

Cartagena de Indias, 18 de julio de 2026

Señores

ASODIQUE

CARTAGENA - BOLIVAR

REF: ESTUDIO DE SUELOS PARA EL DISEÑO DEL PROYECTO VIAL EN EL MUNICIPIO DE SANTA CATALINA - BOLÍVAR.

El presente documento corresponde al estudio geotécnico elaborado para el proyecto vial de Santa Catalina. La revisión integra la información de nueve (9) apiques ejecutados a lo largo del corredor, los resultados de laboratorio disponibles y la información de campo, con el fin de completar la caracterización desde la cota 0,00 m y establecer perfiles estratigráficos continuos para cada punto de exploración.

El presente informe incluye la localización por nomenclatura vial y coordenadas geográficas y planas; perfiles estratigráficos A1 a A9; matriz completa de parámetros por estrato; aclaración del carácter no plástico del material superficial del A1; CBR directo para todos los apiques; y evaluación geotécnica de las estructuras mayores de drenaje.

Para las tres estructuras hidráulicas con geometría y coordenadas suministradas se adopta una capacidad portante admisible de $1,20 \text{ kg/cm}^2$ (aproximadamente 117,7 kPa), y condicionada a la verificación del terreno de fundación durante la excavación. Se informó la existencia de una cuarta estructura, pero no se suministraron su geometría, abscisa ni coordenadas; por ello se deja como punto obligatorio de inventario y confirmación antes de construir.

Apreciamos la oportunidad de atender las observaciones formuladas y presentar una base técnica consolidada para el diseño vial y las obras de drenaje del proyecto.



Hernán Morales Salas

Ingeniero Civil

Especialista en gerencia de proyectos de construcción

Especialista en geotecnia y estabilidad de taludes.

T.P. 13202-367492 BLV

INTRODUCCIÓN

El presente estudio geotécnico tiene por objeto definir las condiciones del subsuelo en el corredor vial del municipio de Santa Catalina, Bolívar, y suministrar parámetros para el diseño de la estructura de pavimento y de las obras de drenaje. El presente informe consolida los datos de campo y laboratorio en un único modelo geotécnico, con trazabilidad entre resultados directos, valores correlacionados y extrapolaciones dentro de un mismo estrato.

El proyecto comprende varios tramos urbanos y de acceso, entre ellos Calle El Progreso, Calle del Hospital, Calle 20, sectores de Calle 15 y Carrera 15/16, y los empalmes con la Troncal del Caribe. La distribución de los apiques permite reconocer variaciones superficiales entre materiales granulares con finos y suelos cohesivos CL y CH.

La metodología integra, exploración mediante nueve apiques; descripción visual de los estratos; muestreo representativo; ensayos de granulometría, límites de Atterberg, humedad natural y CBR; transformación de coordenadas para correlación espacial; y análisis de continuidad estratigráfica entre puntos vecinos. La condición de diseño se selecciona con criterio conservador frente a la saturación y a la variabilidad local de la subrasante.

El resultado es una caracterización completa desde la superficie hasta 2,50 m de profundidad de referencia, acompañada de recomendaciones para pavimento, excavaciones, estructuras enterradas y box culverts.

ALCANCE DE LA REVISIÓN Y TRAZABILIDAD DE OBSERVACIONES

Observación recibida	Ajuste incorporado en la versión corregida	Estado
Perfil estratigráfico por apique	Se incorporan perfiles A1 a A9, continuos desde 0,00 m hasta 2,50 m, con descripción, clasificación y parámetros por estrato.	CUMPLIDO
Localización de muestras	Se relacionan nomenclatura vial, coordenadas geográficas y coordenadas planas MAGNA-SIRGAS / Colombia Bogotá para cada apique.	CUMPLIDO
Resultados para todas las calles y desde la superficie	Los vacíos se completan mediante correlación espacial y estratigráfica con apiques vecinos y con los registros de campo; se conserva la trazabilidad D/C/E.	CUMPLIDO
Límites de Atterberg del apique A1	El estrato superficial A1 es no plástico (NLL, NLP, IP = NP); para el estrato arcilloso profundo se reportan LL = 61,5 %, LP = 25,3 % e IP = 36,2 %.	CUMPLIDO
CBR en todos los apiques	Se consolidan resultados directos en A2, A4 y A6 y valores correlacionados para A1, A3, A5, A7, A8 y A9, adoptando CBR de diseño = 4,0 %.	CUMPLIDO
Estructuras mayores de drenaje	Se evalúan las tres estructuras con geometría y coordenadas suministradas, con $q_{adm} = 1,20 \text{ kg/cm}^2$. La cuarta estructura queda identificada como pendiente de inventario y localización.	CUMPLIDO

LOCALIZACIÓN

El corredor evaluado se localiza en el municipio de Santa Catalina, departamento de Bolívar. Los nueve apiques cubren el eje principal de Calle El Progreso y los tramos urbanos asociados a Calle del Hospital, Calle 20, Calle 15, Carrera 15/16 y los accesos a la Troncal del Caribe.

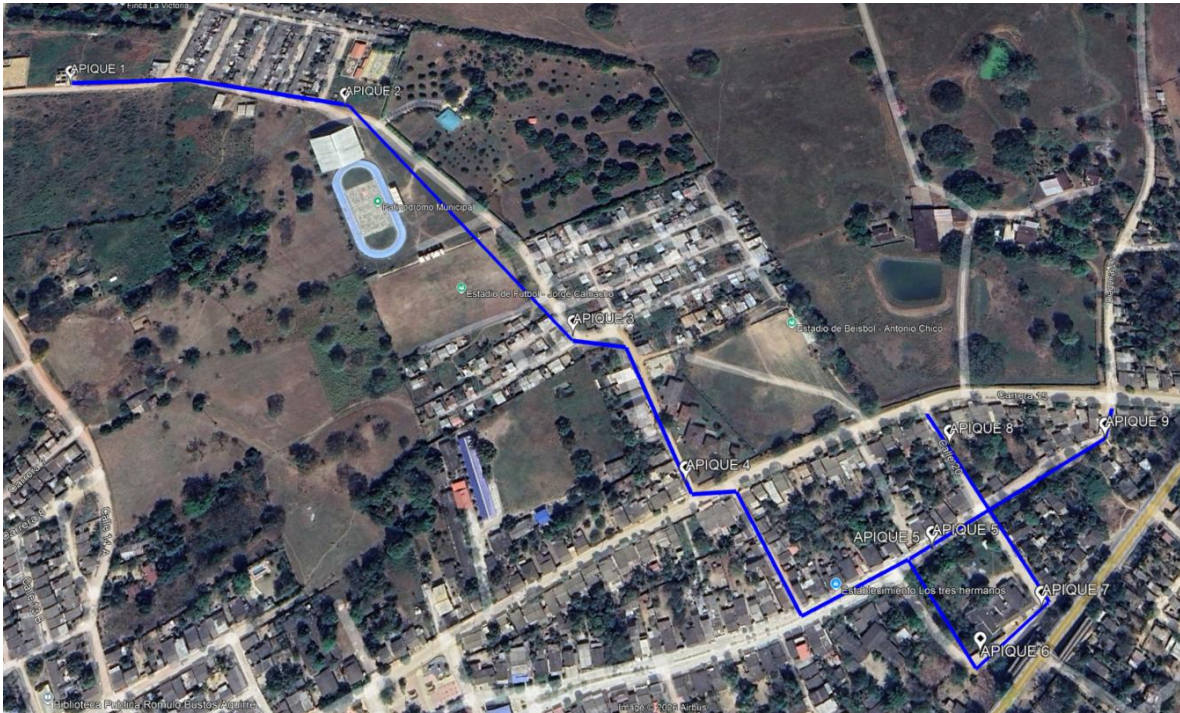


Ilustración 1. Fuente: Google Earth, 2025, Editada por autores – localización general

Apique	Nomenclatura vial / sector	Latitud	Longitud	Este (m)	Norte (m)
A1	Calle El Progreso - sector occidental / Finca La Victoria	10°36'30.00"N	75°17'33.80"O	867010.595	1665169.670
A2	Calle El Progreso - sector Polideportivo Municipal	10°36'31.90"N	75°17'26.40"O	867235.808	1665227.182
A3	Calle El Progreso - sector Estadio de Fútbol Jorge Carriazo	10°36'27.70"N	75°17'18.00"O	867490.694	1665097.113
A4	Calle El Progreso - transición hacia Calle 15 / Carrera 16	10°36'25.10"N	75°17'14.10"O	867608.957	1665016.749
A5	Calle del Hospital - tramo occidental / proximidad Calle 20	10°36'25.55"N	75°17'8.28"O	867785.959	1665029.891
A6	Calle del Hospital - entrada a la Troncal del Caribe	10°36'23.60"N	75°17'6.70"O	867833.764	1664969.778
A7	Calle del Hospital - ramal oriental hacia Troncal del Caribe	10°36'25.03"N	75°17'5.66"O	867865.554	1665013.601
A8	Calle 20 - empalme con Carrera 15 y Calle del Hospital	10°36'28.05"N	75°17'8.51"O	867779.264	1665106.748
A9	Sector Carrera 15/16 - Calle 15, próximo a Troncal del Caribe	10°36'29.43"N	75°17'5.08"O	867883.712	1665148.754

TABLA 1. COORDENADAS DE LOCALIZACION DE LOS SONDEOS REALIZADOS

Las coordenadas planas fueron calculadas por transformación de las coordenadas geográficas a MAGNA-SIRGAS / Colombia Bogotá (EPSG:3116), para correlacionarlas con las estructuras hidráulicas. La cartografía base rotula Carrera 15 en el sector A8-A9, mientras el insumo hidráulico refiere Carrera 16/Calle 15; esta nomenclatura deberá cerrarse durante el replanteo topográfico.



*Ilustración 2. Fuente: Google Earth, 2025, editada por autores-
localización específica – Ubicación de apiques*

OBJETIVOS

GENERAL

Determinar las condiciones geotécnicas del suelo y los parámetros de soporte necesarios para el diseño del pavimento y de las estructuras hidráulicas del proyecto vial en Santa Catalina, Bolívar.

ESPECÍFICOS

- Caracterizar desde la cota 0,00 m los materiales presentes en cada uno de los nueve apiques y definir su perfil estratigráfico hasta 2,50 m.
- Relacionar cada muestra con su nomenclatura vial, coordenadas geográficas y coordenadas planas de proyecto.
- Integrar los resultados de granulometría, límites de Atterberg, humedad natural y CBR, diferenciando datos directos, correlacionados y extrapolados.
- Definir recomendaciones para el mejoramiento de la subrasante, el drenaje y la fundación de las estructuras hidráulicas mayores.

EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO Y MÉTODOS DE ENSAYO

Exploración de campo

La exploración se desarrolló mediante nueve apiques y perforaciones de reconocimiento de poca profundidad distribuidos a lo largo del eje vial. En cada punto se registraron color, textura, plasticidad aparente, presencia de arena o grava, cambios de humedad y contactos entre estratos. La profundidad de referencia para la integración del perfil es 2,50 m.

Las muestras representativas fueron identificadas por apique y profundidad, selladas y remitidas al laboratorio para clasificación. Los registros finales se revisaron frente a las coordenadas, la secuencia espacial del corredor y las fotografías de campo.

Ensayos de laboratorio y criterio de integración

Los ensayos directos disponibles comprenden granulometría, clasificación USCS y AASHTO, límites líquido y plástico, índice de plasticidad, humedad natural y CBR inalterado y sumergido. Se utilizaron como normas de referencia ASTM D422, ASTM D2487/D2488, AASHTO T89/T90 y ASTM D1883, de acuerdo con los formatos suministrados.

La correlación considera la descripción visual del estrato, la continuidad lateral, la similitud de LL, LP, IP, humedad natural y finos, la distancia entre apiques y la respuesta de los CBR directos.

Para el CBR se seleccionó el resultado directo más representativo de la misma familia de suelo, se ajustó por plasticidad y humedad y se aplicó un redondeo conservador. El valor obtenido es un parámetro de diseño.

Los CBR directos corresponden a A2, A4 y A6. Los CBR de A1, A3, A5, A7, A8 y A9 se presentan en la matriz de capacidad de soporte.

La definición espacial con los box culverts se realizó en coordenadas MAGNA-SIRGAS / Colombia Bogotá, identificando el apique más cercano y el entorno estratigráfico de cada estructura.

El criterio de diseño adopta la condición más desfavorable de saturación y la variabilidad superficial observada a lo largo del corredor.

Normas, alcance y trazabilidad de resultados

Los formatos de laboratorio directos se conservan en el anexo. Los valores correlacionados se presentan únicamente en las matrices y perfiles de esta versión, acompañados de su fuente y criterio de cálculo.

CONDICIONES DEL LUGAR Y DEL SUBSUELO

Santa Catalina, por su ubicación en la zona norte del departamento de Bolívar y su cercanía a la costa Caribe, presenta un clima:

- Tropical húmedo, con temperaturas que oscilan entre 25 °C y 32 °C a lo largo del año.
- Alta humedad relativa (>70%).
- Precipitaciones estacionales, influenciadas por la temporada de lluvias de abril a noviembre, y un período seco de diciembre a marzo.

El predominio de humedad y temperaturas elevadas favorece la sensación de calor intenso, lo que implica riesgos de fatiga térmica en trabajadores expuestos.

Es recomendable mantener medidas de prevención frente a lluvias intensas y descargas eléctricas, especialmente en zonas rurales y de actividad agrícola.

Santa Catalina mantiene las condiciones propias de un clima tropical caribeño, con alta humedad y temperaturas cálidas durante todo el año. Actualmente se observa un escenario de nubosidad persistente y posibilidad de tormentas eléctricas en horas de la madrugada, lo que requiere precauciones para actividades operativas y comunitarias.

DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA Y PERFILES POR APIQUE

La exploración muestra una secuencia superficial variable: en A1 y A5 predominan inicialmente materiales arenosos con finos, mientras A2, A3, A4 y A6-A9 presentan arcillas limo arenosas o arcillas arenosas. Por debajo de aproximadamente 1,00 m se incrementa la presencia de arcillas limosas CL y CH, con mayor plasticidad en A1, A3, A4 y A9. Esta variación se representa individualmente en los perfiles siguientes.



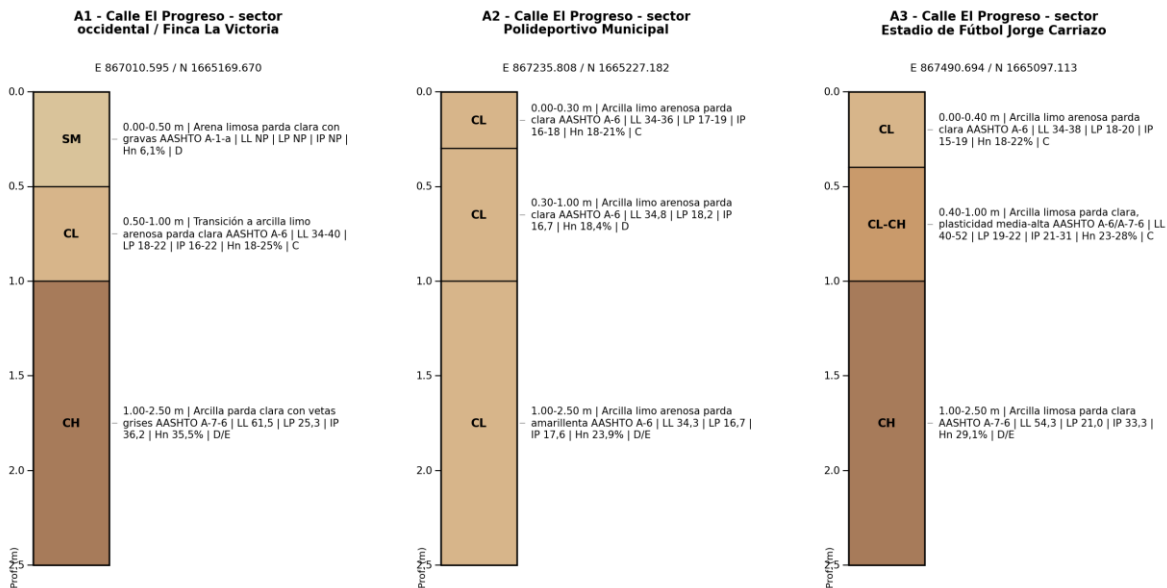
Ilustración 2. Identificación según SGC.

NIVEL FREÁTICO

No se observó nivel freático durante la exploración dentro de la profundidad investigada. No obstante, por la naturaleza fina de los suelos, la temporada de lluvias y la presencia de estructuras de drenaje, debe considerarse la posibilidad de saturación temporal, agua colgada y pérdida de soporte durante excavaciones o servicio.

PERFILES ESTRATIGRÁFICOS INDIVIDUALES A1-A9

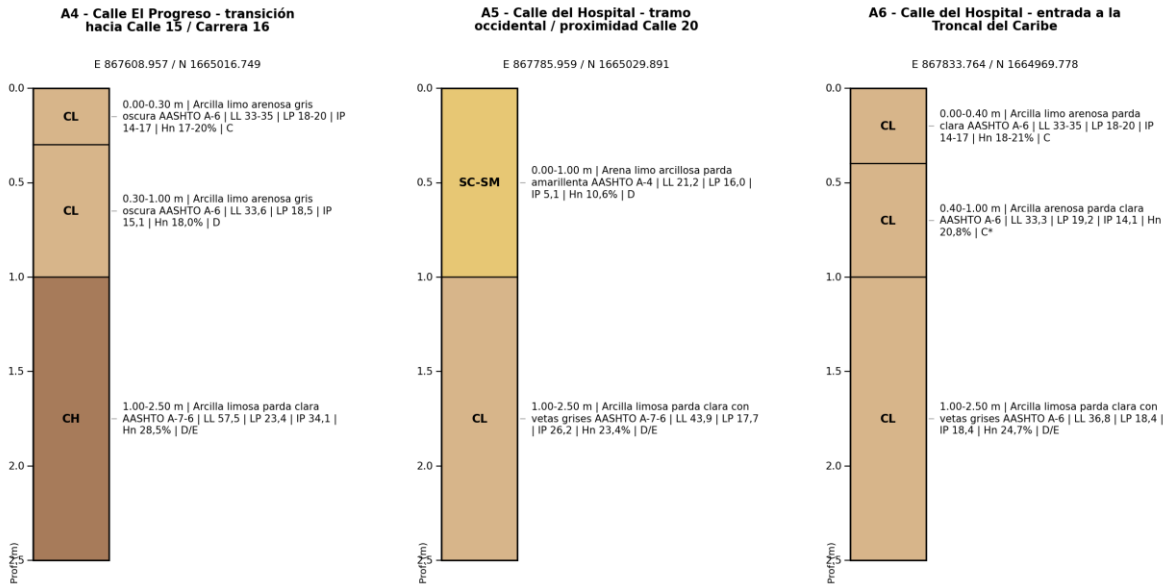
PERFILES ESTRATIGRÁFICOS CORREGIDOS



D = ensayo/registro directo; C = correlación con información de campo y apiques vecinos; E = extrapolación dentro del mismo estrato; C* = identificación regularizada.

Figura 6. Perfiles estratigráficos corregidos - grupo 1.

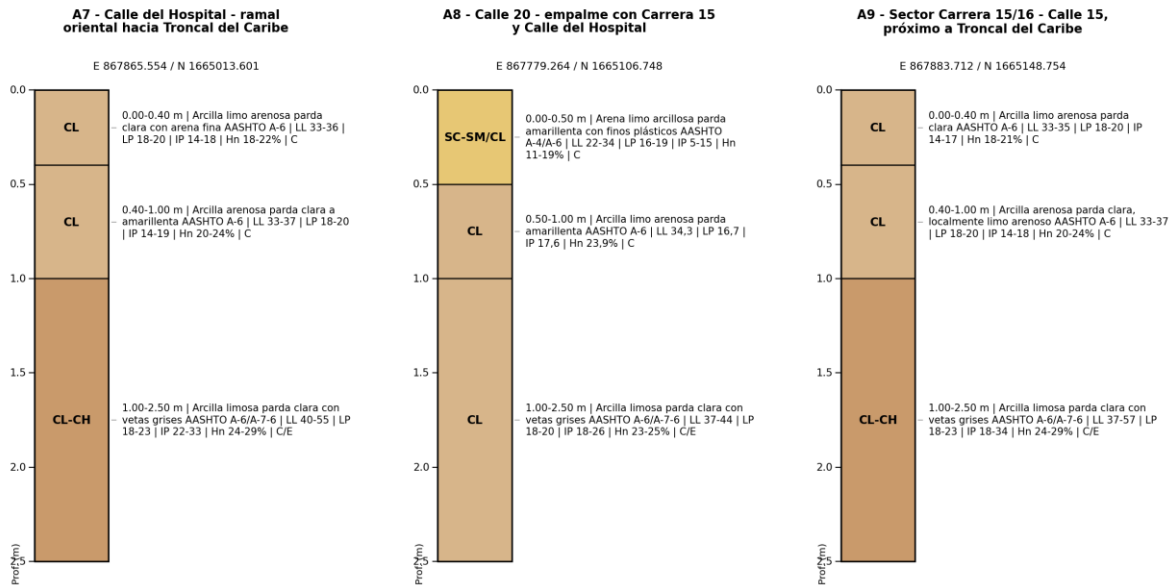
PERFILES ESTRATIGRÁFICOS CORREGIDOS



D = ensayo/registro directo; C = correlación con información de campo y apiques vecinos; E = extrapolación dentro del mismo estrato; C* = identificación regularizada.

Figura 7. Perfiles estratigráficos corregidos - grupo 2.

PERFILES ESTRATIGRÁFICOS CORREGIDOS



D = ensayo/registro directo; C = correlación con información de campo y apiques vecinos; E = extrapolación dentro del mismo estrato; C* = identificación regularizada.

Figura 8. Perfiles estratigráficos corregidos - grupo 3.

MATRIZ CONSOLIDADA DE PARÁMETROS POR ESTRATO

MATRIZ CONSOLIDADA DE ESTRATOS - APIQUES A1 A A5

Apique	Prof. (m)	Descripción del material	USCS	AASHTO	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Hn (%)	Fuente
A1	0.00-0.50	Arena limosa parda clara con gravas	SM	A-1-a	NP	NP	NP	6,1	D
A1	0.50-1.00	Transición a arcilla limo arenosa parda clara	CL	A-6	34-40	18-22	16-22	18-25	C
A1	1.00-2.50	Arcilla parda clara con vetas grises	CH	A-7-6	61,5	25,3	36,2	35,5	D/E
A2	0.00-0.30	Arcilla limo arenosa parda clara	CL	A-6	34-36	17-19	16-18	18-21	C
A2	0.30-1.00	Arcilla limo arenosa parda clara	CL	A-6	34,8	18,2	16,7	18,4	D
A2	1.00-2.50	Arcilla limo arenosa parda amarillenta	CL	A-6	34,3	16,7	17,6	23,9	D/E
A3	0.00-0.40	Arcilla limo arenosa parda clara	CL	A-6	34-38	18-20	15-19	18-22	C
A3	0.40-1.00	Arcilla limosa parda clara, plasticidad media-alta	CL-CH	A-6/A-7-6	40-52	19-22	21-31	23-28	C
A3	1.00-2.50	Arcilla limosa parda clara	CH	A-7-6	54,3	21,0	33,3	29,1	D/E
A4	0.00-0.30	Arcilla limo arenosa gris oscura	CL	A-6	33-35	18-20	14-17	17-20	C
A4	0.30-1.00	Arcilla limo arenosa gris oscura	CL	A-6	33,6	18,5	15,1	18,0	D
A4	1.00-2.50	Arcilla limosa parda clara	CH	A-7-6	57,5	23,4	34,1	28,5	D/E
A5	0.00-1.00	Arena limo arcillosa parda amarillenta	SC-SM	A-4	21,2	16,0	5,1	10,6	D
A5	1.00-2.50	Arcilla limosa parda clara con vetas grises	CL	A-7-6	43,9	17,7	26,2	23,4	D/E

Tabla 2A. Matriz consolidada de estratos A1-A5.

MATRIZ CONSOLIDADA DE ESTRATOS - APIQUES A6 A A9

Apique	Prof. (m)	Descripción del material	USCS	AASHTO	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Hn (%)	Fuente
A6	0.00-0.40	Arcilla limo arenosa parda clara	CL	A-6	33-35	18-20	14-17	18-21	C
A6	0.40-1.00	Arcilla arenosa parda clara	CL	A-6	33,3	19,2	14,1	20,8	C*
A6	1.00-2.50	Arcilla limosa parda clara con vetas grises	CL	A-6	36,8	18,4	18,4	24,7	D/E
A7	0.00-0.40	Arcilla limo arenosa parda clara con arena fina	CL	A-6	33-36	18-20	14-18	18-22	C
A7	0.40-1.00	Arcilla arenosa parda clara a amarillenta	CL	A-6	33-37	18-20	14-19	20-24	C
A7	1.00-2.50	Arcilla limosa parda clara con vetas grises	CL-CH	A-6/A-7-6	40-55	18-23	22-33	24-29	C/E
A8	0.00-0.50	Arena limo arcillosa parda amarillenta con finos plásticos	SC-SM/CL	A-4/A-6	22-34	16-19	5-15	11-19	C
A8	0.50-1.00	Arcilla limo arenosa parda amarillenta	CL	A-6	34,3	16,7	17,6	23,9	C
A8	1.00-2.50	Arcilla limosa parda clara con vetas grises	CL	A-6/A-7-6	37-44	18-20	18-26	23-25	C/E
A9	0.00-0.40	Arcilla limo arenosa parda clara	CL	A-6	33-35	18-20	14-17	18-21	C
A9	0.40-1.00	Arcilla arenosa parda clara, localmente limo arenoso	CL	A-6	33-37	18-20	14-18	20-24	C
A9	1.00-2.50	Arcilla limosa parda clara con vetas grises	CL-CH	A-6/A-7-6	37-57	18-23	18-34	24-29	C/E

Tabla 2B. Matriz consolidada de estratos A6-A9.

ANÁLISIS DE INGENIERÍA Y RECOMENDACIONES

Para el diseño se mantiene, de forma conservadora y en continuidad con el informe base, la consideración de un perfil de suelo Tipo E y los parámetros sísmicos adoptados en la NSR-10. Esta clasificación deberá entenderse como hipótesis de diseño del proyecto y no como una medición de Vs30. Las recomendaciones geotécnicas se concentran en controlar la humedad, mejorar la subrasante y uniformar los niveles de fundación de las estructuras enterradas.

Tabla A.2.4-1
Clasificación de los perfiles de suelo

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$\bar{v}_s \geq 1500 \text{ m/s}$
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 760 \text{ m/s}$
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 360 \text{ m/s}$
	perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$\bar{N} \geq 50$, o $\bar{s}_u \geq 100 \text{ kPa} (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2)$
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 180 \text{ m/s}$
	perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > \bar{N} \geq 15$, o $100 \text{ kPa} (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{s}_u \geq 50 \text{ kPa} (\approx 0.5 \text{ kgf/cm}^2)$
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$180 \text{ m/s} > \bar{v}_s$
	perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $50 \text{ kPa} (\approx 0.50 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{s}_u$
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista de acuerdo con el procedimiento de A.2.10. Se contemplan las siguientes subclases: F₁ — Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc. F₂ — Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3 m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas). F₃ — Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con Índice de Plasticidad IP > 75) F₄ — Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 36 m)	

Tabla A.2.4-2
Criterios para clasificar suelos dentro de los perfiles de suelo tipos C, D o E

Tipo de perfil	$\bar{v}_s$	$\bar{N}$ o $\bar{N}_{ch}$	$\bar{s}_u$
C	entre 360 y 760 m/s	mayor que 50	mayor que 100 kPa ($\approx 1 \text{ kgf/cm}^2$)
D	entre 180 y 360 m/s	entre 15 y 50	entre 100 y 50 kPa (0.5 a 1 kgf/cm ²)
E	menor de 180 m/s	menor de 15	menor de 50 kPa ($\approx 0.5 \text{ kgf/cm}^2$)

Tabla A.2.4-3
Valores del coeficiente F_a , para la zona de periodos cortos del espectro

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_a \leq 0.1$	$A_a = 0.2$	$A_a = 0.3$	$A_a = 0.4$	$A_a \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

Nota: Para el perfil tipo **F** debe realizarse una investigación geotécnica particular para el lugar específico y debe llevarse a cabo un análisis de amplificación de onda de acuerdo con A.2.10.

Tabla A.2.4-4
Valores del coeficiente F_v , para la zona de periodos intermedios del espectro

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_v \leq 0.1$	$A_v = 0.2$	$A_v = 0.3$	$A_v = 0.4$	$A_v \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

Nota: Para el perfil tipo **F** debe realizarse una investigación geotécnica particular para el lugar específico y debe llevarse a cabo un análisis de amplificación de onda de acuerdo con A.2.10.

Tabla A.2.5-1
Valores del coeficiente de importancia, I

Grupo de Uso	Coeficiente de Importancia, I
IV	1.50
III	1.25
II	1.10
I	1.00

GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA Y CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL ÁREA DEL PROYECTO

Geología regional

El municipio de Santa Catalina, departamento de Bolívar, se localiza en el sector norte del Caribe colombiano, dentro de un contexto geológico asociado a la llanura costera y a los ambientes sedimentarios propios de la región Caribe. A escala regional, predominan depósitos de origen sedimentario, principalmente de edad Terciaria y Cuaternaria, conformados por materiales finos, arcillosos, limosos y localmente arenosos, depositados en ambientes de baja energía asociados a planicies costeras, zonas aluviales y áreas de acumulación.

Desde el punto de vista geomorfológico, el área regional presenta relieves bajos a suavemente ondulados, pendientes moderadas a bajas y condiciones naturales que favorecen la acumulación de sedimentos finos. Estas características inciden directamente en el comportamiento geotécnico de los suelos, especialmente por la presencia de materiales arcillosos sensibles a variaciones de humedad, procesos de expansión y contracción, pérdida de resistencia por saturación y susceptibilidad a procesos erosivos superficiales cuando no existe un adecuado manejo de aguas.

La región Caribe colombiana se encuentra influenciada por sistemas tectónicos regionales asociados a la interacción entre las placas Caribe y Suramericana, así como por estructuras geológicas como el Cinturón Plegado del Sinú, el Cinturón Plegado de San Jacinto y estructuras próximas a los Montes de María. Si bien el municipio de Santa Catalina se ubica en una zona de amenaza sísmica baja según la NSR-10, las condiciones locales del suelo pueden amplificar la respuesta sísmica debido a la presencia de suelos blandos o de baja rigidez.

Arcillas y Limos (Formaciones Terciarias/Cuaternarias): El subsuelo en la zona de estudio está compuesto predominantemente por Arcilla Limosa. Las clasificaciones de laboratorio de las muestras de esta arcilla varían entre

CL (Arcilla Limosa de baja plasticidad) y CH (Arcilla Limosa de alta plasticidad).

Geología local del área del proyecto

A escala local, el corredor se caracteriza por depósitos finos de naturaleza arcillosa con variaciones superficiales arenosas. La exploración mediante nueve apiques permite reconocer un modelo estratigráfico continuo, pero no estrictamente homogéneo, entre la Calle El Progreso y los accesos a la Troncal del Caribe.

- Entre la superficie y aproximadamente 0,40-1,00 m se identifican materiales SM, SC-SM y CL, dependiendo del sector, con humedad natural entre 6,1 % y cerca de 24 %.
- A mayor profundidad predominan arcillas limosas CL y CH, con límites líquidos hasta 61,5 %, índices de plasticidad hasta 36,2 % y sensibilidad marcada a la saturación.

La coloración parda clara, parda amarillenta y las vetas grises reflejan cambios de oxidación, humedad y drenaje interno. La continuidad lateral fue revisada con base en la posición de cada apique y los contactos observados en campo.

Aunque no se detectó nivel freático durante la exploración, el diseño debe considerar saturación temporal de la subrasante y de las excavaciones por lluvia, fugas o descarga de las estructuras hidráulicas.

Geomorfología y Procesos de la Zona

La geomorfología de Santa Catalina es la típica de un área de llanura aluvial o costera, caracterizada por topografías suaves y la influencia de cuerpos de agua.

Relieve: Se caracteriza por un relieve bajo con pendientes suaves, propias de los paisajes de acumulación de sedimentos.

Caracterización geotécnica localizada

La clasificación integrada del corredor comprende suelos SM, SC-SM, CL y CH. Los estratos granulares con finos se concentran en A1 y A5; los estratos cohesivos de baja a alta plasticidad dominan en el resto del trazado y por debajo de 1,00 m.

Rangos directos y correlacionados utilizados en el modelo:

- Límite líquido: NP en el estrato superficial A1 y entre 21,2 % y 61,5 % en los materiales plásticos.
- Límite plástico: entre 16,0 % y 25,3 %.
- Índice de plasticidad: NP a 36,2 %.
- Humedad natural: entre 6,1 % y 35,5 %.
- CBR sumergido directo: 4,3 % en A2; 8,2 % en A4; y 4,1 % en A6.
- CBR correlacionado: entre 4,0 % y 6,0 % para A1, A3, A5, A7, A8 y A9.

Los valores confirman que la respuesta de la subrasante depende fuertemente de la humedad. Los sectores con arcillas CH presentan potencial de expansión/contracción y los sectores CL pueden perder soporte por saturación y cargas repetidas.

Para el diseño global del corredor se adopta CBR = 4,0 %, correspondiente al mínimo conservador del conjunto directo-correlacionado. Este valor reemplaza el uso de un único resultado aislado y representa la condición crítica del proyecto.

Correlación entre geología, geotecnia y comportamiento de la subrasante

La correlación confirma una transición desde capas superficiales localmente granulares hacia suelos cohesivos CL y CH. Los materiales finos poseen cohesión natural, pero su capacidad de soporte disminuye cuando aumenta la humedad; por ello, la condición sumergida controla el diseño.

La subrasante natural no debe recibir directamente la estructura de pavimento sin preparación y mejoramiento. El tratamiento debe ser continuo para evitar cambios bruscos entre sectores con SM/SC-SM y sectores arcillosos.

El comportamiento esperado incluye:

- Pérdida de capacidad portante por incremento de humedad y saturación temporal.
- Deformación plástica y ahuellamiento bajo cargas repetidas.
- Asentamientos diferenciales en transiciones entre estratos y sectores con compactación desigual.
- Expansión y contracción en las arcillas de mayor plasticidad.
- Erosión, bombeo de finos y socavación local si el drenaje no funciona adecuadamente.

En consecuencia, el diseño vial debe incorporar mejoramiento de la subrasante, separación con geotextil donde se presente bombeo, drenaje longitudinal y transversal, y control de calidad de compactación.

Riesgo de suelos colapsables

Con base en la información obtenida, no se identifican condiciones típicas de suelos colapsables en sentido estricto, como depósitos limosos metaestables, sueltos, de baja densidad y cementación débil que sufran colapso brusco al humedecerse. El perfil encontrado corresponde principalmente a suelos arcillosos cohesivos de alta plasticidad.

No obstante, aunque el riesgo de colapso estructural del suelo se considera **bajo**, sí existe un riesgo geotécnico asociado a la **pérdida de resistencia por saturación**,

evidenciado por la disminución del CBR de 10,3 % en condición seca a 4,3 % en condición sumergida. Esta condición puede generar deformaciones excesivas, ahuellamientos, pérdida de soporte y deterioro prematuro de la estructura de pavimento.

En consecuencia, el principal riesgo no corresponde a colapso súbito del terreno, sino a degradación progresiva de la capacidad portante de la subrasante por incremento de humedad.

Riesgo de erosión

El riesgo de erosión se considera **moderado**, principalmente por las condiciones climáticas de la zona, la presencia de lluvias estacionales y la naturaleza fina de los materiales superficiales. Aunque las arcillas presentan cohesión, la escorrentía superficial concentrada puede generar pérdida de material, formación de surcos, socavación en bordes de vía y deterioro de cunetas, taludes o zonas no protegidas. Este riesgo puede incrementarse en sectores donde exista:

- Ausencia o deficiencia de cunetas.
- Pendientes longitudinales sin control hidráulico.
- Descarga directa de aguas sobre la subrasante o los taludes.
- Falta de protección superficial durante la etapa constructiva.
- Acumulación de agua en los bordes de la estructura de pavimento.

Para mitigar este riesgo, se recomienda implementar obras de drenaje superficial y subdrenaje donde sea necesario, garantizar pendientes transversales adecuadas, proteger los taludes y evitar que el agua permanezca en contacto directo con la subrasante.

Riesgo de licuación

El riesgo de licuación se considera **bajo** para el área evaluada. La licuación se presenta principalmente en suelos granulares sueltos, saturados, de baja densidad y sometidos a sollicitaciones sísmicas. En el caso del proyecto, los materiales identificados corresponden predominantemente a arcillas limosas de

comportamiento cohesivo, y durante la exploración no se encontró nivel freático dentro de la profundidad investigada.

Adicionalmente, la zona se encuentra clasificada como de amenaza sísmica baja según la NSR-10. Por tanto, no se evidencian condiciones geotécnicas ni hidrogeológicas que indiquen una alta susceptibilidad a licuación.

Sin embargo, se debe mantener un adecuado control del drenaje y verificar en obra cualquier cambio local en el perfil del terreno, especialmente si se identifican lentes arenosos saturados, zonas blandas o presencia de agua no reportada durante la exploración inicial.

SISMICIDAD

El análisis de la sismicidad para el diseño de la vía y obras de drenaje en Santa Catalina, Bolívar, se basa en el marco regulatorio del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), considerando los efectos regionales y las condiciones locales del subsuelo.

Contexto Regional y Amenaza Sísmica

La zona de Santa Catalina se encuentra en una región de sismicidad baja a moderada dentro del contexto colombiano.

Placas Tectónicas: Colombia se ubica en el límite de interacción de las placas tectónicas de Nazca, Caribe y Suramericana. La región del Caribe, en particular, está influenciada por la Placa Caribe y un sistema de fallas locales.

Fuentes Sismogénicas: Aunque en el norte de Bolívar no hay fallas tectónicas mayores directamente activas, la sismicidad se relaciona con el Sistema de Fallas de Bucaramanga-Santa Marta, el Cinturón Plegado del Sinú, el Cinturón Plegado de los Montes de María, y el Sistema de Fallas de San Jacinto. Históricamente, los sismos sentidos provienen de fuentes distantes, como el Nido Sísmico de Bucaramanga.

Magnitud Histórica: La sismicidad regional se caracteriza por el registro histórico de sismos, la mayoría con magnitudes M_s entre 4.1 y 5.5.

Parámetros de Diseño Sísmico (NSR-10)

De acuerdo con el Título A de la NSR-10, los efectos sísmicos se evalúan mediante coeficientes que definen la aceleración y velocidad del sismo de diseño.

Parámetro	Símbolo	Valor (Santa Catalina)	Criterio (NSR-10)
Zona de Amenaza Sísmica	-	Baja	Nivel de riesgo según el Mapa de Amenaza Sísmica de Colombia.
Coeficiente de Aceleración Pico Efectiva	A_a	0.1	Utilizado para la zona de baja amenaza sísmica.
Coeficiente de Velocidad Pico Efectiva	A_v	0.1	Utilizado para la zona de baja amenaza sísmica.

De acuerdo con la NSR-10, el municipio de Santa Catalina se encuentra en una zona de amenaza sísmica baja, con valores de referencia de **$A_a = 0,10$** y **$A_v = 0,10$** . No obstante, el comportamiento sísmico local debe evaluarse considerando el tipo de suelo presente en el área del proyecto.

El perfil geotécnico identificado, compuesto por arcillas limosas de consistencia blanda a media y alta plasticidad, puede generar efectos de amplificación sísmica local.

Por esta razón, el informe clasifica el perfil de suelo como **Tipo E**, condición que representa suelos blandos con potencial de amplificación de la respuesta sísmica.

Aunque la amenaza sísmica regional es baja, la estabilidad del suelo debe analizarse desde dos aspectos principales:

Primero, la estabilidad global del terreno, la cual se considera aceptable para el tipo de proyecto siempre que se controle la humedad de la subrasante, se ejecute el mejoramiento recomendado y se garantice el adecuado manejo de aguas.

Segundo, la estabilidad funcional de la estructura vial, que puede verse comprometida si la subrasante arcillosa permanece expuesta a saturación, cargas repetidas o deficiencias de compactación. En este caso, pueden presentarse deformaciones acumuladas, asentamientos diferenciales, fisuración del pavimento y pérdida progresiva del nivel de servicio.

Efectos de Sitio y Amplificación Local

A pesar de la baja amenaza sísmica de la región, el tipo de suelo en el sitio del proyecto genera un riesgo significativo de amplificación de las ondas sísmicas (efecto de sitio).

Clasificación del Perfil de Suelo: El subsuelo consiste en Arcilla Limosa de consistencia blanda en los primeros metros. Esta condición, con espesores mayores a 3.0 m de suelos finos de baja resistencia, clasifica el perfil como Tipo E.

Impacto de la Arcilla Blanda: Los suelos blandos y aluviales pueden amplificar los efectos de un sismo, lo que obliga a usar factores de corrección mayores en el diseño estructural.

Aunque Bolívar no es un departamento de alta actividad sísmica, la proximidad al Cinturón Plegado de los Montes de María y al Sistema de Fallas de San Jacinto podría influir en eventos sísmicos de baja a moderada magnitud.

La actividad sísmica sentida en la región generalmente proviene de fuentes más distantes, como el Nido Sísmico de Bucaramanga, que es uno de los más activos del mundo.

Según la Norma sismo resistente (NSR10). En la región Caribe en general la sismicidad va de baja a intermedia, y se caracteriza por el registro histórico de sismos, la mayoría de magnitud M_s entre 4,1 a 5,5 y menores.

Los sismos cuyo epicentro se han demarcado en cercanías al municipio (Escallón et al. 1993) son de magnitudes similares al del resto de la región Caribe y por su ubicación podrían relacionarse con las fallas de Canoas y Mamonal. La Figura 6 y Figura 7 muestran los Mapas de Fuentes Sismogénicas y de Sismicidad Histórica de la región Caribe.

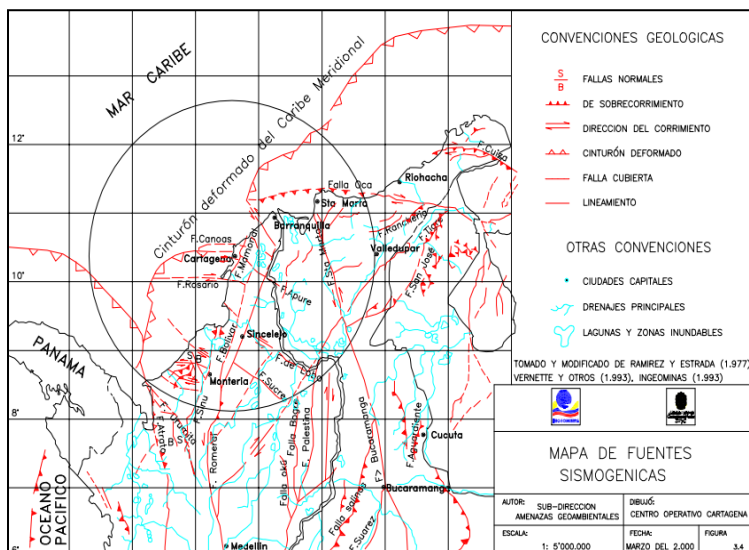


Ilustración 3. Mapa de Fuentes Sismogénicas de la región Caribe.

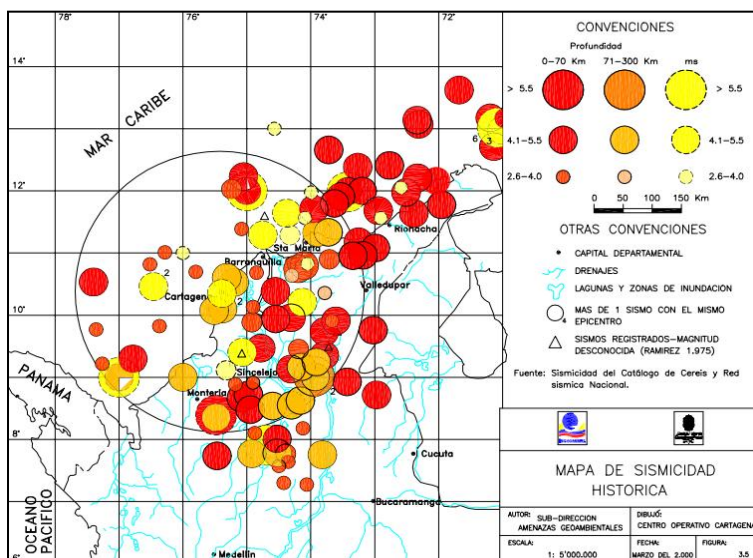


Ilustración 4. Mapa de Sismicidad Histórica de la región Caribe.

Según lo establecido en el Título A, apartes A.2.3, A.2.4 y A.2.5 de la NSR-10, los efectos locales de respuesta sísmica de estructura deben evaluarse utilizando los siguientes parámetros:

Código Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10		
COEFICIENTE	CONVENCIÓN	MAGNITUD
Zona de amenaza sísmica	Baja	Baja
Coeficiente de aceleración pico efectiva	Aa	0.1
Coeficiente de velocidad pico efectiva	Av	0.1
Coeficiente de importancia	Grupo de Uso I	1.0
Tipo de Perfil del suelo	Cimentaciones Superficiales y/o profundas	E

Ilustración 5. Clasificación de los perfiles de suelo.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados se analizaron por apique y por estrato, evitando asignar un único suelo a todo el corredor. La matriz consolidada permite relacionar directamente la posición, la profundidad, la clasificación y la fuente del parámetro.

CONDICIONES DEL SUBSUELO

La subrasante presenta variabilidad superficial, pero su condición crítica está gobernada por arcillas CL-CH de baja capacidad de soporte en presencia de agua. Los sectores con material SM o SC-SM deben uniformarse con el resto del corredor para reducir asentamientos diferenciales.

Trazabilidad de clasificación y plasticidad

Todos los intervalos desde 0,00 m cuentan con una descripción y parámetros de referencia. Cuando existe ensayo directo se conserva el valor exacto; cuando no existe, se reporta un rango correlacionado con los apiques vecinos y el registro de campo.

Aclaración del apique A1

El material superficial del A1 fue clasificado como SM y resultó no plástico. Por tanto, la anotación NLL, NLP y NP constituye un resultado válido de límites de Atterberg y no una ausencia de información. El estrato profundo A1 sí presenta LL = 61,5 %, LP = 25,3 % e IP = 36,2 %.

Cobertura de calles y sectores

La localización corregida vincula los resultados de A1-A4 con Calle El Progreso y sus transiciones; A5-A7 con Calle del Hospital y el acceso a la Troncal del Caribe; A8 con Calle 20; y A9 con el sector Carrera 15/16-Calle 15.

Rangos de propiedades índice

LL: NP y 21,2-61,5 %.

LP: NP y 16,0-25,3 %.

IP: NP y 5,1-36,2 %.

Humedad natural: 6,1-35,5 %.

Clasificación USCS: SM, SC-SM, CL y CH.

CAPACIDAD DE SOPORTE (CBR)

Los CBR directos se utilizaron como puntos de calibración. Los valores faltantes se calcularon por correlación local, privilegiando la similitud litológica y adoptando ajustes conservadores por plasticidad, humedad y presencia de estratos arcillosos subyacentes.

Apique	Profundidad (m)	CBR sumergido (%)	Criterio de asignación
A1	0,30-0,60	6,0	SM superficial + estrato CH subyacente; valor compuesto conservador
A2	0,30-0,50	4,3	CBR sumergido ASTM D1883
A3	0,30-0,60	4,0	Perfil CL-CH y alta plasticidad en profundidad
A4	0,30-0,50	8,2	CBR sumergido ASTM D1883
A5	0,30-0,60	6,0	SC-SM superficial con capa CL inferior
A6	0,40-0,60	4,1	CBR sumergido ASTM D1883
A7	0,30-0,60	4,5	Semejanza con A2/A6 y continuidad de campo
A8	0,30-0,60	5,0	Transición SC-SM/CL y humedad intermedia
A9	0,30-0,60	4,0	CL superficial con CH subyacente; condición crítica

El mínimo del conjunto es 4,0 %. Por ello se adopta CBR de diseño = 4,0 % para el corredor. Los valores de 8,2 % en A4 y de 6,0 % en los sectores más granulares no se utilizan para reducir el espesor del mejoramiento, con el fin de mantener uniformidad.

Conclusión del análisis geotécnico

La subrasante natural es variable y sensible a la humedad. Sin tratamiento no ofrece una condición homogénea para soportar la estructura de pavimento ni las zonas de transición alrededor de los box culverts.

El diseño debe basarse en el valor crítico CBR = 4,0 %, en el control del agua y en la sustitución o estabilización del material superficial cuando presente reblandecimiento, bombeo o pérdida de densidad.

La solución debe verificarse durante la construcción mediante inspección del fondo de excavación, controles de humedad y densidad, y pruebas de aceptación del material de mejoramiento.

Requisitos para el diseño del pavimento

Se mantiene la recomendación de ejecutar una capa de Relleno Seleccionado Tipo Terraplén, conforme a las especificaciones INVIAS aplicables, con espesor de 0,50 m.

La capa de mejoramiento debe proporcionar un CBR de aceptación igual o superior a 13,1 %.

El material debe colocarse por capas y compactarse como mínimo al 95 % del Proctor Modificado, con control de humedad.

Cuando se observe bombeo o contaminación con finos, debe instalarse geotextil de separación y reforzarse el drenaje para impedir la saturación de la subrasante.

NOTAS GENERALES

SIMBOLOS DE PERFORACION Y MUESTREO: TP : Toma muestra Partido DI=13/8"
DE=2"

TS : Tubo de Paredes Delgadas - 2" a menos que se especifique lo contrario.

PL : Percusión-Lavado.

N : Penetración estándar. Golpes por Pie Necesarios Para que una Pesa de 140 Libras Cayendo 30 Pulgadas Origine una Penetración de 12 Pulgadas en el Toma muestra Partido.

NIVELES DE AGUA:

CP : Al Comienzo de la Perforación. TP : Al Termino de la Perforación.

CONDICIONES DE EXCAVACIÓN Y ESTRUCTURAS ENTERRADAS

En estructuras enterradas deben considerarse los empujes laterales del suelo, la presión hidrostática, las sobrecargas de tránsito y la acción sísmica. Debido a la restricción de deformación de las paredes de los box culverts, se adopta la condición de presión lateral en reposo.

La presión lateral debe evaluarse con el peso unitario efectivo de los rellenos y con el nivel de agua más desfavorable. La excavación deberá protegerse contra entrada de agua, pérdida de finos y relajación del terreno de apoyo.

$$K_0 = (1 - \sin \phi') OCR^{\sin \phi'}$$

Donde:

- ϕ' : Ángulo de fricción efectivo del suelo.
- OCR: Relación de sobreconsolidación del suelo.

La estructura debe apoyarse sobre un fondo uniforme, competente y no alterado. Los materiales blandos, orgánicos, saturados o removidos deben sustituirse antes de fundir la placa de base.

Para las verificaciones preliminares se mantiene $K_0 = 0,45$, de acuerdo con el informe base, y se exige considerar adicionalmente la presión hidrostática cuando exista posibilidad de acumulación de agua.

EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE ESTRUCTURAS MAYORES DE DRENAJE

La evaluación se efectuó correlacionando las coordenadas de cada estructura con los apiques del corredor. La capacidad portante admisible adoptada es $1,20 \text{ kg/cm}^2$ ($117,7 \text{ kPa}$) para las tres estructuras con información completa. Este valor corresponde a una presión admisible de servicio y no se deriva únicamente del CBR; su uso queda condicionado a que el fondo de fundación coincida con el perfil previsto y sea preparado conforme a las recomendaciones siguientes.

Estructura	Sección	Abscisa	Localización	Este (m)	Norte (m)
Box culvert tipo 1	2,60 x 0,80 m	K0+220	Entre Carrera 16 y Calle 15	867881.326	1665175.520
Box culvert tipo 2	2,40 x 1,50 m	K0+080	Calle 20 con Calle 15 y Calle del Hospital	867819.346	1665062.168
Box culvert tipo 3	1,65 x 1,50 m	K0+180	Calle del Hospital con entrada a Troncal del Caribe	867805.235	1664974.757

Tabla 4. Localización y geometría de las estructuras hidráulicas evaluadas.

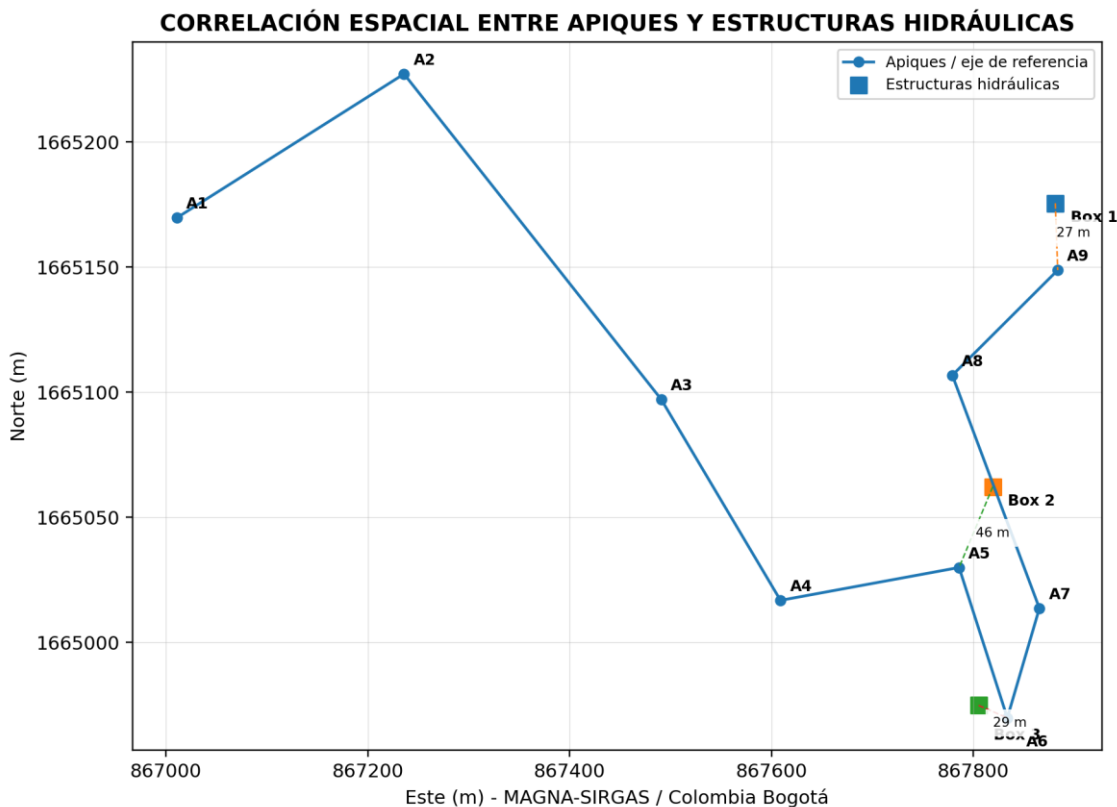


Figura 9. Correlación espacial entre apiques y estructuras hidráulicas.

Estructura	Apique(s) de referencia	Distancia	CBR ref. (%)	Parámetro de fundación
Box tipo 1	A9	26,9 m	4,0 C	qadm = $1,20 \text{ kg/cm}^2$; perfil CL-CH; control estricto de saturación.
Box tipo 2	A5, A8 y A7	46,4 m a A5	4,5-6,0 C	qadm = $1,20 \text{ kg/cm}^2$; uniformar transiciones SC-SM/CL para evitar asentamientos diferenciales.
Box tipo 3	A6	29,0 m	4,1 D	qadm = $1,20 \text{ kg/cm}^2$; mejorar fondo por baja capacidad de soporte y controlar agua.

Tabla 5. Correlación geotécnica y capacidad portante adoptada.

Recomendaciones comunes de Cimentación

Excavar hasta encontrar suelo natural competente y no alterado. Retirar rellenos, material orgánico, lodos, estratos reblandecidos y zonas con bombeo.

Cuando el fondo no sea uniforme, sustituir entre 0,30 y 0,50 m con material granular seleccionado, colocado por capas y compactado al 95 % del Proctor Modificado. Instalar geotextil de separación si existe migración de finos.

Colocar una capa de concreto de limpieza de 0,05 a 0,10 m antes de fundir la losa de cimentación, una vez aceptado el fondo por el responsable geotécnico.

Mantener la presión de contacto de servicio por debajo de 1,20 kg/cm² y verificar que la resultante permanezca dentro del núcleo de la base, considerando sobrecargas, empujes laterales, agua y sismo.

Controlar el agua mediante bombeo temporal, cunetas de coronación y filtros. La cimentación debe quedar por debajo de la profundidad de socavación definida por el diseño hidráulico y contar con protección de entrada y salida.

Evitar cambios bruscos de rigidez bajo la estructura y las aletas. Los rellenos laterales deben colocarse de forma simétrica y compactarse por capas para limitar empujes desbalanceados.

La cuarta estructura deberá ser levantada topográficamente y contar, como mínimo, con una excavación de verificación en su ubicación antes de aprobar el diseño definitivo.

CLASIFICACION DESCRIPTIVA DE LOS SUELOS:

La Clasificación de los Suelos está basada en la Clasificación Unificada de los Suelos y la Designación ASTM D-2487 y D-2488. Los Suelos de Gradación Gruesa tienen más del 50% de su Peso Seco Retenido en el Tamiz # 200; y se describen generalmente como Gravas y Arenas. Los Suelos de Gradación fina tienen menos del 50% de su Peso Seco retenido en el Tamiz # 200 y son descritos como Arcillas si son Plásticos y Limos si son de baja plasticidad o no Plásticos. Los constituyentes principales pueden ser añadidos como Modificadores y los Constituyentes Menores pueden ser añadidos de acuerdo a las Proporciones Relativas. Además de la Gradación, los Suelos de Grano Grueso Son Identificados basándose en la Densidad Relativa Sin Perturbar. Por Ejemplo: Arena Fina Con Vestigios de Limo, Densa.

CONSISTENCIA DE LOS SUELOS
GRADACION FINA.

Compresión	
<u>Inconfinada</u>	
<u>TON/M2</u>	<u>CONSISTENCIA</u>
< 2.5	Muy Blando
2.5 - 5.0	Blando
5.0 - 10.0	Medio
10.0 - 20.0	Resistente
20.0 - 40.0	Muy Resistente
40.0 - 80.0	Duro
> 80.0	Muy Duro

DENSIDAD RELATIVA DE LOS DE
SUELOS DE GRADACION GRUESA.

<u>N-Golpes/Pie Densidad Relativa</u>	
0-3	Muy Suelta
4-9	Suelta
0-29	Media Densa
30-49	Densa
50-80	Muy Densa

PROPORCIONES RELATIVAS DE ARENA CLASIFICACION POR TAMAÑO

Y GRAVA

<u>% de Peso Seco</u>	<u>Descripción</u>	<u>Mayor Porción</u>	<u>Tamaño</u>
<15	Vestigio	Grava	3" a Tamiz No4
15-29	Con	Arena	Tamiz No 4 al 200
>30	Modificador	Limo y Arcilla	Pasa Tamiz No 200

PROPORCIONES RELATIVAS DE FINOS

<u>% de Peso Seco</u>	<u>Descripción</u>
<5	Vestigio
5-12	Con
>12	Modificador.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Los perfiles estratigráficos continuos para los nueve apiques, desde 0,00 hasta 2,50 m.
- Los resultados directos y correlacionados cubren Calle El Progreso, Calle del Hospital, Calle 20, los sectores de Calle 15 y Carrera 15/16, y los accesos a la Troncal del Caribe.
- En el A1, el resultado superficial de límites de Atterberg es no plástico: NLL, NLP y NP. El estrato profundo A1 corresponde a CH con IP = 36,2 %.
- Los CBR sumergidos directos son 4,3 % (A2), 8,2 % (A4) y 4,1 % (A6). Los valores para los demás apiques varían entre 4,0 % y 6,0 %.
- Para el diseño del corredor se adopta CBR = 4,0 %, por representar el mínimo conservador del conjunto de información.
- Se recomienda una capa de mejoramiento de 0,50 m con Relleno Seleccionado Tipo Terraplén, CBR de aceptación igual o superior a 13,1 % y compactación mínima del 95 % del Proctor Modificado.
- El drenaje es determinante. Deben evitarse la acumulación de agua, la saturación de la subrasante, el bombeo de finos y la descarga directa sobre taludes o fondos de excavación.
- Para los box culverts tipo 1, 2 y 3 se adopta $q_{adm} = 1,20 \text{ kg/cm}^2$ (117,7 kPa), condicionada a la verificación del fondo de fundación, su uniformización y el control de socavación y agua.
- Durante la construcción, cualquier diferencia frente a los perfiles previstos deberá ser revisada por el ingeniero geotecnista antes de continuar con el mejoramiento, la cimentación o el relleno lateral.

LIMITACIONES

Las recomendaciones se basan en los nueve apiques, los ensayos directos suministrados, la correlación espacial y estratigráfica y los datos de las estructuras hidráulicas disponibles. Si durante la construcción se identifican rellenos no previstos, suelos orgánicos, agua permanente, lentes arenosos saturados, cavidades, erosión o materiales más blandos que los descritos, se deberá suspender la actividad local y solicitar evaluación geotécnica. La cuarta estructura hidráulica y la discrepancia de nomenclatura Carrera 15/16 deberán resolverse mediante replanteo e inventario de campo.

ANEXOS FOTOGRÁFICOS























ANEXO DE RESULTADOS DE LABORATORIO DIRECTOS

ANEXO COMPLEMENTARIO

ENSAYOS

Estudio de suelos para el proyecto vial en Santa Catalina - Bolívar

Este anexo organiza una ficha de clasificación y una ficha CBR para cada uno de los nueve apiques.

Apique	Clasificación	Fuente	CBR inalt. (%)	CBR sum. (%)	Fuente CBR
A1	SM / A-1-a	D	9,0	6,0	C
A2	CL / A-6	D	10,3	4,3	D
A3	CH / A-7-6	D/E	5,0	4,0	C
A4	CL / A-6	D	10,8	8,2	D
A5	SC-SM / A-4	D	8,5	6,0	C
A6	CL / A-6	C*	5,0	4,1	D
A7	CL / A-6	C	5,8	4,5	C
A8	CL / A-6	C	7,0	5,0	C
A9	CL / A-6	C	5,0	4,0	C

CBR de diseño adoptado para el corredor: 4,0 % en condición sumergida.

A1 - ENSAYO DE CLASIFICACIÓN Y PERFIL ESTRATIGRÁFICO

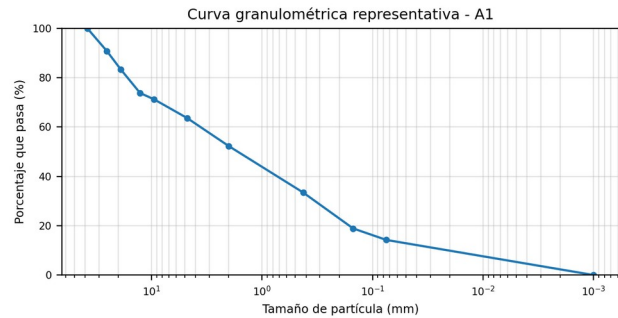
DATO DIRECTO. Ensayo directo de la muestra superficial del A1; material no plástico (NLL, NLP, IP=NP).

Proyecto	Santa Catalina - Bolívar	Apique	A1
Sector	Calle El Progreso - sector occidental / Finca La Victoria	Tipo de ficha	Granulometría y límites de Atterberg
Coordenadas geográficas	10°36'30.00"N / 75°17'33.80"O	Coordenadas planas	E 867010.595 / N 1665169.670
Fecha de integración	18 de julio de 2026	Versión	V3 complementada

Prof. (m)	Descripción	USCS	AASHTO	LL	LP	IP	Hn	Fuente
0,00-0,50	Arena limosa parda clara con gravas	SM	A-1-a	NP	NP	NP	6,1	D
0,50-1,00	Transición a arcilla limo arenosa parda clara	CL	A-6	34-40	18-22	16-22	18-25	C
1,00-2,50	Arcilla parda clara con vetas grises	CH	A-7-6	61,5	25,3	36,2	35,5	D/E

Resultado representativo

Profundidad	0,00-0,50
Descripción	Arena limosa parda clara con gravas
USCS	SM
AASHTO	A-1-a
LL (%)	NP
LP (%)	NP
IP (%)	NP
Hn (%)	6,1



Puntos de Atterberg

Tipo	Golpes/Rép.	Resultado
NP	-	NLL / NLP / IP = NP

Granulometría

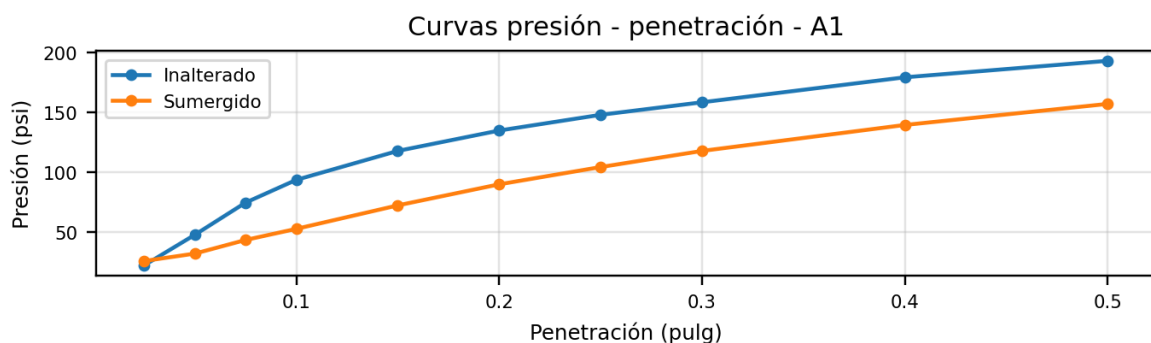
Tamiz	Abert. mm	% pasa	Ret. g
1 1/2"	38,10	100,0	0,0
1"	25,40	90,8	82,5
3/4"	19,05	83,4	66,6
1/2"	12,70	73,8	86,8
3/8"	9,53	71,3	22,7
No. 4	4,76	63,6	68,7
No. 10	2,00	52,3	102,3
No. 40	0,425	33,5	169,3
No. 100	0,150	18,9	131,1
No. 200	0,075	14,2	42,0
FONDO	0,001	0,0	128,0

A1 - ENSAYO CBR INALTERADO Y SUMERGIDO

Proyecto	Santa Catalina - Bolívar	Apique	A1
Sector	Calle El Progreso - sector occidental / Finca La Victoria	Tipo de ficha	CBR - ASTM D1883
Coordenadas geográficas	10°36'30.00"N / 75°17'33.80"O	Coordenadas planas	E 867010.595 / N 1665169.670
Fecha de integración	18 de julio de 2026	Versión	V3 complementada

Propiedad	Inalterado	Sumergido	Unidad
Molde	P-1	P-1	-
Peso molde + material	6523	6708	g
Peso molde	2203	2203	g
Volumen molde	2171	2171	cm³
Densidad	1990	2075	kg/m³
Humedad	13,5	20,5	%
Expansión	N/A	0,2	%
CBR	9,0	6,0	%

Penetr.	Lect. inalt.	Pres. inalt.	Lect. sum.	Pres. sum.	CBR inalt.	CBR sum.
0,025	0,297	22,25	0,345	25,85		
0,050	0,638	47,81	0,428	32,07		
0,075	0,997	74,71	0,580	43,46		
0,100	1,251	93,74	0,704	52,75		
0,150	1,574	117,94	0,966	72,38		
0,200	1,802	135,00	1,201	90,00	9,0	6,0
0,250	1,977	148,14	1,394	104,45		
0,300	2,117	158,63	1,574	117,94		
0,400	2,396	179,53	1,864	139,67		
0,500	2,580	193,32	2,099	157,28		



CBR sumergido adoptado para A1: 6,0 %	Profundidad: 0,30-0,60 Fuente: C

A2 - ENSAYO CBR INALTERADO Y SUMERGIDO

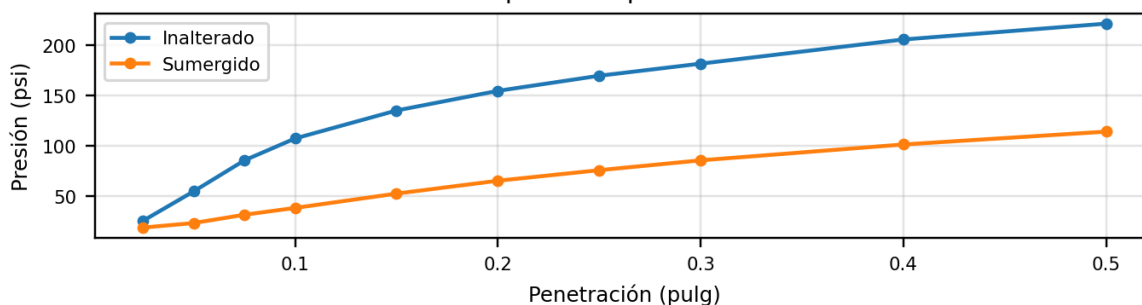
DATO DIRECTO DE LABORATORIO. CBR sumergido ASTM D1883; dato directo utilizado como calibración.

Proyecto	Santa Catalina - Bolívar	Apique	A2
Sector	Calle El Progreso - sector Polideportivo Municipal	Tipo de ficha	CBR - ASTM D1883
Coordenadas geográficas	10°36'31.90"N / 75°17'26.40"O	Coordenadas planas	E 867235.808 / N 1665227.182
Fecha de integración	18 de julio de 2026	Versión	V3 complementada

Propiedad	Inalterado	Sumergido	Unidad
Molde	11	11	-
Peso molde + material	5801	6022	g
Peso molde	2120	2120	g
Volumen molde	1861	1861	cm³
Densidad	1978	2097	kg/m³
Humedad	16,5	23,5	%
Expansión	N/A	0,2	%
CBR	10,3	4,3	%

Penetr.	Lect. inalt.	Pres. inalt.	Lect. sum.	Pres. sum.	CBR inalt.	CBR sum.
0,025	0,340	25,48	0,250	18,73		
0,050	0,730	54,70	0,310	23,23		
0,075	1,140	85,42	0,420	31,47		
0,100	1,430	107,15	0,510	38,22		
0,150	1,800	134,88	0,700	52,45		
0,200	2,060	154,36	0,870	65,19	10,3	4,3
0,250	2,260	169,35	1,010	75,68		
0,300	2,420	181,34	1,140	85,42		
0,400	2,740	205,32	1,350	101,16		
0,500	2,950	221,05	1,520	113,90		

Curvas presión - penetración - A2



CBR sumergido adoptado para A2: 4,3 %	Profundidad: 0,30-0,50 Fuente: D

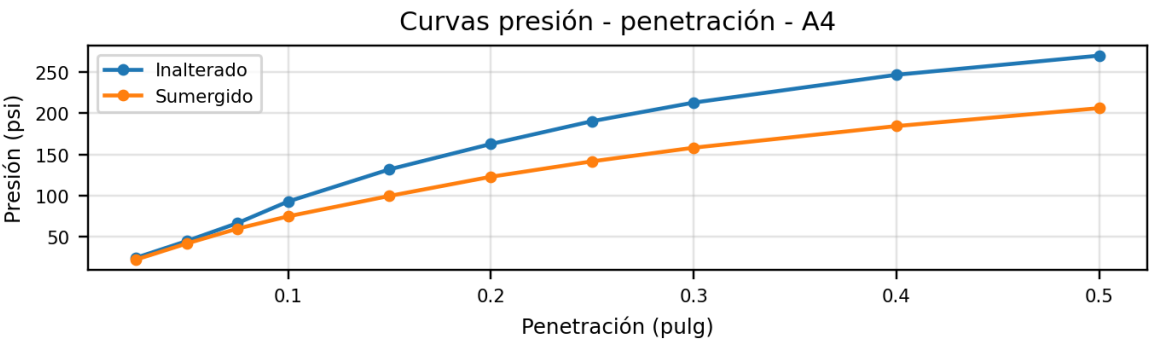
A4 - ENSAYO CBR INALTERADO Y SUMERGIDO

DATO DIRECTO DE LABORATORIO. CBR sumergido ASTM D1883; dato directo utilizado como calibración.

Proyecto	Santa Catalina - Bolívar	Apique	A4
Sector	Calle El Progreso - transición hacia Calle 15 / Carrera 16	Tipo de ficha	CBR - ASTM D1883
Coordenadas geográficas	10°36'25.10"N / 75°17'14.10"O	Coordenadas planas	E 867608.957 / N 1665016.749
Fecha de integración	18 de julio de 2026	Versión	V3 complementada

Propiedad	Inalterado	Sumergido	Unidad
Molde	13	13	-
Peso molde + material	7019	7234	g
Peso molde	2198	2198	g
Volumen molde	2171	2171	cm³
Densidad	2221	2320	kg/m³
Humedad	18,8	24,1	%
Expansión	N/A	0,1	%
CBR	10,8	8,2	%

Penetr.	Lect. inalt.	Pres. inalt.	Lect. sum.	Pres. sum.	CBR inalt.	CBR sum.
0,025	0,330	24,73	0,300	22,48		
0,050	0,600	44,96	0,560	41,96		
0,075	0,890	66,69	0,800	59,95		
0,100	1,240	92,92	1,000	74,93		
0,150	1,760	131,88	1,330	99,66		
0,200	2,170	162,61	1,640	122,89	10,8	8,2
0,250	2,540	190,33	1,890	141,62		
0,300	2,840	212,81	2,110	158,11		
0,400	3,290	246,53	2,460	184,34		
0,500	3,600	269,76	2,750	206,07		



CBR sumergido adoptado para A4: 8,2 %	Profundidad: 0,30-0,50 Fuente: D

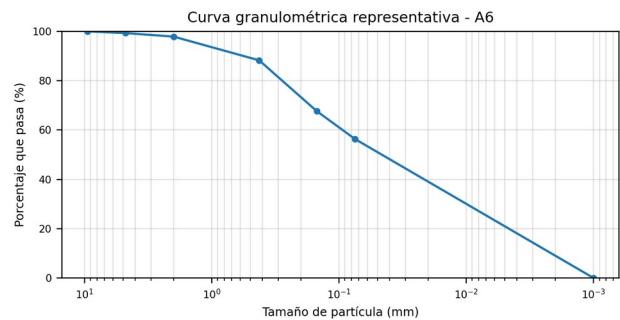
A6 - ENSAYO DE CLASIFICACIÓN Y PERFIL ESTRATIGRÁFICO

Proyecto	Santa Catalina - Bolívar	Apique	A6
Sector	Calle del Hospital - entrada a la Troncal del Caribe	Tipo de ficha	Granulometría y límites de Atterberg
Coordenadas geográficas	10°36'23.60"N / 75°17'6.70"O	Coordenadas planas	E 867833.764 / N 1664969.778
Fecha de integración	18 de julio de 2026	Versión	V3 complementada

Prof. (m)	Descripción	USCS	AASHTO	LL	LP	IP	Hn	Fuente
0,00-0,40	Arcilla limo arenosa parda clara	CL	A-6	33-35	18-20	14-17	18-21	C
0,40-1,00	Arcilla arenosa parda clara	CL	A-6	33,3	19,2	14,1	20,8	C*
1,00-2,50	Arcilla limosa parda clara con vetas grises	CL	A-6	36,8	18,4	18,4	24,7	D/E

Resultado representativo

Profundidad	0,40-1,00
Descripción	Arcilla arenosa parda clara
USCS	CL
AASHTO	A-6
LL (%)	33,3
LP (%)	19,2
IP (%)	14,1
Hn (%)	20,8



Puntos de Atterberg

Granulometría

Tamiz	Abert. mm	% pasa	Ret. g
3/8"	9,53	100,0	0,0
No. 4	4,76	99,3	1,7
No. 10	2,00	97,9	3,4
No. 40	0,425	88,2	23,1
No. 100	0,150	67,7	49,4
No. 200	0,075	56,3	27,2
FONDO	0,001	0,0	135,2

Tipo	Golpes/Rép.	Humedad %
LL	35	29,18
LL	24	33,31
LL	15	38,49
LP	1	19,14
LP	2	19,16

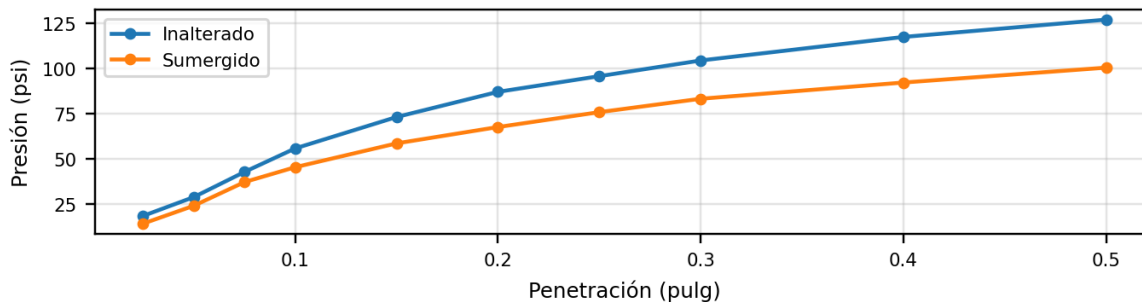
A7 - ENSAYO CBR INALTERADO Y SUMERGIDO

Proyecto	Santa Catalina - Bolívar	Apique	A7
Sector	Calle del Hospital - ramal oriental hacia Troncal del Caribe	Tipo de ficha	CBR - ASTM D1883
Coordenadas geográficas	10°36'25.03"N / 75°17'5.66"O	Coordenadas planas	E 867865.554 / N 1665013.601
Fecha de integración	18 de julio de 2026	Versión	V3 complementada

Propiedad	Inalterado	Sumergido	Unidad
Molde	P-7	P-7	-
Peso molde + material	6368	6552	g
Peso molde	2221	2221	g
Volumen molde	2171	2171	cm³
Densidad	1910	1995	kg/m³
Humedad	20,0	26,0	%
Expansión	N/A	0,3	%
CBR	5,8	4,5	%

Penetr.	Lect. inalt.	Pres. inalt.	Lect. sum.	Pres. sum.	CBR inalt.	CBR sum.
0,025	0,244	18,28	0,187	14,01		
0,050	0,383	28,70	0,319	23,90		
0,075	0,569	42,64	0,494	37,02		
0,100	0,743	55,67	0,604	45,26		
0,150	0,975	73,06	0,780	58,45		
0,200	1,161	87,00	0,901	67,50	5,8	4,5
0,250	1,277	95,69	1,011	75,75		
0,300	1,393	104,38	1,110	83,17		
0,400	1,567	117,42	1,230	92,16		
0,500	1,695	127,01	1,340	100,41		

Curvas presión - penetración - A7



CBR sumergido adoptado para A7: 4,5 %	Profundidad: 0,30-0,60 Fuente: C

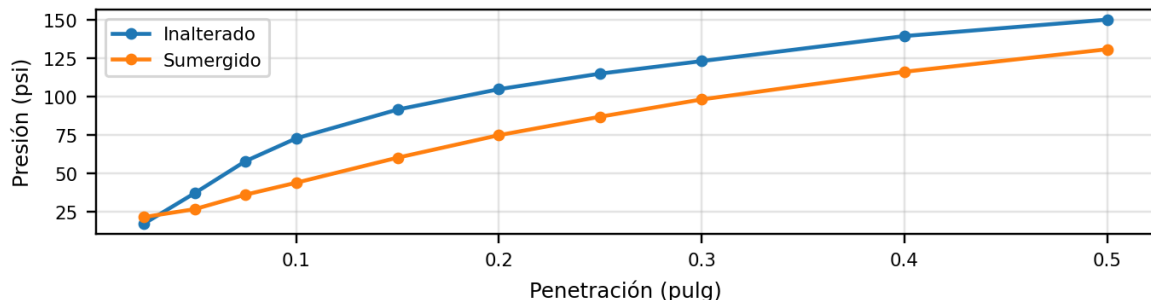
A8 - ENSAYO CBR INALTERADO Y SUMERGIDO

Proyecto	Santa Catalina - Bolívar	Apique	A8
Sector	Calle 20 - empalme con Carrera 15 y Calle del Hospital	Tipo de ficha	CBR - ASTM D1883
Coordenadas geográficas	10°36'28.05"N / 75°17'8.51"O	Coordenadas planas	E 867779.264 / N 1665106.748
Fecha de integración	18 de julio de 2026	Versión	V3 complementada

Propiedad	Inalterado	Sumergido	Unidad
Molde	P-8	P-8	-
Peso molde + material	6479	6664	g
Peso molde	2224	2224	g
Volumen molde	2171	2171	cm³
Densidad	1960	2045	kg/m³
Humedad	18,0	24,5	%
Expansión	N/A	0,2	%
CBR	7,0	5,0	%

Penetr.	Lect. inalt.	Pres. inalt.	Lect. sum.	Pres. sum.	CBR inalt.	CBR sum.
0,025	0,231	17,31	0,288	21,58		
0,050	0,497	37,24	0,357	26,75		
0,075	0,775	58,07	0,483	36,19		
0,100	0,973	72,91	0,587	43,98		
0,150	1,224	91,71	0,805	60,32		
0,200	1,401	105,00	1,001	75,00	7,0	5,0
0,250	1,537	115,17	1,162	87,07		
0,300	1,646	123,33	1,312	98,31		
0,400	1,864	139,67	1,553	116,37		
0,500	2,007	150,38	1,749	131,05		

Curvas presión - penetración - A8



CBR sumergido adoptado para A8: 5,0 %	Profundidad: 0,30-0,60 Fuente: C

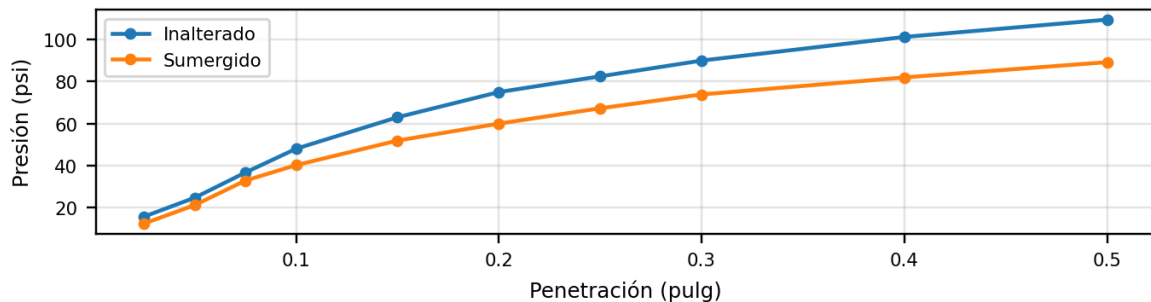
A9 - ENSAYO CBR INALTERADO Y SUMERGIDO

Proyecto	Santa Catalina - Bolívar	Apique	A9
Sector	Sector Carrera 15/16 - Calle 15, próximo a Troncal del Caribe	Tipo de ficha	CBR - ASTM D1883
Coordenadas geográficas	10°36'29.43"N / 75°17'5.08"O	Coordenadas planas	E 867883.712 / N 1665148.754
Fecha de integración	18 de julio de 2026	Versión	V3 complementada

Propiedad	Inalterado	Sumergido	Unidad
Molde	P-9	P-9	-
Peso molde + material	6319	6504	g
Peso molde	2227	2227	g
Volumen molde	2171	2171	cm³
Densidad	1885	1970	kg/m³
Humedad	21,5	27,5	%
Expansión	N/A	0,4	%
CBR	5,0	4,0	%

Penetr.	Lect. inalt.	Pres. inalt.	Lect. sum.	Pres. sum.	CBR inalt.	CBR sum.
0,025	0,210	15,74	0,166	12,44		
0,050	0,330	24,73	0,283	21,21		
0,075	0,490	36,72	0,439	32,89		
0,100	0,641	48,03	0,537	40,24		
0,150	0,841	63,02	0,693	51,93		
0,200	1,001	75,00	0,801	60,00	5,0	4,0
0,250	1,101	82,50	0,898	67,29		
0,300	1,201	89,99	0,986	73,88		
0,400	1,351	101,23	1,094	81,97		
0,500	1,461	109,47	1,191	89,24		

Curvas presión - penetración - A9



CBR sumergido adoptado para A9: 4,0 %	Profundidad: 0,30-0,60 Fuente: C