



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

ESTUDIO GEOTÉCNICO DESARROLLADO PARA EL
PREDIO QUE SE LOCALIZA EN AV. LA LUZ, COLONIA
LOMA BONITA, EN EL MUNICIPIO DE TEPOTZOTLÁN,
EDO MEX. DONDE SE PROYECTARÁ LA
CONSTRUCCIÓN DE UN CENTRO DE DISTRIBUCIÓN
LOGÍSTICO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:
SEGUNDO MERINO MARCO ANTONIO

ASESOR:
ING. ÁLVAREZ BAUTISTA
GABRIEL



MÉXICO, 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

A MIS PADRES

Por haberme apoyado a culminar una etapa muy importante en mi vida, gracias a ellos por confiar y creer en mí y en mis expectativas, por ser los principales promotores de mis sueños, a mi madre por acompañarme cada larga y agotadora noche de estudio, a mi padre por siempre desear y anhelar siempre lo mejor para mi vida, por cada consejo y por cada una de sus palabras que me han guiado durante mi vida, no tengo palabras para agradecerles todo lo que han hecho por mí ¡muchas gracias!

*Segundo Martínez Fidel
Merino García Hermenegilda Yolanda*

A MI HERMANA

Por ser parte importante en mi vida, por haberme apoyado en las buenas y en las malas, por convivir y compartir nuestras metas, sabes que aquí me tienes para lo que necesites y yo sé que tú también estas para mí te quiero hermana.

Lic. Brenda Nayeli Segundo Merino

A MIS AMIGOS

Por todos los momentos que pasamos juntos, a mis amigos de la universidad Eduardo Santana, Ever González, Eduardo Trinidad por las tareas, trabajos que realizamos, los consejos, desvelos y el esfuerzo que realizamos para poder lograr nuestra meta que ahora compartimos, a mis amigos externos a la universidad les agradezco su amistad y su cariño ya que veníamos de otro estado y por buscar mejores oportunidades la vida nos hizo coincidir, y le doy gracias a dios por darme a los mejores amigos (Los costeños), Leonel Vázquez, Uriel Gallegos (Q.E.P.D) quien fue mi mejor amigo y siempre estuvo para en las buenas y en las malas, no me queda más que agradecerles, ¡gracias!

A MI DIRECTOR DE TESIS

Por haber aceptado ser mi asesor y compartirme sus conocimientos en el área de la geotecnia así mismo por permitir laboral con usted y darme unos consejos sobre lo que no espera en la vida profesional, le agradezco su tiempo compartido en la universidad, solo me queda agradecerles todo su apoyo muchas gracias ingeniero.

Ing. Gabriel Álvarez Bautista



MIS INSTITUCIONES EDUCATIVAS

Porque fueron una parte muy importante en toda mi formación profesional ya que sin los conocimientos adquiridos en cada una de estas instituciones educativas no fuera sido posible poder llegar hasta estas instancias, ¡gracias!

Preescolar "Josefina Ramos del Rio"

Primaria "Francisco D Madero"

Secundaria "Técnica No.65"

Bachillerato "CBTa No.183"

Universidad "FES Aragón UNAM"

AL JURADO

Por ser parte importante en la culminación del periodo de titulación por la dedicación brindada a mi proyecto, por sus sugerencias y correcciones ¡muchas gracias!

Ing. Álvarez Bautista Gabriel

Ing. Heras Cruz Ricardo

Ing. Ruiz González Gabriel

M. en D. Dimas Chora José Antonio

Ing. García Balanzar Oniel

INDICE

AGRADECIMIENTOS	2
INTRODUCCIÓN.....	7
1.- ANTECEDENTES	9
1.1.- Ubicación del predio.....	10
1.2.- Características del proyecto.....	11
1.3.- Colindancias.....	12
1.4.- Características del terreno	13
1.5.- Consideraciones generales.....	15
1.6.- Objetivo de Estudio	16
2.- EXPLORACIÓN Y MUESTREO DEL SUBSUELO.....	18
2.1.- Exploración del suelo	19
2.2.- Sondeos de Penetración Estándar.....	21
2.3.- Pozos a cielo abierto	44
3.- PRUEBAS DE LABORATORIO	48
3.1.- Muestras alteradas.....	48
3.2.- Muestras inalteradas.....	48
4.- CARACTERISTICAS ESTRATIGRAFICAS Y FISICAS DEL SUBSUELO	50
4.1.- Geología de la Región.....	50
4.2.- Levantamiento Geológico Local	51
4.3.- Secuencia Estratigráfica.....	52
4.4.- Nivel de aguas freáticas	52
4.5.- Modulo de reacción del Suelo	52
4.6.- Coeficiente sísmico	52
5. - ANALISIS DE LA ALTERNATIVA DE CIMENTACIÓN.....	55
5.1.- Alternativa de cimentación mediante Zapatas.....	56
5.1.1.- Determinación de la capacidad de carga	56
5.1.2.- Dimensionamiento de las zapatas	58
5.1.3.- Estado límite de falla en condiciones estáticas	59
5.1.4.- Estado límite de falla en condiciones dinámicas	59
5.1.5.- Estado límite de servicio	60
5.2.- Proceso constructivo zapatas	60
5.3.- Empujes sobre los muros perimetrales	61

6.- ANÁLISIS DE MUROS DE CONTENCIÓN.....	64
6.1.- Alternativas de Muros de contención	65
6.2.- Alternativa de Muro de Suelo Cemento Compactado	66
6.2.1.- Proceso Constructivo	68
6.3.- Alternativa de Muro de Suelo Cemento Fluido	71
6.3.1.- Proceso Constructivo	72
6.4.- Alternativa de Muro de Contención con Concreto Fluido	73
6.4.1.- Procedimiento constructivo del muro de concreto fluido	74
6.5.- Alternativa de Muro de Contención Mecánicamente Estabilizado.....	74
6.5.1.- Proceso constructivo	75
7.- Análisis de Estabilidad de Taludes	77
7.1.- Especificaciones y procedimiento de construcción del sistema de anclaje	79
7.2.- Tensión y longitud de anclas.....	81
7.3.- Secuela de procedimiento constructivo del anclaje.....	81
8.- DISEÑO DE PAVIMENTOS	83
8.1.- Piso de concreto hidráulico para las Naves Industriales	83
8.2.- Pavimento de concreto armado en estacionamiento	84
8.3.- Pavimentos de concreto armado en andenes y dolly	85
8.4.- Acero de refuerzo de las losas de concreto hidráulico	86
8.4.1.- Especificaciones para losas de concreto armado en naves industriales.....	87
8.4.2.- Especificaciones para carpeta asfáltico en vialidades, patios y estacionamientos	88
9.- PROCESO CONSTRUCTIVO Y MOVIMIENTO DE TIERRAS.....	92
9.1.- Despalme	93
9.2.- Preparación de la superficie.....	93
9.3.- Lineamientos para la construcción de las plataformas de las Naves Industriales	94
9.4.- Procedimiento constructivo en pavimento rígido	94
9.4.1.- Medidas de protección de las capas compactadas.....	95
9.5.- Lineamientos generales para la construcción de la estructura de pavimentos	95
9.6.- Consideraciones generales durante el Movimiento de Tierras y Construcción de la Cimentación	97
9.7.- Calidad de Materiales.....	98
9.7.1.- Terraplén.....	98



ESTUDIO GEOTÉCNICO DESARROLLADO



9.7.2.- Base Hidráulica	99
9.7.3. Carpeta Asfáltica	101
9.8.- Porcentaje de Compactación Requerido	102
10.- CONCLUSIONES.....	104
ANEXO I REPORTE FOTOGRAFICO SONDEOS	116
ANEXO II PRUEBAS DE LABORATORIO	131
ANEXO III ESPECIFICACIONES PARA PAVIMENTOS DE TIPO FLEXIBLE.....	143
ANEXO IV ESPECIFICACIONES PARA PAVIMENTOS DE TIPO RIGIDO.....	149
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	155

INTRODUCCIÓN

La geotecnia puede definirse en general como la ciencia que estudia las propiedades mecánicas, hidráulicas e ingenieriles de los materiales provenientes de la Tierra (suelo y rocas por debajo de la superficie), con el objetivo de diseñar las cimentaciones para estructuras tales como edificios, puentes, centrales hidroeléctricas, estabilizar taludes, construir túneles y carreteras, en obras de alcantarillado y transporte de aguas.

Los fundamentos de la geotecnia para entender y aplicar la geotecnia son mecánica de rocas, estudios geotécnicos, hidrogeología, descripción de macizos rocosos, generación de mapas geotécnicos.

La Mecánica de Suelos es la aplicación de las leyes de la Mecánica y la Hidráulica a los problemas de ingeniería que tratan con sedimentos y otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas, producidas por la desintegración mecánica o descomposición química de las rocas, independientemente de que tengan o no contenido de materia orgánica.

El estudio de suelos permite conocer las propiedades físicas y mecánicas del suelo, y su composición estratigráfica y el nivel freático, para ello se deben realizar etapas: Exploración y ensayos de terreno, ensayos de laboratorio y elaboración de informe

Considerando la información anteriormente mencionada, en la cual el presente trabajo se hablara del estudio geotécnico donde se proyectara la construcción de un centro de distribución logístico constituido por naves de tipo industrial, vialidades principales, patios de maniobras y estacionamientos superficiales.

1. ANTECEDENTES. En este apartado encontraremos información sobre la localización e información del predio analizado, así como si topografía del terreno.
2. EXPLORACIÓN Y MUESTREO DEL SUBSUELO. En este capítulo recabaremos datos de los tipos de sondeos realizados en campo, como muestras de suelos para definir los perfiles estratigráficos, propiedades índice y mecánicas
3. PRUEBAS DE LABORATORIO. Explicación de las propiedades índice y mecánicas de las pruebas realizadas a las muestras alteradas e inalteradas.
4. CARACTERÍSTICAS ESTRATIGRAFICAS Y FISICAS DEL SUBSUELO. Reconocimiento del suelo con datos físicos y aspectos visuales, color, consistencia, estructura, espesor de las capas, estratificación y nivel freático.



5. ANALISIS DE LA ALTERNATIVA DE CIMENTACIÓN. Con la información recabada se explica la metodología que se utilizara para la construcción de la cimentación.
6. ANALISIS DE MUROS DE CONTENCIÓN. Se proponen varias alternativas de muros de contención empleando el material del sitio
7. ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES. Se presentan los criterios y análisis realizados para determinar la estabilidad de los taludes proyectados.
8. DISEÑO DE PAVIMENTOS. Se diseñaran y se recomendaran los tipos de pavimentos más adecuados a implementarse.
9. PROCESO CONSTRUCTIVO Y MOVIMIENTO DE TIERRAS. Se explica la metodología que se utilizara para la construcción de la cimentación así como protocolo a implementar para el movimiento de tierras
10. CONCLUSIONES Se dan a conocer las observaciones necesarias para la construcción de la cimentación.
11. ANEXO. Muestra de reporte fotográfico, pruebas de laboratorio, especificación para pavimentos flexibles y rígido.

1.- ANTECEDENTES



FOTOGRAFÍA AÉREA DEL PREDIO



PANORÁMICAS DEL PREDIO

En el presente informe se describen los resultados obtenidos del Estudio de Mecánica de Suelos realizado para el proyecto denominado “**San José, Lote C**”, donde se proyecta la construcción de un Centro de Distribución Logístico constituido por Naves de tipo Industrial.

1.1.- Ubicación del predio

El terreno analizado se encuentra ubicado a un costado de la Avenida La Luz S/N, en la Colonia Loma Bonita, en el Municipio de Tepetzotlán, Estado de México, como se indica en la figura 1.

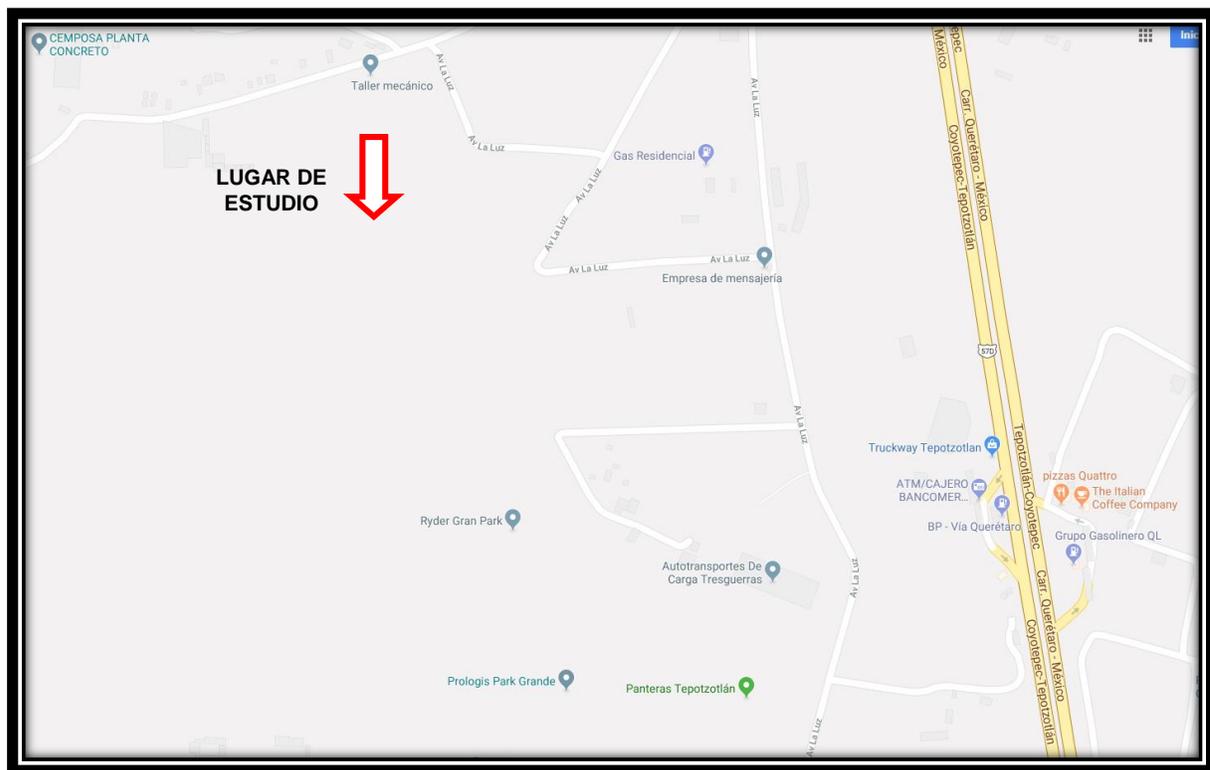


FIGURA 1. LOCALIZACIÓN DEL PREDIO DE INTERES

1.2.- Características del proyecto

De acuerdo con los requerimientos del proyecto, se contempla la construcción de un Parque Logístico constituido por edificios de tipo Industrial, los cuales serán destinados para almacenamiento de producto, y en el área restante se tendrán vialidades interiores, patios de maniobras y áreas de estacionamiento superficial que darán servicio al parque industrial.

Los edificios estarán estructurados por elementos metálicos, muros Tilt-up y losas de concreto armado. Su estructuración se realizará mediante columnas de acero y techo de armaduras de acero recubiertas con lámina pinto engargolada y colchoneta de fibra de vidrio.

Se desarrollaran plataformas de material controlado compactado para configurar áreas horizontales debido a la topografía del terreno, donde el proyecto considera la construcción de distintas plataformas en desniveles.

El nivel de piso terminado de las naves industriales se ubicará 1.20 m por arriba del nivel de rodamiento de la plataforma proyectada para cada edificio.

En la figura 2 se muestra un layout con el sembrado del proyecto arquitectónico, donde se aprecia la distribución de las naves industriales y vialidades que darán servicio al parque.

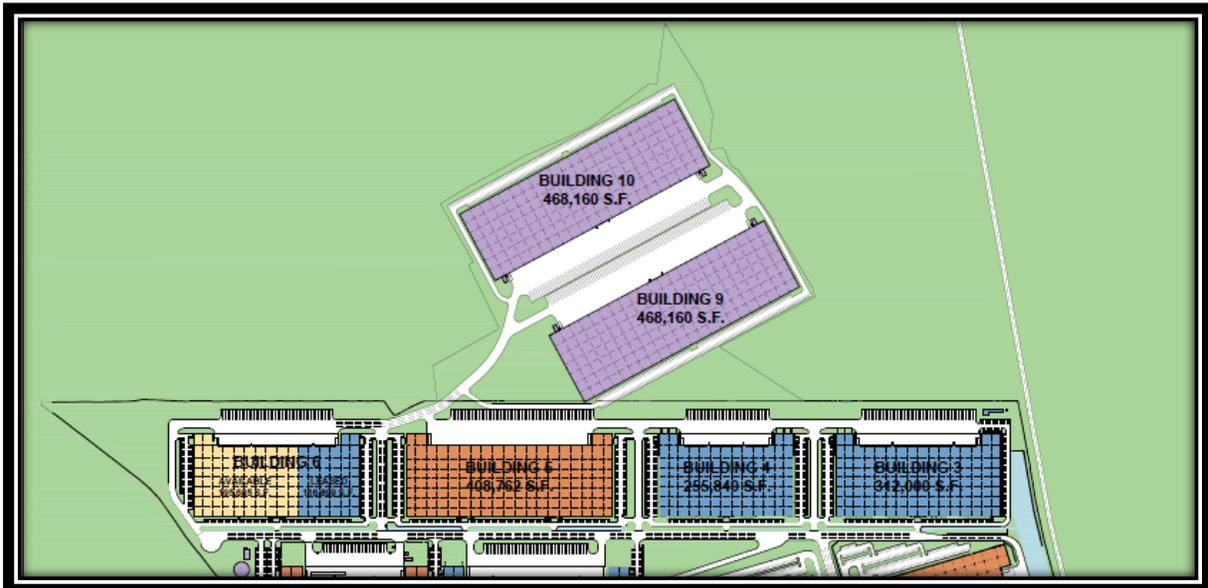


FIGURA 2. SEMBRADO DEL PROYECTO ANALIZADO EN EL LOTE C

1.3.- Colindancias

Las colindancias del terreno estudiado son las siguientes:

En el lindero Norte se encuentra limitado por un predio baldío, así como también se ubica un área destinado como taller mecánico.

En la colindancia Oriente se localiza la Avenida de la Luz, así mismo se encuentra limitado por un centro de distribución de la empresa Bisonte y en la parte nororiente se encuentran casas de un nivel.

Al Poniente del predio se encuentra limitado por una fracción de terreno baldío.

Finalmente, en la colindancia Sur, se encuentra limitado por un centro de distribución logístico, donde se ubican las naves industriales llamadas Building 6, Building 5 y Building 4, respectivamente.

En la figura 3 se muestra una planta donde se indican las colindancias del predio, las cuales deberán considerarse para estabilizar los cortes o rellenos que se generen.

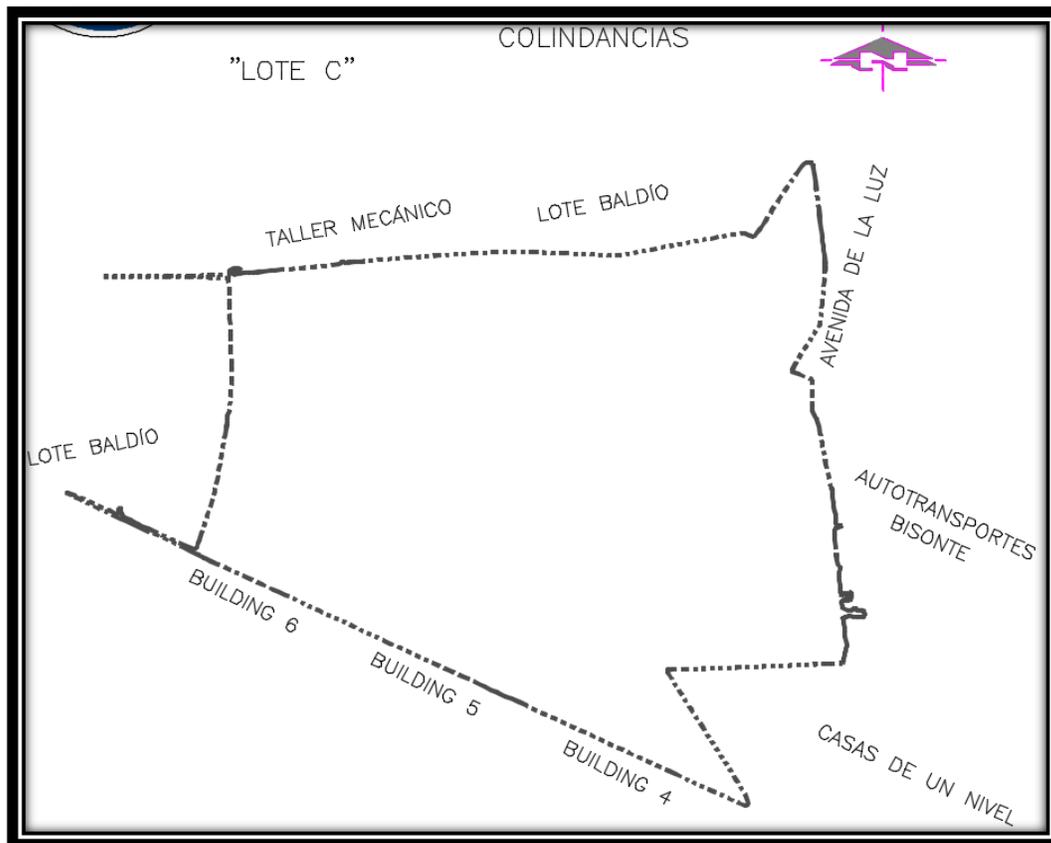


FIGURA 3. COLINDANCIAS DEL PREDIO

1.4.- Características del terreno

La topografía que presenta el terreno, tiene pendientes considerables, por lo que se recomienda despallar toda la capa vegetal existente superficialmente con de 60 cm promedio, y en la parte central del predio y hacia el norte se detectaron materiales de relleno de mala calidad, los cuales deberán ser retirados en su totalidad fuera de la obra, a donde lo indique la dirección de la misma; porque no son aptos para emplearlos como rellenos controlados, en la zona norponiente se recomienda levantar y acamellonar los materiales de relleno existentes producto de excavaciones que han sido almacenados, y los cuales se pueden observar a simple vista; finalmente las pendientes pronunciadas que se existen por la topografía natural del terreno deben considerarse para definir el N.P.T.

El relieve y el plano topográfico del predio analizado se presentan en la figura 4.



FIGURA 4. RELIEVE TOPOGRÁFICO

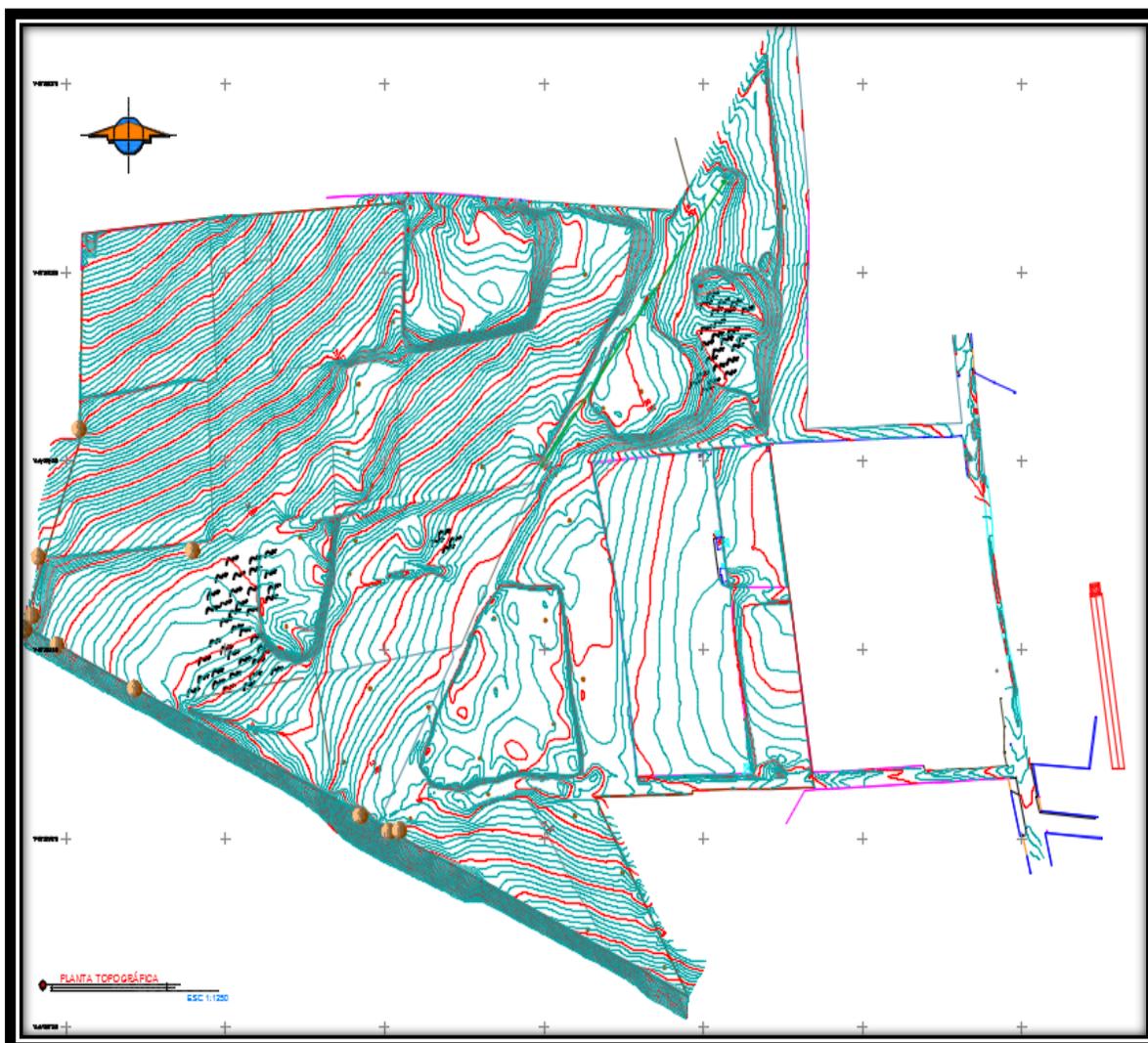


FIGURA 4a. PLANO TOPOGRÁFICO

1.5.- Consideraciones generales

De acuerdo a la exploración realizada mediante los pozos a cielo abierto excavados y que más adelante se describen, se efectuó una zonificación de los diferentes espesores de capa vegetal y en algunas zonas se encuentran rellenos de mala calidad existentes en el predio (centro, norte u oriente del área analizada), constituida por una arcilla plástica, de color café grisáceo oscuro (negruzco), de consistencia media a dura, la cual sobreyace a una toba lajeada resistente constituida por un limo poco arenoso, de color café grisáceo cementado con carbonato de calcio, de consistencia dura.

Con base en lo anterior, y considerando las características observadas en el terreno, se concluye que en la zona más baja del terreno será necesario efectuar un recorte superficial mínimo de un metro de espesor en toda la superficie del terreno, para retirar la capa de suelo vegetal y materiales arcillosos de alta plasticidad y baja resistencia, y colocar un pedraplen de 20 cm de espesor, debidamente bandeadas, con un tamaño máximo de 4 pulgadas de diámetro.

En el resto del área analizada se deberá despallar toda la capa vegetal existente superficialmente con un promedio de 60 cm, y en la parte central del predio y hacia el norte se detectaron materiales de relleno de mala calidad que deberán ser retirados en forma total fuera de la obra, a donde lo indique la dirección de la misma, porque no son aptos para emplearlos como rellenos controlados.

Posteriormente una vez alcanzado el nivel de recorte antes recomendado, se recompactará la superficie dejada por la excavación previa, mediante el empleo de un rodillo liso vibratorio estático, y se construirán las plataformas de la naves industriales con material importado de banco (tepetate) en capas de 20 cm cada una, debidamente compactadas.

Únicamente en las zonas bajas donde se detectó materiales arcillosos de alta plasticidad y baja resistencia, se deberá emplear mínimo dos capas de geomalla, para reducir los esfuerzos al subsuelo por la carga impuesta por el terraplén desarrollado, y por las cargas de la propia estructura proyectada.

Para las vialidades interiores, patio de maniobras y áreas de estacionamiento superficial igualmente deberá considerarse un recorte mínimo de un metro para retirar la capa de suelo vegetal y materiales arcillosos de alta plasticidad y baja resistencia, se recompactará con rodillo liso vibratorio la superficie dejada por el recorte previo. Únicamente en las zonas donde aflore el material natural resistente, se recortara 20 cm como mínimo para alojar una capa de 20 cm de base hidráulica compactada al 100% de su PVSM, según la prueba AASHTO modificada, y colocar por encima el pavimento de tipo rígido o flexible.

En las zonas donde se emplee pavimento de tipo rígido o flexible, se deberá implementar una capa de sub-base de 20 cm y una capa de base hidráulica de 20 cm, ambas debidamente compactadas, o en su defecto emplear dos capas tipo base de 18 cm cada una debidamente compactada.

En base a los niveles de proyecto, se construirá el terraplén empleando el material natural del sitio producto de corte, siempre y cuando cumpla con las especificaciones mínimas necesarias, en capas de 20 cm cada una, debidamente compactadas al 100% de su P.V.S.M., según la prueba AASHTO estándar, seguido de la colocación de 20 cm de material tipo base compactado al 100% de su P.V.S.M., según la prueba AASHTO modificada.

Cuando ya se haya efectuado el corte mínimo especificado, se procederá a retirar todo el material suelto dejando al nivel de máxima excavación, recompactandolos al 90% de su P.V.S.M., según la prueba AASHTO estándar, a continuación se colocaran materiales de relleno controlado de acuerdo a las especificaciones que ya se mencionaron, para garantizar que el comportamiento de estos sea adecuados.

En caso de detectar materiales arcillosos de alta plasticidad y baja resistencia, rellenos de mala calidad o materia orgánica a la profundidad mínima recomendada para el despilme, se procederá a profundizar la excavación y retirar los materiales de mala calidad expuestos hasta detectar el material sano, o en su caso recortar un metro mínimo y utilizar en la conformación del terraplén geomallas como se comentó anteriormente, y lo cual deberá ser verificado por un ingeniero en Mecánica de Suelos.

1.6.- Objetivo de Estudio

El estudio tiene como objetivo determinar la estratigrafía del subsuelo en el sitio de interés, sus propiedades índices y mecánicas (deformabilidad y resistencia).

En base a los resultados de campo, ensayos de laboratorio y gabinete se establecerá la alternativa de cimentación, que se juzga más adecuada para la construcción de las estructuras proyectadas, y que garanticen su estabilidad, proporcionando las recomendaciones necesarias para su diseño, tales como: la capacidad de carga en condiciones estáticas y dinámicas, los asentamientos máximos esperados que se desarrollarán en la masa del suelo bajo la carga total de las estructuras.

Se establecerán las alternativas de contención para estabilizar los taludes que se requieren dejar por los cortes previstos, y para retener los materiales de rellenos que se colocarán para construir los terraplenes que permitan dejar plataformas horizontales.



Se diseñarán los sistemas de contención en función de los parámetros obtenidos de los materiales encontrados de acuerdo a la exploración realizada y se darán las especificaciones de construcción y las normas generales de control de calidad de las alternativas de sistemas de retención propuestas.

Se establecerá el procedimiento constructivo más adecuado para la ejecución de los diferentes tipos de retención propuestas.

Se diseñará la estructura de los pisos y pavimentos en función de los parámetros de soporte de la capa subrasante, de la intensidad y magnitud de cargas que circularán sobre estos, y se darán las especificaciones y las normas generales de control de calidad de los materiales.

En este informe se describen los trabajos realizados, se reportan los resultados obtenidos y se consignan las recomendaciones para el diseño y construcción de la alternativa de cimentación que se juzga más conveniente, así como el movimiento de tierras que se requiere efectuar para la construcción de las plataformas sobre la que se construirán pisos y pavimentos.

2.- EXPLORACIÓN Y MUESTREO DEL SUBSUELO



TRABAJOS DE EXPLORACIÓN

2.1.- Exploración del suelo

Para conocer las características estratigráficas de los depósitos superficiales del subsuelo en el área de interés y con el fin de conocer la existencia de rellenos de mala calidad o arcillas expansivas, la estratigrafía del subsuelo y sus características de resistencia y deformabilidad, así como los espesores correspondientes para cada estrato encontrado, se llevó a cabo la siguiente exploración de campo:

Se llevó a cabo una campaña de exploración en la fracción de terreno denominada “Lote C”, en la cual se realizaron cuatro sondeos profundos de tipo penetración estándar a 15 m de profundidad, con respecto al nivel actual de terreno.

Y posteriormente se complementó con cuatro sondeos adicionales y cinco pozos a cielo abierto en una segunda campaña de exploración.

Los sondeos propuestos se realizaron empleando una maquinaria rotatoria Long Year 34 para conocer las condiciones de resistencia y deformabilidad de los depósitos profundos, empleando el muestreo alterado con la herramienta de penetración estándar y se ubicaron en lugares estratégicamente seleccionados, con el fin de conocer la estratigrafía del subsuelo y sus características en forma general de resistencia y deformabilidad, así como los espesores correspondientes.

Para conocer el espesor de capa de suelo vegetal y posible zona de rellenos, se excavaron sesenta y se complementó con cinco pozos a cielo abierto adicionales, los cuales fueron excavados entre 0.35 y 3.30 m de profundidad con la finalidad de conocer las características de los depósitos superficiales.

El control y coordinación de la exploración de campo y de los ensayos en el lugar se efectuaron por parte de un ingeniero especialista en geotecnia, así como un levantamiento geológico superficial del sitio de interés.

La ubicación de los sondeos profundos efectuados con maquinaria rotatoria y los pozos a cielo abierto realizados en el interior del terreno se indica en la figura 5.

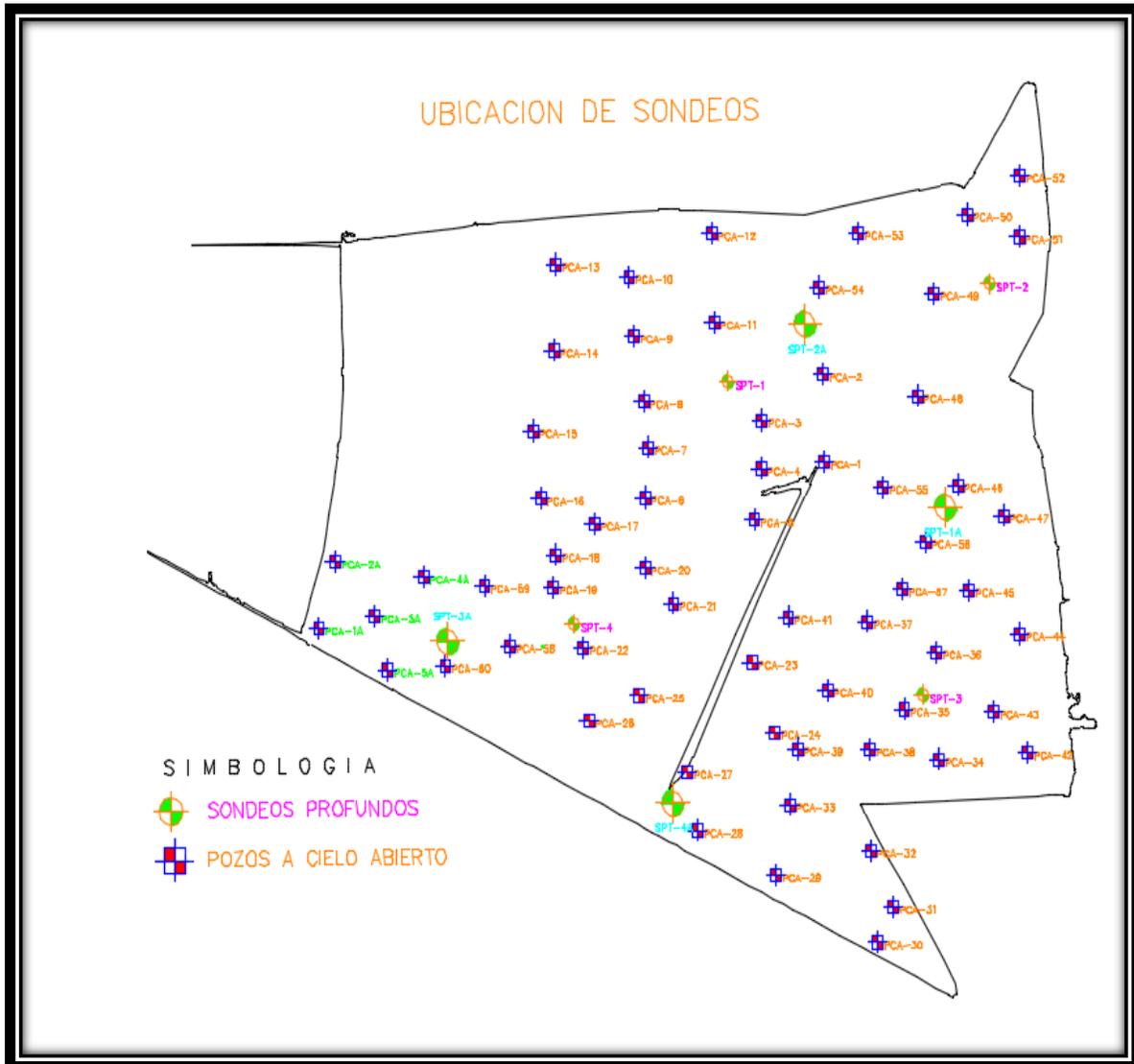


FIGURA 5. UBICACIÓN DE POZOS Y SONDEOS PROFUNDOS

2.2.- Sondeos de Penetración Estándar

Para determinar las condiciones estratigráficas del predio en estudio y sus propiedades mecánicas, se ejecutaron en el predio **cuatro (4) sondeos de tipo penetración estándar denominados SPT-1 a SPT-4, y en una segunda campaña de exploración se hicieron cuatro sondeos más de tipo penetración estándar denominados SPT-5 a SPT-8**

La técnica de penetración estándar consiste en hincar a percusión un tubo muestreador de dimensiones estandarizadas (penetrómetro estándar o tubo partido), mediante el impacto provocado por una masa o martinete de 63.5 kg, que se deja caer libremente desde una altura de 76.2 cm, contabilizando el número de golpes necesarios para hincar 60 cm el tubo muestreador en el suelo. Los 60 cm que se hincan el tubo muestreador, son marcados en 4 segmentos de 15 cm cada uno, conociéndose como resistencia a la penetración estándar al número de golpes registrado en los 2 segmentos centrales (30 cm); con esta técnica de exploración, se obtienen muestras alteradas representativas del suelo.

A continuación se presenta una tabla que correlaciona el número de golpes con la compacidad relativa, en el caso de las arenas, y la consistencia, en el caso de las arcillas, según Terzaghi y Peck:

Correlación entre la resistencia a la penetración y las propiedades de los suelos a partir de la prueba de penetración estándar

ARENAS (BASTANTE SEGURAS)		ARCILLAS (RELATIVAMENTE INSEGURA)	
No. DE GOLPES POR 30 CM. N	COMPACIDAD RELATIVA	No. DE GOLPES POR 30 CM. N	CONSISTENCIA
0 - 4	MUY SUELTA	MENOS DE 2	MUY BLANDA
5 - 10	SUELTA	2 - 4	BLANDA
11 - 30	MEDIA	5 - 8	MEDIA
31 - 50	COMPACTA	9 - 15	FIRME
MAS DE 50	MUY COMPACTA	15 - 30	MUY FIRME
		MAS DE 30	DURA

Los reportes de perforación de cada uno de los sondeos efectuados en el interior del predio se muestran en las figuras 6a a 6h.

Los perfiles estratigráficos de los sondeos profundos se indican en las figuras 7 a 10 d, donde se indica la resistencia que oponen los materiales a ser atravesados y los resultados de los ensayos de laboratorio efectuados a las muestras recuperadas.



REGISTRO DE EXPLORACION

PROYECTO: LOTE C HOJA 1
 UBICACIÓN: TEPOTZOTLAN
 SONDEO: SPT-1 PREFORADORA: LONG YEAR 34 BOMBA: M OYNO 3L6
 N.A.F.: 6.00 MTS (LODO BENTONITICO) FECHA DE INICIO: 26-feb-18 FECHA DE TERMINACION: 27-feb-18

Numero Muestra	Profundidad		No. De Golpes			Recuperación		RQD	Muestreo	Descripción
	DE	A	15 cm	30 cm	15 cm	(cm)	(%)	(%)	Avance	
1	0.00	0.60	4	25	10	50			TP	Arena media color café claro con gravillas empacadas
2	0.60	1.20	12	28	12	24			TP	Arena media poco limosa color café claro
3	1.20	1.80	6	5	9	44			TP	Arena pumitica color café claro
4	1.80	2.40	3	11	13	24			TP	Arena pumitica color café claro
5	2.40	3.00	7	8	4	43			TP	Arena pumitica color café claro
6	3.00	3.60	4	26	25	32			TP	P/s arena pumiticas color café claro P/l limo arenoso color café claro
7	3.60	3.90	18	50/15		30			TP	Limo arenoso poco arcilloso color café claro
	3.90	4.20		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
8	4.20	4.50	40	50/15		23			TP	Limo arenoso poco arcilloso color café claro
	4.50	4.80		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
9	4.80	5.07	40	50/12		25			TP	Limo arenoso color café claro
	5.07	5.40		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
10	5.40	5.75	35	50/20		35			TP	Limo arenoso color café claro
	5.75	6.00		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
11	6.00	6.30	30	50/15		28			TP	Limo arenoso color café claro
	6.30	6.60		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
12	6.60	6.90	24	50/15		30			TP	Limo arenoso color café claro
	6.90	7.20		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
13	7.20	7.80	20	37	19	40			TP	Arena pumitica color café claro
14	7.80	8.40	15	40	32	35			TP	Limo arenoso color café claro
15	8.40	9.00	19	35	28	40			TP	Limo arenoso color café claro
16	9.00	9.40	14	50/25		35			TP	Limo arenoso color café claro
	9.40	9.60		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
17	9.60	9.85	27	50/10		25			TP	Limo arenoso color café claro
	9.85	10.20		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
18	10.20	10.43	38	50/8		23			TP	Limo arenoso color café claro
	10.43	10.80		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
19	10.80	11.15	22	50/20		30			TP	Limo arenoso color café claro
	11.15	11.40		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
20	11.40	11.70	28	50/15		26			TP	Limo arenoso color café claro
	11.70	12.00		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
21	12.00	12.40	20	50/25		33			TP	Limo arenoso color café claro
	12.40	12.60		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
22	12.60	13.05	15	50/30		40			TP	Limo arenoso color café claro

SM= SIN MUESTRA OBSERVACION: **SE UTILIZARON 600 LTS DE AGUA APROX** Operador: SERGIO PACHECO
 SR= SIN RECUP. DE MUESTRA Supervisor: ING RENE OVANDO
 TSH= TUBO SHELBY

FIGURA 6a. REPORTE DE PERFORACIÓN DE SONDEO SPT -1 PARTE 1



REGISTRO DE EXPLORACION

PROYECTO: LOTE C HOJA 1
 UBICACIÓN: TEPOTZOTLAN
 SONDEO: SPT-2 PREFORADORA: LONG YEAR 34 BOMBA: M OYNO 3L6
 N.A.F.: 1.30MTS FECHA DE INICIO: 27-feb-18 FECHA DE TERMINACION: 28-feb-18

Numero Muestra	Profundidad		No. De Golpes			Recuperación		RQD	Muestreo	Descripción
	DE	A	15 cm	30 cm	15 cm	(cm)	(%)	(%)	Avance	
1	0.00	0.60	15	25	8	40			TP	Limo arenoso color café poco arcilloso
2	0.60	1.20	2	6	4	33			TP	Limo arenoso color café claro con gravillas
3	1.20	1.80	3	9	4	27			TP	Arcilla color verdosa poco límosa
4	1.80	2.40	3	8	9	45			TP	Limo color verdoso poco arcilloso
5	2.40	3.00	4	41	43	40			TP	P/S limo arenoso color café P/S limo arcilloso verdoso
6	3.00	3.25	11	50/10		20			TP	Limo arenoso color café con varios tonos
	3.25	3.60		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
7	3.60	3.90	40	50/15		18			TP	Arena media color café poco límosa
	3.90	4.20		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
8	4.20	4.45	32	50/10		14			TP	Limo arenoso con gravillas
	4.45	4.80		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
9	4.80	5.10	30	50/15		25			TP	Limo color café claro
	5.10	5.40		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
10	5.40	5.70	33	50/15		20			TP	Arena fina poco límosa
	5.70	6.00		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
11	6.00	6.30	34	50/15		22			TP	Limo arenoso color café claro
	6.30	6.60		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
12	6.60	6.83	40	50/8		19			TP	Limo arenoso color café claro
	6.83	7.20		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
13	7.20	7.46	37	50/11		21			TP	Limo color café claro
	7.46	7.80		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
14	7.80	8.05	35	50/10		23			TP	Limo color café claro poco arenoso
	8.05	8.40		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
15	8.40	8.66	38	50/11		17			TP	Limo arenoso color café claro
	8.66	9.00		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
16	9.00	9.25	37	50/10		20			TP	Limo arenoso color café claro
	9.25	9.60		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
17	9.60	9.88	39	50/13		23			TP	Limo arenoso color café claro
	9.88	10.20		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
18	10.20	10.43	37	50/8		25			TP	Limo arenoso color café claro
	10.43	10.80		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
19	10.80	11.05	41	50/10		22			TP	Limo arenoso color café claro
	11.05	11.40		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
20	11.40	11.68	38	50/13		25			TP	Limo arenoso color café claro

SM- SIN MUESTRA OBSERVACION: SE UTILIZO 600 LTS DE AGUA APROX
 SR- SIN RECUP. DE MUESTRA SE CARGO EL EQUIPO DEL SPT-1 AL SPT-2 2.50 MTS APROX.
 TSH- TUBO SHELBY SE OCUPA VELADOR
Operador: SERGIO PACHECO
Supervisor: ING RENE OVANDO

FIGURA 6b. REPORTE DE PERFORACIÓN DE SONDEO SPT -2 PARTE 1



REGISTRO DE EXPLORACION

PROYECTO: LOTE C HOJA 1
 UBICACIÓN: TEPOZOTLAN
 SONDEO: SPT-3 PREFORADORA: LONG YEAR 34 BOMBA: M OYNO 3L6
 N.A.F.: 3.00 MTS (nivel de lodo bentonítico) FECHA DE INICIO: 28-feb-18 FECHA DE TERMINACION: 28-feb-18

Numero Muestra	Profundidad		No. De Golpes			Recuperación		RQD	Muestreo	Descripción
	DE	A	15 cm	30 cm	15 cm	(cm)	(%)	(%)	Avance	
1	0.00	0.60	7	21	22	40			TP	Limo arenoso color café claro
2	0.60	1.20	5	15	10	20			TP	Arcilla limosa color café oscura
3	1.20	1.80	3	13	13	45			TP	Arcilla limosa color café oscura
S/R	1.80	2.40	4	9	7	S/R			TP	Sin Recuperacion de Muestra
4	2.40	3.00	7	11	8	35			TP	Arcilla limosa color café oscura
5	3.00	3.60	10	42	26	40			TP	Arcilla limosa color café oscura
6	3.60	3.90	32	50/15		28			TP	Limo arenoso color café claro
	3.90	4.20		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
7	4.20	4.51	30	50/16		26			TP	Limo arenoso color café claro
	4.51	4.80		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
8	4.80	5.08	31	50/13		22			TP	Limo arenoso color café claro
	5.08	5.40		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
9	5.40	5.65	33	50/10		24			TP	Limo arenoso color café claro
	5.65	6.00		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
10	6.00	6.29	32	50/14		19			TP	Limo arenoso color café claro
	6.29	6.60		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
11	6.60	6.83	34	50/8		15			TP	Limo arenoso color café claro
	6.83	7.20		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
12	7.20	7.47	30	50/12		24			TP	Limo arenoso color café claro
	7.47	7.80		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
13	7.80	8.07	33	50/12		22			TP	Limo arenoso color café claro
	8.07	8.40		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
14	8.40	8.70	31	50/15		26			TP	Limo arenoso color café claro
	8.70	9.00		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
15	9.00	9.30	34	50/15		19			TP	Limo arenoso color café claro
	9.30	9.60		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
16	9.60	9.88	36	50/13		20			TP	Limo arenoso color café claro
	9.88	10.20		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
17	10.20	10.45	33	50/10		22			TP	Limo arenoso color café claro
	10.45	10.80		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
18	10.80	11.07	37	50/12		17			TP	Limo arenoso color café con Gravas empacadas
	11.07	11.40		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
19	11.40	11.66	36	50/11		26			TP	Limo arenoso color café claro
	11.66	12.00		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica

SM= SIN MUESTRA OBSERVACION: SE OCUPARON 600 LTS DE AGUA
 SR= SIN RECUP. DE MUESTRA SE CARGO EL EQUIPO DEL SPT-2 A SPT-3 APROX. 300 MTS
 TSH= TUBO SHELBY SE OCUPA VELADOR Operador: SERGIO PACHECO
Supervisor: ING. ERICK GOMEZ

FIGURA 6c. REPORTE DE PERFORACIÓN DE SONDEO SPT-3 PARTE 1



REGISTRO DE EXPLORACION

HOJA 1										
PROYECTO: LOTE C		UBICACIÓN: TEPOTZOTLAN		PREFORADORA: LONG YEAR 34		BOMBA: M OYNO 3L6				
SONDEO: SPT-4		N.A.F.: 2.50 MTS (NIVEL DE LODO BENTONITICO)		FECHA DE INICIO: 1-mar-18		FECHA DE TERMINACION: 1-mar-18				
Numero Muestra	Profundidad		No. De Golpes			Recuperación		RQD	Muestreo	Descripción
	DE	A	15 cm	30 cm	15 cm	(cm)	(%)	(%)	Avance	
1	0.00	0.60	7	10	14	42			TP	Material de Relleno y material vegetal
2	0.60	1.20	6	11	10	14			TP	Limo poco arenoso color gris
3	1.20	1.80	8	13	9	20			TP	Limo arenoso color café claro
4	1.80	2.05	20	50/10		30			TP	Limo arenoso color café claro
	2.05	2.40		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
5	2.40	2.70	15	50/15		25			TP	Limo arenoso color café claro
	2.70	3.00		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
6	3.00	3.35	10	50/20		25			TP	Limo arenoso color café claro
	3.35	3.60		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
7	3.60	3.90	16	50/15		27			TP	Limo arenoso color café claro
	3.90	4.20		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
8	4.20	4.50	29	50/15		15			TP	Limo arenoso color café claro
	4.50	4.80		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
9	4.80	5.00	41	50/5		13			TP	Limo arenoso color café claro
	5.00	5.40		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
10	5.40	5.65	32	50/10		18			TP	Limo arenoso color café claro
	5.65	6.00		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
11	6.00	6.30	25	50/15		26			TP	Limo arenoso color café claro
	6.30	6.60		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
12	6.60	6.83	12	50/8		17			TP	Limo arcilloso color gris claro
	6.83	7.20		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
13	7.20	7.37	27	50/2		25			TP	Limo arenoso color café claro
	7.37	7.80		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
14	7.80	8.10	17	50/15		23			TP	Limo arenoso color café claro
	8.10	8.40		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
15	8.40	8.78	12	50/23		31			TP	Limo arenoso color café obscuro
	8.78	9.00		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
16	9.00	9.25	9	50/10		18			TP	Limo arenoso color café obscuro
	9.25	9.60		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
SR	9.60	9.75	50/15			SR			TP	Sin Recuperacion de Muestra
	9.75	10.20		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
17	10.20	10.47	13	50/12		24			TP	Limo arenoso color café claro
	10.47	10.80		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
SM= SIN MUESTRA		SR= SIN RECUP. DE MUESTRA		TSH= TUBO SHELBY		OBSERVACION: SE UTILIZO 600 LTS DE AGUA APROX SE CARGO EL EQUIPO DEL SPT-3 AL SPT-4 APROX. 300 MTS SE OCUPA VELADOR				Operador: SERGIO PACHECO Supervisor: ING RENE OVANDO

FIGURA 6d. REPORTE DE PERFORACIÓN DE SONDEO SPT -4 PARTE 1



REGISTRO DE EXPLORACION

PROYECTO: ZONA INDUSTRIAL TEPOZOTLAN LOTE "C" HOJA 1
 UBICACIÓN: TEPOTZOTLAN
 SONDEO: SPT-1 A PREFORADORA: LONG YEAR 34 BOMBA: M OYNO 3L6
 N.A.F.: NO SE DETECTO FECHA DE INICIO: 23-mar-18 FECHA DE TERMINACION: 23-mar-18

Numero Muestra	Profundidad		No. De Golpes			Recuperación		RQD	Muestreo	Descripción
	DE	A	15 cm	30 cm	15 cm	(cm)	(%)	(%)	Avance	
1	0.00	0.60	4	15	10	44			TP	Arcilla arenosa color gris obscura
2	0.60	1.15	8	40	50/10	27			TP	Limo arcilloso color negrusco
	1.15	1.20		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
3	1.20	1.55	35	50/20		25			TP	Limo cementado color café claro
	1.55	1.80		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
4	1.80	2.05	30	50/10		15			TP	Limo color café claro
	2.05	2.40		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
5	2.40	2.65	32	50/10		23			TP	Limo color café claro
	2.65	3.00		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
6	3.00	3.23	35	50/8		20			TP	Limo color café claro
	3.23	3.60		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
7	3.60	3.85	38	50/10		25			TP	Limo color café claro
	3.85	4.20		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
8	4.20	4.40	33	50/5		10			TP	Limo color café claro
	4.40	4.80		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
9	4.80	5.15	30	50/20		35			TP	Limo color café claro
	5.15	5.40		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
10	5.40	5.65	36	50/10		7			TP	Limo color café claro
	5.65	6.00		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
11	6.00	6.15	50/15			12			TP	Limo color café claro
	6.15	6.60		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
12	6.60	6.75	50/15			13			TP	Limo color café claro
	6.75	7.20		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
13	7.20	7.33	50/13			9			TP	Limo color café claro
	7.33	7.80		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
14	7.80	7.95	50/15			12			TP	Limo color café claro
	7.95	8.40		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
15	8.40	8.55	50/15			14			TP	Limo color café claro
	8.55	9.00		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
16	9.00	9.30	23	50/15		26			TP	Limo color café claro
	9.30	9.60		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
17	9.60	9.74	50/14			14			TP	Limo color café claro
	9.74	10.20		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
18	10.20	10.50	40	50/15		22			TP	Limo poco arenoso color café claro

SM- SIN MUESTRA OBSERVACION: SE UTILIZARON 650 LTS. DE AGUA
 SR- SIN RECUP. DE MUESTRA
 TSH- TUBO SHELBY Operador: SERGIO TELLEZ
Supervisor: EDUARDO RODRIGUEZ

FIGURA 6e. REPORTE DE PERFORACIÓN DE SONDEO SPT -5 PARTE 1



REGISTRO DE EXPLORACION

PROYECTO:		ZONA INDUSTRIAL TEPOTZOTLAN LOTE "C"								HOJA 1		
UBICACIÓN:		TEPOTZOTLAN		PREFORADORA:		LONG YEAR 34		BOMBA:		M OYNO 3L6		
SONDEO:		SPT-2-A		FECHA DE INICIO:		23-mar-18		FECHA DE TERMINACION:		24-mar-18		
N.A.F.:		NO SE DETECTO										
Numero Muestra	Profundidad		No. De Golpes			Recuperación		RQD	Muestreo	Descripción		
	DE	A	15 cm	30 cm	15 cm	(cm)	(%)	(%)	Avance			
1	0.00	0.60	19	27	10	49			TP	Limo arcilloso poco arenoso color café claro		
2	0.60	1.20	4	11	6	15			TP	Arcilla plastica poco limosa		
3	1.20	1.80	4	6	3	28			TP	Limo arenoso color café claro		
4	1.80	2.40	3	20	8	24			TP	Limo arenoso poco arcilloso color café claro		
5	2.40	3.00	4	8	5	18			TP	Arcilla poco limosa color gris obscuro		
6	3.00	3.60	4	10	4	24			TP	Arcilla poco arenosa color gris obscuro		
7	3.60	4.20	6	12	13	46			TP	Arcilla color gris obscuro		
8	4.20	4.80	4	9	6	18			TP	Arcilla color gris obscuro		
9	4.80	5.40	4	8	5	32			TP	Arcilla poco arenosa color gris obscuro		
10	5.40	6.00	4	8	4	9			TP	Arcilla poco arenosa color gris obscuro		
11	6.00	6.60	3	12	4	27			TP	Arcilla poco arenosa con raíces		
12	6.60	7.05	5	50/30		30			TP	Arcilla poco limosa color gris obscuro		
	7.05	7.20		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica		
13	7.20	7.80	11	12	10	38			TP	Arcilla poco arenosa color gris verdosa		
14	7.80	8.40	10	14	12	42			TP	Arcilla arenosa con varios tonos		
15	8.40	9.00	9	12	5	40			TP	Arcilla arenosa con tabique rojo		
16	9.00	9.60	3	13	9	40			TP	Arcilla poco arenosa color gris obscuro		
17	9.60	10.20	6	26	25	44			TP	Arcilla poco arenosa color gris obscuro		
18	10.20	10.80	13	28	12	43			TP	Arcilla color gris verdoso con tabique rojo		
19	10.80	11.40	14	27	15	35			TP	Arcilla con varios tonos		
20	11.40	12.00	7	23	18	38			TP	Arcilla color café obscuro		
21	12.00	12.60	5	19	18	59			TP	Arcilla con varios tonos		
SR	12.60	12.70	50/10			SR			TP	Sin Recuperacion de Muestra		
	12.70	13.20		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica		
22	13.20	13.29	50/9			8			TP	Arena gruesa poco limosa color café claro		
	13.29	13.80		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica		
23	13.80	13.95	50/15			10			TP	Arena gruesa poco limosa color café claro		
	13.95	14.40		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica		
24	14.40	14.53	50/13			10			TP	Arena gruesa poco limosa color café claro		
	14.53	15.00		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica		
25	15.00	15.12	50/12			11			TP	Limo poco arenoso color café claro		
		FIN DE	ONDEO A LO	15.12 MTS								
SM= SIN MUESTRA		OBSERVACION: A LOS 7.00 MTS PERDIDA DE AGUA TOTAL								Operador		SERGIO TELLEZ
SR= SIN RECUP. DE MUESTRA		SE UTILIZO 800 LTS DE AGUA APROX								Supervisor:		EDUARDO RODRIGUEZ
TSH= TUBO SHELBY		SE REALIZO MOVIMIENTO DE APROX 150 MTS DEL SPT-1 AL SPT-2										

FIGURA 6f. REPORTE DE PERFORACION DE SONDEO SPT -6



REGISTRO DE EXPLORACION

PROYECTO: ZONA INDUSTRIAL TEPOTZOTLAN LOTE C HOJA 1
 UBICACIÓN: TEPOTZOTLAN
 SONDEO: SPT-3 A PREFORADORA: LONG YEAR 34 BOMBA: M OYNO 3L6
 N.A.F.: NO SE DETECTO FECHA DE INICIO: 26-mar-18 FECHA DE TERMINACION: 26-mar-18

Numero Muestra	Profundidad		No. De Golpes			Recuperación		RQD	Muestreo	Descripción
	DE	A	15 cm	30 cm	15 cm	(cm)	(%)	(%)	Avance	
1	0.00	0.60	8	16	8	32			TP	Arcilla plastica poco arenosa color gris oscuro
2	0.60	1.20	4	18	10	43			TP	Arcilla arenosa color gris oscuro
3	1.20	1.60	12	50/25		38			TP	P/s arcilla plastica poco limosa gris oscuro P/I limo color café claro
	1.60	1.80		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
4	1.80	2.15	37	50/20		31			TP	Limo color café claro
	2.15	2.40		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
5	2.40	2.70	25	50/15		29			TP	Limo color café claro
	2.70	3.00		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
6	3.00	3.30	20	50/15		28			TP	Limo color café claro
	3.30	3.60		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
7	3.60	3.95	22	50/20		25			TP	Limo color café claro
	3.95	4.20		AVANCE					BT	Limo color café claro
8	4.20	4.48	37	50/13		16			TP	Avance con Broca Triconica
	4.48	4.80		AVANCE					BT	Limo color café claro
9	4.80	5.05	29	50/10		22			TP	Avance con Broca Triconica
	5.05	5.40		AVANCE					BT	Limo color café claro
10	5.40	5.55	50/15			13			TP	Avance con Broca Triconica
	5.55	6.00		AVANCE					BT	Limo color café claro
11	6.00	6.35	23	50/20		26			TP	Limo color café claro
	6.35	6.60		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
12	6.60	6.92	28	50/17		20			TP	Limo color café claro
	6.92	7.20		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
13	7.20	7.60	20	50/25		27			TP	Limo color café claro
	7.60	7.80		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
14	7.80	8.17	22	50/22		29			TP	Limo color café claro
	8.17	8.40		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
15	8.40	8.70	28	50/15		34			TP	Limo color café claro
	8.70	9.00		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
16	9.00	9.15	50/15			15			TP	Limo color café claro
	9.15	9.60		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
17	9.60	9.90	29	50/15		23			TP	Limo color café claro
	9.90	10.20		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
18	10.20	10.48	33	50/13		20			TP	Limo color café claro
	10.48	10.80		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica

SM: SIN MUESTRA OBSERVACION: SE OCUPÓ 400 LTS DE AGUA Y SE ACARREÓ EN CAMIONETA Operador: SERGIO TELLEZ
 SR: SIN RECUP. DE MUESTRA SE REALIZÓ MOVIMIENTO DEL EQUIPO APROX. 200 MTS DEL SPT-2 AL SPT-3 Supervisor: EDUARDO RODRIGUEZ
 TSH: TUBO SHELBY

FIGURA 6g. REPORTE DE PERFORACIÓN DE SONDEO SPT - 7 PARTE 1



REGISTRO DE EXPLORACION

PROYECTO: ZONA INDUSTRIAL TEPOTZOTLAN LOTE C HOJA 1
 UBICACIÓN: TEPOTZOTLAN
 SONDEO: SPT-4 A PREFORADORA: LONG YEAR 34 BOMBA: M OYNO 3L6
 N.A.F.: NO SE DETECTO FECHA DE INICIO: 27-mar-18 FECHA DE TERMINACION: 27-mar-18

Numero Muestra	Profundidad		No. De Golpes			Recuperación		RQD	Muestreo	Descripción
	DE	A	15 cm	30 cm	15 cm	(cm)	(%)	(%)	Avance	
1	0.00	0.60	10	32	15	20			TP	Arcilla plastica poco limosa capa vegetal
2	0.60	1.20	10	22	13	43			TP	Arcilla arenosa color café obscuro
3	1.20	1.80	6	12	5	29			TP	P/I arcilla arenosa café obscuro P/S arena media color café claro
4	1.80	2.10	21	50/15		25			TP	Limo color café claro
	2.10	2.40		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
5	2.40	2.80	25	50/25		29			TP	Limo color gris claro
	2.80	3.00		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
6	3.00	3.34	32	50/19		20			TP	Limo color gris claro
	3.34	3.60		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
7	3.60	3.98	18	50/23		15			TP	Limo color gris claro
	3.98	4.20		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
8	4.20	4.60	26	50/25		17			TP	Limo color gris claro
	4.60	4.80		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
9	4.80	5.10	36	50/15		22			TP	Limo color gris claro
	5.10	5.40		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
10	5.40	5.70	38	50/15		19			TP	Limo color gris claro
	5.70	6.00		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
11	6.00	6.32	28	50/17		23			TP	Limo color gris claro
	6.32	6.60		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
12	6.60	6.93	32	50/18		25			TP	Limo color gris claro
	6.93	7.20		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
13	7.20	7.65	30	50/30		30			TP	Limo poco arenoso color gris claro
	7.65	7.80		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
14	7.80	8.22	35	50/27		26			TP	Limo poco arenoso color gris claro
	8.22	8.40		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
15	8.40	8.55	50/15			15			TP	Arena media poco limosa
	8.55	9.00		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
16	9.00	9.15	50/15			15			TP	Arena media poco limosa
	9.15	9.60		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
17	9.60	9.95	25	50/20		30			TP	Limo color café claro
	9.95	10.20		AVANCE					BT	Avance con Broca Triconica
18	10.20	10.60	28	50/25		28			TP	Limo color café claro

FIN DE SONDEO A LOS 10.60 MTS

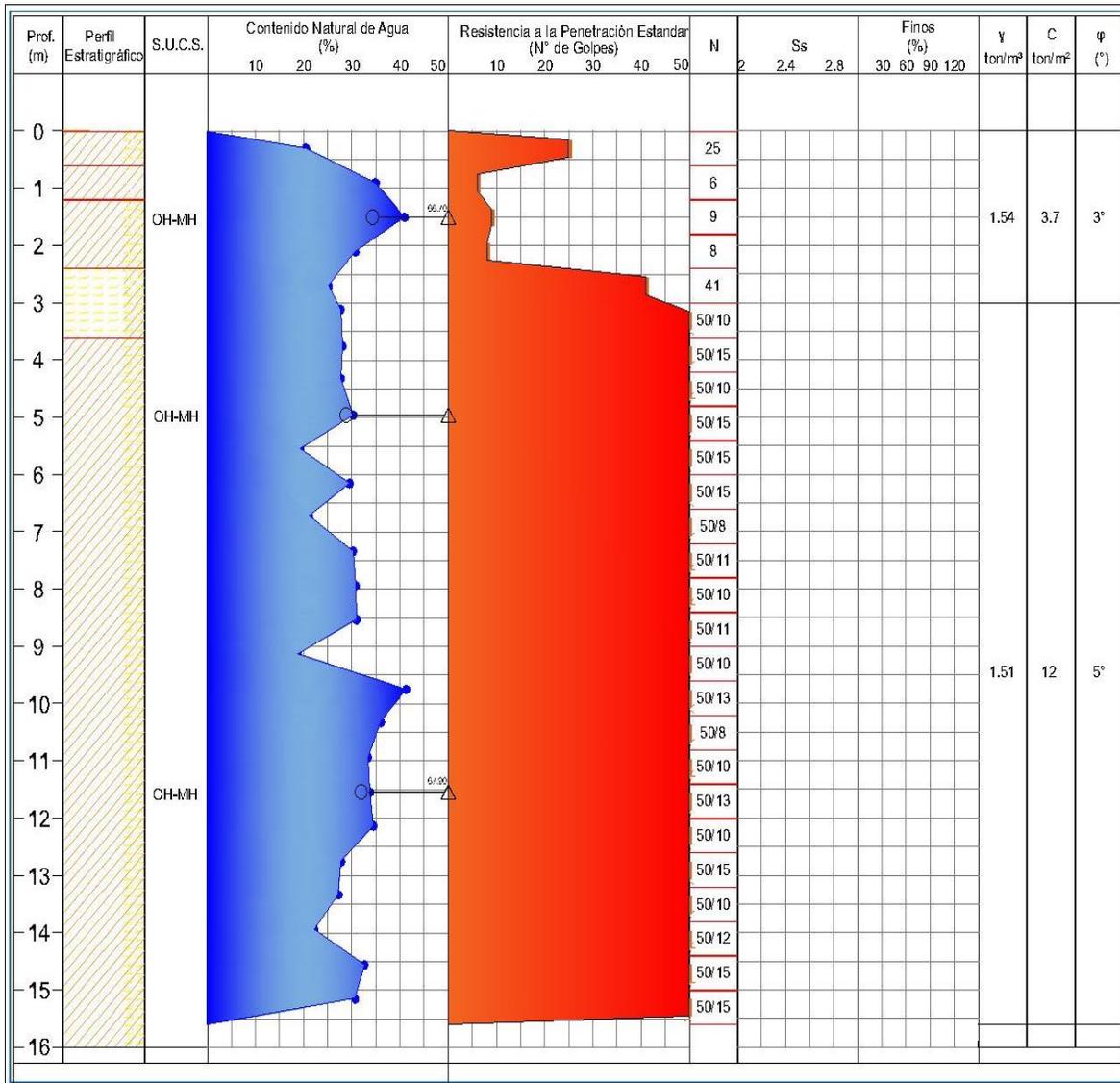
SM- SIN MUESTRA
SR- SIN RECUP. DE MUESTRA
TSH- TUBO SHELBY

OBSERVACION: SE UTILIZO 300 LTS DE AGUA APROX
SE REALIZO MOVIMIENTO DEL EQUIPO APROX. 100 MTS DEL SPT-3 AL SPT-4

Operador: SERGIO TELLEZ
Supervisor: EDUARDO RODRIGUEZ

FIGURA 6h. REPORTE DE PERFORACIÓN DE SONDEO SPT -8 PARTE 1

 TESIS MARCO ANTONIO SEGUNDO MERINO	Obra No: LOTE C Localización: TEPÓTZOTLAN Tipo de Sondeo: SPT-2 Cota: _____ N.A.F.: N/A
--	--



Simbología:

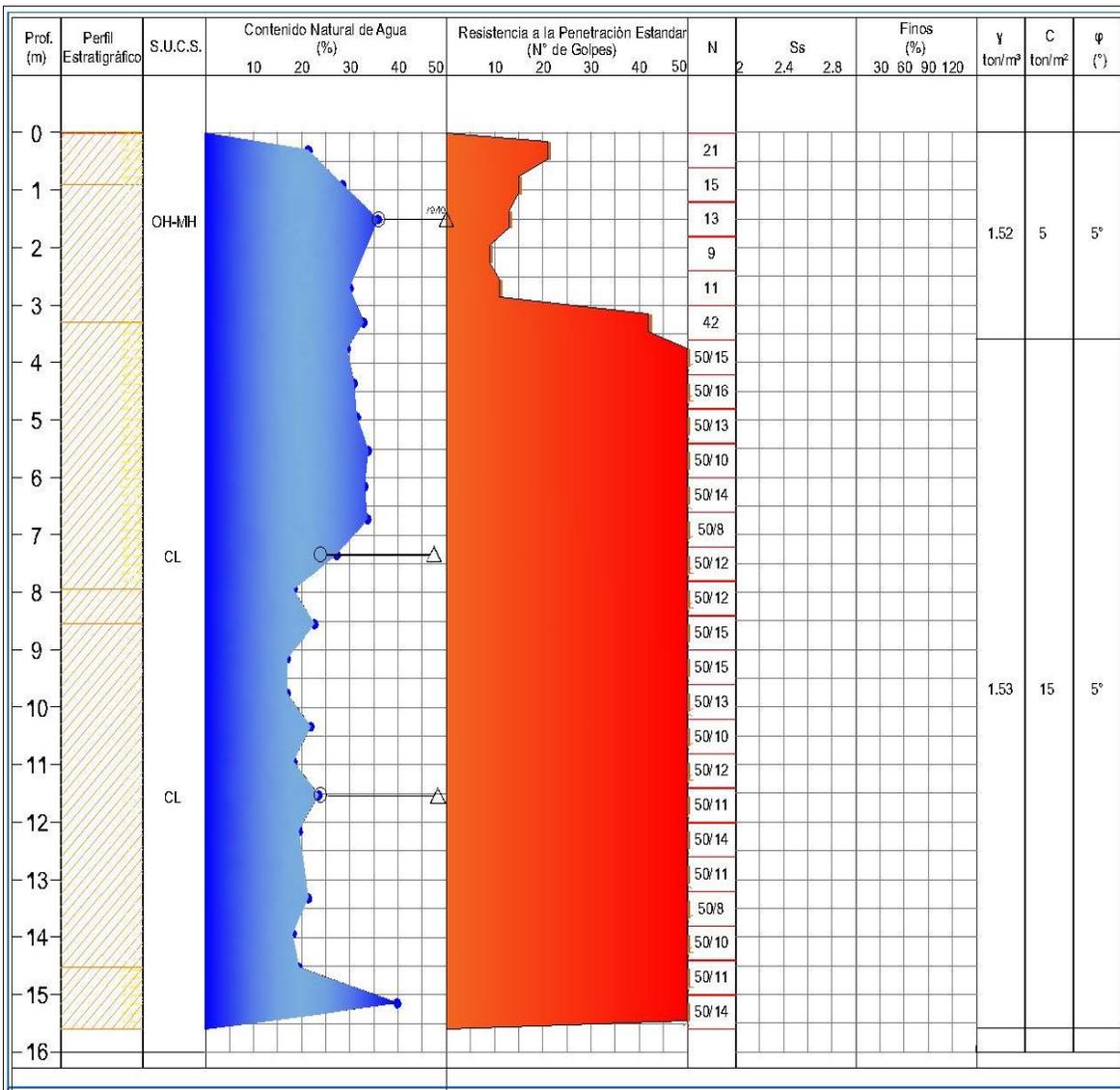
						
Fósiles	Limo	Mat. Orgánica, Vegetal	Relleno	Arcilla	Grava	Arena

LP LL N : Número de golpes para 30 cm
 ○ — △ No. de golpes/penetración en cm.
 ▲ : Avance con broca tricónica
 █ : > de 50 golpes
 Ss: Densidad de sólidos
 G: Grava
 A: Arena
 F: Finos

FIGURA No. 8

FIGURA 8. PERFIL ESTRATIGRAFICO SPT-2

 TESIS MARCO ANTONIO SEGUNDO MERINO	<p>Obra No: <u>LOTE C</u></p> <p>Localización: <u>TEPOTZOTLAN</u></p> <p>Tipo de Sondeo: <u>SPT-3</u></p> <p>Cota: _____ N.A.F.: <u>N/A</u></p>
--	---



Simbología:

 Fósiles	 Limo	 Mat. Orgánica, Vegetal	 Relleno	 Arcilla	 Grava	 Arena
--	---	---	--	--	---	--

LP LL N : Número de golpes para 30 cm
 ○ — △ No. de golpes/penetración en cm.

△ : Avance con broca tricónica
 █ : > de 50 golpes

Ss: Densidad de sólidos
 G: Grava
 A: Arena
 F: Finos

FIGURA No. 9

FIGURA 9. PERFIL ESTRATIGRAFICO SPT-3



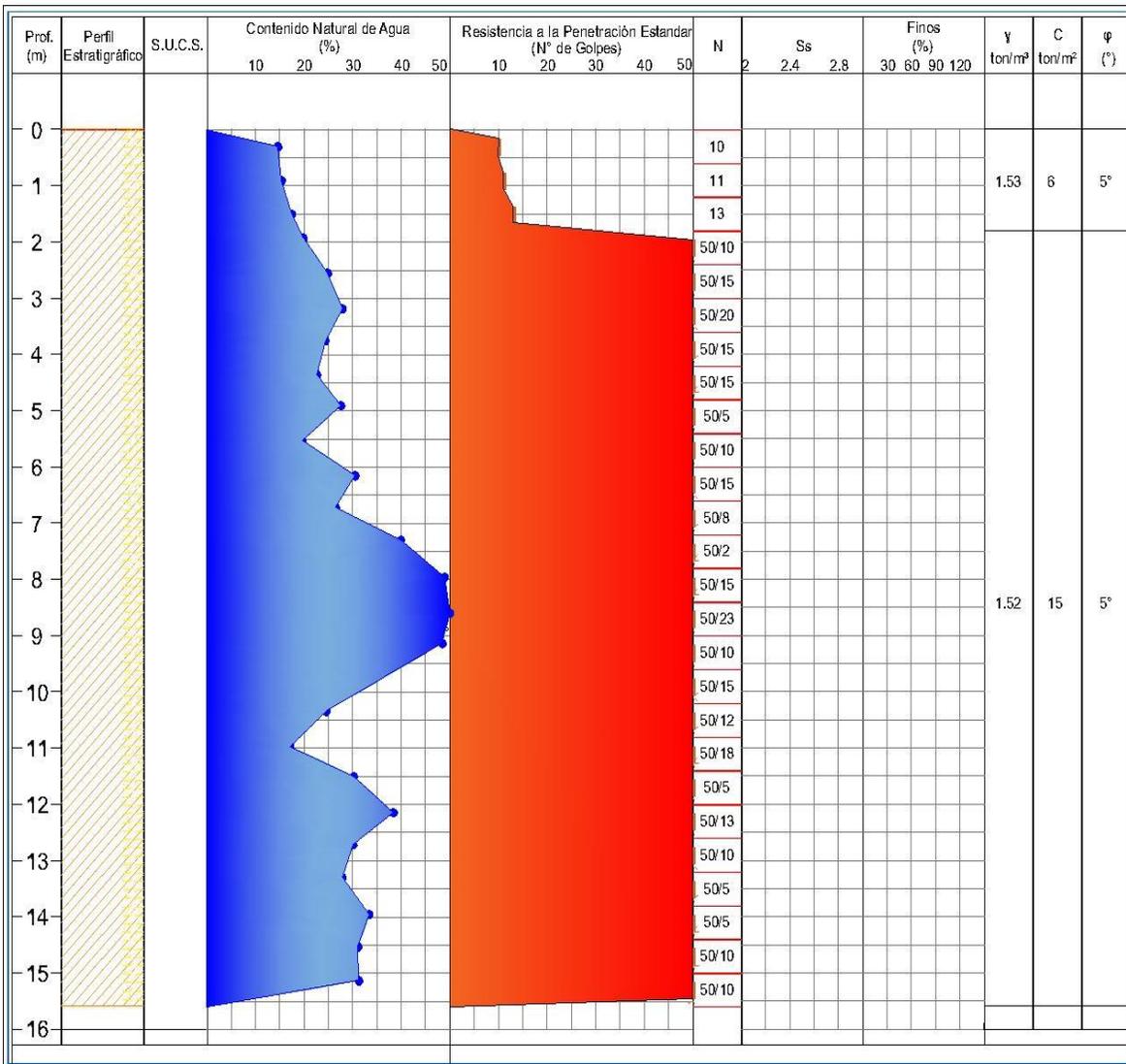
TESIS MARCO ANTONIO SEGUNDO MERINO

Obra No: LOTE C

Localización: TEPOTZOTLAN

Tipo de Sondeo: SPT-4

Cota: _____ N.A.F.: N/A



Simbología:

LP LL

Fósiles

Limo

N : Número de golpes para 30 cm
No. de golpes/penetración en cm.

Mat. Orgánica, Vegetal

Relleno

Arcilla

Grava

Arena

: Avance con broca tricónica

: > de 50 golpes

Ss: Densidad de sólidos

G: Grava

A: Arena

F: Finos

FIGURA No. 10

FIGURA 10. PERFIL ESTRATIGRAFICO SPT-4



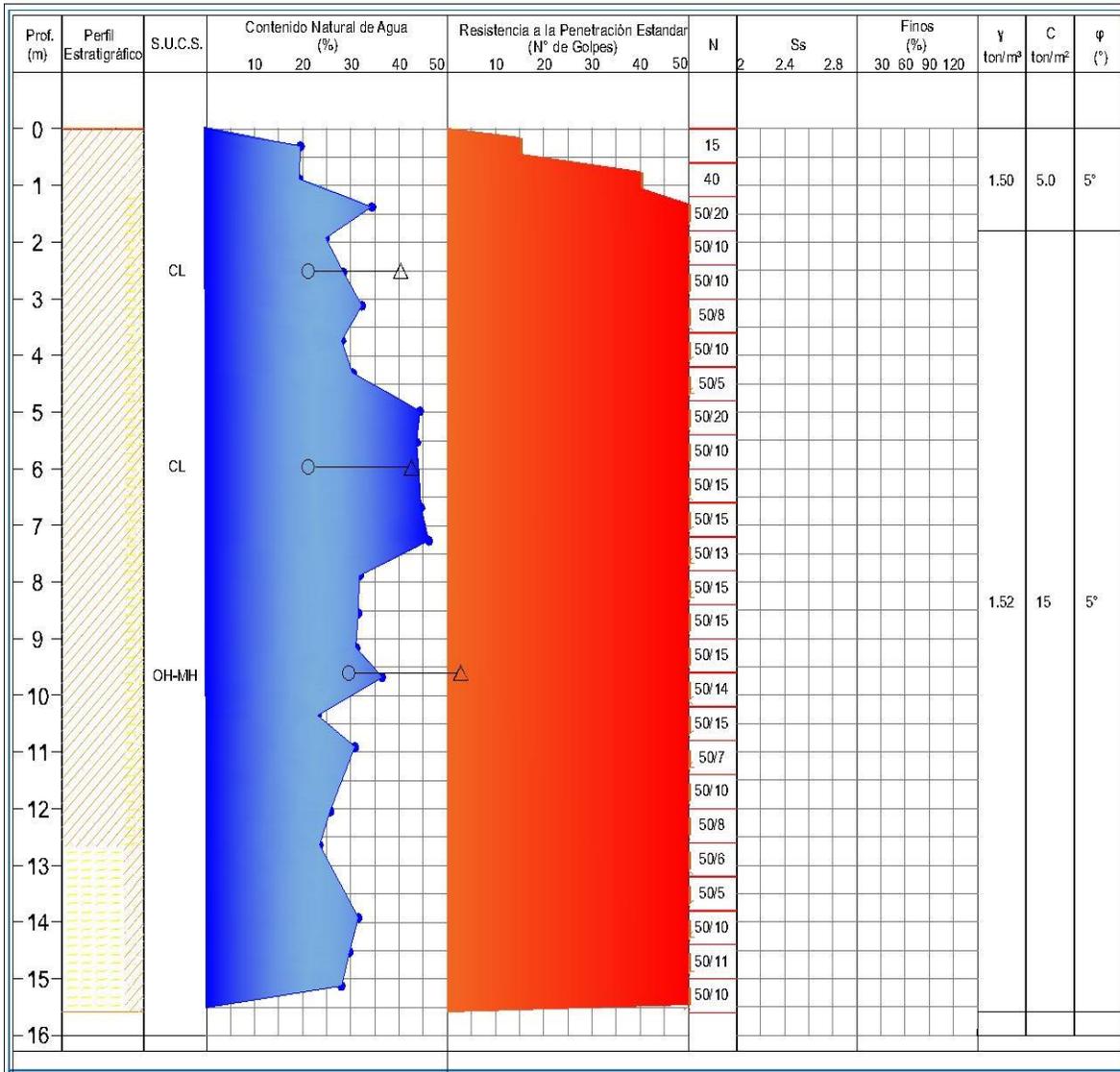
TESIS MARCO ANTONIO SEGUNDO MERINO

Obra No: LOTE C

Localización: TEPOTZOTLAN

Tipo de Sondeo: SPT-1-A

Cota: _____ N.A.F.: N/A



Simbología:

LP — LL

○ — △

Fósiles

Limo

N : Número de golpes para 30 cm
No. de golpes/penetración en cm.

Mat. Orgánica, Vegetal

Relleno

Arcilla

▲ : Avance con broca tricónica

■ : > de 50 golpes

Grava

Arena

Ss: Densidad de sólidos

G: Grava

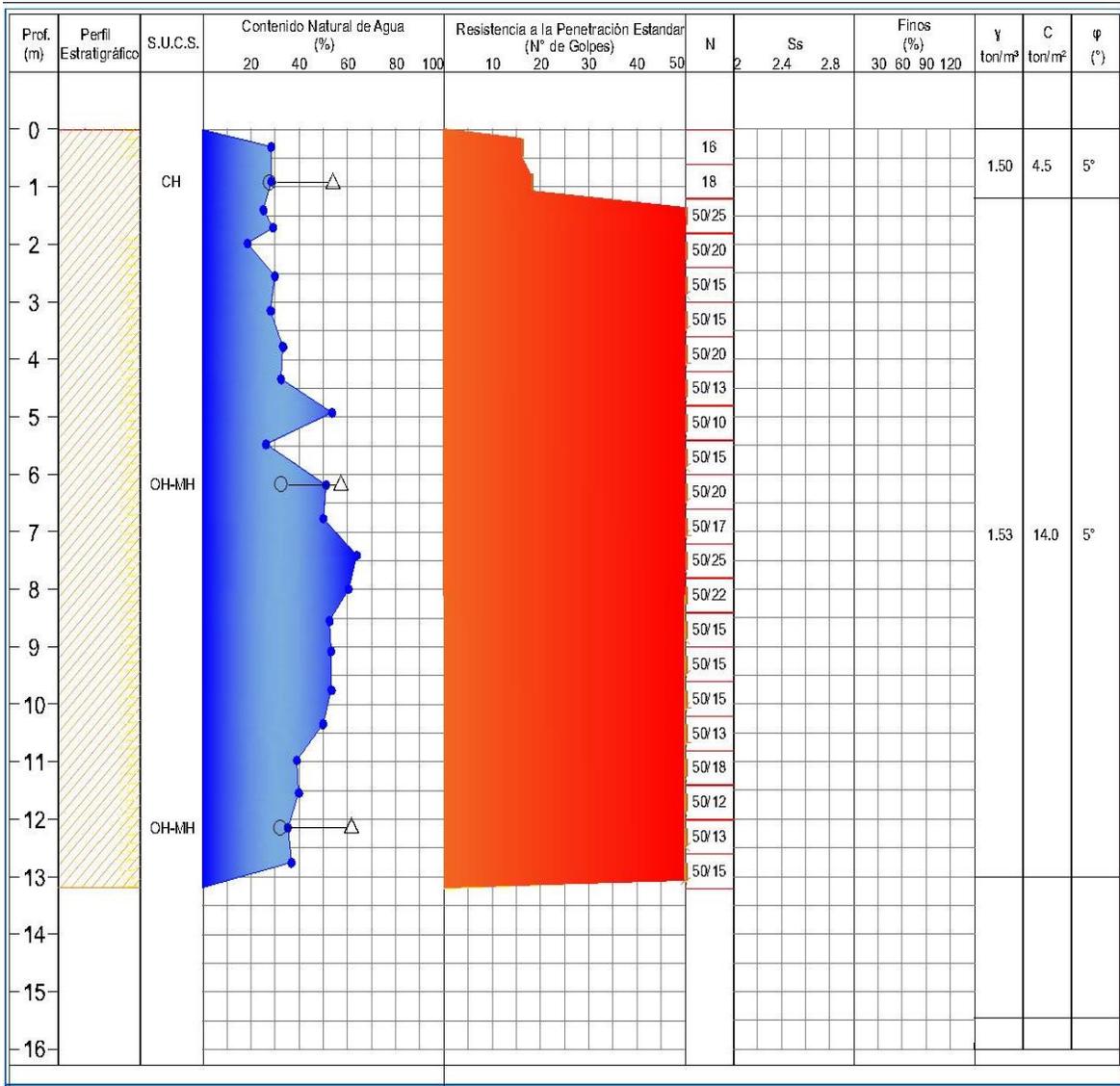
A: Arena

F: Finos

FIGURA No. 10a

FIGURA 10 a. PERFIL ESTRATIGRAFICO SPT-5

 TESIS MARCO ANTONIO SEGUNDO MERINO	Obra No: <u>LOTE C</u> Localización: <u>TEPOTZOTLAN</u> Tipo de Sondeo: <u>SPT-3A</u> Cota: _____ N.A.F.: <u>N/A</u>
--	---



Simbología:

 Fósiles	 Limo	 Mat. Orgánica, Vegetal	 Relleno	 Arcilla	 Grava	 Arena
---	--	--	---	---	--	---

LP LL N : Número de golpes para 30 cm
 ○ △ No. de golpes/penetración en cm.

△ : Avance con broca tricónica
 | : >= 50 golpes

Ss: Densidad de sólidos
 G: Grava
 A: Arena
 F: Finos

FIGURA No. 10c

FIGURA 10 c. PERFIL ESTRATIGRAFICO SPT-7



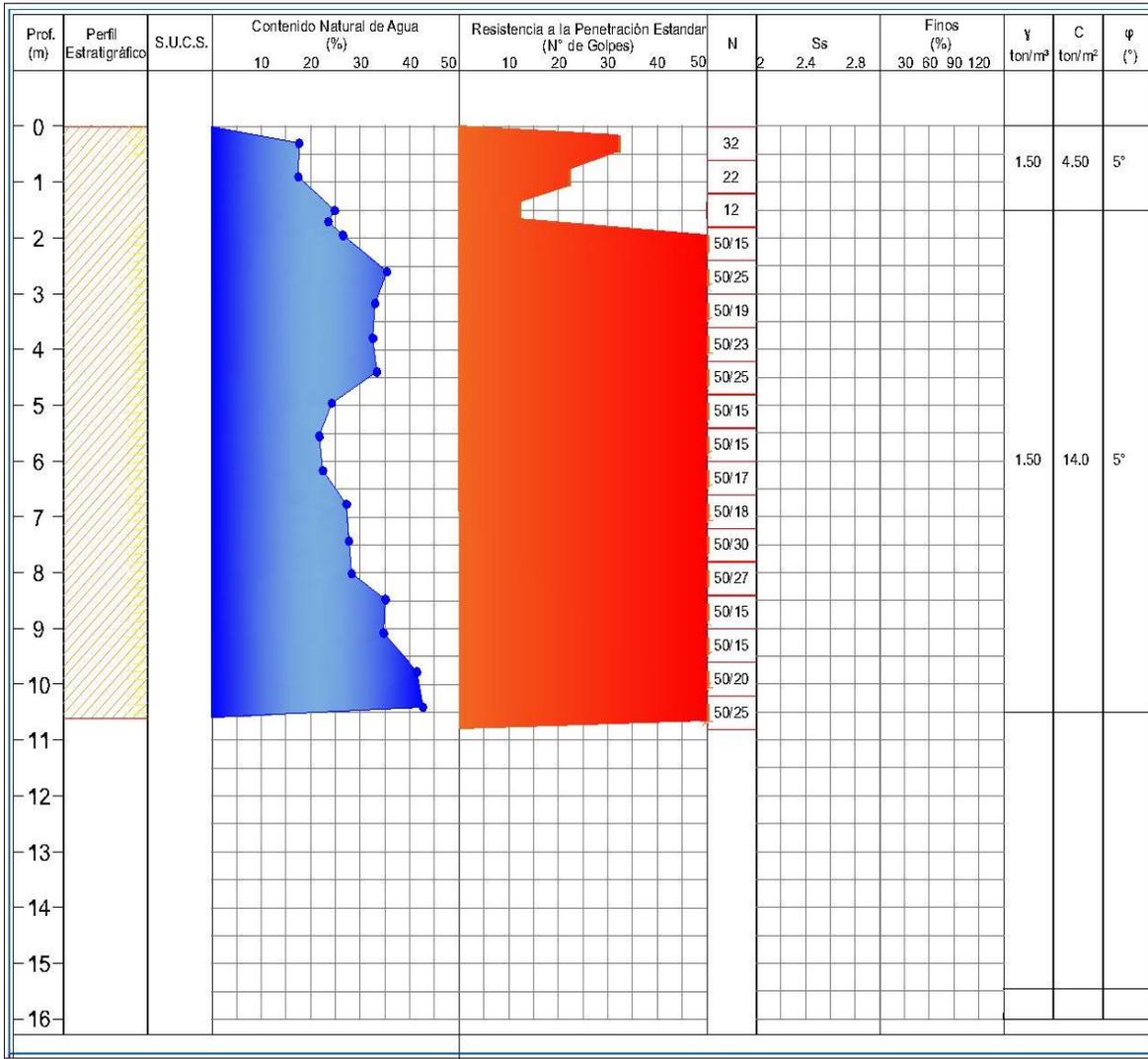
TESIS MARCO ANTONIO SEGUNDO MERINO

Obra No: LOTE C

Localización: TEPOTZOTLAN

Tipo de Sondeo: SPT-4A

Cota: _____ N.A.F.: N/A



Simbología:

 Fósiles	 Limo	 Mat. Orgánica, Vegetal	 Relleno	 Arcilla	 Grava	 Arena
--	---	---	--	--	---	--

LP LL N : Número de golpes para 30 cm
 ○ △ No. de golpes/penetración en cm.

▲ : Avance con broca tricónica
 ■ : > de 50 golpes

Ss: Densidad de sólidos
 G: Grava
 A: Arena
 F: Finos

FIGURA No. 10d

FIGURA 10 d. PERFIL ESTRATIGRAFICO SPT-8

2.3.- Pozos a cielo abierto

Para conocer las características estratigráficas de los depósitos superficiales del subsuelo en el área de interés y con el fin de conocer el espesor de la capa de suelo vegetal y materiales arcillosos de alta plasticidad, la estratigrafía del subsuelo y sus características de resistencia y deformabilidad, así como los espesores correspondientes para cada estrato encontrado, se excavaron sesenta y cinco pozos a cielo abierto entre 0.35 y 3.30 m de profundidad, denominados **PCA-1 a PCA-65**.

Los perfiles estratigráficos de cada uno de los pozos a cielo abierto excavados en el interior del predio se indican en las figuras 11 a 70 y de la 70a a la 70e.

En la figura 70f y 70g se muestra la zonificación de la capa de suelo vegetal, materiales de relleno de mala calidad y de la arcilla de alta plasticidad, de color café grisáceo oscuro (negruzco), de consistencia media a dura, que fueron detectadas en los pozos excavados. Esta información deberá ser comparada en cuanto se tenga el plano topográfico, para tener un mejor panorama de las áreas.

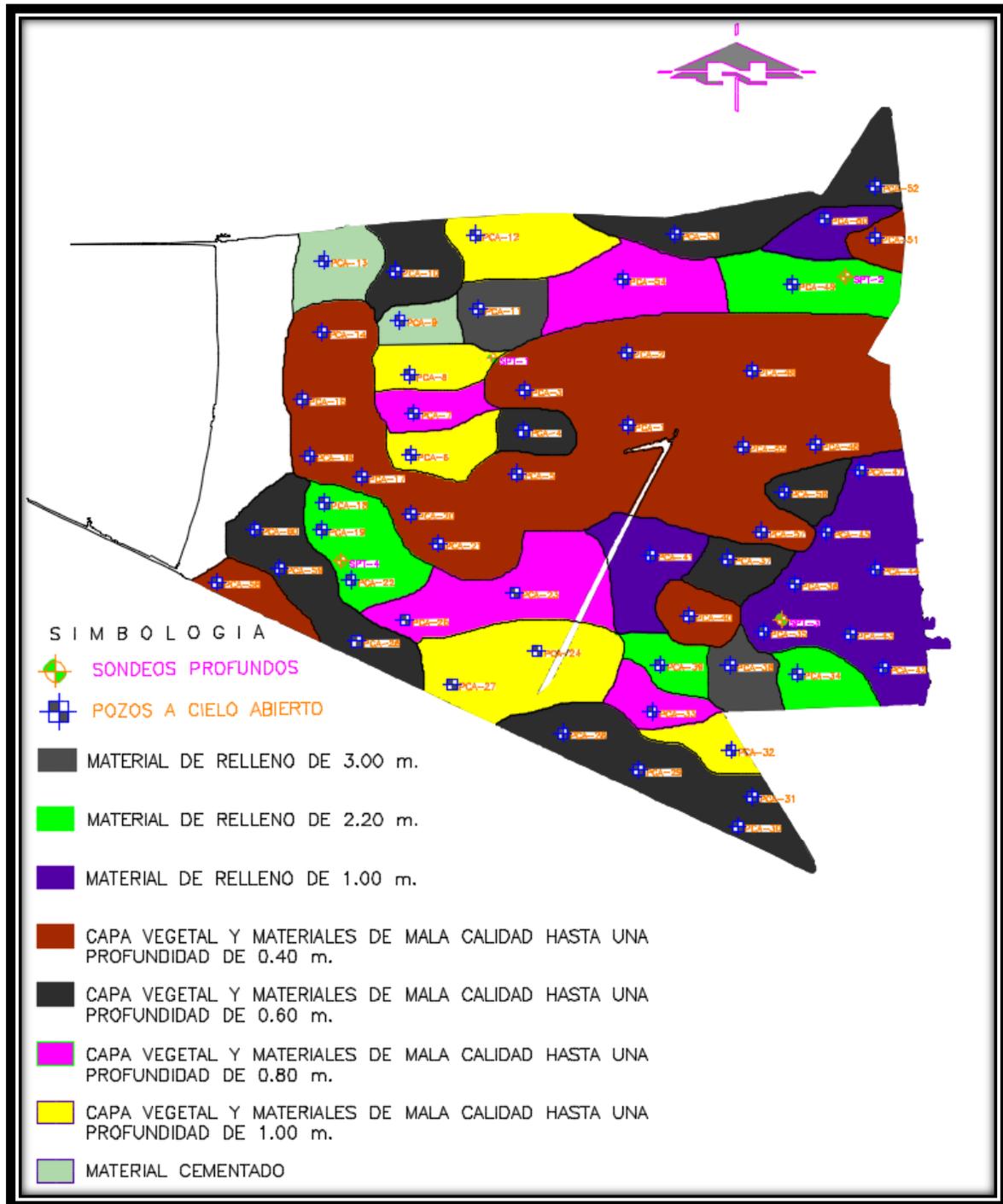


FIGURA 70f. ZONIFICACION DE CAPA DE SUELO VEGETAL Y RELLENOS SUPERFICIALES DE MALA CALIDAD

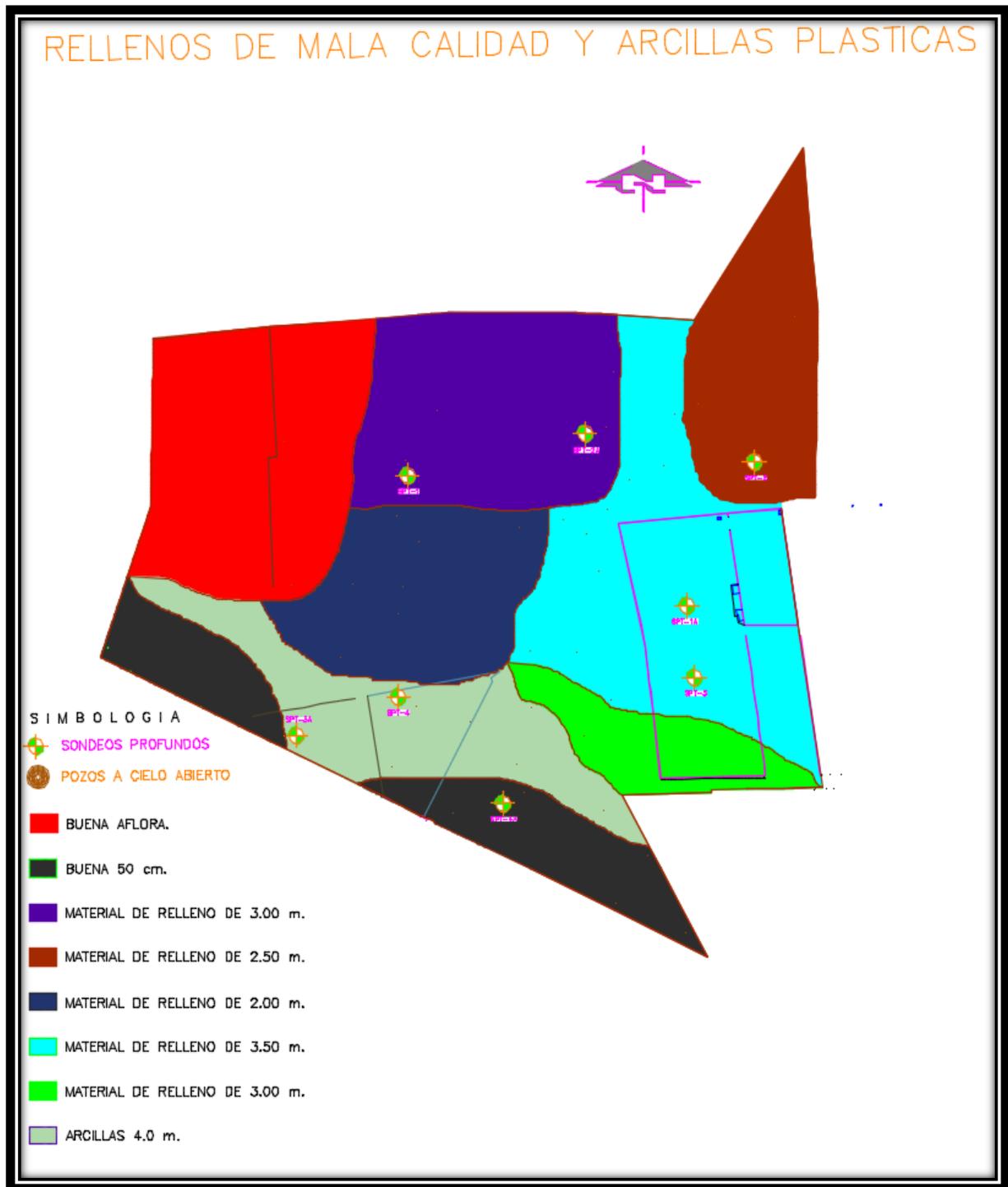


FIGURA 70g. ZONIFICACION DE CAPA DE SUELO VEGETAL Y MATERIALES ARCILLOSO Y PLÁSTICOS DE COLOR NEGRUZCO

En el Anexo II y III se presenta un reporte fotográfico de los sondeos y pozos realizados en el predio respectivamente.

PRUEBAS DE LABORATORIO



PRUEBA LIMITES DE CONSISTENCIA



PRUEBA COMPRESIÓN SIMPLE



PRUEBA TRIAXIAL

EQUIPO DE LABORATORIO

3.- PRUEBAS DE LABORATORIO

Las pruebas de laboratorio se realizaron siguiendo las especificaciones establecidas en el Manual de Laboratorio de la Secretaría de Recursos Hidráulicos.

Una vez obtenidas las muestras, se emplearon para obtener las propiedades índice y mecánicas del suelo. En el siguiente cuadro se relacionan las pruebas de laboratorio que se realizaron en las muestras obtenidas, de acuerdo al tipo de muestra:

3.1.- Muestras alteradas

A las muestras representativas alteradas se les efectuaron las siguientes pruebas de laboratorio:

- Clasificación SUCS y contenido natural de agua (ASTM D 2488, ASTM D 2216)
- Límites de consistencia, líquido y plástico (ASTM D 4318)
- Análisis granulométrico por mallas (ASTM D 422)
- Porcentaje de finos
- Densidad de sólidos

3.2.- Muestras inalteradas

A las muestras cúbicas inalteradas se les realizaron las siguientes pruebas:

- Resistencia a la compresión simple con al menos dos ciclos de carga y descarga.
- Determinación de los parámetros de resistencia al corte mediante pruebas de compresión triaxial no consolidadas no drenadas (UU) (ASTM D 2850) en juegos de mínimo tres (3) probetas. Incluyen gráficas de esfuerzo-deformación.





MUESTRAS OBTENIDAS EN LA EXPLORACIÓN DE CAMPO

Todas las muestras obtenidas se clasificaron en forma visual y al tacto, en estado húmedo y seco mediante pruebas del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.), se determinó también su contenido natural de agua.

En estratos representativos se hicieron límites de consistencia o granulometría por mallas según se tratara de suelos finos o gruesos; se obtuvo en ambos casos la densidad de sólidos, los resultados se muestran en las figuras del Anexo II.

Para conocer los parámetros de resistencia del suelo, se efectuaron en muestras inalteradas ensayos de compresión axial no confinada y compresión triaxial no consolidada-no drenada (pruebas UU).

En las figuras del Anexo II se presentan los registros de laboratorio y las gráficas de esfuerzo-deformación unitaria de las pruebas de compresión no confinada realizadas, y de la determinación del peso volumétrico natural.

La ley de resistencia definida por la envolvente de los círculos de Mohr correspondientes a los estados de esfuerzo desviador máximo, obtenidos en pruebas de compresión triaxial no consolidada - no drenada, UU, así como los registros de laboratorio y las gráficas de esfuerzo-deformación unitaria, de las pruebas UU, se presentan en las figuras del Anexo II.

En los Anexo II y III se presenta un reporte fotográfico de los trabajos de campo realizados en el sitio de estudio.

En el Anexo IV se presentan los registros de laboratorio con los resultados de los trabajos realizados en las muestras cúbicas obtenidas.

4.- CARACTERÍSTICAS ESTRATIGRAFICAS Y FISICAS DEL SUBSUELO

4.1.- Geología de la Región

El área de interés forma parte de la Sierra de las Cruces, ubicada al Norte de la Cuenca del Valle de México, conocida como zona Lomas de acuerdo a la zonificación de los materiales del subsuelo y geotécnicamente como la formación Tarango, como se observa en la figura 71.

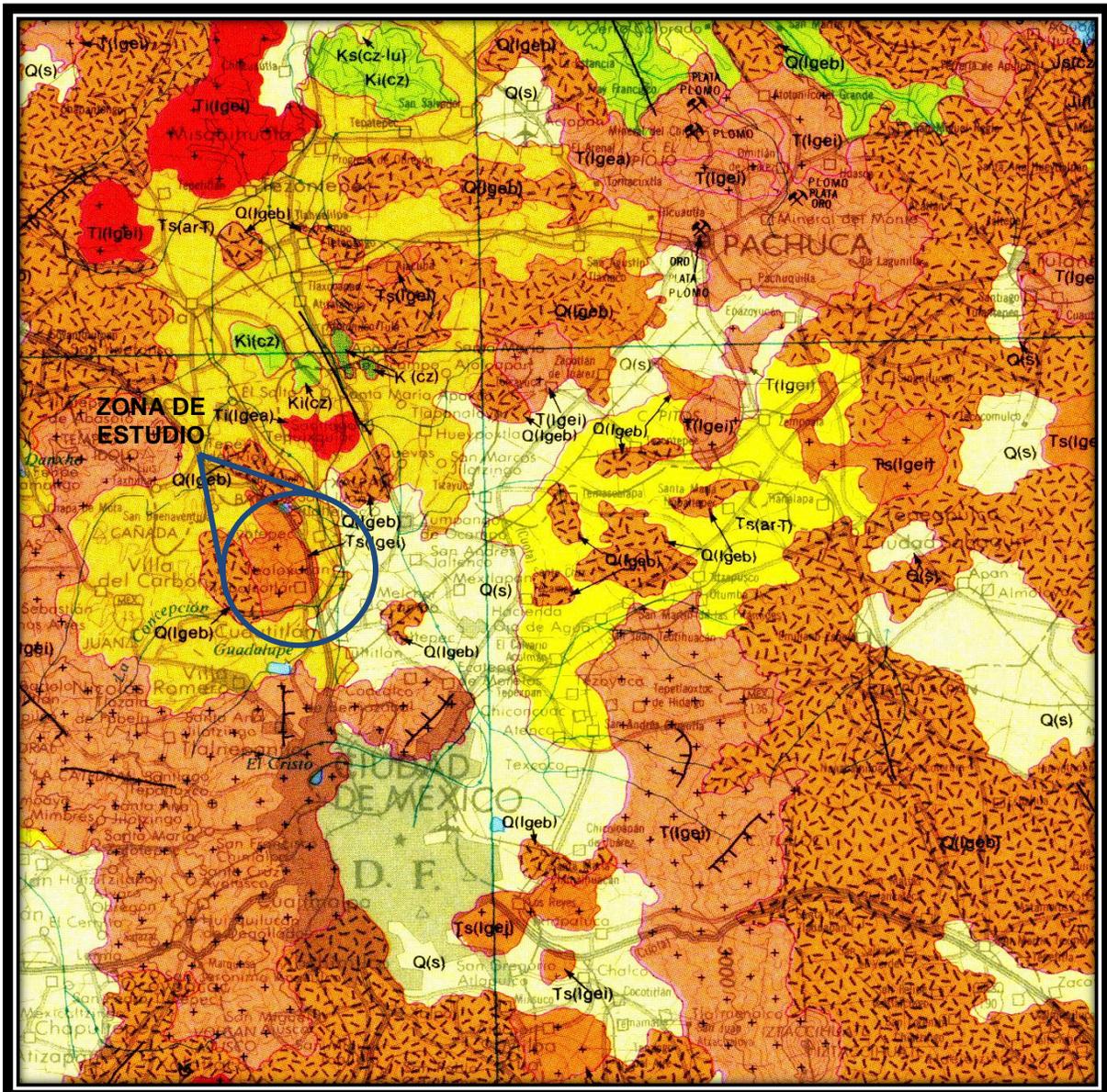


FIGURA 71. GEOLOGIA DE LA REGIÓN DE ESTUDIO



En general los depósitos que constituyen esta formación presentan una estratificación regular en algunas zonas, en otras irregular y hasta lenticular, constituidos por materiales producto de erupciones violentas, formando tobas arcillosas y lahares principalmente. Las estructuras de la formación Tarango están formadas por la superposición de varios abanicos volcánicos, correspondiendo cada uno a la vida activa de un volcán, surcado superficialmente en la dirección de la pendiente, oriente-poniente, por barrancas y cañadas, producto de la erosión debido al escurrimiento del agua de lluvias.

4.2.- Levantamiento Geológico Local

El predio de interés forma parte de la Sierra de las Cruces ubicada al Norte de la Cuenca del Valle de México conocida como Zona de Lomas, de acuerdo con la zonificación de los materiales del subsuelo (ver figura 71), y denominada geotécnicamente Formación Tarango. En general los depósitos que constituyen esta formación presentan una estratificación regular en algunas zonas, en otras irregular y lenticular, y se encuentran constituidos por los siguientes elementos litológicos, producto de erupciones en grandes volcanes andesíticos estratificados:

- a) Horizontes de cenizas volcánicas de granulometría variable, producida por erupciones violentas que formaron tobas cementadas depositadas a decenas de kilómetros de distancia del cráter.
- b) Capas de erupciones pumíticas correspondientes a la actividad volcánica de mayor violencia y que se depositaron como lluvia, en capas de gran uniformidad hasta lugares muy distantes del cráter.
- c) Lahares, definidos como acumulaciones caóticas de material piroclástico arrastrado lentamente en corrientes lubricadas por agua, generadas por lluvias torrenciales inmediatas a la erupción.

El área de interés se encuentra sobre una loma, en la que para tener superficies horizontales sobre las que se construirán las estructuras proyectadas se tendrán que realizar cortes y rellenos controlados.

4.3.- Secuencia Estratigráfica

A continuación se presenta la secuencia y descripción estratigráfica detectada en el predio.

Superficialmente se tiene una capa de suelo vegetal y rellenos de mala calidad, constituida por una arcilla poco limosa, de color café grisáceo oscuro, con poca arena fina y raicillas, de alta plasticidad, con espesor variable entre 0.40 m y 2.20 m, sin embargo en la mayor parte del predio se tiene un espesor medio de 0.60 m, con respecto al nivel actual del terreno. Estos materiales arcillosos presentan una consistencia variable de firme a dura, con una resistencia a la penetración estándar variable entre 5 y 25 golpes.

Subyaciendo a la capa vegetal, con un espesor de 13 m, se tiene una capa de material cementado con carbonato de calcio (caliche), de consistencia dura, el cual está constituido por una arcilla poco limosa, de color café blanquizo, de consistencia dura. Este estrato se encuentra a una profundidad variable entre 2 m y 2.50 m con respecto al nivel actual de terreno.

4.4.- Nivel de aguas freáticas

El nivel freático no se detectó a la máxima profundidad explorada en los sondeos profundos y pozos excavados con respecto al nivel del terreno actual y en la fecha en que se realizó la exploración.

4.5.- Modulo de reacción del Suelo

Considerando las características de rigidez de la cimentación que más adelante se define, la deformabilidad de los materiales del subsuelo y la presión de contacto aplicada a los materiales de apoyo por la cimentación, el módulo de reacción del suelo deberá considerarse de **2 kg/cm³**.

4.6.- Coeficiente sísmico

Para el análisis y diseño sísmico de la edificación considérese lo establecido en las Normas técnicas complementarias del Reglamento de Construcción. El terreno de interés se encuentra en la zona “**B**” de la Carta de Sismicidad de la República Mexicana (**CFE**), por lo que se recomienda que en los cálculos estructurales se utilice un coeficiente sísmico de cuando menos **0.14** con material tipo I, como se indica en la figura 72. **Es recomendable hacer un estudio de espectro sísmico**

En la Tabla I se indican los parámetros de los espectros de diseño considerados para la República Mexicana, de acuerdo a su ubicación como se indica en la figura 72a.



FIGURA 72. ZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LA REPUBLICA MEXICANA

Tabla I. Parámetros de los espectros de diseño para la República Mexicana Considerados de acuerdo a la Zona Sísmica donde se ubica el terreno

Zona Sísmica	Tipo de Suelo	a_0 (g)	c (g)	T_a (g)	T_b (g)	r
A	I	0.02	0.08	0.2	0.6	1/2
	II	0.04	0.16	0.3	1.5	2/3
	III	0.05	0.20	0.6	2.9	1
B	I*	0.04*	0.14*	0.2*	0.6*	1/2*
	II	0.08	0.30	0.3	1.5	2/3
	III	0.10	0.36	0.6	2.9	1
C	I	0.36	0.36	0.0	0.6	1/2
	II	0.64	0.64	0.0	1.4	2/3
	III	0.64	0.64	0.0	1.9	1
D	I	0.50	0.50	0.0	0.6	1/2
	II	0.86	0.86	0.0	1.2	2/3
	III	0.86	0.86	0.0	1.7	1

FIGURA 72a. ZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LA REPUBLICA MEXICANA

5. - ANALISIS DE LA ALTERNATIVA DE CIMENTACIÓN

Tomando en cuenta las características arquitectónicas y estructurales de proyectos semejantes, en particular la magnitud y distribución de las cargas que la estructura puede transmitir a la cimentación, y las propiedades estratigráficas y físicas de los materiales del subsuelo, con resistencias hasta 50 golpes y constituidos por limos arcillosos con escasa arena y arcillas poco limosas con escasa arena fina; en base a lo anterior se juzga que una de las alternativas de cimentación más adecuada será mediante zapatas aisladas desplantadas a 1.5 m y zapatas corridas desplantadas a 1.9 m de profundidad respecto al nivel de piso terminado ver figura 73.

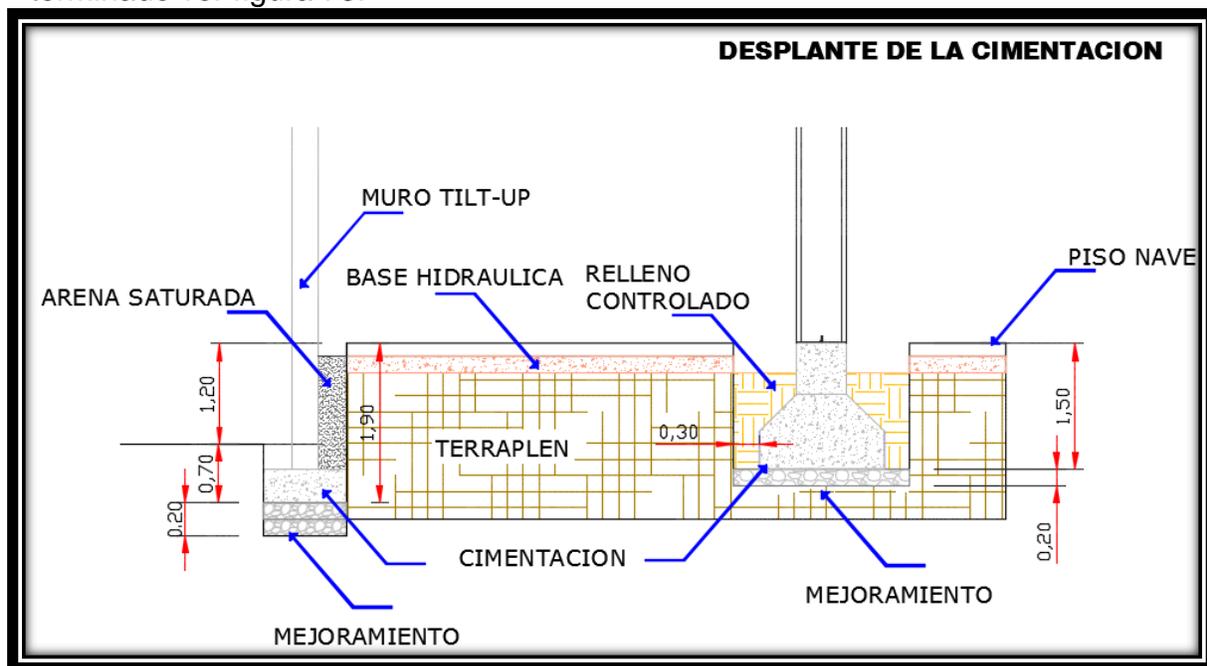


FIGURA 73. DESPLANTE DE CIMENTACION

A continuación se presentan los análisis correspondientes a la alternativa de cimentación propuesta.

Se recomienda que cada columna, en los apoyos de las estructuras con la cimentación, esté resuelto estructuralmente como articulaciones considerando proyectos similares. A continuación se presentan los análisis correspondientes a la alternativa de cimentación propuesta.

5.1.- Alternativa de cimentación mediante Zapatas

La cimentación de la Nave quedará desplantada a una profundidad de -1.50 m para las zapatas centrales y a -1.90 m para las zapatas corridas perimetrales, referenciadas con respecto al nivel de piso terminado del edificio.

Las zapatas aisladas se apoyarán sobre un mejoramiento de material inerte (grava con arena) debidamente apisonado, de 20 cm de espesor y con un sobre ancho perimetral en la base de la zapata de 30 cm, o bien se puede emplear concreto fluido, con un espesor de 20 cm y un sobre ancho de 30 cm ya mencionado anteriormente, a este mejoramiento le subyacerá a una arcilla poco limosa con escasa arena, de color gris oscuro, y serán diseñadas **para una capacidad de carga admisible en condiciones estáticas de 13 ton/m² y de 15.6 ton/m² en condiciones dinámicas**. En el caso de que las zapatas se desplanten sobre material natural resistente, únicamente se colocara una plantilla de concreto pobre bajo el desplante de la zapata, y se diseñaran para una capacidad mayor a la señalada anteriormente.

Las zapatas probablemente tendrán momentos flexionantes que provocarán presiones no uniformes, y por esto se requieran deformaciones pequeñas compatibles con una condición de “empotre” de la base de la columna.

El muro de contención perimetral para formar el andén, estará constituido por los muros Tilt-up de concreto armado, los cuales se apoyaran sobre una zapata corrida desplantada a una profundidad de 1.90 m con respecto al nivel de piso terminado del edificio o bien 70 cm bajo el nivel de rodamiento de la vialidad o zona de andenes, **para una capacidad de carga admisible en condiciones estáticas de 11 ton/m² y de 13 ton/m² en condiciones dinámicas**, para cargas no factorizadas, y podrá recibir las cargas de las columnas perimetrales junto con el peso de los muros perimetrales.

A continuación se presentan los resultados de la alternativa de cimentación recomendada.

5.1.1.- Determinación de la capacidad de carga

La capacidad de carga de los materiales sobre los que se desplantarán las zapatas se determinó considerando que los materiales afectados por la superficie potencial de la falla son suelos cohesivos-friccionantes aplicando la siguiente expresión¹.

$$Q_a = \{ c N_c + P'v (N_q - 1) + 0.5 \gamma B N_\gamma \} F_R + P_v$$

¹Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones, México D.F. Octubre 2004.

en donde:

Q_a : capacidad de carga admisible del suelo de apoyo de las zapatas, en ton/m^2

c : cohesión del material de apoyo, en ton/m^2 .

N_c : coeficiente de capacidad de carga, adimensional y dado por:

$$N_c = 5.14 (1 + 0.25 D_f/B + 0.25 B/L)$$

en la cual :

D_f : profundidad de desplante la cimentación en m.

B : ancho del cimiento, en m.

L : largo del cimiento, en m.

P'_v : presión vertical efectiva a la profundidad de desplante, en ton/m^2 .

N_q : coeficiente de capacidad de carga, adimensional y dado por

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2 (45^\circ + \phi/2)$$

siendo :

ϕ : ángulo de fricción interna de suelos de apoyo en grados.

N_q : se multiplica por $(1 + \tan \phi)$ en el caso de cimientos cuadrados, por $(1 + (B/L) \tan \phi)$, para el caso de cimientos rectangulares.

γ : peso volumétrico del suelo, abajo del nivel desplante, en ton/m^3 .

N_γ : coeficiente de capacidad de carga adimensional y dado por:

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

N_γ : se multiplica por 0.6 en el caso de zapatas cuadradas y por $(1 - 0.4 (B/L))$ para cimientos rectangulares.

F_R : factor de resistencia, adimensional e igual a 0.35

P_v : presión vertical total a la profundidad de desplante de la cimentación.

Los materiales menos favorables que se tendrán al nivel del desplante recomendado corresponden a materiales arcillosos poco limosos con escasa arena fina de resistencia media y baja compresibilidad, con un índice de resistencia a la penetración estándar media entre 5 y 26 golpes, por lo que los materiales sobre los que se desplantarán las zapatas que se proyecten construir tienen una cohesión variable entre 2.70 y 3.5 ton/m^2 y un ángulo de fricción interna variable entre 8 y 10°, un peso volumétrico promedio de 1.50 ton/m^3 , obtenidos de los resultados de las pruebas triaxiales no consolidadas no drenadas UU y de la compresión axial no confinada realizadas en las muestras cúbicas obtenidas, se obtuvo la capacidad de carga admisible para diseño para los materiales de apoyo de las zapatas **en condiciones estáticas de 13 ton/m^2 y de 15.6 ton/m^2 en condiciones dinámicas.**

Para zapata corrida desplantada a una profundidad de 1.90 m con respecto al nivel de piso terminado del edificio o bien 70 cm bajo el nivel de rodamiento de la vialidad o zona de andenes, se obtuvo **una capacidad de carga admisible en condiciones estáticas de 11 ton/m² y de 13 ton/m² en condiciones dinámicas.**

En el caso de los materiales naturales y resistentes corresponden a materiales arcillosos con escasa arena fina en estado compacto, con un índice de resistencia a la penetración estándar mayor a 50 golpes, por lo que los materiales sobre los que se desplantarán las zapatas que se proyecten construir tienen una cohesión variable de 7 ton/m² y un ángulo de fricción interna de 15°, un peso volumétrico promedio de 1.70 ton/m³, obtenidos de los resultados de las pruebas triaxiales no consolidadas no drenadas UU y de la compresión axial no confinada realizadas en las muestras cúbicas obtenidas, para los que se obtuvo la capacidad de carga admisible para diseño para los materiales de apoyo de las zapatas **en condiciones estáticas de 30 ton/m² y de 36 ton/m² en condiciones dinámicas.**

Sin embargo en el caso de que las cargas transmitidas por algunas estructuras exteriores resulten ser bajas podrá dimensionarse la cimentación con una capacidad de carga menor a la recomendada para obtener dimensiones de zapatas razonables, para cumplir satisfactoriamente la revisión del estado límite de falla (capacidad de carga) y el estado límite de servicio (asentamientos diferenciales).

5.1.2.- Dimensionamiento de las zapatas

Para el dimensionamiento de la cimentación se deberá tomar la carga que resulte mayor de las siguientes condiciones:

- *Condiciones estáticas*, que considera la combinación de cargas permanentes más carga viva con intensidad máxima más el peso de la cimentación, afectadas de un factor de carga.
- *Condiciones dinámicas*, que considera la combinación de cargas permanentes más carga viva con intensidad instantánea y acción accidental más crítica (incremento de carga provocada por el momento de volteo debido al sismo) más el peso de la cimentación, afectadas por un factor de carga.

En el caso de la combinación de cargas (en particular las que incluyan sollicitaciones sísmicas) que den lugar a excentricidades actuando a una distancia "e" del eje centroidal del cimientto, el ancho efectivo de éste deberá considerarse igual a:

$$B' = B - 2e$$

donde:

B': ancho reducido, en m.

B: ancho de la cimentación, en m.

e : excentricidad con respecto al centroide del área de cimentación.

5.1.3.- Estado límite de falla en condiciones estáticas

Considerando la combinación de cargas permanentes y cargas vivas con intensidad máxima, más el peso de la cimentación, afectadas por un factor de carga, deberá verificarse que la desigualdad siguiente se satisfaga

$$\frac{\Sigma Q F_c}{A} \leq R$$

donde:

ΣQ : suma de las acciones verticales a tomar en cuenta en la combinación considerada, en ton.

F_c : factor de carga, adimensional.

A : área de apoyo de la cimentación, en m

R : capacidad de carga admisible de los materiales que subyacen a la cimentación.

Una vez dimensionadas las zapatas se deberá satisfacer la condición anterior.

5.1.4.- Estado límite de falla en condiciones dinámicas

Considerando la combinación de cargas permanentes y cargas vivas con intensidad instantánea y acción accidental más crítica, el sismo, más el peso de la cimentación, afectadas por un factor de carga, deberá comprobarse que la desigualdad siguiente se satisfaga:

$$\frac{\Sigma Q F_c}{A} \leq R$$

donde:

ΣQ : suma de las acciones verticales a tomar en cuenta en la combinación considerada, en ton.

F_c : factor de carga, adimensional.

A : área de apoyo de la cimentación, en m²

R : capacidad de carga admisible de los materiales que subyacen a la cimentación.

Una vez dimensionadas las zapatas se deberá satisfacer la condición anterior

5.1.5.- Estado límite de servicio

Los asentamientos elásticos que sufrirán los materiales de apoyo de las zapatas de cimentación se calcularon aplicando el criterio de la Teoría de la Elasticidad dado por la siguiente expresión:

$$\delta = \{(1 - u^2) / E\} P B I_{\delta}$$

donde:

δ : deformación vertical, bajo el centro del área cargada, en m

u : relación de Poisson, adimensional

E : módulo de elasticidad del suelo de apoyo, en ton/m².

P : presión de contacto aplicada por las zapatas, en ton/m².

B : ancho de la zapata, en m.

I_{δ} : factor de forma adimensional que depende del punto en que se desee estimar el asentamiento, y la forma de la zapata.

Para calcular los asentamientos que sufrirán las estructuras a largo plazo por efecto de las deformaciones elásticas, que se provocarán en los materiales del subsuelo las sobrecargas impuestas por el proyecto, las que aplicarán una presión de contacto del orden de 3 ton/m², además considerando que el nivel de piso al nivel del andén se podrá empleará un terraplén, se consideró en el área cubierta por las estructuras una carga uniformemente distribuida de 3 ton/m² se recomienda que las trabes de cimentación tengan un peralte suficiente que darán lugar a la reducción a valores mínimos de los hundimientos diferenciales.

Se determinaron los asentamientos para diferentes anchos de zapatas desplantadas sobre un plataforma de mejoramiento, considerando una relación de Poisson de 0.45 y un módulo de elasticidad de los materiales de apoyo 1500 ton/m² (obtenidos de la correlación con las propiedades de otros materiales semejantes), obteniéndose asentamientos de 2.8 cm para zapatas corridas de 1.5 m de ancho y de 5.6 cm para zapatas aisladas de 3.0 m de lado, los cuales resultan admisibles.

5.2.- Proceso constructivo zapatas

A continuación se presenta el procedimiento constructivo para la excavación que alojará a las zapatas de cimentación.

1. Una vez construida la plataforma se procederá a la construcción de las zapatas.
2. Posteriormente se procederá a la excavación de las cepas que alojarán las zapatas, considerando un sobre ancho de 30 cm perimetrales a la base de la zapata, dejando taludes verticales.
3. Las excavaciones necesarias para alojar a las zapatas de cimentación se podrán hacer empleando maquinaria hasta 0.10 m arriba del nivel de máxima excavación, **el cual deberá considerar los 20 cm de mejoramiento con material inerte (arena**



poco limosa con gravas) y/o concreto fluido. La última capa se excavará a mano para evitar el remoldeo del material de apoyo.

4. Al alcanzar la profundidad máxima de excavación, se retirará todo el material suelto y se tenderá a la brevedad un mejoramiento de material inerte (arenas con gravas de 2" máximo) de 20 cm de espesor, colocado en una capa del mismo espesor, y debidamente compactadas al 95% de su peso volumétrico seco máximo según la prueba AASHTO estándar, o bien sobre un concreto fluido de 20 cm de espesor.

5. Deberá verificarse que al nivel de desplante recomendado no se tengan rellenos, en cuyo caso deberán eliminarse y sustituirse con tepetate compactado al 90% en capas de 15 cm de espesor.

6. Una vez terminada la construcción del mejoramiento, se colocará una plantilla de concreto pobre que proteja al material de alteraciones por el tránsito de trabajadores, o remoldeo y fisuramiento por pérdida de humedad.

7. Posteriormente, se procederá a colocar el armado y a colar las zapatas; una vez hecho esto, se rellenarán los aproches con material de banco, colocado en capas de 20 cm de espesor cada una, las que compactarán al 95% de su peso volumétrico seco máximo según la prueba AASHTO estándar.

5.3.- Empujes sobre los muros perimetrales

Tomando en cuenta las características estratigráficas y físicas de los materiales del subsuelo, así como las del proyecto, la determinación de los empujes a largo plazo sobre los muros perimetrales se realizó siguiendo las recomendaciones establecidas en el Manual de Diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad, bajo la condición de empuje de suelo en reposo y considerando los siguientes efectos:

+ La presión que ejerce la masa de suelo en condiciones de reposo, obtenida como el producto acumulado del peso volumétrico total, por los espesores en los que se considera el mismo valor, afectados por el coeficiente de presión de tierras en reposo.

+ La acción de una sobrecarga uniformemente repartida de 2 ton/m², actuando en un área contigua al muro, obteniéndose los esfuerzos inducidos bajo un punto en la parte media lateral del área, afectada por el coeficiente de presión de tierras en reposo.

+ Para tomar en cuenta las solicitaciones sísmicas, se determinó una componente horizontal expresada como el producto del peso de la masa de suelo potencialmente deslizante por un coeficiente sísmico de 0.14 (Zona de Lomas).

Una vez calculados los valores de los efectos, se superpusieron obteniéndose la envolvente de empujes horizontales totales que deberán ser considerados en el

diseño o revisión de los muros. En las figuras 73 a y 73 b se muestran los valores obtenidos en forma gráfica, los que deberán ser considerados en el diseño o revisión de los muros perimetrales cuando se tengan materiales de relleno controlado y cuando se tengan materiales naturales resistentes, respectivamente.

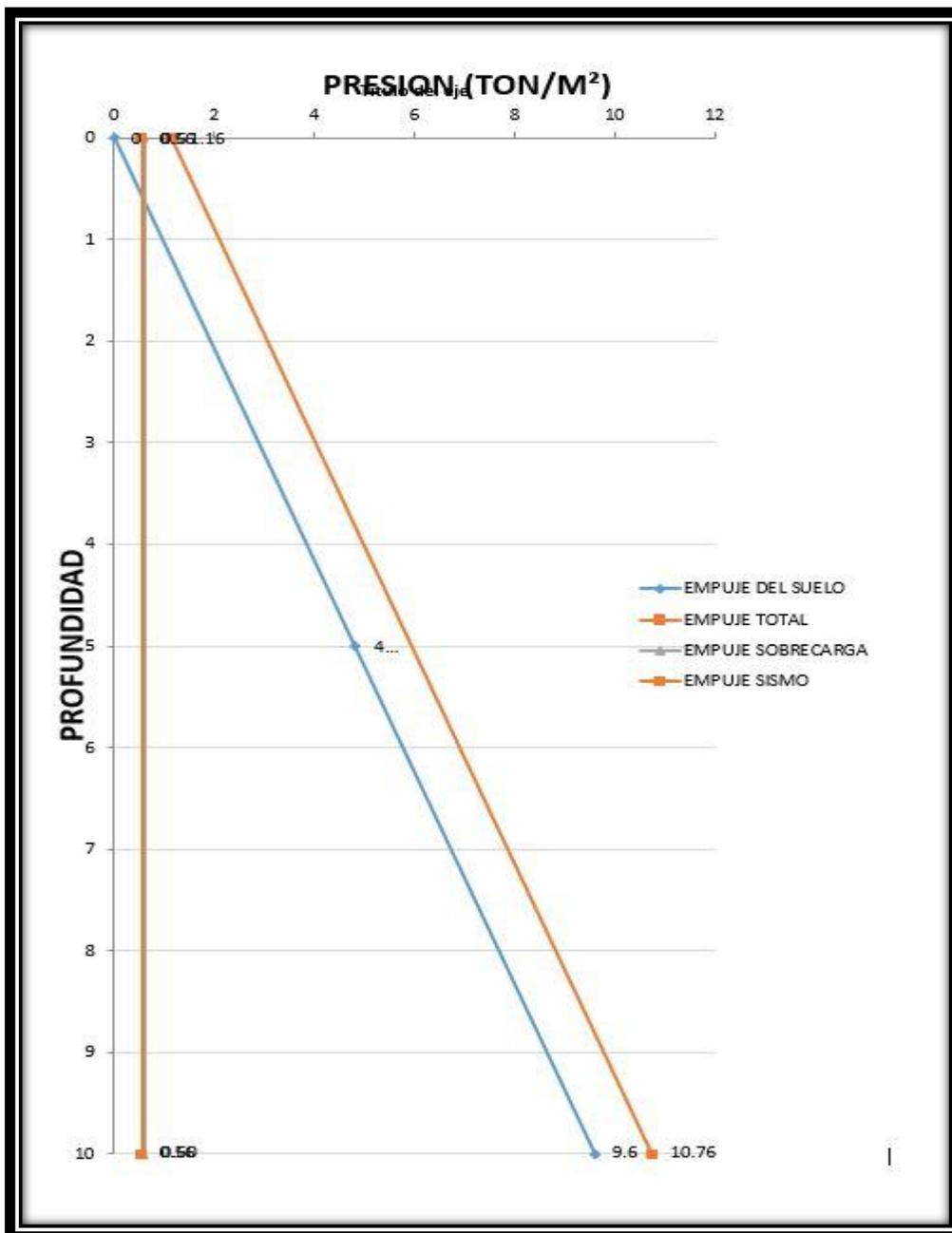


FIGURA 73 a.- EMPUJES SOBRE MUROS RÍGIDOS CON SOBRECARGA DE 2.0 ton/m² SOPORTAN MATERIALES DE RELLENO CONTROLADO

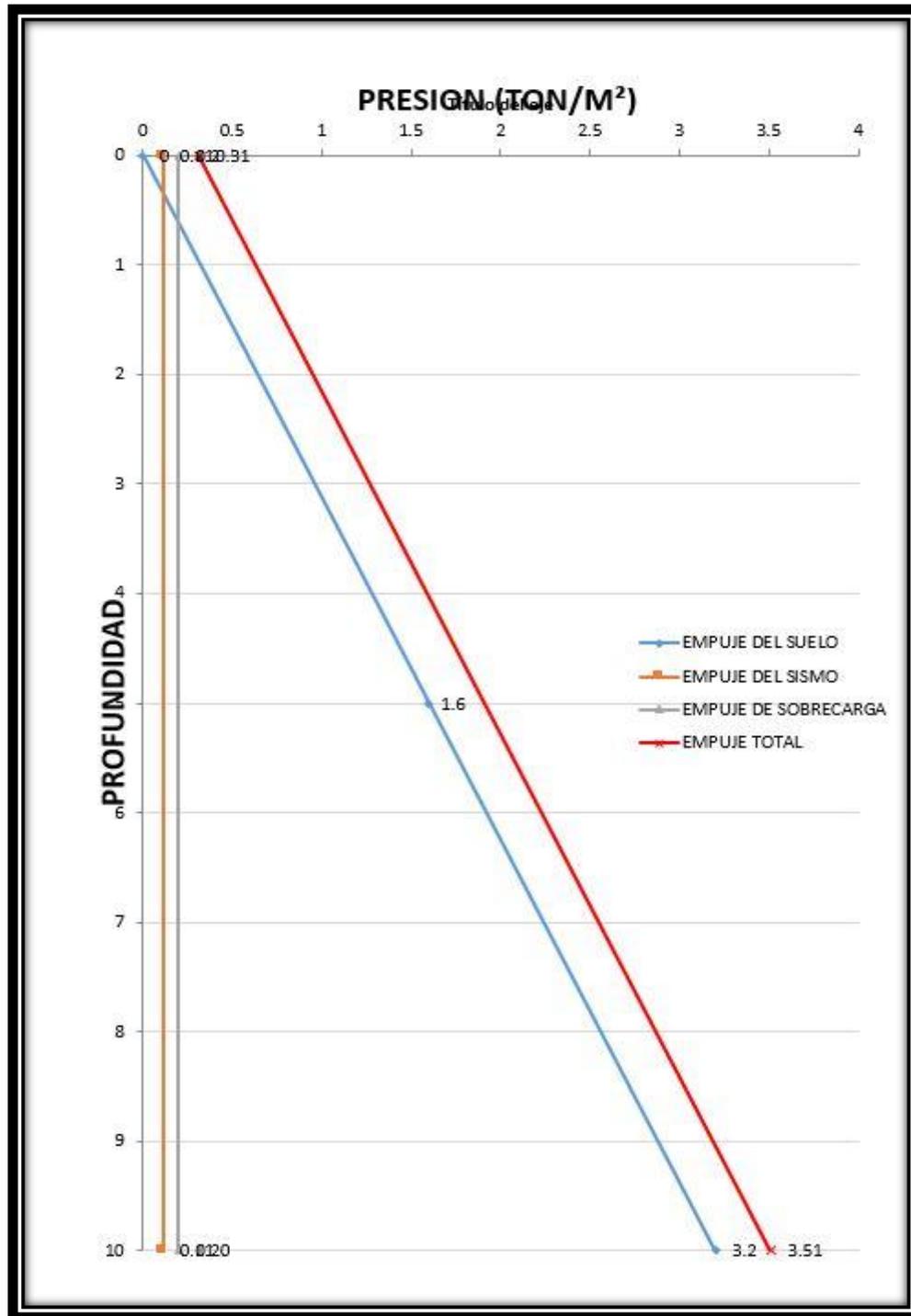
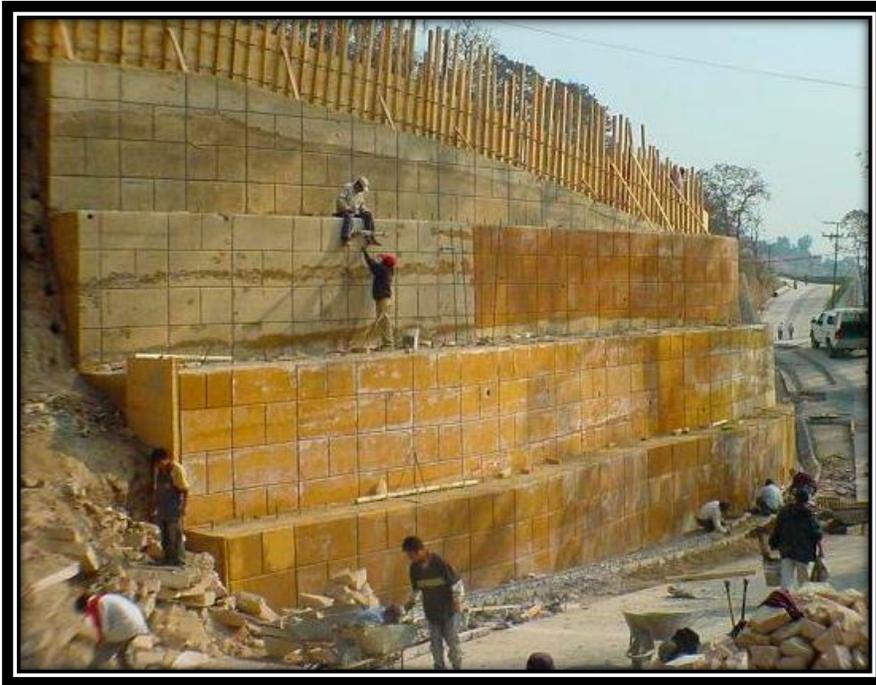


FIGURA 73 b- EMPUJES SOBRE MUROS RÍGIDOS CON SOBRECARGA DE 2.0 ton/m²
SOPORTAN MATERIALES NATURALES RESISTENTES

6.- ANALISIS DE MUROS DE CONTENCIÓN



MUROS DE CONTENCIÓN

6.1.- Alternativas de Muros de contención

De acuerdo con los requerimientos del proyecto, será necesario efectuar trabajos de corte y relleno controlado para la construcción de las distintas plataformas, por lo que se requerirá construir muros de contención en el interior del predio que permitan dejar desniveles entre las diferentes plataformas que se desarrollen, tomando en cuenta las pendientes topográficas existentes, y considerando la necesidad de compensar las zonas de corte con las de relleno, permitiendo restituir las zonas más bajas y desarrollar el área de vialidades que optimice la operación del complejo industrial por construir.

Con base en lo anterior, se proponen varias alternativas de muros de contención empleando el material del sitio como alternativa en algunos casos:

- Muro de suelo cemento (compactado),
- Muro de suelo cemento fluido,
- Muro de concreto fluido,
- Muro de tierra armada

Este último muro, de tipo mecanizado, requiere que los materiales que se coloquen en su respaldo tengan materiales con ángulos de fricción interna mínimo de 28 grados, conforme este parámetro tenga un valor más alto el sistema mecanizado resultará más económico.

Otra restricción de los sistemas mecanizados es que ***deberán evitarse hasta donde sea posible el paso del agua hacia el interior del muro***, razón por la cual deberá considerarse en esta alternativa construir en la parte superior del talud una capa de suelo cemento en una proporción 95-5% en peso respectivamente compactado al 100% de su PVSM AASHTO estándar.

Por otro lado el concreto fluido no requiere un control demasiado riguroso como el del suelo cemento, únicamente requiere que se controle la dosificación y que se le proporcione un ligero vibrado. Otra ventaja es que el suministro de los materiales del concreto es controlable, el proceso constructivo se hará por módulos con longitudes variables entre 5 y 10 m, ordenando la secuencia de construcción, de igual manera se controlarán las posibles grietas de tensión que se generen por contracción del concreto fluido al momento de su fraguado.

El muro de concreto fluido es básicamente un muro de gravedad, al cual se le puede recargar material de banco (tepetate) o del lugar, y cumple con el principio de estabilidad propia del muro, sin embargo en el caso de la tierra armada, ésta trabaja por fricción y los materiales que se requieren poner en su respaldo deberán ser de tipo friccionante que cumplan con el principio de su diseño, lo cual incrementa su costo con relación a los antes mencionados.

Para obtener un material con un ángulo de fricción interna es necesario estabilizarlo mediante la incorporación de un material inerte o pétreo, logrando así que se modifiquen las características de los suelos que tendrán un proceso de recompactación.

El mejoramiento anterior regularmente se hace en la sub-base, base y en carpetas asfálticas, pero en este caso es para emplearse como materiales que constituirán a sistemas de retención mecanizados.

6.2.- Alternativa de Muro de Suelo Cemento Compactado

Este elemento de contención es adecuado y económico frente a otros sistemas, ya que para su preparación se emplea el material del sitio y se mezcla con cemento para su construcción. (Ver figuras 74 y 75)

El paramento del muro de suelo cemento (cara exterior del muro) podrá ser inclinado o vertical.

En cualquiera de los dos casos, su construcción requerirá la colocación de un relleno controlado al límite del muro, aunque en este caso no necesariamente deba de ser suelo-cemento. Este relleno puede ser de material de banco y será de forma temporal para poder contener y compactar correctamente el suelo-cemento del muro, teniendo que recortarse posteriormente.

La geometría del muro está en función de que sea estable por capacidad de carga, por deslizamiento y por volteo, de tal forma que la colocación de este muro permita la colocación de un relleno controlado en su respaldo y permita restituir parte de un área que sea aprovechable para el proyecto.

La mezcla de suelo cemento se establece en una proporción 94-6% en relación a su peso, que equivale a dos bultos de cemento por cada metro cúbico de material. El suelo cemento deberá mezclarse adecuadamente homogenizando la mezcla en forma uniforme y posteriormente se colocará en capas compactadas de 20 cm de espesor y con una compactación del 100% de su P.V.S.M de acuerdo a la prueba AASHTO estándar.

A continuación, se establecen los lineamientos que deberán seguirse para su construcción:

Dosificación. Tentativamente se propone una dosificación del 6% de cemento, con relación al peso seco del material de relleno; este material de relleno deberá ser una arena limosa o un limo arenoso. Para precisar este porcentaje se deberán realizar las pruebas correspondientes para acreditar una resistencia a los 28 días de 20 kg/cm², garantizando así la resistencia del suelo-cemento contra el intemperismo. Se propone iniciar con 125 kg de cemento por metro cúbico de material.



Cemento. Se utilizará un cemento tipo I o puzolánico, que cumpla con la norma NOM C-1 o con la C-2 (dirección general de normas), respectivamente. La alternativa se propone para facilitar su adquisición.

Agua. Se usará agua limpia, exenta de sustancias que inhiban el fraguado de la mezcla y de sustancias que causen con el tiempo efectos deletéreos.

Mezcla de suelo-cemento. Se realizará con areno limosa o limo arenoso previo retiro de los fragmentos superiores a los 10 cm, compactando el material por capas de 30 cm de espesor, hasta alcanzar el 100% AASHTO estándar. El contenido de agua del material deberá corresponder con el óptimo, aceptando una variación máxima del 2%.

Preparación de la mezcla. La mezcla se preparará en el sitio, debiendo seleccionar un lugar adecuado para los volúmenes a colocar en cada jornada.

Designada el área de preparación se procederá de la siguiente forma:

- a) Cargar, acarrear y tender el material en el sitio de mezclado.
- b) Cuantificar el material tendido.
- c) Cuantificar la cantidad de cemento requerida para el volumen de mezcla a preparar, acarrear el cemento de las bodegas al sitio y colocarlo sobre la capa tendida, espaciando los sacos de manera uniforme.
- d) Mezclar el suelo con el cemento hasta que adquiera un color uniforme.
- e) Agregar agua a la mezcla, en la cantidad necesaria para alcanzar el contenido óptimo, cuidando de no exceder en más de un 2%. La cantidad de agua se determinará previamente mediante pruebas de laboratorio que indiquen el contenido de agua natural del suelo, a fin de calcular el volumen de agua a agregar.
- f) Mezclar de nuevo el material en forma continua hasta que adquiera un color uniforme y el agua se aprecie uniformemente distribuida. En este momento se considerará que la mezcla está preparada para su colocación.
- g) Se deberá preparar diariamente el volumen por colocar. No se permitirá su colocación después de 3 horas de haber mezclado el suelo con el cemento.

6.2.1.- Proceso Constructivo

La colocación de la mezcla suelo cemento se realizara de la siguiente forma:

- a) Tender el material en el área preparada, formando una capa sensiblemente horizontal y con el espesor suelto de 30 cm, para garantizar el grado de compactación 95% próctor estándar.
- b) Compactar la capa hasta alcanzar el 100% AASHTO estándar. Durante el proceso ninguna parte de la capa deberá permanecer sin compactación más de treinta minutos.
- c) Al terminar la compactación de una capa, ésta deberá escarificarse ligeramente, para evitar planos de deslizamiento horizontales, y permitir además la adherencia con la capa siguiente. Se inspeccionará la superficie para verificar la uniformidad de la compactación, y se efectuarán también calas para determinar el grado de compactación.
- d) La compactación y la escarificación deberán completarse en un lapso de 2 horas, contadas a partir del momento en que se tienda la mezcla.
- e) El ciclo de preparación-tendido-compactación-escarificación, deberá adecuarse con el lapso indicado en el inciso anterior, considerando también el correspondiente para realizar las calas de control.
- f) El espesor de la capa deberá supeditarse a la capacidad del equipo para compactar uniformemente en todo su espesor.

Curado. A terminar la compactación de una capa deberá efectuarse su curado mientras se prepara el material para la siguiente, ya sea por medio de riegos de agua o con algún otro procedimiento que se determine en obra, que permita realizarlo adecuadamente, tomando en cuenta el tiempo necesario para ello. Si se utiliza el riego deberá evitarse la erosión de la superficie y de los taludes.

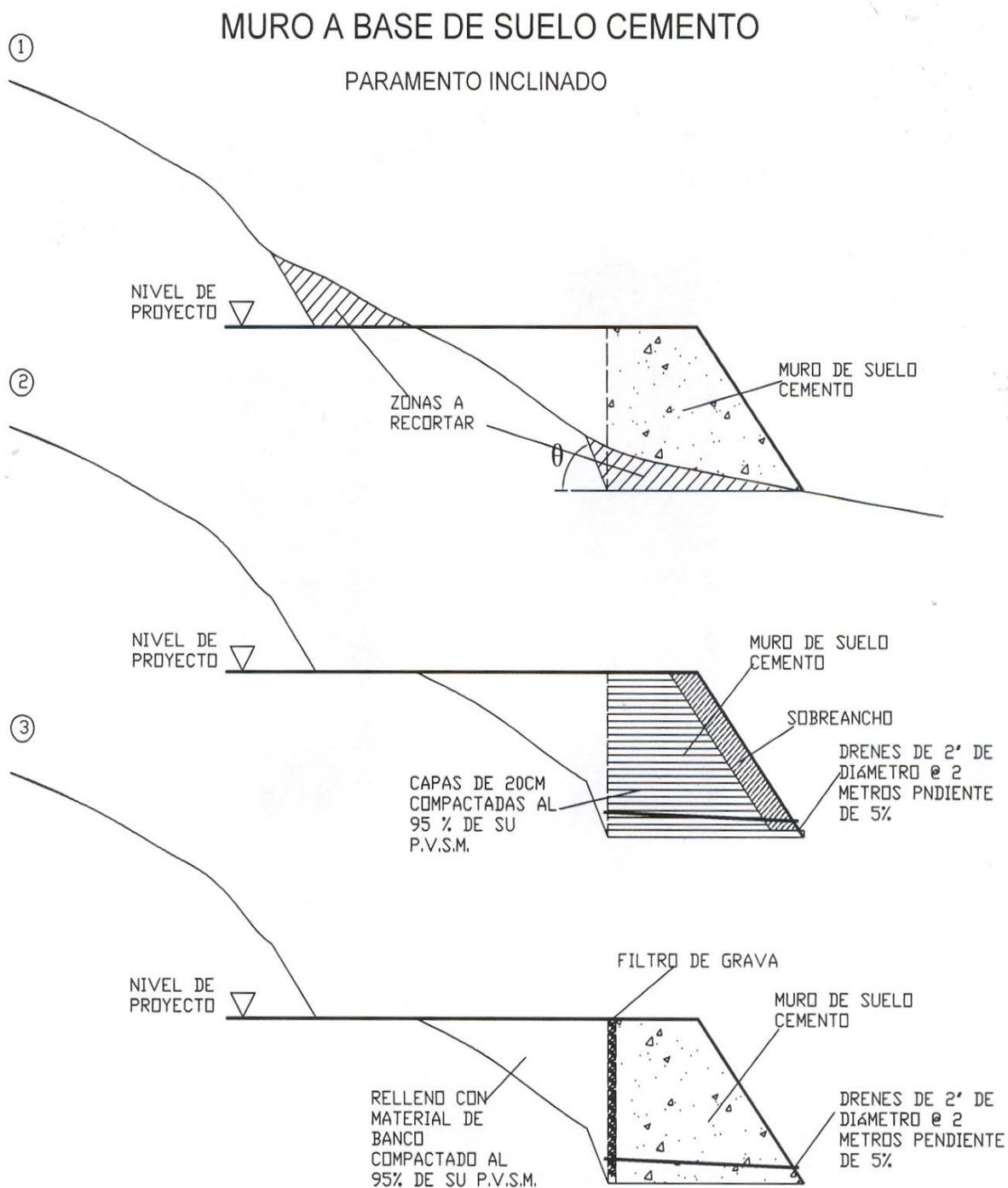


FIGURA 74. MURO DE SUELO CEMENTO COMPACTADO CON PARAMENTO INCLINADO

MURO A BASE DE SUELO CEMENTO

PARAMENTO VERTICAL

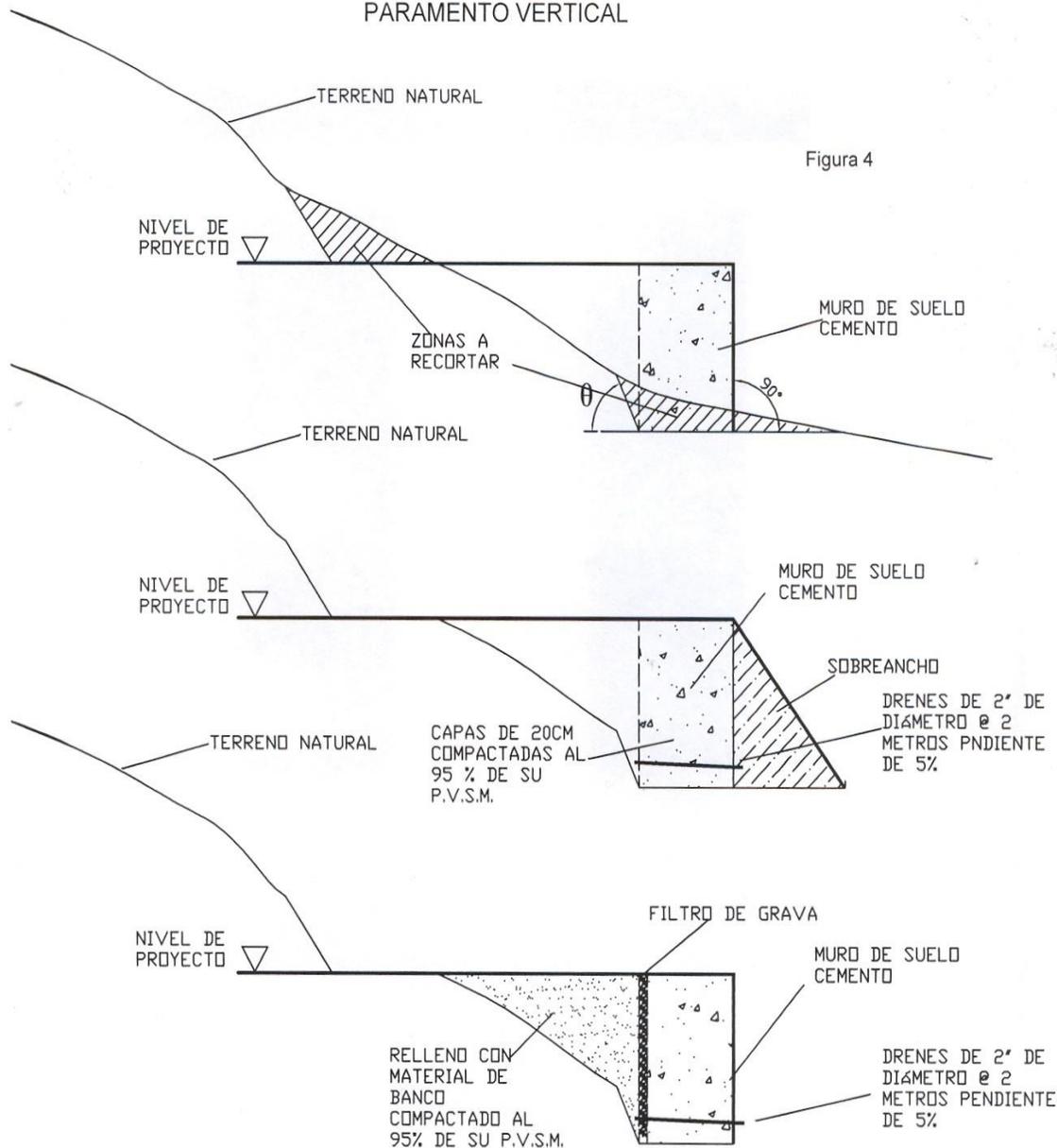


FIGURA 75. MURO DE SUELO CEMENTO COMPACTADO CON PARAMENTO VERTICAL

6.3.- Alternativa de Muro de Suelo Cemento Fluido

Este sistema de contención es equivalente al suelo cemento, sin embargo su construcción es más rápida, ya que al incorporarle agua, no requiere compactarse para su conformación, reduciendo el tiempo de construcción del muro a todo lo largo.

Cuando la mezcla de suelo cemento sea fluido, se establece que a la proporción 94-6% en relación a su peso, que equivale a dos bultos de cemento por cada metro cúbico de material, se le adicionará 50 litros de agua por cada metro cúbico, y se colocará en capas de 60 cm máximo cada 12 horas.

En el caso de que la mezcla de suelo-cemento fluido tuviera que ser bombeada se tendrá que contar con una criba para eliminar los terrones o boleos mayores de 2" de diámetro para evitar el tapado de la tubería de la bomba, lo cual se puede realizar colocando en un camión de volteo la criba para el suministro de material a la zona de mezcla.

A continuación, se establecen los lineamientos que deberán seguirse para su construcción:

Dosificación. Tentativamente se propone una dosificación del 6% de cemento, con relación al peso seco del material de relleno; este material de relleno deberá ser una arena limosa o un limo arenoso. Para precisar este porcentaje se deberán realizar las pruebas correspondientes para acreditar una resistencia a los 28 días de 20 kg/cm², garantizando así la resistencia del suelo-cemento contra el intemperismo. Se propone 125 kg de cemento por metro cúbico de material.

Cemento. Se utilizará un cemento tipo I o puzolánico, que cumpla con la norma NOM C-1 o con la C-2 (dirección general de normas), respectivamente. La alternativa se propone para facilitar su adquisición.

Agua. Se usará agua limpia, exenta de sustancias que inhiban el fraguado de la mezcla y de sustancias que causen con el tiempo efectos deletéreos.

Mezcla de suelo-cemento para el relleno fluido. Se realizará con arena limosa o limo arenoso previo retiro de los fragmentos superiores a los 5 cm, mezclando el material hasta obtener una coloración uniforme, después se adicionará el cemento y se continuará con el mezclado hasta alcanzar nuevamente un color uniforme, Para finalmente adicionar el agua necesaria (50 litros de agua por cada metro cúbico). El revenimiento que se deberá manejar será de 12 cm.

Preparación de la mezcla. La mezcla se preparará en el sitio, debiendo seleccionar un lugar adecuado para los volúmenes a colocar en cada jornada. Elegido el sitio se procederá como sigue:

- a) Cargar, acarrear y tender el material en el sitio de mezclado.
- b) Cuantificar el material tendido.
- c) Cuantificar la cantidad de cemento requerida para el volumen de mezcla a preparar, acarrear el cemento de las bodegas al sitio y colocarlo cerca de los trompos de mezclado.
- d) Mezclar el suelo con el cemento hasta que adquiera un color uniforme.
- e) Agregar agua a la mezcla, en la cantidad necesaria para alcanzar el revenimiento de 12 cm.
- f) Mezclar de nuevo el material en forma continua hasta que adquiera un color uniforme y el agua se aprecie uniformemente distribuida. En este momento se considerará que la mezcla está preparada para su colocación.
- g) Se deberá preparar diariamente el volumen por colocar. No se permitirá su colocación después de 3 horas de haber mezclado el suelo con el cemento.

6.3.1.- Proceso Constructivo

La colocación de la mezcla suelo cemento se realizara de la siguiente forma:

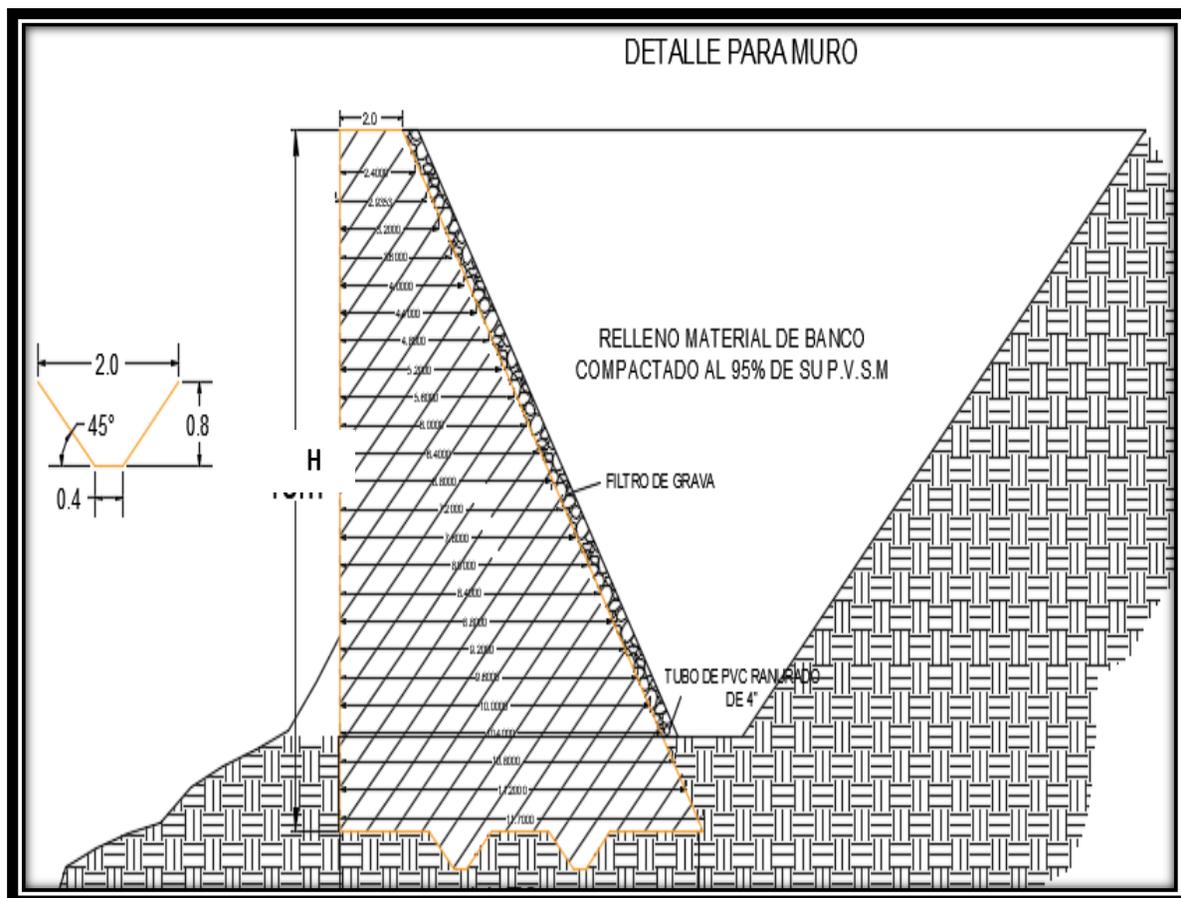
- a) Se vaciará uniformemente el material en el área delimitada por la cimbra; la superficie deberá estar ligeramente escarificada y con una contrapendiente del 5%; con ayuda de las palas y cucharas se esparcirá el material en el área, formando una capa sensiblemente horizontal y con el espesor especificado (60cm máximo).
- b) Una vez que haya alcanzado algo de resistencia la capa se escarificará, realizándolo con el caminar de los trabajadores, lo que evitará planos de deslizamiento horizontales, y permitir además la adherencia con la capa siguiente.
- c) El ciclo de preparación-tendido-escarificación, deberá adecuarse para llevarlo a cabo en un lapso de 3 hrs.

Curado. Al terminar el vaciado de una capa deberá efectuarse su curado mientras se prepara el material para la siguiente, ya sea por medio de riegos de agua o con algún otro procedimiento que se determine en obra, que permita realizarlo adecuadamente, tomando en cuenta el tiempo necesario para ello. Si se utiliza el riego deberá evitarse la erosión de la superficie y de los taludes.

6.4.- Alternativa de Muro de Contención con Concreto Fluido

El empleo de este elemento es adecuado para emplear los materiales del lugar en su respaldo y restituir parte de un área que permita incrementar el área utilizable para las naves industriales y vialidades que darán servicio, sin embargo deberá controlarse su granulometría, su módulo de elasticidad y su resistencia para que sean semejantes en toda la longitud que se restituya.

Este muro se construirá dejando una cara vertical hacia el exterior, y con un escarpio hacia el interior del terreno.



EL DISEÑO DEL MURO TAMEZ DEBERÁ TENER UNA BASE IGUAL A 0.8 DE LA ALTURA CONTADA A PARTIR DE SU DESPLANTE

La geometría del muro esta propuesta en función de que sea estable por capacidad de carga, por deslizamiento y por volteo, de tal forma que la colocación de este muro permita la colocación de un relleno controlado en su respaldo y permita restituir parte de un área que sea aprovechable para el proyecto.

A continuación se presenta el proporcionamiento para la elaboración de concreto fluido que puede emplearse para la construcción del Muro de Concreto Fluido $f'c=45$ kg/cm², revenimiento de 16 cm y tamaño máximo de agregado de 10 mm.

6.4.1.- Procedimiento constructivo del muro de concreto fluido

A continuación se presenta el proceso constructivo para la construcción del muro de concreto fluido

- 1.- La zona donde se desplantará el muro deberá sobre material natural resistente, y estar limpia, libre de suelo vegetal, rellenos de mala calidad y/o materiales sueltos o blandos que sean incapaces de soportar de forma correcta el peso del muro.
- 2.- Se deberá tener una superficie totalmente plana para el desplante del muro. En caso de ser necesario se realizaran cortes de material natural que impidan esta condición.
- 3.- El colado del muro se realizará como máximo en módulos de 0.61 m de altura por 9.76m de largo, con un ancho dependiendo del diseño del mismo (Base de muro).
- 4.- Se colarán módulos alternados, esperando por lo menos 24 hrs. de fraguado inicial para poder continuar colando los módulos subsecuentes, hasta llegar al nivel de proyecto.
- 5.- Intercalados en la primera capa, se colocarán tubos de PVC de 2" de diámetro con una longitud tal que atraviesen todo el ancho del muro, espaciados a cada 2 m en el sentido horizontal a lo largo de todo el muro, como se observa en la figura de abajo.
- 6.- Se colocará un filtro de grava detrás del muro que permita el paso del agua hacia la parte baja y sea desalojada por medio de un dren principal colocado en el fondo del mismo como se observa en la figura anterior. De igual manera para evitar el deslizamiento del muro, será conveniente considerar la hechura de dos dentellones en la base como se muestra en la figura anterior.

6.5.- Alternativa de Muro de Contención Mecánicamente Estabilizado

Los muros de tierra armada o cualquier sistema mecanizado son sistemas en los cuales se utilizan materiales térreos como elementos de construcción.

La tierra armada es una asociación de tierra y elemento lineales capaces de soportar fuerzas de tensión importantes; estos últimos elementos suelen ser tiras metálicas o de plástico. El esfuerzo de tales tiras da al conjunto una resistencia de

tensión a la que el suelo carece en sí mismo, con la ventaja adicional de la que la masa puede reforzarse única o principalmente en la dirección más conveniente. La fuente de esta resistencia a la tensión es la fricción interna del suelo debido a que las fuerzas que se producen en las masa se trasfiere del suelo a las tiras de refuerzo de fricción. Al momento del estudio se realizan los siguientes análisis:

Análisis de estabilidad interna:

- ✓ Verificación de las características de relleno (granulometría y resistividad eléctrica del material de relleno para el caso de armaduras metálicas).
- ✓ Diseño y distribución de armaduras para que resistan los esfuerzos a tensión; así como una longitud de adherencia suficientemente para evitar el deslizamiento de las mismas.

Análisis de estabilidad externa:

- ✓ Análisis para evitar un deslizamiento o volteo del macizo.

La realización del proyecto y diseño estará a cargo de la contratista que tenga la patente y se dividen en tres niveles:

- Estudio de viabilidad: posibilidad de emplear el sistema, examen de datos geotécnicos, geofísicos e hidrológicos, impedimentos físicos e hidrológicos, impedimentos físicos, integridad y conservación del entorno.
- Diseño de las obras: dimensionamiento, requisitos de montajes, integración con el resto de las estructuras.
- Construcción: fabricación y suministro de material, asistencia técnica asesoría y apoyo durante su ejecución.

6.5.1.- Proceso constructivo

- I. Se coloca una primera hilera de escamas prefabricadas, con la ayuda de una grúa ligera, sobre una plantilla de concreto nivelado.
- II. Se coloca la primera capa de terreno, se compacta en su zona central con equipo pesado y, en la orilla con equipo manual.
- III. **Tierra armada:** Armaduras de acero galvanizado colocadas de manera perpendicular al paramento unidas a este por medio de un arranque y un tornillo.

Ventajas:

- ✓ Economía.
- ✓ Mayor vida útil en servicio.
- ✓ Sencillez: Sólo se necesita maquinaria para el movimiento de tierras e izaje de las escamas.



- ✓ Rapidez de ejecución: Las piezas son prefabricadas por lo que el periodo de instalación es fácil de programar.
- ✓ Limpieza: No requiere andamios, ni excavación profunda.
- ✓ Preservación del lugar de la obra.
- ✓ Adaptabilidad a terrenos difíciles, espacios restringidos, formas angulares o curvas
- ✓ Excelente comportamiento en diversas situaciones geotécnicas y ante los fenómenos naturales, como terremotos, huracanes, tormentas, heladas, incendios, etc.
- ✓ Disminución de esfuerzos transmitidos al terreno lo que permite realizar estructuras en terrenos de baja resistencia.
- ✓ Gran resistencia a los esfuerzos estáticos y dinámicos.
- ✓ Estética: Las escamas pueden tener distintos acabados para integrarse al paisaje o la arquitectura local.

Como nota adicional y que debe tomarse en cuenta, es que el desplante del muro de contención cualquiera que sea la alternativa seleccionada, deberá tener un desplante mínimo de metro y medio por debajo del nivel más bajo que se tenga en el terreno.

7.- Análisis de Estabilidad de Taludes

A continuación se presentan los criterios y análisis realizados para determinar la estabilidad de los taludes proyectados, y de acuerdo al factor de seguridad que guardan se establecerá si se requiere implementar un sistema de anclaje que incremente su seguridad y se garantice su estabilidad a largo plazo.

Considerando que los materiales del lugar tienen una constitución muy homogénea en cuanto al tipo de materiales que son predominantemente cohesivos-friccionantes, formados por arcillas limosas, con diferentes porcentajes de arenas; tienen una consistencia variable entre firme y dura, y tomando en cuenta que los taludes entre plataformas tendrán alturas variables entre 2 y 8 m (se definirá en proyecto), se establece que los materiales en la cara del talud están expuestos al intemperismo, por lo que se recomienda que sean protegidos mediante un concreto lanzado aplicado sobre una malla electrosoldada, y complementado con drenes o lloraderos que eviten la acumulación de agua en su respaldo, y el elemento de retención que se deberá implementar serán anclas de fricción postensadas, donde el número de anclas, separación entre ellas horizontal y vertical, longitud activa, capacidad de carga, número de torones, dependerá de la pendiente que se le requiera dar y del tipo de materiales que conformen al talud.

El mecanismo de falla general que tiene más probabilidad de ocurrir en este tipo de materiales es el de rotación a lo largo de la superficie de falla cilíndrica o de deslizamiento sobre superficies casi planas ubicadas en la proximidad de la superficie del talud.

De acuerdo al proyecto arquitectónico será necesario efectuar cortes y rellenos para la construcción de las distintas plataformas. La excavación se efectuara en los materiales resistentes de depósito natural del lugar se realizaran dejando un talud 0.8:1.0 (horizontal: vertical), para él que tendrá un factor de seguridad mayor de 1.5, sin embargo si se requiere un talud más vertical con pendiente 0.5:1.0 (horizontal: vertical) se requerirá por lo menos la colocación de un par de cinturones de anclas, si el talud tiene que alcanzar una pendiente 0.25:1.0 (horizontal: vertical), equivalente a un talud de 75 grados o incluso que quede totalmente vertical a largo plazo será necesario anclarlo en su totalidad para incrementar el factor de seguridad, lo que implica la colocación de anclas de fricción con una separación a cada 2.5 m entre sí en los dos primeros cinturones y a cada 3 m en los subsecuentes, y con una longitud activa variable (longitud del bulbo) que depende de la altura del talud y de la sobrecarga considerada, que en este caso se consideró de 2 ton/m².

La inclinación de los taludes propuestos se establece con el objeto de tener un factor de seguridad adecuado y que su corte resulte lo más económico.

Considerando las características del talud en cuanto a los materiales que lo constituyen, a su altura e inclinación, se determina el espesor del concreto lanzado en cual puede variar entre 6 y 10 cm, el refuerzo de malla electrosoldada se coloca una por cada 5 cm de concreto lanzado, la longitud y distribución de las anclas como se comentó dependerá de la pendiente que se le deje al proyecto y que más le convenga al mismo por espacios, y el procedimiento constructivo de todo el sistema se efectuara por módulos.

Con base en lo anterior, se establece que la colocación del concreto lanzado para protección de los taludes podrá ser resuelta de la siguiente manera:

- Zonas con Sistema de Anclaje

Para los taludes donde se tengan materiales resistentes y se requiera implementar el sistema de anclaje, el espesor de concreto lanzado deberá ser de 6 cm, el cual se aplicara sobre una malla electrosoldada 6x6/6-6, anclada a la cara del talud mediante varillas de 1/2" y 0.30m de longitud en una retícula de 1.5 x 1.5 m.

Para los taludes donde se tengan materiales arcillosos de consistencia media o materiales de banco compactados y se requiera implementar el sistema de anclaje, el espesor de concreto lanzado deberá ser de 10 cm, el cual se aplicara sobre una doble malla electrosoldada 6x6/6-6, anclada a la cara del talud mediante varillas de 1/2" y 0.80m de longitud en una retícula de 1.5 x 1.5 m.

El espesor de 6 y 10 cm deberá de aplicarse por arriba del punto de aplicación del primer cinturón y por debajo del cinturón inferior, a manera de cubrir el área de reacción del sistema de anclaje, adicionalmente se deberá considerar un recubrimiento de 30 cm en la corona del talud de 6 cm de espesor.

La distribución, número y capacidad de las anclas, será tal que la presión aplicada a los materiales expuestos del talud por el muro de concreto lanzado al que se sujetan incrementa la resistencia al esfuerzo cortante en la superficie potencial de falla a un valor que de por resultado un factor de seguridad admisible para las condiciones de trabajo del talud.

Adicionalmente, sobre toda el superficie cubierta por la protección antes descrita, se deberá colocar una retícula de drenes cortos de PVC de 2" de diámetro y 30 cm de longitud envueltos por un geotextil o malla tipo mosquitero, para evitar que el agua que se infiltre se acumule en el respaldo del concreto lanzado y se produzca un falla del concreto, dado que no está diseñado para soportar empujes hidrostáticos. La distribución de los drenes se colocara a cada 2.0 m en ambas direcciones sobre todo el cuerpo del talud y con una pendiente del 5% de forma descendente.

La estabilización de los taludes deberá llevarse a cabo conforme progresa el corte entre plataformas.

- Zonas sin Sistema de Anclaje

En las zonas donde no se colocara un sistema de anclaje, son aquellas donde los materiales son resistentes y tienen una pendiente adecuada 1.0:1.0 (horizontal: vertical), aunado a que no hay sobrecarga en la corona del talud, solo se requerirá de cubrir la superficie de los taludes con un espesor de concreto lanzado de 5 cm, aplicado sobre una malla electrosoldada 6x6/6-6 anclada al talud mediante varillas de 1/2" y 0.30 m de longitud con una distribución de 1.5 x 1.5 m.

Adicionalmente, sobre toda el superficie cubierta por la protección antes descrita, se deberá colocar una retícula de drenes cortos de PVC de 2" de diámetro y 30 cm de longitud envueltos por un geotextil o malla tipo mosquitero, para evitar que el agua que se infiltre se acumule en el respaldo del concreto lanzado y se produzca un falla del concreto, dado que no está diseñado para soportar empujes hidrostáticos. La distribución de los drenes se colocara a cada 2.0 m en ambas direcciones sobre todo el cuerpo del talud y con una pendiente del 5% de forma descendente.

7.1.- Especificaciones y procedimiento de construcción del sistema de anclaje

Se realizaran perforaciones de los barrenos con longitudes variables e inclinación de 10 grados con respecto a la horizontal, con perforadoras de rotomartillo neumático, el diámetro real de la perforación variará entre 4" (10 cm) y 4 1/2" dependiendo del número de torones, para el desalojo del material de corte dentro de la perforación se utilizará aire a presión.

Cuando se alcance la longitud de proyecto se verificará que el barreno no se haya bloqueado. Si hubiera caídos se introducirá nuevamente la tubería de la perforación y se aplicará una lechada de agua-cemento que permita estabilizar las paredes del barreno y se efectúa su reperfuración.

Una vez que la perforación se encuentre limpia se coloca en su interior el tensor, para lo cual a la parte inicial del ancla, se fijará una cabeza punta de bala con el fin que al introducir el ancla en el barreno las puntas de los torones no se atoren en la perforación ni generen caídos durante la instalación. El tensor se fijará al suelo mediante la inyección a presión de lechada de cemento.

Tan pronto se concluya la perforación se introduzca el tensor, se inyectará el ancla, obturando la boca del barreno para uniformizar la presión de inyección. La mezcla a inyectar consistirá de una lechada compuesta con agua-cemento, en proporción 1:1.5, respectivamente.



El agua a utilizar será limpia y debe mezclarse perfectamente con el cemento para disolver todos los grumos y obtener una mezcla homogénea: una vez logrado esto, se colocará una lechada en el recipiente de la bomba de inyección.

Para efectuar la inyección se empleará una bomba de propulsión o neumática que tenga un rendimiento tal que permita inyectar con economía y eficiencia el volumen de lechada que requieren las anclas. La inyección se deberá realizar a una presión de 10 Kg/cm² en la siguiente forma:

- a) Adaptar la manguera de la bomba a al tensor, iniciando la inyección desde el fondo de la perforación.
- b) Accionar la válvula de salida de la bomba para iniciar la inyección, verificando mediante manómetro, que la presión no sea menor que el valor especificado.
- c) Debido a las características granulométricas de los materiales que alojarán los tensores, el volumen de inyección es posible que tenga un sobre volumen por la posible existencia de algunas fisuras en el terreno dentro de su masa lo cual será verificado en campo al momento de la perforación, por lo que al detectarse alguna fuga en el proceso de inyección y en función del volumen vaciado se evaluará en qué momento se suspenderá la inyección.

La pérdida de lechada en algunos casos puede ser tan importante que aun inyectando una gran cantidad de lechada en una vez, no se cubra la totalidad del tensor en su longitud adherente (bulbo), necesario para que el ancla adquiera capacidad de proyecto.

De ocurrir lo anterior el procedimiento de inyección se hará por etapas, la primera se suspenderá una vez que se detecte la pérdida de lechada en base al volumen inyectado, limpiando el orificio central de las barras, inyectando aire y agua para su completa limpieza, dejando listo para una inyección posterior, una vez que la lechada inyectada inicialmente haya fraguado.

De ocurrir el mismo problema en una segunda inyección se aplicará el mismo procedimiento. Como medida complementaria tendiente a lograr una completa inyección del barreno, se introducirá una manguera secundaria a este junto a la barra de perforación, hasta la profundidad del bulbo (longitud del ancla) y se inyectará a través de ella si se presentan problemas de inyección a través del orificio de la manguera de inyección en el área central del tensor.

Deberá considerarse un apoyo en el punto de aplicación de la carga, mediante una placa de 1" o de 1 ¼" de espesor de 25 cm por 25 cm lo que dependerá de la capacidad de tensión del ancla, y que quede ortogonal a la trayectoria del ancla para su tensado, y la distribución con respecto a la superficie del talud será reticular a cada 3 m en los dos sentidos (horizontal y vertical), iniciando generalmente a 1.5 m a partir de la corona del talud.

Con objeto de garantizar la adecuada capacidad de las anclas, será necesario verificar la resistencia de la lechada empleada, para ello se deberá tomar, cuando menos, una muestra de cada 5 anclas inyectadas. Cada muestra consistirá en 3 probetas, las cuales se probarán a edades de 1, 3 y 7 días; cada muestra deberá acompañarse de datos de fecha y localización en que se emplea la lechada. Para considerar adecuada la lechada empleada, la resistencia a la compresión a los 7 días de edad, no deberá ser menor a 100 Kg/cm², la relación agua-cemento podrá variarse para satisfacer este requisito.

7.2.- Tensión y longitud de anclas

En el análisis se consideró que la longitud activa de las anclas se encontrara por detrás de las zonas de posible deslizamiento.

El ancla transfiere su carga al suelo a través de la resistencia friccionante entre el interface ancla-suelo; Broms (1968) y Littlejohn (1970) establecieron la siguiente ecuación para estimar la carga por fricción.

$$P = (c + P_i \tan \phi) D_a L_a \pi F_R$$

donde:

P : capacidad del ancla, en ton.

P_i : presión de inyección de la lechada , 10 Kg/cm²

D_a : diámetro de cuerpo del ancla, igual a 10 cm

L_a : longitud del ancla, en m

φ : ángulo de fricción interna del suelo en el que se instalará el ancla.

π: 3.1416

F_R: factor de reducción igual a 0.5

La carga de tensión que se realiza en cada una de las anclas y el método de aplicación de la carga será el siguiente:

- Se aplicara la tensión en incrementos de 25% de la tensión de proyecto, hasta alcanzar el 110% de la tensión de diseño.
- Se mantendrá esta tensión por 5 minutos, después se descargara totalmente.
- Se volverán a tensar las anclas en incrementos del 25% de la tensión de proyecto, hasta alcanzar esta, y se sujetará el ancla a la estructura de repartición.

7.3.- Secuela de procedimiento constructivo del anclaje

Una vez perfilado el talud a la pendiente correspondiente y alcanzado el primer nivel de anclaje, se procederá a perfilar una caja de 20 cm de profundidad y dimensiones de 1.0 x 1.0 m, y cuyo centro coincida con el punto de aplicación del ancla.



En las cajas labradas donde se tendrá el punto de aplicación del ancla se deberán colocar una parrilla de varillas 3/8" a cada 15 cm en las dos direcciones con dimensiones semejantes a la de la caja labrada y mencionada anteriormente, y en toda el área del talud ya perfilado con la pendiente del proyecto se colocara un concreto lanzado entre 6 y 10 cm de espesor reforzado con malla electrosoldada 6x6/6-6, el espesor dependerá de la pendiente del talud y el tipo de material que lo conforme, en el que el ancla atravesará la placa de concreto lanzado se dejaran unos tramos de tubo de PVC de 5" de diámetro a través de los cuales se efectuarán las perforaciones en que se instalarán las anclas.

Se aplica una capa de concreto lanzado entre 6 y 10 cm de espesor y en el punto de aplicación se colocará un sobre espesor de 20 cm más.

A continuación se realizan las perforaciones en que se instalarán las anclas, atravesando el muro de concreto lanzado en los sitios en que se dejaron las preparaciones para tal motivo. Siguiendo el proceso de perforación, introducción del tensor, inyección y tensado de las anclas que se indicaron anteriormente.

Una vez tensadas las anclas correspondientes al primer nivel de anclaje se procederá con el perfilado del talud hasta el nivel de la siguiente línea de anclaje, procediendo enseguida a la colocación del lanzado de concreto, a la instalación y tensado de las anclas del segundo nivel, en forma semejante a lo realizado para el primer nivel de anclaje.

Las anclas preliminarmente serán del tipo de fricción, tendrán un tensor constituido por un paquete de cuatro de 0.5" de diámetro, de alta resistencia, para una capacidad de carga de 40 tons.

Cuando el talud tenga una altura de 5 m se colocará un solo nivel de anclaje, es decir el primer cinturón con las características antes mencionadas, y cuando los cortes tengan una altura inferior a 2 metros únicamente se dejará un talud a 63.5° grados y protegerlo contra intemperismo, dejando lloraderos de tubo de PVC de 2" de diámetro.

Cuando las alturas de los cortes sean inferiores a un metro se podrán dejar taludes con inclinación de 70 grados o incluso se podrá construir un murete de concreto armado.

Durante la excavación, conformación y anclado de los taludes un ingeniero especialista de Mecánica de Suelos, deberá verificar que las características de los materiales corresponden a los considerados en los análisis y en caso necesario de acuerdo al comportamiento de los taludes y de los materiales encontrados, establecer los ajustes o modificaciones al procedimiento de excavación y retención propuestas.

8.- DISEÑO DE PAVIMENTOS

Con base en la exploración superficial realizada, mediante pozos a cielo abierto, se establece que la superficie del terreno se encuentra constituida por materiales arcillosos con abundantes raíces (capa vegetal) y rellenos de mala calidad a profundidades variables entre 0.40 y 2.20 m de espesor, por lo que en la zona más baja del terreno será necesario efectuar un recorte superficial mínimo de 1.0 m de espesor en toda la superficie del terreno, para retirar la capa de suelo vegetal y materiales arcillosos de alta plasticidad y baja resistencia, y colocar un pedraplen de 40 cm de espesor, mediante la colocación de dos capas de pedraplen de 20 cm cada una debidamente bandeadas, con un tamaño máximo de 4 pulgadas de diámetro, en el resto del área analizada se deberá despallar toda la capa vegetal existente superficialmente con un promedio de 60 cm, y en la parte central del predio y hacia el norte se detectaron materiales de relleno de mala calidad que deberán ser retirados de la obra a donde lo indique la dirección de obra, debiéndose profundizar hasta donde sea necesario para construir la plataforma de mejoramiento sobre la cual se apoyaran los pavimentos de tipo rígido como de tipo flexible.

A continuación se presentan las secciones más adecuadas que deberán implementarse para las losas de concreto hidráulico y carpeta asfáltica.

8.1.- Piso de concreto hidráulico para las Naves Industriales

Los vehículos de mayor peso que circularán por el piso y para la cual fue efectuado el diseño, corresponden a una sobrecarga de 1.5 ton/m^2 . La carga más crítica transmitida al piso corresponde al eje sencillo, a la que se agrega la carga que soporta el piso con un peso máximo de 3 ton/m^2 .

Utilizando el nomograma de diseño para ejes sencillos, en donde se entra con un módulo de ruptura o de resistencia a tensión en flexión permisible del concreto, con el módulo de reacción del material de apoyo de la losa de concreto, y una carga de diseño, se obtuvo un espesor de la losa de concreto que formará el piso de 18cm, que se apoyará sobre una base de materiales de 20 cm de espesor con las especificaciones que se indican en el inciso 9.8.2. (Ver figura 76)

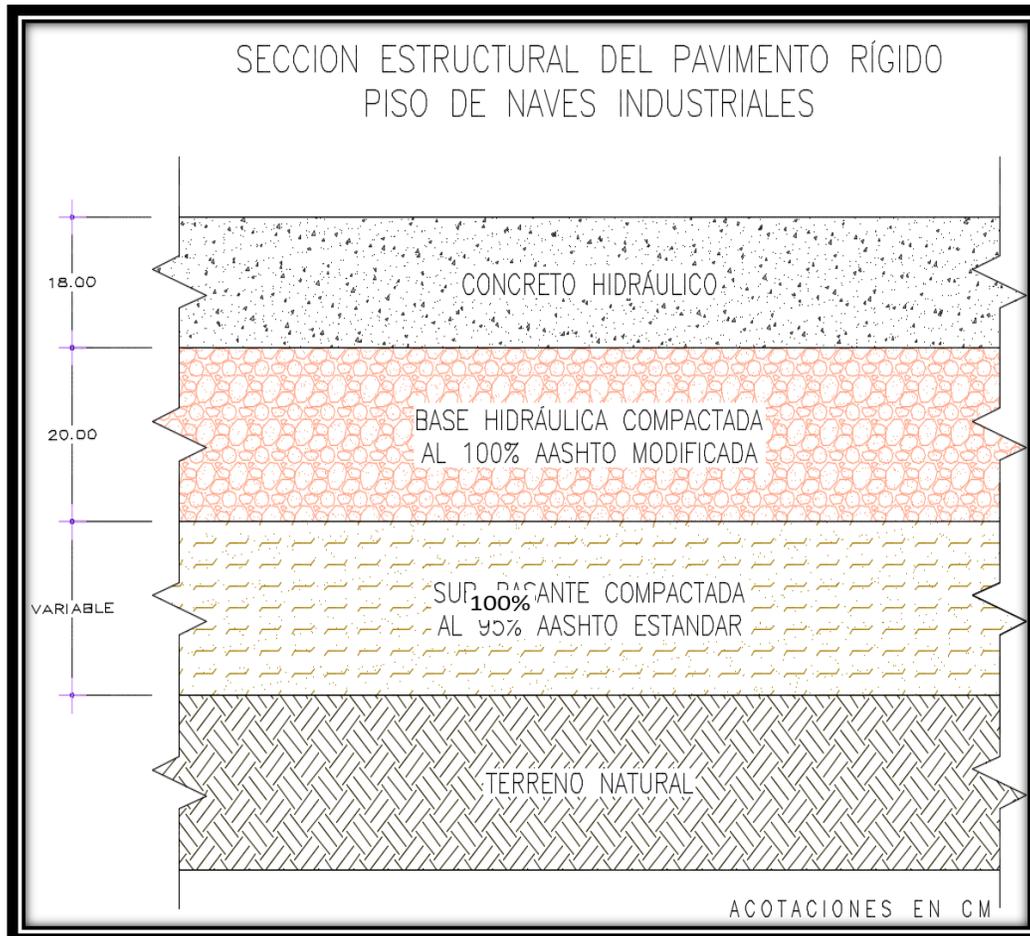


FIGURA 76. SECCION DEL PISO EN EL INTERIOR DE LAS NAVES INDUSTRIALES

8.2.- Pavimento de concreto armado en estacionamiento

Los vehículos de mayor peso que circularán por el piso y para la cual fue efectuado el diseño, corresponden a una sobrecarga de 1.5 ton/m^2 . La carga más crítica transmitida al piso corresponde al eje sencillo a la que se agrega la carga que soporta el piso con un peso máximo de 1.5 ton/m^2 .

Utilizando el nomograma de diseño para ejes sencillos, en donde se entra con un módulo de ruptura o de resistencia a tensión en flexión permisible del concreto, con el módulo de reacción del material de apoyo de la losa de concreto, y una carga de diseño, se obtuvo un espesor de la losa de concreto que formará el piso de 12cm, que se apoyará sobre una base de materiales de 20 cm de espesor con las especificaciones que se indican en el inciso 9.8.2. (Ver figura 77)

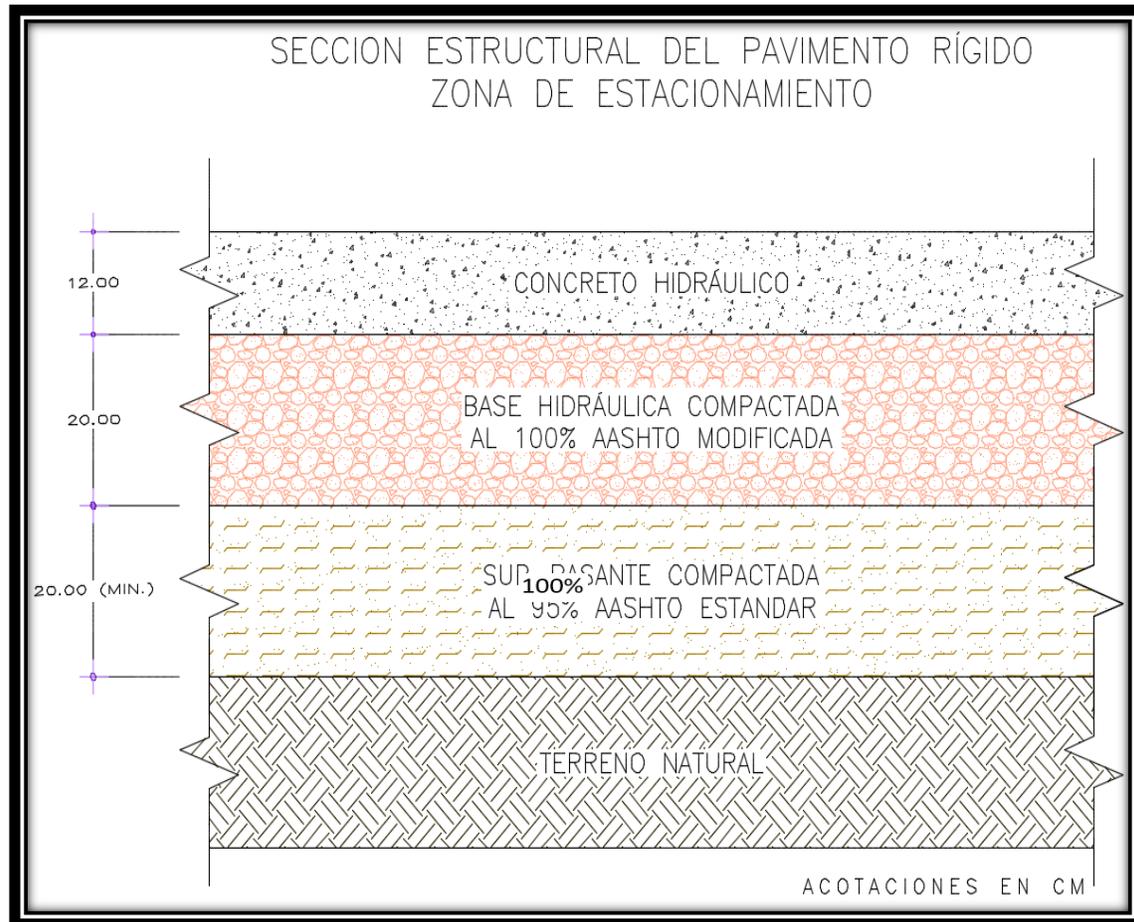


FIGURA 77. SECCION DEL PAVIMENTO EN ESTACIONAMIENTO

8.3.- Pavimentos de concreto armado en andenes y dolly

Los vehículos de mayor peso que circularán por el pavimento y para los cuales fue efectuado el diseño, corresponden a trailers T3-S2. La carga más crítica transmitida al pavimento por estos vehículos corresponde al eje tándem en el que la carga por rueda doble es de 3.75 ton. Durante la vida útil del pavimento circularán vehículos en cuyos ejes la carga máxima del sistema tándem es de 18 ton.

Utilizando el nomograma de diseño para ejes tándem, en donde se entra con un módulo de ruptura o de resistencia a tensión en flexión permisible del concreto, con el módulo de reacción del material de apoyo de la losa de concreto y una carga de diseño, se obtuvo un espesor de la losa de concreto que formará el pavimento rígido de 20 cm, que se apoyará sobre una base granular de 20 cm de espesor 100% del PVSM, de acuerdo con la prueba AASHTO modificada. (Ver figura 78).

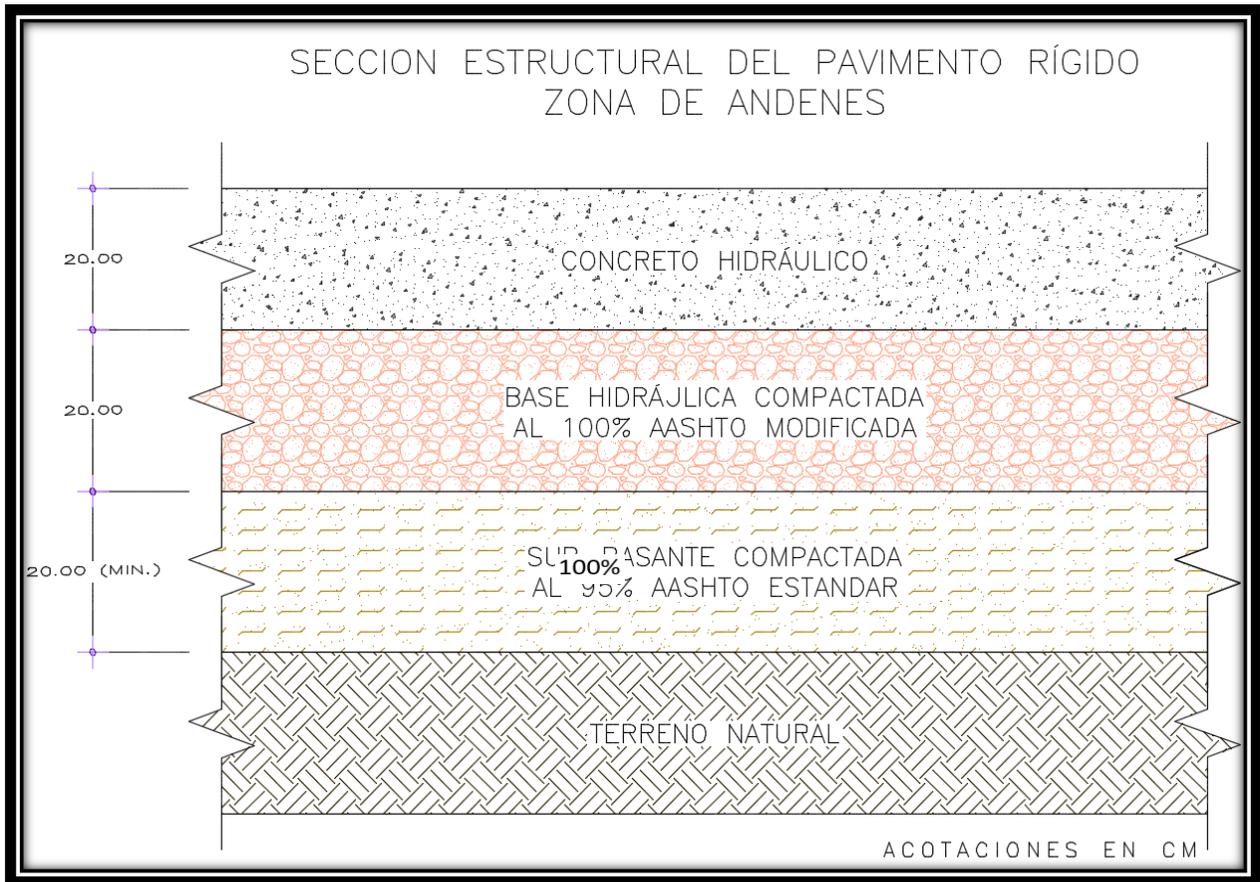


FIGURA 78. SECCION DEL PAVIMENTO EN ANDENES Y DOLLY

8.4.- Acero de refuerzo de las losas de concreto hidráulico

Las losas que formarán el pavimento tendrán refuerzo de acero para el control de agrietamientos por temperatura.

El espaciamiento máximo del refuerzo en los tableros no será mayor de 37.5 cm., para el acero longitudinal y de 75 cm. para el acero transversal.

Considerando acero de refuerzo de alta resistencia ($f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$) se obtuvo que las losas del pavimento en la zona de vialidad y estacionamiento, deberán armarse en sus sentidos longitudinal y transversal.

Dado que se tendrá un control efectivo de las grietas mediante el refuerzo debido al acero distribuido, el espaciamiento entre juntas transversales se recomienda variable entre 3.0 y 4.5 m. Respecto al ancho de las losas, éstas quedarán comprendidas entre 3.0 y 6.0 m.

En el inciso 9.4 se presentan las especificaciones para la construcción del pavimento rígido.

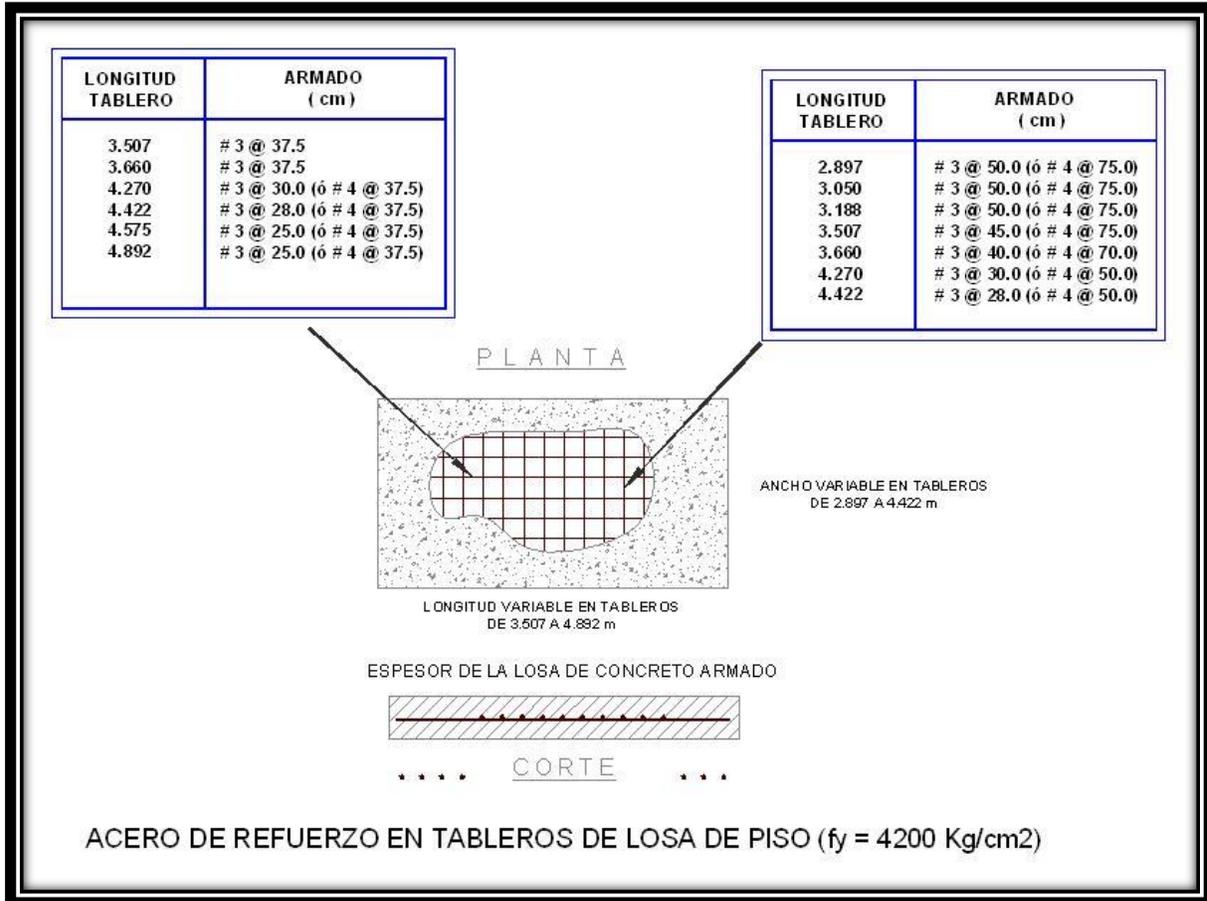


FIGURA 79. ACERO DE REFUERZO PARA LOSAS DE CONCRETO HIDRÁULICO

8.4.1.- Especificaciones para losas de concreto armado en naves industriales

a) Estructura

La estructura de piso de las naves industriales consistirá en: subrasante variable y mínima de 20 cm, base hidráulica de 20 cm y losa de concreto hidráulico de 18 cm (figura 76).

b) Procedimiento constructivo

Subrasante. Cumplirá con los requerimientos de calidad señalados en el Anexo I. La compactación se hará al 100% del PVSM, de acuerdo con la prueba AASHTO estándar.

Base. Cumplirá con los requerimientos de calidad señalados en el Anexo I. La compactación se hará al 100% del PVSM, de acuerdo con la prueba AASHTO modificada.

Riego de impregnación. Antes de la colocación de la losa de concreto hidráulico del piso, se barrerá y se impregnará la superficie de la base ya compactada, con una emulsión asfáltica cationica de rompimiento medio RM-2K, en proporción de 1.20 a 1.70 litros por metro cuadrado. La emulsión cumplirá con las especificaciones de calidad marcadas por las Normas Generales de Construcción de la SCT.

La aplicación de la emulsión se hará en las primeras horas del día o en las últimas de la tarde para que no se presente el fenómeno de rompimiento (pérdida rápida del agua en la emulsión).

Se evitará el tráfico de personas o equipo sobre la base impregnada, por un período de al menos 48 horas para permitir que la emulsión se haya adherido a la base, lo cual será verificado por el personal de laboratorio.

Es recomendable colocar una capa de arena fina sobre dicho riego, justamente antes de que se abra al tránsito de personas y equipo, con el fin de impedir la remoción del producto asfáltico.

5.4.2.- Especificaciones para carpeta asfáltico en vialidades, patios y estacionamientos

a) Estructura de pavimento flexible en estacionamiento

En el área de estacionamiento se consideró un carril de diseño con un tránsito diario de 200 vehículos, compuesto primordialmente por un 95% de automóviles y el resto por camionetas de 3.5 toneladas.

La definición de espesores se basó en el método del Instituto de Ingeniería para un periodo de vida útil de 15 años y tasa de crecimiento de 2% anual.

Para el diseño se tomó un VRS crítico de 6%, acorde con las propiedades índice de la posible capa superficial de apoyo de la estructura de pavimento que rige el diseño del pavimento.

La estructura que se obtuvo para la zona de vialidades del estacionamiento fue: subrasante variable o de 20 cm mínimo, sub-base de 15 cm, base hidráulica de 20 cm y carpeta de concreto asfáltico de 5 cm (figura 80).



FIGURA 80. SECCION DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN ÁREA DE ESTACIONAMIENTO DE TRAFICO LIGERO

Para el carril de acceso al parque, vialidades principales y tráfico pesado se obtuvo lo siguiente: subrasante variable o de 20 cm mínimo, sub base de 20 cm, base hidráulica de 20 cm y carpeta de concreto asfáltico de 7.5 cm (figura 81).



FIGURA 81. SECCION DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN TRÁFICO PESADO VIALIDAD PRINCIPAL Y CARRIL DE ACCESO

b) Procedimiento constructivo en pavimento flexible

Subrasante. Cumplirá con los requerimientos de calidad señalados en el Anexo I. La compactación se hará al 100% del PVSM, de acuerdo con la prueba ASHHTO estándar.

Base. Cumplirá con los requerimientos de calidad señalados en el Anexo I. La compactación se hará al 100% del PVSM, de acuerdo con la prueba ASHHTO modificada.

Riego de impregnación. Se aplicará sobre la base hidráulica ya compactada, previo barrido de ella, con una emulsión asfáltica cationica de rompimiento medio RM-2K, en proporción de 1.20 a 1.70 litros por metro cuadrado. La emulsión cumplirá con las especificaciones de calidad marcadas por las Normas Generales de Construcción de la SCT.

La aplicación de la emulsión se hará en las primeras horas del día o en las últimas de la tarde para que no se presente el fenómeno de rompimiento (pérdida rápida del agua en la emulsión).

Se evitará el tráfico de personas o equipo sobre la base impregnada, por un período de al menos 48 horas para permitir que la emulsión se haya adherido a la base, lo cual será verificado por el personal de laboratorio.

Es recomendable colocar una capa de arena fina sobre dicho riego, justamente antes de que se abra al tránsito de personas y equipo, con el fin de impedir la remoción del producto asfáltico.

Riego de liga. A 48 horas de aplicado el riego de impregnación y 30 minutos antes del tendido de la carpeta asfáltica se aplicará sobre la base seca y barrida, un riego de liga con emulsión catiónica de rompimiento rápido RR-2K, en una proporción de 0.70 litros por m².

Carpeta asfáltica. Será de concreto asfáltico, elaborado en planta estacionaria, de acuerdo a las normas que dicta la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), como se muestra en el Anexo I.

La mezcla se tenderá con equipo Finisher. El armado se iniciará con el paso de un rodillo metálico ligero para después compactar la capa al 95% del PVSM con equipo neumático. Se concluirá con el cerrado mediante el paso de un rodillo metálico pesado.

Se extraerán corazones de la carpeta ya terminada para verificar su espesor y comprobar que no presente una permeabilidad mayor al 10%.

c) Estructura de pavimento rígido en estacionamiento

En el área de estacionamiento se consideró un carril de diseño con un tránsito diario de 200 vehículos, compuesto primordialmente por un 95% de automóviles y el resto por camionetas de 3.5 toneladas.

El VRS considerado para diseño fue de 6% lo que equivale a un módulo de reacción de la subrasante (k) del orden de 4.3%. El módulo de ruptura (MR) fue de 40 kg/cm². Se empleó el método de la Portland Cement Association.

La estructura obtenida es: subrasante variable o mínimo de 20 cm, base hidráulica de 20 cm compactada al 100% del PVSM, de acuerdo con la prueba AASHTO modificada y losa de concreto hidráulico de 12 cm.

d) Estructura de pavimento rígido en patio de maniobras

Se consideró un tránsito diario de 2.5 vehículos tipo tráiler y 5 camiones de carga con capacidad de 5 toneladas.

El VRS considerado para diseño fue de 6% lo que equivale a un módulo de reacción de la subrasante (k) del orden de 3.5%. El módulo de ruptura (MR) fue de 40 kg/cm². Se empleó el método de la Portland Cement Association.

La estructura obtenida es: subrasante variable o mínimo de 20 cm, base hidráulica de 20 cm compactada al 100% del PVSM, de acuerdo con la prueba AASHTO modificada y losa de concreto hidráulico de 20 cm.

9.- PROCESO CONSTRUCTIVO Y MOVIMIENTO DE TIERRAS



9.1.- Despalme

Debido a que se requerirán realizar trabajos de corte y terraplenes para la construcción de las distintas plataformas, sobre las cuales se apoyaran las estructuras proyectadas, los estacionamientos superficiales y los patios de maniobras para la zona de trailers, será necesario retirar la capa de suelo vegetal y materiales arcillosos cuyo espesor varía entre 0.40 y 2.20 m, requiriendo efectuar un recorte en la zona más baja del terreno mínimo de un metro de espesor en toda la superficie del terreno, para retirar la capa de suelo vegetal y materiales arcillosos de alta plasticidad y baja resistencia, y colocar un pedraplen de 20 cm de espesor, debidamente bandeada, con un tamaño máximo de 4 pulgadas de diámetro. En el resto del área analizada se deberá despalmar toda la capa vegetal existente superficialmente con un promedio de 60 cm. En la parte central del predio y hacia el norte se detectaron materiales de relleno de mala calidad que deberán ser retirados fuera de la obra a donde lo indique la dirección de la misma.

En caso de detectar un espesor mayor al recomendado, se deberá profundizar la excavación hasta encontrar los depósitos resistentes (toba) y/o en su caso utilizar una geomalla que permita rigidizar el área, utilizando únicamente en la parte más baja del terreno una capa de pedraplén de 20 cm.

Las geomallas son empleadas para el refuerzo de capas granulares en todo tipo de pavimentos y de pisos industriales y para el refuerzo de suelos de apoyo de cimentaciones superficiales. Gracias a su baja plasto deformación, presentan estabilidad en el comportamiento mecánico a largo plazo, lo cual representa permanencia en la función de refuerzo a través del tiempo y control de deformaciones en la estructura reforzada.

9.2.- Preparación de la superficie

Una vez concluido el despalmado, se procederá a efectuar la excavación necesaria para dejar una superficie sensiblemente horizontal y que pueda alojar la estructura de pavimento, la cual estará constituida por una terracería, sub-base, base hidráulica y carpeta asfáltica o losas de concreto.

Lo anterior será necesario debido que el proyecto se ubica sobre la ladera de una loma; adicionalmente deberán proyectarse escalones de liga, de tal manera que todas las capas de terracería se coloquen sobre terreno sensiblemente horizontal, y con una altura de escalón de 0.20 m mínimo.

Cuando se haya alcanzado el nivel de máxima excavación, se procederá a escarificar los primeros 15 cm de la superficie recortada y se recompactarán al 90% de su peso volumétrico seco máximo según la prueba AASHTO estándar.

9.3.- Lineamientos para la construcción de las plataformas de las Naves Industriales

1. Primeramente se deberá efectuar el despalme recomendado para retirar la capa de suelo vegetal, materiales arcillosos de alta plasticidad o rellenos de mala calidad. En el caso de las zonas con material arcilloso plástico de color negruzco, se deberá prever el uso de geomallas, por cada cuatro capas de material de banco de 20 cm cada una, para reducir el esfuerzo que se transmitan a las capas inferiores por el peso del terraplén que se coloque sobre estos.

2. Se realizarán los cortes necesarios en base a los niveles de proyecto para configurar plataformas con una superficie sensiblemente horizontal. Y se pretende desarrollar una rampa de acceso que comunique a esta parte del Parque con la primera etapa, para lo cual se recomienda el uso del muro Tamez con las especificaciones establecidas anteriormente.

3. Una vez efectuado lo anterior, se escarificarán los primeros 15 cm y se recompactarán los materiales expuestos al 90% de su peso volumétrico seco máximo según la prueba AASHTO estándar. Únicamente en la zona donde se tengan materiales arcillosos de color negruzco (zona baja del predio) deberá considerarse el empleo de una capa de 20 cm de pedraplen, debidamente bandeada con un tamaño máximo de 4 pulgadas, que permita rigidizar las primeras capas.

4. A continuación se procederá a la construcción del terraplén en toda el área cubierta por la estructura, llevándolo hasta los niveles de proyecto y colocando el terraplén necesario en capas de 20 cm de espesor, las que se compactarán al 100% de su peso volumétrico seco máximo según la prueba AASHTO estándar.

5. Una vez concluido el terraplén se efectuará la construcción del sistema de piso de las naves, el cual se apoyará sobre una base granular de 20 cm de espesor compactada al 100% del PVSM, de acuerdo con la prueba AASHTO modificada.

9.4.- Procedimiento constructivo en pavimento rígido

1. Se construirá después de terminar la base hidráulica y de aplicar sobre ésta el riego de impregnación que se estableció para el pavimento flexible.

2. El concreto tendrá un módulo de ruptura (MR) de 40 kg/cm². Las losas se construirán por franjas cuyas dimensiones dependerán de la geometría de las áreas por pavimentar.



3. La modulación se hará para que los tableros sean preferentemente de forma cuadrada en planta y alternativamente de forma rectangular en cuyo caso la longitud del tablero no excederá de 1.30 veces el ancho del mismo.
4. En los tableros su ancho y su largo no deben exceder de 20 veces y de 26 veces el peralte.
5. Se proyectarán las juntas longitudinales y transversales necesarias. El sellado de las juntas entre tableros deberá hacerse escrupulosamente, ya que en caso contrario las juntas se convierten en fuente de infiltración a las capas de apoyo de la losa provocando más tarde la falla de ésta.

9.4.1.- Medidas de protección de las capas compactadas

- a) Se hará todo lo necesario para evitar que la plataforma de suelos compactados, se humedezca en exceso durante la temporada de lluvias. Es conveniente dar a la superficie de la plataforma una pendiente de cuando menos 5 al millar para drenar adecuadamente el escurrimiento superficial, y evitando cualquier encharcamiento.
- b) En la época de lluvias se adoptarán medidas contra el humedecimiento de los materiales de construcción de la estructura del pavimento, cubriéndolos con láminas de polietileno o lonas.
- c) El no atender estas recomendaciones seguramente se traducirá en una deficiente compactación y un mal comportamiento de las capas del pavimento.
- d) En la siguiente tabla se resumen las estructuras de pavimento para las distintas áreas de pavimentos:

9.5.- Lineamientos generales para la construcción de la estructura de pavimentos

1. Se efectuara el despalme recomendado en toda la superficie del predio para retirar la capa de suelo vegetal y materiales arcillosos existentes con respecto al nivel actual del terreno, en caso de encontrar un espesor mayor de arcilla plástica de color negruzco, de baja resistencia, se deberá implementar el uso de geomallas, una por cada cuatro capas de 20 cm de espesor cada una.
2. Una vez concluido el despalme, se procederá a efectuar la excavación necesaria de tal manera, que pueda alojar la terracería, la subrasante, la sub- base, la base hidráulica y el pavimento, ya sea de tipo flexible o rígido.



4. Cuando se haya alcanzado la profundidad necesaria, se escarificarán los primeros 15 cm y se recompactarán al 90% de su peso volumétrico seco máximo según la prueba AASHTO estándar.

5. Posteriormente se colocará un mejoramiento que constituido por material importado de banco en capas de 20 cm compactado al 100% de su peso volumétrico seco máximo según la prueba AASHTO estándar. El mejoramiento propuesto tendrá una altura mínima de 20 cm.

Lo anterior es con el objeto de construir una plataforma rígida que sea capaz de disipar las presiones que se aplicarán sobre la superficie del pavimento y distribuir las de manera uniforme en un área de mayor contacto que permita disminuir las deformaciones que se puedan presentar.

6. Una vez concluido el mejoramiento se colocará una grava controlada (base hidráulica) de 20 cm de espesor compactada al 100% del PVSM, de acuerdo con la prueba AASHTO modificada.

7. Sobre la base hidráulica terminada y barrida, se dará un riego de impregnación con emulsión asfáltica RM-2K (ECI-60, de acuerdo a la nueva normatividad de SCT) a razón de 1.5 litros de emulsión por metro cuadrado, aproximadamente, cumpliendo las instrucciones del fabricante de la emulsión.

8. Cuando la zona de pavimentos corresponda al pavimento de tipo flexible (carpeta asfáltica), se procederá a colocar un riego de liga con emulsión asfáltica RR-3K (ECR-65) a razón de 0.6 litros de emulsión por metro cuadrado aproximadamente.

9. Cuando el pavimento corresponda a losas de concreto hidráulico, se barrera la superficie de apoyo y se dará un ligero riego de agua para humedecer la zona donde se realizará el colado del piso.

El espesor de las losas de concreto hidráulico dependerá de la zona que corresponda con el proyecto de pavimentos.

10. Finalmente, se construirá el pavimento flexible de concreto asfáltico, elaborado en planta, utilizando agregado pétreo totalmente triturado a tamaño máximo de 19 mm (3/4"), y cemento asfáltico AC 10 en proporción aproximada de 90 kg de este cemento por cada metro cúbico de agregado pétreo seco y suelto. Se compactará al 95% respecto a la prueba Marshall.

El espesor de la carpeta asfáltica dependerá de la zona que corresponda con el proyecto de pavimentos.

9.6.- Consideraciones generales durante el Movimiento de Tierras y Construcción de la Cimentación

1. Para el movimiento de tierras, se establece que el material producto de despalme no podrá ser empleado como relleno controlado, dado que los materiales recortados corresponden a materiales arcillosos de alta plasticidad, salvo en la parte Norte en algunos casos donde se tiene material natural café claro, colocado a volteo, que fue almacenado en un tiempo, pero su volumen es poco.
2. Se recomienda que después de realizado la excavación a los niveles de proyecto, se construya primeramente el terraplén necesario hasta el nivel del lecho inferior de la grava cementada (base hidráulica), y posteriormente se realicen las excavaciones que alojarán a la cimentación, concluidas las excavaciones se procederá a la terminación de la plataforma de apoyo del piso, lo anterior es con el fin de proteger a los materiales ya colocados y que constituyen al terraplén contra el deterioro que pudieran ocasionar el tránsito de trabajadores y maquinaria. Una vez terminada la construcción de la cimentación se colocará la base sobre la que se construirá tanto el piso como el pavimento.
3. Las excavaciones que se realicen para alojar las cimentaciones deberán efectuarse con maquinaria hasta 0.10 m arriba del nivel de desplante recomendado, estos últimos se excavarán manualmente.
4. Si la excavación se realiza con maquinaria, hasta la profundidad de desplante recomendada, los materiales sueltos dejados por el equipo de excavación deberán retirarse totalmente, independientemente de la irregularidad de la superficie del fondo de la excavación, y renivelar con la plantilla de concreto pobre.
5. Todas las referencias topográficas existentes en el lugar se respetarán durante la construcción, tales como: alineamientos, niveles, señalamientos, etc. reponiéndose en caso de que se dañen o alteren.

9.7.- Calidad de Materiales

9.7.1.- Terraplén

1. En caso de requerirse material importado para la construcción de terraplén podrán ser utilizados mezclas de grava, arenas de material fino (tepetate) que satisfagan las siguientes especificaciones:

Tabla. Valores de Calidad para Terracerías (Terraplenes)	
Característica	Valor de Especificación
Límite Líquido (%)	40 Máximo
Índice Plástico (%)	10 Máximo
Contracción lineal (%)	5 Máximo
VRS (CBR) (%)	15 Máximo
Contenido de agua óptimo (%)	25 Máximo
Peso volumétrico seco máximo (Kg/m ³)	1,500 Mínimo

2. Los materiales con los que se construirá el terraplén, se disgregarán hasta el grado de no presentar grumos o terrones y se mezclarán mediante una motoconformadora hasta obtener una revoltura homogénea en su constitución y granulometría, en caso necesario se incorporará cal hidratada en un porcentaje de 5%, en peso.

3. Los materiales ya mezclados y con el contenido de agua óptimo, previamente determinado en el laboratorio, se colocarán en capas no mayores de 20 cm, y se compactaran al 100% de su peso volumétrico seco máximo según la prueba AASHTO estándar, hasta alcanzar el lecho inferior de la base, empleando rodillo liso y rodillo neumático con un peso de 14 ton y una presión de inflado de 90 lbs/pulg².

4. Una vez concluida las terracerías se colocará una grava controlada (base hidráulica) de 20 cm de espesor compactada al 100% del PVSM, de acuerdo con la prueba AASHTO modificada.

9.7.2.- Base Hidráulica

Las especificaciones que deberá cumplir el material de base son las siguientes:

Tabla. Valores de Calidad para la Grava Controlada (Base Hidráulica)	
Característica	Valor de Especificación
Granulometría (Zona Granulométrica)	1 - 2
Tamaño (mm)	38 Máximo
Porcentaje de finos (Mat. < 0.074 mm)	10 Máximo
Límite Líquido (%)	25 Máximo
Límite Plástico (%)	6 Máximo
Compactación (% AASHTO Modificada)	95 Mínimo
Equivalente de arena (%)	40 Mínimo
V.R.S. (%) (CBR)	100 Mínimo
Desgaste de los Ángeles (%)	40 Máximo

a) Granulometría

La curva granulométrica deberá quedar comprendida entre el límite inferior de la zona 1 y el superior de la zona 2 (ver figura 82), adoptando una forma semejante a las curvas que limitan las zonas, y no tener cambios bruscos de pendiente.

En relación del porcentaje en peso que pasa la malla No. 200 al que pasa la malla No. 40, no deberá ser superior a 0.65.

b) De contracción lineal

Valor cementante, valor relativo de soporte (CBR), tamaño máximo y peso volumétrico seco máximo, las siguientes:

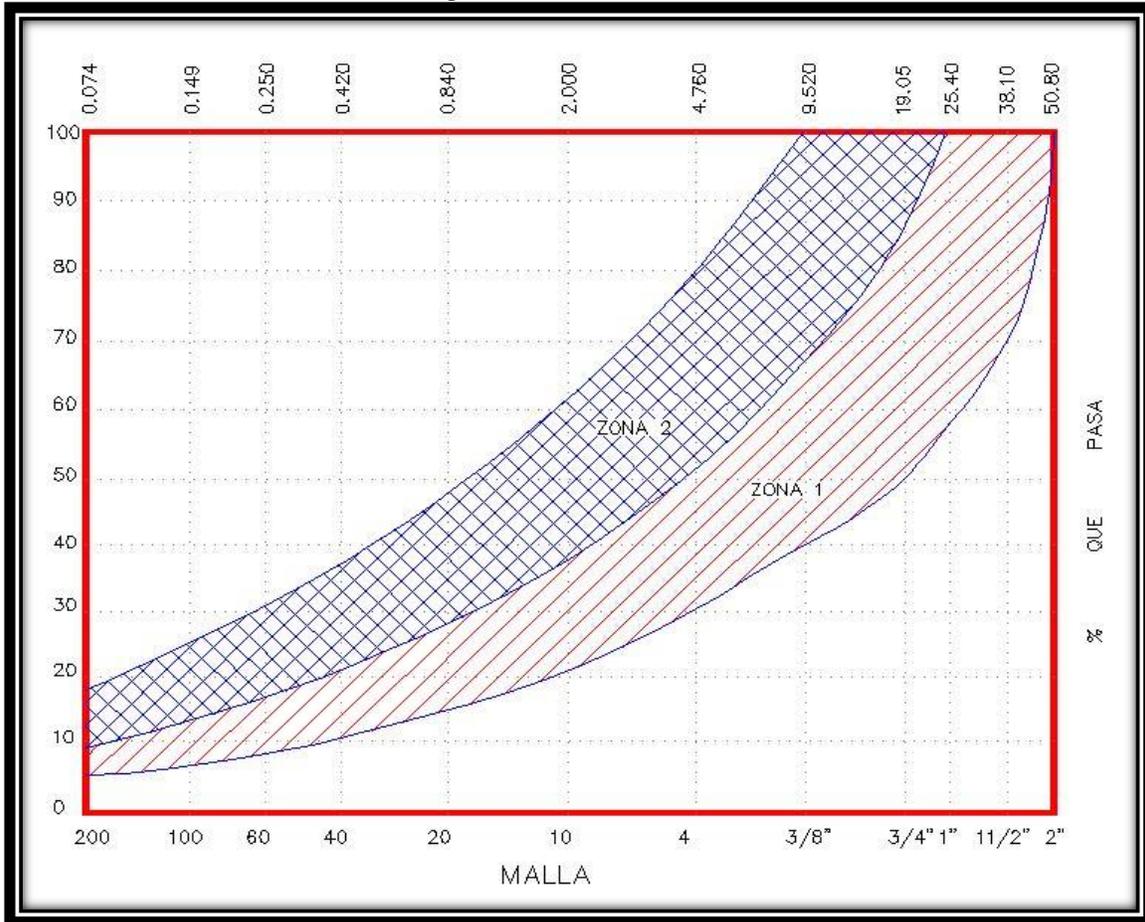


FIGURA 82. GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA BASE

Tabla. Zonas Granulométricas del Material

Característica	1	2
Contracción Lineal (%)	3.5 Máximo	2.0 Máximo
Valor Cementante (Kg/cm ²)	4.5 Mínimo	3.5 Mínimo
V.R.S. (%) (CBR)	100 Mínimo	100 Mínimo
Tamaño Máximo del Agregado	1 ½" Máximo	1 ½" Máximo
P.V.S.M. (Kg/cm ³)	1800 Mínimo	1800 Mínimo

Se deberán efectuar pruebas de compactación en las capas compactadas, para verificar el porcentaje de compactación alcanzado en la construcción.

Se recomienda hacer una prueba consistente en una cala volumétrica, por cada 50m³ de material compactado.

9.7.3. Carpeta Asfáltica

La carpeta se construirá de concreto asfáltico, elaborado en planta, utilizando agregado pétreo totalmente triturado a tamaño máximo de 3/4", y cemento asfáltico AC 10 en proporción aproximada de 90 kg de este cemento por metro cúbico de agregado pétreo seco y suelto. Se compactará al 95% respecto a la prueba Marshall.

La curva granulométrica del agregado pétreo deberá quedar comprendida entre los límites marcados en la figura 83, sin presentar cambios bruscos de pendiente.

Las características físicas del agregado pétreo deberán satisfacer los siguientes valores:

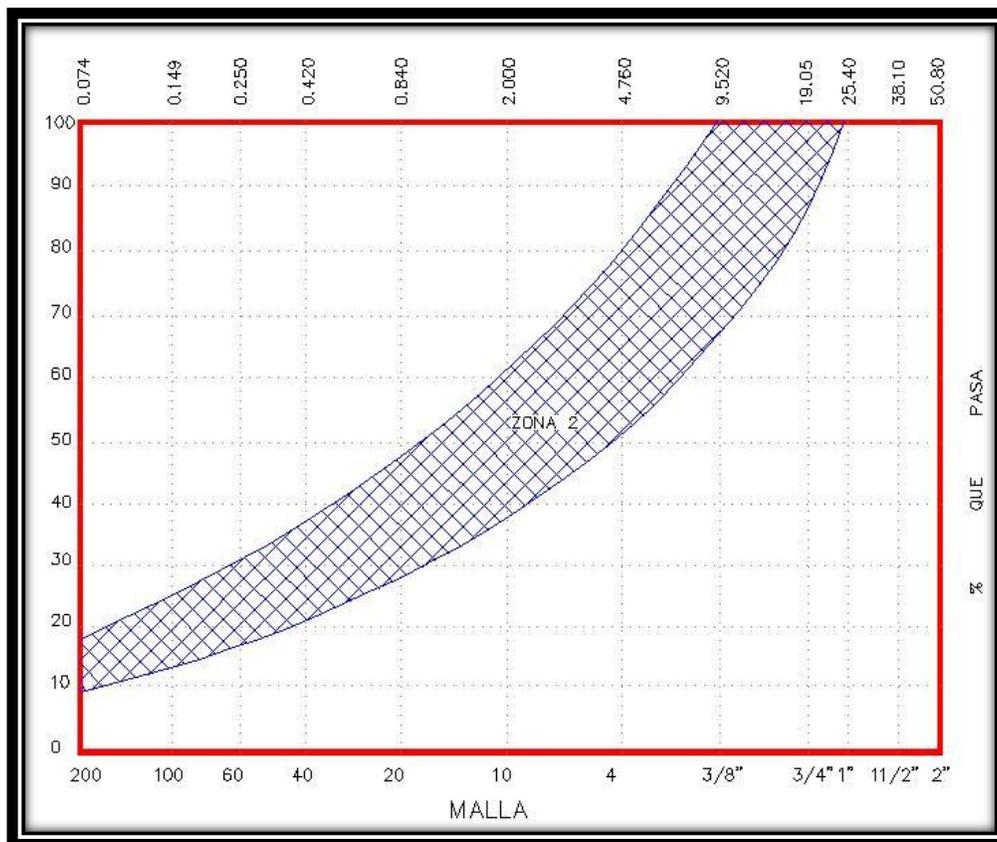


FIGURA 83. GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA CARPETA ASFALTICA

Tabla. Especificaciones para el Material Pétreo

Característica	Valor de Especificación
Contracción Lineal (%)	2 Máximo
Desgaste Los Ángeles (%)	40 Máximo
Afinidad con el Asfalto (%)	
Desprendimiento por Fricción (%)	25 Máximo
Cubrimiento Método Inglés (%)	90 Máximo
Estabilidad (%)	25 Máximo
Equivalente de Arena (%)	55 Mínimo

9.8.- Porcentaje de Compactación Requerido

Para el control de compactación, se recomienda que desde las primeras capas tendidas se desarrolle un terraplén de prueba, para definir el número de pasadas óptimo con el equipo elegido.

El proceso de compactación será controlado por el laboratorio de mecánica de suelos, usando la expresión:

$$\% \text{ de compactación} = (\gamma_d \text{ sitio} / \gamma_d \text{ máximo}) \times 100$$

a) Compactación del terreno Natural

Los materiales expuestos que se tendrán después de efectuar el despalme y cortes necesarios para la construcción de las plataformas, se compactaran al **90%** de su peso volumétrico seco máximo según la prueba **AASHTO estándar**.

b) Compactación del Terraplén



El terraplén se colocará en capas de 20 cm de espesor compactadas al **100%** de su peso volumétrico seco máximo según la prueba **AASHTO estándar**.

c) Compactación de la capa de Grava Controlada (Base Hidráulica)

La grava controlada que se empleara para el apoyo de los pisos de las naves y los pavimentos de tipo flexible y rígido tendrá un espesor de 20 cm, la cual se compactara al **100%** del PVSM, de acuerdo con la prueba **AASHTO modificada**.

d) Compactación de la Carpeta Asfáltica (Pavimento Flexible)

El pavimento flexible de concreto asfáltico, se compactará al **95%** respecto a la prueba **Marshall**.

10.- CONCLUSIONES

10.1.- PROLOGIS DE MÉXICO solicitó la ejecución de un Estudio de Mecánica de Suelos, para el proyecto denominado “*San José, Lote C*”.

10.2.- De acuerdo con el layout proporcionado, se contempla la construcción de naves de tipo industrial, vialidades principales, patios de maniobras y estacionamientos superficiales.

10.3.- La topografía que presenta el terreno, tiene pendientes considerables, por lo que se recomienda despallar toda la capa vegetal existente superficialmente con de 60 cm promedio, y en la parte central del predio y hacia el norte se detectaron materiales de relleno de mala calidad, los cuales deberán ser retirados en su totalidad fuera de la obra, a donde lo indique la dirección de la misma; porque no son aptos para emplearlos como rellenos controlados, en la zona norponiente se recomienda levantar y acamellonar los materiales de relleno existentes producto de excavaciones que han sido almacenados, y los cuales se pueden observar a simple vista; finalmente las pendientes pronunciadas que se existen por la topografía natural del terreno deben considerarse para definir el N.P.T.

10.4.- El nivel de piso terminado de las naves industriales se ubicará 1.20 m por arriba del nivel de rodamiento de la plataforma correspondiente, por lo que será necesario realizar cortes y rellenos controlados para alcanzar los niveles de proyecto.

De acuerdo a la exploración realizada mediante los pozos a cielo abierto excavados y que más adelante se describen, se efectuó una zonificación de los diferentes espesores de capa vegetal y en algunas zonas se encuentran rellenos de mala calidad existentes en el predio (centro, norte u oriente del área analizada), constituida por una arcilla plástica, de color café grisáceo oscuro (negruzco), de consistencia media a dura, la cual sobreyace a una toba lajeada resistente constituida por un limo poco arenoso, de color café grisáceo cementado con carbonato de calcio, de consistencia dura.

Con base en lo anterior, y considerando las características observadas en el terreno, se concluye que en la zona más baja del terreno será necesario efectuar un recorte superficial mínimo de 1.0 m de espesor en toda la superficie del terreno, para retirar la capa de suelo vegetal y materiales arcillosos de alta plasticidad y baja resistencia, y colocar un pedraplen de 40 cm de espesor, mediante la colocación de dos capas de pedraplen de 20 cm cada una debidamente bandeadas, con un tamaño máximo de 4 pulgadas de diámetro.

En el resto del área analizada se deberá despallar toda la capa vegetal existente superficialmente con un promedio de 60 cm, y en la parte central del predio y hacia



el norte se detectaron materiales de relleno de mala calidad que deberán ser retirados de la obra a donde lo indique la dirección de obra, porque no son aptos para emplearlos como rellenos controlados, levantar y acamellonar los materiales de relleno producto de excavaciones que han sido almacenados en la zona norponiente

Posteriormente una vez alcanzado el nivel de recorte recomendado, se recompactará la superficie dejada por la excavación previa, mediante el empleo de un rodillo liso vibratorio estático, y se construirán las plataformas de la naves industriales con material importado de banco (tepetate) en capas de 20 cm, debidamente compactado.

Únicamente en las zonas bajas donde se detectó materiales arcillosos de alta plasticidad y baja resistencia, se deberá emplear mínimo dos capas de geomalla, para reducir los esfuerzos al subsuelo por la carga impuesta por el terraplén desarrollado y por las cargas de la propia estructura proyectada.

Para las vialidades interiores y áreas de estacionamiento superficial igualmente deberá considerarse un recorte mínimo de 1.0 m para retirar la capa de suelo vegetal y materiales arcillosos de alta plasticidad y baja resistencia, se recompactará la superficie dejada por el recorte previo con rodillo liso vibratorio. Únicamente en las zonas donde aflore el material natural resistente, se recortara 40 cm como mínimo para alojar una capa de 25 cm de base hidráulica compactada al 100% de su PVSM, según la prueba AASHTO modificada, y colocar por encima el pavimento de tipo rígido o flexible.

En las zonas donde se emplee pavimento de tipo rígido o flexible, se deberá implementar una capa de sub- base de 15 cm y una capa de base hidráulica de 20 cm, ambas debidamente compactadas

En base a los niveles de proyecto, se construirá el terraplén empleando el material natural del sitio producto de corte, siempre y cuando cumpla con las especificaciones mínimas necesarias, en capas de 20 cm cada una, debidamente compactadas al 100% de su P.V.S.M., según la prueba AASHTO estándar, seguido de la colocación de 20 cm de material tipo base compactado al 100% de su P.V.S.M., según la prueba AASHTO modificada.

Cuando ya se haya efectuado el corte mínimo especificado, se procederá a retirar todo el material suelto dejando al nivel de máxima excavación, recompactandolos al 90% de su PVSM, según la prueba AASHTO estándar, a continuación se colocaran materiales de relleno controlado de acuerdo a las especificaciones que ya se mencionaron, para garantizar que el comportamiento de estos sea adecuados.

En caso de detectar materiales arcillosos de alta plasticidad y baja resistencia, rellenos de mala calidad o materia orgánica a la profundidad mínima recomendada

para el despalme, se procederá a profundizar la excavación y retirar los materiales de mala calidad expuestos hasta detectar el material sano, o en su caso utilizar geomallas como se comentó anteriormente, y lo cual deberá ser verificado por un ingeniero en Mecánica de Suelos.

10.5.- Se llevó a cabo una campaña de exploración en la fracción de terreno denominada “Lote C”, en la cual se realizaron cuatro sondeos profundos de tipo penetración estándar a 15 m de profundidad, con respecto al nivel actual de terreno.

Y posteriormente se complementó con cuatro sondeos adicionales y cinco pozos a cielo abierto en una segunda campaña de exploración.

Los sondeos propuestos se realizaron empleando una maquinaria rotatoria Long Year 34 para conocer las condiciones de resistencia y deformabilidad de los depósitos profundos, empleando el muestreo alterado con la herramienta de penetración estándar y se ubicaron en lugares estratégicamente seleccionados, con el fin de conocer la estratigrafía del subsuelo y sus características en forma general de resistencia y deformabilidad, así como los espesores correspondientes.

Para conocer el espesor de capa de suelo vegetal y posible zona de rellenos, se excavaron sesenta y se complementó con cinco pozos a cielo abierto adicionales, los cuales fueron excavados entre 0.35 y 3.30 m de profundidad con la finalidad de conocer las características de los depósitos superficiales.

La ubicación de los sondeos profundos efectuados con maquinaria rotatoria y los pozos a cielo abierto realizados en el interior del terreno se indica en la figura 5.

Los perfiles estratigráficos de los sondeos profundos se indican en las figuras 7 a 10, donde se indica la resistencia que oponen los materiales a ser atravesados y los resultados de los ensayos de laboratorio efectuados a las muestras recuperadas.

Los perfiles estratigráficos de cada uno de los pozos a cielo abierto excavados en el interior del predio se indican en las figuras 11 a 70.

En la figura 71 se muestra la zonificación de la capa de suelo vegetal y de la arcilla de alta plasticidad, de color café grisáceo oscuro (negruzco), de consistencia media a dura, que fueron detectadas en los pozos excavados.

10.6.- La secuencia estratigráfica es la siguiente: Superficialmente se tiene una capa de suelo vegetal y rellenos de mala calidad, constituida por una arcilla poco limosa, de color café grisáceo oscuro, con poca arena fina y raicillas, de alta plasticidad, con espesor variable entre 0.40 m y 2.20 m, sin embargo en la mayor parte del predio se tiene un espesor medio de 0.60 m, con respecto al nivel actual del terreno. Estos materiales arcillosos presentan una consistencia variable de firme a dura, con una resistencia a la penetración estándar variable entre 5 y 25 golpes.

Subyaciendo a la capa vegetal, con un espesor de 13 m, se tiene un capa de material cementado con carbonato de calcio (caliche), de consistencia dura, el cual está constituido por una arcilla poco limosa, de color café blanquizo, de consistencia dura. Este estrato se encuentra a una profundidad variable entre 2 m y 2.50 m con respecto al nivel actual de terreno.

El nivel de aguas freáticas no se detectó en ninguno de los sondeos y pozos a cielo abierto realizados en el interior del predio a la profundidad máxima explorada, ni en la fecha que se llevó a cabo la exploración.

10.7.- Para el análisis y diseño sísmico de la edificación se deberá considerar un coeficiente sísmico de 0.14 por ser material tipo I, y el módulo de reacción del suelo deberá considerarse de 2 kg/cm^3 .

10.8.- De acuerdo a todo lo antes mencionado, y considerando las características observadas en el terreno, se concluye que será necesario efectuar un recorte superficial de 1.00 m de espesor mínimo en toda la superficie del terreno para retirar la capa de suelo vegetal y materiales arcillosos de alta plasticidad. (En algunas zonas principalmente en la parte frontal del predio se tendrá un espesor ligeramente mayor)

Posteriormente se recompactará la superficie dejada por el recorte previo con rodillo liso vibratorio, y se iniciara la construcción de las plataformas de las naves industriales de acuerdo al proyecto, con material importado de banco (tepetate) en capas de 20 cm, debidamente compactado al 100% de su PVSM según la prueba AASHTO estándar, seguido de la colocación de 20 cm de grava controlada (base hidráulica) compactada al 100% de su PVSM según la prueba AASHTO modificada.

Para las vialidades interiores y áreas de estacionamiento superficial, únicamente deberá considerarse un recorte mínimo de 0.60 m para retirar la capa de suelo vegetal y materiales arcillosos de alta plasticidad superficiales y en su caso deberá de colocarse geomalla, se recompactará la superficie dejada por el recorte previo con rodillo liso vibratorio. En base a los niveles de proyecto, se construirá el terraplén empleando material importado de banco, en capas de 20 cm, debidamente compactadas al 100% de su P.V.S.M., según la prueba AASHTO estándar, seguido de la colocación de 20 cm de material tipo base compactado al 100% de su P.V.S.M., según la prueba AASHTO estándar.

En el caso de época de lluvias se deberá considerar la colocación de un pedraplén de 20 cm de espesor con tamaño máximo de 4 pulgadas.

10.9.- La cimentación de la Nave quedará desplantada a una profundidad de -1.50 m para las zapatas centrales y a -1.90 m para las zapatas corridas perimetrales, referenciadas con respecto al nivel de piso terminado del edificio.



Las zapatas aisladas se apoyarán sobre un mejoramiento de material inerte (grava con arena) debidamente apisonado, de 20 cm de espesor y con un sobre ancho perimetral en la base de la zapata de 30 cm, o bien se puede emplear concreto fluido, con un espesor de 20 cm y un sobre ancho de 30 cm ya mencionado anteriormente, a este mejoramiento le subyacerá a una arcilla poco limosa con escasa arena, de color gris oscuro, y serán diseñadas para una capacidad de carga admisible en condiciones estáticas de 13 ton/m² y de 15.6 ton/m² en condiciones dinámicas. En el caso de que las zapatas se desplanten sobre material natural resistente, únicamente se colocara una plantilla de concreto pobre bajo el desplante de la zapata, y se diseñaran para una capacidad mayor a la señalada anteriormente.

Las zapatas probablemente tendrán momentos flexionantes que provocarán presiones no uniformes, y por esto se requieran deformaciones pequeñas compatibles con una condición de “empotre” de la base de la columna.

El muro de contención perimetral para formar el andén, estará constituido por los muros Tilt-up de concreto armado, los cuales se apoyaran sobre una zapata corrida desplantada a una profundidad de 1.90 m con respecto al nivel de piso terminado del edificio o bien 70 cm bajo el nivel de rodamiento de la vialidad o zona de andenes, para una capacidad de carga admisible en condiciones estáticas de 11 ton/m² y de 13 ton/m² en condiciones dinámicas, para cargas no factorizadas, y podrá recibir las cargas de las columnas perimetrales junto con el peso de los muros perimetrales.

Los materiales menos favorables que se tendrán al nivel del desplante recomendado corresponden a materiales arcillosos poco limosos con escasa arena fina de resistencia media y baja compresibilidad, para los cuales se obtuvo la capacidad de carga admisible para diseño para los materiales de apoyo de las zapatas en condiciones estáticas de 13 ton/m² y de 15.6 ton/m² en condiciones dinámicas.

Para zapata corrida desplantada a una profundidad de 1.90 m con respecto al nivel de piso terminado del edificio o bien 70 cm bajo el nivel de rodamiento de la vialidad o zona de andenes, se obtuvo una capacidad de carga admisible en condiciones estáticas de 11 ton/m² y de 13 ton/m² en condiciones dinámicas.

En el caso de los materiales naturales y resistentes corresponden a materiales arcillosos con escasa arena fina en estado compacto, con un índice de resistencia a la penetración estándar mayor a 50 golpes, se obtuvo la capacidad de carga admisible para diseño para los materiales de apoyo de las zapatas en condiciones estáticas de 30 ton/m² y de 36 ton/m² en condiciones dinámicas.

Sin embargo en el caso de que las cargas transmitidas por algunas estructuras exteriores resulten ser bajas podrá dimensionarse la cimentación con una capacidad de carga menor a la recomendada para obtener dimensiones de zapatas



razonables, para cumplir satisfactoriamente la revisión del estado límite de falla (capacidad de carga) y el estado límite de servicio (asentamientos diferenciales).

10.10.- Para calcular los asentamientos que sufrirán las estructuras a largo plazo por efecto de las deformaciones elásticas, que se provocarán en los materiales del subsuelo las sobrecargas impuestas por el proyecto, las que aplicarán una presión de contacto del orden de 3 ton/m^2 , además considerando que el nivel de piso al nivel del andén se podrá emplear un terraplén, se consideró en el área cubierta por las estructuras una carga uniformemente distribuida de 3 ton/m^2 , se recomienda que las trabes de cimentación tengan un peralte suficiente que darán lugar a la reducción a valores mínimos de los hundimientos diferenciales.

Se determinaron los asentamientos para diferentes anchos de zapatas desplantadas sobre un plataforma de mejoramiento, obteniéndose asentamientos de 2.8 cm para zapatas corridas de 1.5 m de ancho y de 5.6 cm para zapatas aisladas de 3.0 m de lado, los cuales resultan admisibles.

10.11.- El procedimiento constructivo para la excavación que alojará a las zapatas de cimentación es la siguiente:

1. Una vez construida la plataforma se procederá a la construcción de las zapatas.
2. Posteriormente se procederá a la excavación de las cepas que alojarán las zapatas, considerando un sobre ancho de 30 cm perimetrales a la base de la zapata, dejando taludes verticales.
3. Las excavaciones necesarias para alojar a las zapatas de cimentación se podrán hacer empleando maquinaria hasta 0.10 m arriba del nivel de máxima excavación, el cual deberá considerar los 20 cm de mejoramiento con material inerte (arena poco limosa con gravas) y/o concreto fluido. La última capa se excavará a mano para evitar el remoldeo del material de apoyo.
4. Al alcanzar la profundidad máxima de excavación, se retirará todo el material suelto y se tenderá a la brevedad un mejoramiento de material inerte (arenas con gravas de 2" máximo) de 20 cm de espesor, colocado en una capa del mismo espesor, y debidamente compactadas al 100% de su peso volumétrico seco máximo según la prueba AASHTO estándar, o bien sobre un concreto fluido de 20 cm de espesor.
5. Deberá verificarse que al nivel de desplante recomendado no se tengan rellenos, en cuyo caso deberán eliminarse y sustituirse con tepetate compactado al 90% en capas de 15 cm de espesor.
6. Una vez terminada la construcción del mejoramiento, se colocará una plantilla de concreto pobre que proteja al material de alteraciones por el tránsito de trabajadores, o remoldeo y fisuramiento por pérdida de humedad.
7. Posteriormente, se procederá a colocar el armado y a colar las zapatas; una vez hecho esto, se rellenarán los aproches con material de banco, colocado en capas de 20 cm de espesor cada una, las que compactarán al 100% de su peso volumétrico seco máximo según la prueba AASHTO estándar.

10.12.- En las figuras 73 a y 73 b se muestran los valores que deberán ser considerados en el diseño o revisión de los muros perimetrales cuando se tengan materiales de relleno controlado y cuando se tengan materiales naturales resistentes, respectivamente.

10.13.- De acuerdo con los requerimientos del proyecto, será necesario efectuar trabajos de corte y relleno controlado para la construcción de las distintas plataformas, por lo que se requerirá construir muros de contención en el interior del predio que permitan dejar desniveles entre las diferentes plataformas que se desarrollen, tomando en cuenta las pendientes topográficas existentes, y considerando la necesidad de compensar las zonas de corte con las de relleno, permitiendo restituir las zonas más bajas y desarrollar el área de vialidades que optimice la operación del complejo industrial por construir.

Con base en lo anterior, se proponen varias alternativas de muros de contención empleando el material del sitio como alternativa en algunos casos:

- Muro de suelo cemento (compactado),
- Muro de suelo cemento fluido,
- Muro de concreto fluido,
- Muro de tierra armada

Este último muro, de tipo mecanizado, requiere que los materiales que se coloquen en su respaldo tengan materiales con ángulos de fricción interna mínimo de 28 grados, conforme este parámetro tenga un valor más alto el sistema mecanizado resultará más económico.

Otra restricción de los sistemas mecanizados es que deberán evitarse hasta donde sea posible el paso del agua hacia el interior del muro, razón por la cual deberá considerarse en esta alternativa construir en la parte superior del talud una capa de suelo cemento en una proporción 95-5% en peso respectivamente compactado al 100% de su PVSM AASHTO estándar.

Por otro lado el concreto fluido no requiere un control demasiado riguroso como el del suelo cemento, únicamente requiere que se controle la dosificación y que se le proporcione un ligero vibrado. Otra ventaja es que el suministro de los materiales del concreto es controlable, el proceso constructivo se hará por módulos con longitudes variables entre 5 y 10 m, ordenando la secuencia de construcción, de igual manera se controlarán las posibles grietas de tensión que se generen por contracción del concreto fluido al momento de su fraguado.

El muro de concreto fluido es básicamente un muro de gravedad, al cual se le puede recargar material de banco (tepetate) o del lugar, y cumple con el principio de estabilidad propia del muro, sin embargo en el caso de la tierra armada, ésta trabaja por fricción y los materiales que se requieren poner en su respaldo deberán ser de



tipo friccionante que cumplan con el principio de su diseño, lo cual incrementa su costo con relación a los antes mencionados.

Para obtener un material con un ángulo de fricción interna es necesario estabilizarlo mediante la incorporación de un material inerte o pétreo, logrando así que se modifiquen las características de los suelos que tendrán un proceso de recompactación.

10.14.- Alternativa de Muro de Contención con Concreto Fluido es la más recomendada

El empleo de este elemento es adecuado para emplear los materiales del lugar en su respaldo y restituir parte de un área que permita incrementar el área utilizable para las naves industriales y vialidades que darán servicio, sin embargo deberá controlarse su granulometría, su módulo de elasticidad y su resistencia para que sean semejantes en toda la longitud que se restituya.

Este muro se construirá dejando una cara vertical hacia el exterior, y con un escarpio hacia el interior del terreno.

La geometría del muro esta propuesta en función de que sea estable por capacidad de carga, por deslizamiento y por volteo, de tal forma que la colocación de este muro permita la colocación de un relleno controlado en su respaldo y permita restituir parte de un área que sea aprovechable para el proyecto.

El concreto fluido que puede emplearse para la construcción del Muro de concreto fluido es de $f'c=45 \text{ kg/cm}^2$, revenimiento de 16 cm y tamaño máximo de agregado de 10 mm.

10.15.- A continuación se presenta el proceso constructivo para la construcción del muro de concreto fluido

1.- La zona donde se desplantará el muro deberá sobre material natural resistente, y estar limpia, libre de suelo vegetal, rellenos de mala calidad y/o materiales sueltos o blandos que sean incapaces de soportar de forma correcta el peso del muro.

2.- Se deberá tener una superficie totalmente plana para el desplante del muro. En caso de ser necesario se realizaran cortes de material natural que impidan esta condición.

3.- El colado del muro se realizará como máximo en módulos de 0.61 m de altura por 9.76m de largo, con un ancho dependiendo del diseño del mismo (Base de muro).



4.- Se colarán módulos alternados, esperando por lo menos 24 hrs. de fraguado inicial para poder continuar colando los módulos subsecuentes, hasta llegar al nivel de proyecto.

5.- Intercalados en la primera capa, se colocarán tubos de PVC de 2" de diámetro con una longitud tal que atraviesen todo el ancho del muro, espaciados a cada 2 m en el sentido horizontal a lo largo de todo el muro, como se observa en la figura de abajo.

6.- Se colocará un filtro de grava detrás del muro que permita el paso del agua hacia la parte baja y sea desalojada por medio de un dren principal colocado en el fondo del mismo como se observa en la figura anterior. De igual manera para evitar el deslizamiento del muro, será conveniente considerar la hechura de dos dentellones en la base como se muestra en la figura anterior.

10.16.- Diseño de pavimentos

Con base en la exploración superficial realizada, mediante pozos a cielo abierto, se establece que la superficie del terreno se encuentra constituida por materiales arcillosos con abundantes raíces (capa vegetal) y rellenos de mala calidad a profundidades variables entre 0.40 y 2.20 m de espesor, por lo que en la zona más baja del terreno será necesario efectuar un recorte superficial mínimo de 1.0 m de espesor en toda la superficie del terreno, para retirar la capa de suelo vegetal y materiales arcillosos de alta plasticidad y baja resistencia, y colocar un pedraplen de 40 cm de espesor, mediante la colocación de dos capas de pedraplen de 20 cm cada una debidamente bandeadas, con un tamaño máximo de 4 pulgadas de diámetro, en el resto del área analizada se deberá despallar toda la capa vegetal existente superficialmente con un promedio de 60 cm, y en la parte central del predio y hacia el norte se detectaron materiales de relleno de mala calidad que deberán ser retirados de la obra a donde lo indique la dirección de obra, debiéndose profundizar hasta donde sea necesario para construir la plataforma de mejoramiento sobre la cual se apoyaran los pavimentos de tipo rígido como de tipo flexible.

Piso de concreto hidráulico para las Naves Industriales

Se obtuvo un espesor de la losa de concreto que formará el piso de 18cm, que se apoyará sobre una base de materiales de 20 cm de espesor con las especificaciones que se indican en el inciso 9.8.2. (Ver figura 76)

Procedimiento constructivo

Subrasante. Cumplirá con los requerimientos de calidad señalados en el Anexo I. La compactación se hará al 100% del PVSM, de acuerdo con la prueba AASHTO estándar.



Base. Cumplirá con los requerimientos de calidad señalados en el Anexo I. La compactación se hará al 100% del PVSM, de acuerdo con la prueba AASHTO modificada.

Riego de impregnación. Antes de la colocación de la losa de concreto hidráulico del piso, se barrerá y se impregnará la superficie de la base ya compactada, con una emulsión asfáltica cationica de rompimiento medio RM-2K, en proporción de 1.20 a 1.70 litros por metro cuadrado. La emulsión cumplirá con las especificaciones de calidad marcadas por las Normas Generales de Construcción de la SCT.

La aplicación de la emulsión se hará en las primeras horas del día o en las últimas de la tarde para que no se presente el fenómeno de rompimiento (pérdida rápida del agua en la emulsión).

Se evitará el tráfico de personas o equipo sobre la base impregnada, por un período de al menos 48 horas para permitir que la emulsión se haya adherido a la base, lo cual será verificado por el personal de laboratorio.

Es recomendable colocar una capa de arena fina sobre dicho riego, justamente antes de que se abra al tránsito de personas y equipo, con el fin de impedir la remoción del producto asfáltico.

Pavimento de concreto armado en estacionamiento

Se obtuvo un espesor de la losa de concreto que formará el piso de 12cm, que se apoyará sobre una base de materiales de 20 cm de espesor con las especificaciones que se indican en el inciso 9.8.2. (Ver figura 77)

Pavimentos de concreto armado en andenes y dolly

Se obtuvo un espesor de la losa de concreto que formará el pavimento rígido de 20 cm, que se apoyará sobre una base granular de 20 cm. de espesor 100% del PVSM, de acuerdo con la prueba AASHTO modificada. (Ver figura 78).

Estructura de pavimento flexible en estacionamiento

La estructura que se obtuvo para la zona de vialidades del estacionamiento fue: subrasante variable o de 20 cm mínimo, sub-base de 15 cm, base hidráulica de 20 cm y carpeta de concreto asfáltico de 5 cm (figura 80).

Para el carril de acceso al parque, vialidades principales y tráfico pesado se obtuvo lo siguiente: subrasante variable o de 20 cm mínimo, sub base de 20 cm, base hidráulica de 20 cm y carpeta de concreto asfáltico de 7.5 cm (figura 81).

Procedimiento constructivo en pavimento flexible

Subrasante. Cumplirá con los requerimientos de calidad señalados en el Anexo I. La compactación se hará al 100% del PVSM, de acuerdo con la prueba AASHTO estándar.

Base. Cumplirá con los requerimientos de calidad señalados en el Anexo I. La compactación se hará al 100% del PVSM, de acuerdo con la prueba AASHTO modificada.

Riego de impregnación. Se aplicará sobre la base hidráulica ya compactada, previo barrido de ella, con una emulsión asfáltica cationica de rompimiento medio RM-2K, en proporción de 1.20 a 1.70 litros por metro cuadrado. La emulsión cumplirá con las especificaciones de calidad marcadas por las Normas Generales de Construcción de la SCT.

La aplicación de la emulsión se hará en las primeras horas del día o en las últimas de la tarde para que no se presente el fenómeno de rompimiento (pérdida rápida del agua en la emulsión).

Se evitará el tráfico de personas o equipo sobre la base impregnada, por un período de al menos 48 horas para permitir que la emulsión se haya adherido a la base, lo cual será verificado por el personal de laboratorio.

Es recomendable colocar una capa de arena fina sobre dicho riego, justamente antes de que se abra al tránsito de personas y equipo, con el fin de impedir la remoción del producto asfáltico.

Riego de liga. A 48 horas de aplicado el riego de impregnación y 30 minutos antes del tendido de la carpeta asfáltica se aplicará sobre la base seca y barrida, un riego de liga con emulsión catiónica de rompimiento rápido RR-2K, en una proporción de 0.70 litros por m².

Carpeta asfáltica. Será de concreto asfáltico, elaborado en planta estacionaria, de acuerdo a las normas que dicta la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), como se muestra en el Anexo I.

La mezcla se tenderá con equipo Finisher. El armado se iniciará con el paso de un rodillo metálico ligero para después compactar la capa al 95% del PVSM con equipo neumático. Se concluirá con el cerrado mediante el paso de un rodillo metálico pesado.

Se extraerán corazones de la carpeta ya terminada para verificar su espesor y comprobar que no presente una permeabilidad mayor al 10%. El proceso de movimiento de tierras en forma detallada se indica en el capítulo 9.



10.17.- Se deberá proponer una obra de canalización de agua específica para el predio, debido a que se cuenta con pendientes de agua que en caso de no hacerse puede afectar considerablemente a las terracerías.

10.18.- Es necesario llevar a cabo una supervisión compuesta por brigada topográfica, ingeniero especialista en geotecnia y un laboratorio de mecánica de suelos para una adecuada construcción

ANEXO I REPORTE FOTOGRAFICO SONDEOS





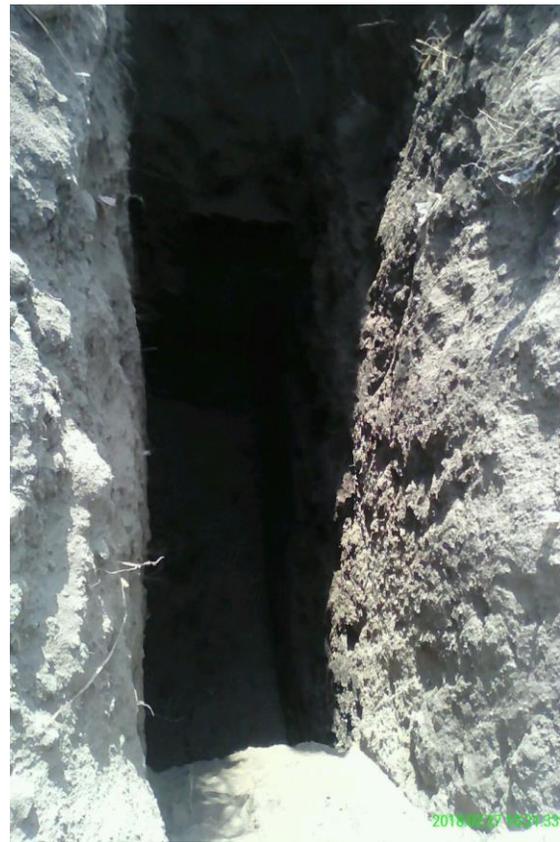


























ANEXO II PRUEBAS DE LABORATORIO

								CLASIFICACION Y CONTENIDO DE AGUA	
								OBRA:	LOTE-C
								SONDEO:	PCA,S
								FECHA:	02-mar-18
Muestra	Profundidad	Tara	tara	Wh-t	Ws-t	w	TORC.	CLASIFICACION	
Nº		Nº	gr.	gr.	gr.	%	kg/cm ²		
PCA-1	0.00	7	24.50	72.40	62.70	25.39		ARCILLA GRIS OBSCURO NEGRUSCO CON POCA ARENA FINA	
FRAG.	0.40								
BOLSA	1.40	2029	24.30	72.90	61.50	30.65		ARCILLA CAFÉ GRISACEO CLARO CON POCA ARENA FINA	
	1.80								
PCA-2	0.00	2000	24.40	92.10	84.70	12.27		ARCILLA ARENOSA FINA CAFÉ GRISACEO CLARO	
BOLSA	0.30								
BOLSA	0.30	2028	24.30	76.40	69.30	15.78		ARCILLA POCO LIMOSA CAFÉ GRISACEO CON POCA ARENA FINA	
	0.65								
FRAG.	0.65	HM	24.20	69.30	58.50	31.49		ARCILLA POCO LIMOSA CAFÉ GRISACEO CLARO CON POCA ARENA	
	1.35							FINA MATERIAL CEMENTADO (TOBA)	
PCA-3	0.00	31	23.90	87.80	83.30	7.58		ARCILLA POCO LIMOSA CAFÉ GRISACEO CON POCA ARENA FINA	
BOLSA	0.23							(MATERIAL CEMENTADO) TOBA	
BOLSA	0.25	2020	24.60	59.90	56.50	10.66		LIMO ARENOSO CAFÉ GRISACEO CON LAJAS DE CARBONATO DE	
	0.60							CALCIO (MATERIAL CEMENTADO) TOBA	
PCA-4	0.60	BM	24.20	82.90	71.70	23.58		ARCILLA POCO LIMOSA CAFÉ OBSCURO (MATERIAL CEMENTADO)	
BOLSA	1.40							TOBA	
PCA-5	0.26	2013	24.40	89.90	77.00	24.52		ARCILLA POCO LIMOSA CAFÉ OBSCURO (MATERIAL CEMENTADO)	
BOLSA	1.00							TOBA	
PCA-6	0.00	2010	24.50	92.50	81.10	20.14		ARCILLA POCO LIMOSA CAFÉ GRISACEO CLARO CON POCA ARENA	
BOLSA	1.00							FINA	
BOLSA	1.00	2022	24.70	83.80	73.00	22.36		ARCILLA POCO LIMOSA CAFÉ OBSCURO (MATERIAL CEMENTADO)	
	1.40							TOBA	
PCA-7	0.00	2012	24.70	90.60	79.00	21.36		ARCILLA POCO LIMOSA CAFÉ OBSCURO CON POCA ARENA FINA	
BOLSA	3.00								
PCA-8	1.00	2031	24.00	82.50	67.00	36.05		ARCILLA CAFÉ OBSCURO CON ESCASA ARENA FINA	
BOLSA	1.30								
PCA-9	0.00	2014	24.60	77.50	72.10	11.37		ARCILLA POCO LIMOSA CAFÉ OBSCURO (MATERIAL CEMENTADO)	
BOLSA	0.40							TOBA	
MC	0.40	2020	24.60	66.50	57.10	28.92		ARCILLA POCO LIMOSA CAFÉ OBSCURO (MATERIAL CEMENTADO)	
	0.70							TOBA	

CLASIFICACION Y CONTENIDO DE AGUA									
OBRA: LOTE-C									
SONDEO: PCA,S									
								FECHA:	02-mar-18
Muestra	Profundidad	Tara	tara	Wh+t	Ws+t	w	TORC.	CLASIFICACION	
Nº		Nº	gr.	gr.	gr.	%	kg/cm ²		
PCA-22	0.20	2019	23.90	81.80	72.30	19.63		ARCILLA POCO LIMOSA CAFÉ GRISACEO OSCURO CON POCA ARENA	
BOLSA	1.10							FINA	
BOLSA	2.00	M-2	24.80	84.50	70.90	29.50		ARCILLA POCO LIMOSA CAFÉ GRISACEO CLARO CON POCA ARENA	
	3.00							FINA	
MC	0.20	U	24.40	86.80	72.30	30.27		ARCILLA POCO LIMOSA GRIS OSCURO NEGRUSCO CON POCA ARENA	
	1.10							FINA	
PCA-23	0.70	3	24.20	92.70	78.40	26.38		ARCILLA POCO LIMOSA GRIS OSCURO NEGRUSCO CON POCA ARENA	
BOLSA	1.40							FINA	
PCA-24	1.50	2035	24.40	94.80	79.60	27.54		ARCILLA GRIS OSCURO NEGRUSCO CON ESCASA ARENA FINA	
BOLSA	2.50								
PCA-25	0.70	7	24.50	76.90	66.40	25.06		ARCILLA GRIS OSCURO NEGRUSCO CON ESCASA ARENA FINA	
BOLSA	1.80								
BOLSA	1.80	2029	24.10	89.70	77.90	21.93		ARCILLA POCO LIMOSA CAFÉ GRISACEO CLARO CON POCA ARENA	
	2.50							FINA	
PCA-26	0.50	2031	24.10	92.50	80.80	20.63		ARCILLA GRIS OSCURO NEGRUSCO CON ESCASA ARENA FINA	
BOLSA	1.90								
BOLSA	1.90	2006	24.40	70.80	62.00	23.40		ARCILLA POCO LIMOSA CAFÉ GRISACEO CLARO CON POCA ARENA	
	2.50							FINA	
PCA-27	1.40	2019	23.90	95.80	66.40	69.18		ARCILLA POCO LIMOSA CAFÉ GRISACEO CLARO CON POCA ARENA	
BOLSA	2.10							FINA	
PCA-28	1.00	HM	24.40	86.90	71.70	32.14		ARCILLA GRIS OSCURO NEGRUSCO CON ESCASA ARENA FINA	
MC	3.00								
PCA-29	0.60	13	24.10	91.30	79.60	21.08		ARCILLA POCO LIMOSA CAFÉ GRISACEO CLARO CON POCA ARENA	
FRAG.	2.00							FINA	
PCA-30	0.00	2008	24.60	86.30	77.10	17.52		ARCILLA POCO LIMOSA CAFÉ GRISACEO CLARO CON POCA ARENA	
BOLSA	0.50							FINA (MATERIAL CEMENTADO)	
BOLSA	0.70	Z-31	25.30	69.00	63.40	14.70		ARCILLA GRIS OSCURO NEGRUSCO CON POCA ARENA FINA	
	1.10								

CLASIFICACION Y CONTENIDO DE AGUA									
OBRA: LOTE-C									
SONDEO: PCA,S									
								FECHA:	02-mar-18
Muestra	Profundidad	Tara	tara	Wh+t	Ws+t	w	TORC.	CLASIFICACION	
Nº		Nº	gr.	gr.	gr.	%	kg/cm ²		
PCA-31	0.70	9	25.30	86.10	77.30	16.92		ARCILLA POCO LIMOSA CAFÉ GRISACEO CLARO CON POCA ARENA	
BOLSA	1.20							FINA (MATERIAL CEMENTADO)	
PCA-32	1.00	R	23.90	89.30	76.50	24.33		ARCILLA POCO LIMOSA CAFÉ GRISACEO CLARO CON POCA ARENA	
BOLSA	1.90							FINA (MATERIAL CEMENTADO)	
PCA-33	0.80	31	24.00	93.80	79.80	25.09		ARCILLA POCO LIMOSA CAFÉ GRISACEO CLARO CON POCA ARENA	
BOLSA	1.60							FINA	
PCA-34	0.00	M	24.70	92.80	81.70	19.47		ARCILLA POCO LIMOSA CAFÉ CON POCA ARENA FINA	
BOLSA	0.70								
FRAG.	0.70	2027	24.10	79.50	68.10	25.91		ARCILLA GRIS OSCURO NEGRUSCO CON ESCASA ARENA FINA	
	2.50								
PCA-37	0.00	2026	24.70	92.40	78.10	26.78		ARCILLA POCO LIMOSA CAFÉ GRISACEO CON POCA ARENA FINA	
BOLSA	1.30								
BOLSA	1.30	2002	23.80	92.70	78.10	26.89		ARCILLA GRIS OSCURO NEGRUSCO CON ESCASA ARENA FINA	
	2.80								
PCA-38	0.00	CM	24.00	94.60	79.30	27.67		ARCILLA POCO LIMOSA CAFÉ GRISACEO CLARO CON POCA ARENA	
BOLSA	1.80							FINA	
PCA-39	0.00	2007	24.30	94.20	81.80	21.57		ARCILLA POCO LIMOSA CAFÉ GRISACEO OSCURO CON POCA ARENA	
BOLSA	1.80							FINA	
BOLSA	1.80	796	24.30	83.70	72.20	24.01		ARCILLA GRIS OSCURO NEGRUSCO CON ESCASA ARENA FINA	
	3.00								
PCA-40	0.40	M-1	25.60	80.50	68.70	27.38		ARCILLA POCO LIMOSA GRIS OSCURO NEGRUSCO CON POCA ARENA	
BOLSA	1.80							FINA	
PCA-41	0.80	2	24.50	81.20	68.60	28.57		ARCILLA GRIS OSCURO NEGRUSCO CON ESCASA ARENA FINA	
BOLSA	1.80							FINA	
PCA-42	0.50	L	24.40	98.30	80.00	32.91		ARCILLA POCO LIMOSA CAFÉ GRISACEO CLARO CON ESCASA ARENA	
BOLSA	1.00							FINA	
BOLSA	1.00	2030	24.40	81.90	70.80	23.92		ARCILLA POCO LIMOSA GRIS OSCURO CON POCA ARENA FINA	
	2.20								
BOLSA	2.20	I-1	23.40	81.50	73.10	16.90		ARCILLA POCO LIMOSA CAFÉ GRISACEO CLARO CON POCA ARENA	
	2.70							FINA	

CLASIFICACION Y CONTENIDO DE AGUA								
		OBRA:		LOTE-C				
		SONDEO:		PCA,S				
						FECHA:		02-mar-18
Muestra	Profundidad	Tara	tara	Wh+t	Ws+t	w	TORC.	CLASIFICACION
Nº		Nº	gr.	gr.	gr.	%	kg/cm²	
PCA-43	1.10	DM	23.90	98.70	83.80	24.87		ARCILLA GRIS OSCURO NEGRUSCO CON ESCASA ARENA FINA
BOLSA	2.50							
PCA-44	0.30	2000	24.40	81.40	66.00	37.02		ARCILLA POCO LIMOSA CAFÉ CLARO CON POCA ARENA FINA
BOLSA	1.40							
MC	1.40	2028	24.20	72.60	62.40	26.70		ARCILLA GRIS OSCURO NEGRUSCO CON ESCASA ARENA FINA
	1.60							
PCA-45	1.30	2039	24.10	87.70	78.50	16.91		ARCILLA GRIS OSCURO NEGRUSCO CON ESCASA ARENA FINA
MC	2.40							
PCA-46	0.70	2011	24.30	91.90	83.50	14.19		ARCILLA POCO LIMOSA CAFÉ GRISACEO CLARO CON POCA ARENA FINA (MATERIAL CEMENTADO)
BOLSA	1.00							
PCA-47	1.60	2033	24.60	81.80	71.60	21.70		ARCILLA POCO LIMOSA CAFÉ GRISACEO CLARO CON POCA ARENA FINA
BOLSA	1.80							
PCA-48	0.40	2016	24.40	91.50	79.70	21.34		ARCILLA GRIS OSCURO NEGRUSCO CON ESCASA ARENA FINA
BOLSA	1.10							
BOLSA	1.10	GM	24.00	69.70	62.10	19.95		ARCILLA POCO LIMOSA CAFÉ GRISACEO CLARO CON POCA ARENA FINA (MATERIAL CEMENTADO)
	1.70							
PCA-50	1.40	6	24.20	72.50	64.30	20.45		ARCILLA POCO LIMOSA CAFÉ GRISACEO CLARO CON POCA ARENA FINA (MATERIAL CEMENTADO)
BOLSA	1.60							
PCA-51	0.50	2003	24.40	58.30	51.10	26.97		ARCILLA POCO LIMOSA CAFÉ CLARO CON POCA ARENA FINA (MATERIAL CEMENTADO)
BOLSA	0.70							
PCA-53	0.60	FM	24.20	66.40	59.50	19.55		ARCILLA POCO LIMOSA CAFÉ GRISACEO CLARO CON POCA ARENA FINA
BOLSA	3.20							
PCA-55	0.40	2010	24.40	78.10	71.50	14.01		ARCILLA POCO LIMOSA CAFÉ CLARO CON POCA ARENA FINA (MATERIAL CEMENTADO)
BOLSA	1.10							
PCA-56	0.90	2022	24.70	96.60	84.50	20.23		ARCILLA POCO LIMOSA CAFÉ CLARO CON POCA ARENA FINA (MATERIAL CEMENTADO)
BOLSA	1.30							
PCA-57	1.30	805	23.40	98.10	85.80	19.71		ARCILLA POCO LIMOSA CAFÉ CLARO CON POCA ARENA FINA (MATERIAL CEMENTADO)
BOLSA	2.00							

CLASIFICACION Y CONTENIDO DE AGUA								
		OBRA:		LOTE-C				
		SONDEO:		PCA,S				
						FECHA:		02-mar-18
Muestra	Profundidad	Tara	tara	Wh+t	Ws+t	w	TORC.	CLASIFICACION
Nº		Nº	gr.	gr.	gr.	%	kg/cm²	
PCA-58	0.30	M-2	24.80	92.30	81.20	19.68		ARCILLA POCO LIMOSA CAFÉ GRISACEO OSCURO CON POCA ARENA FINA
BOLSA	1.10							
MC	2.00	H-2	26.00	84.60	70.60	31.39		ARCILLA POCO LIMOSA CAFÉ GRISACEO OSCURO CON POCA ARENA FINA
	2.20							
PCA-59	1.40	54	24.20	84.00	72.10	24.84		ARCILLA CAFÉ GRISACEO OSCURO CON POCA ARENA FINA
MC	1.60							
BOLSA	1.60	X-1	25.20	76.70	65.40	28.11		ARCILLA POCO LIMOSA GRIS OSCURO NEGRUSCO CON POCA ARENA FINA
	2.40							
PCA-60	0.60	2025	24.40	85.50	73.70	23.94		ARCILLA POCO LIMOSA CAFÉ GRISACEO CON ESCASA ARENA FINA
BOLSA	1.90							

CALCULO DE LIMITES DE CONSISTENCIA

PROCEDENCIA: LOTE-C

SONDEO N°: PCA-44 MUESTRA: MC PROF.: 1.40-1.60 m.

DESCRIPCION DEL MATERIAL: ARCILLA GRIS OSCURO NEGRUSCO

LIMITE LIQUIDO

N° GOLPES	N° tara	Wh+T	Ws+t	Wt	W%
39	27	15.00	9.89	2.20	66.45
30	72	14.80	9.70	2.20	68.00
22	69	14.60	9.50	2.20	69.86
14	71	14.50	9.40	2.30	71.83

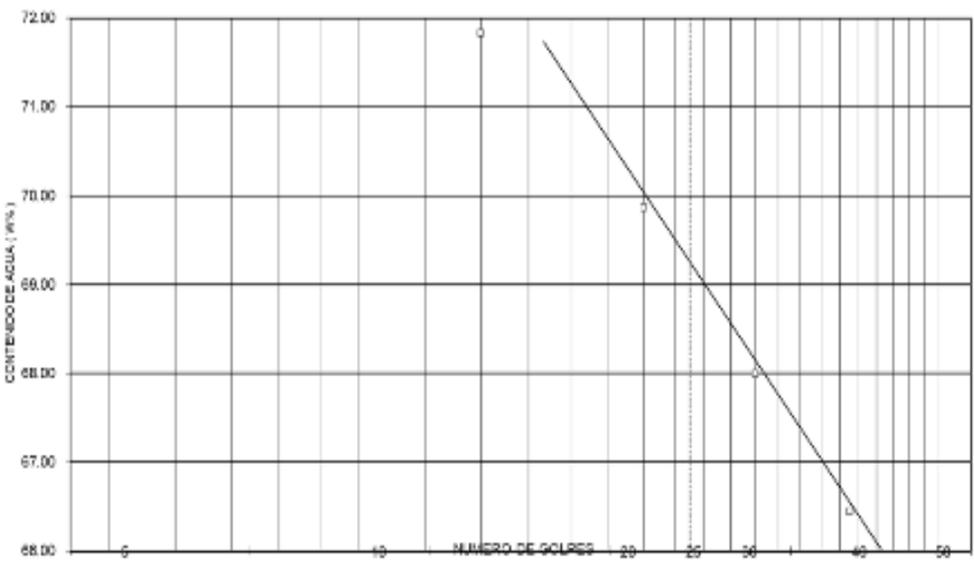
LIMITE PLASTICO

	22	6.30	5.20	2.30	37.93
	7	6.20	5.20	2.20	33.33

CONTRACCION

	barra n°	lec.inic.	lec.final	C.L. (%)

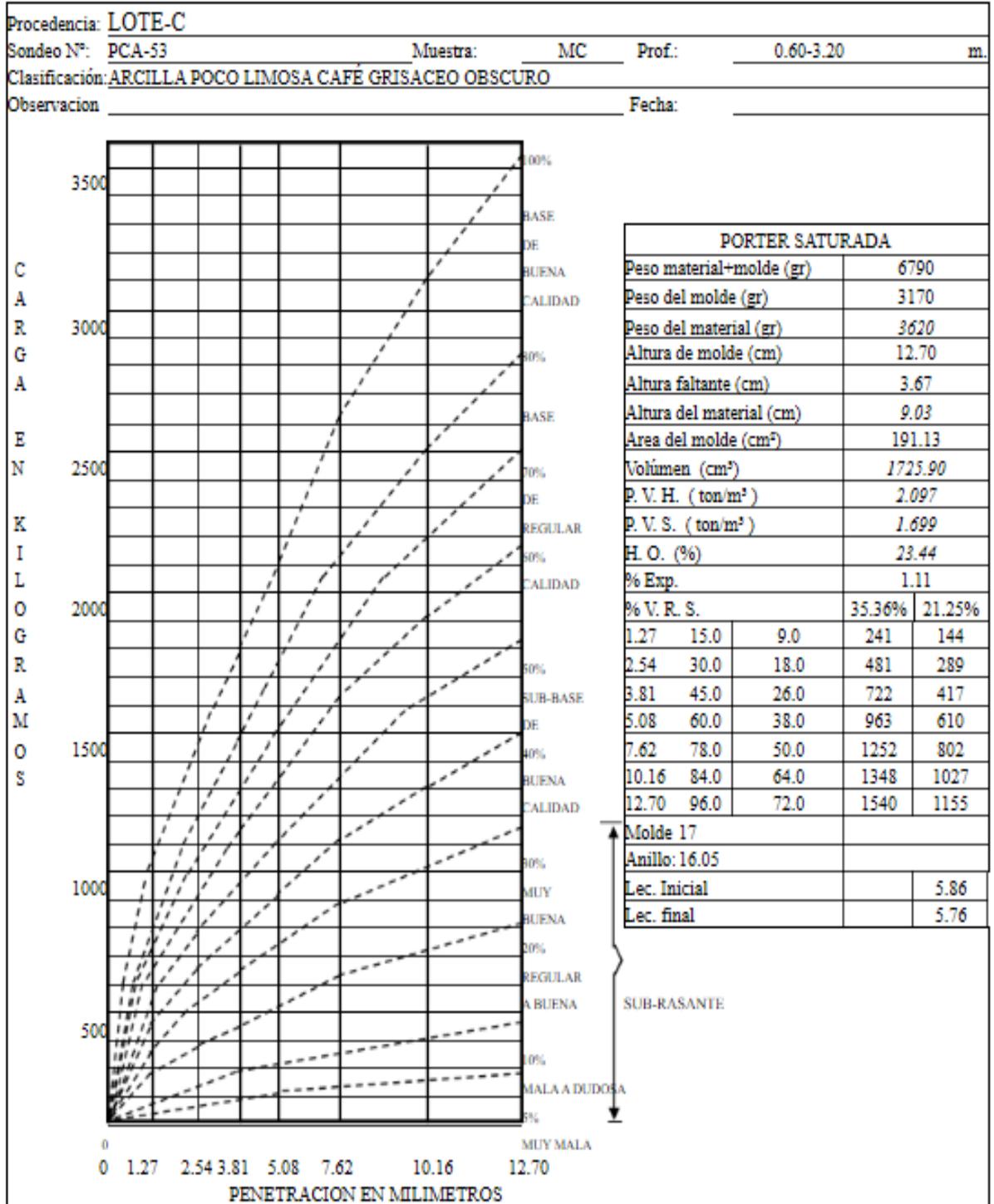
	L.L.	L.P.	I.P.	S.U.C.S
	69.10	35.63	33.47	OH-MH



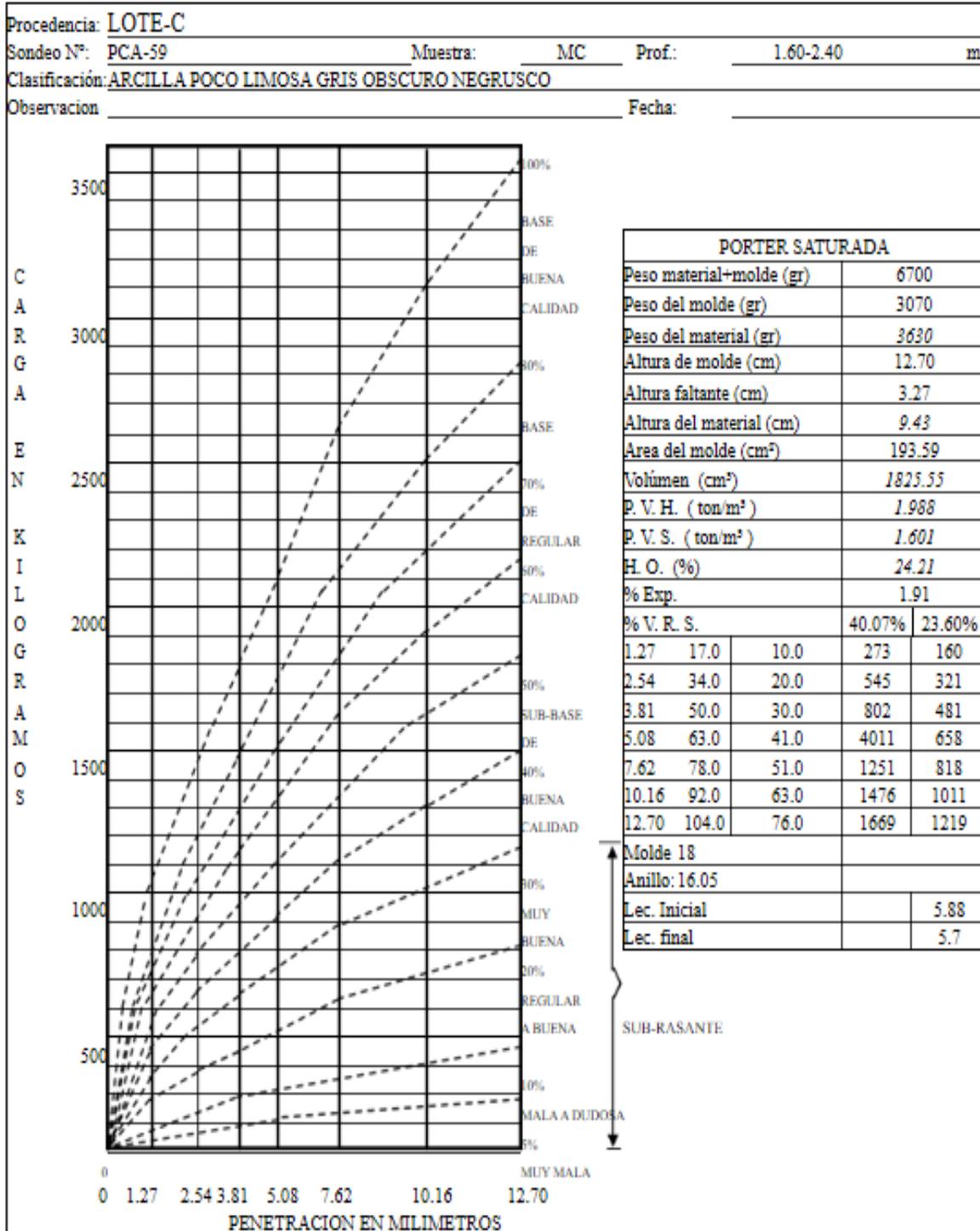
CONTENIDO DE AGUA (%)

NUMERO DE GOLPES

VALOR RELATIVO DE SOPORTE



VALOR RELATIVO DE SOPORTE



ANEXO III ESPECIFICACIONES PARA PAVIMENTOS DE TIPO FLEXIBLE

ESPECIFICACIONES PARA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS DE TIPO FLEXIBLE

1. NIVELES

Se efectuarán excavaciones o se construirán rellenos para que la subrasante tenga los niveles indicados en el proyecto.

Para la construcción de los pavimentos se deberá realizar un recorte mínimo de 0.60 m con respecto al nivel actual de relleno. A continuación se recompactará el material del nivel de máxima excavación hasta alcanzar un grado de compactación de 90% con respecto a la prueba AASHTO estándar. El material producto del despalde será desechado.

2. MATERIALES

Para construir los pavimentos se requerirán materiales para terracerías, sub-base, base, y carpeta asfáltica.

Las características que deberán tener los materiales son las siguientes:

2.1 Para terracerías

Podrán ser utilizadas mezclas de gravas, arenas y material fino, que satisfagan las siguientes especificaciones:

-límite líquido	45% máx.
-índice plástico	15% máx.
-contracción lineal	8% máx.
-valor relativo de soporte	10% mín.
-contenido de agua óptimo	25% máx.
-peso volumétrico seco máximo	1,500 kg/m ³

2.2 Para base

a) De granulometría

La curva granulométrica deberá quedar comprendida entre el límite inferior de la zona 1 y el superior de la zona 2 (Ver figura 82), adoptando una forma semejante a la de las curvas que limitan las zonas, y no tener cambios bruscos de pendiente.

La relación del porcentaje en peso que pasa la malla No. 200 al que pasa la malla No. 40, no deberá ser superior a 0.65.

b) De contracción lineal, valor cementante, valor relativo de soporte (CBR), tamaño máximo y peso volumétrico seco máximo, las siguientes:

	Zonas granulométricas del material	
	1	2
Contracción lineal, %	3.5 máx.	2.0 máx.
Valor cementante, Kg/cm ²	4.5 mín.	3.5 mín.
Valor relativo de soporte, %	80 mín.	80 mín.
Tamaño máximo del agregado	1 ½" máx.	1½" máx.
Peso volumétrico seco máximo, Kg/cm ³	1800 mín.	1800 mín.

2.3 Para carpeta asfáltica

El contratista deberá proponer la planta de asfalto que suministre la mezcla, la cual deberá ser calificada por el Director de la obra, de acuerdo con las normas marcadas a continuación:

Para construir la carpeta deberá utilizarse concreto asfáltico mezclado en caliente, con las siguientes características en prueba Marshall.

relación de vacíos	3-5 %
estabilidad	850 Kg
flujo	2 a 4.5 mm.
contenido de asfalto	el óptimo +/- 0.2 % obtenido en la prueba Marshall

En la mezcla deberá emplearse cemento asfáltico No. 6 con las siguientes características:

penetración	80 - 100 grados
punto de inflamación	232° .C. mín.
ductilidad	100 cm. mín.
solubilidad	99.5 % mín.
viscosidad	85 mín.

La curva granulométrica del agregado pétreo deberá quedar comprendida entre los límites marcados en la figura 83, sin presentar cambios bruscos de pendiente.

Las características físicas del agregado pétreo deberán satisfacer los siguientes valores:

Tamaño máximo	¾ "
contracción lineal	2.0% máximo
desgaste "Los Angeles"	40% máximo

forma de partículas	35% máximo
equivalente de arena	55% mínimo

Afinidad con el asfalto:

* desprendimiento por fricción	25% máximo
* pérdida de estabilidad por	
* inmersión de agua	25% máximo

3. GRADOS DE COMPACTACION

Los grados de compactación que deberán alcanzarse en las diferentes capas que forman el pavimento serán las siguientes:

Subrasante	: 90% con respecto a la prueba AASHTO estándar
Terracerías	: 100% con respecto a la prueba AASHTO estándar
Base	: 100% con respecto a la prueba AASHTO modificada
Carpetas asfálticas	: 98% con respecto a la prueba Marshall

Para el control de compactación, se recomienda que desde las primeras capas tendidas de cada tipo de material, se desarrolle un terraplén de prueba, para definir el número de pasadas óptimo, con el equipo elegido, que sean necesarias para alcanzar el grado de compactación especificado.

4. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

4.1 Se recortará el terreno natural, de acuerdo al capítulo 9, a continuación se recompactará hasta tener el grado de compactación especificado.

4.2 En caso de requerir terracerías para alcanzar el nivel de proyecto, se colocarán capas de material con espesor suelto máximo de cm. cm., con humedad cercana a la óptima (+/- 2%) y se compactarán hasta obtener el grado de compactación especificado.

4.3 A continuación se hará una escarificación a 5 cm de profundidad de la subrasante o tercería y se colocará la sub-base en capas con espesor suelto máximo de 20 cm. Para compactar se deberá humedecer y homogeneizar el material hasta alcanzar un valor cercano a la humedad óptima (+/- 2%). Se darán el número de pasadas necesario para obtener el grado de compactación especificado.

4.4 A continuación se hará una escarificación a 5 cm. de profundidad de la sub-base y se colocará la base en capas con espesor suelto máximo de 20 cm. Para compactar se deberá humedecer y homogeneizar material hasta alcanzar un valor cercano a la humedad óptima (+/- 2%). Se dará el número de pasadas necesario para obtener el grado de compactación especificado.



4.5 Terminada la base, se dejará orear por un periodo mínimo de 24 hrs., a continuación se barrerá la superficie y se aplicará un riego de impregnación con emulsión asfáltica cationica estable o similar a razón de 1.7 lts/m², conservándose este por un mínimo de 24 hrs., hasta comprobar mediante pruebas de campo la penetración del asfalto a la base, en caso necesario diluir con agua para optimizar la penetración.

4.6 A continuación se aplicará un riego de liga con emulsión asfáltica cationica de fraguado rápido RR-2K a razón de 0.7 lts/m², de 2 a 4 horas antes del tendido de la carpeta asfáltica.

4.7 Previamente al tendido de la mezcla asfáltica deberá aplicarse encima del riego de liga unas paladas de mezcla, para evitar que el tránsito necesario de construcción levante dicho riego. Posteriormente y para evitar la segregación, se tenderá la mezcla con una máquina terminadora (finisher) en un espesor tal que una vez compacto se tenga el de proyecto. La velocidad de la máquina terminadora al colocar la mezcla deberá estar comprendida entre 2 y 4 Km/hora.

Para obtenerse los espesores de material compacto de proyecto deberán controlarse los espesores que va dejando la terminadora según la siguiente relación:

Espesor de proyecto x 1.3 (abundamiento) = Espesor tendido por terminadora

La temperatura recomendable para el tendido debe estar comprendida entre 100a.C. y 130° C, debiendo evitarse éste, cuando la temperatura ambiente sea menor a los 10° C.

4.8 La mezcla asfáltica deberá compactarse a una temperatura comprendida entre 90° y 110° C, siendo la óptima 100° C. La compactación se hará longitudinalmente traslapando a toda rueda, iniciando de la parte baja hacia la parte alta, avanzando de la guarnición al centro del arroyo, el equipo recomendado es el siguiente:

a) Para la compactación inicial deberá emplearse una compactadora de rodillos lisos tipo Tandem de 6 a 8 ton con una velocidad que no debe exceder de 5 Km/hora para evitar el levantamiento de la mezcla caliente, se traslapará entre pasada y pasada media rueda, con el objeto de darle el acomodo inicial al material.

b) Una vez que la compactadora Tandem deje huellas apenas perceptibles se procederá a compactar la capa con una compactadora de 3 rodillos lisos y un peso de 12 ton hasta que las huellas de ésta sean muy leves.

c) La compactación final de la mezcla se dará con una compactadora neumática que borre las huellas que deja la máquina de 12 ton hasta dejar una superficie afinada adecuada al tránsito de vehículos.

4.9 Se impermeabilizará la carpeta asfáltica aplicando un sello con cemento como se indica a continuación:

- a) Una vez compactada y recibida la carpeta asfáltica y que ésta haya adquirido la temperatura ambiente y antes de proceder al sello con cemento, deberá barrerse perfectamente la superficie, dejándose libre de polvo e impurezas.
- b) Posteriormente se distribuirá el cemento Portland en seco sobre la superficie de la carpeta a razón de $3/4$ Kg por m^2 , tallándose enérgicamente con cepillos de fibra contra la superficie, a fin de que penetre en la porosidad de la carpeta asfáltica.
- c) Después se adicionará el agua necesaria (1 a 1.5 lts/ m^2 aproximadamente) para formar una lechada de consistencia media, la cual se distribuirá enérgicamente con los mismos cepillos, hasta lograr una superficie uniforme. En vías donde las pendientes sean mayores del 3 % deberán tomarse las precauciones necesarias al adicionar el agua para evitar escurrimientos y deslaves.
- d) Se dejará reposar este sello cuando menos 6 horas para evitar que el tránsito lo levante.

5.- CONTROL DE CALIDAD

5.1.- Materiales de terracerías, subrasante y base

- a) Deberán verificarse las características de los materiales a emplearse en el pavimento, de acuerdo con lo especificado en el inciso 2.
- b) Para verificar los grados de compactación alcanzados, se llevarán a cabo pruebas en cada capa. Se recomienda hacer una prueba por cada $50m^3$ de material compactado.
- c) Para conocer las variaciones del peso volumétrico seco máximo de los materiales, se recomienda hacer una prueba AASHTO, según se requiera, por cada $200 m^3$ de material compactado o cuando cambie el tipo de material.
- d) El material empleado deberá estar exento de materia orgánica y partículas extrañas.

5.2.- Carpeta asfáltica

- a) Se deberán efectuar las pruebas indicadas en el inciso 2 a los materiales empleados.
- b) Deberán verificarse las características del concreto asfáltico cada día de tendido, mediante pastillas Marshall.
- c) Se controlará la temperatura de la mezcla asfáltica, de acuerdo con las siguientes recomendaciones:

Al salir de la planta	120 °C 150 °C.
Al tender	100 °C.
Al compactar	90 °C

En general la compactación deberá terminarse a 70a.C. mínimo.

- d) Posteriormente deberán efectuarse pruebas de compactación y permeabilidad en la carpeta terminada.

ANEXO IV ESPECIFICACIONES PARA PAVIMENTOS DE TIPO RIGIDO.

ESPECIFICACIONES PARA LA CONSTRUCCION DEL SISTEMA DE PAVIMENTO RIGIDO

1. - Espesor de la losa de concreto hidráulico.

Será de 18 cm en los pisos interiores de la estructura de proyecto, y de 20 cm. para las vialidades y andenes, según se especifica en el estudio de Mecánica de Suelos.

2.- Niveles

Para llegar a los niveles de proyecto deberá efectuarse la construcción de un terraplén en toda el área cubierta por las estructuras.

Se recortará el terreno natural, de acuerdo al capítulo 9, a continuación se recompactará hasta tener el grado de compactación especificado. El material producto del despalme será desechado.

Todas las referencias topográficas existentes en el lugar se respetarán durante la construcción, tales como: alineamientos, niveles, señalamientos, etc., reponiéndose en caso de que se dañen o se alteren.

3.- Materiales

Para construir los pisos se requerirán materiales para terracerías y base. Las características que deberán tener los materiales serán las siguientes:

3.1.- Para terracerías

Se podrán emplear en la construcción de los terraplenes los materiales que satisfagan las siguientes especificaciones:

Límite líquido	45% máx.
Índice plástico	15% máx.
Contracción lineal	5% máx.
Valor Relativo de Soporte (CBR)	15% máx.
Contenido de agua óptimo	25% máx.
Peso volumétrico seco máximo	1,500 kg/m ³ mín.

3.2.- Para base

- De granulometría

La curva granulométrica queda comprendida entre el límite inferior de la zona 1 y el superior de la zona 2 de la figura 82, adoptando una forma semejante a la de las curvas que limitan las zonas, y no tener cambios bruscos de pendiente.

La relación del porcentaje en peso que pasa la malla No. 200 al que pasa la malla No. 40, no deberá ser superior a 0.65.

- De contracción lineal, valor cementante, valor relativo de soporte (CBR), tamaño máximo y peso volumétrico seco máximo, se tendrán las siguientes especificaciones:

	Zonas granulométricas del material	
	1	2
Contracción lineal, %	3.5 máx.	2.0 máx.
Valor cementante, kg/cm. ²	4.5 mín.	3.5 mín.
Valor relativo de soporte, %	80 mín	80 mín.
Tamaño máximo del agregado	2" máx.	2" máx.
Peso volumétrico seco máximo, kg/m ³	1800 mín.	1800 mín.

4.- Procedimiento constructivo para terracerías y base

4.1 Se recortará el terreno natural, de acuerdo al capítulo 9, a continuación se recompactará hasta tener el grado de compactación especificado. El material producto del despalme será desechado.

4.2 Los materiales que se emplearán en las terracerías se mezclarán mediante una motoconformadora hasta obtener una revoltura homogénea en su constitución y granulometría.

4.3 La terracería (subrasante) se colocará en capas de 20 cm. de espesor, las que se compactarán al 100% de su peso volumétrico seco máximo según la prueba AASHTO Estándar.

4.4 A continuación se hará una escarificación de 5 cm. de profundidad en la subrasante y se colocará la base cuyo espesor será de 20 cm., compactada al 100% de su peso volumétrico seco máximo según la prueba AASHTO modificada. Para compactar se deberá humedecer y homogeneizar el material hasta alcanzar un valor cercano a la humedad óptima ($\pm 2\%$).

5.- Moldes

El concreto se vaciará en moldes metálicos e indeformables, que no sufran variaciones en sus alineamientos y niveles, fijados firmemente a la base.

Antes del vaciado se engrasarán las superficies que estarán en contacto con el concreto. Los moldes no se removerán antes de que el concreto haya endurecido lo suficiente, para soportar sin deterioro las maniobras respectivas, siendo este lapso de 24 horas como mínimo.

6. - Juntas

Las juntas serán de tres tipos:

. Juntas transversales de contracción

El objeto de una junta de contracción es limitar los esfuerzos de tensión a valores permisibles. Como estas juntas deben estar en libertad de abrirse, la continuidad del refuerzo se interrumpe en las juntas. Esta junta se construye formando una ranura en la superficie del piso. Las juntas irán espaciadas a cada 6 m.

Estas juntas consisten en ranuras cuya profundidad será la tercera parte del espesor de la losa, las cuales se harán por medio de cortadoras especiales de abrasivo o diamante industrial con un ancho de 3 a 6 mm., el tiempo que debe transcurrir entre el colado y el corte será de 72 horas.

Las ranuras se limpiarán perfectamente y se rellenarán con un material elástico resistente al efecto de los solventes, el calor de los motores y el intemperismo. Debe ser adherente a las paredes y permitir dilataciones y contracciones sin agrietarse. Se recomiendan dispositivos mecánicos para transmisión de cargas entre juntas, mediante barras de sujeción, con el propósito de mantener las caras de las losas colindantes en contacto íntimo asegurando así una transmisión de cargas adecuadas. Para este propósito se podrán emplear barras lisas de 1/2" de 70 cm. de longitud espaciadas a cada 1.0 m.

En la figura 84 se presentan los detalles recomendados para el diseño de una junta de contracción transversal.

. Juntas transversales de expansión o dilatación

La función principal de una junta de expansión es proporcionar el espacio para que tenga lugar la expansión del pavimento y por consiguiente evitar que se originen esfuerzos de compresión que pudieran causar daños al mismo.



El ancho del espacio para expansión por junta, será de 19 mm. Es necesario colocar dispositivos para transmisión de cargas en las juntas de expansión, consistentes en pasajuntas. La separación entre estas juntas deberá ser a cada 48 m. como máximo, y tendrán varillas pasajuntas lisas de 60 cm de longitud, 1" de diámetro y separadas a cada 30 cm.

En las juntas de expansión, los extremos libres de las pasajuntas deberán penetrar en un casquillo metálico adecuado, que permita el movimiento de la pasajunta dentro del concreto durante un ciclo de expansión.

La junta deberá sellarse con material compresible e impermeable (asfalto No.8), los detalles recomendados para el diseño de juntas de expansión se muestra en la figura 85.

.Juntas de construcción

Estas pueden ser de dos tipos:

Longitudinales. El pavimento se dividirá longitudinalmente en fajas de ancho variable entre 3.50 y 6.0 m., de acuerdo con el proyecto, entre estas fajas existirán juntas longitudinales de construcción que pueden ser planas o machihembrados, mediante el uso de cimbra deslizante. Podrán efectuarse la junta plana provocándola mediante un corte con regla cuando aún el concreto está fresco (en proceso de fraguado) o dejando ahogada una cimbra machiembreada.

Transversales. El vaciado longitudinal se hará en forma continua dependiendo del avance del contratista, haciendo una junta transversal plana o machihembrado al terminar el trabajo diario o por interrupción imprevista, respetando la modulación de proyecto.

Al retirar los moldes (en el caso de utilizarlos) y en cuanto la superficie este suficientemente seca, se procederá a pintarla con cemento asfáltico del No. 6 u 8, hasta lograr un espesor uniforme de 3 mm antes de proceder al vaciado de la losa contigua. Igualmente que en el caso de las juntas de contracción se recomienda la instalación de barras de sujeción para la transmisión de cargas entre las juntas, siendo del mismo calibre y distribución en este caso.

Los detalles de diseño recomendados para las juntas de construcción tanto articuladas como planas se muestran en la figura 86.

7.- Concreto Hidráulico.

El concreto por emplearse deberá de tener una resistencia mínima a la compresión a la edad de 28 días de 250 kg/cm^2 . El revenimiento del concreto será entre 8 y 12 cm.

8.- Colocación y vibrado del concreto.

Antes de iniciar la colocación del concreto, se deberá humedecer la superficie de la base hasta saturarla, pero sin que se formen charcos.

Será conveniente utilizar una espaciadora tipo tolva que reciba el concreto del camión de descarga lateral y lo deposite de manera uniforme sobre todo el ancho del piso.

La altura de caída del concreto no deberá ser mayor de 50 cm.

El concreto en el momento de colocarse tendrá la consistencia especificada por el revenimiento de proyecto.

La revoltura se distribuirá uniformemente sobre la superficie preparada y se compactará mediante vibrador de inmersión, seguido de una regla vibratoria hasta lograr una compactación uniforme y la eliminación de huecos.

9.- Acabado del piso

Una vez conformada la superficie mediante el vibrado superficial, se aplanará con llana de madera de mango largo, después se afinará con banda de lona y hule de aproximadamente 20 cm. de ancho, colocada perpendicularmente al eje de la vía, con el objeto de eliminar prominencias y depresiones, hasta dejarla uniforme pero con una textura ligeramente áspera. No se permitirán crestas ni depresiones mayores de 4 mm. medidas con una regla paralela al eje de la vía.

También puede dársele al piso un acabado con ranuras longitudinales con objeto de lograr una superficie antiderrapante.

Las aristas de las juntas se redondearán a un radio aproximado de 4 mm. para lo cual se emplea un volteador que pasa sobre el concreto fresco inmediatamente después de terminado el afinado de la superficie.

10.- Curado del concreto para el piso.

Inmediatamente después de terminarse el colado de las losas, se procederá a cubrirla con una membrana impermeable de algún producto aprobado por la dirección de la obra y que cumpla con la especificación ASTM-C-309 vigente, que se aplicará finamente atomizando y que mantendrá la humedad por un tiempo



mínimo de 24 horas, al cabo de las cuales se podrá seguir usando esta membrana manteniéndola en buenas condiciones o alguno de los siguientes procedimientos durante siete días posteriores al colado.

- a) Riego de agua. Para conservar constante y eficientemente húmeda toda la superficie.
- b) Lámina de agua. Con un tirante de 5 cm. retenida mediante bordes de arcilla.
- c) Arena húmeda. Con un espesor de 5 cm manteniéndola constantemente humedecida.

11.- Protección del concreto.

El piso de concreto hidráulico terminado deberá protegerse contra el tránsito de vehículos o personas por un tiempo mínimo de siete días si se emplea cemento de resistencia rápida y 14 días con concreto de resistencia normal.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Juárez B, E; Rico, R.A. **“Mecánica de Suelos Tomo I”**, Fundamentos de Mecánica de Suelos, Editorial LIMUSA, México.
- Juárez B, E; Rico, R.A. **“Mecánica de Suelos Tomo II”**, Fundamentos de Mecánica de Suelos, Editorial LIMUSA, México.
- Alfonso Rico y Hermilo del Castillo. **“La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres”**, Editorial LIMUSA, México.1997.
- **Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Cimentaciones**
- Tamez González, Enrique. **“Ingeniería de Cimentaciones”** Editorial TGC Geotecnia, México, 2001.
- E. Bowles, Joseph. **“Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil”**, Editorial McGraw Hill, México.
- Álvarez Bautista Gabriel (2013). **“Cimentaciones, Materia de Geotecnia”**. FES Aragón, UNAM, México.
- Servicio Geológico Mexicano. **“Aplicaciones Geológicas-Geotecnia”**. México