio
Modulo de Poisson		0.24	Literatura
Modulo de elasticidad	MPa	21700	Laboratorio
Resistencia al cortante en el plano	MPa	8-11	Literatura
Resistencia al cortante interlaminar	MPa	3-5	Literatura
Módulo de Rotura	MPa	20-30	Literatura
Resistencia a la compresión	MPa	35.5	Laboratorio
Coeficiente de expansión térmica	/°C	(1.0-1.5) x10E-5	Literatura
Fuego (Según DIN 4102)	-	A1 o A2	Literatura
Difusión de vapor de agua	-	50 - 200	Literatura

8.4.4 Verificaciones de diseño

A continuación se presentan las verificaciones de diseño para las diferentes condiciones de carga.

- (a) Modelo analítico simplificado. Para comparar el momento resistente de la sección (obtenido en laboratorio), se calcula un modelo simplificado que permita obtener las demandas sobre la sección transversal del modulo. En la Tabla 8.4-10 se presenta la comparación de los resultados obtenidos en Laboratorio y con el modelo simplificado.

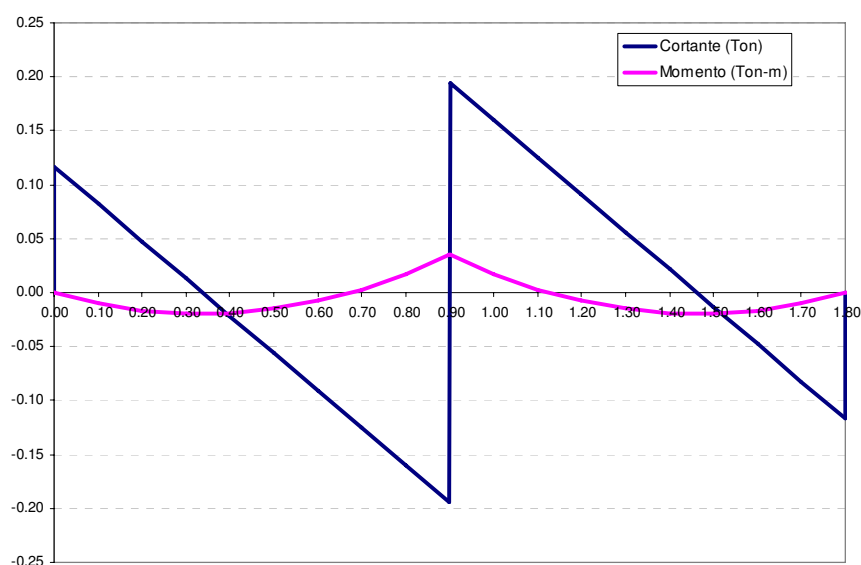


Tabla 8.4-10 Chequeos con el modelo simplificado

Parámetro	Unidades	Modelo simplificado	Laboratorio	Cumple
Momento máximo	Ton-m	0.04	0.1	Ok
Cortante máximo	Ton	0.19	0.4	Ok

- (b) Modelo analítico: la Figura 8.4-23 presenta el modelo analítico desarrollado para el análisis de esfuerzos y deformaciones en el sistema propuesto. El modelo está conformado por un total de 825 elementos finitos tipo shell. Los apoyos se representan mediante restricciones simples

al desplazamiento en las zonas de contacto con las viguetas de apoyo. Los parámetros de análisis utilizados son los indicados en la Tabla 8.4-11.

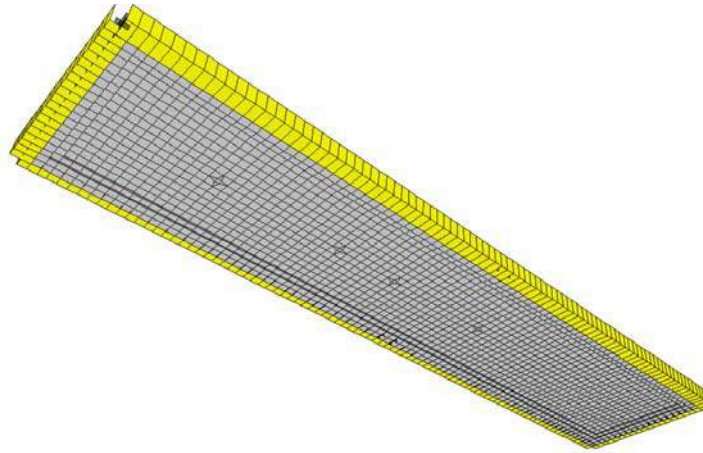


Figura 8.4-23 Modelo tridimensional

- (c) Carga viva de diseño: se aplica una carga viva uniformemente distribuida correspondiente a 450 kg/m^2 de superficie del piso. La Figura 8.4-24, Figura 8.4-25 y Figura 8.4-26 ilustran respectivamente las deflexiones verticales, la distribución de esfuerzos de flexión y la distribución de esfuerzos cortantes. La Tabla 8.4-11 compara las demandas máximas con los valores admisibles tomados a partir de los resultados de los ensayos experimentales o de límites comúnmente establecidos en la literatura.

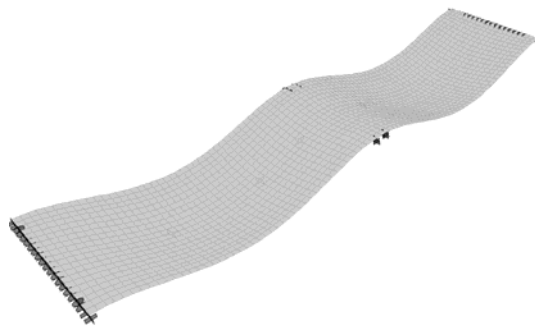


Figura 8.4-24 Deflexiones obtenidas en el modelo

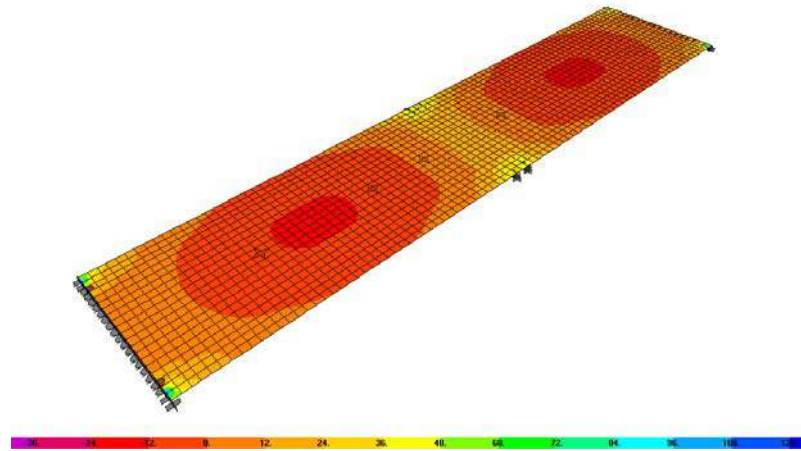


Figura 8.4-25 Distribución de esfuerzos por flexión obtenidos en el modelo (kg/cm^2)

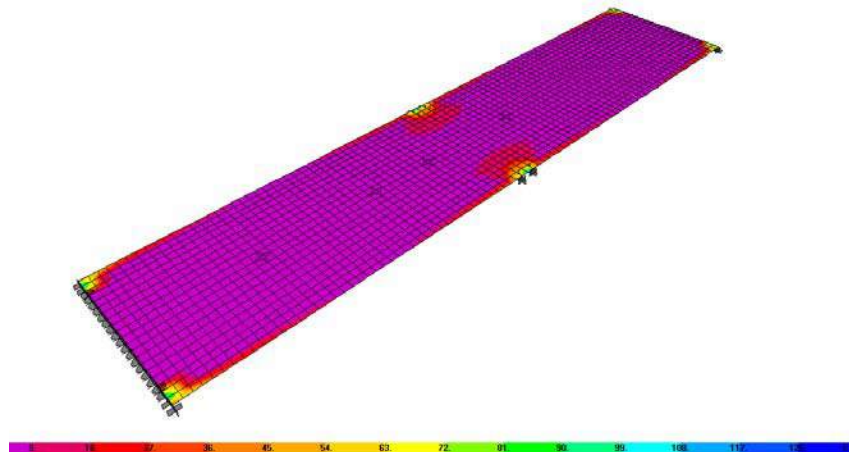


Figura 8.4-26 Distribución de esfuerzos cortantes obtenidas en el modelo (kg/cm^2)

Tabla 8.4-11 Resultados del análisis con carga distribuida

Parámetro	Unidades	Valor Máximo	Valor último	Cumple	Observaciones
Deflexión máxima	cm	0.03	0.30	Ok	L/270
Momento máximo	Kg-cm/cm	9.30	26	Ok	
Esfuerzo de cortante máximo	Kg/cm ²	0.39	2	Ok	Factor 0.7
Esfuerzo máximo a compresión	Kg/cm ²	13.3	300	Ok	Factor 0.85
Esfuerzo máximo a tensión	Kg/cm ²	28.0	30	Ok	Factor 0.85

- (d) Carga viva de diseño: se aplica una carga viva uniformemente distribuida sobre una sola luz correspondiente a 450 kg/m² de superficie del piso. Las Figuras 8.4-27, 8.4-28 y 8.4-29 ilustran respectivamente las deflexiones verticales, la distribución de esfuerzos de flexión y la distribución de esfuerzos cortantes. La Tabla 8.4-12 compara las demandas máximas con los valores admisibles tomados a partir de los resultados de los ensayos experimentales o de límites comúnmente establecidos en la literatura.

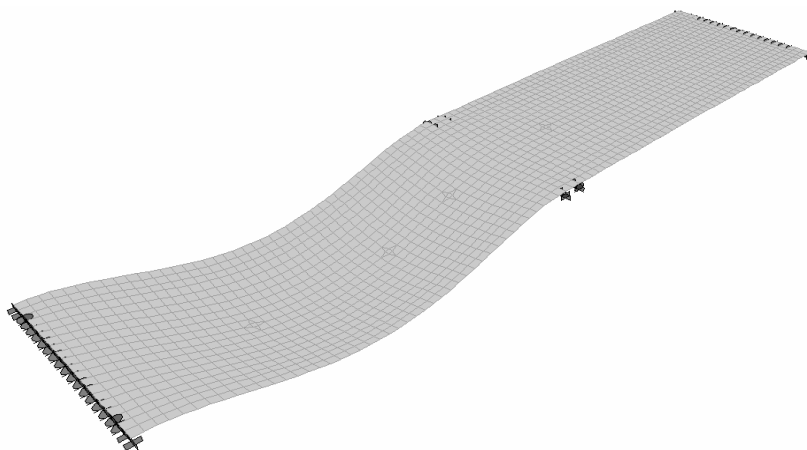


Figura 8.4-27 Deflexiones obtenidas en el modelo

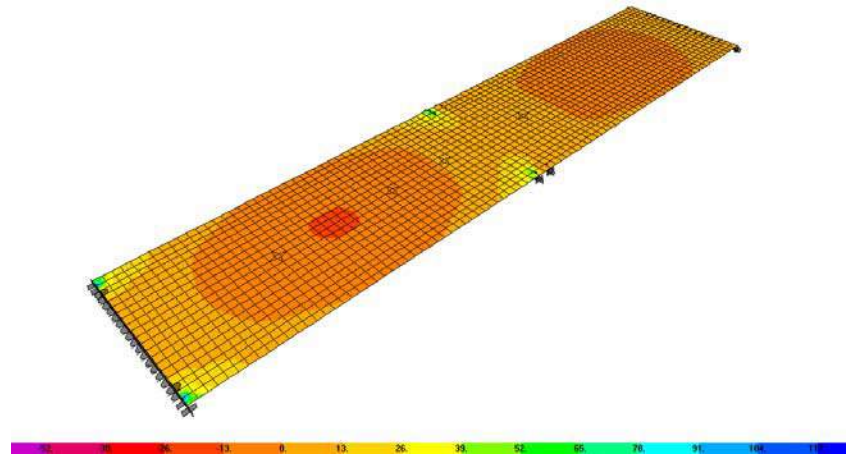


Figura 8.4-28 Distribución de esfuerzos por flexión momentos obtenidos en el modelo (kg/cm²)

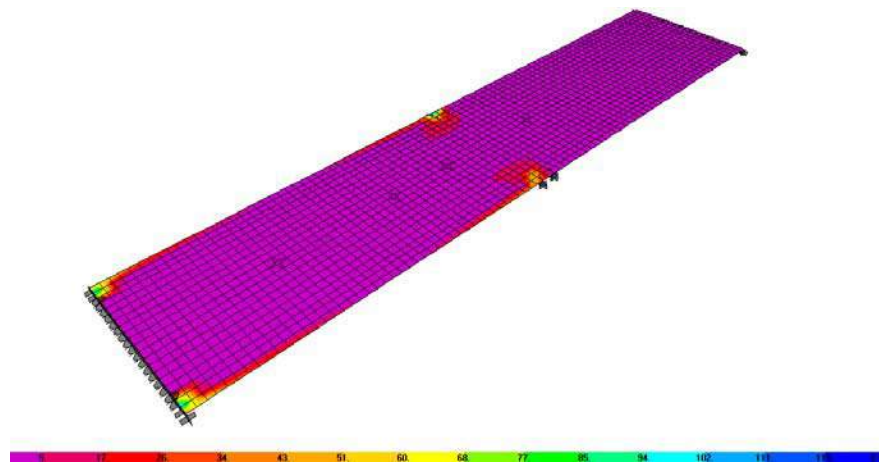


Figura 8.4-29 Distribución de esfuerzos cortantes obtenidas en el modelo (kg/cm²)

Tabla 8.4-12 Resultados del análisis con cargas concentradas

Parámetro	Unidades	Valor Máximo	Valor último	Cumple	Observaciones
Deflexión máxima	cm	0.03	0.30	Ok	L/270
Momento máximo	Kg-cm/cm	9.40	26	Ok	
Esfuerzo de cortante máximo	Kg/cm ²	0.48	2	Ok	Factor 0.7
Esfuerzo máximo a compresión	Kg/cm ²	13.4	300	Ok	Factor 0.85
Esfuerzo máximo a tensión	Kg/cm ²	27.3	30	Ok	Factor 0.85

- (e) Carga viva concentrada de diseño: la carga viva concentrada de diseño corresponde a dos cargas vivas de 100 kg cada una separadas 30 cm en el sentido longitudinal y aplicadas cada una en un área de 5.0x5.0 cm, con un factor de impacto de 1.5. Para el análisis con este tipo de carga se busca la ubicación más desfavorable en términos de esfuerzos de flexión, corte o punzonamiento. La Figura 8.4-30, Figura 8.4-31 y Figura 8.4-32 ilustran respectivamente las deflexiones verticales, la distribución de esfuerzos de flexión y la distribución de esfuerzos cortantes para una de las posiciones críticas de la carga. La Tabla 8.4-13 compara las demandas máximas con los valores admisibles tomados a partir de los resultados de los ensayos experimentales o de límites comúnmente establecidos.

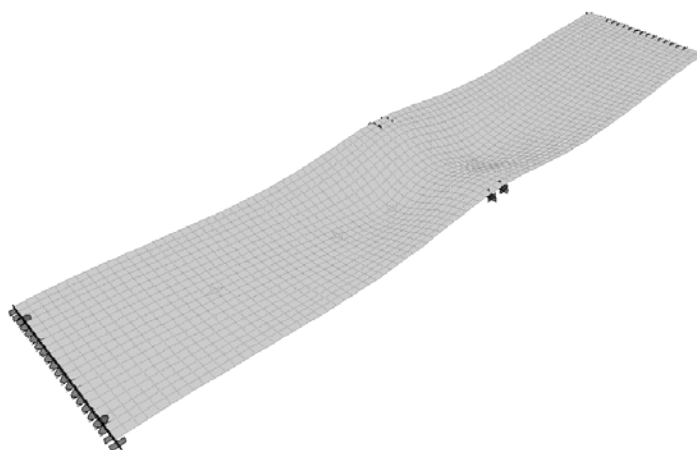


Figura 8.4-30 Deflexiones obtenidas en el modelo

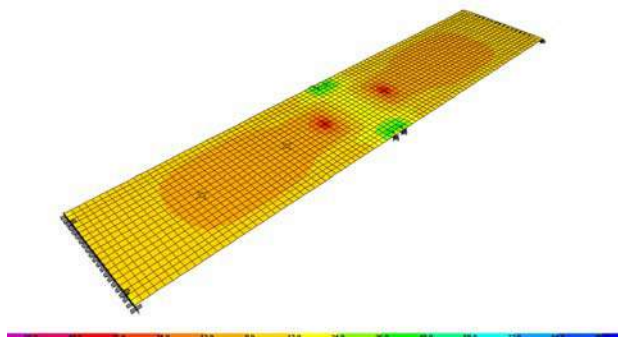


Figura 8.4-31 Distribución de esfuerzos por flexión obtenidos en el modelo (kg/cm²)

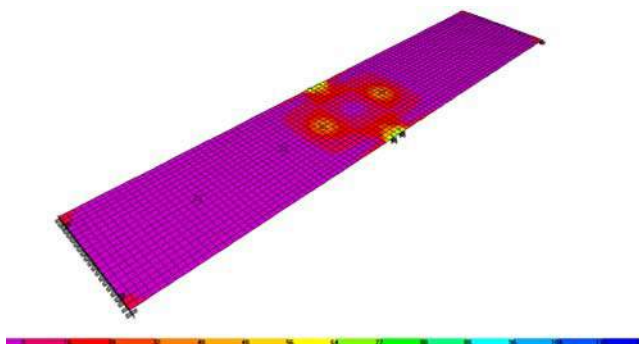


Figura 8.4-32 Distribución de esfuerzos cortantes obtenidas en el modelo (kg/cm²)

Tabla 8.4-13 Resultados del análisis con cargas concentradas

Parámetro	Unidades	Valor Máximo	Valor último	Cumple	Observaciones
Deflexión máxima	cm	0.03	0.30	Ok	L/270
Momento máximo	Kg-cm/cm	24.30	26	Ok	
Esfuerzo de cortante máximo	Kg/cm ²	0.48	2	Ok	Factor 0.7
Esfuerzo máximo a compresión	Kg/cm ²	43.9	300	Ok	Factor 0.85
Esfuerzo máximo a tensión	Kg/cm ²	27.6	30	Ok	Factor 0.85

- (f) Carga viva concentrada de punzonamiento: la carga viva concentrada de punzonamiento se aplica mediante una carga de 100 kg concentrada en un área de 1cm x 1cm, aplicada en el punto donde genere efectos críticos, esta carga se aplica con un factor de impacto de 1.5. La Figura 8.4-33, Figura 8.4-34 y Figura 8.4-35 ilustran respectivamente las deflexiones verticales, la distribución de esfuerzos de flexión y la distribución de esfuerzos cortantes para una de las posiciones críticas de la carga. La Tabla 8.4-14 compara las demandas máximas con los valores admisibles tomados a partir de los resultados de los ensayos experimentales o de límites comúnmente establecidos.

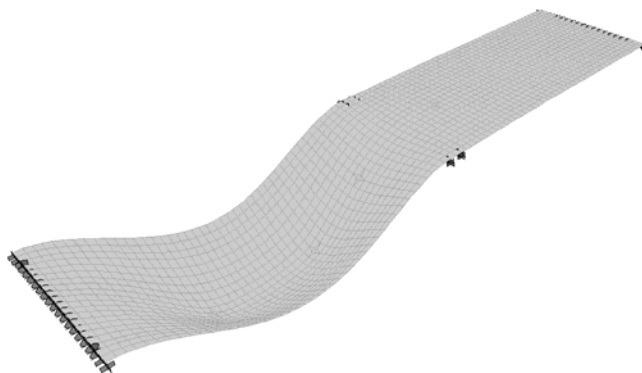


Figura 8.4-33 Deflexiones obtenidas en el modelo

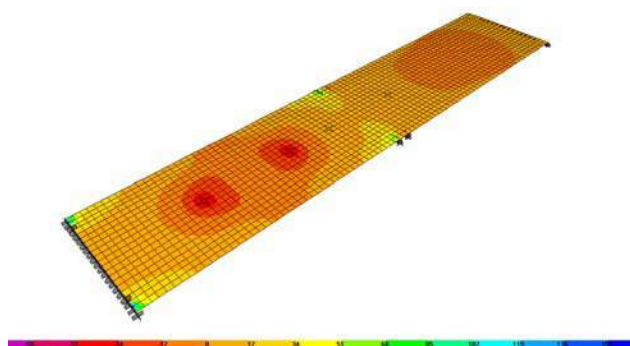


Figura 8.4-34 Distribución de esfuerzos por flexión obtenidos en el modelo (kg/cm²)

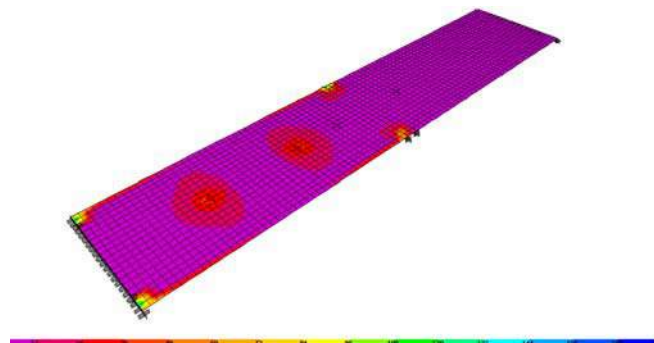


Figura 8.4-35 Distribución de esfuerzos cortantes obtenidas en el modelo (kg/cm²)

Tabla 8.4-14 Resultados del análisis con cargas concentradas

Parámetro	Unidades	Valor Máximo	Valor último	Cumple	Observaciones
Deflexión máxima	cm	0.11	0.30	Ok	L/270
Momento máximo	Kg-cm/cm	25.20	26	Ok	-
Esfuerzo de cortante máximo	Kg/cm ²	0.33	2	Ok	Factor 0.7
Esfuerzo máximo a compresión	Kg/cm ²	54.9	300	Ok	Factor 0.85
Esfuerzo máximo a tensión	Kg/cm ²	27.8	30	Ok	Factor 0.85

(g) Esfuerzo por temperatura, se considera el efecto de un cambio de 20°C en la temperatura del modulo.

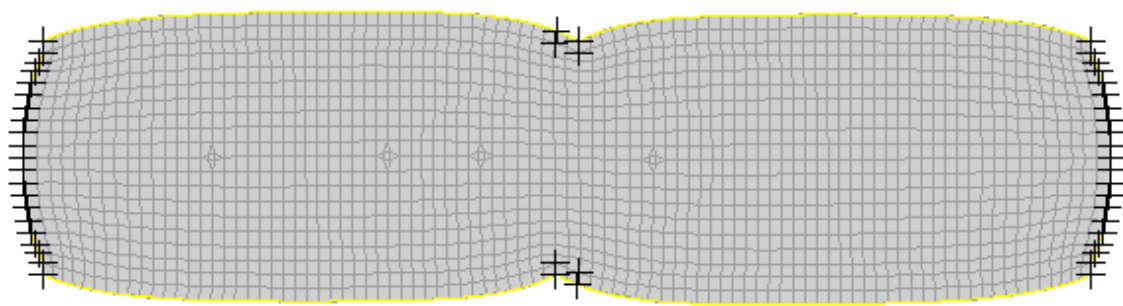


Figura 8.4-36 Deformada por temperatura

Del modelo se obtiene la fuerza actuante sobre cada cordón de soldadura, que para el caso es de 2.2 Ton, inferior al admisible calculado.

$$Pu \leq \phi F_w A_w = 0.75 \frac{60000}{14.2} (0.707 * \frac{1}{4} * 2.54) (1 \frac{1}{2} * 2.54)$$

$$Pu \leq 5.4 \text{ Ton}$$

- (h) Esfuerzos por defectos constructivos, se analiza el efecto sobre el panel de una deformación impuesta de 1 cm, en uno de los puntos de apoyo.

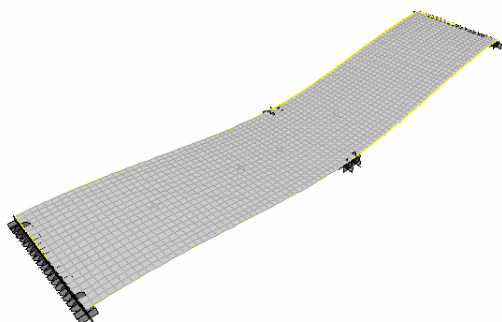


Figura 8.4-37 Deformada por defectos constructivos

Del modelo se obtiene la fuerza actuante sobre cada cordón de soldadura, que para el caso es de 2.1 Ton, inferior al admisible calculado.

$$Pu \leq \phi F_w A_w = 0.75 \frac{60000}{14.2} (0.707 * \frac{1}{4} * 2.54) (1 \frac{1}{2} * 2.54)$$

$$Pu \leq 5.4 \text{ Ton}$$

8.4.5 Verificación de conectores

El sistema de conexión propuesto para los módulos de GRC consiste en cordones de soldadura entre el ángulo perimetral del modulo y las viguetas de soporte.

Los conectores se verifican en las siguientes condiciones:

- (a) El sistema de conexión se ensayó a fatiga y no presentó ningún tipo de problema. Se concluye el sistema de conexión no es susceptible de sufrir fatiga.
- (b) Los conectores se verifican para diferenciales térmicos y para defectos constructivos encontrándose que el sistema propuesto cuenta con la resistencia suficiente para soportar dichos efectos.

8.4.6 Verificación de viguetas de apoyo

Las viguetas de apoyo consistentes en perfiles IPE 120 se verifican para las cargas vivas distribuidas de 450 kg/m² actuando simultáneamente en todo el modulo. La distribución geométrica propuesta y las cargas muertas y vivas imponen las condiciones de deflexiones máximas, momentos y cortantes que se presentan en la Tabla 8.4-15.

Tabla 8.4-15 Resultados verificación viguetas de apoyo

Parámetro	Unidades	Valor Máximo	Valor último	Cumple
Deflexión máxima	cm	0.23	0.74	Ok
Momento máximo	Kg-cm	43338	113313	Ok
Cortante máximo	Kg	9.90	15240	Ok

8.4.7 Procedimiento de instalación

El procedimiento de instalación de los sistemas de pisos de módulos de GRC incluyen los siguientes pasos principales:

- (a) Para una adecuada instalación del sistema de entrepiso, la estructura metálica de soporte principal debe cumplir con todos los requisitos de fabricación, instalación, montaje y control de calidad establecidos en el literal F.2.13 de las NSR-98.

- (b) Se debe presentar para aprobación un plano con la distribución detallada de los módulos de entepiso en los cuales se indique claramente las zonas de apoyo y los puntos específicos de conexión. Especial atención debe darse al cubrimiento de zonas en que se presenten aberturas, cortes, o cambios en la distribución normal supuesta de dos módulos en el ancho de la sección total. La distribución debe considerar la ubicación de las compuertas o escotillas para acceso a la zona inferior. Esta debe ubicarse de manera que se pueda tener acceso desde la parte inferior a cualquier sector del sistema de piso. En casos específicos la distribución de viguetas metálicas de soporte también debe ajustarse o complementarse para permitir la construcción de los detalles requeridos.
- (c) Se debe proceder con la instalación de las viguetas metálicas de soporte según perfil definido y características geométricas establecidas. La instalación debe cumplir con el espaciamiento establecido en los planos de distribución geométrica. Por otro lado la vigueta de soporte debe colocarse a la cota exacta que permite una adecuada instalación de los módulos de GRC de manera que se llegue a la cota de piso terminado establecida. La holgura máxima en variaciones de niveles finales de las viguetas en las cuales se van a apoyar los módulos es de máximo 1 cm.
- (d) Se debe proceder a realizar colocar el modulo y realizar los cordones de soldadura por la parte inferior del módulo
- (e) Se debe iniciar la colocación de módulos desde una de las esquinas de la estación hacia el centro de la misma. Se debe verificar la ubicación definitiva del modulo antes de su utilización. Cada modulo instalado debe sujetarse adecuadamente con todos los conectores establecidos.
- (f) Las conexiones al sistema de soporte de viguetas se realizará mediante cordones de soldadura en filete en toda la longitud de contacto entre ángulos de confinamiento y viguetas de apoyo según se indica en los planos. La soldadura será de $\frac{1}{4}$ " del tipo E70. Para la aplicación de la soldadura se deberá limpiar la zona de contacto con chorro de arena, pulidora o un método manual aprobado. Luego de realizada la soldadura se deberá aplicar la protección contra la corrosión consistente en anticorrosivo epóxico de mínimo 3 mils de espesor y protección final con pintura de acabado de poliuretano de 2 mils de espesor mínimo. Todo el proceso de soldadura y protección estará sujeta a controles y calidad establecida en el Título F de la NSR-98.

8.4.8 Mantenimiento

El mantenimiento de los módulos de GRC incluye aspectos relacionados con mantenimiento por desgaste normal del uso y mantenimiento por daño o afectación local inducida. El intervalo de tiempo entre mantenimientos dependerá del desgaste y deterioro normal de uso que para este sistema se estima en 12 años para las zonas críticas de tránsito.

El mantenimiento por desgaste normal de uso debe realizarse cuando se evidencia una superficie mas lisa de la especificada inicialmente la cual puede incluir algún tipo de afectación o riesgo a los peatones. Para este tipo de afectación el panel no debe evidenciar ningún otro signo de deterioro tal como deflexión excesiva, rotura, grietas, deformaciones locales o cualquier otro, caso en el cual debe recurrirse al mantenimiento por daño o afectación. En el caso de desgaste normal de uso se requiere el siguiente procedimiento:

- (a) Limpieza del modulo.
- (b) Aplicación de sistema de piso en poliuretano-cemento, siguiendo las especificaciones del fabricante.

Con respecto al mantenimiento por daño o afectación local inducida, el procedimiento a seguir es el siguiente:

- (a) Identificar los módulos afectados y que requieren reemplazo. En esto debe evaluarse si la reparación puede llevarse a cabo con el método descrito para desgaste normal de uso o si se requiere un reemplazo completo del modulo.
- (b) Ingresar por la parte inferior y retirar las soldaduras del modulo correspondiente.
- (c) Reinstalar un nuevo modulo con el mismo procedimiento propuesto para la instalación.

8.4.9 Análisis de costos

En el Anexo 11-15 los análisis de precios unitarios para la alternativa de pisos en GRC.

8.5 ALUMINIO CON NUEVA SECCION TRANSVERSAL

8.5.1 Datos generales

El aluminio es el material empleado en la actualidad para los módulos de piso de los puentes y estaciones del sistema transmilenio. En los capítulos 5, 6 y 7 del presente informe se presentan los resultados del diagnóstico del sistema de pisos instalados actualmente. En términos generales las principales deficiencias encontradas en dicho sistema están relacionadas con la sección transversal del módulo de piso y con el sistema de conexión. Por esta razón se plantea un nuevo sistema de piso basado en aluminio estructural al cual se le modificaran la sección transversal y los elementos de conexión a la estructura de soporte. **En el Numeral 8.12.2 se presenta la Alternativa Definitiva para el sistema de piso en aluminio.**

La utilización del aluminio es generalizada en todas las industrias por las ventajas que este metal no ferroso ofrece. A continuación se mencionan algunas de ellas:

1. Buena resistencia a la corrosión
2. Bajo peso.
3. El proceso de fabricación (extrusión), permite crear gran variedad de formas en los perfiles adecuados a las necesidades.
4. Fácil y rápida instalación.

Para las pruebas realizadas en laboratorio se analizaron probetas suministradas por la empresa Vitral.

8.5.2 Descripción general

El sistema propuesto está compuesto por perfiles en aluminio de 135 mm ancho y 40 mm de altura por 4.0 m de longitud, distribuidos transversalmente de la misma manera como se encuentran actualmente en puentes y estaciones. En la Tabla 8.5-1 se presentan las características geométricas del mismo. En la Figura 8.5-1 se presenta la geometría de la sección transversal de un módulo típico.

Tabla 8.5-1 Propiedades geométricas de la sección de aluminio

Propiedad	Unidad	Valor
Ancho [a]	m	0.135
Altura [h]	m	0.04
Longitud (L)	m	4.0
Area en planta [A]	m ²	0.54
Area sección transversal [At]	m ²	0.0006
Densidad	Kg/m ³	2715
Peso por módulo	Kg	6.5
Peso de viguetas	Kg	10.4
Peso por m ²	Kg	22.5

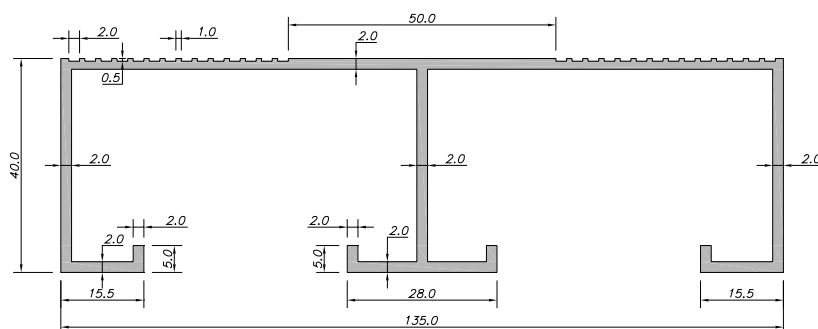


Figura 8.5-1 Sección transversal del perfil de aluminio (dimensiones en mm)

Por otro lado, en las Figuras 8.5-2 a 8.5-5 se presenta una planta general con la orientación de los módulos y los cortes típicos que muestran el sistema de apoyo entre los módulos de aluminio y los perfiles de acero.

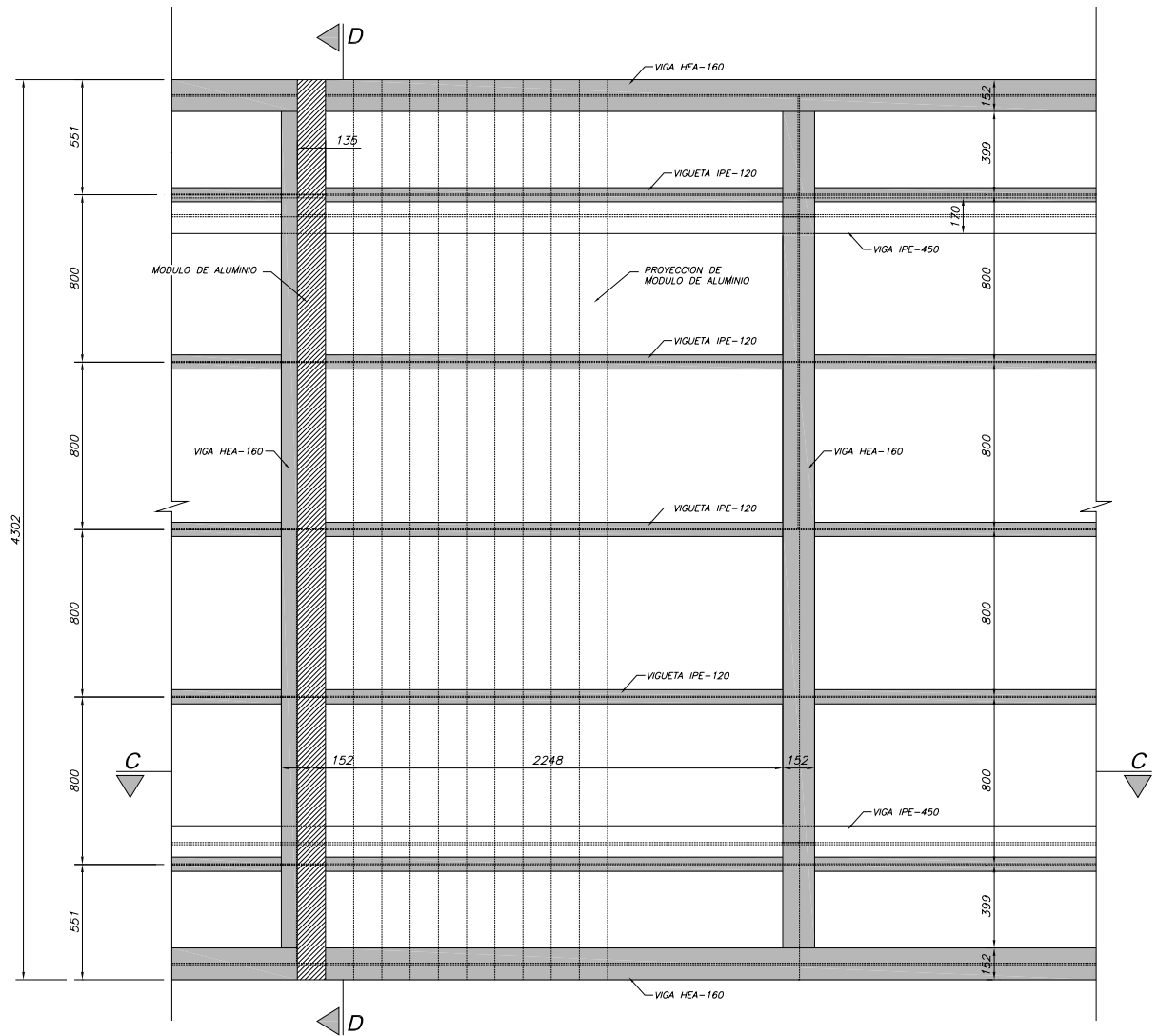


Figura 8.5-2 Distribución de los módulos de aluminio y viguetas en la estación (dimensiones en mm)

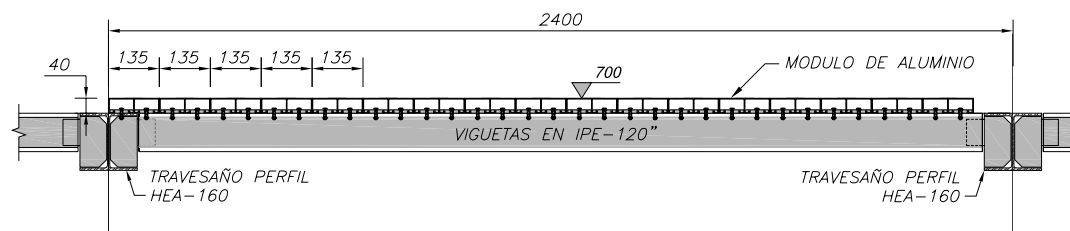


Figura 8.5-3 Corte C-C Distribución de los módulos de aluminio y viguetas en la estación (dimensiones en mm)

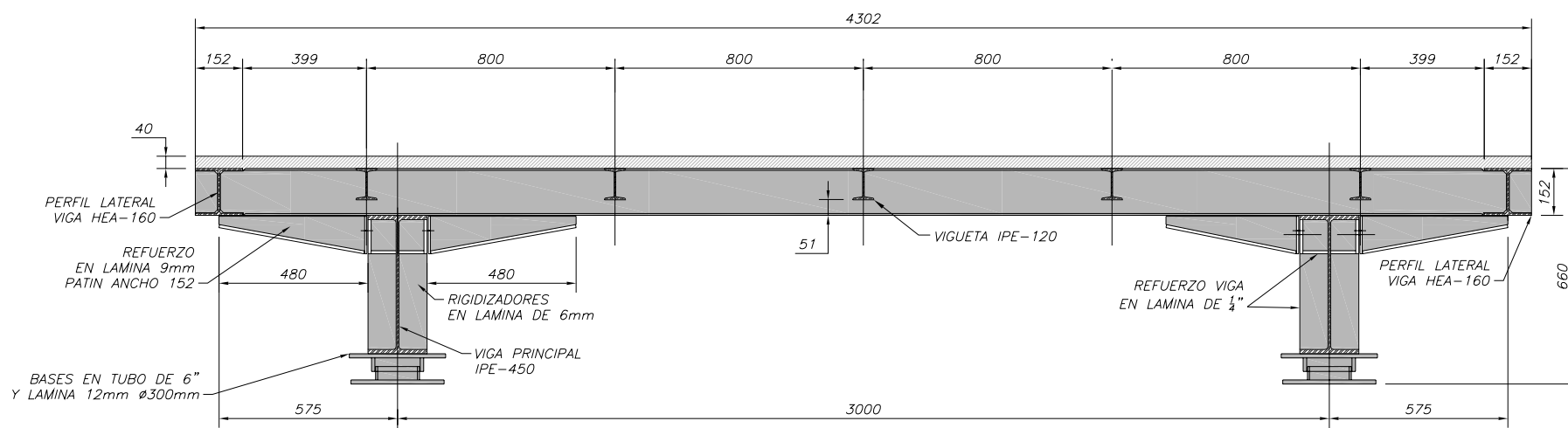


Figura 8.5-4 Corte D-D Distribución de los módulos y viguetas de aluminio en la estación (dimensiones en mm)

Nota: TFP = terminado final de piso. La cota debe definirse según criterio de funcionamiento. Con base en esta deben definirse la ubicación de todos los demás elementos estructurales

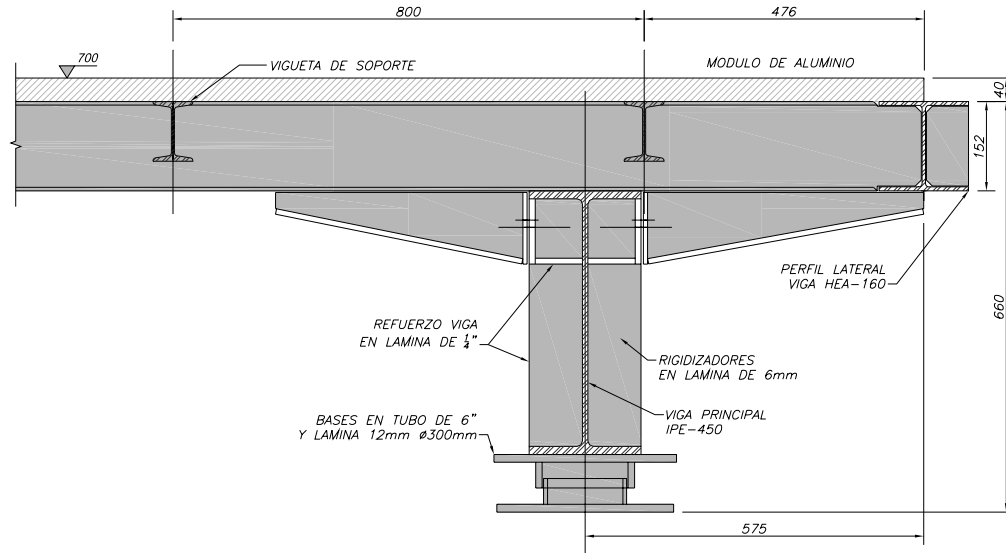


Figura 8.5-5 Detalle perimetral sistema de apoyo (dimensiones en mm)

Por otro lado las Figura 8.3-8 y 8.5-7 presenta los detalles del sistema de conexión propuesto.

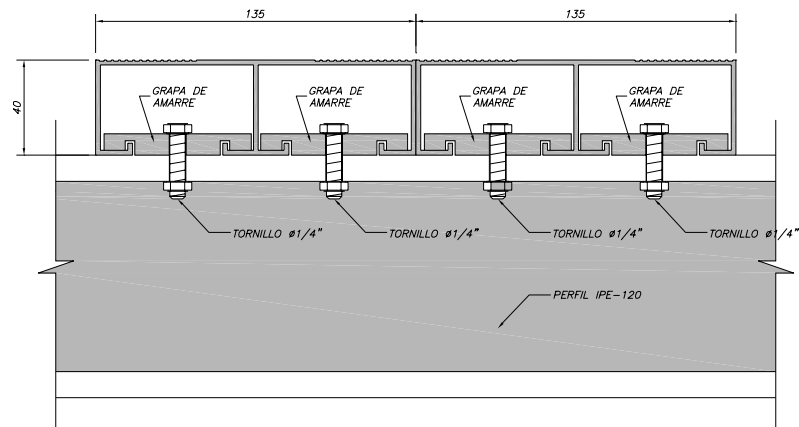


Figura 8.5-6 Detalle sistema de conexión (dimensiones en mm)

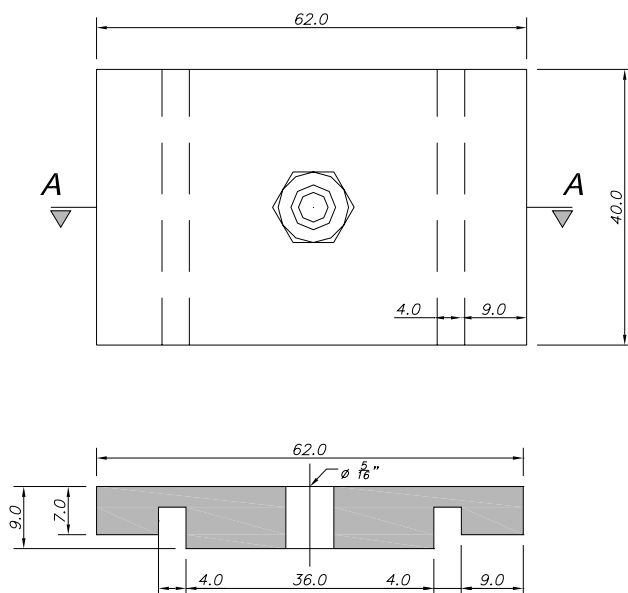


Figura 8.5-7 Detalle de la grapa de amarre (dimensiones en mm)

8.5.3 Comportamiento experimental

La caracterización de los materiales utilizados en la fabricación de los pisos en aluminio se presentan en el capítulo 6. En la Tabla 8.2-2 se resumen los ensayos realizados al módulo de piso en aluminio. En el Anexo 11-16 se presentan los informes de los ensayos realizados cuyos resultados se explican a continuación.

Tabla 8.5-2 Ensayos realizados a módulos de aluminio

Ensayo No	Ensayo	Cantidad
1	Ensayo de Flexión	1
2	Fatiga	1
3	Medición de ruido	1

8.5.3.1 Ensayo de flexión

Estos ensayos se adelantan con el fin de caracterizar el comportamiento a flexión en términos de rigidez, flexibilidad de los perfiles y resistencia de dichos elementos. El ensayo permite realizar una calibración inicial de los modelos de análisis en términos de flexibilidad y capacidad a flexión y aporta información valiosa sobre propiedades mecánicas.

La longitud de la luz libre de ensayo es de 80 cm. La carga se aplica mediante dos cargas concentradas centradas en el centro de la luz con el fin de tener momento constante sin cortante en la zona central de la viga. Se registra simultáneamente la carga aplicada mediante una celda de carga, y la deformación mediante un LVDT colocado en el centro de la luz (Ver Figura 8.5-8). Mediante el desarrollo de los ensayos se determina experimentalmente la rigidez de la probeta a flexión, así como el esfuerzo flector máximo resistente y la curva típica carga-deflexión bajo efectos de flexión. Por no tratarse de un ensayo convencional se utiliza como referencia la metodología equivalente propuesta en la norma ASTM C78 para ensayo a flexión de vigas de concreto.

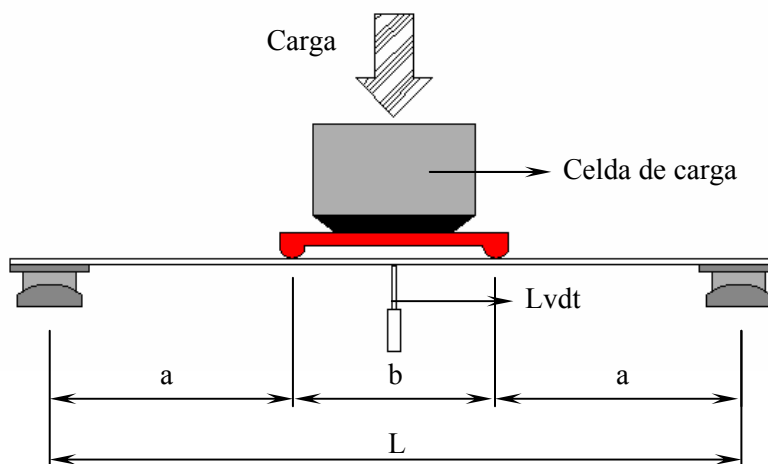


Figura 8.5-8 Esquema de ensayo a flexión de láminas

La Figura 8.5-9 y Figura 8.5-10 presentan las curvas carga-deflexión obtenidas en los ensayos realizados.

La Tabla 8.5-3 resume los parámetros obtenidos, incluyendo para cada probeta ensayada la carga máxima, el momento máximo y la forma o mecanismo de falla.

Tabla 8.5-3 Resultados ensayos de flexión

Probeta	Luz del Ensayo [cm]	a [cm]	b [cm]	Carga Máxima [kg]	Momento Máximo [kg-cm]	Elemento	Mecanismo de Falla
P1	80	25	30	1450	18124	Módulo	Punzonamiento

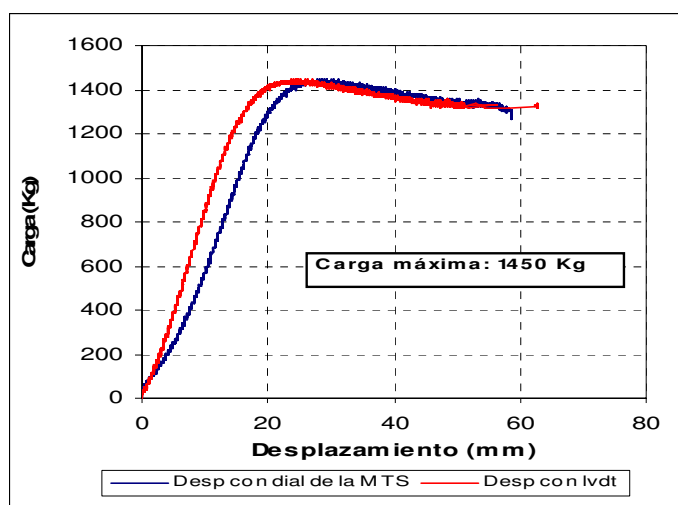


Figura 8.5-9 Curvas de carga vs. desplazamiento en el centro de la luz

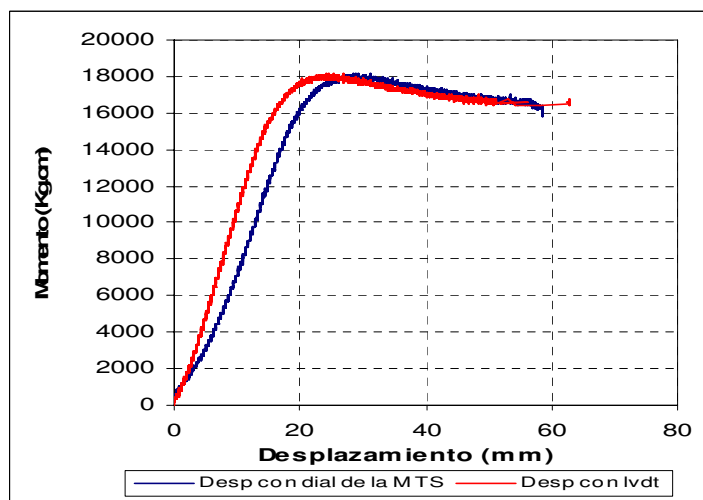


Figura 8.5-10 Curvas de momento vs. desplazamiento en el centro de la luz

8.5.3.2 Ensayo de fatiga

Se adelanta un ensayo de fatiga en las mismas condiciones que las explicadas en el numeral 6.3.4. La Figura 8.3-17 ilustra las características del montaje realizado.



Figura 8.5-11 Montaje para ensayo de fatiga de Aluminio

Durante el ensayo de fatiga realizado se aplicaron un total de 2189 ciclos completos del espectro de equivalentes a 6.0 años de trabajo en condiciones de tránsito peatonal crítico y condiciones ideales de instalación. La probeta de ensayo falló por punzonamiento en las zona el la cual se aplicó la carga. En la Figura 8.5-12 se presenta la grafica de N° de ciclos Vs deformación para el ensayo de fatiga de los pisos en Aluminio.

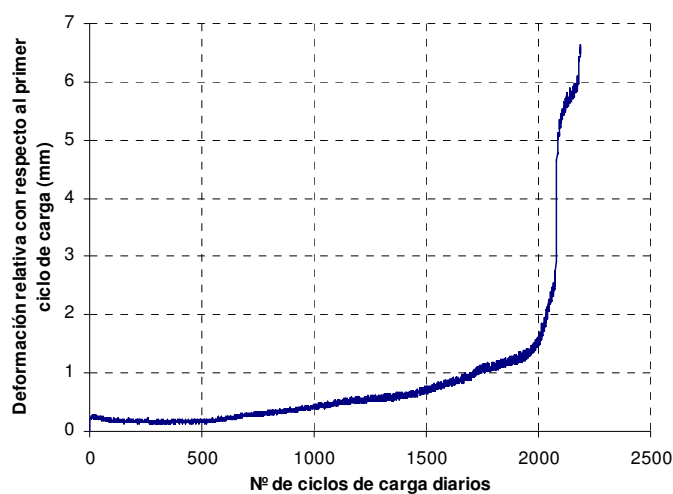


Figura 8.5-12 Curva deflexión Vs No de ciclos ensayo de fatiga de aluminio

8.5.3.3 Ensayo de medición de ruido generado

Siguiendo el procedimiento descrito para medición de ruido explicado en el numeral 6.3.5, se adelantaron los ensayos correspondientes para el modulo instalado sobre las viguetas de apoyo. Se realizaron los análisis de ruido para las siguientes condiciones de carga:

1. Medición ambiental.
2. Persona caminando.
3. Carga de impacto (13 Kg desde 1.10 m de altura)

En las Figura 8.4-20, Figura 8.5-14 y Figura 8.5-15 se presentan las fotografías de realización del ensayo para cada una de las condiciones de cargas. Los resultados de los ensayos de ruido se presentan en la Tabla 8.3-6.



Figura 8.5-13 Medición de ruido condición No 1



Figura 8.5-14 Medición de ruido condición No 2



Figura 8.5-15 Medición de ruido condición No 3

Tabla 8.5-4 Resultados de ensayos de medición de ruido

Medicion	Nivel de ruido [dB]		
	Condicion 1	Condicion 2	Condicion 3
1	72.4	81.6	97.7
2	71.8	78.4	98.8
3	71.9	80.6	96.8
Promedio	72.0	80.2	97.8
Ruido generado	0.0	8.2	25.7

Para este sistema de piso se obtuvieron en los niveles máximos de ruido del orden de los 8.2 y 25.7 dB para las condiciones de personas caminando y carga de impacto respectivamente. Estos valores pueden compararse con los valores correspondientes a los sistemas de piso en láminas de aluminio actualmente instalados que dan valores de 23 y 53 dB respectivamente.

8.5.3.4 Resumen de propiedades básicas

Por otro lado la Tabla 8.5-5 presenta un resumen de las propiedades y parámetros básicos del material aluminio obtenidos de fuentes proporcionadas por el fabricante o de ensayos de laboratorio realizados.

Tabla 8.5-5 Propiedades y parámetros básicos del material aluminio

Propiedad	Unidad	Valor	Fuente
Densidad	g/cm ³	2.7	Laboratorio
Modulo de Poisson		0.33	Literatura
Modulo de elasticidad	MPa	69160	Laboratorio
Temperatura de fusion	°C	658	Literatura
Coficiente de dilatación lineal entre 20° y 100 °		23 x 10-6	Literatura
Conductividad térmica Cal c/c2 seg°C a 20°C		0.52	Literatura

8.5.4 Verificaciones de diseño

A continuación se presentan las verificaciones de diseño para las diferentes condiciones de carga.

- (a) Modelo analítico: la Figura 8.5-16 presenta el modelo analítico desarrollado para el análisis de esfuerzos y deformaciones en el sistema propuesto. El modelo está conformado por un total de 825 elementos finitos tipo shell. Los apoyos se representan mediante restricciones simples al desplazamiento en las zonas de contacto con las viguetas de apoyo. Las propiedades de análisis utilizadas son las indicadas anteriormente.

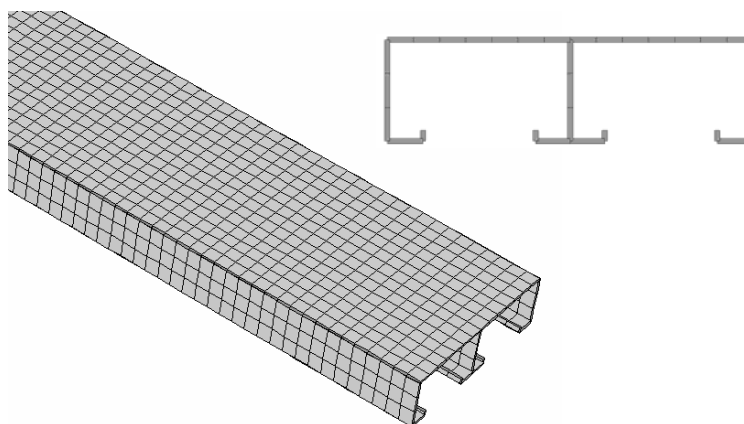


Figura 8.5-16 Modelo tridimensional

- (b) Carga viva de diseño: se aplica una carga viva uniformemente distribuida correspondiente a 450 Kg/m^2 de superficie del piso. Las Figura 8.4-24, Figura 8.5-18 y Figura 8.5-19 ilustran respectivamente las deflexiones verticales, la distribución de esfuerzos de flexión y la distribución de esfuerzos cortantes. La Tabla 8.5-6 compara las demandas máximas con los valores admisibles tomados a partir de los resultados de los ensayos experimentales o de límites comúnmente establecidos en la literatura.

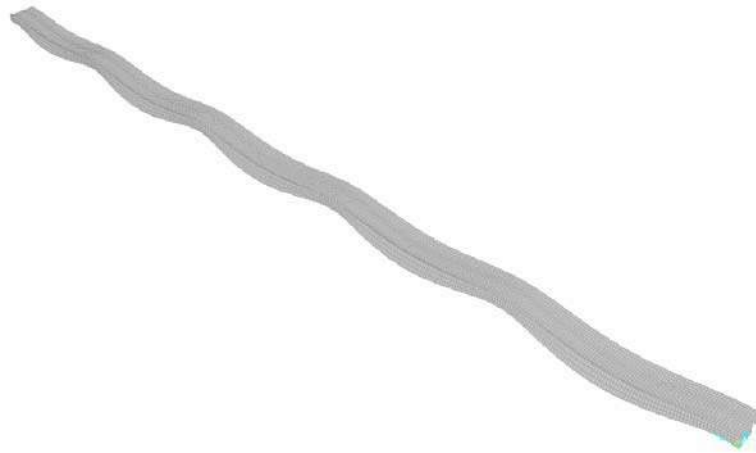


Figura 8.5-17 Deflexiones obtenidas en el modelo

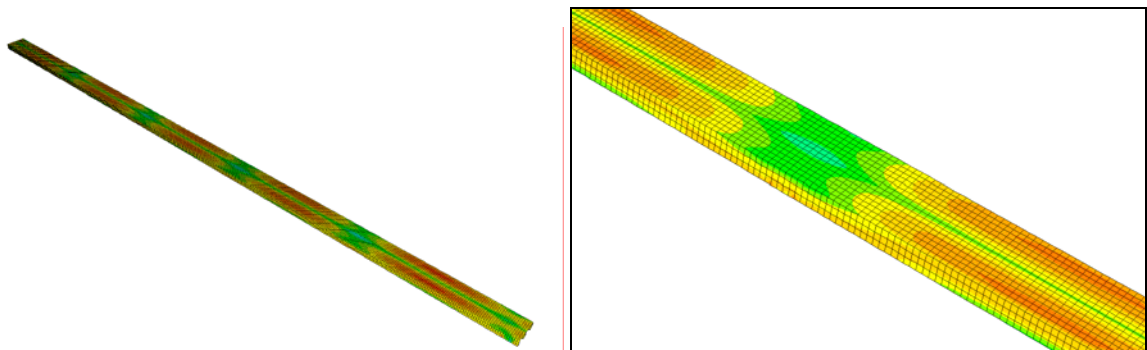


Figura 8.5-18 Distribución de esfuerzos por flexión obtenidos en el modelo (Kg/mm^2)

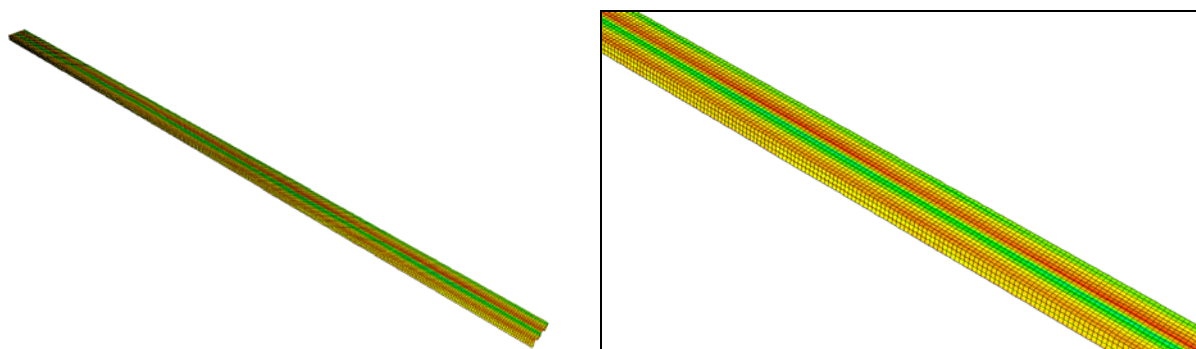


Figura 8.5-19 Distribución de esfuerzos cortantes obtenidas en el modelo (Kg/mm²)

Tabla 8.5-6 Resultados del análisis con carga distribuida

Parámetro	Unidades	Valor Máximo	Valor último	Cumple	Observaciones
Deflexión máxima	mm	0.17	2.96	Ok	L/270
Momento máximo	Kg-mm/mm	0.35	13	Ok	
Esfuerzo de cortante máximo	Kg/mm ²	0.02	15	Ok	NSR98 F.7
Esfuerzo máximo a compresión	Kg/mm ²	0.8	24	Ok	NSR98 F.7
Esfuerzo máximo a tensión	Kg/mm ²	0.5	24	Ok	NSR98 F.7

- (c) Carga viva concentrada de diseño: la carga viva concentrada de diseño corresponde a dos cargas vivas de 100 kg cada una separadas 30 cm en el sentido longitudinal, cada una aplicada en un área de 5.0x5.0cm, con un factor de impacto de 1.5. Para el análisis con este tipo de carga se busca la ubicación más desfavorable en términos de esfuerzos de flexión, corte o punzonamiento. Las Figura 8.4-27, Figura 8.5-21 y Figura 8.5-22 ilustran respectivamente las deflexiones verticales, la distribución de esfuerzos de flexión y la distribución de esfuerzos cortantes para una de las posiciones críticas de la carga. La Tabla 8.5-7 compara las demandas máximas con los valores admisibles tomados a partir de los resultados de los ensayos experimentales o de límites comúnmente establecidos.

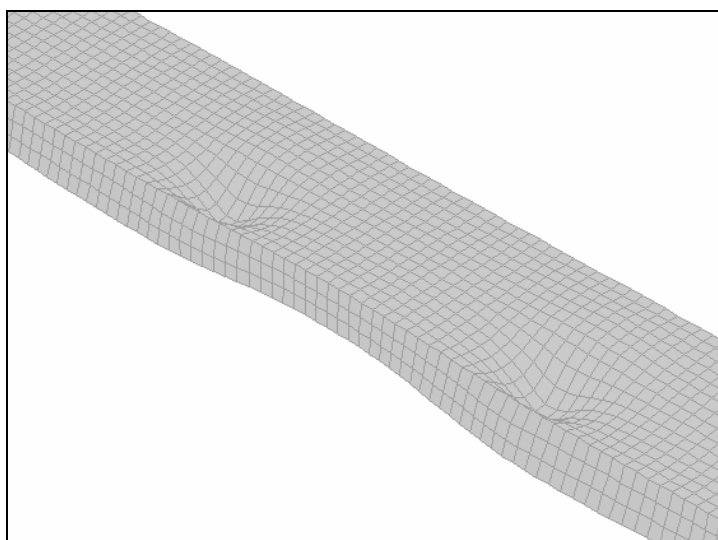
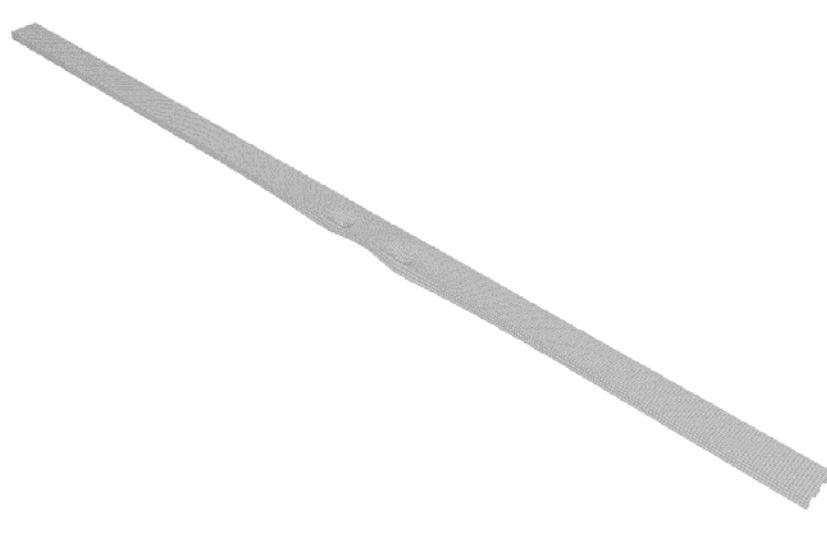


Figura 8.5-20 Deflexiones obtenidas en el modelo

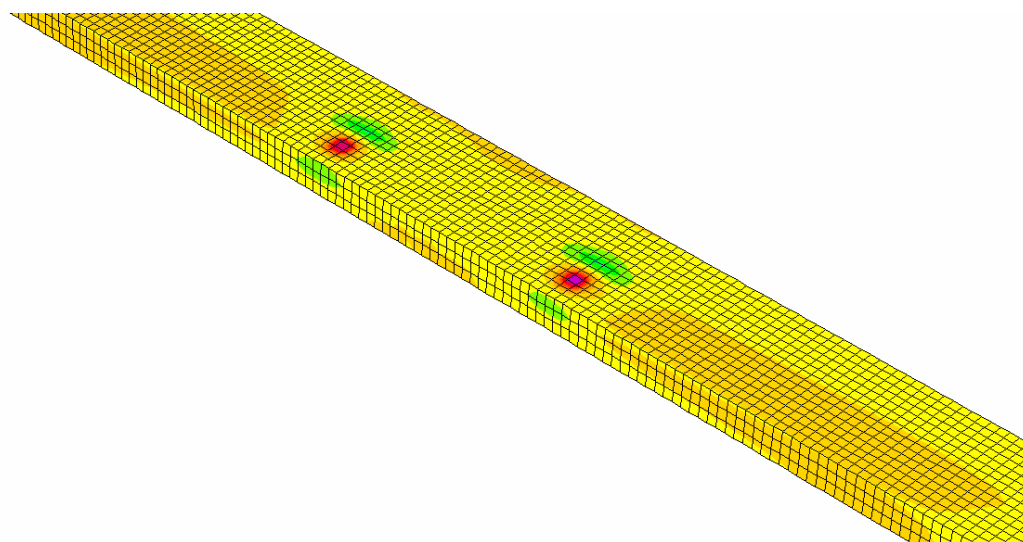


Figura 8.5-21 Distribución de esfuerzos por flexión obtenidos en el modelo (kg/mm²)

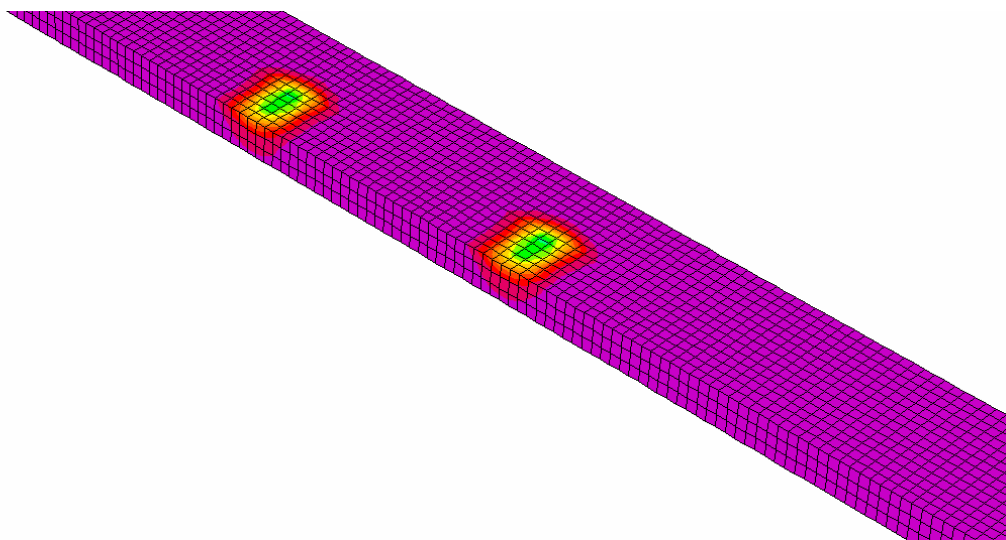


Figura 8.5-22 Distribución de esfuerzos cortantes obtenidas en el modelo (kg/mm²)

Tabla 8.5-7 Resultados del análisis con cargas concentradas

Parámetro	Unidades	Valor Máximo	Valor último	Cumple	Observaciones
Deflexión máxima	mm	2.50	2.96	Ok	L/270
Momento máximo	Kg-mm/mm	46.00	13	No Cumple	
Esfuerzo de cortante máximo	Kg/mm ²	1.25	15	Ok	NSR98 F.7
Esfuerzo máximo a compresión	Kg/mm ²	23.8	24	Ok	NSR98 F.7
Esfuerzo máximo a tensión	Kg/mm ²	48.0	24	No Cumple	NSR98 F.7

- (d) Carga viva concentrada de punzonamiento: la carga viva concentrada de punzonamiento corresponde a una carga viva de 100 kg aplicada en un área de 1.0 cm x 1.0 cm, con un factor de impacto de 1.5. Para el análisis con este tipo de carga se busca la ubicación más desfavorable en términos de esfuerzos de flexión, corte o punzonamiento. La Tabla 8.5-8 compara las demandas máximas con los valores admisibles tomados a partir de los resultados de los ensayos experimentales o de límites comúnmente establecidos.

Tabla 8.5-8 Resultados del análisis con carga de punzonamiento

Parámetro	Unidades	Valor Máximo	Valor último	Cumple	Observaciones
Deflexión máxima	mm	1.87	2.96	Ok	L/270
Momento máximo	Kg-mm/mm	21.30	13	No Cumple	
Esfuerzo de cortante máximo	Kg/mm ²	1.20	15	Ok	NSR98 F.7
Esfuerzo máximo a compresión	Kg/mm ²	25.4	24	No Cumple	NSR98 F.7
Esfuerzo máximo a tensión	Kg/mm ²	44.0	24	No Cumple	NSR98 F.7

- (e) Defectos constructivos: se analizó el efecto sobre la lámina de una deformación de 1.0 cm impuesta en uno de los apoyos (Ver Figura 8.5-23).

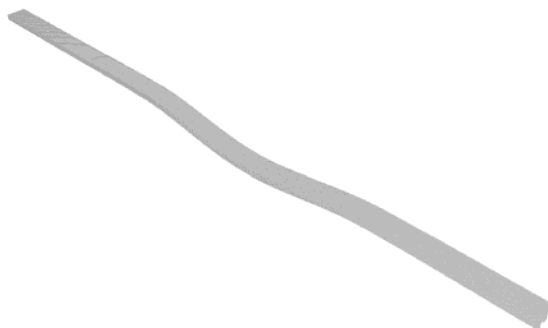


Figura 8.5-23 Deformada por defectos constructivos

Del análisis anterior se obtiene que la fuerza producida en un apoyo es del orden de 2.2 Ton, inferior a la capacidad de la conexión 3.2 Ton con pernos de ½” y $F_y=4200\text{kg/cm}^2$.

- (f) Cambios térmicos: se modeló el efecto de un cambio en la temperatura de 20°C (Ver Figura 8.5-24).

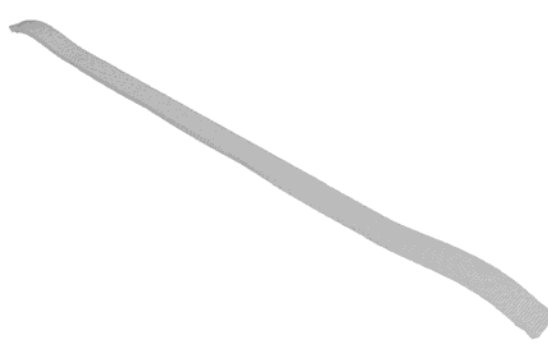


Figura 8.5-24 Deformada por cambios térmicos

Del análisis anterior se tiene la fuerza desarrollada por los apoyos que para el caso es de 1.9 Ton, la cual es inferior a la capacidad de la conexión.

- (g) Análisis por fatiga: se le impuso a la lámina el mismo espectro de carga usado previamente en los perfiles de aluminio y se realizó el análisis de la zona que presentó la falla (Ver Figura 8.5-25).

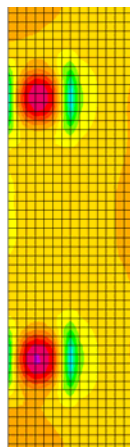


Figura 8.5-25 Esfuerzos máximos en la lámina por la carga del análisis a la fatiga (kg/mm^2)

Siguiendo la metodología presentada en la NSR-98 y trabajada en la caracterización de los perfiles de aluminio actualmente en uso, se obtiene que el perfil estudiado presenta una vida de diseño para que se comiencen a generar las primeras fisuras de 1.2 años, la cual se puede comparar en la gráfica del ensayo de fatiga (Ver Figura 8.5-12) con el punto en el cual se presenta un cambio en la pendiente, donde la rigidez de la lámina comienza a degradarse (500 ciclos, 1.37 años).

Para el análisis de vida útil media (no la de diseño que involucra el factor de seguridad mencionado) se puede suponer tal como lo establece la NSR-98 en el apéndice F.7-J que de la curva correspondiente a valores medios de fatiga está aproximadamente un 30% por encima de la diseño. Para hacer este análisis se toman entonces esfuerzos un 30% inferiores a los correspondientes al diseño y se repite el ejercicio con la misma curva de fatiga. Con esta metodología se puede llegar a un estimativo de la vida útil promedio (y no de diseño) que es un dato más aproximado a lo que se llegaría en la realidad. Para el presente caso el análisis indica que para el perfil analizado la vida útil media (V_n) sería del orden de los 5 años y 7 meses, comparables con los 2000 ciclos (5 años y 6 meses) en los que la lámina pierde de manera importante su rigidez, y no presenta ninguna capacidad de soportar carga.

Tabla 8.5-9 Cálculo de la vida útil

Nivel	Δ Esfuerzo kg/mm ²	n	N	n/N
1	9.4	150	9.00E+04	1.67E-03
2	4.7	550	7.00E+05	7.86E-04
3	3.29	800	1.00E+10	8.00E-08
4	2.35	2500	1.00E+10	2.50E-07
5	1.65	2500	1.00E+10	2.50E-07

8.5.5 Verificación de conectores

El sistema de conexión propuesto para los módulos de aluminio consiste en grapas en aluminio de amarre conectadas a la estructura de soporte mediante pernos de 1/4" de diámetro. Se ensayó a fatiga y no presentó ningún tipo de problema. Se concluye el sistema de conexión no es susceptible de sufrir fatiga.

8.5.6 Verificación de viguetas de apoyo

Las viguetas de apoyo consistentes en perfiles IPE 120 se verifican para las cargas vivas distribuidas de 450 Kg/m² actuando simultáneamente en todo el módulo. La distribución geométrica propuesta y las cargas muertas y vivas imponen las condiciones de deflexiones máximas, momentos y cortantes que se presentan en la Tabla 8.5-10.

Tabla 8.5-10 Resultados verificación viguetas de apoyo

Parámetro	Unidades	Valor Máximo	Valor último	Cumple
Deflexión máxima	cm	0.03	0.74	Ok
Momento máximo	Kg-cm	35062	79871	Ok
Cortante máximo	Kg	20.30	17146	Ok

8.5.7 Procedimiento de instalación

El procedimiento de instalación de los sistemas de pisos en aluminio incluyen los siguientes pasos principales:

1. Para una adecuada instalación del sistema de entrepiso, la estructura metálica de soporte principal debe cumplir con todos los requisitos de fabricación, instalación, montaje y control de calidad establecidos en el literal F.2.13 de las NSR-98.
2. Se debe presentar para aprobación un plano con la distribución detallada de los módulos de entrepiso en los cuales se indique claramente las zonas de apoyo y los puntos específicos de conexión. Especial atención debe darse al cubrimiento de zonas en que se presenten aberturas, cortes, o cambios en la distribución normal supuesta de dos módulos en el ancho de la sección total. La distribución debe considerar la ubicación de las compuertas o escotillas para acceso a la zona inferior. Esta debe ubicarse de manera que se pueda tener acceso desde la parte inferior a cualquier sector del sistema de piso. En casos específicos la distribución de viguetas metálicas de soporte también debe ajustarse o complementarse para permitir la construcción de los detalles requeridos.
3. Se debe proceder con la instalación de las viguetas metálicas de soporte según perfil definido y características geométricas establecidas. La instalación debe cumplir con el espaciamiento establecido en los planos de distribución geométrica. Por otro lado la vigueta de soporte debe colocarse a la cota exacta que permite una adecuada instalación de los módulos de piso en aluminio de manera que se llegue a la cota de piso terminado establecida. La holgura máxima en variaciones de niveles finales de las viguetas en las cuales se van a apoyar los módulos es de máximo 1 mm.
4. Se debe proceder a realizar las perforaciones en las aletas de las viguetas metálicas de soporte que coincidan con los puntos establecidos en los planos. En total se estiman 12 tornillos para cada uno de los módulos de 4.0 m de longitud en las condiciones típicas y conectores adicionales donde se requiera de manera específica. Las perforaciones deben realizarse en el centro de las aletas de los perfiles. No se permiten perforaciones a menos de 2 cm del borde de la aleta del perfil.
5. Se debe iniciar la colocación de módulos desde una de las esquinas de la estación hacia el centro de la misma. Se debe verificar la ubicación definitiva del módulo antes de su utilización. Cada módulo instalado debe sujetarse adecuadamente con todos los conectores establecidos.
6. Para las conexiones se deben utilizar tornillos con tuerca. Estos deben instalarse únicamente en los sitios identificados en los planos. Las perforaciones deben realizarse en dirección vertical de abajo hacia arriba. No se aceptan tornillos con inclinaciones de más de 20 grados con la vertical. Los tornillos deben penetrar en su totalidad. No se permite retirar un tornillo

para volverlo a colocar en otro sitio. En dicho caso será necesario realizar otra perforación contigua en el perfil a una distancia libre de no menos de 1 cm de la anterior. En caso de requerir de más de tres perforaciones adicionales a las inicialmente previstas deberá reemplazarse el módulo por uno nuevo. El módulo con las perforaciones no exitosas podrá reutilizarse previo tratamiento de las zonas afectadas.

8.5.8 Mantenimiento

El mantenimiento de los módulos de aluminio incluye aspectos relacionados con mantenimiento por desgaste normal del uso y mantenimiento por daño o afectación local inducida. El intervalo de tiempo entre mantenimientos dependerá del desgaste y deterioro normal de uso que para este sistema se estima en 3 años para las zonas críticas de tránsito.

El mantenimiento por desgaste normal de uso debe realizarse cuando se evidencia una superficie mas lisa de la especificada inicialmente la cual puede incluir algún tipo de afectación o riesgo a los peatones. Para este tipo de afectación el panel no debe evidenciar ningún otro signo de deterioro tal como deflexión excesiva, rotura, grietas, deformaciones locales o cualquier otro, caso en el cual debe recurrirse al mantenimiento por daño o afectación.

Con respecto al mantenimiento por daño o afectación local inducida, el procedimiento a seguir es el siguiente:

- (a) Identificar los módulos afectados y que requieren reemplazo. En esto debe evaluarse si la reparación puede llevarse a cabo con el método descrito para desgaste normal de uso o si se requiere un reemplazo completo del modulo.
- (b) Ingresar por la parte inferior y retirar los tornillos del modulo correspondiente.
- (c) Instalar un nuevo modulo con el mismo procedimiento propuesto para la instalación.

8.5.9 Análisis de costos

En el Anexo 11-17 se presentan los análisis de precios unitarios para la alternativa de pisos en aluminio.

8.6 REJILLAS METÁLICAS

8.6.1 Datos generales

Las rejillas metálicas consisten en un entramado de láminas de acero conformado por elementos portantes en el sentido longitudinal y elementos transversales que funcionan como platinas de amarre o riostras. Como superficie de acabado lleva una malla en acero. A todo el módulo de piso se le aplica un acabado con galvanizado en caliente.

El material presenta las siguientes ventajas:

- (d) Permite el manejo de formas complejas.
- (e) Se pueden fabricar los módulos sobre medida, con diferentes espesores y alturas.
- (f) Fácil y rápida instalación.

Los módulos se puede fabricar en diferentes modulaciones con longitudes máximas de 6.0 m y 1.5 m de ancho. En las pruebas realizadas en laboratorio se analizaron probetas suministradas por la empresa Colombiana de rejilla Ltda., Colrejillas.

8.6.2 Descripción general

El sistema propuesto está compuesto por módulos de 1.2 m x 1.0 m conformados por elementos portantes de 30 mm de altura y 5 mm de espesor separados 30 mm y platinas de amarre o riostras de 20 mm de altura y 5 mm de espesor separados 100 mm. Con las platinas portantes se conforma un entramado el cual lleva soldadura en cada uno de los puntos de conexión. A este entramado se le adicionan las platinas de amarre soldadas. En la parte superior del entramado se adiciona una malla en acero de espesor 3 mm y con separaciones en el sentido longitudinal de 10 mm y en el sentido transversal de 7 mm. En la Figura 8.6-1 se presenta la vista en planta de un módulo típico.

Cada módulo se encuentra apoyado sobre perfiles metálicos (viguetas de apoyo) IPE-120 que van soportadas en vigas HEA-160 que a su vez conforman la estructura principal de la estación o puente. La conexión entre el sistema de rejillas y los perfiles en acero es mediante soldadura en los puntos de contacto de cada una de las esquinas del módulo y viguetas de apoyo.

Tabla 8.6-1 Propiedades geométricas del módulo de piso en rejillas metálicas.

Propiedad	Unidad	Valor
Ancho [a]	m	1.2
Altura [h]	m	0.03
Longitud (L)	m	1.0
Area en planta [A]	m ²	1.2
Area sección transversal [At]	m ²	0.0066
Densidad	Kg/m ³	7850
Peso por módulo	Kg	70
Peso de viguetas	Kg	10.4
Peso por m ²	Kg	68.7

En la Figura 8.6-1 se presenta la vista en planta de un módulo típico y la Figura 8.6-2 y Figura 8.6-3 presentan los cortes longitudinales y transversales correspondientes.

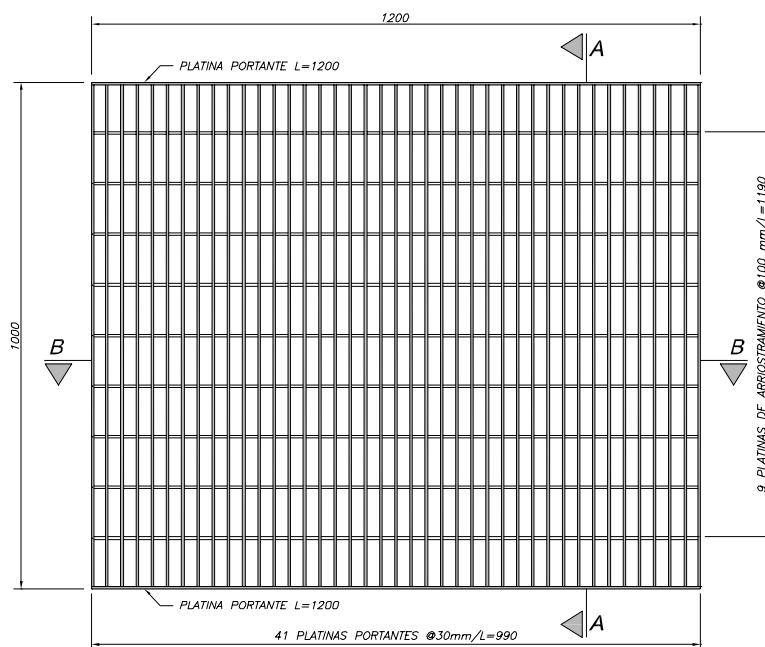


Figura 8.6-1 Planta superior sistema de pisos en rejillas metálicas (dimensiones en mm)

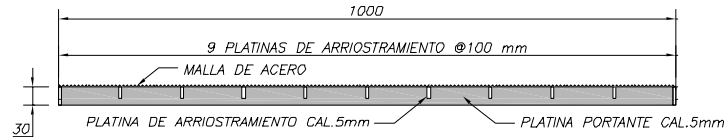


Figura 8.6-2 Corte A-A Sistema de rejillas metálicas (dimensiones en mm)

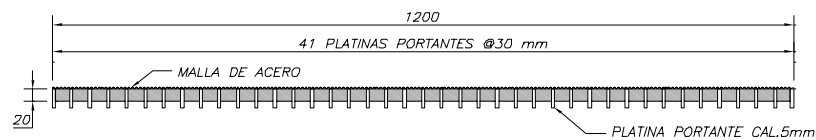


Figura 8.6-3 Corte B-B Sistema de rejillas metálicas (dimensiones en mm)

Por otro lado la Figura 8.6-4 presenta los detalles de los elementos que conforman el módulo de piso.

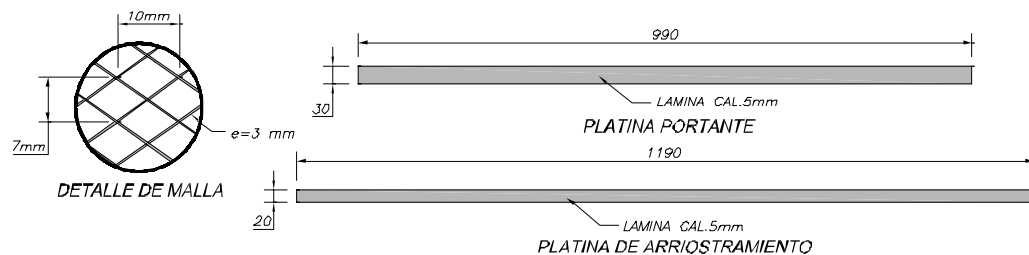


Figura 8.6-4 Detalle de elementos que conforman el sistema (Vista inferior)

Por otro lado, en las Figuras 8.6-5 a Figura 8.6-8 se presentan la planta general con la orientación de los módulos y los cortes típicos que muestran el sistema de apoyo entre los módulos de rejillas metálicas y las viguetas de soporte en acero.

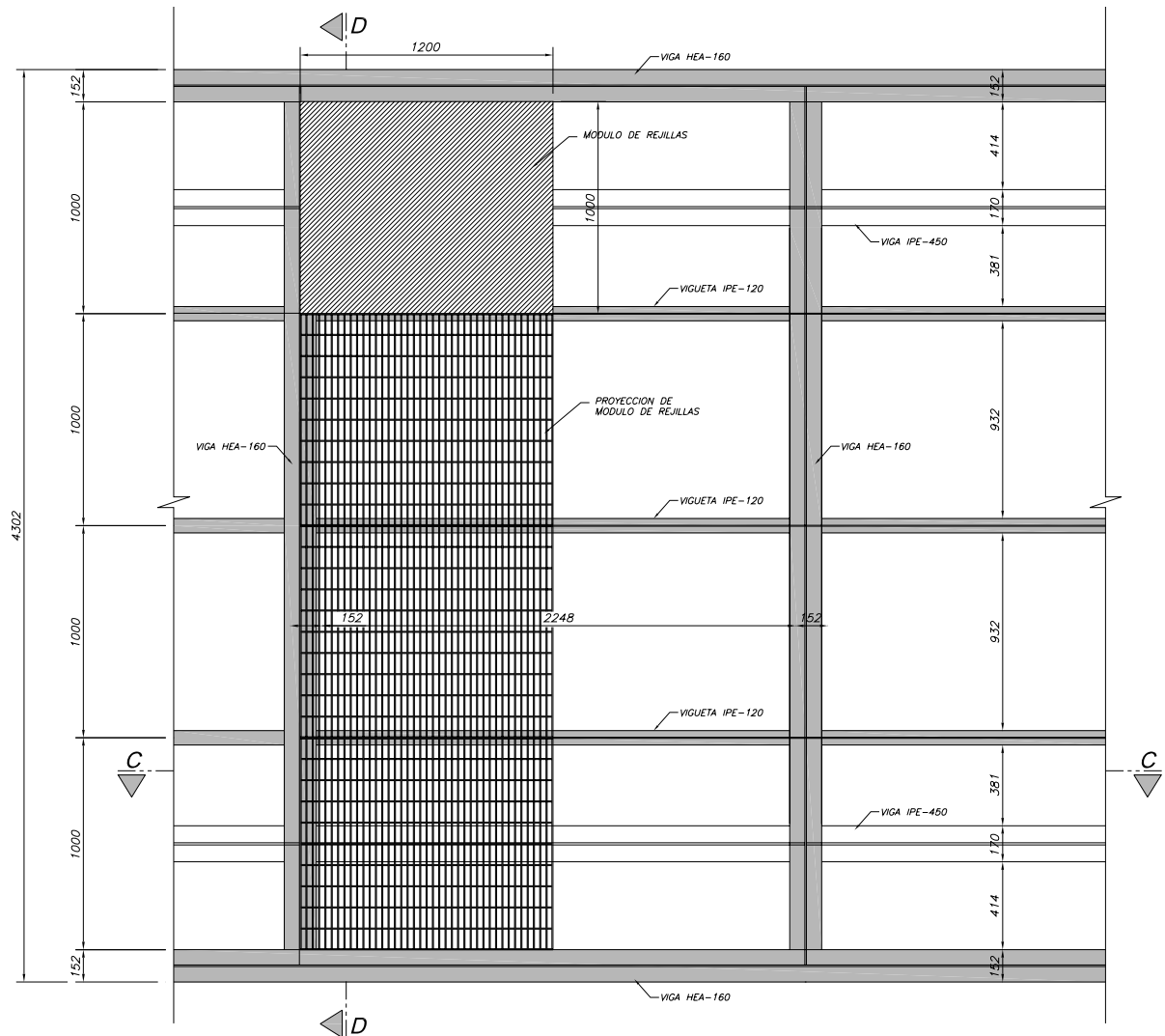


Figura 8.6-5 Distribución de los módulos y viguetas de rejillas metálicas en la estación (dimensiones en mm)

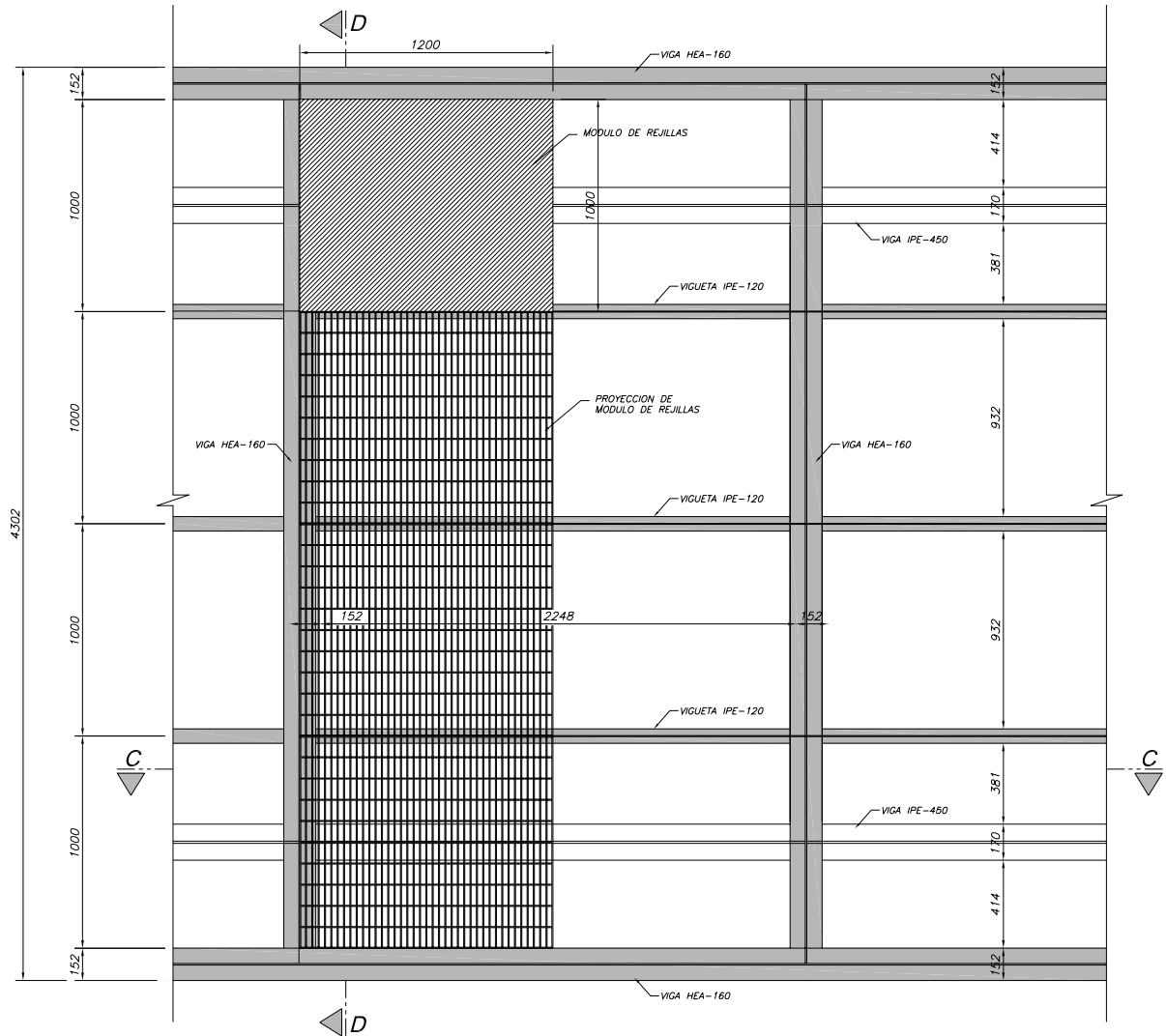


Figura 8.6-5 Distribución de los módulos y viguetas de rejillas metálicas en la estación (dimensiones en mm)

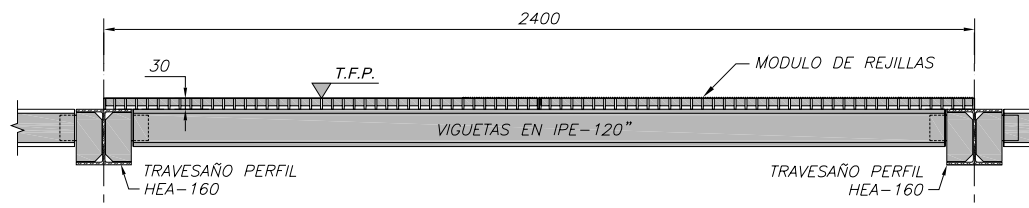


Figura 8.6-6 Corte C-C Distribución de los módulos y viguetas de rejillas metálicas en la estación (dimensiones en mm)

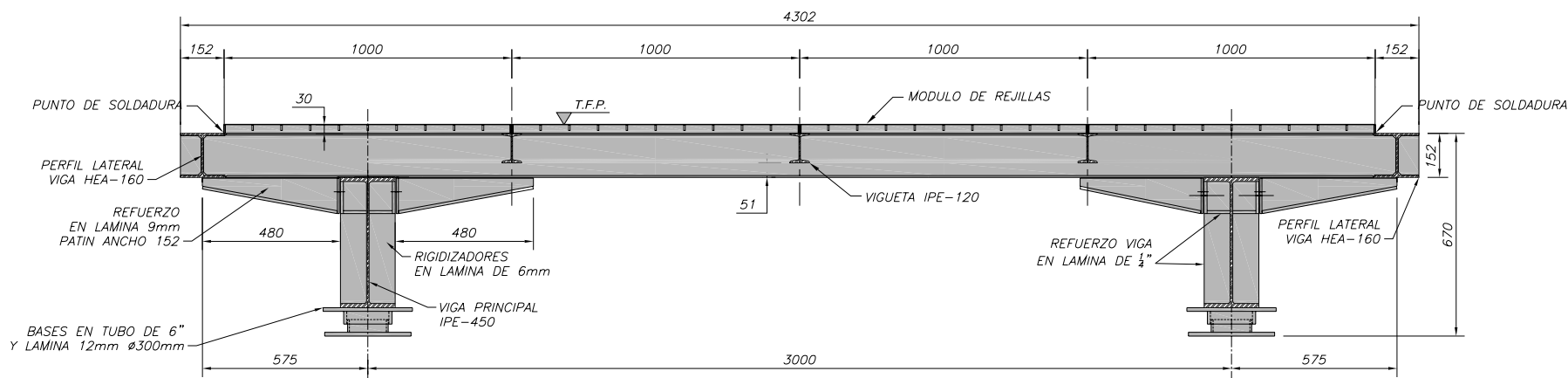


Figura 8.6-7 Corte D-D Distribución de los módulos y viguetas de rejillas metálicas en la estación (dimensiones en mm)

Nota: TFP = terminado final de piso. La cota debe definirse según criterio de funcionamiento. Con base en esta deben definirse la ubicación de todos los demás elementos estructurales

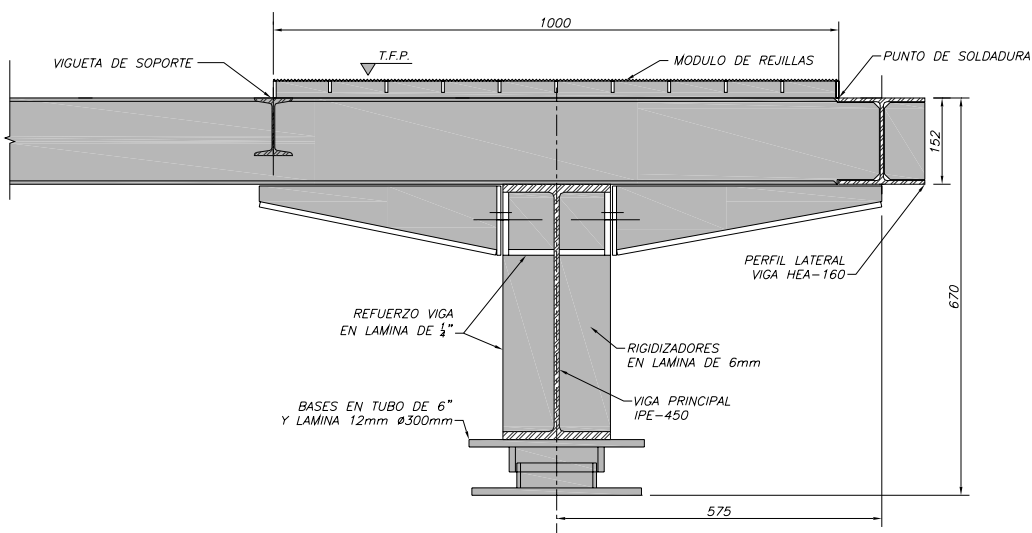


Figura 8.6-8 Detalle perimetral sistema de apoyo (dimensiones en mm)

8.6.3 Comportamiento experimental

Se adelantan una serie de ensayos de caracterización de los materiales y secciones utilizados en la fabricación de los pisos en rejillas metálicas. En la Tabla 8.4-2 se resumen los ensayos realizados. En el Anexo 11-18 se presentan los informes de los ensayos realizados cuyos resultados se explican a continuación.

Tabla 8.6-2 Ensayos realizados a rejillas

Ensayo No	Ensayo	Cantidad
1	Ensayo de desgaste en laboratorio	5
2	Ensayo de Flexión	2
3	Punzonamiento en lámina	2
4	Fatiga	1
5	Medición de ruido	1

8.6.3.1 Ensayo de desgaste

Los ensayos de desgaste se realizaron siguiendo el procedimiento explicado en el numeral 6.3.6. Las probetas seleccionadas del material se sometieron a ensayos de desgaste de acuerdo con la norma ASTM D3389. En la Figura 8.4-12 se presenta el montaje del ensayo de desgaste para probetas de rejillas metálicas. En la Tabla 8.6-3 se presentan los resultados de los ensayos.

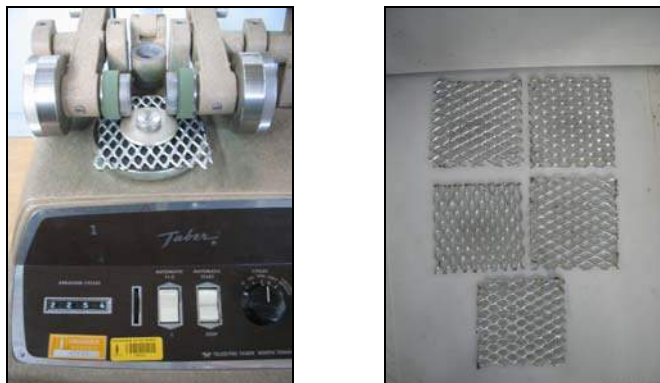


Figura 8.6-9 Probeta y montaje de ensayo de desgaste para rejillas metálicas

Tabla 8.6-3 Principales resultados mediciones de desgaste

Probeta No	Masa Pérdida por revolución [mg/rev]	Observaciones
1	0.1130	Carga aplicada de 1000 gr - 500 ciclos
2	0.1290	Carga aplicada de 1000 gr - 500 ciclos
3	0.1414	Carga aplicada de 1000 gr - 500 ciclos
4	0.1184	Carga aplicada de 1000 gr - 500 ciclos
5	0.1026	Carga aplicada de 1000 gr - 500 ciclos

Para este tipo de material se concluye que cualquier desgaste por pequeño que sea implicaría el inicio de problemas de corrección en los módulos de piso por lo cual este factor el desgaste es un factor crítico para este sistema de piso.

8.6.3.2 Ensayo de flexión

Estos ensayos se adelantan con el fin de caracterizar el comportamiento a flexión en términos de rigidez, flexibilidad de los perfiles y resistencia de dichos elementos. El ensayo permite realizar una calibración inicial de los modelos de análisis en términos de flexibilidad y capacidad a flexión y aporta información valiosa sobre propiedades mecánicas.

La longitud de la luz libre de ensayo es de 100 cm. La carga se aplica mediante dos cargas concentradas centradas en la luz con el fin de tener momento constante sin cortante en la zona central de la viga. Se registra simultáneamente la carga aplicada mediante una celda de carga, y la deformación mediante un LVDT colocado en el centro de la luz (Ver Figura 8.6-10). Mediante el desarrollo de los ensayos se determina experimentalmente la rigidez de la probeta a flexión, así como el esfuerzo flector máximo resistente y la curva típica carga-deflexión bajo efectos de flexión. Por no tratarse de un ensayo convencional se utiliza como referencia la metodología equivalente propuesta en la norma ASTM C78 para ensayo a flexión de vigas de concreto.

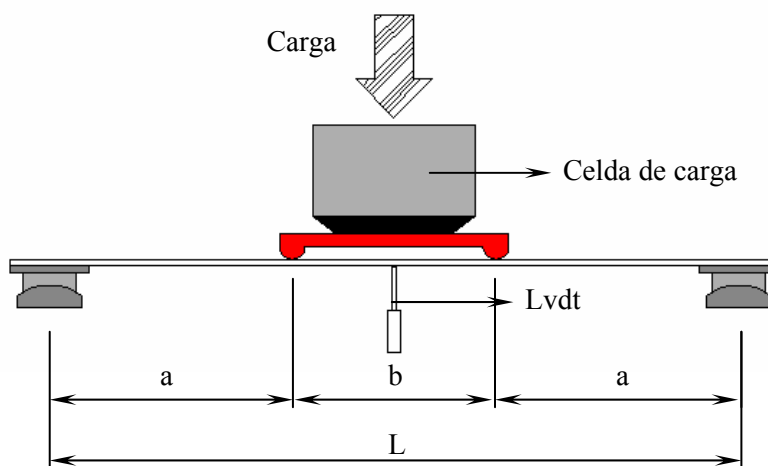


Figura 8.6-10 Esquema de ensayo a flexión de láminas

La Figura 8.4-14, 8.6-12, Figura 8.6-13 y Figura 8.6-14 presentan las curvas carga-desplazamiento obtenidas en los ensayos realizados. La Tabla 8.6-4 resume los parámetros obtenidos, incluyendo para cada probeta ensayada la carga máxima, el momento máximo y la forma o mecanismo de falla.

Tabla 8.6-4 Resultados ensayos de flexión

Probeta	Luz del Ensayo [cm]	a [cm]	b [cm]	Carga Máxima [kg]	Momento Máximo [kg-cm]	Elemento	Mecanismo de Falla
P1	100	35	30	2536	44381	Modulo	No Evidencio Falla
P2	20	10	0	12804	64020	Modulo	Fluencia

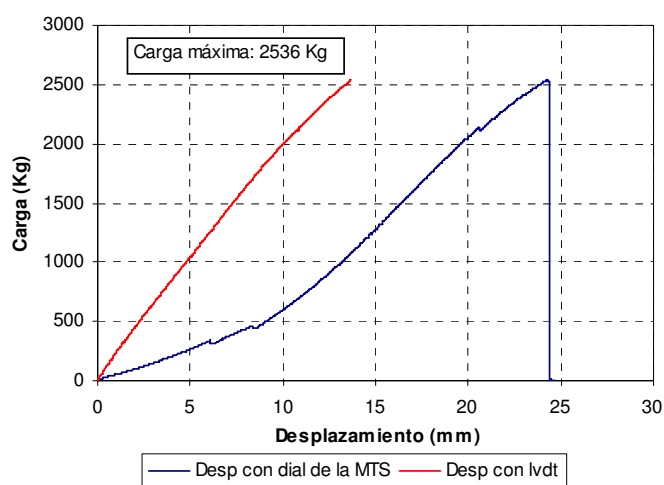


Figura 8.6-11 Curvas de carga vs. desplazamiento en el centro de la luz (Probeta No 1)

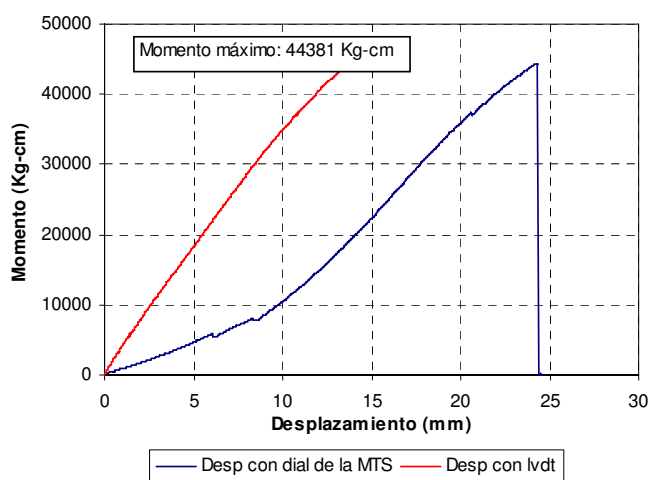


Figura 8.6-12 Curvas de momento vs. desplazamiento en el centro de la luz (Probeta No 1)

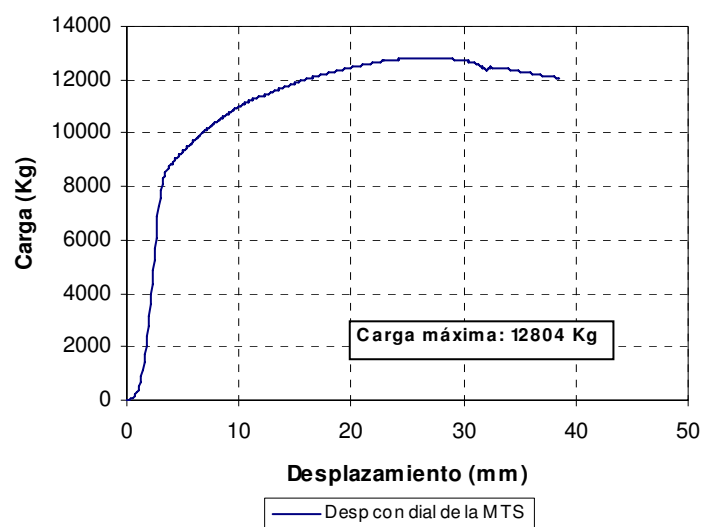


Figura 8.6-13 Curvas de carga vs. Desplazamiento en el centro de la luz (Probeta No 2)

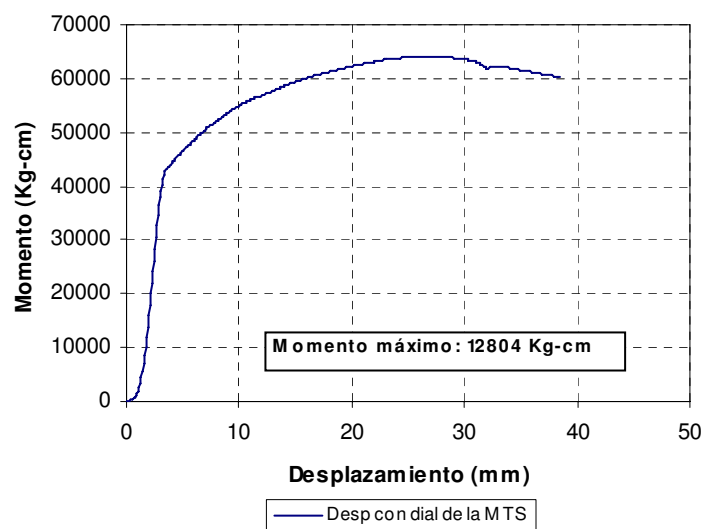


Figura 8.6-14 Curvas de momento vs. Desplazamiento en el centro de la luz (Probeta No 2)

8.6.3.3 Ensayo de punzonamiento

Se realizaron dos ensayos de punzonamiento simple mediante una barra circular con un diámetro de 1 cm. La primera probeta utilizada tenía la malla especificada para el módulo planteado en todos los ensayos con una separación de luces entre portantes de 3 cm, la segunda probeta utilizada para el ensayo de punzonamiento tenía una malla de un espesor de 4 mm y portantes separadas 10 cm. En los dos casos la prueba consiste en aplicar la carga concentrada en diferentes puntos críticos de un elemento y establecer la resistencia máxima. En caso dado la prueba se interrumpe cuando llega a una carga de 2000 kg y no ha presentado falla o algún síntoma de daño.

Para la primera probeta la resistencia al punzonamiento del sistema alcanzó un valor de 385 Kg, para la segunda probeta el valor obtenido fue de 404 Kg.

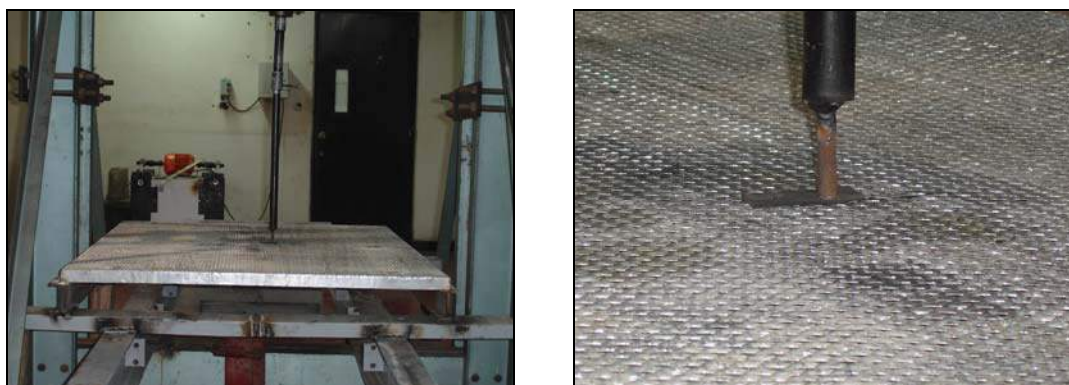


Figura 8.6-15 Montaje de ensayo de punzonamiento probeta No 1

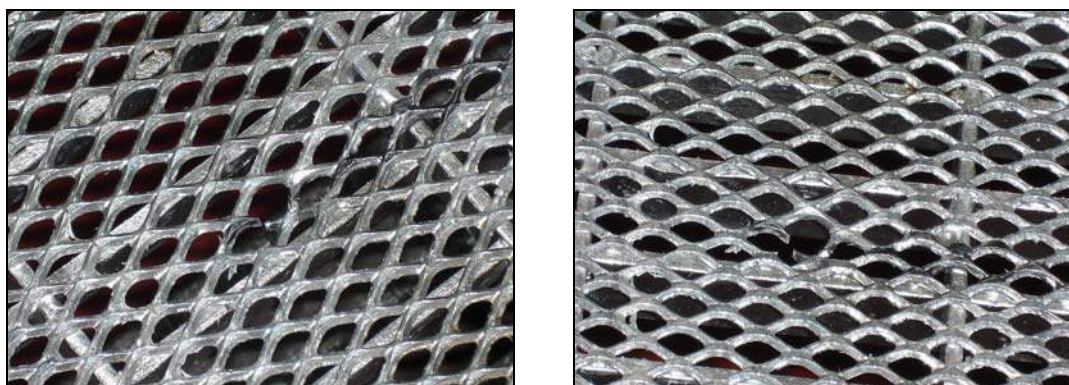


Figura 8.6-16 Mecanismo de falla ensayo de punzonamiento probeta No 1

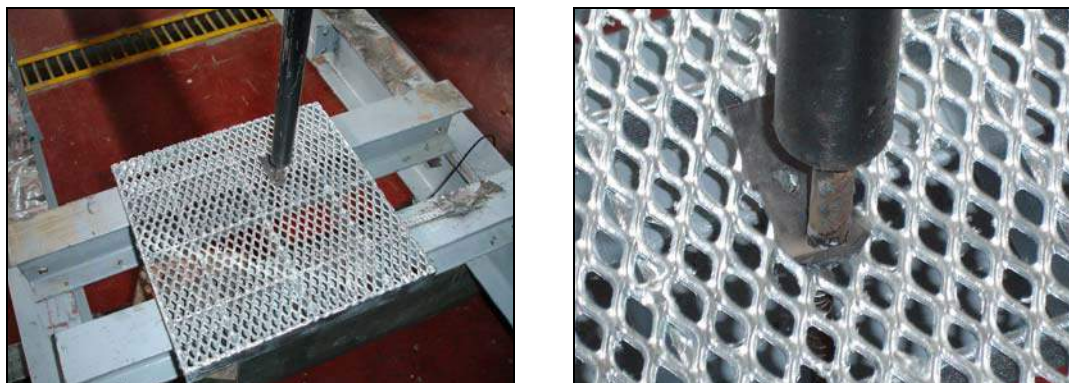


Figura 8.6-17 Montaje de ensayo de punzonamiento probeta No 2

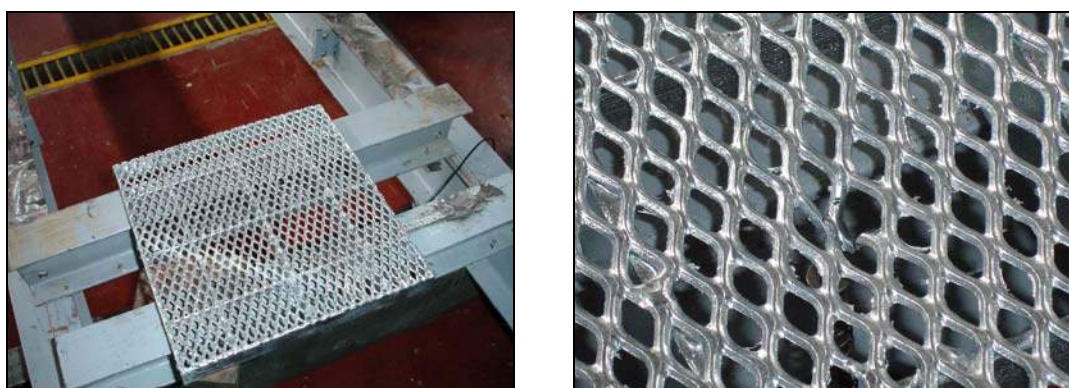


Figura 8.6-18 Mecanismo de falla ensayo de punzonamiento probeta No 2

8.6.3.4 Ensayo de fatiga

Se adelanta un ensayo de fatiga en las mismas condiciones que las explicadas en el numeral 6.3.4. La Figura 8.4-18 ilustra las características del montaje realizado.



Figura 8.6-19 Montaje para ensayo de fatiga de rejillas metálicas

Durante el ensayo de fatiga realizado se aplicaron un total de 3766 ciclos completos del espectro de carga especificado, equivalentes a 10 años de trabajo en condiciones de tránsito peatonal crítico y condiciones ideales de instalación. La probeta de ensayo no evidenció ningún signo de falla, fractura o fatiga. En la Figura 8.5-12 se presenta la grafica de deflexión Vs No de ciclos para el ensayo de fatiga.

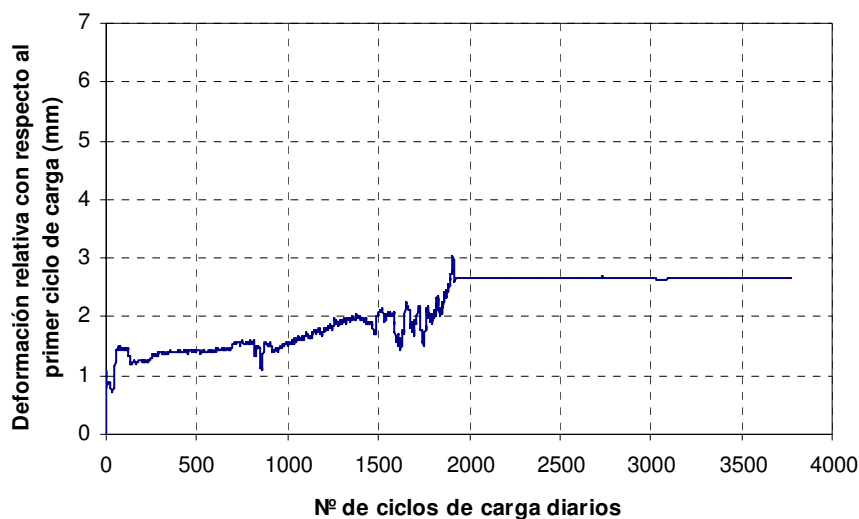


Figura 8.6-20 Curva deflexión vs No de ciclos ensayo de fatiga

8.6.3.5 Ensayo de medición de ruido generado

Siguiendo el procedimiento descrito para medición de ruido explicado en el numeral 6.3.5, se adelantaron los ensayos correspondientes para el modulo instalado sobre las viguetas de apoyo. Se realizaron los análisis de ruido para las siguientes condiciones de carga:

- (g) Medición ambiental.
- (h) Persona caminando.
- (i) Carga de impacto (13 Kg desde 1.10 m de altura)

En las Figura 8.4-20, Figura 8.6-22 y Figura 8.6-23 se presentan las fotografías de realización del ensayo para cada una de las condiciones de cargas. Los resultados de los ensayos de ruido se presentan en la Tabla 8.6-5.



Figura 8.6-21 Medición de ruido condición No 1



Figura 8.6-22 Medición de ruido condición No 2



Figura 8.6-23 Medición de ruido condición No 3

Tabla 8.6-5 Resultados de ensayos de medición de ruido

Medicion	Nivel de ruido [dB]		
	Condicion 1	Condicion 2	Condicion 3
1	65.6	66.2	98.4
2	65.5	65.6	96
3	65.5	66.3	99
Promedio	65.5	66.0	97.8
Ruido generado	0.0	0.5	32.3

Para este sistema de piso se obtuvieron en los niveles máximos de ruido del orden de los 0.5 y 32 dB para las condiciones de personas caminando y carga de impacto respectivamente. Estos valores pueden compararse con los valores correspondientes a los sistemas de piso en láminas de aluminio actualmente instalados que dan valores de 23 y 53 dB respectivamente.

8.6.3.6 Resumen de propiedades básicas

En la Tabla 8.6-6 presenta un resumen de las propiedades y parámetros básicos de las rejillas metálicas obtenidos de fuentes proporcionadas por el fabricante o de ensayos de laboratorio realizados.

Tabla 8.6-6 Propiedades y parámetros básicos del material rejillas metálicas

Propiedad	Unidad	Valor	Fuente
Densidad	g/cm ³	7.8	Literatura
Modulo de Poisson		0.3	Literatura
Modulo de elasticidad	MPa	200000	Laboratorio
Resistencia a la fluencia nominal	MPa	420	Literatura
Resistencia a la tensión	MPa	550	Literatura
Dureza Brinell		126	Literatura

8.6.4 Verificaciones de diseño

A continuación se presentan las verificaciones de diseño para las diferentes condiciones de carga.

- (a) Modelo analítico: la Figura 8.4-23 presenta el modelo analítico desarrollado para el análisis de esfuerzos y deformaciones en el sistema propuesto. El modelo está conformado por un total de 1670 elementos finitos tipo Shell. Los apoyos se representan mediante restricciones simples al desplazamiento en las zonas de contacto con las viguetas de apoyo. Las propiedades de análisis utilizadas son las indicadas en la Tabla 8.6-6.

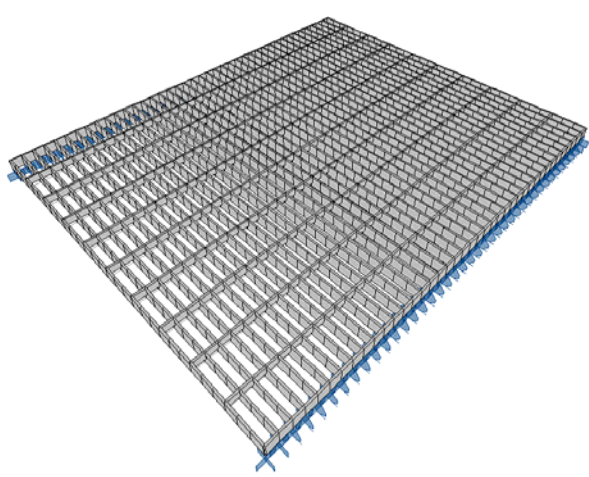


Figura 8.6-24 Modelo tridimensional

- (b) Carga viva de diseño: se aplica una carga viva uniformemente distribuida correspondiente a 450 kg/m^2 de superficie del piso. Las Figura 8.4-24, 8.3-24 y 8.3-25 ilustran respectivamente las deflexiones verticales, la distribución de momentos y la distribución de cortante. La Tabla 8.6-7 compara las demandas máximas con los valores admisibles tomados a partir de los resultados de los ensayos experimentales o de límites comúnmente establecidos en la literatura.

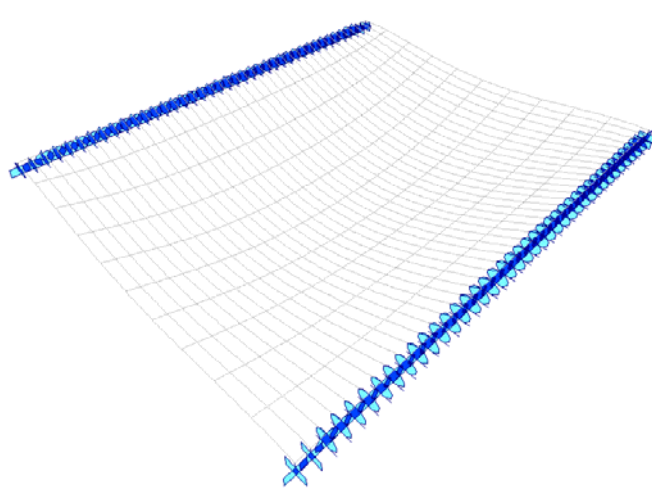


Figura 8.6-25 Deflexiones obtenidas en el modelo

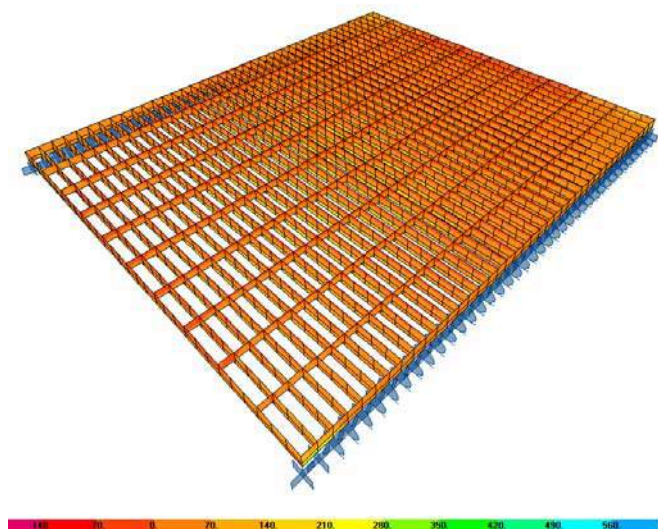


Figura 8.6-26 Distribución de esfuerzos por flexión obtenidos en el modelo (kg/cm^2)

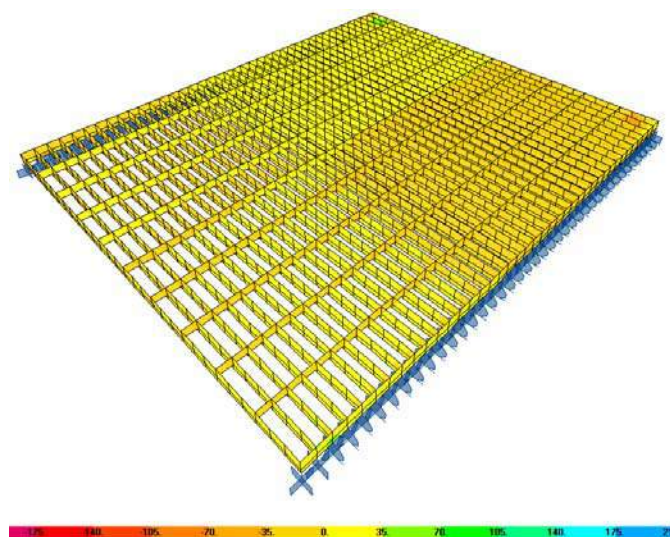


Figura 8.6-27 Distribución de esfuerzos cortantes obtenidas en el modelo (kg/cm²)

Tabla 8.6-7 Resultados del análisis con carga distribuida

Parámetro	Unidades	Valor Máximo	Valor último	Cumple	Observaciones
Deflexión máxima	mm	0.10	0.37	Ok	L/270
Momento máximo	Kg-mm/mm	0.32	10	Ok	
Esfuerzo de cortante máximo	Kg/mm ²	0.02	12	Ok	NSR98 F.7
Esfuerzo máximo a compresión	Kg/mm ²	0.8	21	Ok	NSR98 F.7
Esfuerzo máximo a tensión	Kg/mm ²	0.5	21	Ok	NSR98 F.7

- (c) Carga viva de diseño: se aplica una carga viva uniformemente distribuida sobre una sola luz correspondiente a 450 kg/m² de superficie del piso. Las Figuras 8.6-28, 8.6-29 y 8.6-30 ilustran respectivamente las deflexiones verticales, la distribución de momentos y la distribución de cortante. La Tabla 8.6-8 compara las demandas máximas con los valores admisibles tomados a partir de los resultados de los ensayos experimentales o de límites comúnmente establecidos en la literatura.

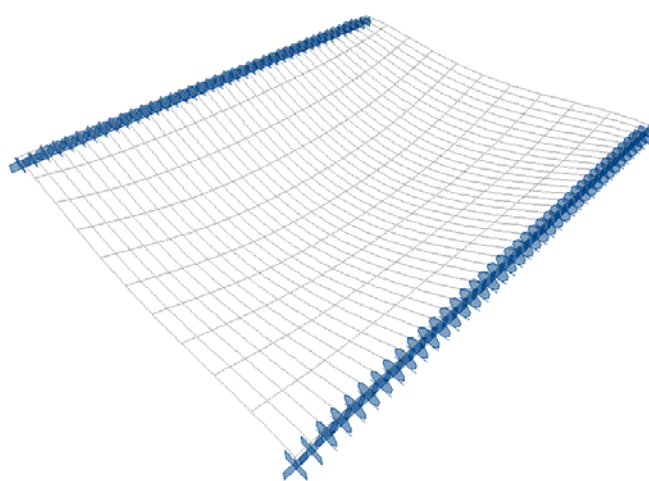


Figura 8.6-28 Deflexiones obtenidas en el modelo

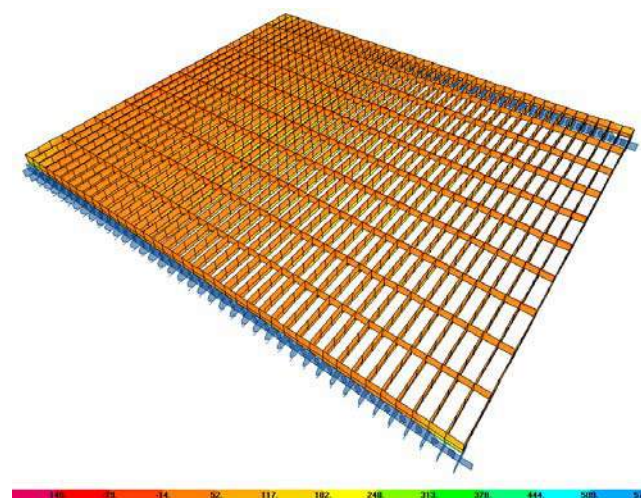


Figura 8.6-29 Distribución de esfuerzos por flexión momentos obtenidos en el modelo (kg/cm²)

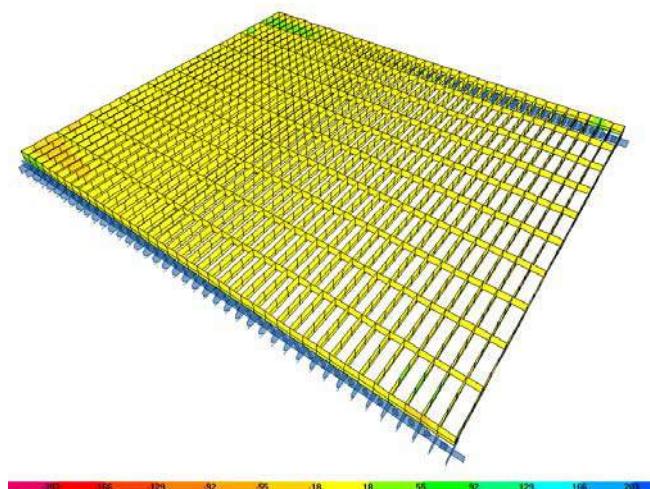


Figura 8.6-30 Distribución de esfuerzos cortantes obtenidas en el modelo (kg/cm²)

Tabla 8.6-8 Resultados del análisis con cargas concentradas

Parámetro	Unidades	Valor Máximo	Valor último	Cumple	Observaciones
Deflexión máxima	mm	0.08	0.37	Ok	L/270
Momento máximo	Kg-mm/mm	0.25	10	Ok	
Esfuerzo de cortante máximo	Kg/mm ²	0.01	12	Ok	NSR98 F.7
Esfuerzo máximo a compresión	Kg/mm ²	0.7	21	Ok	NSR98 F.7
Esfuerzo máximo a tensión	Kg/mm ²	0.5	21	Ok	NSR98 F.7

- (d) Carga viva concentrada de diseño: la carga viva concentrada de diseño corresponde a dos cargas vivas de 100 kg cada una separadas 30 cm en el sentido largo. Para el análisis con este tipo de carga se busca la ubicación más desfavorable en términos de esfuerzos de flexión, corte o punzonamiento. Las Figuras 8.6-31, 8.6-32 y 8.6-33 ilustran respectivamente las deflexiones verticales, la distribución de momentos y la distribución de cortante para una de las posiciones críticas de la carga. La Tabla 8.6-13 compara las demandas máximas con los valores admisibles tomados a partir de los resultados de los ensayos experimentales o de límites comúnmente establecidos.

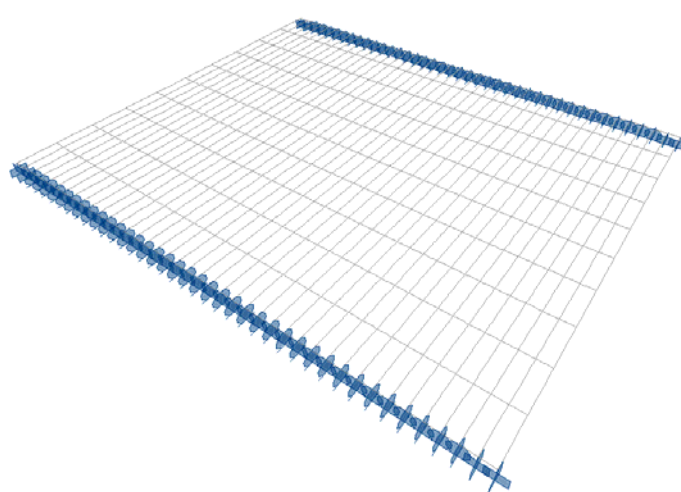


Figura 8.6-31 Deflexiones obtenidas en el modelo

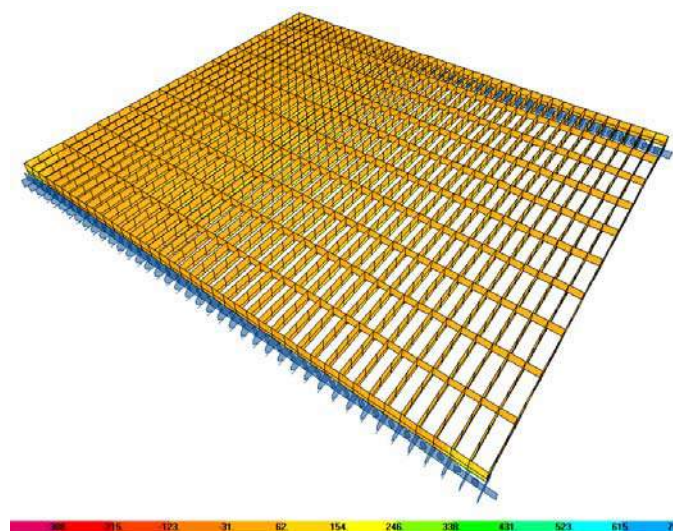


Figura 8.6-32 Distribución de esfuerzos por flexión obtenidos en el modelo (kg/cm²)

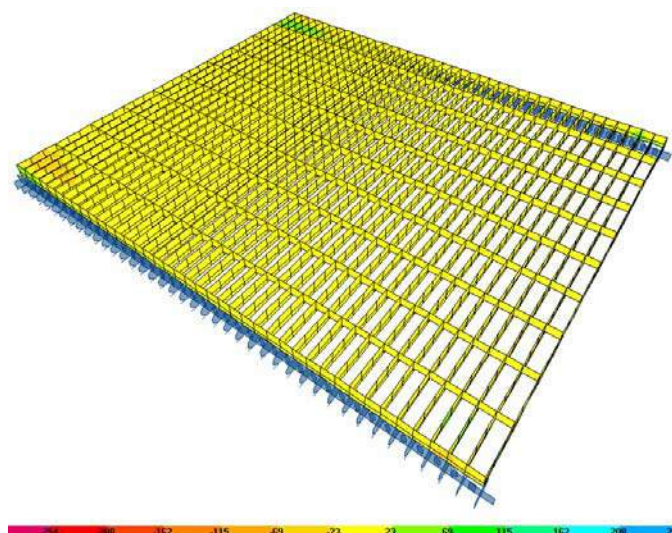


Figura 8.6-33 Distribución de esfuerzos cortantes obtenidas en el modelo (kg/cm²)

Tabla 8.6-9 Resultados del análisis con cargas concentradas

Parámetro	Unidades	Valor Máximo	Valor último	Cumple	Observaciones
Deflexión máxima	mm	0.05	0.37	Ok	L/270
Momento máximo	Kg-mm/mm	0.12	10	Ok	
Esfuerzo de cortante máximo	Kg/mm ²	0.01	12	Ok	NSR98 F.7
Esfuerzo máximo a compresión	Kg/mm ²	0.3	21	Ok	NSR98 F.7
Esfuerzo máximo a tensión	Kg/mm ²	0.3	21	Ok	NSR98 F.7

- (e) Carga viva concentrada de diseño: la carga viva concentrada de diseño corresponde a dos cargas vivas de 100 kg cada una separadas 30 cm en el sentido largo, en la mitad de la primera luz. Para el análisis con este tipo de carga se busca la ubicación más desfavorable en términos de esfuerzos de flexión, corte o punzonamiento. Las Figura 8.4-33, 8.6-28 y 8.6-29 ilustran respectivamente las deflexiones verticales, la distribución de momentos y la distribución de cortante para una de las posiciones críticas de la carga. La Tabla 8.6-14 compara las demandas máximas con los valores admisibles tomados a partir de los resultados de los ensayos experimentales o de límites comúnmente establecidos.

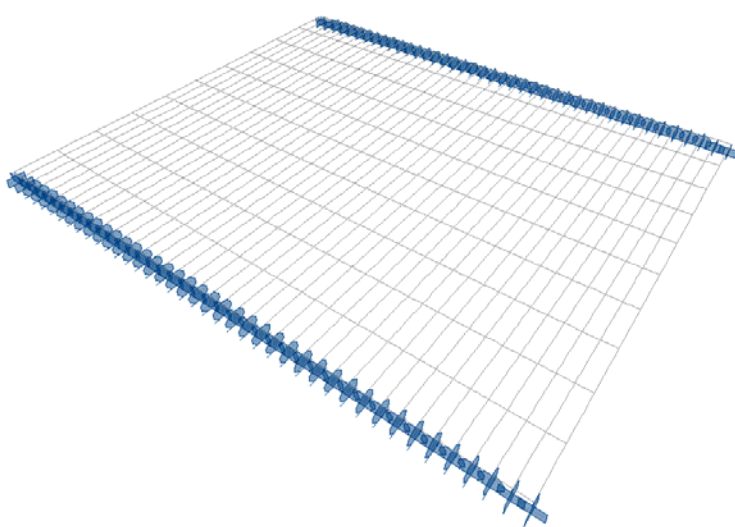


Figura 8.6-34 Deflexiones obtenidas en el modelo

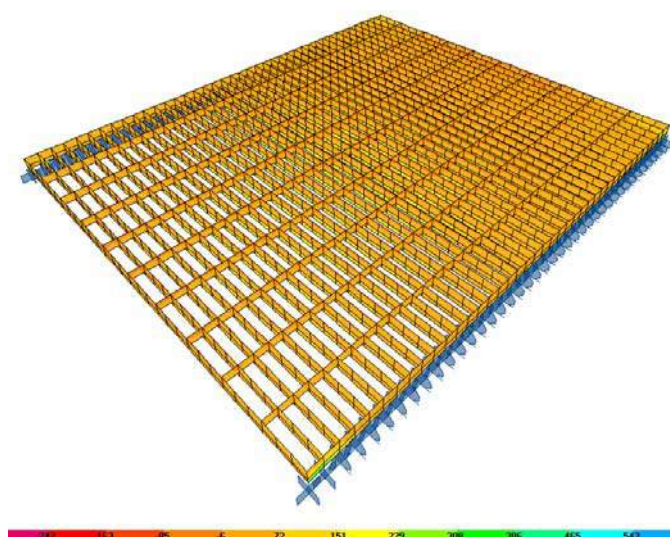


Figura 8.6-35 Distribución de esfuerzos por flexión obtenidos en el modelo (kg/cm²)

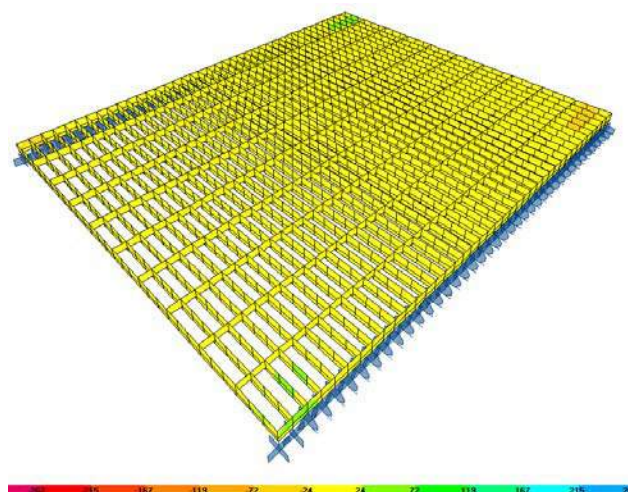


Figura 8.6-36 Distribución de esfuerzos cortantes obtenidas en el modelo (kg/cm²)

Tabla 8.6-10 Resultados del análisis con cargas concentradas

Parámetro	Unidades	Valor Máximo	Valor último	Cumple	Observaciones
Deflexión máxima	mm	0.05	0.37	Ok	L/270
Momento máximo	Kg-mm/mm	0.12	10	Ok	
Esfuerzo de cortante máximo	Kg/mm ²	0.01	12	Ok	NSR98 F.7
Esfuerzo máximo a compresión	Kg/mm ²	0.3	21	Ok	NSR98 F.7
Esfuerzo máximo a tensión	Kg/mm ²	0.3	21	Ok	NSR98 F.7

8.6.5 Verificación de conectores

Para los módulos de rejillas, en un principio en el ensayo de fatiga, se utilizó un sistema de conexión basado en grapas metálicas. Estas no funcionaron adecuadamente, debido a que al aplicarles primeros ciclos de carga las grapas se soltaban del sistema de piso. Por esta razón se optó por un sistema de conexión a base de soldadura entre el ángulo perimetral del módulo y las viguetas de soporte.

Los conectores se verifican en las siguientes condiciones:

- (a) El sistema de conexión se ensayó a fatiga y no presentó ningún tipo de problema. Se concluye el sistema de conexión no es susceptible de sufrir fatiga.

8.6.6 Verificación de viguetas de apoyo

Las viguetas de apoyo consistentes en perfiles IPE 120 se verifican para las cargas vivas distribuidas de 450 kg/m² actuando simultáneamente en todo el modulo. La distribución geométrica propuesta y las cargas muertas y vivas imponen las condiciones de deflexiones máximas, momentos y cortantes que se presentan en la Tabla 8.6-11.

Tabla 8.6-11 Resultados verificación viguetas de apoyo

Parámetro	Unidades	Valor Máximo	Valor último	Cumple
Deflexión máxima	cm	0.07	0.74	Ok
Momento máximo	Kg-cm	37726	113313	Ok
Cortante máximo	Kg	16.74	15240	Ok

8.6.7 Procedimiento de instalación

El procedimiento de instalación de los sistemas de pisos de módulos de rejillas metálicas incluyen los siguientes pasos principales:

- Para una adecuada instalación del sistema de entrepiso, la estructura metálica de soporte principal debe cumplir con todos los requisitos de fabricación, instalación, montaje y control de calidad establecidos en el literal F.2.13 de las NSR-98.
- Se debe presentar para aprobación un plano con la distribución detallada de los módulos de entrepiso en los cuales se indique claramente las zonas de apoyo y los puntos específicos de conexión. Especial atención debe darse al cubrimiento de zonas en que se presenten aberturas, cortes, o cambios en la distribución normal supuesta de dos módulos en el ancho de la sección total. La distribución debe considerar la ubicación de las compuertas o escotillas para acceso a la zona inferior. Esta debe ubicarse de manera que se pueda tener acceso desde la parte inferior a cualquier sector del sistema de piso. En casos específicos la distribución de

viguetas metálicas de soporte también debe ajustarse o complementarse para permitir la construcción de los detalles requeridos.

- (c) Se debe proceder con la instalación de las viguetas metálicas de soporte según perfil definido y características geométricas establecidas. La instalación debe cumplir con el espaciamiento establecido en los planos de distribución geométrica. Por otro lado la vigueta de soporte debe colocarse a la cota exacta que permite una adecuada instalación de los módulos de rejillas metálicas de manera que se llegue a la cota de piso terminado establecida. La holgura máxima en variaciones de niveles finales de las viguetas en las cuales se van a apoyar los módulos es de máximo 1 cm.
- (d) Se debe iniciar la colocación de módulos desde una de las esquinas de la estación hacia el centro de la misma. Se debe verificar la ubicación definitiva del módulo antes de su utilización. Cada módulo instalado debe sujetarse adecuadamente con todos los conectores establecidos.
- (e) Las conexiones al sistema de soporte de viguetas se realizará mediante cordones de soldadura en filete en toda la longitud de contacto entre ángulos de confinamiento y viguetas de apoyo según se indica en los planos. La soldadura será de $\frac{1}{4}$ " del tipo E70. Para la aplicación de la soldadura se deberá limpiar la zona de contacto con chorro de arena, pulidora o un método manual aprobado. Luego de realizada la soldadura se deberá aplicar la protección contra la corrosión consistente en anticorrosivo epóxico de mínimo 3 mils de espesor y protección final con pintura de acabado de poliuretano de 2 mils de espesor mínimo. Todo el proceso de soldadura y protección estará sujeta a controles y calidad establecida en el Título F de la NSR-98.

8.6.8 Mantenimiento

El mantenimiento de los módulos de Rejillas metálicas incluye aspectos relacionados con mantenimiento por desgaste normal del uso y mantenimiento por daño o afectación local inducida. El intervalo de tiempo entre mantenimientos dependerá del desgaste y deterioro normal de uso que para este sistema se estima en 7 años para las zonas críticas de tránsito.

El mantenimiento por desgaste normal de uso debe realizarse cuando se evidencia una superficie más lisa de la especificada inicialmente la cual puede incluir algún tipo de afectación o riesgo a los peatones. Para este tipo de afectación el panel no debe evidenciar ningún otro signo de deterioro tal como deflexión excesiva, rotura, grietas, deformaciones locales o cualquier otro, caso en el cual debe

recurrirse al mantenimiento por daño o afectación. En el caso de desgaste normal de uso se requiere el siguiente tratamiento:

- (a) Aplicación de galvanizado en sitio.

Con respecto al mantenimiento por daño o afectación local inducida, el procedimiento a seguir es el siguiente:

- (a) Identificar los módulos afectados y que requieren reemplazo. En esto debe evaluarse si la reparación puede llevarse a cabo con el método descrito para desgaste normal de uso o si se requiere un reemplazo completo del módulo.
- (b) Ingresar por la parte inferior y retirar la soldadura del módulo correspondiente.
- (c) Reinstalar un nuevo módulo con el mismo procedimiento propuesto para la instalación.

8.6.9 Análisis de costos

En el Anexo 11-19 se presentan los análisis de precios unitarios para la alternativa de pisos en rejilla metálica.

8.7 STEELDECK

8.7.1 Datos generales

El sistema STEELDECK hace parte de un sistema de losas de entrepiso y de cubierta que incorpora láminas de acero formadas en frío (“steel deck”) y una losa de concreto reforzada vaciada sobre dichas láminas y que actúan de manera monolítica conformando una sección compuesta (“Composite Steel Floor Deck”).

El sistema STEELDECK ofrece ventajas significativas con respecto a otros sistemas de entrepiso tradicionales. Las principales ventajas del sistema son:

- Funcional: Se acomoda a multitud de aplicaciones
- Resistencia estructural con menos peso
- Apariencia atractiva: puede dejarse a la vista en ciertos tipos de proyectos. En términos generales es fácil de mantener, durable y estéticamente agradable.
- Construcción en todos los climas: El montaje del sistema puede realizarse en cualquier clima
- Calidad uniforme
- Durabilidad
- Economía y valor agregado: El sistema minimiza el desperdicio de material
- Facilidad constructiva

8.7.2 Descripción general

Se compone de una lámina de acero preformada (“steel deck”) y una losa de concreto vaciada sobre ésta, que actúan de manera monolítica y forman una losa compuesta (“Composite Steel Floor Deck”).

Las láminas de acero tienen dos funciones principales:

- Servir de formaleta para el vaciado de la losa de concreto y,

- Actuar como refuerzo positivo de la losa una vez el concreto haya fraguado. Esta propiedad de la lámina de actuar como refuerzo de la losa da las características de lámina colaborante.

El acero utilizado es del tipo Laminado en Frío (Cold Rolled) con un comportamiento esencialmente elastoplástico, con esfuerzo de fluencia mínimo nominal igual a 2325 kg/cm^2 ($33 \text{ ksi} = 228 \text{ Mpa}$) y con un módulo de elasticidad igual a $2.07 \text{ E}6 \text{ kg/cm}^2$. El acero debe cumplir con la Sección A3 de la última edición del American Iron and Steel Institute (referencia 5). Specification for the Design of Cold Formed Steel Structural Members (referencia 4). El acero debe cumplir además con la norma ASTM A611, grados C, o norma ASTM A446, grados A,C y E.

El proceso de galvanizado se desarrolla a partir de láminas de acero Laminado en frío (Cold Rolled) las cuales se someten a un proceso de inmersión en caliente en un baño de zinc fundido para obtener los recubrimientos deseados, bajo las normas ICONTEC NTC 4011 y ASTM A-6531.

El concreto a utilizar para la losa de entrepiso deberá cumplir con los artículos C3, C4, C5, C9, C10 y C11 de la Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente - NSR-98, Ley 400 de 1997. La resistencia mínima a la compresión especificada para el concreto, f'_c , será de 210 kg/cm^2 (3000 psi). No se permite el uso de aditivos o acelerantes que contengan sales clorhídricas ya que éstos pueden producir corrosión sobre la lámina de acero.

La malla de acero de refuerzo que se recomienda colocar en el sistema tiene el propósito fundamental de absorber los efectos de la retracción de fraguado del concreto y de los cambios térmicos que ocurran en el sistema. Esta malla o refuerzo conformado por barras con resistencia a la fluencia de al menos 4200 kg/cm^2 o por mallas electrosoldadas de alambón debe tener un área mínima de 0.00075 veces el área de concreto por encima de la lámina de Steeldeck, con un área de acero de por lo menos 0.6 cm^2 por metro de ancho de la losa (malla 15×15 y $\phi = 5 \text{ mm}$).

La malla ha demostrado ser eficiente en el control de la grietas en especial si se mantiene cercana a la superficie superior de la losa. Por otro lado se ha determinado que esta malla de acero tiene un efecto benéfico en las losas, consistentes en un incremento en la capacidad de carga de la misma, con respecto a una losa sin la malla de refuerzo.

Para losas que involucren varias luces consecutivas, el ingeniero puede seleccionar un sistema de losa continuo en los apoyos, caso en el cual es necesario diseñar la losa para el momento negativo que se genera y deberá colocarse el refuerzo negativo complementario en estos puntos de apoyo.

En la mayoría de los casos, la malla de acero que conforma el refuerzo de repartición no es suficiente para absorber la totalidad del momento negativo en los apoyos continuos.

El recubrimiento mínimo de concreto por encima de la parte superior de la lámina de acero, debe ser de 5 cm. Cuando se coloque refuerzo negativo o simplemente para la malla de acero de repartición que se coloque, el recubrimiento mínimo de concreto por encima del acero de refuerzo debe ser de 1.9 cm., pero se recomiendan valores mínimos de 2.0 a 2.5 cm.

8.8 MADERA

8.8.1 Datos generales

Es el material de construcción que más tiempo ha usado el hombre, dada su abundante disponibilidad. Algunas características de la madera son:

- Disponibilidad
- Capacidad de perder y ganar humedad (balance con el entorno)
- Biodegradable, su duración depende del cuidado y el grado de protección dada.
- Facilidad de manipulación.
- Variedad de formas, texturas y colores

8.8.2 Descripción general

La madera en general contiene un 10% de carbono, 43 % de oxígeno, 6.1% de hidrogeno, de 0.1 a 0.2% de nitrógeno y de 0.2 a 0.7% de cenizas. Los principales componentes químicos de la madera son celulosa (varia entre el 40 y 60%), lignina (varia entre el 22% y el 30%) y hemicelulosa (varia entre el 12 y el 22%).

La celulosa y la hemicelulosa son los principales responsables de la capacidad de resistencia y tenacidad de la madera, la lignina es la responsable de la consolidación o cementación de la madera.

Las maderas en Colombia se clasifican según su densidad (NSR-98)

Grupo A: densidad básica igual o mayor a 710 kg/m³

Grupo B: densidad básica entre 560 y 700 kg/m³

Grupo C: densidad básica entre 400 y 550 kg/m³

Según el tipo de madera empleado, esta tiene una dureza o resistencia al desgaste dada, la cual depende de la densidad, la edad y otras características de la pieza empleada.

La madera es un material combustible, y según la especie de árbol de la cual se extraiga cada elemento este tendrá una velocidad de incineración diferente, la madera se puede proteger para que no extienda las llamas y solo se carbonice.

La resistencia de las piezas de madera depende de la forma en que se encuentran dispuestas las fibras, y del grado de humedad de la misma, según el grupo al que pertenece se tienen los siguientes valores admisibles en MPa (Numeral G.2.2 de la NSR-98)

Tabla 8.8-1 Tipos de maderas

Grupo	Emin	Eprom
A	9500	13000
B	7500	10000
C	5500	9000

Tabla 8.8-2 Propiedades físicas de los diferentes tipos de maderas

Grupo	Flexion	Traccion paralela	Compresion paralela	Compresion perpendicular	Corte paralelo
A	21.0	14.5	14.5	4.0	1.5
B	15.0	10.5	11.0	2.8	1.2
C	10.0	7.5	8.0	1.5	0.8

8.9 PEGAS ELÁSTICAS

8.9.1 Generales

Las pegas elásticas presentan un sistema de conexión alternativo a los convencionales de soldadura y tornillería. Para un adecuado funcionamiento de este sistema se requiere cumplir con los requisitos de resistencia, durabilidad y costo necesarios para las diferentes alternativas de pisos de estaciones y puentes peatonales del sistema Transmilenio.

8.9.2 Descripción general

La pega elástica utilizada en los ensayos fue SikaTack panel, ésta es una masilla adhesiva estructural a base de poliuretano monocomponente que se utiliza formando una capa entre los dos materiales a conectar de manera que la carga pueda transmitirse de forma uniforme, esperándose una recuperación elástica de la masilla, buen comportamiento frente a escenarios de fatiga y una adherencia adecuada del producto entre las superficies a conectar que permita soportar las solicitaciones de carga que se requieran para su uso en los sistemas de pisos de estaciones y puentes.

La utilización de SikaTack panel debe estar precedida por una limpieza de las superficies a conectar y por la preparación de estas con un imprimante que se selecciona con base en la naturaleza de los materiales, esto es, para superficies porosas tales como madera, fibrocemento, paneles fenólicos, melaminas, etc., el imprimante a utilizar es SikaTack Panel Primer, si las superficies son de aluminio normal, anodizado o en plásticos como policarbonato, ABS, poliuretano, PVC, etc., el imprimante adecuado es Sika Primer 210T y por último el producto Sika Primer 215 debe ser utilizado en superficies plásticas tales como poliéster, fibra de vidrio, PVC rígido y flexible, etc.

8.9.3 Comportamiento experimental

Los ensayos realizados sobre las pegas elásticas se resumen en la Tabla 8.9-1 y se presentan en la Tabla 8.9-1. A continuación se interpretan los resultados de dichos ensayos.

Tabla 8.9-1 Ensayos realizados

Ensayo No	Ensayo	Cantidad
1	Tensión en sustrato	7
2	Tensión del imprimante	7
3	Tensión de pega elástica	7
4	Corte en pega elástica	3

8.9.3.1 Ensayos de tensión en sustrato

Los ensayos de tensión en sustrato buscan determinar el comportamiento de las superficies conectadas mediante pega elástica, es decir, la carga máxima soportada, sin falla del sustrato, proporciona un indicativo de la adherencia de la pega elástica a las superficies, esto es, para una mayor carga soportada se refleja un mejor comportamiento de la adhesividad de la pega elástica sobre el material y de su capacidad de transmitir la carga.

La Tabla 8.3-5 presenta los resultados obtenidos para cada tipo de sustrato. Puede apreciarse que sobre el sustrato de pintura se presentó el mas alto valor de esfuerzo entre los materiales que presentaron falla de sustrato, la pintura se desprendió de la superficie metálica sobre la que yacía, esto se observa en la Figura 8.9-1. En el caso del concreto pretensado, se realizó un ensayo sobre el concreto en si y otro sobre el acero, debido a que el módulo presenta acero en sus extremos y concreto en los demas extremos, por lo tanto deberá conectarse en el concreto y acero por su modulacion, el esfuerzo sobre el concreto es el segundo valor mas alto de los materiales que presentaron falla del sustrato con 27.3Kg/cm², el acero del modulo de concreto pretensado presento un esfuerzo máximo de 23.3Kg/cm² siendo el de mayor resistencia entre los materiales que no presentan falla del sustrato. La Figura 8.9-2 y la Figura 8.9-3 muestran fotografías de estos ensayos.

Tabla 8.9-2 Resultados ensayos de tensión en sustrato

Sustrato	Espesor de la pega [mm]	Carga Máxima [kg]	Esfuerzo máximo [Kg/cm ²]	Falla del sustrato
Madera Sintética	2	37.4	3.9	no
Acero en módulo de GRC	1.5	168.5	17.5	no
Acero de rejillas	2.95	61.7	6.4	no
Aluminio	2.0	130.7	13.6	no
Concreto pretensado	1.8	262.5	27.3	si
Metal en probeta de concreto pretensado	1.5	224.1	23.3	no
Pintura	1	322.4	33.5	si

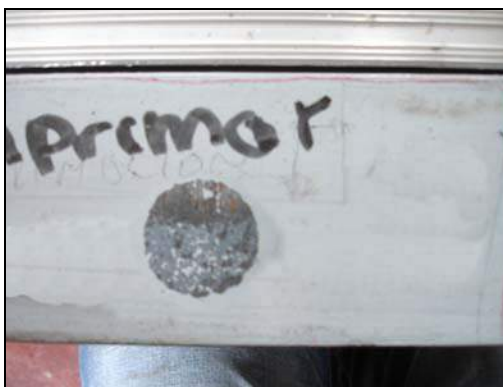


Figura 8.9-1 Falla del sustrato de pintura



Figura 8.9-2 Desprendimiento del concreto (ensayo de tensión en sustrato concreto pretensado)



Figura 8.9-3 Ensayo de tensión sobre el acero del modulo de concreto pretensado

La carga soportada para la conexión de madera sintética con pega elástica reportó el esfuerzo mas bajo entre todos los sustratos, este ensayo se aprecia en la Figura 8.9-4. En el caso del ensayo sobre el acero del módulo de GRC no se presentó falla del sustrato como puede advertirse en la Figura 8.9-5.



Figura 8.9-4 Madera sintética, se observa que el sustrato no falló para la carga aplicada



Figura 8.9-5 Ensayo de tensión en sustrato de acero para GRC

Las fotografías de los ensayos de tensión en sustrato de aluminio y rejillas se muestran en la Figura 8.9-6 y Figura 8.9-7.



Figura 8.9-6 Dolly retirado después de efectuar el ensayo de tensión sobre el sustrato de aluminio, no se presentó falla del sustrato



Figura 8.9-7 Ensayo de tensión sobre sustrato de acero para rejillas

8.9.3.2 Ensayos de tensión del imprimante

Con el ensayo de tensión del imprimante se busca visualizar el mejoramiento de la resistencia a la tensión del sistema conectado mediante el uso de un imprimante para preparar la superficie antes de la aplicación de la pega elástica. De la misma forma que para el ensayo anterior, un incremento en la carga máxima soportada proporciona un indicativo de la adherencia de la pega elástica a las superficies y de su capacidad para transmitir cargas.

La Tabla 8.9-3 presenta los resultados obtenidos para cada tipo de sustrato utilizando previamente un imprimante. Puede notarse que los sustratos de concreto pretensado y pintura reincidieron en fallar con los mas altos valores de esfuerzo. La Figura 8.9-8 muestra la variación del esfuerzo en sustratos entre los ensayos realizados con y sin imprimante, adviertase que para el aluminio y el acero del módulo de GRC hubo una disminución de dicho valor. El esfuerzo máximo registrado sin falla del sustrato se obtuvo para el acero de rejillas con un valor de 35.3 Kg/cm², este sustrato también alcanzó el mayor incremento en aumento de esfuerzo con un 81.8% con respecto al ensayo realizado sin imprimante. Las fotografías de los ensayos se aprecian desde la Figura 8.9-9 hasta la Figura 8.9-15.

Tabla 8.9-3 Resultados ensayos de tensión en imprimante

Sustrato con imprimante	Espesor de la pega [mm]	Carga Máxima [kg]	Esfuerzo máximo [Kg/cm ²]	Tipo de Falla
Madera Sintética	1.5	53.2	5.3	Adhesion
Acero en módulo de GRC	1.5	161.5	16.8	Adhesion
Acero de rejillas	3.0	339.4	35.3	Adhesion
Aluminio	1.5	88.9	9.2	Adhesion
Concreto pretensado	2	319.0	33.2	Sustrato
Acero en módulo de concreto pretensado	2	233.6	24.8	Adhesion
Pintura	2	376.5	39.1	Sustrato

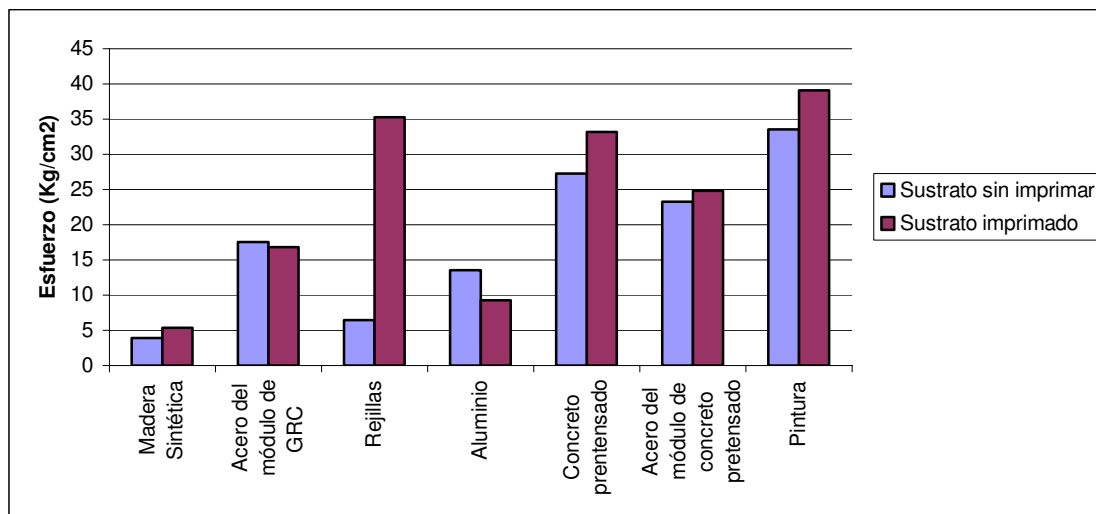


Figura 8.9-8 Grafica comparativa del comportamiento del esfuerzo en sustrato



Figura 8.9-9 Ensayo de tensión del imprimante en madera sintética



Figura 8.9-10 Ensayo de tensión del imprimante sobre el acero del módulo de GRC



Figura 8.9-11 Ensayo de tensión del imprimante sobre acero de rejillas



Figura 8.9-12 Ensayo de tensión del imprimante en aluminio



Figura 8.9-13 Ensayo de tensión de imprimante en concreto pretensado, se observa la falla del sustrato



Figura 8.9-14 Ensayo de tensión del imprimante en metal del módulo de concreto pretensado



Figura 8.9-15 Falla debida al desprendimiento de la pintura

8.9.3.3 Ensayos de tensión en pega elástica

Los ensayos de tensión en pega elástica determinan la capacidad o resistencia de la pega elástica para transmitir cargas axiales de tensión entre las superficies conectadas.

La Tabla 8.9-4 presenta los resultados obtenidos para cada tipo de material. En el caso de la madera sintética puede advertirse en la Figura 8.9-16 que la falla ocurrió por adherencia de la pega elástica con la superficie de madera sintética.

Tabla 8.9-4 Resultados ensayos de tensión en pega elástica

Material	Espesor de la pega [mm]	Carga Máxima [kg]	Esfuerzo máximo [Kg/cm ²]	Tipo de Falla
Madera Sintética	2.5	39.9	4.2	Adhesion al sustrato
Acero en módulo de GRC	2.9	60.6	6.3	Adhesion al dolly
Acero de rejillas	3.0	61.7	6.4	Adhesion al dolly
Aluminio	2.1	62.1	6.5	Adhesion al dolly
Concreto pretensado	2.7	63.6	6.6	Adhesion al dolly
Acero en módulo de concreto pretensado	2.0	55.4	5.8	Adhesion al dolly
Pintura	2.3	62.5	6.5	Adhesion al dolly



Figura 8.9-16 Ensayo de tensión en pega elástica sobre madera sintética

En los ensayos sobre superficies metálicas, esto es, acero del módulo de GRC, concreto pretensado y rejillas y sobre el aluminio la falla se generó en la pega elástica, encontrándose además algunos puntos fallados por adherencia al dolly. Debe resaltarse que sobre dichas superficies la pega elástica se encontraba fresca en la zona central a pesar de llevar 5 días de secado. Las fotografías de estos ensayos se presentan desde la Figura 8.9-17 hasta la Figura 8.9-20. , Los círculos en las figuras muestran la zona donde la pega elástica no polimerizó.



Figura 8.9-17 Ensayo de tensión en pega elástica sobre acero del módulo de GRC



Figura 8.9-18 Ensayo de tensión en pega elástica sobre acero rejillas



Figura 8.9-19 Ensayo de tensión en pega elástica sobre aluminio



Figura 8.9-20 Ensayo de tensión en pega elástica sobre acero del módulo de concreto pretensado

Otro de los mecanismos de falla presentado fue por adherencia al dolly. En la Figura 8.9-21 y en la Figura 8.9-22 se observa como la pega elástica se desprendió de la superficie de este.



Figura 8.9-21 Ensayo de tensión en pega elástica en concreto pretensado

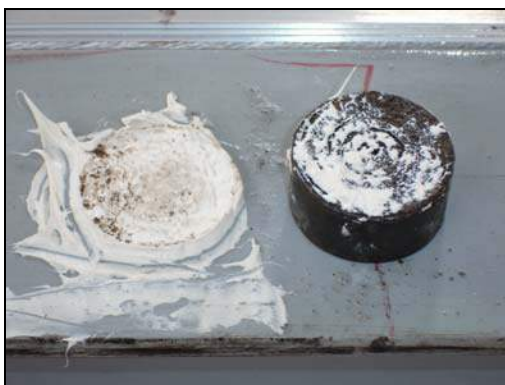


Figura 8.9-22 Ensayo de tensión en pega elástica sobre pintura

El mayor esfuerzo obtenido corresponde al ensayo sobre concreto pretensado, luego le sigue el ensayo sobre pintura con una disminución de 1.66% y continúa el aluminio y el acero de rejillas. El mínimo valor de esfuerzo para todos los tipos de ensayos realizados se obtuvo con la madera sintética.

Tabla 8.9-5 Comparación de resistencias de pega elástica, de la pintura contra los otros materiales.

Material	Reducción
Madera Sintética	0.4
Acero en módulo de GRC	0.0
Acero de rejillas	0.0
Aluminio	0.0
Concreto pretensado	0.0
Acero en módulo de concreto pretensado	0.1
Pintura	0.0

Tabla 8.9-6 Comparación de tensiones en sustrato, de la pintura contra los otros materiales

Sustrato	Reduccion
Madera Sintética	88.4%
Acero en módulo de GRC	47.7%
Acero de rejillas	80.8%
Aluminio	59.5%
Concreto prentensado	18.6%
Metal en probeta de concreto pretensado	30.5%
Pintura	0.0%

Tabla 8.9-7 Comparación de tensiones en imprimante, de la pintura contra los otros materiales.

Sustrato con imprimante	Reduccion
Madera Sintética	86.38%
Acero en módulo de GRC	57.12%
Acero de rejillas	9.84%
Aluminio	76.39%
Concreto pretensado	15.18%
Acero en módulo de concreto pretensado	36.62%
Pintura	0.00%

8.9.3.4 Ensayos de corte en pega elástica

Los ensayos de corte en pega elástica determinan la capacidad o resistencia de la pega elástica ante sollicitaciones de fuerza cortante. La Tabla 8.9-8 presenta los resultados obtenidos para cada tipo de material. El esfuerzo máximo se obtuvo para el acero de rejillas seguido del aluminio con una disminución de 3.46%. Para la madera sintética el esfuerzo fue un 77.98% menor que el registrado para el acero de rejillas.

Tabla 8.9-8 Resultados ensayos de corte en pega elástica

Espesor de la pega [mm]	Carga Máxima [kg]	Esfuerzo máximo [Kg/cm ²]	Material Utilizado	Tipo de Falla
5	22	2	Madera Sintetica	Adhesion
4	100.1	10	Acero de rejillas	Adhesion
2	96.58	10	Aluminio	Adhesion



Figura 8.9-23 Ensayo de corte con pega elástica en madera sintética



Figura 8.9-24 Ensayo de corte con pega elástica en acero de rejillas



Figura 8.9-25 Ensayo de corte con pega elástica en aluminio

8.9.4 Procedimiento de instalación

En caso de utilizar conexiones basadas en pegas elásticas el procedimiento de instalación depende del tipo de superficie a conectar, de la siguiente manera:

- (a) En el caso de madera natural deberán utilizarse procedimientos mecánicos para su limpieza y en ningún caso se permite el uso de disolventes. El lijado debe ser más o menos profundo, dependiendo de la suciedad existente. Después del lijado debe procederse a aspirar el polvo, o en su defecto, a soplarlo con aire a presión, o lavarlo y luego secarlo.
- (b) Para el aluminio deberá eliminarse además del polvo y suciedad adherida, la grasa protectora que traen de fábrica. Luego de la limpieza se continúa con la utilización del imprimante seleccionado adecuadamente con base en la naturaleza del material, éste se aplica con brocha, pincel o rodillo. El tiempo de secado depende del imprimante a utilizar, esto es, para SikaTack Panel Primer o Sika Primer 210T es necesario un mínimo de 30 minutos sin sobrepasar los 60 minutos de secado, por su parte el imprimante Sika Primer 215 requiere mínimo 30 minutos y máximo 10 horas de secado.
- (c) Luego de preparar la superficie con el imprimante puede procederse a la aplicación de la pega elástica colocando la pistola de aplicación de forma perpendicular al soporte, y con la abertura triangular de la boquilla en sentido contrario al de la marcha, esperando 10 minutos para la colocación de los módulos o superficies a conectar. Los módulos extremos deben protegerse con un perfil metálico, plástico, PVC, o con cualquier otro material.

8.9.5 Condiciones especiales de uso

El pegado elástico con SikaTack Panel está condicionado por diversos factores:

- (a) Limitada resistencia a altas temperaturas; este producto tiene un correcto comportamiento con temperaturas constantes de hasta 90°C, aunque temporalmente puede aguantar hasta 120°C
- (b) Limitada resistencia al fuego, como consecuencia de lo anterior.
- (c) Limitada resistencia del producto en contacto con ácidos y bases fuertes o muy concentrados

El sistema de pegado elástico SikaTack Panel deberá ser aplicado cuando la temperatura del soporte esté como mínimo, tres grados encima del punto de rocío. No debe realizarse cuando existan precipitaciones (lluvia, nieve, granizo, etc.). En caso de que persistan las precipitaciones se deberá colocar un sistema de protección adecuado que mantenga seca la zona.

Debe asegurarse la ausencia de todo producto que libere sustancias a base de alcohol, alrededor de la zona aplicada con el SikaTack Panel.

8.9.6 Conclusiones

- (a) El comportamiento de la pega elástica sobre las diversas alternativas de pisos estudiadas es muy variable, la naturaleza del material condiciona de manera significativa el desempeño de esta. En el caso del uso del producto sobre madera sintética la carga soportada es bastante baja con respecto a las demás alternativas, esto significa que la adherencia de la pega elástica a la superficie plástica es considerablemente menor para este tipo de piso respecto a los demás. En el ensayo de tensión con pega elástica solo soportó una carga de 39.9 Kg. para fallar por desprendimiento de la pega elástica sobre la superficie, éste valor es un 37.2% menor que el máximo registrado en este ensayo correspondiente al concreto pretensado. De la misma forma, en el ensayo de corte con pega elástica el mínimo esfuerzo registrado se obtuvo con la madera sintética, en este caso 77.9% menor que el máximo registrado en este caso para el acero de rejillas.
- (b) Para las alternativas de pisos en GRC y concreto pretensado debieron realizarse ensayos sobre el acero debido al esquema de los módulos sugeridos. Estos ensayos junto con los de los otros módulos metálicos fallaron de la misma forma en el ensayo de tensión con pega elástica: la zona central de la pega no polimerizó y por lo tanto al aplicar carga la falla ocurrió en esa zona. En general los datos más altos de esfuerzo se obtuvieron para el acero de rejillas, además de alcanzar también un aumento en su capacidad de carga del 81.8% al ser ensayada con previa aplicación de un imprimante.
- (c) Con relación a los ensayos de tensión en sustrato, la pintura y el concreto pretensado alcanzaron los valores más altos de esfuerzo pero con falla del material del módulo, esto implica que en la eventualidad de necesitarse retirar un módulo del sistema de pisos, los módulos y/o la pintura se verían afectados al desprenderse una parte de estos durante el proceso. Se tiene entonces nuevamente el acero como el material más resistente frente a estas condiciones de esfuerzo y servicio.



ALCALDIA MAYOR
DE BOGOTA D.C.

ALCALDÍA MAYOR - IDU
Instituto de Desarrollo Urbano

CIMOC
Centro de Investigación en
Materiales y Obras Civiles



- (d) Como resultado del estudio realizado a este tipo de pegas se observo que no es recomendable utilizarlas en sistemas de piso ya que presentan un tiempo de secado bastante largo lo cual implicaría demoras en la puesta en servicio de los puentes y estaciones.

8.10 CANTIDADES DE OBRA

Para cada una de las alternativas se calcularon las cantidades de obra basados en la geometría de un vagón de estación típico conformado por 13 módulos de 4.30 m de ancho y 2.4 de longitud. En la Figura 9.1-1 se presentan los esquemas típicos utilizados para el cálculo de las cantidades.

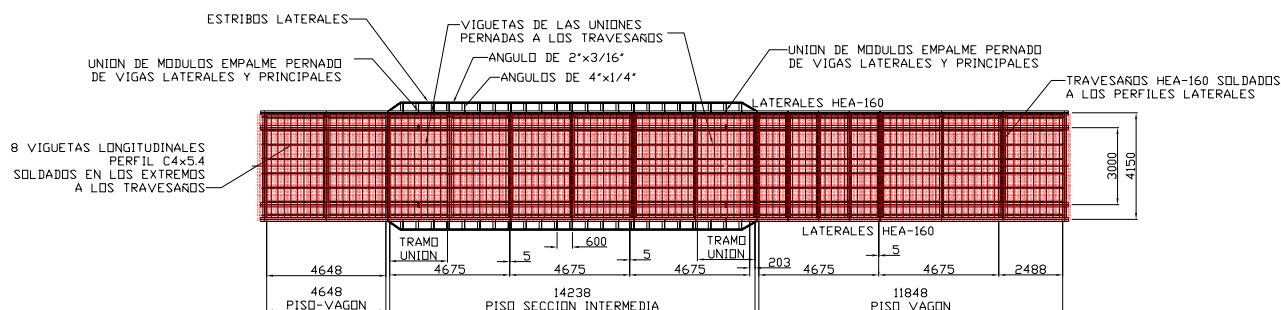


Figura 8.10-1 Detalles de estructura de Vagón típico de la estación

Tabla 8.10-1 Tabla de cantidades de obra alternativa Material sintético para estaciones.

ITEM	Descripcion	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Valor Total
1	Modulo de piso madera sintetica	m ²	127.00	\$ 299,004	\$ 37,973,508
2	Vigueta de apoyo	Kg	2212	\$ 5,348	\$ 11,829,776
Subtotal					\$ 49,803,284

Modulo de piso = Longitud x Ancho = $(4.648 + 5 \times 4.675 + 2.4) \times 4.15 = 127 \text{ m}^2$

Viguetas de apoyo = No de viguetas en el modulo x Área sección transversal x Longitud x densidad

Viguetas de apoyo = $7 \times 1.32 \text{ E}^{-3} \text{ m}^2 \times 30.5 \text{ m} \times 7850 \text{ Kg m}^3 = 2212.3 \text{ Kg}$

Mantenimiento: se toma como base del análisis el aluminio el cual se ha estimado que aproximadamente el 12 % del área de una estación típica requiere mantenimiento cada 5 años. Con base en esto será necesario realizar un mantenimiento al acabado superficial del panel a 15.2 m^2 aproximadamente cada 5.5 años lo que resulta en un total de 55 m^2 cada 20 años.

Tabla 8.10-2 Tabla de cantidades de obra alternativa Concreto pretensado para estaciones.

ITEM	Descripcion	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Valor Total
1	Modulo de piso concreto pretensado	m ²	127.00	\$ 184,105	\$ 23,381,335
2	Vigueta de apoyo	Kg	560	\$ 5,350	\$ 2,996,000
Subtotal					\$ 26,377,335

Modulo de piso = Longitud x Ancho = $(4.648+5 \times 4.675+2.4) \times 4.15 = 127 \text{ m}^2$

Viguetas de apoyo = No de viguetas en el modulo x Área sección transversal x Longitud x densidad

Viguetas de apoyo = $13 \times 1.32 \text{ E}^{-3} \text{ m}^2 \times 4.15 \text{ m} \times 7850 \text{ Kg m}^3 = 2212.3 \text{ Kg}$

Mantenimiento: se toma como base del análisis el aluminio el cual se ha estimado que aproximadamente el 12 % del área de una estación típica requiere mantenimiento cada 5 años. Con base en esto será necesario realizar un mantenimiento al acabado superficial del panel a 15.2 m^2 aproximadamente cada 1.0 año lo que resulta en un total de 300 m^2 cada 20 años.

Tabla 8.10-3 Tabla de cantidades de obra alternativa Concreto reforzado con fibras para estaciones.

ITEM	Descripcion	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Valor Total
1	Modulo de piso concreto GRC	m ²	127.00	\$ 416,104	\$ 52,845,208
2	Vigueta de apoyo	Kg	1264	\$ 5,350	\$ 6,762,400
Subtotal					\$ 59,607,608

Modulo de piso = Longitud x Ancho = $(4.648+5 \times 4.675+2.4) \times 4.15 = 127 \text{ m}^2$

Viguetas de apoyo = No de viguetas en el modulo x Área sección transversal x Longitud x densidad

Viguetas de apoyo = $4 \times 1.32 \text{ E}^{-3} \text{ m}^2 \times 30.5 \text{ m} \times 7850 \text{ Kg m}^3 = 1264 \text{ Kg}$

Mantenimiento: se toma como base del análisis el aluminio el cual se ha estimado que aproximadamente el 12 % del área de una estación típica requiere mantenimiento cada 5 años. Con base en esto será necesario realizar un mantenimiento al acabado superficial del panel a 15.2 m^2 aproximadamente cada 1.0 año lo que resulta en un total de 300 m^2 cada 20 años.

Tabla 8.10-4 Tabla de cantidades de obra alternativa Aluminio para estaciones.

ITEM	Descripcion	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Valor Total
1	Modulo de piso Aluminio	m ²	127.00	\$ 460,560	\$ 58,491,120
2	Vigueta de apoyo	Kg	1580	\$ 5,350	\$ 8,453,000
Subtotal					66944120

Modulo de piso = Longitud x Ancho = $(4.648+5 \times 4.675+2.4) \times 4.15 = 127 \text{ m}^2$

Viguetas de apoyo = No de viguetas en el modulo x Área sección transversal x Longitud x densidad

Viguetas de apoyo = $4 \times 1.32 \text{ E}^{-3} \text{ m}^2 \times 30.5 \text{ m} \times 7850 \text{ Kg m}^3 = 1580 \text{ Kg}$

Mantenimiento: se toma como base del análisis el aluminio el cual se ha estimado que aproximadamente el 12 % del área de una estación típica requiere mantenimiento cada 5 años. Con base en esto será necesario realizar un reemplazo de perfiles para un área de 15.2 m^2 aproximadamente cada 5.0 años lo que resulta en un total de 61 m^2 cada 20 años.

Tabla 8.10-5 Tabla de cantidades de obra rejillas para estaciones.

ITEM	Descripcion	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Valor Total
1	Modulo de piso rejillas	m ²	127.00	\$ 390,233	\$ 49,559,591
2	Vigueta de apoyo	Kg	948	\$ 5,350	\$ 5,071,800
Subtotal					\$ 54,631,391

Modulo de piso = Longitud x Ancho = $(4.648+5 \times 4.675+2.4) \times 4.15 = 127 \text{ m}^2$

Viguetas de apoyo = No de viguetas en el modulo x Área sección transversal x Longitud x densidad

Viguetas de apoyo = $3 \times 1.32 \text{ E}^{-3} \text{ m}^2 \times 30.5 \text{ m} \times 7850 \text{ Kg m}^3 = 948 \text{ Kg}$.

Mantenimiento: se toma como base del análisis el aluminio el cual se ha estimado que aproximadamente el 12 % del área de una estación típica requiere mantenimiento cada 5 años. Con base en esto será necesario realizar un reemplazo de la malla superficial para un área de 15.2 m^2 aproximadamente cada 2.0 años lo que resulta en un total de 150 m^2 cada 20 años.

Para cada la alternativa de aluminio (Recomendada para puentes peatonales) se calcularon las cantidades de obra basados en la geometría de un modulo típico de puente. En la Figura 9.1-2 se presentan los esquemas típicos utilizados para el cálculo de las cantidades.

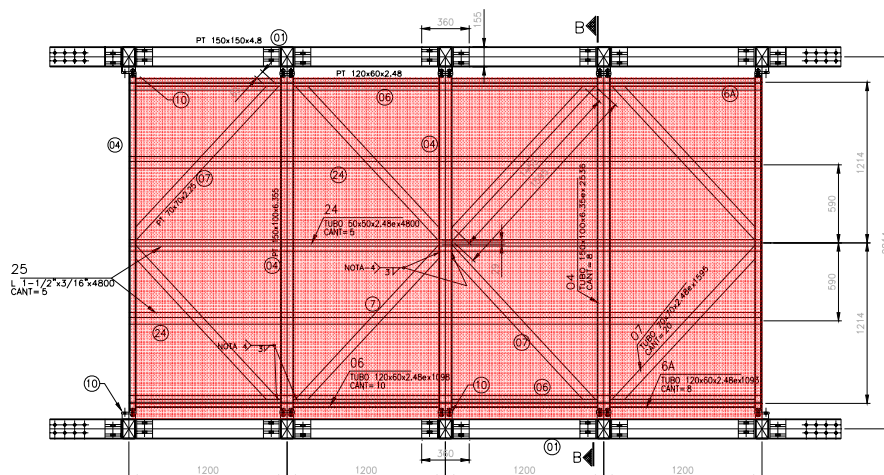


Figura 8.10-2 Detalles de estructura de modulo típico del puente

Tabla 8.10-6 Tabla de cantidades de obra alternativa Aluminio para puentes.

ITEM	Descripcion	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Valor Total
1	Modulo de piso Aluminio	m ²	349.50	\$ 460,560	\$ 160,965,720
2	Vigueta de apoyo	Kg	1580	\$ 5,350	\$ 8,453,000
Subtotal					\$ 169,418,720

Modulo de piso = Longitud x Ancho = (4x1.2) x (1.214x2) = 11.65 m²

Viguetas de apoyo = No de viguetas en el modulo x Área sección transversal x Longitud x densidad

Viguetas de apoyo = 3 x 1.32 E -3 m² x 4.8 m x 7850 Kg m³ = 150 Kg

Mantenimiento: se toma como base del análisis el aluminio el cual se ha estimado que aproximadamente el 4 % del área de una estación típica requiere mantenimiento cada 5 años. Con base en esto será necesario realizar un reemplazo de perfiles para un área de 5.0 m² aproximadamente cada 5.0 años lo que resulta en un total de 20 m² cada 20 años.

8.11 CONCLUSIONES

8.11.1 Generales

Considerando el diagnóstico establecido para los pisos existentes en la actualidad, el proyecto plantea la utilización de una serie de alternativas de pisos diferentes, cada una de las cuales presenta una serie de ventajas y desventajas que deben evaluarse para efectos de tomar la mejor decisión considerando aspectos técnicos, funcionales, de seguridad, de durabilidad y económicos. Los resultados de los ensayos y análisis realizados indican que todas las alternativas estudiadas, excepto la de Aluminio, presentan una viabilidad técnica y funcional, y la decisión final de cual sistema se debe utilizar dependerá de un análisis comparativo principalmente desde el punto de vista económico, el cual debe incluir, además de costos directos e indirectos, el costo del mantenimiento de cada sistema y el costo de reposición de las unidades que deban reemplazarse por desgaste dentro de la vida útil especificada.

8.11.2 Específicas para cada uno de los sistemas

A continuación se presentan las conclusiones individuales para cada uno de los sistemas con base en lo cual se plantea un análisis comparativo al final de este numeral.

Materiales Sintéticos

El sistema de módulos en material sintético conformado por polipropileno de alto impacto reforzado con fibras (Materiales sintéticos) presenta en general una serie de ventajas que se pueden resumir en lo siguiente:

- Facilidad de manejo.
- Bajo peso por metro cuadrado.
- Excelente comportamiento en términos de resistencia a esfuerzos de flexión, corte y punzonamiento.
- Buena resistencia a la fatiga.
- Buena resistencia al impacto
- Sistema de conexión de instalación relativamente fácil y poca susceptibilidad de sufrir problemas de concentración de esfuerzos o fatiga.

- Buenas características de desgaste, bajo nivel de ruido, fácil limpieza, superficie antideslizante
- Fácil esquema de mantenimiento para recuperar rugosidad
- Excelente durabilidad.

Las desventajas que presenta el sistema son las siguientes:

- Elevado costo.
- Relativo bajo módulo de elasticidad que obliga a aumento de sección

Concreto reforzado con fibras, GRC

El concreto reforzado con fibras presenta en general un buen comportamiento general con las siguientes ventajas específicas:

- Facilidad de manejo.
- Bajo peso por metro cuadrado
- Excelente comportamiento en términos de resistencia a esfuerzos de flexión, corte y punzonamiento.
- Buena rigidez
- Buena resistencia a la fatiga.
- Buena resistencia al impacto
- Sistema de conexión de relativa fácil instalación y alta efectividad.
- Buenas características de desgaste, bajo nivel de ruido, fácil limpieza, superficie antideslizante
- Excelente durabilidad

Por otro lado el sistema presenta las siguientes desventajas:

- Alto costo relativo
- Sistema de conexión susceptible de sufrir problemas de corrosión y fatiga si no se diseña y protege adecuadamente.

- Requiere proceso de mantenimiento para recuperar rugosidad

Concreto pretensado

El concreto pretensado conformado por plaquetas macizas planas con alambrones de pretensado, presenta en general un buen comportamiento general con las siguientes ventajas específicas:

- Muy bajo costo relativo. Esto se debe a la utilización de materiales tradicionales y a la posibilidad de realizar fabricaciones de tipo industrial. Esto lo hace muy competitivo al lado de las demás alternativas.
- Excelente comportamiento en términos de resistencia a esfuerzos de flexión, corte y punzonamiento.
- Buena rigidez
- Buena resistencia a la fatiga.
- Sistema de conexión de relativa fácil instalación y alta efectividad.
- Buenas características de desgaste, bajo nivel de ruido, fácil limpieza, superficie antideslizante.
- Requiere proceso de mantenimiento para recuperar rugosidad.

Por otro lado el sistema presenta las siguientes desventajas:

- Dificultad relativa en el manejo debido al alto peso de las láminas y a las posibilidades de fallas y descascaramientos en el proceso de transporte e instalación.
- Alto peso por metro cuadrado en comparación con otras alternativas lo que podría generar sobrecostos adicionales en las estructuras de soporte especialmente para los puentes. Para el caso de estaciones este factor no generaría un impacto importante por lo cual esta alternativa puede resultar muy atractiva al menos para el caso de las estaciones y estructuras a nivel del terreno.
- No muy buena resistencia al impacto. El sistema es relativamente frágil aunque tiene un confinamiento en ángulo metálico que mejora este comportamiento.
- La instalación requiere aplicación de soldadura y galvanizado posterior para garantizar durabilidad de la conexión.

- Sistema de conexión susceptible de sufrir problemas de corrosión y fatiga si no se diseña y protege adecuadamente.
- Requiere proceso de mantenimiento para recuperar

Aunque la durabilidad general del concreto pretensado es excelente, ya que se usa en la construcción de puentes y estructuras con vidas útiles de 50 años o más, en el presente caso, ante la necesidad de optimizar el diseño especialmente en lo relativo al espesor mínimo en busca de minimizar el peso, se obtiene una placa con un espesor mínimo de 40 mm dado por aspectos constructivos. Con este espesor se está en el límite mínimo de recubrimiento de acero para concreto prefabricado, valores que están entre 20 mm y 30 mm dependiendo de si se considera no expuesto o expuesto a la intemperie. Este factor requerirá mayor consideración al proponer la utilización de esta alternativa.

Rejillas metálicas

El sistema tiene dos componentes principales que son las rejillas metálicas que se originan en pisos de uso industrial y que conforma la estructura principal de soporte del piso y el material de superficie que en este caso se ha utilizado una malla metálica pero que se pueden utilizar otras opciones como aluminio y otras. Algunas de las características del sistema pueden modificarse cambiando el tipo de material de superficie. Al igual que los demás sistemas estudiados el sistema presenta ventajas interesantes.

- Facilidad de manejo y posibilidad de reutilización.
 - Excelente comportamiento en términos de resistencia a esfuerzos de flexión y de corte.
 - Excelente rigidez
 - Excelente resistencia a la fatiga.
 - Buena resistencia al impacto
 - Sistema de conexión de relativa fácil instalación pero de cuidado para no sufrir problemas de concentración de esfuerzos o fatiga.
 - Fácil limpieza, superficie antideslizante
 - Bajo nivel de ruido si se instala adecuadamente
 - Fácil esquema de mantenimiento con respecto a la rugosidad ya que se puede cambiar la malla superior de terminado sin necesidad de reemplazar la totalidad del piso.
- (a) Excelente durabilidad del sistema de soporte principal aunque la durabilidad de la malla superior no es equivalente.

Las desventajas que presenta el sistema son las siguientes:

- Elevado costo.
- No muy buena resistencia al punzonamiento, considerando la malla superficial utilizada.
- Relativo alto peso por metro cuadrado.
- La instalación requiere aplicación de soldadura y galvanizado posterior para garantizar durabilidad de la conexión.
- Características de desgaste que dependen de la malla o terminado superficial que se utilice pero que requerirá mantenimiento continuo.
- Requiere mantenimiento periódico, consistente limpieza y aplicación de galvanizado, para evitar el problema de la corrosión.
- Sistema de conexión susceptible de sufrir problemas de corrosión y fatiga si no se diseña y protege adecuadamente.

Aluminio

Los sistemas de piso basados en perfilera de aluminio presentan malos antecedentes por el comportamiento observado en los pisos instalados en la actualidad. Como se estableció anteriormente los problemas principales de este sistema radican en la poca rigidez (alta flexibilidad) del sistema, la baja resistencia a la fatiga y la dificultad para lograr y controlar la calidad del sistema de anclaje. Como se estableció en el Capítulo 7, se proponen una serie de recomendaciones tendientes a mejorar el comportamiento del sistema y que consisten principalmente en las siguientes:

- Modificar la sección del perfil tratando de obtener una sección más rígida, simétrica y con área de apoyo más grandes.
- Cambiar el diseño geométrico para evitar las concentraciones de esfuerzos
- Cambiar el sistema de conexión y sujeción
- Eliminar troquelados.

De acuerdo con estas recomendaciones las principales empresas productoras de estos perfiles se encuentran en la actualidad en el desarrollo de nuevas secciones que cumplan con las especificaciones

establecidas. Para efectos del proyecto, se seleccionó un perfil disponible comercialmente y se diseñó un sistema de conexión que cumple parcialmente las anteriores consideraciones.

Aunque el sistema presentó un comportamiento mucho mejor que el de los sistemas de aluminio instalados en la actualidad, el tipo de falla presentado fue de fatiga por punzonamiento en la lámina superior para una vida útil estimada de unos 6 años para condiciones de carga correspondientes a las estaciones de alta circulación peatonal. Debe anotarse que el sistema de conexión utilizado presentó un excelente comportamiento, al menos hasta el nivel de ciclaje que permitió el resto del elemento.

Lo anterior implica que para garantizar una vida útil como la solicitada por el IDU se requiere un nuevo diseño del perfil, probablemente considerando una rigidización adicional de la lámina superior del perfil para evitar la fatiga por punzonamiento.

A pesar de lo anterior el sistema basado en perfilaría en aluminio se considera como factible técnicamente sujeto a las modificaciones indicadas, ante lo cual el sistema presentaría las siguientes ventajas relativas:

- Facilidad de transporte, almacenamiento y manejo.
- Mínimo peso por metro cuadrado lo cual permite optimizar el diseño de las estructuras de soporte, especialmente en puentes.
- Buen comportamiento en términos de resistencia a esfuerzos de flexión y corte.
- Buena resistencia al impacto
- Nuevo sistema de conexión propuesto, de relativa fácil instalación y poca susceptibilidad a sufrir problemas de concentración de esfuerzos o fatiga.
- Buenas características de desgaste
- Bajo nivel de ruido si se instala y mantiene adecuadamente
- Fácil limpieza, superficie antideslizante
- Excelente apariencia y estética
- Facilidad de reemplazo de perfiles afectados o desgastados

Las desventajas que presenta el sistema son las siguientes:



ALCALDIA MAYOR
DE BOGOTA D.C.

ALCALDÍA MAYOR - IDU
Instituto de Desarrollo Urbano

CIMOC

**Centro de Investigación en
Materiales y Obras Civiles**



- Poca rigidez general que obliga a aumento de la sección.
- Alta susceptibilidad a la fatiga.
- Dificultad y cuidado en las conexiones.
- Baja resistencia al punzonamiento.
- Desgaste considerable en zonas de alto tráfico que obliga a reemplazos periódicos.
- Requiere mantenimiento periódico.
- Sistema de conexión requiere cuidado especial.

8.11.3 Aspectos comparativos en sistemas estudiados

Para efectos comparativos entre los diferentes sistemas estudiados, la Tabla 8.11-1 presenta los principales parámetros de cada uno de los sistemas con el fin de establecer las comparaciones del caso.

Tabla 8.11-1 Tabla comparativa de los sistemas analizados

Parámetro	Sistema					
	Aluminio existente	Materiales sintéticos	Concreto reforzado con fibras GRC	Concreto pretensado	Rejillas metálicas	Aluminio Nuevo
Descripción	Laminas de aluminio estructural	Polipropileno de alto impacto	Concreto reforzado con fibras	Concreto pretensado	Entramado en acero	Laminas de aluminio estructural
Peso por m ²	29 Kg	50 Kg	58 Kg	93 Kg	71 Kg	35 Kg
Valor por m ²	\$ 315,689	\$ 481,607	\$ 418,520	\$ 88,750	\$ 446,570	\$ 391,525
Tipo de conexión	Tornillos autoperforantes	Tornillos autoperforantes	Soldadura	Soldadura	Soldadura	Grapa y tornillo
Densidad	2700 Kg/m ³	840 Kg/m ³	1960 Kg/m ³	2200 Kg/m ³	7850 Kg/m ³	2700 Kg/m ³
Modulo de elasticidad	69160 Kg/cm ²	7900 Kg/cm ²	217000 Kg/cm ²	200000 Kg/cm ²	2000000 Kg/cm ²	69160 Kg/cm ²
Modulo de poisson	0.33	0.2	0.24	0.2	0.3	0.33
Resistencia a la compresión	35 Kg/cm ²	280 Kg/cm ²	356 Kg/cm ²	280 Kg/cm ²	-	35 Kg/cm ²
Coeficiente de dilatación térmica	0.000024 /°C	0.000124 /°C	0.000015 /°C	0.000010 /°C	0.000012 /°C	0.000024 /°C
Resistencia a la tensión	2780 Kg/cm ²	31 Kg/cm ²	70 Kg/cm ²	10 Kg/cm ²	4200 Kg/cm ²	2780 Kg/cm ²
Desgaste	0.023 gr	0.021 gr	0.124 gr	0.124 gr	0.059 gr	0.023 gr
Ruido caminando	23.0 dB	2.2 dB	6.3 dB	6.6 dB	0.5 dB	8.2 dB
Ruido impacto	53.0 dB	32.6 dB	38.0 dB	36.6 dB	32.3 dB	25.7 dB
Temperatura de ablandamiento	658 °C	162.0 °C	N/A	N/A	720 °C	658.0 °C
Carga de punzonamiento	270 Kg	714 Kg	500 Kg	784 Kg	385 Kg	315 Kg
Procedimiento de limpieza	Lavado	Lavado	Lavado	Lavado	Lavado	Lavado
Carga máxima a flexión	200 Kg	3300 Kg	1084 Kg	1000 Kg	2536 Kg	1450 Kg
Momento máximo a flexión	5550	24750 Kg - cm	10031 Kg - cm	22700 Kg - cm	44390 Kg - cm	18100 Kg - cm
Ciclos de fatiga aplicados	2000	3669	3671	3662	3766	2189
Daño por fatiga	Presento falla en la zona de apoyo a los 3 años	No presento	No presento	No presento	No presento	Punzonamiento en la zona de aplicación de la carga a los 6 años
Descripción del mantenimiento	Reemplazo de lamina	Aplicación de capa superficial	-	-	Aplicación de galvanizado	Reemplazo de lamina

En la Tabla 8-11-4 se presenta la tabla comparativa con los sistemas definitivos.

En los análisis económicos comparativos de las diferentes alternativas estudiadas no se incluyen los costos correspondientes al mantenimiento rutinario y de limpieza ya que estos costos son los mismos independientemente del tipo de piso considerado, de manera que comparativamente este factor no generaría una diferencia apreciable entre las alternativas. Por el contrario los costos de mantenimiento periódico si representan una diferencia en precios unitarios entre los diferentes sistemas por lo cual este si fue incluido dentro de los análisis anteriores.

Como conclusiones principales de la tabla se pueden establecer las siguientes:

- Los sistemas de aluminio presentan el menor peso de todos los sistemas. Lo siguen los sistemas de materiales sintéticos y GRC y finalmente están los materiales más tradicionales como el concreto pretensado y las rejillas de acero que presentan los mayores pesos unitarios.
- En términos de costos la mayoría de los sistemas presentan costos similares que están en el orden de los \$300.000 a \$400.000 por metro cuadrado. Solamente el concreto pretensado presenta un costo especialmente bajo, menos de \$100.000 por metro cuadrado.
- En general todos los sistemas presentan buenas características de resistencia y rigidez para efectos de soportar con seguridad y en buenas condiciones las cargas actuantes.
- La mayoría de los sistemas y tipos de conexión propuestos son de baja susceptibilidad a la fatiga, siempre y cuando se diseñen e instalen adecuadamente. El aluminio sigue presentando problemas con la fatiga y el punzonamiento, aunque se considera que esta limitante puede resolverse con cambios menores en el diseño del perfil.
- Todos y cada uno de los sistemas exige procedimientos especiales para su mantenimiento y para su reemplazo en caso de falla o en caso de desgaste excesivo. En este aspecto debe considerarse que cualquiera que sea la alternativa seleccionada siempre se presentará un porcentaje determinado de fallas y elementos con problemas que requieren su reemplazo, y siempre se requerirán trabajos de mantenimiento periódicos, en diferentes grados, para recuperar la rugosidad o apariencia inicial.

8.11.4 Especificaciones para nuevos sistemas de piso

Independientemente de cual sea el nuevo sistema de piso a utilizar, este deberá cumplir con unas especificaciones mínimas de seguridad, funcionalidad y durabilidad los cuales están detallados en una especificación independiente (ver Capítulo 9 del informe).

Esta especificación tiene como objetivo principal garantizar adecuado funcionamiento del sistema de piso durante la vida útil de diseño y contar con procedimientos sencillos para mantenimiento y reparación. De acuerdo con esto, cualquiera de los sistemas que cumpla con dicha especificación ofrecerá condiciones similares de seguridad y funcionalidad. Cada sistema requiere además de un programa de mantenimiento periódico, para corregir principalmente aspectos relacionados con el desgaste debido al tránsito peatonal regular. Igualmente debe estar previsto un procedimiento de reparación y reemplazo para el caso de daños y fallas que se presentan limitadamente por imprevistos o condiciones de cargas especiales. De esta manera se garantiza que la estructura principal del sistema de piso está diseñada para la vida útil especificada (que estaría en el orden de 20 años o lo que el IDU establezca) y que se presenta un intervalo de tiempo para trabajos de mantenimiento que requieren normalmente reemplazos de elementos aislados, especialmente aquellos ubicados en zonas de alto tráfico. En este aspecto las diferencias entre los sistemas estudiados está en el intervalo de tiempo en que se requieren los trabajos de mantenimiento y reemplazo.

Finalmente y para considerar aspectos prácticos, la especificación incluye la realización de un tramo de pruebas con el sistema seleccionado. Este tramo de pruebas debe dar luces sobre los problemas usuales que se presentan en la instalación y reemplazo de elementos y permite evaluar el comportamiento general del sistema y evidenciar problemas del mismo en el corto plazo, con el fin de tomar las medidas correctivas en el proceso de instalación definitivo.

8.11.5 Criterios para selección de sistemas de piso

Considerando que todos los sistemas cumplen con las consideraciones de seguridad y funcionalidad al cumplir con la especificación dada, los siguientes serían los criterios para la selección final del sistema de piso a utilizar:

- (a) Costo total del sistema incluyendo instalación, mantenimiento y expectativas de reemplazos en el largo plazo, durante la vida útil especificada de diseño.
- (b) Peso total del sistema por metro cuadrado. Para el caso de puentes este parámetro resulta fundamental por cuanto puede controlar el diseño de la estructura principal del puente o permite en un caso dado realizar una optimización en el diseño del mismo. Por otro lado para las estaciones y estructuras a nivel del terreno, este parámetro no parece ser relevante y pueden en este caso usarse los criterios alternos.
- (c) Nivel de mantenimiento requerido e intervalo de tiempo en que se requiere.
- (d) Facilidad de manejo, transporte, almacenamiento, instalación y reemplazo, especialmente al considerar la afectación en el funcionamiento normal del sistema.
- (e) Apariencia y aspectos estéticos.
- (f) Análisis de las ventajas y desventajas relativas que ofrece cada sistema y que fueron descritas anteriormente.

Los resultados del estudio indican que una solución basada en pisos de Aluminio para los puentes y en pisos de concreto pretensado para las estaciones presentaría los mayores beneficios desde los puntos de vista técnico, funcional y económico. Los mencionados resultados se resumen en las Tablas 8.11-1 y 8.11-4, las cuales son el producto del un análisis técnico realizado en los numerales 8.2 a 8.9 y el análisis económico realizado en el numeral 8.10 y en las conclusiones que se presentan en el numeral 8.11.

A continuación se presentan los esquemas definitivos de dichos sistemas cuyos detalles se presentan en los planos ET-06 y ET-07. Las Especificaciones técnicas de construcción y guía para control de calidad en obra de estas alternativas se presenta en el Capítulo 10.

8.1 ALTERNATIVAS DEFINITIVAS

8.1.1 Alternativa de Concreto Pretensado

Esta alternativa se seleccionó como solución de piso para estaciones teniendo en cuenta que se puede disponer de secciones más pesadas en comparación a las alternativas para uso en puentes peatonales. En los ensayos se utilizaron losas de 4 cm de espesor, las cuales no cumplen con el espesor mínimo establecido por la NSR-98, sin embargo, cumplieron con la vida útil proyectada ante solicitaciones por cargas de fatiga. Este espesor estaría muy cerca al límite de la exigencia de la NSR-98, razón por la cual se recomienda realizar un buen mantenimiento de la capa de endurecedor propuesto para evitar el ingreso de agentes agresivos que generen la disminución de la vida útil de los elementos.

En concepto del Consultor, las losas con espesor 4 cm pueden utilizarse para efectos de reemplazo de pisos en estaciones existentes, bajo las recomendaciones enunciadas. Para las estaciones nuevas, el espesor mínimo recomendado de las losas es de 5 cm. mejorando así el recubrimiento al acero de preesfuerzo.

Los ensayos se realizaron con una modulación de losas de piso paralela al sentido del tráfico con lo cual se pretende optimizar su uso en relación a la luz máxima entre viguetas. Esta alternativa también puede modularse en dirección perpendicular al tráfico cuando se requiera. Para esta alternativa se realizaron los detalles de modulación en el sentido perpendicular al tráfico y se presentan el plano ET-06. Los casos especiales de modulación diferentes a los típicos establecidos por el IDU deberán ser estudiados por el contratista responsable de la obra y sometidos a aprobación por parte de la interventoría respectiva.

Tabla 8.1-1 Propiedades geométricas del módulo de piso en concreto preesforzado

Propiedad	Unidad	Valor estaciones existentes	Valor estaciones nuevas
Ancho [a]	m	0.4	0.4
Altura [h]	m	0.04	0.05
Longitud (L)	m	2.4	2.4
Area en planta [A]	m ²	0.96	0.96
Area sección transversal [At]	m ²	0.016	0.02
Densidad	Kg/m ³	2400	2400
Peso por módulo	Kg	92	115
Peso por m ² (Sin Viguetas)	Kg/m ²	96.0	120.0
Peso Viguetas por m ²	Kg/m ²	9.7	9.7

El modulo de concreto pretensado debe cumplir con las siguientes características:

- Concreto, $f'c=5000$ PSI, (35 MPa) (Ver las especificaciones Generales de Concreto).
- Cables de preesfuerzo: fpu 1800 MPa. Normas ASTM A-416 y ASTM A-706.
- Tensión en el cables de preesfuerzo: 1.32 Tf.
- Perfiles en acero estructural A-36, Norma ASTM A 36, ASTM A 242.
- Anclajes, cuñas, equipo de tensado.
- Formaletas, palas y palustres.
- Mezcladoras, vibradores y coches.
- Sistema de curado, almacenamiento y transporte.
- Endurecedor de piso (Sikafloor-3 QuartzTop, Mastertop, Latex cement o similar)
- Esfuerzos máximos de diseño en alambres 10500 Kg/cm^2
- Esfuerzos máximos de diseño en concreto 157 Kg/cm^2

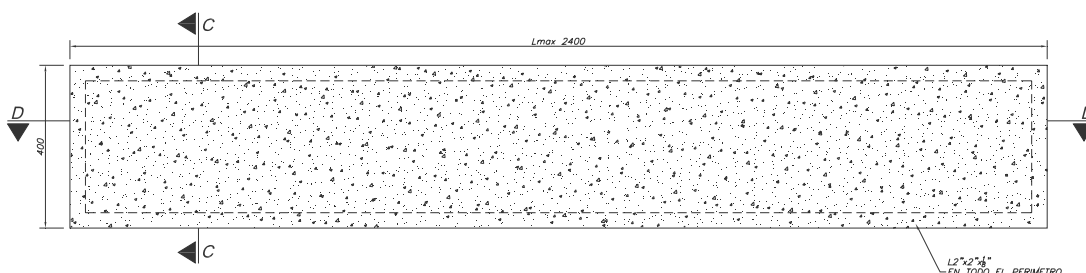


Figura 8.1-1 Planta superior sistema de pisos en concreto pretensado (dimensiones en mm)

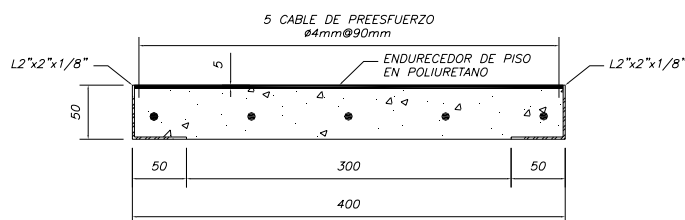


Figura 8.1-2 Corte A-A Sistema de pisos en concreto pretensado (dimensiones en mm)

En la Tabla 8.11-4 se presentan los análisis comparativos de los diferentes sistemas incluyendo las modificaciones finales para concreto pretensado y perfil de aluminio seleccionado presentados en las Figuras 8.11-1 a 8.11-4.

Tabla 8.12-4 Tabla comparativa de los sistemas definitivos

Parámetro	Sistema					
	Aluminio existente	Materiales sintéticos	Concreto reforzado con fibras GRC	Concreto pretensado	Rejillas metálicas	Aluminio Nuevo
Descripción	Laminas de aluminio estructural	Polipropileno de alto impacto	Concreto reforzado con fibras	Concreto pretensado	Entramado en acero	Laminas de aluminio estructural
Peso por m ² (Sin Viguetas)	12,1 Kg/m ²	34,0 Kg/m ²	45,6 Kg/m ²	120,0 Kg/m ²	58,3 Kg/m ²	18,5 Kg/m ²
Peso por m ² (Con Viguetas)	31 Kg	53 Kg	60 Kg	130 Kg	73 Kg	38 Kg
Valor por m ² (Incluye Viguetas)	\$ 315.689	\$ 361.880	\$ 503.364	\$ 247.780	\$ 457.504	\$ 492.278
Tipo de conexión	Tornillos autoperforantes	Tornillos autoperforantes	Soldadura	Soldadura	Soldadura	Grapa y tornillo
Densidad	2700 Kg/m ³	840 Kg/m ³	1960 Kg/m ³	2200 Kg/m ³	7850 Kg/m ³	2700 Kg/m ³
Modulo de elasticidad	69160 Kg/cm ²	7900 Kg/cm ²	217000 Kg/cm ²	200000 Kg/cm ²	2000000 Kg/cm ²	69160 Kg/cm ²
Modulo de poisson	0,33	0,2	0,24	0,2	0,3	0,33
Resistencia a la compresión	35 Kg/cm ²	280 Kg/cm ²	356 Kg/cm ²	280 Kg/cm ²	-	35 Kg/cm ²
Coefficiente de dilatación térmica	0,000024 /°C	0,000124 /°C	0,000015 /°C	0,000010 /°C	0,000012 /°C	0,000024 /°C
Resistencia a la tensión	2780 Kg/cm ²	31 Kg/cm ²	70 Kg/cm ²	10 Kg/cm ²	4200 Kg/cm ²	2780 Kg/cm ²
Desgaste	0,023 gr	0,021 gr	0,124 gr	0,124 gr	0,059 gr	0,023 gr
Ruido caminando	23,0 dB	2,2 dB	6,3 dB	6,6 dB	0,5 dB	8,2 dB
Ruido impacto	53,0 dB	32,6 dB	38,0 dB	36,6 dB	32,3 dB	25,7 dB
Temperatura de ablandamiento	658 °C	162,0 °C	N/A	N/A	720 °C	658,0 °C
Carga de punzonamiento	270 Kg	714 Kg	500 Kg	784 Kg	385 Kg	315 Kg
Procedimiento de limpieza	Lavado	Lavado	Lavado	Lavado	Lavado	Lavado
Carga máxima a flexión	200 Kg	3300 Kg	1084 Kg	1000 Kg	2536 Kg	1450 Kg
Momento máximo a flexión	5550	24750 Kg - cm	10031 Kg - cm	22700 Kg - cm	44390 Kg - cm	18100 Kg - cm
Ciclos de fatiga aplicados	2000	3669	3671	3662	3766	2189
Daño por fatiga	Presento falla en la zona de apoyo a los 3 años	No presento	No presento	No presento	No presento	Punzonamiento en la zona de aplicación de la carga a los 6 años
Descripción del mantenimiento	Reemplazo de lamina	Aplicación de capa superficial	Aplicación de capa superficial	Aplicación de capa superficial	Cambio de malla superior	Reemplazo de lamina

ESPECIFICACIONES TECNICAS PARA NUEVOS SISTEMAS DE PISO



INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		 ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C. Instituto Desarrollo Urbano
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 10 de octubre de 2007	

TABLA DE CONTENIDO

9	Especificaciones Tecnicas para nuevos sistemas de piso	9-1
9.1	Objetivo	9-1
9.2	Alcance	9-1
9.3	Definiciones	9-1
9.4	Aspectos generales	9-3
9.5	Vida útil de diseño y de mantenimiento	9-3
9.6	Cargas vivas de diseño.....	9-4
9.7	Combinaciones de carga y factores	9-6
9.8	Verificaciones mínimas	9-7
9.9	Instalación.....	9-8
9.10	Mantenimiento	9-9
9.11	Información mínima requerida para aprobación por parte del IDu	9-9
9.12	Tramo de prueba.....	9-12

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		 ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C. Instituto Desarrollo Urbano
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 10 de octubre de 2007	

LISTA DE FIGURAS

Figura 9.7-1 Caso de carga 1	9-4
Figura 9.7-2 Caso de carga 2	9-4
Figura 9.7-3 Caso de carga 3	9-5
Figura 9.7-4 Espectro de carga peatonal de diseño para un (1) día de transito intenso	9-6

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		 ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 10 de octubre de 2007	

LISTA DE TABLAS

Tabla 9.7-1 Datos espectro de fatiga.....	9-5
---	-----

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 10 de octubre de 2007	

9.1 OBJETIVO

Esta Norma tiene por objeto establecer los parámetros y definir las consideraciones de tipo técnico que deben cumplir los sistemas de piso que se utilicen en las estaciones y en los puentes peatonales del sistema Transmilenio. Igualmente se establecen los requisitos de control de calidad necesarios durante el proceso de montaje de los elementos de piso.

9.2 ALCANCE

Esta norma contiene los requisitos que deben cumplir los sistemas de piso a utilizar en el sistema de estaciones y puentes de Transmilenio. El sistema de piso incluye los siguientes elementos:

- Viguetas de apoyo sobre la estructura principal de la estación o puente.
- Sistema de piso terminado
- Sistema de apoyo
- Sistema de conexión

No se incluye en estas normas lo relacionado con el diseño de la estructura principal de la estación. El diseño del sistema de piso parte de la definición previa de la cota final del piso terminado en cada punto de la estación o del puente.

9.3 DEFINICIONES

Estructura principal: Estructura metálica típica que conforma la estación o puente peatonal y sirve de soporte al sistema de piso.

Sistema de piso: incluye todos aquellos elementos y dispositivos que conforman la plataforma de tránsito peatonal en estaciones y puentes del sistema Transmilenio. El sistema incluye normalmente las viguetas o elementos de apoyo a la estructura principal, láminas, perfiles, paneles de materiales de uso estructural utilizados para el acabado final del piso y que cumplen con los requerimientos mínimos establecidos.

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		 ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C. Instituto Desarrollo Urbano
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 10 de octubre de 2007	

Panel: Elemento individual que conforma la plataforma final de acabado de piso. Es un elemento estructural que debe cumplir con los requerimientos mínimos establecidos en este capítulo.

Módulo: Tramo típico de la estructura de soporte del sistema de piso en la estación, está conformado por varios paneles.

Viguetas de apoyo: Elementos de estructura metálica sobre los cuales se apoyan directamente los paneles de acabado final de piso.

Anclaje: conexión entre las viguetas de apoyo y los paneles de piso.

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		 ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 10 de octubre de 2007	

9.4 ASPECTOS GENERALES

Los sistemas de piso que se instalen en las estaciones y puentes del sistema Transmilenio deben cumplir con una serie de requerimientos mínimos relacionados con la seguridad, la funcionalidad y la durabilidad.

- Seguridad: el sistema de piso debe mantener niveles mínimos de seguridad ante las diferentes condiciones de cargas actuantes.
- Funcionalidad: el sistema de piso debe garantizar una funcionalidad adecuada durante la vida útil especificada para lo cual deben establecerse las consideraciones para el mantenimiento del sistema con el fin de que ninguno de los parámetros de funcionalidad estén por debajo de los parámetros mínimos establecidos.
- Durabilidad: el sistema de piso debe mantener sus propiedades y características básicas por un tiempo mínimo especificad, después del cual debe establecerse el procedimiento de mantenimiento para recuperar las propiedades perdidas durante el tiempo de uso.

La norma está orientada a la utilización de cualquier tipo de material de uso estructural y de configuración y distribución de elementos estructurales, con los siguientes objetivos:

- Minimizar el peso propio del sistema
- Garantizar su adecuado funcionamiento durante la vida útil de diseño
- Contar con procedimientos sencillos para mantenimiento y reparación.

9.5 VIDA UTIL DE DISEÑO Y DE MANTENIMIENTO

A menos que se indique lo contrario, se establecen los siguientes tiempos de diseño:

- Vida útil de diseño mínima: 20 años.
- Tiempo mínimo sin necesidad de mantenimiento: 5 años.

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		 ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 10 de octubre de 2007	

9.6 CARGAS VIVAS DE DISEÑO

Los sistemas de piso para estaciones y puentes del sistema Transmilenio deben diseñarse para los siguientes casos de cargas vivas de diseño, adicionales a las cargas debidas al peso propio del sistema y de todos sus componentes:

1. Caso de carga 1: Carga viva uniformemente distribuida

Corresponde a una carga uniformemente distribuida de 450 kg/m² que debe aplicarse sobre la superficie del piso (Ver Figura 9.6-1).

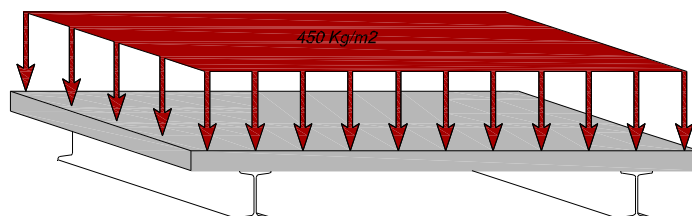


Figura 9.6-1 Caso de carga 1

2. Caso de carga 2: Cargas vivas concentradas

Corresponde a dos cargas concentradas de 100 kg cada una, aplicadas con una separación de 30 cm, en una superficie de contacto cuadrada de 5 cm x 5 cm.

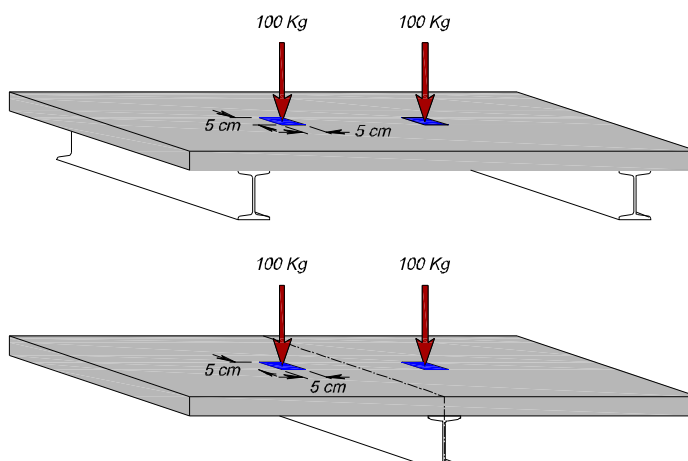


Figura 9.6-2 Caso de carga 2

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		 ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 10 de octubre de 2007	

3. Caso de carga 3: Cargas vivas de punzonamiento

Corresponde a una carga de 100 kg aplicada en forma concentrada en un círculo con un diámetro de 1 cm.

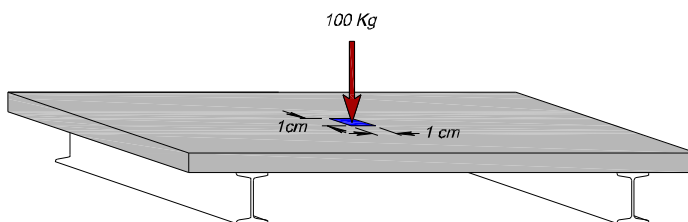


Figura 9.6-3 Caso de carga 3

4. Caso de carga 4: Espectro de cargas para fatiga: Se establece un espectro de repetición de las cargas concentradas para efectos de evaluación del fenómeno de fatiga. En la Tabla 9.6-1 y en la Figura 9.6-4. se presentan las características de este espectro. Puede utilizarse cualquier frecuencia de aplicación de dichas cargas. Cada ciclaje completo de cargas (1500 ciclos) es equivalente a la carga de un día hábil normal en puntos de alto tránsito peatonal.

Tabla 9.6-1 Datos espectro de fatiga

Ciclo	No de ciclos	Carga (Kg)
1	150	400
2	550	200
3	800	140
Total	1500	

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		 ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 10 de octubre de 2007	

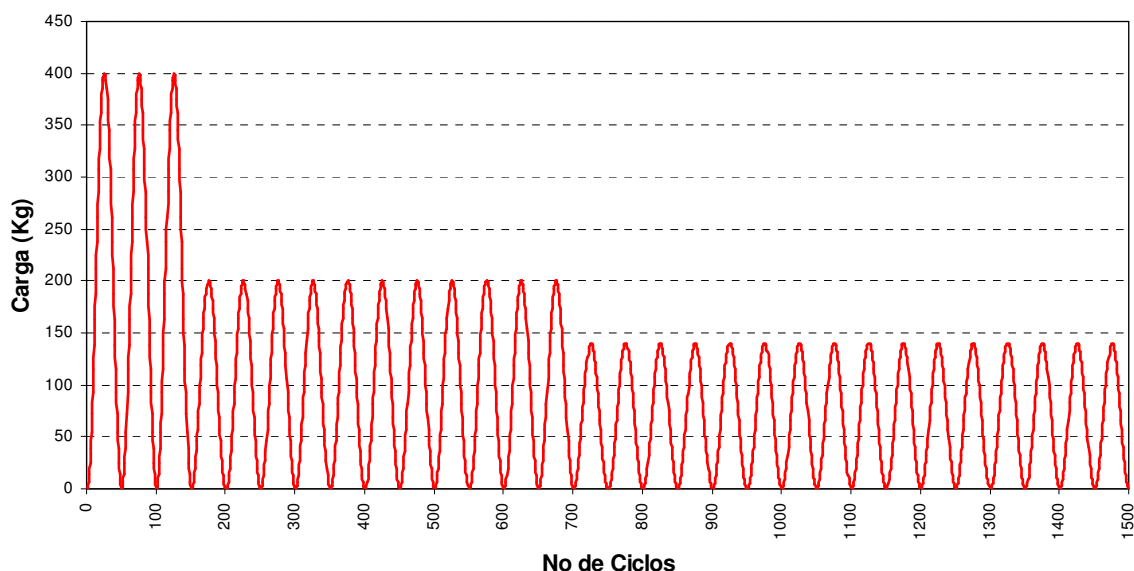


Figura 9.6-4 Espectro de carga peatonal de diseño para un (1) día de tránsito intenso

9.7 COMBINACIONES DE CARGA Y FACTORES

Para efectos de las combinaciones de carga a utilizar se adoptan los factores de carga dados por las Normas Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistentes, Ley 400 de 1998 y decretos Reglamentarios 33 de 1999 y 34 de 2000 en el Capítulo B.2. Combinaciones de Carga. Se permite la utilización de cualquiera de los métodos de diseño establecidos en dicho capítulo, tales como esfuerzos de trabajo para verificación de estados límite de servicio o esfuerzos últimos mayorados para verificación de estados límites de resistencia según el material y a criterio del ingeniero diseñador.

Para efectos de la aplicación de las cargas vivas concentradas anteriores se establece un factor de impacto, I , el cual deberá afectar únicamente las cargas vivas concentradas para los casos de análisis en que no se tenga en cuenta la repetibilidad de las cargas. El factor de impacto mínimo a utilizar para las cargas concentradas es de 1.5. Se podrá utilizar otro valor siempre y cuando se demuestre mediante mediciones dinámicas que para el sistema en cuestión aplica un valor diferente.

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		 ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C. Instituto Desarrollo Urbano
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 10 de octubre de 2007	

9.8 VERIFICACIONES MÍNIMAS

Se deben realizar como mínimo las siguientes verificaciones analíticas:

- Deflexiones: el cálculo de las deflexiones se realizará con las propiedades medidas de los materiales y la distribución geométrica y propiedades mecánicas propuestas para los elementos del sistema. En ningún caso la deflexión máxima en cualquier punto del sistema correspondiente a las cargas vivas reales aplicadas en los sitios más críticos deberá ser mayor a $L/300$ en la cual L es la longitud libre de la luz de apoyo en cualquiera de las direcciones en que trabaje el elemento.

- Resistencia a corte: se deberá verificar la resistencia al corte de todos los elementos estructurales del sistema ante las diferentes situaciones de carga a analizar. La capacidad a cortante de cada elemento estructural se podrá determinar mediante fórmulas reconocidas, aceptadas y publicadas o mediante ensayos de laboratorio representativos. La resistencia al corte debe verificarse para la sección de un panel integral y para cada uno de los materiales en forma independiente.

- Resistencia a la flexión: se deberá verificar la resistencia a la flexión de todos los elementos estructurales del sistema ante las diferentes situaciones de carga a analizar. La capacidad a flexión de cada elemento estructural se podrá determinar mediante fórmulas reconocidas, aceptadas y publicadas o mediante ensayos de laboratorio representativos. La resistencia a la flexión debe determinarse para la sección completa del panel de piso.

- Esfuerzos: para paneles en materiales no tradicionales (diferentes al concreto y al acero) deberá desarrollarse modelos de análisis que representen las condiciones geométricas, variación de propiedades, tipos de apoyo y distribución de cargas dadas. Con base en este modelo deberá calcularse para las diferentes tipos de carga indicados los esfuerzos generados en los diferentes materiales tanto a compresión, como en tensión y cortante y estos esfuerzos máximos actuantes deberán compararse con los esfuerzos admisible o últimos establecidos para cada tipo de esfuerzos analizado mediante ensayos de laboratorio.

- Resistencia al punzonamiento: se deberá verificar en forma analítica o experimental la resistencia al punzonamiento de la plaqueta o panel superior del piso ante el Caso de carga 3, ubicando la carga en el sitio más crítico y utilizando un factor de sobrecarga de al menos 5. Alternativamente se deberá

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		 ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 10 de octubre de 2007	

demostrar dicha capacidad en forma experimental mediante la aplicación del Caso de carga 3 aplicado con el espectro de cargas dado hasta alcanzar al menos la mitad de la vida útil de diseño especificada.

Resistencia a la fatiga: se debe verificar en forma experimental o analítica la resistencia a la fatiga del sistema utilizando el Caso de carga 2 aplicado con el espectro de cargas establecido para cargas repetitivas y sin considerar el factor de impacto para cargas vivas. El sistema debe garantizar un funcionamiento adecuado y seguro durante la vida útil especificada.

9.9 INSTALACIÓN

Para el proceso de instalación se deben cumplir los siguientes requisitos mínimos, a menos que se demuestre analítica o experimentalmente que pueden utilizarse otros valores diferentes sin que esto tenga impacto en el sistema.

La holgura máxima en variaciones de niveles finales en los elementos de soporte en las cuales se van a apoyar los módulos es de 1 cm.

La estructura metálica de soporte principal debe cumplir con todos los requisitos de fabricación, instalación, montaje y control de calidad establecidos en el literal F.2.13 de las NSR-98.

La instalación de pernos, anclajes, tornillos o sujetadores debe ajustarse a lo establecido en el diseño. No se permiten conectores inclinados, desajustados o que presenten cualquier tipo de defecto. No se permite la realización de más de dos perforaciones consecutivas en un solo sitio.

Detalles del procedimiento de conexión, precauciones y plan de control de calidad.

Aspectos de la instalación que no se permiten tales como pernos inclinados, repetición de perforaciones.

Se debe presentar el procedimiento de instalación que incluya al menos los siguientes aspectos:

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		 ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C. Instituto Desarrollo Urbano
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 10 de octubre de 2007	

Requisitos que debe cumplir la estructura metálica de soporte principal con respecto a la fabricación, instalación, montaje y control de calidad.

Plano con la distribución detallada de los módulos de entepiso en los cuales se indique claramente las zonas de apoyo y los puntos específicos de conexión. Especial atención debe darse al cubrimiento de zonas en que se presenten aberturas, cortes, o cambios en la distribución normal de los paneles. La distribución debe considerar la ubicación de las compuertas o escotillas para acceso a la zona inferior. Esta debe ubicarse de manera que se pueda tener acceso desde la parte inferior a cualquier sector del sistema de piso. La distribución de elementos de apoyo también deberá ajustarse o complementarse para permitir la construcción de los detalles requeridos.

Procedimiento detallado de instalación.

Plan de control de calidad

9.10 MANTENIMIENTO

Se debe presentar el procedimiento de mantenimiento que incluya al menos los siguientes aspectos:

Periodicidad

Procedimiento detallado para el mantenimiento

Plan de control de calidad

9.11 INFORMACIÓN MÍNIMA REQUERIDA PARA APROBACIÓN POR PARTE DEL IDU

Cualquier sistema de piso para ser aprobado por parte del IDU requiere de la presentación de un estudio teórico-práctico que incluya como mínimo la siguiente información:

- Datos generales del sistema tales como nombre, empresa que lo puede producir, persona de contacto y otra información administrativa.

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		 ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C. Instituto Desarrollo Urbano
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 10 de octubre de 2007	

- Descripción y características generales del sistema:

Materiales utilizados

Antecedentes de utilización

Disposición estructural

Sistema de apoyo

Sistema de conexión

Planos con la siguiente información mínima:

Detalles de la disposición del sistema en la estación en planta

Secciones típicas en las dos direcciones

Detalles del sistema de apoyo

Detalles del sistema de conexión

Propiedades físicas y mecánicas básicas de los materiales justificadas experimentalmente cuando se trate de materiales no convencionales, incluyendo:

Módulo de elasticidad

Densidad

Coefficiente de expansión o contracción térmica

Relación de Poisson

Resistencia a la compresión

Resistencia a la tensión (directa, indirecta, o por flexión)

Comportamiento a flexión (curva momento-deflexión)

Peso propio final del sistema para diseño de la estructura de soporte

Evaluación de los siguientes aspectos:

Resistencia al fuego

Resistencia a químicos y sustancias peligrosas

Resistencia a golpes e impactos

Riesgos complementarios a los peatones (deslizamiento, raspaduras en caso de caída, etc.)

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		 ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C. Instituto Desarrollo Urbano
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 10 de octubre de 2007	

- Comportamiento experimental:

Ensayos a flexión sobre plaquetas o elementos

Capacidad de carga (se puede demostrar analíticamente)

Resistencia a la fatiga

Resistencia de conectores y anclajes

Resistencia al desgaste de la superficie

Resistencia al intemperismo

Resistencia la punzonamiento

Generación de ruido

- Verificaciones de diseño:

Deflexiones

Resistencia a cortante

Resistencia a la flexión

Resistencia a esfuerzos de compresión, flexión y cortante

Resistencia al punzonamiento

Resistencia a la fatiga

- Verificación o diseño de conectores

- Procedimientos de instalación y reparación.

- Trabajos de mantenimiento requeridos, procedimientos y periodicidad. Se debe justificar de manera específica que el tiempo mínimo para el primer mantenimientos es el establecido en el capítulo 8.

- Análisis de costos unitarios incluyendo instalación y mantenimiento para la vida útil de diseño.

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		 ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C. Instituto Desarrollo Urbano
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 10 de octubre de 2007	

9.12 TRAMO DE PRUEBA

Una vez el sistema haya sido aprobado por IDU desde el punto de vista de la información de soporte presentada, se deberá realizar la instalación de un tramo de prueba experimental mediante el cual se verifiquen los procesos de montaje y se demuestre el funcionamiento real del sistema.

Dicho tramo de prueba debe instalarse al inicio de las actividades del contratista con el fin de contar con un período de tiempo mínimo de prueba. Una vez terminado el periodo de prueba establecido el IDU dará al contratista los comentarios del caso para adelantar las modificaciones correspondientes antes de obtener la aprobación final del sistema de piso a utilizar. Queda por cuenta del contratista el reemplazo del tramo de prueba por el sistema finalmente adoptado que cumpla con la presente especificación.

ESPECIFICACIONES TECNICAS DE CONSTRUCCION



INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

TABLA DE CONTENIDO

10 ESPECIFICACIONES TECNICAS DE CONSTRUCCION	10-1
10.1 ITEM PANELES EN CONCRETO PEESFORZADO 5000 PSI	10-1
10.1.1 Descripción.....	10-1
10.1.2 Características técnicas del panel	10-1
10.1.3 Materiales y Equipos	10-1
10.1.4 Procedimiento de construcción	10-2
10.1.5 Control y Tolerancias	10-3
10.1.6 Precio Unitario	10-4
10.1.7 Medición y pago.....	10-4
10.1.8 Item de pago	10-4
10.2 ITEM PERFILES DE ALUMINIO.....	10-4
10.2.1 Descripción.....	10-5
10.2.2 Características técnicas del panel	10-5
10.2.3 Materiales y Equipos	10-5
10.2.4 Procedimiento de construcción	10-5
10.2.5 Control y Tolerancias	10-7
10.2.6 Precio Unitario	10-7
10.2.7 Medición y pago.....	10-8
10.2.8 Item de pago	10-8
10.3	10-8
10.4 ITEM DESMONTE DE VIGUETAS DE ACERO	10-9
10.4.1 Descripción.....	10-9
10.4.2 Materiales y Equipos	10-9
10.4.3 Procedimiento de construcción	10-9

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		 ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C. Instituto Desarrollo Urbano
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

10.4.4	Precio Unitario	10-10
10.4.5	Medición y pago.....	10-10
10.4.6	Item de pago	10-10
10.5	ITEM INSTALACIÓN DE VIGUETAS DE ACERO	10-10
10.5.1	Descripción.....	10-10
10.5.2	Materiales y Equipos	10-11
10.5.3	Procedimiento de construcción:	10-11
10.5.4	Precio Unitario	10-12
10.5.5	Medición y pago.....	10-12
10.5.6	Item de pago	10-13
10.6	ESPECIFICACIONES GENERALES CONCRETO 5000 PSI.....	10-13
10.6.1	Descripción.....	10-13
10.6.2	Procedimiento de construcción	10-14
10.6.3	Materiales y Equipos	10-15
10.6.4	Mezclado del Concreto.....	10-22
10.6.5	Transporte y Colocación	10-23
10.6.6	Vibrado.....	10-24
10.6.7	Curado y Protección	10-26
10.6.8	Juntas de Dilatación.....	10-27
10.6.9	Acabados de la Superficie	10-28
10.6.10	Pruebas y Ensayos de Concreto.....	10-29
10.6.11	Medición y pago.....	10-32
10.6.12	Item de pago	10-32
10.7	ESPECIFICACIONES GENERALES ACERO DE REFUERZO.	10-33
10.7.1	Descripción.....	10-33
10.7.2	Materiales y Equipos	10-33
10.7.3	Procedimiento de construcción	10-39

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

10.7.4 Soldadura.....	10-41
10.7.5 Abrasivos y disolventes.....	10-41
10.7.6 Equipo	10-41
10.7.7 Ejecucion de los trabajos.....	10-42
10.7.8 Condiciones para el recibo de los trabajos	10-52
10.8 ITEM MANTENIMIENTO PANELES DE CONCRETO	10-54
10.8.1 Descripción.....	10-54
10.8.2 Materiales yEquipos	10-54
10.8.3 Procedimiento de construcción	10-54
10.8.4 Medición y pago.....	10-55
10.8.5 Item de pago	10-55
GUIA PARA EL CONTROL DE CALIDAD EN OBRA10	a
10.9 ITEM PANELES EN CONCRETO PEESFORZADO 5000 PSI	10-53
10.10 ITEM PERFILES DE ALUMINIO	10-54
APENDICES TECNICOS	

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		 ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

LISTA DE TABLAS

Tabla 10-1 Tamices ICONTEC	10-18
Tabla 10-2 Radios de doblado.....	10-46

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		 ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

10.1 ITEM PANELES EN CONCRETO PREESFORZADO 5000 PSI

Nota: Ver las especificaciones Generales para Concreto de 5000 PSI, y especificaciones Generales para acero de refuerzo.

10.1.1 Descripción

Este ítem comprende el conjunto de operaciones necesarias para el suministro, control de calidad y e instalación de las losas de piso en concreto preesforzado.

10.1.2 Características técnicas del panel

Todos los paneles y los tipos de conexión a utilizar en sistema de piso de puentes y estaciones deben cumplir con las Especificaciones Técnicas para nuevos sistemas de piso referenciadas en el capítulo 9 del informe del Análisis, Diagnóstico y Propuesta de solución del sistema de pisos de puentes peatonales y estaciones del sistema Transmilenio. Por tratarse de paneles de concreto pretensado, éstos elementos deben cumplir con los requisitos aplicables para elementos prefabricados y para elementos de concreto pretensado dados en las NSR-98.

10.1.3 Materiales y Equipos

El contratista suministrará todos los materiales, herramientas y equipo necesario para elaborar e instalar las losas de piso en concreto preesforzado. Los materiales herramientas y equipos necesarios son los siguientes:

- Concreto, $f'c=5000$ PSI, (35 MPa) (Ver las especificaciones Generales de Concreto).
- Cables de preesfuerzo: fpu 1800 MPa. Normas ASTM A-416 y ASTM A-706.
- Tensión en el cables de preesfuerzo: 1.32 Tf.
- Perfiles en acero estructural A-36, Norma ASTM A 36, ASTM A 242.
- Anclajes, cuñas, equipo de tensado.
- Formaletas, palas y palustres.
- Mezcladoras, vibradores y coches.

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

- Sistema de curado, almacenamiento y transporte.
- Endurecedor de piso (Sikafloor-3 QuartzTop, Mastertop, Latex cement o similar).
- Esfuerzos máximos de diseño en alambres 10500 Kg/cm²
- Esfuerzos máximos de diseño en concreto 157 Kg/cm²

10.1.4 Procedimiento de construcción

Requerimientos previos:

- (a) El montaje de las losas de pisos deberá ser ante todo seguro, tanto desde el punto de vista de la resistencia y estabilidad de los elementos a emplear en el montaje, como las condiciones de trabajo del personal empleado.
- (b) El lugar de trabajo deberá condicionarse para facilitar las labores de recibo, almacenamiento, ensamblaje, transporte interno e izada de los diferentes elementos.
- (c) El montaje deberá ser realizado con rapidez y exactitud por personal calificado.
- (d) El montaje deberá ser dirigido por un ingeniero experimentado.
- (e) Deberán verificarse las medidas de la obra comparadas con las de los planos estructurales. Cualquier modificación o ajuste necesario, es más fácil realizarlo directamente.
- (f) Verificar que las viguetas de soporte estén perfectamente, bien niveladas y aplomadas.
- (g) Verificar que la posición de los demás elementos de la obra estén localizados y dimensionados tal como se previó en el diseño.

Requerimientos durante la ejecución:

- (a) Los montadores deben tener la precaución de alinear las diferentes partes que van a empatar siguiendo los planos de construcción y garantizando los espacios, aberturas y demás detalles especificados.
- (b) La conexión de todos los paneles se realizará mediante cordones de soldadura aplicados en las uniones de los ángulos metálicos embebidos en los paneles y las viguetas de apoyo metálicas según los planos de construcción. Las soldaduras serán de buena calidad y presentación, usando electrodos de fabricación y resistencia indicadas por el diseñador. Se deberá seguir las indicaciones de las normas y manuales aplicables de la NSR-98 y de la AWS.

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		 ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

- (c) Todas las operaciones de montaje requieren mano de obra calificada y supervisión permanente de profesionales idóneos. Las soldaduras deberán ser aplicadas por operarios certificados.
- (a) Verificar medidas y obtener el visto bueno definitivo del Supervisor.
- (b) Tomar las muestras exigidas para control de calidad de las mezclas y anotar en las hojas de control y en el libro de la obra, los datos respectivos.

10.1.5 Control y Tolerancias

Para el control de calidad se deberán tomar muestras aleatoriamente o construir especímenes de prueba en el laboratorio siguiendo los mismos procedimientos y utilizando los mismos materiales que los utilizados en la instalación. Todo el procedimiento deberá estar supervisado por el Interventor. Se deberán realizar como mínimo los siguientes ensayos de control de calidad:

Ensayo	Norma	Frecuencia	Criterio Aceptación
Dimensionamiento y geometría	NSR-98 Titulo C Numeral 18, Elementos prefabricados.	3 paneles por cada estación o por cada 150 m ² de piso instalado.	Equivalente a NSR-98
Extracción núcleos de concreto para ensayo a compresión	ASTM C-469-94	3 núcleo por cada estación o por cada 150 m ² de piso instalado.	Equivalente a NSR-98
Extracción núcleos de concreto para ensayo a tensión indirecta	ASTM C-496-96	3 núcleo por cada estación o por cada 150 m ² de piso instalado.	Equivalente a NSR-98
Ensayo a tracción de torón de preesfuerzo	ASTM B 557	3 ensayos por cada estación o por cada 150 m ² de piso instalado.	Equivalente a NSR-98
Resistencia a la fatiga para cargas	Especificaciones Técnicas para nuevos sistemas de piso	1 ensayo por cada tres estaciones instaladas o cada	Debe cumplir la vida útil especificada

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		 ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C. Instituto Desarrollo Urbano
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

vivas concentradas y espectro de cargas de fatiga en elemento con viguetas de soporte y sistema de conexión	– Capitulo 9	450 m ² de piso instalado	
---	--------------	--------------------------------------	--

10.1.6 Precio Unitario

El precio unitario deberá incluir todos los ítems requeridos para la instalación y puesta en servicio de los pisos tales como suministro de paneles y materiales, transporte, almacenamiento y vigilancia, herramientas y elementos de manejo e instalación, equipos, soldadura, mano de obra, toma de muestras para ensayos, elaboración de ensayos de control de calidad y mantenimiento según tiempo especificado por el IDU.

10.1.7 Medición y pago

Las losas de piso en concreto preesforzado serán medidas en metros cuadrados. Para el cálculo de cantidades ejecutadas se tomarán las dimensiones indicadas en los planos y/o instrucciones escritas del Supervisor de Obra. El pago se efectuará de acuerdo a los valores unitarios contemplados en la lista de cantidades y precios de la propuesta.

10.1.8 Item de pago

Paneles en concreto preesforzado 5000 PSI.....metros cuadrados (m²).

10.2 ITEM PERFILES DE ALUMINIO

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		 ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

10.2.1 Descripción

Este ítem comprende el conjunto de operaciones necesarias para el suministro, control de calidad e instalación de perfiles de aluminio como sistemas de piso en puentes peatonales.

10.2.2 Características técnicas del panel

Todos los perfiles y los tipos de conexión a utilizar en sistema de piso de puentes y estaciones deben cumplir con las Especificaciones Técnicas para nuevos sistemas de piso referenciadas en el capítulo 9 del informe del Análisis, Diagnóstico y Propuesta de solución del sistema de pisos de puentes peatonales y estaciones del sistema Transmilenio. Adicionalmente deben cumplir con los requisitos aplicables de las NSR-98 en relación a elementos en aluminio estructural.

10.2.3 Materiales y Equipos

El contratista suministrará todos los materiales, herramientas y equipo necesario para instalar los paneles en aluminio. Los materiales herramientas y equipos necesarios son los siguientes:

- Perfilería de piso en Aluminio estructural. Aluminio 6261 – T6.
- Conectores para perfilaría estructural según especificación de diseño.
- Pernos de acero $f_u=825$ MPa (A-325), con arandela de presión.
- Caucho EPDM Shore A-90, color negro 3mm de espesor.
- Adhesivo de alto impacto.
- Herramienta tales como llaves para tuercas, cierras, martillos, almádenas, o perros.
- Manilas o vientos, pinos o muertos, diferenciales, pulidoras, equipos para pintar (brochas, pistola), equipo de seguridad (casco, guantes, cinturones de seguridad, gafas, botas con puntera reforzada, etc.), equipo para transporte (camiones), andamios y demás elementos requeridos para el montaje.

10.2.4 Procedimiento de construcción

Requerimientos previos:

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

- (a) La vigueta de soporte en acero deberá prepararse para la instalación colocándole un caucho EPDM Shore A-90 en la superficie superior que servirá de apoyo al perfil de Aluminio, siguiendo el procedimiento mencionado a continuación:
- Identificar la superficie superior del perfil.
 - Desengrasar la superficie superior.
 - Limpieza con agua y jabón.
 - Aplicar adhesivo de alto impacto siguiendo las recomendaciones del fabricante.
- (b) El montaje de los perfiles de aluminio como elementos de piso deberá ser ante todo seguro, tanto desde el punto de vista de la resistencia y estabilidad de los elementos a emplear en el montaje, como las condiciones de trabajo del personal empleado.
- (c) El lugar de trabajo deberá condicionarse para facilitar las labores de recibo, almacenamiento, ensamblaje, transporte interno e izada de los diferentes elementos.
- (d) El montaje deberá ser realizado con rapidez y exactitud por personal calificado.
- (e) El montaje deberá ser dirigido por un ingeniero experimentado.
- (f) Deberán verificarse las medidas de la obra comparadas con las de los planos estructurales. Cualquier modificación o ajuste necesario, es más fácil realizarlo directamente.
- (g) Verificar que las viguetas de soporte estén perfectamente, bien niveladas y aplomadas.
- (h) Verificar que la posición de los demás elementos de la obra estén localizados y dimensionados tal como se previó en el diseño.

Requerimientos durante la ejecución:

- (a) Los montadores deben tener la precaución de alinear las diferentes partes que van a empatar siguiendo los planos de construcción y garantizando los espacios, aberturas y demás detalles especificados.
- (b) Una vez ubicados los perfiles en forma definitiva se realizarán las perforaciones en los perfiles metálicos para realizar las conexiones respectivas.
- (c) La conexión de todos los perfiles se realizará mediante los conectores especificados y siguiendo los procedimientos específicos de instalación dados por los fabricantes.
- (d) Todas las operaciones de montaje requieren mano de obra calificada y supervisión permanente de profesionales idóneos.

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		 ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

- (e) Verificar medidas y establecer los defectos que se presenten y obtener el visto bueno definitivo del Supervisor.
- (f) Tomar las muestras exigidas para control de calidad de las mezclas y anotar en las hojas de control y en el libro de la obra, los datos respectivos.

10.2.5 Control y Tolerancias

Para el control de calidad se deberán tomar muestras aleatoriamente o construir especímenes de prueba en el laboratorio siguiendo los mismos procedimientos y utilizando los mismos materiales que los utilizados en la instalación. Todo el procedimiento deberá estar supervisado por el Interventor. Se deberán realizar como mínimo los siguientes ensayos de control de calidad:

Ensayo	Norma	Frecuencia	Criterio Aceptación
Dimensionamiento y geometría	NSR-98 Holgura en elementos metálicos	3 perfiles por cada estación o por cada 100 m ² de piso instalado	Equivalente a NSR-98
Ensayo a tracción de probeta de aluminio	ASTM B 557	3 ensayos por cada estación o por cada 100 m ² de piso instalado	NSR-98 – Aluminio Estructural
Resistencia a la fatiga para cargas vivas concentradas y espectro de cargas de fatiga en elemento con viguetas de soporte y sistema de conexión	Especificaciones Técnicas para nuevos sistemas de piso – Capítulo 9	1 ensayo por cada tres estaciones instaladas o cada 300 m ² de piso instalado	Debe cumplir la vida útil especificada

10.2.6 Precio Unitario

El precio unitario deberá incluir todos los ítems requeridos para la instalación y puesta en servicio de los pisos tales como suministro de paneles y materiales, transporte, almacenamiento y vigilancia,

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		 ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

herramientas y elementos de manejo e instalación, equipos, conectores, mano de obra, toma de muestras para ensayos, elaboración de ensayos de control de calidad y mantenimiento según tiempo especificado por el IDU.

10.2.7 Medición y pago

El suministro e instalación de perfiles de aluminio serán medidos en metros cuadrados. Para el cálculo de cantidades ejecutadas se tomarán las dimensiones indicadas en los planos y/o instrucciones escritas del Supervisor de Obra. El pago se efectuará de acuerdo a los valores unitarios contemplados en la lista de cantidades y precios de la propuesta.

10.2.8 Item de pago

Perfiles de aluminio.....m² (metros cuadrados)

10.3

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		 ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C. Instituto Desarrollo Urbano
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

10.4 ITEM DESMONTE DE VIGUETAS DE ACERO

10.4.1 Descripción

Comprende el desmonte de viguetas de soporte del sistema de pisos. Para el caso de reemplazo de pisos existentes y solo cuando se requiere, las viguetas de soporte deben retirarse con el mayor cuidado manteniendo su integridad y la de los elementos que conforman la plataforma de piso.

10.4.2 Materiales y Equipos

El contratista suministrará todos los materiales, herramientas y equipo necesario para ejecutar las actividades relacionadas. Los materiales herramientas y equipos necesarios son los siguientes:

- Equipos de corte, pulidora, fuente de energía y cualquier otro equipo que se requiera.
- Llaves para tuercas, cierras, martillos, almádenas, o perros (varilla metálica para ajustar ángulos).
- Soldadores, manilas o vientos, pinos o muertos, diferenciales, pulidoras, equipos para pintar (brochas, pistola), equipo de seguridad (casco, guantes, cinturones de seguridad, gafas, botas con puntera reforzada, etc.), equipo para transporte (camiones).

10.4.3 Procedimiento de construcción

Antes de iniciar las actividades el Contratista debe:

- (a) Revisar los planos constructivos para verificar los elementos a desmontar.
- (b) Verificar, y si es del caso proteger los pisos y otros elementos que vayan a recibir el material que se retira.
- (c) Elaborar el ATS (Análisis de Trabajo Seguro)

Durante el desarrollo de las actividades el Contratista debe:

- (a) Retirar el material que se desmonta y desalojarlo al lugar permitido.
- (b) Marcar los sitios de corte y obtener aprobación

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

- (c) Realizar el corte con el método aprobado
- (d) Pulir la superficie cortada garantizando que los elementos que permanecen no se hayan afectado por el proceso de remoción.

Después de realizar las labores el Contratista debe:

- (a) Realizar limpieza total de los ambientes en los cuáles se efectuó el desmonte.
- (b) Retirar lo elementos cortados

10.4.4 Precio Unitario

El precio unitario deberá incluir todos los ítems requeridos para el corte y retiro de las viguetas de acero tales como materiales, transporte, almacenamiento y vigilancia, herramientas y elementos de manejo, equipos para corte, pulida o limpieza, fuente de energía, mano de obra especializada y en general todos los costos requeridos para el retiro de los elementos y la recuperación de la estructura existente en la zona de corte.

10.4.5 Medición y pago

Se calculará el volumen total removido, en base a las medidas tomadas antes de iniciar las actividades y se pagará por Kg. El pago se efectuará de acuerdo a los valores unitarios contemplados en la lista de cantidades y precios de la propuesta.

10.4.6 Ítem de pago

Desmonte de viguetas de aceroKg (Kilogramo).

10.5 ITEM INSTALACIÓN DE VIGUETAS DE ACERO

10.5.1 Descripción

El trabajo consiste en la fabricación, transporte, montaje y pintura de refuerzo con perfiles de acero, soldados y/o pernados, cuya sección transversal es Tubo de 70 mm x 42 mm x 5.4 mm para puentes y

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		 ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

perfiles IPE 120 para estaciones, de acuerdo con los planos de construcción, las especificaciones del contrato y a las instrucciones del Supervisor.

10.5.2 Materiales y Equipos

El contratista suministrará todos los materiales, herramientas y equipo necesario para ejecutar las actividades correspondientes al montaje de viguetas de soporte. Los materiales herramientas y equipos necesarios son los siguientes:

- Perfiles (de acuerdo a planos estructurales)
- Elementos de conexión tales como soldadura, pernos, platinas.
- Llaves para tuercas, cierras, martillos, almádenas, o perros (varilla metálica para ajustar ángulos).
- Soldadores, manilas o vientos, pinos o muertos, diferenciales, pulidoras, equipos para pintar (brochas, pistola), equipo de seguridad (casco, guantes, cinturones de seguridad, gafas, botas con puntera reforzada, etc.), equipo para transporte (camiones).

10.5.3 Procedimiento de construcción:

Requerimientos previos:

- (a) El montaje de la estructura metálica deberá ser ante todo seguro, tanto desde el punto de vista de la resistencia y estabilidad de los elementos a emplear en el montaje, como las condiciones de trabajo del personal empleado.
- (b) El lugar de trabajo deberá condicionarse para facilitar las labores de recibo, almacenamiento, ensamblaje, transporte interno e izada de los diferentes elementos de la estructura.
- (c) El montaje deberá ser realizado con rapidez y exactitud por personal calificado.
- (d) El montaje deberá ser dirigido por un ingeniero experimentado.
- (e) Deberán verificarse las medidas de la obra comparadas con las de los planos estructurales. Cualquier modificación o ajuste necesario, es más fácil realizarlo directamente.
- (f) Verificar que se hayan ejecutado correctamente los apoyos, que estén perfectamente colocadas las platinas y anclajes, bien niveladas y aplomadas.

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		 ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

- (g) Verificar que la posición de los demás elementos de la obra estén localizados y dimensionados tal como se previó en el diseño.
- (h) Verificar que el sitio para descargue y almacenamiento tenga el área suficiente y se encuentre despejado y listo. Igualmente debe preverse el espacio necesario para realizar los empates y ensambles de las diferentes partes que deben armarse en el piso.
- (i) Para la instalación del sistema de piso se recomienda realizar las perforaciones en las viguetas antes de llevarlas a obra con el fin de darle un tratamiento superficial, anticorrosivo, a las superficie perimetral del orificio expuesta.

Requerimientos durante la ejecución:

- (a) Se colocarán las viguetas de acero en su sitio y se solicitará la aprobación de la ubicación.
- (b) Los montadores deben tener la precaución de hilar las diferentes partes que van a empatar con soldadura en el piso en ambos sentidos y usar los traslapes recomendados por el fabricante.
- (c) Se realizarán soldaduras de buena calidad y presentación, usando electrodos de fabricación y resistencia indicadas por el fabricante.
- (d) Se realizará el control de calidad de cada soldadura y se aplicarán las pinturas de protección especificadas

10.5.4 Precio Unitario

El precio unitario deberá incluir todos los items requeridos para el suministro e instalación final de las viguetas de acero tales como materiales, transporte, almacenamiento y vigilancia, herramientas y elementos de manejo, equipos para corte, pulida o limpieza, fuente de energía, mano de obra especializada, equipo de soldadura, pernos, herramientas, pinturas y en general todos los costos requeridos para una adecuada instalación de las viguetas de acero de soporte de los elementos de piso.

10.5.5 Medición y pago

La medida para el pago del acero de refuerzo será el número de kilogramos, incluyendo los empalmes, colocadas según lo indicado en los planos, listas de despieces o lo acordado por el supervisor. El pago se hará por el número redondeado de kilogramos medidos, como se indica antes, al precio unitario estipulado en el contrato, para el acero que figure en forma separada en la relación de cantidades de obra y precios del formulario de la propuesta. En los demás casos su costo se incluirá en el valor

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

unitario de la respectiva obra. El precio unitario incluirá todos los costos por suministro, transporte, almacenamiento, corte, doblado, colocación, amarre y fijación del refuerzo y por todo el trabajo de materiales, equipo e imprevistos necesarios para terminar correctamente el trabajo especificado. Los desperdicios serán por cuenta del constructor.

10.5.6 Ítem de pago

Instalación de viguetas de aceroKg (Kilogramo).

10.6 ESPECIFICACIONES GENERALES CONCRETO 5000 PSI

10.6.1 Descripción

Este Ítem comprende la colocación del refuerzo y otros elemento embebidos en el concreto; la colocación del encofrado, vaciado del concreto, retiro de la formaleta y el curado.

Esta especificación cubre las normas vigentes que deben cumplirse con respecto al suministro de materiales, equipos, mano de obra, encofrados, tuberías embebidas, juntas de construcción, transporte, vaciado, curado, desencofrado y ensayos de concretos requeridos durante el desarrollo de la obra.

Comprende la construcción de losas de pisos en concreto preesforzado las cuales se construirán de acuerdo con los detalles consignados en los planos.

El constructor deberá contratar con una compañía especializada y aprobada por la interventoría el diseño de mezclas que serán utilizadas durante el transcurso de la obra, para poder determinar con suficiente anterioridad a la ejecución de la obra, las dosificaciones, granulometría y demás condiciones óptimas para obtener las resistencias del concreto especificado para el proyecto.

Se deben tener en cuenta las partes aplicables de las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente, NSR 98. (Ver capítulo C-18).

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

Si el concreto no es premezclado, todos los materiales empleados en la fabricación de éste deberán ceñirse a lo especificado a continuación y a las prescripciones de la Interventoría. Para comprobar si los materiales son de la calidad especificada, deberán realizarse los ensayos correspondientes sobre muestras representativas de tales materiales utilizados en la construcción.

10.6.2 Procedimiento de construcción

Requerimientos previos:

- (a) Verificar la correcta colocación, espaciamiento y recubrimiento del refuerzo.
- (b) Verificar el buen estado de los materiales para las mezclas del concreto.
- (c) Los materiales empleados en las formaletas no deben producir manchas, deteriorar el concreto ni sufrir deformación.
- (d) Retirar completamente el material segregado en hormigueros y realizar las operaciones adecuadamente (ver Reparación de Concretos con morteros epóxicos o morteros modificados con emulsiones acrílicas).
- (e) La utilización de "chaflanes" en los vértices de la formaleta, facilita el desencofrado y mejora la apariencia final del elemento.
- (f) Fundir la columna 1 ó 2 cm. por encima de la base de la viga, evita posibles ajustes posteriores.
- (g) Vaciado de cimientos y pedestales y anclajes del refuerzo (1er nivel).
- (h) Vaciado de losas y anclajes de refuerzo (niveles superiores).
- (i) Verificación del trazado horizontal y vertical.
- (j) Dosificación de la mezcla (ver preparación, transporte y colocación del concreto).
- (k) Disponibilidad de materiales, herramientas y equipos e instalaciones requeridas.

Requerimientos durante la ejecución:

- (a) No vibrar en exceso la mezcla para evitar la segregación de los agregados.
- (b) Evitar el endurecimiento de la mezcla durante el vaciado.
- (c) El vaciado debe ser continuo para evitar las juntas de vaciado.
- (d) Colocación del refuerzo especificado en el diseño.

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		 ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

- (e) Colocación de elementos embebidos en la columna (tuberías, anclajes, etc.)
- (f) Limpieza, engrase o humedecimiento de la formaleta.
- (g) Colocación y asegurado de la formaleta.
- (h) Chequeo de medidas (medidas interiores o sección de la columna y verificación de ángulos).
- (i) Verificación de ejes y verticalidad exigida, antes y durante la operación de vaciado, mediante la colocación de plomos u otros elementos de referencia.
- (j) Demarcación del límite vaciado.
- (k) Visto bueno del Interventor.
- (l) Transporte, recibo, colocación y vibrado de la mezcla.

Requerimientos posteriores a la ejecución:

- (a) Desencofrado: aseo y reparación de la formaleta.
- (b) Verificación de: apariencia y textura, medida de ángulos y verticalidad.
- (c) Si fuere del caso: Reparación adecuada de hormigueros y desbordes en columnas de concreto visto (ver reparación de concretos con morteros epóxicos o morteros modificados con emulsiones acrílicas).
- (d) Abrazado en columnas para revocar o enchapar.
- (e) Visto bueno del Supervisor.
- (f) Curado durante 7 días.
- (g) Retiro de elementos de protección y curado.
- (h) Aseo.
- (i) Análisis de resultados de los ensayos de concreto.

10.6.3 Materiales y Equipos

El contratista suministrará todos los materiales, herramientas y equipo para ejecutar las actividades correspondientes al ítem columnas en concreto. Los materiales herramientas y equipos necesarios son los siguientes:

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

- Concreto elaborado por proveedor especializado.
- Acero: ver Corte, figuración y colocación de acero de refuerzo.
- Aditivos: ver Normas NSR 98, ASTM C.260, C.494, C.618 e ICONTEC 1299
- Formaletería: Tableros, Parales Telescópicos, tensores, abrazaderas y chapetas
- Mezcladoras, básculas, coches, palas, plumadas, vibradores y martillos.
- Equipo para toma de muestras del concreto.
- Equipo de transporte vertical: malacates y grúas.
- Gante o polietileno para curado.

Esta especificación indica las normas que se deben cumplir en lo referente a materiales, preparación y utilización de concretos, se entiende que la resistencia se alcanza a los 28 días según las normas ASTM y ACI. Todos los materiales empleados en la dosificación del concreto deben cumplir con las exigencias de la norma NSR – 98 y las que correspondan al capítulo 3 de la norma ICONTEC 2.000.

El concreto está constituido por una pasta aglutinante de cemento Portland, agua y materiales granulares de fuentes naturales o de trituración tales como grava o triturado como agregado grueso y arena como agregado fino.

El concreto empleado deberá ser de calidad certificada y será suministrado por una planta que garantice la calidad del material.

Si por la ubicación del proyecto es imposible el suministro de concreto desde una planta, el interventor procederá a autorizar la mezcla, indicando tanto los métodos como los materiales a emplear.

La autorización para mezclar en obra no exime al Constructor de sus responsabilidades contractuales ni del cumplimiento de estas especificaciones.

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

10.6.3.1 Cemento

Para todos los concretos deberá ser cemento Portland Tipo I que cumpla con todas las especificaciones establecidas por las normas ICONTEC 121 y 321, y de una marca aprobada por la Interventoría. No se mezclarán cementos de diferentes marcas ni cementos de una misma marca pero que provengan de diferentes fábricas, a menos que la Interventoría lo autorice expresamente. Así mismo, el cemento utilizado en la obra deberá corresponder a aquel sobre el cual se basa la dosificación del concreto, y cualquier cambio deberá ser aprobado previamente por la Interventoría. El cemento en general deberá almacenarse en tanques herméticos. El cemento en sacos deberá guardarse en depósitos cubiertos, sobre plataformas de madera elevadas por lo menos 0.20 metros sobre el nivel del suelo, en arrumes que no excedan de 2.00 metros de altura y separados por lo menos 0.50 metros de las paredes, de tal forma que se garantice una completa protección en todo momento contra cualquier clase de humedad. El almacenamiento deberá facilitar la inspección e identificación de los bultos a fin de que el cemento se gaste en el mismo orden en que se recibe. No se permitirá la utilización de cemento endurecido o con grumos. Cuando el cemento haya sido almacenado en la obra durante un periodo mayor de dos (2) meses, no podrá ser utilizado, a menos que los cilindros con este material y ensayos especiales sobre el mismo, demuestren que el cemento está en condiciones satisfactorias.

10.6.3.2 Agregados

Los agregados para el concreto deberán cumplir con la norma ICONTEC 174. Cuando los agregados no cumplan con las especificaciones de esta norma y en la región no se pueda conseguir otro tipo de material, pero se demuestre que estos agregados producen concreto con resistencia y durabilidad adecuadas podrán ser utilizados siempre y cuando lo autorice la Interventoría.

10.6.3.3 Agregado Fino

El agregado fino consistirá en arena limpia, de granos duros y libres de cantidades objetables de polvo, exquisitos, pizarras, arcillas, limos, álcalis, ácidos, materias orgánicas y sustancias nocivas. Además deberá tener una gradación dentro de los siguientes límites:

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		 ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

Tabla 10-1 Tamices ICONTEC

Tamiz ICONTEC N°	Porcentaje acumulado que pasa Tamiz ICONTEC
9.51 mm	100
4.76 mm	95 a 100
2.38 mm	80 a 100
1.19 mm	50 a 85
0.595 mm	25 a 60
0.297 mm	10 a 30
0.149 mm	2 a 10

El agregado fino no tendrá más del 45% retenido entre dos tamices consecutivos de los indicados en la tabla anterior y su módulo de finura no será menos de 2.3 ni mayor de 3.1. El contenido de materia orgánica deberá ser tal que en el ensayo de la ASTM designación C- 40, se obtenga un color más claro que el estándar.

El contenido de polvo (partículas menores de 74 micras, tamiz # 200), no deberá exceder del 3% en peso, analizando la designación C -17 de la ASTM.

El contenido de partículas blandas como pizarras, sumando el contenido de arcilla y limo, no deberá exceder del 6% en peso.

10.6.3.4 Agregado grueso

El agregado grueso que se emplee en la fabricación del concreto deberá estar constituido por fragmentos de roca sana; los granos deberán ser duros y resistentes y estar limpios y libres de materia orgánica y otras sustancias perjudiciales. El tamaño máximo de los agregados gruesos no deberá ser mayor de 1/5 de la menor dimensión entre los lados de las formaletas, ni 1/3 de la profundidad de las losas, ni $\frac{3}{4}$ del espaciamiento libre mínimo entre las barras o alambres individuales del refuerzo. Sin embargo, podrán obviarse estas limitaciones, si a juicio de la Interventoría, los métodos de compactación y la manejabilidad son tales que el concreto pueda ser colocado sin que se produzcan

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

hormigueros o vacíos. Los tamaños máximos admisibles del agregado grueso serán los indicados en los planos determinados por la Interventoría, con base en las dimensiones de las estructuras proyectadas y/o la posición del acero de refuerzo.

El agregado grueso no deberá tener una pérdida mayor del 40% en los ensayos de resistencia al desgaste ejecutados según las normas de ICONTEC 93 y 98, ni deberá contener piedras planas o lijadas y la densidad absoluta no deberá ser menor de 2.4. El contenido de polvo (partículas menores de 74 micras, tamiz # 200), analizado según la designación C - 117 de la ASTM, no deberá exceder del 3%.

Las fuentes para la producción de agregados finos y gruesos así como los equipos y procedimientos de explotación y elaboración deberán asegurar el cumplimiento de las normas y el suministro de un material de características homogéneas y serán aprobados previamente por la Interventoría.

El almacenamiento de agregados finos y gruesos deberá hacerse en áreas previamente preparadas para este fin, que permitan que el material se conserve libre de tierra, o de elementos extraños. Los agregados se clasificarán y se almacenarán separadamente y el CONTRATISTA deberá mantener las cantidades necesarias que le permitan el vaciado continuo del concreto para las estructuras que se vayan a construir.

Todo material que se vaya a utilizar con agregado deberá ser aprobado previamente por la Interventoría.

Si de acuerdo con el criterio de la Interventoría, el sitio o las circunstancias no permiten realizar los ensayos de los materiales, la aceptación de estos quedará a juicio de la misma, sin eximir al Contratista, en ningún momento de su responsabilidad. Para este caso especial la Interventoría podrá ordenar los ensayos de los materiales, la aceptación de éstos quedará a juicio de la misma, sin eximir al Contratista, en ningún momento de su responsabilidad. Para este caso especial la Interventoría podrá ordenar los ensayos de campo que estime convenientes.

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		 ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C. Instituto Desarrollo Urbano
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

10.6.3.5 Agua

El agua que se utilice en la fabricación del concreto, como también en el proceso de curado, deberá estar limpia y libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, materiales orgánicos y otras sustancias que puedan ser dañinas para el concreto o el refuerzo.

Toda el agua usada en la mezcla o en el periodo de curado deberá ser aprobada por el Interventor, quien podrá ordenar los análisis de laboratorio necesarios cuando considere que aquella que se esta utilizando no es limpia, o como simple medida de control de calidad.

10.6.3.6 Aditivos

Los aditivos que vayan a utilizarse en el concreto deberán someterse a la aprobación previa de la Interventoría.

Se utilizaran aditivos cuando así lo indiquen expresamente los planos o estas especificaciones o lo ordene el Interventor, en cuyo caso, el costo del aditivo estará incluido en el precio unitario estipulado en el correspondiente ítem de pago del concurso para las estructuras que lo requieran.

Adicionalmente, y a su propio costo, el Contratista podrá usar por conveniencia en su trabajo, previa autorización del Interventor, aditivos que varíen las características de la mezcla, del fraguado, o del concreto terminado.

Se comprobará que el aditivo a utilizar en la obra sea el mismo empleado en el diseño de la mezcla. Solo se podrá usar otra marca de aditivo si es aprobado por la Interventoría, previa demostración del C, que el comportamiento y la dosificación de todos los elementos componentes del concreto durante la construcción de la obra, van a ser los mismos, que el de la mezcla original.

Proporciones de las mezclas: Con suficiente anticipación ala iniciación de las respectivas operaciones, el Contratista diseñará las mezclas de concreto que va a utilizar en la obra, con base en los requisitos de resistencia y asentamiento de los diferentes concretos especificados.

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

Tanto el diseño de la mezcla como el tipo de materiales que se van a utilizar en la muestra deberán ser presentados a la INTERVENTORIA para su aprobación.

El diseño de cada mezcla determinará las proporciones en volumen de cada uno de los materiales componentes del concreto, incluida el agua, necesarias para producir un metro cúbico de concreto de la cantidad deseada.

El CONTRATISTA debe asegurarse que las muestras de los materiales utilizados para el diseño de las mezclas sean representativas de los materiales que se destinaran en la obra. Junto con los diseños de las mezclas, el CONTRATISTA entregará a la INTERVENTORIA los resultado de los ensayos de resistencia a la compresión tomados a los 7, 14 y 28 días sobre muestras de cilindros de la mezcla diseñada, preparados y curados de acuerdo con la norma ICONTEC 500 y ensayados según la norma ICONTEC 675.

Se deberá preparar dos cilindros para cada edad de ensayo y por cada tipo de mezcla diseñada.

La aprobación previa de la INTERVENTORIA al diseño, los materiales y las resistencias determinadas en el laboratorio, no implica necesariamente la aceptación posterior de las obras en concreto que el CONTRATISTA construya con base en ellos, ni exime al CONTRATISTA de su responsabilidad de cumplir con todos los requisitos de las especificaciones y los planos.

El CONTRATISTA no deberá hacer ningún cambio de materiales sin previo aviso de la INTERVENTORIA y los materiales hasta que sean aprobados por la INTERVENTORIA y se hayan llevado a cabo un nuevo diseño de la mezcla.

Cuando se usen aditivos, en el diseño de la mezcla se especificará que tipo de aditivo se va a utilizar así como la cantidad en peso o volumen por cada metro cúbico de concreto.

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

10.6.4 Mezclado del Concreto

Antes de comenzar el mezclado y la colocación del concreto, tanto el equipo para el mezclado y transporte de concreto como el lugar que ocupara deberán estar limpios, las formaletas construidas en forma correcta y su parte interna adecuadamente protegida y el acero de refuerzo completamente libre de recubrimientos perjudiciales y colocado de acuerdo con los planos y especificaciones. El sitio de colocación debe estar libre de agua antes de depositar el concreto. Las unidades de mampostería que han de estar en contacto con el concreto, deberán humedecerse.

Las proporciones de los componentes de la mezcla y las gradaciones de los agregados deberán corresponder a las del diseño previamente aprobado por la INTERVENTORIA. Cualquier cambio que el CONTRATISTA planee hacer en la mezcla deberá someterlo a la aprobación del INTERVENTOR presentando para ello la justificación del caso y el nuevo diseño de la mezcla.

El concreto podrá llevarse premezclado a la obra siempre y cuando se cumplan todas las especificaciones aquí mencionadas para este ítem.

Si el concreto es preparado en la obra deberá hacerse en una mezcladora adecuada para obtener una mezcla homogénea y de una capacidad mínima de 0.15 M3. Por mezclada (mezcladora de 1 bulto). El CONTRATISTA deberá proveer equipo apropiado para clasificar la mezcla y controlar el tiempo de mezclado.

El INTERVENTOR podrá autorizar el uso de equipo de menor capacidad para mezclar volúmenes pequeños de concreto y/o para elementos sometidos a bajos esfuerzos.

En casos de emergencia, la INTERVENTORIA podrá autorizar el mezclado a mano, para preparar el concreto suficiente, para completar el trabajo que se esta ejecutando y llegar a una junta de construcción o dilatación.

Cuando se permita el mezclado a mano, este se hará sobre plataformas de madera o metálicas procurando que el proceso de mezcla se haga las veces necesarias hasta obtener adecuada uniformidad y manejabilidad.

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		 ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

Ninguno de los materiales para una cochada deberá colocarse en el tambor de la mezcladora antes de que la cochada anterior haya sido descargada totalmente. El interior del tambor deberá mantenerse libre de concreto endurecido. El agua deberá agregarse paulatinamente al comenzar la mezcla de los materiales. No se permitirá la adición de agua a la mezcla después que esta haya salido de la mezcladora.

Después que todos los materiales estén en la mezcladora, el mezclado deberá hacerse por lo menos durante un minuto y medio, excepto cuando se pueda emplear un tiempo menor según el criterio de la norma ASTM-C-94. El concreto se mezclará solo en las cantidades que se requieran para uso inmediato. No se permitirá usar concreto que haya iniciado su fraguado, o que se haya mezclado con más de treinta minutos de anterioridad.

10.6.5 Transporte y Colocación

La operación de transporte del concreto desde la mezcladora hasta el lugar final de colocación deberá hacerse tan pronto como sea posible y por procedimientos que eviten la segregación o pérdida de los materiales del concreto, pérdidas en el asentamiento o slump de más de una pulgada (1”) y endurecimiento o pérdida de plasticidad.

Se deberá transportar el concreto a un sitio tan próximo como sea posible al de su colocación final para evitar manipuleos que contribuyan a la segregación de los materiales. Igualmente, se colocará dentro de la formaleta tan cerca como sea posible de su posición final, sin desplazarlo excesivamente con el vibrador.

Deberá tenerse cuidado, durante el transporte de concreto, de no golpear la formaletería, las cimbras y demás obra falsa.

El CONTRATISTA deberá informar al INTERVENTOR cuando este listo para vaciar el concreto en cualquier sitio, con el fin de que este pueda inspeccionar las formaletas, refuerzos, fundaciones, etc. El CONTRATISTA no podrá empezar a colocar concreto en un sitio determinado hasta después de la revisión y aprobación del INTERVENTOR.

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

Durante la colocación, la velocidad de vaciado deberá permitir al concreto conservarse permanentemente en estado plástico y fluir fácilmente entre los espacios de las varillas de refuerzo. El procedimiento de colocación no deberá producir segregación de los materiales, ni el desplazamiento del hierro de refuerzo o de las formaletas.

El concreto parcialmente endurecido o contaminado por materiales extraños, no podrá colocarse en las formaletas.

No deberá utilizarse concreto al que después de preparado se le haya adicionado agua para mejorar su plasticidad, ni el que haya sido mezclado nuevamente después de su fraguado inicial.

La operación de vaciado deberá efectuarse continuamente para completar una determinada o llegar a la junta indicada en los planos o aceptada por el INTERVENTOR. No se permitirá la colocación de la mezcla sobre concreto parcial o totalmente fraguado sin que las superficies de concreto hayan preparadas para tal fin.

Cuando se coloque concreto sobre una fundación de tierra, esta deberá estar limpia y húmeda, pero sin agua estancada en ella o corriendo sobre la misma. No podrá colocarse concreto sobre lodo, tierra porosa seca o rellenos que no hayan sido compactados a la densidad requerida.

No será permitido dejar caer mezcla libremente de alturas mayores de 1.5 metros a menos que se utilicen conductos adecuados debidamente aprobados por la INTERVENTORIA.

Las formaletas o encofrados para muros, columnas o secciones delgadas de considerable altura, estarán provistas de aberturas u otros medios que permitan vaciar el concreto sin causar segregación de los materiales o acumulación en los niveles intermedios.

10.6.6 Vibrado

El concreto se consolidará con la ayuda de equipo mecánico de vibradores, complementado por labores manuales usando barretas o otras herramientas apropiadas según las indicaciones de la

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		 ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

INTERVENTORIA. En ningún caso los vibradores se usaran para transportas concreto dentro de la formaleta.

La duración de la operación de vibrado será únicamente la necesaria para alcanzar la consolidación requerida sin que se produzca segregación de los materiales. Deberá evitarse que los vibradores penetren hasta las capas inferiores colocadas con anterioridad que hayan empezado a fraguar o en concreto que no muestre plasticidad durante el vibrado, o en sitios en donde la vibración pueda afectar la posición del refuerzo o de materiales embebidos en concreto que hayan iniciado su fraguado.

La manipulación del concreto cerca de la superficie de la parte superior de una vaciada deberá ser la mínima necesaria para que produzca el grado de consolidación deseado para esta capa y se forme una superficie rugosa que permita obtener buena adherencia en el concreto de la vaciada posterior. No se permitirá vibrado o cualquier posterior que tienda a producir una cara lisa en las juntas horizontales de construcción. Las superficies superiores que no sean formaleteadas y que no vayan a cubrirse con concreto o relleno se llevaran hasta una cota ligeramente mas alta que la indicada. Este exceso se quitara con la regla o se le dará el acabado requerido. Como se indica en los planos o lo ordene el INTERVENTOR.

Deberá tenerse cuidado especial para evitar la segregación del agregado grueso cuando el concreto se coloque a través del refuerzo. Así mismo, deberá evitarse que el vibrador golpee el hierro de refuerzo o la formaleta.

El fondo de vigas y losas en donde la congestión del refuerzo haga muy difícil la colocación del concreto, en formaletas profundas como las de muros o columnas o cuando la vibración no asegure el completo recubrimiento del refuerzo se podrá vaciar una primera capa de mortero mezclando con las mismas porciones arena / cemento que se usen para el concreto pero solo en la profundidad necesaria para cubrir la superficie del refuerzo. Este mortero deberá colocarse inmediatamente antes de iniciar el vaciado de concreto de tal manera que en este momento el mortero se encuentre plástico es decir, ni endurecido ni fluido. La acumulación de agua en la superficie de concreto debido a la segregación que aparezca durante el proceso de vaciado y vibrado, se evitara adecuando la mezcla. El agua libre en la superficie deberá recogerse y retirarse antes de colocar una nueva capa de concreto.

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		 ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

10.6.7 Curado y Protección

Todas las superficies de concreto se protegerán adecuadamente para evitar la exposición directa a los rayos solares. El concreto que no haya fraguado deberá protegerse además de las lluvias fuertes, del agua corriente y de elementos mecánicos que puedan causarle daño.

Todo concreto deberá mantener húmedo y a una temperatura superior a 10 grados centígrados, al menos durante siete (7) días después de su colocación.

La humedad en el concreto puede lograrse cubriendo totalmente todas las superficies expuestas con un material que se mantenga permanentemente húmedo, o por medio de un sistema de tubos perforados o de esparcidores mecánicos o por cualquier otro método aprobado por la INTERVENTORIA, que mantenga las caras del concreto humedecidas en forma permanente, entendiéndose que no se permitirá el humedecimiento periódico de las mismas sino que este deberá ser continuo.

Cuando se dejen las formaleas en su sitio para el curado, estas se mantendrán húmedas todo el tiempo para evitar la apertura de sus uniones y el secado del concreto.

El agua que se utilice para el curado deberá ser limpia y en general deberá llenar los requisitos especificados para el agua de mezcla.

El CONTRATISTA podrá hacer el curado por medio de compuestos sellantes, previa aprobación de la INTERVENTORIA, en cuanto al tipo y características del compuesto que se utilice y al sitio de aplicación. El compuesto deberá cumplir con la especificación C-309 Tipo 2 de la ASTM y deberá formar una membrana que retenga el agua del concreto.

El compuesto sellante se aplicará a pistola o a brocha cuando así lo autorice la INTERVENTORIA, y de acuerdo con las instrucciones del fabricante, inmediatamente después de retirar las formaleas y de humedecer ligeramente la superficie del concreto hasta que este no absorba más agua.

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

En caso de utilizar compuesto sellante para el curado, las reparaciones del concreto no podrán hacerse después de terminar el curado general de las superficies. Las áreas reparadas se humedecerán y cubrirán con compuesto sellante siguiendo las precauciones generales del curado. La INTERVENTORIA no autorizará la iniciación del vaciado del concreto si el equipo del curado no se encuentra a disposición del CONTRATISTA en la obra, antes de iniciar las operaciones de vaciado.

El CONTRATISTA deberá tener en cuenta que el curado y la protección del concreto después de ser colocado hacen parte del proceso de fabricación del concreto y por consiguiente, los concretos no hayan sido curados y protegidos como se indica en estas especificaciones o como lo ordene la INTERVENTORIA, no se aceptarán y esta podrá rechazar el pago de ellos cuando los curados no hayan sido satisfactorios, sin que el CONTRATISTA tenga derecho a reclamaciones por este concepto.

10.6.8 Juntas de Dilatación

Las juntas de dilatación se ejecutaran en los sitio y con las dimensiones indicadas en los planos a menos que previamente y con la suficiente anticipación se acuerde con la INTERVENTORIA cualquier cambio.

Todas las juntas de dilatación llevarán un material premoldeado entre los elementos que formen la junta. El material premoldeado deberá cumplir los requisitos de las especificaciones AASHO M-33-48 y ASTM D-994-53, deberá tener 1/2" de espesor y ser construido con un sellante tipo sika o polivinilo.

El material premoldeado se fijará a la superficie de concreto ya existente de la junta, con una sellante de polivinilo o si el CONTRATISTA lo prefiere podrá colocarse en la formaleta de la primera vaciada de modo que quede directamente adherido al concreto.

Donde se muestre en los planos o lo indique la INTERVENTORIA, las juntas de dilatación se pintarán con pintura bituminosa u otro material aprobado.

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		 ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

Las superficies donde se vaya a aplicar la pintura o el material premoldeado deberán estar limpias y secas antes de la aplicación. El material se aplicara con 24 horas de anticipación colocación del concreto adyacente.

Algunas justas de construcción y dilatación como se muestra en los planos o según lo indique la INTERVENTORIA, deberán proveerse de sellos de impermeabilización ya sean metálicos, de caucho o de polivinilo.

Los sellos metálicos se cortaran en láminas de acero, de un espesor mínimo de 1/16 de pulgada y de un ancho de 9 pulgadas, galvanizada en caliente. El ancho de la lámina deberá repartirse igualmente a cada lado de las junta y los empates de la lámina se harán con soldadura de estaño y con un traslapeo mínimo de 20 cm.

Cuando se utilicen sellos de caucho o polivinilo estos se deberán instalar de tal manera que formen un diafragma impermeable continuo en cada junta. No se permitirá la apertura de huecos a través de los sellos; cualquier sello perforado deberá repararse o sustituirse antes de colocar el concreto. Los empates de los sellos de caucho o de polivinilo deberán ejecutarse de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. Los empates de los sellos de caucho se harán por vulcanización y por fusión para los de polivinilo.

El CONTRATISTA revisara antes de su instalación todos los sellos impermeabilización así como los elementos premoldeados, con el fin de constatar que no estén averiados, caso en el cual serán rechazados o reparados a juicio de la INTERVENTORIA.

10.6.9 Acabados de la Superficie

El acabado a regla, se aplicara como primera etapa para las superficies con acabado a llana o con palustre.

Los acabados a llana se aplicaran en superficies no moldeadas que no vayan a cubrirse con rellenos o con concretos. Este acabado podrá hacerse con equipo mecánico o a mano con personal calificado, y se empezaran tan pronto como las superficies se hayan endurecido lo suficiente para obtener una buena

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		 ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

ejecución, según lo determine la INTERVENTORIA. El trabajo de la llana deberá ser el mínimo necesario para eliminar las marcas dejadas por la regla. No podrá trabajarse con llana la superficie del concreto fresco, para evitar la segregación de la mezcla.

El CONTRATISTA tomara las precauciones necesarias para proteger las superficies terminadas de manchas o daños. No se permitirá hacer fuego cerca del concreto en ningún momento. Las superficies de concreto o los bordes que estén expuestos a daños durante la construcción se protegerán debidamente ya sea dejando la formaletería en esos sitios o colocando una protección adecuada a juicio de la INTERVENTORIA.

El CONTRATISTA colocara aserrín o tablas para cubrir las superficies de concreto donde la INTERVENTORIA ordene y por el tiempo que esta considere necesario.

10.6.10 Pruebas y Ensayos de Concreto

Durante la construcción la INTERVENTORIA ordenara al CONTRATISTISTA la toma de muestras de concreto inmediatamente después de descargado de la mezcladora o del camión Mixer de cinco (5) sitios distintos o de la pila y a diferentes profundidades, para ejecutar las pruebas de asentamientos los ensayos de Resistencia a la compresión.

En caso de ser posible la toma de la muestra directamente del chorro de descarga, el INTERVENTOR podrá ordenar que se coloque el recipiente bajo la boca de la salida del concreto para hacer toma directa.

Durante la construcción, la INTERVENTORIA ordenara al CONTRATISTA la toma de muestras de concreto directamente de la mezcladora, para efectuar las pruebas de asentamiento y los ensayos de resistencia a la compresión. Cada muestra debe tomarse al azar sin que se tengan en cuenta condiciones sobre la apariencia del concreto ni la comodidad para hacer el muestreo. Las muestras utilizadas para los ensayos mencionados deben ser representativas del hormigón y deben obtenerse de acuerdo con la norma ICONTEC 454 “Hormigón Fresco Toma de Muestras”. El contratista suministrará los moldes para las muestras y el CONTRATISTA suministrara cualquier material, mano de obra o elementos necesarios para moldear, curar y proteger las muestras en las muestras en el sitio y trasladarlas posteriormente al laboratorio.

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

Mediante el ensayo de asentamiento o “slump Test” realizado según la norma ICONTEC 396, se controlara la consistencia de la mezcla de concreto suministrada para la construcción de las obras. Se deberá tomar una muestra para la prueba de asentamiento por cada 5 M3 de concreto a vaciar.

El asentamiento máximo admisible de la mezcla al tiempo de ser colocada será determinado por la INTERVENTORIA con base en el diseño de aquella para cada tipo de estructura pero en términos generales deberá estar comprendido entre 2 y 4 pulgadas.

La resistencia del concreto se controlará por medio de cilindros de prueba. Sobre los cuales se ejecutaran ensayos de resistencia a la comprensión, según lo especificado en la norma ICONTEC 675. Los cilindros deberán elaborarse y curarse de acuerdo con la norma ICONTEC 550.

Se deberá anotar un libro especial la fecha y hora donde se tomen las muestras de concreto, y los cilindros se deberán enumerar siguiendo un sistema que permita conocer en cualquier momento la fecha de su fabricación y la parte de la estructura a que pertenece. las muestras para las pruebas de resistencia correspondientes a cada clase de concreto, deben tomarse no menos de una vez por día, ni menos de una vez por cada 120 M3 de concreto o una por cada 450 M2 de área de placas o muros. Si el volumen total del concreto es tal que la frecuencia de los ensayos, da lugar a menos de 5 ensayos de resistencia para una misma clase de concreto, los ensayos deben hacerse por menos, en 5 mezclas tomadas al azar o en cada mezcla si se usan menos de 5. Una muestra para ensayo se ruptura constara al menos de 4 cilindros de concreto 2 para ser ensayados a los 7 días y los 2 restantes a los 28 días.

Los resultados de los ensayos hechos en los 7 días se tomaran tan solo como una guía para calcular la resistencia a los 28 días.

Cuando los ensayos efectuados a los 7 días permiten esperar baja resistencia a los 28 días, se prolongara el cuadro de la estructura hasta que cumplan 21 días después de vaciado el concreto.

Cada valor de resistencia obtenido a los 28 días, o una edad menor especificada debe ser el resultado del promedio de dos (2) cilindros tomados de una misma mezcla. El nivel de resistencia para cada clase de concreto se considera satisfactorio si cumple simultáneamente los siguientes requisitos:

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

- (a) Que los promedios de todos los conjuntos de tres resultados consecutivos de ensayos de resistencia, iguale o exceda el valor especificado de resistencia del concreto.
- (b) Que ningún resultado individual de las pruebas de resistencia (promedio de dos cilindros), sea inferior a la resistencia especificada del concreto en más de 35 kg./cms².

La INTERVENTORIA podrá exigir al CONTRATISTA el ensayo de resistencia en cilindros curados bajo condiciones de campo, con el objeto de comprobar la bondad del curado y de la protección del concreto de la estructura. Los cilindros curados en el campo deberán someterse al procedimiento indicado en la norma ICONTEC 550 y se deben moldear al mismo tiempo y tomarse de las mismas muestras que se empleen para los cilindros curados en el laboratorio. Los procedimientos de protección y curado del concreto deberán mejorarse cuando la resistencia de los cilindros curados en el campo, a la edad especificada para medir $f'c$ sea menor del 85% de la resistencia en cilindros curados en el laboratorio.

Si el concreto no cumple con los requisitos de resistencia establecidos en los planos o en estas especificaciones, la INTERVENTORIA podrá exigir la realización de ensayos sobre núcleos extraídos de la zona de duda de acuerdo con la norma ASTM designación C- 42. En tal caso deben tomarse 3 núcleos por cada ensayo de resistencia que no cumpla lo especificado.

El concreto de la zona representada por los núcleos es estructuralmente adecuado si el promedio de los 3 núcleos resulta por lo menos igual al 85% de $f'c$, y si ningún núcleo presenta una resistencia menor de 75% $f'c$.

Si el criterio anterior no se cumple y si la seguridad estructural permanece en duda la INTERVENTORIA podrá ordenar que se hagan pruebas de carga para la parte dudosa de la estructura, o tomar otra medida adecuada a las circunstancias.

Las pruebas de laboratorio sobre los cilindros de concreto que ordinariamente hará la INTERVENTORIA será por cuenta del contratante, y todos los costos necesarios para la toma de muestras, así como los costos de cualesquiera pruebas adicionales, demoliciones o reconstrucciones

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		 ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

necesarias para las estructuras que no cumplieren las especificaciones pactadas, correrán por cuenta y riesgo del contratista.

10.6.11 Medición y pago

La medida será según el número de metros cúbicos, aproximados al décimo de metro cúbico mayor de obra terminada de acuerdo con los planos, las especificaciones y las instrucciones del Supervisor.

El concreto se pagará de acuerdo con los precios unitarios del concreto para cada clase de concreto, incluida la relación de cantidades de obra y precios del formulario de la cotización.

Los precios unitarios deberán cubrir todos los costos por concepto de: suministro de materiales componentes de concreto, así como el diseño y preparación de las mezclas; el suministro, instalación y operación de los equipos; construcción de la obra falsa y formaleas, inclusive el suministro de todos los materiales y elementos, y su retiro al terminar los trabajos; el transporte y colocación de las mezclas y su vibrado, la curación de sus superficies; juntas de construcción, aditivos, pruebas y ensayos exigidos, incluyendo moldes en la cantidad que determine El supervisor y en general todo costo relacionado con la correcta construcción de las obras especificadas.

10.6.12 Item de pago

El Item de pago será metros cúbico (m³)

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		 ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C. Instituto Desarrollo Urbano
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

10.7 ESPECIFICACIONES GENERALES ACERO DE REFUERZO.

10.7.1 Descripción

El trabajo consiste en la fabricación, transporte, montaje y pintura de estructuras de acero, soldadas y/o pernadas, de acuerdo con los planos, las especificaciones del contrato y a las instrucciones del Supervisor. Comprende, además, el suministro de todos los materiales requeridos para la fabricación de las estructuras, tales como láminas, perfiles, platinas, pernos, remaches, elementos para soldadura y piezas o metales especiales.

10.7.2 Materiales y Equipos

10.7.2.1 Acero

El acero se deberá suministrar de acuerdo con las especificaciones que se indican a continuación. Mientras los documentos del proyecto o las especificaciones particulares no establezcan lo contrario, deberá ser del tipo de acero al carbono.

10.7.2.2 Acero estructural

El acero estructural deberá cumplir la Norma NSR 98, sección F.2.1.3.1 Acero Estructural:

NTC 248: Barras corrugadas laminadas en caliente (ASTM A 615)

NTC 1920: Acero estructural (ASTM A 36)

NTC 1950: Acero estructural de alta resistencia y de baja aleación (ASTM A 242).

NTC 1986: Tubería estructural de acero al carbono, formada en frío, soldada o sin costura, de cualquier configuración (ASTM A 500)

NTC 3347: Láminas y platinas de acero al carbono laminadas en caliente, de calidad estructural (ASTM A 570 Grados 40,45 y 50)

NTC 1985: Acero de alta resistencia, de baja aleación culombio-vanadio de calidad estructural (ASTM A 572)

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		 ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

NTC 2012: Acero estructural de alta resistencia de baja aleación con punto de fluencia mínimo de 345 MPa, hasta 100 m de espesor (ASTM A 588)

NTC 4007: Especificaciones para el acero al carbono-manganeso de alta resistencia y calidad estructural (ASTM A 529)

NTC 4009: Láminas y flejes de acero, laminados en frío y en caliente, de alta resistencia y baja aleación, con resistencia mejorada a la corrosión (ASTM A 606)

NTC 4012: Plancha de acero estructural de baja aleación, templada y revenida con límites de fluencia mínimo de 485 MPa (70ksi) y espesores hasta de 100 mm (4 pulgadas) (ASTM A 852)

NTC 4014: Planchas de acero aleado, templadas y revenidas, de alta resistencia a la fluencia y aptas para ser soldadas (ASTM A 514)

NTC 4016: Láminas y flejes de acero de alta resistencia y baja aleación, al cromo o vanadio, o ambos, laminados en caliente y en frío (ASTM A 607)

Se puede considerar como prueba suficiente del cumplimiento de las anteriores normas, el informe certificado que en tal sentido extienda la acería, de acuerdo con sus ensayos, o de los ensayos que realice el fabricante o un laboratorio reconocido, de acuerdo con los requisitos de las normas ASTM A 6 ó NTC 7 (ASTM A 568), según sea aplicable. Si se le solicita, el fabricante deberá proporcionar una certificación en que conste que el acero estructural del suministro cumple los requisitos del grado especificado.

Puede utilizarse acero sin identificar, si su aspecto superficial es aceptable según los criterios de la norma ASTM A 6, en la fabricación de partes de menor importancia, siempre y cuando que las propiedades físicas y la soldabilidad del acero no afecten la resistencia de la estructura.

En caso de utilizar el acero conocido como de “calidad comercial”, la resistencia, en términos del límite de fluencia no debe suponerse mayor de 225 MPa, y a su vez la resistencia última no mayor de 360 MPa, a menos que mediante ensayos se pueda demostrar una resistencia mayor.

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		 ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

10.7.2.3 Pernos, arandelas y tuercas

Los pernos de acero deberán cumplir la Norma NSR 98, sección F.2.1.3.4 Pernos, arandelas y tuercas:

NTC 858: Tornillos, pernos y partes similares roscadas. Requisitos generales (ASTM A 449).

NTC 4028: Pernos de acero de alta resistencia, clase 10.9 y 10.9.3 para juntas de acero estructural (ASTM A 490)

NTC 4034: Elementos de fijación, especificación para tornillos y pernos de acero al carbono con 410 MPa (60000 PSI) de resistencia a la tensión (ASTM A 307)

ASTM A 194: Tuercas de acero al carbono y aleado para pernos que trabajen en condiciones de servicio con alta presión y alta temperatura.

ASTM A 325: Pernos estructurales de acero, tratados térmicamente, con resistencia mínima a la tensión de 825 o 725 MPa

ASTM A 563: Tuercas de acero al carbono y de aleación

ASTM F 436: Arandelas de acero templado

Se usarán pernos NTC 858 (ASTM A 449) solamente en conexiones que requieran pernos de diámetros superiores a 38 mm; no deberán utilizarse en conexiones de deslizamiento crítico.

Se aceptará la certificación del fabricante como prueba del cumplimiento de estas normas.

Los pernos galvanizados de alta resistencia deberán ser pernos ASTM A-325 tipo 1 o tipo 2, galvanizados por el proceso de inmersión en caliente o por el proceso mecánico de galvanización. Si los pernos tipo 2 se galvanizan por el proceso de inmersión en caliente, deberán probarse a tracción después de galvanizado de acuerdo con la norma ASTM A-490. Las tuercas y pernos del mismo ensamble deberán ser galvanizados por el mismo proceso. Los pernos de calidad ASTM A-325 se deberán galvanizar por el proceso de inmersión en caliente.

Las arandelas circulares deberán ser planas y lisas y sus dimensiones nominales deberán cumplir con los requisitos de la norma ASTM F 436. No se deberán utilizar arandelas planas para pernos de seguridad sujetadores de collar, a menos que se especifiquen agujeros ranurados o sobredimensionados.

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		 ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

Las arandelas ahusadas para vigas y canales, fabricadas según las normas americanas u otras caras ahusadas que se requieran cuadradas o rectangulares, deberán cumplir con los requisitos de la norma ASTM F 436.

Si se requiere, se podrá recortar un lado de la arandela hasta una distancia no inferior a siete octavos (7/8) el diámetro del perno, tomada desde el centro de la arandela.

Siempre y cuando se tenga la aprobación del Supervisor, se podrán utilizar otros sujetadores o sistemas de fijación que cumplan con los materiales, fabricación y los requisitos de composición química de los pernos ASTM A-325 o ASTM A-490 y que cumplan, además, con los requisitos de las propiedades mecánicas de la misma especificación en pruebas a escala natural. Así mismo, deberán tener el diámetro del cuerpo y las áreas de apoyo bajo la cabeza y tuerca, o su equivalente, no inferiores a los provistos por un perno y tuerca de las mismas dimensiones nominales prescritas en el párrafo anterior. Dichos sujetadores alternos pueden diferir en otras dimensiones de aquellas de los pernos y tuercas especificados.

10.7.2.4 Pernos de anclaje y varillas roscadas

Deberán cumplir la Norma NSR 98, sección F.2.1.3.5 Pernos de anclaje y varillas roscadas: Los pernos de anclaje y las varillas roscadas deberán cumplir con una de las siguientes normas:

NTC 1920: Acero estructural (ASTM A 36)

NTC 1985: Aceros de calidad estructural y alta resistencia con baja aleación de columbio y vanadio (ASTM A 572)

NTC 2012: Acero estructural de alta resistencia de baja aleación con punto de fluencia mínimo de 345 MPa, hasta 100 m de espesor (ASTM A 588).

ASTM A 193: Materiales de acero aleado y acero inoxidable para pernos en condiciones de servicio de alta temperatura.

ASTM A 354: Pernos, espigos y otros sujetadores roscados externamente, de acero aleado, templado y revenido.

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

ASTM A 687: Pernos y espigos, sin cabeza, de acero de alta resistencia.

Las roscas de los pernos y varillas deberán cumplir con las especificaciones detalladas en las “Series Estándares Unificadas” de la última edición de la norma ANSI B 18.1. Las tolerancias serán de clase 2ª

Pueden utilizarse como pernos de anclaje los pernos de acero que cumplan con otras disposiciones de la NSR 98 Sección F.2.1.3. El material NTC 858 (ASTM A 449) es aceptable para pernos de anclaje y varillas roscadas de alta resistencia de cualquier diámetro.

Se aceptará la certificación del fabricante como prueba del cumplimiento con las normas

10.7.2.5 Metal de aporte y fundente para soldadura

Los electrodos y fundentes para soldadura seguirán la Norma NSR 98 Sección F.2.1.3.6 Metal de aporte y fundente para soldadura: deberán cumplir con una de las siguientes normas del Código correspondiente de la Sociedad Americana de Soldadura (American Welding Society AWS).

NTC 2191: Especificación para electrodos de acero al carbono, para soldadura de arco metálico protegido (AWS-A.5.1.)

NTC 2253: Especificación para electrodos de acero al carbono de baja aleación, para soldadura de arco (AWS-A.5.5.).

NTC 3570: Especificación para metales de aporte de acero de baja aleación para soldadura de arco con protección de gas. (AWS-A.5.28)

NTC 3623: Especificación para electrodos de acero de baja aleación y fundentes para soldadura de arco sumergido (AWS-A.5.23.)

NTC 2632: Especificación para metales de aporte de acero al carbono para soldadura de arco con protección de gas (AWS-A.5.18.).

NTC 2677: Especificación para electrodos de acero al carbono y fundentes para soldadura de arco sumergido (AWS-A.5.17.)

AWS A 5.20 Especificación para electrodos de acero al carbono, para soldadura de arco con fundente de núcleo.

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

Se aceptará la certificación del fabricante como prueba de cumplimiento con las normas. Los electrodos y metales de aporte seleccionados deben ser los apropiados para la aplicación prevista. La tenacidad del material de soldadura por lo general no es crítica en la construcción de edificios.

10.7.2.6 Pintura

En la industria de la construcción se utilizan normalmente las siguientes pinturas:

- (a) Vinilos.
- (b) Esmaltes.
- (c) Barnices.
- (d) Lacas.
- (e) Anticorrosivas.

Su principal función es proteger a los elementos sobre los que se aplica, del deterioro producido por el medio ambiente y del desgaste producido por el uso.

10.7.2.7 Vinilo

Es una pintura con base en agua que se puede aplicar en muros, cielos rasos y maderas tanto en ambientes interiores como exteriores dependiendo del tipo de vinilo usado. Para su aplicación se puede emplear brocha de nylon, rodillo ó pistola.

Los vinilos se clasifican en tres tipos: 1, 2 y 3 según sus propiedades y usos y deben cumplir con la norma ICONTEC No 1335. Para su mezcla y adición de solventes se deben seguir las recomendaciones propuestas por el fabricante.

10.7.2.8 Esmaltes

Son Pinturas con base en aceite cuyas propiedades son: lavabilidad, acabado brillante y muy buena adherencia. Se pueden aplicar sobre madera, metal ó muros tanto en ambientes interiores como exteriores según el tipo de esmalte.

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

Los esmaltes deben cumplir con la norma ICONTEC No 1283.

10.7.2.9 Barnices

Son productos con base en aceites transparentes, de acabado brillante o mate para aplicar sobre maderas, muros, cielos rasos y metales. Se caracteriza porque pueden ser utilizados tanto en interiores como en exteriores. Los barnices deben cumplir con la norma ICONTEC No 1401.

10.7.2.10 Anticorrosivas

Son productos diseñados especialmente para proteger los metales contra la corrosión y para ayudar a obtener una mejor adherencia de las pinturas de acabado que se aplican sobre ellas, ya sean vinilos, esmaltes ó barnices.

Toda carpintería metálica debe llegar a la obra con una mano de anticorrosivo gris. Una vez en la obra se procederá, antes de su instalación, a un proceso de limpieza y luego se aplicará por todas sus caras anticorrosivo rojo para dar paso al acabado final.

10.7.2.11 Lacas

Es un recubrimiento transparente ó pigmentado, brillante ó mate, hecho con base en una resina termoplástica disuelta en un vehículo volátil y que se seca básicamente por evaporación de la porción volátil. Las lacas más conocidas son las nitrocelulósicas (piroxilina) y las acrílicas.

10.7.3 Procedimiento de construcción

Se debe preparar la superficie eliminando impurezas que puedan atacar la pintura, desmejorar su adherencia, o alterar el acabado final.

La laca se debe aplicar sobre una base de sellador para disminuir la absorción de las superficies porosas y para lograr un mejor acabado final.

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		 ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

Se deben utilizar brochas de nylon de ½ a 1” para marcos, rejas y superficies angostas, de 6” a 7” para muros, rasos y superficies externas, rodillos para superficies grandes y planas, pistolas de aspersión para acabados que así lo exijan.

Prevía iniciación de la aplicación, se cubrirán con periódicos las áreas que no deban ser salpicadas, se harán las diluciones y mezclas indicadas por los fabricantes, y se procederá aplicando el número de manos recomendadas.

En todos los casos, en las superficies pintadas se exigirá un cubrimiento total y uniforme, de acabado terso, libres de defectos como corrugados, grumos, parches, manchas, marcas de brochas, chorreos, burbujas, o cualquier imperfección aparente de la superficie.

10.7.3.1 Pintura de taller

Deberá ser acorde con lo estipulado por la NSR 98- Sección F.2.13.3 Pintura de Taller.

- (a) Sistema Epóxico: Recomendado para ambientes bajo techo donde puede haber contaminantes agresivos con presencia de humedad, cloruros, chorreos y derrames de una amplia gama de productos químicos corrosivos y disolventes lo mismo que productos derivados del petróleo.

Sistema Epoxi-Uretano: Ambientes en los cuales los equipos o elementos protegidos estén expuestos a rayos solares o presencia de rayos UV (intemperie) y atmósferas industriales con alta contaminación.

10.7.3.2 Sistemas de Recubrimientos

Para Protección contra la Corrosión de Elementos Estructurales Instalados Fabricados en Acero al Carbono. Este procedimiento aplica para la rehabilitación de superficies metálicas fabricadas en acero al carbono, sometidas a ambientes agresivos y a las cuales no se les puede aplicar preparación de superficies con chorro abrasivo por estar instaladas en planta y es necesario realizarles mantenimiento para protegerlas contra la corrosión.

El esquema de protección implica la aplicación de un sistema de recubrimientos de repinte con especial tratamiento en las áreas atacadas donde la protección falló y el sustrato se encuentra expuesto.

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

El sistema está constituido por una película de Imprimante y una de acabado. El Imprimante solo se aplicará en las zonas donde falló totalmente la pintura de protección, es decir, donde la superficie o sustrato está totalmente expuesta o desprotegida.

10.7.4 Soldadura

La soldadura de estructuras de acero, cuando se especifica, deberá cumplir con la norma AWS D1.1-80 del Código de Soldadura Estructural de la AWS.

10.7.5 Abrasivos y disolventes

Los abrasivos utilizados para la limpieza superficial del acero estructural deberán ser arena seca limpia, arenisca mineral o limaduras de acero, a opción del Constructor, los cuales tendrán una gradación aprobada para producir resultados satisfactorios.

No se permitirá el uso de otros abrasivos, sin la aprobación previa del Supervisor.

A menos que las disposiciones especiales lo prohíban, se podrán emplear disolventes para retirar aceite, grasa u otros contaminantes solubles de acuerdo con la norma SSPC-SP1, “Limpieza de disolventes”.

10.7.6 Equipo

El Constructor deberá poner a disposición de los trabajos todos los equipos y herramientas necesarios para la correcta y oportuna fabricación de las piezas de acero estructural, de acuerdo con los planos del proyecto. Además, deberá proporcionar los vehículos para su transporte a la obra, así como todas las armazones provisionales y todas las herramientas, maquinaria, artefactos y pernos ajustadores necesarios para la marcha efectiva del trabajo.

El montaje en el campo de las partes componentes de una estructura, implica el uso de métodos y artefactos que no produzcan daños por torcedura, dobladura u otra deformación del metal.

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

10.7.7 Ejecucion de los trabajos

10.7.7.1 Almacenamiento de materiales

El material estructural, corriente o prefabricado, deberá ser almacenado en los talleres sobre plataformas elevadas, rodillos o cualquier otro tipo de soporte. Deberá mantenerse libre de tierra, grasa o cualquier materia extraña, y protegerse siempre contra la corrosión.

10.7.7.2 Perforación de agujeros para pernos

Los agujeros taladrados o fresados deberán ser cilíndricos, perpendiculares a la pieza y no mayores de 1/16 de pulgada (1.6 mm) que el diámetro nominal del perno. Cuando sea factible, los escariadores deben dirigirse por medios mecánicos. Las rebabas en la superficie exterior, deben ser eliminadas y será motivo de rechazo la deficiente coincidencia de los agujeros. El taladro y el escariado se deben hacer con brocas helicoidales.

Las piezas armadas se deben desarmar para quitarles las rebabas ocasionadas por el taladrado.

10.7.7.3 Enderezamiento del material

Todo el material estructural deformado deberá ser enderezado por métodos adecuados, antes de ser armado, abrirle agujeros o trabajado de otra manera en el taller.

Las torceduras y dobleces ásperos o filosos serán causa de rechazo del material. El enderezado de extremos doblados de láminas, angulares y otros perfiles, se deberá hacer por métodos que no causen fractura u otros daños al material. Ningún metal deberá ser calentado, a menos que esto sea estrictamente necesario, en cuyo caso el calentamiento se deberá hacer a una temperatura no mayor que la que produce un color rojo cereza. Después del calentamiento, el metal se deberá enfriar lentamente. A continuación del enderezado de una dobladura, la superficie del metal se debe inspeccionar cuidadosamente, buscando señales de posibles fracturas.

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

Excepto cuando se requiera una contra flecha, el material deberá llenar los siguientes requisitos de rectitud, cuando haya sido colocado en su lugar en el campo. La desviación permisible para una línea recta no debe exceder de un milímetro por metro (1 mm/m).

No se deberá usar ningún arriostramiento transversal u otros medios para forzar a un miembro a mantener la rectitud necesaria durante su armado.

10.7.7.4 Curvatura de vigas laminadas y ensambladas

La operación de curvado se debe realizar al calor antes de pintar el elemento; sin embargo, se puede efectuar antes o después de completar la soldadura que se requiera para los atiesadores transversales intermedios. El calentamiento se deberá conducir de tal manera, que la temperatura del acero no exceda de seiscientos veinte grados Celsius (620°C). La viga no se podrá enfriar artificialmente hasta tanto la temperatura haya descendido a trescientos quince grados Celsius (315 °C).

Los aceros fabricados a un punto mínimo de fluencia en exceso de cincuenta mil libras por pulgada cuadrada (50.000 PSI), no pueden ser curvados al calor.

10.7.7.5 Corte a la llama

El acero estructural, puede ser cortado a la llama, siempre que se obtenga una superficie lisa, libre de muescas y grietas y se obtenga un perfil exacto mediante el empleo de una perfiladora mecánica. El corte de llama manual (a pulso) se debe hacer únicamente cuando sea autorizado en las especificaciones particulares. La llama cortante deberá ser ajustada y manipulada de modo que se evite cortar más allá (hacia adentro) de las líneas prescritas.

Las muescas, grietas y asperezas superficiales que no excedan de cinco milímetros (5 mm) de profundidad, pueden ser eliminadas por cepillado o esmerilado. Los defectos en bordes cortados con llama, no deberán ser reparados mediante soldadura, excepto cuando así se indique en las especificaciones particulares. Se pueden reparar con este método muescas o ranuras ocasionales con una profundidad menor de diez milímetros (10mm), en aquellos tipos de acero estructural considerados como soldables de acuerdo a las normas ASTM, para el acero de que se trate. La soldadura terminada se debe esmerilar para dejarla lisa y pareja con la superficie contigua.

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		 ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

10.7.7.6 Ajuste para el empernado

Las superficies de metal que entren en contacto, se deberán limpiar antes del montaje. Las partes de un miembro, se deberán montar bien aseguradas y firmemente unidas con pernos antes de empezar el escariado. Las piezas montadas se deben separar, si es necesario, para la remoción de rebabas y virutas producidas por el escariado. Todos los miembros deberán estar libres de torceduras, dobladuras y otras deformaciones.

10.7.7.7 Terminado de bordes y superficies de apoyo

No se requiere pulir o dar terminado a los bordes de las piezas cizalladas o cortadas térmicamente, a no ser que específicamente se establezca en los planos, o que aparezca incluido en una especificación de preparado de borde para soldadura.

El terminado de las superficies de apoyo, placas base y otras superficies de apoyo que han de quedar en contacto con concreto o entre sí, deberá cumplir con los requisitos de aspereza superficial ANSI definidos en la norma ANSI B46.1, Aspereza Superficial, Ondulado y Trenzado, Parte I, así:

Placas de acero	ANSI 2.000
Placas pesadas en contacto en zapatas que han de soldarse	ANSI 1.000
Extremos cepillados de miembros a compresión o extremos pulidos de atiesadores o rellenos	ANSI 500
Rodillos y balancines de puentes	ANSI 250
Pasadores y huecos de pasadores	ANSI 125

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		 ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

Asientos de deslizamiento

ANSI 125

10.7.7.8 Juntas colindantes

Las juntas a tope de los miembros en compresión, deberán tener sus caras acabadas adecuadamente y ajustarse exactamente para asegurar un apoyo uniforme.

Los extremos de los miembros en tensión en los empalmes, deberán tener un acabado áspero, pero los extremos de los miembros no deberán estar en contacto. La abertura no deberá exceder de seis milímetros (6 mm).

10.7.7.9 Fabricación de elementos

A menos que se indique en los planos, las placas de acero para elementos principales y placas de empalme para aletas y los elementos principales sometidos a tensión deberán cortarse y fabricarse de tal forma, que la dirección primaria del laminado quede paralela a la dirección de los esfuerzos principales de tensión y/o compresión.

Los elementos fabricados deberán quedar bien aplomados y estar libres de torceduras, dobleces y juntas abiertas.

10.7.7.10 Platinas curvas

Las platinas de acero laminado, no soldadas, curvadas en frío, que soportan carga deberán cumplir con lo siguiente:

Deberán tomarse de platinas en existencia cuya línea de doblez esté en ángulos rectos con la dirección del laminado, excepto que las nervaduras dobladas en frío para puentes de tablero ortotrópico puedan doblarse en la dirección del laminado, si el Supervisor lo permite.

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

El doblado se deberá hacer de tal manera, que no ocurra ninguna rotura en la platina. Los radios mínimos, medidos en la cara cóncava del metal, están dados en la Tabla No.4, donde “t” es el espesor de la platina.

Tabla 10-2 Radios de doblado

	ESPESOR EN PULGADAS				
	Hasta ½	De ½ a 1	De 1 a 1 ½	de 1 ½ a 2 ½	De 2 ½ a 4
	RADIOS DE DOBLADO				
Acero estructural todos los grados	2t	2 ½ t	3t	3 ½ t	

La tolerancia para la recuperación del acero AASHTO M270 grados 70W y 100/100W deberá ser del orden de tres (3) veces la del acero estructural al carbono. Para el formato en prensa, la luz inferior del troquel deberá ser por lo menos dieciséis (16) veces el espesor de la platina. Se recomiendan golpes múltiples.

Si se requiere un radio más corto, las platinas deberán ser dobladas al calor a una temperatura que no sobrepase de seiscientos cincuenta grados Celsius (650 ° C), excepto para aceros AASHTO M270 grados 70W y 100/100W. Si las platinas de estos aceros tienen que ser dobladas en caliente a temperaturas superiores a quinientos ochenta grados Celsius (580 ° C) o seiscientos diez grados Celsius (610 ° C), respectivamente, dichos aceros se deberán templar y revenir de nuevo de acuerdo con la práctica de las acerías.

Previo al doblado, las esquinas de las platinas se deberán redondear a un radio de un milímetro y seis décimas (1.6 mm) en todas las partes de la platina que deben ser dobladas.

10.7.7.11 Soldadura

La soldadura se deberá hacer de acuerdo con las prácticas más modernas y cumpliendo los requisitos aplicables de AWS, D1.1, excepto cuando se disponga en otra forma en los planos o disposiciones especiales. Los planos deberán indicar claramente el sitio, tipo, tamaño y amplitud de todas las soldaduras distinguiéndose, además, claramente entre las de taller y las que se deben hacer en obra.

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

El Constructor, deberá someter a la aprobación del Supervisor, con anterioridad al inicio del trabajo, los procedimientos propuestos para soldadura, que llevará a cabo tanto en el taller como en la obra.

Las soldaduras no se deberán hacer cuando las superficies estén mojadas o expuestas a la lluvia, viento fuerte o cuando los soldadores estén expuestos a condiciones inclementes del tiempo.

Las soldaduras no se deben exceder de las especificadas en los planos, ni deben ser cambiadas sus localizaciones sin la aprobación expresa del Supervisor.

10.7.7.12 Pintura de taller

Preparación de la superficie

Las superficies de metal a pintarse, incluyendo las galvanizadas, se deberán limpiar perfectamente, quitando el polvo, óxido, las escamas sueltas de laminado, escamas de soldadura, suciedad, aceite o grasa y otras sustancias extrañas. A menos que la limpieza se efectúe por medio de chorro de arena, debe neutralizarse toda el área de soldadura con un agente químico apropiado y debe lavarse bien con agua, antes de principiar la limpieza.

Para evitar la oxidación de un área limpiada, previa a su pintura, aquella debe ser suficientemente pequeña. Si las superficies que ya se han limpiado se oxidan antes de aplicarles la pintura, el Constructor deberá limpiarlas de nuevo, por su propia cuenta.

La primera mano de pintura deberá aplicarse a superficies completamente libres de oxidación.

La limpieza se deberá efectuar con abrasivos (chorro de arena o de limaduras de acero), vapor o disolventes, según se indique en los documentos del proyecto. Se utilizarán cepillos de alambre manuales o mecánicos, herramientas de raspado manual o papel de lija, para remover todo el polvo, herrumbre suelta y escamas de laminado o la pintura que no esté firmemente adherida a las superficies metálicas.

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

Todas las superficies galvanizadas que han de pintarse, se deberán limpiar primero mediante el lavado con un disolvente de espíritu mineral, para remover cualquier aceite, grasa o material extraño al recubrimiento galvanizado.

Aplicación de pintura de taller

La estructura de acero deberá ser pintada con dos (2) manos de pintura de taller, después de que haya sido aceptada, y antes de su envío.

Las superficies que no vayan a quedar en contacto entre sí, pero que sean inaccesibles después del montaje final, se deben pintar con tres (3) manos de pintura de taller. Las superficies que vayan a quedar en contacto entre sí en el campo, deben recibir una (1) mano de pintura en el taller, excepto los empalmes principales para cordones de armadura y los empalmes grandes de vigas armadas que involucren múltiples espesores de metal, en cuyo caso la mano de pintura de taller dificultaría el montaje. Las superficies de contacto en el campo que no hayan sido pintadas con una (1) mano de pintura de taller, deben recibir una (1) mano de laca u otro recubrimiento protector aprobado.

No se deben pintar las superficies que vayan a estar en contacto con el concreto.

El acero estructural que vaya a ser soldado, no se debe pintar antes de que la soldadura haya sido completada. El acero que se vaya a soldar solamente en el taller y seguidamente haya de unirse con pernos en el campo, deberá recibir dos (2) manos de pintura después que se haya terminado la soldadura de taller. El acero que vaya a ser soldado en el campo, deberá recibir una (1) mano de aceite de linaza hervido o de otro recubrimiento protector aprobado, después que se haya completado la soldadura y montaje en el taller.

Se deberá dar una (1) mano de pintura a las piezas fundidas de hierro y acero, pulidas o acabadas.

Con excepción de las juntas a tope y láminas de base, las superficies acabadas a máquina deberán ser pintadas tan pronto como sea posible, después de haber sido aceptadas, con una mezcla caliente de

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

albayalde y sebo, o con una (1) mano de otro protector debidamente aprobado, antes de retirarlas del taller.

Las marcas de montaje para identificación de los miembros en el campo y las marcas indicadoras del peso, se deben pintar sobre superficies previamente pintadas con la mano de pintura de taller. El material no se debe cargar para su envío, a menos que esté completamente seco y, en cualquier caso, en no menos de veinticuatro (24) horas después que la pintura haya sido aplicada.

Limitaciones

No se debe aplicar pintura cuando la temperatura del acero pase de treinta y ocho grados Celsius (38 ° C); cuando haya niebla; cuando esté lloviznando o lloviendo, o la humedad relativa del aire exceda de ochenta y cinco por ciento (85%); o cuando la temperatura del aire sea inferior a cinco grados Celsius (5 ° C).

No se deberá aplicar pintura sobre superficies húmedas o sobre superficies tan calientes que produzcan ampollas en la pintura o una película porosa de la misma.

Cuando la pintura deba aplicarse forzosamente en tiempo húmedo o frío, el acero deberá ser pintado bajo techo o cubierta y mantenerse resguardado hasta que la pintura seque completamente o hasta que las condiciones del tiempo permitan su exposición al aire libre.

10.7.7.13 Embarque y almacenamiento de los elementos

El Constructor deberá marcar cada elemento apropiadamente para facilitar el montaje y deberá suministrar al Supervisor un diagrama de montaje, así como todas las copias que éste demande de órdenes de materiales, diagramas de montaje y relaciones de despachos que indiquen los pesos de los elementos individuales. Los elementos que pesen más de tres toneladas (3 ton) deberán llevar los pesos marcados sobre ellos.

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		 ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

Los elementos estructurales se deberán cargar en camiones, de tal forma que puedan ser transportados y descargados en el sitio de destino, sin sufrir esfuerzos excesivos, deformarse o dañarse de otra manera.

Los pernos de la misma longitud y diámetro, lo mismo que las tuercas o arandelas sueltas de cada tamaño se deben empacar por separado. Los pasadores, partes pequeñas y paquetes de pernos, arandelas y tuercas se deben despachar en cajas, guacales o barriles, pero el peso bruto de cada paquete no debe exceder de ciento cincuenta kilogramos (150 kg). Una lista y descripción del material contenido se debe marcar claramente en el lado exterior de cada paquete de embarque.

10.7.7.14 Almacenamiento

El acero se debe almacenar sobre plataformas o sobre largueros por encima del suelo y se debe proteger, tanto como sea posible, de la exposición a condiciones que produzcan oxidación u otro deterioro superficial. Las vigas de alma llena y las vigas armadas, se deberán colocar con el alma vertical y deberán ser apuntaladas. Los miembros largos, tales como columnas y cordones, se deberán apoyar sobre largueros colocados lo suficientemente cerca para evitar daños por deflexión.

10.7.7.15 Montaje

Con anterioridad al inicio de los trabajos de montaje, el Constructor deberá informar al Supervisor sobre el método de montaje que se propone seguir, como también la cantidad y características del equipo que se propone utilizar, el cual está sujeto a la aprobación de éste. La aprobación del Supervisor no exonera al Constructor de la responsabilidad por la seguridad de su método o equipo y de la ejecución de los trabajos en total concordancia con los planos y las especificaciones. No se deberá ejecutar ningún trabajo sin antes haber obtenido la aprobación del Supervisor.

10.7.7.16 Enderezamiento de material doblado

El enderezamiento de platinas, ángulos, otros perfiles y elementos armados, cuando lo autorice el Supervisor, se deberá llevar a cabo por métodos que no produzcan roturas u otros tipos de averías. Los elementos torcidos se deben enderezar por medios mecánicos, con la aprobación del Supervisor, por procedimientos planeados cuidadosamente y aplicación supervisada de una cantidad limitada de calor. Los elementos de acero de calidad NTC 4012 (ASTM A-852), solamente se pueden enderezar al calor,

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

mediante procedimientos rígidamente controlados y cada aplicación de calor está sujeta a la aprobación del Supervisor. En ningún caso, la temperatura máxima del acero NTC 4014 (ASTM A 514) deberá exceder de quinientos ochenta o seiscientos diez grados Celsius (580 ° C ó 610 ° C) respectivamente, ni exceder de cuatrocientos ochenta o quinientos diez grados Celsius (480 ° C ó 510 ° C), respectivamente, en el metal de aporte o dentro de quince centímetros (15 cm) de éste. El calor no se puede aplicar directamente sobre el metal de aporte. En todos los demás aceros, la temperatura del área calentada no deberá exceder de seiscientos cincuenta grados Celsius (650 ° C) (un rojo apagado) según puede controlarse con tizas indicadoras de temperatura, líquidos o termómetros bimetales.

Las paredes que se han de enderezar al calor, deberán estar sustancialmente libres de esfuerzos y de fuerzas externas, salvo los esfuerzos resultantes de los medios mecánicos utilizados conjuntamente con la aplicación de calor.

Luego de enderezado de una curva o bomba, se deberá inspeccionar cuidadosamente la superficie del metal, para detectar cualquier tipo de rotura.

10.7.7.17 Ensamblaje

Las partes se deberán ensamblar con exactitud, siguiendo las indicaciones de los planos y las contramarcas de montaje. El material se debe manejar con cuidado con el fin de evitar que alguna de las partes sufra dobleces, rupturas y averías. Se debe evitar el martilleo que cause daños o torceduras a los elementos. Antes del ensamble de los elementos se deberán limpiar las superficies de apoyo y aquellas que estén en contacto permanente.

10.7.7.18 Pintura de campo

Cuando el trabajo de montaje en el campo haya terminado, incluyendo todo el empernado, soldado y el enderezado del metal doblado, se deberá eliminar todo el óxido, escamas, suciedad, grasa y otro material extraño adherido, antes de la aplicación de cualquier pintura.

Se deberá aplicar una (1) mano de retoque a todos los pernos y soldaduras de campo, inspeccionados y aprobados y a cualesquiera superficies cuya pintura de taller se haya gastado o deteriorado.

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

Cuando la mano de retoque de campo haya secado completamente y la limpieza de campo se haya terminado satisfactoriamente, se deberán aplicar las manos de campo que sean requeridas en los planos o las disposiciones especiales, pero no menos de dos (2).

En ningún caso, se deberá aplicar una (1) mano de pintura hasta que la mano anterior haya secado completamente en todo el espesor de la película de pintura.

Aquellas superficies que sean inaccesibles después del montaje, se deberán pintar previamente con dos (2) manos de campo.

La aplicación de la segunda mano de campo se debe posponer hasta que se haya colocado y acabado el trabajo del concreto adyacente. Si las operaciones del concreto han dañado la pintura, la superficie afectada se deberá limpiar y pintar de nuevo.

10.7.7.19 Ajustes de defectos

La corrección de defectos menores que comprenden pequeñas cantidades de rimado, cortado y virutas, se considera como parte normal del montaje. Sin embargo, cualquier error en la fabricación de taller o deformación resultante del manejo y transporte, que impida el ensamble correcto y el encaje de las partes por el uso moderado de pasadores de montaje o por una cantidad apreciable de rimado y cortado o cincelado, se debe reportar inmediatamente al Supervisor y obtener la aprobación del método de corrección, la cual se debe realizar en presencia de éste. Si se trata de un contrato de montaje únicamente, el Supervisor, con la cooperación del Constructor, deberá mantener un registro completo de los materiales y la mano de obra utilizados.

10.7.8 Condiciones para el recibo de los trabajos

Durante la ejecución de los trabajos, el Supervisor adelantará los siguientes controles principales:

- (f) Verificar que los materiales empleados cumplan los requisitos de calidad especificados.
- (g) Revisar y aprobar cuando corresponda, los diseños, planos y diagramas necesarios para la ejecución de los trabajos.

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		 ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C. Instituto Desarrollo Urbano
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

- (h) Verificar el estado y funcionamiento del equipo utilizado por el Constructor.
- (i) Evaluar los métodos de trabajo propuestos por el Constructor y aprobarlos cuando los considere adecuados.
- (j) Vigilar que los trabajos se realicen de acuerdo con los planos del proyecto, las disposiciones especiales y esta especificación.
- (k) Verificar que las conexiones con pernos tengan la tensión apropiada.
- (l) Exigir las certificaciones requeridas para el equipo de soldadura y sus operarios.
- (m) Medir, para efectos de pago, las cantidades de obra ejecutadas satisfactoriamente.

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		 ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

10.8 ITEM MANTENIMIENTO PANELES DE CONCRETO

10.8.1 Descripción

Comprende los trabajos de mantenimiento para los paneles de concreto preesforzado.

10.8.2 Materiales y Equipos

El contratista suministrará todos los materiales, herramientas y equipo necesario para ejecutar las actividades relacionadas. Los materiales herramientas y equipos necesarios son los siguientes:

- Sistema de endurecedor de pisos en poliuretano – cemento (UCRETE HF o similar).
- Equipo para limpieza.
- Herramienta menor

10.8.3 Procedimiento de construcción

Antes de iniciar las actividades el Contratista debe:

- (a) Preparación del sustrato siguiendo las recomendaciones del fabricante del sistema de pisos en poliuretano-cemento.
- (b) Preparación del sistema de pisos en poliuretano-cemento siguiendo las recomendaciones del fabricante.
- (c) Elaborar el ATS (Análisis de Trabajo Seguro)

Durante el desarrollo de las actividades el Contratista debe:

- (a) Retirar el material sobrante de la limpieza de la superficie.
- (b) Aplicación del sistema de pisos en poliuretano-cemento siguiendo las recomendaciones del fabricante.

Después de realizar las labores el Contratista debe:

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		 ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
ESPECIFICACIONES IDU - ET - 2006		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 30 de octubre de 2007	

- (a) Curado de la superficie reparada siguiendo las recomendaciones del fabricante.
- (b) Realizar limpieza total de los ambientes en los cuáles se efectuaron los trabajos.

10.8.4 Medición y pago

Se calculará el volumen total reparado, en base a las medidas tomadas antes de iniciar las actividades y se pagará por metro cuadrado (m²). El pago se efectuará de acuerdo a los valores unitarios contemplados en la lista de cantidades y precios de la propuesta.

10.8.5 Item de pago

Mantenimiento paneles de concretom² (metros cuadrados)

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		
GUIA PARA EL CONTROL DE CALIDAD EN OBRA		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 18 de octubre de 2007	

TABLA DE CONTENIDO

10.9 ITEM PANELES EN CONCRETO PEESFORZADO 5000 PSI.....	10-53
10.10 ITEM PERFILES DE ALUMINIO.....	10-54

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		
GUIA PARA EL CONTROL DE CALIDAD EN OBRA		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 18 de octubre de 2007	

10.9 ITEM PANELES EN CONCRETO PEEFORZADO 5000 PSI

Para el control de calidad se deberán tomar muestras aleatoriamente o construir especímenes de prueba en el laboratorio siguiendo los mismos procedimientos y utilizando los mismos materiales que los utilizados en la instalación. Todo el procedimiento deberá estar supervisado por el Interventor. Se deberán realizar como mínimo los siguientes ensayos de control de calidad:

Ensayo	Norma	Frecuencia	Criterio Aceptación
Dimensionamiento y geometría	NSR-98 Titulo C Numeral 18, Elementos prefabricados.	3 paneles por cada estación o por cada 150 m ² de piso instalado.	Equivalente a NSR-98
Extracción núcleos de concreto para ensayo a compresión	ASTM C-469-94	3 núcleo por cada estación o por cada 150 m ² de piso instalado.	Equivalente a NSR-98
Extracción núcleos de concreto para ensayo a tensión indirecta	ASTM C-496-96	3 núcleo por cada estación o por cada 150 m ² de piso instalado.	Equivalente a NSR-98
Ensayo a tracción de torón de preesfuerzo	ASTM B 557	3 ensayos por cada estación o por cada 150 m ² de piso instalado.	Equivalente a NSR-98
Resistencia a la fatiga para cargas vivas concentradas y espectro de cargas de fatiga en elemento con viguetas de soporte y sistema de conexión	Especificaciones Técnicas para nuevos sistemas de piso – Capítulo 9	1 ensayo por cada tres estaciones instaladas o cada 450 m ² de piso instalado	Debe cumplir la vida útil especificada

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO		 ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Instituto Desarrollo Urbano
GUIA PARA EL CONTROL DE CALIDAD EN OBRA		
Versión: 1.0	Fecha de Actualización: 18 de octubre de 2007	

10.10 ITEM PERFILES DE ALUMINIO

Para el control de calidad se deberán tomar muestras aleatoriamente o construir especímenes de prueba en el laboratorio siguiendo los mismos procedimientos y utilizando los mismos materiales que los utilizados en la instalación. Todo el procedimiento deberá estar supervisado por el Interventor. Se deberán realizar como mínimo los siguientes ensayos de control de calidad:

Ensayo	Norma	Frecuencia	Criterio Aceptación
Dimensionamiento y geometría	NSR-98 Holgura en elementos metálicos	3 perfiles por cada estación o por cada 100 m ² de piso instalado	Equivalente a NSR-98
Ensayo a tracción de probeta de aluminio	ASTM B 557	3 ensayos por cada estación o por cada 100 m ² de piso instalado	NSR-98 – Aluminio Estructural
Resistencia a la fatiga para cargas vivas concentradas y espectro de cargas de fatiga en elemento con viguetas de soporte y sistema de conexión	Especificaciones Técnicas para nuevos sistemas de piso – Capítulo 9	1 ensayo por cada tres estaciones instaladas o cada 300 m ² de piso instalado	Debe cumplir la vida útil especificada

ANEXOS





ALCALDÍA MAYOR - IDU
Instituto de Desarrollo Urbano

CIMOC
Centro de Investigación en
Materiales y Obras Civiles



ANEXO 11-1 INFORMACIÓN DISPONIBLE



ALCALDÍA MAYOR - IDU
Instituto de Desarrollo Urbano

CIMOC
Centro de Investigación en
Materiales y Obras Civiles



ANEXO 11-2 PLANOS Y DETALLES TÍPICOS DE PUENTES Y ESTACIONES



ALCALDÍA MAYOR - IDU
Instituto de Desarrollo Urbano

CIMOC
Centro de Investigación en
Materiales y Obras Civiles



ANEXO 11-3 GRAFICOS DE FLUJO DE USUARIOS EN PORTALES



ALCALDÍA MAYOR - IDU
Instituto de Desarrollo Urbano

CIMOC
Centro de Investigación en
Materiales y Obras Civiles



ANEXO 11-4 FORMATOS DE INSPECCION



ALCALDÍA MAYOR - IDU
Instituto de Desarrollo Urbano

CIMOC
Centro de Investigación en
Materiales y Obras Civiles



ANEXO 11-5 FORMATO DE TOMA DE DATOS DE INSTRUMENTACIÓN



ALCALDÍA MAYOR - IDU
Instituto de Desarrollo Urbano

CIMOC
Centro de Investigación en
Materiales y Obras Civiles



ANEXO 11-6 ANALISIS DE DATOS DE INSTRUMENTACIÓN



ALCALDÍA MAYOR - IDU
Instituto de Desarrollo Urbano

CIMOC
Centro de Investigación en
Materiales y Obras Civiles



ANEXO 11-7 ENSAYOS DE LABORATORIO



ALCALDÍA MAYOR - IDU
Instituto de Desarrollo Urbano

CIMOC
Centro de Investigación en
Materiales y Obras Civiles



**ANEXO 11-8 MACRO EMPLEADO PARA EL ANALISIS DE DATOS DE
INSTRUMENTACIÓN**



ALCALDÍA MAYOR - IDU
Instituto de Desarrollo Urbano

CIMOC
Centro de Investigación en
Materiales y Obras Civiles



ANEXO 11-9 ESTIMACIÓN DE LA FATIGA (TOMADO DE LA NSR98)



ALCALDÍA MAYOR - IDU
Instituto de Desarrollo Urbano

CIMOC
Centro de Investigación en
Materiales y Obras Civiles



**ANEXO 11-10 RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO PARA
MATERIALES SINTETICOS**



ALCALDÍA MAYOR - IDU
Instituto de Desarrollo Urbano

CIMOC
Centro de Investigación en
Materiales y Obras Civiles



**ANEXO 11-11 ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS MATERIALES
SINTETICOS**



ALCALDÍA MAYOR - IDU
Instituto de Desarrollo Urbano

CIMOC
Centro de Investigación en
Materiales y Obras Civiles



**ANEXO 11-12 RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO PARA
CONCRETO PRETENSADO**



ALCALDÍA MAYOR - IDU
Instituto de Desarrollo Urbano

CIMOC
Centro de Investigación en
Materiales y Obras Civiles



**ANEXO 11-13 ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS PARA CONCRETO
PRETENSADO**



ALCALDÍA MAYOR - IDU
Instituto de Desarrollo Urbano

CIMOC
Centro de Investigación en
Materiales y Obras Civiles



ANEXO 11-14 RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO PARA GRC



ALCALDÍA MAYOR - IDU
Instituto de Desarrollo Urbano

CIMOC
Centro de Investigación en
Materiales y Obras Civiles



ANEXO 11-15 ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS PARA GRC



ALCALDÍA MAYOR - IDU
Instituto de Desarrollo Urbano

CIMOC
Centro de Investigación en
Materiales y Obras Civiles



**ANEXO 11-16 RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO PARA
ALUMINIO**



ALCALDÍA MAYOR - IDU
Instituto de Desarrollo Urbano

CIMOC
Centro de Investigación en
Materiales y Obras Civiles



ANEXO 11-17 ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS PARA ALUMINIO



ALCALDÍA MAYOR - IDU
Instituto de Desarrollo Urbano

CIMOC
Centro de Investigación en
Materiales y Obras Civiles



**ANEXO 11-18 RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO PARA
REJILLAS METALICAS**



ALCALDÍA MAYOR - IDU
Instituto de Desarrollo Urbano

CIMOC
Centro de Investigación en
Materiales y Obras Civiles



ANEXO 11-19 ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS PARA REJILLAS METALICAS



ALCALDÍA MAYOR - IDU
Instituto de Desarrollo Urbano

CIMOC
Centro de Investigación en
Materiales y Obras Civiles



**ANEXO 11-20 RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO PARA
PEGAS ELASTICAS**



ALCALDÍA MAYOR - IDU
Instituto de Desarrollo Urbano

CIMOC
Centro de Investigación en
Materiales y Obras Civiles



ANEXO 11-21 CHEQUEO DE VIGUETAS DE SOPORTE



ALCALDÍA MAYOR - IDU
Instituto de Desarrollo Urbano

CIMOC
Centro de Investigación en
Materiales y Obras Civiles



ANEXO 11-22 COTIZACIONES ALTERNATIVAS DE PISO



ALCALDÍA MAYOR - IDU
Instituto de Desarrollo Urbano

CIMOC
Centro de Investigación en
Materiales y Obras Civiles



ANEXO 11-23 APENDICES TECNICOS