ESTUDIO GEOTECNICO Y DE SUELOS No 217-26-PAV.

TRAMO PAVIMENTO RÍGIDO. BARRIO VILLA ESPERANZA. CHARALÁ - SANTANDER

SANDRA MILENA ANAYA LEAL.
Ingeniera Civil. UIS
M.P. 68202139431- STD

HUMBERTO RUEDA GUALDRON.
Ingeniero de Petróleos. UIS
Especializado en Geotecnia Ambiental. UDES.
M.P. 01161 M.M.E

Laboratorio de Mecánica de Suelos
GEOTEST BIOTECH LAB
geotestbiotechlab@gmail.com
313-283 0444 318-595 5282

San Gil, octubre de 2026

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION 3
2. OBJETIVOS. 6
3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO 7
4. CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS Y GEOLOGICAS DEL TERRENO 8
5. ANALISIS REALIZADOS 12
6. RIESGO SISMICO. 17
7. CALCULO DE LA RESISTENCIA AL CORTE DEL SUELO. 19
8. PERFILES ESTRATIGRAFICOS. 23
9. CARACTERISTICAS DEL SUBSUELO. 25
10. DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO. 26
11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. 30

FIGURA 1. UBICACIÓN E IMAGEN SATELITAL. 5
FIGURA 2. MAPA GEOLÓGICO DE SANTANDER. 10
FIGURA 3. MAPA DE ZONIFICACIÓN SÍSMICA. 17
FIGURA 4.CORRELACIÓN ENTRE CBR Y SPT. 20
FIGURA 5. ESQUEMA REPRESENTATIVO DE UN PAVIMENTO DE CONCRETO. 28

TABLA 1. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO DE SUELOS. 4
TABLA 2. CRITERIOS Y ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL PROYECTO. 5
TABLA 3. PROFUNDIDAD DE LA TABLA DE AGUA. 9
TABLA 4. UBICACIÓN (COORDENADAS) DE LOS SONDEOS EXPLORATORIOS. ..... **¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
TABLA 5. RESUMEN DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS. 15
TABLA 6. ENSAYOS DE LABORATORIO REALIZADOS EN EL ESTUDIO DE SUELOS. 16
TABLA 7. CLASIFICACIÓN DE LA SUBRASANTE DE ACUERDO CON SU RESISTENCIA. 21
TABLA 8. VARIABLES CONSIDERADAS EN LOS ANÁLISIS DE DISEÑO DEL PAVIMENTO 21
TABLA 9. PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DEL SUELO. 22
TABLA 10. CLASIFICACIÓN DE LA SUBRASANTE 22
TABLA 11. PERFIL ESTRATIGRÁFICO. SONDEO 1. 23
TABLA 12. PERFIL ESTRATIGRÁFICO. SONDEO 2. 24
TABLA 16. ESPESORES DE LOSA DE CONCRETO. 28

1. INTRODUCCION

El presente Informe Técnico corresponde al Estudio Geotécnico y de Suelos No. 217-26, realizado para el diseño de la estructura de pavimento rígido de una vía urbana localizada en el barrio Villa Esperanza, municipio de Charalá, Santander.

El objetivo del estudio es evaluar las condiciones geotécnicas del subsuelo mediante la caracterización de la subrasante, la determinación de sus propiedades físico-mecánicas y la evaluación de su capacidad de soporte, con el fin de establecer los parámetros necesarios para el diseño de la estructura de pavimento.

Para el desarrollo del estudio se realizaron dos (2) sondeos exploratorios, con profundidades de hasta 1,50 m, y dos (2) ensayos de CBR de campo mediante penetrómetro de cono dinámico (PDC). A partir de las muestras obtenidas se realizaron ensayos de laboratorio para determinar propiedades como granulometría, humedad natural, límites de Atterberg y densidad seca.

De acuerdo con los resultados obtenidos, los materiales corresponden a suelos cohesivos clasificados como CL (arcillas de media plasticidad). Los valores de CBR de diseño reportados para los dos puntos evaluados son del 6 % y 9 %, respectivamente.

En consecuencia, el diseño de la estructura de pavimento rígido deberá considerar la capacidad de soporte de la subrasante y la influencia de la humedad en el comportamiento de los materiales, incorporando medidas adecuadas de drenaje y las recomendaciones geotécnicas pertinentes. Asimismo, se deberá considerar la proximidad del escarpe localizado al costado oriental de la vía, hacia la ribera del río Fonce.

Para la caracterización del subsuelo y la evaluación de la capacidad de soporte de la subrasante, se definió un programa de exploración y ensayos acorde con la naturaleza del proyecto, tomando como referencia los lineamientos técnicos

aplicables del INVIAS para el diseño de pavimentos y los procedimientos de ensayo correspondientes.

Tabla 1. Metodología del Estudio de Suelos.

Tipo de subsuelo NSR-10.	Tipo de Ensayo seleccionado.	Muestreador	Variable relevante	Método de Análisis para estimar Resistencia última.
Cohesivo (CL) H.2.5.2	Exploración manual y ensayos de laboratorio; CBR de campo mediante PDC	Shelby para muestras; penetrómetro de cono dinámico para CBR	*Clasificación*, plasticidad, humedad y capacidad de soporte	Terzaghi – Skempton.

El programa de exploración incluyó la ejecución de dos (2) sondeos manuales hasta una profundidad de 1,50 m, distribuidos en el tramo vial estudiado, con el propósito de identificar las características del subsuelo y obtener muestras para su evaluación.

Las muestras recolectadas fueron sometidas a ensayos de laboratorio para determinar las siguientes propiedades:

- Granulometría.
- Límites de Atterberg.
- Humedad natural.
- Densidad seca.

Adicionalmente, se realizaron dos (2) ensayos de CBR de campo mediante penetrómetro de cono dinámico (PDC), cuyos resultados permiten estimar la capacidad de soporte de la subrasante para efectos del diseño del pavimento rígido.

Tabla 2. Criterios y análisis de estabilidad del proyecto.

CRITERIO	METODO DE CALCULO
Clasificación del suelo.	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).
Capacidad de soporte de la subrasante.	CBR de campo estimado mediante PDC.
Comportamiento de los suelos cohesivos.	*Evaluación de plasticidad y humedad.*
Condiciones de drenaje.	Inspección del terreno y evaluación de escorrentía.
Condiciones del escarpe oriental.	Reconocimiento visual.

UBICACIÓN DEL PROYECTO: Sector urbano. Barrio Villa Esperanza. Charalá – Santander.



Figura 1. Ubicación e imagen satelital.
Fuente: Google earth.

2. OBJETIVOS.

2.1 Objetivo general.

Determinar las condiciones geotécnicas del subsuelo en la vía objeto de intervención del barrio Villa Esperanza, municipio de Charalá, Santander, mediante la caracterización del suelo, la evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante y la estimación de su capacidad de soporte, con el fin de establecer los parámetros necesarios para el diseño de la estructura de pavimento rígido.

2.2 Objetivos específicos.

- Identificar las características del subsuelo en los puntos explorados y establecer su clasificación geotécnica.
- Determinar las propiedades físico-mecánicas del suelo mediante los ensayos de laboratorio realizados a las muestras obtenidas en campo.
- Evaluar la capacidad de soporte de la subrasante mediante los ensayos CBR de campo y establecer un valor representativo para el diseño.
- Analizar la variabilidad de las condiciones del suelo y su posible influencia en el comportamiento del pavimento.
- Evaluar la incidencia de la humedad en el comportamiento de los suelos cohesivos que conforman la subrasante.
- Considerar las condiciones topográficas y la proximidad del escarpe oriental hacia la ribera del río Fonce, en lo relacionado con el drenaje y las condiciones geotécnicas del entorno.
- Establecer los parámetros geotécnicos requeridos para el diseño de la estructura de pavimento rígido.
- Formular recomendaciones técnicas para la preparación de la subrasante, el control de compactación y el manejo de aguas superficiales.

3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El presente estudio se desarrolla para el diseño de la estructura de pavimento rígido de una vía urbana localizada en el barrio Villa Esperanza, municipio de Charalá, Santander.

El proyecto contempla la intervención de una vía destinada a la circulación vehicular dentro del entorno urbano, cuyo diseño deberá considerar las condiciones de tránsito y las características geotécnicas de la subrasante.

El tramo presenta una pendiente suave y limita hacia el costado oriental con un escarpe de más de 20 m de altura, asociado a la ribera del río Fonce. Esta condición constituye un aspecto relevante para la evaluación del drenaje superficial y de las condiciones geotécnicas del terreno adyacente.

Desde el punto de vista geotécnico, el subsuelo está conformado por arcillas clasificadas como CL, de color café oscuro y plasticidad media, cuya respuesta mecánica puede verse influenciada por las variaciones de humedad.

Por lo anterior, el diseño de la estructura de pavimento rígido deberá considerar la capacidad de soporte de la subrasante, la adecuada preparación y compactación del terreno y el manejo de las aguas superficiales, con el fin de reducir el riesgo de deterioro prematuro de la estructura durante su vida útil.

4. CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS Y GEOLOGICAS DEL TERRENO.

4.1 Características morfológicas del tramo.

La vía objeto de estudio se localiza en el barrio Villa Esperanza, municipio de Charalá, Santander, sobre un terreno de pendiente suave. Hacia el costado oriental, el tramo limita con un escarpe de más de 20 m de altura, asociado a la ribera del río Fonce.

La configuración del terreno y la proximidad del escarpe constituyen condiciones relevantes para el manejo de la escorrentía superficial y la evaluación geotécnica del entorno.

Desde el punto de vista geotécnico, estas condiciones implican que:

- La escorrentía superficial debe conducirse adecuadamente para evitar su concentración en el borde de la vía.
- Las variaciones de humedad pueden modificar el comportamiento mecánico de las arcillas que conforman la subrasante.
- La infiltración de agua cerca del escarpe podría influir en las condiciones de estabilidad del terreno, aspecto que requiere evaluación específica.
- La durabilidad del pavimento depende, entre otros factores, de la preparación de la subrasante y de la eficiencia del drenaje superficial.

Durante la exploración realizada hasta 1,50 m de profundidad no se identificó nivel freático en ninguno de los dos sondeos. Este resultado corresponde a las condiciones observadas durante la investigación y no descarta variaciones del nivel de agua a mayor profundidad o en otras épocas del año.

En consecuencia, el diseño del pavimento deberá contemplar el manejo adecuado de las aguas lluvias y las condiciones particulares del borde oriental, sin asumir la estabilidad del escarpe únicamente a partir de la pendiente suave de la vía.

4.2 Características hidrogeológicas del subsuelo.

Durante la ejecución de los dos (2) sondeos exploratorios, realizados en época de invierno, no se identificó nivel freático hasta la profundidad máxima explorada de 1,50 m.

No obstante, las variaciones de humedad asociadas a la precipitación y a la escorrentía superficial pueden influir en el comportamiento de los suelos cohesivos que conforman la subrasante, clasificados como arcillas CL de plasticidad media.

En consecuencia, se recomienda garantizar la conducción adecuada de las aguas lluvias y evitar su acumulación o infiltración hacia la subrasante y el borde oriental de la vía, considerando la proximidad del escarpe hacia la ribera del río Fonce.

Tabla 3. Profundidad de la tabla de agua.

Sondeo N.	Profundidad de la tabla de agua. (m).
1	No se encontró
2	No se encontró

Nota: La ausencia de nivel freático corresponde a las condiciones observadas durante la exploración y no descarta la presencia de agua subterránea a mayor profundidad ni variaciones estacionales.

4.3 Geología regional.

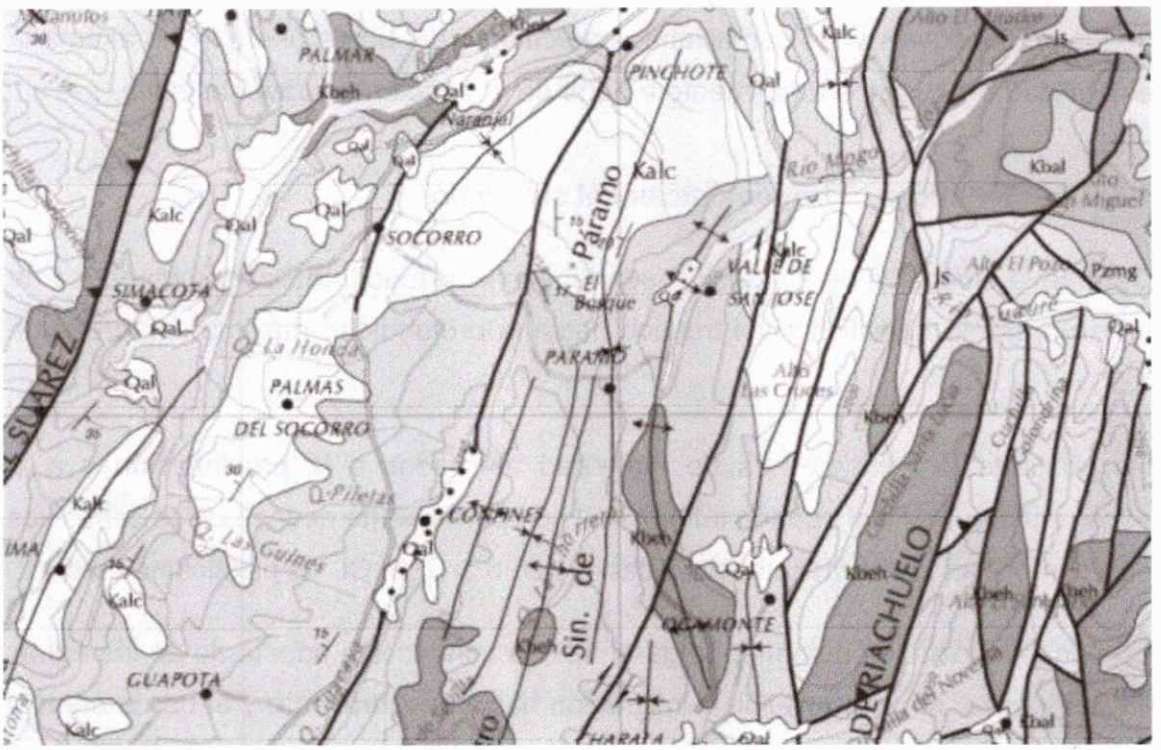


Figura 2. Mapa geológico de Santander.
Ingeominas.

El municipio de Charalá, Santander, se encuentra en el contexto geológico de la Cordillera Oriental de los Andes colombianos. La geología regional está documentada en el estudio *Geología de las planchas 135 (San Gil) y 151 (Charalá), Cuadrángulo I-12*, elaborado por INGEOMINAS a escala 1:100.000.

En el ámbito regional se reporta una diversidad de unidades litológicas, entre las que se encuentran:

- **Formación Silgará:** constituida por rocas metamórficas de bajo a medio grado, como esquistos, filitas, metalimolitas y metaareniscas.
- **Formación Floresta:** representada en su miembro inferior por rocas metamórficas de muy bajo grado, entre ellas cuarcitas, filitas y argilitas.

- **Unidades ígneas:** se destaca el Batolito de Mogotes, cuyo borde occidental aflora en el sector suroriental del área cartografiada.

- **Rocas sedimentarias y depósitos recientes:** incluyen unidades sedimentarias de diferentes edades y depósitos cuaternarios de terraza, aluviales y de derrubio.

La estructura geológica regional presenta pliegues y fracturamiento asociados a la evolución tectónica de la Cordillera Oriental. Asimismo, la dinámica de los ríos y la configuración de las laderas han contribuido al modelado del relieve.

5. ANALISIS REALIZADOS.

5.1 Análisis de campo.

En el tramo vial objeto del presente estudio, localizado en el barrio Villa Esperanza, municipio de Charalá, Santander, se realizaron dos (2) sondeos exploratorios, con profundidades de hasta 1,50 m, con el propósito de identificar las características geotécnicas de la subrasante.

Durante la exploración se registraron las características observables de los materiales encontrados y se recolectaron muestras mediante tubo Shelby para su posterior análisis en laboratorio.

La exploración permitió identificar suelos cohesivos clasificados como **CL, de color café oscuro y plasticidad media**, según la información suministrada. Durante la ejecución de los dos sondeos no se identificó nivel freático hasta la profundidad explorada.

Adicionalmente, se realizaron dos (2) ensayos de capacidad de soporte mediante Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC), cuyos resultados fueron correlacionados con valores estimados de CBR de campo.

Los resultados de campo, complementados con los ensayos de laboratorio, constituyen la base para caracterizar la subrasante y establecer los parámetros geotécnicos requeridos para el diseño de la estructura de pavimento rígido.

5.2 Análisis de laboratorio.

Durante la exploración geotécnica se obtuvieron muestras del subsuelo mediante muestreador tipo Shelby, las cuales fueron preservadas y transportadas al laboratorio para su análisis.

En el laboratorio de Mecánica de Suelos se realizaron los siguientes ensayos:

- Granulometría por mallas.
- Límites de Atterberg (límite líquido y límite plástico).
- Humedad natural.
- Densidad.
- Clasificación del suelo según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Los resultados de laboratorio permitieron identificar suelos cohesivos clasificados como **CL, de color café oscuro y plasticidad media**, de acuerdo con la información suministrada y los resultados de caracterización disponibles.

5.2 Resumen de los análisis de laboratorio.

Con el fin de integrar y facilitar la interpretación de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, a continuación, se presenta un resumen de las propiedades físico-mecánicas determinadas para los materiales que conforman la subrasante en los diferentes sectores evaluados.

Con el fin de integrar y facilitar la interpretación de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, a continuación, se presenta un resumen de las propiedades físico-mecánicas determinadas para los materiales que conforman la subrasante en los diferentes sectores evaluados.

Este resumen permite identificar la variación de parámetros como límites de Atterberg, humedad natural, densidad y la clasificación del suelo, así como establecer las diferencias geotécnicas existentes entre los distintos puntos de exploración realizados en las vías objeto de estudio.

Los resultados obtenidos constituyen la base para la caracterización geotécnica de la subrasante y para la definición de los parámetros de diseño de la estructura de pavimento rígido propuesta.

Para efectos de referencia, las profundidades indicadas corresponden a las registradas durante la exploración de cada sondeo prospectivo, medidas a partir de la superficie actual de rodadura de la vía.

Tabla 4. Resumen de los ensayos de laboratorio de Mecánica de Suelos.

Sondeo / cata:	1	2
Profundidad inicial (m):	0,00	0,00
Profundidad final (m):	1,50	1,50
Profundidad media (m):	0,75	0,75

Tamiz (mm)	Granulometría 1 Pasa (%):	Granulometría 2 Pasa (%):
100	100,00	100,00
80	100,00	100,00
63	100,00	100,00
50	100,00	100,00
40	100,00	100,00
25	100,00	100,00
20	100,00	100,00
12,5	100,00	100,00
10	100,00	100,00
6,3	99,90	99,80
5	99,80	99,60
2	98,60	97,60
1,25	95,70	93,20
0,4	82,60	77,40
0,160	70,30	64,10
0,080	64,80	59,20

LL (%)	37,40	36,00
LP (%)	20,00	21,80
IP (%)	17,40	14,20
Humedad natural (%)	23,40	22,00
Densidad seca (gr/cm^3)	1,51	1,55
H/LL	0,63	0,61
H/LP	1,17	1,01

Colapsabilidad	No colapsable 1,32	No colapsable 1,34

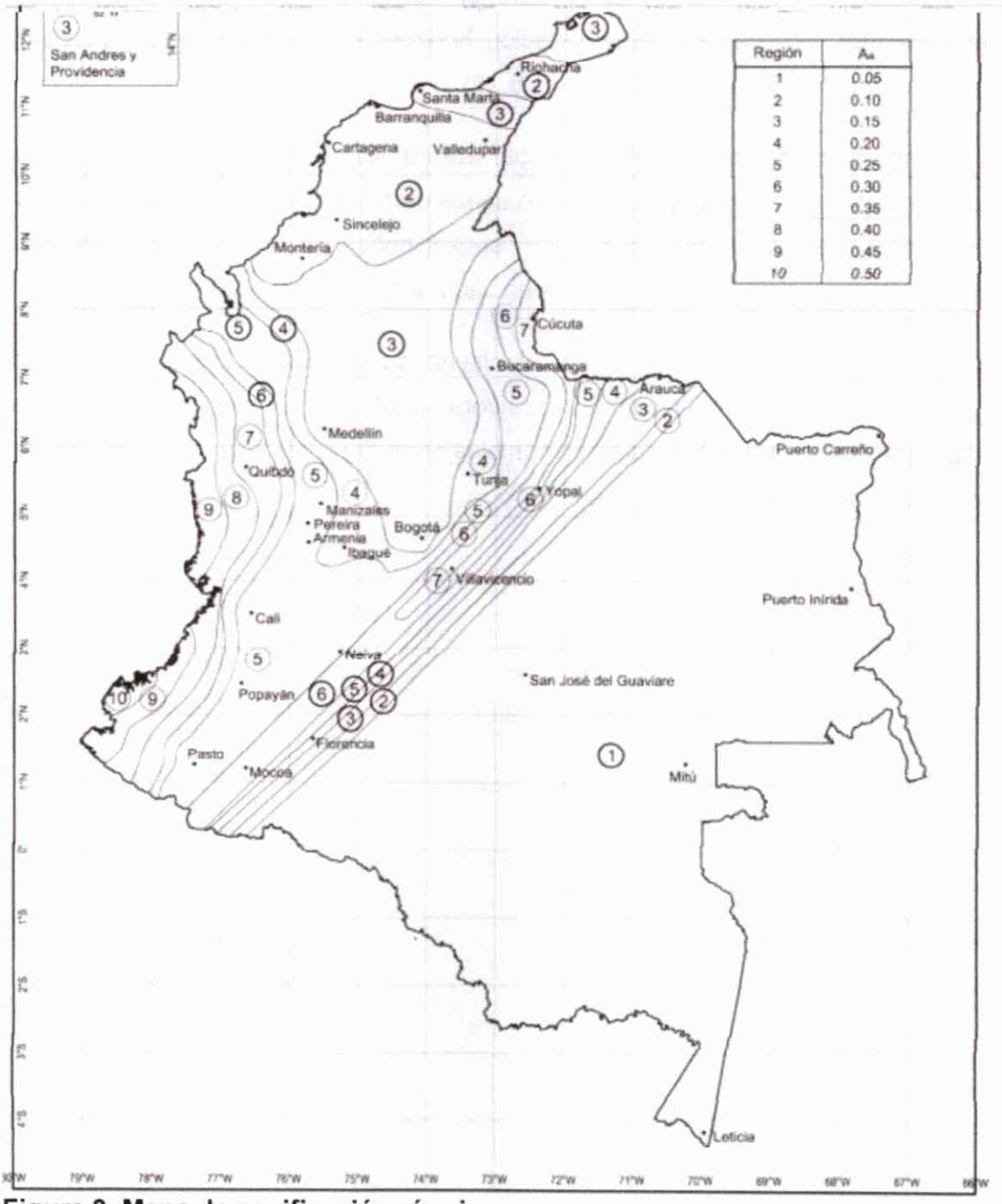
Marcador	Rombo	Cuadrado

Indice de consistencia *Ic (C.R.)=*	*0,805*	*0,986*
Indice de liquidez I_L=	0,195	0,014
Indice de compresión Cc=	0,247	0,234
Contracción lineal CL (%)=	8,169	6,667

Tabla 5. Ensayos de Laboratorio Realizados en el Estudio de Suelos.

ENSAYO	CANTIDAD	NORMA
Ensayo de Granulometría	2	INV E – 223 - 13
Ensayos de Límites de Atterberg.	2	INV E – 125; 126 - 13
Ensayo de Peso Seco Unitario.	2	INV E – 136 - 13
Ensayo de Humedad Natural	2	INV E – 22- 13
Ensayo CBR de campo (Cono dinámico de penetración, PDC).	2	INV E – 152 - 13

6. RIESGO SISMICO.



Región	A_a
1	0.05
2	0.10
3	0.15
4	0.20
5	0.25
6	0.30
7	0.35
8	0.40
9	0.45
10	*0.50*

Figura 3. Mapa de zonificación sísmica.

De acuerdo con la Norma Colombiana de Construcción Sismo Resistente NSR-10, el municipio de Charalá, Santander, se encuentra en una **zona de amenaza sísmica alta**, con valores de aceleración horizontal pico efectiva (Aa = 0,20) y velocidad horizontal pico efectiva (Av = 0,25).

El comportamiento del terreno ante un evento sísmico depende tanto de las condiciones tectónicas regionales como de las características geotécnicas locales. En el tramo estudiado se identificaron suelos cohesivos clasificados como CL, cuyo comportamiento puede estar influenciado por las variaciones de humedad.

Dado que el proyecto corresponde al diseño de una estructura de pavimento rígido, la amenaza sísmica se considera dentro del contexto general del emplazamiento, sin que los datos disponibles permitan establecer una clasificación específica de respuesta sísmica del suelo.

7. CALCULO DE LA RESISTENCIA AL CORTE DEL SUELO.

Con el fin de complementar la caracterización geotécnica de la subrasante, se realiza una estimación de la resistencia al corte de los suelos identificados en las vías objeto de estudio, entendida como la capacidad del material para resistir esfuerzos cortantes sin presentar deformaciones excesivas o condiciones de falla.

Este análisis se fundamenta en los parámetros obtenidos mediante los ensayos de laboratorio y en la clasificación geotécnica de los materiales encontrados, correspondientes principalmente a arcillas de baja plasticidad (CL), los cuales presentan un comportamiento dependiente del contenido de humedad y del grado de compactación.

La resistencia al corte constituye una propiedad complementaria para la evaluación del comportamiento mecánico de la subrasante, permitiendo verificar de manera cualitativa la estabilidad del material frente a las solicitaciones inducidas por el tránsito vehicular y las condiciones ambientales propias de la zona.

Si bien el diseño estructural del pavimento rígido se fundamenta principalmente en la capacidad de soporte de la subrasante, expresada mediante el parámetro CBR, la evaluación de la resistencia al corte permite validar la consistencia de los resultados obtenidos y comprender mejor la respuesta geotécnica de los materiales presentes.

Los valores estimados se presentan en las tablas siguientes, junto con los parámetros físicos representativos de cada sondeo, los cuales fueron utilizados para la caracterización geotécnica y el análisis del comportamiento de la subrasante.

7.1 Capacidad portante.

- Resistencia admisible del suelo o capacidad portante admisible, qa

CRITERIO DE FALLA AL CORTANTE

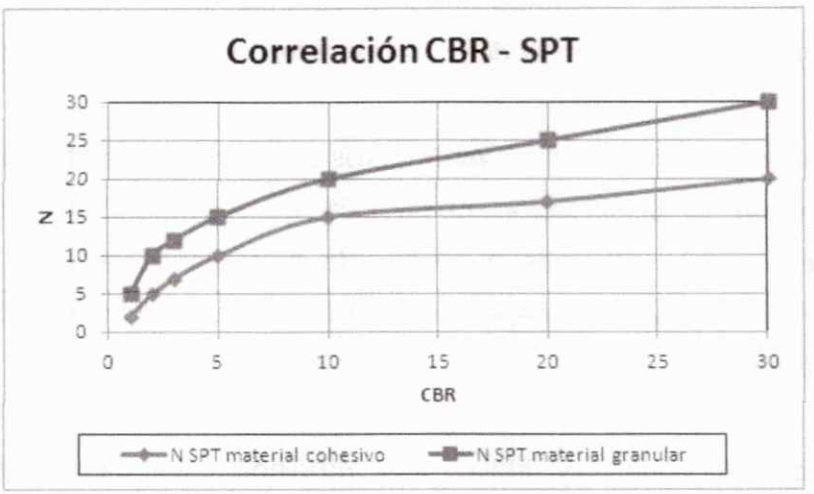


Figura 4.Correlación entre CBR y SPT.

Consejo de Transportes. Andalucía. España. 2007.

- Clasificación de perfil del suelo: La capacidad de soporte de la subrasante se evaluó mediante dos (2) ensayos de CBR de campo con Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC), cuyos resultados reportaron valores de diseño de 6 % y 9 %.

De acuerdo con la clasificación de la subrasante presentada en la Tabla 7, los valores obtenidos corresponden a la categoría S3, asociada a valores de CBR entre 5 % y 10 % y a un módulo resiliente de referencia entre 500 y 1.000 kg/cm².

Para el diseño de la estructura de pavimento rígido se adopta la categoría S3 como referencia para la caracterización de la subrasante. La selección definitiva del parámetro de diseño deberá considerar el método de diseño empleado y los criterios aplicables al proyecto.

Clase o Tipo	CBR (%)	Módulo resiliente (kg/cm²)
S1	< 2	< 200
S2	2 - 5	200 – 500
S3	5 - 10	500 – 1.000
S4	20 - 10	1.000 – 2.000
S5	> 20	> 2.000

Tabla 6. Clasificación de la subrasante de acuerdo con su resistencia.

La clasificación del tránsito se establece considerando la función urbana de la vía, las condiciones de operación observadas durante la inspección de campo y el tránsito esperado de vehículos livianos, transporte público y vehículos de abastecimiento.

Para el diseño preliminar de la estructura de pavimento rígido se adopta la categoría T2, correspondiente a la clasificación de tránsito propuesta para el proyecto. Esta categoría se utilizará conjuntamente con la clasificación de la subrasante S3, cuyo CBR de diseño se encuentra entre el 5 % y el 10 %, como referencia para la selección de la estructura de pavimento.

La definición final de la estructura deberá verificarse con el tránsito de diseño previsto para el periodo de análisis y con los criterios del método de diseño adoptado.

Variables y su representación				
Suelos	Tránsito	Transferencia y confinamiento	Soporte	Concreto
S1 (CBR<2)	**T0** (EALS <1x10⁵)	**D y B** (Dovelas y Bermas)	**SN** (Subrasante)	**MR1**=38 MPa
S2 (2<CBR<5)	**T1** (1x10⁵ EALS <1,5x10⁵)	**D y No B** (Dovelas y No Bermas)	**BG** (15 cm BG)	**MR2**=40 MPa
S3 *(5<CBR<10)*	***T2*** *(1,5x10⁵ EALS <5x10⁵)*	***No D y B*** *(No Dovelas y Bermas)*	***BEC*** *(15 cm BEC)*	***MR3***=42 MPa
S4 (10<CBR<20)	**T3** (5x10⁵ EALS <9x10⁵)	**No D y No B** (No Dovelas y No Bermas)		**MR4**=45 Mpa
S5 (CBR>20)	**T4** (9x10⁵ EALS <17x10⁵)			
	T5 (17x10⁵ EALS <25x10⁵)			
	T6 (25x10⁵ EALS <100x10⁵)			

Tabla 7. Variables consideradas en los análisis de diseño del pavimento

SONDEO	CLASIFICACION SUCS	Módulo de Poisson** v	Módulo De Young** kg/cm^2	Módulo de Balasto* kg/cm^3
1	CL	0,32	85,0	4,0
2	CL	0,32	85,0	4,0

Tabla 8. Propiedades geotécnicas del suelo.

*Freire Tellado, Manuel: "Precisiones para el empleo del módulo de balasto".
** Joseph E. Bowles. Foundation Analysis and Design.

SONDEO	CLASE DE SUELO	PROFUNDIDAD m	CBR %	CATEGORIA DE RESISTENCIA DE LA SUBRASANTE.
1	Arcilla media plasticidad.	0,00 – 1,50	6	S3
2	Arcilla media plasticidad.	0,00 – 1,50	9	S3

Tabla 9. Clasificación de la subrasante

8. PERFILES ESTRATIGRAFICOS.

CBR = California Bearing Ratio.

W = Porcentaje de Humedad.

LL = Límite Líquido.

LP = Límite Plástico.

γd_t = Densidad total del suelo.

γd_d = Densidad seca del suelo.

Sondeo 1.

CAPA O ESTRATO	Prof. (m).	Propiedades geotécnicas.	TIPO DE SUELO. # Muestra.	CLASIFICACION SUELO
	1,50	*CBR = 4 %* *W% = 23,40* *LL% = 37,40* *LP% = 20,00* *γd_t = 1,86 t/m³* *γd_d= 1,51 t/m³*	*1* Cohesivo ML	Arcilla media plasticidad arenosa. A-6 suelo arcilloso. Compresibilidad media. *Parcialmente Saturado de agua.* Color café oscuro.

Tabla 10. Perfil estratigráfico. Sondeo 1.

Sondeo 2.

CAPA O ESTRATO	Prof. (m).	Propiedades geotécnicas.	TIPO DE SUELO. # Muestra.	CLASIFICACION SUELO
	1,50	*CBR = 9%* *W% = 22,00* *LL% = 36,00* *LP% = 21,80* *γd_t = 1,89 t/m³* *γd_d= 1,55 t/m³*	*1* Cohesivo ML	Arcilla media plasticidad arenosa. A-6 suelo arcilloso. Compresibilidad media. Parcialmente Saturado de agua. Color café oscuro.

Tabla 11. Perfil estratigráfico. Sondeo 2.

9. CARACTERISTICAS DEL SUBSUELO.

El subsuelo del tramo vial objeto del presente estudio, localizado en el barrio Villa Esperanza, municipio de Charalá, Santander, está conformado por suelos cohesivos de color café oscuro, clasificados como **CL, de plasticidad media**, de acuerdo con los resultados de laboratorio suministrados.

La caracterización geotécnica se realizó a partir de dos (2) sondeos exploratorios, hasta una profundidad de 1,50 m, y de los ensayos de laboratorio efectuados a las muestras obtenidas mediante tubo Shelby. Los resultados de CBR de campo reportados fueron del 6 % y 9 %, correspondientes a una subrasante clasificada como S3 según la tabla de referencia adoptada.

Durante la exploración no se identificó nivel freático en ninguno de los sondeos hasta la profundidad investigada. No obstante, las variaciones de humedad pueden influir en el comportamiento de las arcillas y modificar la capacidad de soporte de la subrasante.

En el entorno inmediato, la vía presenta una pendiente suave y limita hacia el costado oriental con un escarpe de más de 20 m de altura, asociado a la ribera del río Fonce. Esta condición hace necesario prestar especial atención al manejo de las aguas superficiales y evitar su concentración o infiltración en el borde de la vía.

En términos generales, los resultados disponibles permiten caracterizar la subrasante como un suelo cohesivo de capacidad de soporte correspondiente a la categoría S3. Para la construcción del pavimento rígido, se recomienda verificar las condiciones del terreno expuesto, garantizar la adecuada preparación y compactación de la subrasante y disponer de un manejo eficiente de las aguas superficiales.

10. DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO.

Los ensayos de capacidad de soporte realizados mediante Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC) permitieron estimar valores de CBR de diseño del 6 % y 9 % para los dos puntos evaluados. De acuerdo con la clasificación adoptada, la subrasante corresponde a la categoría S3, con valores de CBR entre 5 % y 10 %.

El diseño se plantea tomando como referencia el Manual de Diseño de Pavimentos de Concreto para Vías con Bajos, Medios y Altos Volúmenes de Tránsito del INVIAS, considerando las características geotécnicas de la subrasante y la categoría de tránsito T2 propuesta para el proyecto.

La vía corresponde a un corredor urbano destinado a la circulación vehicular. Por tanto, la estructura deberá responder a las solicitaciones del tránsito previsto y distribuir adecuadamente las cargas sobre la subrasante.

Los materiales identificados corresponden a arcillas CL de plasticidad media, cuyo comportamiento puede verse influenciado por las variaciones de humedad. En consecuencia, el diseño deberá complementarse con una adecuada preparación y compactación de la subrasante y un manejo eficiente de las aguas superficiales.

Adicionalmente, deberá prestarse especial atención al borde oriental de la vía, debido a su proximidad al escarpe asociado a la ribera del río Fonce. Las medidas de drenaje deberán evitar la concentración de escorrentía y la infiltración de agua en dicho sector.

10.1 Condiciones de diseño.

Para el dimensionamiento preliminar del pavimento rígido se adoptan los siguientes parámetros:

- **Tipo de pavimento:** rígido en concreto hidráulico.
- **CBR de diseño de la subrasante:** 6 %.
- **Clasificación de la subrasante:** S3.
- **Condición de humedad:** susceptible a variaciones estacionales de humedad; no se identificó nivel freático hasta 1,50 m de profundidad.
- **Categoría de tránsito:** T2, propuesta.
- **Módulo de rotura del concreto (MR):** MR2 = 4,0 MPa (aproximadamente 40 kg/cm²).

La subrasante está conformada por arcillas CL de plasticidad media, cuyo comportamiento puede verse afectado por las variaciones de humedad. Por tal motivo, se contempla una capa de base granular (BG) de 15 cm, como alternativa preliminar para mejorar las condiciones de apoyo de la losa de concreto.

Esta capa contribuirá a:

- Mejorar la uniformidad del apoyo de la losa.
- Reducir las variaciones locales de soporte.
- Favorecer la distribución de las cargas transmitidas a la subrasante.
- Contribuir al control de los efectos asociados a la humedad y al bombeo, siempre que se complemente con un diseño adecuado de drenaje.

La adopción definitiva de estos parámetros y espesores deberá verificarse mediante el método de diseño seleccionado, considerando el tránsito de diseño, las características del concreto y las condiciones de la subrasante. Asimismo, por la proximidad del escarpe hacia el río Fonce, se deberá evitar la descarga o concentración de aguas en el borde oriental de la vía.

10.2 Selección del espesor de losa según catálogo INVIAS.

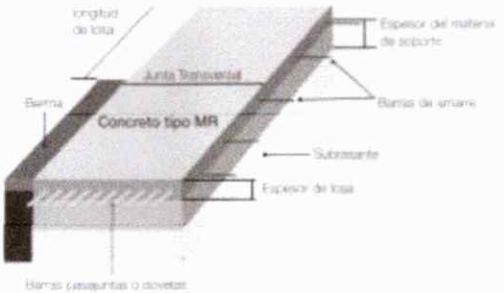


Figura 5. Esquema representativo de un pavimento de concreto.

ESPESORES DE LOSA DE CONCRETO (cm) DE ACUERDO CON LA COMBINACIÓN DE VARIABLES																				
		Tránsito T2																		
		S1				S2				S3				S4				S5			
		D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B
SN	MR1	25	29	25	29	24	28	24	28	22	26	22	26	22	25	22	25	21	25	22	25
	MR2	24	28	25	28	24	27	24	27	22	25	22	25	21	24	22	24	21	24	22	24
	MR3	24	27	25	27	24	28	26	28	21	24	22	24	20	23	22	23	20	23	22	23
	MR4	22	26	25	26	23	27	26	27	20	23	22	24	19	22	22	23	19	22	22	23
BG	MR1	24	28	24	28	23	27	23	27	22	25	22	25	21	25	22	25	21	24	21	24
	MR2	23	27	23	27	23	26	23	26	21	24	22	24	21	24	22	24	20	23	21	23
	MR3	22	26	23	26	23	27	25	27	20	24	22	24	20	23	22	23	20	23	21	23
	MR4	21	25	23	25	22	26	25	26	19	23	22	23	19	22	22	23	19	22	21	23
BEC	MR1	21	24	21	24	21	24	21	24	19	22	21	22	19	22	20	22	19	21	20	22
	MR2	20	23	21	23	20	23	21	23	19	21	21	22	18	21	20	22	18	20	20	22
	MR3	19	23	21	23	20	23	23	24	18	21	21	22	18	20	20	22	17	20	20	22
	MR4	18	22	21	23	19	22	23	24	17	20	21	22	17	19	20	22	17	19	20	22

Tabla 4-3. Espesores de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables y T2 como factor principal

Tabla 12. Espesores de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables y T2 como factor principal.

De acuerdo con el catálogo de diseño del Manual de Diseño de Pavimentos de Concreto del INVIAS, la subrasante del proyecto se clasifica como **S3** y se adopta preliminarmente una categoría de tránsito **T2**.

Para la selección del espesor se considera una estructura con base granular (BG), módulo de rotura del concreto **MR2 = 4,0 MPa** y la condición de transferencia de carga mediante dovelas y bermas (D y B).

Según la tabla de espesores suministrada para la combinación **T2 – S3 – BG – MR2 – D y B**, se selecciona un espesor de losa de concreto hidráulico de **21 cm**.

El desempeño de la estructura dependerá, además, de:

- La preparación y compactación adecuada de la subrasante.
- La correcta construcción de la base granular de 15 cm.
- El control de las aguas superficiales, especialmente en el borde oriental próximo al escarpe hacia el río Fonce.
- El cumplimiento de las especificaciones técnicas aplicables a la construcción de pavimentos de concreto hidráulico.

11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

11.1 Conclusiones

- La exploración geotécnica y los ensayos de laboratorio permitieron identificar suelos cohesivos clasificados como CL, de color café oscuro y plasticidad media, en los dos sondeos realizados en el barrio Villa Esperanza, municipio de Charalá, Santander.

- Los ensayos de CBR de campo mediante Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC) reportaron valores de diseño del 6 % y 9 %. Para el diseño se adopta un CBR de referencia del 6 %, correspondiente al menor valor obtenido, y una clasificación de subrasante S3 según el catálogo utilizado.

- Durante la exploración no se identificó nivel freático en ninguno de los dos sondeos hasta la profundidad investigada de 1,50 m. Esta condición no descarta variaciones estacionales ni la presencia de agua a mayor profundidad.

- Para el diseño preliminar del pavimento rígido se adoptó la categoría de tránsito T2 y una losa de concreto hidráulico de 21 cm de espesor, apoyada sobre una base granular de 15 cm, de acuerdo con la combinación de variables seleccionada en el catálogo de diseño del INVIAS.

- La proximidad del escarpe oriental, de más de 20 m de altura y asociado a la ribera del río Fonce, constituye una condición relevante para el manejo de aguas y la evaluación geotécnica del entorno. La información disponible no permite establecer por sí sola la estabilidad del escarpe.

- La solución propuesta deberá complementarse con una adecuada preparación de la subrasante, control de compactación, drenaje y verificación de las condiciones reales del terreno durante la construcción.

11.2 Recomendaciones.

- Preparar la subrasante mediante escarificación, conformación, homogenización y compactación, verificando la densidad exigida por las especificaciones técnicas aplicables al proyecto.

- Evitar la construcción sobre suelos saturados, reblandecidos o con exceso de humedad. Cuando se identifiquen estas condiciones, evaluar el secado, mejoramiento o reemplazo del material afectado.

- Construir la base granular de 15 cm conforme a las especificaciones aplicables del INVIAS, verificando su calidad, espesor y compactación.

- Implementar un sistema eficiente de drenaje superficial que impida la acumulación de agua sobre el pavimento y limite la infiltración hacia la subrasante.

- Evitar la descarga concentrada de aguas lluvias hacia el borde oriental de la vía y el escarpe asociado al río Fonce. Las obras de drenaje deberán conducir el agua hacia puntos de descarga técnicamente adecuados.

- Verificar las condiciones del terreno durante la excavación y preparación de la subrasante. Si se presentan suelos blandos, materiales diferentes a los identificados o condiciones de humedad desfavorables, realizar la evaluación técnica correspondiente antes de continuar.

- Garantizar el control de calidad durante la construcción de la base granular y las losas de concreto hidráulico, incluyendo la verificación de materiales, espesores y requisitos de resistencia especificados en el diseño.

- Mantener supervisión técnica durante la ejecución de las obras para comprobar que las condiciones encontradas correspondan a las consideradas en el presente estudio.

- Debido a la proximidad del escarpe, recomendar una evaluación geotécnica específica si se observan erosión progresiva, grietas, desprendimientos, deformaciones del terreno o concentración de escorrentía que puedan comprometer el borde de la vía.

- Realizar mantenimiento periódico de los sistemas de drenaje para preservar las condiciones de soporte de la subrasante y favorecer la durabilidad del pavimento.

BIBLIOGRAFIA EN VIAS:

1. LONDOÑO NARANJO, Cipriano y ALVAREZ PABÓN, Jorge Alberto. Manual de diseño de pavimentos de concreto: para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito / Cipriano Alberto Londoño Naranjo; Jorge Alberto Álvarez Pabón; Instituto Colombiano de Productores de Cemento. – Medellín: ICPC; 2008. 114p.

2. HUANG, Yang Hsien. Pavement analysis and design. New Jersey: Prentice Hall, 1993.

3. COLOMBIA. MINISTERIO DE TRANSPORTE. Manual de diseño de pavimentos de concreto con medios y altos volúmenes de tránsito. Bogotá: INVIAS, 2008.

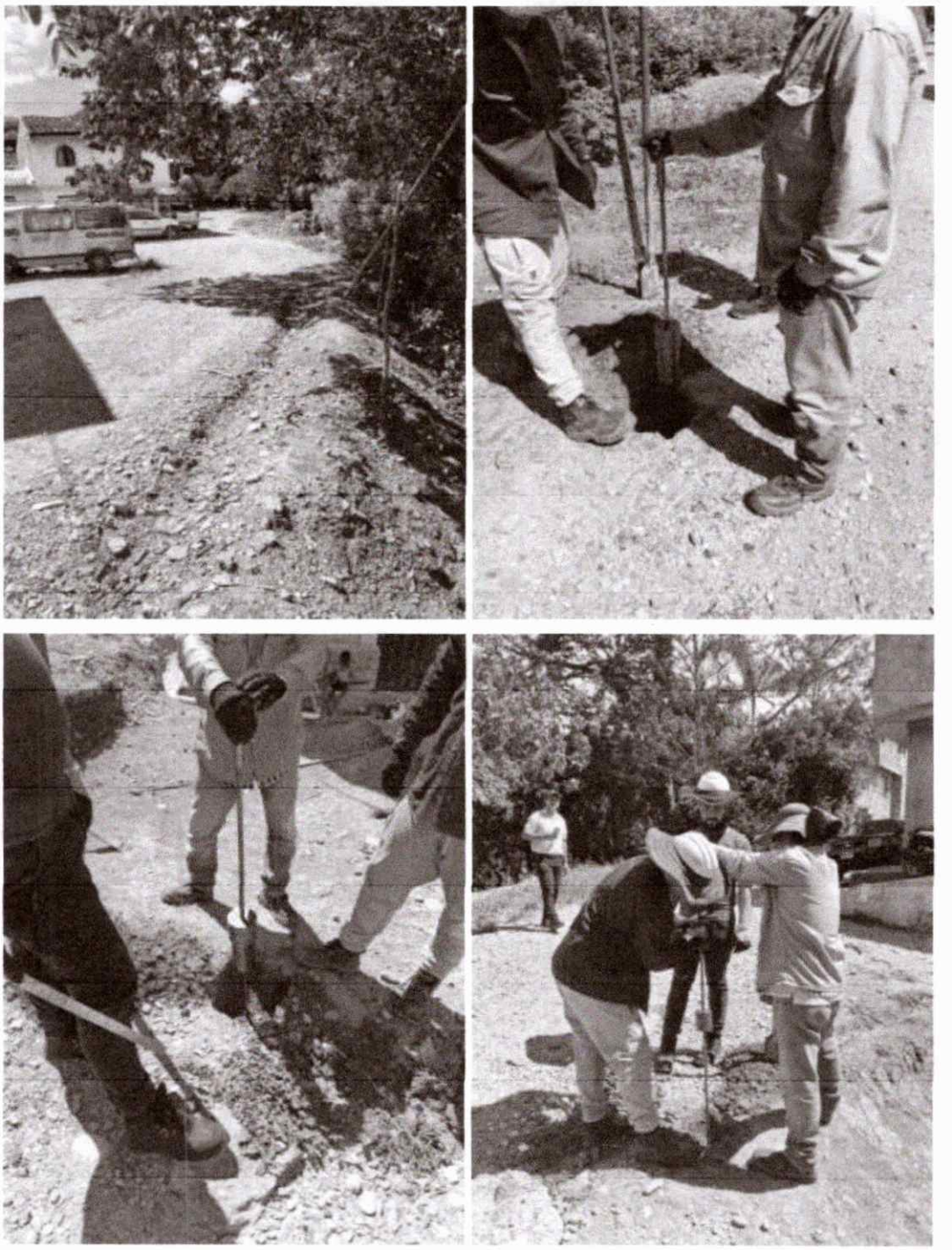
4. COLOMBIA. MINISTERIO DE TRANSPORTE. Especificaciones generales de Construcción de carreteras. Bogotá: INVIAS, 2007.

5. Bowles. Foundation Analysis and Design. 1968.

6. Instrucción para el diseño de firmes de la red de carreteras de Andalucía. Junta de Andalucía, Consejería de obras públicas y transporte. Andalucía. España. 2007.

7. Obras Menores de Drenaje y Estructuras Viales. INVIAS.

ANEXO 1. REGISTRO FOTOGRAFÍCO.



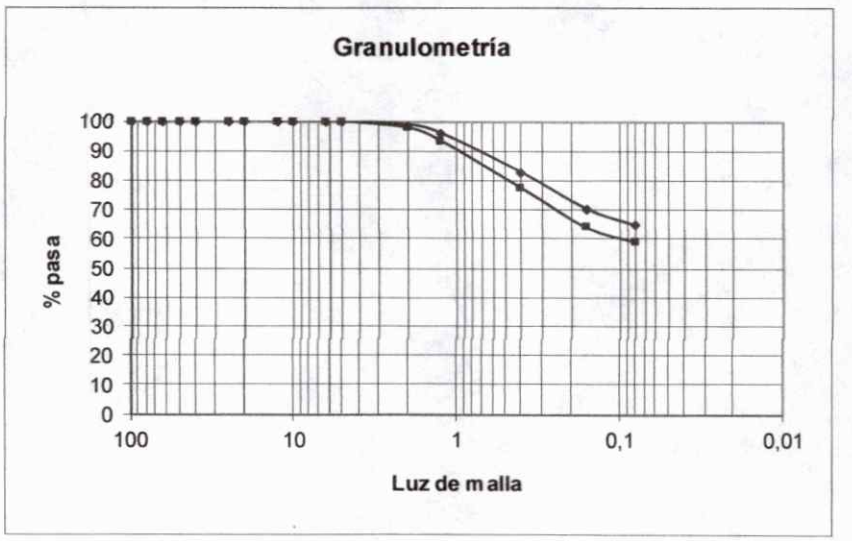


ANEXO 2. RESULTADOS DE LABORATORIO.

Sondeo 1 Y 2.
Granulometría.

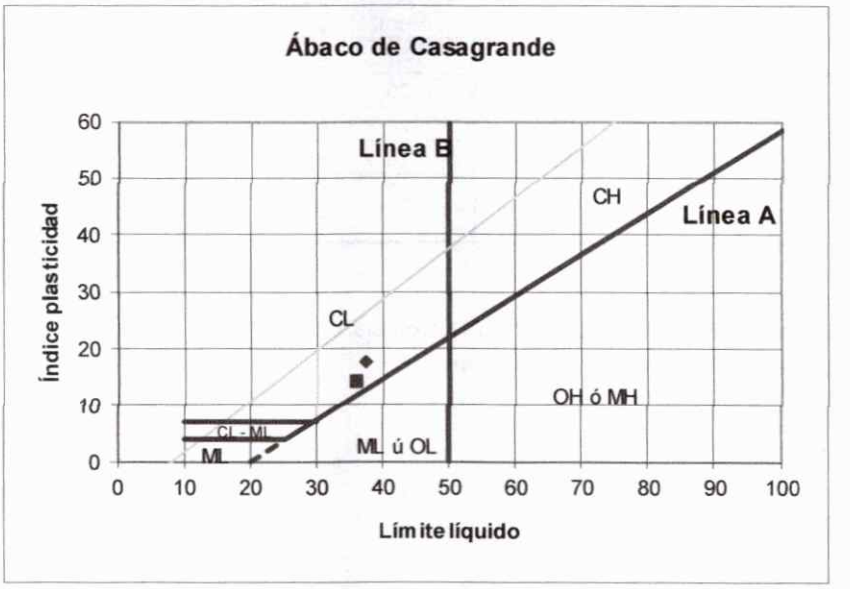
Sondeo / cata:	1	2
Profundidad inicial (m):	0,00	0,00
Profundidad final (m):	1,50	1,50
Profundidad media (m):	0,75	0,75

Tamiz (mm)	Granulometría 1 Pasa (%):	Granulometría 2 Pasa (%):
100	100,00	100,00
80	100,00	100,00
63	100,00	100,00
50	100,00	100,00
40	100,00	100,00
25	100,00	100,00
20	100,00	100,00
12,5	100,00	100,00
10	100,00	100,00
6,3	99,90	99,80
5	99,80	99,60
2	98,60	97,60
1,25	95,70	93,20
0,4	82,60	77,40
0,160	70,30	64,10
0,080	64,80	59,20



Límites de Atterberg y Peso Unitario.

Sondeo / cata:	1	2
Profundidad inicial (m):	0,00	0,00
Profundidad final (m):	1,50	1,50
Profundidad media (m):	0,75	0,75
LL (%)	37,40	36,00
LP (%)	20,00	21,80
IP (%)	17,40	14,20
Humedad natural (%)	23,40	22,00
Densidad seca (gr/cm^3)	1,51	1,55
H/LL	0,63	0,61
H/LP	1,17	1,01



Plasticidad (arcillas) o compacidad (limos): Baja: LL < 30; Media: 30 < LL < 50; Alta: LL > 50

Sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S.)
Suelo de partículas finas. **Arcilla media plasticidad arenosa CL**

Material limoso-arenoso
Pobre a malo como subgrado **A-6 Suelo arcilloso**

ANEXO 2. RESULTADOS DE CAMPO.

ENSAYO DE CBR DE CAMPO USANDO UN PENETRÓMETRO DE CONO DINÁMICO. PDC
NORMA INV. E-172-13

Fecha: 05 OCT 2026
Proyecto: PAVIMENTO RÍGIDO
Localización: BARRIO VILLA ESPERANZA. CHARALÁ - SANTANDER.
Peso del martillo: 8 kg.
Operario: JOE RONALDO GUALDRÓN.

CBR 1

Número de golpes.	Penetración acumulada. (mm)	Penetración entre lecturas. (mm)	Penetración por golpe. (mm)	Índice PDC mm/golpe	CBR* %	Mr ** psi
0	110					
10	370	260	26	26	6	9000
10	610	240	24	24	7	10500
10	770	160	16	16	12	18000
10	990	220	22	22	7	10500

* CBR estimado mediante ecuación de MOPT Colombia. CBR = 567 (PDC)^-1,4
**Mr(psi) =1500×CBR. (Heukelom with Klomp)
Mr: Resilient modulus (psi).
CBR PARA DISEÑO: **6 %**

ENSAYO DE CBR DE CAMPO USANDO UN PENETRÓMETRO DE CONO DINÁMICO. PDC
NORMA INV. E-172-13

Fecha: 05 OCT 2026
Proyecto: PAVIMENTO RÍGIDO
Localización: BARRIO VILLA ESPERANZA. CHARALÁ - SANTANDER.
Peso del martillo: 8 kg.
Operario: JOE RONALDO GUALDRÓN.

CBR 2

Número de golpes.	Penetración acumulada. (mm)	Penetración entre lecturas. (mm)	Penetración por golpe. (mm)	Índice PDC mm/golpe	CBR* %	Mr ** psi
0	50					
10	220	170	17	17	11	16500
10	420	200	20	20	9	13500
10	610	190	19	19	9	13500
10	790	180	18	18	10	15000
10	940	150	15	15	13	19500

* CBR estimado mediante ecuación de MOPT Colombia. CBR = 567 (PDC)^-1,4
**Mr(psi) =1500×CBR. (Heukelom with Klomp)
Mr: Resilient modulus (psi).
CBR PARA DISEÑO: **9 %**