

ESTUDIO DE MECANICA DE SUELO PARA PUENTES PEATONALES QUE CONECTAN LAS AVENIDAS IGNACIO MORONES PRIETO Y CONSTITUCIÓN EN MONTERREY, N.L.

A.- GENERALIDADES

De acuerdo a su solicitud nos es grato presentar a su atenta consideración informe de Mecánica de Suelos, con el objeto de proporcionar capacidad de carga, profundidad de desplante y clasificación de suelos, para la construcción de un (1) puente peatonal sobre el Río, que será localizado en el cruce del Río Santa Catarina, al Sur de la Torre Rise, coordenadas 25°40'15.69"N; 100°20'52.33"O; correspondiente al municipio de Monterrey, Nuevo León.

Esperando haber proporcionado la información requerida, nos es grato quedar de Usted.

B.- OBJETIVO.

Proporcionar capacidad de carga, clasificación de suelos y profundidad de desplante para que se pueda proyectar las cimentaciones de su proyecto.

C.- EXPLORACIÓN.

El terreno en estudio se localiza en el cruce del Río Santa Catarina, al Sur de la Torre Rise, coordenadas 25°40'15.69"N; 100°20'52.33"O; correspondiente al municipio de Monterrey, Nuevo León.

Para la realización del estudio de Mecánica de Suelos, y de acuerdo a su solicitud, se realizaron y ubicaron con nuestro personal dos (2) exploraciones denominadas Sondeos con Máquina Perforadora (S.M.P's) con profundidad de exploración máxima de 30.00 m, en el que solamente fue realizado un (1) sondeo de lado Norte del puente, quedando pendiente el segundo sondeo de lado Sur.

Topográficamente hablando el terreno presenta desniveles en varias direcciones, por lo tanto, es importante revisarlo con un especialista en esta rama.

La localización e identificación del S.M.P. se puede apreciar en el croquis de la figura No. 5, hoja No. 14.

Utilizando el manual de Diseño Sísmico de la Comisión Federal de Electricidad y la Regionalización sísmica de la República Mexicana, el predio se ubica en la Zona Sísmica A. ver figura No. 1 siguiente:

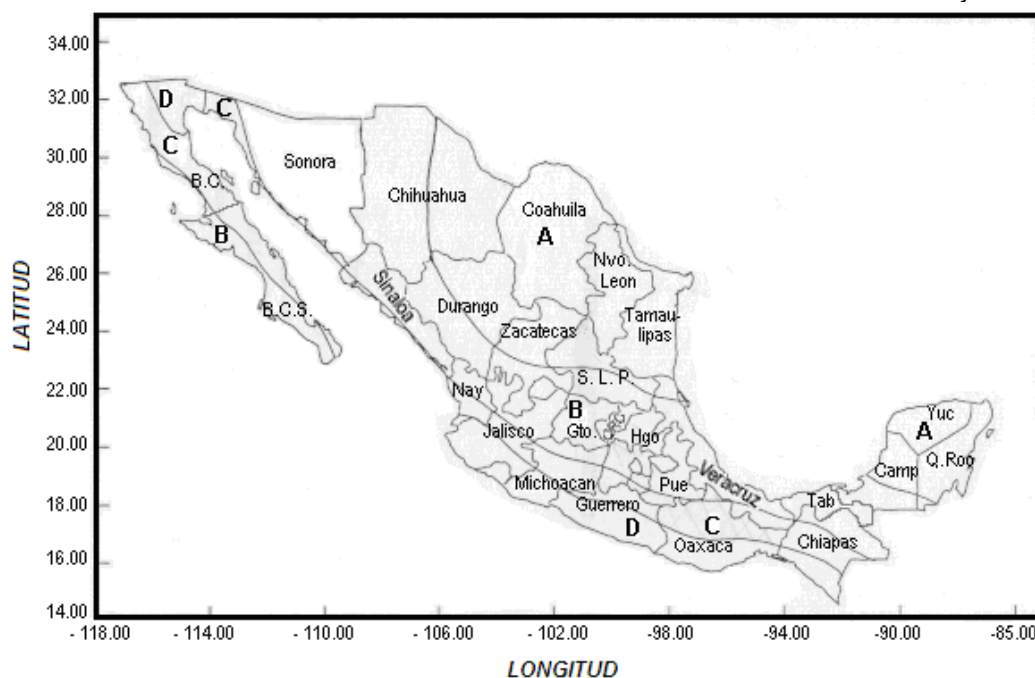


Figura No. 1.- Regionalización sísmica de la República Mexicana.

Zona sísmica	Tipo de terreno	Ta (s)	Tb (s)	Tc (s)	k	r
A	I	0.1	0.6	2.0	1.5	½
	II	0.2	1.4	2.0	1.0	2/3
	III	0.3	2.0	2.0	0.5	1
B	I	0.1	0.6	2.0	1.5	½
	II	0.2	1.4	2.0	1.0	2/3
	III	0.3	2.0	2.0	0.5	1
C	I	0.1	0.6	2.0	1.5	½
	II	0.2	1.4	2.0	1.0	2/3
	III	0.2	2.0	2.0	0.5	1
D	I	0.1	0.6	2.0	1.5	½
	II	0.1	1.4	2.0	1.0	2/3
	III	0.1	2.0	2.0	0.5	1

Tabla No. 1.- Datos de espectro de diseño sísmico.

De acuerdo a su rigidez la Comisión Federal de Electricidad considera los siguientes tipos de terrenos:

Tipo I.- Terreno firme o rocoso que no presentan amplificaciones dinámicas: Depósito de suelo con $V_s \geq 720$ m/s o $H_s \leq 2.0$ m.

Tipo II.- Terreno formado por suelos en que se presentan amplificaciones dinámicas intermedias: Depósito de suelo con $V_c \leq V_s < 720$ m/s y $H_s > 2.0$ m o $H_s > H_c$ y $V_s < 720$ m/s.

Tipo III.- Terreno formado por suelos en que se presentan grandes amplificaciones dinámicas: Depósito de suelo con $V_s < V_c$ m/s y 2.0 m $< H_s \leq H_c$ m.

Atendiendo a las características de los materiales dónde se apoyará la cimentación, el subsuelo del área se clasifica como suelo **Tipo I.**

Tipo de suelo	Número de golpes (SPT)	v_s (m/s)	γ_s (t/m ³)
Roca	–	> 720	2.0
Suelo firme y denso	> 50	360	1.8
Suelo medio	15 – 50	180	1.5
Suelo blando	< 15	90	1.3

Tabla No. 2.- Velocidad de ondas de corte a partir del número de golpes de la prueba de penetración estándar (SPT).

D.- MUESTREO Y ENSAYES.

Para conocer las propiedades de resistencia al esfuerzo cortante de los suelos en estudio, se ejecutó el ensaye de Penetración Estándar, de acuerdo con la Norma A.S.T.M. D 1586-84 en el S.M.P., con el objeto de determinar el valor de "N" en el estrato de suelo ensayado.

El ensaye de Penetración Estándar consiste en hincar en el suelo un tubo partido de 50 mm de diámetro exterior y 35 mm de diámetro interior, por medio de un martinete de 63.5 Kg. de masa, que se deja caer desde 76 cm. de altura. El muestreador se hince 450 mm en el suelo y se registra el número de golpes para los últimos 300 mm de penetración. A éste número se le llama resistencia a la penetración estándar o valor "N".

Así mismo se obtuvieron muestras con Barril Doble Giratorio con máquina perforadora de acuerdo con la Norma A.S.T.M. D 2113-08 en cada S.M.P., con el objeto de obtener los parámetros de porcentaje de muestra recuperada (R.E.C.) y valores de Calidad de la roca (R.Q.D.) en los estratos localizados "in situ".

Los valores de "R.E.C." y de "R.Q.D." obtenidos se pueden apreciar en las columnas estratigráficas en la figura No. 4, hoja No. 13.

Los valores "N" obtenidos se pueden apreciar en las columnas estratigráficas de las figuras No. 2 a 4, hojas No. 11 a 13.

E.- CLASIFICACIÓN DE SUELOS Y ESTRATIGRAFÍA.

En el S.M.P., nuestro personal técnico inspeccionó de manera visual y al tacto los suelos explorados de acuerdo a la identificación de suelos en campo, que establece el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.) y cuyos valores se pueden visualizar en la columna estratigráfica de este informe.

Durante el trabajo de exploración y muestreo, se localizó nivel de aguas freáticas (N.A.F.) a una profundidad de 11.00 m.

Cabe señalar que los suelos explorados y muestreados no presentaron olor característico a hidrocarburo u otro contaminante químico identificable por su olor.

F.- CAPACIDAD DE CARGA.

De acuerdo con las condiciones estratigráficas del terreno, resultados de los ensayos ejecutados y tipo de construcción que pretenden realizar, nos permitimos indicar que el cálculo para el diseño de la cimentación lo pueden efectuar de acuerdo con las siguientes alternativas:

Pilas trabajando por punta.

La capacidad de carga ultima por punta, en suelos mixtos, para pilas y pilotes puede determinarse con la ecuación:

$$Q_{pu} = (c N'_c + \gamma D_f N'_q) A_s$$

Dónde:

Q_{pu} = Capacidad de carga última por punta.

c = Resistencia al corte no drenada del suelo en el desplante de la pila.

N'_c, N'_q = Factores de capacidad de carga en función del ángulo de fricción interna.

γ = Peso volumétrico del suelo.

D_f = Profundidad de desplante de la pila.

A_s = Área de la sección transversal de la pila.

La capacidad de carga admisible (Q_{adm}) se tiene que:

$$Q_{adm} = Q_u / F.S.$$

F.1. Basados en un diseño de cimentación considerando pilas circulares hasta una profundidad de **24.00 m.** en el estrato de lutita color café con verde, nos permitimos indicar que el cálculo para el diseño de las cimentaciones lo pueden efectuar de acuerdo con lo indicado en la tabla No. 3 siguiente:

Tabla No. 3

Diámetro del fuste (m)	Capacidad de carga admisible trabajando por punta (Ton)
0.40	40.57
0.50	63.39
0.60	91.28
0.80	162.28
1.00	253.56
1.20	365.12
1.40	496.98
1.50	570.51
1.60	649.11

F.2. Basados en un diseño de cimentación considerando pilas circulares hasta una profundidad de **28.00 m.** en el estrato de lutita color gris, nos permitimos indicar que el cálculo para el diseño de las cimentaciones lo pueden efectuar de acuerdo con lo indicado en la tabla No. 4 siguiente:

Tabla No. 4

Diámetro del fuste (m)	Capacidad de carga admisible trabajando por punta (Ton)
0.40	47.64
0.50	74.44
0.60	107.19
0.80	190.57
1.00	297.76
1.20	428.77
1.40	583.61
1.50	669.96
1.60	762.27

Para el cálculo de la capacidad de carga de pilas trabajando por punta, se basó en la teoría de Meyerhof y adoptando un factor de seguridad de tres (3).

G.- MÓDULO DE REACCIÓN HORIZONTAL, (Ks).

Para el cálculo del módulo de reacción horizontal del suelo considerando suelos puramente friccionantes se calcula de la manera siguiente de acuerdo al manual de cimentaciones profundas de la *Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, A.C.* (ahora Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica):

$$K_s = (nh)z/D$$

Dónde:

K_s = coeficiente de reacción horizontal a la profundidad z , t/m^3 .

z = profundidad, m.

D = diámetro del pilote, m.

nh = constante relacionada con la compacidad del suelo, ver tabla No. 5 siguiente:

Tabla No. 5

Compacidad del suelo	$nh, (t/m^3)$	
	Arriba del NAF	Abajo del NAF
<i>suelta</i>	230	130
<i>media</i>	680	450
<i>compacta</i>	1800	1100

A continuación, se presenta las tablas de los valores de módulo de reacción horizontal para diferentes diámetros de las pilas:

Tabla No. 6
S.M.P. No. 1

nh	Profundidad m	largo de la Pila m	Modulo de reacción Horizontal (Ton/m3)								
			Diametro de la pila (m)								
			0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.5	1.6
230	0.0	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
230	1.0	1.0	575	460	383	288	230	192	164	153	144
230	2.0	2.0	1,150	920	767	575	460	383	329	307	288
230	3.0	3.0	1,725	1,380	1,150	863	690	575	493	460	431
230	4.0	4.0	2,300	1,840	1,533	1,150	920	767	657	613	575
230	5.0	5.0	2,875	2,300	1,917	1,438	1,150	958	821	767	719
230	6.0	6.0	3,450	2,760	2,300	1,725	1,380	1,150	986	920	863
230	7.0	7.0	4,025	3,220	2,683	2,013	1,610	1,342	1,150	1,073	1,006
230	8.0	8.0	4,600	3,680	3,067	2,300	1,840	1,533	1,314	1,227	1,150
230	9.0	9.0	5,175	4,140	3,450	2,588	2,070	1,725	1,479	1,380	1,294
230	10.0	10.0	5,750	4,600	3,833	2,875	2,300	1,917	1,643	1,533	1,438
230	11.0	11.0	6,325	5,060	4,217	3,163	2,530	2,108	1,807	1,687	1,581
130	11.0	11.0	3,575	2,860	2,383	1,788	1,430	1,192	1,021	953	894
130	12.0	12.0	3,900	3,120	2,600	1,950	1,560	1,300	1,114	1,040	975
130	13.0	13.0	4,225	3,380	2,817	2,113	1,690	1,408	1,207	1,127	1,056
130	14.0	14.0	4,550	3,640	3,033	2,275	1,820	1,517	1,300	1,213	1,138
450	15.0	15.0	16,875	13,500	11,250	8,438	6,750	5,625	4,821	4,500	4,219
450	16.0	16.0	18,000	14,400	12,000	9,000	7,200	6,000	5,143	4,800	4,500
450	17.0	17.0	19,125	15,300	12,750	9,563	7,650	6,375	5,464	5,100	4,781
450	18.0	18.0	20,250	16,200	13,500	10,125	8,100	6,750	5,786	5,400	5,063
450	19.0	19.0	21,375	17,100	14,250	10,688	8,550	7,125	6,107	5,700	5,344
1100	20.0	20.0	55,000	44,000	36,667	27,500	22,000	18,333	15,714	14,667	13,750
1100	21.0	21.0	57,750	46,200	38,500	28,875	23,100	19,250	16,500	15,400	14,438
1100	22.0	22.0	60,500	48,400	40,333	30,250	24,200	20,167	17,286	16,133	15,125
1100	23.0	23.0	63,250	50,600	42,167	31,625	25,300	21,083	18,071	16,867	15,813
1100	24.0	24.0	66,000	52,800	44,000	33,000	26,400	22,000	18,857	17,600	16,500
1100	25.0	25.0	68,750	55,000	45,833	34,375	27,500	22,917	19,643	18,333	17,188
1100	26.0	26.0	71,500	57,200	47,667	35,750	28,600	23,833	20,429	19,067	17,875
1100	27.0	27.0	74,250	59,400	49,500	37,125	29,700	24,750	21,214	19,800	18,563
1100	28.0	28.0	77,000	61,600	51,333	38,500	30,800	25,667	22,000	20,533	19,250
1100	29.0	29.0	79,750	63,800	53,167	39,875	31,900	26,583	22,786	21,267	19,938
1100	30.0	30.0	82,500	66,000	55,000	41,250	33,000	27,500	23,571	22,000	20,625

H.- RECOMENDACIONES Y OBSERVACIONES.

- H.1. Las profundidades a que se hace referencia en este informe, son con respecto al nivel superior que presentó el terreno al momento de la exploración y muestreo; por lo que si su proyecto contempla realizar algún movimiento de suelos o de materiales deberá de considerar éste para no afectar de manera negativa la profundidad de desplante de las nuevas cimentaciones.
- H.2. Las excavaciones para las cimentaciones no deberán quedar expuestas a la acción del agua de ningún tipo que modifique de manera negativa las características de resistencia al esfuerzo cortante del suelo.
- H.3. Todas las tuberías que transporten algún fluido deberán ser diseñadas, construidas y protegidas, con el objeto de que se eviten fugas que incrementen el contenido de agua en el suelo y modifiquen de manera negativa su resistencia al esfuerzo cortante.
- H.4. Se deberá proceder antes del colado de las pilas y pilotes, a la inspección directa o indirecta del fondo de la perforación para verificar que las características del estrato resistente propuesto son satisfactorias o ha sido alcanzado éste y que todos los azolves han sido removidos del fondo de la perforación previa.
- H.5. El colado se realizará por procedimientos que minimicen la segregación del concreto y evitar la contaminación del mismo.

- H.6. Deberá garantizarse que todo el volumen dispuesto por la pila o pilote, sea ocupada por concreto a fin de evitar huecos.
- H.7. Para proceder al colado del concreto se podrá emplear el tubo tremie para evitar la segregación y contaminación del concreto, dicho tubo deberá tener un diámetro por lo menos seis (6) veces mayor que el tamaño máximo de agregado grueso.
- H.8. Un especialista en estructuras con amplia experiencia en esta rama de la ingeniería deberá calcular las trabes o elementos para distribuir las cargas entre las pilas de cimentación y el resto de la estructura, así como el acero de refuerzo necesario para que trabajen en conjunto los cabezales de las pilas con las trabes de cimentación.
- H.9. La capacidad de carga por cada pila o pilote se reducirá si las pilas o pilotes están muy juntas (esto en caso de ser suelo fino), por lo que de una forma general el espaciamiento mínimo entre centros no deberá ser menor a tres (3) veces el diámetro de la pila o pilote, esta condición deberá ser analizada por un especialista en estructuras para contemplar el criterio apropiado que debe utilizar para la separación mínima entre pilas como lo contempla la siguiente tabla No. 7:

Tabla No. 7

Espaciamiento en diámetro de la pila	Factor de reducción
10	1.00
8	0.95
6	0.90
5	0.85
4	0.75
3	0.65
2.5	0.55

- H.10. Es necesario que se verifique que las cimentaciones se encuentren alojadas y/o desplantadas sobre los estratos de suelos señalados en este informe y en caso de existir dudas en cuanto a las características de los materiales indicados, que se lleve a cabo una revisión de los mismos antes de ejecutar las cimentaciones, por un especialista en este campo.
- H.11. Recomendamos que todos los suelos de los rellenos por emplear en la construcción, sean materiales recomendados por un departamento de reconocido prestigio en el área de verificación y control de materiales de construcción y/o vías terrestres, debiéndose respetar el método de colocación y espesor de las capas que el departamento especifique y también se deberá llevar un estricto control en el método de colocación y contenidos de agua de los rellenos con el objeto de alcanzar el porcentaje mínimo del patrón de compactación sugerido que se adopte al tipo de suelo por usar.
- H.12. Se recomienda dotar de un eficiente drenaje pluvial a las aguas provenientes de escurrimientos de niveles superiores (terrenos colindantes, techos, construcciones colindantes posteriores a su proyecto, bajantes pluviales proyectadas, etc.).

- H.13. Se recomienda realizar un estudio hidráulico e hidrológico con el fin de identificar problemas y dar solución a la eliminación eficiente de las aguas superficiales, así como de aquellas aguas que los materiales de relleno pudieran captar por las aportaciones propias y externas.
- H.14. Cualquier discrepancia que se presente durante la construcción de las cimentaciones con lo reportado en el presente informe se nos deberá informar a la brevedad a fin de dar las recomendaciones pertinentes.
- H.15. La información contenida en éste informe de Mecánica de Suelos, es válida únicamente en el sitio de exploración y muestreo, por lo que, no deberá extrapolarse tal información local a otros sitios contiguos.

