



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

“Estudio de mecánica de suelos realizado en el municipio de Zumpango de Ocampo, estado de México, para evaluar el comportamiento de casas habitación de la unidad habitacional villas de Zumpango.”

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA

EZEQUIEL MONTERO SALGADO

DIRECTOR DE TESIS

INGENIERO. GABRIEL ÁLVAREZ BAUTISTA



FES Aragón

CIUDAD NEZAHUALCÓYOTL, EDO. DE MÉXICO 2016



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



AGRADECIMIENTOS.

Agradezco a mi familia, a mis hermanos: Ricardo, Carlos, Wendy, que en todo momento estuvieron a mi lado motivándome para seguir adelante en esta carrera y que son grandes personas y ejemplos a seguir en los terrenos del estudio y educación.

A mis tíos. que siempre estuvieron pendientes de mi progreso como estudiante y como ser humano.

A mi padre Siempre buscó lo mejor para mí y trató de darme la mejor educación para ser un hombre de bien, y desde allá arriba espero te sientas orgulloso de mí.

A mi madre. Nada de esto sería posible sin su apoyo, comprensión y esfuerzo para sacar a mis hermanos y a mí adelante, ha sido un largo camino desde que nací hasta entonces, un camino complicado por las circunstancias adversas que ha tenido que pasar Para que este logro y el de mis hermanos pueda verse realizado, infinitas gracias Leticia.

A mi asesor de tesis, Ingeniero Gabriel muchas gracias por todo el apoyo y atención que tuviste para realizar este proyecto, muchas, muchas gracias.

A los maestros que con los tomé clases, aprendizaje en toda la extensión de la palabra, de letras, de números y de vida.

Gracias a la universidad, a la UNAM, una gran institución y de la cual me siento orgulloso de pertenecer.



INDICE

INTRODUCCIÓN

1. ANTECEDENTES

- 1.1 Ubicación
- 1.2 Topografía
- 1.3 Colindancias
- 1.4 Objetivo

2. Exploración y muestreo del subsuelo

- 2.1 Generalidades
- 2.2 Pozos a cielo abierto

3. pruebas de laboratorio

- 3.1 Muestras alteradas
- 3.2 Muestras inalteradas

4. Características estratigráficas y físicas del subsuelo

- 4.1 Levantamiento geológico local
- 4.2 Características estratigráficas y físicas del subsuelo
- 4.3 Sismicidad

5. Evaluación geotécnica de las estructuras

- 5.1 Expansiones en el subsuelo
 - 5.1.1 Causas que han originado las fisuras en muros de casas existentes
- 5.2 Alternativas de rehabilitación

6. Movimiento de tierras

7. Conclusiones

Referencias bibliográficas

Anexo I reporte fotográfico

Anexo II pruebas de laboratorio

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO

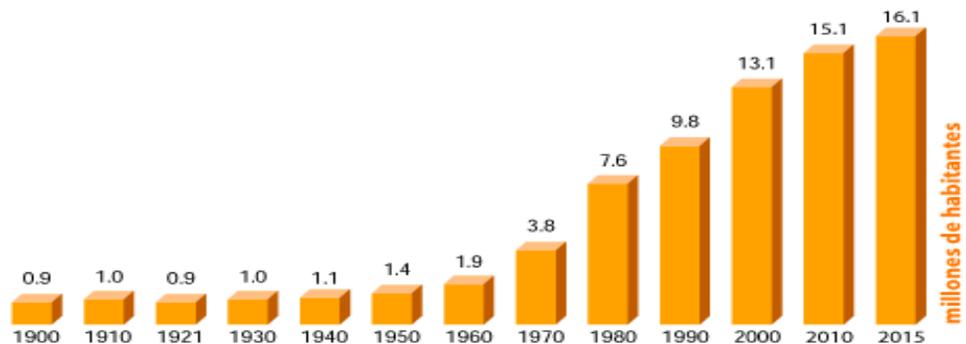


INTRODUCCIÓN.

Zumpango de Ocampo es la cabecera del municipio de Zumpango, uno de los 125 municipios del Estado de México. Es una comunidad urbana y según el censo del 2010 tiene una población total de 50 742 habitantes.

La sede de esta región mexiquense se ubica en la cabecera municipal del municipio homónimo; limita al norte con Hueypoxtla, Noroeste con Tequixquiac, al oeste con Huehuetoca, al suroeste con Teoloyucan, al sur con Melchor Ocampo, al sureste con Jaltenco y Nextlalpan, al este con Tecámac y al noreste con Tizayuca, Estado de Hidalgo.

En la siguiente tabla se muestra el crecimiento de la población en el estado de México desde 1900 hasta 2015 según datos del INEGI.



La construcción de hogares para las familias mexiquenses ha creado la necesidad de establecerse en terrenos inestables, en dónde existían rellenos sanitarios y construir unidades habitacionales de gran tamaño.

Para el caso de esta localidad Zumpango de Ocampo, se construye la “unidad habitacional villas de Zumpango” con casas de 1 y 3 niveles y se proyecta seguir con la construcción de más casas en una segunda etapa.

A continuación se muestran los casos de las casas ya construídas y la zona donde se construirán las próximas casas en la segunda etapa, para demostrar la necesidad de un estudio de mecánica de suelos.

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



1. ANTECEDENTES

1.1.- Ubicación

Se solicitó el Estudio de Mecánica de Suelos de la Unidad habitacional “Villas de Zumpango”, ubicada a un costado de Av. Zaragoza S/N, San Bartolo Zumpango, Municipio Zumpango de Ocampo, Estado de México; y cuenta con un área aproximada de 33,137 m²; donde se tienen construidas viviendas de uno y tres niveles en la primera etapa. La localización del sitio de interés se indica en la figura 1.



FIGURA 1.- LOCALIZACION DEL SITIO DE INTERES.

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



1.2.- Topografía

El predio de interés se encuentra ligeramente por arriba del nivel de banqueta, se tiene una superficie plana. En la superficie del terreno actualmente se encuentran casas habitación de un nivel y estructuras de tres niveles, el predio tiene un área aproximada de 33,137 m² aproximadamente.



FIGURA.- 2. TOPOGRAFIA DEL PREDIO DE INTERÉS

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



1.3.- Colindancias

Las colindancias del predio en estudio se describen a continuación: En el lindero norte colinda con un Camino vecinal denominado Circuito Villas de Zumpango, al sur está delimitado por un camino vecinal denominado Villas de Tulipanes, al poniente colinda con la Vialidad Zaragoza, al oriente con un camino vecinal denominado Villas de Jazmines. Como se muestra en la figura 3.



FIGURA.- 3. COLINDANCIAS DEL PREDIO DE INTERÉS

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



1.4.- Objetivo

El objeto del estudio es:

Determinar la estratigrafía y propiedades del subsuelo superficial existente bajo las casas ya construidas.

En este informe se describen los trabajos realizados, se reportan los resultados obtenidos para conocer las causas que han ocasionado el mal comportamiento que han tenido hasta el momento las casas existentes, y se consignan las medidas correctivas que deberán aplicarse para estabilizar al subsuelo y evitar que continúen generándose las fisuras en las estructuras existentes de 1 y 3 niveles.

EXPLORACION Y MUESTREO DEL SUBSUELO

Imágenes de la exploración realizada.



ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



2.- Exploración y muestreo del subsuelo

De acuerdo a los requerimientos del cliente, tomando en cuenta la magnitud del área y con el objeto de conocer las características estratigráficas y físicas del subsuelo bajo las estructuras construidas se realizó la siguiente exploración:

Se excavaron quince pozos a cielo abierto a profundidades variables entre 1.0 y 1.1 m, obteniendo muestras cúbicas inalteradas de los materiales representativos y determinando la estratigrafía en las paredes de los pozos mediante técnicas de campo.

2.1.- Generalidades

La investigación del subsuelo tiene como finalidad, averiguar el estado natural de un suelo de cimentación de un tipo determinado de estructura o de un arreglo de ellas.

Para lo anterior se realizaron quince pozos a cielo abierto entre 1.0 y 1.1 m de profundidad, en lugares estratégicamente seleccionados, con el fin de conocer la existencia de rellenos controlados, la estratigrafía del subsuelo y sus características de resistencia y deformabilidad así como los espesores correspondientes a la arcilla expansiva encontrada.

Debido a lo homogéneo y complejo del suelo, en muchos sitios se han ideado pruebas de campo y laboratorio, que permiten obtener en forma aproximada valores y propiedades índice y mecánicas de los suelos. Estos datos permiten tener elementos de cálculo, para conocer la capacidad de carga del suelo y la deformación que se producirá generar, con lo que podrá dictaminarse la recomendación necesaria para reducir y evitar hasta donde sea posible que se sigan generando daños a las casas habitación existente.

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



2.2.- Pozos a cielo abierto

Este sondeo es de los comúnmente empleados y recomendados para determinar las propiedades del subsuelo superficial, debido a que las muestras obtenidas son prácticamente inalteradas.

El método queda limitado principalmente al tipo de material y posición del nivel de agua freática, sin embargo si el nivel freático se encuentra antes de cumplir con los objetivos de esta investigación, esto no deberá considerarse como limitante de la profundidad del pozo, el cual deberá continuarse, aunque se requiera utilizar equipo de bombeo. Esta condición nos llevara a encarecer el costo de la cimentación y deberá tomarse en cuenta al escoger el tipo de estructura a construir en el sitio.

El procedimiento consiste en realizar excavaciones a cielo abierto dentro del predio en estudio de exactamente 0.8 m. x 1.50 m. y profundidad tal que permita determinar las características de los depósitos superficiales (rellenos) y la profundidad a la que se tiene el N.A.F. (Nivel de Agua Freática) que en este caso no se detectó la presencia de agua en ningún pozo realizado.



POZOS A CIELO ABIERTO EXCAVADO



ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



El pozo debe realizarse con pico y pala, una vez hecha la excavación, en una de las paredes del pozo se va abriendo una ranura vertical de sección uniforme de la cual se obtiene una muestra cúbica de aproximadamente 25 cm de lado por 20 cm de profundidad, este trozo de suelo se empaqueta debidamente y se envía al laboratorio para su estudio. Si se detectan a simple vista varios estratos de suelo, se tomarán muestras de cada uno de ellos de la misma forma.

Es importante mencionar que la excavación y todos los trabajos realizados deberán estar supervisados por un ingeniero especialista en Mecánica de Suelos, para que ahí mismo realice sencillas pruebas de campo que determinen de manera preliminar el tipo de suelo y algunas de sus características como granulometría, plasticidad, entre otras.

La ubicación y número de pozos a realizar esta en función del tamaño del predio, del área que abarque la nueva construcción, del conocimiento previo de las colindancias. Se deberá cuidar que la ubicación de los pozos, sea tal que permita la mayor información con el mínimo costo y tiempo, dependiendo de las condiciones antes citadas. Los pozos también deben permitir obtener información acerca del desplante de las estructuras colindantes, y de las cimentaciones antiguas en el predio mismo en el caso de que existan.

En la figura 4 se presenta un croquis con la ubicación de los pozos a cielo abierto realizado dentro del predio.

En las figuras 5 a 19 se presentan los perfiles estratigráficos de los pozos a cielo abierto realizados.

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO

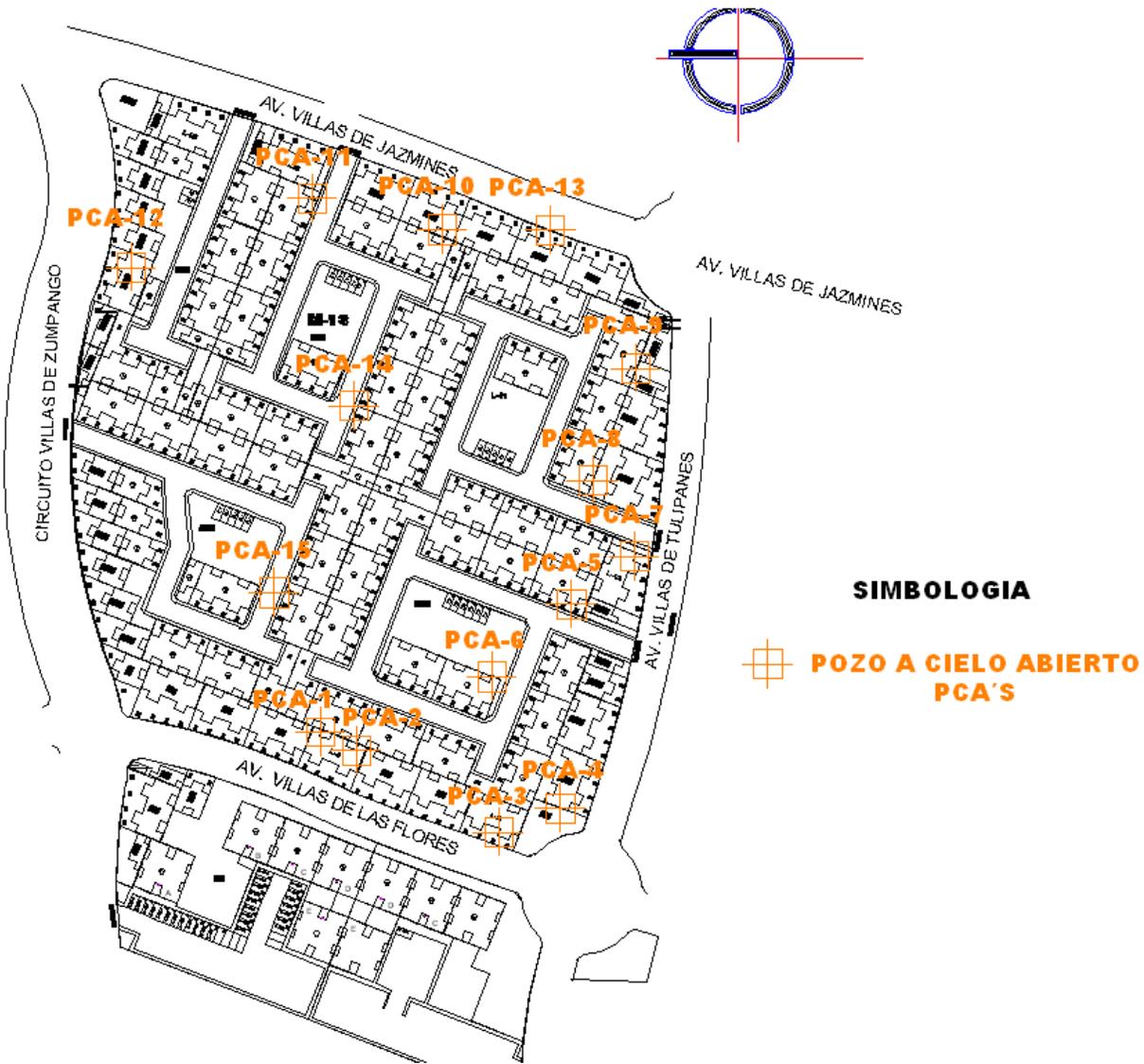


FIGURA.- 4 UBICACIÓN DE PCA'S DENTRO DEL SITIO DE INTERES

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO

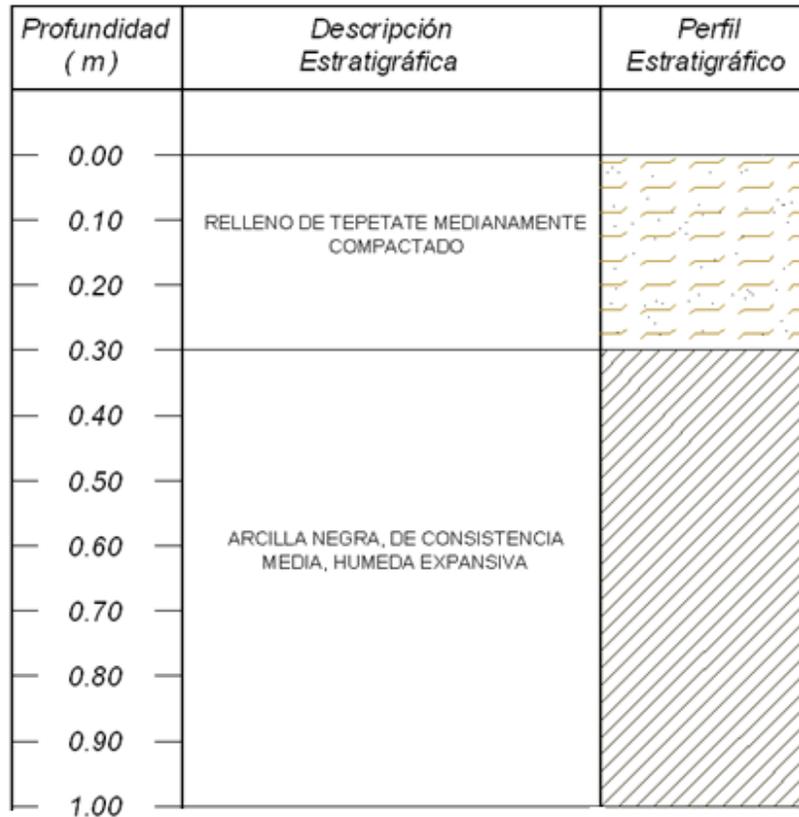


FIGURA 5.- PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEL PCA-1-5a

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



Profundidad (m)	Descripción Estratigráfica	Perfil Estratigráfico
0.00		
0.10	RELLENO DE TEPETATE MEDIANAMENTE COMPACTADO	
0.20		
0.30		
0.40		
0.50		
0.60	ARCILLA NEGRA, DE CONSISTENCIA MEDIA, HUMEDA, EXPANSIVA	
0.70		
0.80		
0.90		
1.00		



ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



FIGURA 6.- PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEL PCA-2-5

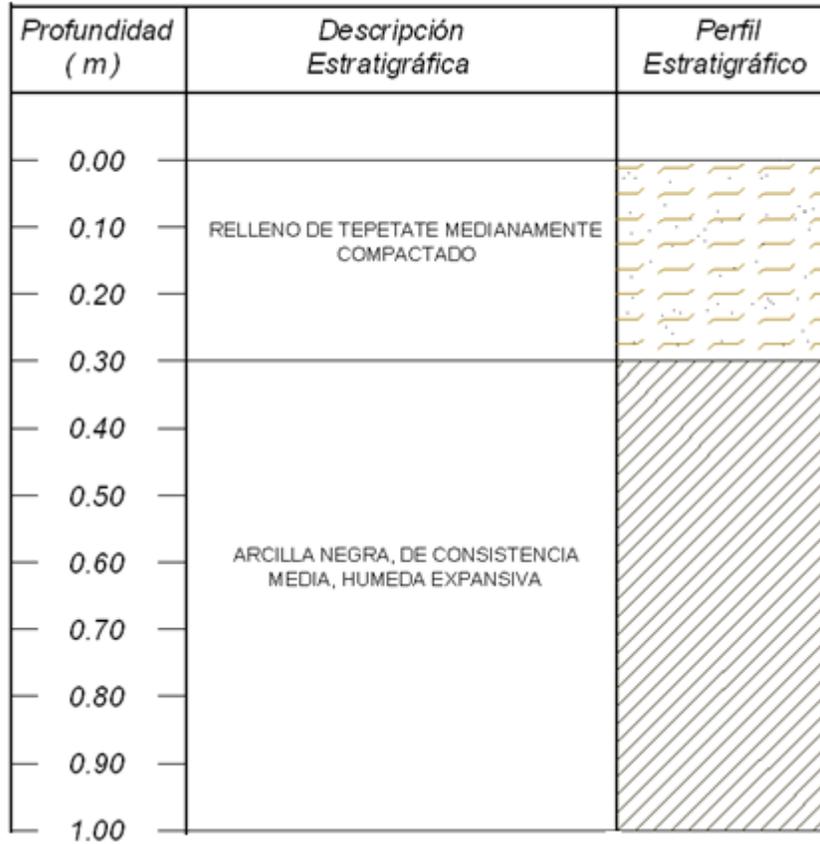


FIGURA 7.- PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEL PCA-3-2C

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO

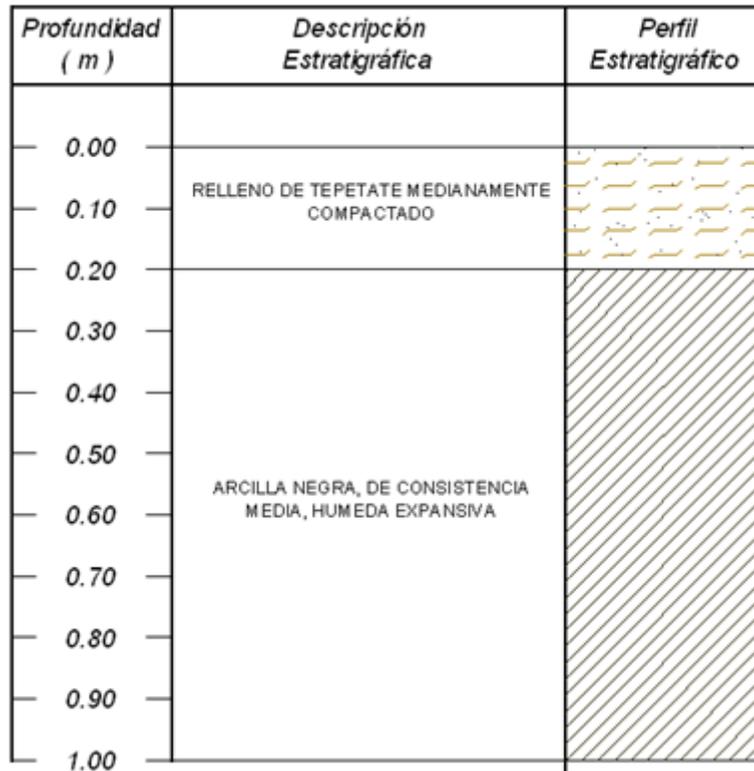


FIGURA 8.- PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEL PCA-4

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO

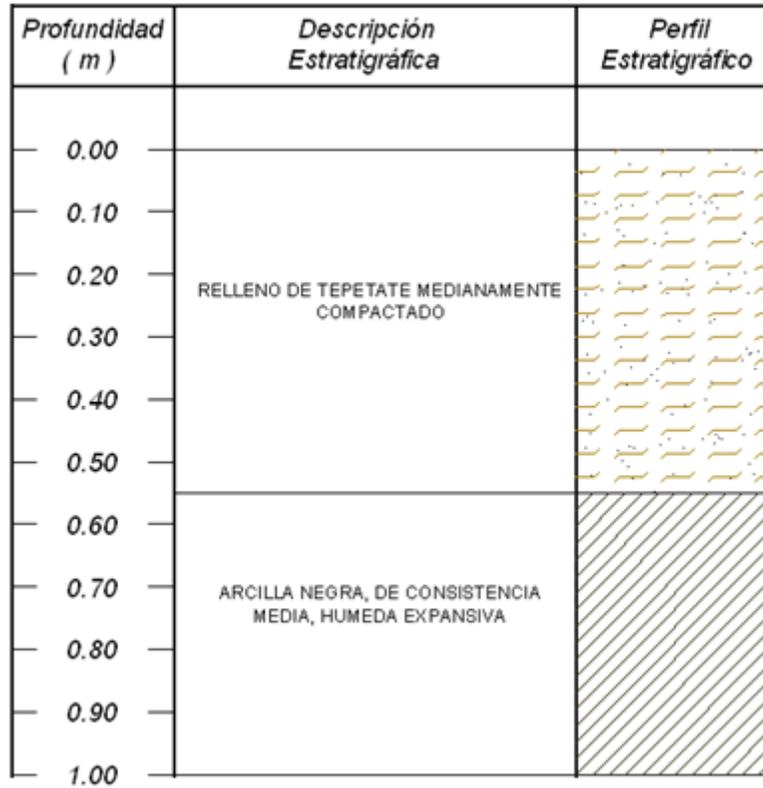


FIGURA 9.- PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEL PCA-5

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



Profundidad (m)	Descripción Estratigráfica	Perfil Estratigráfico
0.00		
0.10	RELLENO DE TEPETATE MEDIANAMENTE COMPACTADO	
0.20		
0.30		
0.40	ARCILLA NEGRA, DE CONSISTENCIA MEDIA, HUMEDA EXPANSIVA	
0.50		
0.60		
0.70		
0.80		
0.90		
1.00		



FIGURA 9A.- PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEL PCA-5B

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO

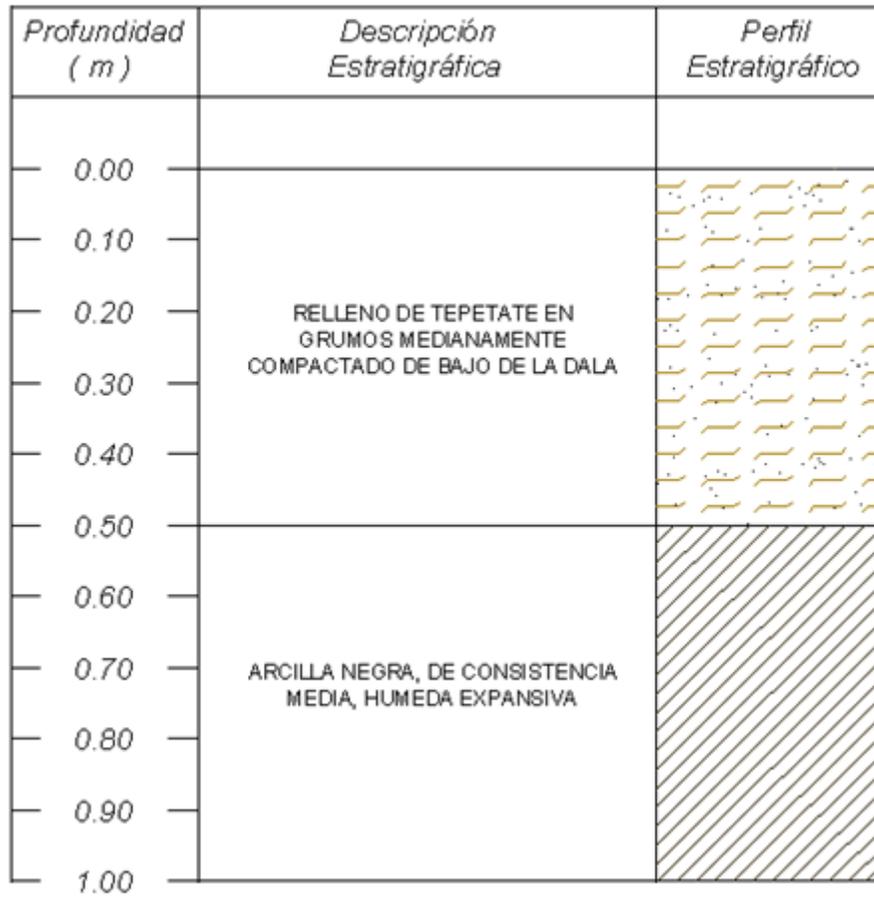


FIGURA 10.- PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEL PCA-6

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO

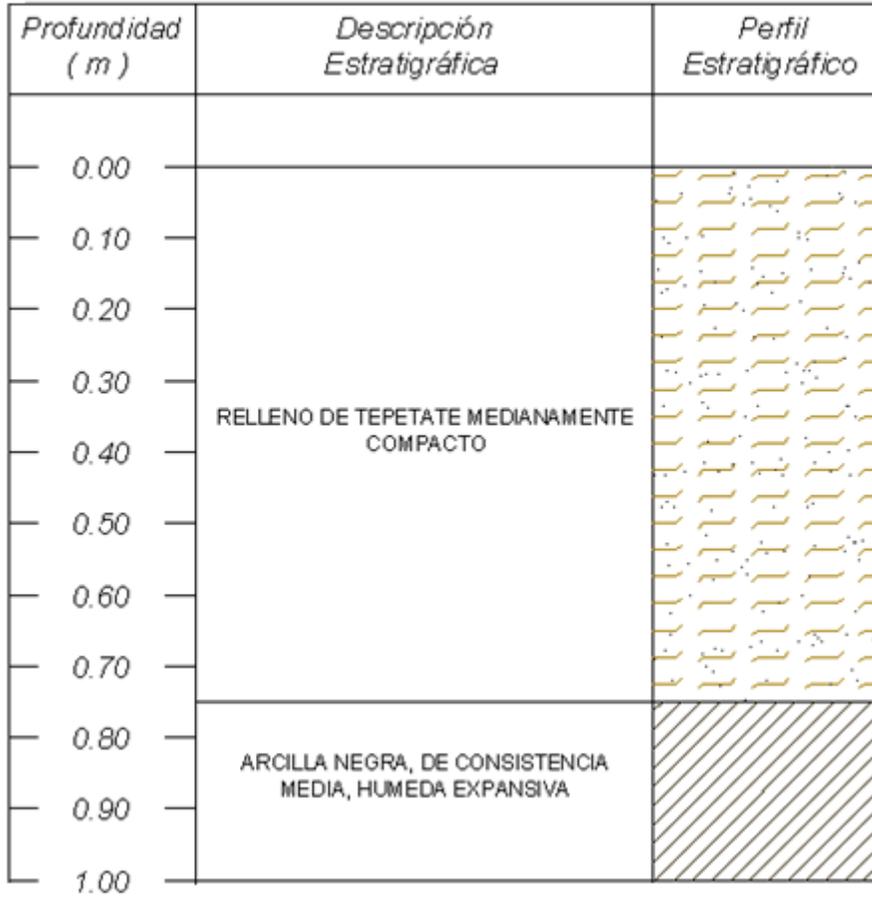


FIGURA 11.- PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEL PCA-12

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



Profundidad (m)	Descripción Estratigráfica	Perfil Estratigráfico
0.00	RELLENO DE TEPETATE COMPACTO	
0.10		
0.20		
0.30		
0.40		
0.50		
0.60		
0.70		
0.80	ARCILLA NEGRA, DE CONSISTENCIA MEDIA, HUMEDA EXPANSIVA	
0.90		
1.00		



FIGURA 12.- PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEL PCA-15

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO

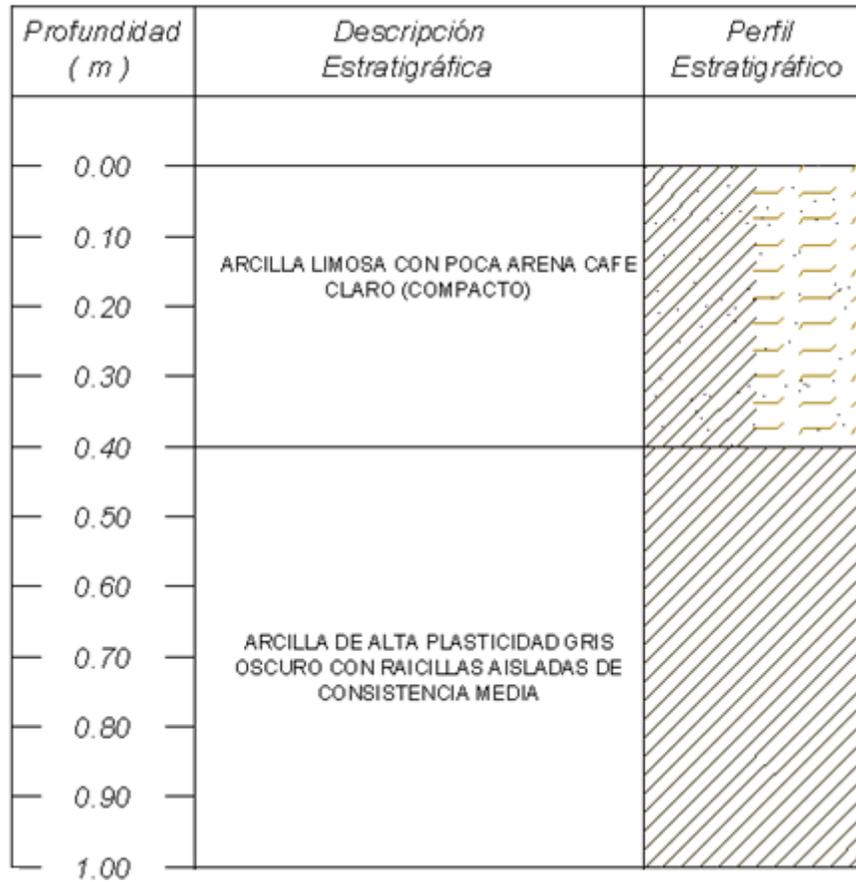


FIGURA 13.- PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEL PCA-7

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



Profundidad (m)	Descripción Estratigráfica	Perfil Estratigráfico
0.00	ARCILLA LIMOSA CAFE CLARO CON POCA ARENA DE CONSISTENCIA DURA.	
0.10		
0.20		
0.30		
0.40		
0.50	ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD GRIS OSCURO CON RAICILLAS AISLADAS DE CONSISTENCIA MEDIA, QUEBRADIZO.	
0.60		
0.70		
0.80		
0.90		
1.00		



FIGURA 14.- PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEL PCA-8

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO

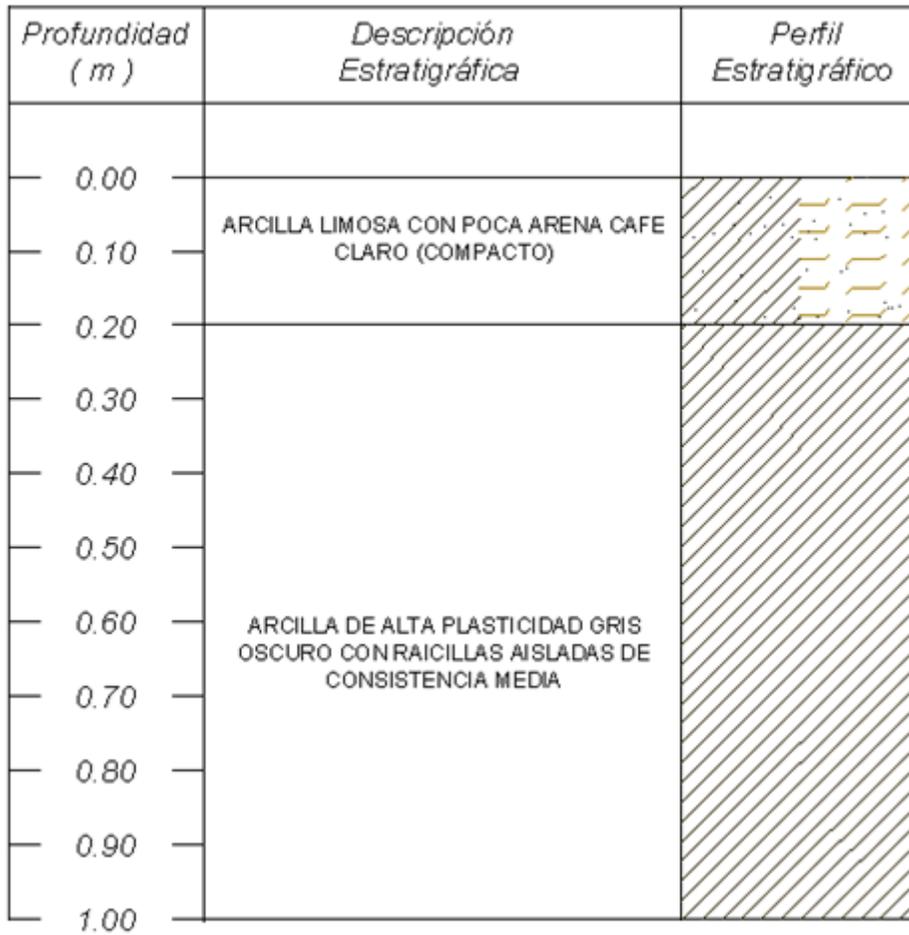


FIGURA 15.- PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEL PCA-9

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



Profundidad (m)	Descripción Estratigráfica	Perfil Estratigráfico
0.00		
0.10	ARCILLA LIMOSA CON POCA ARENA CAFE CLARO (COMPACTO)	
0.20		
0.30		
0.40	ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD GRIS OSCURO CON RAICILLAS AISLADAS DE CONSISTENCIA MEDIA	
0.50		
0.60		
0.70		
0.80		
0.90		
1.00		



FIGURA 16.- PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEL PCA-10

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



<i>Profundidad (m)</i>	<i>Descripción Estratigráfica</i>	<i>Perfil Estratigráfico</i>
0.00	ARCILLA LIMOSA CAFE CLARO CON POCA ARENA DE CONSISTENCIA DURA.	
0.10		
0.20		
0.30		
0.40		
0.50	ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD GRIS OSCURO CON RAICILLAS AISLADAS DE CONSISTENCIA MEDIA, QUEBRADIZO.	
0.60		
0.70		
0.80		
0.90		
1.00		



FIGURA 17.- PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEL PCA-11

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



Profundidad (m)	Descripción Estratigráfica	Perfil Estratigráfico
0.00	ARCILLA LIMOSA CAFE CLARO CON POCA ARENA DE CONSISTENCIA DURA.	
0.10	ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD GRIS OSCURO CON RAICILLAS AISLADAS DE CONSISTENCIA MEDIA.	
0.20		
0.30		
0.40		
0.50		
0.60		
0.70		
0.80		
0.90		
1.00		



FIGURA 18.- PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEL PCA-13

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO

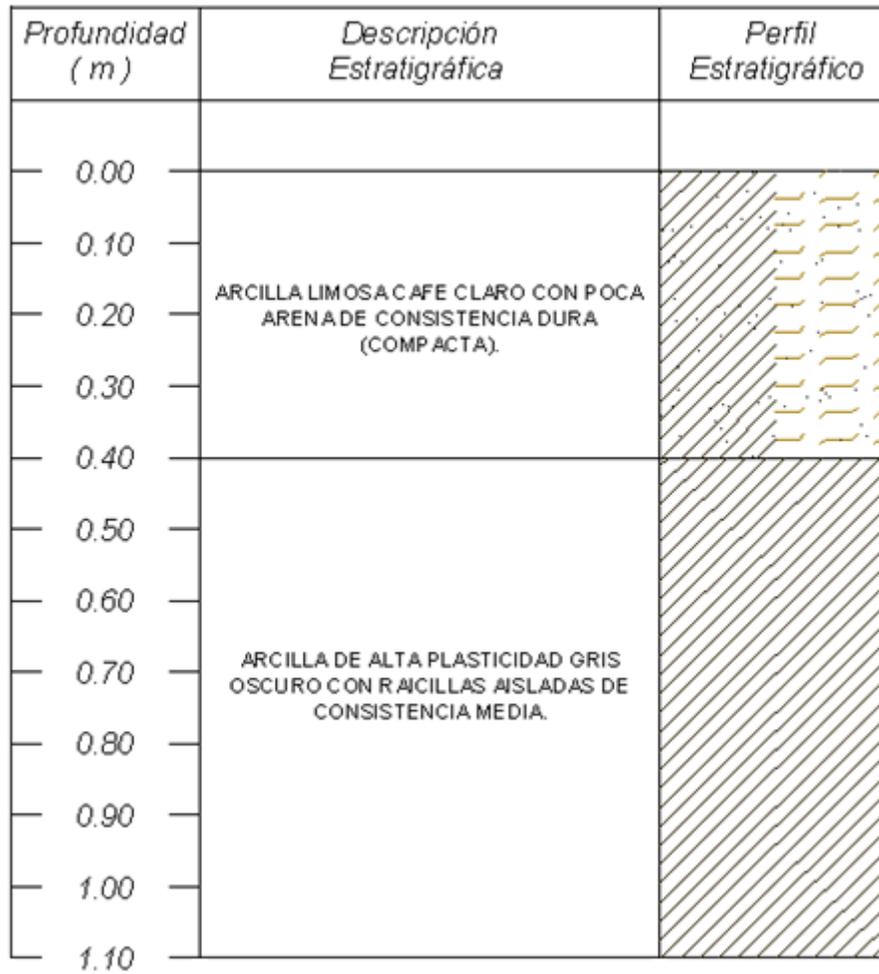


FIGURA 19.- PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEL PCA-14

PRUEBAS DE LABORATORIO



PRUEBA LIMITES DE CONSISTENCIA



PRUEBA COMPRESIÓN SIMPLE



PRUEBA TRIAXIAL



PRUEBA DE CONSOLIDACIÓN

EQUIPO DE LABORATORIO

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



3.- PRUEBAS DE LABORATORIO

Los ensayos 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 realizaron diferentes pruebas de laboratorio 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:



EJECUCIÓN DE PRUEBAS DE LABORATORIO

3.1.- Muestras alteradas

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



MUESTRAS ALTERADAS EXTRAIDAS

Propiedades Índice

- 1.- Clasificación Visual y al Tacto
- 2.- Contenido de Humedad
- 3.- Límites de Consistencia o de Atterberg
- 4.- Densidad de Sólidos

3.2.- Muestras inalteradas

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

Propiedades Índice

- 1.- Clasificación Visual y al Tacto
- 2.- Contenido de Humedad
- 3.- Porcentaje de finos
- 4.- Límites de Consistencia o de Atterberg

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



5.- Densidad de Sólidos

Propiedades Mecánicas

- 1.- Resistencia al Esfuerzo Cortante
 - a) Compresión Simple
 - b) Compresión Triaxial Rápida UU
 - c) Saturación bajo carga
 - d) Expansión libre

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 (SUCS), se determinó también su contenido natural de agua. (Ver figuras Anexo II).

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.

Los perfiles estratigráficos de los pozos a cielo abierto excavado y los resultados de las pruebas de laboratorio efectuadas en las muestras cúbicas obtenidas de los mismos, se presentan en las figuras 5 a 19.



**CARACTERÍSTICAS ESTRATIGRAFICAS Y
FÍSICAS DEL SUBSUELO**

4.- CARACTERÍSTICAS ESTRATIGRAFICAS Y FÍSICAS DEL SUBSUELO

4.1.- Levantamiento geológico local

El predio de interés se localiza en una zona en que los materiales del subsuelo corresponden a depósitos aluviales, producto de la erosión y transporte aluvial de los materiales superficiales de los volcanes que le circundan, los depósitos aluviales de estas zonas están constituidos por clásticos de diversos tamaños, predominando las arenas limosas, que hacia las zonas más húmedas son arcillosas, de compacidad media y conforme se profundiza se encuentra más compacta, con algunos horizontes lenticulares de gravillas y arena de gruesa a media, que aparecen próximos a la superficie. (Ver figura 20).

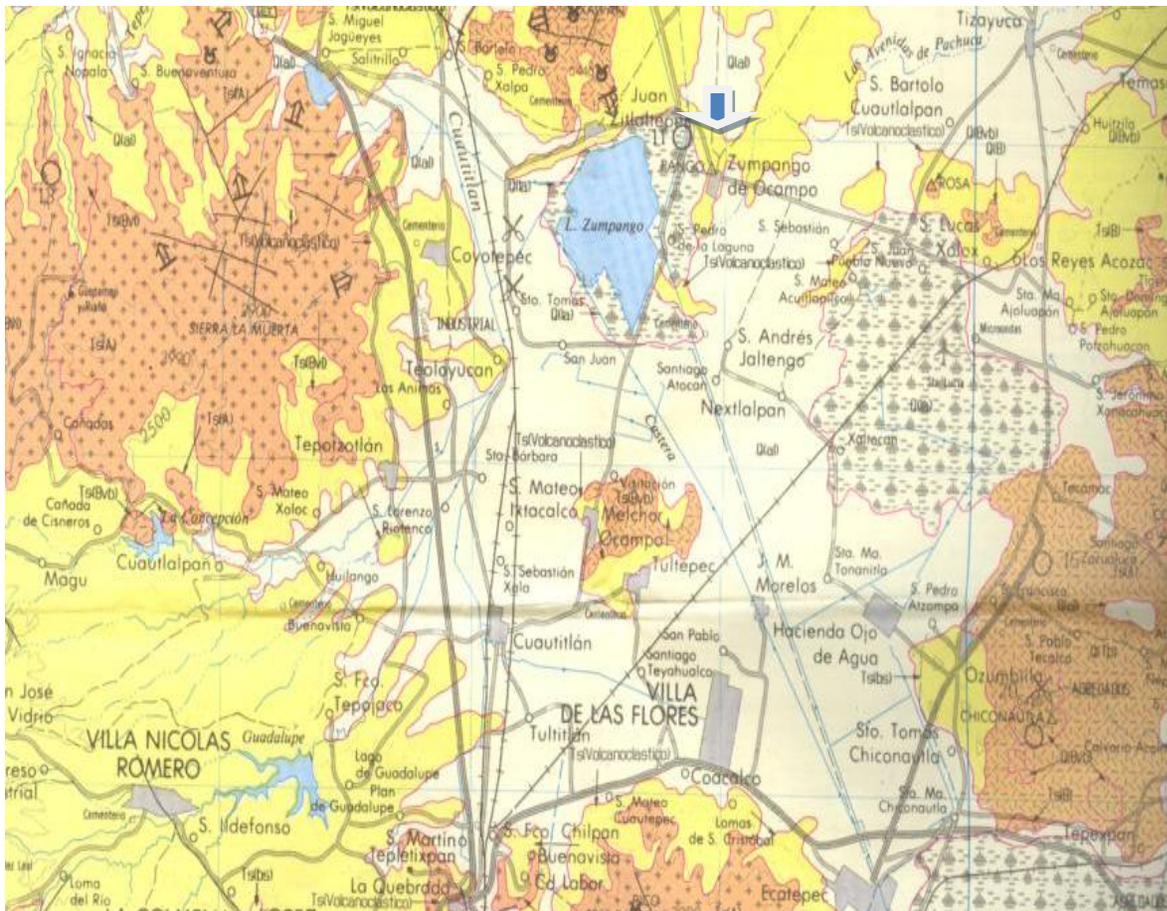


FIGURA 20.- GEOLOGÍA DEL SITIO DE INTERÉS

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



Las características estratigráficas y físicas del subsuelo se determinaron mediante la realización de pozos a cielo abierto.

La exploración y el muestreo establecido anteriormente se requiere tomando en cuenta la magnitud del área que se proyecta construir y en función de las experiencias adquiridas en zonas cercanas a la de interés, manifestándose problemas en el comportamiento y apariencia de las estructuras ya construidas como consecuencia de la existencia de arcilla expansiva, en cuanto a sus propiedades mecánicas, es decir resistencia y deformabilidad, así como el espesor de capa de suelo vegetal y de rellenos que pudieren existir sobre la propia arcilla de tipo expansivo que existe en la superficie.

El predio estudiado se encuentra al Norponiente de la Cuenca del Valle de México entre la proximidad de la Sierra de Tepetzotlán y Sierra de Guadalupe (ver carta geológica de la figura 20), la cual, de acuerdo a la zonificación geotécnica que marca el Reglamento de Construcciones en sus Normas Técnicas Complementarias de Cimentaciones se ubica en la Zona II denominada Zona de Transición en la que según Mooser dominan los depósitos producidos en la cuarta y quinta fase del vulcanismo.

Las formaciones geológicas de los suelos que se localizan en esta zona son de origen aluvial y volcánico.

El lugar de interés se ubica en la denominada zona de transición Nor-poniente que comprende la zona de depósitos aluviales intercalados con estratos de arcilla de origen lacustre.

En esta área la erraticidad de los depósitos del subsuelo es mayor que en la zona de Transición Poniente, en vista de que los cauces corren sobre los suelos arcillosos durante la alternancia de épocas de lluvia y sequía, erosionándolas y dejando bolsas de arena a distintas elevaciones. Se caracteriza por la presencia de estratos arcillosos o lentes arcillosos compresibles alternados con capas de materiales arenosos o arenolimosos de compacidad variable, pero relativamente mucho menos compresibles que los arcillosos.

La distribución horizontal y vertical de los lentes y estratos arenosos, limosos y arcillosos es errática en general, pero puede decirse que los suelos arcillosos compresibles, disminuyen en cantidad y espesor en la cercanía con la Sierra de Guadalupe.

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



Resulta complejo limitar la zona aluvial con sus transiciones, pues los cambios en las características del subsuelo son graduales. No obstante lo anterior, se puede notar en la información disponible una variación en la profundidad de la primera capa dura y de los depósitos profundos que se identifican cerca de la zona de Lago, siguiendo esta variación la configuración resultante es la de un pequeño valle con dirección NE-SW que corre paralelo a la Sierra de Guadalupe y coincide con los actuales cauces.

Es importante observar como la profundidad y espesor de los depósitos arcillo-lacustres disminuye hacia los cerros y sigue la configuración de la ribera del Lago en diferentes épocas.

Las características estratigráficas antes descritas corresponden a lo que se ha denominado como zona de transición entre depósitos predominantemente lacustres y depósitos volcánicos, característicos de las riberas de lagos en la proximidad de sierras o lomeríos, como se muestra en la figura 20.

4.2.- Características estratigráficas y físicas del subsuelo

El sitio de interés se encuentra al Norponiente de la Cuenca del Valle de México, la cual, de acuerdo a la zonificación geotécnica que marca el Reglamento se ubica en la Zona II denominada Zona de Transición.

El área analizada se encuentra en una zona de depósitos arcillosos de tipo expansivo y subyaciendo materiales aluviales, superficialmente en toda el área se encuentra la arcilla plástica de tipo expansiva, de color negruzco, las cuales fueron recortados superficialmente, y sobre estos se han colocado materiales de banco compactados con espesores variables.

El nivel freático no se detectó, de acuerdo a la fecha y a la profundidad de exploración.

Cabe mencionar que bajo los materiales arcillosos de tipo expansivo, predominan los aluviales constituidos por limo poco arcilloso con escasa arena, en estado muy compacto, es decir con resistencias a la penetración estándar mayor a los 50 golpes y que la profundidad a la que aparecen es en promedio 1.5 m, con respecto al nivel actual del terreno.

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



Las características estratigráficas antes descritas corresponden a una transición entre depósitos arcillosos predominantemente expansivos y depósitos aluviales, característicos de las riberas de lagos en la proximidad de sierras o lomeríos.

Entre la superficie y 1.5 m de profundidad se tiene arcilla, negruzca, con contenido de agua medio de 33%, de consistencia media, de límite líquido de 90% y plástico de 30%, del orden del contenido del agua, del grupo CH según el SUCS, con porcentajes de finos de 99%, y grado de saturación de 72%; con índice de resistencia a la penetración estándar de 13 golpes, de resistencia en compresión no confinada variable de 9 a 18 ton/m², de peso volumétrico de 1.69 ton/m³, y densidad de sólidos de 2.56; bajo una presión de 8 ton/m² muestra una deformación unitaria por expansión de 5.5% al saturarse, y una presión de expansión de 22 ton/m². De acuerdo a los criterios de identificación de suelos potencialmente expansivos de Ghazzaly, Vijayvergiya, y del Bureau of Reclamation, los materiales a esta profundidad se identifican con un grado de expansión media a alta.

4.3.- Sismicidad

De acuerdo a las características estratigráficas de los depósitos del subsuelo y a la zonificación geotécnica de la República Mexicana de la Comisión Federal de Electricidad (figura 21), el predio de interés se encuentra en la zona B y con un suelo tipo II con características semejantes a la zona denominada de transición, y de acuerdo a la zona sísmica en que se ubica le corresponde un coeficiente sísmico de 0.30

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.

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



Tabla 1. Parámetros de los espectros de diseño para la República Mexicana

Zona sísmica	Tipo de suelo	a_0 (g)	c (g)	T_0 (s)	T_b (s)	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 21.- ZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LA REPUBLICA MEXICANA



ANÁLISIS DE CIMENTACIÓN

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



5.- EVALUACION GEOTECNICA DE LAS ESTRUCTURAS

5.1.- Expansiones en el subsuelo

5.1.1.- Causas que han originado las fisuras en muros de casas existentes:

La mayoría de las casas presentan fisuras con aberturas de milímetros sobre muros y losas de techo, como consecuencia de las deformaciones que se generan en el subsuelo.

Las deformaciones básicamente se deben a la existencia de un estrato superficial de arcilla de tipo expansiva que subyace a las plataformas de mejoramiento, la cual manifiesta cambios de volumen por saturamiento.

Las deformaciones son expansiones (movimientos hacia arriba) y asentamientos (movimientos hacia abajo), los primeros se desarrollan debido a que este estrato sufre cambios de volumen por las variaciones en su contenido de agua por infiltración de la misma, saturándolos, y cuando los materiales pierden humedad por evaporación o desecación tienden a generar asentamientos, y estos movimientos provocan que las estructuras se fisuren, particularmente en muros.

Debido a que son construcciones muy ligeras, se observó que aunque algunas están asentadas sobre materiales de mejoramiento, los cuales no cumplen con el espesor mínimo requerido, debido a que la losa se apoya sobre estos, y en otras las trabes están en contacto directo sobre la arcilla expansiva, la cual experimenta deformaciones por la expansión de la misma al saturarse por la infiltración de agua, lo anterior se observó en las calas observadas en zona de patios y jardines de los accesos, y como ya se comentó dichos movimientos se traducen en grietas sobre muros, en particular en la intersección de los muros.

Como se comentó a pesar de que se tiene un mejoramiento a base tepetate en algunas zonas no cumplen con la compactación necesaria, además el espesor observado en las calas tienen en promedio de 20cm a 50cm, a la cual le subyace la arcilla expansiva que sufre cambio en su volumen debido a la infiltración del agua de las áreas verdes que se tiene alrededor de la casa y de los patios de servicio que se encuentran comunicados a nivel de suelo, teniendo un área de captación e infiltración mayor, como se muestra en la figura 22.



FIGURA 22.- CONDICIONES ACTUALES

“Las arcillas están constituidas básicamente por silicatos de aluminio hidratados, presentando además en algunas ocasiones silicatos de magnesio, hierro u otros metales, también hidratados. Estos minerales tienen casi siempre una estructura definida cuyos átomos se disponen en láminas: la silicia y la alumínica”¹

Las arcillas expansivas se caracterizan a menudo por su alto límite líquido (LL) y un alto índice de plasticidad (IP). El límite líquido (LL) del suelo se define como el contenido de humedad expresado en por ciento con respecto al peso seco de la muestra, con el cual el suelo cambia del estado líquido al plástico. Baja plasticidad $LL < 35\%$, Plasticidad intermedia $LL = 35 - 50\%$, Alta plasticidad $LL = 50 - 70\%$ Plasticidad muy alta $LL = 70 - 90\%$, Plasticidad extremadamente alta $LL > 90\%$.

La plasticidad es la propiedad que presentan los suelos en poder deformarse, hasta cierto límite sin romperse, según Atterberg, cuando un suelo tiene un índice plástico (IP)

¹ Juárez Badillo, Rico Rodríguez (2005, pg 37).

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



igual a cero, el suelo es no plástico, cuando el índice plástico es menor de 7%, el suelo presenta baja plasticidad, cuando el índice plástico está comprendido entre 7 y 17 %

Se dice que el suelo es medianamente plástico y cuando el suelo presenta un índice plástico mayor que 17% se dice que es altamente plástico.

EL cambio de volumen en el suelo: en los suelos arcillosos, especialmente los muy plásticos, se retraen mucho cuando se secan y se expanden cuando se humedecen.

Retracción de suelos altamente plásticos. En regiones que tienen estaciones marcadamente secas y húmedas, el suelo próximo a la superficie del terreno se expande y contrae pudiendo producirse en un muro mayor desplazamiento en la parte exterior que en la interior, donde el suelo está protegido del sol y de la lluvia, en regiones normalmente húmedas, un período de sequía prolongado puede producir retracción en el suelo y el correspondiente asentamiento de la cimentación.

El asentamiento de las cimentaciones por retracción del suelo, se deben a una desecación acelerada, en ocasiones el asentamiento correspondiente, se puede producir por ciertos tipos de plantas que extraen la humedad del suelo o por el clima que calientan el suelo de manera anormal.

En regiones muy secas sucede lo contrario, el aumento de la humedad del suelo debido a filtraciones de tuberías, regadíos y hasta el riego de césped, puede producir en la arcilla seca una expansión capaz de levantar una estructura.

En la mayoría de los casos, el cambio de volumen se hace menor a medida que aumenta la profundidad y si es posible, las cimentaciones se deben colocar por debajo de estas zonas de cambio de volumen.

Los cambios de volumen de un suelo son debidos a la contracción del mismo y se pueden determinar conociendo la relación de vacíos del suelo en su estado natural. Conociendo esta relación de vacíos se puede calcular la contracción volumétrica por unidad de volumen original. Conociendo el cambio de volumen en promedio debido a la contracción del suelo, se puede estimar el asentamiento del mismo al variar su humedad desde la humedad de saturación hasta la humedad correspondiente al límite de contracción del mismo.

5.2.- Alternativas de rehabilitación

A continuación se presentan las alternativas para rehabilitar las casas estabilizándolas y reduciendo al mínimo las fisuras de las casas ya construidas, debido a que bajo estas se tienen arcillas expansivas que al saturarse **sufren cambios en su estructura manifestándose sobre la estructura**

1.- Como primera solución para las estructuras existentes así como para las futuras se deberán construir pequeñas cajas o charolas en la zona de las áreas verdes, para evitar que se infiltre el agua al subsuelo, como se muestra en la figura 23.

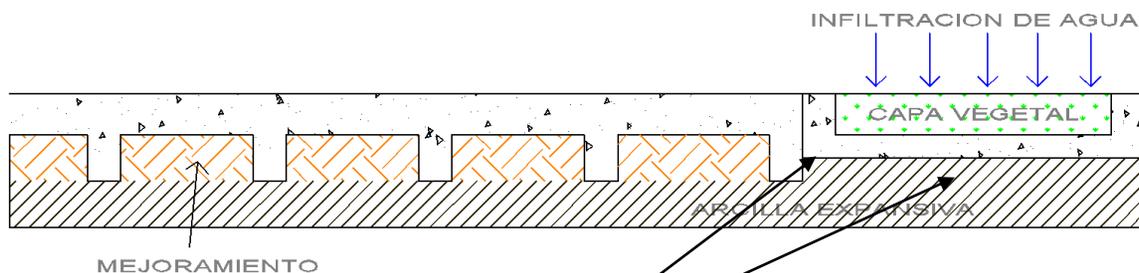
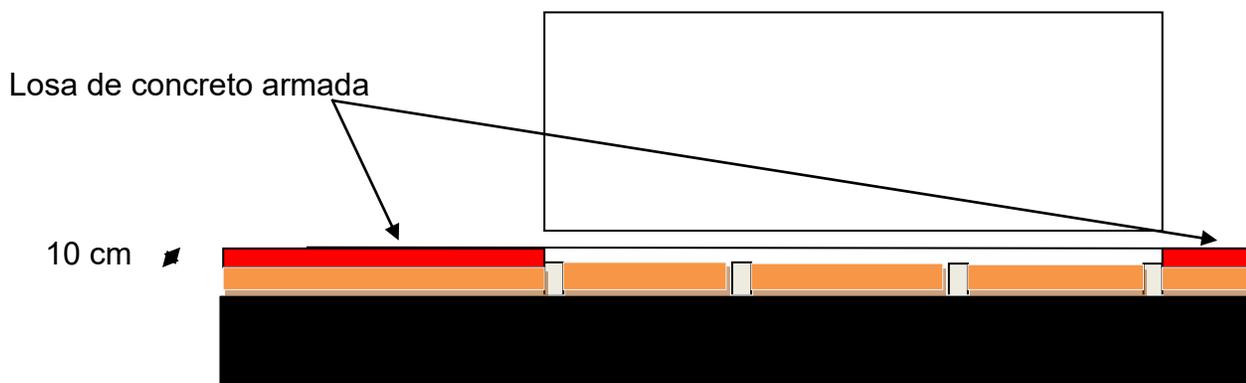


Figura 23.- Colocación de una charola de concreto armado en la zona de jardín

2.- Como segunda alternativa es colar losas completas de 10 cm de espesor armada con malla 6x6/8-8, en la zona de jardín, para evitar el paso del agua hacia el subsuelo, revisando que bajo esta se tengan materiales de banco compactados.

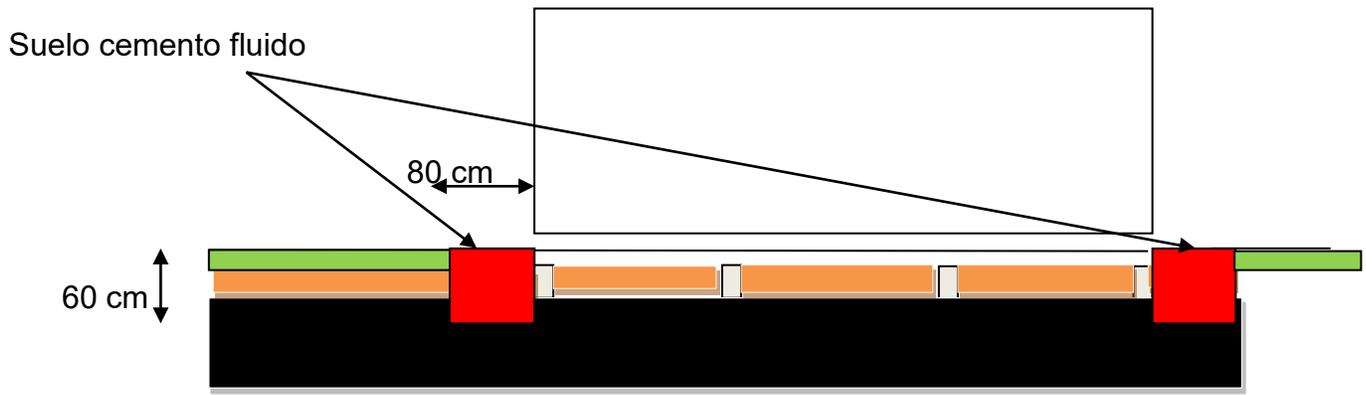


3.- Como tercera alternativa es colocar cuando menos un rodapié conformado por un suelo cemento fluido en el perímetro del sembrado de la casa donde se tengan aéreas de captación de aguas pluviales o de riego de áreas verdes, incluyendo las zonas comunes donde se tienen zonas libres y que coinciden con la zona posterior de las

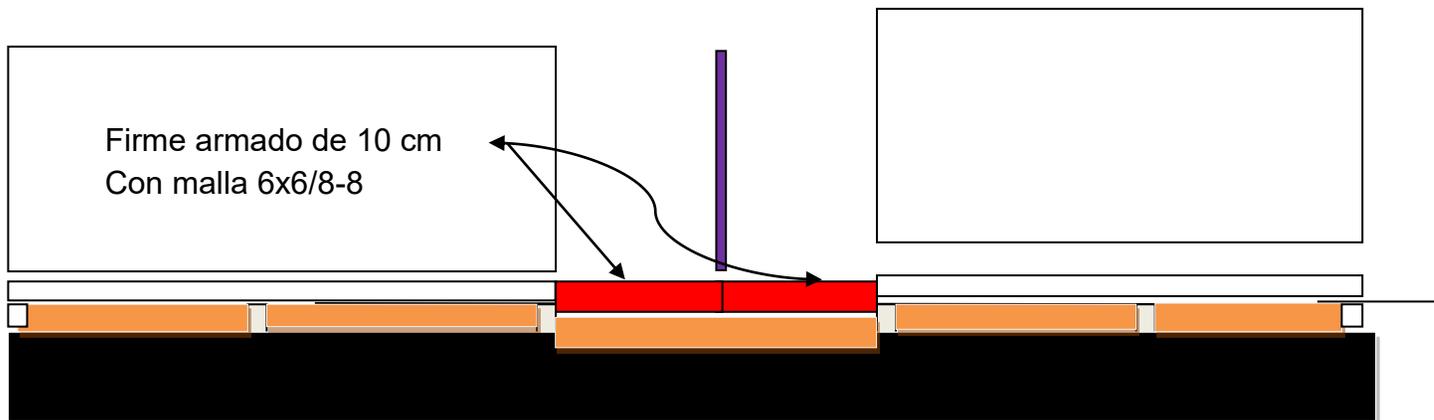
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



casas en algunas áreas, de un espesor mínimo de 80 cm, alojado en una excavación de 60 cm de profundidad.



4.- Como cuarta alternativa en la zona de patios es colar un firme de 10 cm armado con malla electrosoldada con una pendiente suficiente para drenar el agua hacia el drenaje y apoyado sobre un material de banco debidamente compactado, debido a que el material que existe en esta zona se encuentra medianamente compacto y permite el paso del agua al subsuelo.



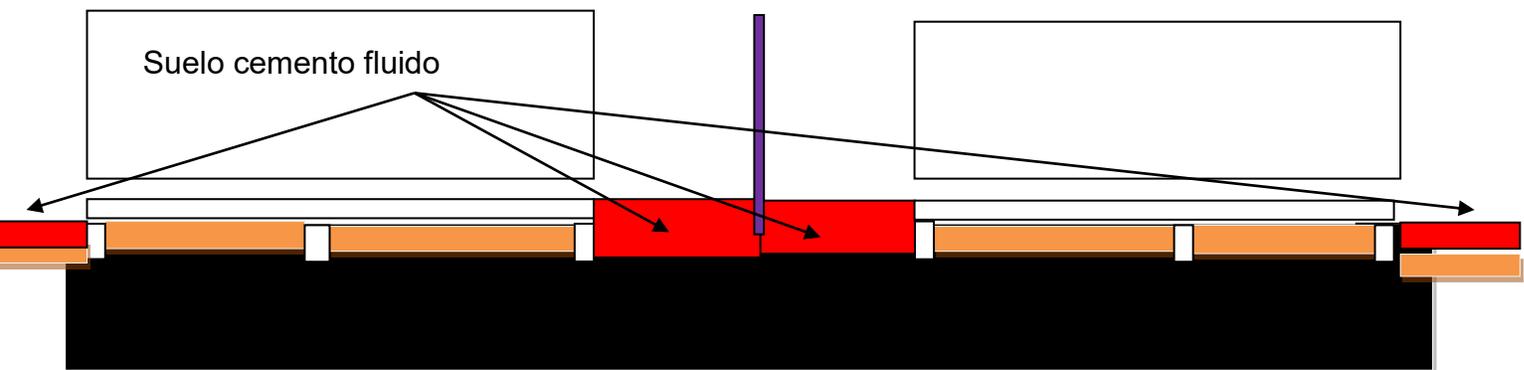
5.- Como quinta alternativa se deberá emplear un suelo cemento fluido, preparado en campo con material de banco (tepetate limo-arenoso), con un espesor mínimo de 20cm, el procedimiento será el siguiente; se retiraran del área de la cochera los bloques de concreto que actualmente se tienen, acto seguido se procederá a hacer un recorte o caja de 30cm retirando la arcilla expansiva, se procederá entonces a colocar el espesor

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



de 20cm de suelo cemento fluido; una vez teniendo el fraguado el bloque de suelo cemento, se colara un firme de concreto armado con malla electrosoldada 6x6/8-8. Con esto se recupera el nivel de los 30cm (en el capítulo 6 se describe el movimiento de tierras).

La dosificación para el suelo cemento fluido es la siguiente; por cada metro cubico de material de banco, 200 litros de agua y dos bultos de cemento cada uno de 50kg. Esta mezcla no necesita vibrado, únicamente un poco de varillado.



5.3.- Para poder evitar eliminar los movimientos en su totalidad será necesario realizar inyecciones bajo del sembrado de las casas por la existencia de arcillas expansivas:

A.- Para el caso de las casas existentes, efectuar inyecciones con vaina y manguito a presión de agua bentonita y cemento o de cal, bentonita y agua, en diámetros de 2", en una retícula a cada 3 m en los dos sentidos, con el proceso que se indica a continuación:

1. Ubicación de barrenos con una retícula de 3 por 3 m
2. Ejecución de perforaciones verticales con equipo rotario y broca de 1.5 metros de profundidad,
3. Habilitado de tubo de 2 "con los manguitos a cada 10 cm
4. Fabricación de lodo fraguante (AGUA-BENTONITA-CEMENTO) para inyectar a presión de $1\text{kg}/\text{cm}^2$ empleando una bomba moyno o equivalente, y a través de la vaina, inyectando en el espacio libre entre la perforación y el tubo.
5. Fabricación de la mezcla con la dosificación especificada, previa hidratación de la bentonita en el contenedor para incluir el cemento en el turbo mezclador.

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO

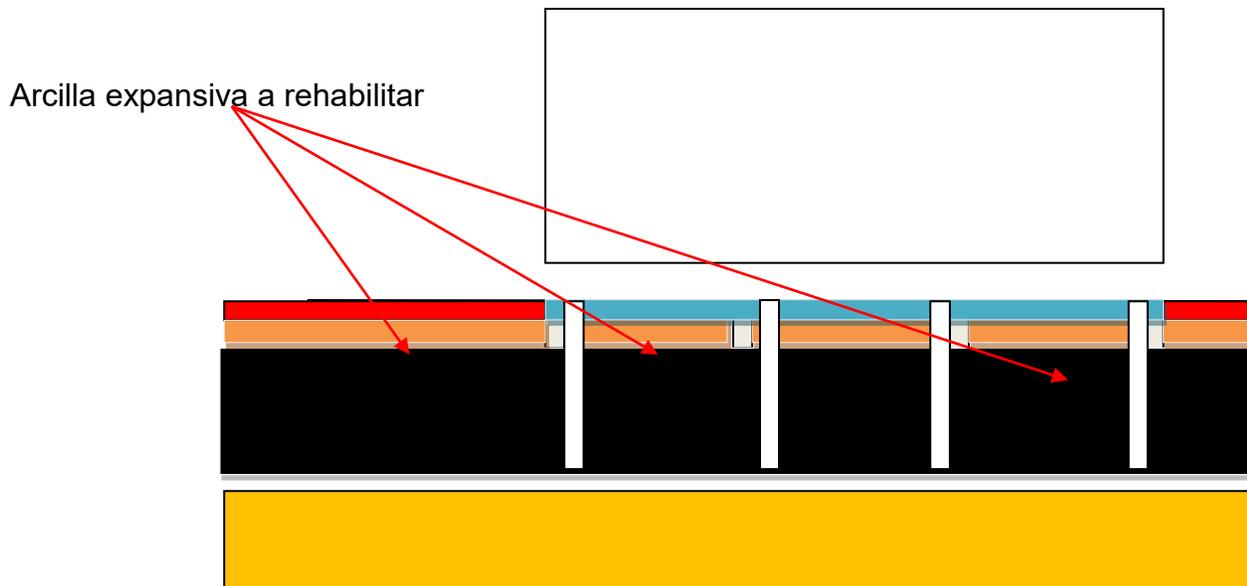


6. Bombeo de la mezcla integrada, utilizando bomba de cavidad progresiva o bomba moyno, mangueras de inyección y retorno, manómetros de 6" de diámetro con escala de 0 a 4 kg/cm² instalado en la tubería de inyección y a la entrada de la boca del barreno, bajando un obturador unido a la tubería de inyección, para efectuar progresiones ascendentes – descendentes y colocado de obturador en la posición del manguito, obturando en el tramo.
7. Inyección de agua con presión de 1kg/cm² para deformar al manguito, una vez que la presión desciende se inyecta la mezcla especificada con presión y volumen controlado.
8. Lavado del interior del tubo al término de la inyección para continuar con la siguiente progresión.
9. Una vez conformada la inyección perimetral, se procede a ubicar y perforar los barrenos centrales y hacia la barrera perimetral.
10. En la medida que se incorpore la inyección y mejore las características del subsuelo, se notara un incremento en la presión y disminución del volumen inyectado durante el desarrollo de los barrenos subsecuentes.
11. Sera recomendable realizar el muestreo del subsuelo en la zona a tratar antes de realizar los trabajos, así como al termino de los mismos, con la finalidad de tener parámetros que permitan establecer si el tratamiento es satisfactorio o bien en su caso realizar barrenos adicionales que cierren el tratamiento.

B.- Áreas futuras o áreas comunes. Se observó que en todo el terreno por debajo del sembrado de las casas existentes se tienen materiales de arcilla expansiva entre 1.5 y 2 m de espesor de los cuales únicamente se recortaron los primeros 40 cm, pero sigue existiendo entre 1.1 y 1.4m de estos materiales bajo la plataforma de materiales mejorados colocados.

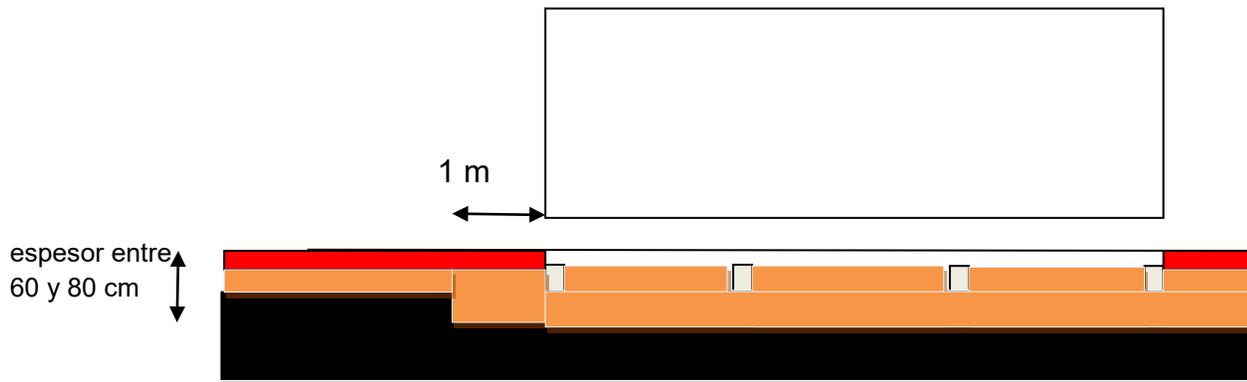
1.- Por tal razón una de las alternativas en las casas a futuro para evitar las inyecciones es retirar la arcilla expansiva en su totalidad, rehabilitar la arcilla adicionándole un polímero en una proporción del 10% en volumen y gravas de tamaño máximo de 2" en una proporción del 30% sobre el volumen total, y sobre las que se construiran plataformas de mejoramiento con material de banco.

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



2.- Actualmente se está incrementando el espesor de la plataforma de mejoramiento, de 40 cm para las casas de uno y dos niveles, y de 50 cm para las casas de tres niveles sin embargo se recomienda que se deje un sobrecimiento de por lo menos un metro, con respecto al sembrado de la casa, debido a que la orilla de una plataforma no alcanza la misma compactación que en la parte central por el paso del compactador, y se incremente ligeramente el espesor antes mencionado de las plataformas, como mínimo de 60 cm para las casas de uno y dos niveles y de 80 cm para las casas de tres niveles, tomando en cuenta el empotramiento de las traves y que estas se apoyen sobre materiales controlados compactados, para evitar que descansen sobre la arcilla expansiva.

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO

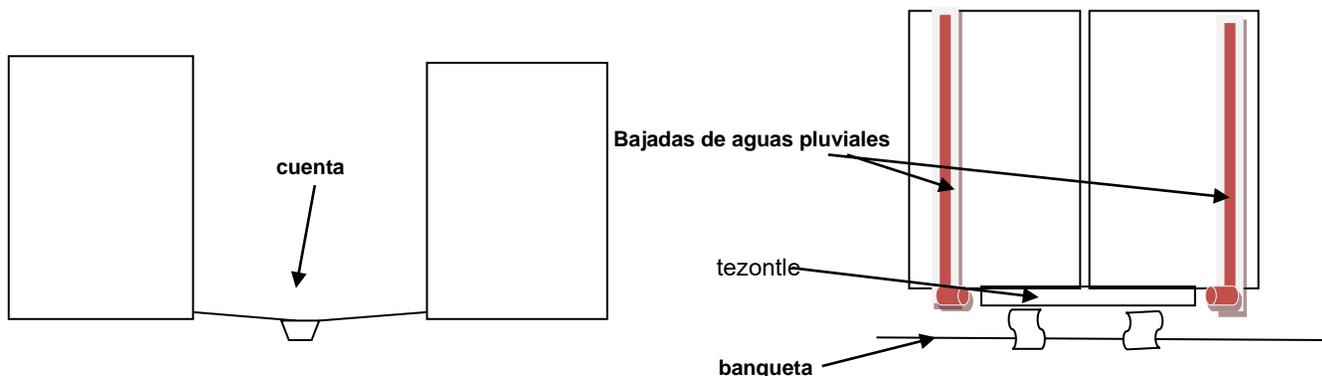


Se deberá llevar un riguroso control de compactación, dado que en algunas zonas se detectó una reducción en la compactación, posiblemente por la saturación de los materiales o bien porque en su momento no se le dio la compactación adecuada.

Si el material queda debidamente compactado es una barrera que evita que pase el agua hacia la parte inferior donde se tiene la arcilla expansiva

C.- Filtraciones de agua pluvial al subsuelo

Todas las bajadas de aguas pluviales al subsuelo, en particular en los edificios de tres niveles, deberán ser canalizadas y enviadas fuera del sembrado de las estructuras, ya sea construyendo cunetas entre edificios, sellando las zonas de tezontle al pie de las estructuras, y drenando de forma superficial hacia los colectores de las calles.



Finalmente los pozos de infiltración existentes deberán tener una profundidad mayor a 2 m, debido a que estos no funcionaron en forma adecuada, para lo cual debe efectuarse pruebas de permeabilidad a profundidades mayores a 40 m para determinar el número de pozos, diámetro y profundidad a la que deben construirse para garantizar su funcionalidad.



MOVIMIENTO DE TIERRAS

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO





6.- MOVIMIENTO DE TIERRAS

A continuación se presentan los lineamientos generales de movimientos de tierras:

Considerando las alternativas para la solución de las arcillas expansivas, a continuación se establecen los lineamientos generales para el movimiento de tierras que será necesario realizar, tomando en cuenta las características topográficas del terreno y de los materiales que se tienen superficialmente.

De acuerdo a los datos obtenidos durante la exploración realizada en el sitio de interés, tomando en cuenta que el terreno presenta una superficie plana y tiene material de tipo arcilloso expansivo, de color negruzca, que se tienen en la mayor parte del terreno con un espesor promedio de 1.5 m, que en el mejor de los casos se tendría que ser restituida por materiales de banco de tipo limo-arenoso (tepetate) colocados en capas de 20 cm de espesor y compactadas al 95% de su peso volumétrico seco máximo de acuerdo a la prueba Próctor estándar, hasta alcanzar los niveles de proyecto.

Dado que la exigencia del proyecto es inviable retirar la arcilla expansiva en su totalidad; se opta por la alternativa más viable marcada en el capítulo anterior como la **quinta alternativa**.

El movimiento de tierras para la quinta alternativa se describe a continuación:

- Se retiraran los bloques de concreto de las cocheras a donde indique el residente de obra. Ver figura 22B.
- Se realizara una caja o un recorte de 30cm en toda el área desde donde comienza la vivienda, hasta la banquetta, esto para el área de las cocheras, mientras que en el área de los patios de servicio se procederá a realizar un recorte de los materiales que se encuentren de 30cm. Ver figura 22C.
- No se podrá emplear la arcilla por ningún motivo para realizar el suelocemento fluido
- Se realizara un colado de 20cm con la siguiente dosificación: 1 metro cubico de material de banco (tepetate), 200 litros de agua y dos bultos de cemento cada uno de 50kg. Esto para el área de las cocheras y para el área de los patios de servicio se colara hasta el nivel de la losa existente. Ver figura 22D.
- Una vez teniendo los 20cm del suelo cemento se procederá a colar un firme de concreto armado con malla electrosoldada de 10 cm de espesor. Teniendo

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



cuidado los traslapes de dicha malla siendo como mínimo dos cuadros para un buen traslape. Ver figura 22E.



VISTA DE LA TOPOGRAFÍA QUE GUARDA EL TERRENO Y NIVEL DE RODAMIENTO DE LA VIALIDAD VILLA POR DONDE SE TENDRÁ EL ACCESO PRINCIPAL

Los materiales producto del corte anteriormente mencionado, no son aptos para poder utilizarse en la construcción de terracerías bajo ninguna circunstancia por tratarse de materiales de tipo arcilloso que además de ser contener un alto índice de plasticidad son expansivos, por lo que deberán ser retirados fuera de la obra.

A continuación se dan los lineamientos generales que deberán de seguirse en caso que sea necesario colocar rellenos controlados para recuperar y/o alcanzar los niveles de proyecto.

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



La secuencia que se propone para la construcción y control de terracerías es la siguiente:

1. Se realizará el corte y despalme en toda la superficie del terreno como ya se indicó anteriormente. El material producto de despalme que contenga materia orgánica se retirará del área al lugar indicado por la dirección de obra.
2. En las áreas en las que se vaya a colocar el terraplén, antes de su construcción se deberá escarificar la superficie del terreno natural hasta una profundidad de 10 cm recompactándola al 90% próctor estándar.
3. El material importado para la construcción de terraplén podrán ser mezclas de grava, arenas de material fino (tepetate) que satisfagan las siguientes especificaciones

Límite líquido	45% máx.
Índice plástico	15% máx.
Contracción lineal	5% máx.
Valor Relativo de Soporte (CBR)	15% mín.
Contenido de agua óptimo	25% máx.
Peso volumétrico seco máximo	1,300 kg/m ³ mín.

4. 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.

5. 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 de espesor en estado suelto, y se compactaran al 96%, de su peso volumétrico seco máximo según la prueba proctor 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./pulg.², y por último se colocará una capa de 20 cm en estado suelto, de grava controlada, material de base, compactada al 98 % de su peso volumétrico seco máximo de la prueba porter.

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



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

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 22), 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.

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	1 ½ " máx
Peso volumétrico seco máx., Kg/cm ³	1800 mín	1800 mín

7. Se deberán efectuar pruebas en campo en las capas compactadas, para verificar el porcentaje de compactación alcanzado en la construcción de las terracerías. Se recomienda hacer una prueba consistente en una cala volumétrica, por cada 50 m³ de material compactado.

8. 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:

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

requiriéndose como mínimo el 95 % para el cuerpo del terraplén y 98 % para la base.

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA BASE
APERTURA EN MM

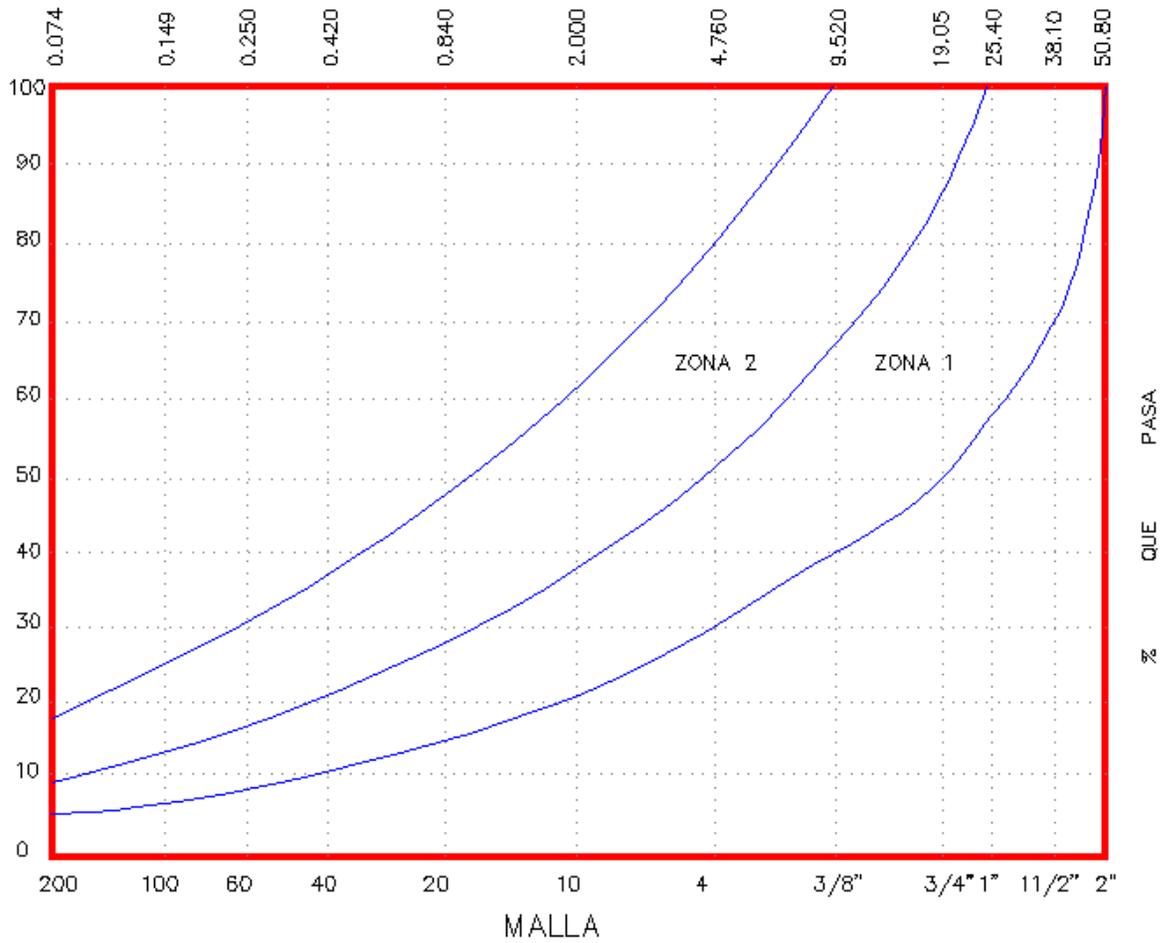


FIGURA 22.- CURVA GRANULOMÉTRICA PARA BASE HIDRÁLICA

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



Causas que han originado las fisuras en muros de casas existentes:

La mayoría de las casas presentan fisuras con aberturas de milímetros sobre muros y losas de techo, como consecuencia de las deformaciones que se generan en el subsuelo.

Las deformaciones básicamente se deben a la existencia de un estrato superficial de arcilla de tipo expansiva que subyace a las plataformas de mejoramiento, la cual manifiesta cambios de volumen por saturamiento.

Debido a que son construcciones muy ligeras, se observó que aunque algunas están asentadas sobre materiales de mejoramiento, los cuales no cumplen con el espesor mínimo requerido, debido a que la losa se apoya sobre estos, y en otras las trabes están en contacto directo sobre la arcilla expansiva, la cual experimenta deformaciones por la expansión de la misma al saturarse por la infiltración de agua, lo anterior se observó en las calas observadas en zona de patios y jardines de los accesos, y como ya se comentó dichos movimientos se traducen en grietas sobre muros, en particular en la intersección de los muros.

Como se comentó a pesar de que se tiene un mejoramiento a base tepetate en algunas zonas no cumplen con la compactación necesaria, además el espesor observado en las calas tienen en promedio de 20cm a 50cm, a la cual le subyace la arcilla expansiva que sufre cambio en su volumen debido a la infiltración del agua de las áreas verdes que se tiene alrededor de la casa y de los patios de servicio que se encuentran comunicados a nivel de suelo, teniendo un área de captación e infiltración mayor, como se muestra en la figura 22.

Con base a los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio de las muestras extraídas, se logra dar solución a las fisuras presentadas en las casas ya construidas con la realización de este estudio tenemos un panorama muy claro para dar solución a la construcción de casas habitación en la misma Unidad Habitacional Villas de Zumpango



SEGUNDA ETAPA

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



A continuación mostramos los resultados de los estudios obtenidos en los cuales se solicita evaluar las plataformas donde se desplantarán casas de 1 y 3 niveles, en la unidad habitacional villas de zumpango segunda etapa, dar las posibles soluciones para la correcta construcción.



ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



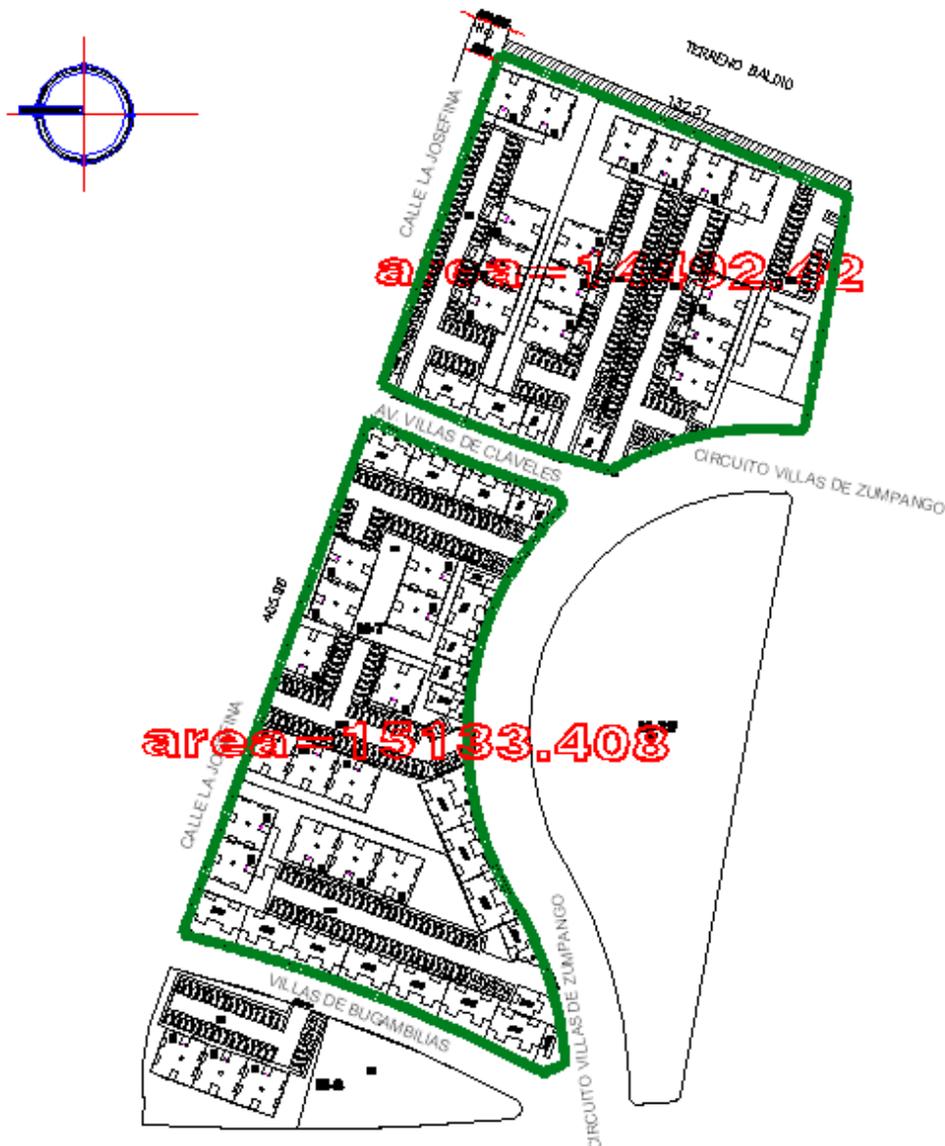
CONDICIONES ACTUALES DEL TERRENO



ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



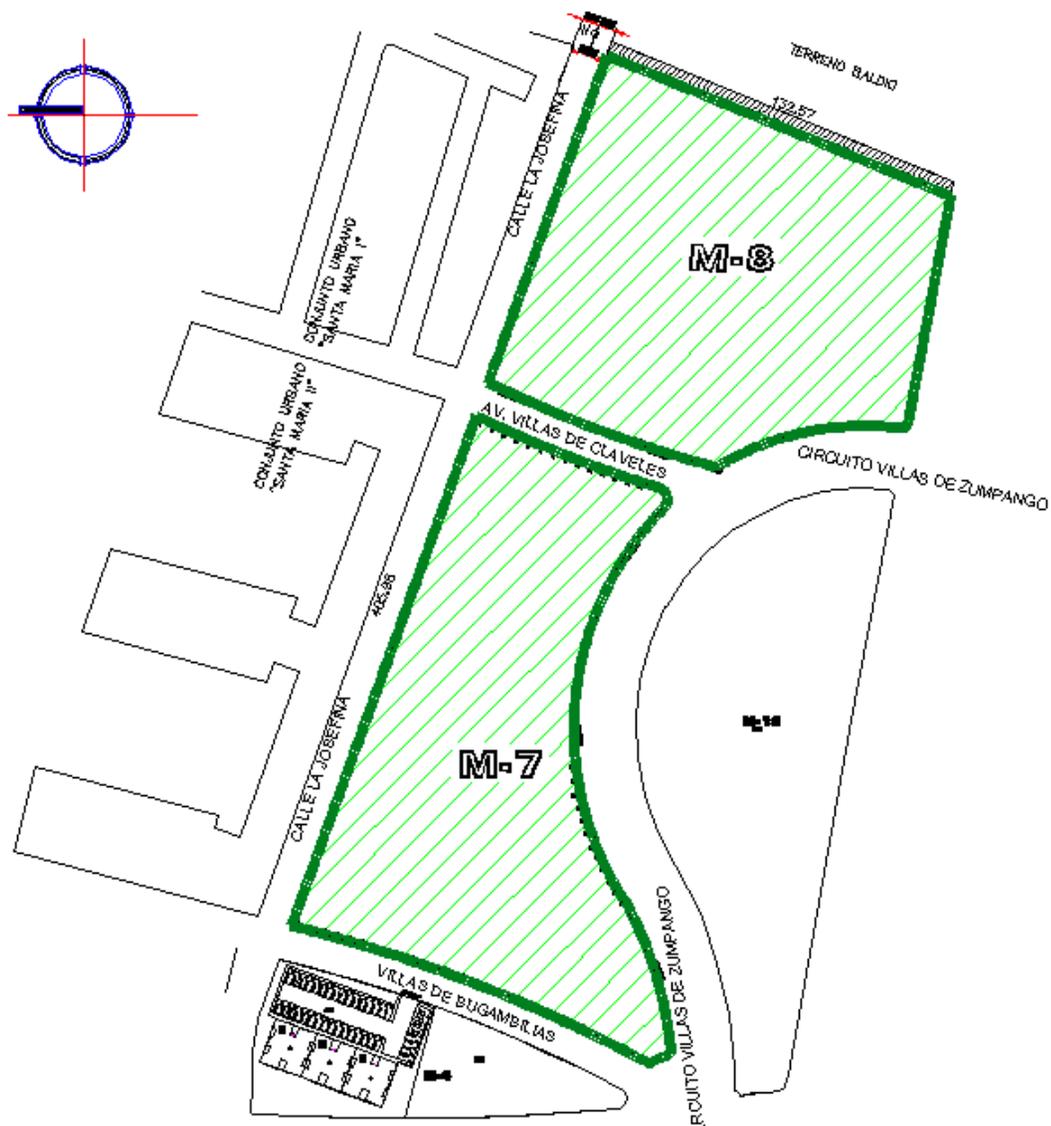
El predio de interés es sensiblemente plano. En la superficie del terreno actualmente se encuentran trazadas vialidades y algunas plataformas con material de banco a las que les subyace arcilla de tipo expansivo; el predio tiene un área aproximada de 151,33.4 m² para la manzana 7 y 14492.4 m² para la manzana 8, aproximadamente.



ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



Las colindancias del predio en estudio se describen a continuación: En el lindero norte colinda con un Camino vecinal denominado Calle la Josefina, al sur está delimitado por un camino vecinal denominado Circuito Villas de Zumpango, al poniente colinda con la vialidad Villas de Bugambillas, y finalmente al oriente colinda con un predio baldío. Como se muestra en la figura 3.



ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



“Si una estructura importante se va a fundar encima de una capa bastante homogénea de arcilla, se puede justificar la realización de una cantidad considerable de ensayos de suelos ejecutados por laboratoristas expertos, ya que los resultados permiten prever con relativa exactitud tanto el asentamiento como la velocidad con que este se produce.

La expresión perfil del subsuelo, o simplemente perfil del suelo, indica una sección vertical a través del terreno, que muestra los espesores y el orden de sucesión de estratos. El termino estrato se aplica a una capa de suelo relativamente bien definida que se halla en contacto con otras capas de características bien diferentes, si los límites entre los estratos son más bien o menos paralelos, se dice que el perfil del suelo es simple o regular. Si por el contrario, los límites son irregulares, se dice que el perfil del suelo es errático.

Hasta una profundidad comprendida entre 1.50 y 2 metros, a contar de la superficie del terreno, y excepcionalmente hasta una profundidad mayor a las propiedades físicas del suelo son influidas por los cambios bilógicos, como son las raíces, los gusanos y las bacterias”

El objeto del estudio es:

Determinar la estratigrafía y propiedades del subsuelo superficial existente así como de las plataformas en proceso en donde se construirán las casas.

En este informe se describen los trabajos realizados, se reportan los resultados obtenidos para disminuir las causas que han ocasionado el mal comportamiento que han tenido hasta el momento las casas existentes construidas sobre plataformas de mejoramiento de 40 cm de espesor desplantadas sobre las arcillas expansiva del lugar.

Se consignan las medidas correctivas que deberán aplicarse para estabilizar al subsuelo para evitar y reducir las fisuras que se generen en las estructuras que se planean construir de 1 y 3 niveles de la segunda etapa

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



EXPLORACIÓN Y MUESTREO DEL SUBSUELO



IMÁGENES DE LA EXPLORACIÓN REALIZADA.

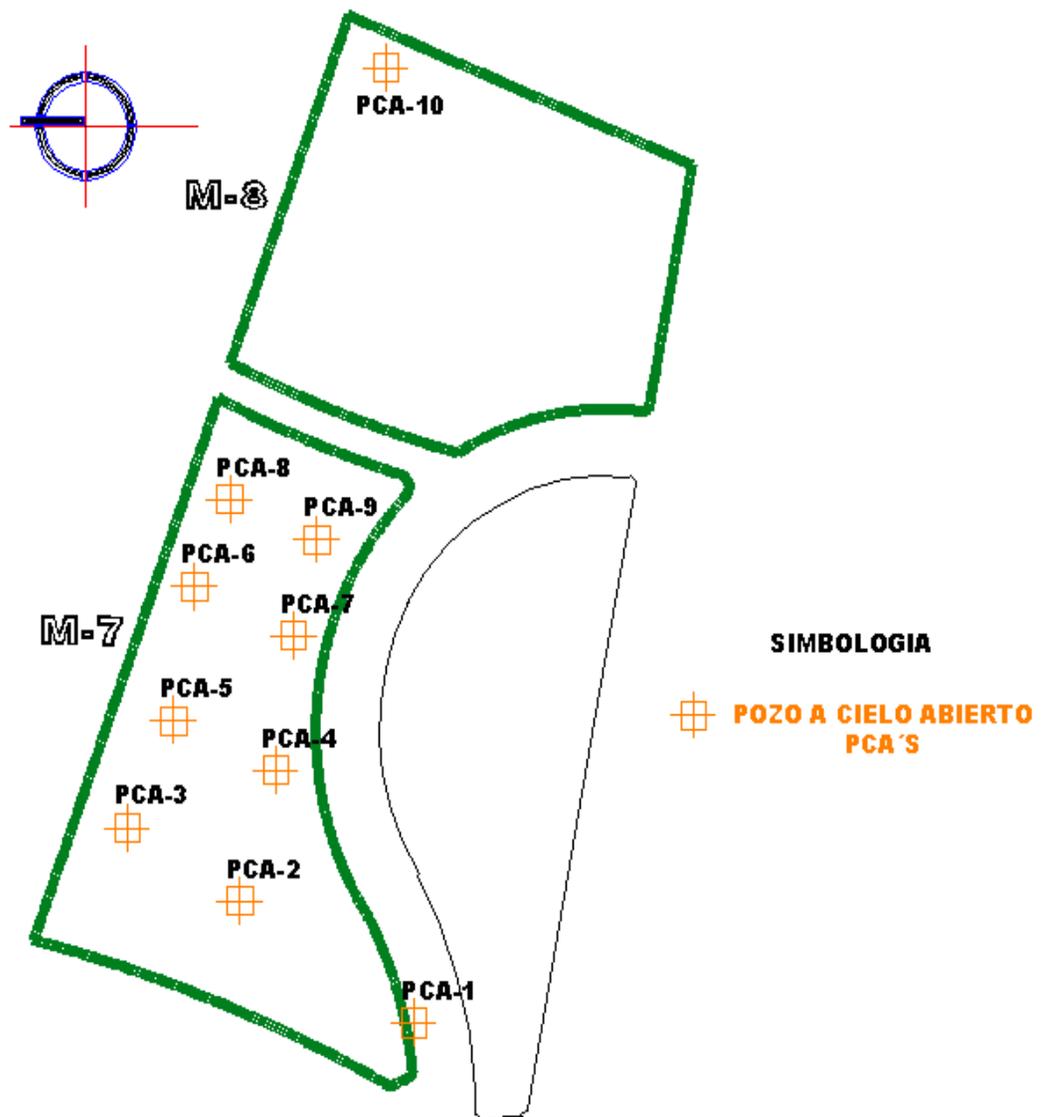


ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



De acuerdo a los requerimientos del cliente, tomando en cuenta la magnitud del área y con el objeto de conocer las características estratigráficas y físicas del subsuelo bajo las estructuras construidas se realizó la siguiente exploración:

Se excavaron diez pozos a cielo abierto a profundidades variables entre 1.2 y 2.0 m, obteniendo muestras cúbicas inalteradas de los materiales representativos y determinando la estratigrafía en las paredes de los pozos mediante técnicas de campo.



ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



En las figuras 5 a 14 se presentan los perfiles estratigráficos de los pozos a cielo abierto realizados.

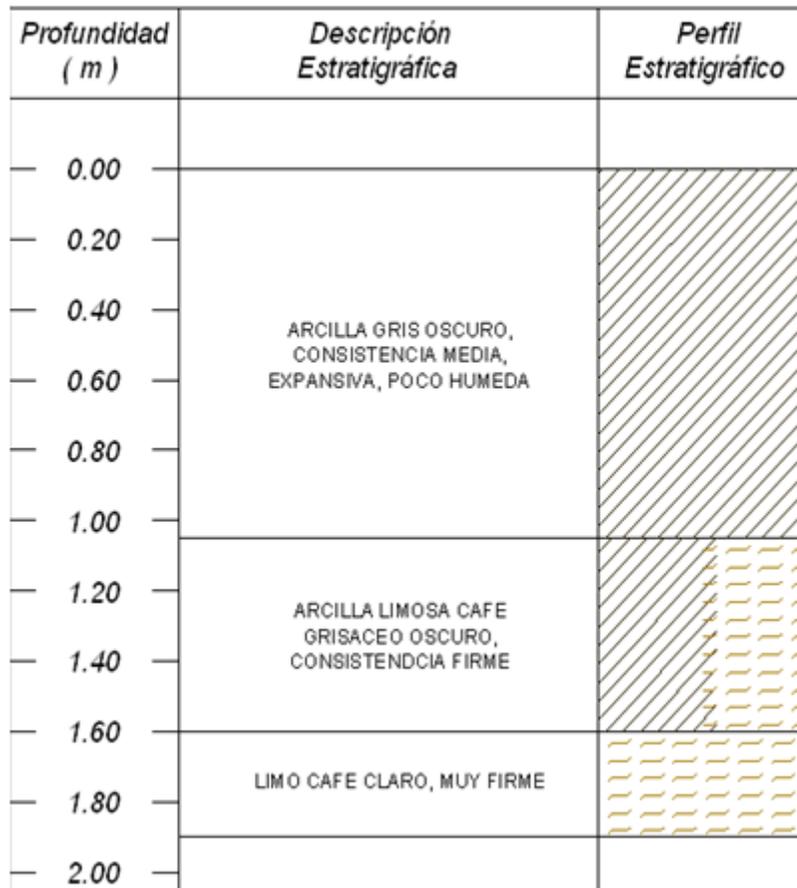


FIGURA 5.- PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEL PCA-1

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO

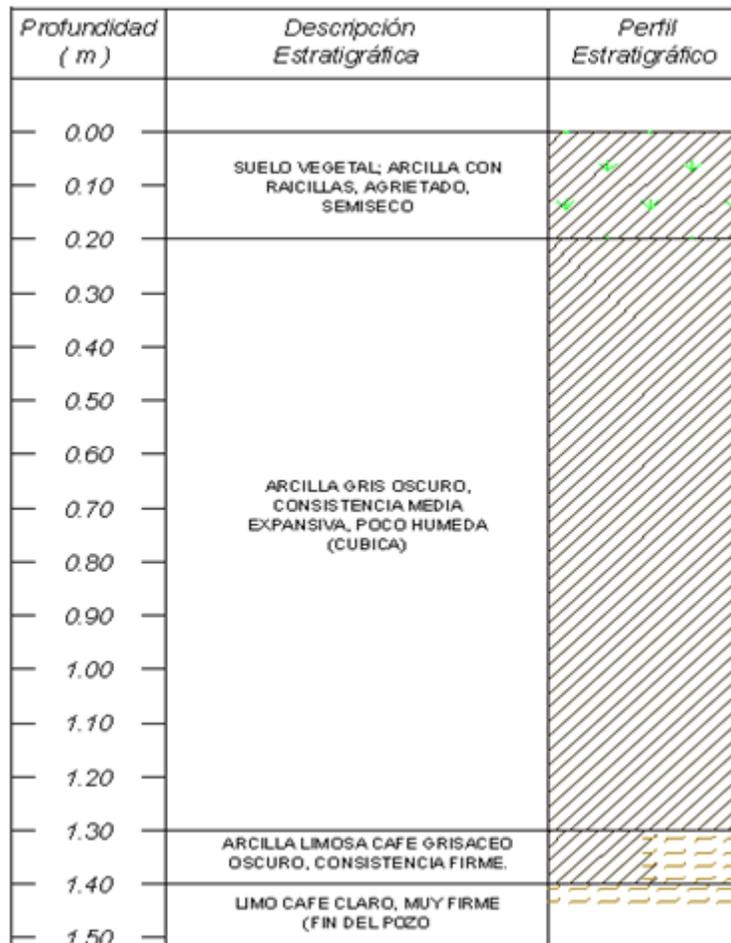


FIGURA 6.- PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEL PCA-2

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



Profundidad (m)	Descripción Estratigráfica	Perfil Estratigráfico
0.00		
0.10	SUELO VEGETAL; ARCILLA CON RAICILLAS, AGRIETADO, SEMISECO	
0.20		
0.30		
0.40	ARCILLA GRIS OSCURO, CONSISTENCIA MEDIA EXPANSIVA, POCO HUMEDA	
0.50		
0.60		
0.70		
0.80		
0.90	ARCILLA LIMOSA CAFE GRISACEO OSCURO, CONSISTENCIA FIRME.	
1.00		
1.10		
1.20	LIMO CAFE CLARO, MUY FIRME (FIN DEL POZO)	
1.30		
1.40		
1.50		



FIGURA 7.- PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEL PCA-3

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO

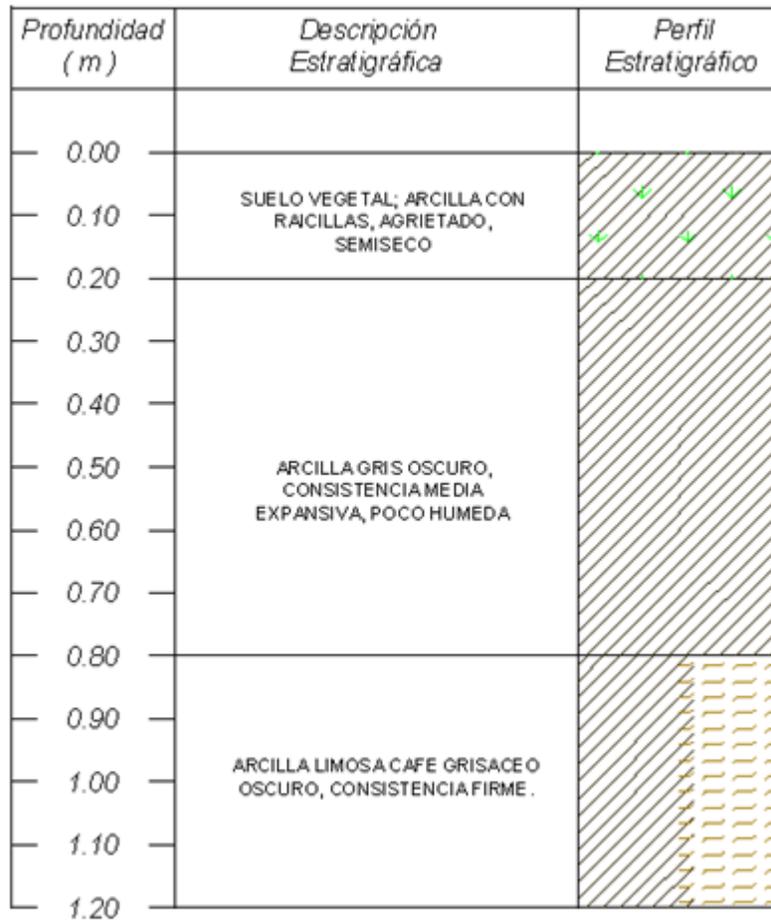


FIGURA 8.- PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEL PCA-4

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO

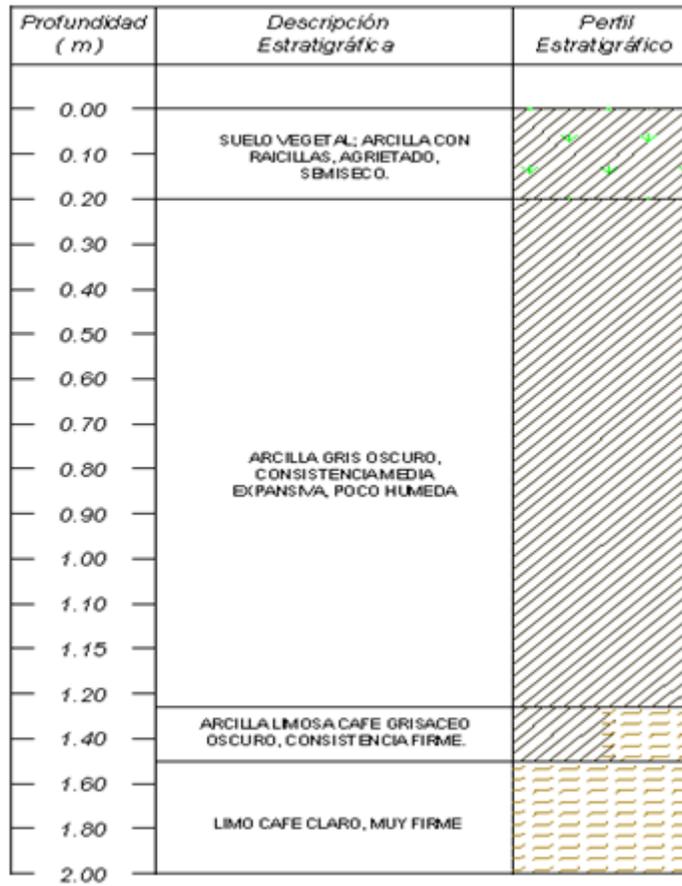


FIGURA 9.- PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEL PCA-5

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO

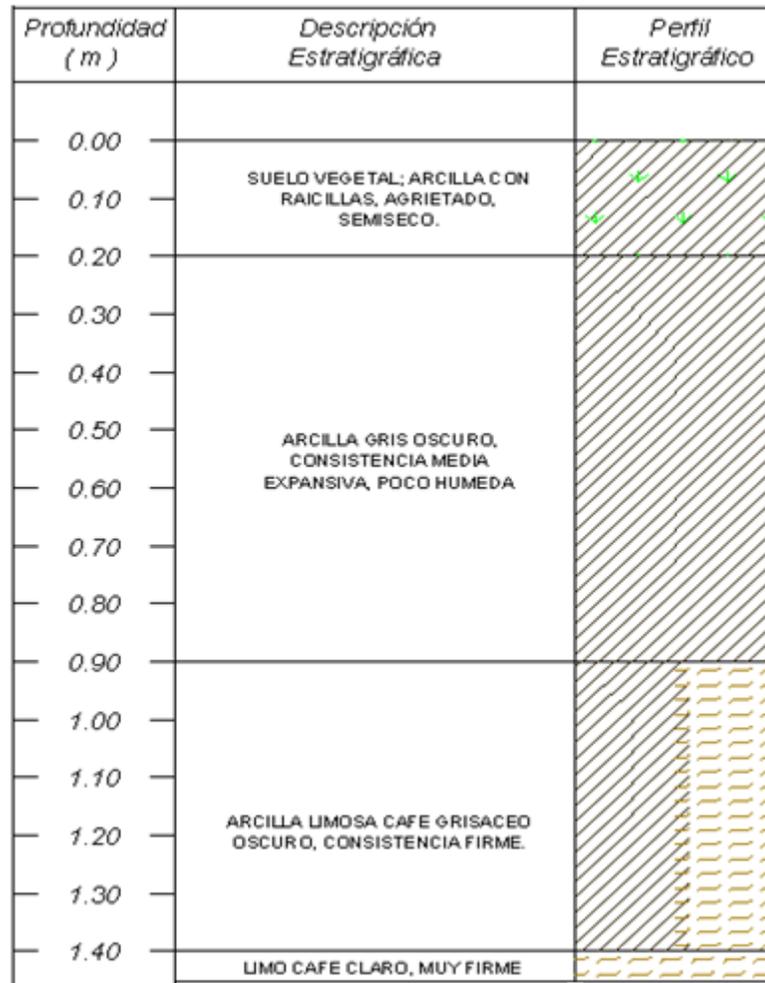
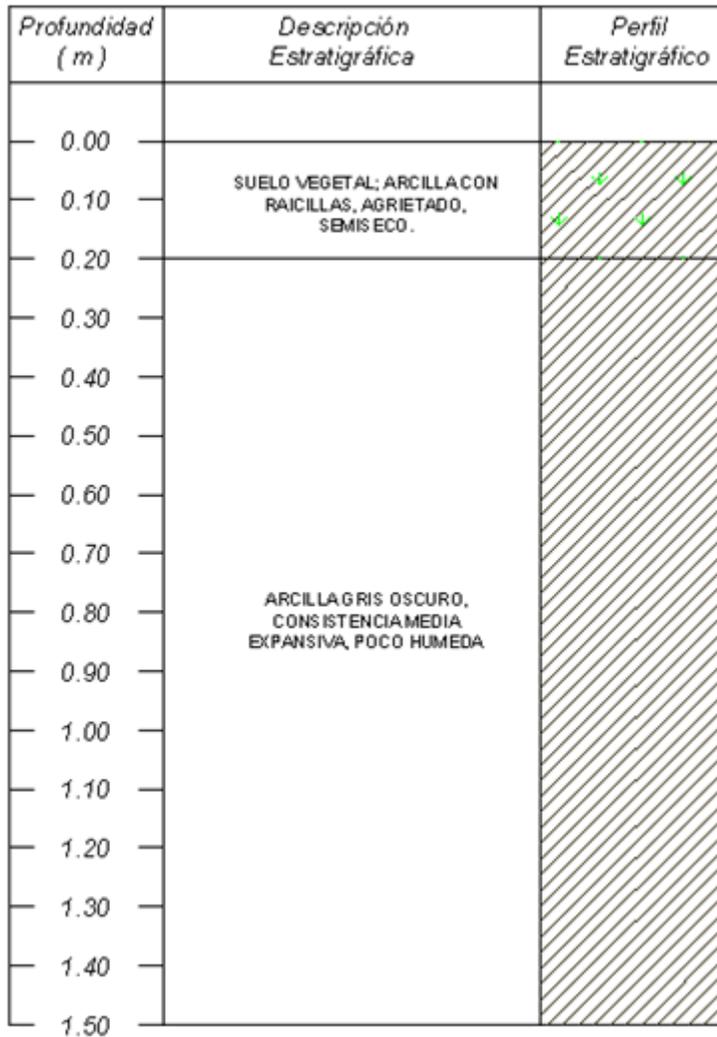


FIGURA 10.- PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEL PCA-6

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



11.- PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEL PCA

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO

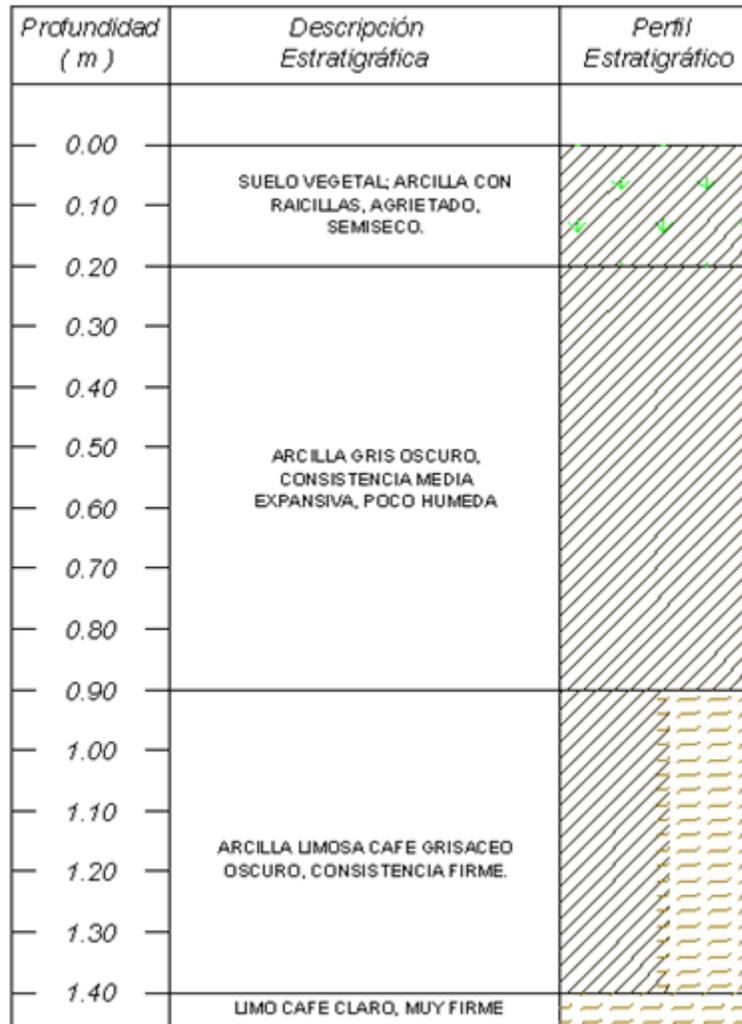


FIGURA 12.- PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEL PCA-8

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO

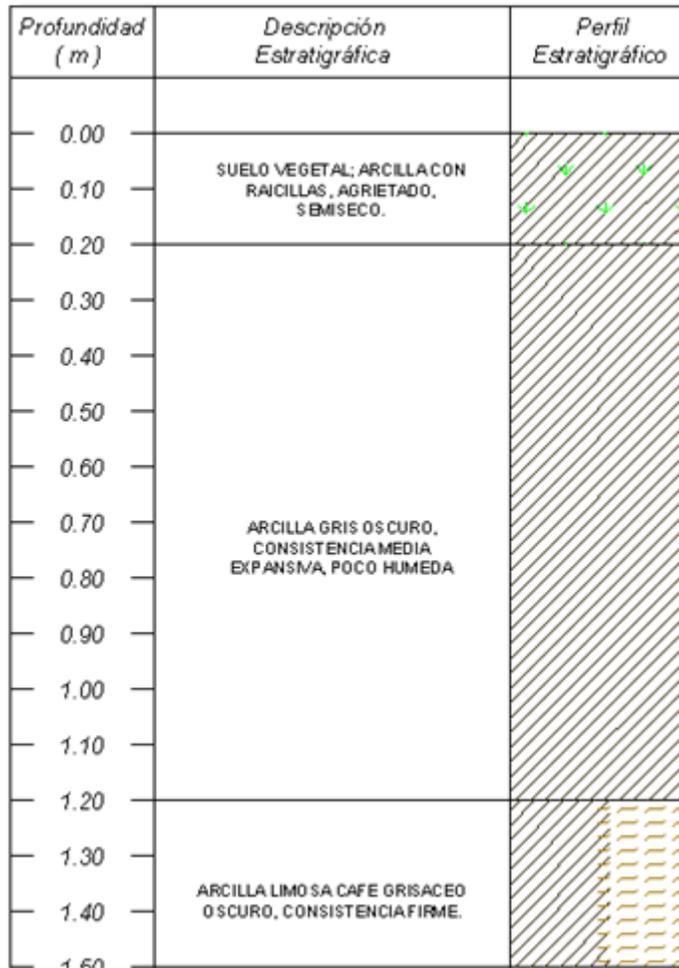


FIGURA 13.- PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEL PCA-9

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO

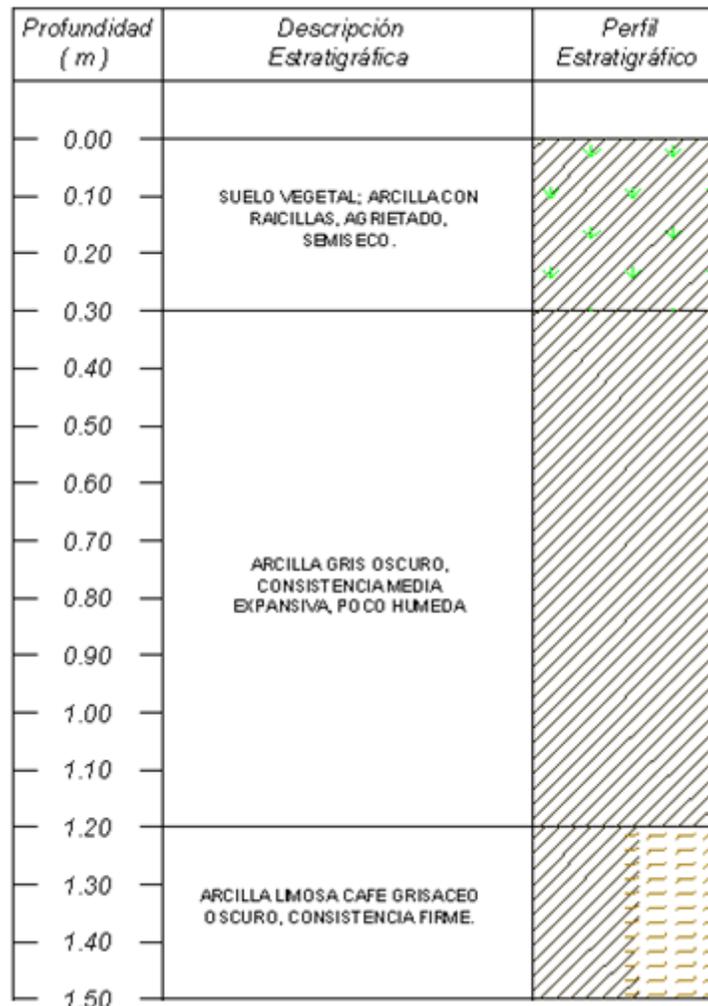


FIGURA 14.- PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEL PCA-10

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



En la figura 15, se muestra en planta los rellenos detectados de mala calidad o arcilla expansiva.

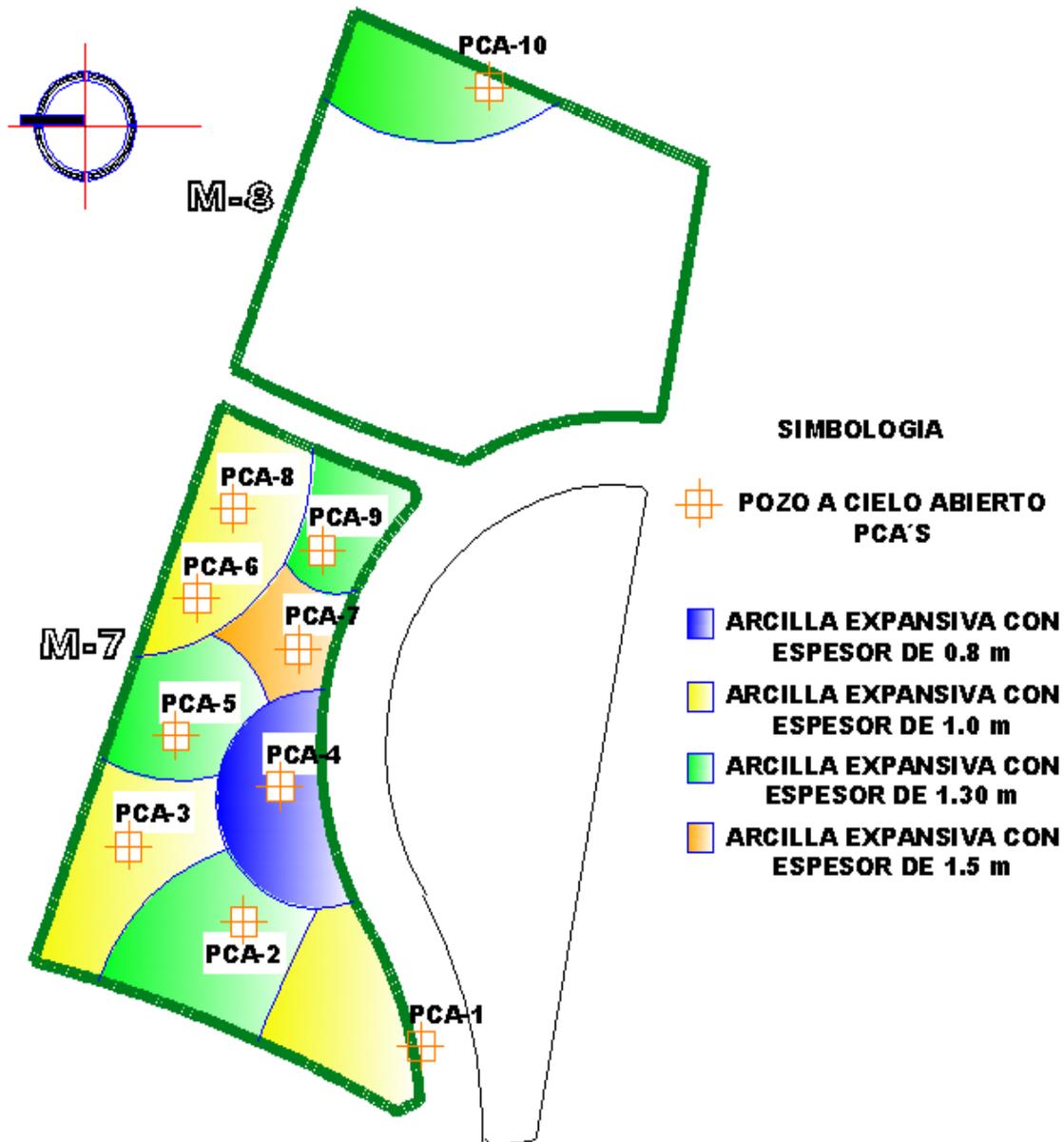


FIGURA 15.- ZONIFICACIÓN DE RELLENOS

PRUEBAS DE LABORATORIO.

3.1.- Muestras alteradas

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



MUESTRAS ALTERADAS EXTRAIDAS

Propiedades Índice

- 1.- Clasificación Visual y al Tacto
- 2.- Contenido de Humedad
- 3.- Límites de Consistencia o de Atterberg
- 4.- Densidad de Sólidos

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



3.2.- Muestras inalteradas

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

Propiedades Índice

- 1.- Clasificación Visual y al Tacto
- 2.- Contenido de Humedad
- 3.- Porcentaje de finos
- 4.- Límites de Consistencia o de Atterberg
- 5.- Densidad de Sólidos

Propiedades Mecánicas

- 1.- Resistencia al Esfuerzo Cortante
 - a) Compresión Simple
 - b) Compresión Triaxial Rápida UU
 - c) Saturación bajo carga
 - d) Expansión libre

En el anexo de pruebas de laboratorio se muestran los resultados obtenidos.

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



Para poder evitar y eliminar los movimientos en su totalidad bajo las plataformas existentes por la existencia de espesores de arcilla variables entre 0.80 y 1.50 m será necesario:

Dado que ya existen plataformas de mejoramiento construidas con espesores mayores a los de la primera etapa, y para eliminar los movimientos por asentamientos en su totalidad, como consecuencia de la infiltración de agua que provoque la expansión de la arcilla que se tiene todavía por debajo de dichas plataformas, se requiere efectuar inyecciones bajo el sembrado de la proyección de las casas mediante el empleo de una vaina de 2 pulgadas de diámetro con manguitos, alojada dentro de una perforación previa de 3 pulgadas de diámetro, a través de la cual se inyectara a una presión de 1 kg/cm² una mezcla de agua, bentonita y cemento o de agua bentonita y cal, en diámetros de 2", en una retícula a cada 3 m en los dos sentidos, con el proceso que se indica a continuación:

1. Ubicación de barrenos con una retícula de 3 por 3 m bajo el sembrado de las casas y estructuras de tres niveles.
2. Ejecución de perforaciones verticales de 3 pulgadas de diámetro y a 1.5 metros de profundidad, con equipo rotario y broca de tipo espiral.
3. Habilitado de tubo de PVC de 2 " de diámetro con los manguitos a cada 10 cm
4. Fabricación de lodo fraguante (AGUA-BENTONITA-CEMENTO) para inyectar a una presión de 1 kg/cm², empleando una bomba moyno o equivalente, y a través de la vaina, se inyectará en el espacio libre entre la perforación y el tubo.
5. Fabricación de la mezcla con la dosificación especificada, previa hidratación de la bentonita en el contenedor para incluir el cemento en el turbo mezclador.
6. Bombeo de la mezcla integrada, utilizando bomba de cavidad progresiva o bomba moyno, mangueras de inyección y retorno, manómetros de 6" de diámetro con escala de 0 a 4 kg/cm², instalado en la tubería de inyección y a la entrada de la boca del barreno, bajando un obturador neumático unido a la tubería de inyección, para efectuar progresiones ascendentes – descendentes.
7. Inyección de agua con presión para deformar al manguito, una vez que la presión desciende se inyecta la mezcla especificada con presión y volumen controlado.
8. Lavado del interior del tubo al término de la inyección para continuar con la siguiente progresión.

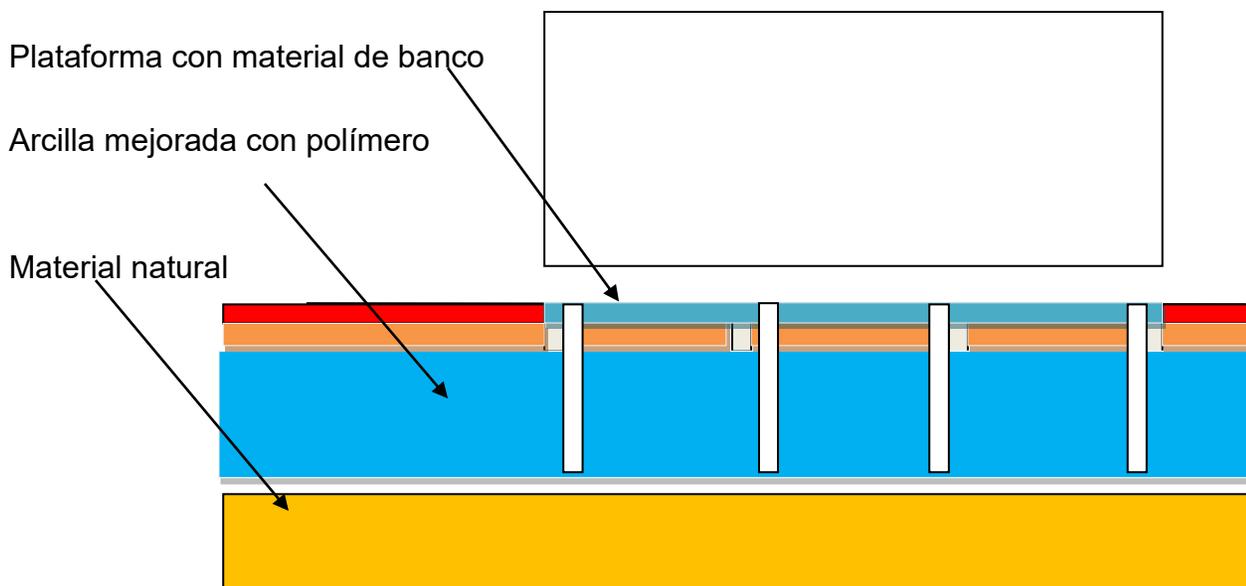
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



9. Una vez conformada la inyección perimetral, se procede a ubicar y perforar los barrenos centrales y hacia la barrera perimetral.
10. En la medida que se incorpore la inyección y mejore las características del subsuelo, se notara un incremento en la presión y disminución del volumen inyectado durante el desarrollo de los barrenos subsecuentes.
11. Sera recomendable realizar el muestreo del subsuelo en la zona a tratar antes de realizar los trabajos, así como al termino de los mismos, con la finalidad de tener parámetros que permitan establecer si el tratamiento es satisfactorio o bien en su caso realizar barrenos adicionales que cierren el tratamiento.

Se observó que en todo el terreno se tienen materiales de arcilla expansiva entre 0.80 y 1.5 m de espesor, como se muestra en la figura 15, de los cuales únicamente se recortaron los primeros 40 cm, pero sigue existiendo por lo menos 1.0 m de estos materiales bajo la plataforma de materiales mejorados colocados.

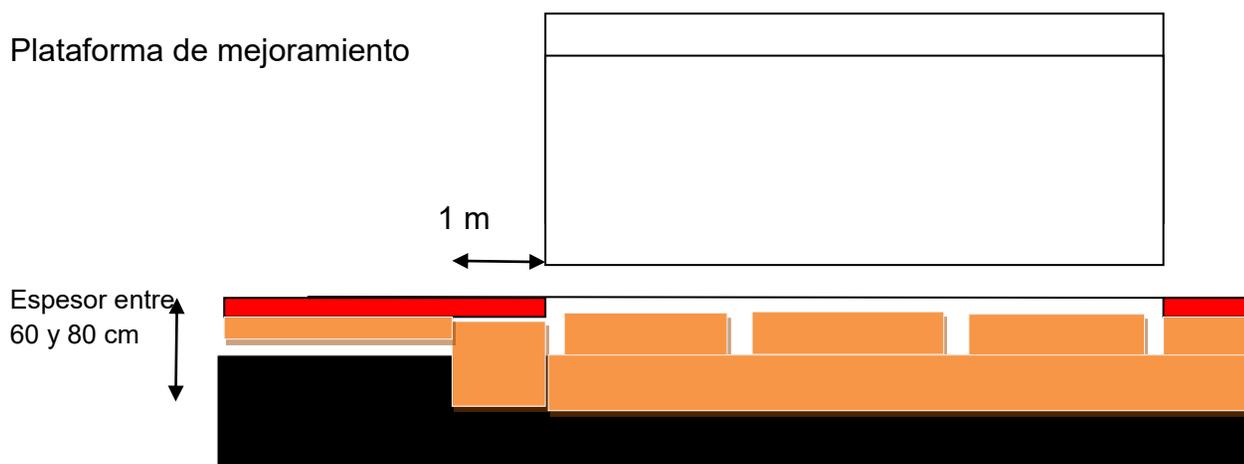
1.- Por tal razón una de las alternativas para evitar las inyecciones es retirar la arcilla expansiva en su totalidad, rehabilitar la arcilla adicionándole un polímero en una proporción del 8% en volumen y gravas de tamaño máximo de 2" en una proporción del 30% sobre el volumen total, una vez uniformizada la mezcla se procederá a tenderla con un rodillo pata de cabra.



ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



2.- Actualmente se está incrementando el espesor de la plataforma de mejoramiento, sin embargo se recomienda que se deje un sobrancho de por lo menos un metro, con respecto al sembrado de la casa, debido a que la orilla de una plataforma no alcanza la misma compactación que en la parte central por el paso del compactador, y además se requiere dejar un espesor mínimo de **60 cm para las casas de uno y dos niveles y de 80 cm para las casas de tres niveles**, tomando en cuenta el empotramiento de las traves y que estas se apoyen sobre materiales controlados compactados, para evitar que descansen sobre la arcilla expansiva.



Se deberá llevar un riguroso control de compactación, dado que en algunas zonas se han detectado una reducción en los grados de compactación y que resultan inferiores a los especificado, posiblemente por la saturación de los materiales o bien porque en su momento no se le dio la compactación adecuada.

Si el material queda debidamente compactado es una barrera que evita que pase el agua hacia la parte inferior donde se tiene la arcilla expansiva, y por otro lado el espesor de la plataforma solicitada es que la losa y las traves de cimentación queden apoyadas por lo menos con un espesor mínimo de 20 cm de material de banco compactado,

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



evitando que se apoyen directamente sobre la arcilla expansiva de lo contrario se continuarán teniendo los problemas que se han suscitado hasta el momento.

A continuación se presentan los lineamientos generales de movimientos de tierras:

Considerando el sembrado de las estructuras propuesto, a continuación se establecen los lineamientos generales para el movimiento de tierras que será necesario realizar, tomando en cuenta las características topográficas del terreno y de los materiales que se tienen superficialmente.

De acuerdo a los datos obtenidos durante la exploración realizada en el sitio de interés, tomando en cuenta que el terreno presenta una superficie plana y tiene material de tipo arcilloso expansivo, de color negruzca, que se tienen en la mayor parte del terreno con un espesor promedio de 1.5 m, misma que deberá ser restituida por materiales de banco de tipo limo-arenoso (tepetate) colocados en capas de 20 cm de espesor y compactadas al 95% de su peso volumétrico seco máximo de acuerdo a la prueba Próctor estándar, hasta alcanzar los niveles de proyecto.



ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



Los materiales producto del corte anteriormente mencionado, no son aptos para poder utilizarse en la construcción de terracerías bajo ninguna circunstancia por tratarse de materiales de tipo arcilloso que además de ser contener un alto índice de plasticidad son expansivos, por lo que deberán ser retirados fuera de la obra.

A continuación se dan los lineamientos generales que deberán de seguirse en caso que sea necesario colocar rellenos controlados para recuperar y/o alcanzar los niveles de proyecto.

La secuencia que se propone para la construcción y control de terracerías es la siguiente:

5. Se realizará el corte y despalme en toda la superficie del terreno como ya se indicó anteriormente. El material producto de despalme que contenga materia orgánica se retirará del área al lugar indicado por la dirección de obra.

6. En las áreas en las que se vaya a colocar el terraplén, antes de su construcción se deberá escarificar la superficie del terreno natural hasta una profundidad de 10 cm recompactándola al 90% próctor estándar.

7. El material importado para la construcción de terraplén podrán ser mezclas de grava, arenas de material fino (tepetate) que satisfagan las siguientes especificaciones

Límite líquido	45% máx.
Índice plástico	15% máx.
Contracción lineal	5% máx.
Valor Relativo de Soporte (CBR)	15% min.
Contenido de agua óptimo	25% máx.
Peso volumétrico seco máximo	1,300 kg/m ³ mín.

8. 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.

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



5. 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 de espesor en estado suelto, y se compactarán al 95%, de su peso volumétrico seco máximo según la prueba proctor 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./pulg.², y por último se colocará una capa de 20 cm en estado suelto, de grava controlada, material de base, compactada al 98 % de su peso volumétrico seco máximo de la prueba porter.

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

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 18), 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.

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	1 ½ " máx
Peso volumétrico seco máx., Kg/cm ³	1800 mín	1800 mín

7. Se deberán efectuar pruebas en campo en las capas compactadas, para verificar el porcentaje de compactación alcanzado en la construcción de las terracerías. Se recomienda hacer una prueba consistente en una cala volumétrica, por cada 50 m³ de material compactado

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



8. 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:

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

Requiriéndose como mínimo el 95 % para el cuerpo del terraplén y 98 % para la base.

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA BASE
APERTURA EN MM

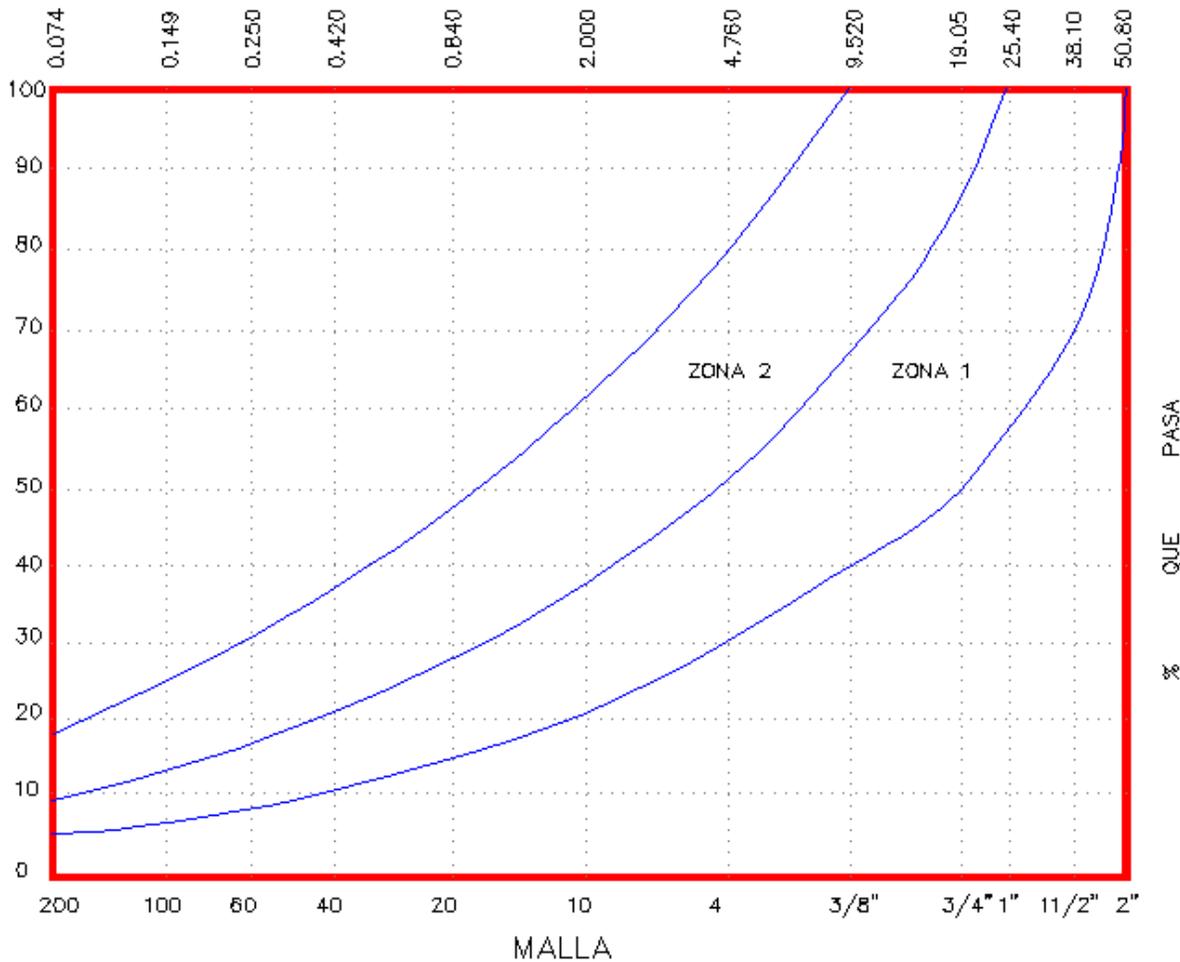
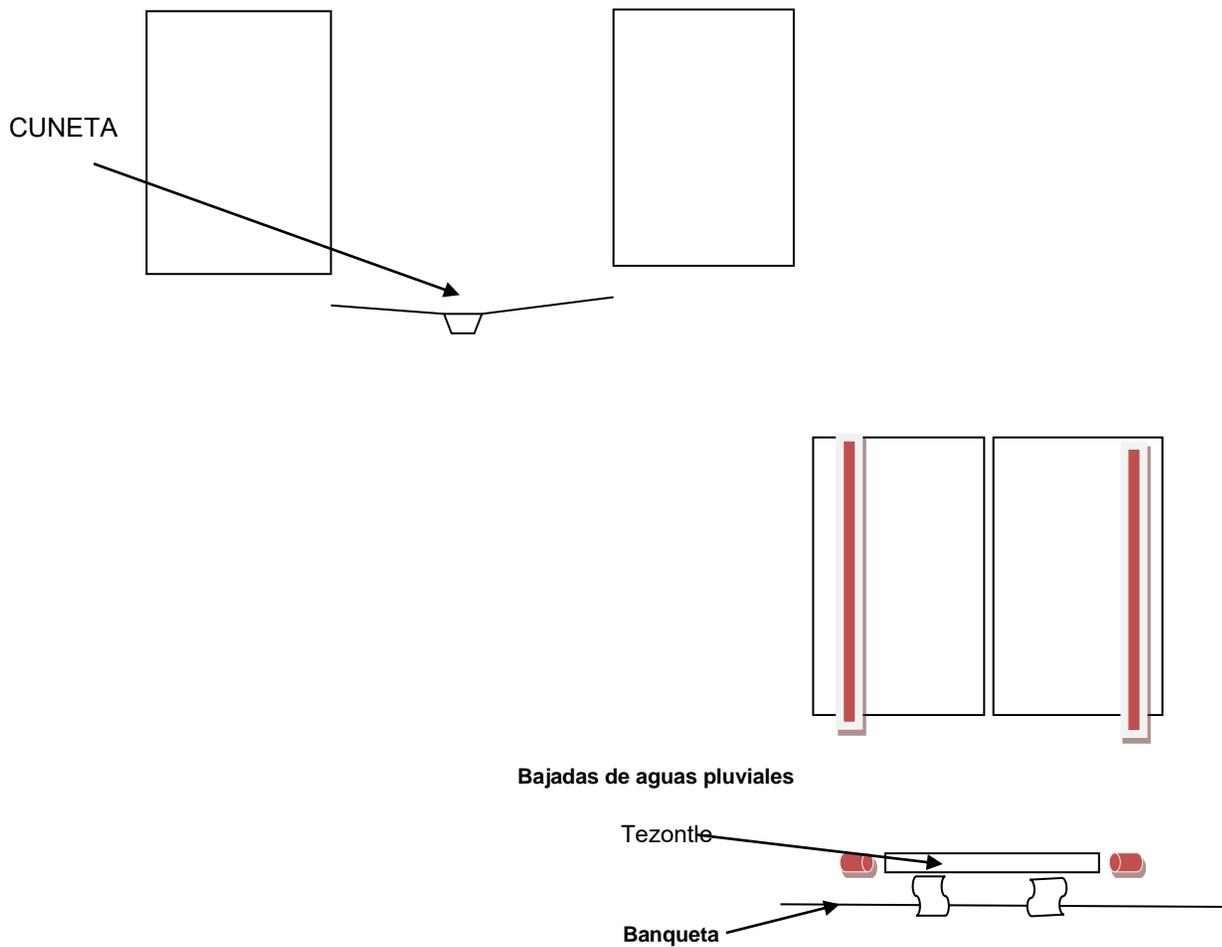


FIGURA 18.- CURVA GRANULOMÉTRICA PARA BASE HIDRÁULICA

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



Todas las bajadas de aguas pluviales al subsuelo, en particular en los edificios de tres niveles, deberán ser canalizadas y enviadas fuera del sembrado de las estructuras, ya sea construyendo cunetas entre edificios, sellando las zonas de tezontle al pie de las estructuras, y drenando de forma superficial hacia los colectores de las calles.



Finalmente los pozos de infiltración existentes deberán tener una profundidad mayor a 2 m, debido a que estos no funcionaran en forma adecuada, para lo cual debe efectuarse pruebas de permeabilidad a profundidades mayores a 40 m para determinar el número de pozos, diámetro y profundidad a la que deben construirse para garantizar su funcionalidad.



CONCLUSIONES

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



CONCLUSIONES.

Las deformaciones son expansiones (movimientos hacia arriba) y asentamientos (movimientos hacia abajo), los primeros se desarrollan debido a que este estrato sufre cambios de volumen por las variaciones en su contenido de agua por infiltración de la misma, saturándolos, y cuando los materiales pierden humedad por evaporación o desecación tienden a generar asentamientos, y estos movimientos provocan que las estructuras se fisuren, particularmente en muros.

Para medir los desplazamientos verticales que pudieran ocurrir en las construcciones de las colindancias a consecuencia de las excavaciones y que permitan detectar oportunamente el desarrollo de deformaciones inadmisibles, se colocarán niveletas o testigos pintados en los muros de las estructuras vecinas, con separación máxima de 10.0 m y una altura aproximada de 1.50 m sobre el nivel de banquetas. Los testigos en los muros, estarán formados por un triángulo rojo pintado sobre un fondo blanco, de 7 cm por lado.

Cuando por condiciones extraordinarias se requiera la ejecución de una excavación, ya colocado el mejoramiento, se solicitará la asesoría de Mecánica de Suelos.

Los estudios realizados en el predio Vilas de Zumpango en su primera y segunda etapa nos muestran las condiciones en las que se encuentran en el suelo en dicha zona, y podemos dar solución para detener los problemas de fisuras presentadas en las casas ya construidas, mostrando alternativas de mejoramiento del suelo, pudiendo prevenir en las construcciones futuras estos problemas



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- *Juárez Badillo. E y Rico Rodríguez, A. Mecánica de suelos. 3ra. Ed., Limusa, 2001.*
- *Carlos, C. Mecánica de suelos y cimentaciones, Limusa.*
- *Karl, T. Mecánica de suelos en la Ingeniería Práctica, Ateneo.*
- *Aysen, A. Problem solving in soil Mechanics. Balkema, 2003.*
- /
- *Barajas, M.Das, Mecánica de suelos. International Thomson Editores, 2001.*



ANEXO I
REPORTE
FOTOGRAFICO

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO





ANEXO II PRUEBAS DE LABORATORIO

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



CLASIFICACION Y CONTENIDO DE AGUA

OBRA: **ZUMPANGO**
 SONDEO: **PCA,S**

Muestra N°	Profundidad m.	Tara N°	tara gr.	Wh+t gr.	Ws+t gr.	w %	TORC. kg/cm²	CLASIFICACION
PCA-1	0.00	205	25.20	156.60	147.10	7.79		ARCILLA ARENOSA FINA CAFÉ GRISACEO (MATERIAL CEMENTADO)
BOLSA	0.90							
BOLSA	0.90	201	23.60	132.20	119.40	13.36		ARCILLA GRIS VERDOSO CLARO CON ESCASA ARENA FINA
	1.75							
BOLSA	1.75	152	24.60	137.50	126.80	10.47		ARENA FINA Y MEDIA GRIS CLARO CON POCOS FINOS DE ARCILLA
	2.20							
MC	0.60	221	25.50	98.70	93.90	7.02		ARCILLA ARENOSA FINA CAFÉ GRISACEO (MATERIAL CEMENTADO)
	0.80							
PCA-2	0.00	170	24.00	118.80	108.90	11.66		ARCILLA POCO LIMOSA CAFÉ GRISACEO OSCURO CON POCA ARENA FINA
BOLSA	0.70							
BOLSA	0.70	235	25.20	148.80	140.00	7.67		ARENA FINA MEDIA Y GRUESA POCO LIMOSA CAFÉ GRISACEO
	1.50							
BOLSA	1.50	251	25.20	92.40	53.00	141.73		ARCILLA GRIS VERDOSO CLARO CON ESCASA ARENA FINA
	3.00							
BOLSA	3.00	171	23.90	133.30	108.30	29.62		ARENA FINA Y MEDIA GRIS CLARO CON POCOS FINOS DE LIMO NO COHESIVO
	3.30							
PCA-3	0.10	200	25.70	94.50	84.40	17.21		ARCILLA ARENOSA FINA CAFÉ GRISACEO (MATERIAL CEMENTADO)
BOLSA	0.50							
BOLSA	0.50	211	25.00	148.20	132.30	14.82		ARENA FINA POCO LIMOSA GRIS VERDOSO
	1.70							
BOLSA	1.70	146	25.60	77.30	51.80	97.33		ARCILLA GRIS VERDOSO CLARO CON ESCASA ARENA FINA
	2.80							

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



PORCENTAJE DE FINOS

PROCEDENCIA: **ZUMPANGO**

Sondeo	Muestra	Profundidad m.	Ws.+tara gr.	Ws. lavado + tara	W. tara gr.	W total del material	W finos	% finos
PCA-1	MC	0.60-0.80	93.90	52.00	25.50	68.40	41.90	61.26

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



CALCULO DE LIMITES DE CONSISTENCIA

PROCEDENCIA:	ZUMPANGO				
SONDEO Nº:	PCA-1	MUESTRA:	MC	PROF.:	0.60-0.80
DESCRIPCION DEL MATERIAL:	LIMO ARENOSO FINO CAFÉ GRISACEO CLARO				
LIMITE LIQUIDO					
Nº GOLPES	Nº tara	Wh+T	Ws+t	Wt	W%
33	74	16.50	13.42	2.30	27.70
24	13	16.30	13.20	2.20	28.18
16	114	16.40	13.25	2.30	28.77
8	145	16.80	13.50	2.20	29.20
LIMITE PLASTICO					
	71	6.30	5.80	2.70	16.13
	63	6.40	5.90	2.90	16.67
CONTRACCION LINEAL					
	barra nº	lec.inic.	lec.final	C.L. (%)	
	L.L.	L.P.	I.P.	S.U.C.S	
	28.10	16.40	11.70	CL	

CONTENIDO DE AGUA (W%)

LIMITE INFERIOR 27.50
 LIMITE SUPERIOR 29.50

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



CLASIFICACION Y CONTENIDO DE AGUA

OBRA: **ZUMPANGO-2**

SONDEO: **PCA,S**

Muestra	Profundidad	Tara	tara	Wh+t	Ws+t	w	TORC.	CLASIFICACION
N°	m.	N°	gr.	gr.	gr.	%	kg/cm ²	
PCA-1	0.15	211	25.50	82.80	70.00	28.76		ARCILLA GRIS OSCURO CON POCA ARENA FINA
BOLSA	0.70							
BOLSA	0.70	242	25.50	80.00	68.30	27.34		ARCILLA ARENOSA CAFÉ OSCURO CON GRUMOS CEMENTADOS
	1.00							
MC	0.80	222	25.30	69.60	59.80	28.41		ARCILLA POCO LIMOSA GRIS OSCURO CON POCA ARENA FINA
	1.00							
PCA-2	0.85	190	25.90	105.00	87.50	28.41		ARCILLA GRIS OSCURO CON ESCASA ARENA FINA
MC	1.00							
PCA-3	0.90	187	24.50	91.20	76.60	28.02		ARCILLA GRIS OSCURO NEGRUSCO CON ESCASA ARENA FINA
BOLSA	1.25							
BOLSA	1.25	184	24.00	81.60	71.60	21.01		ARCILLA POCO LIMOSA GRIS OSCURO CON POCA ARENA FINA
	1.50							
PCA-5	1.50	10	26.00	98.40	86.80	19.08		ARCILLA POCO LIMOSA CAFÉ GRISACEO CLARO CON POCA ARENA FINA (MATERIAL CEMENTADO)
MC	1.65							
PCA-6		256	25.30	92.30	77.80	27.62		ARCILLA POCO LIMOSA GRIS OSCURO CON POCA ARENA FINA
BOLSA								
PCA-7	0.20	182	24.80	82.50	68.20	32.95		ARCILLA GRIS OSCURO NEGRUSCO CON ESCASA ARENA FINA
BOLSA	1.50							
PCA-8	0.90	252	25.10	86.90	74.00	26.38		ARCILLA POCO LIMOSA GRIS OSCURO CON POCA ARENA FINA
BOLSA	1.40							
BOLSA	1.40	61	25.40	106.50	87.00	31.66		ARCILLA POCO LIMOSA GRIS OSCURO CON POCA ARENA FINA
	1.50							
PCA-9	0.20	257	26.70	97.20	77.20	39.60		ARCILLA GRIS OSCURO NEGRUSCO CON ESCASA ARENA FINA Y RAICILLAS
BOLSA	1.20							
BOLSA	1.20	241	23.70	95.60	80.70	26.14		ARCILLA POCO LIMOSA GRIS OSCURO CON POCA ARENA FINA
	1.50							
PCA-10	1.20	271	25.60	82.80	68.70	32.71		ARCILLA GRIS OSCURO NEGRUSCO CON ESCASA ARENA FINA
BOLSA	1.50							
S/M		107	23.90	95.70	81.20	25.31		ARCILLA GRIS OSCURO NEGRUSCO CON POCA ARENA FINA

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



PORCENTAJE DE FINOS

PROCEDENCIA: ZUMPANGO-2

Sondeo	Muestra	Profundidad m.	Ws. +tara gr.	Ws. lavado + tara	W. tara gr.	W total del material	W finos	% finos
PCA-1	MC	0.80-1.00	59.80	26.00	25.30	34.50	33.80	97.97
PCA-2	MC	0.85-1.00	87.50	26.20	25.90	61.60	61.30	99.51
PCA-5	MC	1.50-1.65	86.80	28.40	26.00	60.80	58.40	96.05

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



CALCULO DE LIMITES DE CONSISTENCIA

PROCEDENCIA:	ZUMPANGO-2				
SONDEO Nº:	PCA-1	MUESTRA:	MC	PROF.:	0.80-1.00
DESCRIPCION DEL MATERIAL:	ARCILLA POCO LIMOSA GRIS OSCURO				
LIMITE LIQUIDO					
Nº GOLPES	Nº tara	Wh+T	Ws+t	Wt	W%
32	180	15.90	11.25	2.20	51.38
24	175	15.50	10.91	2.20	52.70
16	156	15.80	11.00	2.20	54.55
8	95	15.60	10.80	2.20	55.81
LIMITE PLASTICO					
	170	6.40	5.40	2.20	31.25
	174	6.50	5.50	2.20	30.30
CONTRACCION LINEAL					
	barra nº	lec.inic.	lec.final	C.L. (%)	
	L.L.	L.P.	I.P.	S.U.C.S	
	52.50	30.78	21.72	OH-MH	

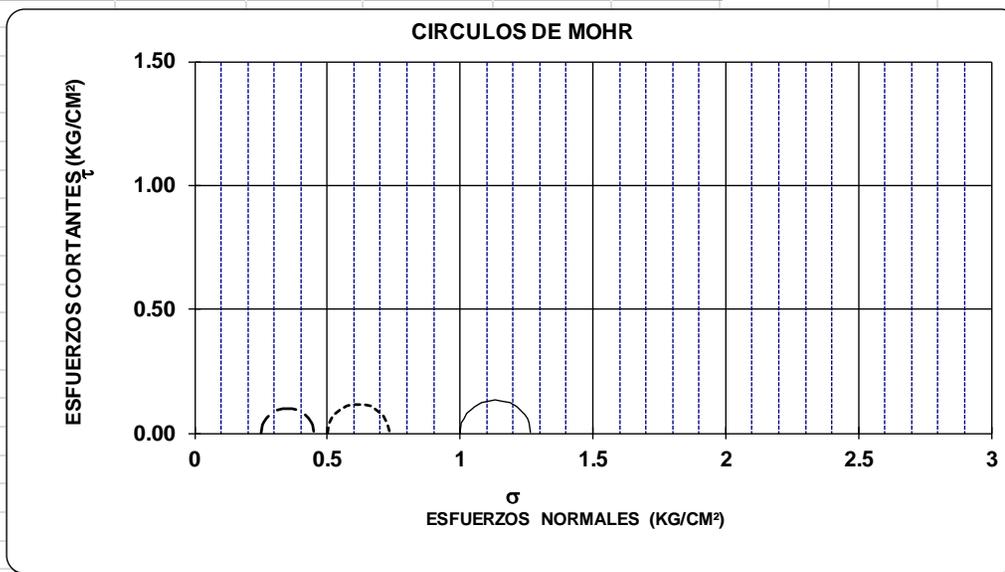
CONTENIDO DE AGUA (W%)

L I M I T E I N F E R I O R	51.00
L I M I T E S U P E R I O R	56.00

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO



PRUEBA TRIAXIAL UU							
OBRA: ZUMPANGO-2			DESCRIPCIÓN DEL SUELO :				
SONDEO: PCA-2			ARCILLA GRIS OSCURO				
MUESTRA: MC		PROF.: 0.85-1.00					
ENSAYO	PRESION	ESF. A LA	PESO			VALORES PROMEDIO	
	CONF. (kg/cm ²)	FALLA (kg/cm ²)	VOLUM. NATURAL (ton/m ³)	Gwi (%)	ei	Ss=	2.48
Num.						wi=	28.36 %
1	0.25	0.20	1.323	49.7	1.402	wf=	28.15 %
2	0.50	0.23	1.325	49.9	1.399	Gw=	49.95 %
3	1.00	0.27	1.329	50.2	1.391	Gwf=	49.81 %
DATOS FINALES						PVN=	1.326 ton/m ³
		ef	Gwf	wf	pvhf	PVF=	1.323 ton/m ³
1	0.25	1.406	49.590	28.12	1.321	ei=	1.40
2	0.50	1.403	49.800	28.18	1.323	ef=	1.40
3	1.00	1.395	50.030	28.14	1.327		



C=	kg/cm ²
Ø=	grados
E=	kg/cm ²
$\mu =$	0.45

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO

