N° INFORME	**1**	**FECHA INFORME:**	28/enero/2023
TIPO DE INFORME GEOTÉCNICO:		PAVIMENTO RÍGIDO	
PROYECTO:	**DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN PUENTE VEHICULAR SOBRE LA QUEBRADA SEVERINERA EN LA VÍA QUE COMUNICA A LOS MUNICIPIOS DE PLANETA RICA Y TIERRALTA.**		
CLIENTE:	**CLIENTE:**	CONSORCIO PUENTES DE CÓRDOBA	
	DIRECCIÓN:	TIERRALTA, CÓRDOBA	

CONTROL DE CAMBIOS

VERSIÓN	MOTIVO DEL CAMBIO	RUTA DE ATENCIÓN A OBSERVACIONES	FECHA DEL CAMBIO

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

INGELABCON S.A.S

NIT. 901.124.673-8

Oficina: Calle 44 #1a-60 Barrio Sucre – Montería –Córdoba

Cel: 3146317410 – **Email:** ingelabcon@gmail.com

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS 3

ÍNDICE DE TABLAS 3

1. INTRODUCCIÓN 4

2. OBJETIVOS Y ALCANCE DEL ESTUDIO 5

3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO 6

4. EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA 7

5. ESTUDIO DE SUELOS PARA LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO 9

5.1 Nivel Freático 9

5.2 Perfil Estratigráfico 9

6. RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DE LABORATORIO 10

7. CONDICIONES ESPECIALES DEL SUELO 12

7.1 Caracterización de la Subrasante 12

7.2 Potencial de Expansión 12

8. MANEJO DE AGUAS 17

9. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE ENSAYOS CBR PARA RECOMENDACIÓN DE MEJORAMIENTO 18

9.1 Correlación número de golpes (SPT) con índice de CBR. 18

9.2 Análisis de los Resultados Obtenidos para el CBR de Diseño 19

9.3 Mejoramiento de la capacidad portante de la subrasante para los tramos 20

9.4 Estructura Recomendada 22

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 24

10.1 Recomendaciones Generales 24

10.2 Análisis y Mejoramiento de la Estructura de Pavimento 25

11. LIMITACIONES 26

ANEXOS 27

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización en planta del proyecto.....6
Figura 2. Localización de las perforaciones en el área de estudio.....8
Figura 3. Humedad de equilibrio, Wequi Vs Humedad natural, Wn. 15
Figura 4. Modelo estructural de mejoramiento de la subrasante metodología IVANOV.....22
Figura 5. Esquema estructura recomendada.....23

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas de los Apiques realizados por INGELABCON SAS. 7
Tabla 2. Programa de exploración y ensayos. 7
Tabla 3. Resultados de Laboratorio.....11
Tabla 4. Clasificación suelos expansivos. Fuente: NSR-10, Capítulo H.9 Tabla H.9.1 12
Tabla 5. Resultados de límites de Atterberg e IP de materiales con potencial expansivo-Apiques.....14
Tabla 6. Análisis de expansión.....16
Tabla 7. Correlación número de golpes (SPT) con índice de CBR. 18
Tabla 8. Resultados CBR-Correlación N/Golpes SPT-CBR.....19
Tabla 9. Selección del CBR de diseño. 19
Tabla 10. Clasificación del suelo según el CBR de la subrasante.....20
Tabla 11. Capacidad de soporte equivalente metodología IVANOV.....21

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

1. INTRODUCCIÓN

Cualquier proyecto de construcción debe involucrar como parte de los estudios y diseños necesarios para llevarlo a feliz término un estudio de mecánica de suelos. La importancia de este estudio radica en el hecho de que la estructura de pavimento, estructuras hidráulicas menores y estructuras tipo puentes están soportadas por la masa de suelo y por lo tanto se hace necesario conocer las propiedades y características mecánicas de los elementos que lo constituyen.

El presente documento contiene las características geotécnicas del suelo de subrasante para la estructura del Pavimento y cimentaciones, para el **DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN PUENTE VEHICULAR SOBRE LA QUEBRADA SEVERINERA EN LA VÍA QUE COMUNICA A LOS MUNICIPIOS DE PLANETA RICA Y TIERRALTA.**

En el documento se detallan las unidades de construcción, la ubicación de los apiques y generalidades del proyecto, caracterización básica y ensayo de relación de soporte de California (CBR, por sus siglas en inglés, California Bearing Ratio), así como el análisis de los resultados de laboratorio para el proyecto. Adicionalmente se presenta potencial de expansión y parámetros sísmicos, basados en los resultados de las labores de exploración geotécnica y resultados de las actividades de laboratorio, y recomendaciones generales para las zonas.

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

2. OBJETIVOS Y ALCANCE DEL ESTUDIO

- Determinar mediante ensayos de laboratorio las propiedades físicas y mecánicas de los suelos representativos de subrasante con base en los resultados de los apiques y correlaciones de CBR.

- El propósito del informe es desarrollar una investigación en campo y en laboratorio de las características físicas y mecánicas de los diferentes estratos de suelo encontrados en los apiques con el fin de determinar la competencia mecánica de los mismos.

- Evaluar la susceptibilidad a la expansión de los suelos encontrados en la campaña de exploración, con el fin de sugerir si es el caso las recomendaciones necesarias para controlar los posibles efectos de la expansividad en el proyecto.

- Observar los niveles de aguas freáticas o aguas de infiltración, para de esta manera tenerlos en cuenta y plantear las alternativas del manejo de estas para controlar problemas de carácter constructivo y de capacidad de soporte.

- Realizar clasificaciones de suelos y obtener los parámetros de resistencias respectivos para el cálculo de la capacidad del suelo de fundación.

- Definir el dimensionamiento y materiales apropiados para cada una de las capas que componen la estructura de pavimento.

- Determinar mediante ensayos de laboratorio las propiedades físicas y mecánicas de los suelos representativos de subrasante y definir sectores de comportamiento homogéneo con base en los resultados de los apiques y CBR.

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto trata del **DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN PUENTE VEHICULAR SOBRE LA QUEBRADA SEVERINERA EN LA VÍA QUE COMUNICA A LOS MUNICIPIOS DE PLANETA RICA Y TIERRALTA.**

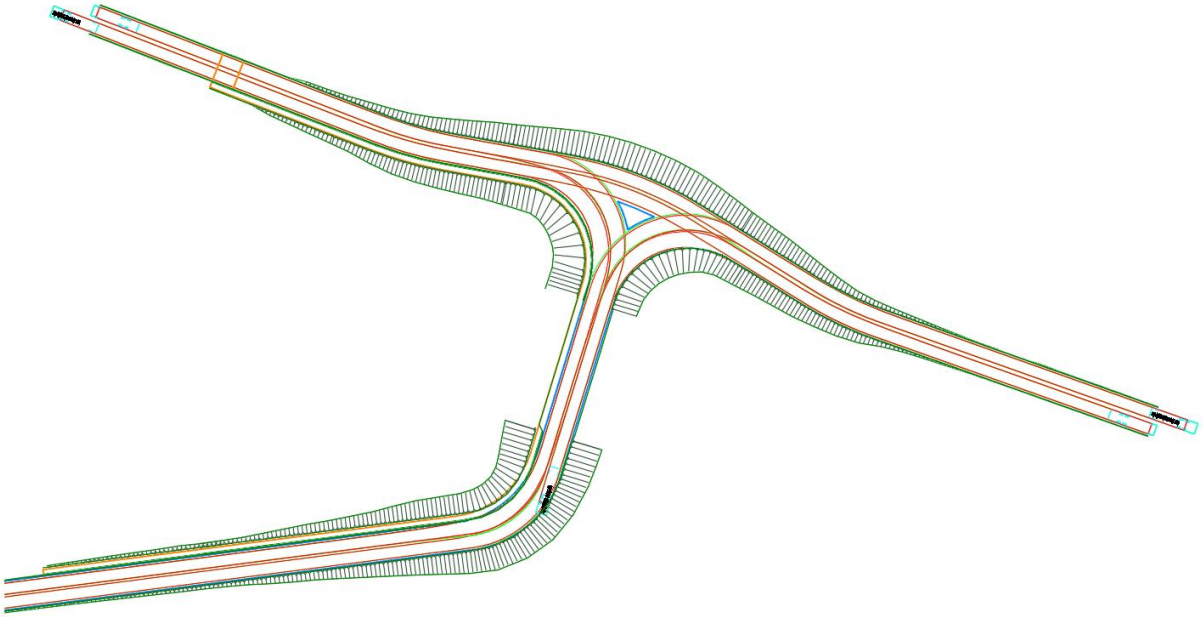


Figura 1. Localización en planta del proyecto.

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

4. EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA

La empresa INGELABCON S.A.S, realizó un estudio de mecánica de suelos en el municipio de Planeta Rica-Córdoba.

Para esto se ordenó la realización de dos (2) apiques correlacionados con los sondeos realizados en campo anteriormente, con el fin de analizar la estructura de pavimento en las diferentes zonas de estudio.

La localización de la exploración geotécnica realizada por INGELABCON SAS se presentan en la **Tabla 2**.

ESTRUCTURA	EXPLORACIONES	COORDENADAS	
		ESTE	NORTE
PAVIMENTO RÍGIDO	APIQUE 1	75°47'21.49"	8°14'50.99"
	APIQUE 2	75°47'21.80"	8°14'50.04"

Tabla 1. Coordenadas de los Apiques realizados por INGELABCON SAS.
Fuente: Elaboración propia

El programa de exploración en campo y las pruebas de laboratorio contemplan lo siguiente:

PROGRAMA DE EXPLORACIÓN	CANTIDAD
Contenido de humedad	4
Límites de Atterberg	1
Granulometrías	4
Cantidad de material que pasa el tamiz No.200	4

Tabla 2. Programa de exploración y ensayos.
Fuente: Elaboración propia

La localización de las perforaciones en el lote se muestra en la imagen a continuación:

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.



Figura 2. Localización de las perforaciones en el área de estudio.
Fuente: Google Earth

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

5. ESTUDIO DE SUELOS PARA LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

Una vez realizados los ensayos de laboratorio para los materiales encontrados mediante la exploración geotécnica, se caracterizó el material que compone el suelo de soporte (subrasante) sobre el cual estará apoyada la estructura de pavimento y demás estructuras presentes en el proyecto. Lo anterior basado en los ensayos de laboratorio de granulometría, humedades naturales, límites de Atterberg. En el siguiente numeral se realiza el análisis para los resultados obtenidos de los apiques y sondeos ejecutados en el proyecto.

5.1 Nivel Freático

El nivel freático no es un valor constante y depende de una serie de factores que incluyen en su comportamiento, entre los cuales se destacan las precipitaciones y la época del año. En época de verano, debido a la evaporación por el calor intenso, el nivel tiende a descender mientras en épocas lluviosas, el nivel se acercará más a la superficie. Durante la exploración realizada **no se encontró** el nivel freático.

5.2 Perfil Estratigráfico

El perfil estratigráfico obtenido en la campaña de exploración geotécnica del trazado del proyecto para vía, reporta espesores predominantes de limos arenosos arenas en las respectivas áreas del proyecto evaluado.

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

6. RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DE LABORATORIO

Los perfiles estratigráficos realizados se anexan en este documento y en ellos se encuentran todos los parámetros geotécnicos necesarios, medidos, correlacionados y calculados para realizar los análisis respectivos para el diseño geotécnico de las estructuras que hacen parte del presente proyecto.

El análisis de los resultados de la exploración y ensayos de laboratorio, permiten establecer las siguientes características geotécnicas:

- **APIQUES**

a. En resumen, se evidencian estratos de arena y arcillas, además los análisis granulométricos arrojaron los siguientes resultados promedio de porcentaje que pasa el tamiz No.200:

   - ✓ Arena limosa (SM): **42%**
   - ✓ Limo arenoso (ML): **65%**
   - ✓ Limo arenoso de mediana plasticidad (ML): **78%**

b. El nivel freático **NO** se encontró en los apiques realizados.

c. La humedad más alta registrada de todas las muestras obtenidas es del 25%. La mínima humedad registrada es de 14%.

d. El contenido de humedad en laboratorio para los estratos de limo fue de promedio 20%.

e. El contenido de humedad en laboratorio para los estratos de arena fue de promedio 14%.

A continuación, se presentan el cuadro de resumen de los apiques, arrojando los resultados obtenidos para la caracterización del material de subrasante:

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

Apique	Profundidad de la muestra (m)			Ensayos de Caracterización							SUCS	AASHTO
	Inicial	Final	Media	%Hum NAT.	LL (%)	LP (%)	IP (%)	IL	Pasa N°4	Pasa N°200		
APIQUE 1	0.00	0.30	0.15	14%	0%	0%	0%	0.00	100%	42%	SM	A-2-4 (0)
	1.20	1.50	1.35	16%	0%	0%	0%	0.00	100%	52%	ML	A-4 (5)
APIQUE 2	0.00	0.35	0.18	25%	45%	27%	18%	-0.09	100%	78%	ML	A-2-4 (0)
	1.20	1.50	1.35	19%	0%	0%	0%	0.00	100%	77%	ML	A-7-6 (20)

Tabla 3. Resultados de Laboratorio.
Fuente: Elaboración propia.

En el **Anexo 1**, se presentan los perfiles estratigráficos y ensayos de laboratorio.

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

7. CONDICIONES ESPECIALES DEL SUELO

7.1 Caracterización de la Subrasante

La subrasante es el suelo que sirve como fundación a la estructura de pavimento. Su correcta caracterización y determinación de capacidad estructural es fundamental para la evaluación y diseño de las capas subyacentes que formarán la plataforma de soporte ante las solicitaciones del tránsito.

7.2 Potencial de Expansión

Es de interés analizar el potencial de expansión de los suelos de origen lacustre ya que estos están conformados por materiales clasificados como gravas, limos, arenas y arcillas con plasticidades variables, presentando índices de plasticidad (IP) entre 0% y 37%. En la zona del proyecto, no se evidencian características correspondientes a suelos expansivos, tales como grietas en la superficie del terreno, ni fisuras o pérdida de verticalidad en edificaciones vecinas causadas por procesos de expansión y contracción volumétrica. De acuerdo con las observaciones anteriores, se planteó considerar que las gravas, arenas, limos y arcillas analizadas presentan porcentaje de expansión bajo y alto.

Potencial de expansión	Expansión (%) medida en consolidómetro bajo presión vertical de 0.07 kgf/cm2	Límite Líquido LL en (%)	Límite de contracción en (%)	Índice de plasticidad, IP, en (%)	Índice de plasticidad menores de una micra (μ)	Expansión libre EL en (%), medida en probeta*
Muy Alto	>30	>63	<10	>32	>37	>100
Alto	20-30	50-63	6-12	23-45	18-37	>100
Medio	10-20	39-50	8-18	12-34	12-27	50-100
Bajo	<10	<39	>13	<20	<17	<50

Tabla 4. Clasificación suelos expansivos. Fuente: NSR-10, Capítulo H.9 Tabla H.9.1

De acuerdo con el análisis de los resultados de los ensayos de límites de consistencia, los cuales no deben tomarse como un indicador directo y concluyente de la expansión, se calculó la humedad de equilibrio (si la humedad natural está por debajo de dicho valor, el material buscará satisfacer la demanda de agua hasta llegar a este valor) como valor complementario.

$$W_{eq} = 0{,}47\,LL + 3.6$$ (H.6.1.4, NSR 98)

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

Con base en la presión probable de campo (expansión) de acuerdo con la NSR 98 (H.6.1.5) se determina la magnitud de la presión de levantamiento para efectuar un análisis primario de equilibrio de presiones, es decir, positiva (sobrecarga), presión negativa (expansión) y elementos externos requeridos (reforzamiento o estabilización con cal y/o cemento en función de los resultados).

$$LogP_{ex} = -1{,}868 + 2{,}08LL + 0{,}065\gamma_d - 2{,}69W_n$$

Donde:

P_{ex}:	Presión probable de expansión de campo (kgf/cm^2)
LL	límite líquido (%)
γ_d	Peso unitario seco (kg/cm^3)
W_n	Humedad natural del suelo (%)

En la siguiente Tabla, se presenta la presión probable de expansión de campo para los apiques:

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

Apique	Profundidad (m)	Muestra	Descripción General	Límites de consistencia %			Humedad natural, Wn (%)	IL	Evaluación de Expansividad	Potencial de Expansión					
				LL	LP	IP				LL	IP	Humedad de Equilibrio, Wequi (%)	Potencial	Peso Unitario Seco (ton/m³)	Pex (Ton/m²)
APIQUE 1	0.00 - 0.30	1	ARENA LIMOSA	0	0	0	14	N/A	No Expansible	Bajo	Bajo	3.6	Potencial Bajo	1.460	0.052
	1.20 - 1.50	2	LIMO ARENOSO	0	0	0	16	N/A	No Expansible	Bajo	Bajo	3.6	Potencial Bajo	1.669	0.064
APIQUE 2	0.00 - 0,35	1	LIMO ARENOSO DE MEDIANA PLASTICIDAD	45	27	18	25	-0.09	Expansible	Medio	Medio	24.8	Potencial Bajo	1.452	0.224
	1.20 - 1.50	2	LIMO ARENOSO	0	0	0	19	N/A	No Expansible	Bajo	Bajo	3.6	Potencial Bajo	1.551	0.044

Tabla 5. Resultados de límites de Atterberg e IP de materiales con potencial expansivo-Apiques.
Fuente: Propia

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

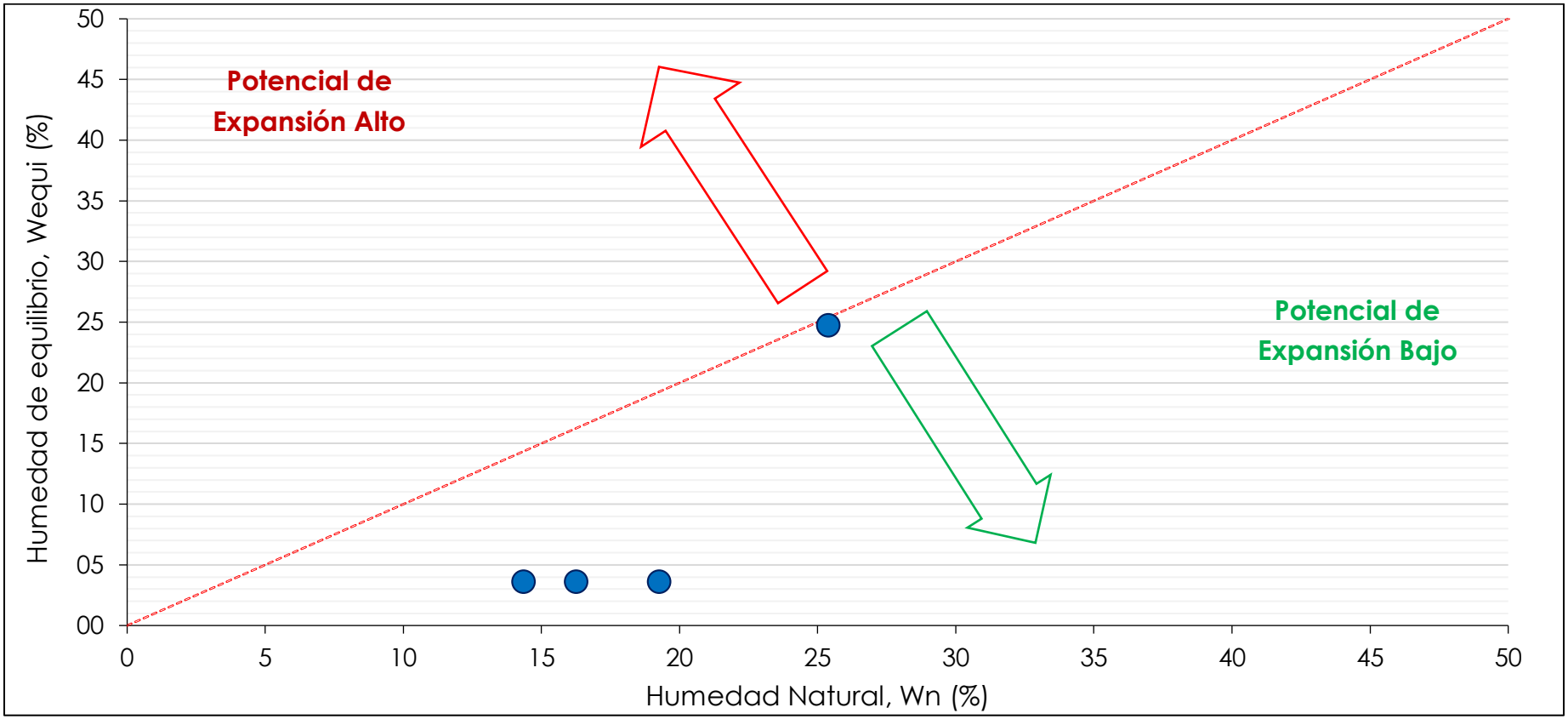


Figura 3. Humedad de equilibrio, Wequi Vs Humedad natural, Wn.
Fuente: Elaboración propia.

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en laboratorio de ***los apiques*** se observa que parte de los materiales muestran valores de humedad de equilibrio variable con respecto a la humedad natural (dichos valores se encuentran por debajo de la línea continua de pendiente 1:1), en términos generales se puede manifestar que existe un potencial de expansión probable para algunas muestras Bajo. Para las muestras que presentan potencial bajo, esto significa que conlleva a manifestar que para estos suelos no se espera que presenten cambios volumétricos por la avidez al agua.

A partir del ejercicio anterior se concluye que parte de los materiales que componen el sector de estudio ***presentan un potencial de expansión bajo,*** por lo que se recomienda analizar la presión que ejercen estos estratos para tenerlo en cuenta durante el proceso constructivo y así no poner en peligro la estabilidad de las obras en los sectores.

Comparando los valores calculados de la presión probable de expansión de campo y el potencial de expansión calculados en función de los límites de consistencia y la humedad de equilibrio, se hace necesario la incorporación de mejoramiento para la estructura de pavimentos que pueda contrarrestar las presiones o expansiones probables en la zona con mayor potencial de expansión.

Estructura para evitar Expansión			
Material	**Espesor (m)**	**ɣ (Ton/m³)**	**σ (Ton/m²)**
Losa	0.16	2.40	0.38
Mejoramiento	0.15	2.00	0.30
Esfuerzo Total Estructura (Ton/m²)			**0.684**

Tabla 6. Análisis de expansión.

De la Tabla anterior, se tiene que el esfuerzo total producido por la estructura corresponde a **0.684 Ton/m²,** con lo que se contrarrestaría la presión más crítica ejercida por el suelo que es de **0.224 Ton/m².**

En el **Anexo 2**, se presenta la memoria de cálculo del Análisis de potencial de expansión de los apiques.

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

8. MANEJO DE AGUAS

La realización de los trabajos de excavación debe ser realizada preferiblemente en la época de verano con el fin de simplificar las actividades del proceso constructivo. Durante la etapa de exploración geotécnica **no se evidenció** la presencia del nivel freático.

En caso de ser necesario utilizar motobombas para evacuar las aguas lluvias que eventualmente puedan caer en el sitio en el momento de realizar las excavaciones. Para tal fin debe realizarse las excavaciones con una pequeña pendiente hacia algún punto donde se prevea la instalación de la bomba con el fin de facilitar la evacuación de aguas lluvias.

Se deben evitar infiltraciones exteriores por aguas lluvias que alteren las condiciones de humedad del suelo, las zonas verdes que se proyecten deben poseer bermas y sistemas de evacuación rápida de aguas para evitar infiltración que altere la humedad del suelo.

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

9. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE ENSAYOS CBR PARA RECOMENDACIÓN DE MEJORAMIENTO

Con el fin de determinar la capacidad portante del suelo de subrasante o competencia mecánica de los materiales de fundación de la estructura del pavimento se realizaron ensayos de relación de soporte de California (CBR, por sus siglas en inglés, California Bearing Ratio) en toda el área del proyecto. A continuación, se resumen los valores obtenidos por cada tramo:

9.1 Correlación número de golpes (SPT) con índice de CBR.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del CBR a través de correlacionar los resultados del SPT con el CBR por el método desarrollado por el Ing J. C. Hernández del Pozo de la universidad de Granada. La correlación usada fue

$$CBR = 0{,}0739(NSPT) + 2{,}306$$

para hallar un valor preciso se estudió el estrato de 1.00 a 2.00 metros de profundidad de cada sondeo para que las condiciones de estudio fueran similares a la profundidad donde se realiza dicho ensayo CBR, además el resultado es escogido por ser el valor que presenta la condición más crítica con relación a la capacidad portante del suelo. A continuación, se resumen los valores obtenidos por cada zona:

SONDEO	PROFUNDIDAD (m)	MUESTRA	NIVEL FREÁTICO (m)	MATERIAL	N° GOLPES	CLASIFICACIÓN SUCS	CORRELACIÓN CBR (%)
1	0.50 - 1.00	1	No se encontró	Arena limosa	12	SM	**3.27**
	1.50 - 2.00	2	No se encontró	Limo arenoso	16	ML	**3.57**
2	0.50 - 1.00	1	No se encontró	Limo arenoso de mediana plasticidad	7	ML	**2.90**
	1.50 - 2.00	2	No se encontró	Limo arenoso	8	ML	**2.98**

Tabla 7. Correlación número de golpes (SPT) con índice de CBR.
Fuente: Elaboración propia

Mediante los cálculos obtenidos en la correlación del número de golpes con el índice de CBR se obtuvo un CBR que oscila entre 2.90 % y 3.57%.

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

En el **Anexo 3,** se presenta memoria de cálculo de Correlación número de golpes (SPT) con índice de CBR.

Realizando los análisis previos mostrados anteriormente de los resultados obtenidos en el laboratorio, procedemos a correlacionar los apiques, CBR con las muestras de la correlación del número de golpes SPT con índice de CBR, la cual arrojaron valores muy comparativos. A continuación, se resumen los valores obtenidos:

Apique N°	Muestra	CBR (%)
AP 1 – SON 1	1.20 - 1.50	**3.57**
AP 2 – SON 2	1.20 - 1.50	**2.98**

Tabla 8. Resultados CBR-Correlación N/Golpes SPT-CBR.
Fuente: Elaboración propia.

9.2 Análisis de los Resultados Obtenidos para el CBR de Diseño

La necesidad de utilizar el CBR sumergido obedece a que los niveles freáticos son superficiales en épocas de invierno, adicional a esto se busca contemplar el escenario más desfavorable al cual puede llegar a ser sometida la estructura.

El análisis CBR de diseño se realizará tomando como referencia los resultados obtenidos, se aplicará la siguiente metodología para su selección: cuando se tengan menos de 5 resultados, se recomienda tomar el menor valor de resistencia del CBR después de inmersión ya que los suelos tienen comportamiento típico a la inmersión, cuando se tengan 5 resultados o más, se pueden usar otros métodos por ejemplo por el criterio de la media o del Instituto de Asfalto. (Sánchez Sabogal Fernando, Modulo 6: Evaluación de la subrasante).
En la siguiente tabla se obtiene el valor del CBR de diseño para los tramos de estudio.

Apique N°	Muestra	Profundidad (m)	CBR (%)	Descripción	CBR (%) Seleccionado
A1	2	1.20 - 1.50	3.57	Limo arenoso (ML)	3.275
A2	2	1.20 - 1.50	2.98	Limo arenoso (ML)	

Tabla 9. Selección del CBR de diseño.
Fuente: Elaboración propia.

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

9.3 Mejoramiento de la capacidad portante de la subrasante para los tramos

Para determinar el espesor de mejoramiento de la subrasante empleamos la metodología de Ivanov que permite calcular el espesor del refuerzo de mejoramiento de la subrasante, el cual plantea una ecuación en función del espesor del material de mejoramiento y su módulo, el módulo de resiliencia de las condiciones actuales de la subrasante y el radio del área cargada.

Es necesario garantizar que en todo el tramo vial el material encontrado en campo cumpla con un valor mínimo requerido para una subrasante de buenas condiciones. un mejoramiento en la subrasante ya que el suelo de soporte no cumple con el valor mínimo requerido para una subrasante de buenas condiciones. El material de mejoramiento a emplear debe cumplir con los requerimientos de la (Tabla 8.12 Pavimentos (Materiales, Construcción y Diseño), Hugo Rondón y Freddy Reyes), debe tener un valor de **CBR mínimo de 5%** para material seleccionado, además debe cumplir con las especificaciones de la norma INVIAS.

CBR [%]	Clasificación general	Usos
0 - 3	Muy pobre	Subrasante
3 - 7	Pobre a regular	Subrasante
7 - 20	Regular	Afirmados y subbase
20 - 50	Bueno	Subbase y base
>50	Excelente	Base

Tabla 10. Clasificación del suelo según el CBR de la subrasante.
Fuente: Tabla 8.12 Pavimentos (Materiales, Construcción y Diseño), Hugo Rondón y Freddy Reyes.

Para determinar el módulo resiliente de la subrasante y del material de mejoramiento se utilizó la correlación con el valor de CBR cuya expresión es $Mr=2555*(CBR^{0.64})$ *0.0703, adicional a esto para obtener el CBR de diseño equivalente se plantea el cálculo del modelo resiliente equivalente, mediante la formulación propuesta por IVANOV.

$$E_e = \frac{E_0}{1 - \frac{2}{\pi}\left(1 - \frac{1}{n^{3.5}}\right)\arctan\left(\frac{ns}{2a}\right)}$$

$$n = \sqrt[2.5]{\frac{E_1}{E_0}}$$

EC

Donde:

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

Ee: Modulo resiliente equivalente (kg/cm2)
E_0: Modulo resiliente del material de la subrasante (kg/cm2)
E_1: Modulo resiliente del material de mejoramiento (kg/cm2)
n: Modulo ponderado de las capas
s: Espesor del material de mejoramiento (cm)
a: Radio del área cargada (cm)

La ecuación 1, permite encontrar una equivalencia del módulo de resiliencia y CBR de diseño, el cual según especificaciones y experiencia debe estar limitado a 5.0%, para lo cual se considera que el CBR del material de reemplazo equivale a 10%, de esta forma podemos conservar la relación a la compresión entre el módulo del material de reemplazo y el módulo equivalente. En las siguientes tablas se reporta el resultado de la modelación utilizando la teoría de Ivanov.

En el **Anexo 4**, se presenta el cálculo de mejoramiento por la metodología de Ivanov para los diferentes tramos.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos de los CBR inalterado se tiene que el **CBR de diseño** será igual a **3.275%.**

Metodología Ivanov		
CBR Subrasante (%)	3.28	CBR suministrado estudio geotécnico
CBR Material de mejoramiento (%)	**10**	CBR del material de remplazo
MR subrasante (Kg/cm2)	383.82	Módulos resilientes por correlación (MR=2555*CBR^0.64) *0.070307. Lister y Powell (1987)
MR Mejoramiento (Kg/cm2)	**784.13**	
n	1.33	Modulo ponderado de las Capas
2a (cm)	30.14	Radio del área cargada (15.07)
s (cm)	15	Espesor del material de mejoramiento
MR Equivalente (Kg/cm2)	**502.00**	Modulo resiliente equivalente (Ivanov)
MR Equivalente (PSI)	**7140.17**	
CBR de Diseño Equivalente (%)	5.02	CBR de diseño

Tabla 11. Capacidad de soporte equivalente metodología IVANOV.
Fuente: Elaboración propia

El espesor del material que actuará como mejoramiento de la estructura de pavimento es de **15 cm** a lo largo de la vía, además de presentar un **CBR de 10%,** para garantizar un CBR de Diseño Equivalente de **5%**.

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

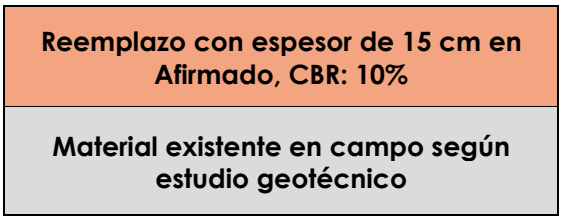


Figura 4. Modelo estructural de mejoramiento de la subrasante metodología IVANOV
Fuente: Elaboración propia.

9.4 Estructura Recomendada

En general, la estructura recomendada por esta consultoría está compuesta por una capa de material seleccionado, de acuerdo con lo establecido en las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras, del Instituto Nacional de Vías-INVIAS, 2022, y una capa de pavimento rígido.

Una vez evaluado el espesor de mejoramiento de la subrasante por la metodología IVANOV se selecciona el modelo más acorde a las circunstancias actuales de la vía.

En este caso el suelo presenta un CBR<5%, lo cual indica que necesita material seleccionado para mejorar su capacidad portante, para ello se recomiendan capas de mejoramiento de **15 cm,** sobre toda el área correspondiente del proyecto, este mejoramiento además contrarrestaría la posible expansión de los suelos encontrados en condiciones de saturación.

El material de mejoramiento que se deberá utilizar debe cumplir con las especificaciones técnicas de un **material de Afirmado Art. INV-311-22** y tener un CBR de 10%,

En la figura, se presenta el esquema de la estructura propuesta según el diseño estructural en los diferentes tramos.

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

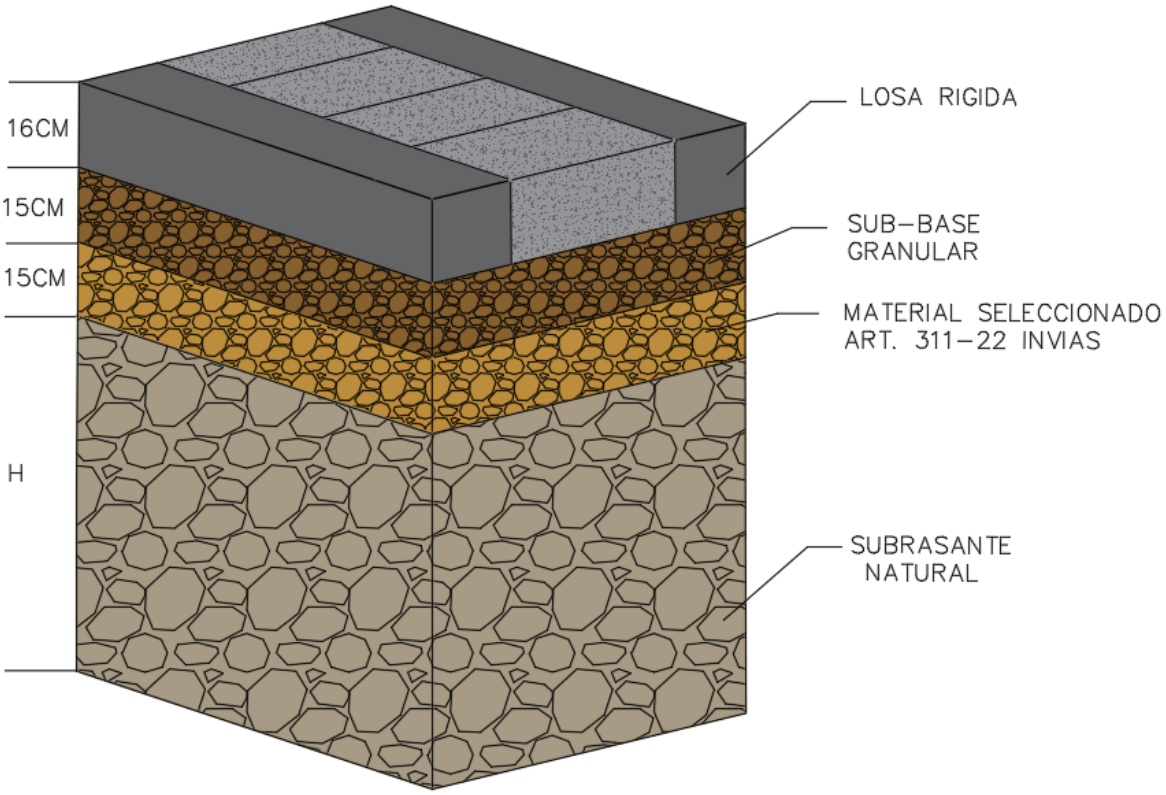


Figura 5. Esquema estructura recomendada.

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La campaña de exploración realizada constó de dos (2) apiques de (1.50) metros de profundidad, para la extracción de muestras en moldes para la realización del ensayo de relación de soporte de California (CBR) (según condiciones del terreno), con el fin de analizar la estructura de pavimento.

- Los parámetros y recomendaciones aquí presentadas están basadas en la exploración geotécnica realizada en el sector del proyecto, en el cual, se pretende realizar la construcción de la estructura proyectada.

- Durante la campaña de exploración geotécnica no se evidenció presencia de nivel freático en las diferentes perforaciones, además puede presentarse una ascensión o fluctuación del nivel de agua que puede producirse por fuertes lluvias, esto implica que para el desarrollo de las actividades constructivas es necesario el bombeo de aguas según la época del año.

- Se recomienda que durante la etapa constructiva no se exponga el suelo natural durante la excavación o movimientos de tierra requeridos por el diseño geométrico, en todos los casos se debe ajustar el diseño dependiente de la vía por encima del nivel actual de la misma.

- Todas las muestras evaluadas del análisis de expansividad de los apiques presentan potencial expansivo bajo.

- La humedad más alta registrada de todas las muestras obtenidas es del 25%. La mínima humedad registrada es de 14%.

- Respecto a los valores del ensayo de relación de soporte de California (CBR), se tiene que los resultados vial realizados y analizados por la presente consultoría oscilan entre 2.90% y 3.57%.

10.1 Recomendaciones Generales

- Cada uno de los materiales de las estructuras propuestas, deben cumplir con lo establecido en las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras, del Instituto Nacional de Vías-INVIAS, 2022.

- La construcción de cada una de las estructuras debe hacerse con los más altos estándares de calidad. Para el caso del concreto hidráulico se debe

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

tener especial cuidado en los procesos de curado, compactación, corte de juntas e instalación de sellos.

10.2 Análisis y Mejoramiento de la Estructura de Pavimento

- Para llevar a cabo la exitosa construcción de la cimentación propuesta, se recomiendan los procedimientos constructivos establecidos en las Especificaciones Técnicas de construcción del INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS – INVIAS en su versión 2022, al igual que las normas de seguridad industrial, y de impacto ambiental vigentes en el momento de ejecución de las obras.

- Una vez evaluado el espesor de mejoramiento de la subrasante por la metodología IVANOV se selecciona el modelo más acorde a las circunstancias actuales de la vía.

- En este caso el suelo presenta un **CBR<5%**, lo cual indica que necesita material seleccionado para mejorar su capacidad portante, para ello se recomiendan capas de mejoramiento de **15 cm,** sobre toda el área correspondiente del proyecto, este mejoramiento además contrarrestaría la posible expansión de los suelos encontrados en condiciones de saturación.

- El material de mejoramiento que se deberá utilizar debe cumplir con las especificaciones técnicas de un **material de Afirmado Art. INV-311-22** y tener un CBR de 10%.

- Durante el proceso constructivo de la subbase granular se recomienda compactar una única capa hasta alcanzar una densidad igual o mayor al 100% según el Proctor modificado.

- Previo a la colocación del material de subbase, se deberá garantizar que el material de afirmado esté debidamente nivelado (Con las cotas y niveles establecidos en el diseño geométrico) y apropiadamente compactado (previamente verificado el grado de compactación y avalado por la interventoría o quien haga sus veces). Además, se debe garantizar y verificar que el espesor del material de afirmado esté acorde con las recomendaciones establecidas en este documento para el cumplimiento mínimo de la capacidad soporte.

- El diseño debe satisfacer las condiciones hidráulicas para asegurar el buen funcionamiento del proyecto.

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

11. LIMITACIONES

Este informe y las recomendaciones que aquí se consignan se realizan con base en los apiques realizados en campo y con las muestras obtenidas y llevadas a laboratorio, a las cuales se les practicaron los ensayos respectivos anteriormente descritos.

Si por cualquier motivo durante los trabajos de diseño y/o construcción surgen variaciones y se observan condiciones diferentes del suelo de subrasante, se solicita que se comuniquen con el consultor con el fin de realizar los ajustes que sean del caso.



JORGE ELIECER MORALES PADILLA
Consultor en Geotecnia
Ingeniero Civil – Especialista en Geotecnia



JESÚS DAVID PIZARRO FERNANDEZ
Coordinador de Consultoría INGELABCON S.A.S.
Ingeniero Civil
Celular: 314 631 74 10

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.

ANEXOS

- **Anexo 1. Perfiles Estratigráficos y Ensayos de Laboratorio**
- **Anexo 2. Análisis de potencial de expansión.**
- **Anexo 3. Correlación número de golpes (SPT) con índice de CBR.**
- **Anexo 4. Cálculo de mejoramiento por la metodología de Ivanov.**

Los informes presentados por la empresa INGELABCON S.A.S., son realizados bajo el alcance de la presente consultoría, los cuales no podrán ser editados, reproducidos o usados en cualquier tipo de campaña de información técnica sin autorización escrita de gerencia.