

MMA

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS

PUENTE "PALMA SOLA"

Km. 11+215

LIBRAMIENTO DE ACCESO AL

PUERTO DE TUXPAN



INDICE

1. INTRODUCCIÓN

2. DESCRIPCIÓN DEL SITIO Y DEL PROYECTO
 - Ubicación
 - Geología
 - Clima
 - Hidrología
 - Ubicación Sísmica

3. TRABAJOS DE CAMPO
 - Ubicación de Sondeos (Planta)
 - Registros de perforación de campo

4. ENSAYES DE LABORATORIO
 - Pruebas de laboratorio
 - Granulometría
 - Contenido de agua
 - Limites
 - Densidad de sólidos

5. ESTRATIGRAFÍA Y PROPIEDADES
 - Perfil Estratigráfico

6. ANÁLISIS DE LA CIMENTACIÓN
 - Espectros de Diseño Sísmico



- Análisis de Cimentación Profunda

7. REFERENCIAS

ANEXO I. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

ANEXO II. INFORME FOTOGRÁFICO



1. INTRODUCCIÓN

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) a través de Carreteras Federales, tiene como objetivo principal la modernización de sus caminos con el fin de poder brindar seguridad, confort, así como beneficios en costo – tiempo a sus usuarios, para lo cual se esta realizando el Proyecto del Libramiento de Acceso al Puerto de Tuxpan, como parte integral de este, se están realizando los estudio en campo y gabinete para las estructuras que requiere dicho camino.

Siendo el caso del denominado Puente “**Palma Sola**”, el cual se ubica en el **km. 11+215** del Libramiento de Acceso del Puerto de Tuxpan, en el Estado de Veracruz, el cual fue encargado a la Empresa: **MMA Proyectos Ejecutivos de Infraestructura y Diseño Urbano.**

Como parte de los estudios para el proyecto constructivo de dicho Entronque, se realizó una visita a campo para determinar las condiciones actuales del cruce en estudio.

Posteriormente se procedió a realizar el levantamiento topográfico y cuya alternativa de solución, se definió mediante un puente de tres claros de 22.333 mts, 4 Apoyos y una longitud total de 67.00 mts.



Una vez seleccionada la alternativa de solución se procedió a ubicar en campo la estructura de proyecto, así como los sitios de los sondeos de exploración, para efectuar el estudio de mecánica de suelos, los cuales se ubicaron en los siguientes cadenamientos:

SM-1. - KM. 11+181.50

SM-2. - KM. 11+222.00

SM-3.- KM. 11+248.50

Dicho estudio tiene como objetivo principal: Determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo de sustentación, especialmente en la zona de desplante, obteniendo su capacidad portante, para poder proporcionar las recomendaciones necesarias para elegir el tipo de cimentación más adecuado al proyecto ejecutivo del puente.

Para fines de presentación el contenido de este informe se ha dividido en seis partes, como sigue: los incisos 2 a 5 describen las características del sitio, los trabajos de campo, ubicación de sondeos y ensayos de laboratorio efectuados para el estudio, así como la estratigrafía y propiedades del subsuelo determinadas.

Con base en lo anterior, en el Inciso 6 se propone y analiza la cimentación más adecuada del proyecto.



En e Inciso 7, se mencionan las referencias bibliográficas, así como del material obtenido de algunas dependencias, para el apoyo y realización del presente estudio.

Por último, en el anexo I se presentan las conclusiones y recomendaciones de construcción. El estudio se complementa con dos anexos: Figuras e Informe Fotográfico.



2. DESCRIPCIÓN DEL SITIO

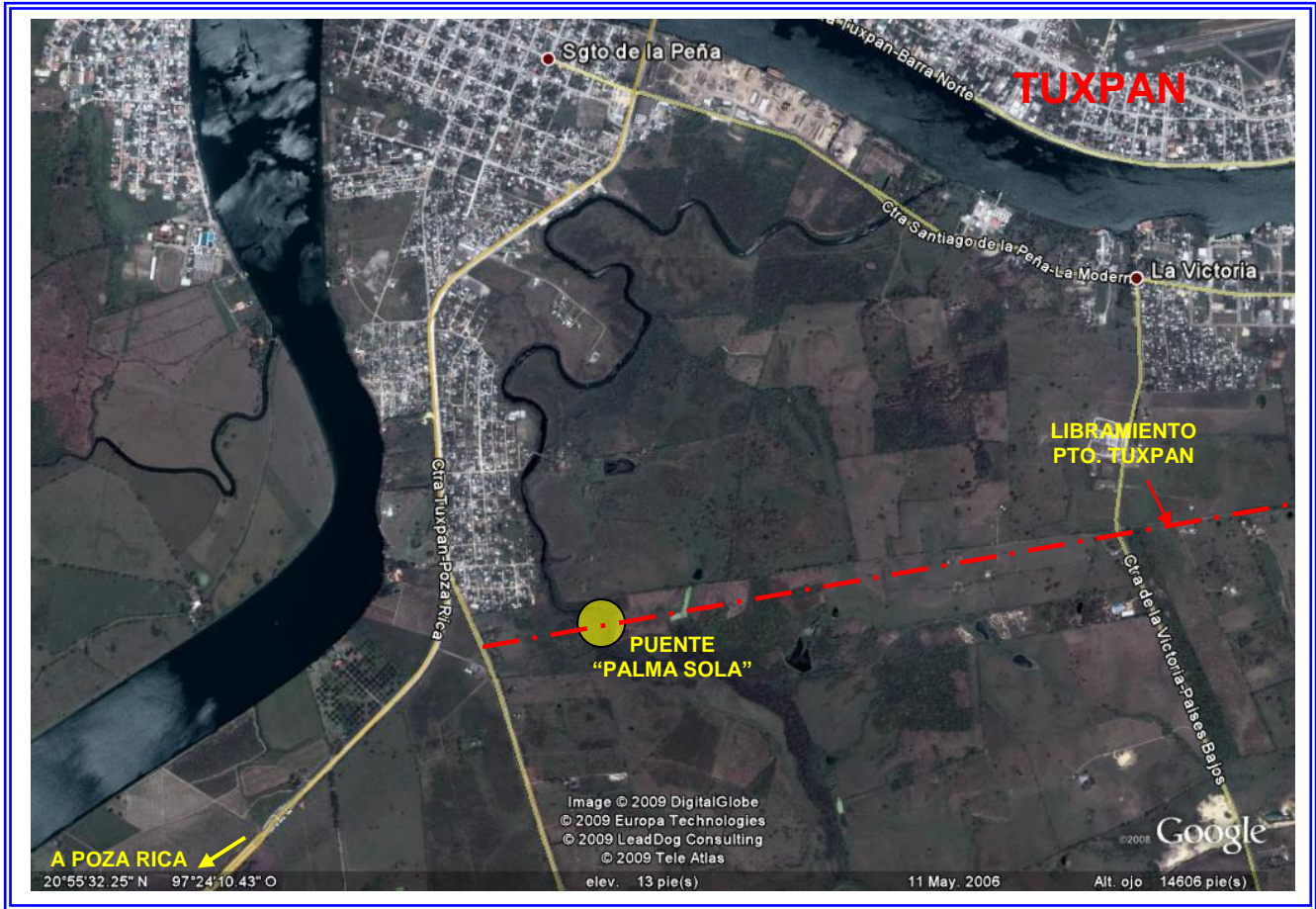
Ubicación:

El Puente en estudio se encuentra ubicado cercano a la población de Tuxpan, en el Estado de Veracruz, sobre el **Km. 11+215**, del Libramiento de acceso al Puerto de Tuxpan, la cual entronca con la Autopista de Cuota: Tuxpan – Poza Rica. La topografía de la zona es considerada como de lomerío.

Geográficamente se localiza en las Coordenadas 20°55'34" Latitud Norte y 97°24'10" de Longitud Oeste.

Colinda al Noroeste con San Luís Potosí y Tamaulipas, al Noreste con el Golfo de México, al sur con el Estado de Puebla y al Oeste con el Estado de Hidalgo.

A continuación se presentan los croquis de micro y macro localización del sitio en estudio.



Croquis de Microlocalización, Fuente de Información: Ortofoto obtenida de Google Heart, Versión.- 4.3.7284.3916 (beta)



Croquis de Macrolocalización, Fuente de Información: Atlas de carreteras de México, Esc: 1:2'800.000, Guía Roji S.A. de C.V. Edición 2008



Geología:

El estado ha quedado comprendido dentro de siete provincias geológicas, que son: Llanura Costera del Golfo Norte, Sierra Madre Oriental, Eje Neovolcánico, Sierra Madre del Sur, Cordillera Centroamericana y Sierras de Chiapas y Guatemala; cada una de ellas con características litológicas, estructurales y geomorfológicas propias y definidas.

Provincia Llanura Costera del Golfo Norte

Comprende gran parte del norte del estado, desde el límite con Tamaulipas hasta el sur de Papantla, donde se localizan las elevaciones del Eje Neovolcánico; su límite occidental lo constituye la Sierra Madre Oriental y hacia el oriente el Golfo de México.

Los afloramientos más extensos corresponden a rocas sedimentarias detríticas del Terciario, depositadas en la Cuenca Tampico - Misantla. Las rocas más antiguas en esta región son las del Cretácico Superior, en tanto que las más recientes son depósitos de suelos, formados por materiales detríticos derivados de las rocas preexistentes.

Estratigrafía

En esta provincia existe una gran diversidad de rocas representativas de los diferentes periodos geológicos, específicamente del Cretácico Superior, Paleoceno, Eoceno, Oligoceno, Mioceno, así como rocas volcánicas.



Mapa de Geológico, Fuente de Información: INEGI, Biblioteca Digital Geográfica del Estado de Veracruz, Año 2008



Clima:

La ubicación geográfica de Veracruz le confiere características tropicales, pero éstas son modificadas en parte por la influencia de las serranías, fundamentalmente en el centro-oeste. Como consecuencia de lo anterior, los climas se distribuyen paralelos a la costa, en dirección noroeste-sureste, de la siguiente manera: cálidos, semicálidos, templados, semifríos, fríos y semisecos, en los cuales predominan las lluvias de verano.

Climas cálidos húmedos y subhúmedos

Son los que comprenden una mayor área, aproximadamente un 80% de territorio veracruzano, se distribuyen en las Llanuras Costeras del Golfo Norte y del Golfo Sur, a una altitud máxima de 1,000 m. En estas regiones, la temperatura del mes más frío es superior a 18° C y la media anual mayor de 22°C.



Mapa de Climas, Fuente de Información: INEGI, Biblioteca Digital Geográfica del Estado de Veracruz, Año 2008



Hidrología:

Todas las corrientes que surcan el territorio de Veracruz, con excepción de los pequeños arroyos localizados en la ladera occidental del Cofre de Perote, pertenecen a la vertiente del Golfo de México.

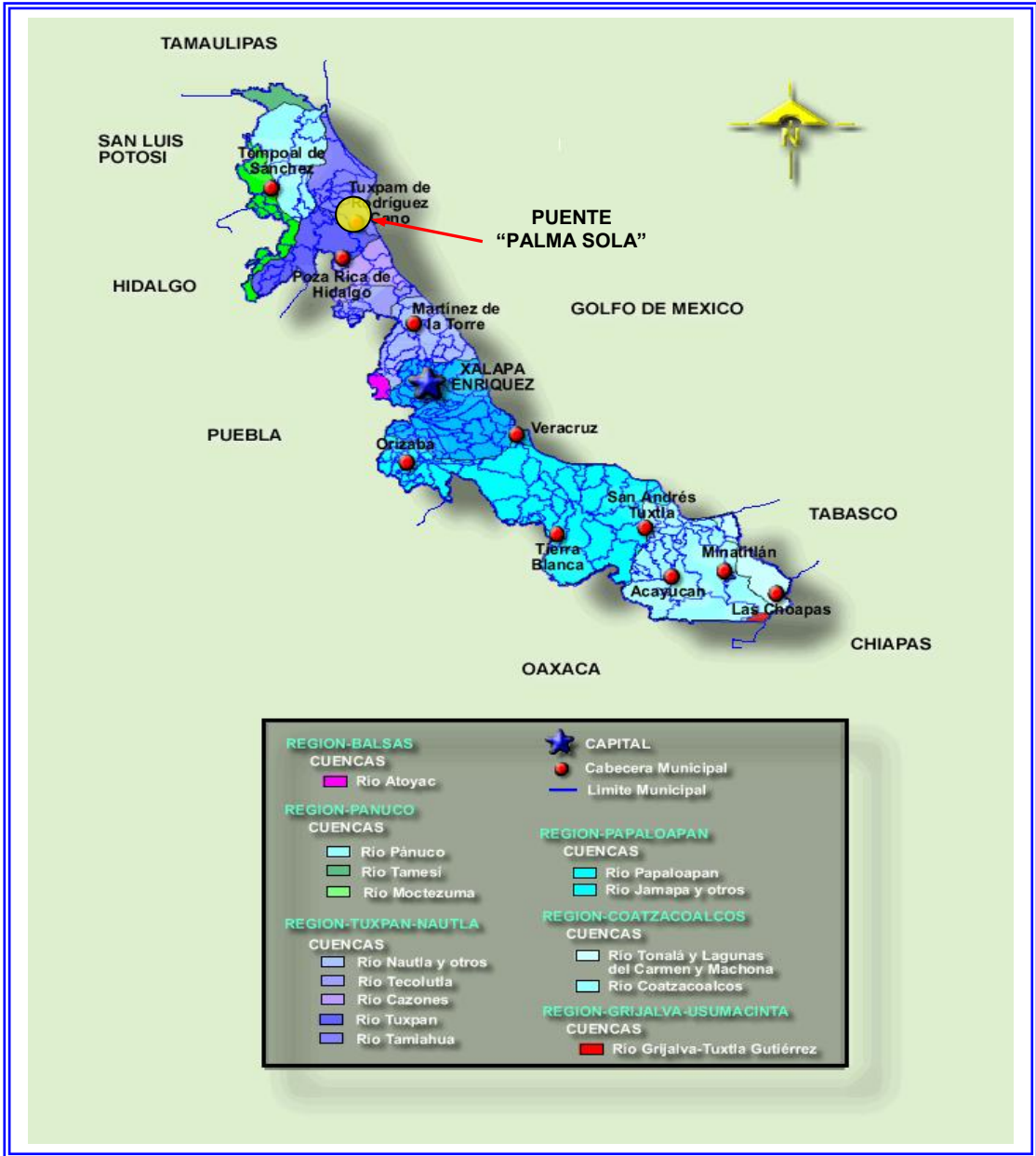
Por lo que respecta a los almacenamientos superficiales de agua dulce sólo la Laguna de Catemaco es importante.

El potencial acuífero subterráneo de Veracruz está íntimamente relacionado con la porosidad y permeabilidad de los suelos y rocas presentes.

Aguas Superficiales

Región Hidrológica "Tuxpan-Nautla"

Ocupa la porción noreste del territorio veracruzano y está integrada por las cuencas de los ríos Nautla, Tecolutla, Cazones y Tuxpan, además de la laguna de Tamiahua. Los ríos señalados desembocan en el Golfo de México y tienen su origen en mayor número fuera de la entidad.



Mapa de Regiones Hidrológicas, Fuente de Información: INEGI, Biblioteca Digital Geográfica del Estado de Veracruz, Año 2008

Ubicación Sísmica:

La república mexicana se divide en cuatro zonas sísmicas, para fines de diseño antisísmico. Para realizar esta división se utilizaron los catálogos de sismos de la república mexicana desde inicios de siglo, grandes sismos que aparecen en los registros históricos y los registros de aceleración del suelo de algunos de los grandes temblores ocurridos en este siglo.

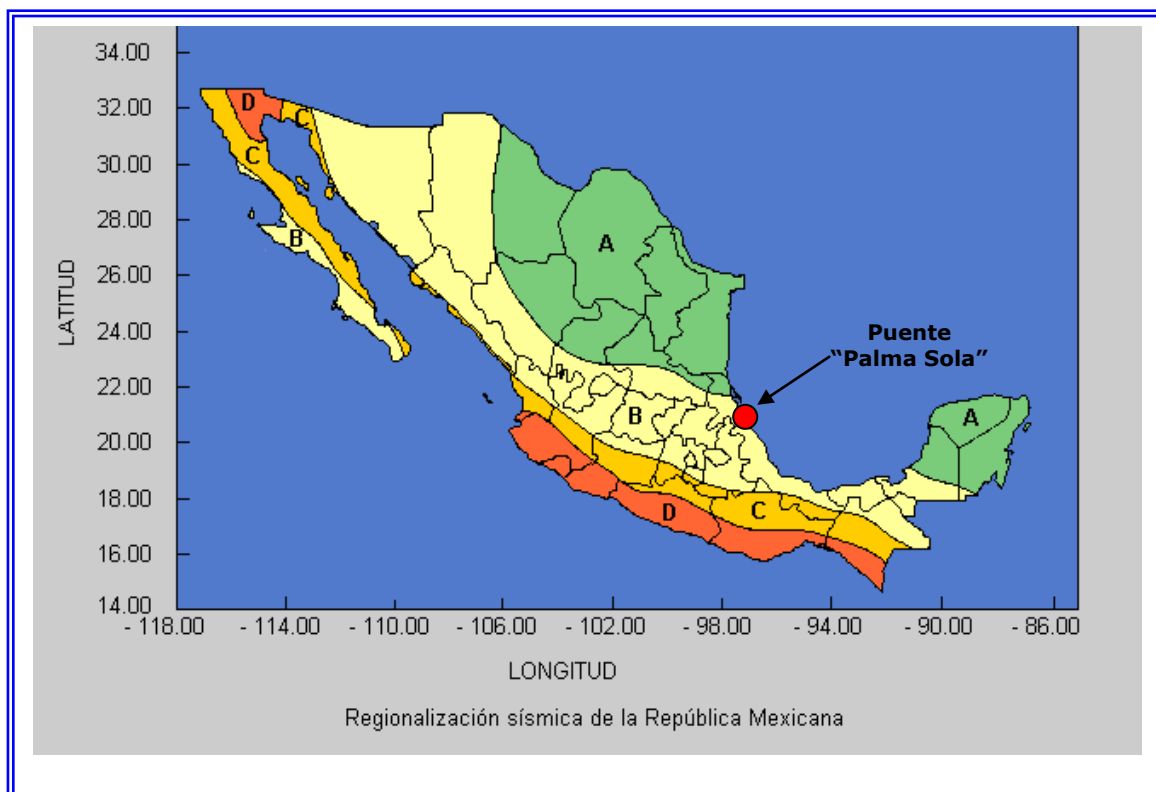


Figura tomada del Manual de diseño de Obras Civiles (Diseño por Sismo) de la Comisión Federal de Electricidad.



La zona de estudio se localiza en las costas del Estado de Veracruz, correspondiéndole la región sísmica **"B"**, la cual es intermedia en donde se registran sismos no tan frecuentemente o son zonas afectadas por altas aceleraciones pero que no sobrepasan el 70% de la aceleración del suelo.



3. TRABAJOS DE CAMPO

Para efectuar el estudio de mecánica de suelos del Puente de referencia, se llevó a cabo la exploración del subsuelo en el sitio, misma que se realizó con base en las características estratigráficas del sitio, para lo cual se realizaron tres sondeos, ubicados sobre el eje de trazo del libramiento en cuestión y localizados en los sitios cercanos a los apoyos del puente.

La profundidad de los sondeos se definió de acuerdo a las características estratigráficas del sitio, tomando los siguientes criterios para suspender los sondeos:

- A) Cuando se penetran 6.00 m en arenas y arcillas con número de golpes mayor a 40 en la prueba de penetración estándar.
- B) Cuando se detecta una masa rocosa, verificando el espesor de ésta, de 4.00 m como mínimo.

Los trabajos de campo consistieron en la exploración y muestreo del subsuelo mediante Tres sondeos mixtos con máquina perforadora alternado la prueba de penetración estándar (Norma ASTM D1586-67) con Muestreador, así como barril muestreador con broca y rima de diamante para obtener núcleos de roca NQ (en su caso), denominados: SM-1, SM-2 y SM3, cuya posición y longitud se anotan en la siguiente tabla:



SONDEO	UBICACIÓN	ELEVACIÓN (m)	PROFUNDIDAD (m)
SM-1	11+181.50	0.809	20.40
SM-2	11+222.00	0.624	25.00
SM-3	11+248.50	1.329	20.40

La profundidad del nivel freático fue detectada durante los trabajos de exploración de acuerdo a lo siguiente:

SONDEO	UBICACIÓN	PROFUNDIDAD NAF (m)
SM-1	11+181.50	1.00
SM-2	11+222.00	0.90
SM-3	11+248.50	1.30

Para efectuar estos trabajos se empleó el siguiente personal y equipo de perforación:

PERSONAL

- 1 Coordinador de Campo
- 1 Supervisor
- 1 Perforista
- 2 Ayudantes
- 1 Velador
- 1 Chofer



EQUIPO

1 Camión F-350 de 3.5 ton.

1 Perforadora Long Year LY-34

1 Bomba moyno 3L-6

- Implementos y herramienta para el equipo de perforación

A continuación se presentan los registros de campo de los sondeos, así como la ubicación de cada uno de estos en la Fig. 1



4. ENSAYES DE LABORATORIO

Todas las muestras de suelos fueron ensayadas en laboratorio para determinar lo siguiente:

- a) Clasificación manual y visual según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (Norma ASTM D2488-93)
- b) Granulometrías por mallas
- c) Contenido de agua (W) (norma ASTM D2216-92)
- d) Límites de consistencia líquido (LL) y plástico (LP), (Norma ASTM D4318-95a)
- e) Determinación de la Densidad de sólidos

Para efectuar estos trabajos de laboratorio se empleó el siguiente personal:

- Jefe de Laboratorio
- Laboratoristas
- Ayudantes generales
- Calculistas



- Equipo completo de Laboratorio
- Computadoras e impresoras

Presentando a continuación los resultados de laboratorio en el siguiente orden y para los tres sondeos respectivamente:

- Granulometrías
- Contenido de agua.
- Límites y
- Densidad de sólidos.



5. ESTRATIGRAFÍA Y PROPIEDADES

De acuerdo a las exploraciones realizadas, así como a los resultados de laboratorio, se presentan las estratigrafías de cada sondeo.

SM-1.- km. 11+181.50

- De 0.00 mts. a 2.40 mts., de profundidad, se detecto un estrato a base Arcilla poco arenosa, color gris, de la cuales en este estrato encontramos distintas densidades las cuales son de 0.60 a 1.20 blanda, de 1.20 a 1.80 blanda a media y de 1.80 a 2.40 media y $W=70.27$ de los resultados de granulometría tenemos el 98.45% de finos, los cuales se identificaron al tacto como arcillas, el porcentaje de arenas resultado del 1.55% y el porcentaje de gravas es de 0.0% y $S_s=2.50$ Prom.
- De 2.40 mts. a 4.80 mts., de profundidad, se detecto un estrato a base de Arcilla poco arenosa, de color café oscuro, de consistencia muy dura y $W=13.27$, de los resultados de granulometría tenemos el 97.03 % de finos, los cuales se identificaron al tacto como arcillas, el porcentaje de arenas resultado del 2.97% y el porcentaje de gravas es de 0.0% y $S_s=2.47$ Prom.

- De 4.80 mts. a 7.20 mts., de profundidad, se detecto un estrato a base de Arcilla poco arenosa, de color café claro, de consistencia muy dura y $W=10.42$, de los resultados de granulometría tenemos el 96.5% de finos, los cuales se identificaron al tacto como arcillas, el porcentaje de arenas resulto del 3.5% y el porcentaje de gravas es de 0.0% y $S_s= 2.48$ Prom.
- De 7.20 mts. a 9.00 mts., de profundidad, se detecto un estrato a base de Arcilla poco arenosa, de color café, de consistencia muy dura y $W=9.30$, de los resultados de granulometría tenemos el 96.9% de finos, los cuales se identificaron al tacto como arcillas, el porcentaje de arenas resulto del 3.1% y el porcentaje de gravas es de 0.0% y $S_s= 2.45$ Prom.
- De 9.00 mts. a 10.80 mts., de profundidad, se detecto un estrato a base de Arcilla poco arenosa, de color café claro, de consistencia muy dura y $W=9.01$, de los resultados de granulometría tenemos el 93.0% de finos, los cuales se identificaron al tacto como arcillas, el porcentaje de arenas resulto del 7.0% y el porcentaje de gravas es de 0.0% y $S_s= 2.46$ Prom.
- De 10.80 mts. a 20.40 mts., de profundidad, se detecto un estrato a base de Arcilla poco arenosa, de color café, de consistencia muy dura y $W=6.8$, de los resultados de granulometría tenemos el 90.6% de finos, los cuales se identificaron al tacto como arcillas, el porcentaje de



arenas resultado del 9.4% y el porcentaje de gravas es de 0.0% y $S_s = 2.48$ Prom.

- El Nivel Freático se detecto a una profundidad de 1.00 mts.

SM-2.- km. 11+222.00

- De mts. 0.00 a 0.60 mts. de profundidad, Se localiza un estrato conformado por Limo arenoso intercalado con material asfáltico (chapopote), de color café oscuro, de consistencia muy blanda y $W = 223.53$ prom. $S_s = 2.29$ Prom.
- De 0.60 mts. a 1.80 mts., de profundidad, se detecto un estrato a base de Arcilla poco arenosa, de color gris oscuro, de consistencia blanda y $W = 204.80$, de los resultados de granulometría tenemos el 94.94% de finos, los cuales se identificaron al tacto como arcillas, el porcentaje de arenas resultado del 4.06% y el porcentaje de gravas es de 2.29% y $S_s = 2.50$ Prom.
- De 1.80 mts. a 4.80 mts., de profundidad, se detecto un estrato a base de Arcilla con poca grava y arena, de color gris oscuro, de consistencia blanda y $W = 70.94$, de los resultados de granulometría tenemos el 76.55% de finos, los cuales se identificaron al tacto como

arcillas, el porcentaje de arenas resulto del 9.88% y el porcentaje de gravas es de 13.57% y $S_s = 2.48$ Prom.

- De 4.80 mts. a 5.40 mts., de profundidad, se detecto un estrato a base de Arcilla poco arenosa, de color gris, de consistencia blanda a media, $W = 75.61$, de los resultados de granulometría tenemos el 97.9% de finos, los cuales se identificaron al tacto como arcillas, el porcentaje de arenas resulto del 2.1% y el porcentaje de gravas es de 0.00% y $S_s = 2.51$ Prom.
- De 5.40 mts. a 7.20 mts., de profundidad, se detecto un estrato a base de Arcilla poco arenosa, de color gris, de consistencia blanda y $W = 99.30$, de los resultados de granulometría tenemos el 95.8% de finos, los cuales se identificaron al tacto como arcillas, el porcentaje de arenas resulto del 4.2% y el porcentaje de gravas es de 0.00% y $S_s = 2.52$ Prom.
- De 7.20 mts. a 14.40 mts., de profundidad, se detecto un estrato a base de Arcilla poco arenosa, de color gris, de la cuales en este estrato encontramos distintas densidades las cuales son de 7.20 a 11.40 media a firme, de 11.40 a 12.00 firme y muy compacta, de 12.00 a 13.80 cambia nuevamente de media a firme y de 13.80 a 14.40 cambia nuevamente a firme y muy compacta, $W = 87.80$, de los resultados de granulometría tenemos el 98.8% de finos, los cuales se



identificaron al tacto como arcillas, el porcentaje de arenas resulto del 1.2% y el porcentaje de gravas es de 0.00 % y $S_s = 2.52$ Prom.

- De 14.40 mts. a 22.80 mts., de profundidad, se detecto un estrato a base de Arcilla poco arenosa, de color gris, de consistencia firme y compacta, $W = 45.23$, de los resultados de granulometría tenemos el 87.2% de finos, los cuales se identificaron al tacto como arcillas, el porcentaje de arenas resulto del 12.8% y el porcentaje de gravas es de 0.00 % y $S_s = 2.44$ Prom.
- De 22.80 mts. a 25.00 mts., de profundidad, se detecto un estrato a base de Arcilla poco arenosa, de color café, de consistencia muy firme y compacta, $W = 18.23$, de los resultados de granulometría tenemos el 82.2% de finos, los cuales se identificaron al tacto como arcillas, el porcentaje de arenas resulto del 17.8% y el porcentaje de gravas es de 0.00 % y $S_s = 2.46$ Prom.
- El Nivel Freático se detecto a una profundidad de 0.90 mts.

SM-3.- km. 11+248.50

- De mts. 0.00 a 0.60 mts. de profundidad, Se localiza un estrato conformado por Arcilla poco arenosa, de color gris oscuro, de consistencia firme y compacta y $W = 36.59$ de los resultados de granulometría tenemos el 97.16% de finos, los cuales se identificaron

al tacto como arcillas, el porcentaje de arenas resulto del 2.84% y el porcentaje de gravas es de 0.00 % y $S_s = 2.49$ Prom.

- De 0.60 mts. a 2.40 mts., de profundidad, se detecto un estrato a base de Arcilla poco arenosa, de color gris, de la cuales en este estrato encontramos distintas densidades las cuales son de 0.60 a 1.80 firme y muy compacta y de 1.80 a 2.40 media a firme, $W = 26.98$, de los resultados de granulometría tenemos el 97.05% de finos, los cuales se identificaron al tacto como arcillas, el porcentaje de arenas resulto del 2.95% y el porcentaje de gravas es de 0.00% y $S_s = 2.52$ Prom.
- De 2.40 mts. a 7.20 mts., de profundidad, se detecto un estrato a base de Arcilla con poca arena y grava, de color gris, de la cuales en este estrato encontramos distintas densidades las cuales son de 2.40 a 4.20 firme y compacta, de 4.20 a 5.40 blanda a media, de 5.40 a 6.00 blanda y de 6.00 a 7.20 de consistencia media, $W = 59.69$, de los resultados de granulometría tenemos el 92.5% de finos, los cuales se identificaron al tacto como arcillas, el porcentaje de arenas resulto del 1.7% y el porcentaje de gravas es de 5.8% y $S_s = 2.51$ Prom.
- De 7.20 mts. a 9.00 mts., de profundidad, se detecto un estrato a base de Arcilla poco arenosa, de color gris, de consistencia firme y muy compacta, $W = 80.88$, de los resultados de granulometría tenemos el 95.0% de finos, los cuales se identificaron al tacto como arcillas, el

porcentaje de arenas resultado del 5.0% y el porcentaje de gravas es de 0.00 % y $S_s = 2.52$ Prom.

- De 9.00 mts. a 9.60 mts., de profundidad, se detecto un estrato a base de Arcilla poco arenosa, de color gris claro, de consistencia firme y muy compacta, $W = 16.61$, de los resultados de granulometría tenemos el 78.9% de finos, los cuales se identificaron al tacto como arcillas, el porcentaje de arenas resultado del 19.8% y el porcentaje de gravas es de 1.7 % y $S_s = 2.45$ Prom.
- De 9.60 mts. a 10.20 mts., de profundidad, se detecto un estrato a base de Arcilla poco arenosa con grava, de color gris claro, de consistencia muy firme y muy compacta, $W = 27.03$, de los resultados de granulometría tenemos el 97.3% de finos, los cuales se identificaron al tacto como arcillas, el porcentaje de arenas resultado del 2.7% y el porcentaje de gravas es de 0.00 % y $S_s = 2.50$ Prom.
- De 10.20 mts. a 10.80 mts., de profundidad, se detecto un estrato a base de Arcilla poco arenosa, de color gris claro, de consistencia firme y compacta, $W = 51.30$, de los resultados de granulometría tenemos el 92.2% de finos, los cuales se identificaron al tacto como arcillas, el porcentaje de arenas resultado del 7.8% y el porcentaje de gravas es de 0.00% y $S_s = 2.50$ Prom.
- De 10.80 mts. a 20.40 mts., de profundidad, se detecto un estrato a base de Arcilla poco arenosa, de color gris claro, de la cuales en este



estrato encontramos, $W=15.62$, de los resultados de granulometría tenemos el 98.8 % de finos, los cuales se identificaron al tacto como arcillas, el porcentaje de arenas resulto del 1.2 % y el porcentaje de gravas es de 0.00 % y $S_s= 2.49$ Prom.

- El Nivel Freático se detecto a una profundidad de 1.30 mts.

Las columnas estratigráficas se presentan en el siguiente plano de perfil estratigráfico, así como en el **Anexo I.**- conclusiones y recomendaciones.



6. ANÁLISIS DE LA CIMENTACIÓN

Espectros de Diseño Sísmico:

Debido a la zona sísmica en que se encuentra el sitio de estudio y el cual se indica en el Capítulo 2, subtítulo: Región Sísmica, del presente estudio, es necesario tomar en cuenta los espectros de diseño por sismo, que nos indica el **Manual de Diseño de Obras Civiles**, de la **Comisión Federal de Electricidad**, de acuerdo a la región en que se encuentre. Presentando a continuación dicha tabla:

**ESPECTROS DE DISEÑO
PARA ESTRUCTURAS COMUNES**

Zona Sísmica	Tipo de Suelo	A_0	C	T_a (seg)	T_b (seg)	R
A	I	0.02	0.08	0.2	0.6	1/2
	II	0.04	0.16	0.3	1.5	2/3
	III	0.05	0.20	0.6	2.9	1
B	I	0.04	0.14	0.2	0.6	1/2
	II	0.08	0.30	0.3	1.5	2/3
	III	0.10	0.36	0.6	2.9	1
C	I	0.09	0.36	0.0	0.6	1/2
	II	0.13	0.50	0.0	1.4	2/3
	III	0.16	0.64	0.0	1.9	1
D	I	0.13	0.50	0.0	0.6	1/2
	II	0.17	0.68	0.0	1.2	2/3
	III	0.21	0.86	0.0	1.7	1
E (Zona metropolitana Ciudad de México)	I	0.04	0.16	0.2	0.6	1/2
	II	0.08	0.32	0.3	1.5	2/3
	III	0.10	0.40	0.6	3.9	1



Donde:

I	corresponde a terreno firme
II	corresponde a terreno intermedio
III	corresponde a terreno blando

Nota: Estos espectros de diseño son aplicables a estructuras del **Grupo B**, para estructuras del **Grupo A**, los valores de las ordenadas espectrales se deberán multiplicar por 1.50, a fin de tener en cuenta la importancia de la estructura.

De acuerdo a la regionalización sísmica, la zona de estudio se localiza en la zona **"B"**, y el terreno en donde se recomienda realiza el desplante de la cimentación corresponde al **tipo II**, por lo que se deberá considerar un coeficiente sísmico de **0.30**, el cual se debe multiplicar por **1.50**, ya que la estructura de proyecto corresponde al **Grupo "A"**, lo cual nos da un valor de: **0.45**



Análisis de Cimentación Profunda:

Pilotes Circulares:

De acuerdo a las cargas obtenidas por el estructurista durante su análisis, es necesario contar con datos para cimentación profunda mediante la utilización de pilotes. Lo cual esta condicionado también por la topografía y estratigrafía del sitio en estudio.

Para el cálculo de capacidad de carga de cimentación profunda por medio de pilotes circulares, se empleo la teoría de Coyle y Castello, para lo cual se utilizaron las siguientes expresiones:

$$Q_s = p L f + q' N^* q A_p \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

- p** Perímetro transversal pilote.
- L** Longitud pilote
- f** Resistencia unitaria por fricción promedio

$$f = K \sigma' \tan \epsilon \dots\dots\dots (2)$$

- K** Coeficiente de presión lateral
- σ'** Presión de sobre carga efectiva promedio
- ϵ** Angulo de fricción entre suelo y pilote



q´	Esfuerzo vertical efectivo en la punta del pilote
N*q	Factor de capacidad de carga.
Ap	Área de pilote

Utilizando las ecuaciones **1 y 2**, se determina la capacidad de carga para: 15.0, 20.0 y 25.0 m. de profundidad de desplante, en el sondeo 1 y para pilas con diámetros de 1.00, 1.20 y 1.50 m. de diámetros, cuya utilización en cuanto a longitud y diámetro, queda a juicio del ing. Projectista de acuerdo a su análisis y bajada de cargas.

Presentando a continuación los siguientes resultados por este método:



Pilas por fricción y punta.

La capacidad de carga por adherencia y punta de una pila individual bajo esfuerzos de compresión se calculó según el criterio de **Jambu**, con la siguiente expresión:

$$Q_t = Q_f + Q_p = (A_l f + (C_u N_c^* + P_v) A_p) / F_S \dots \dots (3)$$

Donde:

- Q_t** Capacidad total por fricción y punta en ton.
- Q_f** Capacidad por fricción en ton.
- Q_p** Capacidad por punta en ton.
- A_l** Área lateral del pilote en m²
- f** Adherencia lateral media pilote-suelo en ton/m²
- C_u** Es la cohesión aparente del suelo de apoyo determinada en ensaye triaxial no-consolidado no-drenado
- N_c*** Es el coeficiente de capacidad de carga
- P_v** Es la presión vertical total debida al proceso del suelo a la profundidad del desplante de los pilotes
- A_p** Es el área transversal de la base de la pila o del pilote
- F_S** Factor de seguridad = 2

Utilizando la ecuación **3**, se determina la capacidad de carga para: 15.0, 20.0 y 25.0 m. de profundidad de desplante, en el sondeo 2 y 3, y para pilas



con diámetros de 1.00, 1.20 y 1.50 m. de diámetros, cuya utilización en cuanto a longitud y diámetro, queda a juicio del ing. Proyectista de acuerdo a su análisis y bajada de cargas.

Así, para diferentes longitudes de pilas la carga permisible se registra en la tabla siguiente:



7. REFERENCIAS

- 1.- Mecánica de suelos Tomo II, Eulalio Juárez Badillo, Editorial Limosa.
- 2.- Geología Aplicada a la Ingeniería Civil, Mariano Ruiz Vázquez, Editorial Limosa.
- 3.- Foundation, Analysis and Desig, Joseph E. Bowles. Third Edition, Mc GraW Hill.
- 4.- Manual de Diseño de Obras Civiles, de la Comisión Federal de Electricidad libro B.2.4 Cimentaciones en Suelos.
- 5.- Información Cartográfica y Geográfica de la INEGI

A N E X O 1

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

HOJA 1 DE 11

"MECÁNICA DE SUELOS"

I.- DATOS DE LA OBRA

Tipo de la obra: **PUENTE "PALMA SOLA"**
Carretera: **LIBRAMIENTO DE ACCESO AL PUERTO DE TUXPAN**
Tramo: **LIBRAMIENTO DE ACCESO AL PUERTO DE TUXPAN**
Localización: **Km. 11+215.00** Origen: **TUXPAN, VER.**

II.- EXPLORACIÓN Y MUESTREO

Número, tipo y profundidad de sondeos: **Tres sondeos mixtos con máquina perforadora alternando la prueba de penetración estándar (norma ASTM D1586-67) con barril muestreador con broca tricónica, denominados: El SM-1 en el Km. 11+181.50 sobre el eje de proyecto, con elevación de brocal de 0.809 m, hasta 20.40 m de profundidad; el SM-2 en el km. 11+222 sobre el eje de proyecto, con elevación de brocal de 0.624 m, hasta 25.0 m de profundidad y el SM-3 en el km. 11+248.50 sobre el eje de proyecto, con elevación de brocal de 1.329 m, hasta 20.40 m de profundidad**



Obra: PUENTE "PALMA SOLA" km. 11+215.00

HOJA 2 DE 11

Tipo de muestras: Alteradas representativas y no representativas.

Profundidad del nivel freático: En el sondeo SM-1.- km. 11+181.50 a una profundidad de 1.00 mts. Aproximadamente, En el sondeo SM-2.- km. 11+222.00 a una profundidad de 0.90 mts. Aproximadamente y en el sondeo SM-3.- km. 11+248.50 a una profundidad de 1.30 mts. aproximadamente.

III.- PRUEBAS DE LABORATORIO EFECTUADAS

Humedad natural	(X)	Compresión simple	()
Límites de plasticidad	(X)	Compresión triaxial rápida	()
Granulometría por mallas	(X)	Compresión triaxial rápida consolidada	()
Porcentaje de finos	(X)	Compresión triaxial lenta	()
Densidad de sólidos	(X)	Consolidación unidimensional	()
Peso Vol. en estado natural	()	Resistencia al corte con torcómetro de bolsillo	()

Otras: Clasificación manual y visual de campo y laboratorio, según el SUCS adaptado por la extinta SOP.

Obra: PUENTE "PALMA SOLA" km. 11+215.00

HOJA 3 DE 11

IV.- ESTRATIGRAFÍA Y TIPO DE FORMACIÓN

De acuerdo a las columnas estratigráficas de los sondeos SM-1, SM-2, SM-3 y al perfil de suelos interpolado entre éstas (Plano de perfil estratigráfico), se distingue la siguiente estratigrafía para cada sondeo que en orden descendente son:

SM-1 .- km. 11+181.50

Estrato 1.- De 0.00 mts. a 2.40 mts., de profundidad, se detecto un estrato a base arcillas de alta plasticidad con poca arena, color gris oscuro y de consistencia blanda a media (CH).

Estrato 2.- Subyaciendo al estrato anterior de 2.40 mts. a 4.80 mts., de profundidad, se detecto un estrato a base de arcillas de alta plasticidad, poco arenosas, color café oscuro y de consistencia muy dura (CH).

Estrato 3.- Subyaciendo al estrato anterior de 4.80 mts. a 7.20 mts., de profundidad, se detecto un estrato a base de arcillas de alta plasticidad, poco arenosas, color café claro y de consistencia muy dura (CH).

Obra: PUENTE "PALMA SOLA" km. 11+215.00

HOJA 4 DE 11

Estrato 4.- Subyaciendo al estrato anterior de 7.20 mts. a 9.00 mts., de profundidad, se detecto un estrato a base de arcillas de alta plasticidad, poco arenosas, color café y de consistencia muy dura (CH).

Estrato 5.- Subyaciendo al estrato anterior de 9.00 mts. a 10.80 mts., de profundidad, se detecto un estrato a base de arcillas de baja plasticidad, poco arenosas, color café claro y de consistencia muy dura (CL).

Estrato 6.- Y Finalmente de los 10.80 mts. a los 20.40 mts., de profundidad, se detecto un estrato a base de arcillas de baja plasticidad, poco arenosas, color café y de consistencia muy dura (CL).

SM-2.- km. 11+222.00

Estrato 1.- De 0.00 mts. a 0.60 mts., de profundidad, se detecto un estrato conformado por limos arenosos, de alta plasticidad, color café oscuro y de consistencia muy blanda (MH).

Estrato 2.- Subyaciendo al estrato anterior de 0.60 mts. a 1.80 mts., de profundidad, se detecto un estrato a base de arcillas de baja plasticidad, poco arenosa y con algunas gravas, de color gris oscuro y de consistencia blanda (CL).

Obra: **PUENTE "PALMA SOLA" km. 11+215.00**

HOJA 5 DE 11

Estrato 3.- Subyaciendo al estrato anterior de 1.80 mts. a 4.80 mts., de profundidad, se detecto un estrato a base de arcillas de alta plasticidad, con pocas gravas y arenas, de color gris, de consistencia blanda (CH).

Estrato 4.- Subyaciendo al estrato anterior de 4.80 mts. a 5.40 mts., de profundidad, se detecto un estrato a base de arcillas de alta plasticidad y poco arenosa, de color gris y de consistencia blanda a media (CH).

Estrato 5.- Subyaciendo al estrato anterior de 5.40 mts. a 7.20 mts., de profundidad, se detecto un estrato a base de arcillas de alta plasticidad y poco arenosa, de color gris y de consistencia blanda (CH).

Estrato 6.- Subyaciendo al estrato anterior de 7.20 mts. a 14.40 mts., de profundidad, se detecto un estrato a base de arcillas de baja plasticidad y poco arenosa, de color gris y de consistencia media a firme y compacta (CL).

Estrato 7.- Subyaciendo al estrato anterior de 14.40 mts. a 22.80 mts., de profundidad, se detecto un estrato a base de arcillas de baja plasticidad y poco arenosa, de color gris y de consistencia firme y muy compacta (CL).

Obra: **PUENTE "PALMA SOLA" km. 11+215.00**

HOJA 6 DE 11

Estrato 8.- Y Finalmente de los 22.80 mts. A los 25.00 mts., de profundidad, se detecto un estrato a base de arcillas de baja plasticidad y poco arenosa, de color café y de consistencia muy firme y muy compacta (CL).

SM-3.- km. 11+248.50

Estrato 1.- De 0.00 mts. a 0.60 mts., de profundidad, se detecto un estrato conformado por arcilla de alta plasticidad y poco arenosa, color gris oscuro y de consistencia firme y compacta (CH).

Estrato 2.- Subyaciendo al estrato anterior de 0.60 mts. a 2.40 mts., de profundidad, se detecto un estrato conformado por arcilla de alta plasticidad y poco arenosa, color gris y de consistencia dura a muy firme y muy compacta (CH).

Estrato 3.- Subyaciendo al estrato anterior de 2.40 mts. a 7.20 mts., de profundidad, se detecto un estrato a base de arcilla de alta plasticidad y poco arenosa, color gris, de consistencia media a firme y compacta (CH).

Estrato 4.- Subyaciendo al estrato anterior de 7.20 mts. a 9.00 mts., de profundidad, se detecto un estrato a base de arcilla de baja plasticidad y poco arenosa, color gris, de consistencia firme y compacta(CL).

Obra: **PUENTE "PALMA SOLA" km. 11+215.00**

HOJA 7 DE 11

Estrato 5.- Subyaciendo al estrato anterior de 9.00 mts. a 9.60 mts., de profundidad, se detecto un estrato a base de arcilla de alta plasticidad y poco arenosa, color gris claro, de consistencia muy firme y muy compacta (CH).

Estrato 6.- Subyaciendo al estrato anterior de 9.60 mts. a 10.20 mts., de profundidad, se detecto un estrato a base de arcilla de baja plasticidad, poco arenosa y con gravas, color gris claro, de consistencia muy firme y muy compacta (CL).

Estrato 7.- Subyaciendo al estrato anterior de 10.20 mts. a 10.80 mts., de profundidad, se detecto un estrato a base de arcilla de baja plasticidad, poco arenosa, color gris claro, de consistencia firme y compacta (CL).

Estrato 8.- Y Finalmente de los 10.80 mts. A los 20.40 mts., de profundidad, se detecto un estrato a base de arcilla de baja plasticidad, poco arenosa, color gris claro, de consistencia firme y muy compacta (CL).

Otros datos y observaciones: **Para dar continuidad al proyecto de modernización del Libramiento de acceso al Puerto de Tuxpan, El gobierno del Estado junto con La Secretaría de Comunicaciones y transporte y la APITUX, pretende construir el Puente denominado "Palma Sola" que se ubica en el Km. 11+215.00.**

Obra: PUENTE "PALMA SOLA" km. 11+215.00

HOJA 8 DE 11

V.- CÁLCULOS

1.- Capacidad de carga:

Superficial	()	Pilotes de fricción y punta	(X)
Compensación parcial	()	Cilindros	()
Compensación total	()		
Pilotes colados en el lugar con excavación previa			()

2.- Módulo de reacción ()

3.- Asentamientos de cimentaciones ()

4.- Estabilidad de taludes de corte ()

5.- Otros cálculos: _____

VI.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con base en las condiciones topográficas y estratigráficas del sitio en estudio, así como en los análisis efectuados, se proporcionan las siguientes conclusiones y recomendaciones de cimentación para la obra en proyecto, las cuales se describen a continuación:



Obra: **PUENTE "PALMA SOLA" km. 11+215.00**

HOJA 10 DE 11

- d). El colado se realizara por procedimientos que eviten la segregación del concreto y la contaminación del mismo con el lodo estabilizador de la perforación o con derrumbes de las paredes de la excavación.
- e). Se llevara un registro de la localización de los pilotes o pilas, las dimensiones relevantes de las perforaciones, las fechas de perforación y de colado, la profundidad y los espesores de los estratos y las características del material de apoyo.
- f). De utilizarse lodo bentonitico como sistema de ademe en perforación, el constructor no podrá verterlo en el drenaje urbano, por lo que deberá destinar un área para recolectar dicho lodo después de usarlo y transportarlo a algún tiradero ex profeso.
- g). Para desplantar la cimentación sobre el concreto sano de la pila, se deberá dejar en la parte superior una longitud extra de concreto, equivalente al 90% del diámetro de la misma; este concreto, que acarrea las impurezas durante el proceso de colado, podrá ser removido con equipo neumático hasta 20 cm. arriba de la cota de desplante de la cimentación; estos últimos 20 cm. se deberán quitar en forma manual procurando que la herramienta de ataque no produzca fisuras en el concreto que recibirá la cimentación.
- h). En el caso de pilas coladas en seco con ademe metálico, la longitud adicional podrá ser de 50% del diámetro de las mismas, evitando remover el concreto de esta parte en estado fresco con el propósito de que el "sangrado" del concreto se



Obra: **PUENTE "PALMA SOLA" km. 11+215.00**

HOJA 11 DE 11

efectuó en dicha zona. Esta parte se demolerá siguiendo los lineamientos indicados en el punto anterior.

- i). Respecto a la localización de las pilas se aceptara una tolerancia del 4% de su diámetro. La tolerancia en la verticalidad de una pila será del 2% de su longitud hasta 25 m de profundidad y de 3% para mayor profundidad.



A N E X O 2

**REPORTE
FOTOGRAFICO**