Tabla 29. Resultado ensayo de corte directo Formación Siecha

Sondeo	Profundidad (m)	Estrato	γ (kN/m^3)	ϕ' (°)	c' (kPa)
AP1-M2	1,0-2,0	Formación Siecha (suelo residual)	20.1	20.9	30.6

5.3 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

Se establecieron los parámetros geotécnicos de los materiales identificados para cada una de las estaciones y del alineamiento. Para ello se tuvo en cuenta los valores obtenidos con las correlaciones del N_{SPT} y los resultados obtenidos de los ensayos de comprensión inconfinada y corte directo.

De igual forma se realizó una recopilación de parámetros de resistencia del estudio geotécnico de *"CONSULTORÍA A MONTO AGOTABLE PARA ESTUDIOS, DISEÑOS Y ASESORÍAS GEOTÉCNICAS REQUERIDAS POR EL IDU EN BOGOTÁ, D.C."* realizado en el año 2006 por Bateman Ingeniería Ltda. Está recopilación cobija además, los diferentes resultados de los ensayos de laboratorio realizados en la zona cercana a la urbanización Villa de Los Alpes. En la **Figura 30**. *"Parámetros de resistencia"* se muestran los valores de los parámetros.

MATERIAL	ESTUDIO	ENSAYO - ANALISIS	c(kg/cm^2)	ϕ°
Relleno	Estudio Barrio Atenas	Corte directo	0.31	16.10
			0.24	12.60
			0.37	19.00
			0.20	10.89
			0.16	6.07
		SPT	0.00	26.16
			0.00	23.25
	Geoingenieria Ltda	Retroanálisis	0.01	20.00
	Estudio Actual	SPT	0.10	18.00
Suelos transportados	Estudio Barrio Atenas	Corte directo	0.14	21.70
			0.23	12.70
			0.10	19.80
			0.10	18.00
			0.11	11.00
			0.07	19.40
		SPT	0.19	27.92
			0.00	25.82
	Geoingenieria Ltda	Retroanálisis	0.01	20.00
	Estudio Actual	SPT	0.00	31.00
		Corte directo	0.20	15.00
			0.23	25.00
	OLCSA	Tendencia	0.00	17.00
	CCSA	Retroanálisis	0.18	5.00
Suelo residual	Estudio Barrio Atenas	Corte directo	0.13	20.50
			0.23	22.00
			0.25	18.20
			0.10	18.76
			0.12	15.50
			0.16	10.47
		SPT	0.39	29.85
			0.00	26.50
	Estudio Actual	SPT	0.00	43.00

Figura 30. Parámetros de resistencia. Tomado de estudio Bateman Ingeniería Ltda

5.3.1 Estación Portal 20 de Julio

Para el caso de la estación Portal 20 de Julio se identifican cuatro materiales: lleno antrópico, suelos residuales de baja y alta densidad de la Formación Bogotá y roca meteorizada de la misma Formación. En la **Tabla 30**. "*Parámetros geotécnicos Estación Portal 20 de Julio*" se muestran los valores de los parámetros de resistencia elegidos, los cuales

se utilizarán en los análisis geotécnicos. Se muestra además el valor del peso unitario húmedo.

El lleno presenta valores de resistencia bajos en comparación con los otros materiales. La razón de esto es que al tratarse de un material de origen antrópico, con presencia en ocasiones de material removido y residuos de construcción, no presenta estructura y su consolidación como estrato es muy pobre. A pesar de ello, los ensayos de corte efectuados sobre el material, reflejan cohesiones por encima de los 20 kPa. Para el caso de estudio se decide utilizar una cohesión de 10 kPa para el mismo teniendo en cuenta que hay presencia de partículas limo arcillosas.

Para el caso de los suelos residuales de la Formación Bogotá, la estimación tuvo en cuenta principalmente los valores de N_{SPT}, de ahí que fuera posible realizar una distinción entre materiales de acuerdo al número de golpes, estableciendo un suelo residual de baja densidad y un suelo residual de alta densidad.

En cuanto a la roca, dichos valores fueron obtenidos en los estudios del cable de Ciudad Bolívar donde había afloramientos de la misma formación. Los valores fueron recopilados igualmente de estudios realizados por INTEINSA. En el **Anexo 3. Memorias de cálculo. Modelos geotécnicos,** se muestra la memoria de cálculo de la obtención de los parámetros de resistencia de la roca, la cual fue realizada con el programa RocLab de Rocscience Inc., el cual permite estimar los parámetros geotécnicos de la roca con base la teoría de Hoek.

Tabla 30. Parámetros geotécnicos Estación Portal 20 de Julio

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

Con el objeto de evaluar los niveles de deformación que se inducen en el suelo por efecto de la transmisión de presiones a causa de las estructuras

que se proyectan construir, se definieron los parámetros de deformación de los materiales presentes en la zona donde se planea construir la estación.

Teniendo en cuenta el perfil geotécnico típico, se calculó el módulo de reacción horizontal o módulo de balasto para cada uno de los materiales y el módulo de elasticidad. Se emplearon valores típicos como los sugeridos en el texto de Jiménez Salas (Geotecnia y Cimientos III, Capítulo 2 Cimentaciones Semiprofundas, Tabla 2.1.1) de acuerdo a la clasificación de los materiales y a los resultados de los ensayos de compresión inconfinada.

En la **Tabla 31.** *"Parámetros de deformación Estación Portal 20 de Julio"*, se muestran los valores seleccionados. Se considera una distribución constante del módulo de balasto y de elasticidad. B se refiere al ancho equivalente, el cual es igual a la raíz cuadrada del área del pilote.

Tabla 31. Parámetros de deformación Estación Portal 20 de Julio

Estrato	E (t/m^2)	k_H (t/m^3)	ν
Suelo Formación Bogotá (baja densidad)	2200	1626/B	0.35
Suelo Formación Bogotá (alta densidad)	23840	22352/B	0.30
Roca meteorizada Formación Bogotá	30000	25000/B	0.20

5.3.2 Estación La Victoria

Para el caso de la estación La Victoria se cuenta con la presencia de cuatro materiales: suelo orgánico, lleno antrópico, depósito de vertiente y material volcánico. En la **Tabla 32.** *"Parámetros de deformación Estación La Victoria"* se muestran los valores de los parámetros de resistencia elegidos, los cuales se utilizarán en los análisis geotécnicos.

Se descarta el suelo orgánico porque éste será removido de la zona de estudio. El lleno antrópico fue valorado en Tabla 30 y Tabla 31.

Tabla 32. Parámetros geotécnicos Estación La Victoria

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

Los valores del depósito de vertiente fueron obtenidos a partir de los resultados de la perforación P2 hecha en la zona de la estación Juan Pablo II del cable de Ciudad Bolívar, durante los estudios adelantados en 2010, ya que allí se cuenta con la presencia del mismo material. El ángulo de fricción se obtuvo con base en la ecuación de Kishida para un total de 16 golpes/pie. El valor de la cohesión es función del porcentaje de finos del material, superior al 70% según la **Tabla 11** y está dada por la norma DIN – 1055 para materiales con límites líquidos (LL) menores de 50% y mayores al 35%. En el anexo 3 de Memorias Geotécnicas se observa la caracterización del depósito de vertiente para el caso de la cohesión.

En la **Tabla 33.** *"Parámetros de deformación Estación La Victoria"* se muestran los valores de los parámetros de deformación de los materiales encontrados en la zona de emplazamiento de la estación. Se emplearon valores típicos como los sugeridos en el texto de Jiménez Salas (Geotecnia y Cimientos III, Capítulo 2 Cimentaciones Semiprofundas, Tabla 2.1.1). Debido a que los depósitos de vertiente presentan contenidos de finos por encima del 80%, se propone una distribución homogénea del módulo de balasto y de elasticidad. Se manejará lo mismo para el material volcánico.

Tabla 33. Parámetros de deformación. Estación La Victoria

Estrato	E (t/m^2)	k_H (t/m^3)	ν
Depósito de vertiente	600	540/B	0.35
Material volcánico	600	540/B	0.35

5.3.3 Estación Altamira – Moralba

De acuerdo con el perfil estratigráfico de la perforación de dicha estación, se cuenta con la presencia de suelo orgánico, lleno antrópico y suelo residual de alta densidad de la Formación Bogotá. Los parámetros de resistencia y deformabilidad de dichos materiales se muestran en la Tabla 30 y Tabla 31, respectivamente.

5.3.4 Alineamiento

El alineamiento del cable cobija los materiales de cada una de las estaciones. Se incluye un suelo de depósitos no consolidados (depósitos glaciares) asociado a la Formación Siecha. Para el caso de estudio, dicho material será denominado Suelo Formación Siecha. En la **Tabla 34.** *"Parámetros geotécnicos de los materiales"*, se muestran los parámetros geotécnicos de dicho material, los cuales consideran los resultados del ensayo de corte directo.

Tabla 34. Parámetros geotécnicos de los materiales

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

Al tratarse de un material no consolidado, se espera que su densidad sea baja, de ahí que se asemeje al suelo de las mismas características de la Formación Bogotá. En la **Tabla 35.** *"Parámetros de deformación. Alineamiento"* se muestran los parámetros de deformabilidad de dicho suelo.

Tabla 35. Parámetros de deformación Alineamiento

Estrato	E (t/m^2)	k_H (t/m^3)	ν
Suelo Formación Siecha	2200	1626/B	0.35

Comparando los parámetros reportados y los datos de la Figura 30 se concluye lo siguiente:

- El material de lleno antrópico presentará valores de ángulo de fricción bajos y cohesiones nulas. Si bien los ensayos de corte directo (Figura

30) indican cohesiones de hasta 37 kPa para este material, dichos valores no son representativos, dado que se trata de un suelo con presencia de materiales construcción y a que el mismo no posee estructura.

- Los suelos transportados de los estudios anteriores hacen referencia al depósito de vertiente y al suelo de baja densidad de la Formación Bogotá. Se tienen valores de cohesión que oscilan entre los 0 y 15 kPa y ángulos de fricción entre los 10° y 30°. Los valores elegidos para los materiales se encuentran entre los rangos mencionados, de ahí que se tenga certeza en los parámetros. Cabe recordar que la elección de los parámetros considera la experiencia de esta oficina.

- El suelo de la Formación Siecha y el suelo residual de alta densidad de la Formación Bogotá Bogotá presentan valores de fricción y cohesión similares a los del suelo residual de los estudios anteriores (Figura 30).

Para el caso de las rocas de la Formación Bogotá se utilizará un valor de ángulo de fricción de 40°, avalado en el hecho de que la resistencia a la penetración estándar en profundidad es superior a los 60 golpes/pie.

Dada la naturaleza arcillosa de los materiales, se propone una cohesión de 300 kPa, valor esperado y mencionado en estudios previos.