



**ESTUDIO DE SUELOS PARA
LA CONSTRUCCION DEL
NUEVO PUENTE LAS
PALMAS**



**ESTUDIO DE SUELOS
PARA LA CONSTRUCCION DEL NUEVO PUENTE LAS
PALMAS**



**ELABORO: ING. JAIME LUIS MARTINEZ PINO
TP 13202-15944 BLV**

**CARTAGENA, BOLIVAR
FEBRERO**



ESTUDIO DE SUELOS PARA LA CONSTRUCCION DEL NUEVO PUENTE LAS PALMAS



INTRODUCCIÓN

El siguiente informe consigna todos los trabajos realizados, durante la ejecución del estudio geotécnico para el proyecto denominado **“NUEVO PUENTE MANGA”**, el cual se encuentra ubicado en la ciudad de CARTAGENA DE INDIAS, en el sector MANGA diagonal a las instalaciones del periódico EL UNIVERSAL.

Este estudio implicó un conjunto de actividades que se desarrollaron así: reconocimiento de campo, la investigación del subsuelo, los análisis y recomendaciones de ingeniería necesarios para el diseño y construcción de las obras en contacto con el suelo.

La fecha de inicio de las prospecciones para extracción de las muestras a ensayar posteriormente en laboratorio, fue a finales del mes de febrero del año 2026.

Conforme a los lineamientos mencionados en el aparte H.2.2.2.1 de las Normas Colombianas NSR-10, este informe incluye inicialmente, planos de localización, objetivo del estudio, descripción general del proyecto, sistema estructural y evaluación de cargas. Luego se incluye un resumen del reconocimiento de campo, de la investigación adelantada en el sitio,

La morfología del terreno, su origen geológico, sus características físicomecánicas y una descripción de los niveles freáticos o aguas subterráneas

	ESTUDIO DE SUELOS PARA LA CONSTRUCCION DEL NUEVO PUENTE LAS PALMAS	
---	--	---

encontradas durante las perforaciones, con una interpretación de su significado para el comportamiento del proyecto.

Finalmente, se presenta un resumen de los análisis geotécnicos realizados, las recomendaciones para el diseño estructural de la cimentación, y las recomendaciones para la construcción de dicha cimentación y otras obras de adecuación del terreno.

Anexo a este informe, y según lo indicado en el inciso (h) del aparte H.2.2.2.1 de las Normas Colombianas NSR-10, se entregan los registros de perforación, registro fotográfico de las muestras extraídas, resultados de pruebas y ensayos de campo y laboratorio, y memoria de los problemas geotécnicos analizados.



ESTUDIO DE SUELOS PARA LA CONSTRUCCION DEL NUEVO PUEBLO LAS PALMAS



1. GENERALIDADES DEL ESTUDIO

1.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se encuentra ubicado en el sector Manga en la Ciudad de Cartagena de Indias, Departamento de Bolívar, diagonal a las instalaciones del Universal

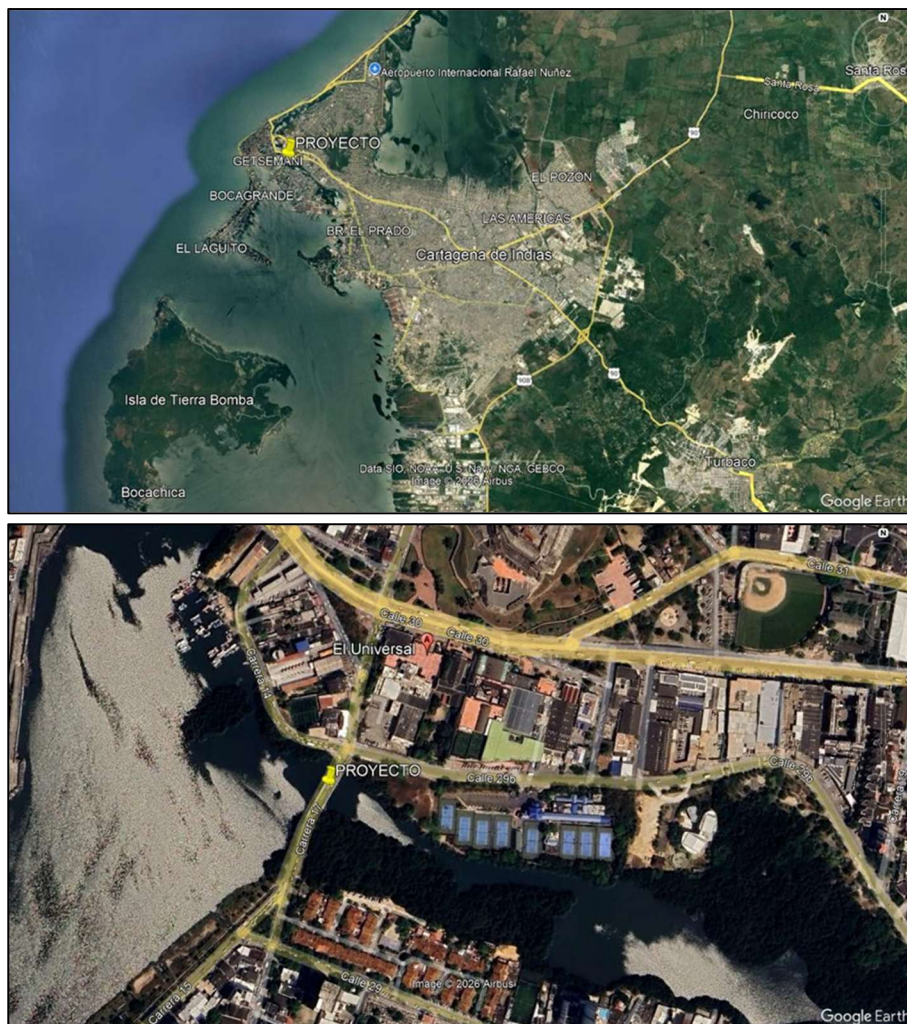


Figura 1.1. Localización del proyecto



ESTUDIO DE SUELOS PARA LA CONSTRUCCION DEL NUEVO PUENTE LAS PALMAS



1.2 ALCANCE Y OBJETIVOS

El presente estudio de suelos tiene como objetivo principal la evaluación de las características geotécnicas del sub-suelo de apoyo, necesarias para el diseño de los cimientos del puente, y la formulación de recomendaciones generales para su construcción.

Para dar cumplimiento a este objetivo se definieron los siguientes objetivos específicos:

- Realizar una exploración de campo mediante la ejecución de perforaciones por percusión y rotación, para determinar la constitución geotécnica en sitio.
- Determinar la estratigrafía del terreno.
- Establecer las propiedades geotécnicas de los suelos, en particular sus características mecánicas, como resistencia y compresibilidad.
- Establecer las condiciones de las aguas libres subterráneas, incluyendo posibles fluctuaciones y su incidencia en la construcción y estabilidad del proyecto.
- Definir los parámetros de diseño para la cimentación y demás elementos portantes en contacto con el suelo.



ESTUDIO DE SUELOS PARA LA CONSTRUCCION DEL NUEVO PUENTE LAS PALMAS



2. CARACTERIZACIÓN DEL PROYECTO Y DEL TERRENO

2.1 CARACTERIZACIÓN DEL PROYECTO

Según la información suministrada por los responsables del proyecto, se trata de la construcción de un puente vehicular en el sector Manga en la ciudad de Cartagena de Indias, este contará con una longitud de 85 m aproximadamente, se construirá en concreto reforzado y sistema estructural aporticado, con vigas y columnas, estas últimas encargadas de transmitir las cargas hasta la cimentación.

A la fecha no se cuenta con planos estructurales ni arquitectónicos del proyecto.

El terreno donde se proyecta la construcción de la escalera, no presenta configuración geométrica definida, lo anterior teniendo en cuenta que es área abierta; la topografía general del área abarcada por el proyecto, es plana, cuenta con pavimento rígido, el cual seguramente maneja pendientes mínimas o bombeos para la evacuación de la aguas superficiales de escorrentías que atraviesan la zona, por lo que las condiciones de drenajes se catalogan regulares, descartando problemas asociados a estancamiento e infiltraciones de agua en el terreno de fundación.

Cercano al proyecto se ubican edificaciones, todas por simple inspección



ESTUDIO DE SUELOS PARA LA CONSTRUCCION DEL NUEVO PUENTE LAS PALMAS



2.2 INVESTIGACIÓN DEL SUB-SUELO

La evaluación de las características del subsuelo se realizó mediante un programa de exploración que incluyo:

- Perforaciones para extracción de muestras.
- Ensayos in situ para la determinación de las características de resistencia y deformabilidad, simultáneos a la extracción de las muestras.
- Ensayos de laboratorio a las muestras recuperadas.

2.2.1 Exploración de Campo

Teniendo en cuenta las indicaciones del solicitante, el área del lote, las características del proyecto, el área que este ocupa y las recomendaciones mínimas de investigación del subsuelo esbozadas en el capítulo H.3 de la NSR-10 (Caracterización Geotécnica del Sub-suelo), se ejecutaron dos (2) perforaciones, llevadas hasta 20.00 m de profundidad. Los sondeos fueron ubicados estratégicamente, de tal forma que se abarcara toda el área de interés para el proyecto. En la tabla No. 2.1 se muestran las profundidades y coordenadas de los puntos de exploración y en la Figura 2.2, se muestra la ubicación satelital de las perforaciones. Los registros de perforación se encuentran en la sección de anexos al final de este informe.



ESTUDIO DE SUELOS PARA LA CONSTRUCCION DEL NUEVO PUENTE LAS PALMAS



Figura 2.2 – Esquema en planta de ubicación de perforaciones

Tabla 2.1 – Coordenadas y profundidades de las perforaciones

Perforación	Profundidad	N.A.F.	Coordenadas WGS 84	
			N	E
S-1	20.0 m	1.00 m	10°25'11.65"	75°32'26.83"
S-2	20.0 m	1.00 m	10°25'9.83"	75°32'27.43"

Las perforaciones se realizaron utilizando los métodos de percusión y rotación. Simultáneo al avance de la perforación se ejecutaron ensayos de resistencia en campo, las cuales son descritas a continuación.

La metodología empleada para la ejecución de pruebas de resistencia en campo fue la descrita en la norma ASTM D1586-11 (Prueba de Penetración Estándar -



ESTUDIO DE SUELOS PARA LA CONSTRUCCION DEL NUEVO PUENTE LAS PALMAS



SPT), se tomaron muestras a intervalos de máximo 1.0 m, de naturaleza alterada consideradas representativas del perfil natural del terreno, con el toma muestras tipo cuchara partida (Split Spoon), las cuales se usaron para clasificación e identificación de cada estrato de suelo y así obtener una guía de la resistencia in situ del suelo a lo largo de la profundidad explorada.

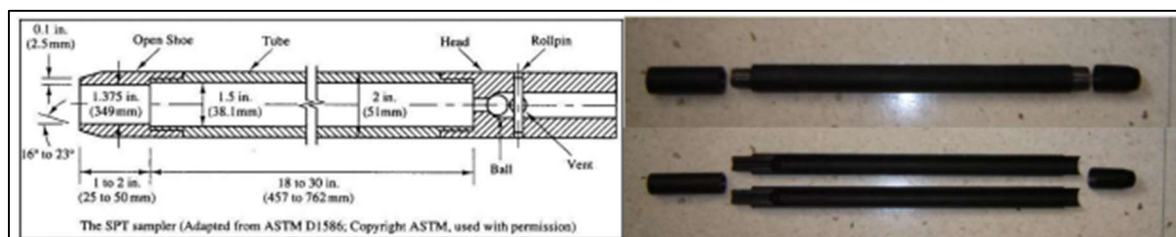


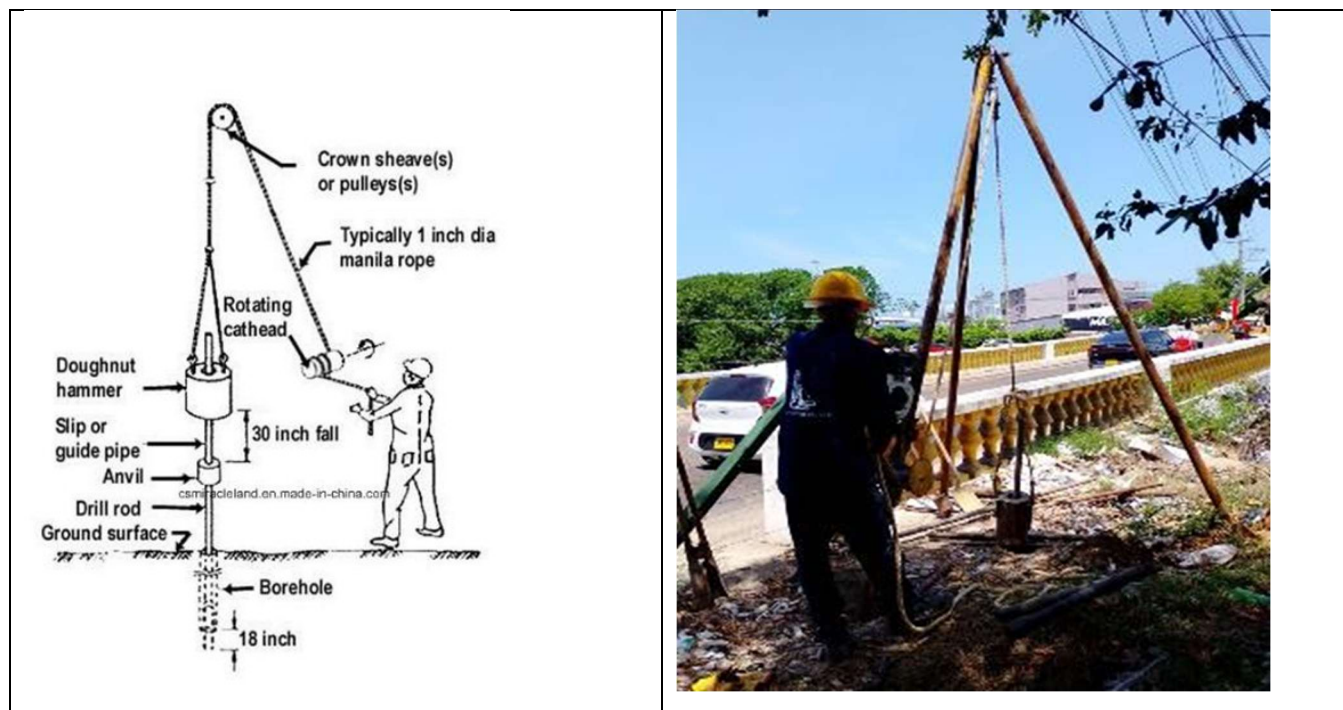
Figura N° 2.3 Esquema de Cuchara partida (SPLIT SPOON)

El método ha sido estandarizado desde 1958, con varias revisiones (ASTM D-1586) y consiste (p.ej. Bowles, 1988) en hincar un toma muestras partido de 18" (» 45 cm) de largo (figura N° 3-3), colocado al extremo de una varilla AW, por medio de un peso (martillo) de 140lb (» 63.5kg) que se deja caer libremente desde una altura de 30" (» 76cm), anotando los golpes necesarios para penetrar cada 6" (» 15cm).

Las muestras de suelo extraídas fueron descritas en campo siguiendo el procedimiento visual – manual, teniendo en cuenta lo contemplado en la Norma ASTM D2488, para luego ser transportadas y almacenadas en el laboratorio siguiendo lo descrito en la Norma ASTM D 4220-95 (Prácticas estándar para la preservación y el transporte de muestras de suelo).



ESTUDIO DE SUELOS PARA LA CONSTRUCCION DEL NUEVO PUENTE LAS PALMAS



Los resultados obtenidos con la prueba SPT sirven para correlacionar algunas propiedades físicas de los suelos, tales como: peso unitario, densidad relativa, consistencia, ángulo de fricción interna y resistencia a la compresión inconfiada entre otros; sin embargo, estas correlaciones se deben hacer con el número de golpes (N) corregido a una energía del 60% (N_{60}) de la energía de la barra, deben ir acompañadas de un criterio adecuado basado en la experiencia del Ingeniero Geotecnista.

2.2.2 Ensayos de Laboratorio

Para la caracterización geotécnica de los materiales que conforman los diferentes estratos se realizaron ensayos de laboratorio sobre las muestras recuperadas así:



**ESTUDIO DE SUELOS PARA
LA CONSTRUCCION DEL
NUEVO PUENTE LAS
PALMAS**



- **Muestras Alteradas:** Ensayo de contenido de humedad natural, límites de Atterberg, y análisis granulométrico por tamizado con lavado sobre el tamiz #200.

Atendiendo las necesidades del proyecto y acorde con la conformación del subsuelo, se utilizó el ensayo de penetración estándar (SPT) para la determinación de los parámetros de resistencia y deformación del terreno.

Los resultados de los ensayos de laboratorio realizados son registrados en tablas los cuales se encuentran en la parte final del presente informe (Ver anexos). Ensayos ejecutados y las Normas ASTM bajo las cuales se ejecutaron, se relacionan a continuación:

Ensayo	ASTM
Contenido de Humedad natural	D2216
Análisis Granulométrico con lavado	D422
Límites de Atterberg (LL y LP)	D4318
Compresión Inconfinada	D2166
Pesos Unitarios	D7263
Perforaciones por percusión - SPT	D1586-11

Tabla 2.2–Normas empleadas



ESTUDIO DE SUELOS PARA LA CONSTRUCCION DEL NUEVO PUENTE LAS PALMAS



2.2.3 Geografía

En un marco más general, la ciudad de Cartagena se encuentra ubicada al norte del departamento de Bolívar, sobre la orilla del mar Caribe, representada por las coordenadas geográficas 10°25' de latitud norte y 75°32' de longitud oeste. Cartagena limita al norte y al occidente con el mar Caribe, al sur con el municipio de Arjona, al oriente con los municipios de Santa Catalina, Clemencia, Santa Rosa, Turbaco y Turbaná. Cartagena cuenta con 60.900 hectáreas de los cuales el 12.5% corresponde a suelo urbano y el porcentaje restante pertenece a suelo rural.

2.3.4 Origen Geológico

La región de Bolívar durante su historia geológica se ha visto afectada por fuertes procesos tectónicos y sedimentarios que ha resultado en la formación de rocas de origen sedimentario en su mayoría de ambiente marino profundo a litoral las cuales por su naturaleza estratificada han sufrido basculamientos así como deformaciones frágiles y dúctiles traducidas en fallas geológicas y plegamientos. Las edades de las formaciones que conforman la estratigrafía regional edades van desde el Paleoceno, Eoceno medio (Formaciones San Cayetano, Maco, Pendales), al Oligoceno-Mioceno (Formaciones Arjona, Hibácharo), MiocenoPlioceno (Formación Tubará y Formación Bayunca), Pleistoceno (Gravas de Rotinet, formaciones Arroyo Grande y La Popa) y cuaternarios (depósitos aluviales y de playa).



**ESTUDIO DE SUELOS PARA
LA CONSTRUCCION DEL
NUEVO PUENTE LAS
PALMAS**



Referente al ámbito tectónico la región se encuentra configurada por varios elementos estructurales regionales, lo cuales conforman un mosaico de bloques con características propias. Los elementos estructurales mayores son el Cinturón de San Jacinto en el sector oriental y el Cinturón del Sinú al occidente, separados por el lineamiento del Sinú. Así mismo, estos se subdividen en bloques tectónicos de acuerdo con las características estructurales que los dominan. En el Cinturón del Sinú se ubican los bloques tectónicos de Turbaco y Cartagena.

La zona industrial de Mamonal se encuentra predominantemente ubicada sobre suelos residuales de la Formación Bayunca, y suprayaciendo a esta formación en algunos sectores se localizan sedimentos cuaternarios, comprendidos por depósitos de llanura costera, y depósitos de playa. Adicionalmente hacia la ciudad de Cartagena se encuentran afloramientos de la Formación La Popa que reposa de forma discordante sobre la Formación Bayunca. Con respecto al ámbito tectónico la zona industrial de Mamonal la limitan las Fallas Mamonal y Pasacaballos.



ESTUDIO DE SUELOS PARA LA CONSTRUCCION DEL NUEVO PUENTE LAS PALMAS

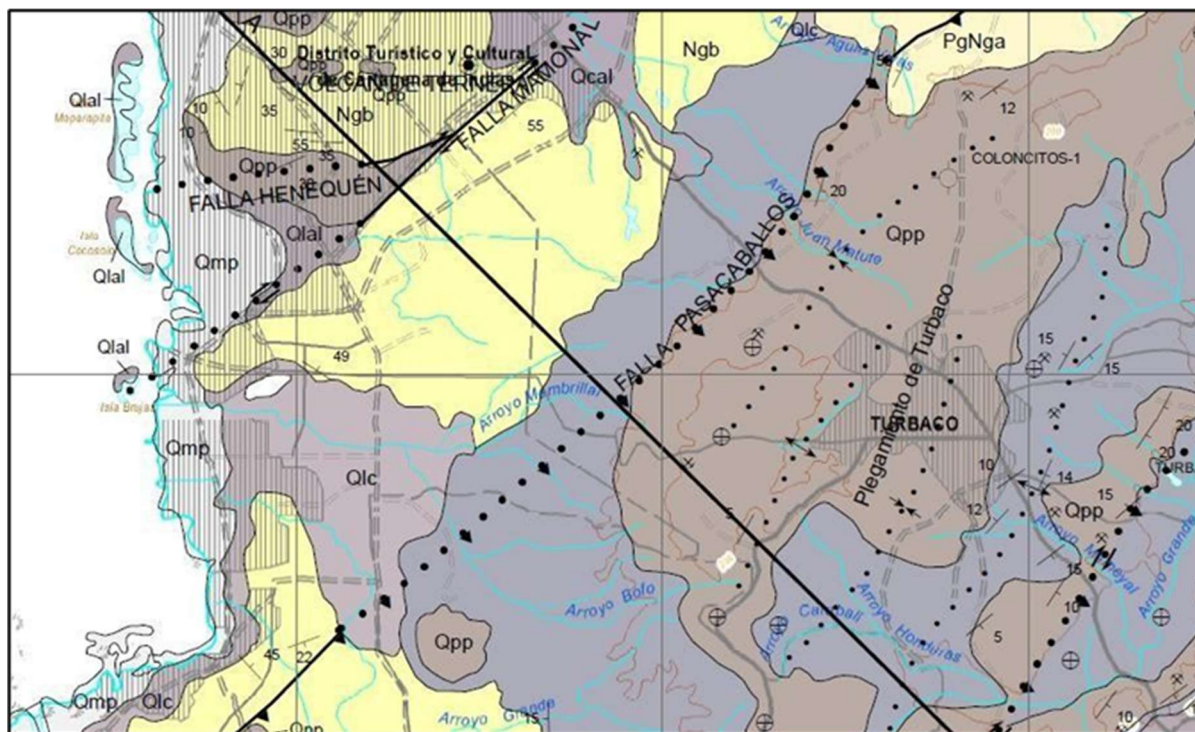


Figura 2.5 Geología zona de Mamonal y Cartagena

Formación Bayunca (NgB)

Se le atribuye origen en una zona entre costa afuera y plataforma continental. Sus características de sedimentación muestran también sedimentos formados en zona intermareal, afectada por canales con abundante concentración de conchas y en otras por areniscas rellenando canales abandonados por contactos erosivos. Corresponden a lodolitas de color gris oscuro, claro y negro, con oxidación amarillenta, capas delgadas y medias con intercalaciones de arenisca de cuarzo en capas delgadas. Pertenece al Plioceno.



ESTUDIO DE SUELOS PARA LA CONSTRUCCION DEL NUEVO PUENTE LAS PALMAS



Formación La Popa (Qpp)

Suprayace discordantemente la Formación Bayunca la cual posee un miembro inferior denominado como unidad detrítica de La Popa conformada por sedimentos terrígenos calcáreos, seguido del miembro superior conocido como calizas arrecifales La Popa, las cuales son de color amarillo de corales y moluscos. Pertenece al Pleistoceno superior.

Depósitos de playa (Qmp)

Están localizados a lo largo de la línea de costa y constan de arenas de grano fino a grueso, ocasionalmente con gravas, siendo la mayoría de color amarillo ocre a gris. Estos depósitos poseen alto contenido de carbonato.

Con respecto al ámbito tectónico la zona industrial de Mamonal la limitan las Fallas Mamonal y Pasacaballos.

Falla Mamonal

Se extiende por 60 km por el área de Mamonal y Arroz Barato al noroeste y se prolonga con un rumbo N50°E y buzamiento al este de alrededor de 50° a 60°; al suroccidente se interna entre las islas de Barú y Tierra Bomba. La traza establece un cambio topográfico y controla la extensión de la Formación La Popa de Albornoz hacia el este y genera fracturamiento y plegamiento en las rocas lodolíticas y areniscas de la Formación Bayunca; su comportamiento es principalmente inverso, sin embargo, la disposición de la Formación La Popa sugiere una componente de desplazamiento sinistral.



ESTUDIO DE SUELOS PARA LA CONSTRUCCION DEL NUEVO PUENTE LAS PALMAS



Falla Pasacaballos

Se extiende por 30 km desde la localidad de Pasacaballos hasta el caserío de Algarrobo, donde termina en la falla Villanueva-El Totumo. Tiene un rumbo $N40^{\circ}E$ y buzamiento al este de alrededor de 50° ; es una falla inversa que afecta directamente a la Formación Bayunca y repite parte de su secuencia.

3. CARACTERÍSTICAS FÍSICO MECÁNICAS DEL TERRENO

De los registros de perforaciones, complementados con los ensayos de laboratorio, se deducen los siguientes perfiles estratigráficos.

3.1 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

Aproximadamente el 70% de los materiales del sitio (hasta las profundidades evaluadas) son de características cohesivas, tipo arcillas de baja y alta compresibilidad. En menor proporción (30%) es ocupado por materiales friccionantes, tipo arenas limosas.

Las arcillas de baja compresibilidad localizadas en el sitio, exhiben un contenido de partículas, con tamaños inferiores a 0.075 milímetros en el rango de 53.70% a 86.30%. Su contenido de humedad natural es variable, arrojando valores entre 20.30% y 28.80%. Su plasticidad evaluada en laboratorio mediante la metodología de Atterberg modificada por Casagrande, arrojó valores del límite líquido máximo y mínimo de 43% y 22% respectivamente. Los límites plásticos



**ESTUDIO DE SUELOS PARA
LA CONSTRUCCION DEL
NUEVO PUENTE LAS
PALMAS**



varían entre 12% y 23%, resultando índices plásticos comprendidos entre 10% y 20%.

De conformidad a los ensayos de laboratorio y de campo realizados a estos suelos, clasifican según la U.S.C.S, como CL. Acorde a los resultados de los ensayos de penetración estándar corregidos, son materiales de consistencia entre muy firme y dura; de baja permeabilidad, con moderada estabilidad volumétrica y susceptibilidad a variar de volumen al cambiar su contenido de humedad.

En la tabla N° 3.1, se describen el estado de consistencia del material respectivamente, con base en los resultados de los ensayos de penetración estándar (SPT)

No. de golpes N	Consistencia
0 – 2	Muy blanda
2 – 4	Blanda
4 – 8	Media
8 – 15	Firme
15 – 30	Muy firme
> 30	Dura

Tabla N° 3.1. Consistencia del suelo CL



**ESTUDIO DE SUELOS PARA
LA CONSTRUCCION DEL
NUEVO PUENTE LAS
PALMAS**



En las tablas siguientes se ilustran los valores mínimos y máximos obtenidos en laboratorio de las arenas y de la arcilla de baja compresibilidad, ya que son los materiales predominantes y los que definen el comportamiento del suelo de cimentación; algunos parámetros fueron estimados con base a correlaciones con el N del SPT corregido.

Por otro lado, las arcillas de alta compresibilidad encontradas durante los estudios son depósitos de suelos cohesivos, los cuales presentan tamaños inferiores a 0.075 milímetros en el rango de 87.70% a 97.30%. Su contenido de humedad natural presenta valores entre 22.50% y 29.70%. Su plasticidad evaluada en laboratorio mediante la metodología de Atterberg modificada por Casagrande, arrojó valores del límite líquido entre 52% y 71%. Los límites plásticos presentan valores entre 22% y 29%, resultando índices plásticos comprendidos entre 28% y 44%.

Acorde a los resultados de los ensayos de penetración estándar corregidos, son materiales de consistencia entre media y dura, son suelos de baja permeabilidad, con baja estabilidad volumétrica y alta susceptibilidad a variar de volumen al cambiar su contenido de humedad.



**ESTUDIO DE SUELOS PARA
LA CONSTRUCCION DEL
NUEVO PUENTE LAS
PALMAS**



No. de golpes N	Consistencia
0 – 2	Muy blanda
2 – 4	Blanda
4 – 8	Media
8 – 15	Firme
15 – 30	Muy firme
> 30	Dura

Tabla 3.2. Consistencia de las arcillas de alta compresibilidad

En la tabla 3.3, se describen las correlaciones entre los potenciales de expansión y los parámetros de plasticidad en suelos arcillosos según la NSR-10.

Según el contenido de la tabla H.9.1-1 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, las arcillas encontradas en el lote clasifican como suelos con potencial de expansión entre bajo para las arcillas de baja compresibilidad y muy alto para las arcillas de alta compresibilidad.

Adicional a los ensayos realizados en laboratorio, se estimaron mediante correlaciones con otras propiedades del suelo, presiones de expansión, la cual se calculó de hasta 30 Kpa y 70 Kpa. Para el cálculo de las anteriores se utilizó



ESTUDIO DE SUELOS PARA LA CONSTRUCCION DEL NUEVO PUEBLO LAS PALMAS



la metodología propuesta por Komornic y David, la cual correlaciona la presión de expansión con el límite líquido, la humedad natural y el peso específico seco del suelo.

$$\log P_s = \bar{2}.132 + 0.0208w_L + 0.665\rho_d - 0.0269w_N \quad (\text{kg/cm}^2)$$

Ecuación 1. Presión de Expansión de suelos cohesivos.

Fuente: Foundation Analysis and Design Josep Bowles 5ta Edición –
NSR98.

Potencial de Expansión	Expansión (%) medida en consolidómetro bajo presión vertical de 0,07 kgf/cm ²	Límite líquido LL, en (%)	Límite de contracción en (%)	Índice de plasticidad IP, en (%)	Porcentaje de partículas menores de una mica (%)	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 13. Clasificación de suelos expansivos (H.9.1-1 - NSR –10)

La figura 3.1 muestra la carta de plasticidad de los materiales del sitio, se puede observar en esta que los materiales presentan potencial de expansión entre medio y alto.



ESTUDIO DE SUELOS PARA LA CONSTRUCCION DEL NUEVO PUENTE LAS PALMAS

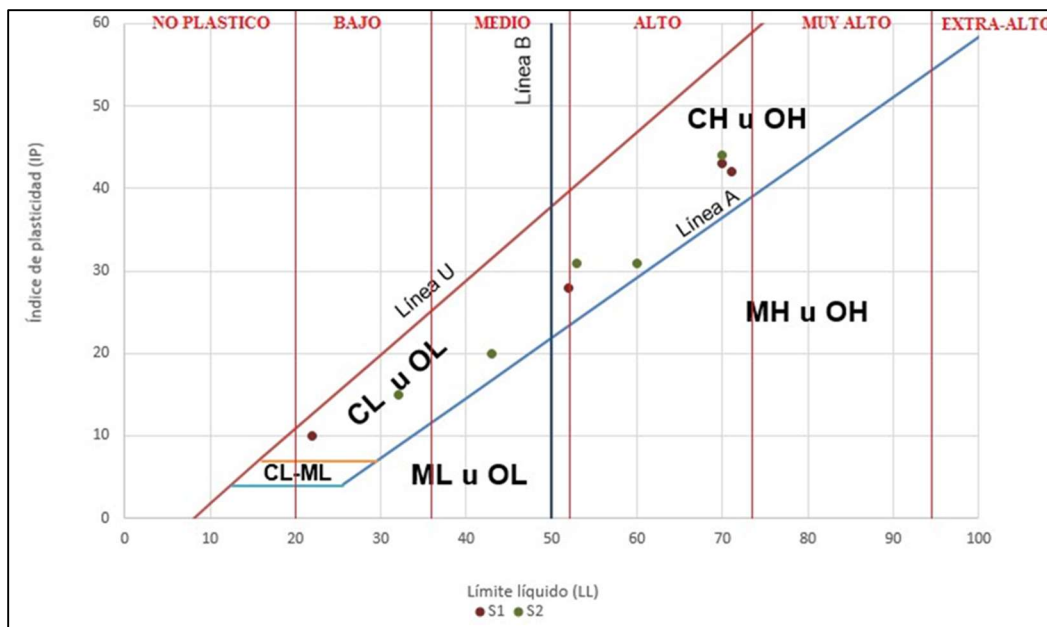


Figura 3.1 Carta de Plasticidad Materiales cohesivos

PARÁMETRO	MÍNIMO	MÁXIMO
Límite Líquido	52.0%	71.0%
Límite Plástico	22.0%	29.0%
Índice de Plasticidad	28.0%	44.0%
Pasa Tamiz 200	87.70%	97.30%
Clasificación U.S.C.S.	CH	
Peso Unitario Húmedo	18.0 kN/m ³	20.0 kN/m ³
Gravedad específica	2.74	2.78
Compresión Inconfinada	50 Kpa	1000 Kpa
Coeficiente de Poisson*	0.32	0.36
Módulo de esfuerzo – deformación*	15.0 MPa	50.0 MPa

*En correlación con el ensayo de penetración normal

Tabla 3.5 Arcillas y limos de baja compresibilidad



**ESTUDIO DE SUELOS PARA
LA CONSTRUCCION DEL
NUEVO PUENTE LAS
PALMAS**



PARÁMETRO	MÍNIMO	MÁXIMO
Límite Líquido	52.0%	71.0%
Límite Plástico	22.0%	29.0%
Índice de Plasticidad	28.0%	44.0%
Pasa Tamiz 200	87.70%	97.30%
Clasificación U.S.C.S.	CH	
Peso Unitario Húmedo	18.0 kN/m ³	20.0 kN/m ³
Gravedad específica	2.74	2.78
Compresión Inconfinada	50 Kpa	1000 Kpa
Coeficiente de Poisson*	0.32	0.36
Módulo de esfuerzo – deformación*	15.0 MPa	50.0 MPa

*En correlación con el ensayo de penetración normal

Tabla 3.6 Arcilla y limos de alta compresibilidad



**ESTUDIO DE SUELOS PARA
LA CONSTRUCCION DEL
NUEVO PUENTE LAS
PALMAS**



3.3 SISMICIDAD DE LA ZONA

La ciudad de “CARTAGENA DE INDIAS”, se encuentra localizado en zona de amenaza sísmica BAJA, Según lo establecido en el Título A de la norma colombiana de diseño sismo resistente (NSR-10), en el aparte A.2.4, los efectos locales de respuesta sísmica del proyecto deben evaluarse utilizando los siguientes parámetros básicos:

- Valor del coeficiente Aa (Aceleración horizontal pico efectiva): 0.10.

(Ver Tabla N° 5-1)

- Valor del coeficiente Av (Velocidad horizontal pico efectiva): 0.10

(Ver Tabla N°5-1)



ESTUDIO DE SUELOS PARA LA CONSTRUCCION DEL NUEVO PUENTE LAS PALMAS



Departamento de Bolívar						
Municipio	Código Municipio	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica	A_e	A_d
Cartagena	13001	0.10	0.10	Baja	0.05	0.03
Achí	13006	0.15	0.15	Intermedia	0.07	0.04
Altos del Rosario	13030	0.15	0.15	Intermedia	0.06	0.03
Arenal	13042	0.15	0.15	Intermedia	0.05	0.04
Arjona	13052	0.10	0.10	Baja	0.05	0.03
Arroyohondo	13062	0.10	0.10	Baja	0.07	0.04
Barranco de Loba	13074	0.15	0.15	Intermedia	0.05	0.03
Calamar	13140	0.10	0.10	Baja	0.08	0.04
Cantagallo	13160	0.15	0.15	Intermedia	0.08	0.04
Cicuco	13188	0.10	0.15	Intermedia	0.04	0.03
Clemencia	13222	0.10	0.10	Baja	0.05	0.03
Córdoba	13212	0.10	0.10	Baja	0.05	0.03
El Carmen de Bolívar	13244	0.10	0.15	Intermedia	0.08	0.04
El Guamo	13248	0.10	0.10	Baja	0.08	0.04
El Peñón	13268	0.15	0.15	Intermedia	0.07	0.04
Hatillo de Loba	13300	0.15	0.10	Intermedia	0.05	0.03
Magangue	13430	0.10	0.15	Intermedia	0.04	0.03
Mahates	13433	0.10	0.10	Baja	0.08	0.03
Margarita	13440	0.10	0.10	Baja	0.05	0.03
María la Baja	13442	0.10	0.15	Intermedia	0.07	0.03
Mompós	13468	0.10	0.15	Intermedia	0.04	0.03
Montecristo	13458	0.15	0.15	Intermedia	0.08	0.04
Morales	13473	0.15	0.15	Intermedia	0.07	0.04
Pinillos	13549	0.10	0.15	Intermedia	0.05	0.03
Regidor	13580	0.15	0.15	Intermedia	0.07	0.04
Río Viejo	13600	0.15	0.15	Intermedia	0.07	0.04
San Cristóbal	13620	0.10	0.10	Baja	0.08	0.04
San Estanislao	13647	0.10	0.10	Baja	0.06	0.03
San Fernando	13650	0.10	0.10	Baja	0.04	0.03
San Jacinto	13654	0.10	0.10	Baja	0.08	0.04
San Jacinto del Cauca	13655	0.15	0.15	Intermedia	0.08	0.04

Tabla N° 3.6 - Valores de A_a , A_v y nivel de amenaza sísmica para los municipios De Bolívar.

Basándonos en las correlaciones empíricas del ensayo SPT con el número de golpes normalizado a N_{60} , se estimó la resistencia al corte.



ESTUDIO DE SUELOS PARA LA CONSTRUCCION DEL NUEVO PUENTE LAS PALMAS



Al relacionar estos valores en la NSR-10, se considera un perfil de suelo tipo D, como se aprecia en la siguiente tabla:

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$\bar{v}_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 360$ m/s
	perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$\bar{N} \geq 50$, o $\bar{s}_u \geq 100$ kPa (≈ 1 kgf/cm ²)
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 180$ 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)	

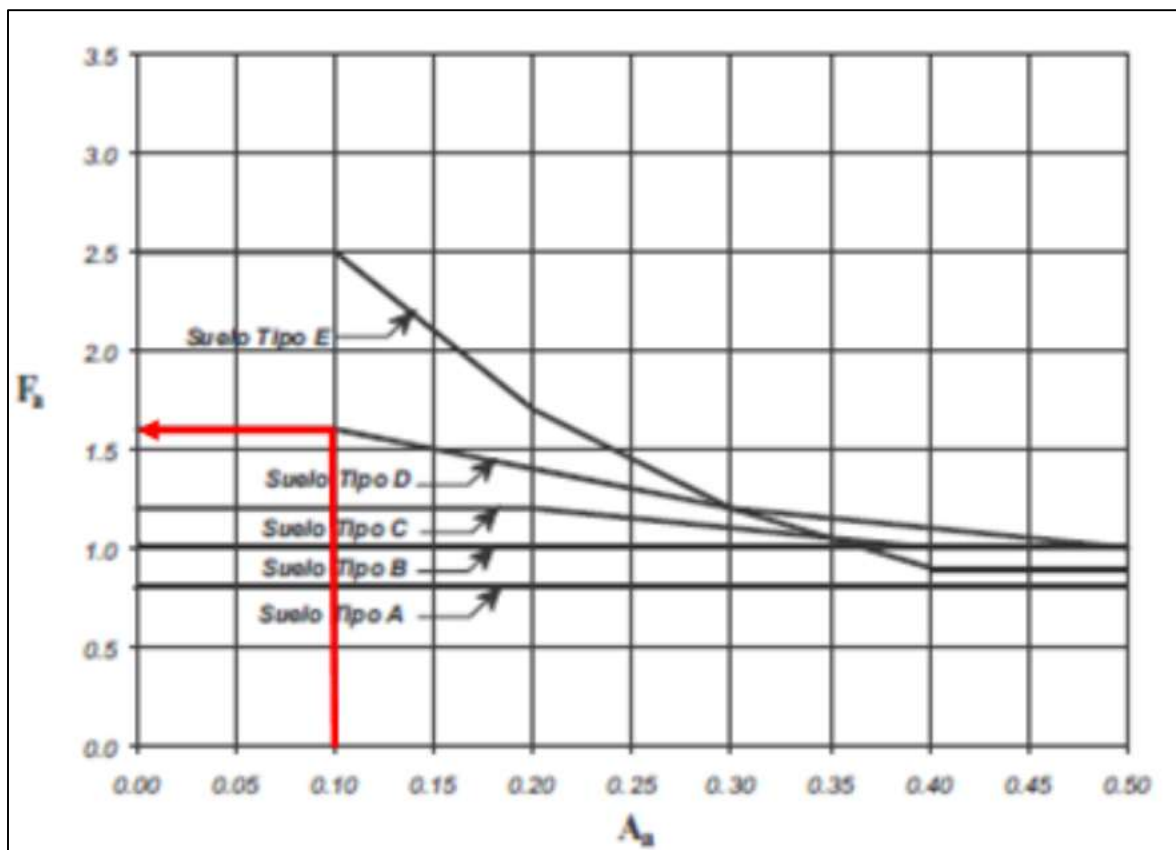
Tabla N° 3.7 – Clasificación de los perfiles de suelo

En relación con el tipo de suelo, se consideran los coeficientes de amplificación F_a y F_v del suelo, para las zonas de periodos cortos y periodos intermedios del espectro, los valores se detallan a continuación:

- F_a (Tabla A.2.4-3, NSR-10): 1.6
- F_v (Tabla A.2.4-4, NSR-10): 2.4



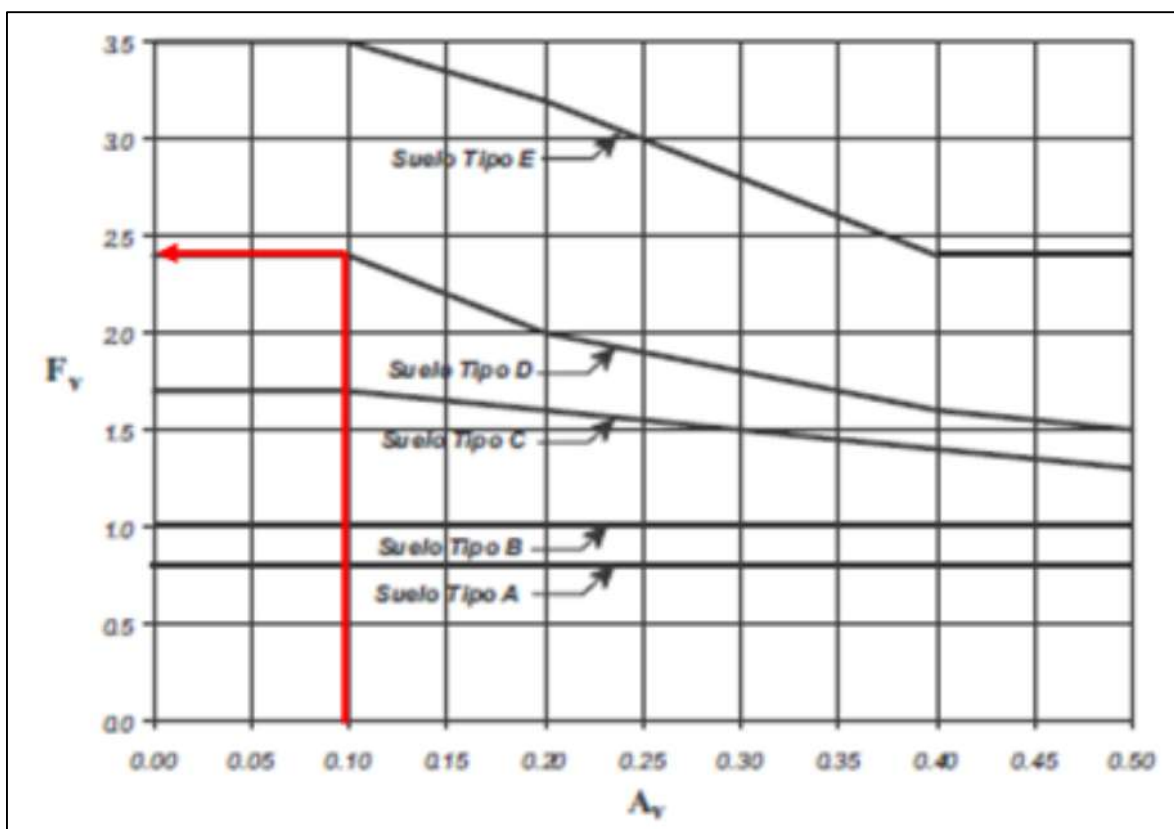
ESTUDIO DE SUELOS PARA LA CONSTRUCCION DEL NUEVO PUENTE LAS PALMAS



Gráfica 3.1. Coeficiente F_a para la zona de períodos cortos del espectro.



ESTUDIO DE SUELOS PARA LA CONSTRUCCION DEL NUEVO PUENTE LAS PALMAS



Gráfica 3.2. Coeficiente F_v para la zona de períodos intermedios del espectro.



**ESTUDIO DE SUELOS PARA
LA CONSTRUCCION DEL
NUEVO PUENTE LAS
PALMAS**



4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GEOTÉCNICAS

En este numeral se plantean las conclusiones, los análisis y recomendaciones geotécnicas derivadas de los objetivos y resultados de la investigación, considerando además las características del proyecto y los aspectos económicos y ambientales.

4.1 CONCLUSIONES

- Durante la exploración de campo se detectó presencia de agua libre subterránea provenientes del nivel freático en todos los sondeos a 1.0 metros de profundidad, sin embargo esta varia, en función del régimen de lluvia que se presente en el sector.
- Los materiales del sitio son primordialmente (70%) de naturaleza cohesiva, cuya resistencia al corte es desarrollada por fuerzas electromagnéticas entre partículas de suelo, denominada cohesión. En menor proporción (30%) se encuentran materiales gruesos, tipo arenas limosas y arcillosas.
- Del análisis de los resultados de la caracterización del material encontrado, se considera que el comportamiento del suelo del sitio resultará adecuado bajo la acción de las futuras cargas del proyecto; no presentando así problemas derivados de resistencia al corte y asentamientos.
- El perfil sísmico del suelo del sitio, teniendo en cuenta los requerimientos de la NSR-10 en su aparte A.2.4 del título A, y con base a los resultados del ensayo SPT corregido, hasta los 30 metros de profundidad, se cataloga



ESTUDIO DE SUELOS PARA LA CONSTRUCCION DEL NUEVO PUENTE LAS PALMAS



como tipo D; resultandos coeficientes de amplificación en superficie, para las zonas de periodos cortos y periodos intermedios del espectro según NSR-10 de 1.6 (Fa) y 2.4 (Fv) respectivamente

- Por la información sobre el tipo de proyecto, en principio se consideran factibles soluciones de cimentación profunda

4.2 RECOMENDACIONES DE CIMENTACIÓN Y CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE

4.2.1 Recomendaciones Geotécnicas

A continuación, se presentan las recomendaciones geotécnicas para el diseño y construcción de la cimentación de la estructura, teniendo en cuenta las conclusiones expuestas anteriormente, y los aspectos económicos, ambientales y de espacio.

4.2.2 Tipo y nivel de cimentación

De conformidad a la solicitud del cliente, se evaluó una cimentación de dados apoyada}os sobre pilotes preexcavados fundidos in situ, se realizó un análisis variable, con distintos diámetros y longitudes de pilotes.



ESTUDIO DE SUELOS PARA LA CONSTRUCCION DEL NUEVO PUENTE LAS PALMAS



4.2.3 Capacidad de carga admisible

Para los cálculos de capacidad de carga de pilotes, se utilizaron metodologías reconocidas, como Meyerhof, Vesic, Coile y Castello y NAVFAC; Los cálculos se realizaron para pilotes de 20 m de profundidad, y diámetros comprendidos entre 0.40 m y 0.80 m. Se recomienda una separación mínima entre pilotes (centro a centro) de 3 veces su diámetro.

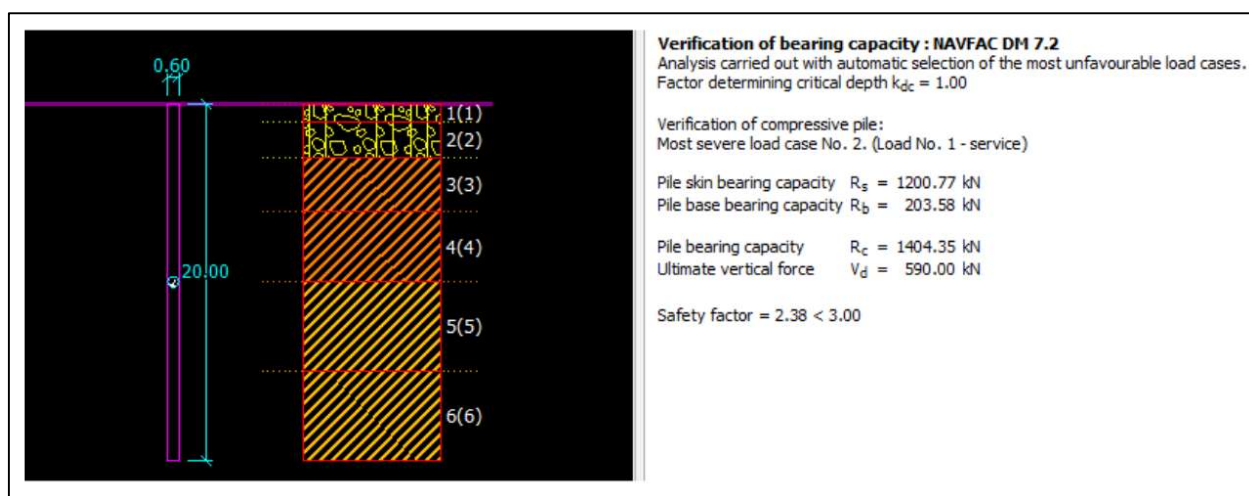


Figura 4.1 – Capacidad de carga pilotes 20 m, D-0.6m.

La tabla 4.1 muestra un resumen de los análisis de capacidad de carga vertical, capacidad al arranque y asentamientos de diferentes diámetros y longitudes de pilotes, de igual forma las figuras 4.2 hasta la 4.4 muestran de forma gráfica los resultados de cálculos de pilotes.



**ESTUDIO DE SUELOS PARA
LA CONSTRUCCION DEL
NUEVO PUENTE LAS
PALMAS**



L	20	
	compresión	tracción
D	Q tot adm	Q tot adm
m	ton	ton
0,40	26,00	12,00
0,50	36,00	15,00
0,60	46,70	22,00
0,80	60,00	26,00

Tabla 4.1 – Capacidad de carga y asentamiento de pilotes de cimentación

4.2.4 Asentamientos

Teniendo en cuenta las características de los suelos encontrados en el sitio, las recomendaciones de cimentación planteadas en el ítem anterior y para las cargas en cimentación suministradas, se calculan los siguientes asentamientos máximos:

D (m)	0.3	0.4	0.5	0.6	
L - 15	4.80	6.00	7.10	8.00	Se (mm)
L - 16	5.00	6.40	7.40	8.50	Se (mm)
L - 17	5.60	6.80	7.90	8.90	Se (mm)
L - 18	6.00	7.30	8.30	9.20	Se (mm)
L - 19	6.70	7.70	8.60	9.80	Se (mm)
L - 20	7.20	8.10	9.00	10.00	Se (mm)

Tabla 4.2 – Asentamientos de pilotes Vs Diámetro

	ESTUDIO DE SUELOS PARA LA CONSTRUCCION DEL NUEVO PUENTE LAS PALMAS	
---	--	---

4.2.5 Módulo de reacción horizontal de pilotes

A continuación se muestran los módulos de reacción horizontal del terreno para la modelación de pilotes, a través de metodologías elásticas de interacción suelo-estructura como Matlock and Reese (1960) y Reese (1974).

Para suelos arcillosos el módulo de reacción del suelo varía en función de la resistencia no drenada de la arcilla, evaluada mediante la resistencia a la compresión inconfiada o triaxiales UU (no consolidados no drenados).

El ingeniero estructural deberá realizar un análisis de interacción sueloestructura detallado, con las características de los pilotes reforzados; teniendo en cuenta los módulos winkler horizontales del terreno señalados en la ilustración 4.9 del presente informe.

El análisis se basa en un modelo elástico, en el que se supone que el suelo se comporta como un número infinito de resortes elásticos, donde la rigidez es representada a través del módulo horizontal de balasto; el problema está gobernado por una ecuación diferencial de cuarto orden, la cual se puede resolver computacionalmente por el método de diferencias finitas.



ESTUDIO DE SUELOS PARA LA CONSTRUCCION DEL NUEVO PUENTE LAS PALMAS

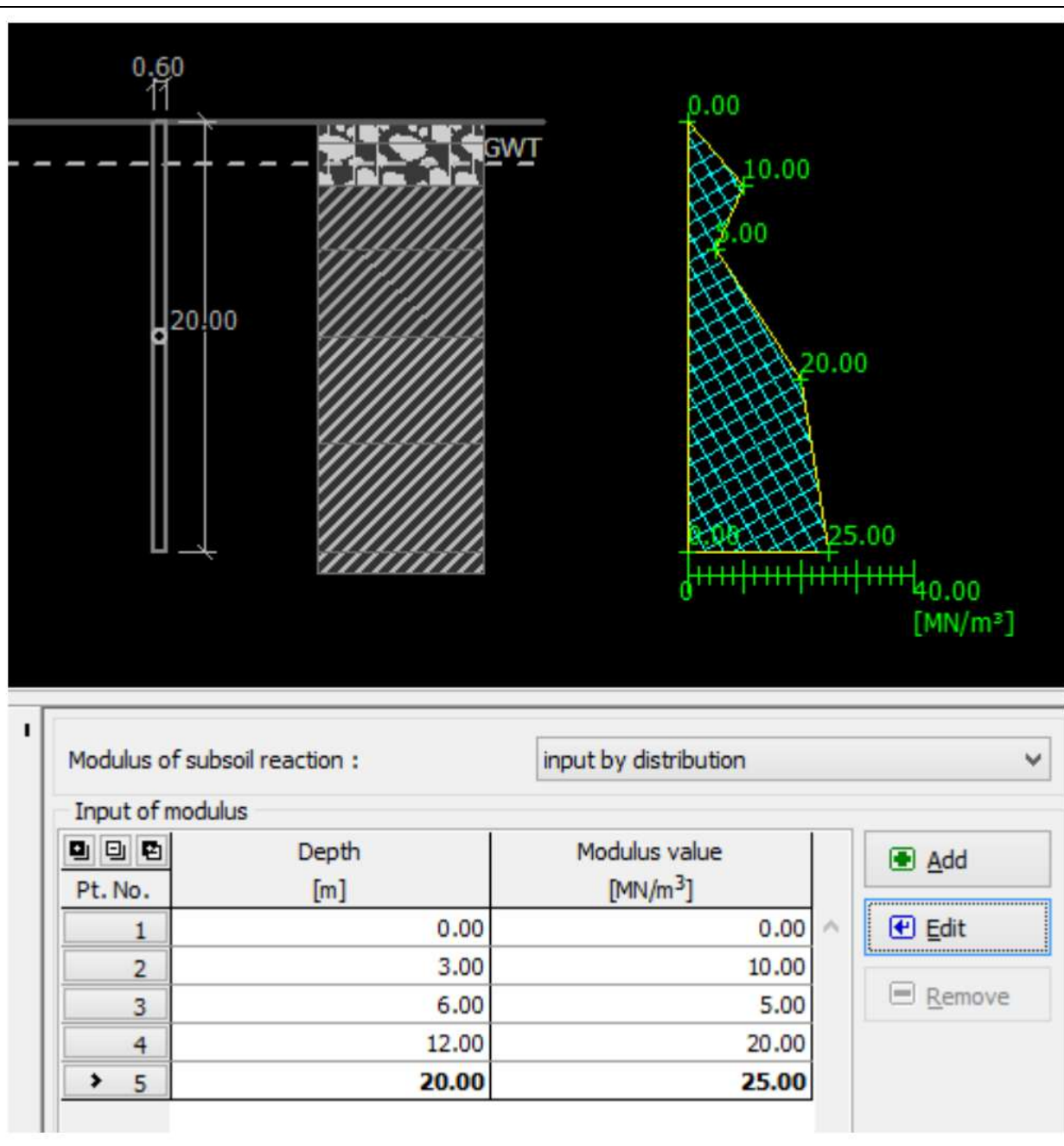


Figura 4.9. Módulo de reacción horizontal del suelo



**ESTUDIO DE SUELOS PARA
LA CONSTRUCCION DEL
NUEVO PUENTE LAS
PALMAS**



4.2.6 Procedimientos Constructivos

Para el proceso constructivo de los pilotes, se deberá tener presente lo siguiente:

Deberá verificarse la verticalidad de la excavación y comparar su conformidad con la geometría estipulada en el diseño.

Terminada la excavación de los pilotes, deberá comprobarse la correspondencia del estrato de apoyo con lo registrado en el estudio de suelos; se destaca la importancia de verificar la longitud excavada y que el fondo esté libre de material suelto.

Seguidamente, se procederá a la colocación de la canasta de refuerzo verificando que este centrada, utilizando separadores de concreto a fin de garantizar el recubrimiento especificado.

El vaciado del concreto se ejecutara mediante el método tremie, controlando el empotramiento de la tubería dentro del concreto como mínimo en dos metros. El concreto se fundirá hasta un diámetro por encima de la cabeza de los pilotes para posteriormente ser demolido, pues se presume que está contaminando. El dado o cabezal de los pilotes estará apoyado a una profundidad no inferior a su espesor, medido sobre la superficie de terreno resultante después de ejecutar los cortes de nivelación; la superficie deberá ser cuidadosamente humedecida y compactada.



**ESTUDIO DE SUELOS PARA
LA CONSTRUCCION DEL
NUEVO PUENTE LAS
PALMAS**



Es importante verificar la correspondencia entre el concreto utilizado y el volumen teórico, para detectar eventuales fenómenos defectuosos durante la construcción, como estrechamiento o estrangulamiento del pilote.

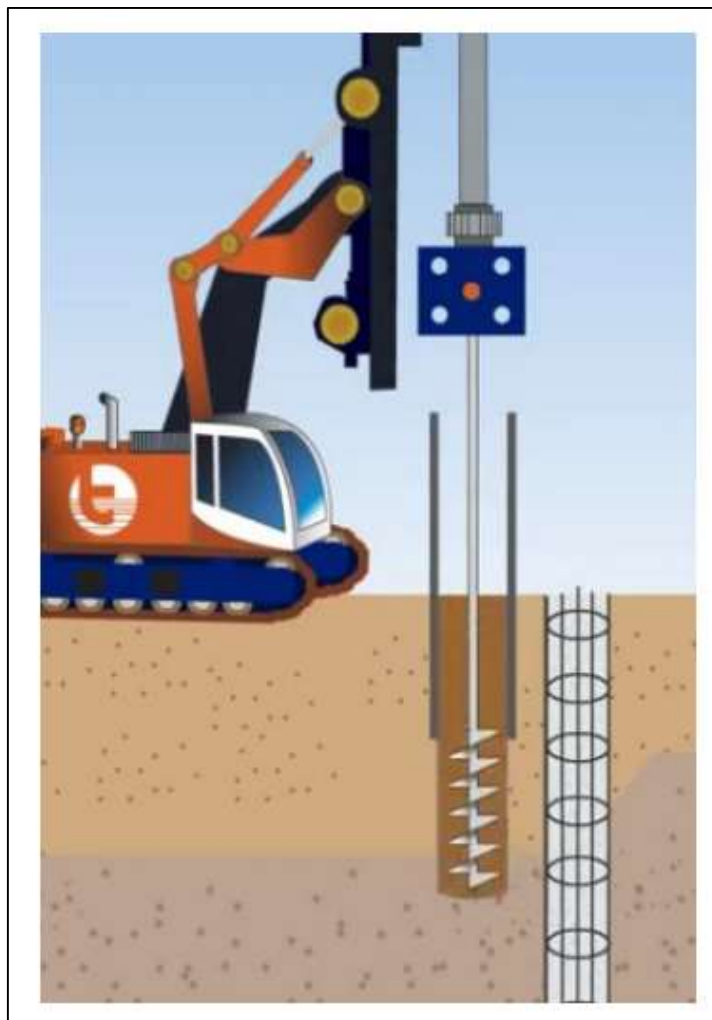
Durante la construcción de los pilotes se contara con una cuidadosa y calificada supervisión.

Si se implementa la utilización de camisas metálicas para el sostenimiento de las excavaciones, se seguirá el siguiente procedimiento.

Perforación: Este proceso consiste en taladrar el suelo con un equipo perforador desde la superficie. El equipo perforador consta de una broca dentro de una camisa continua que permite penetrar en el suelo y lograr la excavación con el diámetro deseado para fundir los pilotes. Esta camisa va bajando a medida que penetra la broca en el terreno.



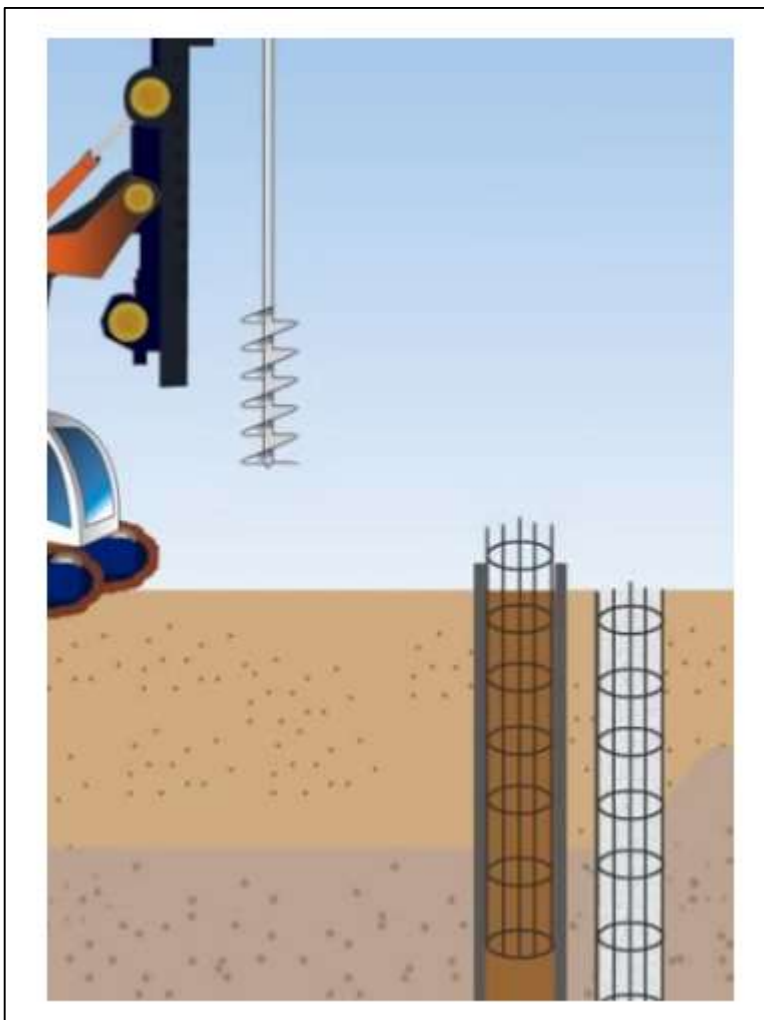
ESTUDIO DE SUELOS PARA LA CONSTRUCCION DEL NUEVO PUENTE LAS PALMAS



Colocación de la armadura de concreto: Una vez se alcanza la profundidad deseada para el pilote, se procesa con la colocación de la canasta de refuerzo del pilote dentro del hueco excavado por el equipo perforador. En la siguiente imagen se puede observar este proceso.



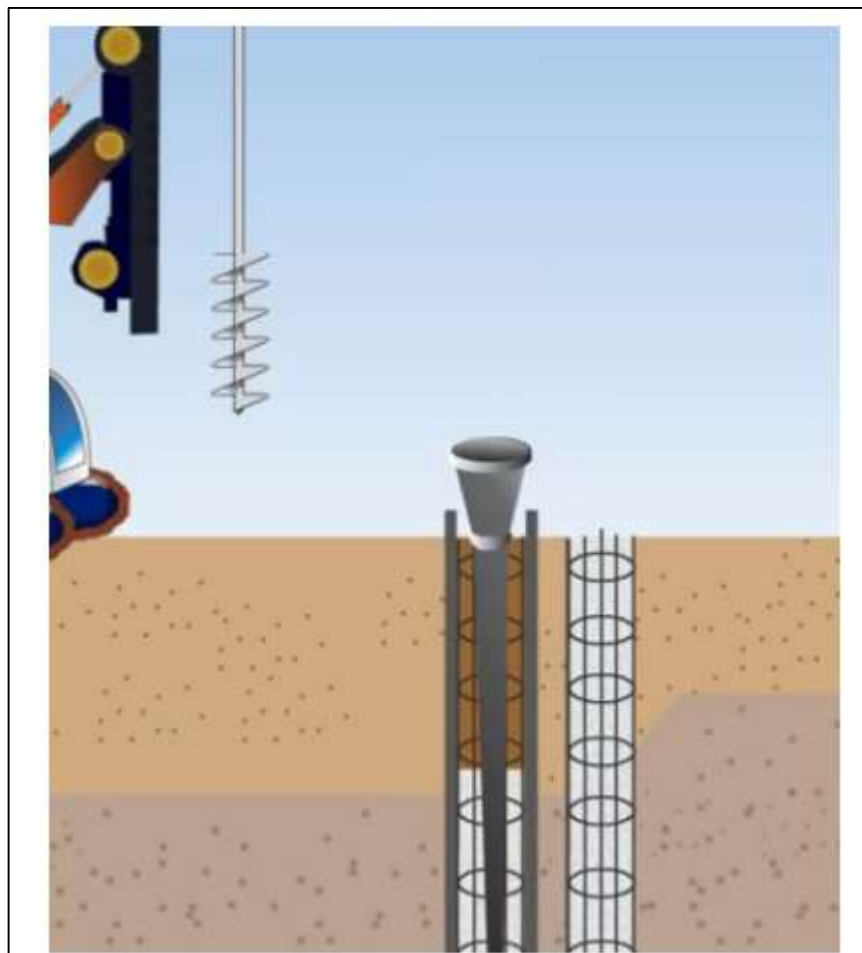
ESTUDIO DE SUELOS PARA LA CONSTRUCCION DEL NUEVO PUENTE LAS PALMAS



Vaciado del concreto: Luego de colocar la canasta metálica, se procede con el vaciado del concreto dentro del hueco excavado. Este se realizará desde el fondo de la excavación hacia arriba, por medio de un tubo tremie.



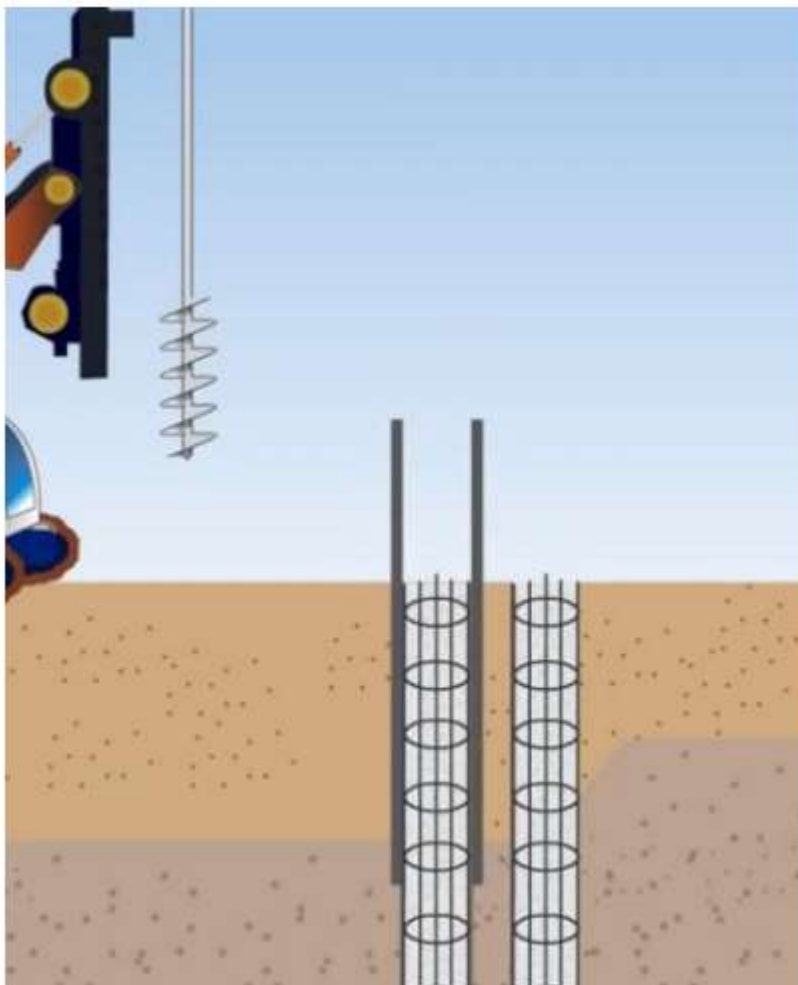
**ESTUDIO DE SUELOS PARA
LA CONSTRUCCION DEL
NUEVO PUENTE LAS
PALMAS**



Retiro de camisa: Luego de vaciado el concreto se procede con el retiro de la camisa de sostenimiento de las paredes.



**ESTUDIO DE SUELOS PARA
LA CONSTRUCCION DEL
NUEVO PUENTE LAS
PALMAS**





ESTUDIO DE SUELOS PARA LA CONSTRUCCION DEL NUEVO PUENTE LAS PALMAS



4.2. Excavaciones

Las excavaciones que demanden el proyecto, deberán ser ejecutadas en forma que transcurra el menor tiempo posible entre su terminación y las operaciones siguientes de vaciado y sellado.

Cuando se avecinen lluvias en el sitio, las excavaciones deben ser protegidas por medio de materiales impermeables para evitar la alteración o saturación del material de fundación.

4.2.8 Rellenos

Para los rellenos se pueden implementar materiales que cumplan con las siguientes especificaciones:

	ESTUDIO DE SUELOS PARA LA CONSTRUCCION DEL NUEVO PUENTE LAS PALMAS	
---	---	---

Tabla N° 4.3 Gradación

Tamiz (mm)	% Pasa
76,2	100
4,75	30 – 70
0,074	0 – 15

Tabla N° 4.4 Plasticidad

Parámetro	% Máximo Permitido
Límite Líquido	25
Índice de Plasticidad	6

Su colocación se hará por capas con espesores sueltos, entre 0.10 y 0.20 metros dependiendo del equipo de compactación implementado, humedecidas y compactadas hasta densidades secas de mínimo el 95% de la correspondiente al próctor modificado.

4.2.9 Medidas Preventivas

Las áreas adyacentes al sitio del proyecto, deben ser adecuadas y dotadas de las pendientes necesarias para evacuar en forma rápida y segura las aguas de escorrentía e impedir su infiltración en los suelos de soporte de la fundación, ya que los suelos del sitio son capaces de variar significativamente su resistencia y volumen al presentar cambios en su contenido de humedad.

	ESTUDIO DE SUELOS PARA LA CONSTRUCCION DEL NUEVO PUENTE LAS PALMAS	
---	--	---

Los conductos que demande el proyecto serán instalados cumpliendo con la normatividad vigente, controlando cuidadosamente lo relativo a juntas y conexiones, para prevenir la aparición de filtraciones que puedan afectar el comportamiento del suelo de fundación.

Los materiales de desperdicio serán depositados en zonas aprobadas por la autoridad ambiental competente, donde impacten lo menor posible al entorno.

	ESTUDIO DE SUELOS PARA LA CONSTRUCCION DEL NUEVO PUENTE LAS PALMAS	
---	--	---

5. LIMITACIONES

La información de geología contenida en este informe corresponde a una descripción del entorno geológico y geomorfológico de acuerdo con la literatura disponible en las entidades públicas y privadas, y es de carácter aproximado, esta no es producto de un estudio específico de la geología local o regional, el cual se deriva de un alcance diferente.

Las recomendaciones incluidas en este informe se basan en la investigación ejecutada por nuestra firma acorde con la práctica común de la ingeniería de suelos, y con la cobertura suficiente para definir las condiciones del subsuelo en el área del proyecto.

No obstante, si se presentan condiciones no contempladas en este informe, como variación en el proyecto o diferencias en el subsuelo, se nos deberá comunicar oportunamente para establecer los ajustes necesarios a las recomendaciones formuladas.



**ESTUDIO DE SUELOS PARA
LA CONSTRUCCION DEL
NUEVO PUENTE LAS
PALMAS**



ANEXOS