EVALUACIÓN GEOTÉCNICA PROYECTO "CONSTRUCCION INSTITUCIÓN EDUCATIVA TÉCNICO NACIONALIZADO, EN EL MUNICIPIO DE PAUNA, DEPARTAMENTO DE BOYACÁ".



COMPONENTE GEOTÉCNICO

INFORME ELABORADO POR:

ING. JAIME ANDRES BERNAL PEDROZA

INGENIERO CIVIL
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA VIAL

OCTUBRE DE 2024

TABLA DE CONTENIDO

Pág.

1. GENERALIDADES 7

1.1 Objetivo del estudio 7
1.2 Ubicación 7
1.3 Características del terreno. 8
1.4 Descripción general del proyecto, sistema estructural y evaluación de cargas. 9

2. RESUMEN DEL RECONOCIMIENTO DE CAMPO - TRABAJO DE LABORATORIO 9

3. GEOLOGIA LOCAL 12

4. PERFILES ESTRATIGRAFICOS. 14

5. CONDICIONES GEOTÉCNICAS ESPECIALES 18

5.1 Nivel freático 18
5.2 Humedad Natural 18
5.3 Potencial expansivo 18

6. CLASIFICACION DEL PERFIL DEL SUELO SEGUN NSR-10. 20

6.1 Perfil de Suelo 20
6.2 Valores sismorresistentes 20
6.3 Espectros de diseño 22

7. ALTERNATIVAS DE CIMENTACION 27

7.1 Consideraciones previas. 27
7.2 Alternativas de Cimentación 27
7.2.1 Alternativa No 1 de cimientos superficiales 27
7.3 Cálculo de la capacidad portante. 28
7.4 Cálculo de Asentamientos 32
7.5 Módulo De Balasto (Modulo De Reacción De La Subrasante) 35

8. PROCESO CONSTRUCTIVO Y RECOMENDACIONES PARA LA PROTECCION DE EDIFICACIONES COLINDANTES. 37

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. 38
10. LIMITACIONES 41

ANEXOS 43
ENSAYOS DE LABORATORIO
REGISTRO FOTOGRÁFICO
DOCUMENTOS ESPECIALISTA

LISTA DE ESQUEMAS

Pág.

Esquema 1. Zona de localización del Proyecto. 7

Esquema 2. Estado actual. 7

Esquema 3. Plancha geológica del proyecto. 13

Esquema 4. Columna estratigráfica sondeo 1. 15

Esquema 5. Columna estratigráfica sondeo 2. 16

Esquema 6. Columna estratigráfica sondeo 3. 17

Esquema 7. Variación de humedad - Sitios de exploración. 18

Esquema 8. Zona de amenaza sísmica. 21

Esquema 9. Espectros de diseño para el proyecto. 25

Esquema 10. Algoritmo para la selección del tipo de cimentación. 27

Esquema 11. Esquema de Cimentación Recomendada 28

Esquema 12. Límite de asentamientos totales. 35

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Clasificación de las unidades de Construcción por categorías. 8

Tabla 2. Numero de sondeos y profundidad por cada unidad de construcción. 8

Tabla 3. Clasificación de los suelos expansivos 19

Tabla 4. Valores para diseño sismorresistente. 20

Tabla 5. Periodos de Vibración 20

Tabla 6. Espectros de diseño NSR-10. 23

Tabla 7. Espectros de diseño para análisis dinámico NSR-10. 23

Tabla 9. Coeficientes estáticos y dinámicos para espectros de diseño NSR-10. 24

Tabla 10. Cuadro resumen de la cimentación recomendada 32

Tabla 11. Parámetros elásticos de algunos suelos. 33

Tabla 12. Cálculo de asentamientos inmediatos. 33

Tabla 13. Cálculo de asentamientos por consolidación. 34

Tabla 14. Cálculo de asentamientos totales. 35

Tabla 15. Cálculo del módulo de balasto. 36

1. GENERALIDADES

1.1 Objetivo Del Estudio

Este informe tiene como objeto final el diseño de la cimentación basado en los estudios geotécnicos desarrollados en el área donde se va a realizar el proyecto, basados en la investigación del subsuelo y las características arquitectónicas y estructurales de las edificaciones con el fin de proveer las recomendaciones geotécnicas de diseño y construcción de excavaciones y rellenos, estructuras de contención, cimentaciones, rehabilitación o reforzamiento de edificaciones existentes y la definición de espectros de diseño sismorresistente, para soportar los efectos por sismos y por otras amenazas geotécnicas desfavorables.

Con base a los resultados obtenidos en el plan exploratorio se pretende conocer la naturaleza del depósito, profundidad, espesor y composición de la columna estratigráfica, nivel freático y las propiedades desde el punto de vista geotécnico, para lo cual se hace necesario realizar ensayos de laboratorio tanto de clasificación como de resistencia al corte, con el fin de estimar asentamientos y evitar al máximo falla por capacidad portante del suelo de fundación.

1.2 Ubicación

El sitio del proyecto se encuentra ubicado en la Institución Educativa Técnico Nacionalizado, en el municipio de Pauna, departamento de Boyacá. A continuación, se encuentran las coordenadas referidas a las coordenadas geodésicas WGS-84:
Coordenadas

Este = 73°58'49.0"O
Norte = 5°39'22.3"N
Altura: 1119 msnm.

El siguiente esquema muestra la localización del proyecto, y de los sitios donde se ejecutaron perforaciones para la exploración del subsuelo:

Esquema 1 Zona de localización del Proyecto.



1.3 Características del terreno.

La zona de estudio se caracteriza por presentar una topografía plana con pendientes longitudinales predominantes entre 0% y 3% se encuentra en la zona de valle del municipio de Pauna.

Esquema 2. Estado actual



1.4 Descripción general del proyecto, sistema estructural y evaluación de cargas.

El proyecto consiste en la construcción de una vivienda de dos pisos.

El sistema estructural seleccionado es de pórticos estructurales, De acuerdo a el titulo A.3.2.1.3 de la NSR-10 Este se define como un sistema estructural compuesto por un pórtico espacial, resistente a momentos, esencialmente completo, sin diagonales, que resiste todas las cargas verticales y fuerzas horizontales.

Las cargas que soportarán el sistema de apoyo en el suelo de la vivienda se ubican en la categoría baja, con cargas de servicio máximo de 80 toneladas por columna. La clasificación según los niveles de construcción es de categoría baja.

Tabla 1. Clasificación de las unidades de Construcción por categorías.

Categoría de la unidad de construcción	Según los niveles de construcción	Según las cargas máximas de servicio en columnas (kN)
Baja	Hasta 3 niveles	Menores de 800 kN
Media	Entre 4 y 10 niveles	Entre 801 y 4,000 kN
Alta	Entre 11 y 20 niveles	Entre 4,001 y 8,000 kN
Especial	Mayor de 20 niveles	Mayores de 8,000 kN

Fuente: NSR -10

Para el proyecto de la construcción se realizarán tres (3) sondeos cada uno con una profundidad de 6m. De acuerdo a la tabla H.3.2-1 de la norma sismo resistente NSR 10.

Tabla 2. Numero de sondeos y profundidad por cada unidad de construcción.

Categoria Baja	Categoria Media	Categoria Alta	Categoria Especial
Profundidad Mínima de sondeos: 6 m. Número mínimo de sondeos: 3	Profundidad Mínima de sondeos: 15 m. Número mínimo de sondeos: 4	Profundidad Mínima de sondeos: 25 m. Número mínimo de sondéos: 4	Profundidad Mínima de sondeos: 30 m. Número mínimo de sondeos: 5

Fuente: NSR -10

2. RESUMEN DEL RECONOCIMIENTO DE CAMPO - TRABAJO DE LABORATORIO

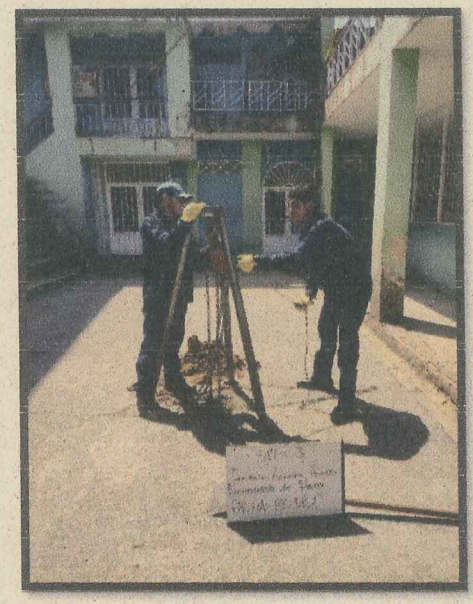
Primeramente, realizamos un sondeo con el barreno en espiral o barra y hoyadora limpiando cuidadosamente el lugar donde se colocará el muestreador. Luego, Se hinca el muestreador en el terreno, contando en de para hincar tres tramos de 15 centímetros. La hinca se realiza mediante la masa de 63,5 kg que cae desde una altura de 76 cm en una cabeza de golpeo o yunque.

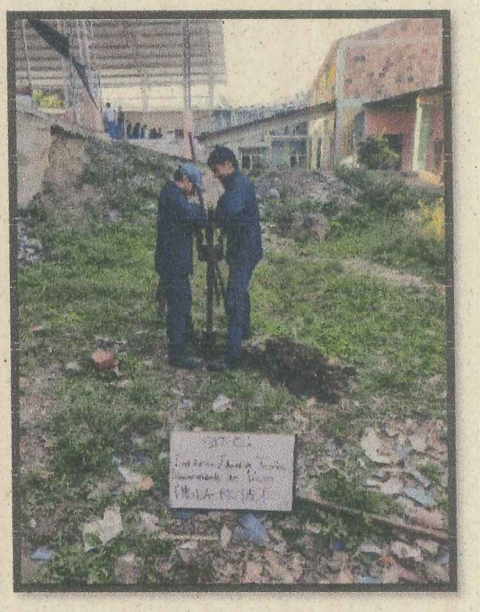
Se debe tomar en cuenta que los primeros 15 cm de penetración no se los usa en los cálculos ya que en estos el suelo puede presentar alguna alteración. Los valores del segundo y temer golpeteo se suman obteniendo el N30 o SPT, que es la resistencia del suelo a la penetración estándar.

La norma ASTM D 1586 - 84 indica que la prueba se puede dar por finalizada cuando se aplican 50 golpes para un tramo de 15 cm, al aplicar 100 golpes en total o cuando no haya penetración alguna durante 10 golpes.

El tubo partido nos permite, además, obtener una muestra alterada del suelo que posibilita la identificación de los materiales que lo componen y que podremos representar en un perfil del suelo.

En los sondeos se realizó el muestreo cada metro en los primeros 5 m de profundidad y a partir de esta profundidad, en cada cambio de material o cada 1.5 m de longitud del sondeo. De acuerdo a la recomendación del Título H.3.2.4 CARACTERÍSTICAS Y DISTRIBUCIÓN DE LOS SONDEOS Numeral (b)





ENSAYOS DE LABORATORIO.

Todas las muestras se identificaron visualmente en campo y en laboratorio y sobre un número representativo de las diferentes capas se realizó el siguiente programa de ensayos:

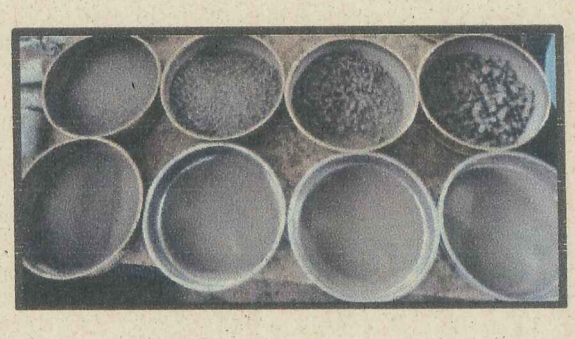
- Resistencia a la compresión inconfinada (INV E 152-13)
- Ensayo de corte directo (I.N.V.E - 154 - 13)
- Determinación del contenido de agua (humedad) (I.N.V.E - 122 - 13)
- Límites de Atterberg (INV E 125-13) (INV E 126-13)
- Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos (I.N.V.E - 123 - 13)

En la sección de Anexo de Resultados de Ensayos de Laboratorio, se muestran los registros de campo y los resultados de ensayos de laboratorio de las perforaciones realizadas con sus respectivas muestras.

Con los resultados de los ensayos, se clasificó el suelo por el sistema unificado de suelos (SUCS). Además, se crearon los perfiles estratigráficos con las respectivas características geomecánicas y de caracterización.

Los ensayos se realizaron bajo las especificaciones contempladas en las normas INVIAS, ASTM y NTC.

Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos (I.N.V.E - 123 -13)



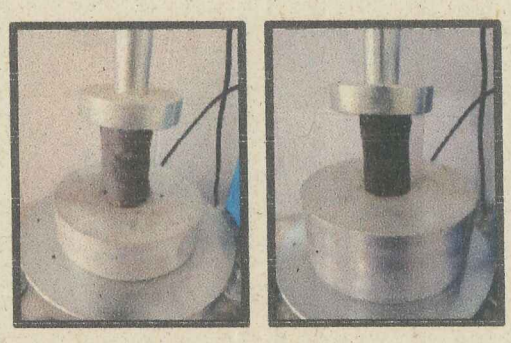
Límites de Atterberg (INV E 125-13) (INV E 126-13)



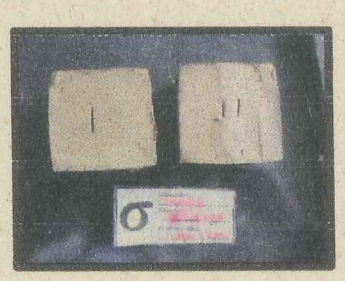
Determinación del contenido de agua (humedad) (I.N.V.E - 122 - 13)



Resistencia a la compresión inconfinada (INV E 152-13)



Ensayo de corte directo (I.N.V.E - 154 - 13)



3. GEOLOGIA LOCAL

Las formaciones geológicas que se encuentran en el área de estudio se encuentran plasmadas en la Plancha geológica 190 - Chiquinquirá del Servicio Geológico Colombiano 2015. En la zona se encuentran Suelos pertenecientes a las siguientes formaciones:

- ARENISCA DE CHIQUINQUIRÁ (KSCHI)

  La base de la Arenisca de Chiquinquirá se coloca donde aparece el primer banco potente de arenisca en contacto normal con las lutitas negras infrayacentes de la Formación San Gil y su techo limita con el Grupo Chipaque, y está determinado por la desaparición de estratos macizos de areniscas, en contacto concordante con las lutitas inferiores del Grupo Chipaque.

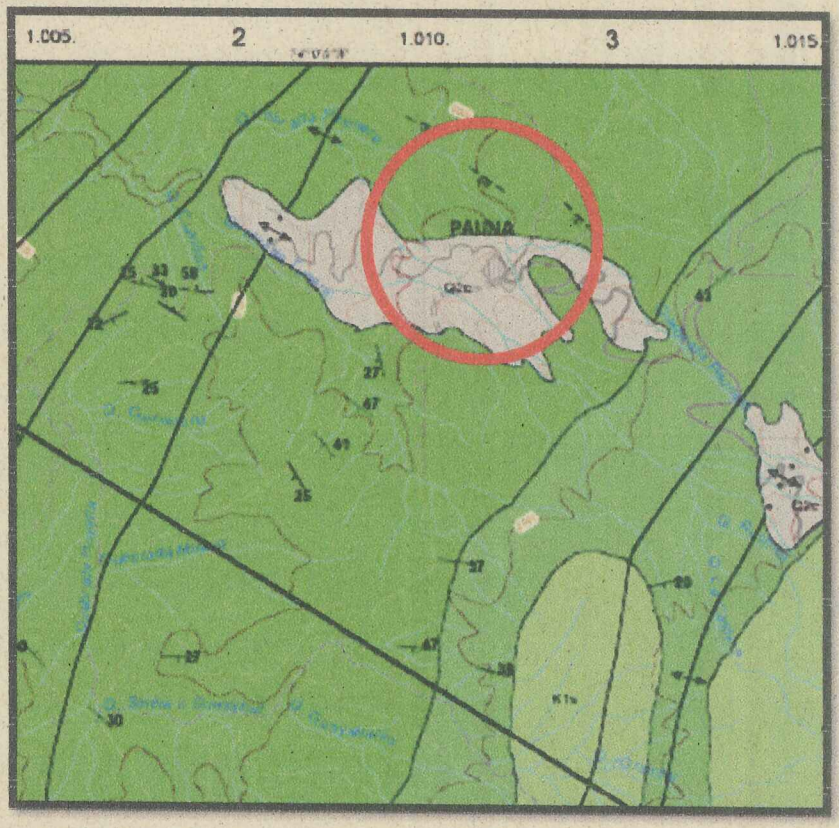
  La Arenisca de Chiquinquirá en su sección tipo (carretera Sutamarchán - Chiquinquirá), presenta un espesor de 337 m (Figura 9) y está compuesta por los siguientes conjuntos: ay 166 m basales de areniscas cuarzosas, de grano fino, grises claras, de alteración amarillenta, micáceas, estratificadas en bancos hasta de 2 m de espesor, con delgadas intercalaciones de lutitas negras, micáceas; b)- 30 m de lutitas grises oscuras a negras, micáceas, con pequeñas intercalaciones de areniscas; c)- 46 m de areniscas cuarzosas, de grano fino, blancas, moscoviticas, de estratificación gruesa a maciza; d)- 35 m de lutitas grises oscuras, micáceas, con delgadas intercalaciones de areniscas cuarzosas, grano fino, de color gris; localmente intercalaciones de limolitas, micáceas; e)- 60 m de areniscas cuarzosas, grano fino, blancas, estratificadas en bancos hasta de 3 m de espesor

- GRUPO CHIPAQUE (KSC)

  Teniendo en cuenta la definición de la Formación Chipaque por Renzoni, Giancarlo (1962), cabe todavía denominar con el término Chipaque a la unidad que en el área de la plancha 190, Chiquinquirá, se presenta estratigráficamente por debajo de la Arenisca Dura, y considerando que dentro de esta litología se observa un nivel guía fácilmente cartografiable por su gran extensión, que en otros trabajos ha sido denominado "Formación La Frontera", proponemos elevar al

rango de Grupo a la Formación Chipaque, en aquellas áreas donde se puede reconocer la Formación La Frontera como constituyente del Grupo, y conservar el término Formación en las localidades donde se acuñe la unidad "La Frontera".

Esquema 3. Plancha geológica del proyecto.



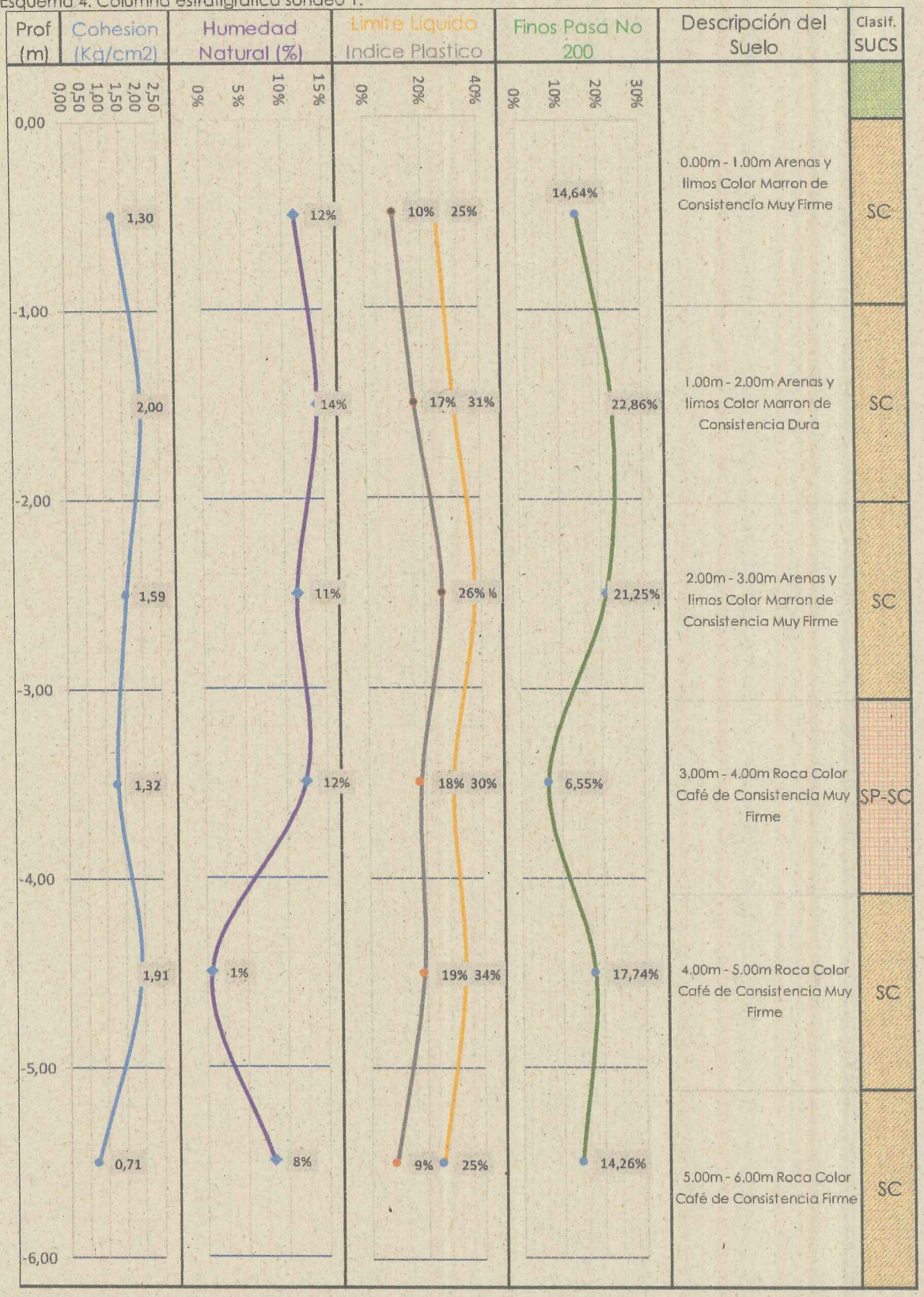
Fuente: Plancha geológica 190 – Chiquinquirá.

4. PERFILES ESTRATIGRAFICOS.

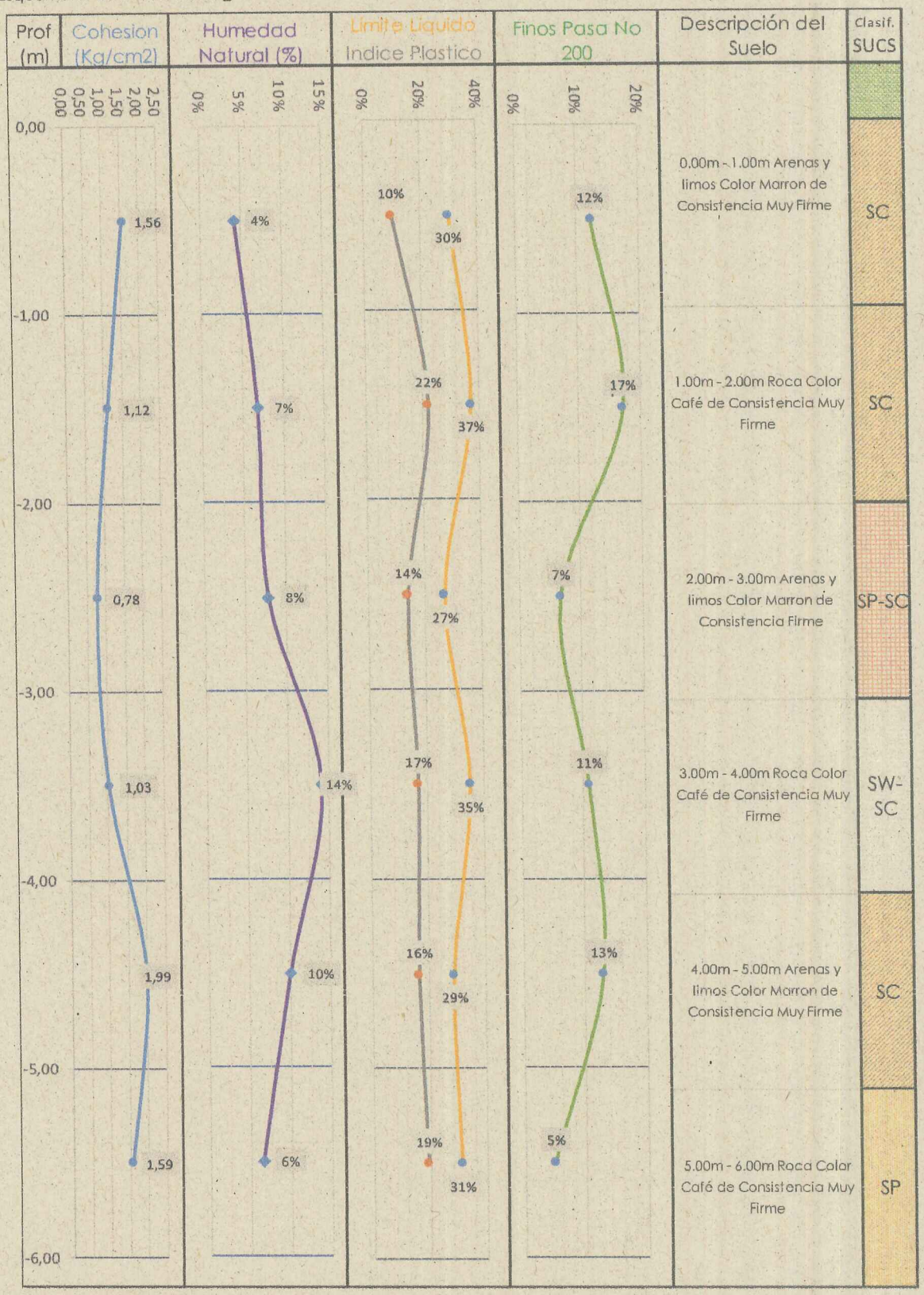
La estratigrafía del suelo encontrado se encuentra en su mayoría familias de arenas limpias y arenas con presencia de arcillas. La consistencia predominante de los materiales encontrados en el subsuelo va desde Media hasta Dura, con valores de humedad natural medios.

A continuación, Tomando las capas definidas y con base en los registros litológicos y los resultados de ensayos de campo y laboratorio, se extractó el perfil litológico, el cual se describe a continuación: se presentan las columnas estratigráficas obtenidas de acuerdo a la exploración in-situ y a los resultados de laboratorio, en la cual se describen los estratos de suelos con sus respectivas características geomecánicas y de clasificación.

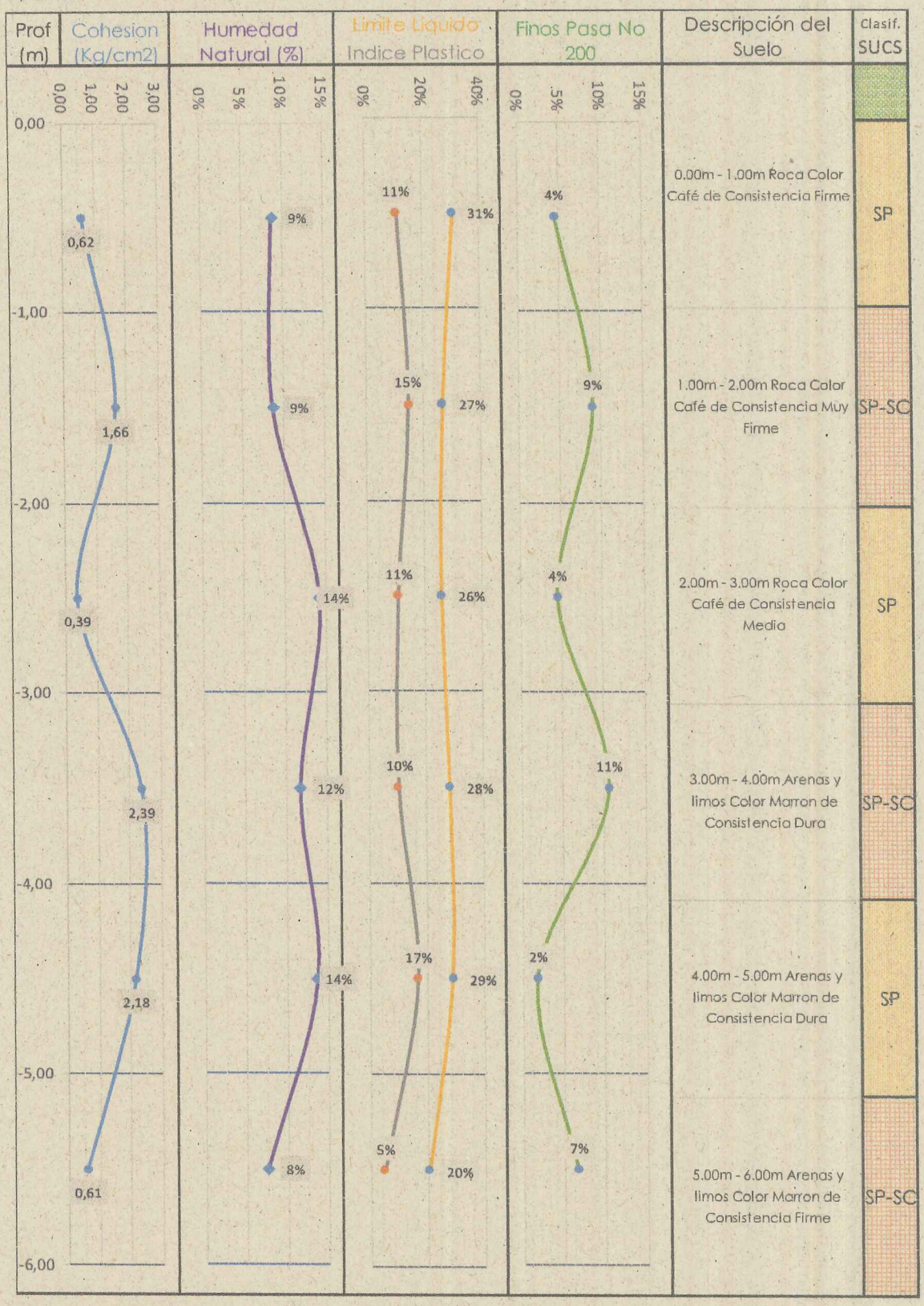
Esquema 4. Columna estratigráfica sondeo 1.



Esquema 5. Columna estratigráfica sondeo 2.



Esquema 6. Columna estratigráfica sondeo 3.



5. CONDICIONES GEOTÉCNICAS ESPECIALES

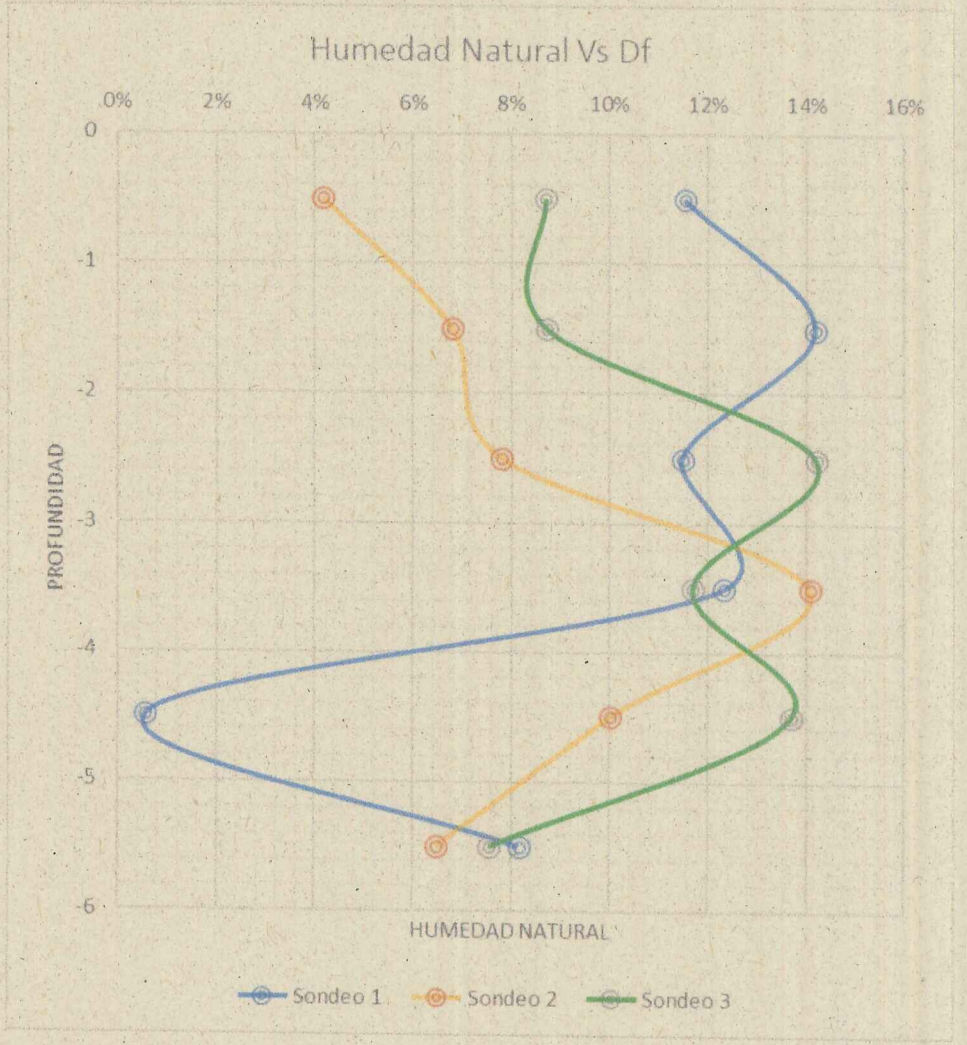
5.1 Nivel freático

No se registró nivel de agua libre en ninguno de los sondeos realizados en la zona de estudio, hasta la profundidad explorada, Lo cual favorece a la estabilidad general.

5.2 Humedad Natural

A continuación, se observa la variación de la humedad en relación con la profundidad explorada en los diferentes sondeos, para los cuales se obtuvieron valores entre 0.57% y 14.20%.

Esquema 7. Variación de humedad - Sitios de exploración



5.3 Potencial expansivo

Como característica especial, todas las arcillas tienen, de una forma u otra, la propiedad de contraerse cuando pierden humedad y de expandirse cuando la ganan de nuevo según las condiciones ambientales. Como minerales activos se reconocen la montmorillonita, la vermiculita y algunas variedades de haloisita; la particularidad de estos radica en que tienen la propiedad de "absorber" moléculas de agua dentro de su propia estructura molecular. Debido a la composición limosa y arcillosa de los materiales en el predio se evalúa el potencial de expansividad del suelo siguiendo los lineamientos del numeral h.9.1 suelos expansivos de la norma NSR - 10. En la tabla 3, muestra una clasificación de expansión y plasticidad en función de las propiedades índice del suelo. (Límite líquido e índice de plasticidad), la cual nos proporciona una idea del comportamiento del suelo especialmente si este entra en contacto con agua y se mantiene en periodos prolongados.

Tabla 3. Clasificación de los suelos expansivos

Potencial de expansión	Limite liquido LL , en (%)	Índice de plasticidad, IP , en (%)
Muy alto	> 63	> 32
Alto	50 – 63	23 – 45
Medio	39 – 50	12 –34
Bajo	< 39	< 20

Fuente: NSR -10

Con base a esta clasificación se observa que los resultados obtenidos de las pruebas realizadas a las muestras recuperadas del suelo, están en el rango de plasticidad baja a media, y potencial expansivo bajo a medio; los valores de límite líquido varían entre 20.32% y 37.92% y el índice de plasticidad alcanza un valor hasta de 26.09%.

6. CLASIFICACION DEL PERFIL DEL SUELO SEGUN NSR-10.

6.1 Perfil de Suelo

De acuerdo a los valores obtenidos en trabajos de campo y laboratorios realizados se determinan los siguientes valores:

N: resultado del ensayo SPT: 50 >N > 15.

6.2 Valores sismorresistentes

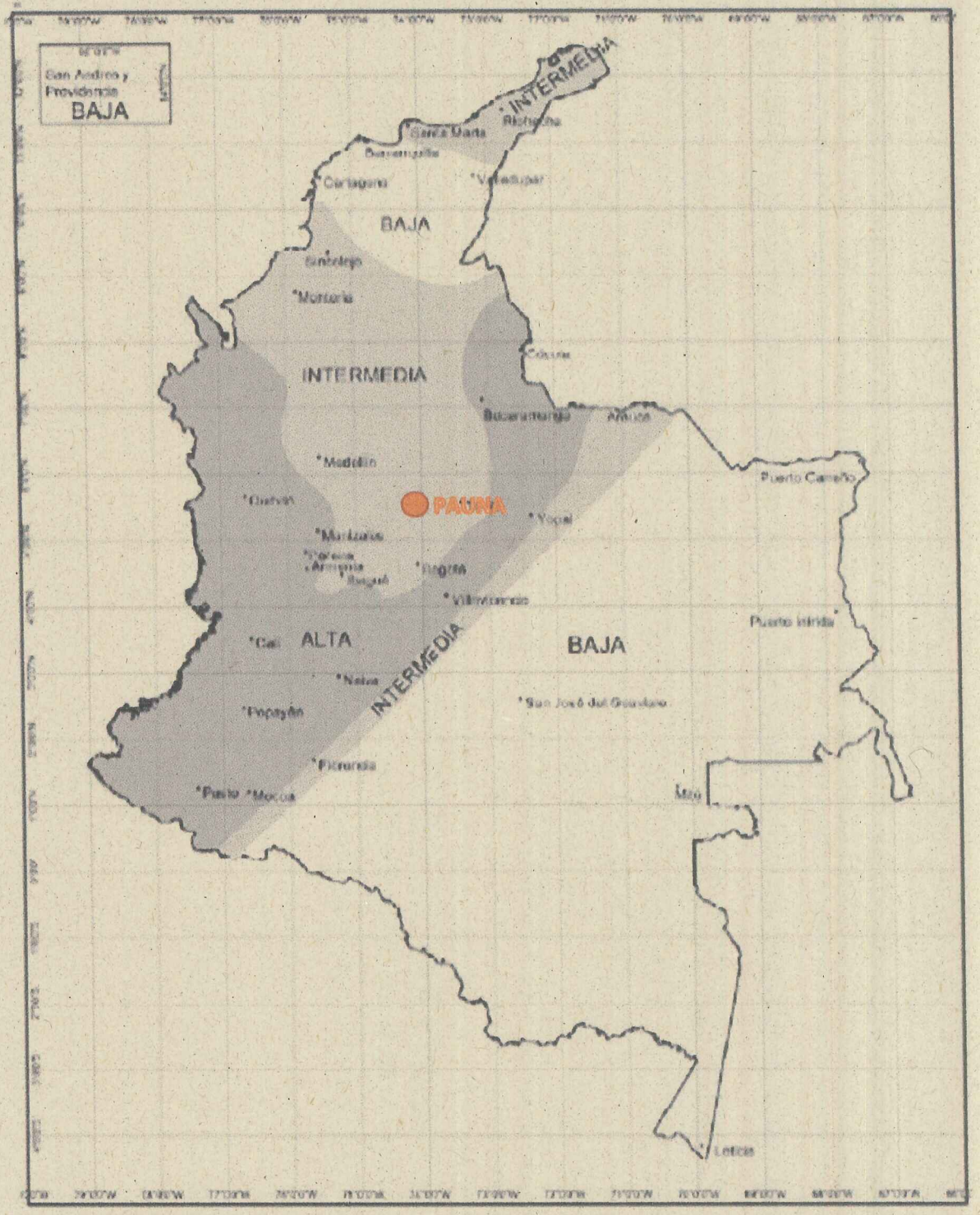
La norma NSR-10 en el titulo A, apéndice A-4, clasifica las zonas y establece valores para diseño de acuerdo a la sismicidad para las cuales fueron establecidas tres categorías: baja, intermedia y alta. Para el municipio de Pauna, Boyacá, el proyecto se encuentra en una zona de amenaza sísmica Intermedia.

Con base en los resultados de resistencia y propiedades fisicomecánicas del suelo identificado y analizado, se determinaron valores que se tendrán en cuenta como factores que se deberán adoptar en el diseño estructural, a menos que el especialista considere necesario realizar un estudio de microzonificación especifica en el área del proyecto. La siguiente tabla muestra el resumen de los parámetros sismorresistentes que aplican para el proyecto, teniendo en cuanta cada una de las zonas definidas anteriormente. (Ver Esquema 11).

Tabla 4. Valores para diseño sismorresistente.

Parámetro	Nomenclatura	Valor
Municipio de Pauna, Boyaca	Código	15531
Amenaza Sísmica	-	Intermedia
Grupo de Uso	-	Grupo III
Coeficiente de Importancia	-	1.00
Coeficiente de aceleración pico efectiva para diseño (Apéndice A-4)	Aa	0.15
Coeficiente de velocidad pico efectiva para diseño (Apéndice A-4)	Av	0.15
Coeficiente de ampliación en periodos cortos (Tabla A.2.4-3)	Fa	1.50
Coeficiente de ampliación en periodos largos (Tabla A.2.4-4)	Fv	2.20
Coeficiente pico efectiva para umbral de daño (Apéndice A-4)	Ad	0.05
Coeficiente pico efectiva reducida para diseño con seguridad (Apéndice A-4)	Ae	0.09
Perfil de suelo (Tabla A.2.4-1)	-	D

Esquema 8. Zona de amenaza sísmica.



Fuente: NSR-10 Esquema A-2-3-1

6.3 Espectros de diseño

Miden la reacción de una estructura ante un sismo que afecte el suelo que la soporta, se analizan para un coeficiente de amortiguamiento crítico del 5%, y tiene en cuenta cambios de tiempos.

T_o = Período de vibración al cual inicia la zona de aceleraciones constantes del espectro de aceleraciones, en Seg.

$$T_o = 0.1\frac{A_v * F_v}{A_a * F_a}$$

T_C = período de vibración, en segundos, correspondiente a la transición entre la zona de aceleración constante del espectro de diseño, para períodos cortos, y la parte descendiente del mismo.

$$T_C = 0.48\frac{A_v * F_v}{A_a * F_a}$$

T_L = período de vibración, en segundos, correspondiente al inido de la zona de desplazamiento aproximadamente constante del espectro de diseño, para períodos largos.

$$T_L = 2.4F_v$$

Tabla 5. Periodos de Vibración

Periodos de Vibración	Tiempo (Seg)
T_o	0.18
T_C	0.85
T_L	4.80

6.3.1 Espectro de aceleraciones: La forma del espectro elástico de aceleraciones, Sa expresada como fracción de la gravedad, para un coeficiente de cinco por ciento (5%) del amortiguamiento crítico, que se debe utilizar en el diseño, se da en la figura A.2.6-1 de la NSR-10.

6.3.2 Espectro de velocidades: La forma del espectro elástico de velocidades en m/s, para un coeficiente de cinco por ciento (5%) del amortiguamiento crítico, que se debe utilizar en el diseño, se da en la figura A.2.6-2 de la NSR-10.

6.3.3 Espectro de desplazamientos — La forma del espectro elástico de desplazamientos en m, para un coeficiente de cinco por ciento (5%) del amortiguamiento crítico, que se debe utilizar en el diseño, se da en la figura A.2.6-3 de la NSR-10.

Tabla 8. Espectros de diseño NSR-10.

ESPECTROS DE DISEÑO A.2.6 NSR - 10			
ESPECTROS	Para periodos de Vibración menores que Tc	Para periodos de Vibración entre T_C y T_L	Para periodos de Vibración Mayores a T_L
Espectro de Aceleraciones (Sa)	$S_a = \frac{1.2A_V * F_V * I}{T}$	$S_a = 2.5A_a * F_a * I$	$S_a = \frac{1.2A_V * F_V * T_L * I}{T^2}$
Espectro de Velocidades (Sv)	$S_V = 1.87A_V * F_V * I$	$S_V = 3.9A_a * F_a * T_L$	$S_V = \frac{1.87A_V * F_V * I * T_L}{T}$
Espectro de Desplazamientos (Sd)	$S_d = 0.30A_V * F_V * T_L$	$S_d = 0.62A_a * F_a * I * T^2$	$S_d = 0.3A_v * F_v * I * T_L$

6.3.4 Condición especial de análisis dinámico: Cuando se utilice el análisis dinámico, tal como se define en el Capítulo A.5 de la NSR-10, para períodos de vibración diferentes del fundamental, en la dirección en estudio, menores de T_o, el espectro de diseño se da en la figura A.2.6-3 de la NSR-10.

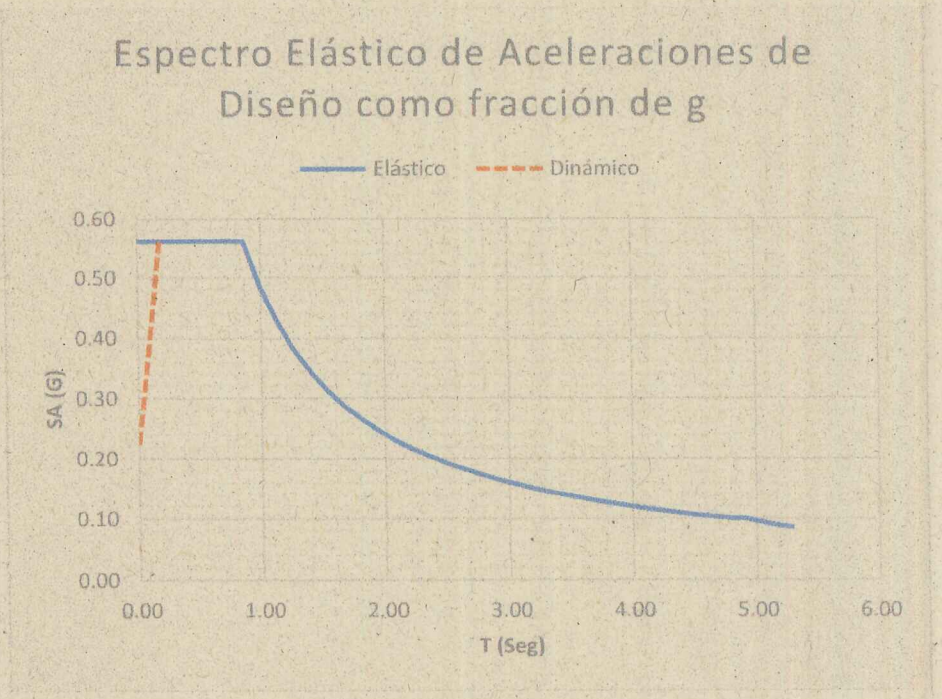
Tabla 7. Espectros de diseño para análisis dinámico NSR-10.

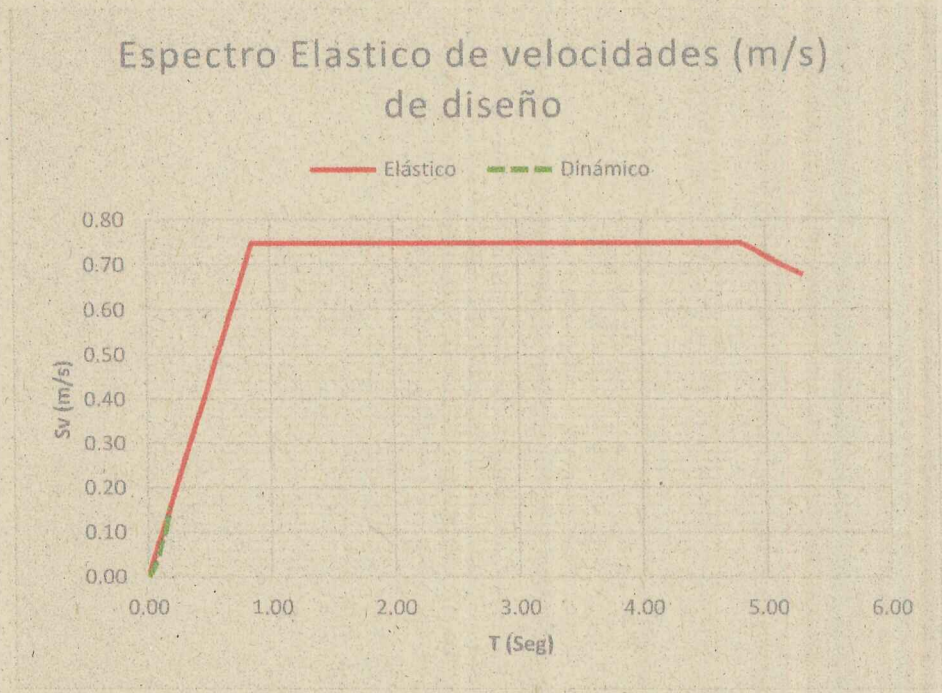
ESPECTROS DE DISEÑO A.2.6 NSR - 10	
ESPECTROS	Períodos de vibración diferentes del fundamental, en la dirección en estudio, menores de To
Espectro de Aceleraciones (Sa)	$S_a = 2.5 * A_a * F_a * I * \left[0.4 + 0.6 * \left(\frac{T}{T_o}\right)\right]$
Espectro de Velocidades (Sv)	$S_v = 3.9 * A_a * F_a * I * T \left[0.4 + 0.6 * \left(\frac{T}{T_o}\right)\right]$
Espectro de Desplazamientos (Sd)	$S_d = 0.62 * A_a * F_a * I * T^2 \left[0.4 + 0.6 * \left(\frac{T}{T_o}\right)\right]$

Tabla 9. Coeficientes estáticos y dinámicos para espectros de diseño NSR-10.

Rango	Periodo de vibración T (Seg)	Espectro de aceleración Elastico Sa(g)	Espectro de aceleración Dinamico Sa(g)	Espectro de Velocidad Elastico Sv(m/s)	Espectro de Velocidad Dinamico Sv(m/s)	Espectro de Desplazamiento Elastico Sd(m/s)	Espectro de Desplazamiento Dinamico Sd(m/s)
0 - To 0 Seg - 0.18 Seg	0.00	0.5625	0.2250	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	0.04	0.5625	0.3094	0.0390	0.0215	0.0003	0.0002
	0.09	0.5625	0.3938	0.0780	0.0546	0.0011	0.0008
	0.13	0.5625	0.4781	0.1170	0.0995	0.0025	0.0021
	0.18	0.5625	0.5625	0.1560	0.1560	0.0044	0.0044
To - Tc 0.18 Seg - 0.85 Seg	0.18	0.5625		0.1560		0.0044	
	0.22	0.5625		0.1955		0.0069	
	0.27	0.5625		0.2350		0.0100	
	0.31	0.5625		0.2746		0.0137	
	0.36	0.5625		0.3141		0.0179	
	0.40	0.5625		0.3536		0.0227	
	0.45	0.5625		0.3931		0.0280	
	0.49	0.5625		0.4326		0.0339	
	0.54	0.5625		0.4722		0.0404	
	0.58	0.5625		0.5117		0.0474	
	0.63	0.5625		0.5512		0.0550	
	0.67	0.5625		0.5907		0.0632	
	0.72	0.5625		0.6302		0.0720	
	0.76	0.5625		0.6698		0.0813	
	0.81	0.5625		0.7093		0.0911	
	0.85	0.5625		0.7488		0.1016	
Tc - TL 0.85 Seg - 4.80 Seg	0.85	0.5625		0.7480		0.1024	
	0.99	0.4851		0.7480		0.1187	
	1.13	0.4265		0.7480		0.1351	
	1.26	0.3805		0.7480		0.1514	
	1.40	0.3434		0.7480		0.1677	
	1.53	0.3129		0.7480		0.1841	
	1.67	0.2874		0.7480		0.2004	
	1.81	0.2658		0.7480		0.2167	
	1.94	0.2472		0.7480		0.2330	
	2.08	0.2310		0.7480		0.2494	
	2.21	0.2168		0.7480		0.2657	
	2.35	0.2042		0.7480		0.2820	
	2.49	0.1930		0.7480		0.2984	
	2.62	0.1830		0.7480		0.3147	
	2.76	0.1740		0.7480		0.3310	
	2.89	0.1658		0.7480		0.3474	
	3.03	0.1584		0.7480		0.3637	
	3.17	0.1516		0.7480		0.3800	
	3.30	0.1453		0.7480		0.3964	
	3.44	0.1396		0.7480		0.4127	
	3.58	0.1343		0.7480		0.4290	
	3.71	0.1293		0.7480		0.4454	
	3.85	0.1248		0.7480		0.4617	
	3.98	0.1205		0.7480		0.4780	
	4.12	0.1165		0.7480		0.4943	
	4.26	0.1128		0.7480		0.5107	
	4.39	0.1093		0.7480		0.5270	
	4.53	0.1060		0.7480		0.5433	
	4.66	0.1029		0.7480		0.5597	
	4.80	0.1000		0.7480		0.5760	
> TL > 4.80 Seg	4.80	0.1000		0.7480		0.576	
	4.90	0.1000		0.7327		0.576	
	5.00	0.0960		0.7181		0.576	
	5.10	0.0922		0.7040		0.576	
	5.20	0.0886		0.6905		0.576	
	5.30	0.0852		0.6774		0.576	

Esquema 9. Espectros de diseño para el proyecto.





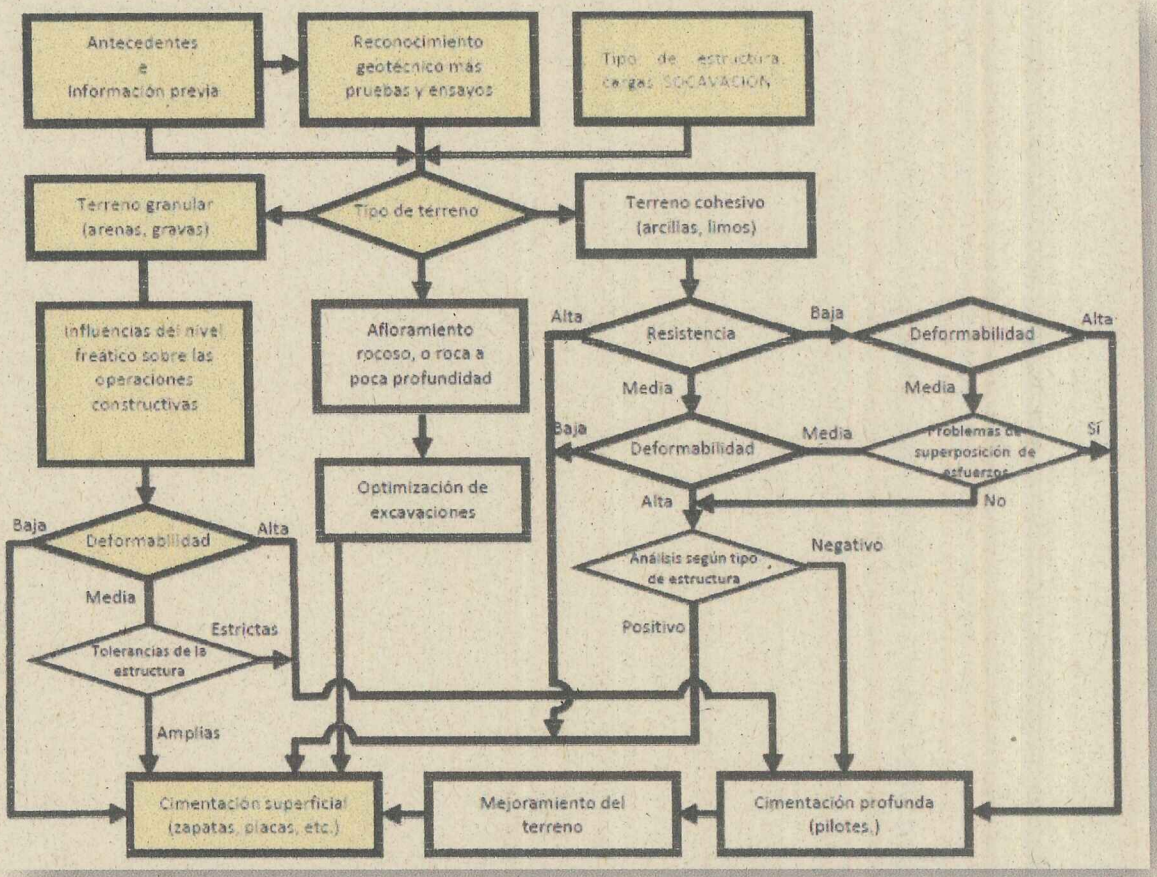

Espectro Elástico de Desplazamientos (m) de Diseño
Elástico
Dinámico
Sd (m)
0.70
0.60
0.50
0.40
0.30
0.20
0.10
0.00
0.00
1.00
2.00
3.00
4.00
5.00
6.00
T (Seg)

7. ALTERNATIVAS DE CIMENTACION

7.1 Consideraciones previas:

De acuerdo a las circunstancias encontradas en cuanto a geotecnia, topográficas y otras del subsuelo explorado en el área del área de construcción se siguió el algoritmo propuesto en el Manual de diseño de cimentaciones superficiales y profundas para carreteras 2012. INVIAS:

Esquema 10. Algoritmo para la selección del tipo de cimentación.



Fuente: Manual de diseño de cimentaciones superficiales y profundas para carreteras 2012. INVIAS.

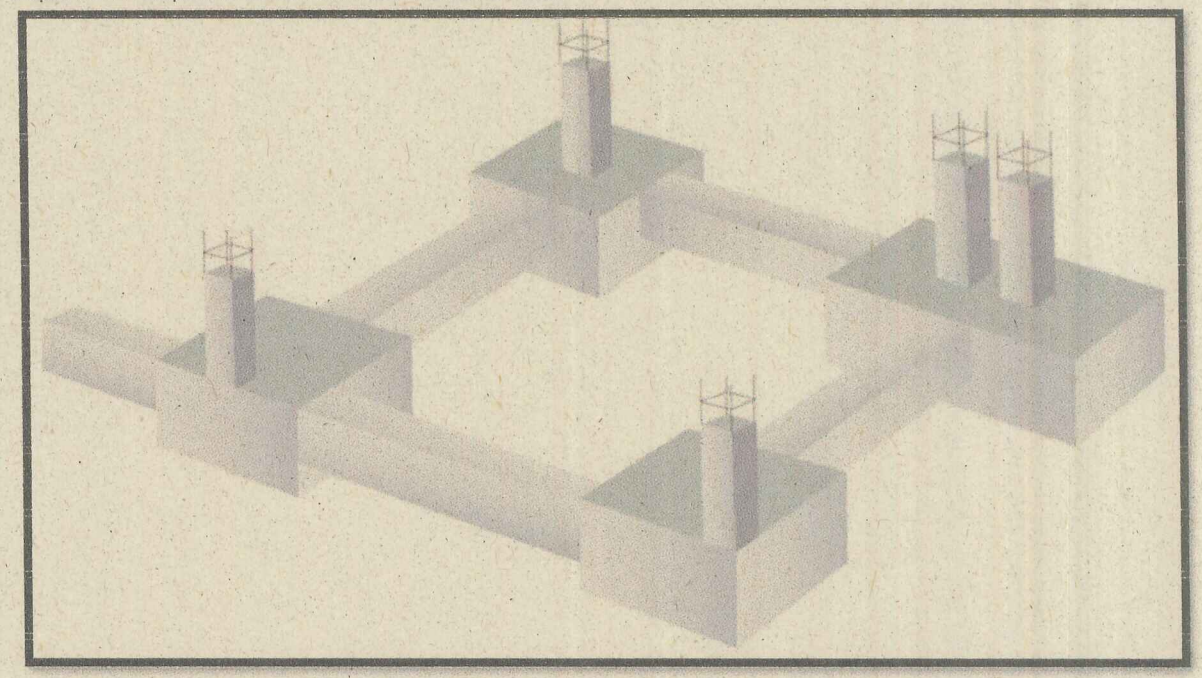
7.2 Alternativas de Cimentación

7.2.1 Alternativa No 1 de cimientos superficiales (Zapatas Conectadas)

Esta alternativa de cimentación se recomienda en el caso de que se utilicen columnas para transmitir las cargas de la estructura a nivel de cimentación, la cual consiste en apoyar las columnas sobre zapatas aisladas en concreto reforzado, unidas entre sí por medio de vigas de rigidez.

En caso de que sea necesario recuperar el nivel de rasante para materializar las unidades de construcción, debe hacerse una compensación en material granular tipo afirmado con base en las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del INVÍAS ARTÍCULO 311 – 13, que brinde mejores características de resistencia y estabilidad, compactando con rana o canguro, humectando el material para lograr la mayor compactación posible.

Esquema 11. Esquema de Cimentación Recomendada



7.3 Calculo de la capacidad portante:

La metodología de cálculo de la capacidad de carga aplicada es la de Hansen y Vesic (como verificación) y la teoría elástica de Timoshenko y Goodier para el cálculo de los asentamientos (Foundation Analysis and Design. Joseph E Bowles, Fifth Edition 1996)

La ecuación general contempla factores de carga, factores de forma (cimiento), profundidad (cimiento) y por inclinación de la carga como se visualiza a continuación:

$$q_{ult} = C' N_C * F_{cs} * F_{cd} * F_{ci} + q * N_q * F_{qs} * F_{qd} * F_{qi} + \frac{1}{2} * \gamma * B * N_\gamma * F_{\gamma s} * F_{\gamma d} * F_{\gamma i}$$

Factores de carga.

$$N_q = tan^2\left(45 + \frac{\emptyset}{2}\right) e^{\pi tan\emptyset}$$

$$N_c = (N_q - 1) cot\emptyset$$

$$N_\gamma = 2(N_q + 1) tan\emptyset$$

Factores de Forma.

$$F_{cs} = 1 + 0.40\left(\frac{B}{L}\right) * \left(\frac{N_q}{N_c}\right)$$

$$F_{qs} = 1 + 0.40\left(\frac{B}{L}\right) * tan\emptyset$$

$$F_{\gamma s} = 1 - 0.40\left(\frac{B}{L}\right)$$

Factores de Profundidad.

Para $\left(\frac{D_f}{B}\right) < 1$

$$F_{cd} = 1 + 0.40\left(\frac{D_f}{B}\right)$$

$$F_{qd} = 1 + 2tan\emptyset(1 - sen\emptyset)^2 * \left(\frac{D_f}{B}\right)$$

$$F_{\gamma d} = 1$$

Para $\left(\frac{D_f}{B}\right) > 1$

$$F_{cd} = 1 + 0.40\left(\frac{D_f}{B}\right) * Tan^{-1}\left(\frac{D_f}{B}\right)$$

$$F_{qd} = 1 + 2tan\emptyset(1 - sen\emptyset)^2 * Tan^{-1}\left(\frac{D_f}{B}\right)$$

$$F_{\gamma d} = 1$$

Factores de Inclinación.

$$F_{ci} = \left(1 - \frac{\psi}{90}\right)^2$$

$$F_{\gamma i} = \left(1 - \frac{\psi}{\varphi}\right)^2$$

$\psi = Inclinación\ de\ la\ carga.$

7.3.1 FACTORES DE SEGURIDAD DIRECTOS E INDIRECTOS

FACTORES DE SEGURIDAD DIRECTOS

Condición	F_{SBM}		F_{SBUM}	
	Diseño	Construcción	Diseño	Construcción
Carga Muerta + Carga Viva Normal	1.50	1.25	1.80	1.40
Carga Muerta + Carga Viva Máxima	1.25	1.10	1.40	1.15
Carga Muerta + Carga Viva Normal + Sismo de Diseño Seudo estático	1.10	1.00 (*)	No se permite	No se permite

FACTORES DE SEGURIDAD INDIRECTOS — El Factor de Seguridad Básico o directo **F_{SB}** definido en la tabla anterior es el factor de seguridad geotécnico real, pero de él se derivan Factores de Seguridad Indirectos que tienen valores diferentes y los cuales se especifican en los diferentes capítulos del Título H de la NSR 10, pero en todo caso se debe demostrar que el empleo de éstos **F_S** indirectos implica Factores de Seguridad Básicos **F_{SB}** iguales o superiores a los valores mínimos **F_{SBM}.**

Condición	F_{SICP} Mínimo
	Diseño
Carga Muerta + Carga Viva Normal	3.0
Carga Muerta + Carga Viva Máxima	2.5
Carga Muerta + Carga Viva Normal + Sismo de Diseño Seudo estático	1.5

Debido que el factor de seguridad **F_{SICP}** es mayor a los factores de seguridad básicos **F_{SB}.** El factor de seguridad seleccionado es 3.0 por lo cual al análisis de capacidad portante que se tiene a continuación la capacidad portante = Capacidad última / 3.0.

CUADRO RESUMEN DE LA CIMENTACION RECOMENDADA

Tabla 10. Cuadro resumen de la cimentación recomendada

Zapata Tipo	DIMENSIONES		
	Base B (m)	Largo L (m)	Profundidad (m)
Zapatas (<=20 Ton)	1,00	1,00	1,00
Zapatas (>20Ton y <30 Ton)	1,20	1,20	1,00
Zapatas (>30Ton y <40 Ton)	1,40	1,40	1,00
Zapatas (>40Ton y <50 Ton)	1,60	1,60	1,00
Zapatas (>50Ton y <60 Ton)	1,70	1,70	1,00
Zapatas (>60Ton y <80 Ton)	1,90	1,90	1,00

La capacidad de carga del terreno en suelo oscila entre 18.28 Ton/m2 a 21.05 Ton/m2, valores que tienen en cuenta un factor de seguridad de 3.00 y que se consideran buenos para la cimentación de las edificaciones.

7.4 Calculo de Asentamientos.

El asentamiento de una cimentación consta de un asentamiento inmediato (o elástico), Se, y un asentamiento por consolidación, Sc. Las cuales se calcularon como se muestra a continuación. De acuerdo a la teoría de Harr (1966), el asentamiento se expresa como:

Asentamiento inmediato:

$$S_e = \frac{Bq_o}{E_s}(1-\mu^2)\alpha$$

Donde $\alpha = \frac{1}{\pi}\left[ln\left(\frac{\sqrt{1+m^2}+m}{\sqrt{1+m^2}-m}\right) + m * ln\left(\frac{\sqrt{1+m^2}+1}{\sqrt{1+m^2}-1}\right)\right]$

$m = {}^{L}/_{B}$

B = Ancho de la cimentación

L = Longitud de la cimentación

A continuación, se presenta calores típicos de parámetros elásticos de varios suelos.

Tabla 11. Parámetros elásticos de algunos suelos.

Tipo de suelo	Módulo de elasticidad, E_s (MN/m²)	Razón de Poisson, μ_s
Arena suelta	10–25	0.20–0.40
Arena de compacidad media	15–30	0.25–0.40
Arena densa	35–55	0.30–0.45
Arena limosa	10–20	0.20–0.40
Arena y grava	70–170	0.15–0.35
Arcilla blanda	4–20	
Arcilla media	20–40	0.20–0.50
Arcilla dura	40–100	

Fuente: Rango de los parámetros del material para calcular el asentamiento inmediato, Braja M. Das. Cap. 11.9

Tabla 12. Cálculo de asentamientos inmediatos.

Módulo de Elasticidad (Es):	3500 Ton/m²
Relación de Poisson (μ)	0.40
Df	1.20
H	∞

$$Asentamientos\ Elasticos\ S_e = \frac{Bq_o}{E_s}(1-\mu^2)\alpha$$

Zapata Tipo	DIMENSIONES		m (B/L)	Carga q_o (Ton/m²)	α	Asentamiento Inmediato Se (mm)	Asentamiento Inmediato Se (cm)
	Base B (m)	Largo L (m)					
Zapatas (<=20 Ton)	1,00	1,00	1,00	20,00	1,12	5,4	0,5
Zapatas (>20Ton y <30 Ton)	1,20	1,20	1,00	20,83	1,12	6,7	0,7
Zapatas (>30Ton y <40 Ton)	1,40	1,40	1,00	20,41	1,12	7,7	0,8
Zapatas (>40Ton y <50 Ton)	1,60	1,60	1,00	19,53	1,12	8,4	0,8
Zapatas (>50Ton y <60 Ton)	1,70	1,70	1,00	20,76	1,12	9,5	1,0
Zapatas (>60Ton y <80 Ton)	1,90	1,90	1,00	22,16	1,12	11,3	1,1

Asentamiento por consolidación primaria:

$$S_C = \frac{C_C H}{1 + e_o} * log \frac{\sigma' + \Delta\sigma'}{\sigma'_o}$$

Donde:

S_C = Asentamiento por consolidación primaria

H = Altura del subestrato *i* o dos veces el ancho de la cimentación.

e_o = Relación de vacíos natural.

σ'= Esfuerzo vertical efectivo de sobrecarga actual en el centro del estrato compresible.

$\Delta\sigma'$ = Presión inducida promedio en el centro del estrato (Calculada por el sistema trapezoidal, Método 2:1).

Tabla 13. Cálculo de asentamientos por consolidación.

DIMENSIONES ZAPATA			H	Cc	e_o	σ'	Metodo 2:1 $\Delta\sigma_z = \frac{qBL}{(B+z)(L+z)}$						Asentamiento
Zapata Tipo	Base B (m)	Largo L (m)					Q	q(T/m2)	B	L	Z	Δσ'	Sc (cm)
Zapatas (<=20 Ton)	1,00	1,00	6,00	0,25	0,50	12,00	20,00	20,00	1,00	1,00	8,5	0,2	0,795
Zapatas (>20Ton y <30 Ton)	1,20	1,00	6,00	0,25	0,50	12,00	30,00	25,00	1,20	1,00	8,5	0,3	1,163
Zapatas (>30Ton y <40 Ton)	1,40	1,00	6,00	0,25	0,50	12,00	40,00	28,57	1,40	1,00	8,5	0,4	1,513
Zapatas (>40Ton y <50 Ton)	1,60	1,00	6,00	0,25	0,50	12,00	50,00	31,25	1,60	1,00	8,5	0,5	1,846
Zapatas (>50Ton y <60 Ton)	1,70	1,00	6,00	0,25	0,50	12,00	60,00	35,29	1,70	1,00	8,5	0,6	2,185
Zapatas (>60Ton y <80 Ton)	1,90	1,00	6,00	0,25	0,50	12,00	80,00	42,11	1,90	1,00	8,5	0,8	2,836

Asentamiento Totales:

$$S_T = S_e + S_C$$

Tabla 14. Cálculo de asentamientos totales.

Zapata Tipo	DIMENSIONES		Asentamiento Inmediato Se (cm)	Asentamiento por consolidación Sc (cm)	Asentamientos Totales (cm)	Criterio NSR-10 Asentamientos totales S_T< 30cm
	Base B (m)	Largo L (m)				
Zapatas (<=20 Ton)	1,00	1,00	0,54	0,79	1,33	Cumple
Zapatas (>20Ton y <30 Ton)	1,20	1,20	0,67	1,16	1,84	Cumple
Zapatas (>30Ton y <40 Ton)	1,40	1,40	0,77	1,51	2,28	Cumple
Zapatas (>40Ton y <50 Ton)	1,60	1,60	0,84	1,85	2,69	Cumple
Zapatas (>50Ton y <60 Ton)	1,70	1,70	0,95	2,19	3,14	Cumple
Zapatas (>60Ton y <80 Ton)	1,90	1,90	1,13	2,84	3,97	Cumple

7.4.1 Evaluación de resultados:

De acuerdo a los cálculos realizados se obtiene que los asentamientos elásticos no superarán los 1.13 cm. Se espera que los asentamientos por consolidación se produzcan en magnitudes bajas de hasta 2.84 cm, la magnitud de los asentamientos totales en los apoyos es de 3.97 cm por lo cual el diseño cumple con el literal H.4.9.2 de la NSR – 10 el cual se relaciona a continuación.

Esquema 12. Límite de asentamientos totales.

H.4.9.2 — LÍMITES DE ASENTAMIENTOS TOTALES — Los asentamientos totales calculados a 20 años se deben limitar a los siguientes valores:

(a) Para construcciones aisladas 30 cm, siempre y cuando no se afecten la funcionalidad de conducciones de servicios y accesos a la construcción.
(b) Para construcciones entre medianeros 15 cm, siempre y cuando no se afecten las construcciones e instalaciones vecinas.

7.5 Módulo De Balasto (Modulo De Reacción De La Subrasante)

A partir de la determinación de parámetros característicos del suelo (módulo de deformación, tensión admisible, etc.) que se relacionan con el módulo de balasto, es conocida, la fórmula de Vesic en función del módulo de deformación o elasticidad (E_s) y coeficiente de Poisson (μ_s) el terreno, que en su forma reducida tiene la siguiente expresión:

A continuación, se dan a conocer los valores del módulo de balasto del suelo:

$$K_s = \frac{E_S}{B * (1 - \mu_S{}^2)}$$

E_s = Módulo de elasticidad del suelo (Ton/m2).

B = Ancho de la cimentación (m).

μ_s = Relación de Poisson del suelo.

Tabla 15. Cálculo del módulo de balasto.

DIMENSIONES ZAPATA				E_S	μ_s	Modulo de Balasto
Zapata Tipo	Base B (m)	Largo L (m)	Area			Ks (Kg/cm^2)
Zapatas (<=20 Ton)	1,00	1,00	1,00	3500	0,40	4,17
Zapatas (>20Ton y <30 Ton)	1,20	1,00	1,20	3500	0,40	3,47
Zapatas (>30Ton y <40 Ton)	1,40	1,00	1,40	3500	0,40	2,98
Zapatas (>40Ton y <50 Ton)	1,60	1,00	1,60	3500	0,40	2,60
Zapatas (>50Ton y <60 Ton)	1,70	1,00	1,70	3500	0,40	2,45
Zapatas (>60Ton y <80 Ton)	1,90	1,00	1,90	3500	0,40	2,19

Los valores del módulo de balasto varían entre 2.19 Kg/cm^2 y 4.17 Kg/cm^2.

8. PROCESO CONSTRUCTIVO Y RECOMENDACIONES PARA LA PROTECCION DE EDIFICACIONES COLINDANTES.

Para la construcción de cimientos y/o la ampliación de los existentes, la incorporación de vigas de amarre a nivel de cimentación si estas no existieren. Para evitar inestabilidad durante la intervención, se sugiere realizar las siguientes recomendaciones:

- Toda la construcción deberá apuntalarse.
- Las zapatas se intervendrán de forma intercalada.
- Se realizará un cruce de vigas a la vez.

Para las excavaciones de las zapatas se recomienda:

1. Realizar la excavación manual, hasta la profundidad prestablecida.

2. En caso de que la excavación se vaya a dejar abierta por un periodo considerable, será necesario proteger las caras de los taludes mediante la colocación de un entibado de madera o metálico.

3. Si se llega a observar algún síntoma de inestabilidad, la zona deberá apuntalarse logrando la reacción necesaria contra las obras de cimentación ya construidas.

4. Disponer en obra de varas y limatones con los que se pueda entibar y apuntalar las paredes de la excavación en caso necesario.

El constructor responsable de la obra tomará en cuenta estas recomendaciones y adicionará las que crea conveniente, para lograr una obra segura enmarcada dentro de los postulados de las normas vigentes

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

TIPO DE CIMENTACION SELECCIONADA

- La cimentación consistirá en cimientos superficiales mediante zapatas conectadas: Zapatas unidas por una viga de conexión rígida.

Zapata Tipo	DIMENSIONES		
	Base B (m)	Largo L (m)	Profundidad (m)
Zapatas (<=20 Ton)	1,00	1,00	1,00
Zapatas (>20Ton y <30 Ton)	1,20	1,20	1,00
Zapatas (>30Ton y <40 Ton)	1,40	1,40	1,00
Zapatas (>40Ton y <50 Ton)	1,60	1,60	1,00
Zapatas (>50Ton y <60 Ton)	1,70	1,70	1,00
Zapatas (>60Ton y <80 Ton)	1,90	1,90	1,00

De acuerdo al estudio geotécnico se ha propuesto una cimentación a un nivel de N -1.30m para un perfil de suelo D. La capacidad portante admisible calculada para el suelo encontrado se encuentra desde 18.28 Ton/m2 a 21.05 Ton/m2.

MEJORAMIENTO DEL TERRENO

- Se recomienda realizar un mejoramiento del terreno bajo la cimentación de espesor mínimo 0.30m con material de afirmado. El material recomendado para estos rellenos, es un afirmado tipo INVIAS, el cual debe cumplir técnicamente con las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) 2013.

DESCAPOTES, EXCAVACIONES Y RELLENOS

- Aunque no se requieren efectuar excavaciones importantes para la fundación de la cimentación y de la estructura en general, estas se deben realizar únicamente manual o mecánicamente, en período seco y con taludes verticales, debido a la resistencia al corte media que tiene el perfil de suelo explorado.

- Los posibles rellenos a construir por encima de la cimentación o todo aquel que se requiera construir, se debe efectuar con materiales adecuados, en capas de espesor máximo de 0,15 m, totalmente niveladas, construidas técnicamente y compactadas mínimo al 95% del proctor modificado. El material recomendado para estos rellenos, es un afirmado tipo INVIAS, el cual debe cumplir técnicamente con las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) 2013.

CAMBIO EN LAS CARGAS DE SERVICIO

- Si se realizan ajustes a las cargas de la estructura, se debe hacer un chequeo detallado de esfuerzos y asentamientos para tomar la decisión final sobre la alternativa de fundación y/o realizar los cambios pertinentes.

RECOMENDACIONES PARA LA CONSTRUCCION DE LA CIMENTACION

- El concreto que se encuentre en contacto con el suelo natural tendrá un espesor de recubrimiento mínimo de 7 cm.

- La construcción de la cimentación se debe hacer preferiblemente en época de verano para evitar alteraciones y remoldeos en la base de la cimentación, problemas de inestabilidad en las excavaciones e incrementos de caudales de evacuación.

- En el proceso de excavación no se debe utilizar explosivos detonantes para volar bloques compactos de cualquier tipo de material, debido a que la utilización de explosivos causa inestabilidad en los taludes del

terreno y perfil del subsuelo, se debe recurrir a métodos manuales o mecánicos.

- Las excavaciones para la cimentación se pueden efectuar con taludes verticales. El procedimiento de excavación y construcción de la cimentación debe ser lo más rápido posible con el fin de controlar el rebote de estratos en el fondo y paredes de la excavación.

- Bajo ninguna circunstancia se debe permitir la descarga de aguas superficiales en las excavaciones una vez realizadas las mismas.

- Se recomienda programar una visita del Ingeniero Geotecnista o de Suelos durante la construcción de la cimentación, con el fin de inspeccionar el proceso de excavación y aprobación del suelo de fundación.

10. LIMITACIONES

1. Los resultados obtenidos en este estudio, las conclusiones y recomendaciones dadas, están basados en las propiedades geomecánicas del subsuelo explorado mediante pruebas de campo y laboratorio, lo mismo que en las características geométricas, estructurales, geológicas, topográficas e hidrológicas, cualquier modificación posterior por: el diseñador, estructuralista, propietario o constructor, condiciones climáticas extremas como altas precipitaciones y altas temperaturas, cambios del uso del suelo y sismos, implicará nuevas condiciones de estabilidad y deformación que deben ser evaluadas.

2. Si durante el diseño, cálculo y construcción de la cimentación, aparecen circunstancias no previstas en este informe, se debe avisar inmediatamente al Ingeniero Geotecnista o de Suelos para buscar las soluciones y recomendaciones más convenientes.

3. El piso de cimentación debe ser aprobado por el Ingeniero Geotecnista o de Suelos.

Cordialmente,

Ing. JAIME ANDRES BERNAL PEDROZA
Ingeniero Civil – Especialista en Geotecnia Vial
M.P 15202 – 251244 BYC
Consejo Profesional Nacional de Ingeniería - COPNIA