

**ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL
NOROESTE S.A. DE C.V.**

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA,
TIJUANA B.C.

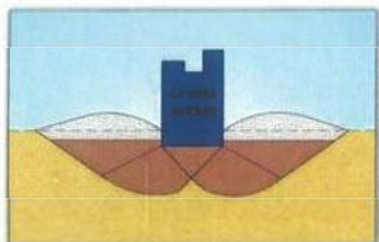
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS

PROYECTO:

**“MECANICA DE SUELOS PARA LA REHABILITACION DE LA PLANTA DE
BOMBEO PB-LOS LAURELES 1,
EN EL MUNICIPIO DE TIJUANA, B.C.”.**

Circuito Loma Dorada No. 19428, Fracc. Loma Dorada, Tijuana, B.C.

Tel/Cel: (044- 664) 376-23-56



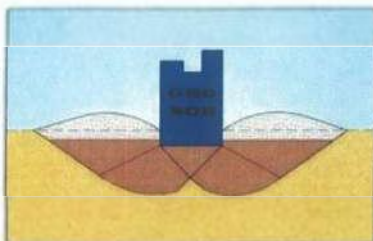
ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 1942B, FRACC. LOMA DORADA,
TIJUANA B.C.

ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS PARA LA REHABILITACION DE LA PLANTA DE BOMBEO PB-LOS LAURELES NO. 1, EN EL MUNICIPIO DE TIJUANA, B.C.”

CONTENIDO

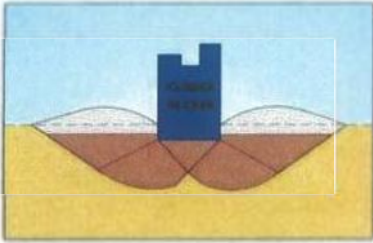
I.	INTRODUCCIÓN	3
1.1	ANTECEDENTES	3
1.2	DESCRIPCION DEL SITIO DE PROYECTO	4
1.2	OBJETIVO Y ALCANCE DEL ESTUDIO	5
II.	TRABAJOS DE CAMPO Y LABORATORIO	7
2.1	EXPLORACIÓN E INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO (TRABAJOS DE CAMPO)	7
2.2	TRABAJOS DE LABORATORIO	10
III.	MODELO GEOTÉCNICO	11
3.1	ESTRATIGRAFÍA DEL SUELO	11
3.2	MARCO GEOLÓGICO	16
IV.	RESPUESTA SÍSMICA DEL TERRENO	17
4.1	ANTECEDENTES DE LA ZONA	17
V.	CONDICIONES HIDRÁULICAS	19
5.1	AGUAS SUBTERRÁNEAS	21
5.2	AGUAS SUPERFICIALES	21
5.3	LICUACION	21
VI	EXCAVACIONES	22
6.1	SECCION DE EXCAVACION PARA INSTALACION DE LINEAS	22
6.2	CLASIFICACION DE MATERIALES PARA PAGO DE EXCAVACIONES	23
VII.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	25
7.1	EL SUBSUELO	25
7.2	TRATAMIENTO DE LAS TERRACERÍAS (ESTRUCTURA DE CARCAMO Y CANALETA PARSHALL)	25
7.3	TRATAMIENTO DE LAS TERRACERÍAS (MURO PERIMETRAL)	27
7.4	ESTABILIDAD DE TALUDES	29
7.4.1	EMPUJES LATERALES SOBRE TABLESTACAS	31
7.4.2	DISEÑO DE TABLESTACAS	32
7.4.3	MÉTODOS DE HINCADO DE TABLESTACAS	34
7.5	DESPLANTE DE LAS CIMENTACIONES	35
VIII	PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO	39
8.1	UBICACIÓN DE LA OBRA DE PAVIMENTACIÓN	39
8.2	METODOLOGÍA DE LA PCA	41
8.3	ANÁLISIS DEL TRÁNSITO	43
8.4	CAPAS DE PAVIMENTO	45



ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA,
TUJANA B.C.

8.5	MÓDULOS DE RIGIDEZ EMPLEADOS EN EL DISEÑO	46
8.6	CÁLCULO DE LA VIDA PREVISIBLE DEL PAVIMENTO	47
8.7	DISEÑO DE ESPESORES	49
8.8	DISEÑO DE JUNTAS EN EL PAVIMENTO	51
8.9	DRENAJE Y SUBDRENAJE	52
8.10	PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO	52
8.11	ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN	54
8.12	NORMATIVA PARA LA INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE.....	54
8.13	CONTROL DE CALIDAD.....	57
IX	OBSERVACIONES Y LIMITACIONES	58
X.	ANEXOS TÉCNICOS	
10.1	CROQUIS DE LOCALIZACIÓN DE PERFORACIONES (FIG. No.1).	
10.2	CROQUIS DE LOCALIZACIÓN DE SONDEOS (FIG. No.2).	
10.3	CLASIFICACIÓN DE SUELOS (FIG. No.3 A 6)	
10.4	PERFIL ESTRATIGRÁFICO (FIG. No. 7 A 12)	
10.5	ESTABILIDAD DE TALUDES (FIG. No. 13 Y 14)	
10.6	MEMORIA FOTOGRAFICA	
10.7	ESTUDIO GEOFISICO (ANEXO A)	



ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA,
TIJUANA B.C.

ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS PARA LA REHABILITACION DE LA PLANTA DE BOMBEO PB-LOS LAURELES NO. 1, EN EL MUNICIPIO DE TIJUANA, B.C.TM

I. INTRODUCCIÓN

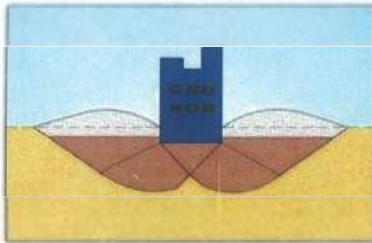
1.1 ANTECEDENTES

Este reporte presenta los resultados de nuestra investigación geotécnica para el proyecto: **"ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS PARA LA REHABILITACION DE LA PLANTA DE BOMBEO PB-LOS LAURELES NO. 1, EN EL MUNICIPIO DE TIJUANA, B.C."**.

A solicitud de la Ing. Marcia Eugenia Salcido Moreno, Subdirectora de Construcción CESPT; se procedió en llevar cabo los análisis geotécnicos necesarios para definir las propiedades físicas y mecánicas del subsuelo del lugar, donde se llevará a cabo el proyecto indicado. Y con base a éstas, definir el proceso constructivo para el desplante de la cimentación, construcción y proporcionar las recomendaciones pertinentes en base a los datos que arroje la exploración.

En este informe solo se incluyen los aspectos de mecánica de suelos para el análisis y diseño de las estructuras que se requerirán para la rehabilitación de la planta de bombeo.

El área en estudio tiene una longitud variable. La barda perimetral tiene una longitud de 160.62 metros aproximadamente, la longitud del cárcamo es de 16.15 mts. y la profundidad de las estructuras es variable. La planta de bombeo se ubica en la Calle Paseo de la Montaña, entre la Avenida 18 de marzo y Avenida Anexa Los Laureles, Col. Los Laureles, Delegación Playas de Tijuana.



ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMADORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA,
TIJUANA B.C.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL SITIO DE PROYECTO

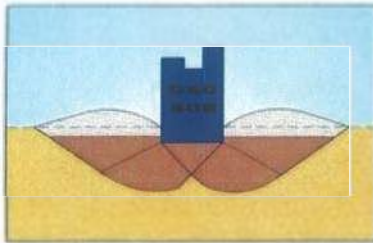
La zona ha sido ampliamente estudiada por diferentes instituciones debido a la importancia binacional de la Subcuenca Hidrológica Los Laureles. El Ayuntamiento de Tijuana ha llevado a cabo obras de solución pluvial, debido a que las características físico-ambientales de la subcuenca, propician que sea sensible a eventos de corta duración y gran intensidad (temporada de lluvias), lo que a su vez provoca zonas de inundación que ponen en riesgo a sus habitantes.

En 2004 el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) en conjunto con el IMPLAN e instituciones internacionales realizaron un diagnóstico integral de la subcuenca hidrológica Los Laureles en la parte mexicana para identificar estrategias futuras de conservación y mejoramiento en ambas partes de la subcuenca. En octubre de 2012, el XX Ayuntamiento de Tijuana llevó a cabo la Manifestación del Impacto Ambiental para el Sistema de Protección Pluvial en Subcuenca Los Laureles en un tramo de 660 metros lineales aguas arriba en la Colonia Las Flores 1ra. Sección tramo que se conecta con el Canal Los Laureles. Para 2014, el XXI Ayuntamiento de Tijuana ejecutó los trabajos de construcción del canal Pluvial de concreto armado en un tramo de 400 metros de largo (5,900 m²) y un desarenador con una capacidad de 17,000 m³.

La zona donde se llevará a cabo la obra se constituye de cañones y barrancas con pendientes pronunciadas y suelos arenosos de escasa consolidación, por lo que en esta área convergen caudales importantes durante temporada de lluvias. Existe un sistema pluvial con escurrimientos superficiales en forma poco organizada, provocando encharcamientos en algunos cruceros de calles en las partes bajas cuando se presentan las precipitaciones pluviales intensas, esto debido a que los caudales más rápidos no se alcanzan a drenar por la falta de infraestructura adecuada.

La sección del canal es trapezoidal con una base de 3.5 metros aproximadamente y un ancho superior de 6 metros, con pendientes de las paredes de 1:3.

La obra en estudio, se ubica en la parte noroeste de la ciudad de Tijuana, B.C.; en donde predominan superficialmente los suelos de depósitos aluviales, los cuales se caracterizan como boleos y gravas de tamaño chico a mediano con arenas de grano medio a fino y limos de nula plasticidad, medianamente húmedas, poco compactas de color café claro tono rojizo y amarillo.



ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA,
TIJUANA B.C.

Para llegar al sitio de proyecto, se tiene una calle de terracería, la cual está contemplada revestir de concreto hidráulico, para facilitar el acceso y salida del personal que estará laborando en la misma; tanto de vehículos ligeros como pesados.

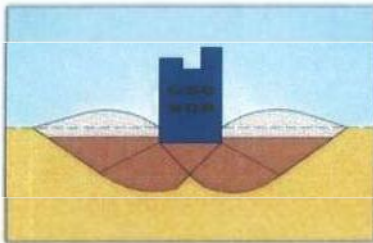
1.2 OBJETIVO Y ALCANCE DEL ESTUDIO

La intención de nuestra investigación es la de determinar las condiciones geotécnicas imperantes en el terreno en estudio y con base a estas, establecer los datos y parámetros para el diseño y construcción de la cimentación de la estructura del cárcamo de bombeo, proceso constructivo, diseño de la cimentación para muros perimetrales, conclusiones y recomendaciones para los trabajos indicados, estudio geofísico; así como obtener la estructura de pavimento más adecuada para el acceso a la planta de bombeo, la cual actualmente se encuentra de terracería (Calle Paseo de la montaña).

El compromiso de este laboratorio es emitir recomendaciones y pormenores del diseño y construcción geotécnica para las estructuras de la obra en cuestión.

Para cumplir con el objetivo planteado, se llevaron a cabo las actividades siguientes:

- Reconocimiento del sitio
- Exploración geotécnica en el área del cárcamo de bombeo. Que comprendió de dos (2) perforaciones con la máquina perforadora tipo JOY, a una profundidad de 10.00 m; realizando la técnica de penetración estándar a cada 1.50 m donde fue factible realizarla.
- Exploración geotécnica en el área donde se construirá el muro perimetral. Que comprendió de dos (2) sondeos de Tipo pozo a cielo abierto (P.C.A.) a una profundidad de hasta 3.00 m; intentando realizar la técnica de penetración estándar (no fue posible realizarla con éxito debido a la presencia de alto contenido de boleos de tamaño chico a mediano).
- Exploración geotécnica en el área de la calle de terracería, para el diseño del pavimento. Que comprendió de tres (3) sondeos de Tipo pozo a cielo abierto (P.C.A.) a una profundidad de 1.50 m.



ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA
TIJUANA B.C.

- Ejecución de los ensayos de laboratorio para la caracterización de los materiales del subsuelo mediante pruebas índice y mecánicas.
- Diagnóstico del problema.
- Respuesta sísmica del terreno.
- Detección de fallas geológicas mediante el estudio geofísico.
- Condiciones geológicas mediante el estudio geofísico.
- Preparación de las recomendaciones de diseño de las estructuras del cárcamo de bombeo, muros perimetrales y estructura de pavimento rígido.

La ubicación de los sondeos correspondientes se proporciona en la **figura No. 1** de los anexos técnicos.

Las profundidades a las cuales haremos referencia, se encuentran referidas al nivel que ofrece el sitio en estudio actualmente, de acuerdo a la topografía del mismo; por consiguiente, cualquier modificación de las cotas en el predio, repercutirá de manera proporcional con las profundidades que se adjuntan.

Las indicaciones aquí presentadas están basadas en nuestro reconocimiento del sitio y análisis de los materiales muestreados en los sondeos. Si llegaran a presentarse modificaciones en el proyecto que difieran sustancialmente de los aquí descritos, se nos deberá notificar para posible revisión a las recomendaciones presentadas en este reporte.

Finalmente, se recolectaron muestras en condición "alteradas" a profundidad variable, mismas que se inspeccionaron de manera visual y al tacto de acuerdo a la Norma ASTM D2488, para obtener su clasificación de campo correspondiente.



ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE CV.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA,
TIJUANA B.C.

II. TRABAJOS DE CAMPO Y LABORATORIO

2.1 EXPLORACIÓN E INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO (TRABAJOS DE CAMPO)

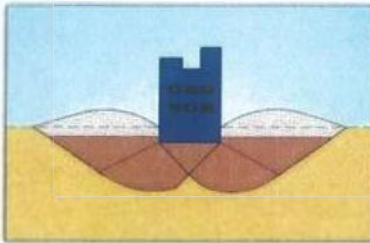
Se llevaron a cabo dos (2) perforaciones para el área donde se construirá el cárcamo de bombeo, llegando hasta una profundidad de exploración de 10.00 metros. Así mismo, se llevaron a cabo 2 sondeos exploratorios de tipo PCA, para la construcción de los muros perimetrales. En estas perforaciones y sondeos se llevó a cabo la técnica de **Penetración Estándar ASTM D 1586**, sin embargo, en algunos casos, no fue posible realizarla, debido a la gran cantidad de boleos de diferentes tamaños, presentados en los estratos que conforman el sitio. También se llevaron a cabo 3 sondeos exploratorios de tipo PCA, para obtener por medio del diseño, la estructura de pavimento de concreto hidráulico a construir.

En el ensaye de tipo S.P.T., la energía de hincado se hace constante sobre la herramienta de penetración, registrándose el número de golpes ejercidos hasta que el muestreador penetre libremente 0.30 metros en el subsuelo, con lo que se correlaciona la resistencia a la penetración con la consistencia del suelo, considerándose esta como una medida indirecta de la capacidad de carga. Cuando se presentan boleos y/o gravas, no es posible realizar la prueba mencionada (como en nuestro caso).

El ensaye de Penetración Estándar Dinámica se realiza en el interior del sondeo durante la excavación. Permite obtener un valor N de resistencia a la penetración que puede ser correlacionado con parámetros geotécnicos como la densidad relativa, el ángulo de fricción interna, la capacidad de carga admisible y los asentamientos de los suelos granulares.

El ensayo SPT puede ejecutarse en todo tipo de suelos, aunque es en los suelos granulares donde se realiza preferentemente (arenas). La frecuencia habitual para la realización de la prueba SPT en el sondeo es a cada 1.00 metro de profundidad, de un ensaye a otro, o incluso mayor, en función de las características que presente el subsuelo (suelos homogéneos).

El procedimiento a seguir consiste en llegar a la cota deseada para el ensaye (véase galería de fotos en la sección anexos técnicos), en el fondo; instalando en su lugar un tomamuestras de dimensiones estándar. El tomamuestra consta de tres



ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA,
TIJUANA B.C.

elementos: zapata, tubo bipartido y cabeza de acoplamiento con el varillaje. Este se debe introducir (hincar) a base de golpes, 60 centímetros de longitud, por medio de un martinete de 63.5 kg de peso, el cual se deja caer libremente de una altura de 76.2 cm (30 pulgadas); por lo tanto, para introducir el tubo se requerirá de un determinado número de golpes, los cuales se cuentan para penetrar 30 centímetros.

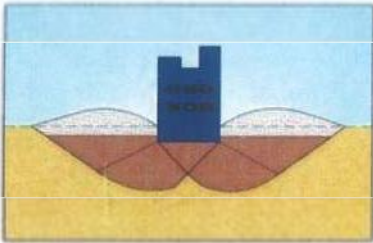
Después de haberse introducido el tubo partido en la zona en estudio, se extrae, desatornillándolo posteriormente quedando dividido en 2 partes; la muestra obtenida se deposita en bolsas de plástico con su correspondiente tarjeta de identificación.

Con la prueba de penetración estándar, obtenemos correlaciones útiles; en el caso de las arcillas y limos muy plásticos, obtenemos la cohesión. En suelos granulares (como en nuestro caso), el valor de N es afectado por la presión efectiva de sobrecarga σ'_v ; por lo que debe ser corregido para obtener el ángulo máximo de fricción (ϕ).

- a) Calas** (pruebas de compactación) a profundidad variable, en los sondeos de tipo PCA fueron practicadas, donde sea posible realizarlas, ya que donde se presentan boleos de tamaño mediano a grande no es posible realizar dicha prueba (como en nuestro caso en varios de los estratos presentados). Se intento realizarlas pero se deformato el agujero por la excesiva presencia de boleos. En este ensaye se excava un agujero (cala) de 15 cm de diámetro, o un cuadrado de 15 cm por lado, a la misma profundidad de la capa por probar. El material excavado es cuidadosamente recogido y pesado. Se seca una porción para determinar su contenido de agua y peso volumétrico seco. El volumen del agujero es medido de forma indirecta. El método generalmente usado es llenándolo con una arena sílica de peso volumétrico constante (determinado en laboratorio), que se tiene en un recipiente graduado. Conocidos el peso seco de la muestra y el volumen de la cala, se calcula el peso volumétrico seco de la muestra, que debe ser igual o mayor que el peso volumétrico especificado en el laboratorio.

b) Muestreo.

Consiste en la obtención de una porción del material, donde se pretende construir una estructura (como en nuestro caso) o bien del material que ya forma parte de esta, de tal manera que las características de la porción obtenida sean



ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA,
TIJUANA, B.C.

representativas del conjunto. El muestreo, además, incluye las operaciones de envase, identificación y transporte de las muestras.

Los **suelos de relleno** se presentan mezclados con los **depósitos aluviales**; tanto en las perforaciones, excavaciones para el muro perimetral como en las excavaciones para el diseño de pavimento. Estos se encuentran contaminados con algo de basura.

Los Suelos de **terreno natural**, también se presentaron en todos los sondeos realizados (excepto en el sondeo No. 6). En general estos se clasifican como: boleos de tamaño chico a mediano con arenas de grano fino y limos inorgánicos de baja a nula plasticidad color café y mezclas de arenas de grano medio a grueso con boleos de tamaño chico a mediano T.M.A. = 60 cm con limos inorgánicos de nula plasticidad, color café tono rojizo. Estos materiales presentan V.R.S. en general $> 30 \%$ (por lo que cumplen como relleno estructural). Sin embargo, debido a que presentan algo de basura y contenidos de agua bajos, así como compactaciones variables (menores en algunos casos a 85%), deberán ser reacondicionados en sus propiedades físicas y mecánicas (granulometría, contenido de agua y grado de compactación), para ser reutilizados en el desplante de las estructuras que se tienen proyectadas, tales como: construcción de cárcamo, muros perimetrales y la estructura del pavimento. Estos suelos presentaran en general características físicas y mecánicas adecuadas, siempre y cuando se encuentren en su contenido de agua optima en $+ 2 \%$, se encuentren confinados y su compacidad relativa tenga un valor mínimo del 90% .

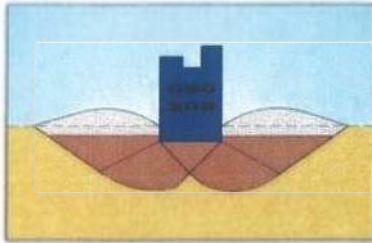
Todas las muestras de suelo fueron transportadas al laboratorio, procediendo al procesamiento de estas a través de análisis físicos, con los que se determinaron sus características. No fue posible realizar la prueba de penetración estándar en algunos sitios, ni la prueba de compactación, debido al riesgo de derrumbe (materiales sueltos). Por lo que, la resistencia del suelo se obtiene con base a su consistencia o compacidad y cementación, así como de acuerdo con la experiencia adquirida en otros lugares semejantes.

De la exploración realizada, fueron efectuados los muestreos hasta la máxima profundidad; tanto en las dos perforaciones y excavaciones realizadas. Los materiales fueron debidamente revisados para la comprobación de la condición general del tipo y calidad del material de suelo.

Mediante el estudio de Mecánica de Suelos se pretende conocer las condiciones geológicas y características físicas, que el suelo del lugar ha mantenido y de ahí definir los valores requeridos para establecer la resistencia que ofrece el mismo.

Estudio de mecánica de suelos para el proyecto: "REHABILITACIÓN DE LA PLANTA DE BOMBEO PB-LOS LAURELES NO. 1, EN EL MUNICIPIO DE TIJUANA, B.C."

9



ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA,
TIJUANA B.C.

2.2 TRABAJOS DE LABORATORIO

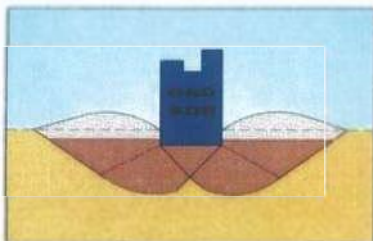
Con objeto de conocer algunas de las propiedades índices de las muestras, así como algunas mecánicas tales como el V.R.S, se llevaron a cabo algunos ensayos en el laboratorio; los cuales se muestran en los anexos técnicos (figuras de la No.3 a la No.6, No.7, No.8 y No.10). Las muestras obtenidas en campo (Alteradas) fueron analizadas, de acuerdo a las normas de la American Society of Testing Materials (A.S.T.M.) y de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.).

Las pruebas realizadas consistieron en:

- a) Obtención de los Pesos Volumétricos Secos Máximos (P.V.S.M.) y humedad óptima (Muestras 10 a 12 y de la 14 a 17).
- b) Obtención de los Pesos Volumétricos Secos Suelos (Muestras 10 a 12 y de la 14 a 17).
- c) Obtención de los Pesos Volumétricos Secos del lugar (Muestras 10 a 12 y de la 14 a 17).
- d) Cálculo de las compactaciones en sitio (Sondeos del No.3 al No.7).
- e) Obtención de los contenidos de agua natural (perforaciones y sondeos)
- f) Límites de Consistencia (Líquido, Plástico y contracción Lineal (perforaciones y sondeos).
- g) Composición Granulométrica (granulometría, en perforaciones y sondeos).
- h) Valor Relativo de Soporte (V.R.S en%), en Muestras 10 a 12 y de la 14 a 17.
- i) Porcentaje de Expansión en % (en sondeos). En Muestras 10 a 12 y de la 14 a 17.

Para la clasificación de los suelos se utilizó el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos S.U.C.S., utilizando para ello los porcentajes que pasan las mallas 4, 40 y 200 (finos); así como la carta de plasticidad, en el caso de los suelos finos (límites de consistencia).

Con los ensayos antes mencionados, se determinaron las propiedades índice y mecánicas de resistencia de los materiales que forman el subsuelo sobre el cual se realizará la obra Rehabilitación de la planta de bombeo PB-Los Laureles 1, en Tijuana, B.C.



ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA,
TIJUANA B.C.

III. MODELO GEOTÉCNICO

3.1 ESTRATIGRAFÍA DEL SUELO

Basados en la experiencia que se ha desarrollado, en cuanto a las condiciones que se presentaron en los materiales del sitio analizado, las cuales corresponden a suelos medianamente heterogéneos (presenta variaciones en los suelos de relleno, en la granulometría y propiedades mecánicas) que integran las características del lugar, procedimos a obtener la estratigrafía de cada perforación y sondeos.

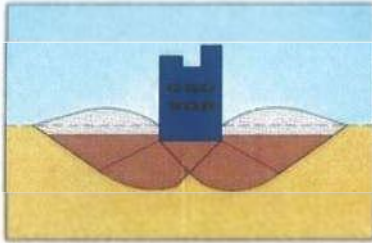
La estratigrafía se basa en las observaciones y resultados de la exploración, en los ensayos de laboratorio y en las características geológicas de la formación.

La descripción de los estratos que componen las perforaciones y los sondeos, se hará iniciando del nivel actual del terreno hacia abajo (profundidad).

En el sitio de estudio, se presentan los suelos de relleno y los depósitos aluviales (terreno natural).

SUELOS DE RELLENO

En la **perforación No. 1**, los suelos de relleno, mezclados con depósitos aluviales, se localizaron hasta la profundidad de 6.00 m. El primer estrato se localizó entre 0.00 a 1.90 m, caracterizado como: mezclas de arenas pobremente graduadas de grano grueso a medio con boleos de tamaño chico a mediano y gravas y con pocos limos inorgánicos de baja a mediana plasticidad, color café claro a oscuro. Su **compacidad relativa es compacta**, de acuerdo al número de golpes obtenido en la prueba SPT (38 golpes). Así mismo, su contenido de agua natural fue de 13.62 % lo cual nos indica que el material se prácticamente en la óptima. El segundo estrato se localizó entre la profundidad de 1.90 a 6.00 m, caracterizándose como: Boleos y gravas limosas, mezclas de grava-arena y limos inorgánicos de nula plasticidad, color café oscuro a café claro, contiene intercalaciones de limos inorgánicos color café claro a oscuro. Su contenido de agua natural fue de 6.96 % y 10.86, lo cual nos indica que se encuentra medianamente húmedo. Su **compacidad relativa es compacta**, de acuerdo al número de golpes obtenido en las pruebas SPT (33 y 37 golpes respectivamente).



ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

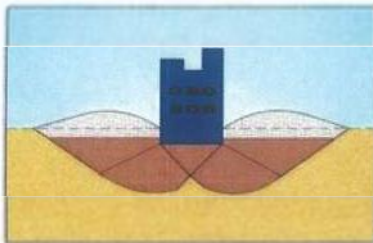
CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA,
TIJUANA B.C.

En la **perforación No.2**, los suelos de relleno mezclados con depósitos aluviales se localizaron hasta la profundidad de 6.00 m. En esta perforación se detectaron 2 estratos distintos, de espesor variable, siendo el primero comprendido entre las profundidades de 0.00 a 3.60 metros, el cual es clasificado como: boleos y gravas limosas, mezcla de grava-arena y limos inorgánicos de nula plasticidad, color café claro. En esta capa se obtuvo un contenido de agua de 4.10 % y 3.79 %, lo cual nos indica que la capa se encuentra medianamente seca y de **compacidad relativa compacta**, esto de acuerdo al número de golpes obtenido en la prueba SPT (36 Y 45 golpes respectivamente). Posteriormente, entre 3.60 a 6.00 metros, se detectó un segundo estrato, el cual es caracterizado como: arenas limosas, mezclas de arenas de grano medio a grueso con gravas y boleos de tamaño chico a mediano y limos inorgánicos de nula plasticidad, color café claro tono verdoso. En esta capa se efectuó el ensaye de penetración estándar en la profundidad de 4.50 metros, donde fue obtenido el total de 21 golpes, por lo que se concluye que su **compacidad relativa es media compacta**. Su contenido de agua natural es de 12.51 %, lo cual nos indica que el estrato se encuentra húmedo.

En el **sondeo No.3 (MURO PERIMETRAL)**. Este sondeo se realizó en la parte norte del terreno, a un lado de la perforación No. 2. Los suelos de relleno revueltos con depósitos aluviales, se presentaron hasta la profundidad de 2.30 m. En este sondeo se detectaron 2 estratos distintos, de espesor variable, siendo el primero comprendido entre las profundidades de 0.00 a 0.58 metros, el cual se clasifica como: limos inorgánicos, con arenas finas, color amarillo claro, con muchas raíces producto del árbol que se encuentra en el área. Esta capa se observó medianamente seca y de **compacidad relativa media compacta**, esto de acuerdo a su dificultad de excavación. Posteriormente, entre 0.58 a 2.30 metros, se detectó un segundo estrato, el cual es caracterizado como: arenas limosas, mezclas de arenas de grano fino con gravas y boleos de tamaño chico a mediano y limos inorgánicos de nula plasticidad, color café tono amarillo. De esta capa se extrajo una muestra representativa. Sin embargo, no se pudo realizar la prueba de penetración estándar debido a la gran cantidad de boleos de diferentes tamaños, así como también debido a la inestabilidad del talud (riesgo para el personal técnico). De acuerdo a la dificultad para su excavación se determina que posee una **compacidad relativa media compacta**; su contenido de agua natural es de 9.71 %, siendo el contenido de agua óptimo de 13.64 %, es decir; la capa se encuentra medianamente húmeda.

En el **sondeo No. 4 (MURO PERIMETRAL)**. Este sondeo se realizó entre la perforación 1 y 2. Originalmente estaba proyectado como sondeo de tipo PCA, pero debido a la dificultad para subir una retroexcavadora, se tomó la opinión con la

Estudio de mecánica de suelos para el proyecto "REHABILITACION DE LA PLANTA DE BOMBEO PB-LOS LAURELES NO. 1, EN EL
MUNICIPIO DE TIJUANA, B.C." 12



ESPECIALISTAS GEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA,
TIJUANA B.C.

Ing, Lucy Chávez de realizar un sondeo tipo SPT en vez de PCA, hasta la profundidad de proyecto. Los suelos de relleno revueltos con depósitos aluviales, se presentaron hasta la máxima profundidad de exploración (3.00 m). En este sondeo se detectaron 2 estratos distintos, de espesor variable, siendo el primero comprendido entre las profundidades de 0.00 a 0.50 metros, el cual se clasifica como: capa vegetal. Posteriormente, entre 0.50 a 3.00 metros, se detectó un segundo estrato, el cual es caracterizado como: arenas limosas, mezclas de arenas de grano medio a fino con gravas y boleas de tamaño chico a mediano y limos inorgánicos de nula plasticidad, color café claro. De esta capa se extrajeron dos muestras representativas una a la profundidad de 0.50 a 1.10 y la otra de 1.10 a 3.00 m. En la primera no pudo llevarse a cabo la prueba SPT y en la segunda, se obtuvieron 22 y 24 golpes respectivamente, esto nos indica que el estrato posee una **compacidad relativa medio compacta**. Su contenido de agua fue de 6.20 %, 4.15 % y 3.67 %, es decir, la capa se encuentra medianamente seca, de acuerdo al tipo de material.

En el **sondeo No. 5 (DISEÑO DE PAVIMENTO)**. Este sondeo se realizó sobre la calle Paseo de la Montaña, lado derecho, aproximadamente a 10 m de la calle de concreto Av. anexa los laureles. Los **suelos de relleno** en este sondeo, presentan un espesor de 25 cm, caracterizándose como: gravas y boleas de tamaño chico a mediano, con arenas de grano grueso a medio, con limos inorgánicos de nula plasticidad, color café claro tono rojizo. Capa intemperizada con algo de basura.

En el **sondeo No. 6 (DISEÑO DE PAVIMENTO)**. En este sondeo no se localizaron los suelos de relleno. El mismo, se realizó sobre la calle Paseo de la Montaña, lado izquierdo, aproximadamente en el centro (terracería).

En el **sondeo No. 7 (DISEÑO DE PAVIMENTO)**. Este sondeo se realizó sobre la calle Paseo de la Montaña, lado derecho, casi al final donde termina la calle en estudio. Los **suelos de relleno**, se localizaron hasta la profundidad de 55 cm, caracterizándose un primer estrato como: arenas de grano fino limosas, mezclas de arenas y limos inorgánicos de baja plasticidad, color café. Presenta algo de basura. Subyaciendo a la capa anterior, entre 0.30 a 0.55 m, se presentó una segunda capa. Así mismo, a la profundidad de 0.30 m, se localizó un tubo de descarga. Esta capa se caracteriza como: arenas de grano medio a fino limosas, mezclas de arenas y limos inorgánicos de baja a nula plasticidad, con algunos boleas, color amarillo.

TERRENO NATURAL



ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA,
TIJUANA B.C.

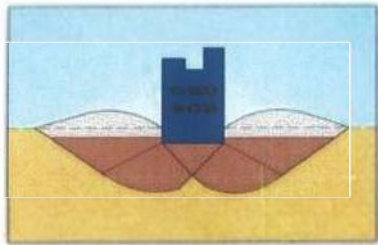
En la **perforación No.1**, a partir de la profundidad de 6.00 m, hasta la máxima profundidad de exploración (10.00 m), se presentaron los suelos de terreno natural; caracterizándose el primer estrato entre las profundidades de 6.00 a 8.10 metros, el cual es clasificado como: boleos y gravas mal graduadas, mezclas de grava-arena de grano medio a grueso y limos inorgánicos de nula plasticidad, color café oscuro a claro y de tono amarillo. Su **compacidad relativa es compacta** de acuerdo al número de golpes (40). Los contenidos de agua obtenidos fueron de 3.16 % y 5.60 %, lo cual nos indica que el estrato se encuentra de medianamente seco a medianamente húmedo. El segundo estrato localizado se encuentra comprendido entre las profundidades de 8.10 a 10.00 metros (espesor indeterminado), este es clasificado como: boleos y gravas limosas, mezclas de grava-arena y limos inorgánicos de nula plasticidad, color café claro a oscuro y tono amarillo. En esta capa se realizó una prueba de tipo S.P.T. en la profundidad de 9.00 metros, donde se obtuvo un total de golpes de 54, es decir, la capa posee una **compacidad relativa muy compacta**. Su contenido de agua natural es de 1.02 %, por lo que esta capa se encuentra prácticamente seca. Hasta la máxima profundidad de exploración no fue localizado el **nivel freático**.

En la **perforación No.2**, los suelos terraciales se localizaron a partir de 6.00 m, caracterizándose 3 estratos, el primero se localiza entre 6.00 a 7.50 m. Este se clasifica como: boleos y gravas mal graduadas, mezclas de grava-arena de grano medio a grueso y limos inorgánicos de nula plasticidad, color café claro tono amarillo. Su **compacidad relativa es compacta** de acuerdo al número de golpes (41) obtenidos en la prueba SPT. Su contenido de agua fue de 10.86 %, lo cual nos indica que el estrato se encuentra prácticamente en la óptima. El segundo estrato se localiza entre 7.50 a 8.70 m de profundidad, caracterizado como: arenas limosas, mezclas de arenas - gravas y boleos de tamaño chico con limos inorgánicos de nula plasticidad, color café grisáceo. Su **compacidad relativa es compacta a medio compacta** (30 y 29 golpes). Los contenidos de agua fueron de 5.96 % y 5.88 %, lo cual nos indica que el estrato se encuentra medianamente húmedo. Finalmente, el ultimo estrato localizado entre 8.70 a 10.00 m (máxima profundidad de exploración), se clasifica como: limos inorgánicos con arenas de grano fino y muy pocas gravas de tamaño pequeño. Su **compacidad relativa es compacta** (32 golpes) y su contenido de agua es de 15.07 %, lo cual nos indica que el estrato se encuentra húmedo. Hasta la máxima profundidad de exploración, no fue localizado el **nivel freático**.

En el sondeo No. 3 (muro perimetral). Entre la profundidad de 2.30 a 3.30 (máxima profundidad de exploración de espesor indefinido), se localizó un estrato, el cual se clasifica como: gravas limosas, mezclas de gravas y boleos de tamaño chico a mediano con arenas de grano medio a grueso y limos inorgánicos de nula

Estudio de mecánica de suelos para el proyecto: "REHABILITACION DE LA PLANTA DE BOMBEO PB-LOS LAURELES NO. 1, EN EL MUNICIPIO DE TIJUANA, B.C."

14



ESPECIALISTAS GEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA,
TIJUANA, B.C.

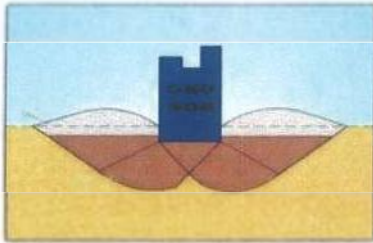
plasticidad, color café tono rojizo claro. Esta capa se observó de **compacidad relativa media compacta**, de acuerdo a su dificultad de excavación. Su contenido de agua natural es de 5.26 %, siendo el contenido de agua óptimo de 10.50 %, por lo que esta capa, se encuentra medianamente seca.

En el sondeo No. 4 (muro perimetral). En este sondeo no se localizaron los suelos terraciales, se localizaron mezclados con los suelos de relleno.

En el sondeo No. 5 (diseño de pavimento). En este sondeo, los suelos de terreno natural, se localizaron a partir de 0.25 m, hasta la máxima profundidad de exploración (1.50 m). dicho material se clasifica como: mezclas de arenas de grano medio a grueso con boleos de tamaño chico a mediano (T.M.A. = 28 cm) con limos inorgánicos de nula plasticidad, color café. Esta capa se observó de **compacidad relativa media compacta**, de acuerdo a su dificultad de excavación. Su contenido de agua natural es de 7.40 % y 7.53 %, siendo el óptimo de 10.80 %, lo que nos indica que el estrato se encuentra medianamente húmedo. Los porcentajes de compactación a las profundidades de 0.60 y 1.50 m, fueron de 92.48 % y 89.03 (aceptable y no cumple).

En el sondeo No. 6 (diseño de pavimento). Los suelos de terreno natural se presentaron desde la superficie hasta la máxima profundidad de exploración (1.50 m). Dicho material se clasifica como: mezclas de arenas de grano medio con boleos de tamaño chico a mediano (T.M.A. = 31 cm) y limos inorgánicos de nula plasticidad, color café. Esta capa se observó de **compacidad relativa media compacta**, de acuerdo a su dificultad de excavación. Su contenido de agua natural fue de 10.13 %, siendo el óptimo de 12.36 %, lo cual nos indica que se encuentra ligeramente abajo de la óptima. El porcentaje de compactación a la profundidad de 0.50 m, fue de 91.50 % (aceptable).

En el sondeo No. 7 (diseño de pavimento). En este sondeo, los suelos de terreno natural se presentaron a partir de 0.55 hasta la máxima profundidad de exploración (1.50 m). Dicho material se clasifica como: mezclas de boleos y arenas de grano medio con limos inorgánicos de nula plasticidad, color rojizo. Esta capa se observó de **compacidad relativa media compacta**, de acuerdo a su dificultad de excavación. Su contenido de agua natural fue de 7.29 %, siendo el óptimo de 8.99 %, lo cual nos indica que se encuentra ligeramente abajo de la óptima. El porcentaje de compactación a la profundidad de 1.00 m, fue de 85.79 % (no cumple).



ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE CV.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA, TIJUANA, B.C.

3.2 MARCO GEOLÓGICO

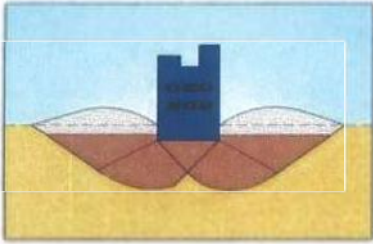
Desde el punto de vista geológico y a los suelos observados y muestreados en la zona objeto de estudio está situado en la Formación San Diego, unidad litológica TplQpt Ar-Cgp (Carta Geológico-Minera INEGI Tijuana I11-11) y unidad cronoestratigráfica formada por suelos de clase sedimentario de tipo areniscas del sistema Neógeno, serie Plioceno Tpl (Ar)- ARENISCAS del Periodo Terciario época del Plioceno, de acuerdo al Mapa Geológico de Baja California (Gastil et al., 1975). Estos estratos afloran en los alrededores de Tijuana y San Diego, corresponden al Periodo Terciario (Neógeno) de la época del Plioceno-Pleistoceno.



Mapa geológico de Baja California (Gastil et al., 1975).

El área de estudio quedaría encontrada entre los materiales terciarios (conglomerados con intercalaciones de areniscas) depositados en un ambiente marino somero fluvio-lacustre y de plataforma marina somera, con vulcanismo situado al oeste de la línea de costa.

La formación del lugar predominante corresponde a la unidad litológica (TplQpt Ar-Cgp) compuesta por conglomerados y areniscas, caracterizado en el sitio por boleos y gravas mal graduadas, mezclas de grava arena con limos inorgánicos de nula plasticidad, color café claro (Conglomerados) y arenas limosas, mezclas de arenis-



ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA,
TIJUANA B.C.

boleos con limos inorgánicos de baja a nula plasticidad, color café claro a oscuro, de baja a medianamente cementados con la profundidad.

IV. RESPUESTA SÍSMICA DEL TERRENO

4.1 ANTECEDENTES DE LA ZONA

La Península de Baja California es una región notablemente sísmica, la cual manifiesta un movimiento que la separa del continente a razón de 3.8 a 6.4 cm por año.

Existen temblores que podrían ocurrir en las fallas de Coronado Banks, Rose Canyon, Elsinore Julian, Elsinore Coyote Mountain, Earthquake Valley y otras fallas dentro del Sur de California y Norte de Baja California, las cuales son los generadores potenciales de un movimiento telúrico significativo en el sitio.

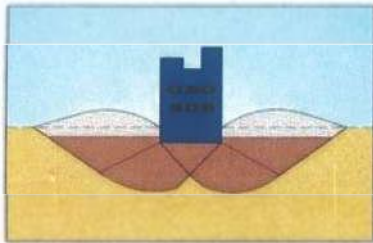
El predio en estudio se encuentra a 3.2 km del sistema de fallas geológicas en los alrededores de Playas de Tijuana, como lo indica el mapa geológico del capítulo anterior; por lo que esta variable debe ser considerada durante el diseño y construcción de la obra.

Se han presentado varios sismos en ciudades de California, considerando por su cercanía a Tijuana constituyen observaciones significativas.

Por lo anterior se ha propuesto en San Diego que para el diseño de estructuras se considere un sismo de magnitud 7.3 en la escala de Richter, con recurrencia de 60 años. Estos valores no necesariamente son aplicables a Tijuana, sin embargo, pueden servir como una buena aproximación.

Los sismos en Tijuana son en su gran mayoría poco profundos y de magnitudes elevadas, por lo que pueden causar daños en los centros de población, aunque sus áreas de influencia son restringidas.

Según la normativa sísmica y/o sismo resistente **NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS DE LA LEY DE EDIFICACIONES DEL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL EN MATERIA DE DISEÑO POR SISMO**) desde el punto de vista sísmico y para el cálculo estructural, el área de estudio se



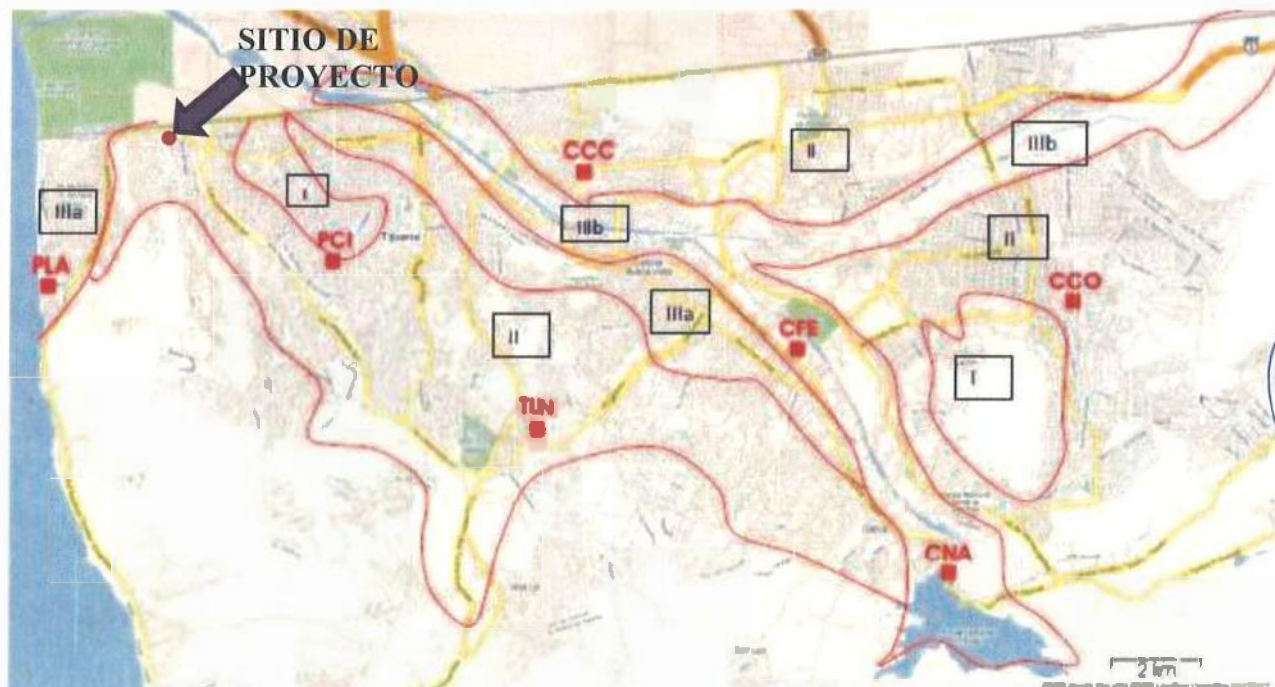
ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA, TIJUANA B.C.

encuentra enclavada en una zona de intensidad sísmica de grado alto zona C, según la escala en Regionalización sísmica (tabla 1.1, Capítulo 1: Criterios generales de diseño).

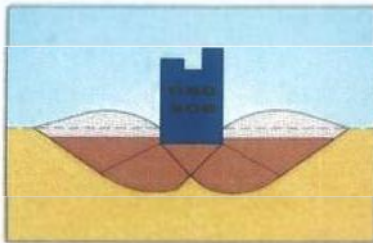
VALORES DE LOS PARÁMETROS						
ZONA	a_0	SUELO	c	Ta^1	Tb^1	r
C	0.08	II	0.30	0.14	1.00	1

1: Periodos en segundos



Zonificación de la Cd. de Tijuana para fines de diseño por sismo.

* Fuente: NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS DE LA LEY DE EDIFICACIONES DEL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA, DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL EN MATERIA DE "DISEÑO SÍSMICO" (SIDUE, 2017).

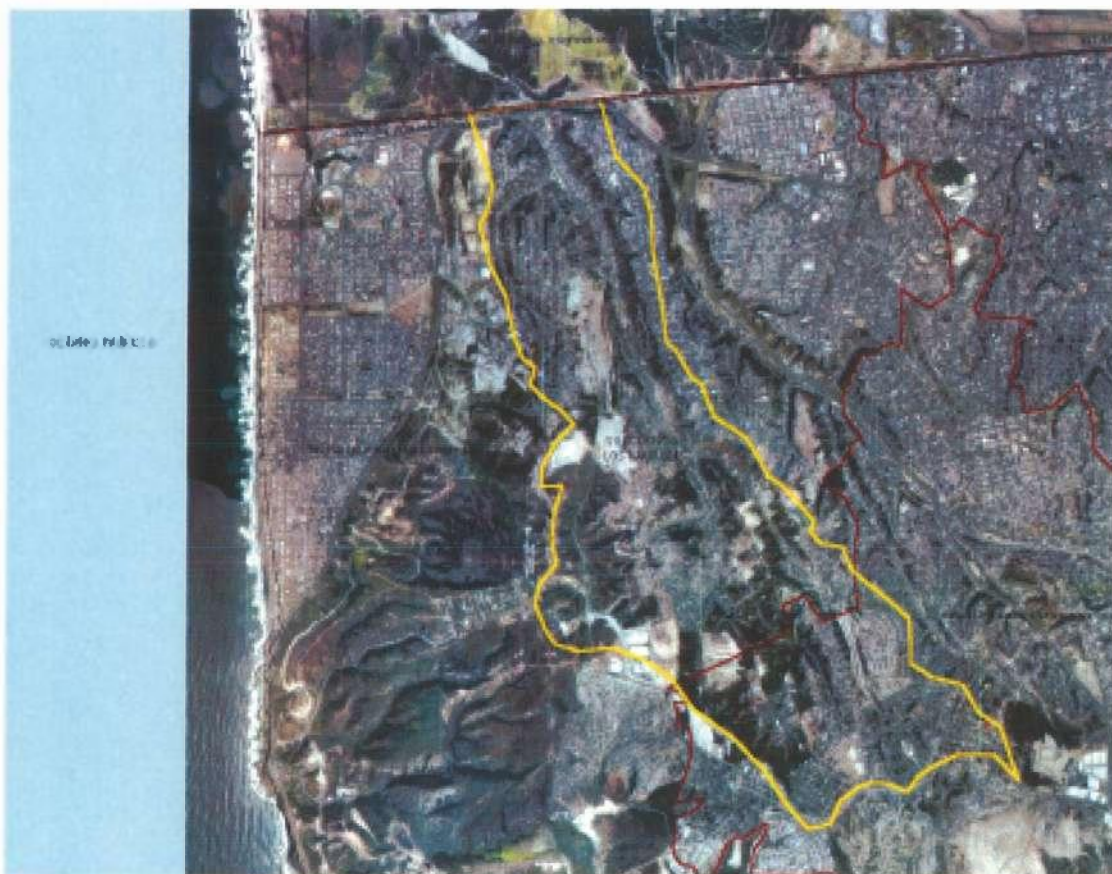


ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE CV.

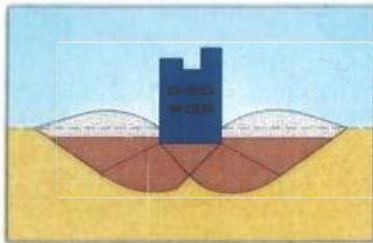
CIRCUITO LOMADORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA,
TIJUANA B.C.

V. CONDICIONES HIDRÁULICAS

La subcuenca de Los Laureles con 11.7 km², se ubica en la porción noroeste del municipio de Tijuana, Baja California dentro de la delegación Playas de Tijuana. La Subcuenca de los Laureles pertenece a la Cuenca Regional Binacional del Río Tijuana, 88.2 % de su superficie se encuentran en México y el resto 11.8 % en Estados Unidos en la zona del Estuario del Río Tijuana conocida como Goat Canyon.

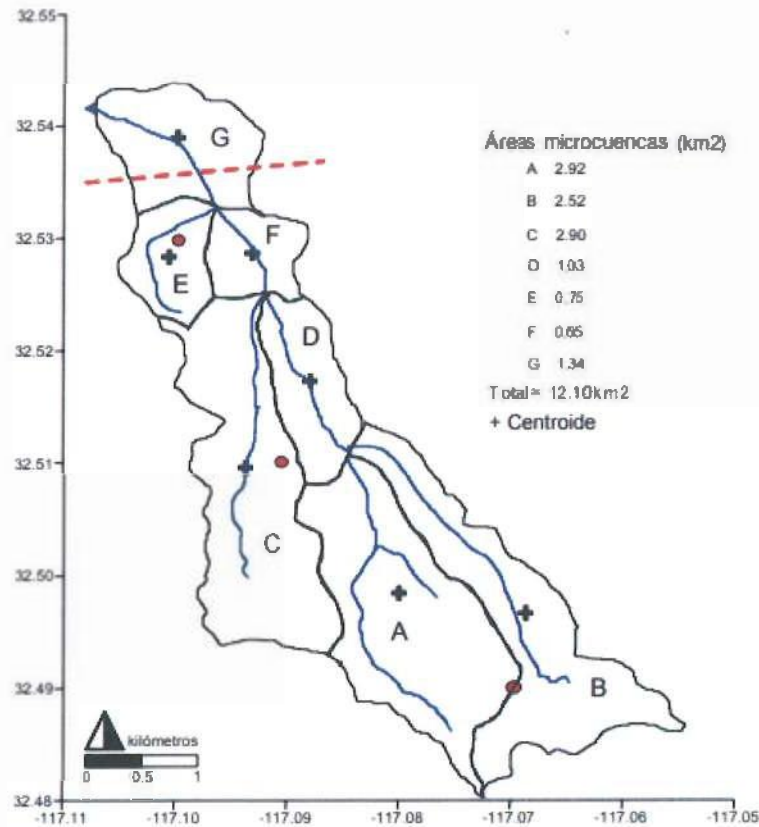


Las condiciones demográficas y topográficas de la zona dificultan la introducción de servicios, aumenta la vulnerabilidad y el riesgo de la población ante desastres naturales y limita las posibilidades de mejoras en la calidad de vida de los habitantes de dicha zona.



ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

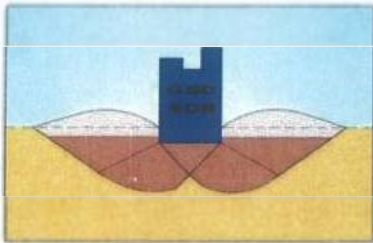
CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA,
TIJUANA, B.C.



Subdivisión de Microcuencas en los Laureles

En relación con el comportamiento hidráulico de la Subcuenca, se trabajó con una delimitación de microcuencas, siguiendo los niveles de subdivisión establecidos a partir de la Cuenca del Río Tijuana, de escala regional. Del análisis realizado se obtuvo una subdivisión de la Subcuenca en 7 microcuencas: Lógicamente las microcuencas más cercanas a la salida de la subcuenca son las primeras en presentar el gasto pico, mientras que las microcuencas más alejadas son las últimas en descargar. Este análisis permite concluir que la subcuenca es sensible a eventos de corta duración y gran intensidad.

El tramo en estudio se encuentra ubicado en la microcuenca G con un área de 1.34 km² y la Avenida Canal (paralela a la calle paseo de la montaña) es donde se localiza en el cauce de esta microcuenca.



ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE.S.A. DEC.V.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA,
TIJUANA B.C.

Además de las consideraciones respecto al gasto hidráulico, es necesario cuidar el nivel de azolve del cauce, para que no se vea reducida su capacidad en temporada de lluvias, con lo cual podrían ocurrir inundaciones, principalmente en la zona aguas abajo, mismas que pueden provocar afectaciones a la población y a las obras de infraestructura efectuadas en la zona.

5.1 AGUAS SUBTERRÁNEAS

Durante nuestra investigación de campo no se encontró agua subterránea y/o filtraciones.

5.2 AGUAS SUPERFICIALES

Bajo ninguna circunstancia se deberá tolerar que el agua inunde las excavaciones de la cimentación cuando se realice la estructura del cárcamo y la remediación de las terracerías en las áreas en construcción (cárcamo, muro perimetral y construcción de pavimento).

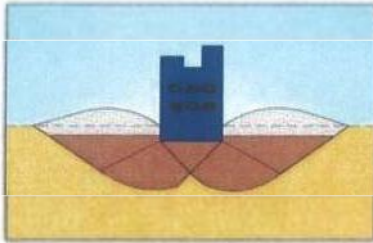
Las aguas superficiales (irrigación y lluvia), se conducirán por medio del drenaje pluvial existente, lo cual ayudará bastante a que no se deteriore ni dañen las estructuras por construir ni el pavimento de concreto proyectado.

5.3 LICUACION

La licuación se puede describir como el proceso en el cual la estructura de la masa de suelo se rompe súbitamente a causa de una perturbación, comportándose como un líquido viscoso mientras la perturbación continua.

Este fenómeno va acompañado de una pérdida parcial o total de la resistencia al esfuerzo cortante del suelo y la disminución de volumen en el momento en que la perturbación cesa; por lo que para que se presente la licuación en un depósito de suelo deben existir por lo menos las siguientes condiciones.

- 1).- La parcial o total saturación del suelo.



ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA, TIJUANA B.C.

- 2).- La posibilidad de densificación del depósito.
- 3).- La posibilidad de colapso de la estructura del suelo.

Seed (1966) indica que si una arena saturada se somete a vibraciones tiende a compactarse disminuyendo su volumen. Si no se tienen condiciones de drenaje adecuados, esta tendencia a la disminución de volumen da como resultado un incremento en la presión de poro hasta un punto tal en el que esta presión tiende a ser equivalente al esfuerzo de sobrecarga y el esfuerzo efectivo se anula. En este momento la arena pierde completamente su resistencia y se desarrolla el estado de licuación.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, en el terreno en estudio no se presentaría la licuación, debido a que se trata de suelos gruesos (boleos, gravas y arenas), además de que no tenemos el nivel freático superficial (> 10 m).

VI EXCAVACIONES

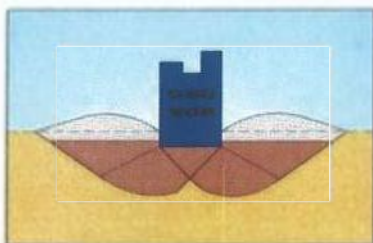
De acuerdo a las características de los materiales encontrados en el sitio, para alojar la tubería se requerirá de un tipo de sección de excavación, dependiendo de la profundidad donde se colocará el tubo. Así mismo, se determinará en tipo de material para pago, de acuerdo a especificaciones CESPT.

6.1 SECCION DE EXCAVACION PARA INSTALACION DE LINEAS

De acuerdo a los tipos de suelos encontrados en el sitio: conglomerados pobremente a medianamente cementados y areniscas poco cementadas, los ángulos recomendados son los siguientes:

Ángulo recomendado

Hasta 5 m de altura	.5 : 1 (horizontal contra vertical)
De 5 a 10 m de altura	.75:1 (horizontal contra vertical)



ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA,
TIJUANA B.C.

6.2 CLASIFICACION DE MATERIALES PARA PAGO DE EXCAVACIONES.

Se entenderá por excavación de zanjas, excavaciones para desplante de estructuras y cortes las que se realicen según los niveles, dimensiones del proyecto, en tuberías de alcantarillado sanitario, pozos de visita, cárcamos. Los materiales se clasifican de la siguiente forma:

MATERIAL "A"

Un material blando o muy suelto es 100 % material "A" cuando su cementación medida en prueba de penetración estándar sea igual o menor a 25 golpes necesarios para hincar treinta cm dentro del suelo, mediante una saca muestras normalizado.

MATERIAL "B"

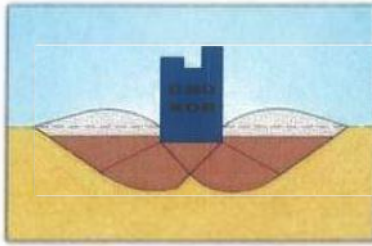
Un material de consistencia solida es 100 % material "B" cuando su cementación medida en prueba de penetración estándar sea igual a 60 golpes necesarios para hincar 30 cm dentro del suelo, mediante una saca muestras normalizado. Además, se considera como material "B" el formado por piedras sueltas comprendidas entre 75 y 7.5 centímetros, rocas muy alteradas, conglomerados medianamente cementados, areniscas blandas y tepetates.

MATERIAL "C"

Un material es 100 % material "C" cuando el número de golpes sea igual o mayor a 160 golpes en prueba de penetración estándar necesarios para hincar 30 cm dentro del suelo, mediante una saca muestras normalizado.

El material "C" incluye rocas basálticas, areniscas y conglomerados fuertemente cementados, calizas, rolitas, granitos y andesitas sanas, las piedras sueltas mayores a 75 centímetros o que para ser extraído sea necesario emplear explosivos.

De acuerdo a esto, clasificamos cada una de las excavaciones de la siguiente manera:



**ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL
NOROESTE S.A. DE C.V.**

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA,
TIJUANA, B.C.

Perforación 1: material 100 % "B" Conglomerado y arenisca medianamente cementados.

Perforación 2: material "A" 36 %, material "B" 64 %: arenas limosas medianamente compactas y Conglomerado y arenisca medianamente cementados.

Excavación 3 (muro perimetral): material "A" 19.33 %, material "B" 80.67 %: capa vegetal y Arenisca y Conglomerado medianamente cementados.

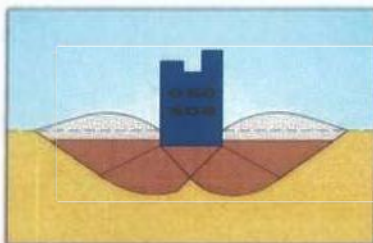
Excavación 4 (muro perimetral): material "A" 16.66 %, material "B" 83.34 %: capa vegetal y Areniscas medianamente cementadas.

Excavación 5 (diseño de pavimento): material "B" 100 %: suelos de relleno compactos y areniscas medianamente cementadas.

Excavación 6 (diseño de pavimento): material "B" 100 %: areniscas medianamente cementadas.

Excavación 7 (diseño de pavimento): material "A" 36.66 % y material "B" 63.34 %: suelos de relleno sueltos y conglomerado medianamente cementadas.

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, loopy initial 'E' followed by a vertical line and a small flourish.



ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA,
TUJUANAB.C.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 EL SUBSUELO

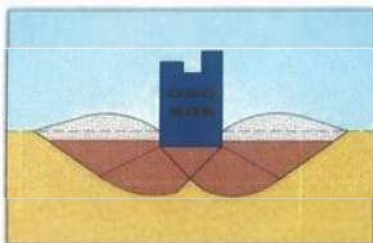
En nuestra opinión, el terreno es medianamente aceptable para llevar a cabo la obra: rehabilitación de la planta de bombeo 1 PB-Los Laureles, en el municipio de Tijuana, Baja California; sin embargo, deberá llevarse a cabo en el lugar la remediación de terracerías en todas las estructuras por construir (cárcamo, muro perimetral y para la construcción del pavimento en Calle Paseo de la Montaña.

Se localizaron los suelos del terreno natural prácticamente en todos los sondeos realizados, excepto en el sondeo No. 4. Estos materiales presentan en general propiedades físicas y mecánicas medianamente aceptables, para el desplante de la cimentación del cárcamo y muro perimetral. Presentan en su mayoría V.R.S. > 20 % (Valor Relativo de Soporte) debido a la cantidad de partículas gruesas (retenidos en la malla 4) que poseen. Sin embargo, se deberá llevar a cabo en estos una remediación de terracerías para asegurar un soporte seguro y uniforme para las estructuras, de manera medianamente superficial (tratando el material que subyace a las estructuras por construir).

Las recomendaciones para las cimentaciones que a continuación se describen es con el entendimiento que estas estarán empotradas en suelos densos (suelos de relleno y/o suelos terraciales), bien compactados y con un contenido de agua cercano a la óptima en + 2 %.

7.2 TRATAMIENTO DE LAS TERRACERÍAS (ESTRUCTURA DE CARCAMO Y CANALETA PARSHALL)

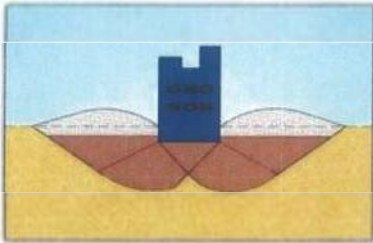
- 7.2.1 Las especificaciones de terracerías que se presenten en esta sección deberán llevarse a cabo fielmente durante el reacondicionamiento de las terracerías. Deberán de apegarse a las Normas avaladas por la Sociedad Americana de pruebas de Materiales (A.S.T.M. por sus siglas en ingles), así como de las especificadas del Manual de Movimientos de Tierras de Baja California.
- 7.2.2 De acuerdo a planos proporcionados por la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana (CESPT), se tiene primeramente una estructura denominada Canaleta



ESPECIALISTAS EN GEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA, TIJUANA B.C.

- Parshall (pretratamiento) que se localiza en la parte sur del terreno en estudio. Este tendrá profundidades variables, por lo que el tratamiento también será variable. Empezaremos por la parte más profunda que se encuentra a 5.42 m y posteriormente a la que se encuentra a 3.20 m. De acuerdo al análisis de estabilidad de taludes, el material no es estable en las condiciones actuales, para cortar ni siquiera en forma escalonada (ver fig. 13.y 14) por lo tanto se tendrá que usar tablestacado en todos los procesos de excavación; cuando estos sobrepasen los 3.00 m.
- 7.2.3 Para el proceso de mejoramiento de las terracerías, estas se harán en forma escalonada, dependiendo los niveles de proyecto. Para el primer tramo más profundo, se excavará como mínimo 6.00 metros.
- 7.2.4 Al llegar al nivel -6.00 m, se le deberá dar al material expuesto un riego pesado y dejar que el agua se infiltre. Posteriormente se compactará con rodillo liso "vibratorio" retirando primeramente los boleos expuestos mayores a 15 cm. Esta capa deberá compactarse hasta alcanzar el 90 % de su compactación relativa.
- 7.2.5 En caso de presentarse baches (material saturado), se deberá estabilizar con piedra brasa de T.M.A. = 20 cm, utilizando la excavadora para encajar el material.
- 7.2.6 Todas las capas se deberán colocar en espesores de 20 cm sueltos, homogeneizadas en su contenido de agua óptima en + 1 % y compactadas al 95 % de su Peso Volumétrico Seco Máximo obtenido en el laboratorio.
- 7.2.7 Terminado el desplante y revisado por el laboratorio de mecánica de suelos que no contenga baches y que cumpla con el % especificado, se podrá iniciar con el relleno compactado, el cual será con material tipo "base hidráulica" que cumpla con especificaciones S.C.T. (V.R.S. \geq 80 %).
- 7.2.8 Para el siguiente tramo de la estructura, el cual se tiene a 3.20 m de profundidad, se tendrá que hacer un escalón de 6.00 a 4.00 m. En este se seguirá el mismo procedimiento indicado anteriormente, solo que en este caso el riego será menos cargado, ya que el suelo contiene un contenido de agua mas alto.
- 7.2.9 Se compactará el nivel de desplante (-4.00 m) al % de compactación indicado y se le colocará el material tipo "base hidráulica" al nivel de proyecto (-3.20 m).



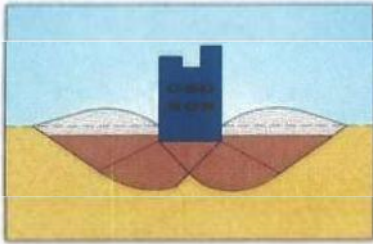
ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMA DORADA N.O. 19428, FRACC. LOMA DORADA,
TIJUANA B.C.

- 7.2.10 Analizando el proceso creemos que lo mas conveniente es empezar de lo menos profundo a lo mas profundo, sin embargo, esto dependerá del contratista, de cómo se acomode mejor.
- 7.2.11 Para el cárcamo que es la estructura mas profunda, la cual, de acuerdo a proyecto tiene una profundidad de 9.40 m, se recomienda cortar como mínimo a 10.00 m y al llegar a dicho nivel verificar las condiciones del suelo, en cuanto a contenido de agua y calidad para determinar que tipo de tratamiento debe seguirse. Sin embargo, deberá compactarse como mínimo al 90 % de su compactación relativa y en su contenido de agua optima en + 2 %.
- 7.2.12 Deberá verificarse perfectamente que no existan baches y en caso de presentarse, deberá seguirse el mismo procedimiento mencionado.
- 7.2.13 Deberá verificarse por el laboratorio de mecánica de suelos, que no existan baches y que el % de compactación cumpla con el indicado.
- 7.2.14 Enseguida se colocará el material tipo "base hidráulica" hasta los niveles de proyecto (-9.40 m), colocándola en capas de 20 cm sueltas y compactada al 100 % de su P.V. S.M. en su contenido de agua optima en + 2 %.
- 7.2.15 La estructura en su diseño deberá contemplar con drenes en ambos sentidos para captar y desalojar cualquier cantidad de agua que pueda infiltrarse; y conducirla a algún registro predeterminado.

7.3 TRATAMIENTO DE LAS TERRACERÍAS (MURO PERIMETRAL)

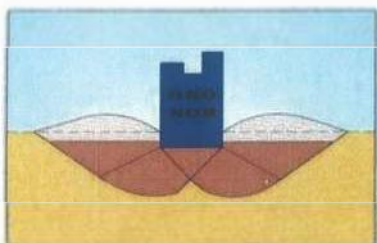
- 7.3.1 De acuerdo a planos proporcionados por la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana (CESPT), el muro perimetral proyectado tiene una profundidad de desplante de 1.10 m y un ancho "B" de 1.00 m; este se localizará precisamente en todo el perímetro de la planta de bombeo Los Laureles.
- 7.3.2 El proceso de mejoramiento de las terracerías, para esta estructura, será el siguiente:



ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA, TIJUANA B.C.

- 7.3.3 Debido a que se presentaron los suelos de relleno con basura, tanto en el sondeo No. 3 como en el número 4, se recomienda cortar hasta 2.30 m, retirando estos suelos y/o limpiándolos si fuera posible para posteriormente meterlos nuevamente.
- 7.3.4 Al llegar al nivel -2.30 m, se le deberá dar al material expuesto un riego pesado y dejar que el agua se infiltre. Posteriormente se compactará con rodillo liso "vibratorio". Esta capa deberá compactarse hasta alcanzar el 90 % de su compacidad relativa.
- 7.3.5 En caso de presentarse baches, se deberá estabilizar con piedra braza de T.M.A. = 15 cm, utilizando la excavadora para encajar el material.
- 7.3.6 Terminado el desplante y revisado por el laboratorio de mecánica de suelos que no contenga baches y que cumpla con el % especificado, se podrá iniciar con el relleno compactado. En este caso, podrá utilizarse el material del lugar (terreno natural) producto de la excavación, retirando los boleos mayores a 3" y/o material de banco que cumpla con especificaciones S.C.T. para una subrasante de buena calidad (V.R.S. \geq 30 %).
- 7.3.7 Los materiales utilizados tanto del lugar como de banco, deberán homogeneizarse en su contenido de agua óptimo en + 1 % y compactarse hasta alcanzar el 95 % de su P.V.S.M. Las capas deberán ser de 20 cm sueltos.
- 7.3.8 Los rellenos compactados llegaran al nivel -1.10 m, siguiendo el proceso que se indicó anteriormente.
- 7.3.9 Terminado el desplante (compactado), se podrá colar la plantilla y posteriormente la cimentación armada.
- 7.3.10 El relleno de la cimentación, podrá ser con el material producto de excavación, siempre y cuando no contenga boleos mayores a 15 cm y este se homogenice hasta alcanzar en + 1 % respecto a la óptima y se compacte en capas al 90 % de su P.V.S.M.
- 7.3.11 Para la construcción de las zapatas aisladas (1.50 x 1.50 m) que se construirán para la techumbre, deberán seguirse las mismas indicaciones aquí presentadas. Así como para el muro de contención proyectado.



ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA,
TIJUANA B.C.

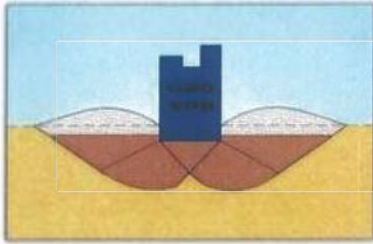
- 7.3.12 Las últimas dos capas para llegar a nivel de rasante, deberán ser con material de banco que cumpla con especificaciones S.C.T; para una subrasante de buena calidad (V.R.S. $\geq 30\%$).
- 7.3.13 Las áreas de patios deberán contar con pendientes adecuadas, mínimo del 2 % que garanticen el drenaje eficiente del agua de lluvia hacia algún registro pluvial y/o hacia el canal existente.
- 7.3.14 Deberá estar presente el laboratorio de control de calidad en todas las terracerías; con el fin de que estas se lleven a cabo de acuerdo con las recomendaciones aquí vertidas. Así mismo, deberá asegurarse en todo momento que cualquier infracción de las especificaciones aquí indicadas, sea entregada en forma oportuna al Ingeniero supervisor, con la finalidad que estas se incorporen de una manera adecuada para garantizar el adecuado funcionamiento de la cimentación y de los trabajos realizados.

7.4 ESTABILIDAD DE TALUDES

Las investigaciones *in situ* para taludes tienen como objetivo reconocer la geológica y geotécnica del terreno al realizar la excavación, con el fin de obtener los parámetros necesarios para analizar su estabilidad.

Un aspecto muy importante para investigar es la posible presencia de **deslizamientos naturales** activos o inactivos, ya que la obra puede reactivar los movimientos al realizar las excavaciones proyectadas (geometría, hidrogeología, estados tensionales, etc). La presencia de inestabilidades naturales preexistentes modifica el diseño de la excavación, e incluso puede hacer inviable la misma, obligando a emplazamientos alternativos. En este caso se realizaron análisis de estabilidad de talud considerándolos en forma vertical, así como escalonados y en las dos situaciones, el Factor de Seguridad no cumple con el mínimo especificado (1.5 mínimo).

La estabilidad de un talud está determinada por **factores geométricos** (altura e inclinación), **factores geológicos** (que condicionan la presencia de planos y zonas de debilidad y anisotropía en el talud), **factores geotécnicos** relacionados con el comportamiento mecánico del terreno (resistencia y deformabilidad).



ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA,
TIJUANA, B.C.

La combinación de los factores citados puede determinar la condición de rotura a lo largo de una o varias superficies, y que sea cinemáticamente posible el movimiento de un cierto volumen de masa de suelo o roca. La posibilidad de rotura y los mecanismos y modelos de inestabilidad de los taludes están controlados principalmente por factores geológicos y geométricos, como en nuestro caso.

La naturaleza del material que forma un talud está íntimamente relacionada con el tipo de inestabilidad que este pueda sufrir, presentando las diferentes litologías distinto grado de susceptibilidad potencial ante la ocurrencia de deslizamientos o roturas. Las propiedades físicas y resistentes de cada tipo de material, junto con la presencia de agua (no es el caso), gobiernan su comportamiento tenso-deformacional y, por tanto, su estabilidad.

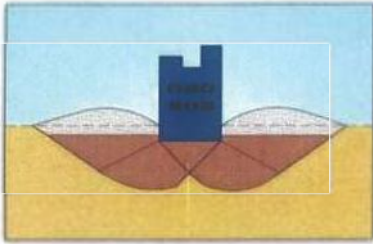
En los macizos rocosos, la existencia de capas o estratos de diferente competencia implica también un diferente grado de fracturación en los materiales, lo que complica la caracterización y el análisis del comportamiento del talud (conglomerados de medianamente compactos a compactos).

De acuerdo a los análisis de estabilidad de taludes en la perforación 1 y 2, podemos concluir lo siguiente:

7.4.1 En la perforación 1, se presentó en la parte superior un $FS = 0.573$ (no cumple), así mismo, realizando escalonamientos se obtuvo un $FS = 0.998$ (no cumple). Por lo tanto, concluimos que no es factible realizar excavaciones mayores a 3.0 m sin utilizar algún ademe y/o a mayores profundidades prácticamente utilizar tablestacado. También es importante mencionar que a partir de los 2.0 m y hasta los 3.0 m, se deberá dar un ángulo de reposo al material de .5: 1 (horizontal contra vertical) para poder trabajar con seguridad. El programa utilizado para la estabilidad de taludes se llama **SLOPE W DE GEOSTUDIO 2012**.

7.4.2 En la perforación 2, todavía es más crítico, ya que el programa nos marca error y la superficie de falla se sale del modelo (es decir no es estable) y por lo tanto no calcula el FS. Lo que nos indica que la superficie de falla es mayor que la profundidad.

7.4.3 De acuerdo a lo mencionado, se deben **utilizar tablestacas**, antes de iniciar con las excavaciones para la construcción de las estructuras proyectadas (desarenador y carcamo).

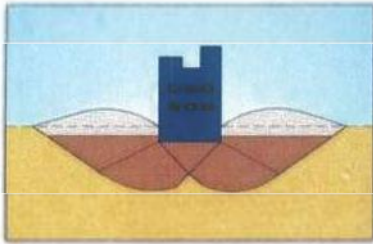


ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA,
TIJUANAB.C.

7.4.1 EMPUJES LATERALES SOBRE TABLESTACAS

- 7.4.1.1 Las tablestacas deben ser diseñadas para dar soporte a las excavaciones. Para el diseño, es indispensable determinar las fuerzas ejercidas por el suelo contenido, así como las ejercidas por los efectos ambientales.
- 7.4.1.2 El empuje de tierras es la fuerza por unidad de área que ejerce el suelo sobre un elemento estructural. Su valor depende de las propiedades físicas del suelo, de la interacción suelo-estructura en la interfase de la magnitud y características de las deformaciones en el sistema suelo-estructura.
- 7.4.1.3 Los empujes de tierra sobre las tablestacas no dependen del tipo de suelo, más bien son función de la interacción suelo-estructura y esta a su vez de los movimientos que se desarrollen entre ambos, por lo tanto, el problema matemático es altamente indeterminado.
- 7.4.1.4 Los estados de esfuerzos que se desarrollan dentro de la masa de suelo y que son de interés en el diseño de tablestacas, son los estados: en reposo, activo y pasivo. El empuje de tierras sobre cualquier estructura de retención puede variar de un estado inicial de esfuerzos conocido como estado en reposo K_0 , a un estado límite mínimo como el activo, K_a , o a un estado límite máximo como pasivo, K_p .
- 7.4.1.5 La magnitud del desplazamiento horizontal requerido para desarrollar uno de los estados límite (máximo o mínimo) depende de la rigidez del suelo y estructura, de su interacción, así como de su altura. En suelos firmes o rígidos, como en arenas densas o arcillas preconsolidadas, la magnitud requerida para desarrollar un estado límite es relativamente pequeña; en cambio en arenas sueltas o arcillas blandas el valor para el desarrollo del estado límite es un porcentaje considerable de la altura (no aplica en ninguno de los dos casos para los tipos de suelos encontrados en el sitio).
- 7.4.1.6 Las tablestacas normalmente soportan, además de los empujes del suelo, cargas en la superficie o sobrecargas, que pueden ser el apilamiento del material, la cercanía de alguna construcción, el peso del equipo de construcción, etc. Estas cargas contribuyen a incrementar el empuje activo del suelo y su tendencia de movimiento.



ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMADORADA NO. 19428, FRACC. LOMADORADA, TIJUANA B.C.

7.4.1.7 **Sismo:** En regiones sísmicas las fuerzas producidas por un sismo deben ser consideradas. En el peor de los casos, el suelo de apoyo se puede licuar dejando a la tablestaca sin apoyo. Esta posibilidad debe evaluarse y considerar el mejoramiento del material de apoyo o buscar una nueva posición para la tablestaca (en nuestro caso no es factible la licuación, pero sí que se presente algún sismo).

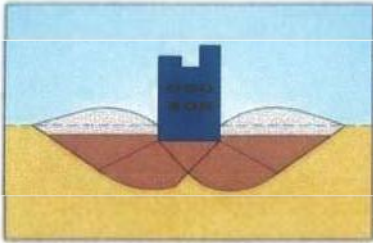
7.4.2 DISEÑO DE TABLESTACAS

7.4.2.1 En el diseño y construcción de las tablestacas intervienen numerosas disciplinas de la ingeniería, como: la estructural, la geotécnica, la hidráulica, todas relacionadas para poder predecir los impactos ambientales que su hincamiento puede producir; el proceso involucra desde el diseño, la construcción y la operación de la estructura.

7.4.1.2 El diseño de un muro tablestaca se realiza mediante un proceso iterativo, que involucra las siguientes acciones: a).- cálculo de las fuerzas y las presiones laterales que actúan sobre la tablestaca; b).- determinación de la longitud necesaria de empotramiento, c).- cálculo de los momentos flexionantes máximos d).- definición de la sección de tablestaca en función de los máximos esfuerzos y de las condiciones de apoyo; e).- determinación del apuntalamiento o anclaje.

7.4.1.3 Hay dos tipos básicos de muros tablestacas: (a) en cantiléver o en voladizo y (b) anclados o apuntalados. Una tablestaca en cantiléver es aquella que se construye hincando en el terreno la sección estructural, una profundidad suficiente para desarrollar una reacción de viga en voladizo que resiste las presiones activas sobre la tablestaca. Debido a las grandes deformaciones que pueden experimentar este tipo de solución es aceptable solo en muros de poca altura, aproximadamente 5 m, ya que con la altura se incrementa su flexibilidad, siendo los momentos flexionantes proporcionales al cubo de su altura. La erosión, el arrastre de sedimentos y la consolidación de los suelos en la parte frontal del muro contribuyen en incrementar estas deformaciones.

7.4.1.4 El equilibrio estático de los muros en cantiléver se debe a la magnitud del empuje pasivo que se desarrolla en la porción enterrada del muro, requiriéndose



**ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL
NOROESTE S.A. DE C.V.**

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA,
TIJUANA B.C.

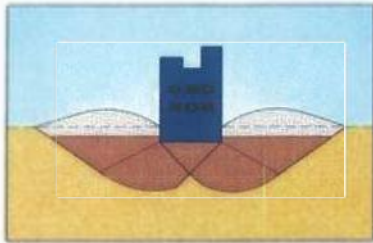
de grandes profundidades de empotramiento para lograr la estabilidad, lo anterior conduce a sobreesfuerzos en la sección estructural.

- 7.4.1.5 Para suelos estratificados (medianamente) se debe considerar para cada estrato los valores del peso volumétrico γ y de la compacidad relativa que depende del ángulo de fricción ϕ ; también se deberán tomar en cuenta para el cálculo de las presiones de suelos las condiciones geométricas.

Se estima la profundidad de empotramiento de la tablestaca, con base en la siguiente correlación:

- 7.4.1.6 **Las tablestacas ancladas** derivan su resistencia del empuje pasivo desarrollado en la longitud empotrada y de la fuerza del tirante de anclaje, localizado en la parte superior de la tablestaca. Dependiendo de las condiciones del suelo, con este tipo de tablestaca se pueden alcanzar alturas de hasta 10 m. la estabilidad general de una tablestaca anclada y los esfuerzos que en ella se desarrollen, dependen de la interacción de varios factores, como: la rigidez relativa de la tablestaca, la profundidad de empotramiento, la compresibilidad y resistencia del suelo, etc. En general a mayor empotramiento de la tablestaca menores esfuerzos de flexión.

COEFICIENTES DE EMPUJE PASIVO (K_p) Y ACTIVO (K_a)				
PERFORACION	PROF. (m)	ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA (ϕ)	K_p	K_a
1	0.00-3.00	34°	3.5371	0.2827
1	3.00-5.10	31°	3.1240	0.3201
1	5.10-5.80	30°	3.000	0.3333
1	5.80-9.00	30°	3.000	0.333
1	9.00-10.00	32°	3.2546	0.3073



ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA, Tijuana, B.C.

PERFORACION	PROF. (m)	ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA (ϕ)	Kp	Ka
2	1.50-4.50	32°	3.2546	0.3073
2	4.50-6.00	28°	2.7698	0.3610
2	6.00-7.50	30°	3.0000	0.3333
2	7.50-8.70	28°	2.7698	0.3610
2	8.70-10.00	28°	2.7698	0.3610

7.4.3 METODOS DE HINCADO DE TABLESTACAS

- 7.4.3.1 El éxito en el hincado se inicia con la primera tablestaca, que debe estar perfectamente alineada en ambos planos, además se debe permitir una altura suficiente para lograr una interconexión adecuada entre tablestacas. Normalmente los perfiles Z y U se hincan en pares, incluso en los perfiles U se acostumbra hincar 3 de ellos, optimizando el tiempo de hincado.
- 7.4.3.2 Existen diferentes técnicas de hincado, la selección de la adecuada dependerá del número de piezas por hincar, de la profundidad de hincado y de posibles obstrucciones.
- 7.4.3.3 **Hincado por secciones.** Se utiliza este método para lograr un perfecto alineamiento vertical y horizontal. Las tablestacas se hincan con una guía o escantillón. Se selecciona una longitud de sección, colocando el primer par de estacas hasta un tercio de su profundidad de hincado, se colocan los demás pares que completan la sección; se hincan el último par hasta un tercio de la profundidad de diseño, procediendo posteriormente a hincar las intermedias. El proceso continuo hasta colocar las tablestacas a la misma profundidad.



ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA,
TIJUANA B.C.

7.4.3.4 **Hincado en etapas.** En condiciones de suelos difíciles, el hincado en etapas es lo recomendado. Las tablestacas son hincadas con guías o escantillones realizando cortas penetraciones. Se enumeran las tablestacas, hincando primero las impares y posteriormente las pares en dirección inversa, hasta lograr la penetración total de los elementos seleccionados.

7.4.3.5 Para lograr un correcto alineamiento vertical y horizontal, es necesario utilizar guías o escantillones de hincado. Las guías se fabrican con perfiles estructurales cuyas dimensiones dependerán de las longitudes de hincado y profundidad de diseño. Los diseños adecuados de las guías contemplan la colocación de baleros móviles que permitan el deslizamiento de la tablestaca sin generar fricción contra el perfil.

7.5 DESPLANTE DE LAS CIMENTACIONES

Las cimentaciones deberán estar desplantadas sobre suelos de terreno natural bien compactados y/o material de banco que cumpla con especificaciones S.C.T. para una subrasante de buena calidad (V.R.S. $\geq 30\%$), tal como se indicó en la sección de tratamiento de las terracerías.

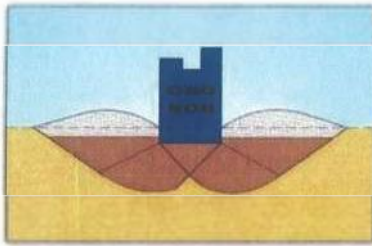
Cap. de Carga Losa de Cimentación (Canaleta Parshall):

7.5.1 **La losa de cimentación** deberá estar subyacida por material de banco tipo "Base hidráulica". Las capas deberán compactarse hasta alcanzar el 100 % de su P.V.S.M. homogeneizándose en su contenido de agua óptima $n + 1\%$.

7.5.2 El espesor de la losa debe ser propuesto por el ingeniero estructurista.

7.5.3 Los rellenos deberán tener un sobreancho mínimo de 1.00 m por lado. Terminados estos, se procederá a la construcción para alojar la losa de cimentación en cajón.

Se nos deberá notificar cuando las excavaciones de cimentación estén expuestas y antes de proceder a colocar el acero de refuerzo para verificar las condiciones del suelo.



ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA,
TIJUANA B.C.

La Losa de Cimentación embebida en terreno denso (material de banco), de acuerdo a lo mencionado en el inciso 7.2, pueden diseñarse para una capacidad de carga de acuerdo al número de golpes obtenido en la prueba SPT de los materiales analizados y los resultados de nuestra investigación de:

PERFORACION No. 1

$$q_a = 45.18 \text{ ton/m}^2.$$

Para el diseño se utilizó un peso volumétrico de 1915 kg/m³ y un ángulo de fricción interna de 30°, con una profundidad de desplante de 5.40 m y un ancho de losa de cimentación de 3.81 m.

PERFORACION No. 1

$$q_a = 41.96 \text{ ton/m}^2.$$

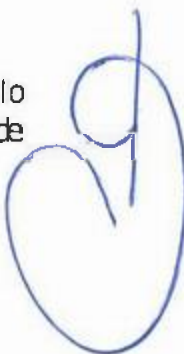
Para el diseño se utilizó un peso volumétrico de 1915 kg/m³ y un ángulo de fricción interna de 30°, con una profundidad de desplante de 3.20 m y un ancho de losa de cimentación de 1.60 m.

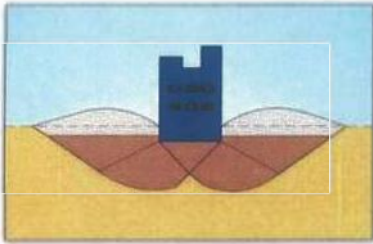
Cap. de Carga Losa de Cimentación (Cárcamo):

PERFORACION No. 2

$$q_a = 45.84 \text{ ton/m}^2.$$

Para el diseño se utilizó un peso volumétrico de 2043 kg/m³ y un ángulo de fricción interna de 30°, con una profundidad de desplante de 9.40 m y un ancho de losa de cimentación de 7.00 m.





ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA,
TIJUANA B.C.

Cap. de Carga Zapatas Corridas (muro perimetral):

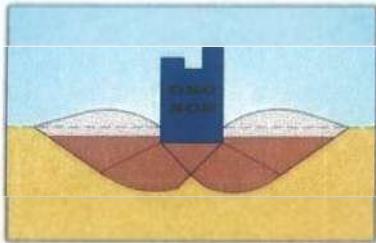
Las zapatas corridas, con un ancho "B" de 1.00 m y una profundidad de desplante de 1.10 m (sobre material bien compactado y en su contenido de agua optima en + 1 %, de acuerdo a lo comentado en el punto 7.3), podrán diseñarse para una capacidad de **Capacidad de carga Admisible de 13.27 ton/m²**. Esta capacidad de carga podrá incrementarse **1.03 ton/m²** por cada 30 cm de incremento de ancho "B" y **2.68 ton/m²** por cada 30 cm de profundidad.

Para el diseño se consideró un peso volumétrico del lugar de 2008 kg/m³ y un ángulo de fricción interna $\phi = 28^\circ$ (para suelos puramente friccionantes) y un factor de seguridad de 3.

Cap. de Carga Zapatas Aisladas (techumbre):

Las zapatas aisladas, con un ancho "B" de 1.50 m y una profundidad de desplante de 1.00 m (sobre material bien compactado y en su contenido de agua optima en + 1 %, de acuerdo a lo comentado en el punto 7.3), podrán diseñarse para una capacidad de **Capacidad de carga Admisible de 13.07 ton/m²**. Esta capacidad de carga podrá incrementarse **0.83 ton/m²** por cada 30 cm de incremento de ancho "B" y **2.68 ton/m²** por cada 30 cm de profundidad.

Para el diseño se consideró un peso volumétrico del lugar de 2008 kg/m³ y un ángulo de fricción interna $\phi = 28^\circ$ (para suelos puramente friccionantes) y un factor de seguridad de 3.



**ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL
NOROESTE S.A. DE CV.**

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA,
TIJUANA, B.C.

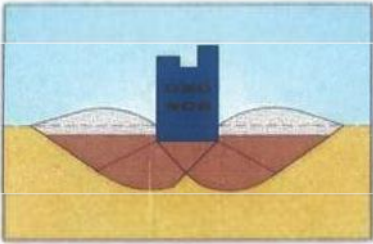
DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO

(Método de la PCA-Portland Cement Association 1984)



PARA UTILIZARSE EN EL PROYECTO:

MECANICA DE SUELOS PARA LA REHABILITACION DE LA PLANTA DE BOMBEO PB-LOS LAURELES 1, EN EL MUNICIPIO DE TIJUANA, B.C."



ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA,
TIJUANAB.C.

VIII PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO

8.1 UBICACIÓN DE LA OBRA DE PAVIMENTACIÓN

La ubicación donde será colocado el pavimento producto de este diseño es la siguiente: Calle Sin Nombre entre Ave. 18 de marzo y Ave. Anexa Los Laureles, en la Colonia Los Laureles, en la ciudad de Tijuana, con coordenadas geográficas 32°32'4.06"N, 117° 5'53.92"O.

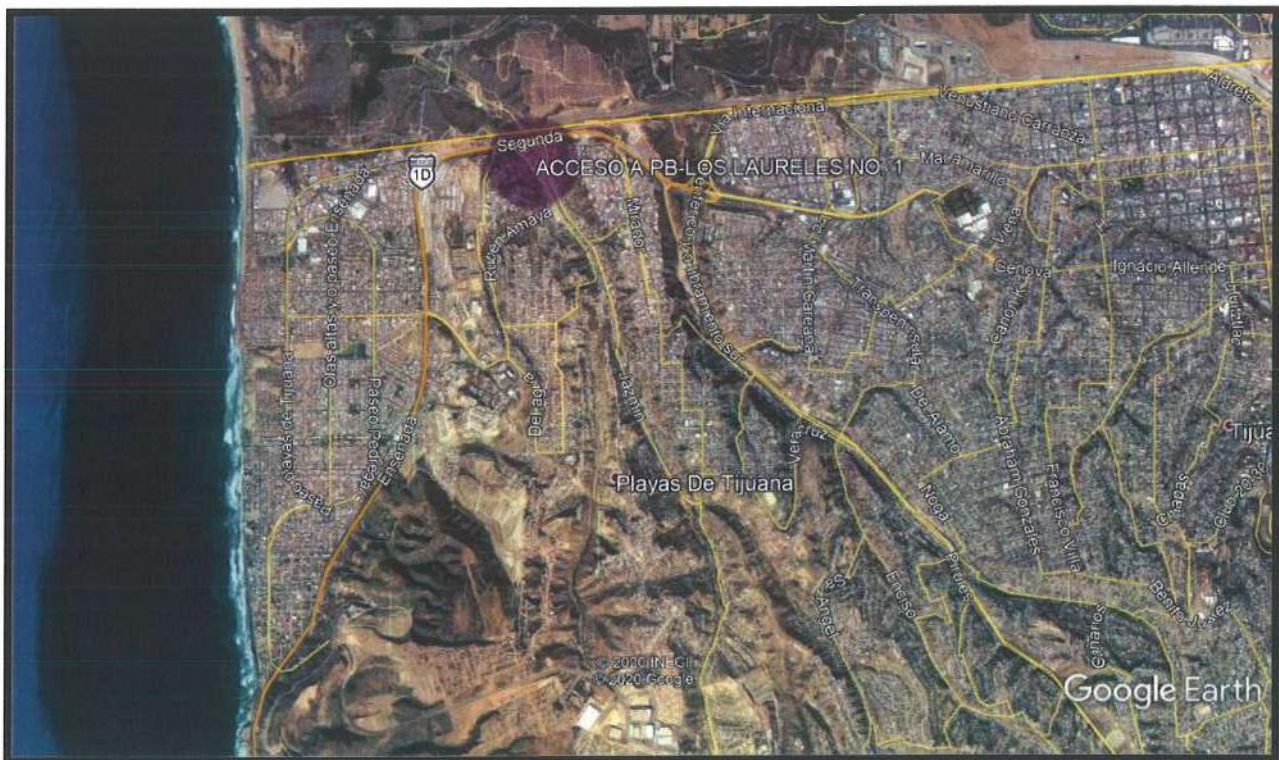
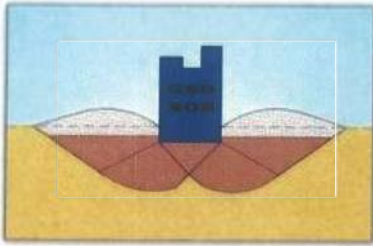


Figura 1. Macro localización del sitio en estudio



ESPECIALISTAS EN GEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

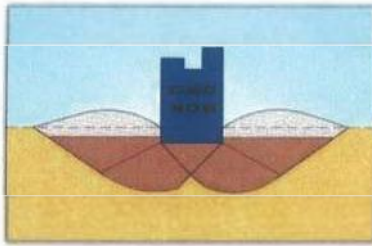
CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA, TIJUANA B.C.



Figura 2 Localización del sitio en estudio

El proyecto está ubicado en la zona Noroeste de la ciudad de Tijuana, B.C. El proyecto consiste en la construcción de un pavimento de concreto hidráulico en la Calle Sin Nombre (acceso a Planta de Bombeo PB-Los Laureles No. 1), entre las Avenidas 18 de marzo y Anexa Los Laureles de la Colonia Los Laureles en una longitud de 200 metros lineales de losa (aproximadamente).

Según los datos proporcionados por el estudio de mecánica de suelos realizado en el sitio, el material existente (depósitos aluviales), se clasifica de acuerdo al SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos) y petrografía como "ARENISCA Y CONGLOMERADO, EN MENOR MEDIDA DEPÓSITOS ALUVIALES (arroyo)". Por lo cual se considera como una **SUBRASANTE DE BUENA CALIDAD** de acuerdo a las especificaciones de la SCT. Sin embargo, la estructura de pavimento se deberá conformar con materiales que cumplan con los requisitos mínimos de calidad que se muestran en las tablas contenidas dentro de este informe de diseño.



ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA, TIJUANA B.C.

Los pavimentos de concreto hidráulico o rígidos están formados por una losa de concreto hidráulico de cemento Portland, apoyada en la sub-base (base hidráulica), que a su vez descansa en la capa subrasante.



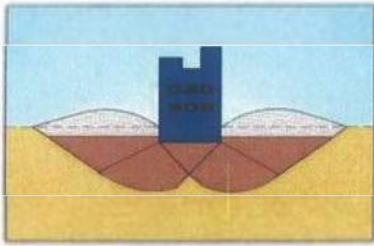
Por lo que proponemos la estructuración que a continuación se presenta. Consistiendo de en una capa subrasante (material de banco tipo granito o tucuruguay grueso) sobre la cual se colocará una capa de Sub-base granular (base hidráulica) y posteriormente la losa de rodamiento de concreto hidráulico.



Figura 3 Estructuración de pavimento propuesta para diseño

8.2 METODOLOGÍA DE LA PCA.

Para la estructuración de las capas de pavimento se utilizó el Método del PCA (Portland Cement Association) 1984. Este método, es uno de los criterios más modernos para el diseño de espesores de la losa de concreto. El mismo, se aplica directamente a los proyectos de carreteras, calles y áreas de estacionamiento, con un ancho de carril igual a 3.7 m (12 pies) y para pavimentos de concreto simple con refuerzo en las juntas.



ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMA DORADA N.O. 19428, FRACC. LOMA DORADA,
TIJUANA B.C.

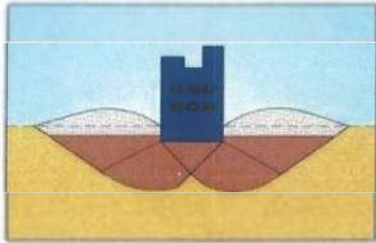
Los pavimentos de concreto hidráulico también llamados pavimentos rígidos, se diferencian de los pavimentos asfálticos, primero en que poseen una resistencia considerable a la flexión y en segundo término porque son afectados grandemente por cambios de temperatura y humedad. Los principales esfuerzos a que son sometidos son:

- a). - Esfuerzos Abrasivos, así como de compresión y corte causados por las llantas de los vehículos y cargas que transmiten.
- b). - Esfuerzos de compresión y tensión resultantes de la flexión de las losas bajo las cargas de las ruedas.
- c). - Esfuerzos de compresión y tensión por contracción o expansión del concreto o alabeo de losas debido a cambios de temperatura y humedad.

Para que un pavimento cumpla satisfactoriamente y económicamente la vida útil que de él se espera, es necesario que en su proyecto tome en cuenta los siguientes factores:

- a) Volumen, tipo y peso del tránsito a servir en la actualidad y futuro previsible.
- b) Valor Relativo Soporte (V.R.S.) y características de la subrasante.
- c) Resistencia y calidad del concreto a emplear.
- d) Clima de la región.

El método de la Asociación del Cemento Portland (P.C.A.), tiene como base para el diseño el análisis de esfuerzos inducidos en las losas realizado por el Dr. H.M. Westergaard. Aquí se considera la resistencia a la fatiga de las losas de concreto bajo cargas repetidas, por lo que los espesores de diseño de las losas dependen: de la magnitud y número de repeticiones de cargas, de la resistencia a la tensión por flexión del concreto determinado por el módulo de ruptura (M.R.), así como el módulo de reacción de la sub-rasante.



ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMADORADA,
TIJUANA B.C.

8.3 ANÁLISIS DEL TRÁNSITO

El conocimiento de las características del tránsito que utiliza un camino en operación, es vital para el diseño del pavimento; convirtiéndose en el principal elemento que se debe tomar en cuenta, ya que el transporte terrestre es el motivo de la obra. Los datos del tránsito para el proyecto de este pavimento se establecieron en base a las características de operación y servicio que tendrá el pavimento y se contempla en este estudio.

La zona en estudio presentará una afluencia de vehículos en su mayoría ligeros y de peso medio, como son: automóviles y pick-ups de las personas que allí habitan y de los que transitan rumbo a la planta de bombeo; así como camiones y pipas cargadas. Para la operación de la planta de bombeo se considera la circulación de camiones de carga.

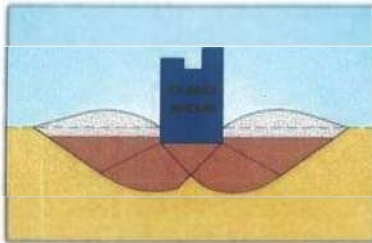
La vialidad se clasifica como:

- Dentro de la red urbana como: Colectora (Secundaria).
- Tipo de camino respecto a transitabilidad: Terracería.
- Clasificación administrativa: Estatal de administración municipal.
- Clasificación técnica oficial: Tipo B, TPDA 1500-3000

Por lo tanto, tendremos: automóviles, pick ups y camiones pipa de 22 y 31.5 toneladas.

El tránsito diario promedio anual (TDPA) a considerar en el diseño es de 3000 veh/día con una tasa de crecimiento anual del 3.0 % para un periodo de servicio de 20 años. En la **tabla 1** se muestra la composición del tránsito seleccionado para el presente proyecto.

Se llama Transito Diario Promedio Anual (TPDA), al número total de vehículos que transitan por una carretera en ambos sentidos durante un año, dividido entre 365 días.



ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMADORADA NO. 19428, FRACC. LOMADORADA,
TIJUANA B.C.

La composición vehicular, es la siguiente:

Nombre del Proyecto			
"MECANICA DE SUELOS PARA LA REHABILITACION DE LA PLANTA DE BOMBEO PB-LOS LAURELES 1 (DISEÑO DE PAVIMENTO), EN EL MUNICIPIO DE TIJUANA, B.C."			
Fecha: Septiembre de 2020			
Datos Generales			
n = AÑOS DE SERVICIO (Concreto Hidráulico)			20
t = TASA DE CRECIMIENTO ANUAL DE TRANSITO(%)			3.00%
TDPA (ambas direcciones)=			3000
COEFICIENTE DE DISTRIBUCIÓN DE SENTIDO			1.00
NUMERO DE CARRILES POR SENTIDO			1
Composición Vehicular (propuesta para diseño)			
Arreglo Vehicular	Cantidad de Vehículos	% Composición de Transito	% Cargatos
Ap	2040	68%	100%
Ac	600	20%	100%
B2	60	2%	100%
B3		0%	
B4		0%	
C2	198	6.6%	75%
C3	24	0.8%	75%
C4		0%	
C2-R2	36	1.2%	50%
C3-R2	12	0.4%	
T2-S1	18	0.6%	50%
T2-S2	12	0.4%	50%
T3-S2	0	0 %	
T3-S3	0	0 %	
T3-S2-R2	0	0%	
T3-S2-R3	0	0%	
T3-S2-R4	0	0%	
Suma	3000	100%	

Tabla 1 Tipología vehicular y composición del tránsito



ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA,
TIJUANA B.C.

8.4 CAPAS DE PAVIMENTO

El tipo de suelos existentes en el sitio determinará en gran medida la estructura del pavimento a construir. La mayoría de los suelos del sitio, presentan propiedades mecánicas (V.R.S.) variables que componen la estratigrafía del sitio, para formar parte de la estructura de Pavimento de Concreto Hidráulico; por lo tanto, será necesario utilizar material de banco para la construcción de la subrasante; principalmente por la cantidad de boleos que presenta el suelo. Además, será conveniente colocar una base hidráulica (sub-base granular) la cual debe ser de material de banco de buena calidad. Dicho material deberá cumplir con las normas de calidad de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, SCT.

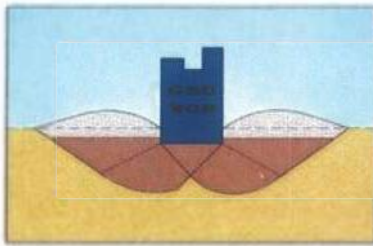
De lo que se trata es que la losa de concreto tenga un apoyo suficientemente uniforme y estable, como para garantizar que no quede localmente falta de soporte.

Las principales funciones de la sub-base y/o base de un pavimento rígido son las siguientes:

1. Proporcionar apoyo a la losa de concreto.
2. Incrementar la capacidad portante de los suelos de apoyo, respecto a la que es común en las terracerías y capa subrasante.
3. Reducir a un mínimo las consecuencias de los cambios de volumen que puedan tener lugar en el suelo que forme las terracerías o la sub-rasante.
4. Evitar el bombeo en las juntas, grietas y bordes del pavimento.

Dada la rigidez comparativa de las losas de concreto y su resistencia, los esfuerzos que se transmiten a la sub-base y/o base son pequeños, por lo que la resistencia no suele ser un requisito importante. En cambio, el correcto trabajo de las losas exige que estén uniformemente apoyadas y que ese apoyo se mantenga en buenas condiciones durante toda la vida del pavimento.

Existen tramos en donde deberá llevarse a cabo un tratamiento de las terracerías (terrapién), todo esto, de acuerdo a los niveles de proyecto. Esto con el fin, de que el terreno garantice la estabilidad de la estructura de pavimento de concreto hidráulico.

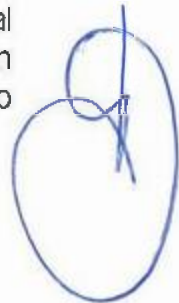


ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA, TIJUANA B.C.

Los factores que se deben considerar para el diseño de este tipo de estructuras son: El volumen, peso y tipo de tránsito que actuará en la vida del proyecto, el módulo de reacción "k" de la subrasante y sus características, el módulo de ruptura del concreto, así como la calidad de los agregados y por último la topografía del lugar.

De acuerdo a la información geotécnica recaba en el sitio de los trabajos, a las pruebas de laboratorio y a las características topográficas y climatológicas del lugar, se ha determinado emplear un valor de soporte para el suelo de cimentación (CBR de diseño) del 89.85 %, 35.92 % y 16.94 % (subyacente). Los requerimientos de resistencia y calidad de la nueva capa de base hidráulica se establecen de acuerdo a la Normativa SCT vigente NCMT-4-02-002/11, la cual establece como mínimo un valor de CBR del 80%. De manera similar, se consideró un valor mínimo de CBR para la subrasante de 30.00 % de conformidad con lo establecido en la norma N-CMT-1-03/02.

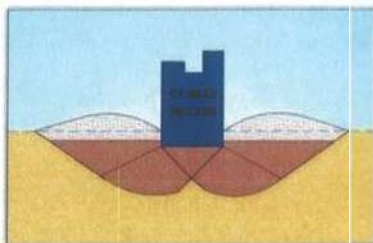


8.5 MÓDULOS DE RIGIDEZ EMPLEADOS EN EL DISEÑO

Este método, para poder entrar en el diseño, requiere la obtención de los siguientes datos:

MODULO DE REACCIÓN DE LA SUBRASANTE: Es la propiedad de apoyo que ofrece la subrasante al tránsito y se define como la pendiente de la gráfica carga-deformación obtenida en el campo por el ensaye de placa (de un diámetro de aproximado de 75 cm). Las unidades de este módulo son kg/cm³ (lb/plg³). Este módulo se puede obtener mediante una correlación con el V.R.S. (Valor Relativo de Soporte).

V.R.S. %	Módulo de reacción (k)		Ubicación
	kg/cm ³	lb/plg ³	
89.85	22.43	801	Depósitos Aluviales S-1 (subrasante)
35.92	11.24	401.6	Depósitos Aluviales S-2 (subrasante)
16.94	7.23	258.1	Suelos de relleno S-3 (subrasante)



ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA, TIJUANA, B.C.

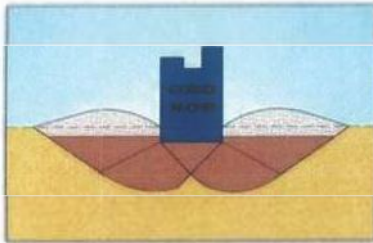
8.6 CÁLCULO DE LA VIDA PREVISIBLE DEL PAVIMENTO

El cálculo del tránsito esperado para la vida de proyecto se muestra a continuación:

Proyecto:	PAVIMENTO EN ACCESO HACIA PLANTA DE BOMBEO PB-LOS LAURELES	
Tipo de carretera:	Secundaria	
Numero de carriles por sentido:	1	
Bermas de hormigón:	Si	
Barras pasajuntas:	Si	
Tipo de subbase:	Granular	
Observaciones adicionales:	-	
Periodo de diseño:	20 años	
Tipo de distribución de cargas de tráfico:	Pesado tipo 1	
% camiones que circulan sobre el borde del pavimento:	6.0	%(Método PCA considera el 6%)
Factor de seguridad de cargas:	1.1	
T.P.D.A. (incluyendo vehículos livianos)=	3,000.00	vehículos/día
Porcentaje de vehículos pesados en el tráfico:	30.0%	
Tasa de crecimiento anual:	3.0%	
Factor de distribución por carril:	1.00	Cálculo de espesor por Fatiga
Factor direccional:	50%	Cálculo de espesor por Erosión
Tráfico de diseño (solo camiones pesados):	4,413,459	(vehículos de más de cuatro llantas)

PLANILLA DE CÁLCULO DE ESPESORES			
Valor CBR subrasante:	30 %		
Módulo k de subrasante:	98.3 MPa/m	362.9 pci	Espesor losa de Hormigón: 16.7 cm
Módulo k combinado:	115.7 MPa/m	427.1 pci	
Módulo de rotura:	411879 Mpa	597.4 psi	Espesor subbase: 20.0 cm
Varianza de resistencia:	15% (Método considera 15%)		

NOTA IMPORTANTE: En esta versión del método de la Asociación del Cemento Portland de los EE.UU. no se consideraron los efectos del clima sobre los materiales de las diferentes capas del pavimento, por lo tanto no se incluyen variaciones de humedad y temperatura en la subrasante, subbase y losa de hormigón. El modelo de elementos finitos empleado para el desarrollo de este método consideraba solamente losas planas totalmente apoyadas y sin alabeo, sin embargo una gran cantidad de estudios verificaron que las tensiones generadas por alabeo combinado con cargas de tráfico son mucho mayores debido a la falta de soporte que se produce por la curvatura de las losas.

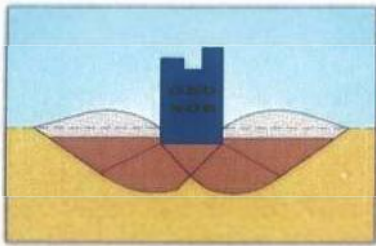


ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA, TIJUANA B.C.

Carga por eje (Ton)	Corrección carga por LSF	Repeticiones en el periodo de diseño	Análisis por fatiga		Análisis por erosión	
			Repeticiones admisibles	Acumulación de fatiga	Repeticiones admisibles	Acumulación erosión
EJES EN CILINDROS						
Esfuerzos equivalente:		1.6 MPa	225.1 psi			
Relación de esfuerzos:		0.377				
15.4	17.0	-	477	0.0%	104062	0.0%
14.5	16.0	-	1516	0.0%	150436	0.0%
13.6	15.0	1,986	4833	41.1%	225461	0.9%
12.7	14.0	3,751	15485	24.2%	354030	1.1%
11.8	13.0	7,856	49859	15.8%	592193	1.3%
10.9	12.0	22,994	163438	14.1%	1085609	2.1%
10.0	11.0	34,646	834021	4.2%	2305694	1.5%
9.1	10.0	72,072	25810769	0.3%	6501987	1.1%
8.2	9.0	110,998	Ilimitadas		42759769	0.3%
7.3	8.0	140,436	Ilimitadas		Ilimitadas	
6.4	7.0	210,654	Ilimitadas		Ilimitadas	
5.4	6.0	803,338	Ilimitadas		Ilimitadas	
4.5	5.0	-	Ilimitadas		Ilimitadas	
3.6	4.0	-	Ilimitadas		Ilimitadas	
2.7	3.0	-	Ilimitadas		Ilimitadas	
1.8	2.0	-	Ilimitadas		Ilimitadas	

EJES TANDEM						
Esfuerzo equivalente:		1.3 MPa	188.3 psi			
Relación de esfuerzos:		0.315				
27.2	30.0	-	100047	0.0%	295812	0.0%
25.4	28.0	-	294497	0.0%	471538	0.0%
23.6	26.0	5,252	1478164	0.4%	807070	0.7%
21.8	24.0	12,843	42140762	0.0%	1536602	0.8%
20.0	22.0	35,352	Ilimitadas		3504256	1.0%
18.2	20.0	94,051	Ilimitadas		11771027	0.8%
16.3	18.0	248,257	Ilimitadas		240547659	0.1%
14.5	16.0	457,367	Ilimitadas		Ilimitadas	
12.7	14.0	535,000	Ilimitadas		Ilimitadas	
10.9	12.0	320,152	Ilimitadas		Ilimitadas	
9.1	10.0	379,299	Ilimitadas		Ilimitadas	
7.3	8.0	438,433	Ilimitadas		Ilimitadas	
5.4	6.0	-	Ilimitadas		Ilimitadas	
3.6	4.0	-	Ilimitadas		Ilimitadas	
1.8	2.0	-	Ilimitadas		Ilimitadas	
			Total Fatiga =	100.0%	Total Erosión =	11.7%



ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA,
TIJUANAB.C.

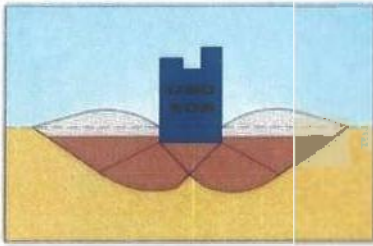
8.7 DISEÑO DE ESPESORES

Este proyecto comprende el diseño de espesores de la losa de concreto con el método PCA para el diseño de pavimentos rígidos, de acuerdo con el tipo de importancia del proyecto.

El módulo de reacción se obtiene de la gráfica de donde entrando con el valor de V.R.S. (C.B.R. por sus siglas en inglés) se obtiene el valor de "k" de la subrasante. Esto se realiza en vez de utilizar la prueba de placa, utilizando esta correlación, ya que en base a la experiencia arroja resultados satisfactorios.

Para encontrar el esfuerzo actuante se utilizó el gráfico del P.C.A. para ejes sencillos.

Para el diseño se propuso un V.R.S. mínimo = 30%; es decir, el V.R.S. mínimo promedio para la subrasante (material de banco y/o del lugar que cumpla con este valor y características de calidad de material para subrasante). El material encontrado en el sitio en los sondeos No. 1 y No. 2 (a nivel superficial) **cumple** con un V.R.S. > 20 % de acuerdo a la normativa S.C.T., por lo cual, dicho material podrá utilizarse como parte de la estructura del pavimento. Sin embargo, deberá llevarse a cabo una remediación de terracerías (corte), retirando el material intemperizado o contaminado y colocando material de banco y/o material del lugar que fungirá como subrasante (estructura del pavimento). En zonas de terraplén o corte donde no se cumpla con el valor relativo soporte de diseño de 30%, en caso de ser necesario, se deberá usar material de banco en la formación de las capas que conformen la subrasante.



ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA, TIJUANA B.C.

Estructura de pavimento satisfactoria

La estructura de pavimento propuesta se considera adecuada ya que cumple con el criterio de deformación permanente y de fatiga establecidos en el método de la PCA.

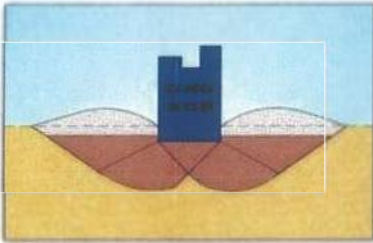
ESTRUCTURA GENERAL RESULTANTE:

Proyecto: Rehabilitación de la planta de Bombeo PB-Los Laureles No. 1 (Diseño de pavimento), Col. Los Laureles, en Tijuana, B.C.

	Espesor de Diseño	Espesor propuesto	Resistencia
Concreto Hidráulico =	16.7 cm	17 cm	42 kg/cm ² (MR)
Sub-base (Base hid.) =	20.0 cm	20 cm	100 % VRS
Subrasante (Mat. de banco y/o del lugar) =	20.0 cm	20 cm	30 % VRS



Figura 4 Estructuración de pavimento definitiva



ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA, TIJUANA, B.C.

8.8 DISEÑO DE JUNTAS EN EL PAVIMENTO

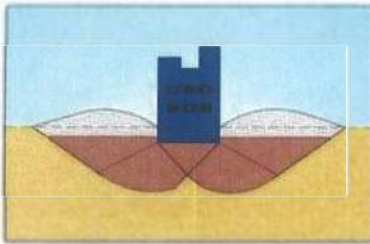
El corte se debe realizar previo a que se presente la contracción. Consiste en un corte inicial con un ancho del orden de 3 mm y una profundidad en el rango de 1/3 parte del espesor del pavimento.

Para evitar la aparición de grietas es conveniente tomar las siguientes precauciones:

- a) Programar los cortes de acuerdo con las condiciones de humedad, los tiempos de fraguado de las mezclas y las temperaturas prevalecientes.
- b) Realizar los cortes dentro de las 6 a 20 horas después de terminada la superficie, para evitar despostillamientos en los bordes. Los cortes siempre se deben de hacer hasta las orillas de la sección.
- c) Cuando el proceso de contracción se acelere debido a temperaturas excesivas, se recomienda que de un conjunto de tres juntas se ejecute al menos una, para posteriormente regresar a aserrar las pendientes.
- d) El diseño no considera barras pasajuntas en las juntas transversales.
- e) En la junta longitudinal se deben de colocar barras de amarre a base de varilla corrugada de $\frac{1}{2}$ " de diámetro de 80 cm de longitud y separadas a cada 76 cm para un ancho de carril máximo de 3.66 mts.
- f) Sellado de juntas: una vez que se limpian y secan las ranuras para alojar el material sellante, se procede a aplicar este último, dependiendo de su naturaleza, esto es, si se debe aplicar en frío o en caliente. Se procura recortar en lo posible las protuberancias del material sellante en los bordes, incluso dejando una pequeña depresión.

Las juntas de transferencia de carga se proveerán donde los paneles de la losa individual se juntan una con otra. El diámetro mínimo para los pasajuntas deberá ser de $\frac{3}{4}$ " (1.9 cms) y con una longitud de 16" (40 cms) para losas con espesores variando de 5 a 6" (12.5 a 15 cm).

Las juntas de transferencia de carga se proveerán donde los paneles de la losa individual se juntan una con otra. Las juntas de control de agrietamiento, con una profundidad no menor a 1/3 del espesor de la losa, se colocarán a espaciamiento que



ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA,
TIJUANA B.C.

cumpla con las siguientes condiciones: $L/b \leq 1.5$ (Donde L= Dimensión mayor del tablero a formarse y b= Dimensión menor del tablero a formarse) y $L \leq 30e$ (Donde e= Espesor de la losa). Todas las juntas serán selladas.

Los pavimentos de concreto deberán quedar completamente confinados en sus fronteras mediante la construcción de banquetas, guarniciones, bordillos, etc. Mismas que en las zonas cercanas a jardines, queden suficientemente aisladas de ellas. Recomendamos una separación mínima de estos elementos de 1.20 metros.

8.9 DRENAJE Y SUBDRENAJE

Para el presente proyecto no se considera la proyección de estructuras de drenaje adicionales a las de drenaje pluvial que ya considera la obra. Cabe mencionar que para efectos del diseño de pavimento y dimensionamiento de la estructura se consideró que la calidad del drenaje es adecuada, de acuerdo a la precipitación anual promedio de la zona. Al ser una calle en zona de cañón, deberá proporcionársele un adecuado bombeo a la superficie de rodamiento y dar salida al agua pluvial con pendientes adecuadas.

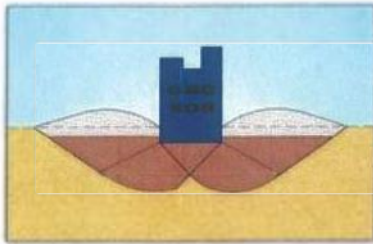
8.10 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

El proceso constructivo consistirá en abrir caja para alojar la estructura del pavimento, retirando primeramente los materiales indeseables, tanto de suelos de relleno como de depósitos aluviales.

Al efectuar los cortes se tomará en cuenta que la superficie deberá quedar con el bombeo necesario para el drenaje superficial del pavimento.

La superficie de desplante de la estructura de pavimento, se deberá incorporar agua hasta alcanzar su contenido de agua en + 2 %, respecto a su contenido de agua óptimo en +2 % (debido al tipo de suelo de terreno natural ya que el material se encontró parcialmente húmedo y evitar pérdida de contenido de agua), para posteriormente compactarla al 95 % de su Peso Volumétrico Seco Máximo, obtenido en el laboratorio.

Para el tipo de material encontrado en el lugar, se recomienda utilizar un rodillo liso "vibratorio" de 10 ton de peso.



ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA,
TIJUANA B.C.

La capa de subrasante, deberá homogeneizarse en su contenido de agua óptima en + 1 % y compactarse al 100 % de su Peso Volumétrico Seco Máximo obtenido en el laboratorio.

La capa de base hidráulica, deberá homogeneizarse en su contenido de agua óptima en + 1 % y compactarse al 100 % de su Peso Volumétrico Seco Máximo obtenido en el laboratorio.

El proyecto del pavimento descrito se realizó para satisfacer las solicitudes impuestas por las cargas del tránsito indicado anteriormente en función de la calidad de los materiales utilizados durante la vida útil estimada de 20 años. No obstante, estos deberán conservarse adecuadamente a fin de corregir las fallas funcionales que presenten al usuario durante su vida útil a fin de evitar que dichas fallas tomen el carácter de estructurales.

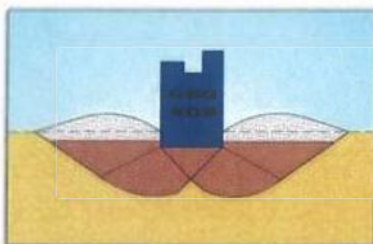
Deberá retirarse todo el material hasta llegar al nivel **-0.50 m**, recuperando los materiales que se puedan utilizar en la nueva estructura (materiales con V.R.S. ≥ 30 %). Al llegar a dicho nivel, se compactará la capa expuesta en un espesor de 20 cm, al 95 % de su peso volumétrico seco máximo obtenido en el laboratorio, extrayendo los posibles baches que pudieran presentarse.

Sobre la superficie preparada como se indica, se construirá una capa de material de subrasante y otra de base hidráulica, en un espesor compacto de 20 cm cada una. El material empleado para la construcción de la subrasante y la base hidráulica serán de banco y deberán cumplir con lo establecido en la norma N-CMT-1-03/02 (subrasante) y N-CMT-4-02-002/16 (base hidráulica). Dichas capas deberán compactarse al 100% de su peso volumétrico seco máximo referido a la prueba AASHTO Estándar y Modificada respectivamente.

Sobre la capa de material tipo base, una vez que se encuentre seca, será barrida para eliminar el polvo y material suelto.

Para considerar terminada la capa, la parte superior se afinará con maquinaria y/o manualmente, según sea requerido, hasta obtener una superficie perfectamente uniforme, la cual deberá mantener las pendientes indicadas y un bombeo transversal no menor de 2%.

Una vez que la superficie de la capa de base hidráulica quede preparada, y presente las condiciones adecuadas para ello, y previa autorización de la supervisión de la obra, se comenzará con los tendidos (colados) de concreto hidráulico de acuerdo a la



ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA,
TIJUANA B.C.

norma N-CTR-CAR-1-04-009/06. El concreto deberá ser de una resistencia a la flexión de 42 Kg/cm²; de acuerdo al tipo de tránsito.

Al iniciar el tendido de un nuevo tramo, que sea prolongación de un tramo anteriormente construido y compactado, se haya o no construida rampa, deberá efectuarse un corte transversal con cortadora mecánica de disco, en el sitio indicado por la supervisión de la obra, de tal modo que se logre una junta transversal en la cual el espesor de la nueva losa se encuentre perfectamente uniforme y además sea el espesor especificado.

Deberá tenerse un especial cuidado al continuar el tendido de un tramo anteriormente construido, para que no exista una diferencia de niveles en la junta transversal. Se hará una verificación preliminar con regla de tres metros de que no exista una diferencia de nivel mayor a 0.5 cm. tanto en la junta de inicio, como en todo el tendido del tramo.

8.11 ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN

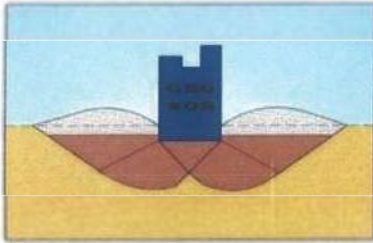
En un lapso de 5 años, se propone el calafateo de grietas existentes y si fuera el caso, el sellado de la superficie con un mortero asfáltico tipo slurry para la prevención de desprendimientos debido al desgaste. Lo anterior con el objeto de sostener el índice de servicio del pavimento. En un lapso de 10 a 20 años se deberán analizar las estrategias de conservación en función de las características de la superficie de rodadura que prevalezcan en dicho periodo.

8.12 NORMATIVA PARA LA INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE

Los materiales que se utilicen para formar las terracerías y el pavimento deberán cumplir con lo indicado en las Normas libro CTR. CONSTRUCCIÓN, título 004 "Pavimentos" (N-CTR-CAR-1-04-009/06) y N-CMT.1.01/02, 03/02; N-CMT.4.02.002/11; libro CMT "Características de los materiales", de la Normativa SCT vigente.

Materiales de banco

Los materiales de banco y suelos de relleno con valores de V.R.S. superiores a 10 %, encontrados durante nuestra exploración podrán ser reutilizados



ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA,
TIJUANA B.C.

como parte de la estructura y/o relleno estructural; sin embargo, pueden no ser suficientes para los rellenos necesarios en el proyecto, por lo que se tendrán que utilizar materiales de banco que cumplan con la Normativa S.C.T. vigente.

Los materiales de banco que se utilicen para la conformación de:

- Rellenos: deberán cumplir con la Normativa SCT (N-CMT-1-02/02)

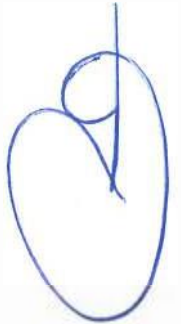
TABLA 1.- Requisitos de calidad de materiales para capa subyacente

Característica	Valor
Tamaño máximo y granulometría	Que se a compactable ⁽¹⁾
Límite líquido: %, máximo	50
Valor Soporte de California (CBR) ⁽²⁾ : %, mínimo	10
Expansión: %, máxima	3
Grado de compactación ⁽³⁾ : %	95 ± 2

(1) De acuerdo con lo indicado en el Manual M-MMP-1-02, *Clasificación de Fragmentos de Roca y Suelos*.

(2) En especímenes compactados dinámicamente al porcentaje de compactación indicado en esta Tabla, con un contenido de agua igual al del material en el banco a 1.5 m de profundidad.

(3) Respecto a la masa volumétrica seca máxima obtenida mediante la prueba AASHTO Estándar, del material compactado con el contenido de agua óptimo de la prueba, salvo que el proyecto o la Secretaría indiquen otra cosa.



- Subrasante: deberán cumplir con la Normativa SCT (N-CMT-1-03/02)

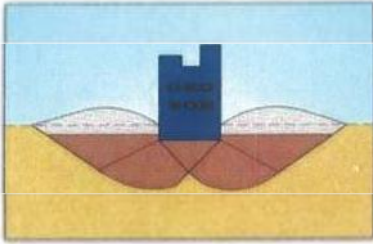
TABLA 1.- Requisitos de calidad de materiales para capa subrasante

Característica	Valor
Tamaño máximo; mm	76
Límite líquido: %, máximo	40
Índice plástico: %, máximo	12
Valor Soporte de California (CBR) ⁽¹⁾ : %, mínimo	20
Expansión máxima: %	2
Grado de compactación ⁽²⁾ : %	100 ± 2

(1) En especímenes compactados dinámicamente al porcentaje de compactación indicado en esta Tabla, con un contenido de agua igual al del material en el banco a 1.5 m de profundidad.

(2) Respecto a la masa volumétrica seca máxima obtenida mediante la prueba AASHTO Estándar, del material compactado con el contenido de agua óptimo de la prueba, salvo que el proyecto o la Secretaría indiquen otra cosa.

- Base hidráulica: deberán cumplir con la Normativa SCT (N-CMT-4-02-002/16)



ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMADORADA, TIJUANA B.C.

TABLA 1.- Requisitos de granulometría de los materiales para bases de pavimentos con carpetas de concreto hidráulico

Malla		Porcentaje que pesa
Abertura mm	Designación	
37.5	1 1/2"	100
25	1"	70 - 100
19	3/4"	60 - 100
9.5	3/8"	40 - 100
4.75	Nº4	30 - 80
2	Nº10	21 - 60
0.85	Nº20	13 - 44
0.425	Nº40	8 - 31
0.25	Nº60	5 - 23
0.15	Nº100	3 - 17
0.075	Nº200	0 - 10

Característica	Valor %
Límite líquido, máximo	25
Índice plástico, máximo	6
Equivalente de arena, mínimo	40
Valor Soporte de California (CBR), mínimo	80
Desgaste Los Angeles, máximo	35
Partículas alargadas y lajeadas, máximo	40
Grado de compactación, mínimo	100

Tabla 1-2 Requisitos de calidad de los materiales para bases de pavimentos con carpetas de concreto hidráulico

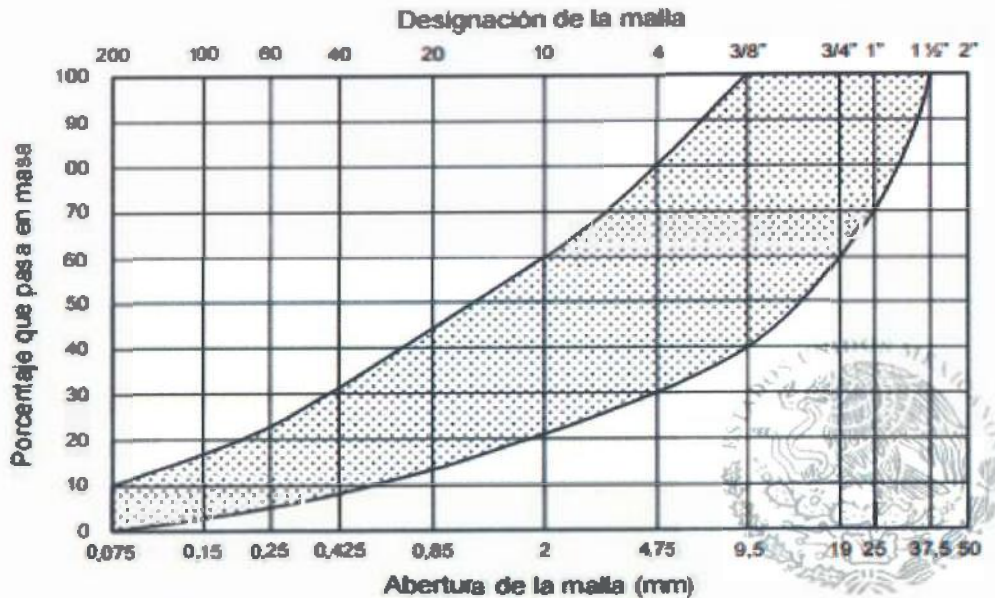
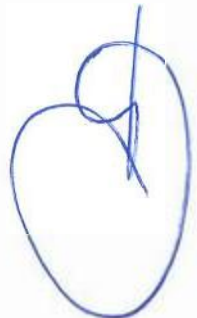
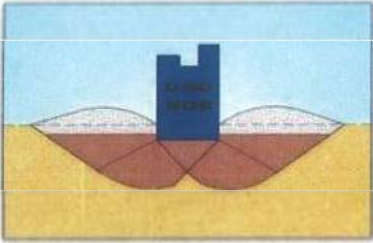


FIGURA 1.- Zona granulométrica recomendable de los materiales para bases de pavimentos con carpetas de concreto hidráulico





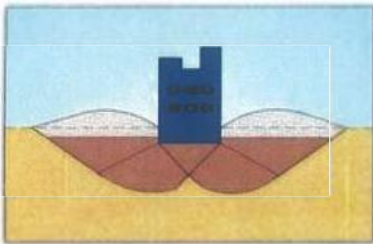
ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA,
TIJUANA B.C.

8.13 CONTROL DE CALIDAD

El control de calidad de cualquier obra es indispensable para el buen funcionamiento y comportamiento de los materiales utilizados en la construcción. Se deberá contratar a un laboratorio de materiales para llevar el control de calidad de la obra indicada en todo momento y particularmente en el proceso de la etapa de conformación de las terracerías y del tendido de la losa de rodamiento (colado), aplicando las actividades correspondientes al control de materiales.

Se realizará verificación a las terracerías compactadas, resistencia a la flexo-compresión (flexión) del concreto hidráulico y calidad de materiales como suelos y materiales de banco. Estas revisiones darán seguridad y prevención a posibles fallas por mala calidad en los materiales o de la colocación de los mismos en el lugar.



ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA,
TIJUANA B.C.

IX OBSERVACIONES Y LIMITACIONES

La ingeniería Geotécnica y la Geología, se caracteriza por ser ciencias impredecibles, de ahí que el criterio principal para las recomendaciones vertidas, se apoyen en parte en los criterios técnicos profesionales emanados de especificaciones oficiales, interpretadas a nuestro leal saber y entender y en parte en nuestras experiencias en general.

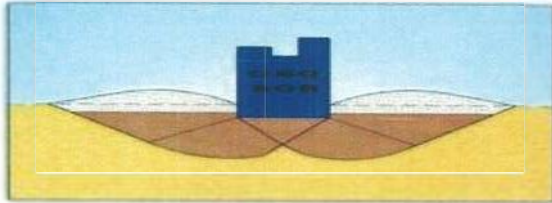
Las condiciones de este informe pertenecen exclusivamente al terreno investigado, y son basadas asumiendo que las condiciones de suelo no varían como cuando fueron encontradas, durante la investigación; si variaciones o condiciones indeseables se presentan durante el proceso de construcción, se nos deberá notificar para que de esta manera sean dadas recomendaciones suplementarias.

Cualquier aclaración o modificación a los datos de proyecto aquí asumidos, agradecemos se comuniquen a Especialistas en Geotécnica del Noroeste, S.A. de C.V. para su análisis y solución.

Tijuana, B.C., a 26 de septiembre del 2020.

A T E N T A M E N T E

M. EN I. RAFAEL GONZÁLEZ GUTIÉRREZ
Administrador Único



**ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL
NOROESTE S.A. DE C.V.**

**CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA,
TIJUANA B.C.**

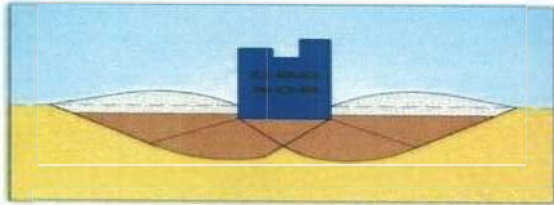
ANEXOS TÉCNICOS



**“MECANICA DE SUELOS PARA LA REHABILITACION
DE LA PLANTA DE BOMBEO PB-LOS LAURELES 1, EN EL
MUNICIPIO DE TIJUANA, B.C.”.**

Circuito Loma Dorada No. 19428, Fracc. Loma Dorada, Tijuana, B.C.

Tel/Cel: (044- 664) 376-23-56



ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

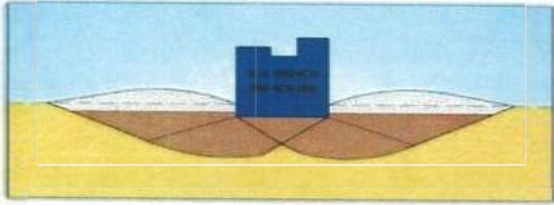
CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA,
TIJUANA B.C.



FIG No. 1 : CROQUIS DE LOCALIZACIÓN DE PERFORACIONES

Circuito Loma Dorada No. 19428, Fracc. Loma Dorada, Tijuana, B.C.

Tel/Cel: (044- 664) 376-23-56



ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

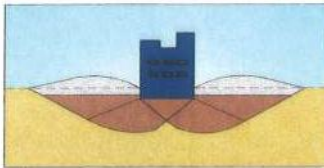
CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA, TIJUANA B.C.



FIG No. 2 : CROQUIS DE LOCALIZACIÓN DE SONDEOS

Circuito Loma Dorada No. 19428, Fracc. Loma Dorada, Tijuana, B.C.

Tel/Cel: (044- 664) 376-23-56



ESPECIALISTAS EN GEOTÉCNICA DEL NOROESTE, S.A. DE C.V.

Circuito Loma Dorada No. 19428, Fracc. Loma Dorada

Tel: 978-54-14 Cel: 664) 376-23-56

correo: rafaelgonzalez65@hotmail.com

CLASIFICACIÓN DE SUELOS (FIG. No. 3)

PROYECTO: " ESTUDIO DE MEC. DE SUELOS PARA LA REHABILITACION DE LA PLANTA DE BOMBEO PB-LOS LAURELES NO. 1, EN EL MUNICIPIO DE TIJUANA, B.C."

SONDEO P.C.A No.: **3 (MURO PERIMETRAL).**

TIPO DE SONDEO: **POZO A CIELO ABIERTO**

PROF DE SONDEO: **3.30METROS**

UBICACIÓN: **PLANTA DE BOMBEO LOS LAURELES, CALLE PASEO DE LA MONTAÑA, COLONIA LOS LAURELES, TIJUANA, B.C.**

FECHA DE SONDEO: **viernes, 11 de septiembre de 2020**

FECHA DE RECIBO: **viernes, 11 de septiembre de 2020**

DATOS DEL SITIO DE EXPLORACIÓN

NÚMERO DE MUESTRA	10	11
PROFUNDIDAD (m)	0.58 A 2.30	2.30 A 3.30
ESPESOR DE ESTRATO (m)	1.72	INDETERMINADO
PRUEBA DE PENETRACIÓN StD. PROF. (m)	NO SE REALIZO POR LA PRESENCIA DE ABUNDANTES BOLEOS Y LA INESTABILIDAD DEL TALUD.	NO SE REALIZO POR LA PRESENCIA DE ABUNDANTES BOLEOS Y LA INESTABILIDAD DEL TALUD.
No. DE GOLPES		
PESO VOLUMÉTRICO DEL LUGAR (Kg/m3)	2008	-
CONTENIDO DE AGUA NATURAL(%)	9,71	5,26
% DE COMPACTACIÓN	91.62	N/A

CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL

TAMAÑO MÁXIMO AGREGADO (T.M.A.)	40CM	-
% QUE PASA LA MALLA NO. 4	63 (37 % DE GRAVAS)	56 (44% DE GRAVAS)
% QUE PASA LA MALLA NO. 40	41 (44 % DE ARENAS)	38 (43 % DE ARENAS)
% QUE PASA LA MALLA NO. 200	19 (19 % DE FINOS)	13 (13 % DE FINOS)
PESO VOL. SECO SUELTO (Kg/m3)	1660	1724
PESO VOLUMÉTRICO SECO MÁX. (Kg/m3)	1998	1998
CONTENIDO DE AGUA ÓPTIMO(%)	13,64	10,50
LÍMITE LÍQUIDO (%)	18.25	23.92
LÍMITE PLÁSTICO (%)	INAPRECIABLE	INAPRECIABLE
ÍNDICE PLÁSTICO	INAPRECIABLE	INAPRECIABLE
CONTRACCIÓN LINEAL(%)	0.00	0.00
V.R.S. ESTÁNDAR(%)	55.22	58.76
EXPANSIÓN (%)	0.00	0.00
CLASIFICACIÓN SUCS	SM	GM
PETROGRAFÍA	ARENAS LIMOSAS, MEZCLAS DE ARENAS DE GRANO MEDIO A FINO CON GRAVAS Y BOLEOS DE TAMAÑO CHICO A MEDIANO Y LIMOS INORGÁNICOS DE NULA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ TONO AMARILLO. PRESENTA BASURA Y ESCOMBRO.	GRAVAS LIMOSAS, MEZCLAS DE GRAVAS Y BOLEOS DE TAMAÑO CHICO A MEDIANO CON ARENAS DE GRANO MEDIO A GRUESO Y LIMOS INORGÁNICOS DE NULA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ TONO ROJIZO CLARO.

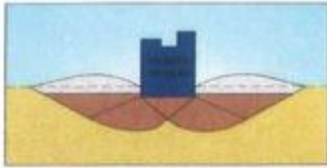
OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS ANALIZADAS No.10 Y No.11, DE ACUERDO A SUS CARACTERÍSTICAS, SE CLASIFICAN COMO UNA SUBRASANTE DE MUY BUENA CALIDAD, DE ACUERDO A NORMAS Y ESPECIFICACIONES SIT.

FORMULÓ: Ing. David Magdaleno Basto

Jefe de Laboratorio

REVISÓ: M. En I. Rafael González Gutiérrez

Administrador Único



ESPECIALISTAS EN GEOTÉCNICA DEL NOROESTE, S.A. DE C.V.

Circuito Loma Dorada No. 19428, Fracc. Loma Dorada

Tel: 978-54-14 Cel: 664) 376-23-56

correo: rafaelgonzalez65@hotmail.com

CLASIFICACIÓN DE SUELOS (FIG. No. 4)

PROYECTO: MECÁNICA DE SUELOS PARA LA REHABILITACION DE LA PLANTA DE BOMBEO PB-LOS LAURELES NO. 1, EN EL MUNICIPIO DE TIJUANA, B.C."

SONDEO S.P.T. No: 4 (MURO PERIMETRAL).

TIPO DE SONDEO: POZO A CIELO ABIERTO

PROF. DE SONDEO: 3.00 METROS

UBICACIÓN: PLANTA DE BOMBEO LOS LAURELES, CALLE PASEO DE LA MONTAÑA, COLONIA LOS LAURELES, TIJUANA, B.C.

FECHA DE SONDEO: miércoles, 23 de septiembre de 2020

FECHA DE RECIBO: miércoles, 23 de septiembre de 2020

DATOS DEL SITIO DE EXPLORACIÓN

NÚMERO DE MUESTRA	12
PROFUNDIDAD (m)	1.10 Y 1.70
ESPESOR DE ESTRATO (m)	0.50 A 3.00
PRUEBA DE PENETRACIÓN STD. PROF. (m)	2.50
No. DE GOLPES	22 Y 24
PESO VOLUMÉTRICO DEL LUGAR (Kg/m ³)	N/A
CONTENIDO DE AGUA NATURAL (%)	6.20, 4.15 Y 3.67
% DE COMPACTACIÓN	N/A

CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL

TAMAÑO MÁXIMO AGREGADO (T.M.A)	23CM
% QUE PASA LA MALLA NO. 4	65 (35 % DE GRAVAS)
% QUE PASA LA MALLA NO. 40	38 (51 % DE ARENAS)
% QUE PASA LA MALLA NO. 200	14 (14 % DE FINOS)
PESO VOL. SECO SUELTO (Kg/m ³)	1739
PESO VOLUMÉTRICO SECO MÁX. (Kg/m ³)	2087
CONTENIDO DE AGUA ÓPTIMO (%)	7.58
LÍMITE LÍQUIDO (%)	18.67
LÍMITE PLÁSTICO (%)	INAPRECIABLE
ÍNDICE PLÁSTICO	INAPRECIABLE
CONTRACCIÓN LINEAL (%)	0.00
V.R.S. ESTÁNDAR (%)	23.72
EXPANSIÓN (%)	0.00
CLASIFICACIÓN SUCS	SM
PETROGRAFÍA	ARENAS LIMOSAS, MEZCLAS DE ARENAS DE GRANO MEDIO A FINO CON GRAVAS Y BOLEOS DE TAMAÑO CHICO A MEDIANO Y LIMOS INORGÁNICOS DE NULA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO. PRESENTA POCÁ BASURA

OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS ANALIZADAS No. 12, DE ACUERDO A SUS CARACTERÍSTICAS, SE CLASIFICAN COMO UNA SUBRASANTE DE MUY BUENA CALIDAD, DE ACUERDO A NORMAS Y ESPECIFICACIONES S.C.T.

FORMULÓ: Ing. David Magdaleno Basto
Jefe de Laboratorio

REVISÓ: M. En I. Rafael González Gutiérrez
Administrador Único



ESPECIALISTAS EN GEOTÉCNICA DEL NOROESTE, S.A. DE C.V.

Circuito Loma Dorada No. 19428, Fracc. Loma Dorada

Tel: 978-54-14 Cel: 664) 376-23-56

correo: rafaelgonzalez65@hotmail.com

CLASIFICACIÓN DE SUELOS (FIG. No. 5)

PROYECTO: "MECANICA DE SUELOS PARA LA REHABILITACION DE LA PLANTA DE BOMBEO PB-LOS LAURELES 1 (DISEÑO DE PAVIMENTO), EN EL MUNICIPIO DE TIJUANA, B.C."

SONDEO : **5, 6 Y 7 (DISEÑO DE PAVIMENTOS)**

TIPO DE PRUEBA: **CALA Y MUESTREO**

PROF. DE SONDEO: **1.50 m**

UBICACIÓN:

FECHA DE SONDEO: **martes, 8 de septiembre de 2020**

CALLE PASEO DE LA MONTAÑA ENTRE AVE. 18 DE MARZO Y AVE. ANEXA LOS LAURELES, COL. LOS LAURELES, EN EL MUNICIPIO DE TIJUANA, B.C.

FECHA DE RECIBO: **martes, 8 de septiembre de 2020**

DATOS DEL SITIO DE EXPLORACIÓN

	14	15	16
NÚMERO DE MUESTRA	14	15	16
PROFUNDIDAD (m)	0.25 A 1.50	0.00 A 1.50	0.30 A 0.55
ESPESOR DE ESTRATO (m)	INDEFINIDO	INDEFINIDO	0.25
PRUEBA DE PENETRACIÓN STD. PROF. (m)	NO APLICA	N/A	N/A
No. DE SONDEO	5	6	7
PESO VOLUMÉTRICO DEL LUGAR (Kg/m ³)	1908 Y 1839	1937	1610
CONTENIDO DE AGUA NATURAL(%)	7.40, 7.53	10.13	63.8
% DE COMPACTACIÓN	92.48 Y 89.03	91.50	87.00

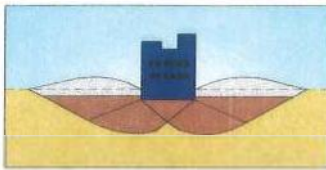
CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL

	28cm	31cm	-
TAMAÑO MÁXIMO AGREGADO (T.M.A)	28cm	31cm	-
% QUE PASA LA MALLA NO. 4	56 (44 % DE BOLEOS Y GRAVAS)	60 (40 % DE BOLEOS Y GRAVAS)	81 (19 % DE BOLEOS Y GRAVAS)
% QUE PASA LA MALLA NO. 40	37 (45 % DE ARENAS)	38 (48 % DE ARENAS)	70 (50 % DE ARENAS)
% QUE PASA LA MALLA NO. 200	11 (11 % DE FINOS)	12 (12 % DE FINOS)	31 (31 % DE FINOS)
PESO VOL. SECO SUELTO (Kg/m ³)	1822	1727	1422
PESO VOLUMÉTRICO SECO MÁX. (Kg/m ³)	1921	1922	1739
CONTENIDO DE AGUA ÓPTIMO (%)	10.80	12.36	14.35
LÍMITE LÍQUIDO (%)	19.66	23.13	24.74
LÍMITE PLÁSTICO (%)	INAPRECIABLE	INAPRECIABLE	INAPRECIABLE
ÍNDICE PLÁSTICO	INAPRECIABLE	INAPRECIABLE	INAPRECIABLE
CONTRACCIÓN LINEAL (%)	1.50	0.40	0.89
V.R.S. ESTÁNDAR(%)	89.85	35.92	1694
EXPANSIÓN (%)	0.00	0.00	7.70
CLASIFICACIÓN SUCS	SP-SM	SP-SM	SM
PETROGRAFÍA	MEZCLAS DE ARENAS DE GRANO MEDIO A GRUESO CON BOLEOS DE TAMAÑO CHICO A MEDIANO T.M.A= 28 cm, CON LIMOS INORGANICOS DE NULA PLASTICIDAD, COLOR CAFE TONO ROJIZO.	MEZCLAS DE ARENAS DE GRANO MEDIO CON BOLEOS DE TAMAÑO CHICO A MEDIANO Y LIMOS INORGANICOS DE NULA PLASTICIDAD, COLOR GRIS TONO CAFÉ.	ARENAS DE GRANO FINO CON LIMOS INORGÁNICOS DE NULA A BAJA PLASTICIDAD, COLOR AMARILLO MOSTAZA, CON ALGUNOS BOLEOS.

OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS ANALIZADA No. 14 y No. 15, DE ACUERDO A SUS CARACTERÍSTICAS SE CLASIFICA COMO UNA SUBSISTANTE DE MUY BUENA CALIDAD, MIENTRAS QUE LA MUESTRA NO. 16 SE CARACTERIZA COMO UNA SUBSISTANTE DE CALIDAD REGULAR, DE ACUERDO A NORMAS Y ESPECIFICACIONES S.C.T. Y SIDURT

FORMULÓ: Ing. David Magdaleno Basto
Jefe de Laboratorio

REVISÓ: M. En I. Rafael González Gutiérrez
Administrador Único



ESPECIALISTAS EN GEOTÉCNICA DEL NOROESTE, S.A. DE C.V.

Circuito Loma Dorada No. 19428, Fracc. Loma Dorada

Tel: 978-54-14 Cel: 664) 376-23-56

correo: rafaelgonzalez65@hotmail.com

CLASIFICACIÓN DE SUELOS (FIG. No. 6)

PROYECTO: "MECANICA DE SUELOS PARA LA REHABILITACION DE LA PLANTA DE BOMBEO PB-LOS LAURELES 1 (DISEÑO DE PAVIMENTO), EN EL MUNICIPIO DE TIJUANA, B.C."

SONDEO: 7 (DISEÑO DE PAVIMENTOS)

TIPO DE PRUEBA: CALA, S.P.T. Y MUESTREO

PROF. DE SONDEO: 1.50 m.

UBICACIÓN:

FECHA DE SONDEO: martes, 8 de septiembre de 2020

CALLE PASEO DE LA MONTAÑA, ENTRE AVE. 18 DE MARZO Y AVE. ANEXA LOS LAURELES, COL. LOS LAURELES, EN EL MUNICIPIO DE TIJUANA, B.C.

FECHA DE RECIBO: martes, 8 de septiembre de 2020

DATOS DEL SITIO DE EXPLORACIÓN

NÚMERO DE MUESTRA	17
PROFUNDIDAD (m)	0.55 A 1.50
ESPEOR DE ESTRATO (m)	INDEFINIDO
PRUEBA DE PENETRACIÓN STD. PROF. (m)	N/A
Nº DE GOLPES	N/A
PESO VOLUMÉTRICO DEL LUGAR (Kg/m ³)	1958
CONTENIDO DE AGUA NATURAL(%)	7.29
% DE COMPACTACIÓN	85.79

CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL

TAMAÑO MÁXIMO AGREGADO (T.M.A)	-
% QUE PASA LA MALLA NO. 4	54 (46 % DE BOLEOS Y GRAVAS)
% QUE PASA LA MALLA NO. 40	31 (43 % DE ARENAS)
% QUE PASA LA MALLA NO. 200	11 (11 % DE FINOS)
PESO VOL. SECO SUELTO (Kg/m ³)	1749
PESO VOLUMÉTRICO SECO MÁX. (Kg/m ³)	2069
CONTENIDO DE AGUA ÓPTIMO(%)	8.99
LÍMITE LÍQUIDO(%)	17.41
LÍMITE PLÁSTICO(%)	INAP.
INDICE PLÁSTICO	INAP.
CONTRACCIÓN LINEAL(%)	0.00
V.R.S. ESTÁNDAR(%)	56.36
EXPANSIÓN(%)	0.81
CLASIFICACIÓN SUCS	GP-GM
PETROGRAFÍA	MEZCLAS DE BOLEOS Y ARENAS DE GRANO MEDIO CON LIMOS INORGANICOS DE NULA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ TONO ROJIZO, MEDIANAMENTE COMPACTADOS.

OBSERVACIONES:

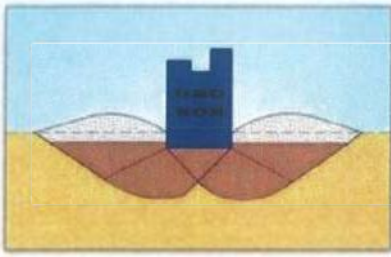
LA MUESTRA ANALIZADA No.17, DE ACUERDO A SUS CARACTERÍSTICAS SE CLASIFICA COMO UNA SUBRASANTE DE MUY BUENA CALIDAD DE ACUERDO A NORMAS Y ESPECIFICACIONES S.C.T.Y. BIDURT

FORMULÓ: Ing. David Magdaleno Basto

Jefe de Laboratorio

REVISÓ: M. En I. Rafael González Gutiérrez

Administrador Único



ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMADORA NO. 1942B, FRACC. LOMADORA,
TIJUANA, B.C.

OBRA: "REHABILITACION DE LA PLANTA DE BOMBEO PB-LOS LAURELES NO. 1, EN EL MUNICIPIO DE TIJUANA, B.C."

IDENTIFICACION				DATOS		PROPIEDADES		
PROFUNDIDAD (m)	ESTRATIGRAFIA	NG.DE MUESTRA	NO.DE GOLPES	CLASIFICACION SUCS	DESCRIPCION	CONTENIDO DE AGUA NATURAL " w " (%)	LIMITE DE CONSISTENCIA (%)	GRANULOMETRIA
					PERFORACION No.: 1 PROFUNDIDAD: 0.00 A 10.00 m UBICACION: PLANTA DE BOMBEO LOS LAURELES, CALLE PASEO DE LA MONTAÑA, COL.LOS LAURELES, TIJUANA, B.C. FECHA: 17 DE SEPTIEMBRE DEL 2020			
0.00		M-1	38	SP-SM	<u>SUELOS DE RELLENO</u> MEZCLA DE ARENAS POBREMENTE GRADUADAS DE GRANO GRUESO A MEDIO CON BOLEOS DE TAMAÑOS CHICOS A MEDIANOS Y GRAVAS, CON POCOS LIMOS INORGANICOS DE BAJA A MEDIANA PLASTICIDAD, COLOR CAFE CLARO A OSCURO.	13.62	30.50 28.00 2.50 NO SUFICIENTE	36 56 08
1.90			M-2	33	GM	BOLEOS Y GRAVAS LIMOSAS, MEZCLA DE GRAVA-ARENA Y LIMOS INORGANICOS DE NULA PLASTICIDAD, COLOR CAFE CLARO A OSCURO.PRESENTA	6.96	18.40 INAPRESIABLE INAPRESIABLE
3.00 3.60			37	INTERCALACIONES DE LIMOS INORGANICOS COLOR CAFE CLARO A OSCURO.		10.86	0.00	
4.50 5.10		M-3	40	GP-GM	<u>TERRENO NATURAL</u> BOLEOS Y GRAVAS MAL GRADUADAS, MEZCLA DE GRAVA-ARENA DE GRANO MEDIO A GRUESO CON POCOS LIMOS INORGANICOS DE NULA PLASTICIDAD Y GRAVA ARENA, COLOR CAFE CLARO A OSCURO Y TONO	3.16	13.53 INAPRESIABLE INAPRESIABLE	57 35 09
6.00					40	AMARILLO.	5.60	0.00
6.50		M-4	-	GM	BOLEOS Y GRAVAS LIMOSAS, MEZCLA DE GRAVA-ARENA Y LIMOS INORGANICOS DE NULA PLASTICIDAD, COLOR CAFE CLARO A OSCURO Y TONO AMARILLO.		21.10 INAPRESIABLE INAPRESIABLE	62 24 15
7.50 8.10					54	COMPACTAS Y ARCIAMENTE SECAS.	1.02	0.00
9.00 9.48 10.00								

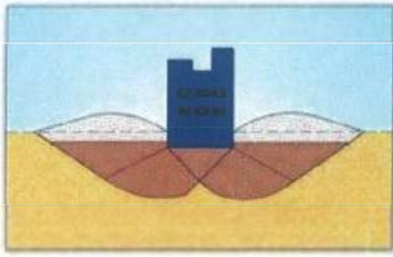
SIMBOLOGIA EMPLEADA:



GM: GRAVAS LIMOSAS

PERFIL ESTRATIGRAFICO
FIGURA NO.

07



ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMADORADA NO. 19428, FRACC. LOMADORADA,
TIJUANA B.C.

OBRA: "REHABILITACION DE LA PLANTA DE BOMBEO PB-LOS LAURELES NO. 1, EN EL MUNICIPIO DE TIJUANA, B.C."

IDENTIFICACIÓN				DATOS		PROPIEDADES		
PROFUNDIDAD (m)	ESTRATIGRAFIA	NO.DE MUESTRA	NO.DE GOLPES	CLASIFICACIÓN SUCS	PERFORACIÓN No.: 2 PROFUNDIDAD: 0.00 A 10.00 m UBICACIÓN: PLANTA DE BOMBEO LOS LAURELES, CALLE PASEO DE LA MONTAÑA, COL.LOS LAURELES, TIJUANA, B.C. FECHA: 18 DE SEPTIEMBRE DEL 2020	CONTENIDO DE AGUA NATURAL " w " (%)	LIMITE DE CONSISTENCIA (%) LIMITE LIQUIDO (LL) LIMITE PLASTICO (LP) INDICE PLASTICO (IP) LIMITE DE CONT.LINEAL (LCL)	GRANULOMETRIA % GRAVAS (G) % ARENAS (A) % FINOS (F)
					DESCRIPCIÓN			
0.00	●	M-5	36	GM	<u>SUELOS DE RELLENO</u>	4.10	24.44	44
1.00			-		BOLEOS Y GRAVAS LIMOSAS, MEZCLA DE GRAVA-ARENA Y LIMOS INORGANICOS DE NULA PLASTICIDAD, COLOR CAFE CLARO.	INAPRECIABLE	42	
1.50			45			3.79	0.00	14
3.00	○	M-6	21	SM	ARENAS LIMOSAS, MEZCLA DE ARENAS DE GRANO MEDIO A GRUESO CON GRAVAS Y BOLEOS DE TAMAÑO CHICO A MEDIANO Y LIMOS INORGANICOS DE NULA PLASTICIDAD, COLOR CAFE CLARO TONO VERDE.	12.51	22.81	23
3.60			-				INAPRECIABLE	54
4.50			41	GP-GM	<u>TERRENO NATURAL</u> BOLEOS Y GRAVAS MAL GRADUADAS, MEZCLA DE GRAVA-ARENA DE GRANO MEDIO A GRUESO CON POCOS LIMOS INORGANICOS DE NULA PLASTICIDAD Y GRAVA ARENA, COLOR CAFE CLARO TONO AMARILLO.	10.86	17.57	50
5.10	-	INAPRECIABLE	39					
6.00	△	M-7	-	GP-GM		-	0.00	12
6.75			-				INAPRECIABLE	12
7.50	○	M-8	30	SM	ARENAS LIMOSAS, MEZCLA DE ARENAS DE GRANO MEDIO A FINO CON GRAVAS Y BOLEOS DE TAMAÑO PEQUEÑO Y LIMOS INORGANICOS DE NULA PLASTICIDAD, COLOR CAFE TONO GRIS.	5.96	19.24	32
8.10			29				INAPRECIABLE	48
8.70			-	ML	LIMOS INORGANICOS DE NULA PLASTICIDAD CON ARENAS DE GRANO FINO, COLOR CAFE TONO GRIS, CON ALGUNAS GRAVAS AISLADAS.	5.88	0.00	20
10.00	-	INAPRECIABLE	03					
		M-9	32			15.74	17.76	46
							0.00	51

SIMBOLOGIA EMPLEADA:



GM: GRAVAS LIMOSAS



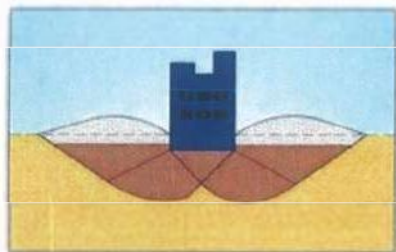
SM: ARENAS LIMOSAS



ML: LIMOS INORGANICOS

PERFIL ESTRATIGRAFICO
FIGURA NO.

08



ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA, TIJUANA B.C.

PROYECTO: "MECANICA DE SUELOS PARA LA REHABILITACION DE LA PLANTA DE BOMBEO PB-LOS LAURELES 1, EN TIJUANA, B.C."

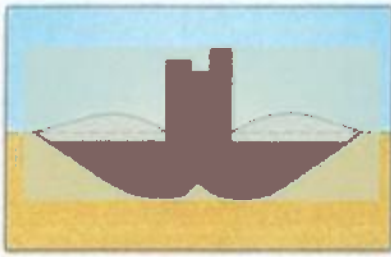
SONDEO NO.: 3 (MURO PERIMETRAL). PROFUNDIDAD: 0.00 A 3.30 m

UBICACIÓN: CALLE PASEO DE LA MONTAÑA ENTRE AVE. 18 DE MARZO Y AVE. ANEXA LOS LAURELES, COL. LOS LAURELES, EN EL MUNICIPIO DE TIJUANA, B.C.

FECHA: 11 DE SEPTIEMBRE DEL 2020 FIGURA: NO. 09

REGISTRO DE SONDEO (ESTRATIGRAFÍA)

CONT. AGUA NATURAL (%)	PROFUNDIDAD (MTS.):	SIMBOLOGÍA	S.U.C.S.	DESCRIPCIÓN DEL TERRENO
-	0.00		-	<p><u>SUELOS DE RELLENO</u></p> <p>DEPÓSITOS ALUVIALES: LIMOS INORGÁNICOS DE BAJA A NULA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO. PRESENTA ABUNDANTES RAICES (CAPA VEGETAL).</p>
9.71	0.58		SM	<p>ARENAS LIMOSAS, MEZCLAS DE ARENAS DE GRANO MEDIO A FINO CON GRAVAS Y BOLEOS DE TAMAÑO CHICO A MEDIANO (T.M.A.= 40 CM) Y LIMOS INORGÁNICOS DE NULA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ TONO AMARILLO. PRESENTA BASURA Y ESCOMBRO.</p>
5.26	2.30		GM	<p><u>TERRENO NATURAL</u></p> <p>GRAVAS LIMOSAS, MEZCLAS DE GRAVAS Y BOLEOS DE TAMAÑO CHICO A MEDIANO CON ARENAS DE GRANO MEDIO A GRUESO Y LIMOS INORGÁNICOS DE NULA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ TONO ROJIZO CLARO.</p>
	3.30			



ESPECIALISTAS EN GEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA, TIJUANA B.C.

OBRA: "MECANICA DE SUELOS PARA LA REHABILITACION DE LA PLANTA DE BOMBEO PB-LOS LAURELES NO. 1, EN EL MUNICIPIO DE TIJUANA, B.C."

IDENTIFICACION					DATOS	PROPIEDADES		
PROFUNDIDAD (m)	ESTRATIGRAFIA	ND.DE MUESTRA	NO.DE GOLPES	CLASIFICACION SUCS	DESCRIPCION	CONTENIDO DE AGUA NATURAL "w" (%)	LIMITES DE CONSISTENCIA (%) LIMITE LIQUIDO (LL) LIMITE PLASTICO (LP) INDICE PLASTICO (IP) LIMITE DE CONTINEAL (LCL)	GRANULOMETRIA % GRAVAS (G) % ARENAS (A) % FINOS (F)
0.00		-	-	-	SUELOS DE RELLENO CAPA VEGETAL. LIMOS INORGANICOS DE BAJA A NULA PLASTICIDAD COLOR CAFE CLARO.	-	-	-
0.40		M-11	N/A	SM	ARENAS LIMOSAS, MEZCLAS DE ARENAS DE GRANO MEDIO A FINO CON GRAVAS Y BOLEOS DE TAMAÑO CHICO A MEDIANO Y LIMOS INORGANICOS DE NULA PLASTICIDAD, COLOR CAFE CLARO. MEDIANAMENTE COMPACTAS Y MEDIANAMENTE SECAS. PRESENTA POCA BASURA.	6.20	18.67 INAPRECIABLE INAPRECIABLE 0.00	35 51 14
1.10	M-12	22	SM	4.15		17.51 INAPRECIABLE INAPRECIABLE 0.00	22 43 35	
1.70		24		3.67				
3.00								

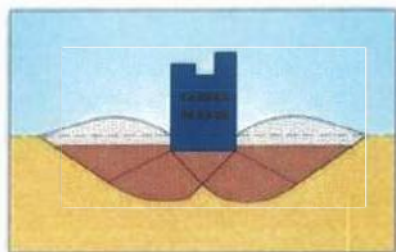
SIMBOLOGÍA EMPLEADA:



SM- ARENAS LIMOSAS

PERFIL ESTRATIGRÁFICO
FIGURA NO.

10



ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE CV.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA, TIJUANA B.C.

PROYECTO: "MEC. DE SUELOS PARA LA REHABILITACION DE LA PLANTA DE BOMBEO PB-LOS LAURELES 1 (DISEÑO DE PAVIMENTO), EN TIJUANA, B.C."

SONDEO NO.: 5

PROFUNDIDAD: 0.00 A 1.50 m

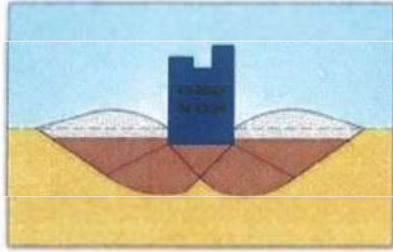
UBICACIÓN: CALLE PASEO DE LA MONTAÑA ENTRE AVE. 18 DE MARZO Y AVE. ANEXA LOS LAURELES, EN EL MUNICIPIO DE TIJUANA, B.C.

FECHA: 8 DE SEPTIEMBRE DEL 2020

FIGURA: NO. 11

REGISTRO DE SONDEO (ESTRATIGRAFÍA)

CONT. AGUA NATURAL (%)	PROFUNDIDAD (MTS.):	SIMBOLOGÍA	S.U.C.S.	DESCRIPCIÓN DEL TERRENO
-	0.00		<p>GP-GM</p> <p>SP-SM</p>	<p><u>SUELOS DE RELLENO</u></p> <p>DEPÓSITOS ALUVIALES: BOLEOS Y ARENAS DE GRANO GRUESO A MEDIO CON LIMOS INORGÁNICOS DE NULA PLASTICIDAD. CAPA INTEMPERIZADA CON ALGO DE BASURA.</p>
7.40	0.25			<p><u>TERRENO NATURAL</u></p> <p>MEZCLAS DE ARENAS DE GRANO MEDIO A GRUESO CON BOLEOS DE TAMAÑO CHICO A MEDIANO T.M.A.= 28 cm CON LIMOS INORGANICOS DE NULA PLASTICIDAD, COLOR GRIS, TONO CAFE. MEDIANAMENTE COMPACTADOS. MENOS BASURA QUE EL ESTRATO DE ARRIBA.</p>
7.53	0.60			
	1.50			



ESPECIALISTAS EN GEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA, TIJUANA B.C.

PROYECTO: "MEC. DE SUELOS PARA LA REHABILITACION DE LA PLANTA DE BOMBEO PB-LOS LAURELES 1 (DISEÑO DE PAVIMENTO), EN TIJUANA, B.C."

SONDEO NO.: 6


PROFUNDIDAD: 0.00 A 1.50 m

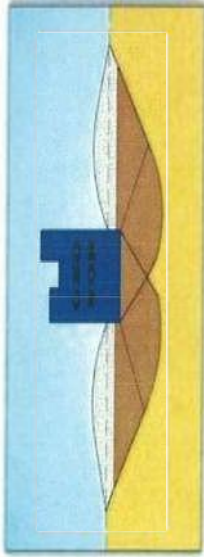
UBICACIÓN: CALLE PASEO DE LA MONTAÑA ENTRE AVE. 18 DE MARZO Y AVE. ANEXA LOS LAURELES, EN EL MUNICIPIO DE TIJUANA, B.C.

FECHA: 8 DE SEPTIEMBRE DEL 2020

FIGURA: NO.12

REGISTRO DE SONDEO (ESTRATIGRAFÍA)

CONT. AGUA NATURAL (p/a)	PROFUNDIDAD (MTS.):	SIMBOLOGÍA	S.U.C.S.	DESCRIPCIÓN DEL TERRENO
-	0.00  1.50 M-2	SP-SM		<p><u>TERRENO NATURAL</u></p> <p>MEZCLAS DE ARENAS DE GRANO MEDIO CON BOLEOS DE TAMAÑO CHICO A MEDIANO (T.M.A. = 31 Cm) Y LIMOS INORGANICOS DE NULA PLASTICIDAD, COLOR CAFE TONO ROJIZO.</p>



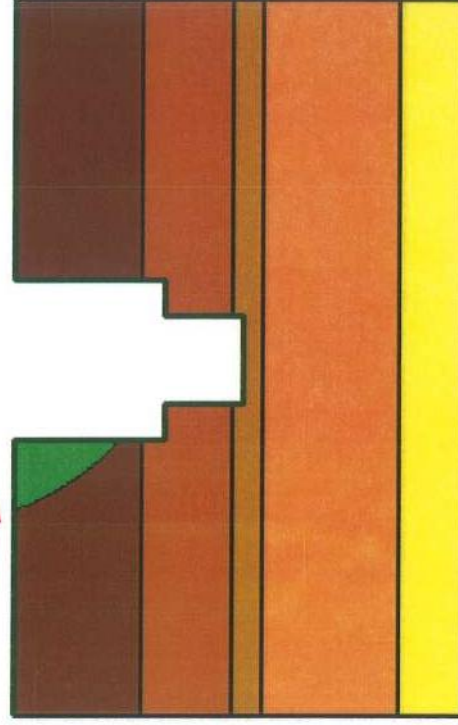
**ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL
NOROESTE S.A. DE C.V.**

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA,
TUJUANA B.C.

Factor de Seguridad	
■	0.573 - 0.673
■	0.673 - 0.773
■	0.773 - 0.873
■	0.873 - 0.973
■	0.973 - 1.073
■	1.073 - 1.173
■	1.173 - 1.273
■	1.273 - 1.373
■	1.373 - 1.473
■	≥ 1.473

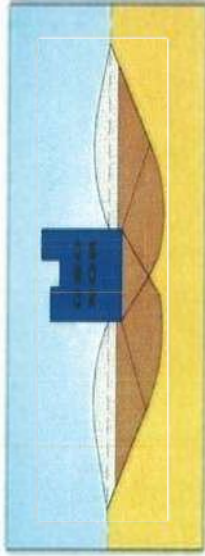


SUPERFICIE DE
FALLA CRÍTICA



NOTA: LOS VALORES
OBTENIDOS SON SIN
CONSIDERAR
SOBRECARGAS ACTUANTES

FIG No. 13: SUPERFICIE DE FALLA CRÍTICA EN PERFORACION NO. 1 (DESARENADOR)

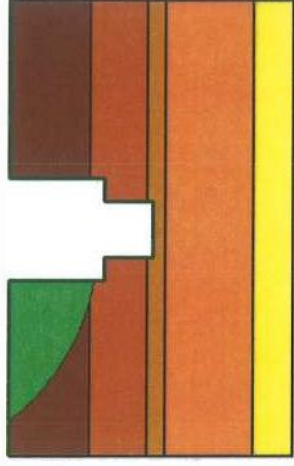
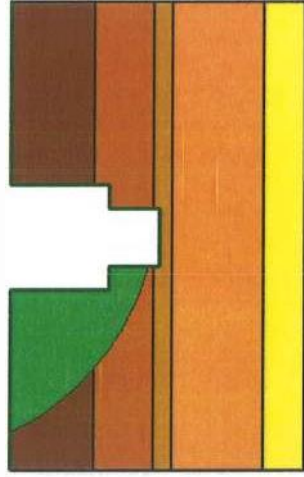


ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

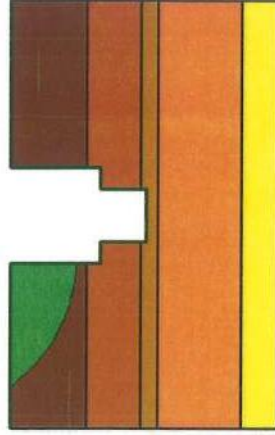
CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA, TIJUANA B.C.

Factor de Seguridad

- 0.573 - 0.673
- 0.673 - 0.773
- 0.773 - 0.873
- 0.873 - 0.973
- 0.973 - 1.073
- 1.073 - 1.173
- 1.173 - 1.273
- 1.273 - 1.373
- 1.373 - 1.473
- ≥ 1.473

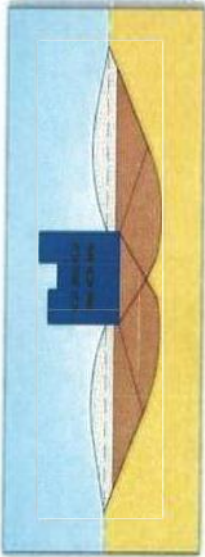


SE OBSERVA FALLA EN LOS ESTRATOS SUPERIORES (SUELOS DE RELLENO) DE LA PERFORACION NO. 1, LOS CUALES CONFORMAN LA MAYOR PARTE DE LA EXCAVACIÓN. DE ACUERDO A LOS FACTORES DE SEGURIDAD OBTENIDOS Y SUPERFICIES DE FALLA LA EXCAVACIÓN SE CONSIDERA **NO ESTABLE**.



NOTA: LOS VALORES OBTENIDOS SON SIN CONSIDERAR SOBRECARGAS ACTUANTES.

FIG No. 14: SUPERFICIES DE FS= 1, 1.5 Y 2 EN LA PERFORACION NO. 1 (DESARENADOR)



ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 15428, FRACC. LOMA DORADA, Tijuana B.C.

PERFORACIÓN No. 1



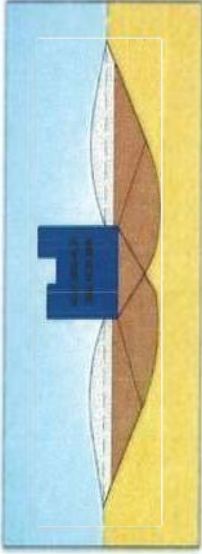
VISTA QUE MUESTRA EL INICIO DE LA PERFORACIÓN. SE MUESTRA LA PREPARACION PARA INICIAR CON LOS TRABAJOS. ESTA SE REALIZO HASTA UNA PROFUNDIDAD MAXIMA DE EXPLORACIÓN DE 10.00 METROS.



SE OBSERVA EL INSTANTE EN EL QUE SE LLEVA ACABO EL ENSAYE DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR. ESTA SE REALIZO CONSECUTIVAMENTE A CADA 1.50 METROS ENTRE CADA ENSAYE.



SE APRECIA LAS EXTENSIONES NECESARIAS PARA LA REALIZACIÓN DEL ENSAYE DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR Y LA PERFORACION. CON ESTAS SE LOGRA ALCANZAR LA PROFUNDIDAD DE PROYECTO.



ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL NOROESTE S.A. DE C.V.

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 1942B, FRACC. LOMA DORADA, TIJUANA B.C.

PERFORACIÓN No.2



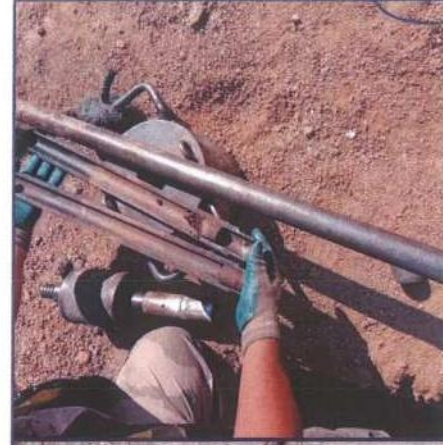
IMAGEN DONDE SE MUESTRA EL INICIO DE LA PERFORACION No. 2. SE PUEDE APRECIAR QUE SE ESTA COLOCANDO LA MASA DE GOLPEO PARA INICIAR CON LA PRIMERA PRUEBA DE PENETRACION ESTANDAR.



FOTO DONDE SE APRECIA EL INSTANTE EN QUE LA MAQUINA SE ACOMODA PARA LLEVAR A CABO LA PRUEBA S.P.T. LOS ENSAYES SE REALIZARON CON UNA FRECUENCIA DE 1.50 METROS.

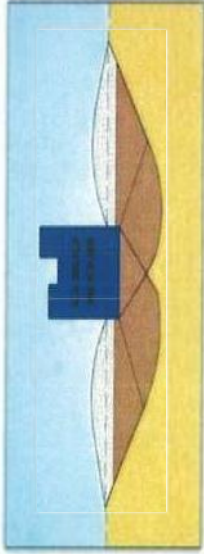


SE OBSERVA AL TÉCNICO REALIZANDO EL MONTAJE DE UNA DE LAS EXTENSIONES DE ACERO QUE SERÁ UTILIZADA PARA DAR PROFUNDIDAD A CADA ENSAYE REALIZADO.



SE OBSERVA UNA DE LAS MUESTRAS DE MATERIAL RECUPERADAS DENTRO DEL TUBO MUESTREADOR. SHELBY, ESTAS PEQUEÑAS PORCIONES EN CONDICIÓN ALTERA SERÁN UTILIZADAS PARA DETERMINAR MEDIANTE ENSAYES ALGUNAS DE SUS PROPIEDADES ÍNDICES DEL SUELO.

Handwritten signature or initials in blue ink.



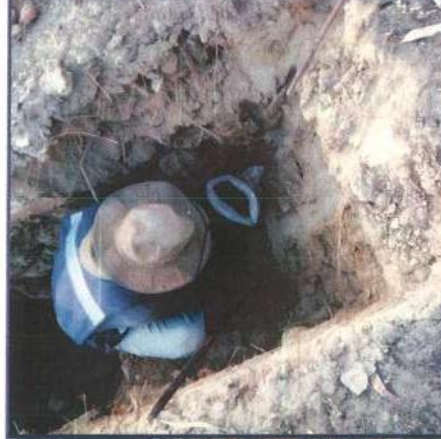
**ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL
NOROESTE S.A. DE C.V.**

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA,
TIJUANA B.C.

SONDEO No. 3 P.C.A (MURO PERIMETRAL)



IMAGEN DONDE SE MUESTRA EL MOMENTO EN EL QUE SE REALIZA EL SONDEO DE TIPO POZO A CIELO ABIERTO CON AYUDA DE UNA MAQUINA RETROEXCAVADORA. ESTE SONDEO SE EXCAVÓ HASTA UNA PROFUNDIDAD MÁXIMA DE EXPLORACIÓN DE 3.30 METROS.



VISTA DONDE SE OBSERVA AL PERSONAL TÉCNICO REALIZANDO UNA PRUEBA DE COMPACTACIÓN (CALA). ESTE ENSAYE SE EFECTUÓ EN LA PROFUNDIDAD DE 1.00 METRO.

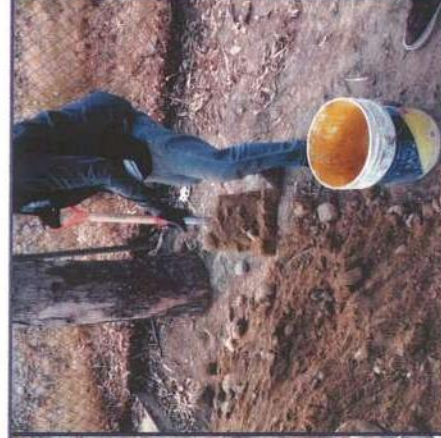
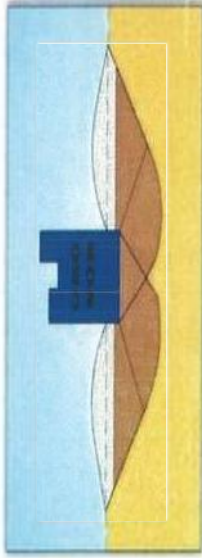


FOTO DONDE SE APRECIA A PERSONAL TÉCNICO REALIZANDO EL ALMACENAMIENTO DE UNA MUESTRA DE MATERIAL EXTRAÍDA CON AYUDA DE LA MAQUINA RETROEXCAVADORA DE LA PROFUNDIDAD DE 3.00 METROS, ESTA ES ETIQUETADA Y TRASLADADA AL LABORATORIO DONDE SERÁ SOMETIDA A DIVERSOS ENSAYES.



SE MUESTRA EL TIPO DE MATERIAL QUE SE PRESENTA EN LA ZONA DE ESTUDIO. SE PUEDE OBSERVAR PRINCIPALMENTE LA CANTIDAD DE BOLEOS QUE CONTIENE EL SUELO ASÍ COMO SU COLOR CARACTERÍSTICO (CAFÉ TONO ROJIZO).



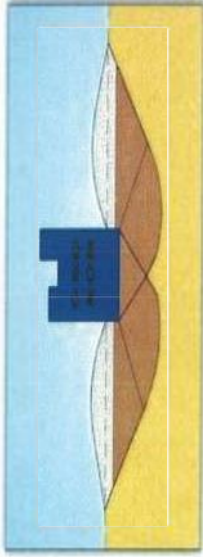
**ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL
NOROESTE S.A. DE C.V.**

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 1542Z, FRACC. LOMA DORADA,
TIJUANA B.C.

SONDEO No. 4 S.P.T (MURO PERIMETRAL)

				
<p>VISTA QUE MUESTRA LA REALIZACIÓN DE LA PRUEBA DE PENETRACION A LA PROFUNDIDAD DE 1.10 M.</p>	<p>IMAGEN DONDE SE APRECIA AL PERSONAL TÉCNICO REALIZANDO UNA EXCAVACIÓN EN EL SITIO UTILIZANDO HERRAMIENTA MENOR (BARRAS, PALAS Y POSTEADORA), ESTO CON LA FINALIDAD DE TRASPASAR EL ESTRATO DE BOLEOS PRESENTES EN LA ZONA.</p>	<p>SE MUESTRA EL INSTANTE EN EL QUE SE EFECTÚA EL ENSAYE DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR A LA PROFUNDIDAD DE 1.70 METROS.</p>	<p>VISTA DONDE SE OBSERVA AL PERSONAL TÉCNICO REALIZANDO LA EXTRACCIÓN DEL TUBO MUESTREADOR SHELBY CON AYUDA DE UN GATO HIDRÁULICO. ESTO DEBIDO A LA DIFICULTAD DE EXTRAERLO MANUALMENTE.</p>	<p>SE OBSERVA EL MATERIAL RECUPERADO DENTRO DEL TUBO MUESTREADOR SHELBY. ESTA PEQUEÑA PORCIÓN EN CONDICIÓN ALTERA SERVIRÁ PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE AGUA NATURAL DEL SUELO ASÍ COMO ALGUNAS DE SUS PROPIEDADES ÍNDICE.</p>



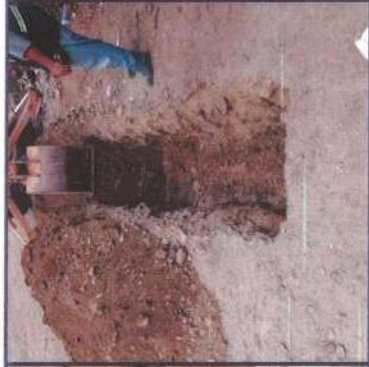

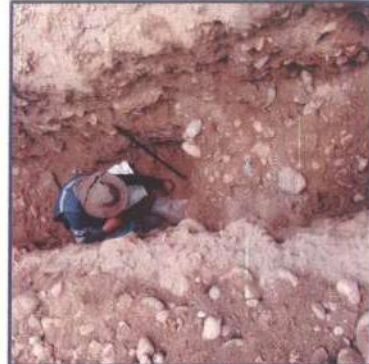
Proyecto: Mecánica de suelos para la rehabilitación de la planta de bombeo PB-Los Laureles 1, en el municipio de Tijuana, B.C.



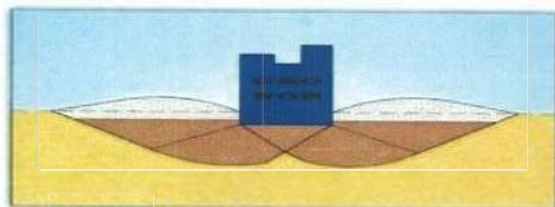
**ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL
NOROESTE S.A. DE C.V.**

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA,
TIJUANA B.C.

SONDEO NO.5 P.C.A. (DISEÑO DE PAVIMENTOS)

				
<p>VISTA QUE MUESTRA EL INICIO DEL PCA NO. 1 EN LA QUE SE OBSERVA EL SITIO EN QUE SE LLEVO A CABO LA EXPLORACIÓN.</p>	<p>SE MUESTRA AL TÉCNICO AL MOMENTO DE LA REALIZACIÓN DE LA CALA A LA PROFUNDIDAD 0.60 m.</p>	<p>IMAGEN DEL AVANCE EN LA EXCAVACIÓN DEL POZO A CIELO ABIERTO (PCA).</p>	<p>FOTO QUE MUESTRA EL ENSAYE DE COMPACTACIÓN A LA PROFUNDIDAD DE 1.50 m, EN EL MOMENTO EN QUE SEVIERTE LA ARENA SÍLICA COMO PARTE DEL PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE COMPACTACIÓN IN SITU.</p>	<p>FOTOGRAFÍA QUE MUESTRA LA ESTRATIGRAFIA DEL SONDEO DE TIPO PCA NO. 1 EN EL QUE SE APRECIA EL ESTRATO QUE COMPONE EL SUELO DEL LUGAR (MUESTRA No. 1).</p>

Proyecto: Mecánica de suelos para la rehabilitación de la planta de bombeo PB-Los Laureles 1 (Diseño de pavimento), en el municipio de Tijuana, B.C.



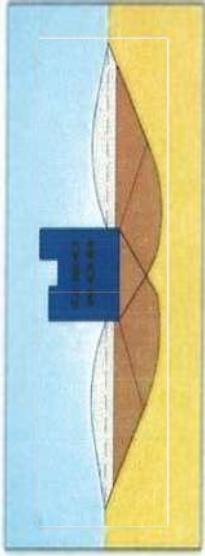
**ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL
NOROESTE S.A. DE C.V.**

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 1942B, FRACC. LOMA DORADA,
TIJUANA B.C.

SONDEO No. 6 P.C.A. (DISEÑO DE PAVIMENTOS)

		
<p>VISTA PANORAMICA DE LA EXCAVACIÓN DEL SONDEO NO. 2 EN LA QUE SE APRECIA LA UBICACIÓN DE LA EXPLORACIÓN.</p>	<p>INICIO DE LA EXCAVACIÓN DEL SONDEO NO. 2</p>	<p>FOTO DEL MATERIAL EXTRAÍDO DEL SONDEO (ABUNDANTES BOLEOS CON ARENAS DE GRANO MEDIO COLOR CAFETONO ROJIZO)</p>


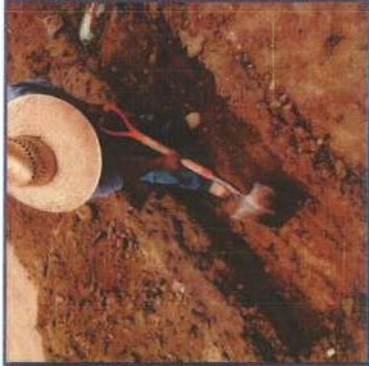



► Proyecto: Mecánica de suelos para la rehabilitación de la planta de bombeo PB-Los Laureles 1 (Diseño de pavimento), en el municipio de Tijuana, B.C.



**ESPECIALISTAS ENGEOTÉCNICA DEL
NOROESTE S.A. DE C.V.**

CIRCUITO LOMA DORADA NO. 19428, FRACC. LOMA DORADA,
TIJUANA B.C.

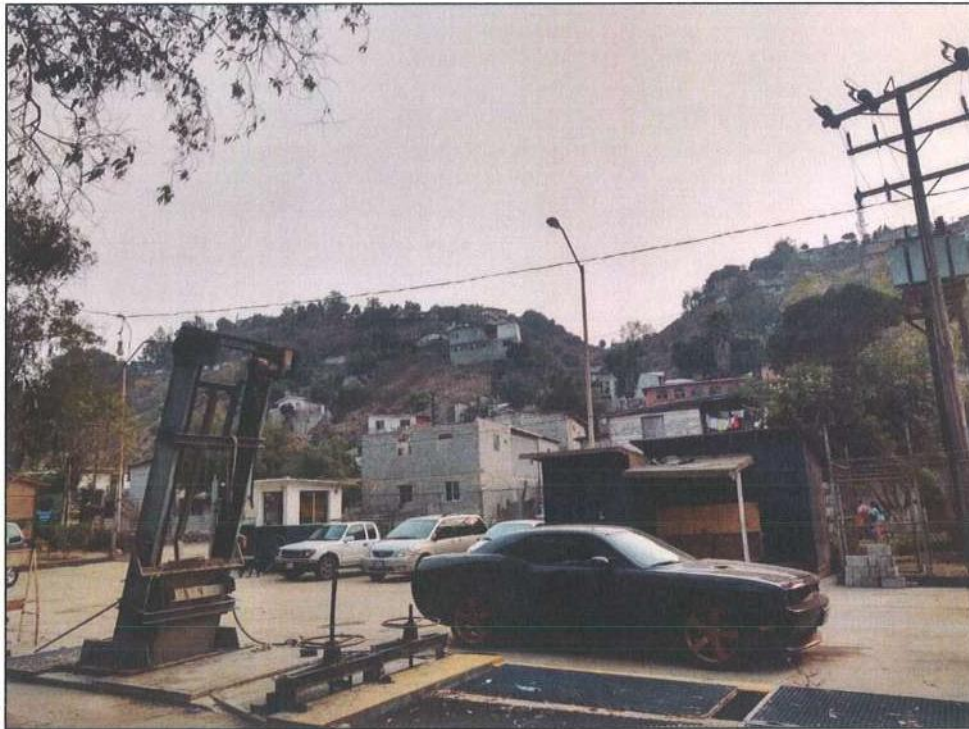
SONDEO NO. 7 P.C.A (DISEÑO DE PAVIMENTOS)

				
SE OBSERVA A LA RETROEXCAVADORA AL MOMENTO DE LA EXCAVACIÓN DEL POZO NO.3	IMAGEN QUE MUESTRA AL TÉCNICO REALIZANDO LA LIMPIEZA DEL ESCALÓN PARA LLEVAR A CABO LOS ENSAYES/MUESTREO EN EL LUGAR Y PRUEBA DE COMPACTACION.	FOTOGRAFÍA QUE MUESTRA UN TUBO DE DRENAJE SANITARIO QUE SE LOCALIZO A LA PROFUNDIDAD DE 0.35 m.	VISTA DE LA MÁXIMA PROFUNDIDAD DE LA EXCAVACION DEL PCA NO.3	SE MUESTRA AL TÉCNICO MIDIENDO EL TAMAÑO DEL AGREGADO MÁXIMO DEL ESTRATO LOCALIZADO (45 Cm).

Proyecto: Mecánica de suelos para la rehabilitación de la planta de bombeo PB-Los Laureles 1 (Diseño de pavimento), en el municipio de Tijuana, B.C.

REPORTE TÉCNICO

ESTUDIO SÍSMICO-GEOFÍSICO PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL TERRENO, EN UN
PREDIO UBICADO EN EL ÁREA DE LOS LAURELES, EN PLAYAS DE TIJUANA, B.C.



Elaborado por: Oc. Geol. Jorge E. Díaz García
Dra. Idalmis Fernández H.

Septiembre de 2020

Tabla de contenido

1. Introducción.....	3
2. Zona de estudio.....	3
3. Equipamiento y trabajo de campo.....	7
4. Procesamiento de datos.....	12
5. Resultados.....	13
6. Conclusiones.....	16
7. Referencias Bibliográficas.....	18



1. Introducción.

Se realizó un estudio sísmico-geofísico, para la caracterización del terreno, en un predio, ubicado en el área de Los Laureles, Fraccionamiento Playas de Tijuana, en la ciudad de Tijuana, B. C.

Los objetivos del estudio son, determinar la estratigrafía presente en el área; sus posibles variaciones laterales y en profundidad; así como las propiedades de los estratos, en términos de la velocidad de las ondas sísmicas (Vs). Se pretende además, identificar cualquier tipo de anomalía, que pueda relacionarse con la presencia de alguna estructura geológica, como fallas o fracturas en el predio.

Para lograr los objetivos, se utilizó, a solicitud del cliente, un método sísmico no destructivo, basado en la realización de dos tendidos sísmicos.

Los registros obtenidos, se interpretaron con el empleo del software Seisimager, en las modalidades de inversión tomográfica y MASW, teniendo cuidado de obtener modelos interpretados con ajustes root mean square, (rms) menores al 5 %.

2. Zona de estudio.

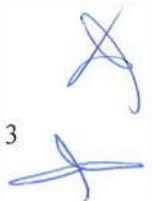
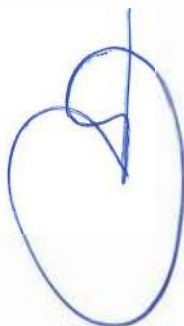
El predio de interés se localiza al noroeste de Tijuana, contiguo a la Carretera Escénica Ensenada -Tijuana 1 D, aproximadamente 200 m al sur de la línea fronteriza México - USA, en las coordenadas 11S - 0490754 m E - 3599750 m N, sistema WGS84 (Figuras 1 y 2).



Figura 1. Sitio de estudio de estudio.

Francisco Villa No. 395
Fracc. Villa Bonita
Ensenada B.C.

Tel: 01 (646) 172 21 38
Cel: 044 (646) 947 74 86
e-mail: jdg171@hotmail.com



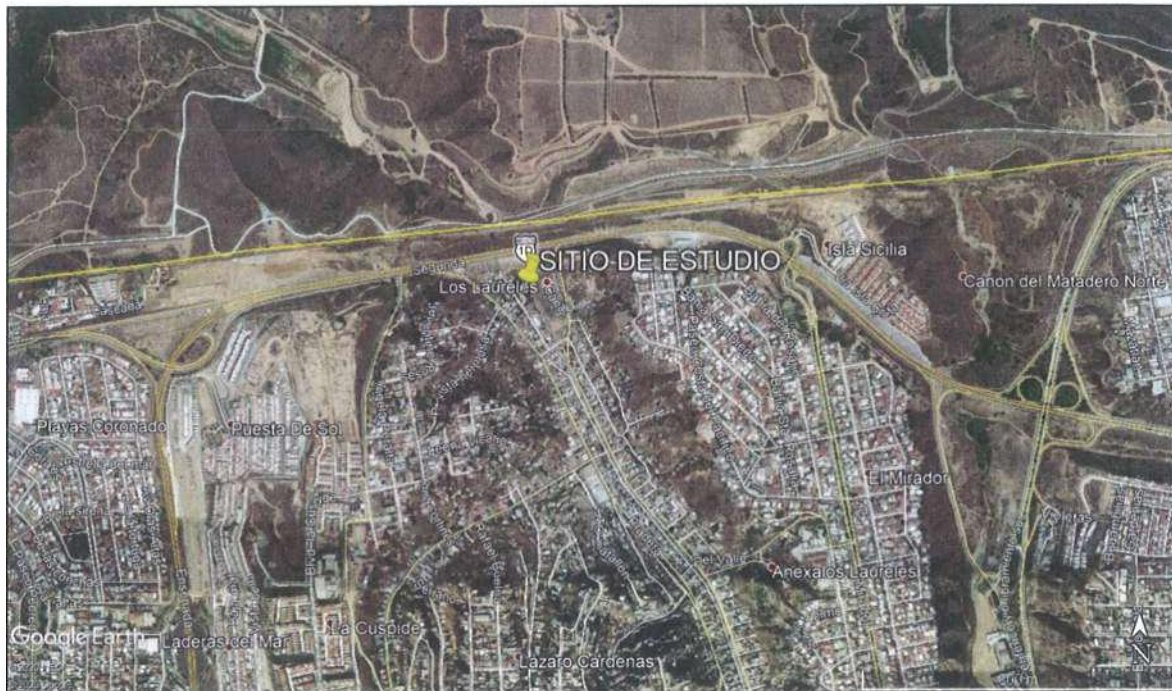


Figura 2. Acercamiento al sitio.

Como se puede observar en las Figuras 3 y 4, el sitio de estudio se encuentra ubicado en el paso del Cañón Los Laureles, mismo que tiene un rumbo sureste – noroeste y actualmente se encuentra bloqueado cerca del borde fronterizo, debido a un terraplén hecho para la construcción del tramo de carretera adyacente.

Existe un riesgo de inundación fluvial, debido a diversas obras, tanto en la localidad, como en localidades aledañas, en las que se han realizado movimientos masivos de material; tal es el caso de una serie de obras realizadas en el Cañón Las Flores (López-Álvarez, 2001), al sureste del punto de interés, o la construcción del terraplén del segmento de la Carretera 1D correspondiente a la ubicación de este estudio.

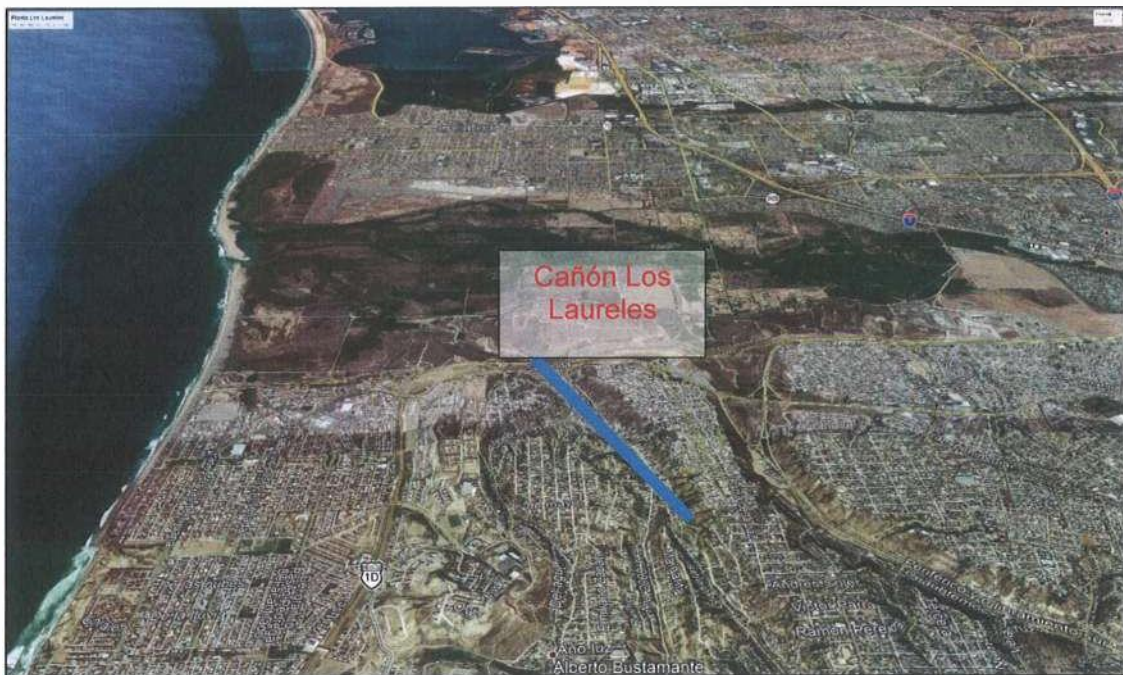


Figura 3. Vista satelital del noroeste de Tijuana. Se visualiza la localidad de Los Laureles en el centro, Playas de Tijuana al oeste, el sur del condado de San Diego al norte y la ciudad de Tijuana al este.



Figura 4. Localización espacial del polígono de estudio.

Francisco Villa No. 395
Fracc. Villa Bonita
Ensenada B.C.

Tel: 01 (646) 172 21 38
Cel: 044 (646) 947 74 86
e-mail: jdg171@hotmail.com

5

El material que aflora en el Cañón Los Laureles, consiste principalmente en estratos de sedimentos marinos-terrestres, producto de eventos transgresivos marinos (Delgado-Argote et al. 2017), conformados principalmente por areniscas intercaladas con conglomerados, típico de la Formación San Diego, la cual data del Plioceno tardío (Minch, 1967, Flynn, 1970, Moore, 1972, Ziony & Buchanan, 1972, California Division of Mines and Geology, 1975, Gastil et al., 1975), y yace sobre los basaltos de la Formación Rosarito Beach (ver Figura 5).

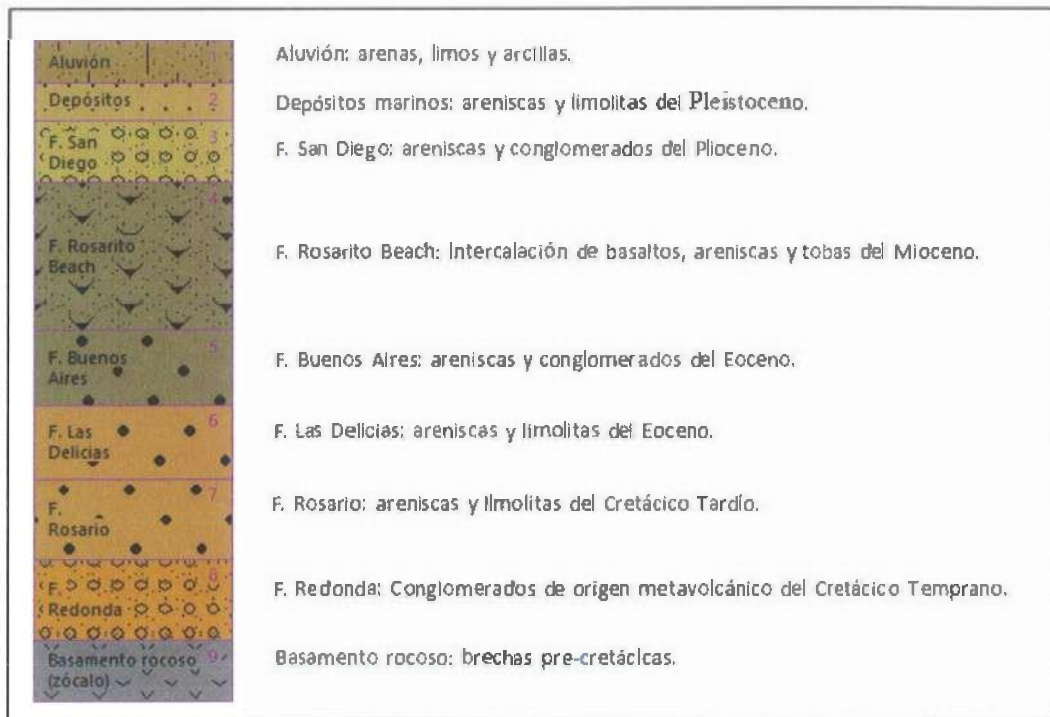


Figura 5. Geología generalizada de las formaciones que se pueden encontrar en distintos puntos de Tijuana (adaptado de Flynn, 1967).

La Formación San Diego puede tener un grosor entre 30 m y 400 m, el cual tiende a incrementar al sur del Condado de San Diego (California Division of Mines and Geology, 1975). Dicha formación es dividida en dos unidades, Miembro Superior y Miembro Inferior (Flynn, 1970) y forma parte de la provincia de Borde Continental Californiano (Gastil et al., 1975).

El Miembro Superior (ver Figura 6) es caracterizado por una sucesión de estratos de areniscas color café/café amarillento, con arenas gradadas de finas a medias y conglomerados, los cuales pueden tener un grosor del orden de centímetros o ser masivos, el Miembro Inferior por su parte, consiste en areniscas café/café grisáceo intercalado con estratos de limolita y lentes de conglomerados (Flynn, 1970).

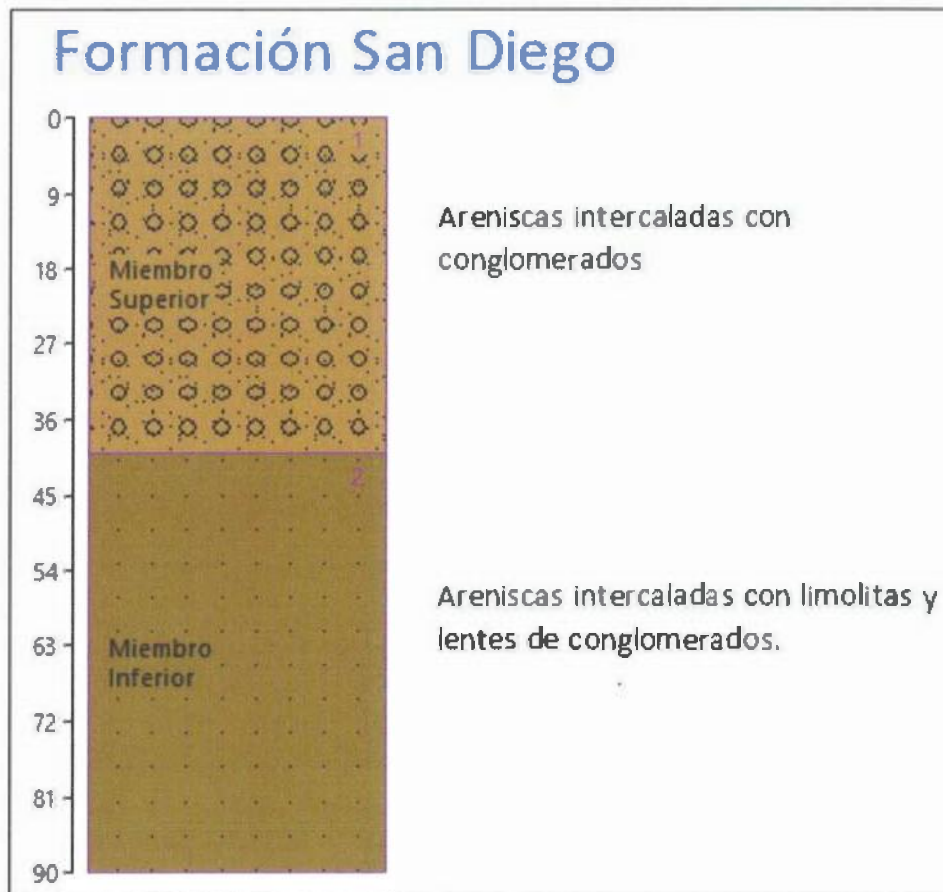


Figura 6. Descripción simplificada de los miembros que componen a la Fm. San Diego.

3. Equipamiento y trabajo de campo.

El equipamiento utilizado en los trabajos de campo, es un sismógrafo DoReMi de 24 canales, y geófonos (sensores), verticales de 4.5 Hz alta ganancia 80 V/m/s. El sismógrafo DoReMi (Figura 7), es un instrumento innovador que distribuye a lo largo del cable toda la electrónica necesaria para grabar la señal sísmica. Cada canal es en sí mismo un sismógrafo, que es vinculado a los otros elementos con el fin de crear una Nano-red que es fácil de transportar en su cable rodador. Esta arquitectura tiene varios beneficios que en conjunto hacen que el sistema sea muy cómodo de usar en cualquier condición de operación. Frecuencia de muestreo: 500 a 20000 Hz (de 2 a 0.05 ms), resolución 0.5 μ V/count. Para la generación de ondas se utiliza como fuente un marro conectado al cable del "trigger", que se encarga de marcar el momento de inicio de registro en la unidad de adquisición.



Figura 7. Equipo DoReMi.

La distribución de los tendidos se muestra en la Figura 8, y en la Tabla I, sus coordenadas de inicio y final.

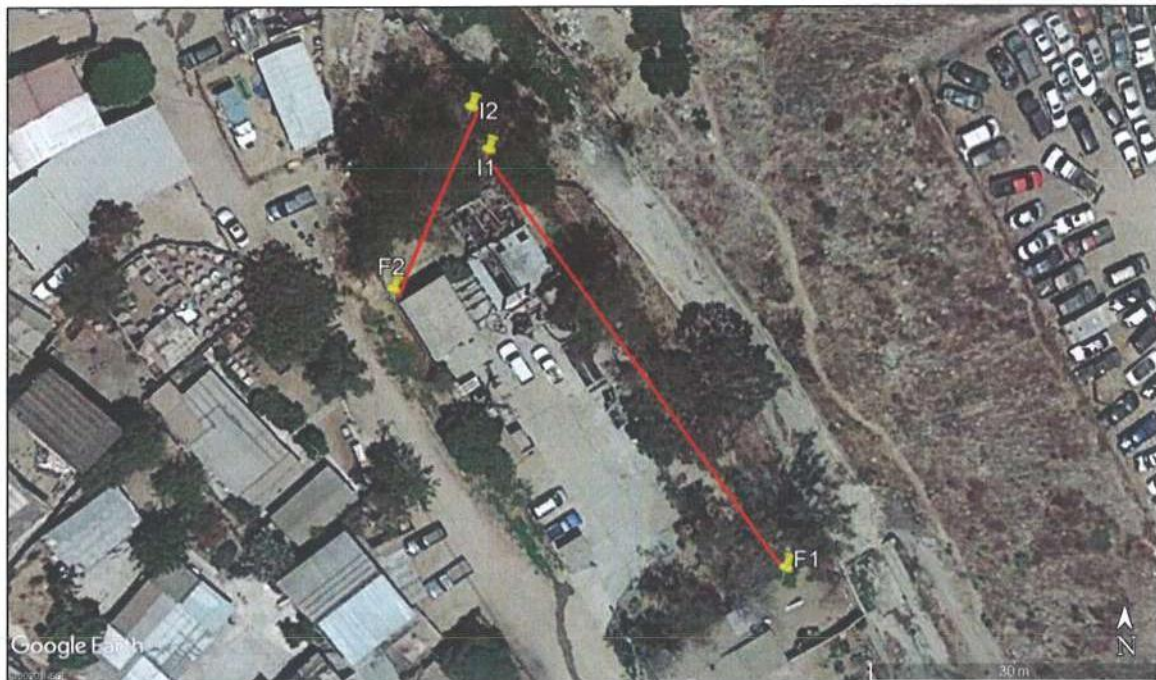


Figura 8. Distribución espacial de los tendidos sísmicos. Las letras I y F, significan inicio y final del tendido, respectivamente.

Francisco Villa No. 395
Fracc. Villa Bonita
Ensenada B.C.

Tel: 01 (646) 172 21 38
Cel: 044 (646) 947 74 86
e-mail: jdgl71@hotmail.com

Tabla I. Coordenadas aproximadas de inicio y final de los tendidos.

Tendido		m E	m N		m E	m N
1	Inicio	0490741	3599769	Final	0490775	3599721
2	Inicio	0490739	3599774	Final	0490730	3599753

En el primer tendido se utilizaron 12 geófonos espaciados a una distancia de 5 m, mientras que el segundo tendido, contó con 8 geófonos separados a cada 2.5 m uno de otro. En las Figuras 9 y 10, se muestra el esquema del arreglo utilizado en cada uno de ellos.

Cabe señalar, que la longitud del tendido 2, se vio afectada por la falta de espacio, lo cual, a su vez, disminuyó la profundidad de investigación, en relación al perfil 1. Otro inconveniente, que se presentó, fue el alto nivel de ruido producido por la bomba de agua, la cual estuvo funcionando de manera casi permanente durante las mediciones.



Figura 9. Arreglo utilizado en el tendido 1.

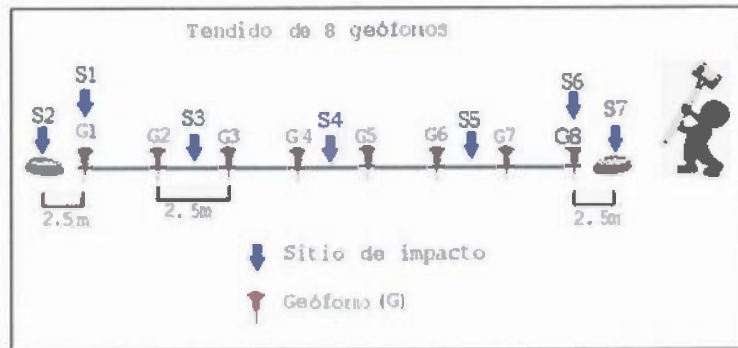


Figura 10. Arreglo utilizado en el tendido 2.

En el tendido 1, se hicieron impactos con un marro sobre una placa de polímero en la superficie, a 2.5 y 5 metros antes del primer geófono y a 2.5 y 5 metros después del último (tiro directo e inverso). El primer geófono (G1), corresponde a la posición de 0 m, aunque en el tiro 1, con la fuente de impacto S1 a 0 m, el geófono G1, es movido a la distancia 2.5 m, al igual que el geófono G12, el cual es movido a la distancia 52.5 m en

Francisco Villa No. 395
Fracc. Villa Bonita
Ensenada B.C.

Tel: 01 (646) 172 21 38
Cel: 044 (646) 947 74 86
e-mail: jdgl71@hotmail.com

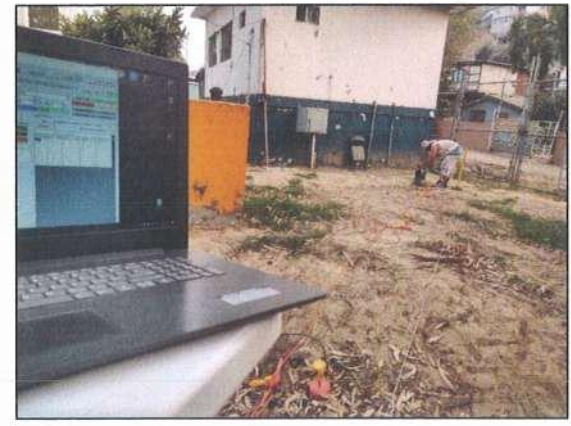
el tiro S7. En el resto de los tiros, ambos geófonos se mantienen en su posición original de 0 y 55 m, respectivamente. También se hicieron impactos en medio del tendido a la distancia de cada tres geófonos.

En el tendido 2, se hicieron impactos con un marro sobre una placa de polímero en la superficie, a 2.5 metros antes del primer geófono y después del último (tiro directo e inverso). El primer geófono (G1), corresponde a la posición de 0 m, aunque en el tiro 1, con la fuente de impacto S1 a 0 m, el geófono G1, es movido a la distancia 1.25 m, al igual que el geófono G8, el cual es movido a la distancia 16.25 m en el tiro S6. En el resto de los tiros, ambos geófonos se mantienen en su posición original de 0 y 17.5 m, respectivamente. También se hicieron impactos en medio del tendido a la distancia de cada dos geófonos.

En la Figura 11, se muestran imágenes tomadas durante la realización de los trabajos de campo. En las Figuras 12(a) y 12(b), se muestran ejemplos de las series de tiempo generadas en ambos tendidos.



Tendido 1

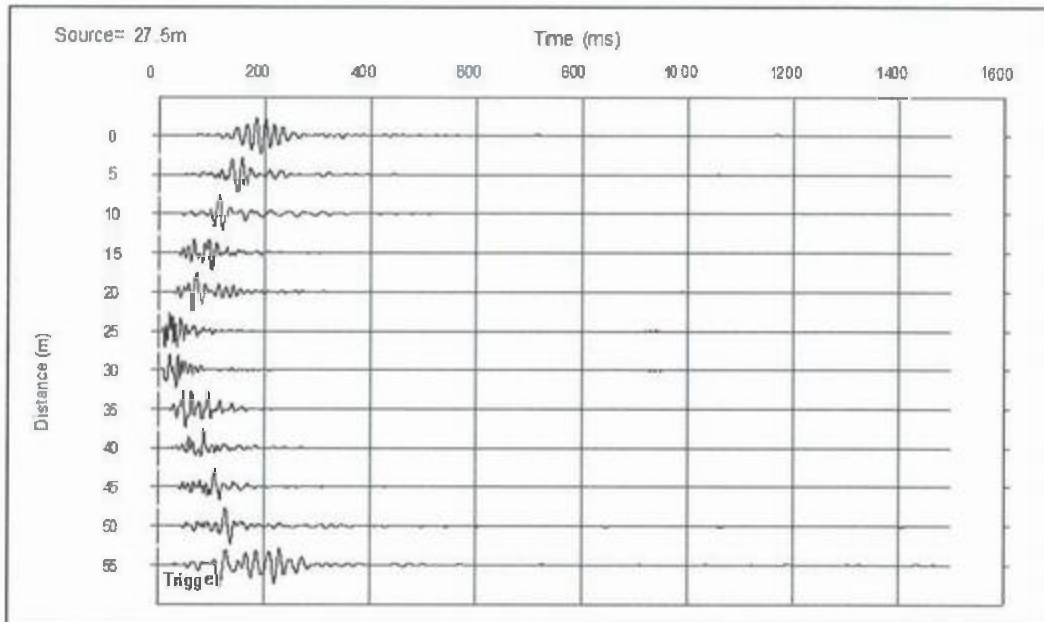


Tendido 2

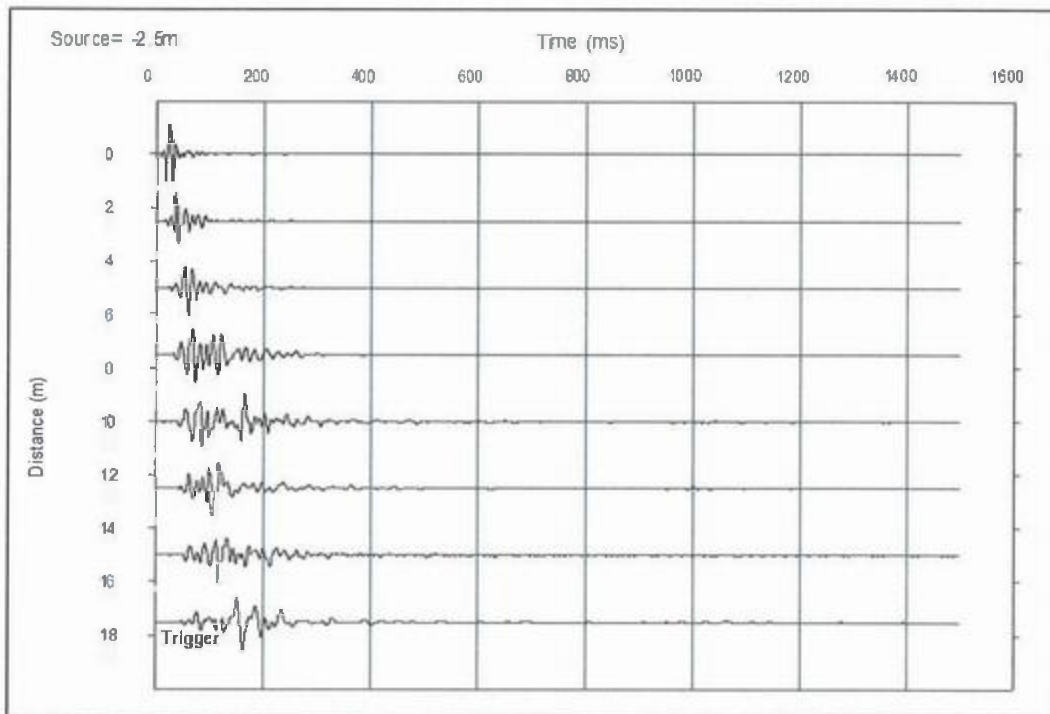
Figura 11. Imágenes tomadas durante la realización de los trabajos de campo.

Francisco Villa No. 395
Fracc. Villa Bonita
Ensenada B.C.

Tel: 01 (646) 172 21 38
Cel: 044 (646) 947 74 86
e-mail: jdg171@hotmail.com

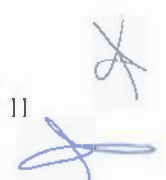
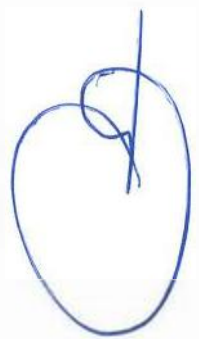


(a) Tendido 1, fuente ubicada a 27.5 m, entre los geófonos G6 y G7.



(b) Tendido 2, fuente ubicada a -2.5 m, 2.5 m antes del geófono G1.

Figura 12. Ejemplos de series de tiempo generadas en los tendidos.



4. Procesamiento de datos.

Para interpretar los registros sísmicos, se empleó el software Seisimager de la Cía. Geometrix, en la modalidad de inversión tomográfica (refracción sísmica) y utilizando la técnica MASW (Multi-Análisis Espectral de Ondas Superficiales, por sus siglas en inglés).

Refracción sísmica.

Este método consiste en la medición de los tiempos de viaje de las ondas de compresión (Ondas P) generadas por una fuente de energía impulsiva a unos puntos localizados a distancias predeterminadas a lo largo de un eje sobre la superficie del terreno.

La energía, que se propaga en forma de ondas, es detectada, amplificada y registrada de tal manera que puede determinarse su tiempo de arribo en cada punto. El tiempo cero o inicio de la grabación es generado por un dispositivo de arranque o "trigger" que activa el sistema de adquisición de datos al momento de producirse el impacto. La diferencia entre el tiempo de arribo y el tiempo cero permite evaluar el tiempo de propagación de las ondas desde la fuente de energía hasta el lugar en que éstas son registradas. Los datos de tiempo y distancia obtenidos para diferentes ubicaciones del punto de aplicación de la energía (tiro o impacto), permiten determinar las velocidades de propagación de ondas P (y S), a través de los diferentes estratos de suelos y rocas cuya estructura, geometría y continuidad son investigadas.

La aplicación más común de esta técnica en la ingeniería civil es para la determinación de la profundidad del basamento, de las condiciones (meteorización, fracturación) y competencia de la roca en donde se asentarán las estructuras, y para la extrapolación lateral de perforaciones puntuales de suelos, mediante la obtención de perfiles de velocidades de ondas P y S. También es muy útil para la detección de fallas geológicas.

Presenta algunas limitaciones, como son:

- Supone que la velocidad de propagación de las ondas aumenta con la profundidad, por lo tanto, el método no permite identificar capas o estratos de suelo con velocidades inferiores a la superior (inversiones de velocidad). Cuando existe un estrato o una capa delgada de suelo, cuya velocidad es menor que la de la capa superior, no hay refracción crítica, de tal manera que no habría indicios de su presencia en las primeras llegadas en cada punto de la línea sísmica (Sheriff and Geldart, 1991). Por otro lado, cuando existe una capa demasiado delgada, a pesar de tener velocidades mayores no alcanza a producir primeros arribos por el hecho mismo de ser tan delgada (Sheriff & Geldart, 1991, Sarria, 1996).
- Para el caso de aplicaciones urbana, el método se ve limitado por la disponibilidad de zonas descubiertas con suficiente extensión. La longitud del tendido en superficie, está directamente relacionada con el alcance de la exploración en profundidad.

Francisco Villa No. 395
Fracc. Villa Bonita
Ensenada B.C.

Tel: 01 (646) 17 221 38
Cel: 044 (646) 947 74 86
e-mail: jdg171@hotmail.com

MASW o Análisis de Ondas Superficiales en Arreglo Multicanal.

Consiste en la interpretación de las ondas superficiales (Ondas Rayleigh) de un registro en arreglo multicanal, generadas por una fuente de energía impulsiva en puntos localizados a distancias predeterminadas a lo largo de un eje sobre la superficie del terreno. Las ondas Rayleigh se propagan horizontalmente a lo largo de la superficie desde el punto de impacto a los receptores.

En este método, la interpretación de los registros consiste en obtener de ellos una curva de dispersión (velocidad de fase *vs* la frecuencia). Luego, el perfil de velocidad de onda de corte (V_s) se calcula utilizando un proceso iterativo que requiere la inversión no lineal de los datos de la curva de dispersión. Es importante señalar, que la forma de la curva de dispersión está fuertemente relacionada con la variación de la rigidez con la profundidad; por lo tanto, el método MASW a diferencia del método de refracción, tiene la capacidad de identificar estratos más blandos entre estratos rígidos.

Con este método, se puede obtener mayor detalle y resolución de la estratigrafía del suelo a lo largo del tendido sísmico, lo cual en el caso de encontrar suelos con manto rocoso superficial (<30 metros) permite conocer el relieve de la roca en forma precisa, y en el caso de suelos sedimentarios, conocer las profundidades de las diferentes unidades geotécnicas, que sirven para definir niveles de fundación de estructuras proyectadas. Además, en caso de investigar roca, se puede realizar un estudio más detallado de las propiedades geotécnicas de ella, es decir, se puede conocer la velocidad de onda compresional (V_p) y de corte (V_s) destinados a inferir, por ejemplo, el módulo de Poisson, el módulo de rigidez y el módulo de corte.

A fin de obtener mejores resultados, en el presente estudio se combinaron ambos métodos de procesamiento, aprovechando la ventaja del primero, para observar estratos con propiedades de basamento y anomalías relacionadas con estructuras geológicas como fallas o fracturas; y las del segundo, para observar posibles inversiones de velocidades y mejor resolución superficial.

5. Resultados.

En las Figuras 13 y 14, se muestran los perfiles sismoestratigráficos en función de la velocidad de las ondas de corte (V_s), obtenidos en el tendido 1. En ambas figuras, las líneas horizontales y verticales sobre las imágenes, representan la resolución con que se estimó el valor de la velocidad en cada cuadrícula, de tal forma que mientras más unidas estén las líneas mejor es la resolución, y mientras mas separadas menor es la resolución. Esto significa, que para profundidades por encima de los 12 m, los resultados que muestra el método MASW es más realista, mientras que, por debajo de esa cota, los resultados de la tomografía sísmica son los más relevantes.



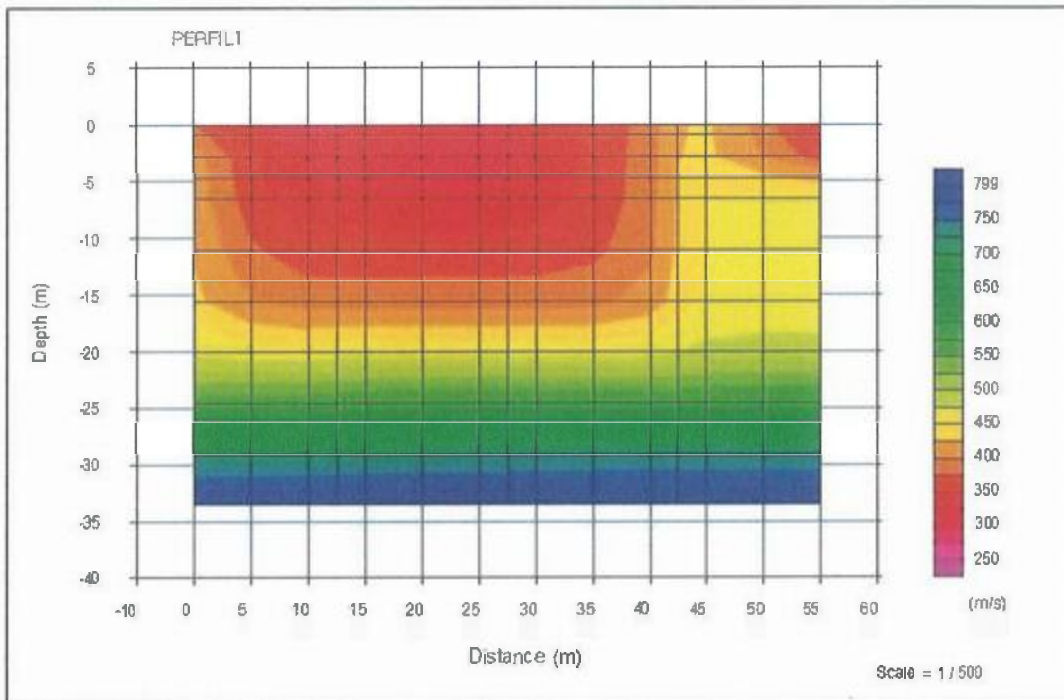


Figura 13. Tendido 1. Perfil sismoestratigráfico (Vs). Tomografía sísmica.

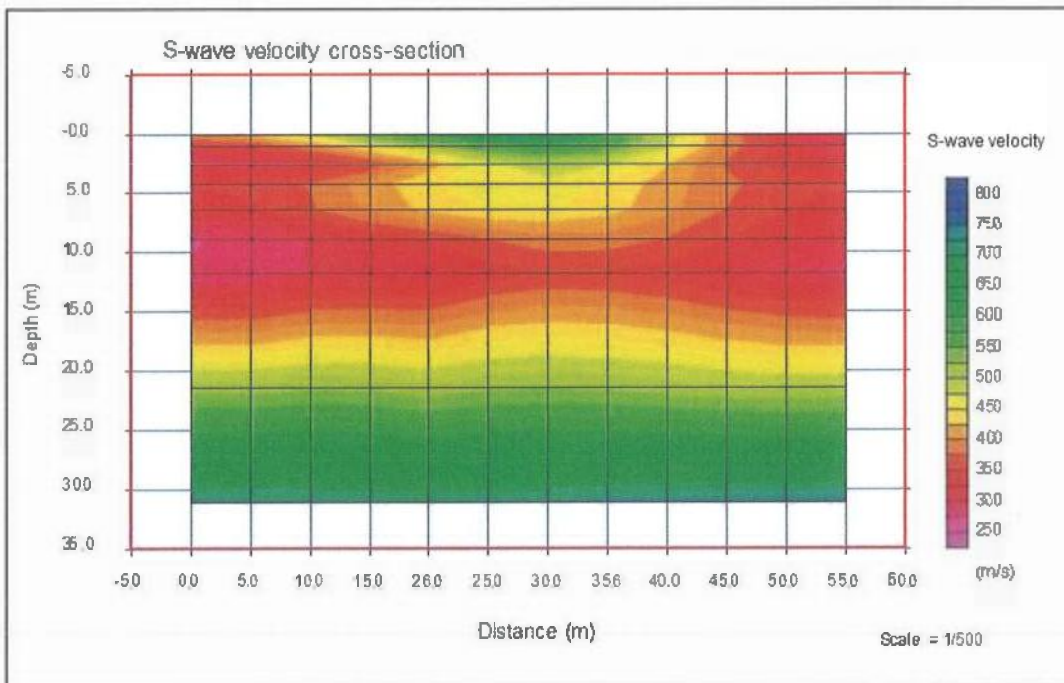


Figura 14. Tendido 1. Sección de Vs obtenida mediante análisis MASW.

Francisco Villa No. 395
Fracc. Villa Bonita
Ensenada B.C.

Tel: 01 (646) 172 21 38
Cel: 044 (646) 947 74 86
e-mail: jdg171@hotmail.com





En las Figuras 15 y 16, se muestran los perfiles sismoestratigráficos en función de la velocidad de las ondas de corte (V_s), obtenidos en el tendido 2, mediante ambos métodos, las consideraciones relacionadas con la resolución son igualmente válidas, y nuevamente se observa el mismo comportamiento en profundidad.

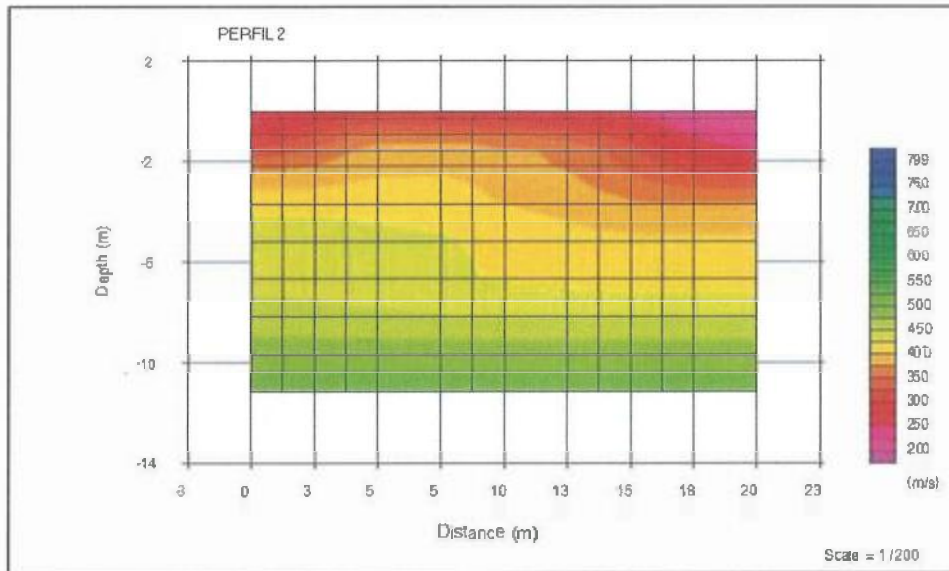


Figura 15. Tendido 2. Perfil sismoestratigráfico (V_s). Tomografía sísmica.

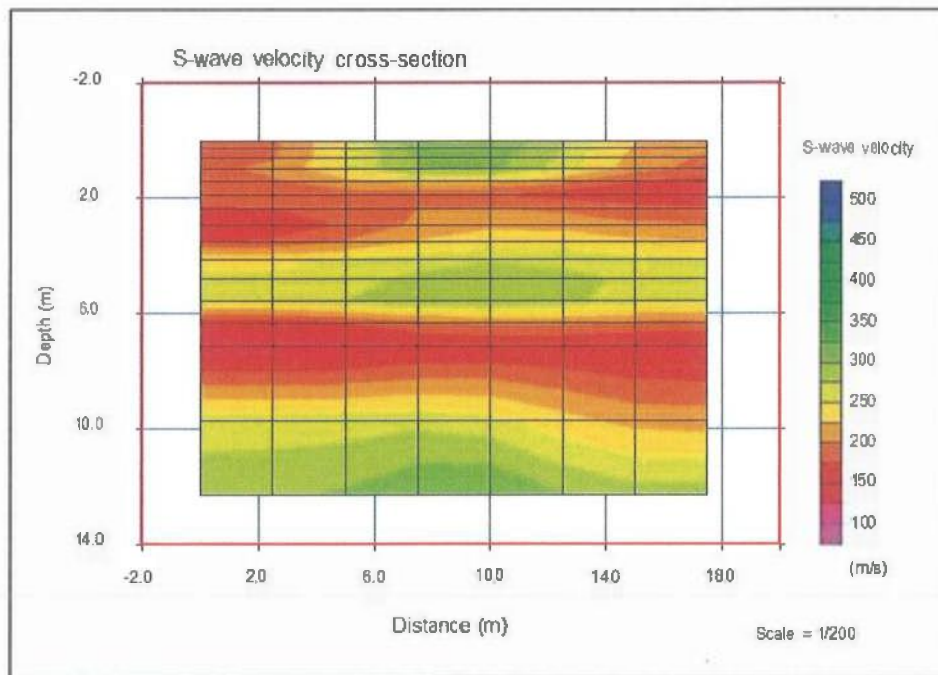


Figura 16. Tendido 2. Sección de V_s obtenida mediante análisis MASW.

[Handwritten signature]

15
[Handwritten signature]

6. Conclusiones.

En el perfil 1, las velocidades sísmicas son menores que 400 m/s en los primeros 15 m de profundidad. Hacia el centro del perfil, superficialmente, se observa una zona de velocidad relativamente alta de poco espesor, y una inversión de velocidad a la profundidad aproximada de 10 m. A partir de esa profundidad, la velocidad incrementa con la profundidad, y los valores de V_s correspondientes a roca se detectan por debajo de los 30 m de profundidad.

En el perfil 2, superficialmente (primeros 3 m), se observan velocidades bajas, relacionadas con material suelto. En esta zona del predio, la inversión de velocidad se observa a la profundidad aproximada de 7 m, un poco menos profunda que en el perfil 1, aunque este supuesto desnivel, pudiera estar relacionado con el aspecto topográfico.

En general, en la zona del perfil 2, las velocidades son relativamente menores que en el área del perfil 1.

A modo de comparación, se muestran las Tablas II a IV, que corresponden a diferentes normas sísmicas de construcción sismoresistente, donde se clasifican los suelos en función de la velocidad de propagación de las ondas de corte (V_s), distinguiendo los tipos de terrenos blandos de los duros, y/o los cohesivos de los no cohesivos, así como los sueltos de los compactos.

Tabla II. Norma española (NCSE-02):

Tipo de suelo	Descripción	V_s (m/s)
I	Roca compacta, suelo cementado o granular muy denso	>750
II	Roca muy fracturada, suelos granulares densos o cohesivos duros	750-400
III	Suelo granular de compactación media, o suelo cohesivo de consistencia firme a muy firme	400-200
IV	Suelo granular suelto o suelo cohesivo blando	<200

Tabla III, Norma de los Estados Unidos de América (NEHRP):

TIPOLOGÍA DE MATERIAL	DESCRIPCIÓN	V_s en los 30 m superiores (m/s)
A	Roca compacta	>1500
B	Roca	$700 < V_s \leq 1500$
C	Suelo muy denso o roca blanda	$360 < V_s \leq 760$
D	Suelo rígido $15 \leq N_{60} \leq 50$ o $50 \text{ kPa} \leq C_u \leq 100 \text{ kPa}$	$180 \leq V_s \leq 360$
E	Perfil conuas de 3 m de rigidez blanda con $IP > 20$ o $\geq 40\%$ y $C_u < 25 \text{ kPa}$	<180
F	1. Suelos susceptibles de sufrir un colapso bajo carga sísmica tales como suelos limos finos, arcillas sensibles o suelos debilmente cementados	
	2. Turba / arcillas orgánicas de potencia mayor a 3m	
	3. Arcillas de plasticidad muy alta con una potencia mayor a 3 m: (w) $IP > 75$	
	4. Arcillas de rigidez blanda a media de potencia > 30 m	





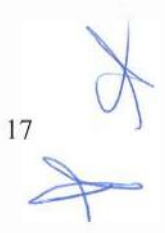
Tabla IV. Norma de la Unión Europea (Eurocódigo-8):

TIPO DE SUELO	DESCRIPCIÓN	Vs,30 [m/s]	Narr	Cu [kPa]
A	Roca u otra formación con al menos 5 m de material meteorizado en superficie	>800	-	-
B	Depositos de arena densa, grava o arcilla muy dura de varios m de potencia caracterizada por un incremento de sus propiedades mecánicas en profundidad	300-800	>50	>250
C	Depositos profundos de arena densa a medio densa, grava o arcilla dura con potencias de varias decenas a centenares de m	180-300	15-50	70-250
D	Depositos de suelos sueltos a medio cohesivos (con o sin niveles cohesivos blandos) o bien suelos cohesivos blandos y duros predominantemente	<180	<15	<70
F	Fertil de suelo que consiste en un nivel aluvial en la superficie con valores Vs,30 de la clase C o D y potencia variable entre 5 y 20 m situados sobre un material más duro de Vs,30 > 800 m/s			-
S1	Depositos que consisten en arcillas o limos con un índice de plasticidad alto (>40) y un alto contenido en agua			10-20
S2	Depositos formados por suelos licuables, arcillas sensitivas o cualquier otro tipo de suelo incluido en las clases A, E o S1			

En el área se deben esperar suelos granulares sueltos en los primeros 15 metros de profundidad, probablemente correspondientes a las areniscas y conglomerados típicos del miembro superior de la Fm. San Diego. La consistencia de estos materiales, aumenta con la profundidad, hasta aproximadamente los 30 m de profundidad, donde adquiere propiedades de roca.

La descripción propuesta anteriormente de la estratigrafía, se hace en base a la geología regional descrita para el área y teniendo en cuenta los rangos de Vs, para los tipos de suelos considerados en las normas internacionales. Para corroborarla sería necesario hacer una exploración geotécnica con reconocimiento geológico.

No se observaron anomalías geofísicas en los perfiles, relacionadas con estructuras geológicas dentro del área analizada. Cabe resaltar que, para observar estructuras geológicas como fallas, cabeceras de deslizamiento, etc., los estudios recomendados son de Peligro geológico y sísmico (Peligro Sísmico Puntual), los cuales incluyen, un análisis de fotointerpretación para observar estructuras tanto regionales como locales, un análisis del peligro sísmico, para determinar como dichas estructuras pueden afectar el sitio de estudio, que incluye el cálculo del espectro de diseño sísmico, para el tipo de obra que se desee realizar.



7. Referencias Bibliográficas.

- California Division of Mines and Geology. (1975). Geology of the San Diego metropolitan area, California. California Division of Mines and Geology Bulletin 200, 1975.
- Delgado-Argote, L. A., Pérez-Flores, M. A., Herrera-Barrientos, F., Sarychikhina, O., Contreras-López, M., Ochoa-Tinajero, L., Avilés-Esquivel, T. A. (2017). Interpretación geológica y geoelectrica de un deslizamiento rotacional relacionado con paleodrenaje en el fraccionamiento Valle del Sur, en Tijuana, Baja California. GEOS, vol. 37, No. 2, 2017.
- Flynn, Clinton J. (1970). Post-batholitic geology of the La Gloria-Presa Rodríguez area, Baja California, Mexico. Geological Society of America Bulletin, v. 81, p. 1789-1806.
- Gastil, R.G., Phillips, R.P. and Allison, E.C. (1975). Reconnaissance geology of the state of Baja California. Geol. Soc. America Bull., Memoir 140.
- Minch, J. A. (1967). Stratigraphy and structure of the Tijuana-Rosarito beach area, northwestern Baja California, Mexico. Geol. Soc. of America Bull., 78: 1155-1178.
- López-Álvarez, L. A. (2001). Diagnóstico de riesgos urbanos en el área metropolitana de Tijuana.
- Moore, G. W. (1972). Offshore extension of the Rose Canyon Fault, San Diego, California. Geological Survey Research Chapter C.
- National Earthquake Hazards Reduction Program. NEHRP.
- Norma de construcción sismorresistente: Parte general y edificación (NCSE-02). 2009.
- Norma Europea (Eurocódigo-8), 1998.
- Sarria, A. (1996). Métodos geofísicos con aplicaciones a la Ingeniería Civil. Bogotá, DC: Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de los Andes. Uniandes.
- W. M. Telford, L. P. Geldart, and R. E. Sheriff. Applied Geophysics (2nd edition). Cambridge University Press, 1991. No. of pages: 770.
- Ziony, J. I., Buchanan, J. M. (1972). Preliminary report on recency of faulting in the greater San Diego area, California. U. S. Department of the Interior Geological Survey, 1972.