

22
29



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"ACATLAN"

**CONSTRUCCION DE LA ESTACION CHABACANO
PERTENECIENTE A LA LINEA 9 DEL "METRO" DESDE
EL PUNTO DE VISTA DE MECANICA DE SUELOS**

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A :
PEDRO ANTONIO OLVERA CABALLERO



México, D. F.

1987



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 está 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN"
COORDINACION DEL PROGRAMA DE INGENIERIA

CI/069/1987.

SR. PEDRO ANTONIO OLVERA CABALLERO
ALUMNO DE LA CARRERA DE INGENIERIA
CIVIL.
P R E S E N T E.

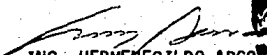

De acuerdo a su solicitud presentada con fecha 21 de mayo de 1986, me complace notificarle que esta Coordinación tuvo a bien asignarle el siguiente tema de tesis: "Construcción de la Estación Chabacano Perteneciente a la Línea 9 del "Metro", Desde el Punto de Vista de Mecánica de Suelos", el cual se desarrollará como sigue:

- Introducción.
- I.- Generalidades.
- II.- Estudio del Subsuelo.
- III.- Selección del Tipo de Estructura.
- IV.- Análisis de la Estructura Desde el Punto de Vista de Mecánica de Suelos.
- V.- Proceso Constructivo.
- Conclusiones.
- Bibliografía.

Asimismo fue designado como Asesor de Tesis el señor Ing. Salvador Díaz Díaz, profesor de esta Escuela.

Ruego a usted tomar nota que en cumplimiento de lo especificado en la Ley de Profesiones, deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito básico para sustentar examen profesional, así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado. Esta comunicación deberá imprimirse en el interior de la tesis.

Atentamente,
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPañOL"
Acatlán, Edo. de Méx., a 30 de Mayo de 1987.


ING. HERMENEGILDO ARCO
Coordinador del Programa de
Ingeniería.

ENEP - ACATLAN
COORDINACION DEL
PROGRAMA DE INGENIERIA

HAS' PGG/rcm.

INDICE

	PAGINA
TABLA DE CUADROS Y FIGURAS.	1
INTRODUCCION.	4
CAPITULO I. GENERALIDADES.	9
A. Zonificación estratigráfica de la ciudad de México.	9
B. Tipos de solución para el - Metro.	12
C. Localización de la Línea 9.	17
D. Ubicación y descripción de la estación.	19
CAPITULO II. ESTUDIO DEL SUBSUELO.	33
A. Exploración del subsuelo.	33
B. Selección de las pruebas de laboratorio.	35
C. Determinación de las características del subsuelo.	49
CAPITULO III. SELECCION DEL TIPO DE ESTRUCTURA.	88
A. Soluciones de estructura subterránea.	88
B. Cimentación compensada.	91
C. Alternativas de construcción	96

CAPITULO IV.	ANALISIS DE LA ESTRUCTURA DESDE EL PUNTO DE VISTA DE MECANICA DE SUELOS.	108
A.	Sobrecompensación y lastres.	108
B.	Empujes.	110
C.	Estabilidad de taludes.	111
D.	Expansiones a corto y a lar- go plazo.	116
E.	Falla de fondo	118
CAPITULO V.	PROCESO CONSTRUCTIVO.	139
A.	Procedimiento constructivo de los brocales y zanjas.	139
B.	Especificación para uso de lo dos en la estabilidad de las paredes en la construcción de las zanjas de los muros cola- dos en sitio.	141
C.	Procedimiento constructivo pa- ra muros de concreto colados en zanja bajo lodo bentoníti- co.	144
D.	Especificación para el abati- miento del nivel freático en las excavaciones de las cabece- ras y zona central de la esta- ción.	155
E.	Procedimiento constructivo pa- ra la excavación y construcción de la estación.	163
CONCLUSIONES.		204
BIBLIOGRAFIA.		212

TABLA DE CUADROS Y FIGURAS.

- 1.1 Zonificación estratigráfica de la ciudad de México.
- 1.2 Opciones de solución para el Metro.
- 1.3 Croquis de localización del conjunto Chabacano.
- 1.4 Planta nivel andén.
- 1.5 Planta nivel acceso.
- 1.6 Ubicación de ejes y cortes.
- 1.7 Corte A-A.
- 1.8 Corte B-B.
- 1.9 Corte C-C.
- 1.10 Corte D-D.
- 1.11 Corte E-E.
- 1.12 Corte F-F.
- 2.1. Ubicación de sondeos.
- 2.2 Perfil estratigráfico sondeo SM9-32
- 2.3 Muestreador de pared delgada.
- 2.4 Muestreador de pared delgada
- 2.5.a Muestreador de pistón hidráulico.
- 2.5.b Equipo de muestreo.
- 2.6 Muestreador Denison.
- 2.7 Estados de consistencia.
- 2.8 Diagrama esquemático de la prueba de corte directo.

- 2.9 Estado de esfuerzos en la cámara de compresión triaxial.
- 2.10 Aparato de veleta.
- 2.11 Registro de campo.
- 2.12 Registro de laboratorio (contenido natural de agua y -- clasificación).
- 2.13 Tabla de límites de consistencia.
- 2.14 Resultados de ensayos de compresión triaxial rápida.
- 2.15 Gráficas de ensayos de compresión triaxial rápida.
- 2.16 Resultados de compresión simple.
- 2.17 Resultados de compresión triaxial consolidada rápida y de ensayos de compresibilidad.
- 2.18 Gráficas de ensayos de compresión triaxial consolidada rápida.
- 3.1 Opciones de solución para el Metro .
- 3.2 Análisis de compensación.
- 3.3 Construcción de muros por sistema de trincheras.
- 3.4 Procedimiento constructivo de muros colados en sitio.
- 3.5 Túnele falso.
- 3.6 Procedimiento de excavación efectuado desde la parte superior.
- 3.7 Excavación entre tablestacas.
- 3.8 Proceso de bombeo, excavación y construcción.
- 3.0 Procedimiento constructivo a cielo abierto estabilizado por medio de electrosmosis.
- 3.10.a Cucharón de almeja guiada.
- 3.10.b Cajón con muro ademe.

- 3.11 Pozo de Bombeo tipo.
- 4.1 Diagramas típicos de empujes redistribuido y pasivo.
- 4.2 Diagrama típico de empuje en reposo.
- 4.3 Diagrama de estabilidad de taludes.
- 4.4 Diagrama de expansión inmediata.
- 4.5 Diagrama de sobrecompensaciones.
- 4.6 Diagrama de falla de fondo.
- 5.1 Plano de ubicación de pozos de bombeo.
- 5.2 Cabeceras oriente y poniente.
- 5.3 Plano de etapas de excavación.
- 5.4 Niveles de puntales en cabeceras.
- 5.5 Berma en talud de cabeceras.
- 5.6 Niveles de puntales cabecera poniente.
- 5.7 Núcleo central.
- 5.8 Frentes de ataque.
- 5.9 Plano de apuntalamiento.
- 5.10 Corte A-A.
- 5.11 Corte B-B.
- 5.12 Corte C-C.
- 5.13 Corte D-D.

INTRODUCCION.

Como es bien sabido la actual ciudad de México es producto de las eventualidades de su origen y de su desarrollo anárquico, de la traza que originalmente tuviera el centro de la ciudad y los pueblos vecinos; de los desarrollos urbanos a -- los lados de las primeras calzadas prehispánicas, de las arterias construidas durante la Colonia; de los cauces de antiguos rios, actualmente entubados y transformados en grandes -- avenidas y de la explosión demográfica que se registro a partir de 1950. Este desarrollo se realizó sin planeación y control adecuados, creando entre otros problemas el de la transportación de pasajeros.

Las soluciones adoptadas por la ciudad de México para resolver el problema de la transportación se basaron en experiencias de otras grandes urbes, que consistieron en construir viaductos y periféricos que fomentaran el uso del automóvil, los cuales se congestionaron rápidamente.

Actualmente, el transporte urbano es un problema que afecta a millones de habitantes, provocando principalmente gastos excesivos de tiempo en transportación, por lo que se pensó en coordinar todos los medios existentes y hacer una adecuada planeación para afrontar la situación. Lo que indica que para lograr una alternativa de solución al problema del transporte en la ciudad, es necesario encausar los recursos hacia las soluciones que amplien y hagan más eficiente el transporte masivo, como es el caso del Metro que por tener derecho de vía propio, ser un transporte que no contamina, funcional y eficiente, debe constituir la parte medular del transporte en la ciudad.

En base a la situación anterior, las autoridades del gobierno del Distrito Federal, han elaborado el Plan de Desarrollo Urbano y a través de la Comisión de Vialidad y Transporte Urbano (COVITUR) se llevó a cabo la realización del Plan Rector de Vialidad y Transporte.

La planeación del Metro desde su inicio se basó en un

Programa Maestro del Metro elaborado por COVITUR, en el cual se toman en consideración entre otros factores, estudios de origen y destino, modelos de transporte, usos del suelo, via lidades disponibles, paisaje urbano, incremento demográfico, interacción con otros planes de desarrollo etc.

Este programa es un plan dinámico que frecuentemente se actualiza y adapta a las condiciones cambiantes de la ciudad y de él se deriva la ubicación óptima de cada una de las líneas. El Plan Maestro del Metro pretende dotar a los habitantes de la ciudad de una red de 15 líneas en el Distrito Federal y plantea la conveniencia de construir tres más en el Estado de México, que cubrirán adecuadamente el área urbanizada al finalizar el siglo.

Definida la ubicación de las líneas se realizan estudios, anteproyectos y proyectos que involucran disciplinas tales como la Arquitectura, la Ingeniería Civil, la Ingeniería Electromecánica y Electrónica, la Ingeniería de Costos y el Urbanismo entre otras.

Dentro del área de Ingeniería Civil, y definido el trazo de una Línea, la Mecánica de Suelos, juega un papel importante en la elección del tipo de estructura que debe construirse en cada caso particular.

Con este trabajo se pretende ejemplificar por medio de la estación Chabacano la definición de un proceso constructivo desde el punto de vista de la Mecánica de Suelos.

El trabajo se divide en los siguientes cinco capítulos:

Capítulo I. En éste capítulo se incluye información general acerca del subsuelo de la ciudad de México y de los tipos de solución para el Metro, la localización de la Línea 9, a la cual pertenece la estación Chabacano, y una descripción de esta última.

Capítulo II. Trata los diferentes eventos realizados para determinar las características del subsuelo en donde se construirá la estación en cuestión.

Capítulo III. Presenta las soluciones de estructura subterránea que se tomaron en cuenta, así como la solución adoptada y sus alternativas de construcción.

Capítulo IV. Se explican brevemente los análisis de Mecánica de Suelos realizados para la definición del procedimiento constructivo y se muestran algunos ejemplos de los mismos.

Capítulo V. Se describe el procedimiento constructivo.

La metodología utilizada para la definición de este pro
cedimiento es válida para cualquier otra construcción, toman
do en cuenta las particularidades de cada obra.

CAPITULO I GENERALIDADES.

A. Zonificación estratigráfica de la ciudad de México.

Como resultado de la información estratigráfica prove---
niente de más de 300 sondeos exploratorios realizados en toda
el área urbana y sus alrededores fué elaborada una clasifica-
ción estratigráfica del suelo de la ciudad, ver figura No. -
1.1, que determina 4 zonas importantes:

1. La zona "A" o de "Lomas":

Localizada al poniente y al sur de la ciudad que corres-
ponde a las faldas de los macizos montañosos que rodean al Va
lle de México así como también a una fracción de la Sierra de
Guadalupe al norte.

Esta zona la forman suelos firmes (tobas y basaltos) con
alta capacidad de carga niveles freáticos profundos efectos -
sísmicos reducidos y ajenos a todo fenómeno de hundimiento.

2. Las zonas "C" y "D" o "Zonas de Lago".

Estan formadas por depósitos de arcilla cuyo origen se encuentra en la descomposición química de las cenizas depositadas en el Valle durante la era de las grandes erupciones volcánicas. Estas cenizas posteriormente fueron cubiertas por las aguas del gran lago que se formó en la Cuenca del Valle de México. La desecación posterior de ese lago se sumó a una serie de fenómenos naturales, que dieron por resultado mantos arcillosos de gran espesor con alto contenido de --- agua, alta compresibilidad, muy susceptibles a los efectos sísmicos y con nivel freático muy superficial.

Las zonas "C" y "D" estratigráficamente iguales, se diferencian exclusivamente por su historia de cargas, tal como se describe a continuación:

La zona "C", es la que ha sufrido mayores alteraciones en su estructura. Estas alteraciones se deben principalmente a los efectos de la extracción de agua de los mantos profundos a través de pozos para abastecer de agua a la población y a que sobre ella han actuado, la sobrecargas de los antiguos templos indígenas en la época prehispánica, de los edificios coloniales y de las modernas y crecientemente pesadas construcciones que la ocupan en la actualidad.

Como resultado de esta situación, es en la zona "C" donde se presentan los mayores asentamientos totales y diferenciales. Es allí donde las propiedades mecánicas del subsuelo tienen más variaciones y en la que, por consiguiente los problemas a resolver para las cimentaciones son cuantitativa y cualitativamente mayores.

Contrariamente, la zona "D" se encuentra prácticamente inalterada por bombeos y sobrecargas. En ella, los efectos que puedan originar nuevas estructuras, crearán problemas ligeramente menores, cuya solución puede aplicarse a mayores áreas, ya que las condiciones mecánicas no varían tan frecuentemente de un punto a otro como en la zona "C".

3. La zona "B" o "Zona de Transición".

Limitada por las otras dos, se ha denominado "zona de transición". En ella los suelos varían de muy blandos a -- muy firmes y lo hacen también sus características de capacidad de carga, posición del nivel freático y los efectos sísmicos.

B. Tipos de solución para el Metro.

Dentro del área de la Ingeniería Civil, y definido el trazo de una línea, se presentan cuatro opciones de solu---

ción, ver figura No. 1.2, que son: Sección Superficial, -- Sección Subterránea, Sección Elevada y Sección en túnel.

A continuación se hacen algunos comentarios acerca de cada una de las cuatro soluciones citadas.

1. Solución superficial.

La utilización de la solución superficial resulta --- atractiva debido a que su trazo se localiza en avenidas cu ya sección transversal es suficiente para alojar el sistema del Metro y las vialidades adyacentes, mejorándose sustancialmente el paisaje urbano.

La sección elegida para los tramos entre las estaciones, es una sección constituida por una losa de concreto - reforzado y dos muretes de contención; la losa se desplanta sobre una superficie previamente mejorada a una profundidad aproximada de 1.50 m con objeto de lograr de esta - manera, una adecuada compensación de cargas.

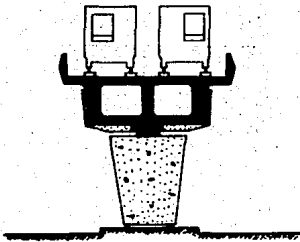
Esta solución plantea 2 problemas: el primero es la creación de una frontera en la zona donde se desarrolla su trazo, representando con ello una barrera. El segundo problema es el referente al mantenimiento de las instalaciones ferreas y electromecánicas, las cuales quedarán perma



SECCION SUPERFICIAL



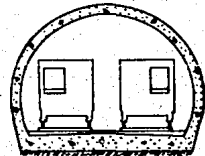
SECCION SUBTERRANEA



SECCION ELEVADA



SECCION TUNEL



OPCIONES DE SOLUCION PARA EL "METRO"

U. N. A. M.	
ENEP ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	
PEDRO A. OLVERA C.	TESIS
MEXICO, D.F. SIN ESCALA	PROFESIONAL
	FIG. No. 1.2

nentemente expuestas a la intemperie.

2. Solución subterránea en cajón.

La solución por excelencia de un sistema de Metro es - la de tipo subterráneo ("underground") pues no interfiere la labor del transporte en la vida cotidiana de superficie. Esta solución está constituida por un cajón de concreto armado de sección rectangular, construida a cielo abierto y desplantada para el caso de la ciudad de México a la menor profundidad posible. Las dimensiones horizontales y verticales del cajón quedan determinadas por la geometría del -- equipo rodante.

El cajón está constituido por: Muros tablestaca, losa de fondo, muros interiores, losa de techo de concreto armado y un relleno.

3. Solución subterránea en túnel.

La posibilidad de construcción del Metro, en túnel, resultó factible y deseable ya que tanto la ampliación sur de la Línea 3 como la construcción de la nueva Línea 7 se localizan sobre avenidas importantes con alta densidad vehicular. Así como en zonas de suelos granulares compactos y cementados correspondientes a la zona de Lomas.

La profundidad de los túneles fue definida por dos conceptos fundamentales de gran interrelación: el techo mínimo para llevar a cabo un procedimiento constructivo seguro, según el tipo de suelo; y la ubicación adecuada de los accesos a las estaciones, de tal manera que los usuarios no recorrieran grandes distancias.

La geometría de las secciones fue definida por las siguientes consideraciones: los gálibos dinámicos del convoy y sus instalaciones; la estabilidad de la sección durante la construcción, considerando el período que transcurre entre la excavación y el colado del revestimiento definitivo y el comportamiento de la estructura ante las cargas que transmite el terreno.

4. Solución elevada.

La existencia de instalaciones de Servicio Público a lo largo del trazo y la posibilidad de implantar una estructura elevada que eliminará la necesidad de realizar desvíos de las instalaciones mencionadas, y que a su vez permitiera el libre paso de las vialidades transversales, longitudinales y de ferrocarril, una notable mejoría en el paisaje urbano de la zona y un costo ligeramente menor que el subterráneo, fueron las causas que determinaron el uso de este tipo de solución.

Este tipo de estructura en la solución de la línea 4 es

un viaducto elevado formado por una trabe de concreto postensado simplemente apoyada en columnas centrales de concreto - reforzado separadas entre si 35.0 m. aproximadamente.

La cimentación en los tramos esta constituida por zapatas cuadradas de concreto apoyadas en pilotes de adherencia, también de concreto reforzado, de sección cuadrada.

Las columnas en los tramos son de concreto reforzado de sección rectangular variable.

Por lo que respecta a la sección transversal de la trabe, se decidió emplear un cajón de concreto colado en sitio postensado, compuesto por una losa inferior, tres nervaduras de ancho variable, diafragmas verticales y una losa superior.

En las estaciones, los claros entre columnas fueron de 25.0 m., y en lo que respecta a las trabes su ancho fué mayor con objeto de alojar los andenes laterales y la estructura metálica de techado.

C. Localización de la línea 9.

La Línea 9 del Metro se localiza al sur de la ciudad, - tal como se muestra en la figura No. 1.1, en la dirección --

oriente-poniente iniciando su recorrido en Pantitlán, en donde tendrá conexión con la Línea 1 y la Línea 5, continuando por la avenida Morelos, Calzada Chabacano, José Peón Contreras, Av. Central, Baja California hasta llegar a la estación Observatorio donde nuevamente tendrá conexión con la Línea 1.

Desde el punto de vista estratigráfico el 75% de la Línea 9 se ubica en la "Zona del Lago", el 14% en la "Zona de Transición" y el 11% en la "Zona de Lomas" aproximadamente.

La Línea 9 se ha dividido en tres tramos para su estudio, los cuales se mencionan a continuación:

1. Pantitlán - Tramo Velódromo Mixiuhca.

En este tramo se propuso la solución elevada excepto en la estación Pantitlán la cual deberá ser superficial.

Las estaciones comprendidas dentro de este tramo son: - Pantitlán, Puebla, Ciudad Deportiva y Velódromo.

2.- Tramo Velódromo Mixiuhca - Patriotismo.

En este tramo se propuso utilizar la solución subterránea en cajón.

Las estaciones comprendidas dentro de este tramo son: - Mixiuhca, Jamaica, Chabacano, Lázaro Cárdenas, Centro Médico, Chilpancingo y Patriotismo.

3.- Patriotismo - Tramo Tacubaya Observatorio.

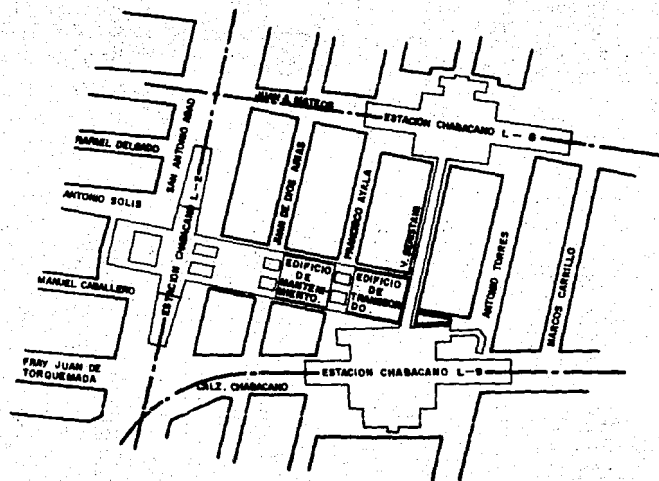
En este tramo se propuso utilizar la solución subterránea en túnel.

La estación comprendida dentro de este tramo es Tacubaya, la estación terminal Observatorio será superficial.

D. Ubicación y descripción de la estación.

La estación Chabacano perteneciente a la Línea 9 del Metro, formará parte del conjunto Chabacano el cual estará integrado por: Estación Chabacano de la Línea 2 del Metro, estación Chabacano de la Línea 8 del Metro, edificio de mantenimiento, edificio de transbordo y estación Chabacano de la Línea 9 del Metro.

El conjunto Chabacano estará localizado al Sur-Oriente de la ciudad de México. La estación Chabacano de la Línea 9 del Metro estará ubicada sobre la Calzada Chabacano entre las calles Francisco Ayala y Marcos Carrillo tal como se muestra en la figura No. 1.3.



CROQUIS DE LOCALIZACION

U. N. A. M.	
ENEP ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	
PEDRO A. OLVERA C.	TESIS
PROFESIONAL	
MEXICO, D.F.	SIN ESCALA FIG. No. 1.3

La estación Chabacano cae dentro del tramo subterráneo de la Línea 9 por lo cual será una estación de tipo subterráneo en cajón.

Los elementos constitutivos de la estación son:

1. Zona de andenes.

Es la zona que esta ligada a la vía del Metro y en ella se realizan los movimientos fundamentales de ascenso y descenso de pasajeros, los cuales definen las características y dimensiones del andén. Su longitud de 150 m, corresponde a la de un convoy de 9 carros.

2. Zona de Acceso.

Las zonas de acceso comunican a la vía pública con el andén o con la pasarela y constan generalmente de dos vestíbulos, uno exterior y otro interior, separados por una línea de torniquetes.

Por el vestíbulo exterior se efectúa la circulación de los usuarios desde la vía pública hacia la taquilla. El vestíbulo interior conecta la línea de torniquetes con las entradas y salidas de los andenes.

Otros elementos que forman parte de los accesos son:

- Escaleras y circulaciones.
- Cambio de andenes.

3. Zona de Servicios.

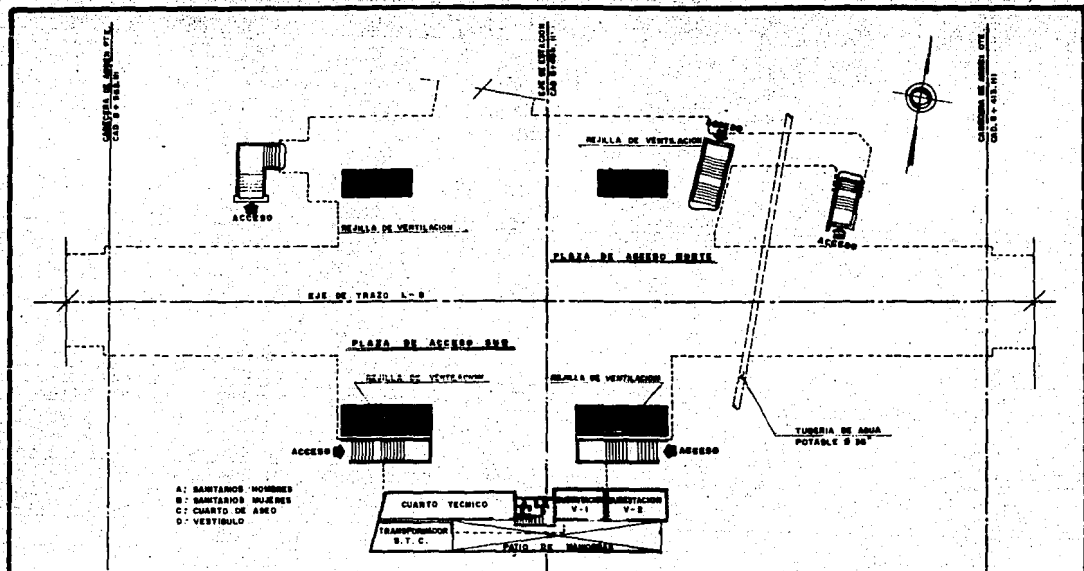
En las partes centrales de estaciones subterráneas denominadas núcleos o islas, ubicadas una a cada lado de la vía, se encuentran los locales de servicio necesarios para la operación y mantenimiento de la red y para el servicio de empleados.

Esta zona esta constituida principalmente por:

- Subestación eléctrica.
- Cuarto de tableros.
- Cuarto de servicios técnicos.
- Carcamo y cuarto de bombas.
- Cuarto de aire acondicionado.
- Sanitario para empleados y operadores.
- Cuarto de aseo.
- Primeros auxilios.

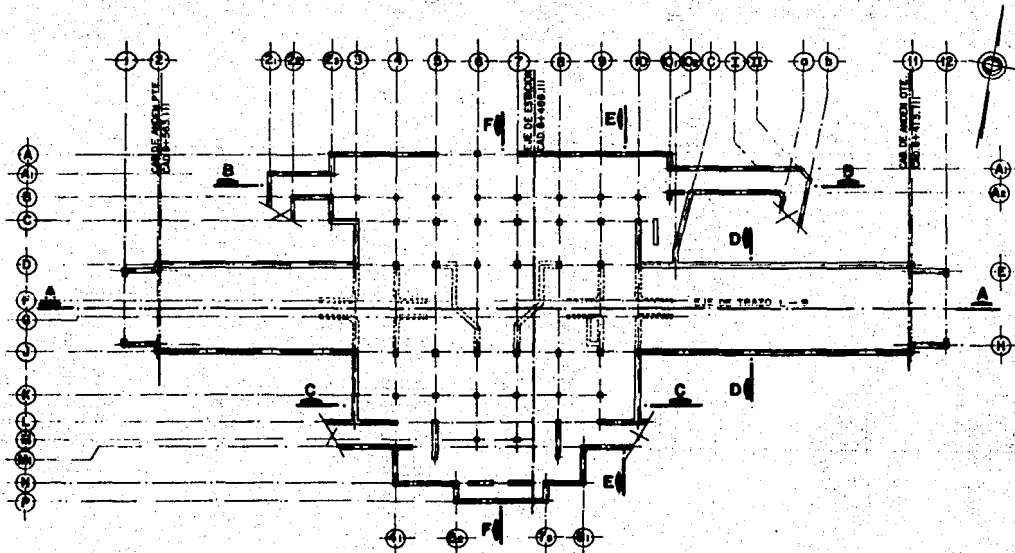
La distribución de los elementos constitutivos de la estación se muestra en las figuras Nos. 1.4 a 1.12.

En vista de que la estación tendrá correspondencia con



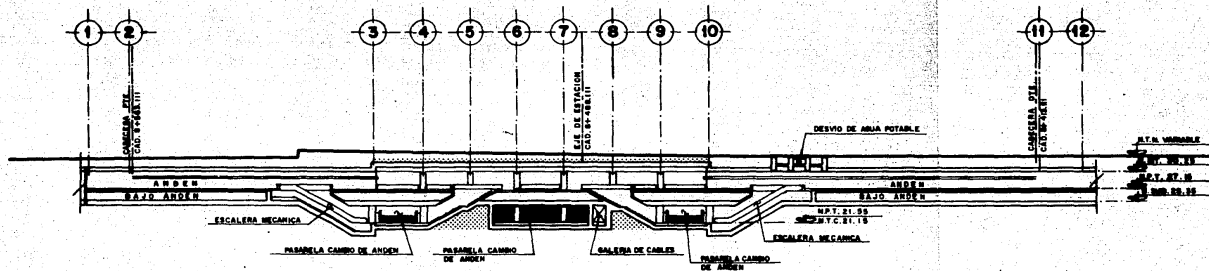
PLANTA NIVEL ACCESO

U. N. A. M.	
ENEP ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	
PEDRO A. OLVERA C.	TESIS
MEXICO, D.F. SIN ESCALA	PROFESIONAL
	FIG. No. 1.5



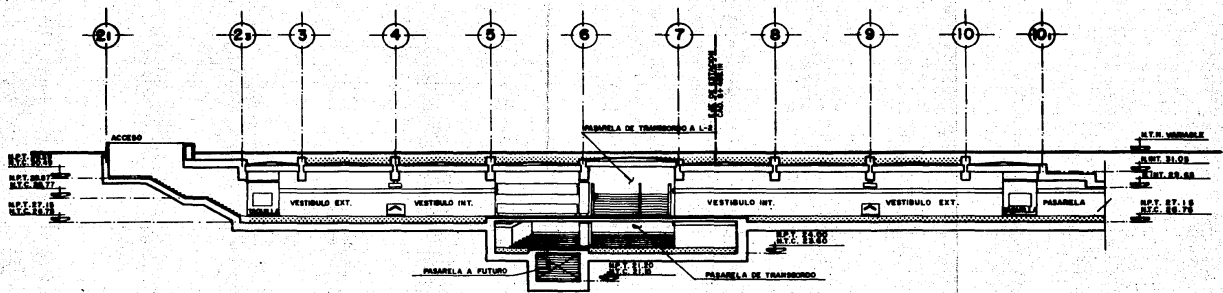
UBICACION DE EJES Y CORTES

U. N. A. M.	
ENEP ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	
PEDRO A. OLVERA C.	TESIS
MEXICO, D.F.	PROFESIONAL
SIN ESCALA	FIG. No. 1.6



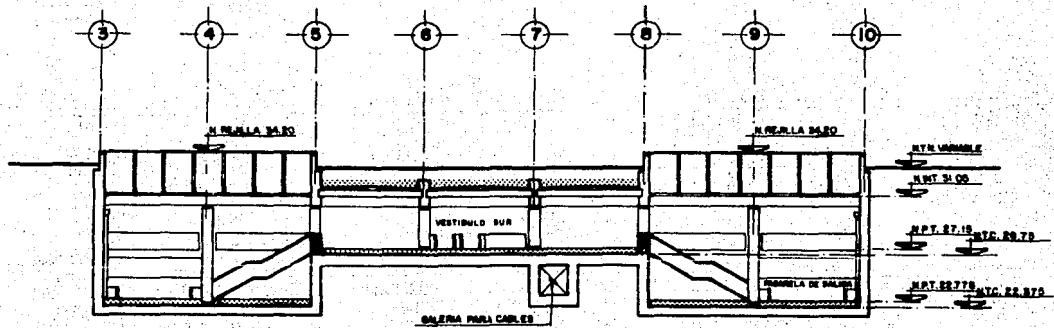
C O R T E A - A

U. N. A. M.	
ENEP ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	
PEDRO A. OLVERA C.	TESIS PROFESIONAL
MEXICO, D.F.	SIN ESCALA FIG. No. 1.7



C O R T E B - B

U. N. A. M.	
ENEP ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	
PEDRO A. OLVERA C. TESIS PROFESIONAL	
MEXICO, D.F.	SIN ESCALA FIG. No. 1.9



▨ LADRILLO

C O R T E C - C

U. N. A. M.	
ENEP ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	
PEDRO A. OLVERA C.	TESIS
MEXICO, D.F. SIN ESCALA	FIG. No. 1.9

la estación Chabacano Línea 2 y con la estación Chabacano - Línea 8, contará con cuatro pasarelas de acceso y una pasarela de correspondencia que tendrá conexión con las pasarelas de transbordo de la Línea 2 y de la Línea 8.

La estación se subdivide en tres partes principales: -- dos cabeceras (oriente y poniente) localizadas entre los --- ejes 10 y 12 y 1 y 3 respectivamente (ver figura No. 1.6) -- con una profundidad media de 8.50 m y una zona central con -- una profundidad media de 12.00 m.

CAPITULO II. ESTUDIO DEL SUBSUELO.

A. Exploración del subsuelo.

A fin de tener un concepto real de las propiedades físicas y mecánicas de los diferentes tipos de suelo, se han experimentado diferentes formas o maneras de obtener datos precisos, seguros, abundantes y económicos, los cuales, se pueden determinar bien sea en campo o realizando pruebas de laboratorio. Con estos resultados se podrán definir las características del suelo, dándonos de apoyo los parámetros que nos servirán para la elección y diseño de la cimentación.

La optimización de la elección y diseño de cualquier cimentación dependerá en gran medida, de la exploración realizada en campo la cual se deberá seleccionar en función del tipo de obra, de la naturaleza del suelo de apoyo, del costo e importancia de la obra, etc.

Para la exploración del subsuelo en la construcción de la estación Chabacano, se planteó un programa de exploración a través del cual se obtuvo información básica, con la que

fue factible tener una visión a criterio para poder definir las cuestiones que planteaba la construcción.

Algunas de las interrogantes por resolver eran:

- Determinación de la capacidad de carga del suelo.
- Predicción de la expansión y los asentamientos de la estación.
- Determinación de la presión de tierra sobre muros.
- Observación de las dificultades constructivas.
- Problemas a provocar en edificios colindantes.

Para la obtención de la información básica, se determinó primero la localización de la estación con respecto a la zonificación de la ciudad de México realizada por Marzal y Mazari (ver figura No. 1.1).

La estación Chabacano se encuentra localizada en la zona "D".

Las arcillas de esta zona alcanzan espesores de 25 a 35 m y son materiales con un alto contenido de agua, alta compresibilidad y nivel freático muy superficial.

Las interrogantes con respecto a la capacidad de car-

ga, de asentamiento y expansión pueden ser problemas críticos, sobre todo en construcciones extensas sujetas a condiciones de carga no uniforme.

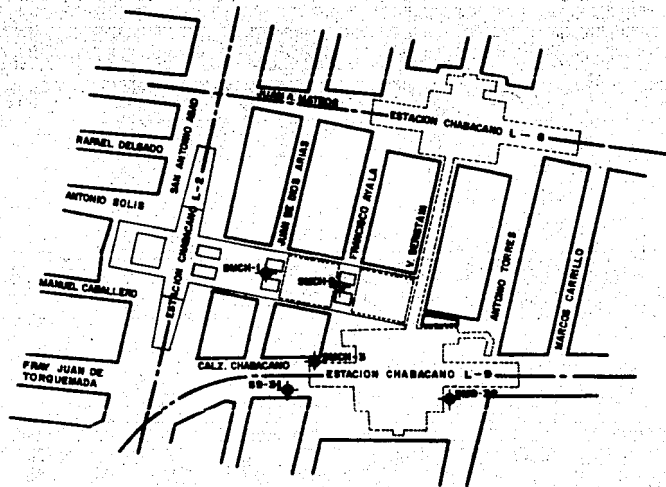
La relativa uniformidad en los perfiles estratigráficos y con los datos obtenidos de la pruebas realizadas en éstos estudios, así como con las dimensiones de la excavación por ejecutar, se determinó que se necesitaba realizar varios -- sondeos, cuya ubicación se muestra en la figura No. 2.1.

Los sondeos se perforaron hasta 40 m con un muestreo -- continuo, de tubo Shelby o un barril Denison por cada dos - tubos lisos de los cuales se obtuvieron muestras alteradas e inalteradas.

B. Selección de las pruebas de laboratorio.

Para la selección de las pruebas de laboratorio se tomaron únicamente las muestras inalteradas obtenidas en los --- muestreadores de pared delgada del sondeo SM9-32 realizado - cerca del centro de la estación y del cual se presenta su re gistro de campo al final del capítulo.

Las muestras obtenidas fueron clasificadas en el laboratorio determinándose en cada una de ellas su relación de vacíos, con



UBICACION DE SONDEOS

U. N. A. M.	
ENEP ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	
PEDRO A. OLVERA C.	TESIS
PROFESIONAL	
MEXICO, D.F.	SIN ESCALA FIG. No. 2.1

tenido natural de agua, contenido de arena, resistencia en estado seco, color y la resistencia al esfuerzo cortante con el torcómetro (aparato que produce la falla de la superficie expuesta de la muestra por corte). La clasificación de este sondeo se presenta al final de este capítulo.

En base a los resultados obtenidos se construyó el perfil estratigráfico que se muestra en la figura No. 2.2. en el que están representados gráficamente la resistencia a la penetración estándar, el contenido natural de agua, la resistencia al corte con torcómetro y la prueba de compresión simple.

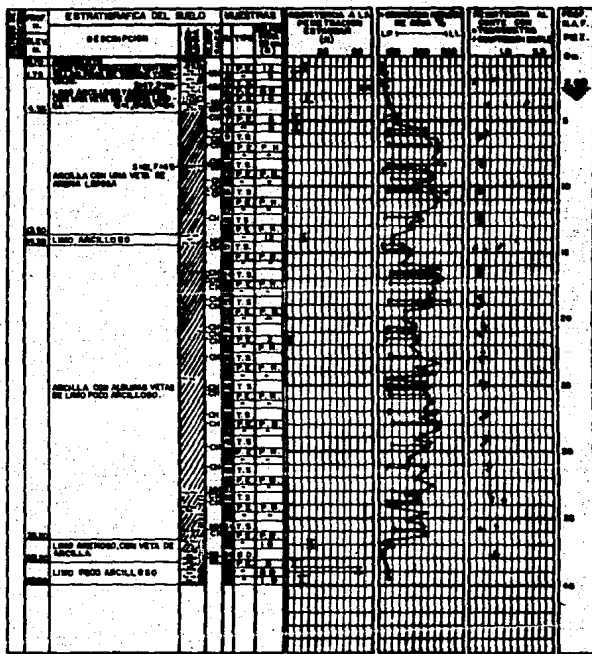
La estratigrafía que se presenta en la zona en donde se ubica la estación es la siguiente:

Del nivel de terreno natural y hasta una profundidad de 4.35 m se encuentra el "manto superficial", y está constituido por material de relleno, limo arcilloso y arenoso con una veta de arena limosa, cuyo contenido natural de agua es en promedio 55%, su cohesión promedio es de 2.0 ton/m^2 y su peso volumétrico es de 1.45 ton/m^3 . La compresibilidad de estos materiales es muy baja comparada con las arcillas subyacentes. El nivel freático se localiza a 2.60 m.

Bajo el "manto superficial" y hasta 37.0 m de profundi-

LOCALIZACIÓN: VER FIGURA 3-1

T.S. TUBO SHELBY } MAESTRO ALTERNADO
 R.B. BARRA SENSOR }
 P.E. PENETRACION ESTIMADA } MAESTRO ALTERNADO
 P.N. PRES. HORIZONTAL



RES. DE QD SHELBY - 0 = NO RESISTENTE
 1 = 1% DE GRAVA
 2 = 2% DE GRAVA
 3 = 3% DE GRAVA
 4 = 4% DE GRAVA
 5 = 5% DE GRAVA
 6 = 6% DE GRAVA
 7 = 7% DE GRAVA
 8 = 8% DE GRAVA
 9 = 9% DE GRAVA
 10 = 10% DE GRAVA
 11 = 11% DE GRAVA
 12 = 12% DE GRAVA
 13 = 13% DE GRAVA
 14 = 14% DE GRAVA
 15 = 15% DE GRAVA
 16 = 16% DE GRAVA
 17 = 17% DE GRAVA
 18 = 18% DE GRAVA
 19 = 19% DE GRAVA
 20 = 20% DE GRAVA
 21 = 21% DE GRAVA
 22 = 22% DE GRAVA
 23 = 23% DE GRAVA
 24 = 24% DE GRAVA
 25 = 25% DE GRAVA
 26 = 26% DE GRAVA
 27 = 27% DE GRAVA
 28 = 28% DE GRAVA
 29 = 29% DE GRAVA
 30 = 30% DE GRAVA
 31 = 31% DE GRAVA
 32 = 32% DE GRAVA
 33 = 33% DE GRAVA
 34 = 34% DE GRAVA
 35 = 35% DE GRAVA
 36 = 36% DE GRAVA
 37 = 37% DE GRAVA
 38 = 38% DE GRAVA
 39 = 39% DE GRAVA
 40 = 40% DE GRAVA

- RELLENO
- GRAVA
- ARCILLA
- POBRE
- LIMO
- VERSO VOLCANICO
- ARENA

SONDEO SM9-32

U. N. A. M.
ENEP ACATLAN
INGENIERIA CIVIL

PEDRO A. OLVERA C. | TESIS | PROFESIONAL

MEXICO, D.F. SIN ESCALA | FIG. No. 2-2

dad se encuentra la "formación arcillosa superior", constituida por arcilla volcánica compresible típica de la ciudad de México. La resistencia a la penetración estándar varía de 0 a 6 golpes, tiene un contenido natural de agua comprendido entre 200 y 450 % su relación de vacíos varía entre 5 y 11 y su peso volumétrico es en promedio de 1.15 ton/m^3 .

Su resistencia al corte obtenida a partir de pruebas de compresión axial sin confinar y de corte directo no drenado, arroja valores variables entre 2.0 y 4.0 ton/m^2 en promedio.

Intercalado entre la "formación arcillosa superior" se encuentra un estrato de limo arcilloso de 0.8 m de espesor - el cual inicia a la profundidad de 13.50 m, su contenido natural de agua es de 100% y la resistencia a la penetración estándar es de 12 golpes, lo que indica que el material tiene una compacidad relativa muy suelta.

Abajo de la "formación arcillosa superior" y hasta alcanzar la profundidad máxima de exploración se encuentra la "primera capa dura" constituida por material limo arenoso -- muy compacto cuyo contenido natural de agua es de 50% y su resistencia a la penetración estándar es de 50 golpes.

En el mismo perfil estratigráfico observamos que se obtuvieron 17 muestras inalteradas por medio de tubo Shelby y

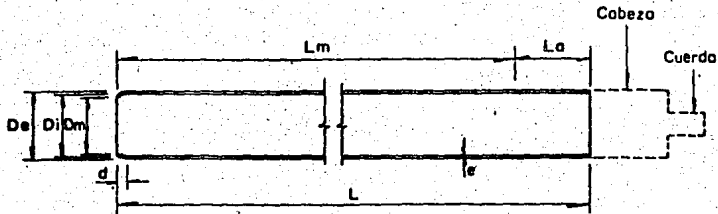
1 por medio de barril Denison, de las cuales se seleccionaron las representativas de cada una de ellas, realizándoles las siguientes pruebas y determinaciones:

- Granulometría.
- Límites de consistencia.
- Compresión simple.
- Corte directo.
- Compresión triaxial rápida.
- Compresión triaxial consolidada rápida.
- Consolidación.

A continuación se hace una breve descripción de cada uno de los métodos de muestreo mencionados anteriormente:

1. Tubo Shelby.

Al introducir en el suelo un tubo de pared gruesa se produce el desplazamiento de un volumen de suelo que, unido a los esfuerzos repentinos del hincado produce una fuerte distorsión de la estructura natural del suelo; por este motivo se recurre a la utilización de un tubo de lámina de acero, delgado, afilado en su extremo inferior, que ilustran las figuras Nos. 2.3 y 2.4 el cual se hinca a presión y a velocidad constante, con objeto de introducir esfuerzos menores que perturben en un grado mínimo a la estructura del suelo. En



Diám. nominal, en cm	De, en cm	Di, en cm	Dm, en cm	e, en cm	d, en cm	L, en cm	Lm, en cm	Cuerdo de unión
7.5	7.62	7.22	7.11 7.17	0.20	1.27	75	60	AW y BW
10.0	10.16	9.76	9.61 9.69	0.20	1.20	90	75	BW y NW

De diámetro exterior
Di diámetro interior
Dm diámetro muestra
e espesor

d longitud aguzada
L longitud tubo
Lm longitud de muestreo recomendable
La espacio para azolves



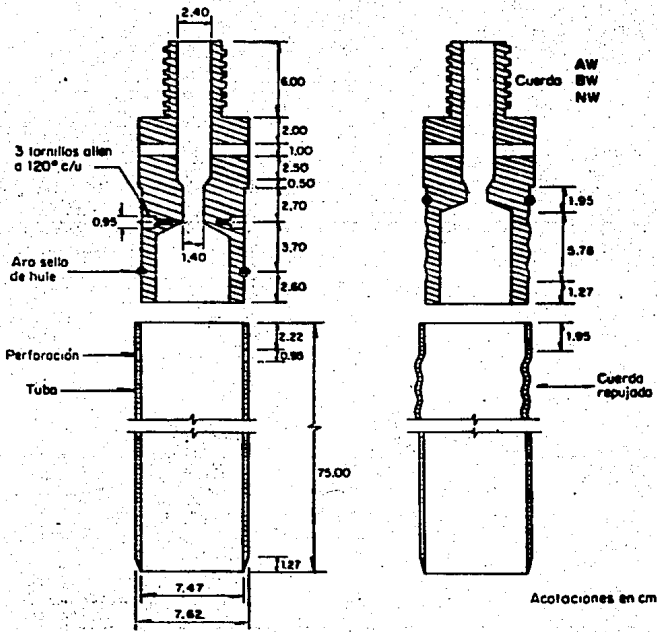
Relación de áreas	$\frac{D_e^2 - D_m^2}{D_m^2} < 10\%$
Relación de diámetros	$0.7\% < \frac{D_i - D_m}{D_m} < 1.5\%$

De Diámetro exterior
Di Diámetro interior
Dm Diámetro de la muestra

Condiciones geométricas

**MUESTREADOR DE PARED
DELGADA**

U. N. A. M.
ENEP ACATLAN
INGENIERIA CIVIL
PEDRO A. OLVERA C. TESIS PROFESIONAL
MEXICO, D.F. SIM ESCALA 1/50, NO. 2.3



Unión con tornillos allen

Unión con cuerda

MUESTREADOR DE PARED DELGADA

U. N. A. M.	
ENEP ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	
PEDRO A. OLVERA C.	TESIS PROFESIONAL
MEXICO, D.F. SIN ESCALA	FIG. No. 2.4

investigaciones se ha encontrado que, si el volumen desplazado por el tubo es menor que 10% de la muestra extraída, la alteración se mantiene dentro de límites razonables, esta condición queda expresada por la siguiente fórmula:

$$\frac{D_e^2 - D_m^2}{D_m^2} < 0.1$$

Además, es necesario que el extremo afilado del tubo -- tenga un diámetro ligeramente menor que el diámetro interior del tubo, a fin de que los esfuerzos de fricción entre la -- muestra y el tubo se reduzcan a un mínimo y la muestra pueda penetrar en él sin formar un tapón, que reduciría notablemente el porcentaje de recuperación de muestra. Según Hvorslev, la holgura entre la muestra y el tubo debe ser de 0.7 % al -- 1.5 % expresada de la siguiente manera:

$$0.007 < \frac{D_i - D_m}{D_m} < 0.015$$

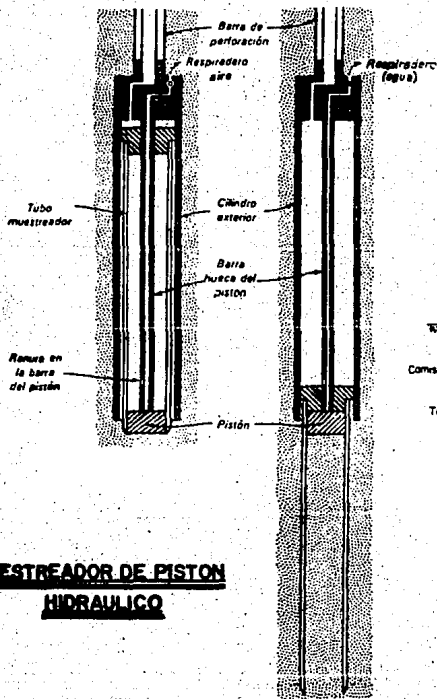
El significado de las literales de ambas fórmulas aparece en la figura No. 2.3. La mayor holgura es adecuada para materiales muy expansivos y la mínima para arcillas no expansivas. Esta holgura no debe ser excesiva, pues la falta de adherencia entre la muestra y el tubo impide extraer el espé

cimen del suelo del fondo de la perforación. La válvula de la cabeza del muestreador permite la salida del agua del interior del tubo al entrar la muestra y al mismo tiempo, evita que el agua de la perforación ejerza una presión sobre la cara superior de la muestra, al retirar el muestreador de la perforación, la cual expulsaría la muestra del tubo.

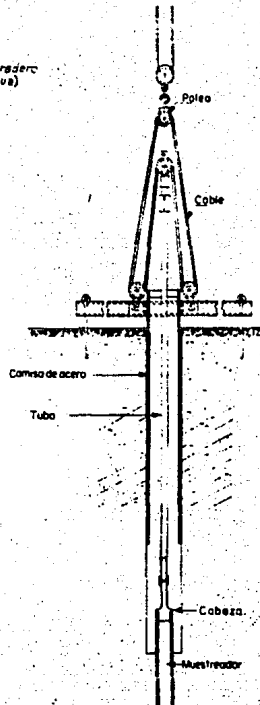
Antes de hincar el tubo Shelby en el terreno que se va a muestrear es indispensable hacer una buena limpieza del fondo de la perforación, para evitar que existan sedimentos que se introduzcan en el muestreador y disminuyan el porcentaje de recuperación de muestra. Para prevenir la entrada de sedimentos al muestreador puede recurrirse al empleo de un pistón alojado en el interior del tubo, el cual tapa su extremo inferior mientras que el muestreador se introduce al pozo, figura No. 2.5.a.

Mediante un sistema de barras concéntricas el pistón permanece en el fondo mientras que el tubo es hincado para obtener la muestra. Al extraerlo, el pistón sella la parte superior del muestreador, evitando que la presión del agua del pozo, actuando sobre la cara superior de la muestra, la expulse del tubo.

El tubo de pared delgada se emplea para obtener muestras de arcillas blandas o semiduras y de suelos limosos de seme-



**a) MUESTREADOR DE PISTÓN
HIDRAULICO**



b) EQUIPO DE MUESTREO

U. N. A. M.	
ENEP ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	
PEDRO A. OLVERA C.	TESTIS PROFESIONAL
MEXICO, D.F.	SIN ESCALA FIG. No. 2.5

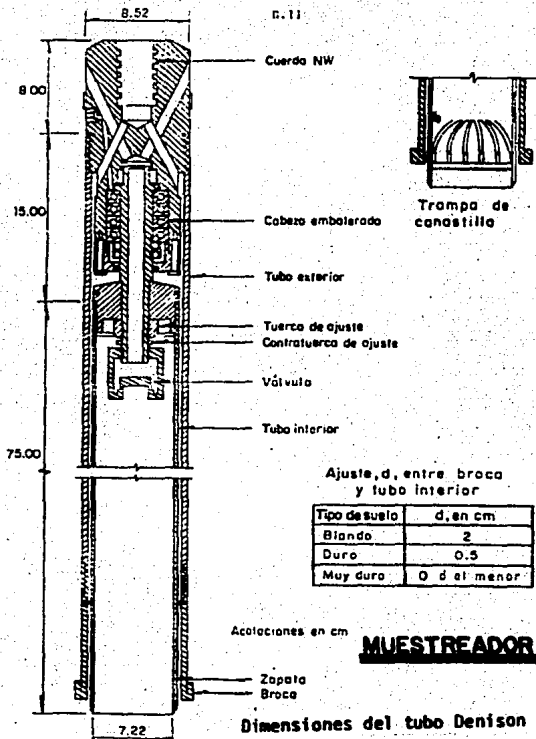
jante consistencia natural. Esta limitación obedece, en ocasiones, a la resistencia estructural propia del tubo y en -- otras a la capacidad del equipo de hincado que, normalmente solo permite aplicar carga de una a dos toneladas sobre el muestreador.

El hincado puede hacerse valiéndose de los gatos hidráulicos del cabezal de la máquina perforadora, de un gato hidráulico especialmente diseñado para el objeto o de un sistema de poleas que se muestra esquemáticamente en la figura -- No. 2.5.b.

La presencia de gravas o boleos dificulta seriamente el uso del tubo Shelby. En arcillas puede recurrirse al uso de un tubo con pared más gruesa, aceptándose la mayor relación de áreas (1.5%).

2. Barril Denison.

Para eliminar las dificultades que se presentan al utilizar el tubo Shelby en arcillas duras, se emplea un barril muestreador rotatorio constituido por 2 tubos concéntricos, como se ilustra en la figura No. 2.6. El tubo interior está unido al exterior a través de una carga de baleros en la -- parte superior, con lo cual se logra que ambos tubos puedan -- girar independientemente uno del otro. En su extremo infe--



Ajuste, d, entre broca y tubo interior

Tipo de suelo	d, en cm
Blando	2
Duro	0.5
Muy duro	0 ó el menor

Acataciones en cm

MUESTREADOR DENISON

Dimensiones del tubo Denison (en cm)

Diámetro nominal	Tubo interior				Tubo exterior				Barras de operación
	De	Di	Dm	L	De	Di	L	Lm	
7.5	7.62	7.22	7.11 7.17	75	8.52	7.92	90	60	NW
10.0	10.16	9.76	9.61 9.69	90	11.16	10.46	105	75	NW

Donde:

- De diámetro exterior
- Di diámetro interior
- Dm diámetro de la muestra
- L Longitud de tubo
- Lm longitud de la muestra

U. N. A. M.
ENEP ACATLAN
 INGENIERIA CIVIL
 PEDRO A. OLVERA C. TESIS PROFESIONAL
 MEXICO, D.F. SIN ESCALA FIG. No. 2.6

rior, el tubo interior está provisto de una zapata afilada y el exterior de una broca dentada que va cortando el material; la zapata del tubo interior generalmente sobresale de la broca. El barril se hace avanzar aplicando una carga vertical que hince a la zapata y hace que la muestra entre a presión en el interior; las cortaduras son conducidas hasta la superficie mediante agua o lodo, que se hace circular a través de las barras de perforación y entre ambos tubos con céntricos. El tubo interior está provisto de una camisa delgada en la cual se aloja la muestra y, en ocasiones, lleva una trampa de canasta arriba de la zapata para asegurar que la muestra no se salga al extraer el tubo. Con este dispositivo se obtienen muestras que varían en diámetro de 5 a 15 cm.

Con el muestreador Denison pueden obtenerse especímenes inalterados de un gran número de suelos, variando en consistencia desde los blandos hasta las rocas duras, para lo cual se utilizan distintas terminales en el extremo inferior. Para los suelos blandos, se emplea una zapata que sobresale de la broca 1 a 2 mm. Para obtener muestras de roca, la broca que generalmente está provista de dientes de carburo de tungsteno, se sustituye por otra provista de diamante industrial. El tubo interior no sobresale de la broca, y la trampa de canasta se substituye por un resorté en forma de cuña que permite arrancar el cilindro de roca después de ser cor-

tado por la broca de diamante. Si se trata de rocas blandas o intemperizadas, la broca está provista de perforaciones en la base, que permiten la salida del agua o lodo, reduciéndose así la erosión del agua sobre la muestra y aumentando la recuperación.

C. Determinación de las características del subsuelo.

En realidad es en el laboratorio de Mecánica de Suelos en donde el proyectista ha de obtener los datos definitivos para su trabajo; primero, al realizar las pruebas de clasificación ubicará en forma correcta la naturaleza del problema que se le presenta y de esta ubicación podrá decidir, como segunda fase de un trabajo, las pruebas más adecuadas que requiere su problema particular, para definir las características de deformación y resistencia a los esfuerzos en el suelo con que haya de laborar.

Con los datos obtenidos en las pruebas de laboratorio se realiza una estratigrafía generalizada, la cual servirá para propósito de cálculo.

A continuación se mencionan algunas de las pruebas de laboratorio más importantes:

1. Contenido de agua.

Resulta de relacionar el peso del agua entre el peso de la fase sólida de una muestra de suelo. Esta es una de las propiedades de más fácil determinación y que en gran forma nos ayuda a preveer el posible comportamiento de un suelo. El contenido de agua o humedad de un suelo suele expresarse como un porcentaje y se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

$$W(\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

Siendo: $W(\%)$ = Contenido de agua en %.

W_w = Peso del agua

W_s = Peso de sólidos.

En el laboratorio, dada la muestra, se pesa para obtener su peso total (W_m). A continuación se seca en el horno durante un tiempo que por convención varía de 18 a 24 horas y a una temperatura de 105 a 110°C. Se vuelve a pesar la muestra ya seca y se obtiene el W_s . se deduce que para calcular el peso del agua, simplemente se aplica la expresión $W_w = W_m - W_s$, con lo cual la humedad podrá quedar determinada.

2.- Pesos específicos o volumétricos.

a. Peso específico húmedo.

Es el cociente del peso total de la muestra entre el volumen de la misma. Sus unidades usuales son ton/m³.

$$\gamma_m = \frac{W_m}{V_m}$$

Siendo: γ_m = Peso específico húmedo

V_m = Volumen de la muestra.

b. Peso específico seco.

Resulta de dividir el peso de los sólidos entre el volumen total de la muestra, es decir se excluye el peso del agua. Se expresa en ton/m³.

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V_m}$$

Siendo: γ_d = Peso específico seco.

c. Peso específico sumergido.

Se trata del caso de un suelo sumergido en agua y que experimenta un empuje hacia arriba igual al peso del volumen

del agua desalojada, según el principio de Arquímedes. Se acostumbra expresar en ton/m³.

$$\gamma' = \frac{W_m}{V_m} - \gamma_o$$

Siendo: γ' = Peso específico sumergido.

El último elemento de ésta relación (γ_o) representa el peso específico del agua y equivale al peso que tiene el agua por unidad de volumen, a 4°C y al nivel del mar. Para fines prácticos, es usual igualar dicho peso específico del agua con el peso volumétrico de la misma, aunque este último puede variar respecto a la temperatura.

$$\gamma_o = \gamma_w = 1 \text{ ton/m}^3 = 1 \text{ gr/cm}^3$$

3. Granulometría.

El análisis granulométrico del suelo, tiene el propósito de determinar la relación entre tamaños de las partículas sólidas que lo constituyen y el porciento del peso total que

representa cada porción de un mismo tamaño. El tamaño se fi
ja por una longitud representativa del grano, a la cual se -
denomina diámetro. El total se obtiene relacionando el peso
de todo el material menor que cierto diámetro con el peso to
tal de la muestra que se analiza.

a. Suelos gruesos.

El análisis granulométrico solo tiene sentido efectuar-
lo en suelos gruesos, o sea aquellos en que el rango de tama-
ño varía de 0.074 y 76.2 mm. La experiencia nos indica que
los suelos gruesos bien graduados, o sea con amplia gama de
tamaños, tienen un comportamiento mecánico o hidráulico más
favorable que los suelos de granulometría muy uniforme o uni
forme.

La medición en el tamaño de los granos de un suelo pue-
de efectuarse de la siguiente manera:

1) Análisis Directo.

Este tipo de medición puede hacerse en partículas de --
suelo de más de 3 pulgadas de tamaño con aparatos de preci--
sión manuales (vernier).

2). Medición con Mallas.

Este análisis mecánico es el usado principalmente en -- suelos gruesos y su principio consiste en ordenar en forma descendente una serie de mallas (generalmente siete u ocho mallas), depositar el suelo previamente seco en el juego de mallas agitándolo en forma horizontal o vertical durante 5 a 10 minutos en un "Roll-Tap" o agitador, luego pesar el suelo retenido en cada malla teniendo mucho cuidado de evitar pérdidas de material, posteriormente, se calcula el por ciento retenido en cada malla con respecto al peso total de la muestra y el por ciento que pasa, en peso, y el diámetro de la malla, formando ambos parámetros un sistema de ejes sobre el cual, una vez graficados los resultados, obtendremos la llamada curva de distribución granulométrica.

Este último método de medición por mallas es muy utilizado para clasificar suelos gruesos, sin embargo, pueden presentarse problemas para que pasen las partículas por las mallas más finas, cuando esto sucede, se usa el procedimiento de la vía húmeda, es decir, lavar el material para que pueda pasar. Lógicamente, se aumenta el peso del suelo por lo que la muestra obtenida se deposita en un recipiente refractario, se espera a que se sedimenten las partículas y por medio de un sifón se extrae el máximo de agua que luego se procede a secar en un horno.

b. Suelos Finos.

Algunas veces puede ser necesario determinar la granulometría de los suelos finos (menores a 0.074 mm). Puesto que no existen mallas menores que la No. 200 se usa el procedimiento denominado del hidrómetro, que consiste en establecer una mezcla homogénea de suelo - agua y que se basa principalmente en la hipótesis de Stokes, que nos dice que la velocidad de sedimentación de las partículas grandes es mayor que la de las pequeñas. Para obtener resultados aún más exactos, se puede pasar una muestra por el hidrómetro varias veces.

Así como es importante la granulometría de suelos gruesos, en suelos finos no reviste tanto, y esto se debe principalmente a que en suelos finos el comportamiento depende más fundamentalmente de las formas de las partículas y su composición mineralógica, y solo en una mínima parte del tamaño - de los granos, de tal manera, que los suelos finos de partículas laminares son más compresibles y más plásticos que los suelos de partículas equidimensionales. Por esta razón en general, las partículas de los limos que son de forma redonda son menos compresibles que las arcillas cuyas partículas son de forma laminar; así pues, se pueden tener dos suelos finos con la misma granulometría pero diferentes comportamientos.

4.- Límites de consistencia.

El comportamiento mecánico del suelo es función del contenido de agua que tiene; en terminos generales el suelo fino con mayor contenido de agua es más deformable y menos resistente.

La plasticidad es otra de las características del suelo fino que se modifica con el contenido de agua; la plasticidad es la propiedad de un material para deformarse sin cambiar su volumen ni agrietarse o desmoronarse; la magnitud de la deformación no es directamente proporcional al esfuerzo que recibe, permaneciendo deformado el suelo al reducirse el esfuerzo.

La relación entre plasticidad y el contenido de agua, - así como entre éste último y las características mecánicas - del suelo, permite usar la plasticidad como una medida de -- las condiciones de trabajabilidad del suelo.

Atterberg propuso estados de consistencia o de firmeza que pueden presentar los suelos finos (arcillas y limos) al variar el contenido de agua. En función de la plasticidad que presentan definió cuatro fases o estados por los que - pasa el suelo al disminuir el contenido de agua, estos estados son:

a. Estado líquido.

Con las propiedades y apariencia de una suspensión.

b. Estado plástico.

El suelo se comporta plásticamente.

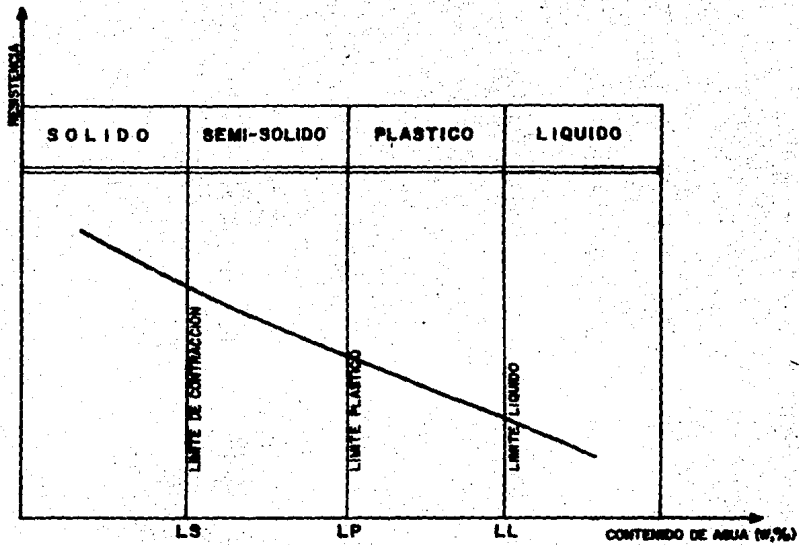
c. Estado semisólido.

El suelo tiene la apariencia de un sólido pero aun disminuye su volumen al estar sujeto a secado.

d. Estado sólido.

Se presenta cuando el volumen de sólido no varía con - el secado.

La variación cualitativa de la consistencia del suelo - con el contenido de agua, se muestra en la figura No. 2.7, - en ella también se ha dibujado cualitativamente la relación entre el contenido de agua y la resistencia del suelo, resistencia que puede ser a las deformaciones o a los esfuerzos.



ESTADOS DE CONSISTENCIA

U. N. A. M.	
ENEP ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	
PEDRO A. OLVERA C.	TESIS
PROFESIONAL	
MEXICO, D.F.	SIN ESCALA
FIG. No. 2. 7	

Para precisar el contenido de agua que marca el lindero entre los estados de consistencia o de plasticidad se han establecido contenidos de agua que marcan las fronteras entre éstos cuatro estados mencionados, éstos contenidos de agua se conocen como "límites de consistencia".

- Límite líquido. Frontera entre el estado líquido y el plástico LL.
- Límite plástico. Contenido de agua que marca el paso del estado plástico al semisólido Lp.
- Límite de contracción. Lindero entre el estado semisólido y el sólido Ls.

La determinación experimental de éstos límites la estableció Atterberg, posteriormente A. Casagrande fijó normas para su valuación en las cuales el factor humano influye poco en su determinación.

Los límites son empleados para clasificar los suelos finos y estimar la calidad de sus propiedades mecánicas y así preveer su posible comportamiento.

Con la carta de plasticidad (ref. 1) se clasifican los suelos finos en función del límite líquido y el índice plástico.

Otras pruebas que se realizan en el laboratorio, y que nos dan datos para obtener entre otros parámetros la cohesión (c) y el ángulo de fricción (ϕ) son:

5.- Compresión simple.

Esta prueba se realiza aplicando un esfuerzo axial a un espécimen, se calculan las magnitudes de las deformaciones - totales que correspondan al 5%, 10%, 15% y 20% de la altura neta del espécimen. Las lecturas del extensómetro correspondientes a éstas deformaciones sirven de guía con respecto al progreso de la prueba. La relación longitud-diámetro de las muestras para el experimento, debe satisfacer la condición $2 < L/d < 3$. Un tamaño usual es $L = 7.6$ cm y $d = 3$ cm.

6.- Prueba directa.

Uno de los métodos usados para determinar la resistencia de un suelo, aún utilizado en la actualidad, es el ensayo directo de esfuerzo cortante. Una muestra de suelo se pone -- dentro de una caja que esta separada en su parte media, ver - figura No. 2.8, dicha separación permite el deslizamiento de la parte superior sobre la inferior. La tapa superior de la caja se puede mover libremente en dirección vertical; a ella se le aplica una carga normal P . Una fuerza horizontal S se le aplica a la parte superior de la caja, esta es la fuerza cortante, cuando dicha fuerza es la máxima la muestra fallará a lo largo del plano $x-x$.

7.- Prueba de compresión triaxial.

En un ensayo triaxial, una muestra cilíndrica de suelo se

5.- Compresión simple.

Esta prueba se realiza aplicando un esfuerzo axial a un espécimen, se calculan las magnitudes de las deformaciones - totales que correspondan al 5%, 10%, 15% y 20% de la altura neta del espécimen. Las lecturas del extensómetro correspondientes a éstas deformaciones sirven de guía con respecto al progreso de la prueba. La relación longitud-diámetro de las muestras para el experimento, debe satisfacer la condición - $2 < L/d < 3$. Un tamaño usual es $L = 7.6$ cm y $d = 3$ cm.

6.- Prueba directa.

Uno de los métodos usados para determinar la resistencia de un suelo, aún utilizado en la actualidad, es el ensayo directo de esfuerzo cortante. Una muestra de suelo se pone -- dentro de una caja que esta separada en su parte media, ver - figura No. 2.8, dicha separación permite el deslizamiento de la parte superior sobre la inferior. La tapa superior de la caja se puede mover libremente en dirección vertical, a ella se le aplica una carga normal P . Una fuerza horizontal S se le aplicó a la parte superior de la caja, esta es la fuerza cortante, cuando dicha fuerza es la máxima la muestra fallará a lo largo del plano $x-x$.

7.- Prueba de compresión triaxial.

En un ensayo triaxial, una muestra cilíndrica de suelo se

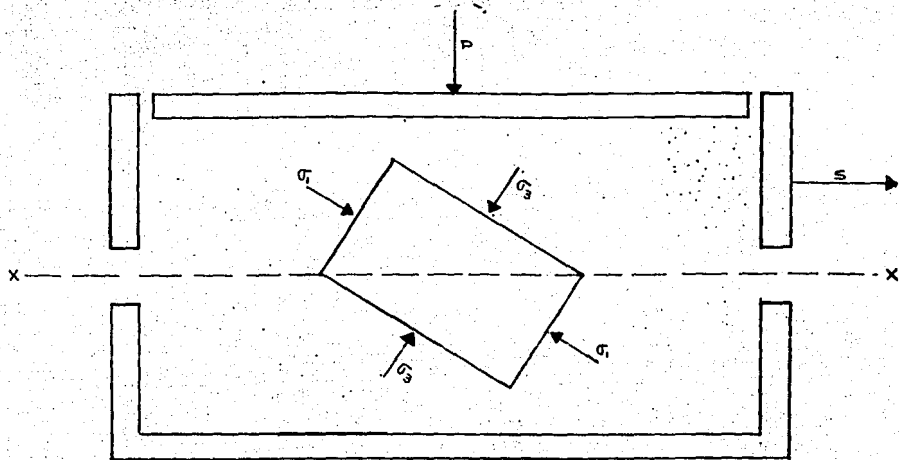


DIAGRAMA ESQUEMATICO DE LA PRUEBA DE CORTE DIRECTO

U. N. A. M.	
ENEP ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	
PEDRO A. OLVERA C.	TESTIS
PROFESIONAL	
MEXICO, D.F. SIN ESCALA	FIG. No. 2.8

somete a una presión hidrostática de confinamiento, igual en todas direcciones, a la cual se le agrega una presión axial que puede ser variada independientemente de la anterior.

Los elementos esenciales del aparato se muestran en forma esquemática en la figura No. 2.9. La superficie cilíndrica de la muestra se cubre con una membrana impermeable.

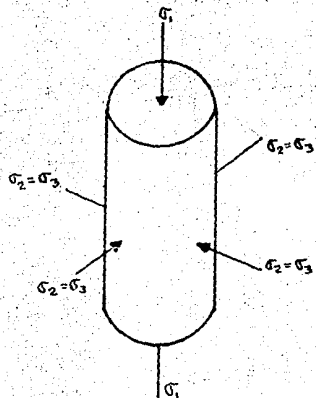
El conjunto está contenido en una cámara, dentro de la cual se puede admitir agua bajo cualquier presión deseada; dicha presión P_c actúa horizontalmente en la superficie cilíndrica de la muestra a través de la membrana impermeable y verticalmente a través de la cabeza. La carga axial (q) adicional se logra por medio de un pistón que atraviesa la tapa de la cámara. La piedra porosa está conectada con un manómetro, este sirve para medir las presiones del agua dentro de la muestra cuando no se permite el drenaje. Las deformaciones verticales, producto del incremento de las presiones axiales, se miden por medio de un micrómetro.

Generalmente el ensayo consiste en dos etapas:

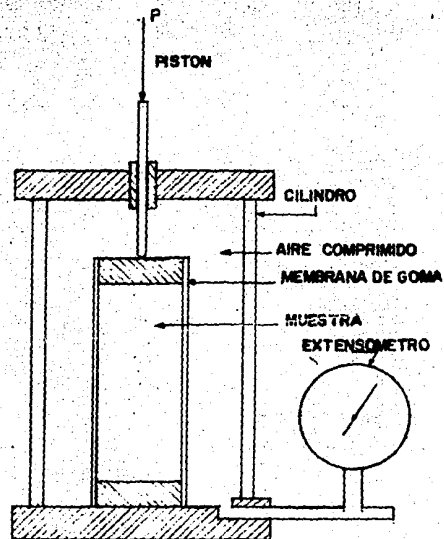
Primera, aplicación de la presión hidrostática y

Segunda, adición de la carga axial.

Tipos de pruebas en la cámara de compresión triaxial:



ESFUERZOS EN LA CAMARA DE COMPRESION TRIAXIAL.



EQUIPO PARA LA PRUEBA DE COMPRESION TRIAXIAL.

ESTADO DE ESFUERZOS EN LA CAMARA DE COMPRESION TRIAXIAL.

Con el objeto de representar de una forma más aproximada las condiciones del terreno en estudio y de considerar - el factor tiempo, existen tres tipos de pruebas en los ensayos de compresión triaxial, que se describen a continuación.

a. Prueba UU.

Prueba no consolidada, no drenada. Llamada comunmente - prueba rápida.

En la primera etapa se aplica la presión confinante no - permitiendo el drenaje.

En la segunda etapa se aplica el esfuerzo axial no de-- jando escapar el agua, es decir, no se permite el drenaje.

b. Prueba CU.

Prueba consolidada no drenada.

En la primera etapa se aplica la presión confinante per- mitiendo el drenaje en la muestra. La segunda etapa de la prueba consiste en cerrar las válvulas del agua y aplicar - el incremento de esfuerzo axial vertical.

c. Prueba CD.

Prueba consolidada drenada.

En la primera etapa se le aplica presión confinante al espécimen permitiendo su drenaje. En la segunda etapa se incrementa al esfuerzo axial, en dirección vertical, y también se permite el drenaje.

8. Prueba de campo.

Veleta de corte, ver figura No. 2.10.

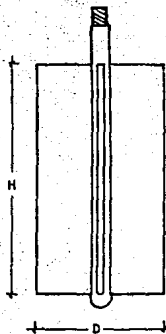
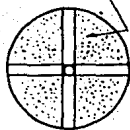
La prueba de veleta es un método utilizado para medir la resistencia al esfuerzo cortante de arcillas blandas en el campo.

Dicha medición está basada en la hipótesis de que el corte ocurre sobre una superficie cilíndrica, sin cambio de volumen de la muestra ni de la estructura del suelo.

La forma de efectuar la prueba es la siguiente:

- El aparato se introduce en el suelo por empuje.
- Se aplica un momento torsor que se mide con un resorte calibrado.

SUELO MOVILIZADO



APARATO DE VELETA PARA DETERMINACIONES DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE

U. N. A. M.

ENEP ACATLAN

INGENIERIA CIVIL

PEDRO A. OLVERA C. TESIS

PROFESIONAL

MEXICO, D.F. SIN ESCALA FIG. No. 2.10

- Se hace rotar el conjunto hasta que la arcilla se rompe simultáneamente a lo largo de la superficie cilíndrica, que circunscribe las veletas y la base de dicho cilindro.

- El valor de la cohesión (c) se lee directamente en el indicador del resorte calibrado.

A continuación se muestran algunos de los resultados de los análisis de las pruebas de laboratorio realizadas a muestras inalteradas, obtenidas en el sondeo SM9-32 (figuras No. 2.11 a 2.18).

REGISTRO DE CAMPO

OBRA METRO LINEA 9 No. _____
 POZO No. 9-32 _____
 TIPO DE SONDEO MIXTO _____
 OPERADOR _____

FECHA DE INICIACION _____
 FECHA DE TERMINACION _____
 PERFORADORA C.M.E. No. ECO 5/H° _____
 BOMBA MAYNO 526 _____

Fecha y turno	Caso No.	Profundidad en m		Tipo de herramienta		HORA			Presiones (Atmósferas)			Limp. Prof. cm	Recuperación		Clasificación de campo	
		Inicial	Final	Avance	Mediana	Inicial	Final	Altera de cada 75 cm	Número de golpes en	1500	1700		cm	%		
		0.00	0.70										70	5/R		RELLENO
	1	0.70	1.50	" "	T.L.			10	18	4	60	20	33			ARCILLA CAFE CON ARENA
	2	1.50	1.90	" "	T.L.			8	5	3	60	35	58			ARCILLA CAFE
	3	1.90	2.40	" "	T.S.							50	40	80		ARENA ARCILLOSA CAFE
	4	2.40	2.65	" "	T.L.			29	24	10	25	25	100			ARCILLA CAFE CLARO
	5	2.65	3.00	" "	" "											
	5	3.00	3.60	" "	T.L.			12	14	11	60	30	50			ARENA GRUESA CAFE
	6	3.60	4.80	" "	T.S.											
	6	3.60	4.80	" "	T.S.											
	7	4.80	5.10	" "	T.S.			5	6	3	60	52	88			ARCILLA CAFE
	8	5.10	6.70	" "	T.L.			1	6	4	60	30	50			ARCILLA CAFE CON ARENA
	9	6.70	6.60	" "	T.S.											
	9	6.70	6.60	" "	T.S.											
	10	6.60	7.20	" "	T.L.											
	10	6.60	7.20	" "	T.L.											
	11	7.20	7.80	" "	T.L.											
	11	7.20	7.80	" "	T.L.											
	12	7.80	8.70	" "	T.S.											
	12	7.80	8.70	" "	T.S.											
	13	8.70	9.30	" "	T.L.											
	13	8.70	9.30	" "	T.L.											
	14	9.30	9.80	" "	T.L.											
	14	9.30	9.80	" "	T.L.											
	15	9.80	10.80	" "	T.S.											
	15	9.80	10.80	" "	T.S.											
	16	10.80	11.40	" "	T.L.											
	16	10.80	11.40	" "	T.L.											

NIVEL PRÁCTICO (m) - 2.60 _____ FECHA Y HORA _____

OBSERVACIONES GENERALES _____
 T.S. TUBO ARELBY _____
 T.L. TUBO LIBRO _____
 P.H. PISO DE LA HERRAMIENTA _____

REGISTRO DE CAMPO

OBRA METEO LINEA 2 No. _____
 PUNO No. 3-32 _____
 TIPO DE SONDEO MIXTO _____
 OPERADOR _____

FECHA DE INICIACION _____
 FECHA DE TERMINACION _____
 PERFORADORA G.M.B. No. 800 S/Nº _____
 SONDA MAYNO 226 _____

Fecha y hora	Núm. de sondeo	Profundidad en m		Tipo de herramienta		HORA		Velocidad Rotación Rps del motor de 0 a 100 Altura de caída 75 cm Número de golpes en seg 1000 1000	Luz, Puz, etc	Temperatura		Clasificación de campo	
		Inicial	Final	Anillo	Interior	Inicial	Final			en	%		
17	11.40	12.00		T.L.				P.H.		60	80	83	ARCILLA CAFE
18	12.00	12.30	" "	T.S.				PRESION		90	86	96	ARCILLA CAFE
19	12.30	13.30	" "	T.L.				P.H.		60	60	100	ARCILLA CAFE CON LENTES DE ARENA
20	13.30	14.10	" "	T.L.			7 12 6			60	60	100	ARCILLA CAFE GRISACEA
21	14.10	15.00	" "	T.S.				PRESION		90	90	100	ARCILLA GRIS CLARA
22	15.00	15.60	" "	T.L.				P.H.		60	90	66	ARCILLA GRIS
23	15.60	16.20	" "	T.L.				P.H.		60	52	87	ARCILLA GRIS
24	16.20	17.10	" "	T.S.				PRESION		90	87	97	ARCILLA GRIS VERDOSA
25	17.10	17.70	" "	T.L.				P.H.		60	82	87	ARCILLA GRIS VERDOSA
26	17.70	18.30	" "	T.L.				P.H.		60	60	100	ARCILLA GRIS VERDOSA
27	18.30	19.20	" "	T.S.				PRESION		90	88	98	ARCILLA GRIS VERDOSA
28	19.20	19.80	" "	T.L.				P.H.		60	53	88	ARCILLA GRIS
29	19.80	20.40	" "	T.L.				P.H.		60	60	100	ARCILLA GRIS
30	20.40	21.30	" "	T.S.				PRESION		90	90	100	ARCILLA GRIS
31	21.30	21.90	" "	T.L.				P.H. 2 1		60	97	78	ARCILLA GRIS
32	21.90	22.50	" "	T.L.				P.H.		60	53	88	ARCILLA CAFE CLARA

NIVEL FREATICO (m) _____ FECHA Y HORA _____

OBSERVACIONES GENERALES _____

REGISTRO DE CAMPO

OBRA METRO LINEA 2 No. _____

FECHA DE INICIO _____

POZO No. 9-32 _____

FECHA DE TERMINACION _____

TIPO DE SONDEO MIXTO _____

POMPA D. M. S. No. ECO 2/N° _____

OPERADOR _____

BOMBA MAYNO 326 _____

Orden y turno	Profundidad en m	Profundidad en m		Tipo de horramiento		HORA		Muestreo de muestra por el martillo 24kg Atrás de cada 15cm	Limp. Part. en	Recuperación		Clasificación de campo
		Inicial	Final	Avance	velocidad	Inicial	Final			en %	en %	
32	22.50	23.40		T.S.				PRENSION	90	86	94	ARCILLA CAFE CLARA
34	23.40	24.00		T.L.				P.H.	60	60	100	ARCILLA CAFE CLARA
32	24.00	24.60		T.L.				P.H.	60	60	100	ARCILLA CAFE CLARA
36	24.60	25.20		T.S.				PRENSION	90	30	89	ARCILLA CAFE CLARA
37	25.20	26.10		T.L.				P.H.	60	54	98	ARCILLA CAFE CLARA
38	26.10	26.70		T.L.				P.H.	60	60	100	ARCILLA CAFE CLARA
39	26.70	27.60		T.S.				PRENSION	90	90	100	ARCILLA CAFE CLARA
40	27.60	28.20		T.L.				P.H.	60	60	100	ARCILLA CAFE CLARA
41	28.20	28.80		T.L.				P.H.	60	57	78	ARCILLA CAFE CLARA
42	28.80	29.70		T.S.				PRENSION	90	90	100	ARCILLA CAFE CLARA
43	29.70	30.30		T.L.				P.H.	60	53	68	ARCILLA CAFE CLARA
44	30.30	30.90		T.L.				P.H.	60	47	78	ARCILLA CAFE CLARA
45	30.90	31.80		T.S.				PRENSION	90	76	84	ARCILLA CAFE
46	31.80	32.40		T.L.				P.H.	60	58	90	ARCILLA CAFE
47	32.40	33.00		T.L.				P.H.	60	48	80	ARCILLA CAFE
48	33.00	33.90		T.S.				PRENSION	90	90	100	ARCILLA CAFE
49	33.90	34.90		T.L.				P.H.	60	43	72	ARCILLA CAFE
50	34.90	35.10		T.L.				P.H.	60	38	92	ARCILLA CAFE
51	35.10	36.00		T.S.				PRENSION	90	90	100	ARCILLA CAFE

NIVEL PREACTICO (m) _____ FECHA Y HORA _____

OBSERVACIONES GENERALES _____

REGISTRO DE CAMPO

OBRA METRO LINEA 9 No. _____

FECHA DE INGRESION _____

POZO No. 9-32 _____

FECHA DE TERMINACION _____

TIPO DE SONDEO MIKTO _____

PERFORADORA C.M.E. No. ECO 2/Nº _____

OPERADOR _____

BOMBA MAYNO 326 _____

Fecha y hora	Ingeniero No.	Profundidad en m		Tipo de herramienta		HORA		Presión en el fondo del pozo del martillo 24 Kg. Alrededor de cada 75 cm. Número de golpes en			Long. Puz. m	Recuperación		Clasificación de suelo	
		Inicial	Final	Anillo	Industria	Inicial	Final	100	200	300		en	%		
33	22.30	23.40										90	86	96	ARCILLA CAFE CLARA
34	23.40	24.00										60	60	100	ARCILLA CAFE CLARA
35	24.00	24.60										60	60	100	ARCILLA CAFE CLARA
36	24.60	25.70										90	30	89	ARCILLA CAFE CLARA
37	25.70	26.10										60	54	93	ARCILLA CAFE CLARA
38	26.10	26.70										60	60	100	ARCILLA CAFE CLARA
39	26.70	27.60										90	90	100	ARCILLA CAFE CLARA
40	27.60	28.20										60	60	100	ARCILLA CAFE CLARA
41	28.20	28.90										60	57	95	ARCILLA CAFE CLARA
42	28.90	29.70										90	90	100	ARCILLA CAFE CLARA
43	29.70	30.30										60	53	88	ARCILLA CAFE CLARA
44	30.30	30.90										60	47	78	ARCILLA CAFE
45	30.90	31.80										90	76	84	ARCILLA CAFE
46	31.80	32.40										60	58	90	ARCILLA CAFE
47	32.40	33.00										60	48	80	ARCILLA CAFE
48	33.00	33.90										90	90	100	ARCILLA CAFE
49	33.90	34.50										60	43	72	ARCILLA CAFE
50	34.50	35.10										60	55	92	ARCILLA CAFE
51	35.10	36.00										90	90	100	ARCILLA CAFE

NIVEL FREATICO (m) _____ FECHA Y HORA _____

OBSERVACIONES GENERALES _____

CONTENIDO NATURAL DE AGUA Y CLASIFICACION

MUESTRA		V	V	U ₁ + V	U ₂ + V	U ₃	U ₄	U ₅	U ₆	U ₇	U ₈	U ₉	U ₁₀	U ₁₁	U ₁₂	U ₁₃	U ₁₄	U ₁₅	U ₁₆	U ₁₇	U ₁₈	U ₁₉	U ₂₀	U ₂₁	U ₂₂	U ₂₃	U ₂₄	U ₂₅	U ₂₆	U ₂₇	U ₂₈	U ₂₉	U ₃₀	U ₃₁	U ₃₂	U ₃₃	U ₃₄	U ₃₅	U ₃₆	U ₃₇	U ₃₈	U ₃₉	U ₄₀	U ₄₁	U ₄₂	U ₄₃	U ₄₄	U ₄₅	U ₄₆	U ₄₇	U ₄₈	U ₄₉	U ₅₀	U ₅₁	U ₅₂	U ₅₃	U ₅₄	U ₅₅	U ₅₆	U ₅₇	U ₅₈	U ₅₉	U ₆₀	U ₆₁	U ₆₂	U ₆₃	U ₆₄	U ₆₅	U ₆₆	U ₆₇	U ₆₈	U ₆₉	U ₇₀	U ₇₁	U ₇₂	U ₇₃	U ₇₄	U ₇₅	U ₇₆	U ₇₇	U ₇₈	U ₇₉	U ₈₀	U ₈₁	U ₈₂	U ₈₃	U ₈₄	U ₈₅	U ₈₆	U ₈₇	U ₈₈	U ₈₉	U ₉₀	U ₉₁	U ₉₂	U ₉₃	U ₉₄	U ₉₅	U ₉₆	U ₉₇	U ₉₈	U ₉₉	U ₁₀₀	U ₁₀₁	U ₁₀₂	U ₁₀₃	U ₁₀₄	U ₁₀₅	U ₁₀₆	U ₁₀₇	U ₁₀₈	U ₁₀₉	U ₁₁₀	U ₁₁₁	U ₁₁₂	U ₁₁₃	U ₁₁₄	U ₁₁₅	U ₁₁₆	U ₁₁₇	U ₁₁₈	U ₁₁₉	U ₁₂₀	U ₁₂₁	U ₁₂₂	U ₁₂₃	U ₁₂₄	U ₁₂₅	U ₁₂₆	U ₁₂₇	U ₁₂₈	U ₁₂₉	U ₁₃₀	U ₁₃₁	U ₁₃₂	U ₁₃₃	U ₁₃₄	U ₁₃₅	U ₁₃₆	U ₁₃₇	U ₁₃₈	U ₁₃₉	U ₁₄₀	U ₁₄₁	U ₁₄₂	U ₁₄₃	U ₁₄₄	U ₁₄₅	U ₁₄₆	U ₁₄₇	U ₁₄₈	U ₁₄₉	U ₁₅₀	U ₁₅₁	U ₁₅₂	U ₁₅₃	U ₁₅₄	U ₁₅₅	U ₁₅₆	U ₁₅₇	U ₁₅₈	U ₁₅₉	U ₁₆₀	U ₁₆₁	U ₁₆₂	U ₁₆₃	U ₁₆₄	U ₁₆₅	U ₁₆₆	U ₁₆₇	U ₁₆₈	U ₁₆₉	U ₁₇₀	U ₁₇₁	U ₁₇₂	U ₁₇₃	U ₁₇₄	U ₁₇₅	U ₁₇₆	U ₁₇₇	U ₁₇₈	U ₁₇₉	U ₁₈₀	U ₁₈₁	U ₁₈₂	U ₁₈₃	U ₁₈₄	U ₁₈₅	U ₁₈₆	U ₁₈₇	U ₁₈₈	U ₁₈₉	U ₁₉₀	U ₁₉₁	U ₁₉₂	U ₁₉₃	U ₁₉₄	U ₁₉₅	U ₁₉₆	U ₁₉₇	U ₁₉₈	U ₁₉₉	U ₂₀₀	U ₂₀₁	U ₂₀₂	U ₂₀₃	U ₂₀₄	U ₂₀₅	U ₂₀₆	U ₂₀₇	U ₂₀₈	U ₂₀₉	U ₂₁₀	U ₂₁₁	U ₂₁₂	U ₂₁₃	U ₂₁₄	U ₂₁₅	U ₂₁₆	U ₂₁₇	U ₂₁₈	U ₂₁₉	U ₂₂₀	U ₂₂₁	U ₂₂₂	U ₂₂₃	U ₂₂₄	U ₂₂₅	U ₂₂₆	U ₂₂₇	U ₂₂₈	U ₂₂₉	U ₂₃₀	U ₂₃₁	U ₂₃₂	U ₂₃₃	U ₂₃₄	U ₂₃₅	U ₂₃₆	U ₂₃₇	U ₂₃₈	U ₂₃₉	U ₂₄₀	U ₂₄₁	U ₂₄₂	U ₂₄₃	U ₂₄₄	U ₂₄₅	U ₂₄₆	U ₂₄₇	U ₂₄₈	U ₂₄₉	U ₂₅₀	U ₂₅₁	U ₂₅₂	U ₂₅₃	U ₂₅₄	U ₂₅₅	U ₂₅₆	U ₂₅₇	U ₂₅₈	U ₂₅₉	U ₂₆₀	U ₂₆₁	U ₂₆₂	U ₂₆₃	U ₂₆₄	U ₂₆₅	U ₂₆₆	U ₂₆₇	U ₂₆₈	U ₂₆₉	U ₂₇₀	U ₂₇₁	U ₂₇₂	U ₂₇₃	U ₂₇₄	U ₂₇₅	U ₂₇₆	U ₂₇₇	U ₂₇₈	U ₂₇₉	U ₂₈₀	U ₂₈₁	U ₂₈₂	U ₂₈₃	U ₂₈₄	U ₂₈₅	U ₂₈₆	U ₂₈₇	U ₂₈₈	U ₂₈₉	U ₂₉₀	U ₂₉₁	U ₂₉₂	U ₂₉₃	U ₂₉₄	U ₂₉₅	U ₂₉₆	U ₂₉₇	U ₂₉₈	U ₂₉₉	U ₃₀₀	U ₃₀₁	U ₃₀₂	U ₃₀₃	U ₃₀₄	U ₃₀₅	U ₃₀₆	U ₃₀₇	U ₃₀₈	U ₃₀₉	U ₃₁₀	U ₃₁₁	U ₃₁₂	U ₃₁₃	U ₃₁₄	U ₃₁₅	U ₃₁₆	U ₃₁₇	U ₃₁₈	U ₃₁₉	U ₃₂₀	U ₃₂₁	U ₃₂₂	U ₃₂₃	U ₃₂₄	U ₃₂₅	U ₃₂₆	U ₃₂₇	U ₃₂₈	U ₃₂₉	U ₃₃₀	U ₃₃₁	U ₃₃₂	U ₃₃₃	U ₃₃₄	U ₃₃₅	U ₃₃₆	U ₃₃₇	U ₃₃₈	U ₃₃₉	U ₃₄₀	U ₃₄₁	U ₃₄₂	U ₃₄₃	U ₃₄₄	U ₃₄₅	U ₃₄₆	U ₃₄₇	U ₃₄₈	U ₃₄₉	U ₃₅₀	U ₃₅₁	U ₃₅₂	U ₃₅₃	U ₃₅₄	U ₃₅₅	U ₃₅₆	U ₃₅₇	U ₃₅₈	U ₃₅₉	U ₃₆₀	U ₃₆₁	U ₃₆₂	U ₃₆₃	U ₃₆₄	U ₃₆₅	U ₃₆₆	U ₃₆₇	U ₃₆₈	U ₃₆₉	U ₃₇₀	U ₃₇₁	U ₃₇₂	U ₃₇₃	U ₃₇₄	U ₃₇₅	U ₃₇₆	U ₃₇₇	U ₃₇₈	U ₃₇₉	U ₃₈₀	U ₃₈₁	U ₃₈₂	U ₃₈₃	U ₃₈₄	U ₃₈₅	U ₃₈₆	U ₃₈₇	U ₃₈₈	U ₃₈₉	U ₃₉₀	U ₃₉₁	U ₃₉₂	U ₃₉₃	U ₃₉₄	U ₃₉₅	U ₃₉₆	U ₃₉₇	U ₃₉₈	U ₃₉₉	U ₄₀₀	U ₄₀₁	U ₄₀₂	U ₄₀₃	U ₄₀₄	U ₄₀₅	U ₄₀₆	U ₄₀₇	U ₄₀₈	U ₄₀₉	U ₄₁₀	U ₄₁₁	U ₄₁₂	U ₄₁₃	U ₄₁₄	U ₄₁₅	U ₄₁₆	U ₄₁₇	U ₄₁₈	U ₄₁₉	U ₄₂₀	U ₄₂₁	U ₄₂₂	U ₄₂₃	U ₄₂₄	U ₄₂₅	U ₄₂₆	U ₄₂₇	U ₄₂₈	U ₄₂₉	U ₄₃₀	U ₄₃₁	U ₄₃₂	U ₄₃₃	U ₄₃₄	U ₄₃₅	U ₄₃₆	U ₄₃₇	U ₄₃₈	U ₄₃₉	U ₄₄₀	U ₄₄₁	U ₄₄₂	U ₄₄₃	U ₄₄₄	U ₄₄₅	U ₄₄₆	U ₄₄₇	U ₄₄₈	U ₄₄₉	U ₄₅₀	U ₄₅₁	U ₄₅₂	U ₄₅₃	U ₄₅₄	U ₄₅₅	U ₄₅₆	U ₄₅₇	U ₄₅₈	U ₄₅₉	U ₄₆₀	U ₄₆₁	U ₄₆₂	U ₄₆₃	U ₄₆₄	U ₄₆₅	U ₄₆₆	U ₄₆₇	U ₄₆₈	U ₄₆₉	U ₄₇₀	U ₄₇₁	U ₄₇₂	U ₄₇₃	U ₄₇₄	U ₄₇₅	U ₄₇₆	U ₄₇₇	U ₄₇₈	U ₄₇₉	U ₄₈₀	U ₄₈₁	U ₄₈₂	U ₄₈₃	U ₄₈₄	U ₄₈₅	U ₄₈₆	U ₄₈₇	U ₄₈₈	U ₄₈₉	U ₄₉₀	U ₄₉₁	U ₄₉₂	U ₄₉₃	U ₄₉₄	U ₄₉₅	U ₄₉₆	U ₄₉₇	U ₄₉₈	U ₄₉₉	U ₅₀₀	U ₅₀₁	U ₅₀₂	U ₅₀₃	U ₅₀₄	U ₅₀₅	U ₅₀₆	U ₅₀₇	U ₅₀₈	U ₅₀₉	U ₅₁₀	U ₅₁₁	U ₅₁₂	U ₅₁₃	U ₅₁₄	U ₅₁₅	U ₅₁₆	U ₅₁₇	U ₅₁₈	U ₅₁₉	U ₅₂₀	U ₅₂₁	U ₅₂₂	U ₅₂₃	U ₅₂₄	U ₅₂₅	U ₅₂₆	U ₅₂₇	U ₅₂₈	U ₅₂₉	U ₅₃₀	U ₅₃₁	U ₅₃₂	U ₅₃₃	U ₅₃₄	U ₅₃₅	U ₅₃₆	U ₅₃₇	U ₅₃₈	U ₅₃₉	U ₅₄₀	U ₅₄₁	U ₅₄₂	U ₅₄₃	U ₅₄₄	U ₅₄₅	U ₅₄₆	U ₅₄₇	U ₅₄₈	U ₅₄₉	U ₅₅₀	U ₅₅₁	U ₅₅₂	U ₅₅₃	U ₅₅₄	U ₅₅₅	U ₅₅₆	U ₅₅₇	U ₅₅₈	U ₅₅₉	U ₅₆₀	U ₅₆₁	U ₅₆₂	U ₅₆₃	U ₅₆₄	U ₅₆₅	U ₅₆₆	U ₅₆₇	U ₅₆₈	U ₅₆₉	U ₅₇₀	U ₅₇₁	U ₅₇₂	U ₅₇₃	U ₅₇₄	U ₅₇₅	U ₅₇₆	U ₅₇₇	U ₅₇₈	U ₅₇₉	U ₅₈₀	U ₅₈₁	U ₅₈₂	U ₅₈₃	U ₅₈₄	U ₅₈₅	U ₅₈₆	U ₅₈₇	U ₅₈₈	U ₅₈₉	U ₅₉₀	U ₅₉₁	U ₅₉₂	U ₅₉₃	U ₅₉₄	U ₅₉₅	U ₅₉₆	U ₅₉₇	U ₅₉₈	U ₅₉₉	U ₆₀₀	U ₆₀₁	U ₆₀₂	U ₆₀₃	U ₆₀₄	U ₆₀₅	U ₆₀₆	U ₆₀₇	U ₆₀₈	U ₆₀₉	U ₆₁₀	U ₆₁₁	U ₆₁₂	U ₆₁₃	U ₆₁₄	U ₆₁₅	U ₆₁₆	U ₆₁₇	U ₆₁₈	U ₆₁₉	U ₆₂₀	U ₆₂₁	U ₆₂₂	U ₆₂₃	U ₆₂₄	U ₆₂₅	U ₆₂₆	U ₆₂₇	U ₆₂₈	U ₆₂₉	U ₆₃₀	U ₆₃₁	U ₆₃₂	U ₆₃₃	U ₆₃₄	U ₆₃₅	U ₆₃₆	U ₆₃₇	U ₆₃₈	U ₆₃₉	U ₆₄₀	U ₆₄₁	U ₆₄₂	U ₆₄₃	U ₆₄₄	U ₆₄₅	U ₆₄₆	U ₆₄₇	U ₆₄₈	U ₆₄₉	U ₆₅₀	U ₆₅₁	U ₆₅₂	U ₆₅₃	U ₆₅₄	U ₆₅₅	U ₆₅₆	U ₆₅₇	U ₆₅₈	U ₆₅₉	U ₆₆₀	U ₆₆₁	U ₆₆₂	U ₆₆₃	U ₆₆₄	U ₆₆₅	U ₆₆₆	U ₆₆₇	U ₆₆₈	U ₆₆₉	U ₆₇₀	U ₆₇₁	U ₆₇₂	U ₆₇₃	U ₆₇₄	U ₆₇₅	U ₆₇₆	U ₆₇₇	U ₆₇₈	U ₆₇₉	U ₆₈₀	U ₆₈₁	U ₆₈₂	U ₆₈₃	U ₆₈₄	U ₆₈₅	U ₆₈₆	U ₆₈₇	U ₆₈₈	U ₆₈₉	U ₆₉₀	U ₆₉₁	U ₆₉₂	U ₆₉₃	U ₆₉₄	U ₆₉₅	U ₆₉₆	U ₆₉₇	U ₆₉₈	U ₆₉₉	U ₇₀₀	U ₇₀₁	U ₇₀₂	U ₇₀₃	U ₇₀₄	U ₇₀₅	U ₇₀₆	U ₇₀₇	U ₇₀₈	U ₇₀₉	U ₇₁₀	U ₇₁₁	U ₇₁₂	U ₇₁₃	U ₇₁₄	U ₇₁₅	U ₇₁₆	U ₇₁₇	U ₇₁₈	U ₇₁₉	U ₇₂₀	U ₇₂₁	U ₇₂₂	U ₇₂₃	U ₇₂₄	U ₇₂₅	U ₇₂₆	U ₇₂₇	U ₇₂₈	U ₇₂₉	U ₇₃₀	U ₇₃₁	U ₇₃₂	U ₇₃₃	U ₇₃₄	U ₇₃₅	U ₇₃₆	U ₇₃₇	U ₇₃₈	U ₇₃₉	U ₇₄₀	U ₇₄₁	U ₇₄₂	U ₇₄₃	U ₇₄₄	U ₇₄₅	U ₇₄₆	U ₇₄₇	U ₇₄₈	U ₇₄₉	U ₇₅₀	U ₇₅₁	U ₇₅₂	U ₇₅₃	U ₇₅₄	U ₇₅₅	U ₇₅₆	U ₇₅₇	U ₇₅₈	U ₇₅₉	U ₇₆₀	U ₇₆₁	U ₇₆₂	U ₇₆₃	U ₇₆₄	U ₇₆₅	U ₇₆₆	U ₇₆₇	U ₇₆₈	U ₇₆₉	U ₇₇₀	U ₇₇₁	U ₇₇₂	U ₇₇₃	U ₇₇₄	U ₇₇₅	U ₇₇₆	U ₇₇₇	U ₇₇₈	U ₇₇₉	U ₇₈₀	U ₇₈₁	U ₇₈₂	U ₇₈₃	U ₇₈₄	U ₇₈₅	U ₇₈₆	U ₇₈₇	U ₇₈₈	U ₇₈₉	U ₇₉₀	U ₇₉₁	U ₇₉₂	U ₇₉₃	U ₇₉₄	U ₇₉₅	U ₇₉₆	U ₇₉₇	U ₇₉₈	U ₇₉₉	U ₈₀₀	U ₈₀₁	U ₈₀₂	U ₈₀₃	U ₈₀₄	U ₈₀₅	U ₈₀₆	U ₈₀₇	U ₈₀₈	U ₈₀₉	U ₈₁₀	U ₈₁₁	U ₈₁₂	U ₈₁₃	U ₈₁₄	U ₈₁₅	U ₈₁₆	U ₈₁₇	U ₈₁₈	U ₈₁₉	U ₈₂₀	U ₈₂₁	U ₈₂₂	U _{823</}
---------	--	---	---	--------------------	--------------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	-----------------------

CONTENIDO NATURAL DE AGUA Y CLASIFICACION

MUESTRA		V		Vb.v		M.v		Vv		Mv		V		C L A S I F I C A C I O N					DESCRIPCION	VOL.
No.	Prof. m.	No.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	%	COLORES	gr. %	gr. %	gr. %	gr. %	gr. %	gr. %	gr. %		
9-2	6.15-6.15	77	23.73	32.17	32.68	73.49	22.96	30.22	30.22	30.22	30.22	30.22	30.22	5	1	1	0	1	ARCILLA FOCO LIMOSA	2.0
9-3	6.15-6.35	73	32.82	32.41	36.55	75.84	23.72	39.88	39.88	39.88	39.88	39.88	39.88	5	1	1	0	1	ARCILLA FOCO LIMOSA	2.6
9-4	6.35-6.45	73	29.44	30.42	49.45	60.97	39.73	39.73	39.73	39.73	39.73	39.73	39.73	5	2	2	0	2	ARCILLA FOCO LIMOSA	2.7
9A	6.45-6.46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5/R	
10-1	6.60-6.71	157	28.46	29.13	40.43	48.70	31.74	44.88	44.88	44.88	44.88	44.88	44.88	5	2	2	0	2	ARCILLA LIMOSA	
10-2	6.97-7.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5/R	
11-1	7.20-7.55	140	29.89	31.45	40.12	44.33	30.22	39.88	39.88	39.88	39.88	39.88	39.88	5	2	2	0	2	ARCILLA LIMOSA	
11-2	7.55-7.80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5/R	
12-1	7.80-8.05	253	23.08	23.94	31.66	35.38	24.83	30.65	30.65	30.65	30.65	30.65	30.65	5	2	2	0	2	ARCILLA LIMOSA	
12-2	8.05-8.25	268	22.17	21.24	46.15	70.29	35.94	40.4	40.4	40.4	40.4	40.4	40.4	5	2	2	0	2	ARCILLA	2.8
12-3	8.25-8.45	530	32.70	30.78	50.41	70.26	37.77	39.88	39.88	39.88	39.88	39.88	39.88	5	2	2	0	2	ARCILLA	2.7
12-4	8.45-8.65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5/R	
12-5	8.65-8.85	24	32.20	34.88	36.00	23.88	30.22	39.88	39.88	39.88	39.88	39.88	39.88	60	0	0	2	0	ARENA FINA LIMOSA	2.6
12A	8.85-9.10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5/R	
13-1	9.10-9.35	253	32.20	35.00	30.99	31.41	32.91	34.74	34.74	34.74	34.74	34.74	34.74	60	0	0	2	0	ARENA FINA LIMOSA	
13-2	9.35-9.60	208	30.87	30.88	47.49	58.77	36.92	37.23	37.23	37.23	37.23	37.23	37.23	5	2	2	0	2	ARCILLA LIMOSA	
13A	9.60-9.80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5/R	
14-1	9.80-9.70	269	28.47	29.19	43.72	55.44	30.22	39.88	39.88	39.88	39.88	39.88	39.88	5	2	2	0	2	ARCILLA LIMOSA	
14A	9.70-9.80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5/R	
15-1	9.80-10.15	414	33.00	33.84	78.00	80.84	41.87	39.88	39.88	39.88	39.88	39.88	39.88	5	2	2	0	2	ARCILLA	
15-2	9.80-10.15	-	30.78	34.93	56.74	68.19	28.96	39.88	39.88	39.88	39.88	39.88	39.88	5	2	2	0	2	ARCILLA COLABORANTE DE LIMO	2.0
15-3	10.15-10.35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5/R	
15-4	10.35-10.35	201	24.12	42.88	54.83	36.37	22.11	39.88	39.88	39.88	39.88	39.88	39.88	5	2	2	0	2	ARCILLA CON GRAMOS DE LIMO	2.1
15-5	10.35-10.35	242	22.16	33.81	53.88	60.23	30.42	39.88	39.88	39.88	39.88	39.88	39.88	5	2	2	0	2	ARCILLA	2.0
15A	10.35-10.35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5/R	
16-1	10.35-11.22	329	22.90	30.84	46.18	58.30	30.22	39.88	39.88	39.88	39.88	39.88	39.88	5	2	2	0	2	ARCILLA	
16A	11.22-11.40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5/R	
17-1	11.40-11.30	470	22.25	28.09	31.93	31.26	31.80	34.21	34.21	34.21	34.21	34.21	34.21	5	2	2	0	2	ARCILLA	
17A	11.30-11.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5/R	

OBRA: MIXTO LIMBA 2

OPERADOR:

CONCRETO: 9-32 MIXTO

FORMA:

Usar grado:
 0 para este o bajo
 1 para medio o alto
 2 para muy alto

CONTENIDO NATURAL DE AGUA Y CLASIFICACION

No.	PUN. N.	V	V	VH V			VH V			Vn	Vn	W	COLORES	C L A S I F I C A C I O N				DESCRIPCION	TUB.
				SP.	SP.	SP.	SP.	SP.	SP.					SP.	SP.	SP.	SP.		
1B-1	12.00-12.25	248	20.19	20.22	44.70	25.46	25.57	25.57				CAFE VERDOSO	2	2	0	2	ARCILLA	3.0	
1B-2	12.25-12.45	773	33.02	124.60	64.40	90.40	81.35	88.23				CAFE VERDOSO	2	2	0	2	ARCILLA CON POCO LIMO	3.3	
1B-3	12.45-12.65	482	32.64	31.92	36.33	75.97	73.49	88.05				CAFE VERDOSO	2	1	0	1	ARCILLA	3.1	
1B-4	12.65-12.85	364	30.70	34.24	48.50	34.34	28.02	23.95				CAFE VERDOSO	2	1	1	0	1	ARCILLA	2.2
1A	12.85-13.00	-0-															5/R		
1B-1	13.00-13.20	744	31.23	26.31	40.00	44.31	28.10	28.11				CAFE VERDOSO	2	1	1	0	1	ARCILLA CON POCO LIMO	
1B-1	13.20-13.40	214	28.80	32.43	78.27	53.50	25.25	28.00				CAFE VERDOSO	2	1	1	1	1	LIMO ARCILLOSO	
1B-1	13.40-13.60	260	24.87	32.77	83.07	43.70	43.50	29.70				CAFE VERDOSO	2	1	1	1	1	LIMO ARCILLOSO	2.5
1B-2	13.60-13.80	874	28.87	37.64	77.98	43.36	43.78	27.22				CAFE VERDOSO	2	1	1	1	1	LIMO ARCILLOSO	2.5
1B-3	13.80-14.00	242	28.08	22.41	43.35	41.94	34.20	29.72				CAFE VERDOSO	2	1	1	0	1	ARCILLA LIMOSA	2.3
1B-4	14.00-14.20	306	31.70	38.42	48.47	49.95	32.77	20.14				CAFE VERDOSO	2	1	1	0	1	ARCILLA LIMOSA	1.9
1A	14.20-14.40	-0-															5/R		
1B-1	14.40-14.60	222	22.07	31.99	57.91	40.48	23.41	23.74				CAFE VERDOSO	2	1	1	0	1	ARCILLA LIMOSA	
1A	14.60-14.80	-0-															5/R		
1B-1	14.80-15.00	222	28.36	42.50	80.20	52.10	36.10	28.28				CAFE VERDOSO	2	1	1	0	1	ARCILLA LIMOSA	
1A	15.00-15.20	-0-															5/R		
1B-1	15.20-15.40	204	23.30	26.80	66.34	41.53	28.00	24.68				VERDOSO	2	1	1	0	1	ARCILLA	3.0
1B-2	15.40-15.60	426	32.00	25.37	58.22	55.38	26.64	25.82				VERDOSO	2	1	1	0	1	ARCILLA LIMOSA	3.0
1B-3	15.60-15.80	282	28.30	24.73	80.18	74.28	22.22	28.28				VERDOSO	2	1	1	0	1	ARCILLA LIMOSA	2.9
1B-4	15.80-16.00	247	28.82	18.84	32.01	38.63	22.19	28.47				VERDOSO	2	2	2	0	2	ARCILLA	2.8
1A	16.00-16.20	-0-															5/R		
1B-1	16.20-16.40	217	28.38	24.24	49.23	44.38	25.68	28.42				VERDOSO	2	2	2	0	2	ARCILLA	
1A	16.40-17.00	-0-															5/R		
1B-1	17.00-17.20	212	24.17	28.92	57.00	58.42	22.81	28.12				VERDOSO	2	2	2	0	2	ARCILLA	
1B-1	17.20-17.40	227	21.77	25.88	42.80	42.05	19.18	28.08				VERDOSO	2	1	1	0	1	ARCILLA CON LIMO	3.0
1B-2	17.40-17.60	722	23.07	24.11	41.84	22.80	19.54	28.28				VERDOSO	2	2	2	0	2	ARCILLA	2.5
1B-3	17.60-17.80	728	23.38	25.05	45.71	25.71	25.71	28.28				VERDOSO	2	2	2	0	2	ARCILLA	2.0
1B-4	17.80-18.00	720	23.02	23.91	51.23	22.41	18.32	28.28				VERDOSO	2	2	2	0	2	ARCILLA CON POCO LIMO	2.1

GRAB: MARCO LINEA 9

OPERADOR: _____

BOBINO: 9-32 MIXTO

FECHA: _____

uno grado:
 0 para solo a bajo
 1 para medio a alto
 2 para muy alto

CONTENIDO NATURAL DE AGUA Y CLASIFICACION

MUESTRA		V	V	W&V	W&V	W	W	C L A S I F I C A C I O N				DESCRIPCION	TOR		
No.	Prof. M.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	%	ARCILLA	ARCILLA	ARCILLA	ARCILLA				
18-1	12.00-12.75	248	111.9	80.27	64.70	55.30	28.57	VERDE	5	2	2	0	2	ARCILLA	3.0
18-2	12.75-13.45	773	33.05	184.80	64.40	90.40	31.30	VERDE	5	2	2	0	2	ARCILLA CON POCO LIMO	3.3
18-3	13.45-14.15	623	32.54	131.92	56.23	72.55	29.00	VERDE	5	1	1	0	1	ARCILLA	3.1
18-4	14.15-14.85	384	20.50	124.24	48.50	66.24	26.00	VERDE	5	1	1	0	1	ARCILLA	3.2
5A	14.85-15.60	-	-	-	-	-	-							S/R	
19-1	15.60-16.30	744	21.20	125.91	60.00	66.91	28.10	VERDE	5	1	1	0	1	ARCILLA CON POCO LIMO	
20-1	16.30-17.00	214	22.14	131.42	78.25	53.43	22.25	VERDE	5	1	1	1	1	LIMO ARCILLOSO	
21-1	17.00-17.70	360	23.27	132.77	83.01	49.70	18.80	VERDE	5	1	1	1	1	LIMO ARCILLOSO	3.5
21-2	17.70-18.40	574	25.87	142.24	72.85	63.50	27.50	VERDE	5	1	1	1	1	LIMO ARCILLOSO	3.5
21-3	18.40-19.10	642	18.05	128.24	67.35	61.50	24.00	VERDE	5	1	1	0	1	ARCILLA LIMOSA	3.3
21-4	19.10-19.80	906	51.70	138.42	68.41	69.85	33.77	VERDE	5	1	1	0	1	ARCILLA LIMOSA	1.9
5A	19.80-19.80	-	-	-	-	-	-							S/R	
22-1	19.80-20.40	932	32.07	117.99	57.51	60.40	23.64	VERDE	15	1	1	0	1	ARCILLA LIMOSA	
5A	20.40-19.80	-	-	-	-	-	-							S/R	
23-1	19.80-20.40	838	28.16	148.40	60.20	52.41	21.40	VERDE	15	1	1	0	1	ARCILLA LIMOSA	
5A	20.40-20.40	-	-	-	-	-	-							S/R	
24-1	20.40-21.10	624	22.90	144.80	64.40	63.43	26.00	VERDE	5	1	1	0	1	ARCILLA	3.0
24-2	21.10-21.80	626	22.05	145.77	60.75	60.64	25.00	VERDE	5	1	1	0	1	ARCILLA LIMOSA	3.0
24-3	21.80-22.50	832	20.22	124.73	60.15	54.80	22.00	VERDE	5	1	1	0	1	ARCILLA LIMOSA	3.2
24-4	22.50-23.20	847	23.82	148.44	62.01	66.63	22.00	VERDE	5	2	2	0	2	ARCILLA	3.6
5A	23.20-23.20	-	-	-	-	-	-							S/R	
25-1	23.20-23.90	647	25.88	145.81	59.53	64.80	26.00	VERDE	5	2	2	0	2	ARCILLA	
5A	23.90-23.90	-	-	-	-	-	-							S/R	
26-1	23.90-24.60	916	24.17	148.42	61.00	68.40	22.00	VERDE	5	2	2	0	2	ARCILLA	
27-1	24.60-25.30	847	21.77	148.50	62.60	62.05	19.10	VERDE	5	1	1	0	1	ARCILLA POCO LIMOSA	3.0
27-2	25.30-26.00	720	23.02	124.11	61.64	72.00	18.00	VERDE	5	2	2	0	2	ARCILLA	3.5
27-3	26.00-26.70	788	21.20	143.80	66.05	65.71	24.71	VERDE	5	2	2	0	2	ARCILLA	4.0
27-4	26.70-27.40	720	23.02	124.11	61.23	72.00	18.00	VERDE	5	2	2	0	2	ARCILLA CON POCO LIMO	3.1

OBRA: MIKTO LINEA 9
 CONCRETO: 9-32 MIKTO

OPERADOR: _____
 PRIMA: _____

uno grado
 0 para nada o bajo
 1 para medio o alto
 2 para muy alto

CONTENIDO NATURAL DE AGUA Y CLASIFICACION

No.	prof. m.	MUESTRA	V	V	Vr + V		Wv + W		Wv	Ww	W	COLOR	C L A S I F I C A C I O N				DESCRIPCION	TDR
					gr.	gr.	gr.	gr.					gr.	gr.	gr.	gr.		
35-2	24.27-24.40	68	22.40	16.260	22.95	46.46	23.50	55.83	VERDE VERDE	10	1	1	1	1	LIMO ARCILLOSO	2.5		
36-1	24.60-24.80	67B	20.60	12.61	23.14	71.47	22.43	23.71	VERDE VERDE	5	2	2	0	2	ARCILLA	2.6		
36-2	24.80-25.00	-0-							VERDE VERDE	5	2	2	0	2	ARCILLA	2.0		
36-3	24.80-25.00	753	22.91	12.78	21.04	121.71	19.13	20.36	VERDE VERDE	5	2	2	0	2	ARCILLA	4.5		
36-3	25.00-25.20	434	24.44	12.16	21.42	90.79	21.28	22.33	VERDE VERDE	5	2	2	0	2	ARCILLA	2.0		
36-4	25.20-25.40	675	22.63	12.22	24.00	99.17	20.22	20.81	VERDE VERDE	5	2	2	0	2	ARCILLA			
37A	25.40-25.60	-0-													5/2			
37-1	25.60-25.80	33	23.61	12.50	22.60	81.90	22.06	22.60	VERDE VERDE	5	2	2	0	2	ARCILLA			
37A	25.80-26.00	-0-													5/2			
38-1	26.10-26.30	245	22.02	12.20	24.61	80.19	13.52	21.73	VERDE VERDE	5	2	2	0	2	ARCILLA			
38-1	26.30-26.50	484	20.68	12.70	22.53	128.17	22.80	22.91	VERDE VERDE	5	2	2	0	2	ARCILLA			
39-2	26.95-27.20	-0-																
39-2	26.95-27.20	2020	20.78	12.26	22.09	124.03	21.34	22.00	VERDE VERDE	5	2	2	0	2	ARCILLA	4.5		
39-3	27.20-27.40	138	22.28	11.27	24.80	66.47	22.92	23.46	VERDE VERDE	5	2	2	0	2	ARCILLA	4.5		
39-4	27.40-27.60	117	20.94	12.28	22.90	72.99	22.12	22.65	VERDE VERDE	5	2	2	0	2	ARCILLA	2.6		
40-1	27.60-27.80	248	22.48	11.24	24.80	68.24	16.15	22.73	VERDE VERDE	5	2	2	0	2	ARCILLA	2.6		
41-1	28.00-28.20	483	20.63	12.26	22.80	74.16	22.16	22.28	VERDE VERDE	5	2	2	0	2	ARCILLA			
41A	28.20-28.40	-0-													5/2			
42-1	28.60-28.80	645	22.02	12.23	22.28	83.92	21.12	22.11	VERDE VERDE	5	2	2	0	2	ARCILLA	4.5		
42-2	28.80-29.00	267	20.68	12.12	20.23	78.22	22.62	22.68	VERDE VERDE	5	2	2	0	2	ARCILLA	4.7		
42-3	29.30-29.50	891	24.43	12.20	22.85	70.42	11.42	22.77	VERDE VERDE	5	2	2	0	2	ARCILLA	4.1		
42-4	29.60-29.70	132	20.48	12.39	22.78	70.27	22.30	22.33	VERDE VERDE	5	2	2	0	2	ARCILLA	3.4		
43-1	29.70-29.77	124	20.63	12.23	21.84	69.62	21.29	21.62	VERDE VERDE	5	2	2	0	2	ARCILLA			
43-2	29.77-29.80	-0-													5/2			
44-1	29.80-29.77	120	22.25	12.29	22.27	62.42	22.22	22.02	VERDE VERDE	5	2	2	0	2	ARCILLA			
44-2	29.77-29.80	-0-													5/2			
45-1	30.30-31.15	700	22.23	11.22	22.82	72.40	22.73	22.73	VERDE VERDE	5	1	1	0	1	ARCILLA POCO LIMBA	4.6		
45-2	31.15-31.35	730	22.82	12.22	24.63	74.16	22.01	22.61	VERDE VERDE	5	2	2	0	2	ARCILLA	2.3		
45-3	31.35-31.65	746	32.79	12.14	24.39	92.78	22.02	22.42	VERDE VERDE	5	2	2	0	2	ARCILLA	5.0		

OBRA: MARCO LINEA 9

OPERADOR: _____

SONDO: 9-32 MKTO

FECHA: _____

masa grado:
 0 por debajo de 60µ
 1 entre 60µ a 75µ
 2 por encima de 75µ

CONTENIDO NATURAL DE AGUA Y CLASIFICACION

MUESTRA	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	C L A S I F I C A C I O N E S					DESCRIPCION	VAL.
											COLOS	PHOS	AMM	NO3	NO2		
No.	prof. m.	No.	gr.	gr.	gr	gr	gr	gr	gr	gr	%	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
5/A	31.55-31.80	-0-															5/R
46-1	31.80-32.34	804	31.89	83.26	54.56	61.70	19.67	82.28				5	1	1	0	1	ARCILLA POCO LIMPIA
4/A	32.34-32.40	-0-															5/R
47-1	32.40-32.88	872	31.67	80.25	41.59	62.44	48.72	76.10				3	2	2	0	2	ARCILLA
4/A	32.88-33.00	-0-															5/R
48-1	33.00-33.55	857	33.70	73.16	38.01	77.18	27.31	88.25				5	2	2	0	2	ARCILLA
48-2	33.55-34.18	671	37.48	28.77	40.77	64.00	35.07	87.42				5	2	2	0	2	ARCILLA CON POCO LIMO
48-3	34.18-34.48	174	32.07	70.40	30.81	42.87	48.28	86.72				3	2	2	0	2	ARCILLA
48-4	34.48-34.88	60	32.45	205.00	28.97	69.05	82.32	83.9				5	2	2	0	2	ARCILLA
4/A	34.88-35.90	-0-															5/R
49-1	35.90-34.33	376	30.68	21.60	18.26	69.74	81.08	68.80				5	2	2	0	2	ARCILLA
4/A	34.33-34.90	-0-															5/R
50-1	34.90-38.00	405	37.44	87.02	30.26	62.06	16.80	88.8				5	2	2	0	2	ARCILLA
4/A	38.00-38.00	-0-															5/R
51-1	38.10-38.36	187	36.43	210.07	139.87	70.20	33.44	89.83				5	1	1	0	1	ARCILLA CON POCO LIMO
51-2	38.36-38.58	130	37.86	130.07	111.55	78.52	85.09	88.87				5	2	2	0	2	ARCILLA
51-3	38.58-38.76	274	30.72	119.17	51.93	62.24	211.4	88.07				5	2	2	0	2	ARCILLA
51-4-1	38.76-38.98	60										5	2	2	0	2	ARCILLA
51-4-2	38.98-38.98	604	31.81	82.49	22.85	59.74	18.74	82.48				5	2	2	0	2	ARCILLA
4/A	38.98-39.00	-0-															5/R
52-1	39.00-39.51	885	37.60	148.10	88.72	90.30	81.09	86.42				5	2	2	0	2	ARCILLA
52-1	39.51-39.60	-0-															5/R
53-1	39.60-39.80	164	31.08	87.40	64.09	39.31	83.01	74.16				5	1	1	0	1	ARCILLA POCO LIMPIA
53-2	39.80-39.12	126	32.47	83.07	118.72	21.35	89.25	88.48				5	1	1	0	1	ARCILLA POCO LIMPIA
4/A	39.12-39.60	-0-															5/R
54-1	39.60-39.65	800	31.50	33.58	82.75	62.83	81.25	83.08				5	1	1	0	1	ARCILLA

OBRA: MUELLO LINEA 9

OPERADOR: _____

BOBINO: 9-32 MURCO

FECHA: _____

usos grado:
 0 para uso a bajo
 1 para medio a alto
 2 para uso alto

FIG. No. 2.12. 6.

CONTENIDO NATURAL DE AGUA Y CLASIFICACION

MUESTRA	V	V	W ₆₀₋₆	W ₄₀₋₂₀	W ₂₀	W ₁₀	W	COLOR	C L A S I F I C A C I O N					DESCRIPCION	TUB.
									Finos %	Medios 0.075	Gruesos 0.425	Gruesos 0.850	Gruesos 1.750		
54-2-1	37.45-37.45	--							5	1	1	0	1	ARCILLA	
54-2-2	37.45-37.45	500	82.17	127.21	122.81	3.40	31.64	33.53	12	1	1	1	1	LIMO ARCILLOSO CON POCO ARENA	7.0
54-3	37.45-37.45	563	82.67	126.81	121.90	24.91	69.36	35.91	12	1	1	1	1	LIMO ARCILLOSO CON POCO ARENA	6-2
54-4	37.45-38.65	633	73.89	142.26	128.77	36.49	25.80	38.06	15	1	1	1	1	LIMO ARCILLOSO CON POCO ARENA	6-3
S/M	38.05-38.10	--												SR	
55-1	38.10-38.45	670	67.61	226.13	185.92	40.21	78.3	54.36	15	1	1	0	1	ARCILLA LIMOSA CON POCO ARENA	
S/M	38.65-38.70	--												SR	
56-1	38.70-39.40	619	30.04	24.88	88.53	36.38	57.68	63.01	5	1	1	0	1	ARCILLA LIMOSA	
S/M	39.10-39.15	--												SR	
S/M	39.15-39.20	--												AVANCE	
57-1	39.20-39.24	54	25.73	128.21	145.72	22.22	72.33	68.55	5	1	1	0	1	ARCILLA LIMOSA	
S/M	39.70-39.90	--												SR	

OBRA: _____

OPERADOR: _____

SONDO: _____

FECHA: _____

uno grado
0 por ciento o bajo
1 para medio cent
2 para un snt

SONDEO	Prof. media	W	LL	L.P.	I.P.	Cr.	CLASIF.	
	m	%	%	%	%	---	S.U.C.S.	
M9-32	1.50	48.50	65.45	36.08	29.37	0.58	MH	
	2.00	47.85	63.30	52.07	11.23	1.38		
	3.70	66.26	83.22	50.01	33.21	0.51		
	3.95	60.62	94.45	46.85	47.60	0.71		
	4.75	132.07	121.78	36.16	83.60	0.12	CH	
	5.80	319.19	327.98	71.05	256.93	0.03		
	6.05	320.22	291.98	70.93	221.05	-0.13		
	6.80	414.62	367.75	71.32	296.43	-0.16		
	8.35	395.50	473.50	67.19	406.31	0.19		
	9.50	395.50	403.00	99.04	303.96	0.03		
	10.05	339.71	380.40	72.81	307.59	0.13		
	10.50	331.45	330.30	70.08	230.22	-0.40		
	10.45	374.56	472.00	69.98	402.02	0.24		
	12.55	288.36	283.00	48.05	234.83	-0.03		
	14.20	99.70	100.35	65.36	34.99	0.02		MH
	14.80	207.14	243.50	44.22	199.26	0.19		CH
	16.55	99.02	358.00	92.71	265.29	0.98		
	16.75	388.03	413.00	78.87	336.13	0.07		
	16.95	435.47	460.50	87.99	402.51	0.06		

W = contenido natural de agua
LL = Límite líquido
L.P. = Límite plástico
I.P. = índice plástico
Cr. = Consistencia relativa

LIMITES DE CONSISTENCIA

U. N. A. M.	
ENEP ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	
PEDRO A. OLVERA C. TESIS	
PROFESIONAL	
MEXICO, D.F.	SIN ESCALA
FIG. No. 2.13.1.	

SONDEO	Prof. media	W	L.L.	L.P.	I.P.	Cr	CLASIF.	
	m	%	%	%	%	-----	S.U.C.S.	
M9-32	17.35	407.40	378.50	88.93	289.37	-0.11	CH	
	18.70	391.32	508.60	73.30	433.30	0.27		
	19.10	397.48	372.00	49.33	322.68	-0.08		
	20.80	261.67	243.20	67.67	175.33	-0.11		
	21.05	136.78	225.80	69.41	158.19	0.44		
	21.35	290.76	294.10	58.48	234.62	0.01		
	22.80	298.04	307.10	80.27	226.83	0.04		
	25.10	367.38	353.90	77.88	275.92	-0.03		
	25.30	328.16	309.80	70.32	239.28	-0.08		
	25.80	338.71	354.80	86.94	267.96	-0.01	CH	
	27.10	341.00	405.70	71.92	331.78	0.19		
	27.90	428.73	413.50	409.36	304.14	-0.05		
	29.60	301.33	355.20	92.08	263.14	0.20		
	31.25	336.94	202.50	55.71	146.79	-0.92		
	33.15	282.50	285.40	95.12	190.28	0.02		MN
	33.80	293.70	267.50	56.08	211.42	-0.12		CH
	35.90	302.63	293.70	102.63	191.07	-0.05		MN
	37.75	35.91	33.16	25.60	7.86	-0.36		ML
37.95	38.06	41.00	31.80	9.20	0.32			

W Contenido natural de agua

L.L. Límite líquido

L.P. Límite plástico

I.P. Índice plástico

Cr. Consistencia relativa = $\frac{L.L. - W}{I.P.}$

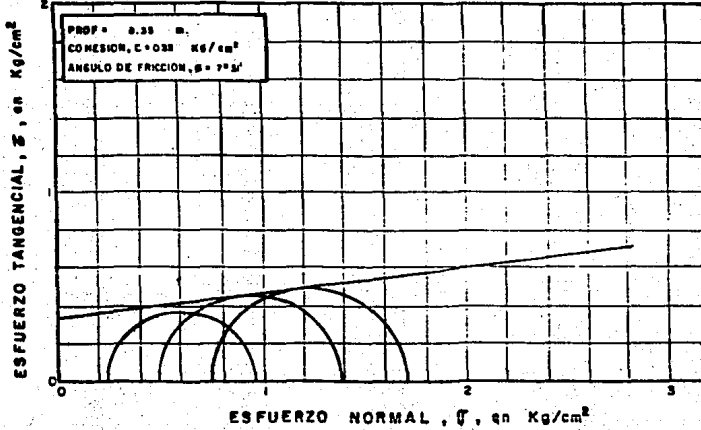
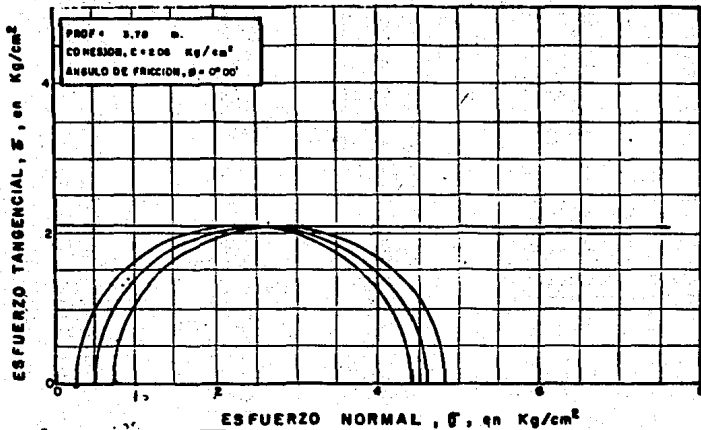
LIMITES DE CONSISTENCIA

U. N. A. M.	
ENEP ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	
PEDRO A. OLVERA C.	TESIS
PROFESIONAL	
MEXICO, D.F.	SEM ESCALA FIG. No. 2.13.2

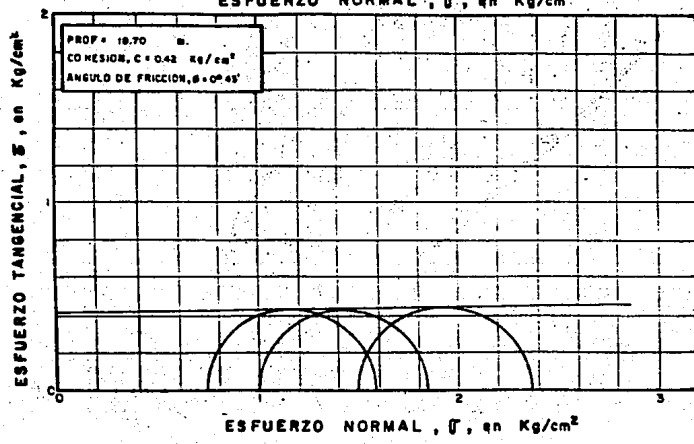
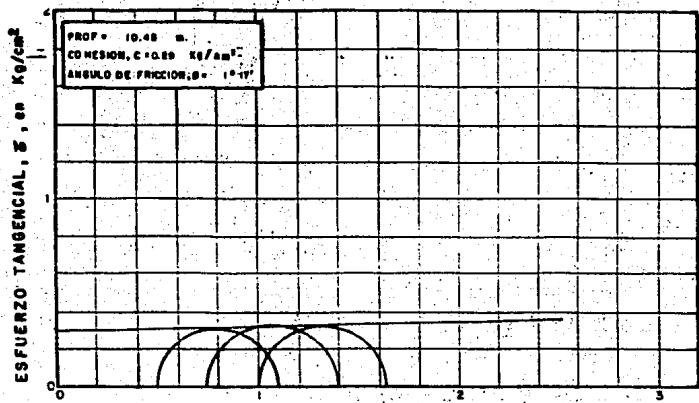
Prof.	Número de Sábidos	Relación de valores		Grado de Retención	Límite Líquido	Límite Plástico	Deforma- ción	Esfuerzo Principal		P 60 o Volumé- tricos	CLASIF. S. U. C. B.
		W ₁	W ₂					W ₃	W ₄		
(m)	—	—	%	%	%	%	%	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	
370	2.51	1.83	71.67	98.32	83.22	50.01	5.68	0.25	4.44	1521	MH
		1.92	74.76	97.78			7.40	0.50	4.62	1499	
		1.93	75.98	98.81			4.80	0.75	4.87	1506	
833	2.17	8.61	396.03	99.93	473.50	67.19	6.00	0.25	0.97	1121	CH
		8.92	410.10	99.85			8.15	0.50	1.39	1117	
		8.53	396.48	100.94			8.18	0.75	1.72	1132	
1045	2.22	8.54	382.44	99.25	472.0	69.98	7.40	0.50	1.11	1119	CH
		7.14	312.56	97.04			9.00	0.75	1.41	1122	
		7.95	353.18	98.49			8.40	1.00	1.64	1124	
1870	2.33	7.61	331.28	101.38	508.60	73.30	6.10	0.75	1.59	1164	CH
		7.81	343.20	102.38			7.37	1.00	1.84	1170	
		7.75	341.22	102.45			8.23	1.50	2.37	1174	
2285	2.44	6.80	279.69	100.38	302.10	80.27	3.63	1.00	1.94	1188	CH
		7.19	295.65	100.24			3.61	1.50	2.60	1179	
		6.99	288.52	100.75			6.00	2.00	3.10	1185	
2710	2.54	7.47	294.63	100.26	403.70	71.92	4.35	1.00	2.04	1184	C.H
		7.44	294.17	100.49			6.23	1.50	2.48	1186	
		8.56	336.15	99.89			3.65	2.00	3.02	1160	

COMPRESION TRIAXIAL RAPIDA

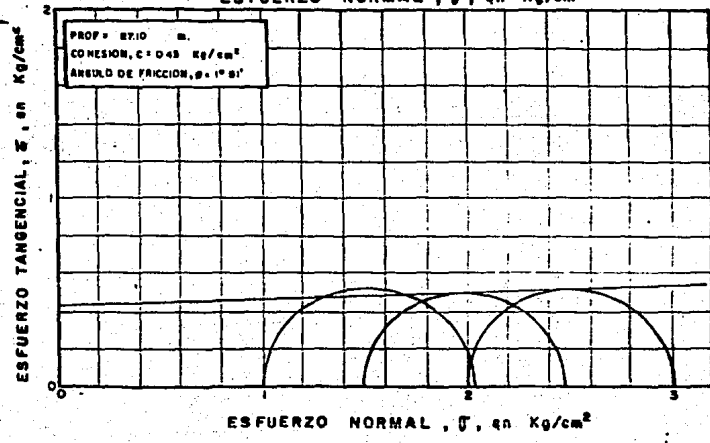
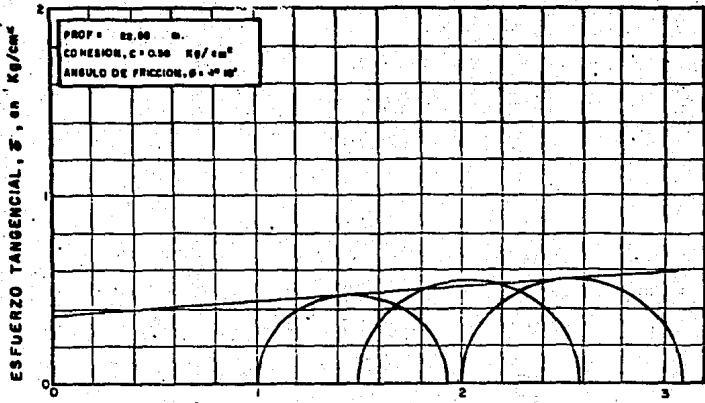
U. N. A. M.	
ENEP ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	
PEDRO A. OLVERA C.	TESIS PROFESIONAL
MEXICO, D. F. SIN ESCALA	FIG. No. 2.14



U. N. A. M.	
ENEP ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	
PEDRO A. OLVERA C.	TESIS PROFESIONAL
MEXICO, D.F. SIN ESCALA FIG. No. 2.15.1.	



U. N. A. M.	
ENEP ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	
PEDRO A. OLVERA C.	TESIS
PROFESIONAL	
MEXICO, D.F. SIN ESCALA FIG. No. 2.15.2.	



U. N. A. M.	
ENEP ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	
PEDRO A. OLVERA C.	TESIS
PROFESIONAL	
MEXICO, D.F. SIN ESCALA	FIG. No. 2.15 3.

Densidad	Prof.	Densidad de Sólidos de	Contenido de Agua W %	Grado de Saturación %	Retención de Agua o	Diferencia de Volumen %	Relación de Compresión $\frac{e_0}{e}$	Peso Volumétrico		Permeabilidad S.U.C.G.
								Humido $\frac{W}{100}$	Seco $\frac{W_s}{100}$	
	3.90	2.54	77.70	83.83	2.36	3.78	1.09	1342	758	MH
	6.05	2.35	350.28	98.42	7.88	3.11	0.88	1138	264	
	10.05	2.17	354.22	98.09	7.84	3.20	0.88	1116	246	
	12.35	2.41	253.05	98.05	6.21	3.55	0.85	1178	334	
	14.80	2.42	216.97	93.84	5.59	2.81	0.16	1163	367	
	16.95	2.48	254.35	97.28	6.69	3.69	0.80	1174	331	
M9-32	19.10	2.35	306.89	98.15	7.33	2.78	0.46	1148	282	CH
	20.80	2.43	246.39	100.06	5.99	3.50	0.82	1206	348	
	25.30	2.38	361.12	99.85	8.60	4.44	0.88	1142	248	
	29.60	2.26	357.97	99.31	8.16	2.40	0.70	1132	247	
	33.80	2.37	290.42	99.97	6.88	3.92	1.80	1173	301	
	35.90	2.35	282.18	97.92	6.77	2.78	0.41	1155	302	MH
	37.95	2.61	38.89	87.92	1.10	2.83	1.59	1706	1246	ML

COMPRESION SIMPLE

U. N. A. M.	
ENEP ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	
PEDRO A. OLVERA C.	TESIS PROFESIONAL
MEXICO, D.F. SIN ESCALA	FIG. No. 2.16

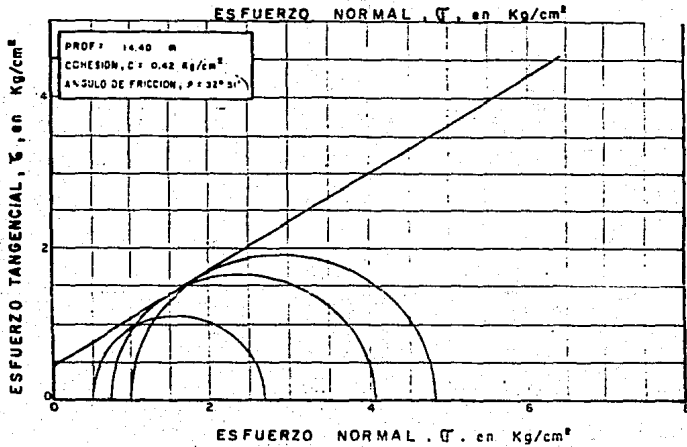
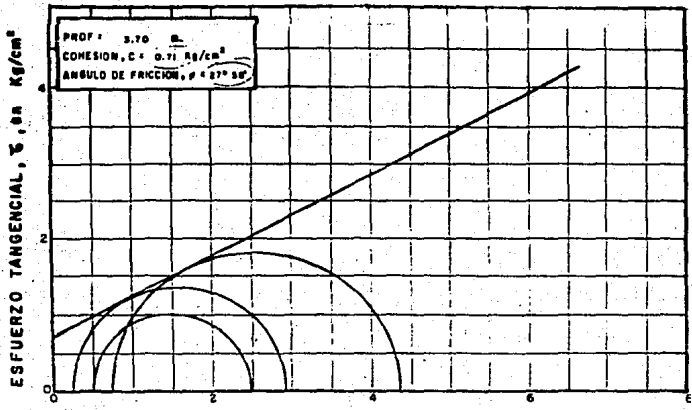
Unidad de Pruebas	Número de	Relación de vacíos	Contenido de agua				Grado de saturación		Límite Líquido	Límite Plástico	Plasticidad	Esfuerzo Principal		Peso Volúmico Natural	CLASIF. S.U.C.S.
			Intelect	Intelect	Físcal	Físcal	Intelect	Físcal				σ ₁	σ ₂		
			%	%	%	%	%	%							
cm ³	2.47	—	2.90	97.28	97.38	82.75	83.58	177.65	35.80	—	5.44	0.50	2.70	1248	CH
			2.72	97.30	96.42	88.46	87.94				3.43	0.75	4.10	1311	
			2.88	103.32	101.55	88.64	87.23				5.00	1.00	4.83	1294	
cm ³	2.62	—	2.39	85.39	86.46	93.71	95.07	83.22	30.01	—	7.40	0.25	2.93	1434	MH
			2.34	82.37	85.00	96.55	95.46				8.35	0.50	2.43	1460	
			2.28	81.53	79.42	94.24	91.81				6.18	0.73	4.39	1449	

COMPRESION TRIAXIAL CONSOLIDADA RAPIDA

PROF.	Número de	Relación de	Contenido de agua				Grado de saturación		Límites		coeficiente de compresión	Presión de agua	Carga de consolidación	CLASIFICACION S.U.C.S.
			Intelect	Intelect	Físcal	Físcal	Intelect	Físcal	Líquido	Plástico				
cm ³	cm ³	cm ³	%	%	%	%	%	LL	LP	σ _v	σ _v	P _c		
1025	2.38	11.67	48.92	410.97	100.18	—	300.30	70.08	—	1.50	4.18	1.40	CH	
16.75	2.47	5.55	223.27	198.57	99.18	—	415.00	78.67	—	1.51	1.50	1.15	CH	
21.16	2.30	6.48	281.46	254.07	100.31	—	—	—	—	2.25	1.25	0.98	CH	
25.10	2.34	8.72	370.07	323.72	98.07	—	353.50	77.98	—	2.19	1.25	1.05	CH	
31.25	2.48	5.58	228.67	221.68	98.55	—	202.50	55.71	—	—	—	1.40	CH	

ENSAYES DE COMPRESIBILIDAD

U. N. A. M.	
ENEP ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	
PEDRO A. OLVERA C.	TESTES PROFESIONAL
MEXICO, D. F. 91N ESCALA	Fig. No. 2-17



U. N. A. M.	
ENEP ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	
PEDRO A. OLVERA C.	TESIS
MEXICO, D.F. SIN ESCALA FIG. No. 2.18	

CAPITULO III. SELECCION DEL TIPO DE ESTRUCTURA.

A. Soluciones de estructura subterránea.

Mediante exploraciones recientes, efectuadas en su mayoría con objeto de estudiar cimentaciones de estructuras dentro de la ciudad de México, se ha logrado una información -- bastante precisa de las características estratigráficas y mecánicas que presenta el subsuelo en el área urbana (ref. 8).

Con base en lo anterior, la consolidación de los mantos arcillosos a través del tiempo fué muy importante para la selección del tipo de estructura más conveniente para el Metro. Tres posibles soluciones de estructura subterránea son, ver figura No. 3.1:

1.- El cajón rectangular.

Desplantado a profundidad mínima, de sección similar a la de los pasos a desnivel existentes en la ciudad.

2.- El túnel semiprofundo.

Desplantado a 15 m.

3.- El túnel profundo.

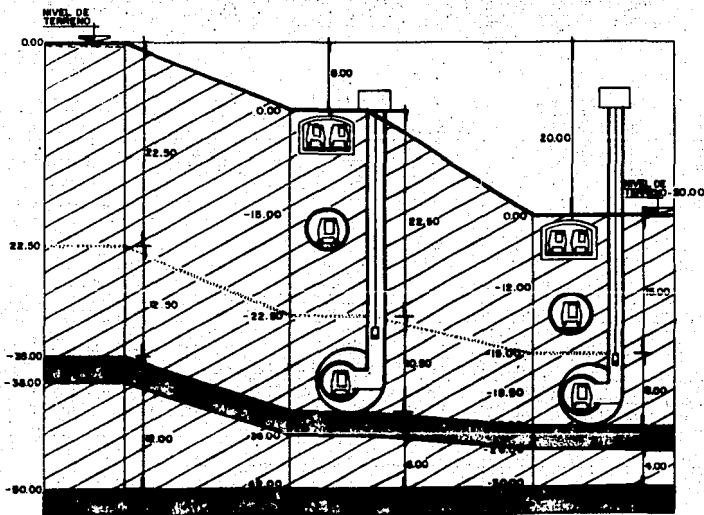
Apoyado en la capa dura.

CONSOLIDACION RELATIVA DE LOS MANTOS ARCILLOSOS

1890

1966

2100



SIMBOLOGIA :

-  ARCILLAS
-  LIMOS
-  ARENAS
-  CAPA DURA

COMPORTAMIENTO DE TRES POSIBLES SOLUCIONES DE ESTRUCTURA SUBTERRANEA

U. N. A. M.

ENEP ACATLAN

INGENIERIA CIVIL

PEDRO A. OLVERA C. TESIS PROFESIONAL

MEXICO, D.F. SIN ESCALA FIG. No. 3.1

Se determinó que, independientemente de los costos y -- de los problemas de construcción, que se incrementan con la profundidad, los tres tipos de estructuras tendrían comportamientos distintos ante el hundimiento general de la ciudad.

Las estructuras en cajón, construidas bajo el sistema -- de cimentación compensada, se hundirían paralelamente con la ciudad, sin afectar notablemente la operación del sistema y requerirían gastos mínimos de conservación.

El túnel semiprofundo, sufriría asentamiento retardados en comparación con el hundimiento general de la superficie los que se traducirían en una tendencia a emerger de las estructuras de acceso a las estaciones; tendencia que sería todavía mayor en el caso del túnel profundo apoyado en la capa dura. Si bien es cierto que el conducto circular no llegaría nunca a salir a la superficie, si lo harían las estructuras de acceso a los andenes, las que se comportarían como -- los edificios desplantados sobre pilotes apoyados en capas -- resistentes, que emergen del terreno al descender éste.

Era evidente que un fenómeno de tal naturaleza obligaría a constantes y costosas modificaciones periódicas, para mantener el nivel de los accesos igual al del terreno.

Los túneles en arcilla podrían haberse construido por el método de escudo, pero la ejecución de estaciones profundas en suelos arcillosos, ofrecía problemas muy complejos en todos los aspectos.

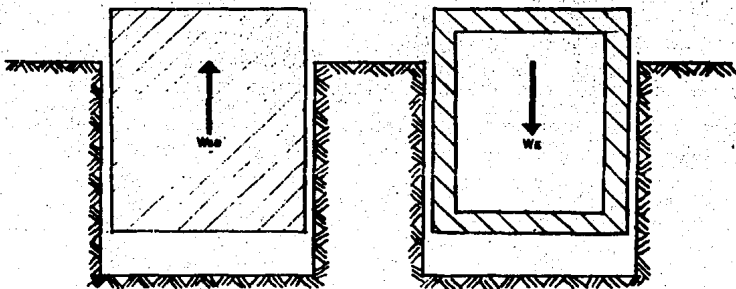
Por las razones anteriores, reforzadas con la experiencia obtenida en la construcción del paso a desnivel de Tlaxcoaque en pleno corazón de la ciudad, así como por las ventajas en costo, tiempos de ejecución y eficiencia en la operación del sistema, se decidió que la solución más conveniente consistía en que las vías del Metro se alojarán dentro de estructuras subterráneas o cajones desplantados a profundidad mínima.

B. Cimentación compensada.

El diseño de los conductos subterráneos, se basa en el principio de la cimentación compensada. Este consiste fundamentalmente, en lograr que el peso de la estructura por construir sea equivalente al peso de la tierra excavada.

Este sistema ha sido y continúa siendo empleado en la ciudad de México.

Dentro de este procedimiento constructivo pueden presentarse "3 casos de compensación", ver figura No. 3.2:



W_{so} = Peso del suelo excavado

W_c = Peso de la estructura

a) COMPENSACION TOTAL $W_{so} = W_c$

b) COMPENSACION PARCIAL $W_{so} < W_c$

c) SOBRECENSACION $W_{so} > W_c$

COMPORTAMIENTO A LARGO PLAZO

(EQUILIBRIO)

(HUNDIMIENTO)

(EXPANSION)

ANALISIS DE COMPENSACION

U. N. A. M.	
ENEP ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	
PEDRO A. OLVERA C.	TESIS
PROFESIONAL	
MEXICO, D. F.	SIN ESCALA
FIG. No. 3.2.	

1. Que la estructura resulte de un peso mayor al de la -- tierra desalojada, caso que se denomina como "estructura parcialmente compensada".
2. Que la estructura resulte de un peso menor que el de la -- tierra excavada, teniéndose entonces una diferencia -- que se conoce como "sobrecompensación".
3. Que la compensación entre los pesos mencionados se lo-- gre completamente.

En el primer caso, la estructura se hunde más rápida-- mente que el subsuelo.

En el segundo, la estructura tiende a emerger por hun-- dirse a menor velocidad que el terreno. El tercer caso, es la solución ideal y por ello, la tendencia general de un pro-- yecto deberá estar siempre enfocada a lograr la mejor compen-- sación.

Se conocen diversos métodos constructivos aplicables a la ejecución de las estructuras subterráneas, analizadas to-- das para efectuar la excavación desde la parte superior y a la mínima profundidad posible, con la menor alteración de - las condiciones naturales del terreno.

Desde la etapa de anteproyecto en la que se hicieron los primeros tanteos para dimensionar las estructuras del Metro, se vió que las secciones estructurales necesarias para resistir todas las condiciones de carga previsibles en los tramos de cajón y en mayor medida en las estaciones, pesaban considerablemente menos que el suelo excavado para construirlas.

Cuando esta condición se presenta en las arcillas de la ciudad de México, se sabe por experiencia que las estructuras emergen respecto a la superficie del terreno a través del tiempo, como consecuencia de la expansión lenta que sufren las arcillas subyacentes al quedar descargadas respecto al peso propio de los materiales que serán desalojados al construir las estructuras. La magnitud de la expansión final depende del valor de la descarga neta, de las dimensiones del área descargada y de la expansibilidad de las arcillas y puede predecirse, en forma aproximada, aplicando la teoría de Boussinesq y los resultados de las pruebas de consolidación de laboratorio.

Observaciones del comportamiento de cimentaciones realizadas en la ciudad, muestran que durante el tiempo de la construcción, al hacer una excavación se produce un levantamiento brusco del fondo del área excavada en el momento de retirar el volumen de material. Si la excavación se deja abierta por algún tiempo, el proceso de expansión continúa

a menor velocidad. Al volver a cargar el terreno con el peso de la cimentación y la estructura se produce un asentamiento por recuperación de la expansión. Este proceso ocurre lentamente, resultando la magnitud del asentamiento sensiblemente igual al de la expansión total medida durante la construcción, para el caso de cimentación "compensada".

Cuando se trata de cimentaciones "sobrecompensadas", la recuperación puede ser parcial o nula, cuando el valor de la descarga permanente no exceda de un determinado valor.

El comportamiento de una cimentación de este tipo no sólo depende de los factores mencionados, sino que esta afectada también por la forma como se desarrolla la excavación y el colado del concreto. Así, a medida que las áreas de las etapas por excavar sean mayores, y se prolongue el tiempo que el terreno permanece descargado, la expansión total acumulada es también mayor.

El problema consiste en determinar cual es la sobrecompensación tolerable, que produzca la mínima expansión durante la construcción y el menor asentamiento después de concluida la obra.

C. Alternativas de construcción.

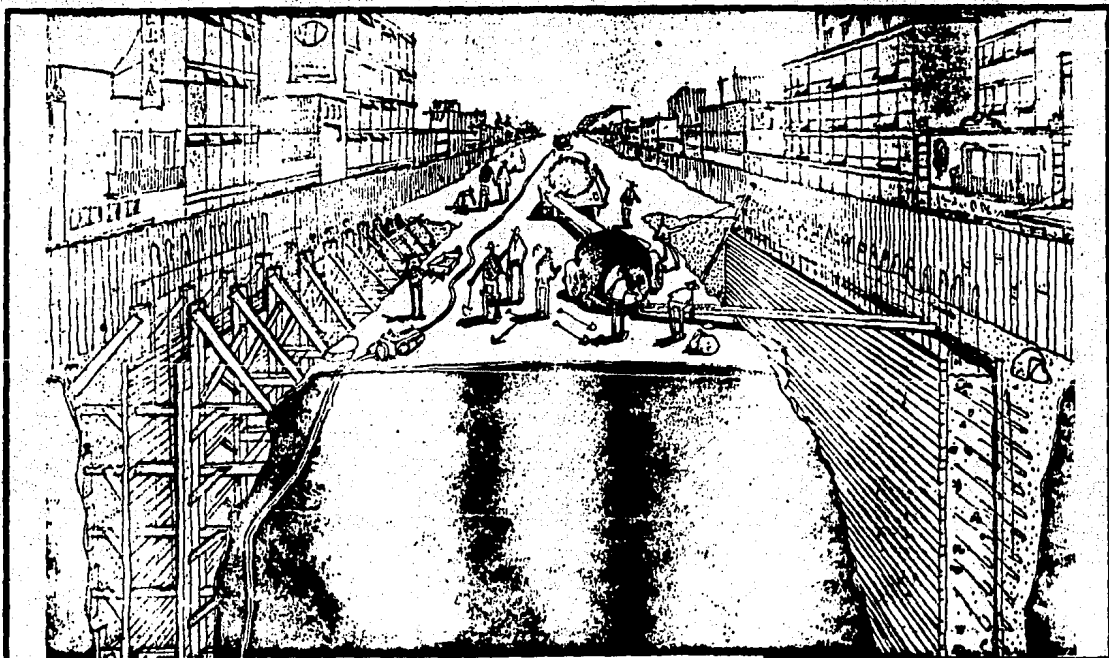
La estructura podría construirse haciendo primeramente los muros laterales y posteriormente las losas de piso y cubierta o bien, todo el conjunto en una sola etapa.

Para la ejecución de los muros laterales, se contaba con:

1. El método de las trincheras, ver figura No. 3.3.
2. El método de muros colados en sitio, ver figura No. 3.4.

Para construir las losas de piso y cubierta, así como para efectuar la excavación del volumen de tierra comprendido entre los muros se planteaban las siguientes alternativas:

1. Construir la losa superior inmediatamente después de -- los muros, excavar la parte inferior (como si se tratase de un túnel) y colar finalmente la losa de piso, ver figura No. 3.5.
2. Realizar la excavación desde la parte superior troqueando los muros y, una vez terminada, proceder a la -- construcción de las losas de piso y cubierta, ver figura No. 3.6.



CONSTRUCCION DE MUROS POR
SISTEMA DE TRINCHERAS

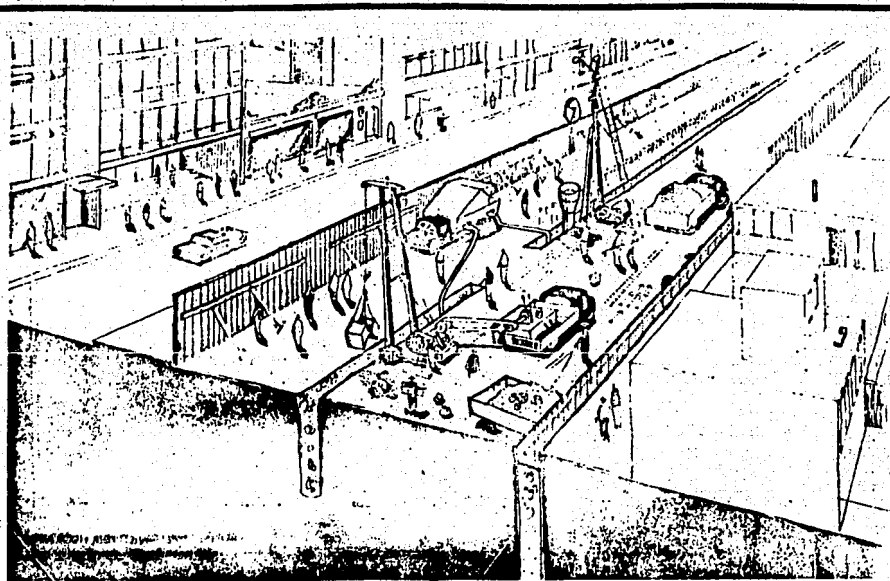
U. N. A. M.

ENEP ACATLAN

INGENIERIA CIVIL

PEDRO A. OLVERA C. TESIS

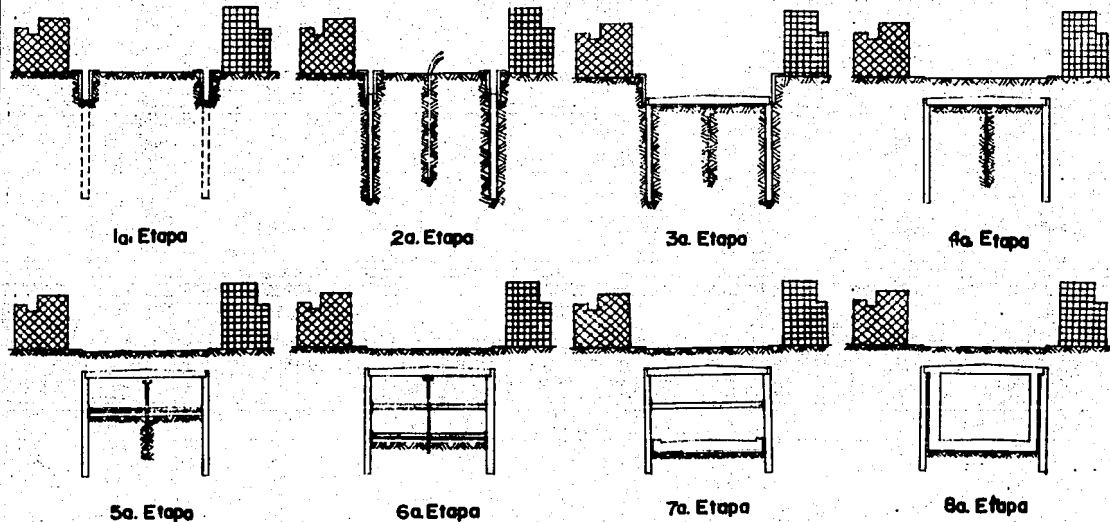
MEXICO D. F. SIN ESCALA FIG. No. 3.3



PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE
MUROS COLADOS EN SITIO

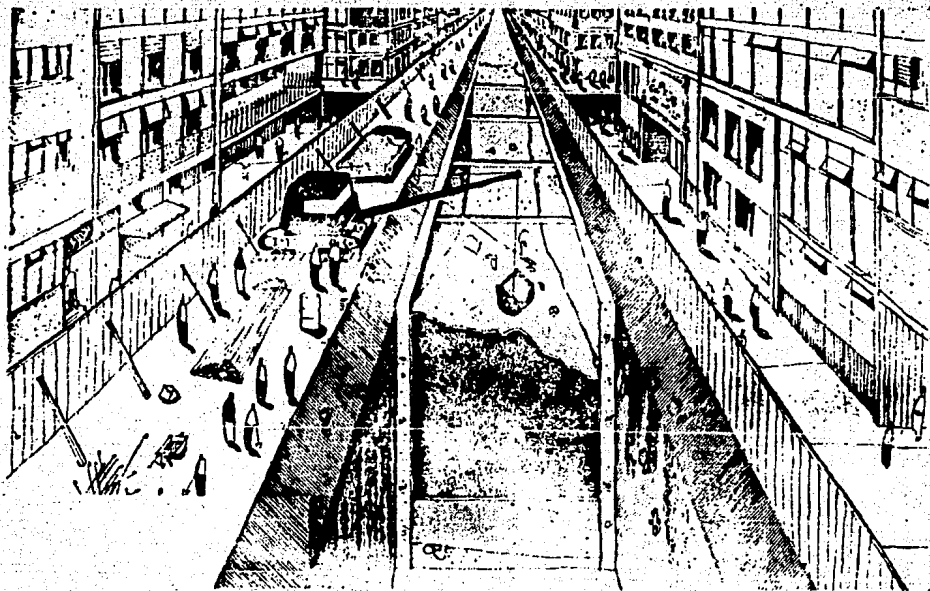
U. N. A. M.	
ENEP ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	
PEDRO A. OLVERA C.	TESIS
PROFESIONAL	
MEXICO, D.F.	SIN ESCALA FIG. No. 3.4

TUNELEO FALSO



- 1a. Etapa: Construcción de brocales
 2a. Etapa: Colado de tableros de acompañamiento
 3a. Etapa: Excavación y construcción de la losa superior
 4a. Etapa: Colocación de relleno y restauración del pavimento
 5a. Etapa: Excavación por "tuneles" y colocación del primer nivel de trapezales
 6a. Etapa: Excavación por "tuneles" y colocación del segundo nivel de trapezales
 7a. Etapa: Excavación hasta el nivel máximo de proyecto, estado de plantilla y construcción de losa inferior; retiro del segundo nivel de trapezales
 8a. Etapa: Colado de los muros del esjón y retiro del primer nivel de trapezales.

U. N. A. M.	
ENEP ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	
PEDRO A. OLVERA C.	TESIS
PROFESIONAL	
MEXICO, D. F. SIN ESCALA FIG. No. 5.5	



PROCEDIMIENTO DE EXCAVACION EFECTUADO
DESDE LA PARTE SUPERIOR

U. N. A. M.

ENEP ACATLAN

INGENIERIA CIVIL

PEDRO A. OLVERA C. TESIS

PROFESIONAL

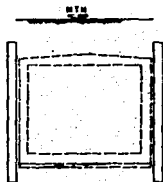
MEXICO, D. F. SIN ESCALA FIG. No. 3.6

Para construir la estructura en una sola etapa, debe hacerse una excavación a cielo abierto:

1. Del ancho total de la sección, con paredes verticales soportadas con tablestacas troqueladas de lado a lado, ver figuras Nos. 3.7 y 3.8.
2. Con taludes naturales o estabilizados por medio de electrosmosis, ver figura No. 3.9.

De las alternativas anteriores se escogió construir la estación en una sola etapa dentro de una excavación a cielo abierto entre tablestacas troqueladas, debido a las afectaciones que tenían que realizarse como consecuencia de lo angosto de la calle, además de las características del material que no permitía taludes muy escarpados. Este sistema de construcción llamado comunmente de "Muro-Ademe", consiste en excavar las zanjas que alojarán los muros ademe, con un cucharón de almeja provisto de una barra gufa, ver figura No. 3.10.a, con objeto de ofrecer una amplia garantía en la verticalidad, alineamiento e integridad de las paredes, estas zanjas son estabilizadas por medio de lodo bentonítico. Cuando se ha concluido la excavación se introduce la parrilla de acero de refuerzo y se procede a colar el muro dentro de la zanja con una trompa de colado. El concreto -

EXCAVACION ENTRE TABLESTACAS



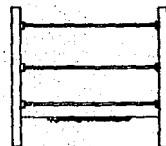
1a. ETAPA



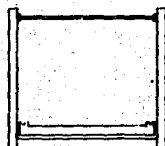
2a. ETAPA



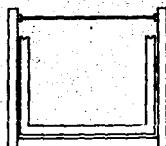
3a. ETAPA



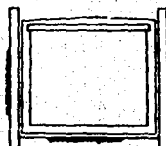
4a. ETAPA



5a. ETAPA



6a. ETAPA



7a. ETAPA

1a. ETAPA: Colado de tablestacas de compensación.

2a. ETAPA: Excavación y colocación del primer nivel de travesaños.

3a. ETAPA: Excavación y colocación del segundo nivel de travesaños.

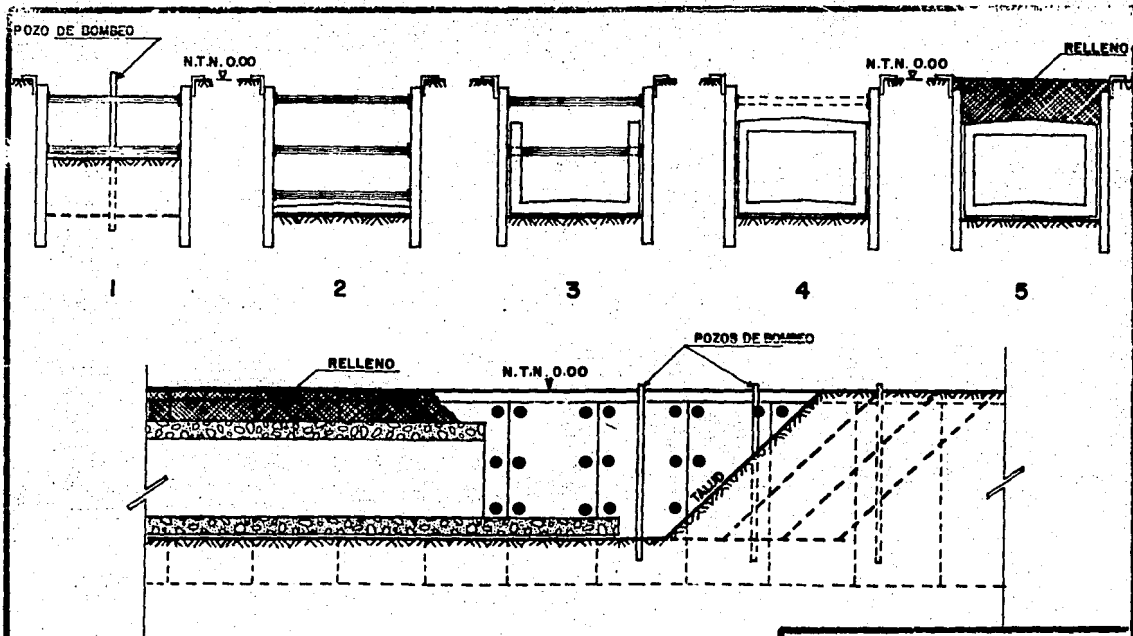
4a. ETAPA: Excavación y colocación del tercer nivel de travesaños.

5a. ETAPA: Excavación hasta el nivel máximo de proyecto, estado de plantilla y construcción de losa inferior; retiro del segundo y tercer nivel de travesaños.

6a. ETAPA: Colado de los muros del cajón.

7a. ETAPA: Colocación de tableta y estado del firme de compresión; colocación de relleno y restitución del pavimento.

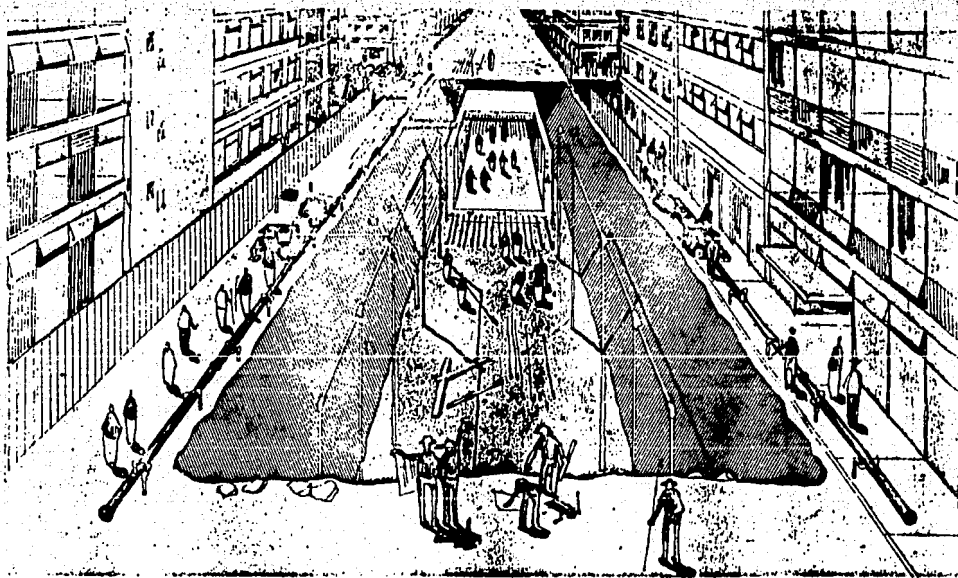
U. N. A. M.	
ENP ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	
PEDRO A. OLVERA C	TESIS
PROFESIONAL	
MEXICO, D.F.	SIN ESCALA
FIG. No. 3.7.	



CORTE LONGITUDINAL

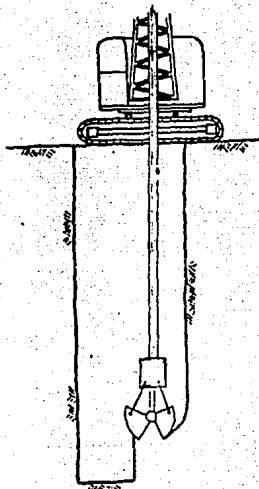
PROCESO DE BOMBEO, EXCAVACION Y CONSTRUCCION.

U. N. A. M.	
ENEP ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	
PEDRO A. OLVERA C.	TESIS
PROFESIONAL	
MEXICO, D.F.	SIN ESCALA FIG. No. 3.8

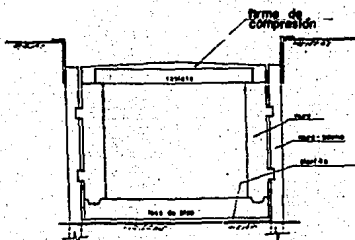


PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO A CIELO ABIERTO
ESTABILIZADO POR MEDIO DE ELECTROSMOSIS

U. N. A. M.	
ENP ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	
PEDRO A. OLVERA C.	TESIS
PROFESIONAL	
MEXICO, D. F. SIN ESCALA	FIG. No. 3.9



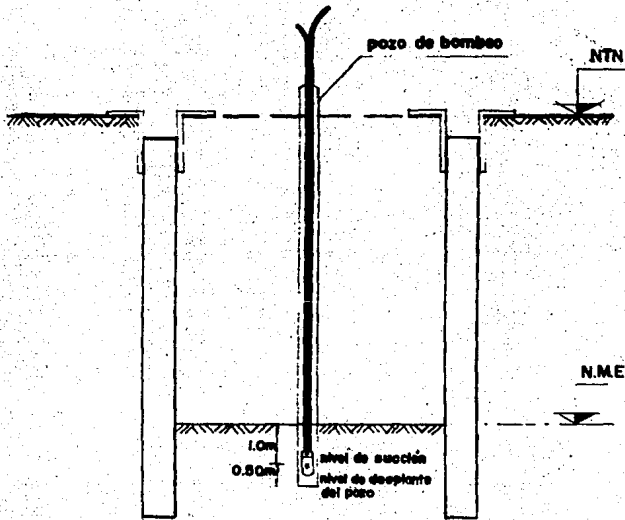
a) cucharón de almeja guiada



b) cajón con muro ademe

U. N. A. M.	
ENEP ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	
PEDRO A. OLVERA C.	TESIS
MEXICO, D. F. SIN ESCALA	PROFESIONAL
FIG. No. 3. 10	

de alto revenimiento desaloja el lodo bentonítico y se forman así los muros-ademe de la excavación. Una vez fraguados los muros y con el objeto de abatir el nivel freático se colocan pozos profundos equipados con bombas de tipo eyector, ver figura No. 3.11. Una vez logrado éste objetivo se excava el prisma de tierra comprendido entre los muros colocando puntales de acero a medida que se profundiza la excavación. Cuando se alcanza la profundidad de desplante de la plantilla el procedimiento constructivo consiste en construir entre los muros ademe un cajón rectangular, como se muestra en la figura No. 3.10 b., ligando los muros ademe a la estructura interior sólo mediante dos llaves de cortante horizontales, con el objeto de garantizar que el peso de los muros ademe formen parte del peso total de la estructura.



NTN = nivel de terreno natural
 N.M.E. = nivel máximo de excavación

POZO DE BOMBEO TIPO

U. N. A. M.	
ENEP ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	
PEDRO A. OLVERA C.	TESIS
	PROFESIONAL
MEXICO, D. F. SIN ESCALA	FIG. No. 3.11

CAPITULO IV. ANALISIS DE LA ESTRUCTURA DESDE
EL PUNTO DE VISTA DE MECANICA -
DE SUELOS.

Una vez definida la construcción de la estación mediante la solución subterránea, se llevan a cabo una serie de análisis para definir el comportamiento durante el proceso de construcción y a largo plazo. A continuación se da una breve descripción de éstos análisis y al final se presentan ejemplos - numéricos basados en los análisis realizados para la estación Chabacano de la Línea 9 del Metro.

A. Sobrecompensación y lastres.

Con el objeto de evitar hundimientos, se consideró que el peso de la estructura no debería ser mayor que el peso de la tierra desalojada para construirla.

Por otra parte se consideró también que el peso de la estructura no debería ser menor que el material desalojado.

Los diferentes elementos que integran esta solución, fueron diseñados para obtener una sobrecompensación no mayor a -

1.5 Ton/m² en este tipo de suelo en el cual se presentan -- grandes espesores arcillosos.

Para obtener la sobrecompensación de la estación Chabacano se compararon el peso del volumen del suelo excavado y el de la estructura. El primero se calculó con base en los pesos volumétricos naturales del subsuelo determinados en el laboratorio, en el segundo intervinieron los siguientes elementos: La estructura, el relleno superior y la plantilla.

El peso de la estructura se incrementó dando a los elementos estructurales espesores mayores que los requeridos y ajustando la sobrecompensación en cada caso haciendo variar el relleno y la plantilla.

Es básicamente a la plantilla y al elemento estructural losa de piso, a los cuales por expansión se les aumenta o disminuye de espesor tomando los valores 2.2 y 2.4 ton/m² como pesos volumétricos respectivamente en el análisis de -- sus pesos; antes de variar otro elemento de la estructura, -- los cuales son diseñados por cargas y posiciones de apoyo diferentes. Si aun variando los espesores de los elementos -- estructurales el peso no es suficiente para lograr una sobrecompensación aceptable, se recurre a la colocación de grandes volúmenes de lastre en sitios estratégicos de la estructura.

B. Empujes.

El procedimiento usado para la construcción de la estación Chabacano consistió en la excavación de la masa de suelo confinado por muros de concreto armado colados en el lugar, los cuales sirvieron como elementos de contención.

Los elementos de contención fueron analizados bajo dos condiciones de trabajo; en la primera se consideró el empuje del suelo en la etapa de excavación y en la segunda se consideró el empuje de suelo en la etapa posterior a la construcción.

Para el cálculo correspondiente a la condición inicial, se consideró que el empuje total estaría integrado por el empuje del suelo propiamente dicho más el empuje hidrostático del manto freático. Se supuso que los muros tendrían libertad para girar hacia la excavación sobre un eje imaginario longitudinal a ellos, localizado en su base, por lo que en esta etapa el empuje del suelo corresponde al empuje activo de Rankine.

Al apuntalar los muros, el empuje del suelo se redistribuye; la magnitud de este nuevo empuje depende de la forma de apuntalamiento y de la flexibilidad de los muros. Para estimar las cargas en los puntales y sobre los muros, se ---

adoptaron las nuevas envolventes propuestas por Peck, ver - figura No. 4.1.

Para la condición final, el empuje considerado en los muros, fué la suma del empuje del suelo en reposo más el hidrostático, ya con los muros restringidos a todo desplazamiento lateral por las losas superior e inferior, ver figura No. 4.2.

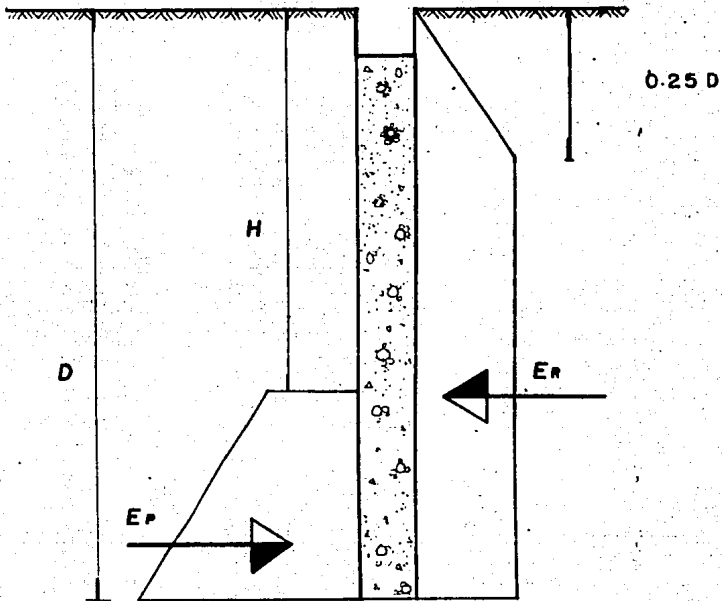
C. Estabilidad de taludes.

Para analizar la estabilidad de los taludes se utilizó el método sueco de V. Fellenius para falla circular.

Este método considera que la falla del talud se presenta a lo largo de una superficie cilíndrica, ver figura No. 4.3.

Cuando los factores de seguridad obtenidos fueron del orden de la unidad o menores se construyeron bermas en los taludes para disminuir el momento motor, además de eliminar el empuje hidrostático por medio de bombeo.

Determinación de los factores de seguridad:

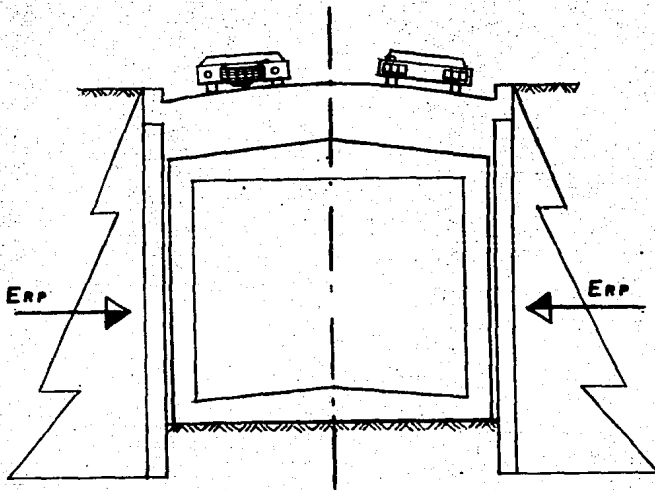


E_P = EMPUJE PASIVO
 E_R = EMPUJE REDISTRIBUIDO

$$\frac{2E_P}{1.75 D}$$

**DIAGRAMAS TÍPICOS DE EMPUJES
 REDISTRIBUIDO Y PASIVO.**

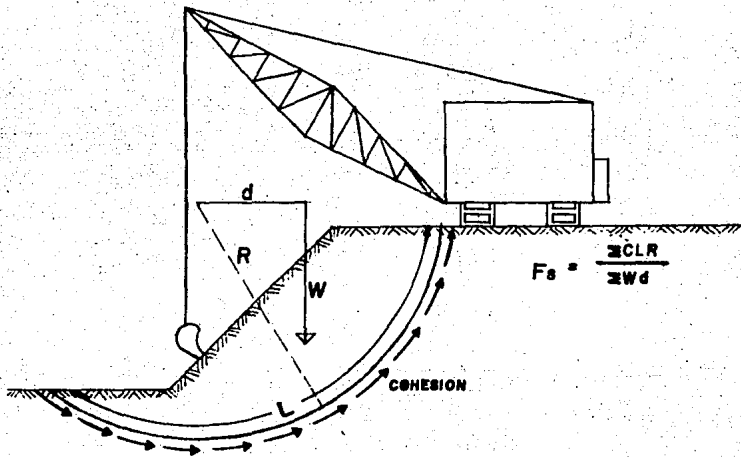
U. N. A. M.	
ENEP ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	
PEDRO A. OLVERA C.	TESIS
PROFESIONAL	
MEXICO, D.F. SIN ESCALA	FIG. No. 4.1



ERP = EMPUJE EN REPOSO

DIAGRAMA TIPICO DE EMPUJE EN REPOSO

U. N. A. M.	
ENEP ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	
PEDRO A. OLVERA C.	TESIS PROFESIONAL
MEXICO, D.F. SIN ESCALA FIG. No. 4.2	



ESTABILIDAD DE TALUDES

U. N. A. M.	
ENEP ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	
PEDRO A. OLVERA C.	TESIS
MEXICO, D.F. SIN ESCALA	PROFESIONAL
	FIG. No. 4.3

1. Zona de cabeceras.

Teniendo una profundidad de 8.50 m de excavación y la estratigrafía determinada, se procedió a calcular el factor de seguridad para la estabilidad del talud en esta zona, -- primero por el pie y posteriormente por la base.

El análisis numérico para hallar el factor de seguridad se hizo con la ayuda de un programa para computadora digital.

Después de realizar varios análisis se considero que - un talud de 1:1 horizontal a vertical era el aceptable para la excavación de las cabeceras, tanto por el pie como por - la base.

El proceso de cálculo del factor de seguridad para la falla por la base es similar al de la falla por el pie.

2. Zona central.

Debido a que la zona central de la estación es más profunda que las cabeceras, fué necesario realizar nuevos análisis para la estabilidad del talud en la misma.

Después de revisar el factor de seguridad para diferen

tes inclinaciones de los taludes, se obtuvieron factores de seguridad menores de 1, por lo cual se volvieron a analizar pero esta vez considerando bermas, como aun así el F.S. promedio fué de 1, se mando un "rasure" para disminuir la altura del talud.

En todos los análisis se excluyó la presión hidrostática ya que esta será abatida mediante bombeo.

D. Expansiones a corto y a largo plazo.

Una vez determinada la sobrecompensación en cada una de las zonas, se procedió a determinar las expansiones inmediatas y a largo plazo, ver figura No. 4.4.

Para el análisis de expansiones a corto plazo o inmediatas se utilizó la teoría de la elasticidad, la cual considera coeficientes como los módulos de elasticidad y Poisson y supone son constantes en todos los puntos del medio.

En términos generales los suelos finos como son las arcillas son los que más se aproximan a la condición anterior.

Para el cálculo de deformaciones del tipo elástico se pueden presentar dos casos que son:

1.- \ Para materiales homogéneos.

2.- Para suelos estratificados.

Como en este caso el material es sensiblemente homogéneo se utilizó la siguiente fórmula.

$$S = qB \left(\frac{1 - \mu^2}{E} \right) I_w$$

Donde:

$q = (\gamma_m - \gamma_w) H$ presión efectiva en kg/cm^2

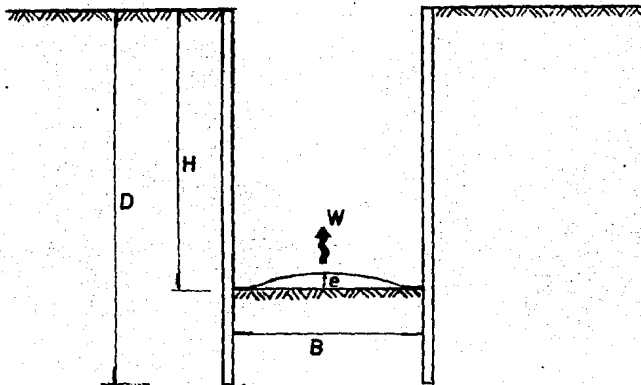
B = Ancho de la etapa en cm

μ = Relación de Poisson.

I_w = Factor de influencia.

E = Módulo de elasticidad.

Para el caso de suelos estratificados se puede utilizar la expresión propuesta por Steinbrenner (Ref. 2).



DONDE:

- E = EXPANSION INMEDIATA
- W = PESO DEL SUELO EXCAVADO
- H = PROFUNDIDAD DE EXCAVACION
- D = PROFUNDIDAD DE DESPLANTE DEL TABLESTACA
- B = ANCHO DE EXCAVACION

EXPANSIONES INMEDIATAS

U. N. A. M.	
ENEP ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	
PEDRO A. OLVERA C.	TESIS PROFESIONAL
MEXICO, D.F. SIN ESCALA FIG. No. 4.4	

Para el análisis a largo plazo, se procedió a utilizar el criterio de Terzaghi a través de la teoría de la consolidación, para lo cual se procedió a determinar los esfuerzos al centro del área rectangular uniformemente cargada, las áreas y su carga se obtuvieron en los análisis de compensación, ver figura No. 4.5.

La teoría de Terzaghi se puede resumir en la siguiente expresión (ref. 1).

$$\Delta H = mv \Delta p H$$

Donde: ΔH = Expansión total a largo plazo (cm)

mv = Coeficiente de variación volumétrica ----
(cm^2/kg)

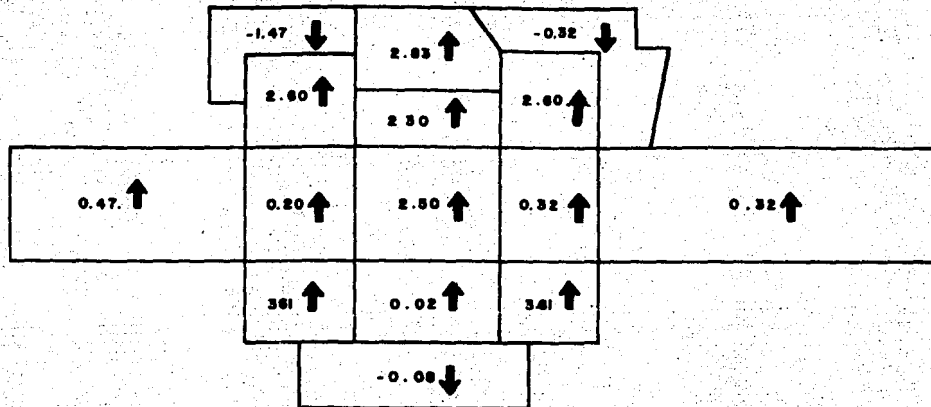
Δp = Decremento de esfuerzo vertical en el estrato.

H = Espesor del estrato (cm).

E. Falla de fondo.

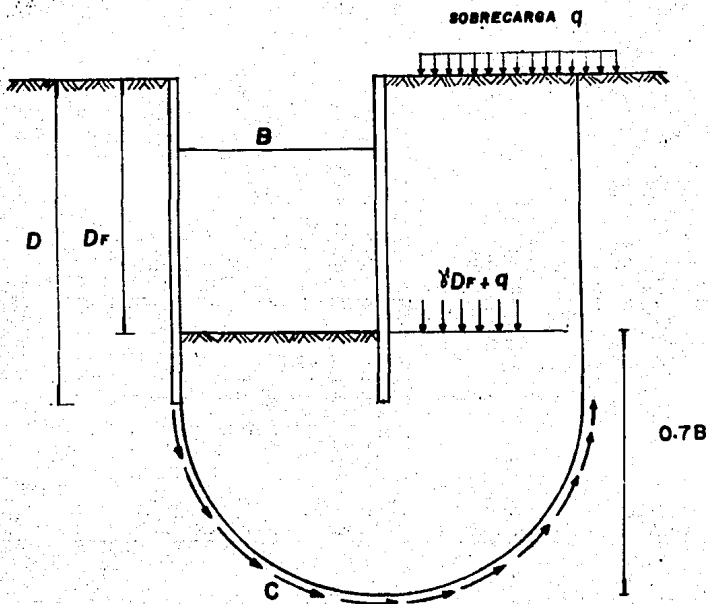
La falla de fondo de las excavaciones ocurre cuando la arcilla que las subyace no tiene la resistencia suficiente para soportar los esfuerzos de corte originados por el desequilibrio de presiones que se crean entre el interior y el exterior de la excavación, ver figura No. 4.6. Aunque tam-

RESULTADOS DE COMPENSACION



NOTA: EL NUMERO Y TAMAÑO DE LAS AREAS ES A CRITERIO DEL PROYECTISTA, SE PUEDEN REALIZAR VARIOS ANALISIS CON DIFERENTES DIMENSIONES DE AREAS Y POSTERORMENTE COMPARAR COMPORTAMIENTOS.

U. N. A. M.		
ENEP ACATLAN		
INGENIERIA CIVIL		
PEDRO A. OLVERA C.	TESIS	PROFESIONAL
MEXICO, D.F.	SIN ESCALA	FIG. No. 4.5



DONDE:

D_f = PROF. DE EXCAVACION
 D = PROF. DE DESPLANTE
 B = ANCHO DE EXCAVACION
 C = COHESION
 γ = PESO VOLUMETICO

FALLA POR EL FONDO

U. N. A. M.	
ENEP. ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	
PEDRO A. OLVERA C.	TESIS
MEXICO, D.F.	PROFESIONAL
SIN ESCALA	FIG. No. 4.6

bién ocurre cuando la arcilla, teniendo inicialmente la resistencia suficiente para soportar los esfuerzos de corte, - esta va disminuyendo a medida que pasa el tiempo debido a -- la expansión de la arcilla causada por la descarga producida por la excavación.

Por otra parte, es importante considerar la influencia que tiene el flujo de agua hacia el interior de la excavación en la estabilidad de la misma, el cual de no controlarse, crea en el fondo fuerzas de filtración ascendentes que tienden a favorecer la falla y a disminuir considerablemente la presión por peso propio que ejercería el bloque de -- suelo comprendido entre los empotramientos de los muros de contención.

Importante también es considerar que es más crítico el desequilibrio entre las presiones exteriores a la excavación y las interiores a ella, en las zonas donde existen -- construcciones colindantes a la obra.

Por lo anterior se adopto para el análisis de la estabilidad del fondo de las excavaciones realizadas el método propuesto por Bjerrum y Eide (ref. 7), el cual da valores más aproximados a la realidad, ya que considera la posibilidad de que se presente una falla local en excavaciones profundas cuya relación de profundidad a ancho es mayor de --- 3 ($D/B > 3$).

Para la obtención del factor de seguridad se utilizó - la siguiente fórmula:

$$FS = \frac{\bar{c} N_c}{\gamma_{mH+q}}$$

Donde:

FS = Factor de seguridad.

N_c = Factor de capacidad de carga de Skempton que depende de la relación D/B (ver figura No. 4.6).

\bar{c} = Cohesión media del material en condiciones no drenadas, en Ton/m³.

$$\bar{c} = \frac{\sum CH}{B}$$

Donde: C = Cohesión de cada estrato.

H = Espesor de cada estrato

B = Ancho de la excavación

A continuación se presentan dos ejemplos de los análisis de sobrecompensación realizados, uno para las cabeceras y el otro para la zona central de la estación.

1) Sobrecompensación en la cabecera oriente:

Análisis de carga de la estructura, en la zona de la ca
becera oriente:

e muros = 1.00m; e plantilla = 0.20m; e losa inf. 0.80 -
0.15 m; e losa sup. 0.95 - 0.15 m.

e = espesor

CONCEPTO		W(Ton/ml)
W muro tablestaca	= 7.80 x 0.6 x 2 x 2.4	= 22.464
W pata de tablestaca	= 3.00 x 0.6 x 2 x (2.4-1.3)	= 4.572
W muro estructural	= 2.00 x 1.0 x 6.80 x 2.4	= 32.640
W losa superior	= 17.30 x 0.95 x 2.4	= 39.444
W bombeo losa superior	= 9.65 x 0.15 x 2.4	= 3.474
W plantilla	= 19.50 x 0.2 x 2.2	= 8.580
W losa inferior	= 17.30 x 0.8 x 2.4	= 33.216
W bombeo losa inferior	= 6.09 x 0.15 x 2.4	= 2.192
W relleno sobre losa	= 1.625 x 19.50 x 1.6	= 52.26

W relleno sobre tables.	=	0.95 x 0.60 x 1.6 x 2	=	1.824
W balasto	=	8.90 x 0.375 x 1.6	=	5.34
W sistema de vía	=	0.18 x 4	=	0.72
W muro de andén	=	0.20 x 1.65 x 4 x 2.4	=	3.168
W losa de andén	=	12.02 x 0.20 x 2.4	=	5.77
W juntas	=	0.10 x 2.20 x 2 x 7.00	=	3.08
W instalaciones	=	0.50	=	0.50
W escuadras inferiores	=	2.06 x 2 x 2.4	=	9.89

$$P = \frac{229.134}{20.70} = 11.07 \text{ Ton/m}^2 \quad W_e = 229.134 \text{ Ton/ml}$$

Peso del suelo excavado, en zona de la cabecera oriente:

ESTRATOS (m)	H (m)	γ_m (Ton/m ³)	γ_{mH} (Ton/m ²)	$\Sigma \gamma_{mH}$ (Ton/m ²)
0.00 - 0.70	0.70	1.65	1.16	1.16
0.70 - 1.75	1.05	1.55	1.63	2.79
1.75 - 3.00	1.25	1.35	1.69	4.48
3.00 - 3.55	0.55	1.45	0.80	5.28
3.55 - 4.35	0.80	1.35	1.08	6.36
4.35 - 5.30	0.95	1.15	1.09	7.45
5.30 - 6.35	1.05	1.13	1.19	8.64
6.35 - 8.45	2.10	1.11	2.33	10.97
8.45 - 8.75	0.30	1.45	0.44	11.41

Sobrecompensación.

$$S_c = 11.41 - 11.07 = 0.34 \text{ Ton/m}^2 \downarrow$$

2) Sobrecomensación en el núcleo central.

Análisis de carga de la estructura en zona del núcleo - central.

CONCEPTO.	W(Ton/ml)
W plantilla =	
$260.08 \times 0.5 \times 2.2$	= 286.09
W losa de fondo =	
$256.90 \times 1.0 \times 2.4$	= 616.56
W tablestacas =	
$0.6 \times 2.4 (4.875 \times 25.5 + 7.7 \times 11.125)$	= 302.36
W pata de tablestaca =	
$0.6 \times 4 \times 33.20 \times 1.27$	= 101.19
W muro estructural a nivel vestíbulo =	
$0.8 \times 33.5 \times 4.375 \times 2.4 + 0.7 \times 8.8 \times 4.375 \times 2.4$	= 346.08
W muro estructural a nivel I_2 =	
$9.10 \times 0.8 \times 2.4 \times 4.3$	= 75.13
W juntas =	
$0.10 \times 31.8 \times 4.375 \times 2.2 + 7 \times 6 \times 0.10 \times 2.2$	= 39.85
W col. nivel gal. a nivel I_2 =	
$0.8 \times 2.4 (4.375 \times 0.8 + 4.3 \times 0.8 \times 5 + 1.2 \times 2 \times 4.3)$	= 59.56
W trabes transversales =	
$24 \times 0.8 \times 2 \times 2.4$	= 92.16
W trabes longitudinales =	
$48 \times 0.8 \times 2 \times 2.4$	= 184.32

W losa de techo	
0.7 (17.60 x 9.4 + 5.5 x 4) 2.4	= 314.90
W bombeo =	
0.075 x 17.6 x 9 x 2.4	= 28.51
W rell. conc. ÷ NTC y NPT =	
8.8 x 0.3 x 2.2	= 42.24
W mat. areno-limoso =	
1.10 x 1.6 (17.6 x 9.4 + 5.5 x 4)	= 329.89
W rampas de escaleras =	
0.2 x 2.4 x 6.9 x 3.3	= 10.93
W muretes a niv. vestíbulo =	
1.0 x 0.8 x 23 x 2.4	= 44.16
W murete -D- hacia andén =	
14.4 x 1.2 x 1.0 x 2.4	= 41.47
W lastre conc. bajo escalera =	
4.175 x 5.5 x 0.5 x 3.7 x 2.2	= 93.46
W lastre NTC y N. pasarela =	
2.2 x 9 (8 x 1.52 5 + 1.6 x 1.10 x 0.5)	= 258.98
W lastre en gal. de vent. =	
0.2 x 2.2 x 4.7 x 15.20	= 31.43
	<hr/>
	= 3511.66

$$p = \frac{3511.66}{279.58} = 12.56 \text{ Ton/m}^2$$

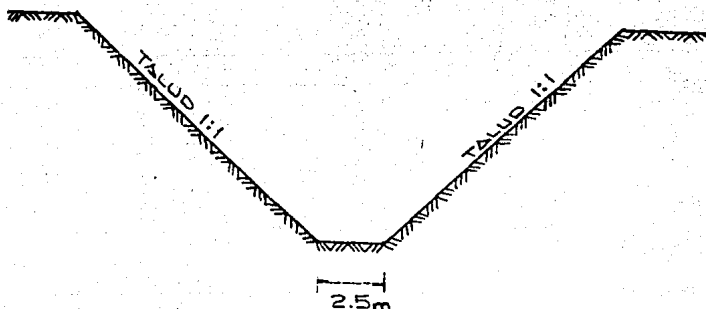
Peso del suelo excavado en zona del núcleo central:

ESTRATOS (m)	H (m)	m (Ton/m ³)	mH (Ton/m ²)	mH (Ton/m ²)
0.00 - 8.75	8.75	Var	Var	11.41
8.75 - 9.30	0.55	0.63	0.63	12.04
9.30 - 9.70	0.40	0.45	0.45	12.48
9.70 - 10.00	0.30	0.35	0.35	12.82
10.00 - 10.15	0.15	0.17	0.17	12.99
10.15 - 11.80	1.65	1.83	1.83	14.82

$$SC = 14.82 - 12.56 = 2.26 \text{ Ton/m}^2 \uparrow$$

Ejemplos de cálculo de expansión inmediata:

- 1) En zona de cabeceras:



$$B = 2.5 \text{ m}$$

$$L = 19.50 \text{ m}$$

$$\mu = 0.50$$

$$E = 150 \text{ Ton/m}^2$$

$$\text{Exp} = qBIw \frac{(1 - \mu^2)}{E}$$

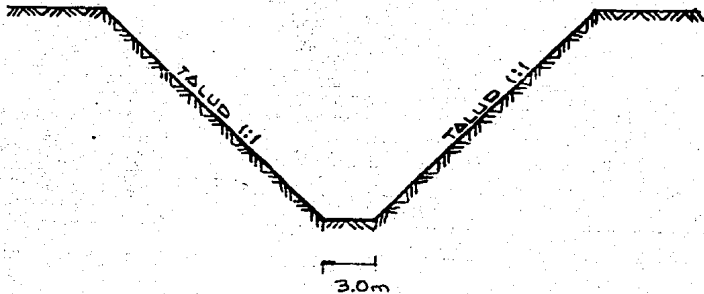
$$L/B = 19.50 / 2.5 = 7.8 \rightarrow Iw = 2.35$$

$$q = 4.94 \text{ Ton/m}^2 \text{ (descarga hasta 8.75 m)}$$

$$\text{Exp} = 4.94 (2.5) (2.35) \left(\frac{1 - 0.50^2}{150} \right) = 0.14 \text{ m}$$

$$\text{Exp} = 14 \text{ cm}$$

2) En zona central.



$$L = 15.90 \text{ m}$$

$$B = 3.0 \text{ m}$$

$$A = 0.50$$

$$E = 150 \text{ Ton/m}^2$$

$$Exp = qBIw \left(\frac{1-A^2}{E} \right)$$

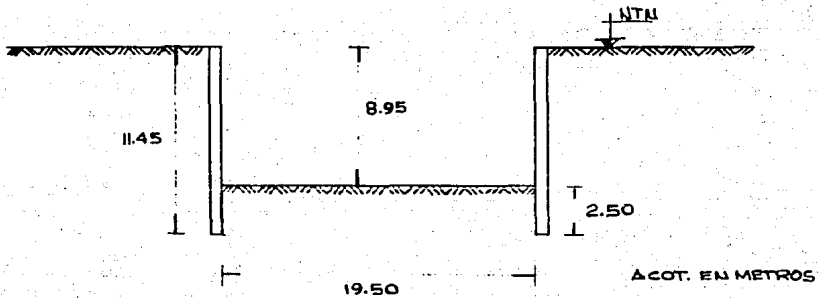
$$L/B = 15.90/3.0 = 5.30 \rightarrow Iw = 2.126$$

$$q = 5.884 \text{ Ton/m}^2 \text{ (descarga hasta 13.30 m)}$$

$$Exp = 5.884 (3.00) (2.126) \left(\frac{1 - 0.50^2}{150} \right) = 0.188 \text{ m}$$

$$Exp = 18.8 \text{ cm}$$

Ejemplo de cálculo de falla de fondo:



$$FS = \frac{CNC}{\sum \gamma_{MH}}$$

$$D = 11.45 \text{ m}$$

$$B = 19.50 \text{ m}$$

$$C = 2.0 \text{ Ton/m}^2$$

$$D/B = 11.45/19.50 = 0.59 \rightarrow N_c = 7.09$$

$$\sum \gamma_{mH} 8.95 = 11.62 \text{ Ton/m}^2$$

$$FS = \frac{2 (7.09)}{11.62} = 1.22$$

$$F.S. = 1.22$$

Considerando sobrecarga de 2 Ton/m^2

$$FS = \frac{C N_c}{\sum \gamma_{mH} + q}$$

$$FS = \frac{2 (7.09)}{11.62 + 2} = 1.04$$

$$F.S. = 1.04$$

A continuación se presenta el cálculo de un empuje, para las cabeceras.

$$P_A = (\sum \gamma_{mH} + q) K_a - 2C\sqrt{K_a}$$

$$K_a = \tan^2 (45 - \beta/2)$$

$$NAF. \quad 2.60 \text{ m}$$

ESTRATO (m)	ESPESOR (m)	γ' (Ton/m ³)	$\gamma' H$ (Ton/m ²)	$\Sigma \gamma' H$ (Ton/m ²)
00.00 - 0.70	0.70	1.65	1.16	1.16
0.70 - 1.75	1.05	1.55	1.63	2.79
1.75 - 2.60	0.85	1.55	1.32	4.11
2.60 - 3.00	0.40	0.35	0.14	4.25
3.00 - 3.55	0.55	0.45	0.25	4.5
3.55 - 4.35	0.80	0.35	0.28	4.78
4.35 - 5.30	0.95	0.15	0.14	4.92
5.30 - 6.35	1.05	0.13	0.14	5.06
6.35 - 8.45	2.10	0.11	0.23	5.29
8.45 - 8.75	0.30	0.45	0.14	5.43
8.75 - 9.30	0.55	0.15	0.08	5.51
9.30 - 9.70	0.40	0.12	0.05	5.56
9.70 - 9.75	0.05	0.16	0.008	5.568

ESTRATO (m)	C (Ton/m ²)	β (Grados)	Ka (-)	\sqrt{Ka} (-)
00.00 - 0.70	0	30	0.33	0.58
0.70 - 1.75	1	15	0.59	0.77
1.75 - 2.60	1	20	0.49	0.70
2.60 - 3.00	3	20	0.49	0.70
3.00 - 3.55	0	30	0.33	0.58
3.55 - 4.35	3.5	20	0.49	0.70
4.35 - 5.30	2	0	1.0	1.0
5.30 - 6.35	2	0	1.0	1.0

6.35 - 8.45	2	0	1.0	1.0
8.45 - 8.75	0	30	0.33	0.58
8.75 - 9.30	2	0	1.0	1.0
9.30 - 9.70	2	0	1.0	1.0
9.70 - 9.75	2	0	1.0	1.0

Para Z = 0		U	P _A
P _A = (0) (0.33)	= 0.00	0.00	0.00
Para Z = 0.7			
P _A = (1.16) (0.33) - 2(0) (0.58)	= 0.3828	0.00	0.3828
P _A = (1.16) (0.59) - 2(1) (0.77)	= -0.86	0.00	0.00
Para Z = 1.75			
P _A = (2.79) (0.59) - 2(1) (0.77)	= 0.11	0.00	0.11
P _A = (2.79) (0.49) - 2(1) (0.70)	= -0.03	0.00	0.00
Para Z = 2.6			
P _A = (4.11) (0.49) - 2(1) (0.70)	= 0.61	0.00	0.61
P _A = (4.11) (0.49) - 2(3) (0.70)	= -2.19	0.00	0.00
Para Z = 3.0			
P _A = (4.25) (0.49) - 2(3) (0.70)	= -2.12	0.40	0.40
P _A = (4.25) (0.33) - 2(0) (0.70)	= -1.40	0.40	1.80
Para Z = 3.55			
P _A = (4.5) (0.33) - 2(0) (0.58)	= 1.49	0.95	2.44
P _A = (4.5) (0.49) - 2(3.5) (0.70)	= -2.70	0.95	0.95
Para Z = 4.35			
P _A = (4.78) (0.49) - 2(3.5) (0.70)	= -2.56	1.75	1.75

$$P_A = (4.78) (1) - 2 (2) (1) = 0.78 \quad 1.75 \quad 2.53$$

Para Z = 5.30

$$P_A = (4.92) (1) - 2 (2) (1) = 0.92 \quad 2.7 \quad 3.62$$

$$P_A = (4.92) (1) - 2 (2) (1) = 0.92 \quad 2.7 \quad 3.62$$

Para Z = 6.35

$$P_A = (5.06) (1) - 2 (2) (1) = 1.06 \quad 3.75 \quad 4.81$$

$$P_A = (5.06) (1) - 2 (2) (1) = 1.06 \quad 3.75 \quad 4.81$$

Para Z = 8.45

$$P_A = (5.29) (1) - 2 (2) (1) = 1.29 \quad 5.85 \quad 7.14$$

$$P_A = (5.29) (0.33) - 2 (0) (0.58) = 1.75 \quad 5.85 \quad 7.60$$

Para Z = 8.75

$$P_A = (5.43) (0.33) - 2 (0) (0.58) = 1.79 \quad 6.15 \quad 7.94$$

$$P_A = (5.43) (1) - 2 (2) (1) = 1.43 \quad 6.15 \quad 7.58$$

Para Z = 9.30

$$P_A = (5.51) (1) - 2 (2) (1) = 1.51 \quad 6.70 \quad 8.21$$

$$P_A = (5.51) (1) - 2 (2) (1) = 1.51 \quad 6.70 \quad 8.21$$

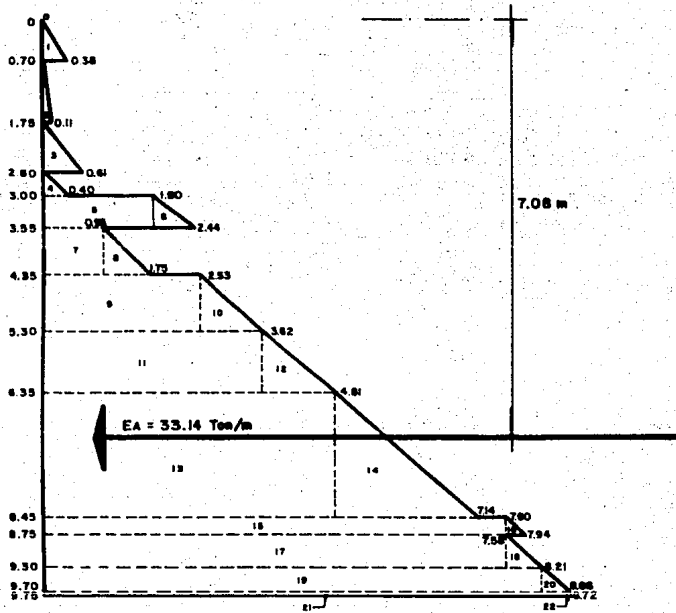
Para Z = 9.70

$$P_A = (5.56) (1) - 2 (2) (1) = 1.56 \quad 7.1 \quad 8.66$$

$$P_A = (5.56) (1.0) - 2 (2) (1.0) = 1.56 \quad 7.1 \quad 8.66$$

Para Z = 9.75

$$P_A = (5.568) (1) - 2 (2) (1) = 1.57 \quad 7.15 \quad 8.72$$



EMPUJE ACTIVO

U. N. A. M.	
ENEP ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	
PEDRO A. OLVERA C	TESIS
MEXICO, D.F.	SIN ESCALA
	PROFESIONAL

Figura	Area	y	AY
1	$0.38 \times 0.70 \times 0.5 = 0.13$	0.47	0.06
2	$0.11 \times 1.05 \times 0.5 = 0.06$	1.40	0.08
3	$0.61 \times 0.85 \times 0.5 = 0.26$	2.32	0.60
4	$0.4 \times 0.4 \times 0.5 = 0.08$	2.87	0.23
5	$1.80 \times 0.55 = 0.99$	3.28	3.25
6	$0.64 \times 0.55 \times 0.5 = 0.18$	3.37	0.59
7	$0.95 \times 0.8 = 0.76$	3.95	3.00
8	$0.80 \times 0.8 \times 0.5 = 0.32$	4.08	1.31
9	$2.53 \times 0.95 = 2.40$	4.83	11.61
10	$1.09 \times 0.95 \times 0.5 = 0.52$	4.98	2.58
11	$3.62 \times 1.05 = 3.80$	5.83	22.16
12	$1.19 \times 1.05 \times 0.5 = 0.62$	6.00	3.75
13	$4.81 \times 2.10 = 10.10$	7.40	74.75
14	$2.33 \times 2.10 \times 0.5 = 2.45$	6.21	15.19
15	$7.60 \times 0.30 = 2.28$	8.60	19.61
16	$0.34 \times 0.30 \times 0.5 = 0.05$	8.65	0.44
17	$7.58 \times 0.55 = 4.17$	9.03	37.65
18	$0.63 \times 0.55 \times 0.5 = 0.17$	9.12	1.58
19	$8.21 \times 0.40 = 3.28$	9.50	31.20
20	$0.45 \times 0.40 \times 0.5 = 0.09$	9.57	0.86
21	$8.66 \times 0.05 = 0.43$	9.73	4.21
22	$0.06 \times 0.05 \times 0.5 = 0.0015$	9.73	0.01
		<hr/>	<hr/>
		33.14	234.72

$$E = 33.14 \text{ Ton/m}$$

$$y = \frac{234.72}{33.14} = 7.08 \text{ m}$$

Empuje Redistribuido:

$$P_R = \frac{2 EA}{1.75H}$$

$$a = 0.25 H$$

$$b = 0.75 H$$

$$P_R = \frac{2(33.14)}{1.75(9.75)} = 3.89 \text{ Ton/m}^2$$

$$a = 0.25 (9.75) = 2.44 \text{ m}$$

$$b = 0.75(9.75) = 7.31 \text{ m}$$

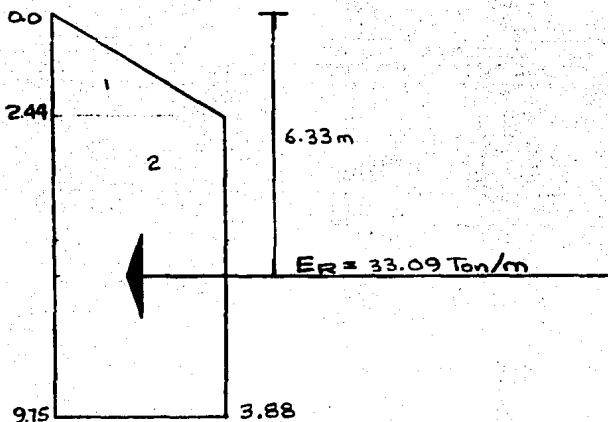


Figura	Area	Y	AY
1	$3.88 \times 2.44 \times 0.5 = 4.73$	1.63	7.72
2	$3.88 \times 7.31 = \frac{28.36}{33.09}$	6.10	$\frac{201.85}{209.57}$

$$E_R = 33.09 \text{ Ton/m}$$

$$Y = \frac{209.57}{33.09} = 6.33 \text{ m}$$

CAPITULO V. PROCESO CONSTRUCTIVO.

A. Procedimiento constructivo de los brocales y zanjas.

Los brocales tienen la finalidad de retener los rellenos superficiales sueltos y de servir de guías a las herramientas de excavación de las zanjas de colado del "muro-ademe".

Para cumplir adecuadamente con esta última función se deberá dejar un espacio libre entre paños de brocales de 65cm - para muros de 50cm de espesor o de 85 cm para muros de 80cm - de espesor y su alineamiento debe ajustarse al trazo.

Para construir éstos brocales habrá que excavar primero la parte superior de las zanjas donde se van a alojar los muros, hasta una profundidad variable de acuerdo con el espesor de los rellenos, pero no menor de 1.50 m, ni mayor que la profundidad a la que se encuentra el nivel freático.

En virtud de que dentro de los primeros metros bajo la superficie, se encuentran la mayoría de los tubos y ductos de los servicios municipales, la excavación de las zanjas guía deberá hacerse con precaución, ya sea a mano o con maquinaria

para no dañarlos. Los brocales son piezas en forma de ángulo recto, o "delantales" de concreto, colados en el lugar.

Para colar las ramas verticales o faldones del brocal, se tiene que cimbrar. La cimbra de un lado se apoyará contra la del otro por medio de puntales, de manera que se eviten las irregularidades o abolsamientos del muro.

Las ramas horizontales de los brocales, constituyen pequeñas losas sobre las cuales se podrán rodar las máquinas de excavación. El ancho mínimo de estas ramas horizontales será de 0.50 m pero podrá modificarse a criterio de la supervisión de acuerdo con las condiciones que presente el terreno de apoyo, de tal manera de garantizar siempre que el brocal quede bien apoyado sin peligro de voltearse durante la excavación.

Una vez que se han colado los brocales, y las zanjas han quedado libres de estorbos, se deberán colocar compuertas de madera o de acero para aislar tramos de zanja gufa correspondientes a la longitud del tablero del muro que se va a construir.

La longitud de la zanja aislada será igual a la del muro por construir y su valor se indica en los planos estructurales correspondientes a cada tramo. Cada tramo aislado ----

por las compuertas se llenará enseguida con lodo bentonítico hasta alcanzar un nivel de 50cm abajo del borde superior del brocal. Este mismo nivel del lodo deberá mantenerse durante todo el proceso de excavación y colado.

B. Especificación para uso de lodos en la estabilidad de las paredes de las zanjas de los muros colados en sitio.

Las zanjas gufa se excavarán para construir dentro de ellas los muros de concreto reforzado colados en el lugar, dichas zanjas no son estables por si solas aún cuando se conserva un tirante de agua equivalente al nivel freático o mayor. Para evitar que éstas paredes se derrumben se deberán estabilizar con lodo tixotrópico.

El lodo estabilizador o tixotrópico deberá ser una suspensión estable de bentonita sódica en agua. Se dice que es tixotrópico porque presenta una cierta resistencia al corte cuando esta en reposo, mientras que cuando se agita o bombea no la presenta.

El lodo estabilizador deberá tener una densidad mayor a la del agua con objeto de que el empuje que ejerza sobre las paredes sea mayor que el hidrostático. El lodo se deberá vaciar en el interior de los tableros excavados hasta alcanzar un nivel superior al nivel freático con el objeto de ge-

nerar un gradiente de presiones sobre las paredes de la excavación que ayude a mantenerlas estables. El gradiente además producirá infiltraciones de lodo hacia el interior de las paredes, por lo que deberá controlarse la proporción agua-coloides, con el objeto de que dicha infiltración sea mínima. Al producirse la infiltración, se va formando en la frontera lodo-suelo una película de pequeño espesor de moléculas de lodo que constituye una verdadera membrana impermeable y resistente, conocida en la tecnología inglesa como "CAKE".

Para que el lodo estabilizador cumpla adecuadamente su función se requiere que:

- 1.- Forme una película impermeable en la frontera con el suelo. Si no se forma o si se forma gruesa y poco resistente, el lodo no penetrará por los poros del suelo y no se logrará la estabilización. Para garantizar la formación de la película, el lodo deberá contener una cantidad importante de bentonita sódica.

Las características de la película cambian notablemente por pequeñas variaciones en el proporcionamiento agua-bentonita o por la contaminación del lodo con arena y otras partículas sólidas no coloidales.

2.- Que la suspensión de bentonita sódica en agua sea estable. Es decir no deberá haber sedimentación o floculación de las partículas de bentonita.

El lodo deberá ser capaz de aceptar que se le añada un material inerte de más peso sin sedimentarse, como puede ser la barita, material que permite lograr un lodo de mayor densidad, útil en la estabilización de tableros próximos a construcciones o sobrecargas que imponen en las paredes de la excavación esfuerzos de compresión y de corte mayores que los de su peso propio.

Otras propiedades que juegan un papel importante en la calidad de los lodos y por lo tanto en su utilización más económica son sus características tanto físicas como mecánicas, por lo que adicionalmente deberán controlarse los valores correspondientes a su viscosidad, su contenido de arena su P.H. y su volumen de agua en pruebas de infiltrado.

Todas las propiedades deberán controlarse en laboratorio para establecer la relación agua-bentonita recomendable, y verificarse periódicamente en las muestras obtenidas en los lodos que se estén manejando en el campo. Este control se hará con equipo especializado para estos fines.

El lodo se preparará con un mezclador

bombeará a los recipientes de almacenamiento donde deberán permanecer en reposo durante un periodo de 8 hrs. Dichos recipientes deberán tener dispositivos para desarenado o regeneración y recirculación con el objeto de utilizar el lodo varias veces, la recirculación podrá efectuarse pasando por la planta central de fabricación y almacenamiento, o bien, mediante una batería portatil de hidrociclones; en este último caso se puede recircular localmente de un tramo de zanja a otro. Esto será aconsejable cuando el empleo local del lodo se ubique a una distancia tal que bombearlo hasta la planta central para limpiarlo y recircularlo sea antieconómico.

En todos los casos el nivel del lodo en la zanja o tablero estabilizado deberá quedar 0.50 m abajo del borde superior del brocal. En ningún caso deberá aumentar esta distancia.

C. Procedimiento constructivo para muros de concreto colados en zanja bajo lodo bentonítico.

Una vez que se ha aislado el tramo de zanja que se va a construir, se procederá a la excavación de las zanjas hasta el nivel de desplante de los muros, manteniendo siempre el nivel del lodo 0.50 m abajo del borde superior de los brocales.

La excavación de las zanjas deberá hacerse con equipo o maquinaria cuya herramienta de corte sea guiada, con objeto de ofrecer una amplia garantía en la verticalidad, alineamiento e integridad de las paredes de la zanja y que permita alcanzar sin problemas la profundidad media del muro indicada en el proyecto. Es recomendable evitar en lo posible que se utilice cucharón de almeja libre o cualquier otra herramienta no guiada, ya que con este equipo la verticalidad de los muros no se garantiza y se provocan derrumbes durante la excavación.

Debe tenerse presente que la herramienta de excavación debe deslizarse con suavidad, sin chicoteos ni golpes, hincarla sin dejarla que choque o caiga libremente contra el lodo o contra las paredes de la zanja para evitar desprendimientos o caídos, meterla y sacarla sin brusquedad para evitar efectos de émbolo en el lodo.

Cortar firmemente la arcilla hincando la herramienta a presión sin sacudir ni arrancar de súbito. Una excavación hecha con destreza y siguiendo las precauciones antes indicadas, conducirá a mejores acabados de los muros, a un colado limpio y ahorrará problemas posteriores de rellenos, rectificaciones o afinaciones de los muros para cumplir con su verticalidad y alineamiento.

El cumplimiento de éstas indicaciones conjugado con un lodo de perforación de buena calidad, evitará caídos y deslaves que azolven la zanja y que provoquen socavaciones de las paredes y evitará movimientos de las propias paredes y del fondo, que se pueden difundir hacia el exterior causando desplazamientos de las zonas vecinas.

Las excavaciones de las zanjas se harán en forma alternada es decir, no deberán excavar tableros contiguos en forma simultánea. Asimismo no se excavará ningún tablero hasta que el concreto del tablero contiguo haya alcanzado su fraguado inicial.

La longitud de las zanjas excavadas que alojarán los muros del cajón se indicará en el plano correspondiente.

Durante la excavación deberá efectuarse un control de las propiedades del lodo de perforación; éste control consistirá en efectuar las pruebas necesarias para confirmar que dichas propiedades cumplan con los límites especificados. Se llevarán a cabo cuando menos dos pruebas de lodo por cada tablero, la primera al vaciar el lodo en la zona antes de iniciar la excavación y la segunda inmediatamente después de introducir la parrilla de refuerzo. Si los resultados de las pruebas de lodo indican que no se cumple con alguna de las propiedades especificadas, el lodo deberá recircularse

desde la zanja hasta la batería de hidrociclones desarenadores. Es conveniente que en caso de ser necesaria esta recirculación se cuente con las instalaciones necesarias (toma y descarga) para mantener en funcionamiento continuo la batería de hidrociclones durante todo el proceso de recirculación.

Todo lodo de primer uso que se utilice en las zanjas de excavación, deberá tener un período de reposo mínimo de 8 horas.

En caso de que el lodo se suministre por medio de pipas, el lodo contaminado deberá sustituirse por lodo nuevo conservando siempre el nivel del lodo dentro de la zanja a 0.50 m abajo del borde superior de los brocales.

Por ningún motivo deberá permitirse abatir el nivel -- arriba indicado so pena de causar succiones y gradientes en el manto freático que favorezcan la desintegración y el derrumbe de las paredes. Un mismo lodo podrá utilizarse las veces que determine el laboratorio de control que, en todo caso, será el que verifique que el lodo cumpla con todas -- sus especificaciones y decidirá cuando desecharlo. Deberán preverse las instalaciones de preparación y regeneración de los lodos y la capacidad de almacenamiento suficientes para cubrir ampliamente las necesidades diarias de la obra; esta

amplitud cubrirá un 50% en exceso del volumen de las zanjas por rellenar en el día, para absorber el consumo adicional que se tenga por fugas o pérdidas de lodo a través de las fisuras y grietas en las arcillas, o de los poros en los materiales más permeables. Cuando las fugas se noten extraordinarias podrá utilizarse aserrín en el lodo para rellenar las grietas. El aserrín debe añadirse en los recipientes de mezclado y no después, para evitar que se formen grumos.

Por ningún motivo se admitirá colar en un tramo donde se hayan percibido fugas y no se hayan tratado adecuadamente hasta asegurarse de que hayan desaparecido.

No puede dejarse una zanja excavada y ademada con lodo por mucho tiempo, por lo que no deberán pasar más de veinticuatro horas entre el inicio de la excavación de un tablero y su colado. Asimismo, no deben transcurrir más de 6 horas entre el momento en que se alcance la máxima profundidad de excavación y el inicio del colado.

Terminada la excavación, deberá procederse a la limpieza del azolve del fondo, utilizando un tubo eyector que se pasará por todo el piso de la zanja. Otra alternativa consiste en la recolección del azolve con la almeja.

Cuando se haya concluido la excavación y se haya veri-

ficado la profundidad de la zanja, y las propiedades del lodo se procederá a introducir las juntas metálicas y la parrilla de refuerzo.

Las juntas son tubos metálicos huecos de forma semicircular o rectangular que en una de sus caras tienen la forma macho o hembra y que contiene la banda de PVC integrada. Una parte de ésta banda queda ahogada en el momento del colado y la otra parte queda libre en el interior del tubo para ahogarse durante el colado del muro contiguo.

A la cara de la junta que quedará en contacto con el concreto deberá aplicársele una película de grasa o un desencofrante constituido por una resina epóxica o políester de 1 mm de espesor para facilitar su extracción posterior.

Una vez instaladas las juntas se procederá de inmediato a introducir la parrilla de armado dentro de la zanja -- ademada con lodo. Se hará descender por su propio peso por medio de una grúa, tomando las debidas precauciones con respecto a la verticalidad, el alineamiento y la profundidad.

Para evitar la tendencia a la flotación de la parrilla de armado y garantizar que permanezca en su lugar, se instalarán dos gatos en la superficie apoyados contra el brocal

para que impidan que la parrilla se mueva durante el colado. Estos gatos se retirarán hasta que se haya terminado el colado.

El tiempo a transcurrir entre el momento de introducción de la parrilla en la zanja y el colado de la misma será de - cuatro horas, períodos mayores favorecen la formación de cake y reducen la adherencia concreto-acero, por ésta razón el colado del muro deberá iniciarse inmediatamente después de - introducida la parrilla de armado, ya que no es conveniente sacar y meter nuevamente la parrilla de la zanja pues en cada operación se pueden producir caídas indeseables que afectan la estabilidad de la zanja.

Con objeto de garantizar el recubrimiento de los muros, las parrillas de armado deberán habilitarse con roles de concreto de 5" de diámetro que irán fijados al acero principal de la parrilla por medio de varillas de 3/4" localizadas en ambas caras de la parrilla y tres niveles equidistantes en - el sentido vertical.

Cada una de las varillas llevará cuatro roles ubicados - también equidistantes en el sentido horizontal.

Asímismo, será necesario dejar dentro de la parrilla espacios libres de 60 x 60 cm con varillas verticales de gufa

para el paso de las trompas de colado.

Después de colada, centrada y nivelada la parrilla, se introducirán las trompas de colado por tramos. Los coples de unión de cada tramo de las trompas deben ser perfectamente herméticos para impedir que la succión de la columna de concreto, al bajar, absorba aire o lodo del exterior. Cada tramo será de no más de 2 m de largo y tendrá un diámetro no menor de 30 cm.

Al tramo que sobresale en la superficie se le conecta un embudo o tolva. La boca de ésta tolva debe quedar a una altura conveniente para que se pueda descargar directamente el concreto desde las ollas revolvedoras. Todo el conjunto se subirá o bajará durante el colado por lo tanto deberá contar se con el equipo necesario para efectuar éstos movimientos. Los tramos de tubo deberán ser lo suficientemente fuertes y pesados para soportar el manejo.

El extremo inferior de la trompa o boca de descarga debe

quedar apoyado en el fondo de la zanja antes de iniciar el colado. Una vez introducidas las trompas de colado se colocará entre la tolva y el tubo un balón de latex, el cual descenderá obligado por el peso del concreto vaciado evitando en ésta forma la segregación y contaminación del concreto. En esta forma se impide la descarga del concreto con mucha energía lo cual puede provocar la mezcla del concreto con el lodo. Para iniciar el flujo de concreto la trompa deberá levantarse una distancia de 30cm por encima del fondo de la zanja.

El concreto debe ser suficientemente fluido para que sin necesidad de vibrarlo penetre y se distribuya uniformemente por todo el tablero. La boca de descarga de la trompa de colado no debe quedar nunca ahogada menos de 0.50 m en el concreto que se esté colando, para ayudar al concreto a fluir -- al principio, puede desplazarse la trompa verticalmente hacia arriba y hacia abajo vigilando que permanezca siempre suficientemente ahogada en el concreto para que no exista contaminación del lodo con el concreto. A medida que el concreto fluya se agregará más concreto a la tolva, manteniendo la columna a una altura conveniente para regular la rapidez del flujo, en ésta forma, el lodo de la zanja será desplazado hacia la superficie por la diferencia de densidades prácticamente sin necesidad de mover la tubería. El impulso que -- lleva la primera mezcla al salir por la boca de descarga pro

ducirá un efecto de arranque en el fondo del tablero y lo deja limpio de lodo. Con un buen procedimiento de colado el lodo no se mezclará con el concreto, sino que éste lo llevará siempre por delante hasta rebosar, bien sea a un recipiente colector o bien al tablero vecino. También podrá irse --succionando con una bomba de lodos.

El concreto no deberá ser vaciado de golpe dentro de la tolva, para lograr un flujo suave y continuo, por lo que no deberán tenerse recesos o interrupciones mayores de 15 minutos.

Es necesario llevar un riguroso control de colado midiendo en forma permanente la variación del nivel de la superficie del concreto, con el objeto de poder decidir el retiro oportuno de los tramos de las trompas de colado y programar adecuadamente el suministro del concreto para evitar los recesos.

Dos trompas de colado en la zanja serán suficientes para el colado de 6 m de longitud, debido a las pendientes que desarrolla el concreto fluido dentro del lodo. Las dos trompas de colado deberán usarse en forma simultánea y una vez iniciado el colado no deberá desplazarse lateralmente dentro del tablero.

Un buen procedimiento de colado representa:

1. Tener un lodo bajo control que cumpla con todas las características especificadas.
2. Tener un concreto fluido (revenimiento según las especificaciones de concreto).
3. Dejar la trompa ahogada siempre en el concreto; no menos de 0.50 m durante el colado y asegurarse de que los coples de unión de los tramos de la trompa sean herméticos, es decir, que impidan el paso del lodo hacia el interior.
4. Hacer un colado continuo que por ningún motivo sea interrumpido más de 15 min.
5. Evitar todo movimiento brusco de la trompa y todo vibrado y picado, ya que ello favorece la mezcla del lodo con el concreto, dando por resultado oquedades y zonas contaminadas de muy baja resistencia en el muro.
6. Verificar durante el colado el volumen de concreto que entra en el tablero y el volumen de lodo que se desplaza y compararlos con los volúmenes calculados de acuerdo con la geometría del tablero. Si hay diferencias --

notables puede significar que estan presentándose fugas o que hay mezcla del lodo con el concreto.

El concreto de los muros debe llegar a un nivel de 30cm arriba del nivel superior indicado en el proyecto. Estos 30cm en exceso se consideran contaminados y además que no contribuyen al trabajo estructural del cajón.

Debido a que la excavación entre muros se llevará a cabo aprovechando la rigidez de los mismos y su capacidad como losa en el sentido tanto vertical como longitudinal, dicha excavación no podrá iniciarse hasta que hayan transcurrido por lo menos 14 días después de colados los muros (para concreto tipo III) o 28 días (para concreto tipo I) y hasta que se tengan colados los muros de un lado y de otro en una longitud no menor de 30.0 m asimismo, el inicio de la excavación también quedará sujeto a los tiempos de bombeo indicados en las especificaciones correspondientes al abatimiento del nivel freático.

D. Especificación para el abatimiento del nivel freático en las excavaciones de las cabeceras y zona central de la estación.

Con el objeto de reducir las expansiones del fondo de la excavación, controlar las fuerzas de filtración, incre-

mentar la estabilidad de los taludes y realizar la excavación en seco se procederá a abatir el nivel de aguas freáticas mediante la utilización de pozos de bombeo, los cuales se instalarán de acuerdo con los siguientes pasos:

Perforación.

Colocación del ademe

Colocación del filtro.

Colocación de bombas eyectoras.

1. Localización de los pozos de bombeo.

La distribución de los pozos de bombeo se muestra en la figura No. 5.1.

2. Profundidad de los pozos de bombeo.

La profundidad de desplante de los pozos será de 2.00 m por abajo del nivel máximo de excavación.

3. Perforación de los pozos de bombeo.

Los pozos tendrán 30 cm de diámetro y se perforarán con broca tricónica o broca de dientes. Con cualquiera de las dos herramientas que se use se deberá utilizar el lavado y limpieza de la perforación exclusivamente con agua a pre-

sión; en ningún caso se empleará en la perforación herramienta que no utilice agua a presión en el lavado; en este caso están los botes de las perforadoras Caldwell y las espirales sólidas. Por ningún motivo deberá usarse lodo para hacer la perforación de los pozos.

4. Limpieza de las perforaciones.

Para tener las perforaciones en estado de poder instalar el equipo de bombeo dentro de ellas, deberán estar limpias y libres de azolve.

Para la limpieza se emplearán cucharas de percusión para extraer el azolve grueso y, después de terminar esta operación, se lavará la perforación con agua a presión. Se considerará limpia está, hasta que el agua retorne libre de partículas. Por ningún motivo se instalarán el ademe y el filtro dentro de perforaciones que no se hayan limpiado.

5. Ademes de los pozos de bombeo.

Antes de ademar la perforación, como más adelante se explica, será necesario mantenerla llena de agua hasta rebosar para evitar que sus paredes se cierren. El ademe de los pozos serán tubos de 4" de diámetro. Los ademes estarán provistos de tres aletas ($\varnothing = 3/4"$) de 1.0 m de longitud coloca

dos en forma simétrica alrededor del tubo, y en tres puntos equidistantes a lo largo del ademe. El diámetro circunscrito por las aletas debe ser aproximadamente igual al diámetro del pozo, con objeto de que el ademe quede centrado dentro de la perforación.

6. Ranurado de los ademes.

Los ademes se ranurarán con el objeto de que el agua -- por bombear penetre libremente a su interior. Las ranuras serán de 30cm de longitud y 3 mm de ancho (1/8"). El porcentaje de área de filtración del tubo no deberá ser menor de 3% ni mayor de 5% del área perimetral del tubo.

Los ademes se ranurarán en toda su longitud excepto --- 2.00 m en su extremo superior y 1.5 m en su extremo infe--- rior.

7. Malla alrededor del ademe.

Para evitar que el filtro pase al interior del ademe se deberá colocar una malla del número 8 alrededor del ademe.- La malla deberá quedar sujeta firmemente al ademe con objeto de que no se vaya a desprender durante las maniobras de instalación y deberá cubrir perfectamente las ranuras.

8. Filtro.

Entre las paredes del pozo y las del ademe, se colocará un filtro de arena gruesa fina limpia, cuya granulometría - este comprendida entre los siguientes tamaños: 1.0 cm para el máximo y 0.25 cm para el mínimo. El material empleado - deberá contener partículas de todos los tamaños intermedios y deberá lavarse y cribarse previamente a su colocación -- para eliminar todos los materiales finos que contenga y que pueden obstruir el filtro durante su funcionamiento.

9. Desarrollo del flujo hidráulico.

Con el fin de establecer el flujo hidráulico en el pozo y hacer con ello más eficaz el bombeo, después de colocado el ademe y el filtro, se agitará el interior del ademe con una cuchara de percusión. Si esta operación no resulta suficiente para activar el flujo hidráulico, se arrojará hiello seco al fondo del pozo para que el monóxido de carbono - liberado destape los espacios entre partículas que hayan si do bloqueados.

10. Bombas.

Las bombas que se utilizarán serán de pozo profundo -- del tipo eyector de 1" x 1/4".

11. Profundidad de la instalación de las bombas.

El nivel de succión de las bombas en todos los pozos - será de 1 m por abajo del nivel máximo de excavación.

12. Presión de operación de las bombas.

Las bombas se operarán a una presión de 5 kg/cm², salvo que se señale otra presión en algún caso particular.

13. Control.

Para el control del abatimiento del nivel freático, se registrarán en cada turno, la presión de operación de las bombas, el gasto de extracción, y el nivel dinámico en cada pozo, y con los datos registrados se elaborarán gráficas -- tiempo-presión de operación, tiempo-gasto extraído y tiempo nivel dinámico. Asimismo, en caso de que se instalen piezómetros para registrar el abatimiento del nivel freático, se tomará una lectura diaria y con los datos obtenidos se elaborarán gráficas de tiempo-nivel piezométrico.

14. Tiempo de bombeo.

El bombeo deberá iniciarse cinco días antes de comenzar la excavación de cualquier etapa, en los pozos localizados -

dentro del área de la etapa en cuestión y en todos aquellos pozos que se encuentren a 10 m de distancia medidos a partir del hombro de los taludes que limitan dicha etapa.

15. Longitud de bombeo.

El bombeo sólo podrá iniciarse cuando hayan sido construidos los muros tablastaca correspondientes a la zona por bombear en una longitud de 50.0 m como mínimo.

16. Suspensión del bombeo.

La suspensión del bombeo se llevará a cabo una vez que se haya colocado la losa de piso correspondiente a la zona donde se encuentran ubicados.

Notas importantes:

1. No se podrá iniciar ninguna etapa de excavación si no se ha bombeado previamente durante un periodo de cinco días.
2. En caso de que se haya bombeado durante cinco días y no se inicie la excavación, deberá suspenderse el bombeo, respetando la condición de que cuando se vaya a iniciar la exca vación de una determinada etapa, ésta deberá cumplir con el tiempo previo de bombeo especificado.

E. Procedimiento constructivo para la excavación y construcción de la estación.

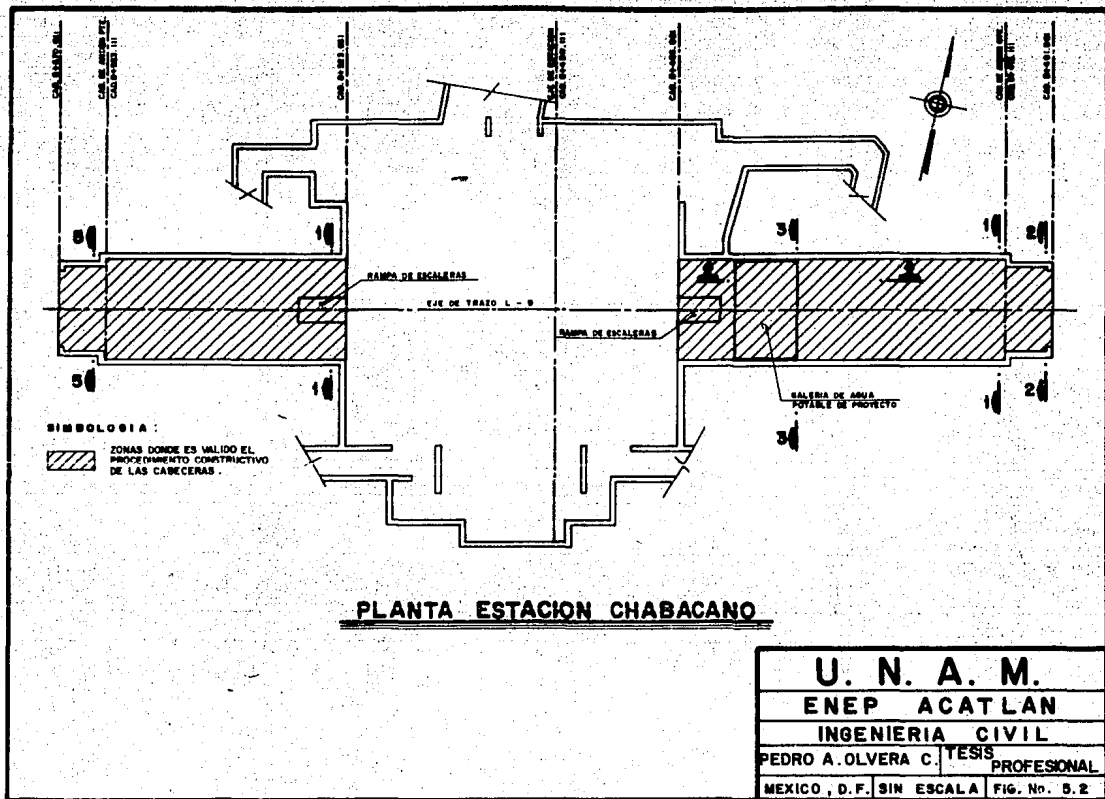
1. Zona de las cabeceras.

A continuación se describe el procedimiento constructivo que deberá seguirse para la excavación y construcción de las cabeceras oriente y poniente de la estación, comprendidas entre los cadenamientos 8+401.061 al 8+466.661 y del --- 8+523.661 al 8+570.611 respectivamente, ver figura No. 5.2.

La excavación para alojar la estructura de las cabeceras se realizará a cielo abierto y por etapas, entre una estructura de contención constituida por muros tablestaca de concreto, armados y colados en sitio bajo lodo bentonítico, y entre taludes. Estos últimos limitarán el avance de la excavación y su inclinación será 1.25:1 horizontal a vertical.

a. Observaciones generales.

1) Para iniciar la excavación de la etapa 12 A (cabecera oriente) es condición necesaria que previamente se haya construido en su totalidad la galería de proyecto y que la tubería de agua potable existente se encuentre fuera de servicio.



2) La tubería de agua potable existente deberá extraerse conforme avance la excavación. En los extremos de la tubería, comprendidos fuera del área de excavación, deberá construirse en su interior un muro tapón constituido por tabiques, los cuales se juntarán con mortero.

3) En las zonas donde se encuentra la tubería de agua potable existente de 36" de diámetro, se deberán construir -- los muros tablestaca una vez que se haya concluido con la -- construcción de la galería de proyecto de agua potable y -- con el desvío correspondiente.

4) Las tuberías de agua potable que se localicen en los -- respaldos de los muros tablestaca perimetrales de la esta-- ción, deberán desviarse superficialmente y en forma provi-- sional antes de iniciar la excavación de cualquier etapa.

b. Excavación y construcción.

La descripción para la excavación y construcción de la cabecera poniente de la estación se dividirá en dos subtramos los cuales quedarán comprendidos entre los cadenamientos 8+523.611 al 8+563.111 y del 8+563.111 al 8+570.611.

La cabecera oriente quedará comprendida entre los cadenamientos 8+401.061 al 8+466.661, ver figura No. 5.2.

A continuación se describe el procedimiento constructivo que deberá llevarse a cabo entre cada uno de los cadenamientos antes citados:

1) Cabeceras oriente y poniente.

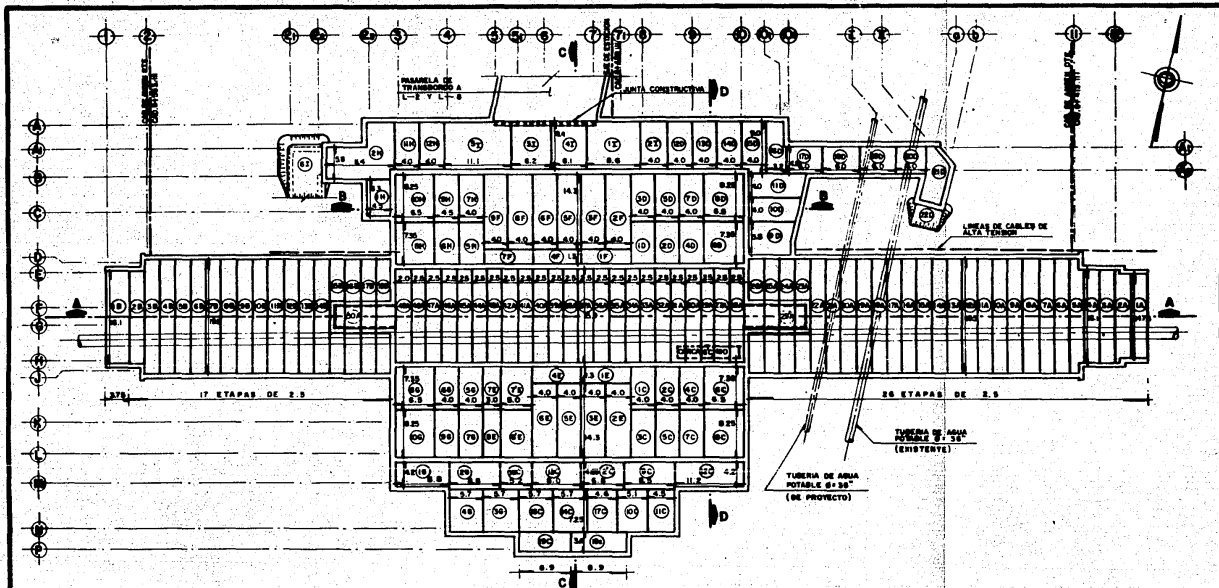
Entre los cadenamientos 8+401.061 al 8+466.661 y del 8+523.661 al 8+563.111.

El orden de ejecución de las etapas deberá llevarse a cabo de acuerdo a lo indicado en la figura No. 5.3, y por ningún motivo deberá alterarse.

Las etapas de excavación indicadas con el mismo número podrán atacarse en forma simultánea.

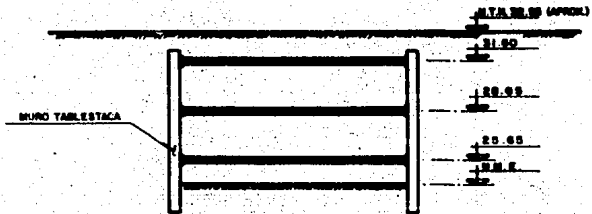
En lo sucesivo todos los niveles que se mencionan están referidos a la elevación 32.95 m considerada como nivel de terreno natural.

La excavación se iniciará a partir del nivel de terreno natural, suspendiéndola momentaneamente una vez que esta se encuentre 0.30 m por abajo de la elevación correspondiente al punto de aplicación de cada uno de los niveles de puntales indicados en la figura No. 5.4.



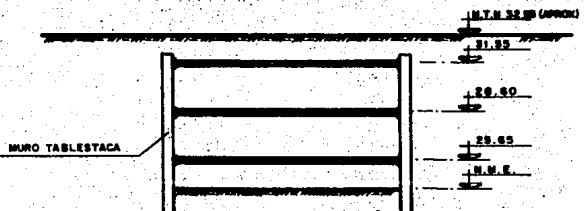
PLANO DE ETAPAS DE EXCAVACION

U. N. A. M.	
ENEP ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	
PEDRO A. OLVERA C.	TESIS PROFESIONAL
MEXICO, D.F. SIN ESCALA FIG. No. 5.3	



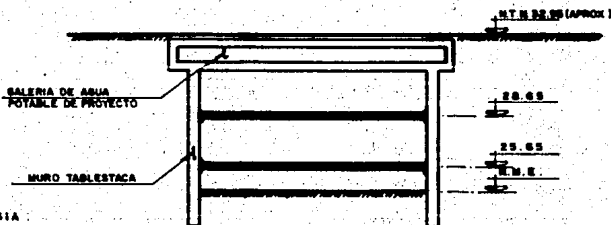
CORTE 1-1

VALIDO ENTRE LOS CADENAMIENTOS 8+42.111 AL 8+42.000 Y 8+123.000 AL 8+122.000 EXCEPTO DONDE SE LOCALIZA LA SALENA DE AGUA POTABLE DE PROYECTO.



CORTE 2-2

VALIDO ENTRE LOS CADENAMIENTOS 8+401.001 AL 8+413.111



CORTE 3-3

VALIDO BAJO LA SALENA DE AGUA POTABLE DE PROYECTO

SIMBOLOGIA

N.T.M. = NIVEL DE TERREMO NATURAL
 N.M.E. = NIVEL MAXIMO DE EXCAVACION

NIVELES DE PUNTALES EN CABECERAS

U. N. A. M.	
ENEP ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	
PEDRO A. OLVERA C.	TESIS
MEXICO, D.F. SIN ESCALA	PROFESIONAL
	FIG. No. 5.4

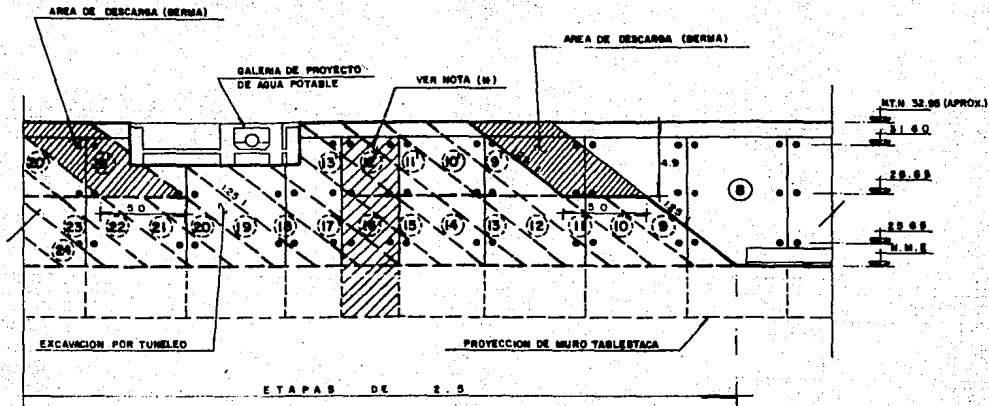
Alcanzada la profundidad máxima de proyecto en cualquier etapa, se deberá excavar en un tiempo no mayor de 2 horas, una berma de 5.0 m de longitud por 4.90 m de profundidad, ver figura No. 5.5. La construcción de los muros tablistaca localizados en la zona de interferencia con la tubería de agua potable de 36" de diámetro existente, se llevará a cabo una vez que se haya construido la galería de proyecto y se haya efectuado el desvío correspondiente.

El proceso de excavación no podrá continuar si no han sido instalados los puntales en sus elevaciones correspondientes.

Todos los puntales se colocarán con una precarga de 30 Ton.

En la zona donde se localiza la galería de agua potable de proyecto el proceso de excavación se realizará por tuneleo y se contará exclusivamente con dos niveles de puntales. La inclinación de los taludes bajo la galería será 1.25:1 horizontal a vertical sin berma, ver figura No. 5.5.

Una vez instalado el último nivel de puntales, se continuará con la excavación hasta alcanzar la profundidad máxima de proyecto (24.20 m), para proceder de inmediato al colado de una plantilla de concreto pobre de 20cm de espe--



NOTA (N)
 MURO TABLESTACA POR CONSTRUIR DESPUES
 DE EFECTUADO EL DESVIO DE PROYECTO.

C O R T E 4 - 4

BERMA EN TALUD DE CABECERAS

U. N. A. M.	
ENEP ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	
PEDRO A. OLVERA C	TESIS
PROFESIONAL	
MEXICO., D.F.	SIN ESCALA
FIG. No. 5.5	

sor conteniendo aditivo acelerante de fraguado.

Entre los cadenamientos 8+401.061 y el 8+405.611 correspondientes a la cabecera oriente de la estación, el nivel máximo de excavación será 24.30 m y se contará con un espesor de plantilla de 10 cm.

No deberá transcurrir un periodo mayor de 3 horas entre el momento de alcanzar la profundidad máxima de proyecto y la terminación del colado de la plantilla.

Dos horas después de colada la plantilla, en cualquier etapa, se procederá al armado y colado de la losa de fondo, debiendo dejar las preparaciones necesarias para la liga con los muros estructurales y la losa de piso de la siguiente etapa.

No deberán transcurrir más de 12 horas entre el colado de la plantilla y el colado de la losa de fondo.

El colado de la losa de fondo deberá efectuarse en un periodo no mayor de 8 horas.

Será condición necesaria para iniciar la excavación de una determinada etapa, que en la etapa inmediata anterior se haya colado la losa de piso correspondiente.

El colado de la plantilla y de la losa deberá excluirse en las zonas donde se construirán las escaleras que comunican el nivel pasarela de estación y el andén central en cabezas.

Veinticuatro horas después de colada la losa de fondo, se podrá retirar el último nivel de puntales y se iniciará el armado, cimbrado y colado de los muros estructurales.

Para el armado, cimbrado y colado de los muros estructurales no deberá emplearse un tiempo mayor de 72 horas.

Durante el colado de los muros estructurales deberán dejarse cajas sin construir en las zonas donde interfiera el segundo nivel de puntales.

En cuanto los muros estructurales alcancen su resistencia especificada, se procederá a la colocación de las tabletas que conformarán la losa de techo y se iniciará el armado para el colado del firme de compresión.

Veinticuatro horas después de colado el firme de compresión, se podrá retirar el primer y segundo nivel de puntales.

Los huecos dejados en los muros estructurales como consecuencia del retiro del segundo nivel de puntales, se cola-

rán con concreto conteniendo aditivo estabilizador de volumen.

Habiendo alcanzado su resistencia especificada el firme de compresión, se colocará el material de relleno sobre la losa de techo hasta el nivel de subrasante para enseguida restituir el pavimento en las zonas donde haya sido afectado

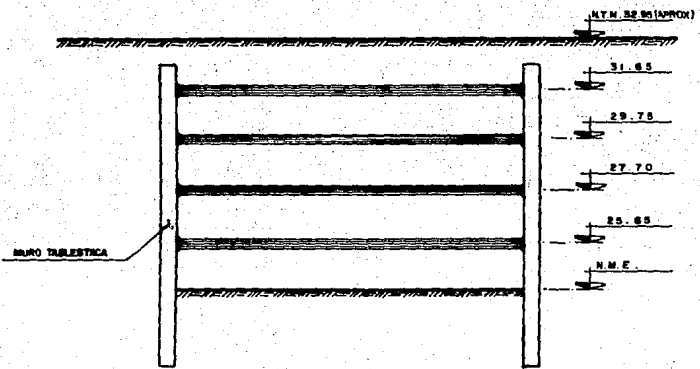
2) Cabecera poniente.

En la cabecera poniente de la estación, entre los cadeneramientos 8+563.111 y 8+570.611 la excavación, apuntalamiento y construcción se realizará de acuerdo a lo indicado en párrafos anteriores, excepto en lo siguiente:

a) Se contará con cuatro niveles de puntales ubicados en las elevaciones mostradas en la figura No. 5.6.

b) Durante la construcción de los muros estructurales deben dejarse cajas sin construir en la zona donde interfiere el segundo y tercer nivel de puntales.

c) Durante la construcción del muro estructural sur deben dejarse las preparaciones necesarias para la liga con la losa de piso del puente Chabacano de acuerdo a lo indicado en el plano correspondiente.



SIMBOLOGIA

N.T.N. • NIVEL DE TERRENO NATURAL
 N.M.E. • NIVEL MAXIMO DE EXCAVACION

CORTE 5-5

VALIDO ENTRE LOS CADENAMIENTOS 8+563.00 AL 8+570.00

NIVELES DE PUNTALES EN CABECERA PONIENTE

U. N. A. M.	
ENEP ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	
PEDRO A. OLVERA C.	TESIS
MEXICO, D.F.	PROFESIONAL
SIN ESCALA	FIG. No. 5.6

d) El primer nivel de puntales se retirará cuando los muros estructurales hayan alcanzado su resistencia de proyecto, para proceder a la demolición de la parte superior del muro tablestaca sur y a la colocación de las tabletas que conformarán la losa de techo.

Durante el colado del firme de compresión deberá efectuarse en forma monolítica la construcción de la losa donde se apoyará el estribo sur del puente Chabacano, dejando las preparaciones necesarias para la liga estructural con los estribos que se localizarán sobre dicha losa.

e) Veinticuatro horas después de colada la losa de techo de la cabecera, se retirará el segundo y tercer nivel de puntales, colando los huecos dejados por los mismos, con concreto estabilizador de volumen.

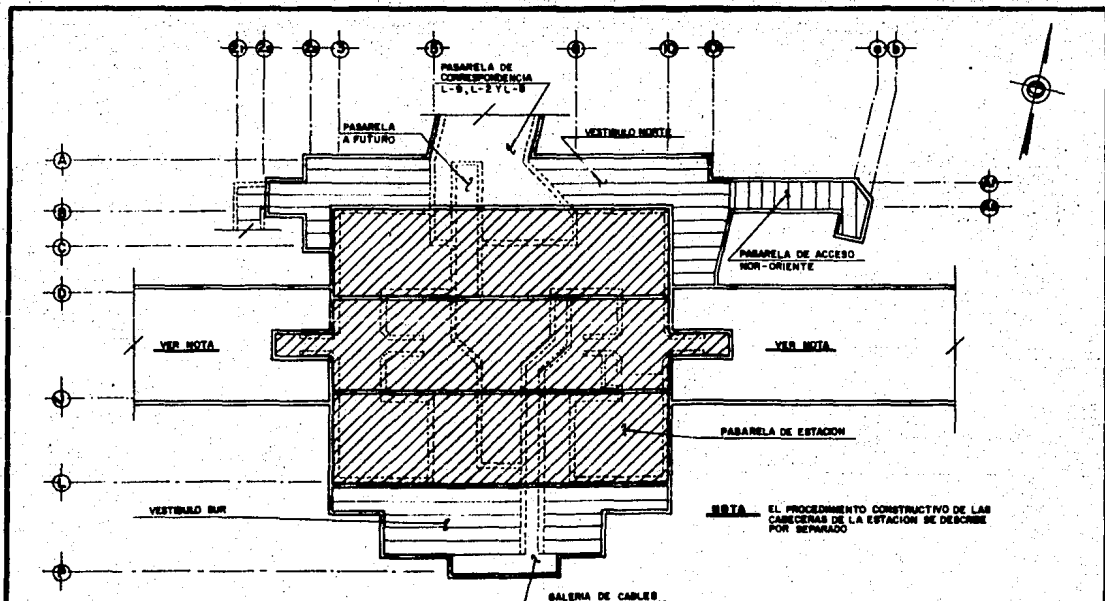
Notas importantes:

1. Los taludes cabeceros deberán protegerse con una capa de mortero de 5 cm de espesor armada con tela de gallinero.
2. Deberá respetarse la secuencia de excavación, longitud de etapas, inclinación de los taludes y niveles de apuntalamiento.

3. Será condición necesaria que las instalaciones municipales localizadas en el área por excavar se encuentren fuera de servicio.
 4. Deberán respetarse los tiempos aquí descritos para la estructuración de las cabeceras de la estación.
 5. Para dimensiones y detalles de los elementos estructurales consultar los planos correspondientes.
 6. En la cabecera oriente, la losa de piso de la galería de proyecto de agua potable será la losa de techo de la estructura de la estación de dicha zona.
2. Zona del núcleo central.

A continuación se describe el procedimiento constructivo que deberá llevarse a cabo para la excavación y estructuración del núcleo central de la estación Chabacano de la línea 9 del Metro. Se define núcleo central a las zonas comprendidas entre los ejes A-D y 2₁-b; D-J y 3-10; J-P y 3-10, ver figura No. 5.7.

La excavación del núcleo central de la estación estará limitada por una estructura de contención integrada por muros tablestaca y en el frente de avance por taludes cuya in-



PLANTA ESTACION CHABACANO

U. N. A. M.	
ENEP ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	
PEDRO A. OLVERA C.	TESIS
PROFESIONAL	
MEXICO, D.F. SIN ESCALA	FIG. No. 8.7

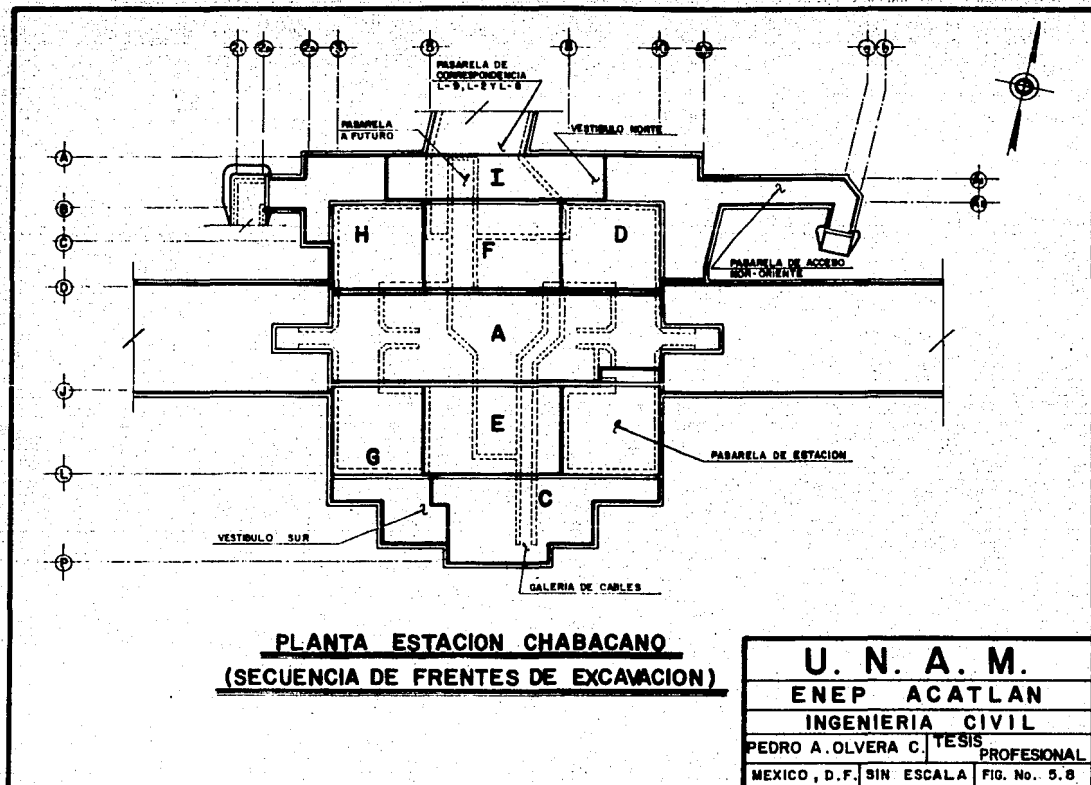
clinación se indica en los cortes de los planos de etapas de excavación y apuntalamiento (figuras Nos. 5.3 y 5.9 a -- 5.13).

El proceso de excavación se llevará a cabo por frentes de ataque (ver figura No. 5.8); el frente "A" estará comprendido entre los ejes 3-10 y D-J, la numeración de sus etapas son continuación de las correspondientes a la cabecera oriente, ver figura No. 5.3; la zona lateral norte comprendida entre los ejes A-D y 2₁-b estará conformada por los frentes de ataque "D", "F", "H" e "I" y la zona lateral sur estará delimitada por los ejes J-P y 3-10, definida por los frentes "C", "E" y "G".

Las excavaciones donde se alojarán el cárcamo de bombeo y la galería de cables, localizada en el vestibulo sur, se realizarán entre taludes cuya inclinación será 0.5:1 horizontal a vertical, ver figura No. 5.13, excepto donde se cuente con muro tablestaca.

Previamente a la excavación de cualquier etapa deberá contarse con el abatimiento del nivel freático indicado en párrafos anteriores.

En lo sucesivo todos los niveles que se mencionan en este escrito están referidos a la elevación 32.95 m considera-



do como nivel de terreno natural promedio.

A continuación se indica el proceso constructivo que deberá llevarse a cabo para cada uno de los frentes de ataque antes citados:

a. Excavación y construcción.

1) Frente de ataque "A" (entre ejes D-J y 3-10).

La excavación del núcleo central se iniciará entre los ejes D-J y 3-10 (frente de ataque "A"), una vez que se haya concluido la construcción de la cabecera oriente, tal como se indica en el plano de etapas de excavación correspondiente, ver figura No. 5.3.

La excavación de éste frente estará limitado por muros tablestaca localizados sobre los ejes D, J, 3 y 10, continuando siempre en el frente de ataque con un talud cuya inclinación será la que se indica en el corte A-A, ver figura No. 5.10.

Deberá respetarse el orden de ejecución de las etapas de acuerdo a lo indicado en el plano de etapas de excavación y por ningún motivo deberá alterarse.

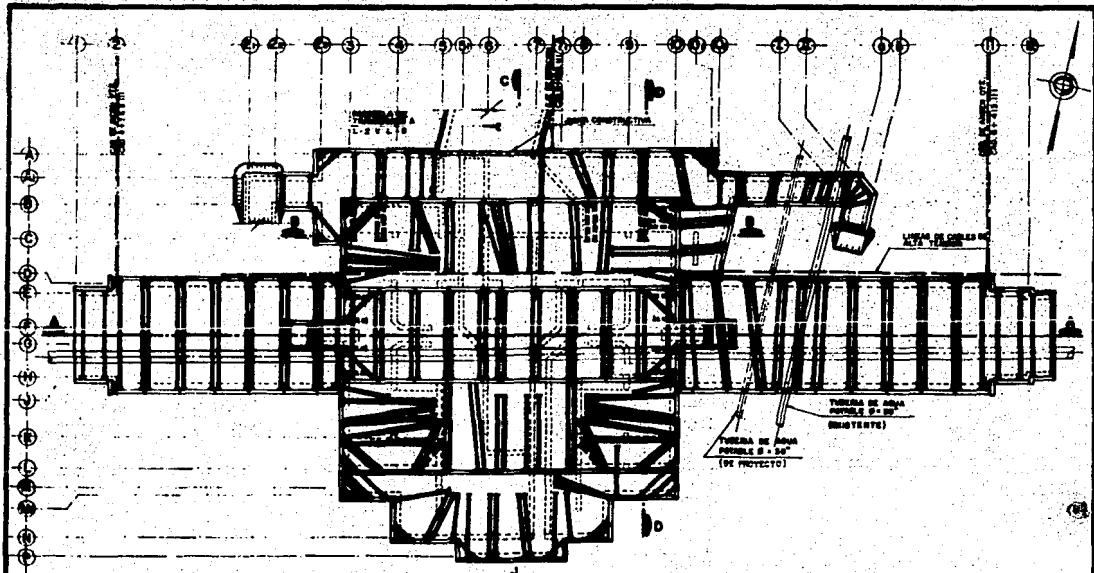
Previamente a la excavación de cualquier etapa localizada entre los ejes D-J, y 3-10, deberá efectuarse un "rasure" interior y lateral de 4.00 m de profundidad, hasta 5.0m de los paños exteriores de los muros tablestaca de los ejes D y J, indicado como etapa "A" en la figura No. 5.10.

Una vez hecho el "rasure", se continuará con la excavación de cada una de las etapas, respetando su orden de ejecución, suspendiéndola momentaneamente una vez que esta se encuentre 30cm por abajo de la elevación correspondiente a la colocación de cada uno de los niveles de puntales indicados en el corte A-A.

El proceso de excavación no podrá continuar si cualquier nivel de puntales no ha sido instalado en su elevación correspondiente.

Todos los puntales deberán colocarse con una precarga de 30 toneladas, debiendo llevar un riguroso control de la misma.

La separación entre pares de puntales será 1.00 m centro a centro, de tal manera que queden simétricamente colocados con respecto a la junta de construcción de los muros tablestaca, excepto donde se indique otra distancia, ver figura No. 5.9.



PLANO DE APUNTALAMIENTO

U. N. A. M.	
ENEP ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	
PEDRO A. OLVERA C.	TESIS PROFESIONAL
MEXICO, D.F.	DIN ESCALA FIG. No. 5.9

Una vez instalado el último nivel de puntales se continuará con la excavación hasta alcanzar la profundidad máxima de proyecto, para proceder de inmediato al colado de una plantilla de concreto pobre de 50cm de espesor conteniendo aditivo acelerante de fraguado.

Previamente al colado de la plantilla en ésta área, deberán colocarse en su posición definitiva los tramos de tubería que quedarán alojados en la misma.

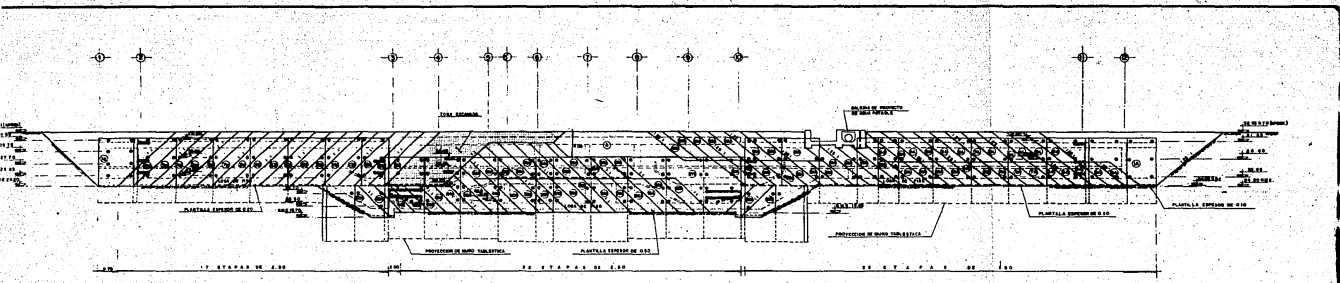
El colado de la plantilla deberá excluirse en las zonas donde se construirán contratraveses.

En el fondo de la excavación donde se alojarán las contratraveses deberá colarse una plantilla, de 10 cm de espesor.

No deberá transcurrir un periodo mayor de 3 (tres) horas entre el momento de alcanzar la profundidad máxima de proyecto y la terminación del colado de la plantilla.

Dos horas después de colada la plantilla, se procederá al armado, cimbrado y colado de la losa de fondo, debiendo dejar las preparaciones necesarias para la liga con los muros estructurales y la losa de piso de la siguiente etapa.

No deberán transcurrir más de 12 horas entre el momen-



C O R T E A - A

U. N. A. M.
ENEP ACATLÁN
INGENIERIA CIVIL
 PEDRO A. OLVERA C. I. E. S.
 MEXICO, D. F. | SIN ESCALA | FOLIO No. 8.10

to de la terminación del colado de la plantilla y el colado de la losa de fondo.

El colado de la losa de fondo deberá efectuarse en un periodo no mayor de 8 horas.

Exclusivamente en la zona donde se ubicará el cárcamo de bombeo (etapa 6'c), ver figura No. 5.13, se colará una --- plantilla de concreto pobre de 5 cm de espesor, para efectuar posteriormente su excavación de acuerdo a la secuencia indicada en el plano de etapas de excavación; su proceso constructivo se indica en párrafos posteriores.

Veinticuatro horas después de haber finalizado la construcción de la losa de fondo podrá retirarse el cuarto nivel de puntales.

El retiro del primer, segundo y tercer nivel de puntales se llevará a cabo conforme avance la excavación en forma simultánea de las etapas de los frentes adyacentes a dicha área, así como la demolición de los muros tablestaca de los ejes D y J, comprendidos entre los ejes 3-10.

Será condición necesaria para iniciar la excavación de cualquier etapa, que en la etapa inmediata anterior se haya colado la losa de fondo.

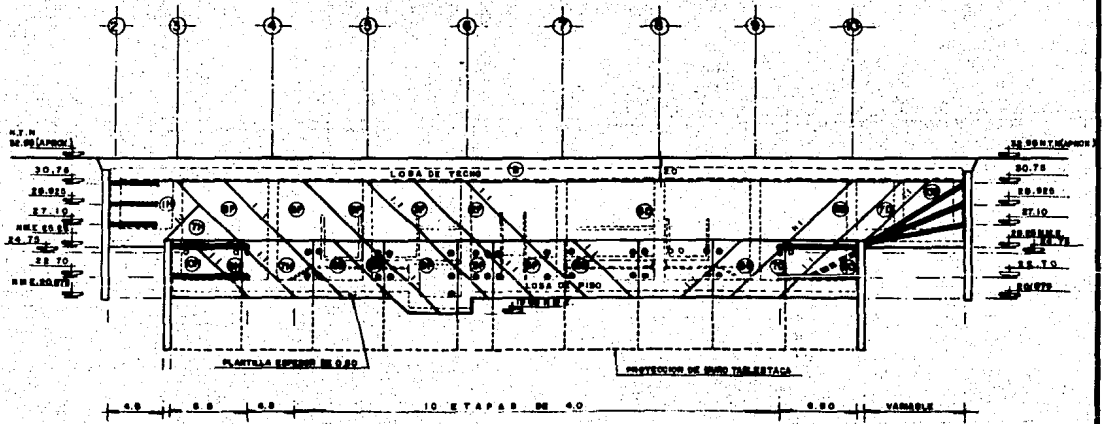
2) Frentes de ataque "C" y "D" (entre ejes J-L y 8-10; L-P y 5-10; B-D y 8 - 10₂; A-B y 8-b; B-D y 10-10₂) Ver figura No. 5.8.

Las etapas 1 a 8 de los frentes "C" y "D" corresponden a la pasarela de la estación; la etapa 6'C constituye la excavación y construcción del cárcamo de bombeo; las etapas --- 2'C y 9C a 19C comprenden el vestíbulo sur incluyendo la galería de cables; las etapas 9D a 16D corresponden al vestíbulo norte y las etapas 17D a 22D a la pasarela de acceso nor - - oriente de la estación tal como se indica en el plano de etapas de excavación ver figura No. 5.3.

A continuación se describe el procedimiento constructivo que deberá llevarse a cabo, en cada uno de los frentes -- "C" y "D", desglosándose cada una de las zonas que la consti tuyen.

a) Pasarela de estación (etapas 1 a 8 de frentes "C" y "D") previamente a la excavación de cualquier etapa entre los --- ejes antes citados, se efectuará una descarga hasta 2.0 m de profundidad en toda el área comprendida por los muros tables taca, indicada como etapa "B" en las figuras Nos. 5.11, 5.12 y 5.13.

La excavación de los frentes de ataque "C" y "D" se lle



CORTE B-B

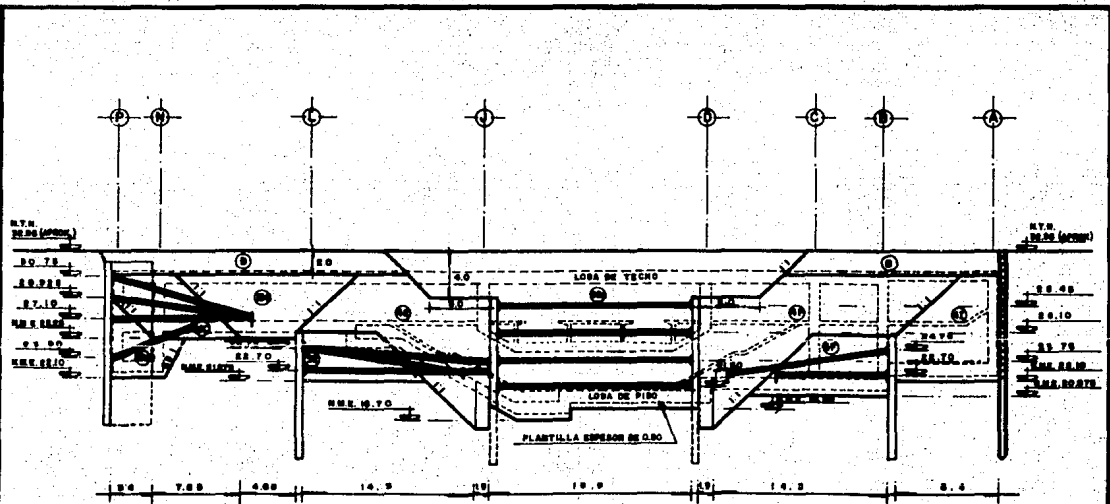
U. N. A. M.	
ENEP ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	
PEDRO A. OLVERA C.	TESIS PROFESIONAL
MEXICO, D.F. SIN ESCALA	FIG. No. 5. 11

vará a cabo una vez concluida la excavación del frente "A" - debiéndose efectuar en forma simultánea la excavación de las etapas indicadas con el mismo número colindantes a los ejes D y J.

La excavación simultánea de las etapas indicadas con el mismo número, colindantes a los ejes D y J correspondientes a los frentes "C" y "D" se suspenderá momentáneamente una -- vez que esta se localice a 30cm por arriba de cualquier nivel de puntales, que se apoyarán sobre los muros tablestaca de los ejes D y J, para efectuar su retiro. Esta excavación no podrá continuar si dicho apuntalamiento no ha sido retirado.

La demolición de los muros tablestaca localizados sobre los ejes D y J se llevará a cabo en forma simultánea con la excavación de las etapas colindantes a dichos ejes. Entre los ejes D-J donde se colará el lastre definitivo a base de concreto simple, la demolición de los muros tablestaca se -- realizará hasta el nivel de desplante de la losa de andén, - ver figura No. 5.13

Conforme avance la excavación de las etapas de la pasarela de la estación correspondientes a los frentes "C" y "D" deberá efectuarse el apuntalamiento de los muros tablestaca de los ejes 10, B y L de acuerdo a lo indicado en las figuras Nos. 5.9, 5.11 y 5.13



C O R T E C - C

U. N. A. M.	
ENEP ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	
PEDRO A. OLVERA C.	TESIS PROFESIONAL
MEXICO, D.F.	SIN ESCALA FIG. No. 5.12

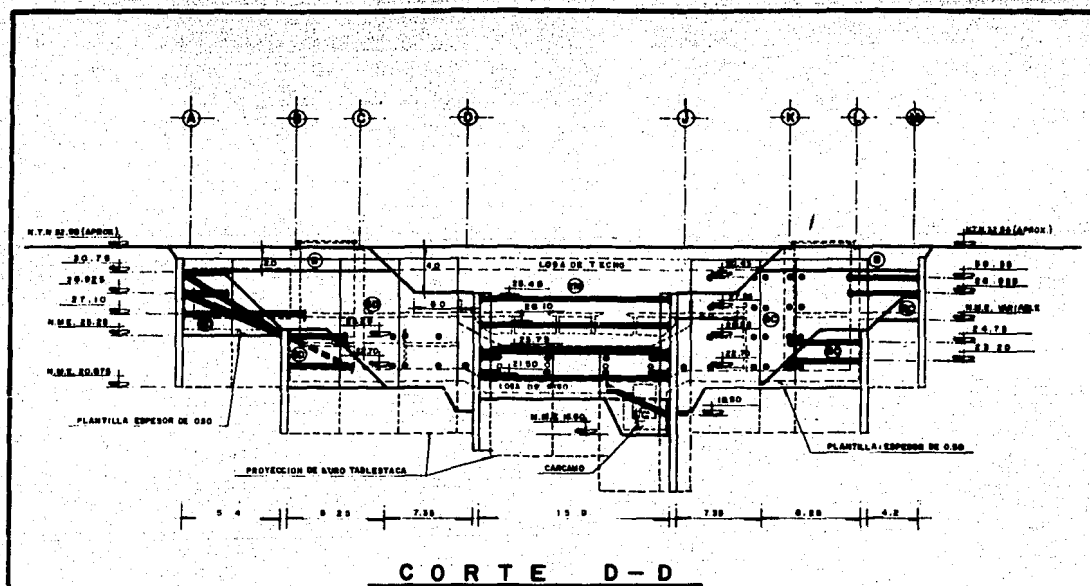
Una vez que la excavación se encuentre 30 cm por abajo de cualquier nivel de puntales se suspenderá ésta, para proceder a la colocación de los mismos y por ningún motivo deberá continuar ésta si en dicho nivel no han sido colocados -- los puntales respectivos.

Para ubicación y distribución de puntales, consultar -- las figuras antes citadas.

Una vez colocado el último nivel de puntales se continuará con la excavación hasta alcanzar la profundidad máxima de proyecto para proceder de inmediato al colado de la planilla y losa de piso correspondientes de acuerdo a lo indicado para las del frente "A".

Efectuada la demolición de los muros tablestaca ubicados en los ejes D y J se procederá de inmediato a efectuar -- la liga de las losas de fondo de las etapas de los frentes -- "C" y "D" con las correspondientes al frente "A" localizadas entre los ejes D y J.

Veinticuatro horas después de efectuada la liga estructural entre losas de fondo, se procederá de inmediato al armado, cimbrado y colado de las columnas y muros estructurales debiendo dejar las preparaciones necesarias para la liga con las losas del nivel vestíbulo y los muros estructurales



CORTE D-D

U. N. A. M.	
ENEP ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	
PEDRO A. OLVERA C.	TESTIS
PROFESIONAL	
MEXICO, D.F.	SIN ESCALA FIG. No. 5.13

de las siguientes etapas.

Una vez que los muros y columnas correspondientes hayan alcanzado su resistencia de proyecto, se procederá al cimbrado, armado y colado de la losa del nivel andén.

Durante el armado de la losa de nivel andén deberán dejarse las preparaciones necesarias para la liga estructural con los muretes del andén, columnas y losas de las siguientes etapas.

El retiro del último nivel de puntales se llevará a cabo veinticuatro horas después de colada la losa de piso de la etapa colindante al muro tablestaca en que se encuentre instalado.

Durante el colado de los muros estructurales de cualquier etapa, deberán dejarse cajas sin construir en las elevaciones donde se encuentren ubicados el primer, segundo y tercer nivel de puntales. El retiro de éstos puntales se realizará una vez que la losa de techo inmediata superior a la zona donde se ubican, haya alcanzado su resistencia de proyecto.

b) Cárcamo de bombeo (Etapa 6'c).

La excavación de la etapa 6'c correspondiente al cárcamo de bombeo, se realizará entre taludes cuya inclinación será 0.5:1 horizontal a vertical, limitada en sus lados sur y oriente por muros tablestaca.

La excavación de cárcamo se realizará a partir de la profundidad máxima de proyecto de la pasarela de la estación (19.65 m), para lo cual será necesario efectuar previamente la demolición de la plantilla indicada anteriormente; la excavación deberá suspenderse momentaneamente en la elevación 18.20 m para proceder de inmediato a la instalación de un nivel de puntales localizado en la elevación 18.50 m. Este nivel de puntales apoyará uno de sus extremos sobre el muro tablestaca y el otro sobre la losa de piso, tal como se muestra, en la figura No. 5.13.

Una vez instalado el nivel de puntales antes citado, se continuará con la excavación hasta alcanzar la profundidad máxima de proyecto, procediendo de inmediato al colado de la

plantilla cuyo espesor será de 50 cm; posteriormente se ---
efectuará la construcción de la losa de piso, de acuerdo a
lo indicado en párrafos anteriores.

Veinticuatro horas después de colada la losa de fondo
del cárcamo se retirará el nivel de puntales adicional, pa-
ra proceder al armado, cimbrado y colado de los muros es---
tructurales.

Cuando los muros estructurales del cárcamo hayan alcan-
zado su resistencia de proyecto se rellenará el espacio com-
prendido entre los paños exteriores de dichos muros y la pa-
red de los taludes. El espacio comprendido desde el nivel
de desplante del cárcamo hasta una altura en la cual las pa-
redes de los taludes estén separados de los muros estructu-
rales una distancia de 0.80 m se deberá rellenar con mate-
rial areno limoso colocado a volteo o con concreto simple;
a partir de éste nivel y hasta alcanzar el nivel de desplan-
te de plantilla de la pasarela de la estación, el material
de relleno se colocará por capas de 30 cm de espesor y se -
compactará al 90% de su peso volumétrico seco máximo con -
respecto a la norma AASHTO estándar T 99-74 variante "A" y
energía de compactación de 6.02 kg-cm/cm^3 .

Concluida la colocación del material de relleno se re-
tirarán los puntales en la zona del cárcamo, para proceder

al colado de la plantilla correspondiente a la zona de desarrollo de los taludes del cárcamo.

Dos horas después de colada la plantilla en esta última zona se efectuará la liga estructural entre los muros -- del cárcamo y la losa de fondo de la pasarela de la estación.

c) Vestibulos sur y norte (etapas 9c a 19c y 9D a 16D respectivamente).

Será condición necesaria para iniciar la excavación de las etapas 9c y 9D correspondientes a los vestibulos sur y norte respectivamente, que los muros estructurales del nivel de pasarela de estación de cada uno de sus frentes de -- ataque se encuentren contruidos cuando menos hasta el nivel 27.75 m.

La estructuración entre los ejes B-L y 7₁-10 por ningún motivo deberá suspenderse, continuándose en forma simultánea con la excavación de las etapas del nivel vestibulo -- correspondientes.

La excavación, apuntalamiento, así como los tiempos de ejecución para la estructuración de éstas etapas, se llevará a cabo de acuerdo a lo indicado en párrafos anteriores -

excepto en lo siguiente:

La excavación se realizará hasta el nivel 25.25 m excepto en las etapas del vestíbulo sur indicadas con los números 2'c, 17c a 19c y 12c correspondientes a la galería de cables y escaleras de acceso sur-oriente donde el nivel máximo de excavación será 22.10 m y 28.60 m respectivamente. Cuando se vaya a efectuar la estructuración de la rampa de escaleras (etapa 12 c), deberán efectuarse los cortes y rellenos para conformar la pendiente de dichas escaleras una vez que se cuente con el muro estructural del eje L. El material de relleno tanto para la galería como para la rampa de escaleras, deberá colocarse de acuerdo a lo indicado anteriormente para el cárcamo de bombeo.

La excavación de las etapas correspondientes a la galería de cables deberá efectuarse hasta 50 cm antes de los hombros de los taludes que se derraman al efectuar su excavación.

Para ubicación de puntales ver figura No. 5.9.

Previamente a la excavación de los vestíbulos, deberá sustituirse y/o complementarse el apuntalamiento sobre los muros de los ejes B, L y 10, tal como se indica en la figura antes citada.

Previamente al colado de la plantilla en la zona del vestíbulo norte, deberá colocarse grasa u otro material que impida la adherencia del extremo inferior de los puntales, que se apoyarán sobre el remate de los muros tablestaca "chapa rros", con el concreto de la plantilla, ver figura No. 5.11.

Veinticuatro horas después de colada la plantilla se retirará el tercer nivel de puntales para proceder de inmediato al armado y colado de la losa de piso, excepto en la zona donde interfiera el primer y segundo nivel de puntales.

Durante el armado de la losa de piso deberá efectuarse la liga con los muros estructurales de la pasarela de la estación y se dejarán las preparaciones necesarias para la sustitución de los puntales del primer y segundo nivel.

Veinticuatro horas después de colada la losa de piso se armarán, cimbrarán y colarán los muros estructurales entre juntas de muros tablestaca.

Setenta y dos horas después de colados los muros estructurales se sustituirán los puntales del primer y segundo nivel apoyando su extremo superior sobre el muro estructural y el otro sobre las preparaciones dejadas en la losa de piso.

Efectuado lo anterior, se procederá a estructurar el área donde interfieran los puntales antes citados.

d) Pasarela de acceso nororiente (etapas 17D a 22D).

El procedimiento constructivo de la pasarela de acceso nororiente de la estación se llevará a cabo de acuerdo a lo indicado para el frente "A" en este escrito, excepto en lo siguiente:

La excavación se realizará a partir del nivel de terre no natural hasta alcanzar la profundidad máxima de proyecto, alternándola con el apuntalamiento.

Para ubicación de puntales, consultar la figura No. 5.9

Debido a que sobre la pasarela de acceso se localiza una galería de agua potable, la excavación bajo la misma se realizará por tuneleo.

La excavación de la etapa 22D se realizará entre taludes cuya inclinación será 0.5:1 horizontal a vertical.

3) Frentes de ataque "E" y "F" (entre ejes J-L y 5-8; -- B-D y 5-8 respectivamente).

La excavación y estructuración de éstos frentes se llevará a cabo de acuerdo a lo indicado para la pasarela de estación (etapas 1 a 8) de éste escrito, a excepción de lo siguiente:

Será condición necesaria para la excavación de éstos -- frentes que se haya iniciado la colocación de las tabletas que conformarán la losa de techo de los frentes "C" y "D".

Las etapas 1, 4 y 7 de cada frente deberán excavar en forma simultánea, respetando su secuencia de excavación.

El nivel máximo de excavación en los frentes "E" y "F" se indica en la figura No. 5.12. La configuración del nivel máximo de excavación en la zona de rampas de escaleras y galería de cables (frente "E") estará definido por la pendiente de las mismas.

Para ubicación de puntales, consultar las figuras Nos. 5.9, 5.12 y 5.13.

4) Frentes de ataque "G" y "H" (entre ejes J-N y 3-5₁; --- A-E y 2₁-5 respectivamente).

La excavación de éstos frentes se llevará a cabo de --- acuerdo a lo indicado en el inciso anterior y en el inciso -

c (vestíbulos sur y norte etapas 9c a 19c y 9D a 16D), excepto en lo siguiente:

Para iniciar la excavación de los frentes "G" y "H" será necesario que se cuente con la losa del nivel vestíbulo - en los frentes "E" y "F".

El nivel máximo de excavación de la etapa 2H será hasta el nivel de vestíbulo conformando hacia el oriente la pendiente de la rampa de escaleras.

La excavación de la etapa 1G se suspenderá en el nivel 28.60 m y no se colará plantilla ni losa de fondo la conformación y estructuración de la rampa de escaleras en ésta etapa se llevará a cabo una vez que se cuente con el muro estructural del eje L, comprendido entre los ejes 3 y 4.

5) Frente de ataque "I" (entre ejes A-B y 4-9).

Las etapas de éste frente de ataque constituyen parte del nivel de vestíbulo, la pasarela de correspondencia y la pasarela a futuro, por lo que los niveles máximos de excavación serán variables.

La excavación y estructuración de éste frente de ataque se llevará a cabo de acuerdo a lo indicado para los vestíbu-

los sur y norte (etapas 9c a 19 c y 9D a 16D) excepto en lo siguiente.

Será condición necesaria para iniciar la excavación de éste frente de ataque que se cuente cuando menos con el colado de los muros estructurales de la pasarela de la estación (frente "H") hasta el nivel 25.75 m, y que se haya estructurado el edificio de transbordo en la zona colindante a la estación.

Una vez que los muros estructurales localizados en las etapas, 1I y 5I, hayan alcanzado su resistencia de proyecto; se colocará el material de relleno entre éste y el cuerpo - del talud de acuerdo a lo indicado para el frente "A", hasta alcanzar el nivel de desplante de plantilla del nivel vestíbulo.

Notas importantes:

1. El inicio y suspensión del bombeo deberá llevarse a cabo de acuerdo a lo indicado en párrafos anteriores.
2. Deberá respetarse la secuencia de etapas de excavación indicada en la figura No. 5.3.
3. Conforme avance la excavación deberá colocarse el apun-

talamiento indicado en la figura No. 5.9.

4. Conforme avance la excavación en forma simultánea de las etapas adyacentes a los ejes D y J deberá retirarse el apuntalamiento localizado entre dichos ejes para proceder a efectuar la demolición de los muros tablestaca localizados sobre los ejes D y J.

5. Para juntas de colado y detalles estructurales consultar los planos correspondientes del departamento de estructuras.

6. Previamente a la excavación de las etapas localizadas en el vestíbulo norte deberá efectuarse la sustitución o complemento de los puntales ubicados en la zona de la pasarela de la estación.

7. Una vez que la losa de techo haya alcanzado su resistencia de proyecto y habiendo colocado el lastre sobre dicha losa, se procederá a colocar el material de relleno.

8. Deberán respetarse las restricciones para el inicio de la excavación de cada uno de los frentes de ataque, de acuerdo a lo indicado en este escrito.

9. Previamente a la excavación de las etapas adyacentes al

eje A, comprendidas entre los ejes 5-8, deberá contarse con la construcción de los muros tablestaca, colindantes a la estación, correspondientes al edificio de transbordo en una -- longitud de 20.0 m como mínimo.

CONCLUSIONES.

Para definir el procedimiento constructivo de la estación Chabacano de la Línea 9 del Metro, fué necesario realizar estudios para obtener datos que permitieran ir desechando alternativas hasta escoger la solución adecuada.

La estación Chabacano forma parte de una de las Líneas del programa maestro del Metro, el cual fué elaborado para solucionar, en gran parte, el problema de la transportación en la ciudad de México.

En el programa maestro del Metro, esta definida la ubicación que tienen las líneas del Metro en la ciudad y el tipo de solución que se les dio (superficial, subterránea en túnel o elevada).

Existe una clasificación estratigráfica del subsuelo de la ciudad de México (zona de lago, zona de transición y zona de lomas).

La estación Chabacano se encuentra en la zona del lago y será una estación subterránea en cajón que tendrá corres--

pondencia con la Línea 2 y la Línea 8 del Metro.

En el trabajo desarrollado en ésta tesis se llegó a las siguientes conclusiones:

1a. SE DEBE DAR GRAN IMPORTANCIA LA ESTUDIO DEL SUBSUELO.

Al tratar de iniciar cualquier construcción sin llevar a cabo, primero, un estudio del suelo, es quizá uno de los mayores riesgos que pueden correrse en el campo de la ingeniería. Es imposible proyectar una cimentación adecuada para una estructura sin conocer las características del suelo que se encuentra bajo ella, ya que en definitiva, es dicho suelo el que soportará la carga.

A fin de tener un concepto real de las propiedades indice y mecánicas del suelo, se han experimentado diferentes formas o maneras de obtener datos precisos, seguros abundantes y económicos, los cuales se pueden determinar realizando pruebas en campo y de laboratorio.

No hay que olvidar, que los caprichos de la naturaleza han dado origen a una gran variedad de condiciones diferentes de suelos, y por lo tanto son innumerables las limitaciones matemáticas en la resolución de los problemas de la ingeniería de suelos. Esto hace resaltar la importancia y nece-

sidad de un ingeniero de experiencia y buen juicio en el análisis y correcta interpretación de los resultados de pruebas de laboratorio a fin de que pueda balancear con buen criterio los resultados de la teoría, según pruebas de laboratorio con el conocimiento empírico sobre la validez relativa que en cada caso debe dársele a los mencionados resultados.

Para determinar las propiedades de un suelo en el laboratorio, es preciso contar con muestras representativas de dicho suelo. Un muestreo adecuado es de primordial importancia, pues tiene el mismo valor que el de los ensayos en sí. A menos que la muestra obtenida represente verdaderamente a los materiales que se pretenden usar, cualquier análisis de la muestra sólo es aplicable a la propia muestra y no al material del cual procede.

Con el objeto de determinar la estratigrafía y propiedades del suelo, se programaron y realizaron una serie de sondeos de exploración de los cuales se extrajeron muestras alteradas e inalteradas; las primeras se obtuvieron hincando a presión tubos muestreadores de pared delgada tipo shelby, de 10 cm de diámetro interior. Cuando la consistencia del suelo no permitió el hincado de los tubos anteriores, se utilizó el barril doble giratorio Denison, hincado a presión y rotación.

Las muestras alteradas se extrajeron hincando a golpes tubos muestreadores de 3.5 cm de diámetro interior y 5cm de diámetro exterior.

Todas las muestras obtenidas fueron clasificadas en el laboratorio mediante procedimientos manuales e inspección visual tanto en húmedo como en seco y se determinó su contenido natural de agua y límites de consistencia, resistencia al corte, compresibilidad y expansibilidad.

La resistencia al esfuerzo cortante se estudio bajo diferentes condiciones de carga y drenaje mediante los siguientes ensayos:

1. Sobre la muestra, antes de extraerla del tubo muestreador, aplicando una veleta miniatura (torcómetro).
2. Corte directo no drenado.
3. Compresión simple en arcillas.
4. Compresión triaxial no drenada en arcillas.
5. Compresión triaxial consolidada no drenada, en suelos granulares o intermedios.

La compresibilidad y la expansibilidad, para conocer los cambios volumétricos del suelo sujeto a carga o descarga respectivamente, se estudiaron mediante los resultados de ensayos de consolidación normal y de expansibilidad.

2a. LAS CARACTERISTICAS DE LA ESTRUCTURA Y LOS RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS DEL SUBSUELO, NOS SIRVEN PARA ANALIZAR, EN EL ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS, EL POSIBLE COMPORTAMIENTO DE LA ESTRUCTURA DURANTE SU CONSTRUCCION Y CUANDO YA ESTE FUNCIONANDO.

Con la experiencia que se tenía acerca del comportamiento de estructuras construidas sobre los mantos arcillosos que constituyen una gran parte del subsuelo de la ciudad, fué posible determinar que la estructura en cajón construida bajo el sistema de cimentación compensada, se hundiría paralelamente con la ciudad, sin afectar notablemente la operación del sistema y requeriría gastos mínimos de conservación por lo cual, fué la solución que se adopto.

La cimentación compensada logra que el peso de la estructura por construir sea equivalente al peso de la tierra excavada, por lo tanto, este sistema a sido y continua siendo empleado con éxito, en la ciudad de México.

De acuerdo con lo anterior, la solución quedo constitui

da por:

Muros tablestaca colados en sitio, los cuales se utilizan como estructura de contención, muros de acompañamiento colados en su forma convencional; losa de piso apoyada sobre una plantilla de concreto pobre, funcionando en algunos casos como lastre, y una losa de techo.

En términos generales las secciones de los diferentes elementos que integran ésta solución fueron diseñados para obtener una sobrecompensación no mayor de 1.5 Ton/m².

En el caso de diseño de los muros tablestaca se establecieron dos condiciones bajo las cuales el suelo empuja sobre ellos; la inicial, que es durante la excavación y troquelamiento en la cual el empuje estaría constituido por la presión del suelo obtenida por la teoría de Rankine para el estado activo más el empuje hidrostático, redistribuido de acuerdo con el diagrama propuesto por Terzaghi y Peck para las arcillas. Para el cálculo del empuje en la condición final, es decir, después de construida la estructura, se considera el empuje hidrostático más el del suelo que en éste caso es el equivalente al valor de la presión efectiva en el nivel de análisis multiplicado por el coeficiente de reposo que en éste caso varió de 0.5 a 0.7.

Para la definición del talud de avance de la excavación se utilizó el método sueco o de Fellenius; en el caso de la falla de fondo se empleó el criterio propuesto por Bjerrum y Eide.

Para el cálculo de las expansiones inmediatas que se presentarían al excavar una determinada etapa, se recurrió a la teoría de la elasticidad.

Para el cálculo de la expansión a largo plazo, que se registraría después de construida la estructura, se procedió a utilizar el criterio de Terzaghi, a través de la teoría de la consolidación.

3a. DE ACUERDO CON LOS ESTUDIOS DE MECANICA DE SUELOS SE DETERMINO EL PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO MAS ADECUADO.

El procedimiento constructivo se puede resumir en las siguientes etapas:

1. Construcción de brocales.
2. Construcción de muros tablestaca.
3. Abatimiento del nivel freático previamente a la excavación.

4. Excavación y colocación de puntales.
5. Colado de una plantilla de concreto simple..
6. Armado y colado de la losa de fondo. Teniendo cuidado de que el tiempo transcurrido entre la llegada a la profundidad máxima de excavación y el colado de la losa de fondo no exceda de 24 horas.
7. Armado y colado de los muros y columnas.
8. Construcción de losa superior y colado del firme de compresión.
9. Colocación del relleno correspondiente hasta el nivel - de subrasante.
10. Restitución del pavimento en las zonas donde haya sido afectado por la excavación.

RECOMENDACION:

Se pretende que éste trabajo -- sirva como ejemplo de una aplicación práctica de algunos aspectos de la Mecánica de Suelos. El tratamiento de los temas no es exhaustivo ni pormenorizado, sino más bien de tipo conceptual, por lo cual se desea que se considere solamente como una contribución al proceso de preparación del Ingeniero Civil.

BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS.

- 1.- Juárez Badillo, Eulalio, Rico Rodríguez, Alfonso, Fundamentos de la Mecánica de Suelos., Tomo I, 3a. Ed., 8a. reimp., México, Editorial Limusa, S.A., 1982.
- 2.- Juárez Badillo, Eulalio, Rico Rodríguez, Alfonso, Teoría y Aplicaciones de la Mecánica de Suelos, Tomo II, 2a.Ed., 3a. reimp., México, Editorial Limusa, S.A., 1979.
- 3.- Crezpo Villalaz, Carlos, Mecánica de Suelos y Cimentaciones, 3a. Ed., México, Editorial Limusa, S.A., 1985.
- 4.- Peck, Ralph B., Hanson, Walter E., Thornburn, Thomas H., Ingeniería de Cimentaciones, México, Editorial Limusa, - S.A., 1982.
- 5.- Manual de Diseño de Obras Civiles, Geotecnia, B.2.1., Comisión Federal de Electricidad, Instituto de Investigaciones Eléctricas, México, 1979.
- 6.- XII Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, Querétaro, - Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, A.C., México, - 1984.

- 7.- Grupo ICA, Memoria Metro de la Ciudad de México, México 1977, sin publicar.
- 8.- Marzal R.J. y Mazari M., El Subsuelo de la Ciudad de México, UNAM, 1969.
- 9.- Alegria Celaya, Norman, Zamora Millan, Francisco, Instructivo de Laboratorio para Geotecnia, primera parte, - México, UNAM, Facultad de Ingenierfa.
- 10.- Arias Rivera. G. Carlos, Meza Reyna, Jorge L., Cuaderno de Trabajo de Geotecnia II, México, Facultad de Ingenierfa.
- 11.- Chamorro Escalona, Victor Manuel, Serie de ejercicios de Geotecnia III, México, UNAM, Facultad de Ingenierfa.
- 12.- Grupo ICA, Especificaciones de Mecánica de Suelos para la Construcción del Metro, sin publicar.
- 13.- El Metro de la Ciudad de México, Ingenierfa Civil, Organo oficial del colegio de Ingenieros Civiles de México, A.C., Bimestral, México D.F., No. 214, Julio/Agosto de 1980.