

**ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS PARA EL DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN DE
LA NUEVA ESCUELA SECUNDARIA # 126, UBICADA EN COL. ZAPOTITLAN,
DELEGACION TLAHUAC, MEXICO D.F.**

ÍNDICE GENERAL

I.- ANTECEDENTES

II.- DESCRIPCIÓN DEL PREDIO Y PROYECTO

III.- EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

- III.1.- Marco Geológico
- III.2.- Trabajos de Campo
- III.3.- investigación especial de la grieta detectada.
- III.4.- Trabajos de Laboratorio

IV.- CONDICIONES ESTRATIGRÁFICAS

V.- ANALISIS GEOTECNICOS

- V.1.- Tipo de Cimentación
- V.2.- Revisión del estado limite de falla
- V.3.- Revisión del estado limite de servicio
- V.4.- Modulo de reacción del suelo
- V.5.-Empuje de tierras en reposo

VI.- PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

- VI.1.-Construccion de cajón de cimentación
- VI.2.-Tratamiento de inyección de grietas.

VII.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXO I.- RESULTADOS DE LABORATORIO

ANEXO II.- ALBUM FOTOGRAFICO

ANEXO III.- MEMORIA DE CÁLCULO

ANEXO IV.- PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLA FLUÍDA PARA INYECCIÓN DE GRIETAS

Se realiza un estudio geotécnico del sitio donde se ubica la escuela secundaria No. 126, en Av. Tlahuac esquina con calle Ricardo Flores Magón, en el poblado de Santiago Zapotitlán, delegación Tlahuac. (Figura No. 1).

De acuerdo con lo anterior, se llevo a cabo un de estudio de mecánica de suelos, el cual consiste en determinar las condiciones estratigráficas del predio y especificar si el sitio es apto para realizar la construcción de un nuevo edificio escolar.

En este documento se presenta el resultado final del estudio, la descripción de los trabajos de campo y laboratorio, las condiciones estratigráficas del lugar, y finalmente determinar las recomendaciones y conclusiones correspondientes para dicho estudio.



Figura 1.- Ubicación del predio en estudio.

II. DESCRIPCIÓN DEL PREDIO Y PROYECTO

- **Antecedentes del sitio en estudio.**

El sitio de estudio pertenece a una escuela secundaria, cuyos edificios fueron demolidos recientemente. Antes de la demolición, se podía observar un patio central y alrededor los edificios de aulas, dirección, talleres y zona de servicio. De acuerdo con la información recabada, la escuela fue construida en etapas distintas; los primeros edificios se resolvieron con elementos de concreto armado y los edificios más recientes se realizaron también con elementos de concreto, sin embargo se notan materiales más ligeros.

En la cabecera norte se encontraba un edificio de aulas de dos niveles; en la cabecera sur se ubicaban los edificios más antiguos de cuatro y dos niveles; cabe mencionar que originalmente los dos cuerpos de edificios eran de cuatro niveles, sin embargo al paso del tiempo y por los desplomes de los edificios uno de ellos fue demolido parcialmente, dejándolo en dos niveles.



La siguiente tabla presenta la carga aproximada que transmitían las estructuras al suelo; antes de ser demolidas.

T A B L A No 1

ESTRUCTURA	UBICACIÓN	PROBLABLE CARGA TRANSMITIDA Y EDAD
AULAS 2 N	AL NORTE CON COLINDANCIA	2 TONELADAS + 10 AÑOS
AULAS 4 N	PARALEAS A AV.TLÁHUAC	4 TONELADAS + 10 AÑOS
AULAS Y ADMINISTRATIVO 2 N	PARALELAS A CALLE CESAREO CASTRO	2 TONELADAS + 10 AÑOS
LABORATORIOS Y BODEGAS	PARALELAS A CALLE AGUILES SERDAN	2 TONELADAS + 10 AÑOS

De acuerdo con lo anterior, las áreas donde se ubicaban estas estructuras provocaron que el subsuelo un efecto de preconsolidación que los patios no tuvieron.

Antes de la demolición, se observo la existencia grietas de tensión en el subsuelo, esto provoco que se generaran asentamientos y desplomes en las aulas, lo cual dejo en riesgo dichas estructuras. Debido a esta situación se decidió demoler las estructuras y realizar una nueva planeación con edificios de menos altura y fuera de la influencia de las grietas localizadas dentro del predio.

Grieta detectada en el patio de la escuela secundaria



- **Grietas existentes**

La grieta que se manifestaba en el patio de la escuela, corre en dirección sur a norte y tiene una ramificación hacia el lado derecho viendo de sur a norte. Presenta otras ramificaciones menores que se reflejan en la losa de concreto.

- En la parte sur de la grieta se observó un hundimiento en la losa de 60cm de profundidad.

La localización de la grieta está en la parte central del predio, área que en este nuevo proyecto se dejará como una zona de jardín y que previamente recibirá un tratamiento de inyección; con el propósito de mitigar los asentamientos y deformaciones en la superficie; mediante una mezcla fluida prefabricada a base de cemento, bentonita, tepetate, y aditivos expansores y dispersores.

- **Descripción del proyecto**

El nuevo proyecto contempla la construcción de:

- Edificio de planta baja y dos niveles en donde se concentraran las aulas de talleres.
- Edificio de planta baja y planta alta, donde se ubicarán las oficinas administrativas, laboratorios y auditorio.
- Aulas de un nivel, ubicadas alrededor del patio central
- Una zona de jardín central y canchas deportivas.

En las [figuras 2 y 3](#) se presenta una planta y cortes del nuevo proyecto.



Figura No. 2.- Planta de conjunto del nuevo proyecto

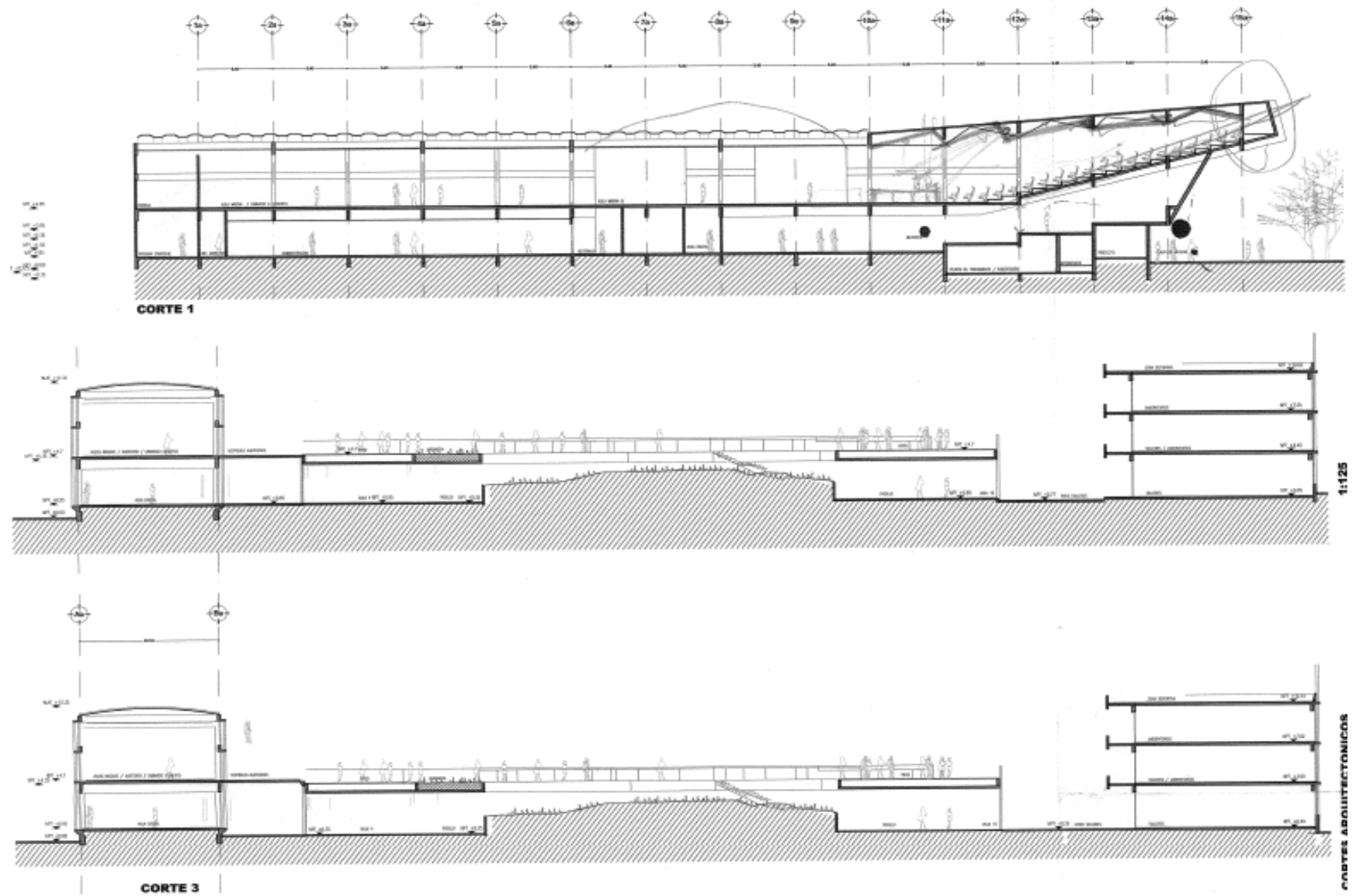


Figura No. 3.- Cortes arquitectónicos del nuevo proyecto

III. EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

III.1. Marco Geológico.

La formación de la Sierra de Santa Catarina, que está próxima al predio de estudio, ocurrió hacia fines del pleistoceno y en el cuaternario, debido a un sistema de fracturas orientadas en direcciones WSW-ENE, pertenecientes a un fracturamiento mayor con dirección W- E, que parte desde Puebla hasta Toluca. Este fracturamiento origina desde conos de tezontle en la cumbre de la Sierra del Chichinautzin, hasta andesitas, andesitas basálticas y finalmente basalto.

Los rellenos superficiales en los flancos de la Sierra de Santa de Catarina son escasos, debido a que no pueden lograrse arrastres importantes en tramos tan cortos, solo se aprecian algunas lentes de tipo aluvial, estratificadas con los depósitos lacustres de los Lagos de Texcoco, de la ciudad de México, de Xochimilco y Chalco, formando así la zona de transición que la rodea.

En el caso particular la Delegación Tláhuac, la zona de estudio se encuentra afectada por hundimiento y formación de grietas presentes en la zona urbana. Estos fenómenos se han asociado con el incremento de extracción de agua del subsuelo. La demanda de agua se ha incrementado debido al crecimiento de la zona urbana; esto ocasiona que en la zona montañosa se infiltre dos veces menos agua de la que se extrae y que en la porción plana los sedimentos arcillosos pierdan agua y se compacten. Esta compactación se traduce en hundimientos y agrietamientos del terreno, que varían de acuerdo a la intensidad de la extracción de agua y de las condiciones del subsuelo.

Las direcciones de las grietas siguen un patrón norte-sur y en menor medida Noreste; el proceso de hundimiento se genera a diferentes velocidades debido a la estructura del subsuelo. Las grietas presentan una mayor apertura durante la época de lluvias afectando a diversos sectores de la población.

La Ciudad de México ha sido dividida en tres zonas geotécnicas: Zona I (de Lomas), Zona II (de Transición) y Zona III (del Lago) de acuerdo con lo indicado en la Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Cimentaciones del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal ([referencia No. 4](#)).

La [figura No. 4](#) presenta la zonificación mencionada, así también se señala que el predio se ubica en la frontera entre la denominada Zona III o de Lago.

De igual forma las mismas Normas Técnicas presentan una Zonificación para el Diseño por Sismo ([figura No.5](#)) en el cual *se considerará la zona más desfavorable* y que establece que el predio se localiza en la Zona IIIb donde el coeficiente sísmico para estructuras del grupo B es $C_s = 0.45$. no obstante, al considerarse como una estructura del grupo A este valor se incrementará en un 50%.

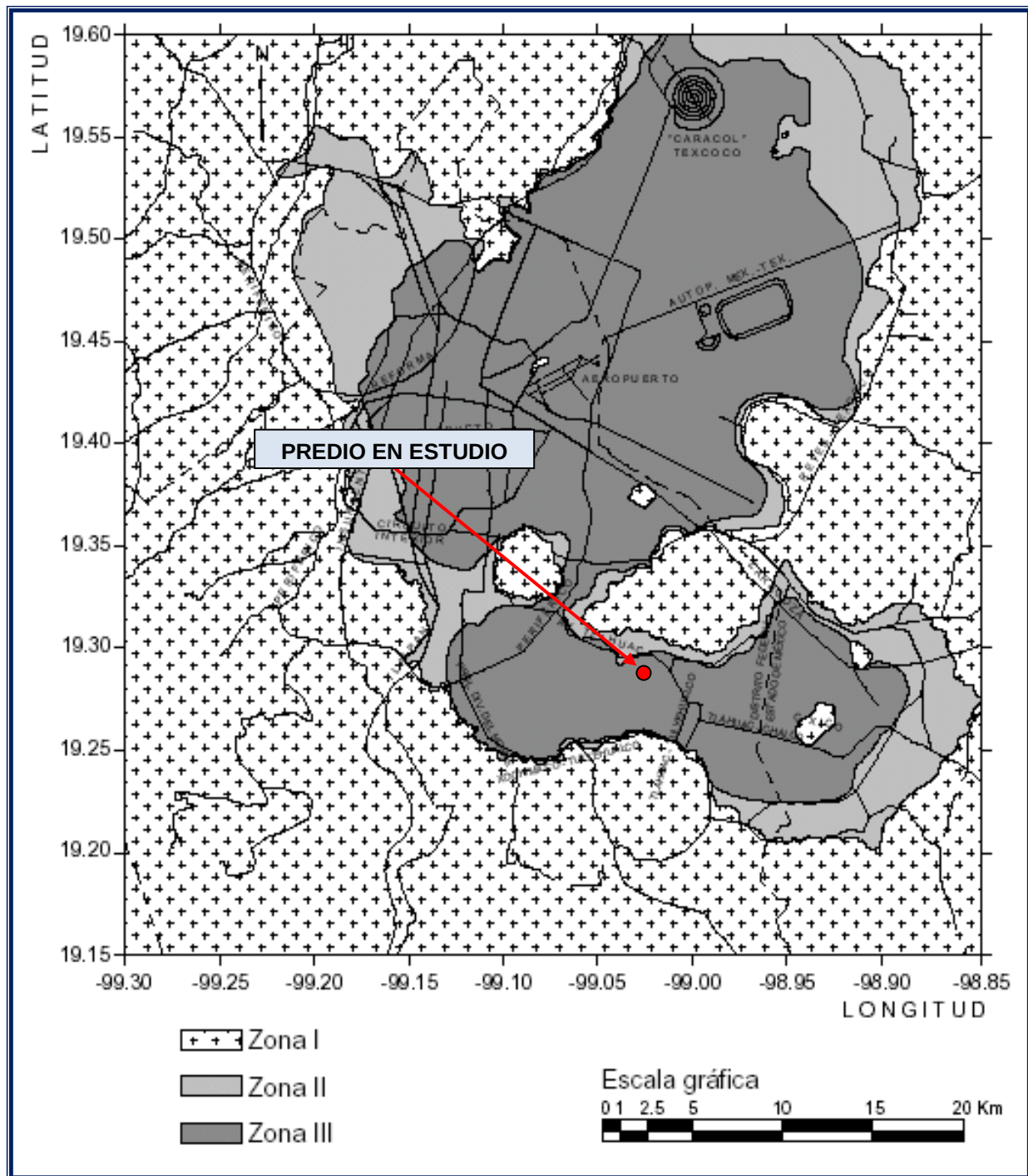


Figura 4.- Zonificación Geotécnica.

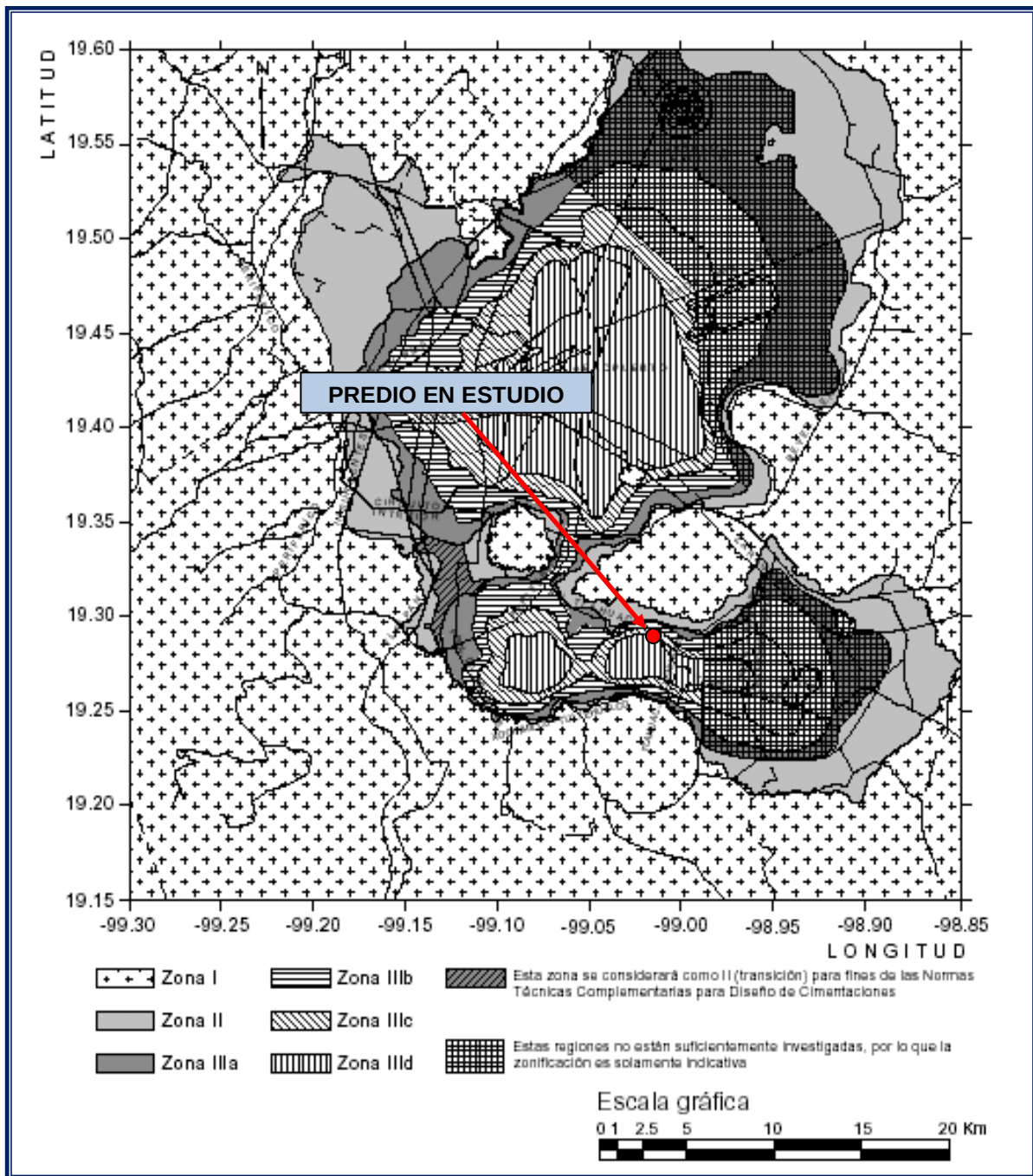


Figura No. 5.- Zonificación sísmica

III.2.-Trabajos de campo

Inicialmente se ubicaron de forma relativa los sitios en el cual se llevaron a cabo los trabajos de exploración geotécnica.

Siguiendo las recomendaciones que se indican en las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño de Cimentaciones, del (RCDF), se programaron las siguientes actividades:

- 1.- Un sondeo de tipo mixto hasta 20 m de profundidad
 - 2.- Un sondeo de cono eléctrico hasta 25 m de profundidad
 - 3.- La excavación de tres pozos a cielo abierto a 3 m de profundidad
- La ubicación de los sondeos, mixto y de cono eléctrico, se realizó en una zona en la cual se garantizaba que no existían restos de los elementos de la cimentación de la superestructura demolida, ya que al realizar el sondeo de cono en áreas sin construcción, favorecía el avance de la exploración hasta la profundidad indicada en el proyecto.
 - Por otro lado los pozos a cielo abierto se localizaron principalmente en la trayectoria de las grietas, a fin de poder observar su continuidad así como en zonas donde se observaban depresiones en el pavimento.
 - Sondeos de penetración de cono eléctrico

Este tipo de sondeo consiste en el hincado de un cono a 60°, con área en su base de 10 cm² a una velocidad constante de 10 mm/s, con esto se mide la resistencia a la penetración (resistencia de punta).

La punta del cono está unida a un grupo de barras de acero y se empuja a la velocidad indicada. Los alambres de los transductores se pasan por el centro de las varillas y miden en forma continua las resistencias de cono y lateral. El cono se inca en el suelo empujándolo con una columna de barras de acero, usualmente de 3.6 cm de diámetro exterior, por cuyo interior sale el cable que lleva la señal a la superficie. La fuerza necesaria para el incado se genera con un sistema hidráulico provisto de un depósito para controlar la velocidad de penetración.

Así mismo, debido a que la costra superficial del suelo explorado presento una resistencia que impedía el avance del cono eléctrico, de tal forma que se determino avanzar los tramos resistentes utilizando el método de penetración estándar.

- Sondeo mixto

La ejecución del sondeo mixto, se llevó a cabo alternando la técnica conocida como penetración estándar para la obtención de muestras alteradas mediante la herramienta conocida como penetrómetro estándar, que al tiempo que recupera las muestras, permite medir la resistencia a la penetración estándar, que se define como el número de golpes que se deben aplicar con un martillo de 64 kg de peso con caída libre de 76.2 cm para alcanzar una penetración de 30 cm en el suelo. Por otra parte, la recuperación de muestras inalteradas con la utilización de un tubo de pared delgada tipo Shelby, el cual fue hincado a rotación en el suelo.

Simultáneamente a los trabajos de perforación se levantó un registro de campo, el cual contiene la identificación del sondeo, el número de muestras alteradas e inalteradas recuperadas y la profundidad a la que fueron extraídas, el tipo de herramienta empleado, el número de golpes registrado en las pruebas de penetración estándar y la clasificación geotécnica de campo de los estratos encontrados.

Pozos a cielo abierto

Consiste en excavar un pozo con dimensiones tales que una persona pueda bajar directamente y examinar los diferentes estratos de suelo en su estado natural, así como darse cuenta de las condiciones precisas referentes al agua contenida en el suelo. Este tipo de excavación no puede llevarse a grandes profundidades, sobre todo, cuando se descubre el nivel freático y existe dificultad para controlar el flujo de agua. En estos pozos se pueden tomar muestras alteradas o inalteradas de los diferentes estratos que se hayan encontrado. Las muestras alteradas son simplemente porciones de suelo que se protegerán contra pérdidas de humedad introduciéndolas en frascos o bolsas de plástico. Las muestras inalteradas deberán tomarse con precauciones, generalmente labrando una muestra cúbica en una oquedad que se practique en las paredes o en la superficie interior del pozo. La muestra debe protegerse contra pérdidas de humedad envolviéndola en una o más capas de manta debidamente impermeabilizada con brea y parafina.

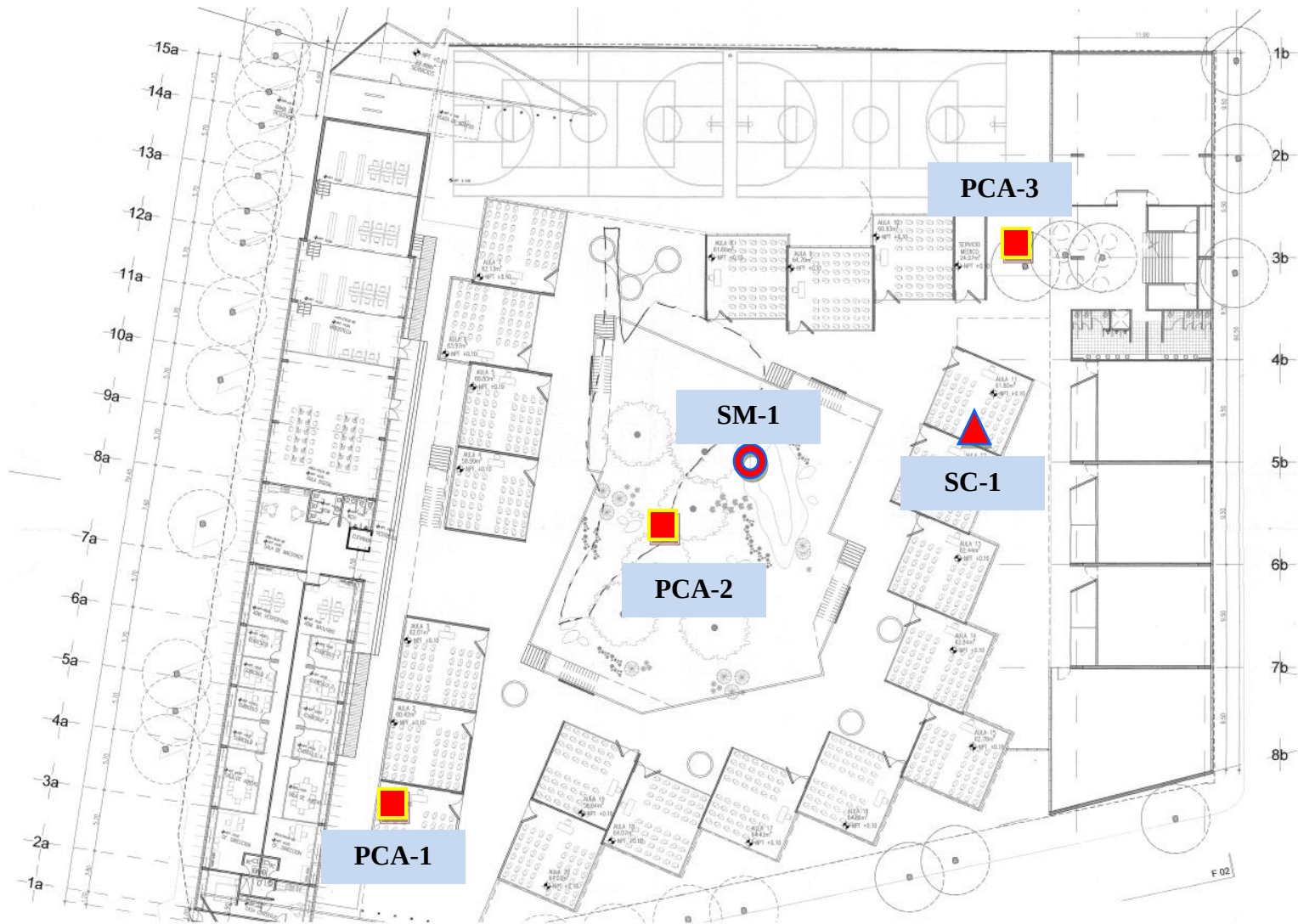
Así mismo, en esta exploración se recuperaron muestras de suelo alteradas e inalteradas, las cuales se trasladaron al laboratorio de mecánica de suelos para la realización de las pruebas respectivas.

Tabla No. 1. Sondeo de cono eléctrico SCE-1, Sondeo mixto SM-1 y PCA-1-3.

SONDEO	Profundidad	NAF
SCE/SPT-1	25.0 m	3.10 m
SM-1	19.90 m	3.10 m
PCA-1	3.00	No se detecto
PCA-2	3.00	No se detecto
PCA-3	3.00	No se detecto

NAF: Nivel de aguas freáticas.

La ubicación de los trabajos de exploración se indica en la [figura No. 6](#).



Sondeo Mixto



Sondeo de cono eléctrico



Pozo a cielo abierto

Fig. No.6.- Localización relativa de los sondeos realizados

III.4.- Trabajos de laboratorio

Las muestras obtenidas de los sondeos se trasladaron al laboratorio, donde inicialmente se clasificaron visual y manualmente para programar la ejecución de ensayos que proporcionaran su clasificación en atención al Sistema Unificado de Clasificación de los Suelos (S. U. C. S.), así mismo a las muestras inalteradas se les efectuaron ensayos que permitieron determinar su resistencia al esfuerzo cortante y deformabilidad.

Los ensayos índices efectuados a muestras alteradas e inalteradas fueron los siguientes:

- Contenido de agua,
- Límites de consistencia,
- Porcentajes de finos,
- Densidad de sólidos

A las muestras inalteradas se les efectuaron los siguientes ensayos mecánicos:

- Compresión simple,
- Compresión triaxial rápida no consolidada no drenada.
- Consolidación unidimensional

EL resultado de los ensayos de laboratorio se presentan en el anexo I, donde se indican los resultados en forma tabular y en forma grafica.

IV.- CONDICIONES ESTRATIGRÁFICAS

Derivado de la exploración física del terreno en estudio se desprenden los siguientes comentarios con relación a lo expuesto en el artículo No. 170 (referencia No.- 5) del reglamento de construcciones del Distrito Federal en lo referente a factores que puedan provocar asentamientos diferenciales del terreno que a su vez afecten a las estructuras por construir.

- Restos arqueológicos

No se detectaron restos arqueológicos en los recorridos efectuados en el predio.

- Cimentaciones antiguas

Se detectaron cimentaciones pertenecientes a las edificaciones del plantel que fue demolido, mismas que coincidirán aproximadamente con las estructuras nuevas.

Perfil estratigráfico general del (SCE/SPT), exploración 25 m de profundidad

Estrato I Como primer estrato natural de suelo, con una profundidad inicial de 0.0m hasta 1.80 m; se identificó un Limo de color café claro con arena fina a media, de consistencia dura. Numero de golpes registrados en el (SPT)>50. Contenido de agua 21%.

Estrato II Subyaciendo al estrato anterior, con profundidad inicial de de 1.80m, hasta la profundidad de 3.0m se registró una Limo de alta plasticidad, con escasa arena fina de color café oscuro, de consistencia media. Numero de golpes registrados en el (SPT) <10. Contenido de agua de 48 a 105%, porcentaje de finos 93.1%, limite liquido 68.2%, limite plástico 39.8%. Clasificación SUCS MH.

- De 3.0m a 6.0m de profundidad en la prueba de penetración de punta del cono eléctrico (SC) se registro una resistencia a partir de 3.20 kg/cm² a 111.4 kg/cm².

Estrato III Como tercer estrato de terreno natural de 6 m a 7.80m se registró un Limo con escasa arena fina a media de color café oscuro, de consistencia blanda. Numero de

golpes registrados en el (SPT) <11. Contenido de agua de 39 a 102%, porcentaje de finos 86.5%.

Estrato IV. Como cuarto estrato de 7.80m a 10.80m se registró una Arena fina a media de color café oscuro, de compacidad muy densa. Numero de golpes registrados en el (SPT) $37 < N < 50$. Contenido de agua de 21%, porcentaje de finos de 12.5 a 24.6%.

Estrato V. Finalmente de 10.80m a 11.40m se registró una Limo de alta plasticidad de color verde olivo con escasa arena fina gris claro y alto CaCo. Numero de golpes registrados en el (SPT) $2 < N$. Contenido de agua de 112%, limite liquido 222%, limite plástico 113%. Clasificación SUCS MH.

- De 11.40m a 13.0m de profundidad en la prueba de penetración de punta del cono eléctrico (SC) se registro una resistencia de 3.1 kg/cm² a 10.0 kg/cm².
- De 13.0m a 16.0m de profundidad en la prueba de penetración de punta del cono eléctrico (SC) se registro una resistencia de 3.4 kg/cm² a 5.9 kg/cm².
- De 16.0m a 19.5m de profundidad en la penetración de punta del cono eléctrico (SC) se registro una resistencia de 4.60 kg/cm² a 7.60 kg/cm².
- Finalmente de 19.50 a 25 m de profundidad en la penetración de punta del cono eléctrico (SC) se registro una resistencia de 7.0 kg/cm² a 103.7 kg/cm².

SM-1 (Profundidad de exploración: 19.90 m)

Profundidad (m)	Descripción
De 0.00 a 0.10	Capa de asfalto
De 0.10 a 0.70	Material de relleno compuesto por cascajo, y arcilla.
De 0.70 a 1.80	Limo arenoso color café oscuro de consistencia rígida de alta plasticidad. Presenta las siguientes características: • Contenido de agua medio de 70 a 100% • límite líquido de 105.6%. • límite plástico de 43.9%. • pertenece al grupo MH, según el SUCS. • Porcentaje de finos 70.9%.
De 1.80 a 5.30	Arena fina color café oscura de compacidad densa a muy densa. Presenta las siguientes características: • Contenido de agua medio de 40 a 60% • límite líquido de 286.4%. • límite plástico de 61.0%. • pertenece al grupo CH, según el SUCS. • Porcentaje de finos 93.3%. • densidad de sólidos de 2.65. • peso volumétrico de 1.45 ton/m³. • relación de vacíos de 2.25. • grado de saturación 92%. • cohesión de 3.4 ton/m², ángulo de fricción interna de 5°, determinados en prueba de compresión triaxial no consolidada — no drenada. • Resistencia última en prueba de compresión simple de 7.41ton/m².
De 5.30 a 11.80	Arena fina arcillosa café oscura de compacidad densa a muy densa. Presenta las siguientes características: • Contenido de agua medio de 10 a 50% • porcentaje de materiales finos de 21.2 a 24.1%.

De 11.80 a 19.90

Limo arenoso color gris verdoso de consistencia rígida a muy rígida de alta plasticidad.

Presenta las siguientes características:

- Contenido de agua medio de 50 a 250%
- porcentaje de materiales finos de 46.2 a 96.9%
- limite liquido de 71.1 a 72.8%
- limite plástico de 36.5 a 36.8%
- pertenece al grupo MH, según el SUCS
- densidad de sólidos de 2.62.
- peso volumétrico de 1.18 ton/m³.
- relación de vacíos de 1.88 a 6.75.
- grado de saturación 94 a 97%.
- cohesión de 4.50 a 7.00ton/m², ángulo de fricción interna de 11.0 a 33.0°, determinados en prueba de compresión triaxial no consolidada — no drenada.
- Resistencia última en prueba de compresión simple de 4.70 a 19.4 ton/m².

El nivel de aguas freáticas (**NAF**) fue detectado a **3.10 m** de profundidad, a partir del nivel de piso terminado.

Las [figuras 7, 8, 9, 10, 11 y 12](#) muestran el perfil estratigráfico del sondeo con cono eléctrico combinado con el sondeo de penetración estándar (SCE/SPT-1), SM-1, así como de los pozos (PCA'S) incluyendo los resultados de las pruebas de laboratorio que permitieron su clasificación.

Con la descripción estratigráfica encontrada, se puede afirmar que el predio se encuentra dentro de la denominada Zona III o Zona de Lago.

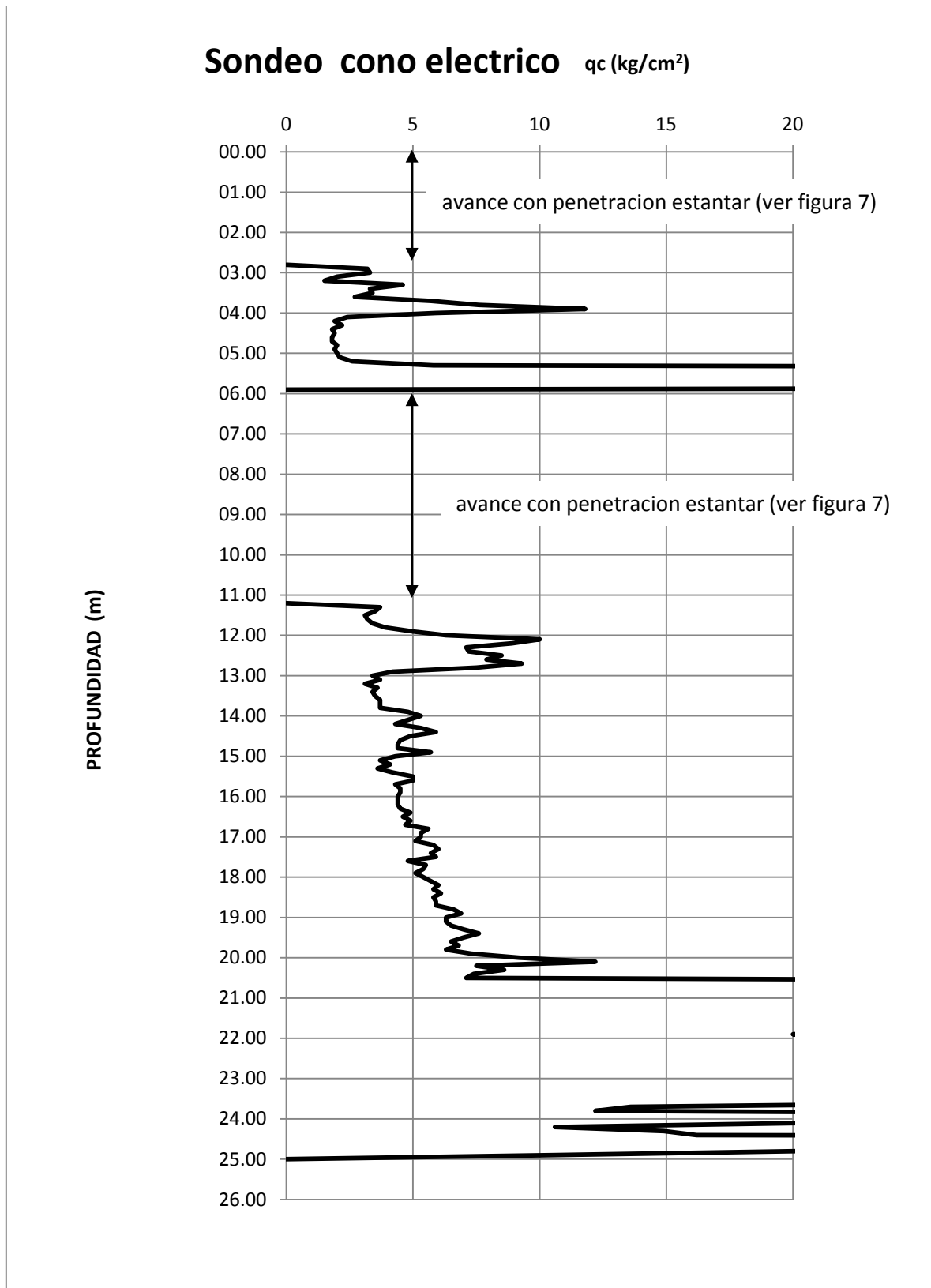


Figura 7.- Perfil del sondeo de cono eléctrico.(SCE-1)

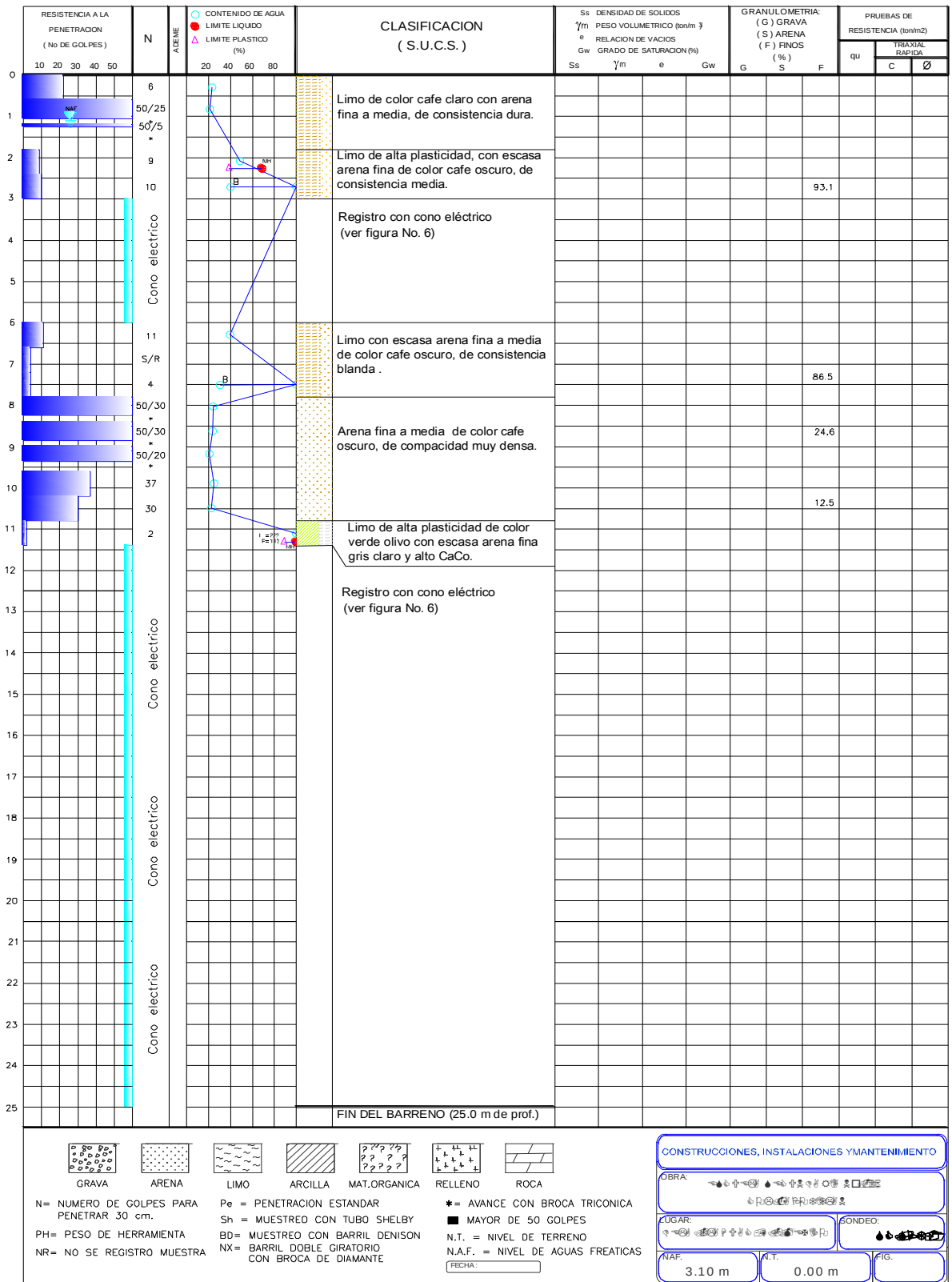


Figura 8.- Perfil del sondeo de penetración estándar.(SCE/SPT-1)

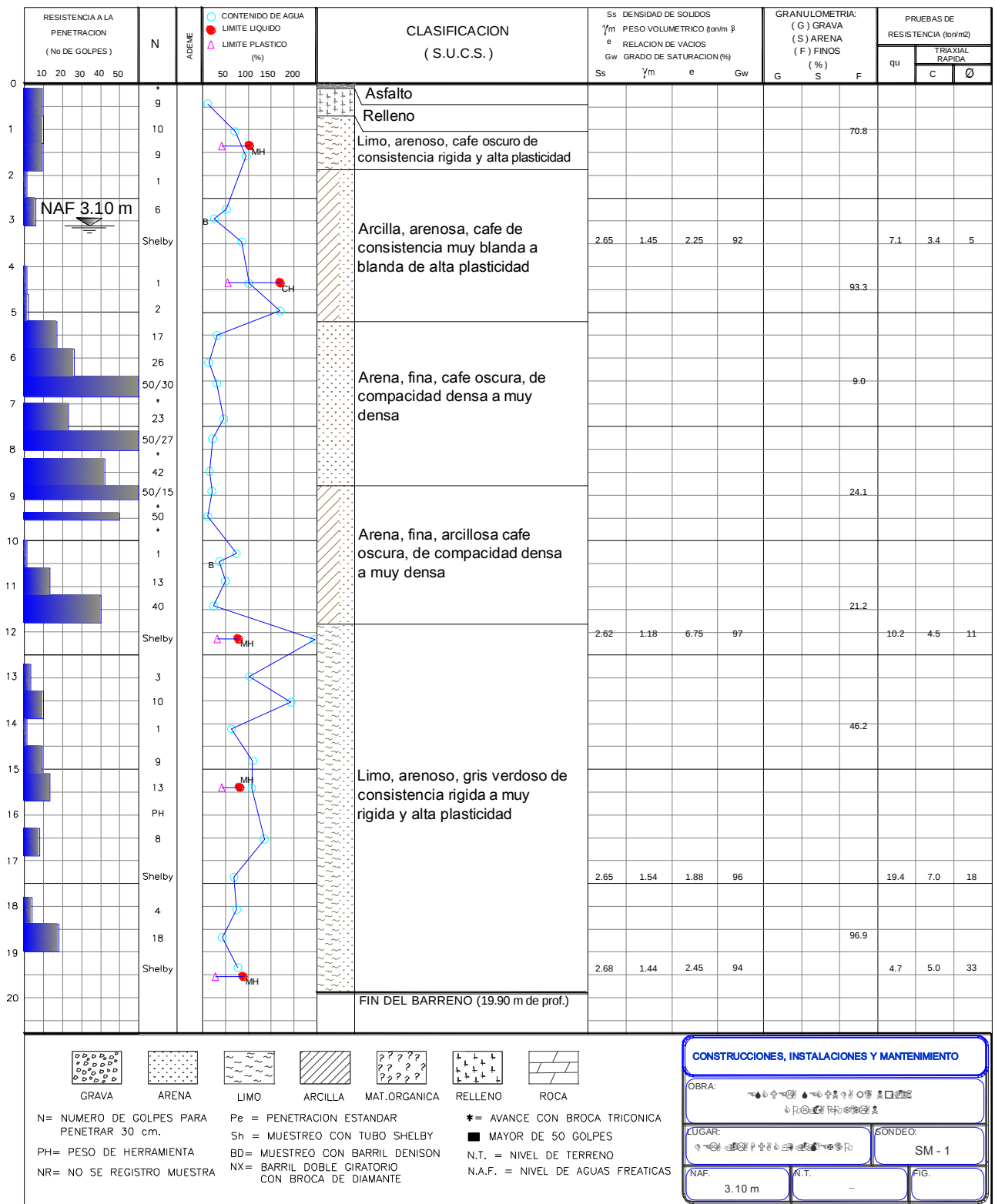


Figura 9.- Perfil del sondeo mixto.(SM-1)

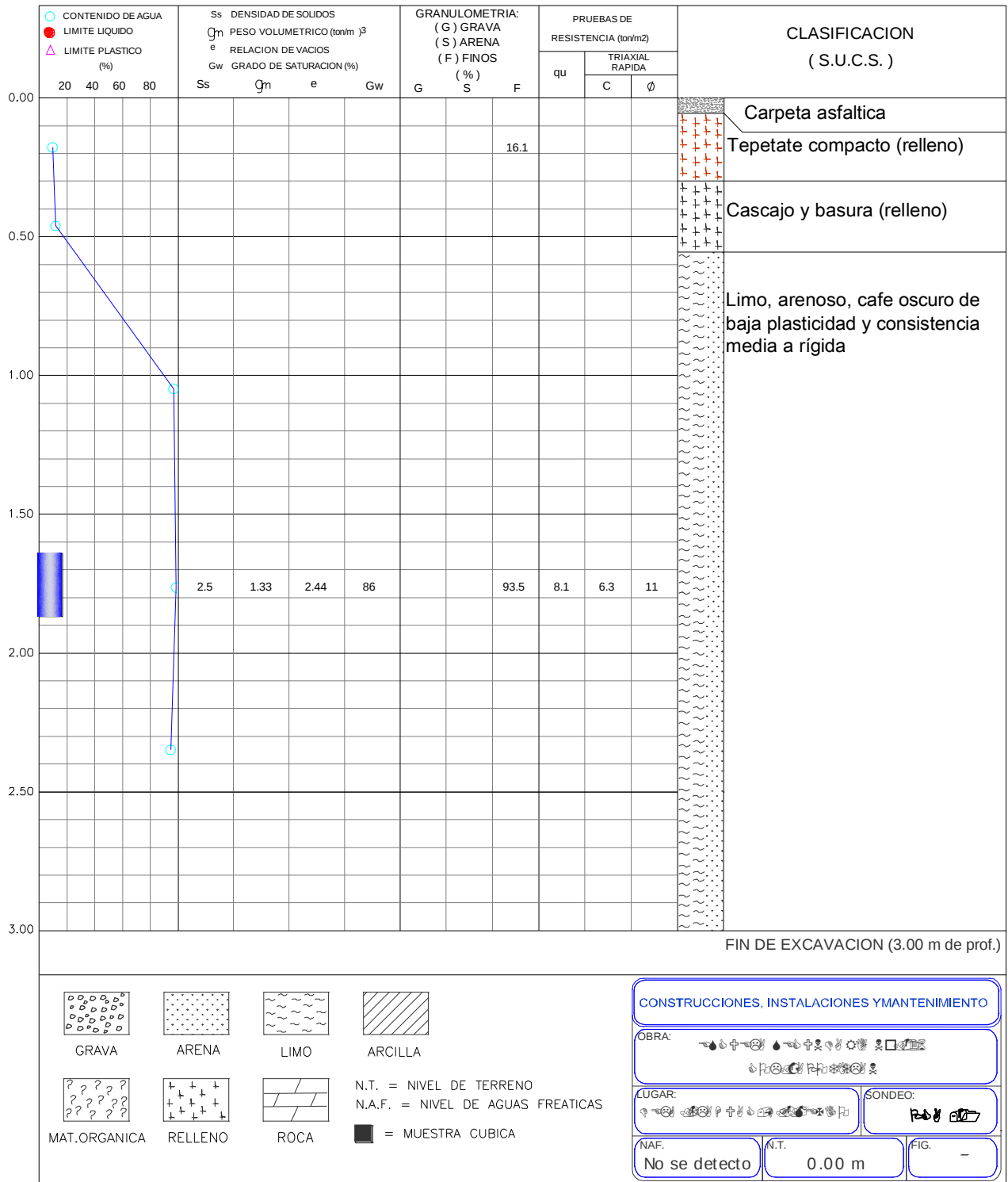


Figura 10.- Perfil del pozo a cielo abierto.(PCA-1)

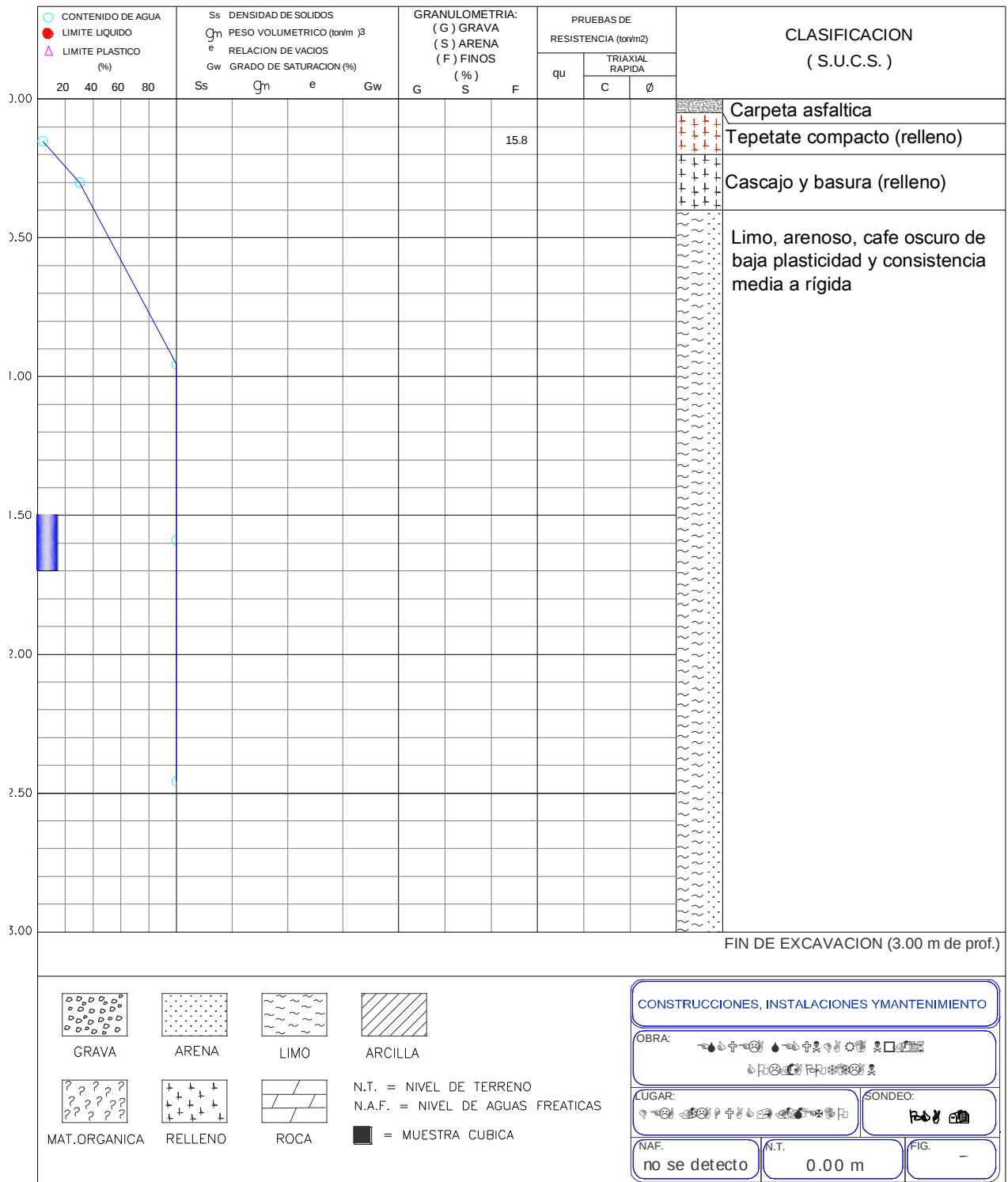


Figura 11.- Perfil del pozo a cielo abierto.(PCA-2)

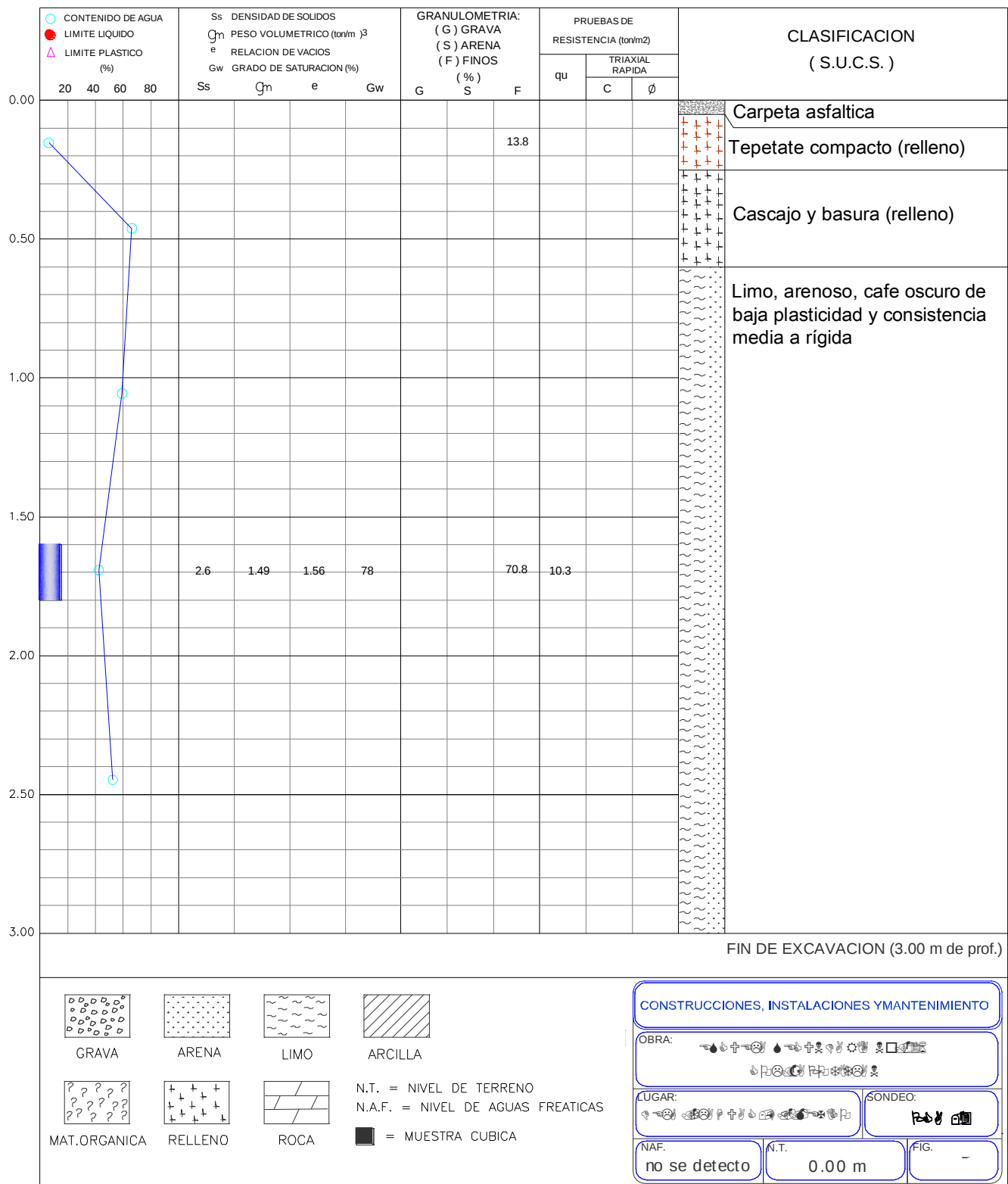


Figura 12.- Perfil del pozo a cielo abierto.(PCA-3)

V.- ANÁLISIS GEOTÉCNICOS.

V.1 Tipo de cimentación

La zona de estudio presenta problemáticas importantes que se deben considerar al definir el tipo de cimentación para las estructuras de proyecto:

El hundimiento regional en el sitio es de magnitud importante, pues mucha del agua que se utiliza para consumo domestico e industrial de la zona, se extrae por bombeo profundo, lo que ocasiona el abatimiento piezometrico del nivel freático y en consecuencia el hundimiento regional.

Se observan grietas de tensión en la zona, consecuencia del mismo abatimiento de los niveles piezometricos y de la estratificación errática del subsuelo, en la que se combinan lentes de arcillas blandas con horizontes de arenas y cenizas volcánicas de espesor muy variado.

Considerando lo anterior, la cimentación de las nuevas estructuras de proyecto, deben ser elementos muy rígidos, que puedan hundirse a la misma velocidad del hundimiento regional, pero que tengan la posibilidad de redistribuir sus cargas en una amplia área de contacto, aun cuando puedan presentarse grietas de tensión en el subsuelo.

Así se proponen como elementos de cimentación las siguientes:

- Edificio de planta baja y dos niveles en donde se concentraran las aulas de talleres: cajón a 2.50 m de profundidad.
- Edificio de planta baja y planta alta, donde se ubicarán las oficinas administrativas, laboratorios y auditorio: cajón a 2.50 m de profundidad.
- Cabe mencionar que la profundidad de desplante de este cajón, no se encuentra por debajo del nivel freático actual, por lo que no existe el riesgo de inundación parcial o total del cajón, que pueda generar cargas adicionales y excentricidades en la estructura, no obstante se recomienda que las celdas huecas, se rellenen con poliestireno de baja densidad, así se evitara el paso de agua el interior de las celdas.
- Aulas de un nivel, ubicadas alrededor del patio central de un nivel: Losa corrida rigidizada con trabes de liga, desplantada a nivel de plataforma de proyecto.

En la [figura No. 13](#) se presenta la propuesta de cimentación para cada estructura.

A continuación se presentan los análisis geotécnicos correspondientes a cada tipo de cimentación propuesta.



Figura No. 13.- Solución de cimentación para los edificios

V.2.- Revisión del Estado Límite de Falla.

La revisión del estado límite de falla para las cimentaciones propuestas, se realizó conforme a lo estipulado en las NTC-04 para el diseño de cimentaciones (Ref. 2) en lo que respecta a las cimentaciones desplazadas en suelos puramente cohesivos.

$$\frac{\sum Q F_c}{A} < c_u N_c F_R + p_v \quad (1)$$

Donde:

$\sum Q F_c$: Es la suma de las acciones verticales a tomar en cuenta en la combinación considerada en el nivel de desplante, afectada por su respectivo factor de carga; (t/m²)

A: Es el área del cimiento; (m²)

p_v : Es la presión vertical total a la profundidad de desplante por peso propio del suelo; (t/m²)

c_u : es la cohesión aparente determinada en ensaye triaxial no-consolidado no-drenado, (UU) (1.4 t/m²);

N_c : es el coeficiente de capacidad de carga dado por:

$$N_c = 5.14 (1 + 0.25 D_f / B + 0.25 B / L) \quad (2)$$

F_R .- Factor de resistencia, (0.70 adimensional).

Al evaluar la ecuación No 1, se obtienen los resultados mostrados en la tabla No 2.

Tabla No 1 Capacidad de carga admisible.							
Elemento	B (m)	L (m)	Df (m)	Nc	F _R	P _v t/m ²)	c _u N _c F _R + P _v (t/m ²)
Cajón de cimentación	8	25	2.50	5.96	0.70	3.50	12.00
Losa de cimentación	6	6	0.20	6.76	0.70	0.30	9.50

De éste modo se deberá verificar el cumplimiento de la siguiente desigualdad:

$$\Sigma QFc/A < Aq_{adm}$$

Donde:

ΣQFc .- Suma de carga en la combinación considerada, afectada por su respectivo factor de carga, (t/m²)

A.- Área del cimiento m²

q_{adm} Capacidad de carga admisible del subsuelo (t/m²).

V.3.- Revisión del Estado Límite de Servicio.

La excavación para la construcción de cajón de cimentación provocará en el suelo un alivio de esfuerzos de 3.50 t/m²; por otro lado se estima que las estructuras transmitirán una carga de 3.20 ton/m² para el edificio de 2 niveles; de 4.20 ton/m² para el edificio de tres niveles; y de 1 ton/m² para el edificio de un nivel; de este modo el incremento de esfuerzos efectivos se distribuirá de la forma como se indica en la [figura No. 13](#)

Por otro lado las deformaciones a largo plazo se determinaron utilizando las curvas de compresibilidad, obtenidas en el laboratorio a partir de la prueba de consolidación unidimensional hechas a muestras representativas de los estratos compresibles. Para el cálculo de asentamientos se recurrió a la teoría de consolidación, cuya expresión matemática se indica a continuación:

$$\Delta H = \sum_0^H \left(\frac{\Delta e}{1 + e_o} \right) \Delta z$$

Donde:

ΔH = Deformación del suelo expresada en cm.

Δe = Variación en las oquedades o relación de vacíos del suelo a partir de la variación de los esfuerzos en la masa de suelo ante la carga o descarga del suelo, adimensional.

e_o = Relación de vacíos original del suelo ante la acción de los esfuerzos efectivos iniciales, adimensional.

Z_o = Espesor del estrato deformable, en cm.

Considerando el incremento de esfuerzos estimado para cada estructura, el cual se señala en la [figura No. 13](#), se calcularon los asentamientos que se indican en la [figura No. 14](#).

Los valores calculados no supera el valor de deformación máxima que señala el Reglamento para Construcciones del Distrito Federal (RCDF), por lo que se puede aceptar que la estructura tendrá un comportamiento adecuado en el estado límite de servicio.

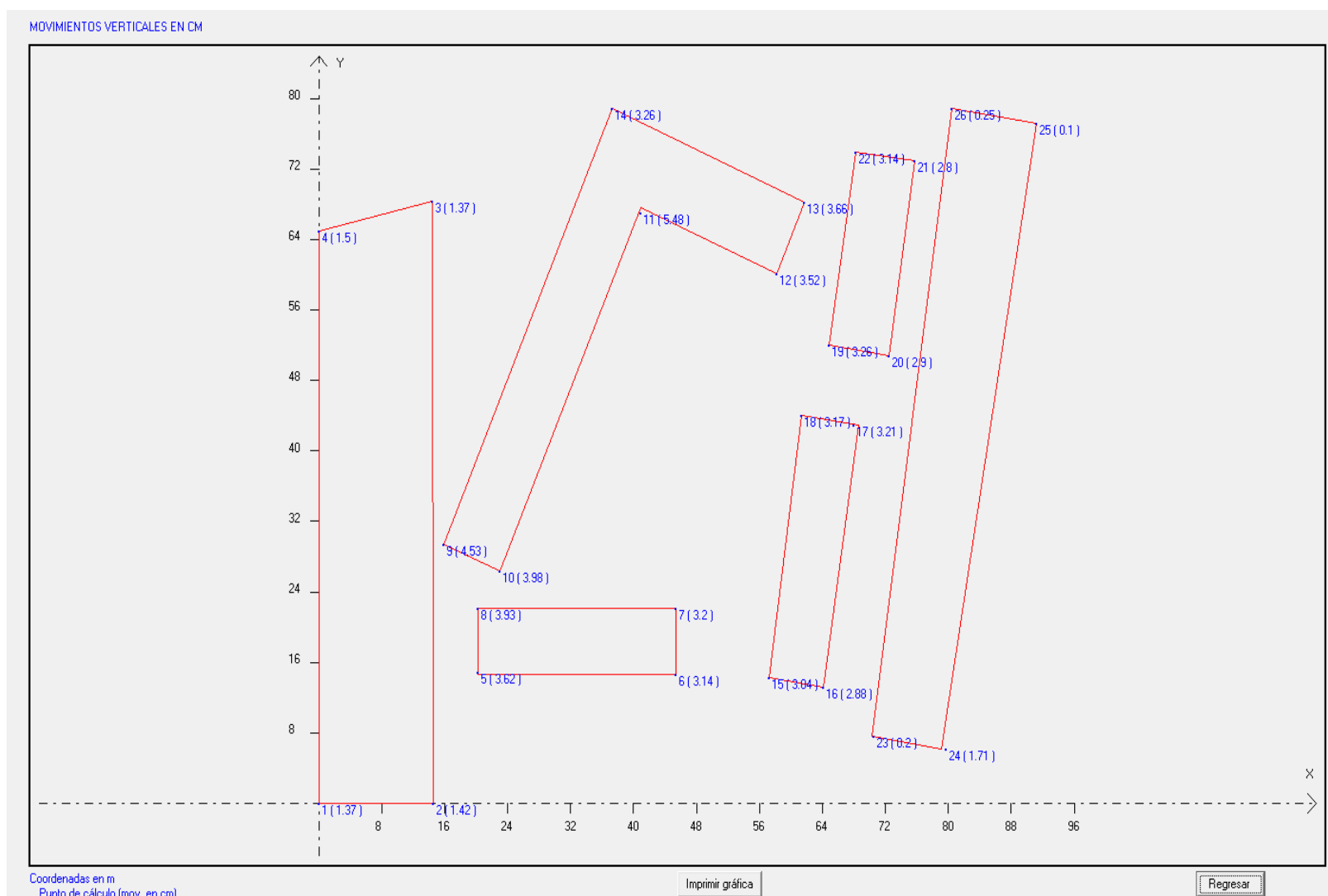


Figura No. 14.- Análisis de asentamientos en el conjunto

V.4.- Módulo de reacción del suelo.

El módulo de reacción del suelo que se deberá considerar para el diseño estructural de la losa de fondo del cajón de cimentación es:

$$MRV = 0.043 \text{ kg/cm}^3$$

V.5 Empuje de tierras en reposo

Una vez concluida la construcción de la estructura, para contener el empuje del material que se encontrará en la pared exterior del sótano, el muro deberá ser diseñado de tal manera que no observe movimientos durante su vida útil; a este tipo de empujes se les conoce como empujes en reposo.

Para determinar los empujes que estarán actuando sobre el muro bajo la condición de reposo se utilizo la teoría de Rankine sustentada bajo la siguiente expresión:

$$E_o = \frac{1}{2} K_o (\gamma_m + q) H^2 + U$$

Donde:

E_o	Empuje en estado reposo, t
K_o	Coeficiente de empujes en reposo, $k_o = 1 - \text{sen}^2 \phi$
γ_m	Peso volumétrico del material de relleno, t/m^3
q	Sobre carga actuando en el hombro del muro, 2.50 t/m^2 .
H	Altura del muro, 3.1 m
U	Presión hidrostática ocasionada por el nivel de aguas freáticas, t/m^2

Una vez evaluada la ecuación anterior se determino el diagrama de presiones en reposo, el cual deberá ser considerado para llevar a cabo el diseño estructural del muro (ver [figura No. 15](#)).

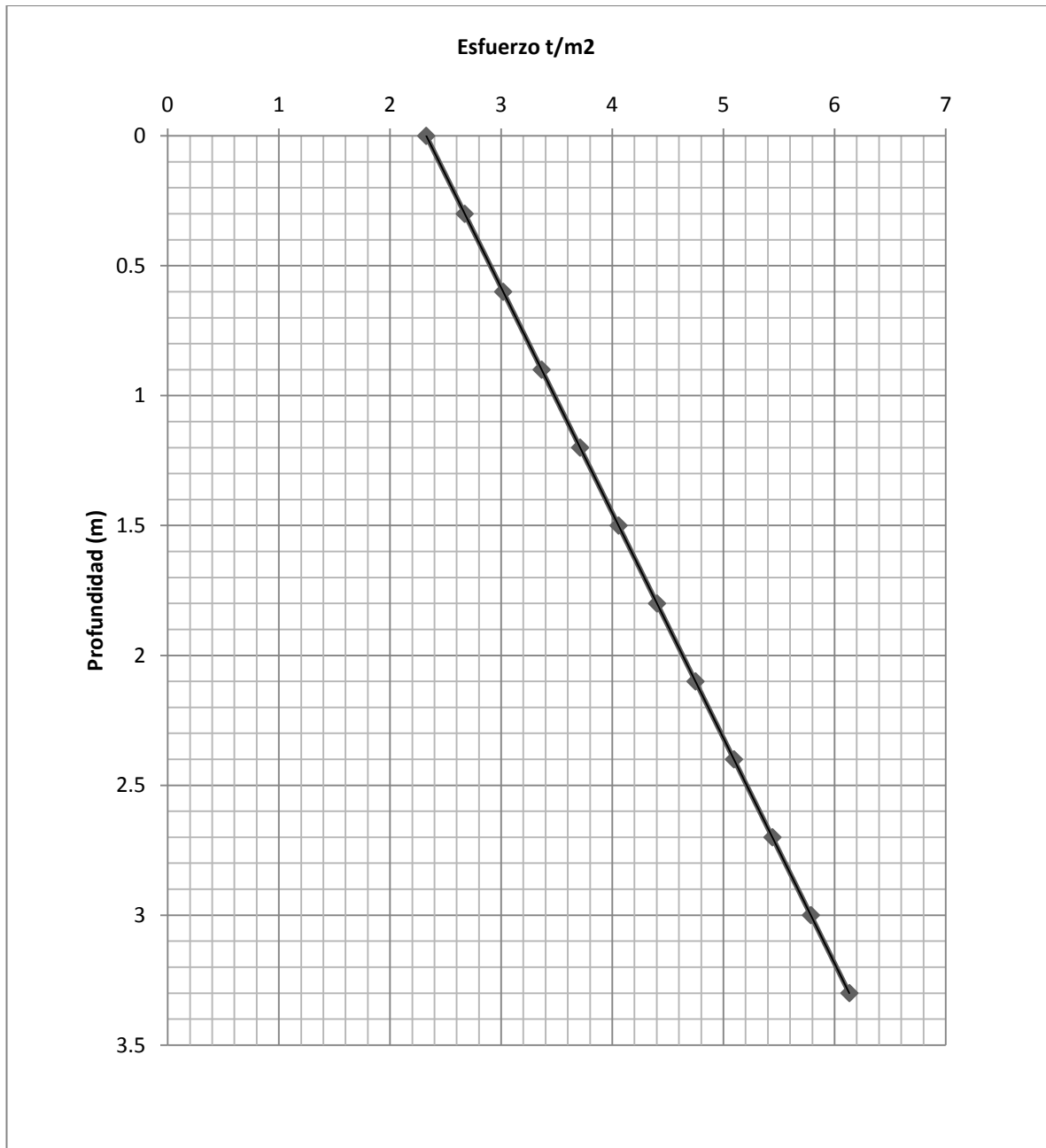


Figura No 15.- Diagrama de presiones en reposo que estarán actuando sobre las paredes del muro perimetral en los sótanos.

VI.- PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.

VI.1.- Trabajos preliminares.

Inicialmente se llevará a cabo la nivelación de las estructuras vecinas, registrando cualquier movimiento o desplome que presenten, así mismo se realizara un levantamiento del estado físico que guardan, observando posibles grietas y fracturas en losas, pisos, castillos etc. Durante esta actividad se recomienda la elaboración de un álbum fotográfico.

Al mismo tiempo, en las estructuras vecinas se colocaran testigos o palomas mediante las cuales sea posible monitorear el comportamiento de las mismas durante la construcción del nuevo edificio.

Concluido lo anterior, se realizara la demolición de las estructuras que se encuentran en el área de proyecto, así como el retiro de las cimentaciones existentes que aún pudieran quedar sepultadas den el predio.

VI.2.-Tratamiento de inyección de la grieta.

Se recomienda completar el estudio geotécnico con un estudio geofísico de geoelectrica para verificar la profundidad y dirección de la grieta, no obstante a continuación se presentan las recomendaciones para realizar el tratamiento de inyección.

- **Material y equipo**

La mezcla se presenta en la ficha técnica anexa

La inyección se deberá efectuar con un equipo con las características siguientes.

- Bomba de desplazamiento positivo tipo Moyno 3 L6 con motor a gasolina con 13.5 Hp.
- Agitador mecánico de cuando menos 0.5 m3 de capacidad por batchada.
- Deposito para agua de por lo menos 10 m3
- Motobomba para carga del agitador de 2" de diámetro

- Malla para cernir el tepetate.
- **Procedimiento de inyección de la grieta**
- Se procederá a demoler la losa que esta sobre la grieta.
- Se excavara una zanja a lo largo de la grieta hasta sobrepasar un metro de su longitud con 1.00m de ancho y 2.00m de profundidad.
- Se hincará un tubo de 1" de diámetro por 3.00m de largo en la grieta con el chorro de mezcla hasta su totalidad y se mantendrá en el punto hasta que la mezcla salga a la superficie, en ese momento se suspenderá la inyección y se cambiara el punto a 1.00m de distancia y se repetirá la maniobra, esto se hará hasta alcanzar el fin de la grieta.
- Para determinar el volumen aproximado que se requerirá se utilizará la expresión siguiente $V=L \times 10$, lo cual quiere decir que se inyectaran 10 m³ de mezcla por metro lineal de grieta, esta expresión de determino en base a la experiencia y es totalmente empírica, pero ha funcionado en otros sitios.
- Se procederá a fabricar un suelo cemento a base de tepetate y cemento al 5% en peso y se colocará en el fondo de la zanja en dos capas de 20cm. de espesor compactadas al 90% Próctor.
- Posteriormente se rellenará el resto de la zanja con tepetate compactado de 20cm. de espesor.

Cabe mencionar que este procedimiento se ha utilizado en más de mil metros lineales de grietas en el fraccionamiento Valle de San Pedro en Ojo de Agua, municipio de Tecámac, Estado de México, y durante 3 años no se han manifestado movimientos en las grietas ni alteraciones en las cimentaciones.

VI.3.- Construcción de la Cimentación

Concluidos los trabajos preliminares y los trabajos de inyección de la grieta, se realizará la excavación del predio hasta alcanzar la profundidad de desplante de la losa de fondo de los cajones. La excavación se deberá realizar a cielo abierto y entre taludes con inclinación 0.30:1 (horizontal a vertical).

La excavación se podrá realizar con equipo mecánico hasta 0.20 m antes de alcanzar la profundidad de proyecto, estos últimos 0.20 m se excavarán manualmente para evitar que se presente el remoldeo del material que se encuentra al fondo de la excavación.

Inmediatamente después sobre la superficie excavada se colocará una plantilla de concreto de baja resistencia de 0.05 m de espesor.

A continuación se excavarán las zanjas en donde quedaran ubicadas las trabes de rigidez. Las paredes y fondo de la zanjas se protegerán con un repellado de mortero cemento arena, de 2.5 cm de espesor, armado con tela de gallinero.

A continuación se llevará a cabo el habilitado del acero de refuerzo conforme a lo estipulado en el proyecto estructural correspondiente, para continuar con el colado de las trabes y losa de fondo.

- Durante el proceso de excavación y construcción del cajón de cimentación se deberán realizar nivelaciones diarias de las estructuras vecinas y con la información resultante se construirán graficas movimiento contra tiempo de cada uno de los testigos de monitoreo, esta información deberá permanecer en la obra, lista para ser consultada en cualquier momento.
- Se recomienda que la construcción del cajón de cimentación se realice en época de estiaje.
- Se recomienda que el tiempo que dure el proceso de excavación y la construcción del cajón de cimentación se cuente en la obra con la supervisión de un ingeniero especialista en mecánica de suelos.

VII.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se realiza un estudio geotécnico del sitio donde se ubica la escuela secundaria No. 126, en Av. Tlahuac esquina con calle Ricardo Flores Magón, en el poblado de Santiago Zapotitlán, delegación Tlahuac. ([Figura No. 1](#)).
- El Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal en sus Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones señala que el predio se localiza en la zona de Lago.
- De acuerdo a los criterios que señala el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal en sus Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo, el predio se localiza en la zona IIIb, con un coeficiente sísmico $C_s=0.45$, sin embargo al tratarse de una estructura tipo A, el coeficiente sísmico se incrementara un 50%.
- Los trabajos de exploración consistieron en un sondeo con cono eléctrico, combinado con avances de SPT en las zonas de mayor resistencia del suelo, alcanzando una profundidad máxima de 25.0 m; también se realizó un sondeo mixto (SM-1), con una profundidad de máxima de 19.90m y finalmente, se realizaron tres exploraciones con pozos a cielo abierto (PCA-1 a 3) a 3 m de profundidad máxima.
- No se detectaron restos arqueológicos en los recorridos efectuados en el predio.
- Se detectaron cimentaciones pertenecientes a las edificaciones del plantel que fue demolido, mismas que coincidirán aproximadamente con las estructuras nuevas.
- La zona de estudio presenta problemáticas importantes que se deben considerar al definir el tipo de cimentación para las estructuras de proyecto:
- *El hundimiento regional en el sitio es de magnitud importante, pues mucha del agua que se utiliza para consumo domestico e industrial de la zona, se extrae por bombeo profundo, lo que ocasiona el abatimiento piezometrico del nivel freático y en consecuencia el hundimiento regional.*
- *Se observan grietas de tensión en la zona, consecuencia del mismo abatimiento de los niveles piezometricos y de la estratificación errática del subsuelo, en la que se combinan lentes de arcillas blandas con horizontes de arenas y cenizas volcánicas de espesor muy variado.*

- Considerando lo anterior, la cimentación de las nuevas estructuras de proyecto, deben ser elementos muy rígidos, que puedan hundirse a la misma velocidad del hundimiento regional, pero que tengan la posibilidad de redistribuir sus cargas en una amplia área de contacto, aun cuando puedan presentarse grietas de tensión en el subsuelo.
- Así se proponen como elementos de cimentación las siguientes:
- *Edificio de planta baja y dos niveles en donde se concentraran las aulas de talleres: cajón a 2.50 m de profundidad.*
- *Edificio de planta baja y planta alta, donde se ubicarán las oficinas administrativas, laboratorios y auditorio: cajón a 2.50 m de profundidad.*
- **Cajón de cimentación**
- *Se calculó la capacidad de carga para la condición del cajón de cimentación con una profundidad de desplante de 2.50m; tal valor fue de 12.0 t/m².*
- *Se revisaron los asentamientos a largo plazo producto del fenómeno manifestando 1.5 cm como asentamiento máximo, Es importante mencionar que los análisis con los cuales se calcularon estas deformaciones no toman en cuenta la rigidez de la losa de fondo del cajón, por lo tanto, esta se deberá de diseñar de tal forma que sea 100% rígida.*
- *Para el diseño estructural de la losa de fondo del cajón se deberá considerar un Módulo de Reacción Vertical del Suelo de 0.043 kg/cm³.*
- **Losa de cimentación**
- *Se calculó la capacidad de carga para la condición de losa de cimentación con una profundidad de desplante de 0.20m; tal valor fue de 9.50 t/m².*
- *Se revisaron los asentamientos a largo plazo producto del fenómeno manifestando 5.48 cm como asentamiento máximo, Es importante mencionar que los análisis con los cuales se calcularon estas deformaciones no toman en cuenta la rigidez de la losa de cimentación, por lo tanto, esta se deberá de diseñar de tal forma que sea 100% rígida.*

- *Para el diseño estructural de la losa de fondo se deberá considerar un Módulo de Reacción Vertical del Suelo de 0.18 kg/cm³.*
- Finalmente el procedimiento constructivo del cajón de cimentación y tratamiento de las grietas detectadas se presenta en el capítulo [VI](#).
- Se recomienda completar el estudio geotécnico con un estudio geofísico de geoelectrica para verificar la profundidad y dirección de la grieta, no obstante a continuación se presentan las recomendaciones para realizar el tratamiento de inyección.

ATENTAMENTE

**ING. ARMANDO CARRILLO DE ISOLBI
DIRECTOR.**

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1.- El subsuelo del Valle de México y la Ingeniería de Cimentaciones, Simposium de 1978, SMMS.
- 2.- Manual de Cimentaciones profundas, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.
- 3.- Mecánica de Suelos, Tomo II.
Eulalio Juárez Badillo, Editorial **Limusa**.
- 4.- Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Cimentaciones, Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2004.
- 4.- Reglamento de construcciones del Distrito Federal

ANEXO I.-
RESULTADOS DE PRUEBAS DE LABORATORIO

ANEXO II.-
ALBUM FOTOGRAFICO

ANEXO III.-
MEMORIA DE CÁLCULO