

29. 198



# Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA ESTACION TACUBA  
LINEA SIETE DEL SISTEMA DE TRANSPORTE COLECTIVO  
" METRO "

TRABAJO ESCRITO

Que para obtener el Título de  
INGENIERO CIVIL

presenta:

JORGE ENRIQUE ZARATE PADILLA



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.

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-1-166

Señor JORGE ENRIQUE ZARATE PADILLA  
P r e s e n t e .

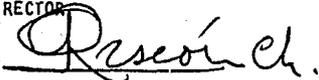
En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. Francisco Noreña Casado, para que lo desarrolle como TRABAJO ESCRITO para su Examen Profesional de la carrera de INGENIERO CIVIL.

"PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA ESTACION TACUBA  
LINEA SIETE DEL SISTEMA DE TRANSPORTE COLECTIVO"  
"METRO"

- I. INTRODUCCION  
ANTECEDENTES E IMPORTANCIA DE LA ESTACION  
TACUBA L-7
- II. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO
- III. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento con lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Coordinación de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares del Trabajo Escrito, el título del trabajo realizado.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, a lo. de agosto de 1986.  
EL DIRECTOR

  
DR. OCTAVIO A. RASCON CHAVEZ

5224  
OARCH/GZH/ragg.

## INTRODUCCION

## INTRODUCCION

Para la ejecución de sus obras el STC, se integra a los diferentes programas a nivel nacional, del Distrito Federal y del área metropolitana, con el Plan Maestro del Metro que considera tres horizontes de planeación: a corto plazo en el año 1988, el mediano plazo en 1994, y el largo plazo hasta el año 2010 en el cual se tiene considerado que a su término el sistema cuente con más de 440 km y 15 líneas, formando una cuadrícula - que cubra el área metropolitana en su totalidad (figura 1).

La construcción y terminación de la línea 7 está comprendida en el corto plazo, se dividió en 4 etapas: la primera denominada "7 Norte" - entre las estaciones Tacuba y Auditorio, comprendiendo a las de San Joaquín y Polanco; la intermedia o "7 Centro" que une Auditorio con Tacubaya pasando por la estación Constituyentes; la tercera o "7 Sur" que va de Tacubaya a Barranca del Muerto, incluyendo las estaciones San Pedro de los Pinos, San Antonio y Mixcoac; por último en la cuarta etapa se contempla la ampliación desde Barranca del Muerto hasta San Angel con 6.5 km.

El tipo de solución constructiva está íntimamente ligada con los estudios de mecánica de suelos y con una serie de estudios socioeconómicos como: costo de obra civil por km; tiempo de ejecución de la obra, obstrucción de la vía pública durante la ejecución de la obra; conservación de obras y equipos, mantenimiento de la vía, paisaje urbano, futura disponibilidad vial y libramientos viales perpendiculares inducidos. Esto da co-

mo resultado cuatro posibles soluciones para llevar a cabo las obras del metro; solución superficial, solución subterránea en cajón, solución elevada y solución subterránea en túnel.

La solución superficial es una solución estructural constituida por una losa de concreto reforzado y dos muretes laterales de contención, la cual es desplantada sobre un terreno previamente mejorado y a una profundidad aproximada de 1.30 m, para lograr de esta manera, una adecuada compensación de cargas.

La solución subterránea en cajón es una estructura de concreto armado de sección rectangular construida a cielo abierto y desplantada a la menor profundidad posible. Esta debe cumplir con los requisitos de estabilidad, compensación, flexibilidad e impermeabilidad, que se requieren para los suelos con características tan particulares como las del valle de Mexico.

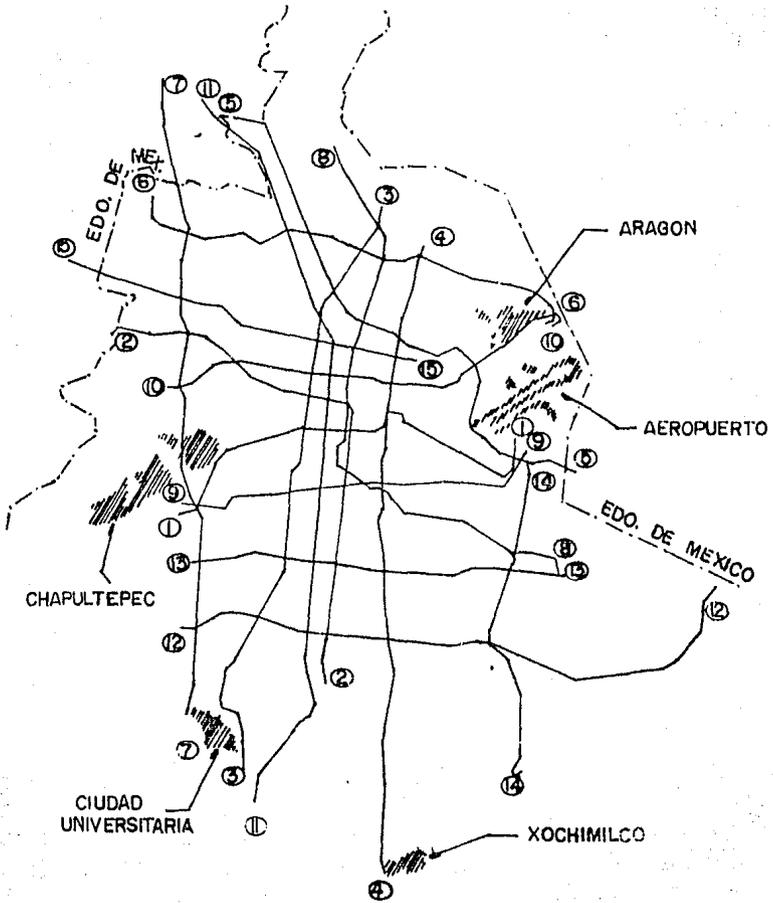
La solución elevada elimina la necesidad de realizar desvíos de instalaciones municipales y permite el libre paso de las vialidades transversales y longitudinales, es recomendable cuando a lo largo del trazo de la línea existan instalaciones municipales de considerables dimensiones y el ancho de la calzada lo permita. Su estructura está constituida por zapatas macizas de concreto reforzado apoyadas en pilotes de ficción, una sola hilera de columnas en sentido transversal y vigas de concreto reforzado postensado en sección cajón, con claro entre apoyos de 35-45 m aproximadamente. La unión entre vigas y apoyos se logra mediante apoyos de

neopreno reforzados con placas de acero.

La solución subterránea en túnel es necesaria cuando el trazo se localiza sobre avenidas importantes con alta densidad vehicular. La profundidad de los túneles está definida por dos conceptos fundamentales de gran interrelación: el techo mínimo para llevar a cabo un procedimiento constructivo seguro y la ubicación adecuada de los accesos a las estaciones de tal manera que los usuarios no tengan que recorrer grandes profundidades.

Este trabajo describe la construcción de la estación Tacuba, perteneciente a la línea 7 que viene a reorientar el transporte en la zona poniente de la ciudad, cumpliendo uno de los objetivos fundamentales del STC que es el de crear mayor capacidad de transporte para generar más posibilidades de cambios de itinerario que resulten en ahorros de tiempo de traslado, distribuyendo mejor el número de usuarios entre las líneas saturadas y las subutilizadas del sistema.

RED DEL METRO  
AÑO 2010



U N A M	FIG. I	ESTACION TACUBA L-7
	SIN ACOT.	JORGE ENRIQUE ZARATE PADILLA

## CAPITULO I

I.1 TRAZO.

I.2 UBICACION DE LA ESTACION TACUBA.

I.3 PROYECTOS VIALES E INTERFERENCIAS.

I.4 CRITERIOS GENERALES.

## CAPITULO I

Las obras del STC Metro revisten una gran importancia no solo para la zona metropolitana, sino también para el país, debido a la magnitud de su inversión, al número de habitantes que se ven beneficiados y al tiempo en que deben prestar un servicio eficiente, por lo cual una correcta planeación, diseño y construcción es fundamental, en relación a esto, el presente capítulo trata en forma general, a manera de antecedentes a la descripción del proceso constructivo de la estación Tacuba, algunos aspectos de planeación y diseño.

El primer paso en el proyecto de una línea del Metro, es la revisión de la planeación vial que indica cual es la red de comunicaciones que se necesita, sus características, la relación entre las distintas vías, cuando es necesario construirla, en qué etapas, y por donde debe empezar. También es necesario determinar el estado y demandas de servicio con el tiempo a fin de obtener su factibilidad. En concordancia con estas características se procede al trazo y al diseño topográfico, así como a la localización y solución de las interferencias, y a la reestructuración vial en forma general.

### 1.1 TRAZO

El objeto del trazo es definir la posición de las estructuras del metro, tramos y estaciones, tanto en planta como en perfil. Para la línea 7 se estudiaron distintas alternativas, planteadas por diferentes avenidas

basando la desición en los resultados de programas de simulación origen-destino, alimentados por los medios de transporte de la superficie de la zona, la elección definitiva fue sobre las avenidas, Golfo de México, Lago Chiem, Hielmar, Arquimides, Parque Lira y Revolución; esta elección cubre zonas que no son precisamente las mas pobladas de la ciudad, por lo que en este caso será de paso, mas no es así después de la estación Observatorio hacia el sur donde sirve a una gran población. Debido a la importancia de las avenidas y a la serie de barrancas y características especiales del subsuelo por donde se ubicó su trazo, fue necesario utilizar en su mayor parte, el sistema constructivo de excavación subterránea en túnel profundo, a excepción de la estación Tacuba que se proyectó totalmente en cajón subterráneo.

Una vez seleccionado el recorrido, se procede a realizar el planeamiento preliminar del eje del trazo, mediante una poligonal gráfica llevada sobre copias de los planos fotogramétricos con escala 1:500, esto permite calcular en forma semigráfica, la posición de puntos de apoyo para -tangentes del trazo, así como el valor de las deflexiones aproximadas -entre tales tangentes. Con estos valores se realiza el planeamiento de las -curvas que ligan los tramos rectos ya definidos.

Para proceder a afinar el proyecto es necesario localizar en el terreno los puntos obligados del trazo y calcular las curvas reales de acuerdo con la medidas lineares y angulares verdaderas. La liga entre dos tangentes consecutivas se realiza mediante curvas circulares de 150 m de ra-

dio mínimo, completados en sus extremos con dos espirales de transición (clotoides) de longitud inversamente proporcional al radio de curvatura, pero con valor mínimo de 40m.

En relación al proyecto del perfil, se lleva a cabo una nivelación de precisión apoyada en los bancos de nivel profundo, a lo largo del eje del trazo y sobrepuesto a este. Al proyectar el trazo en perfil se usan los siguientes criterios generales:

- Pendientes longitudinales máximas de 7 por ciento y mínimas de 0,1 por ciento.
- Curvas verticales de enlace de ecuación parabólica.
- Distancia mínima entre la clave del túnel y el nivel del terreno natural, de una a una y media veces el diámetro de la sección excavada, y a una distancia mínima entre la clave del túnel y la frontera entre los estratos de suelo duro y de suelo blando igual al diámetro de la sección excavada.
- En sección cajón, el relleno sobre el techo de la estructura debe ser como mínimo 1,0 m en el hombro.

Para definir la ubicación general de las estaciones, se realizan las siguientes actividades:

- Determinación exacta de la longitud de la línea.
- Distribución teórica de las estaciones, según las interestaciones óptimas.

- Definición de estaciones obligadas en su localización por ser ca beceras o correspondencias.
- Definición de estaciones convenientes en su localización, en cuanto a ligas urbanas con la ciudad.
- Ajuste de las estaciones por requerimientos de vía.

## I. 2 UBICACION DE LA ESTACION TACUBA.

Una vez realizada la ubicación general de las estaciones es necesario efectuar una localización a detalle para lo cual se requiere:

- Conocimiento de todas las instalaciones que interfieren con el Metro.
- Levantamientos topográficos a lo largo de la estación, determinando todas las características y detalles en su vecindad, como frentes de predios, anchos de banquetas, camellones, registros especiales.
- Investigación del patrimonio histórico en las proximidades de las estaciones.
- Uso de la tierra en la vecindad de cada estación.
- Estudio de la penetración del tránsito suburbano en las estaciones de cabecera.
- Localización de grandes terrenos para posibles terminales de autobuses suburbanos y foráneos de primera y segunda clase.

En base a lo anterior y si se toma en cuenta que la estación Tacuba es cabecera norte de la línea 7, y correspondencia con la línea 2; su

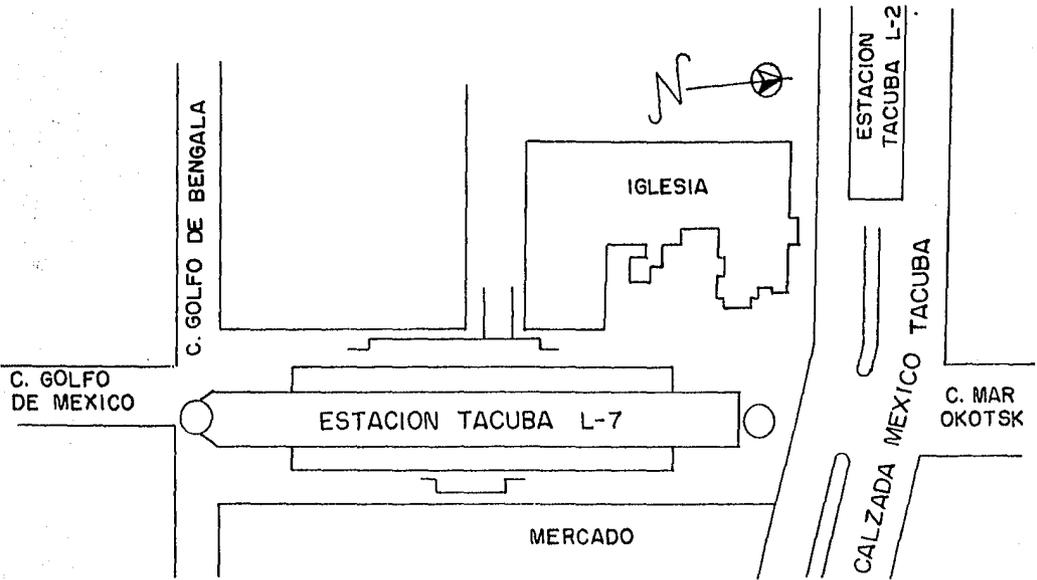
ubicación se efectuó sobre la calle Golfo de México, entre la calle Golfo de Bengala y la calzada México-Tacuba, ( figura 1. 1).

### 1.3 PROYECTOS VIALES E INTERFERENCIAS.

A diferencia de las construcciones elevada y subterránea, la interferencia del túnel, con instalaciones municipales, es mínima, ya que, solamente se produce en los accesos de las estaciones; sin embargo el proceso constructivo de la estación Tacuba es el de cajón subterráneo, para lo cual se tuvieron que realizar proyectos que permitieran la reestructuración de las calles afectadas, así como proyectos que solucionaran las interferencias de las redes de agua potable y alcantarillado. A pesar de que en este trabajo no se trata a fondo las soluciones a los problemas viales y a las interferencias, éstas forman parte muy importante en la construcción de la estación.

Respecto a los proyectos para las interferencias con la red de alcantarillado, pueden ser de tres tipos; de paso superior, por desvío y por sifones invertidos. La solución por paso superior presenta mayores ventajas ya que no se afecta el funcionamiento hidráulico del colector, salvo la pequeña pérdida ocasionada por el desvío local necesario, para lo cual se construyen dos cajas de conexión para desviar paralelamente el colector pasándolo por arriba de la losa superior del cajón. La solución por desvío se utiliza en el caso de atarjeas y algunos subcolectores, canalizándolos hacia otros conductos evitando así el cruce con el Metro. Los sifones

CROQUIS DE LOCALIZACION



U N A M	FIG. 1-2	ESTACION TACUBA L-7
	SIN ACOT.	JORGE ENRIQUE ZARATE PADILLA

constan generalmente de dos tuberías de diámetro diferente; la de menor diámetro trabaja con el gasto máximo diario de aguas negras y el conjunto con el máximo combinado.

En relación con los proyectos para las interferencias con la red de aguas potables, las soluciones normalmente usadas son: estructuras de protección en pasos superiores, galerías de inspección en pasos inferiores, y cambios de dirección. Si se cruza el cajón del Metro sobre su parte superior, se proyectan ductos de dimensiones reducidas autosoportantes y de concreto armado, apoyados en los muros del cajón o directamente sobre la losa superior del Metro, con el fin de proteger a las tuberías de posibles movimientos en el cajón que afectaran a las conexiones, se colocan tramos cortos en la entrada y salida de las estructuras de paso. Si se utilizan desvíos, en los cambios de dirección se produce un fuerte empuje debido a la presión estática interior, lo que por ejemplo, en cambios de 90° en tuberías de 48 pulgadas de diámetro, resulta de 131 toneladas, que se equilibran en la mayoría de los casos mediante pantallas de concreto, apoyadas directamente sobre el terreno.

Cabe hacer mención que para la construcción de la Estación se tuvieron que cerrar las calles de Golfo de México y Golfo de Bengala y se afectaron varios predios, entre ellos un jardín de niños y un mercado; para sustituir al primero fue necesario construir una escuela preprimaria en un lugar cercano, al segundo se le realizó una remodelación importante, con el fin de reponer los locales afectados.

#### I. 4 CRITERIOS GENERALES

Para la construcción de la obra civil del Metro, se aplica el Reglamento para Construcciones del Departamento del Distrito Federal, salvo casos especiales no contemplados, en los cuales se utilizan reglamentos de otras instituciones, tales como: Instituto Americano del Concreto (A. C. I.), Instituto Americano de la Construcción en Acero (A. I. S. C.), - Sociedad Americana de Ensaye de Materiales (A. S. T. M.), Asociación - Americana de Puentes Carreteros (A. A. S. H. O.), así como las Especificaciones Generales de Construcción de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Los métodos de análisis empleados son: el de las rigideces aplicado matricialmente y el método Stress ( Structural Engineering Systems Solver ). En los distintos elementos estructurales de acero, se utilizan los métodos elásticos y en los de concreto métodos de diseño al límite.

El material más empleado en la estación es el concreto reforzado, a excepción de casos particulares en que lo económico, o las limitaciones constructivas justifican el uso del acero estructural. El concreto normalmente se emplea con resistencia de  $f'c=200 \text{ kg/cm}^2$ , excluyendo - los brocales y el muro millán en los que se usan resistencias de  $f'c=150 \text{ kg/cm}^2$  y de algunos muros estructurales en los que se apoyarían troqueles en donde se usa una  $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$ . Los revenimientos utilizados son de 8-10 cm. El acero de refuerzo que se emplea es de alta resistencia con límite elástico de  $4000 \text{ kg/cm}^2$ . Las estructuras metálicas se fabrican de

acero estructural A-36 con límite de fluencia mínimo de 2530 kg/cm<sup>2</sup>.

Las cargas más importantes durante el periodo de construcción son los empujes de tierra e hidrostáticos debido a la gran profundidad de desplante de la Estación, que es necesario para unirla con los túneles de la Línea. De igual importancia resultan también las cargas ocasionadas por el equipo de trabajo y material almacenado. En relación a las cargas para condiciones de funcionamiento, se consideran en general, las cargas vivas y muertas recomendadas por el Reglamento de Construcciones del Departamento del Distrito Federal.

Con el fin de determinar la estratigrafía y propiedades del subsuelo, se realizan sondeos de exploración, con los cuales se extraen muestras inalteradas y alteradas, se realizan también pruebas de penetración normal; las muestras son clasificadas en el laboratorio. En el caso de la estación Tacuba y en general en la línea 7, se encontraron limos arenosos de compactidad variable entre medianamente compactos y muy compactos.

Adicionalmente, a los suelos se les calculan las siguientes propiedades:

- Peso volumétrico natural.
- Límites de consistencia.
- Resistencia al esfuerzo cortante.

Si se toma en cuenta que el procedimiento para la construcción de la estación Tacuba es a base de muros de concreto reforzado, colados en el lugar (muros millán), que funcionan durante la etapa de excavación

como estructura de contención de la masa de suelo, se consideran dos condiciones distintas, la inicial, en la etapa de excavación y la final, en la etapa posterior a la construcción. Para el cálculo correspondiente a la condición inicial, se estima que el empuje total está integrado por el empuje hidrostático del manto freático y el empuje del suelo. Se supone además que conforme avanza la excavación entre los dos muros, estos tienen libertad de girar hacia la excavación en un eje imaginario, longitudinal a ella, de esta manera el empuje del suelo que se desarrolla corresponde al empuje activo de Rankine. Al apuntalar los muros, el empuje del suelo se redistribuye de tal manera que depende fundamentalmente de la forma de apuntalamiento, de la flexibilidad real de los muros y de su impermeabilidad.

Para el cálculo de los empujes en la condición final, el empuje total es la suma de los empujes de suelo e hidrostático. Se supone que el suelo empuja en su estado de reposo, ya que los muros del cajón están en esta etapa restringidos de todo desplazamiento lateral por las losas de los distintos niveles.

En relación a la estabilidad del fondo de la excavación, se analizó la posibilidad de una falla de fondo, que se presentaría principalmente cuando se alcanza la máxima profundidad de proyecto, y la arcilla que subyace a la excavación no tuviera la resistencia suficiente para soportar los esfuerzos de corte que se originan, por el desequilibrio de presiones creado en el interior y el exterior de la excavación. Esta baja resistencia al -

corte, se merma conforme transcurre el tiempo, si la descarga producida por la excavación permanece actuando por varios días, debido a las expansiones progresivas que se producirían en la masa de suelo. En el estudio de la factibilidad de falla de fondo se considera que se abate el nivel freático dentro de la excavación previamente al inicio de la misma, ya que de no existir dicho abatimiento, durante el avance de la excavación se crean fuerzas de filtración ascendentes que pueden disminuir considerablemente la presión por peso propio, favorable a la estabilidad que ejerce el bloque del suelo comprendido entre el fondo de la excavación y los empotramientos del muro; la adherencia entre la pared de concreto y el suelo no se considera en el análisis, ni tampoco la influencia favorable al corte a lo largo del plano de falla vertical paralelo a la excavación del resto de la masa.

En el análisis de la estabilidad de taludes se consideran los siguientes métodos: falla circular (método sueco de W. Fellinius) y falla combinada (método de Terzaghi y Peck). El primero considera que la falla de talud se presenta a lo largo de una superficie cilíndrica, mientras que el segundo supone como un deslizamiento en parte cilíndrico y en parte a lo largo de un plano horizontal. En los dos métodos, el análisis se realiza de manera bidimensional, de acuerdo con esto y para obtener factores de seguridad mayores a la unidad, se determinó la sección de excavación con un primer talud de 0.75:1, una berma de 3m a una profundidad de 11m y un segundo talud a continuación con pendiente de 0.50:1.

En otro aspecto, la iluminación de las estaciones se diseñó tomando en cuenta el problema que representan los edificios subterráneos; se buscó que los niveles de iluminación estuvieran de acuerdo con la importancia o funciones de cada zona o dependencia de las estaciones. En los andenes por ser una área de riesgo para los usuarios, se instala iluminación de 300 luxes, con lo que se tiene perfecta visibilidad al abordar y -descender del tren. Las lamparas se colocan normalmente en los espacios que hay entre las travesaños pretensadas que cubren las estaciones, sin embargo cuando los muros son muy altos, se colocan grandes lamparas adosadas a estos, como es el caso en la zona central entre los ejes 1-5 y 18-22. En áreas de vestíbulos y taquillas son necesarios 500 luxes; en circulaciones, pasillos y áreas complementarias se iluminan con lamparas fluorescentes de 1.83m de longitud, distribuyendolas de tal manera que se consiga la luminosidad necesaria.

Con respecto a los acabados, se ha buscado que sean de fácil limpieza, conservación y mantenimiento, así como estéticos y funcionales. Un acabado para el Metro debe ser suficientemente duro para que el usuario no pueda rayarlo y además ser resistente a solventes ya que estos se utilizan en el mantenimiento diario nocturno. Hasta ahora el material que mejores resultados ha dado es el mármol. Se han seleccionado por su comportamiento los siguientes materiales:

-Para pisos: mármoles, concreto, granitos artificiales, losetas de barro y ultimament: la Fayenza del tipo de Santa Julia.

-Para muros: mármoles, losetas esmaltadas, mosaicos, bizantinos, -  
materiales vidriados, plásticos laminados, resinas, pinturas plásticas.

Aún cuando se usen los mejores materiales es necesario que el  
proceso constructivo provea ciertas características para que no se vea a-  
fectada su función, entre otras debe:

- Evitar filtraciones en muros y plafones.
- Canalizar adecuadamente dichas filtraciones.
- Permitir una fácil y pronta reposición de los elementos dañados.
- Facilidad de limpieza.

Sin embargo es necesario conocer las limitaciones del proceso -  
ya que por ejemplo, no se puede pedir una total impermeabilidad en los mu-  
ros y plafones ya que su costo sería excesivo, por lo cual para evitar que -  
los muros se vean manchados por las filtraciones, se coloca una membrana  
que tiene menor costo y permite adicionalmente la limpieza con solventes.  
En muros secos ha sido popular la colocación de resina con acabado de ti-  
rol planchado.

**CAPITULO II**  
**PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO**

- II-1 CONSIDERACIONES PRELIMINARES
  - II-1.1 Instalación de piezómetros abiertos.
  - II-1.2 Instalación de bancos de nivel profundo.
- II-2 CONSTRUCCION DE BROCALES
- II-3 CONSTRUCCION DE MUROS TABLAESTACA
- II-4 ABATIMIENTO DEL NIVEL FREATICO
- II-5 CONSTRUCCION DE ZONA CENTRAL
  - II-5.1 Excavación y apuntalamiento.
  - II-5.2 Losa inferior.
  - II-5.3 Estructura entre ejes 1-5 y 18-22
  - II-5.4 Estructura entre ejes 5-8 y 15-18
  - II-5.5 Estructura entre ejes 8-15
- II-6 CONSTRUCCION DE ZONAS LATERALES
  - II-6.1 Zona lateral poniente.
  - II-6.2 Zona lateral oriente.
- II-7 RELLENO SOBRE EL CAJON SUBTERRANEO

## II -1 CONSIDERACIONES PRELIMINARES

Una excavación de la magnitud necesaria para alojar una estación del S. T. C., realizada en el subsuelo de la Cd. de México, conlleva desafortunadamente problemas de daños y hundimientos en las estructuras circunvecinas, ocasionados principalmente por la disminución de presión hidrostática en el terreno, debido al bombeo que se efectúa para realizar la excavación, y a la diferencia de esfuerzos a las que se ve sometido el subsuelo durante las distintas etapas de construcción; lo cual obliga a tener control sobre las pérdidas de presión hidrostática, las expansiones inmediatas, y los niveles y desplomes de las estructuras colindantes.

La iglesia de "San Gabriel" en Tacuba, considerada monumento histórico, colinda al poniente de la estación, a una distancia aproximada de 30m, lo cual hace necesario el control de su comportamiento estructural, instalándose para este propósito, bancos de nivel superficiales identificados por palomas, y puntos de colimación para observar el desplome; mecanismos de control que se observaron en ésta y en las demás estructuras colindantes.

Con objeto de observar las pérdidas en la presión hidrostática del subsuelo y las expansiones inmediatas, se instalaron piezómetros abiertos y bancos de nivel profundo, su proceso constructivo se describe a continuación.

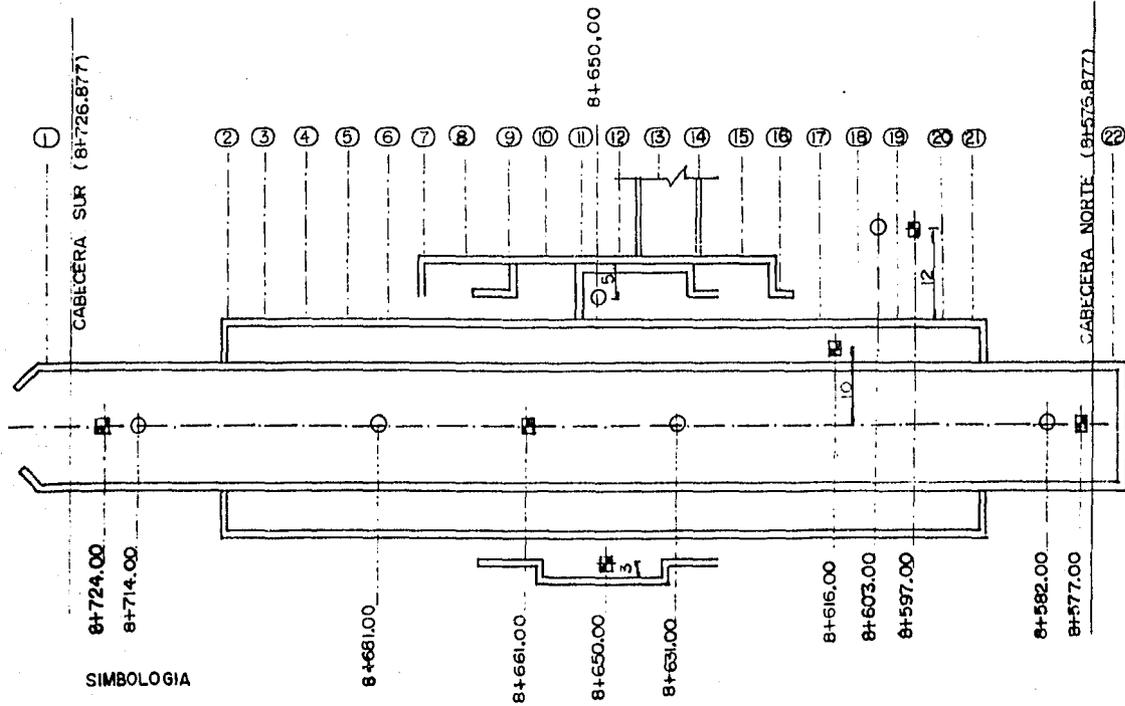
## II-1. 1 INSTALACION DE PIEZOMETROS ABIERTOS

En la estación Tacuba L-7 se instalaron 6 piezómetros abiertos desplantados a una profundidad de 4.00m abajo de la máxima profundidad de excavación, su ubicación se señala en la figura II. 1. Estos -- piezómetros están alojados dentro de perforaciones de 6" de diámetro-- y embebidos en un filtro de arena bien graduada (figura II. 2), arriba del cual se coloca un sello de 0.50m de espesor constituido por "bolas" de bentonita unidas con una mezcla de agua-cemento-bentonita; sobre el sello se coloca nuevamente el material de relleno. Los piezómetros se alojan dentro de un tubo metálico de 2" de diámetro y se van recortando a medida que avanza la excavación, tomando las medidas necesarias para que no sean dañados por las máquinas de trabajo, por lo cual en la zona vecina al ademe, la excavación se realiza a mano. Es importante calibrar los piezómetros antes de su instalación; para tomar las lecturas se utiliza un manómetro tipo Bourdon o de mercurio.

## II. 1. 2 INSTALACION DE BANCOS DE NIVEL PROFUNDO

Los bancos de nivel profundo se instalan 2.0m abajo de la profundidad máxima de excavación, considerándose en la estación siete bancos, cuya ubicación se señala en la figura II. 1, la perforación se realiza de 0.15m de diámetro (6"), su instalación es semejante a la de los piezómetros, mostrándose en forma esquemática en la figura II. 3.

LOCALIZACION DE PIEZOMETROS ABIERTOS  
Y BANCOS DE NIVEL PROFUNDO

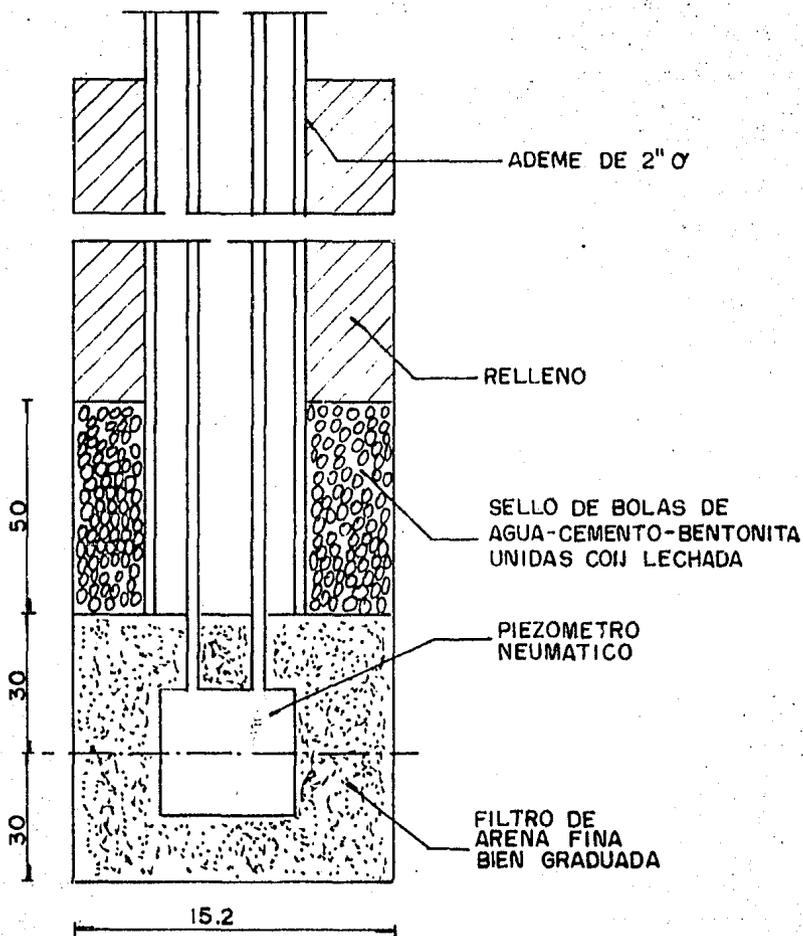


SIMBOLOGIA

— BANCO DE NIVEL PROFUNDO

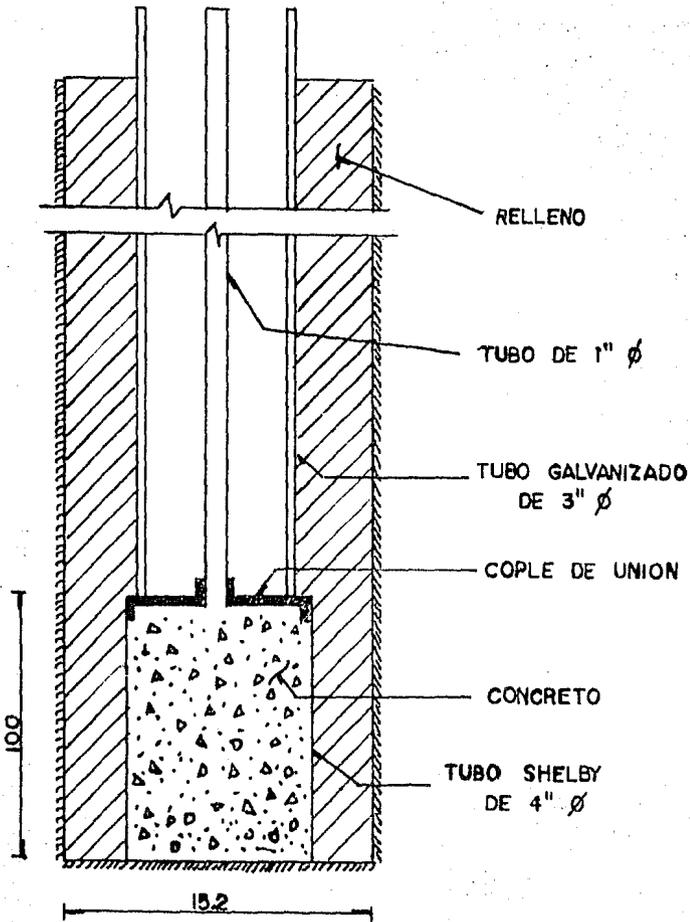
○ PIEZOMETRO ABIERTO

U N A M	FIG. II-1	ESTACION TACUBA L-7
	ACOT. MTS.	JORGE ENRIQUE ZARATE PADILLA



PIEZOMETRO NEUMATICO  
O ABIERTO

U N A M	FIG. II-2	ESTACION TACUBA L-7
	ACOT. CMS.	JORGE ENRIQUE ZARATE PADILLA



BANCO DE NIVEL PROFUNDO

U N A M	FIG. II-3	ESTACION TACUBA L-7
	ACOT. CMS.	JORGE ENRIQUE ZARATE PADILLA

Los piezómetros y bancos de nivel profundo se leen una vez antes de iniciar el bombeo y dos veces al día durante los periodos de bombeo y excavación.

Los niveles de los bancos profundos se trasladan posteriormente a los muros de acompañamiento, para poder continuar con el control de movimientos de la estación, tomando lecturas después de esto en forma mensual hasta finalizar la construcción de la obra. A partir de ese momento la frecuencia de lecturas es de una cada seis meses, con las cuales se construyen gráficas Tiempo vs Presión Piezométrica y Tiempo vs Movimiento.

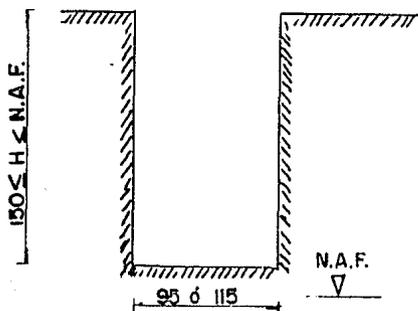
Una vez instalados los mecanismos de control se puede iniciar la obra, para esto se cuenta con el trazo general de la Estación, que debe transmitirse al campo, marcando los ejes de los muros, que servirán de base para el trazo de la ubicación de los brocales, hecho que marca el fin de los trabajos preliminares y el inicio de la construcción.

## II - 2 CONSTRUCCION DE BROCALES

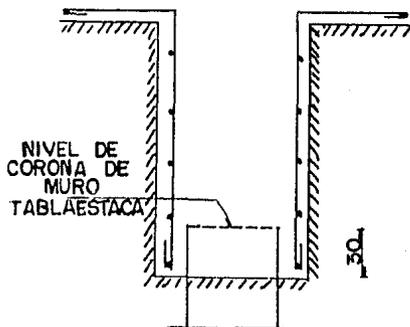
Los brocales son elementos de concreto reforzado en forma de "L" invertida ( figura II. 4 ) que sirven como guías para las máquinas que realizan la excavación necesaria para alojar los muros tablaestaca ( muros milán ), también tienen la finalidad de retener los rellenos sueltos superficiales.

# CONSTRUCCION DE BROCALES

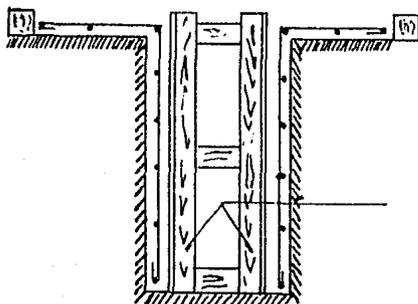
EXCAVACION



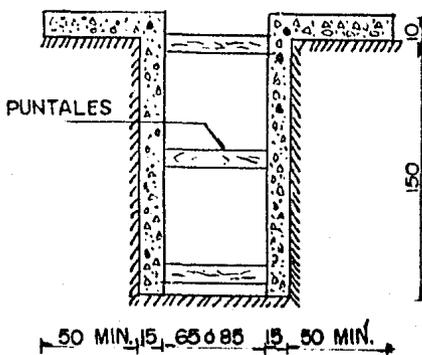
ARMADO



CIMBRADO



BROCAL TERMINADO



U N A M	FIG. II-4	ESTACION TACUBA L-7
	ACOT. CMS.	JORGE ENRIQUE ZARATE PADILLA

Al servir de guía para la construcción de los muros tablaestaca, su alineamiento debe ajustarse perfectamente al trazo, dejando un espacio libre del tamaño del espesor del muro más 5 cm de holgura; su profundidad es variable dependiendo del espesor de los rellenos, pero no menor de 1.50 m, ni mayor que la profundidad a la que se encuentra el nivel freático; el ancho mínimo de las ramas horizontales es de 0.50 m, aumentando de tal manera que se garantice contra volteo durante la excavación. En virtud de que en los primeros metros bajo la superficie, se encuentran la mayoría de los ductos y tubos de servicios de agua, drenaje, teléfonos, etc.; su excavación se realiza en forma manual.

El concreto utilizado para su construcción es premezclado con una  $f'c = 150 \text{ Kg/cm}^2$ , sus características de armado y cimbrado se muestran en la figura II.4.

El personal, la maquinaria y herramienta necesaria para formar una cuadrilla de construcción de brocales, con un avance semanal promedio de 100 metros lineales, por turno de 8 horas, es el siguiente:

#### PERSONAL

- 1 Cabo
- 1 Compresorista
- 4 Perforistas
- 2 Oficiales albañiles
- 12 Peones
- 2 Oficiales fierreiros

- 1 Oficiales carpinteros
- 4 Ayudantes carpinteros
- 1 Operador de Traxcavo
- 1 Ayudante de operador.

#### HERRAMIENTA

- 12 Picos y palas
- 3 Carretillas
- 4 Martillos de carpinteros
- 2 Serruchos.

#### MAQUINARIA

- 1 Compresor de 600 P. C. M.
- 4 Rompedoras neumáticas
- 1 Cargador frontal con capacidad de 2yd<sup>3</sup>

Una vez que los brocales se han construido y las zanjas han quedado libres se inicia la construcción de los muros tablaestaca.

### II -3 CONSTRUCCION DE MUROS TABLAESTACA

Los muros tablaestaca o muros milán usados en la estación Tacuba L-7 son elementos estructurales de concreto reforzado colado "in-situ" que sirven para contener los empujes de tierras hasta estar conformada la estructura definitiva, su proceso constructivo se inicia al llenar la zanja del brocal con lodo bentonítico hasta que alcanza un nivel de -0.80 m, por debajo del nivel superior del brocal; la excavación de la zan-

ja para los muros tablaestaca se realiza con una draga nivelada cuya herramienta de corte es guiada, a fin de garantizar la verticalidad, alineamiento e integridad de las paredes de la zanja, características importantes para la función óptima del muro. La longitud de los tableros de los muros normalmente es de 5.90m para los tableros machos y de 5.10m para los tableros hembra; realizándose la excavación en forma alternada sin excavar ningún muro contiguo hasta que el concreto del tablero anterior haya alcanzado su resistencia inicial, considerándose 12 horas como mínimo; su profundidad es mayor que la de excavación del núcleo, en la Estación se tuvieron muros hasta de 18.50m de profundidad.

A fin de que las paredes de los tableros que se excavan para alojar los muros tablaestaca no se derrumben, es necesario estabilizarlas, comunmente en la obra "Metro" se usa para este propósito un lodo toxitropico, es decir con resistencia al corte en reposo, formado por una suspensión estable de bentonita sódica en agua, con densidad relativa mayor que la unidad. El nivel del lodo bentonítico debe ser superior al nivel freático para que el empuje hidrostático que ejerza sobre las paredes sea mayor que el del agua; en estas condiciones el gradiente de presión produce infiltraciones del lodo hacia las paredes, pudiéndose minimizar este efecto mediante un adecuado control de la proporción agua-coloides.

Al producirse la infiltración, se forma en la frontera suelo-lodo

una película de moléculas que actúa como una capa impermeable denominada "cake" cuya resistencia sumada a la presión hidrostática del lodo - mantienen estables los tableros.

La película impermeable del lodo estabilizador depende del - contenido de bentonita sódica, una variación pequeña de éste contenido, conlleva cambios importantes en sus características; el lodo bentonítico debe también ser estable, no tener sedimentación o floculación de las partículas coloidales, y su límite de fluencia debe ser tal que pueda mantener en suspensión partículas no coloidales como limo y arena sin perder la penetración adecuada.

Adicionalmente debe ser capaz de que se le añada un material - inerte de más peso, como la barita, a fin de lograr mayor densidad, necesaria en tableros próximos a construcciones o sobrecargas. Para controlar estas propiedades, el lodo bentonítico debe cumplir las siguientes especificaciones:

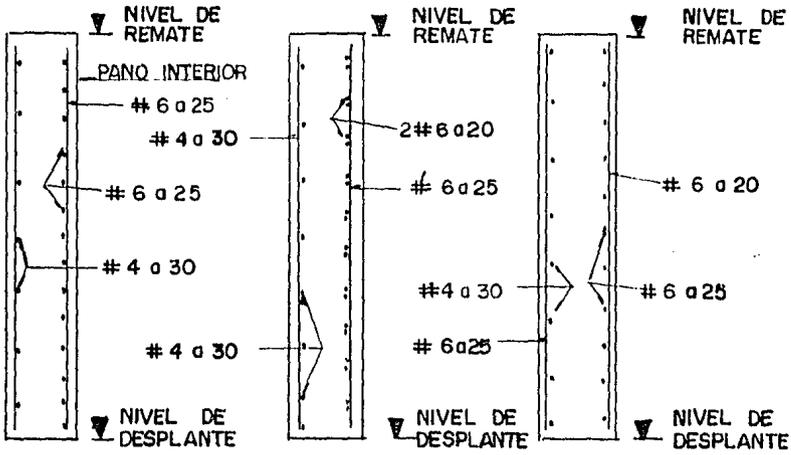
Viscosidad Marsh	10-15	centipoises
Límite de fluencia	0.05-0.25	lb/ft <sup>2</sup>
Viscosidad	35-50	segundos
Contenido de arena	3%	máximo
Vol. de agua filtrada	20 cm <sup>3</sup>	máximo
Espesor de costra	1.0 y 1.5	mínimo
P. H.	7 y 10	

El lodo bentonítico es susceptible de usarse varias veces siempre y cuando cumpla con las propiedades ya mencionadas, para ésto, se le realizan tratamientos de desarenado, regeneración o recirculación, ésto último mediante una batería portátil de hidrociclones, recirculando entonces, de una zanja a otra.

En el proceso constructivo de los muros tablaestaca, al llegar con la excavación al nivel de desplante, se excavan 20cm más, debido a que el elemento de corte es curvo. Una vez terminada la excavación, realizada normalmente en tres posiciones de la máquina, las dos primeras en los extremos y la tercera en el centro, se colocan las juntas metálicas con la banda de P. V. C. integrada, la cara de la junta que queda en contacto con el concreto se engrasa para facilitar su extracción. En seguida se coloca la parrilla de refuerzo que desciende por su propio peso y ha sido armada previamente en la superficie; es importante tener control sobre su verticalidad, niveles y alineamiento ya que de ésto dependerá, en gran parte, su correcto comportamiento. Para evitar su tendencia a flotar, una vez colocada se instalan dos gatos en la superficie apoyados en el brocal que impidan que la parrilla se mueva durante el colado.

Una vez realizado lo anterior, se instalan las trompas de colado, consistentes en varios tramos cuyos coples de unión deben ser herméticos para impedir que la succión del concreto al bajar contamine con aire o lodo. En el extremo inferior de la trompa, se coloca una cámara -

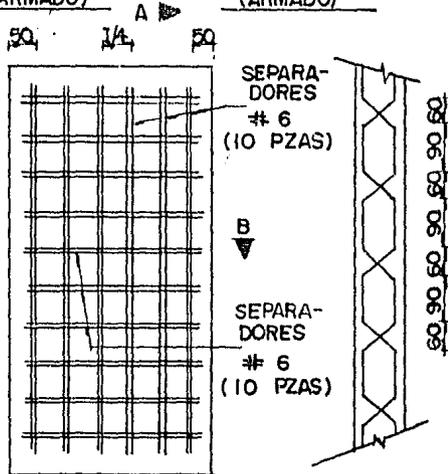
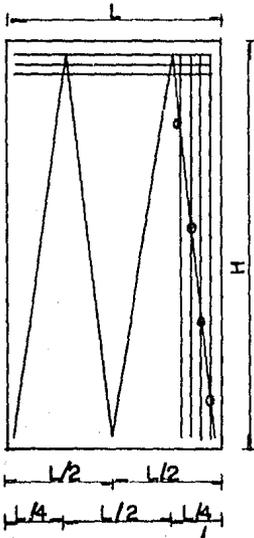
# TABLAESTACAS



TABLAESTACA  
TIPO-1  
(ARMADO)

TABLAESTACA  
TIPO-2  
(ARMADO)

TABLAESTACA  
TIPO-3  
(ARMADO)



DETALLE DE  
SEPARADORES

CORTES A-A Y B-B

DETALLE DE  
IZADORES

NOTA:  $I=L/100$

• PUNTOS DE SOLDURA

U N A M	FIG. II-5	ESTACION TACUBA L-7
	ACOT. CMS.	JORGE ENRIQUE ZARATE PADILLA

de hule para que impida la entrada de lodo a la trompa y retenga el concreto en la misma, hasta tener una columna suficiente para botar el tapón e iniciar el flujo suave, evitando así la descarga con mucha energía y la contaminación con lodo. Para iniciar el flujo se levanta la trompa 30cm del fondo de la zanja, desplazándola en seguida hacia arriba y hacia abajo, de tal manera que permanezca siempre ahogada en el concreto no menos de 1.50m para que no exista contaminación; el lodo de la zanja será desalojado a la superficie por diferencia de densidades, debiendo vaciarse el concreto, en forma continua, no de golpe, para lo cual no se deben tener interrupciones, mayores a 15 minutos.

Es importante señalar que el tiempo máximo entre el momento de introducción de la parrilla en la zanja y el colado de la misma es de cuatro horas, para evitar la formación de "cake" en el acero, impidiendo su correcta adherencia. El recubrimiento de los muros se logra habilitando en las parrillas "roles" de concreto de 5" de diámetro, colocados en el acero principal de la parrilla por medio de varillas de 3/4 de pulgada en ambas caras y a tres niveles en el sentido vertical. No se debe olvidar dejar huecos en las parrillas para la introducción de las trompas de colado; en un tablero de 6m se consideran 2 huecos de 60 X 60cm, que se usan en forma simultánea.

Cabe señalar que durante el colado se debe verificar el volumen de concreto que entra en el tablero y el volumen del lodo que se desplaza

con el fin de compararlos para controlar fugas o mezclas lodo-concreto. El colado debe realizarse hasta 30cm arriba del nivel superior del tablero ya que este concreto normalmente se encuentra contaminado.

El concreto utilizado es de  $f'c=150 \text{ Kg/cm}^2$ , con un revenimiento de  $18\pm 2\text{cm}$ , para iniciar la excavación, es necesario que haya adquirido el 100% de su resistencia.

El personal, la maquinaria y la herramienta necesaria para formar una cuadrilla de construcción de muros tablaestaca, con un avance semanal promedio de 10-12 tableros, considerando que no existen problemas de equipo ni obstáculos o interferencias, con un turno de 8 horas es el siguiente:

#### PERSONAL

1 Sobrestante general

##### a) Excavación

1 Cabo

1 Operador de draga

1 Ayudante de operador

3 Peones

1 Operador de carro de lodos

##### b) Maniobras

1 Cabo

1 Operador de grúa

1 Ayudante de operador

2 Peones

c) Concreto

1 Cabo

2 Malacateros

2 Operadores de bomba de lodos

7 Peones

d) Acero

3 Oficiales fierreros

3 Ayudantes de fierreros

1 Oficial soldador

1 Ayudante de oficial soldador

MAQUINARIA

1 Draga sobre orugas Link Belt LS-108 B con equipo Williams o Polensky, con almeja de capacidad  $3/4$  yd<sup>3</sup> y peso de 40 toneladas.

1 Grúa autopropulsada hidráulica Pettibone 36 Mk, sobre neumáticos, con capacidad de 18 toneladas de carga.

4 Bombas para lodos marca Stow, de 4" de diámetro y motor de gasolina

2 Malacates de carga, con capacidad de 2 toneladas, con motor Wisconsin de gasolina

2 Trompas de colado de 19 m de longitud y 8 " de diá

metro.

#### HERRAMIENTA

- 2 Punzones con punta de cola de pato de 1,50m
- 6 Picos y palas
- 8 Carritos para trompas de colado
- 2 Calmanes
- 2 Balancines
- 2 Abrazaderas de 11" de diámetro
- 6 Rampos para cruce de brocal
- 4 Gatos
- 8 Juntas de colado

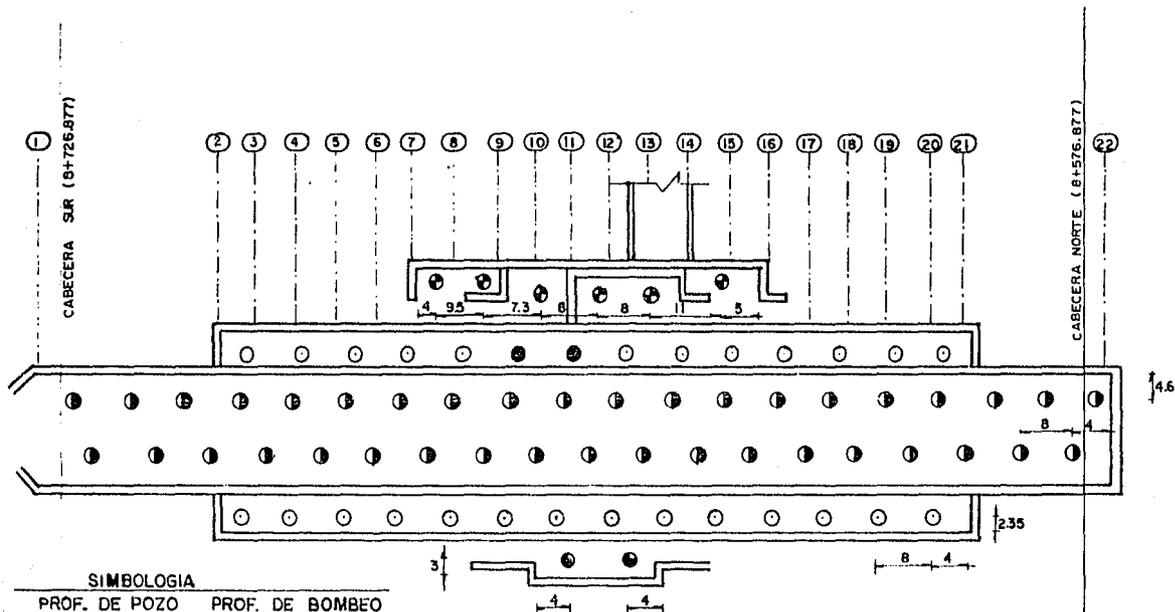
Nota: La planta de bentonita se considera a parte.

En el proceso constructivo de la estación Tacuba L-7 figuran como requisitos para iniciar la excavación del núcleo, la construcción de los muros tablaestaca y el abatimiento del nivel freático.

#### II-4 ABATIMIENTO DEL NIVEL FREÁTICO

Previo a la realización de la excavación es necesario abatir el nivel freático, con objeto de reducir las expansiones del fondo de la excavación, mantenerla estanca y controlar las fuerzas de filtración. El abatimiento se efectúa mediante pozos de bombeo cuya ubicación se muestra en la figura II -6; su profundidad de desplante es mayor que la de excavación en las distintas zonas, debiéndose iniciar el bombeo en una lon-

# LOCALIZACION DE POZOS DE BOMBEO



### SIMBOLOGIA

PROF. DE POZO COTA	PROF. DE BOMBEO COTA
① — 21.75	— 23.75
○ — 23.00	— 25.00
● — 21.20	— 23.20
⊙ — 30.67	— 31.67
⊙ — 35.27	— 36.27

U N A M	FIG. II-6	ESTACION TACUBA L-7
	ACOT. MTS.	

gitud de 30.0m, ocho días antes del inicio de la excavación, continuando se con éste, de tal manera que en ningún caso, el tramo que se está bombeando sobrepasa dicha longitud.

Para iniciar cualquier etapa de excavación deben estar funcionando con ocho días de anticipación como mínimo todos los pozos localizados en un radio de acción de 10.0m, medidos a partir de los límites de la etapa por excavar, suspendiéndose el bombeo, cuando se inicia el colado de la losa de piso.

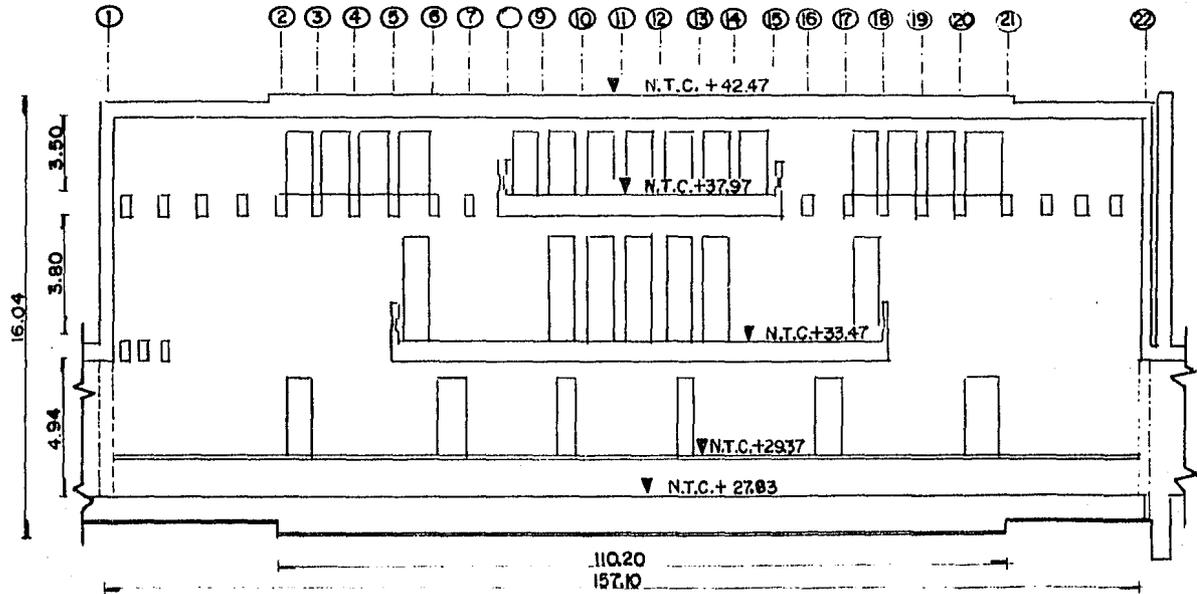
#### II-5 CONSTRUCCION DE ZONA CENTRAL

Se define como zona central de la Estación, a la comprendida entre los ejes D- G y 1 - 22 ( figuras II-7, II-8 y II-9 ), su estructura está constituida por los siguientes elementos: losa de fondo, muros estructurales, pérgolas (trabes) y losas de compresión, así como por columnas y trabes. El proceso constructivo está determinado por la ubicación de dichos elementos, distinguiéndose en la zona central, tres tipos de proceso: el primero, por orden de exposición, se localiza entre los ejes 1-5 y 18-22, el segundo entre los ejes 5-8 y 15-18, y el tercero entre los ejes 8 y 15.

En lo que respecta a excavación del núcleo y a construcción de losa de fondo, la zona central es semejante en toda su longitud, causa por

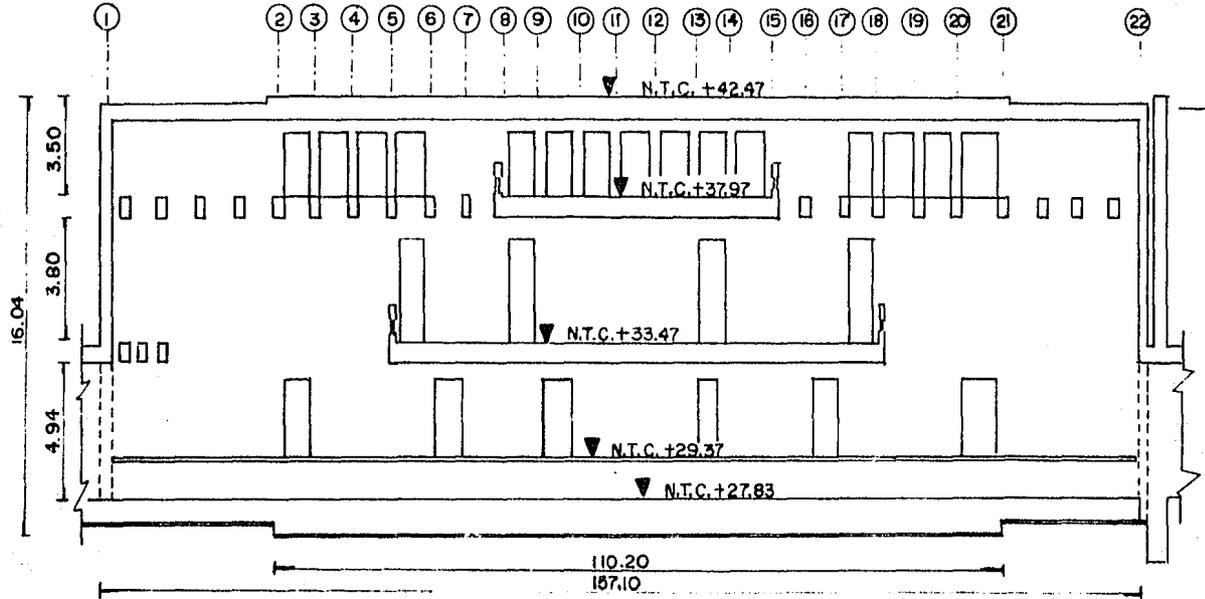


CORTE LONGITUDINAL IV-IV



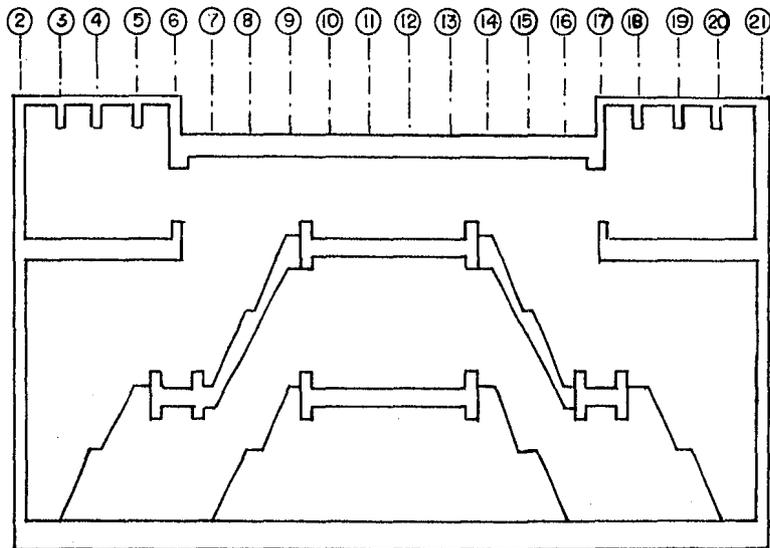
U N A M	FIG. II-8	ESTACION TACUBA L-7
	ACOT. MTS.	JORGE ENRIQUE ZARATE PADILLA

CORTE LONGITUDINAL IV'-IV'



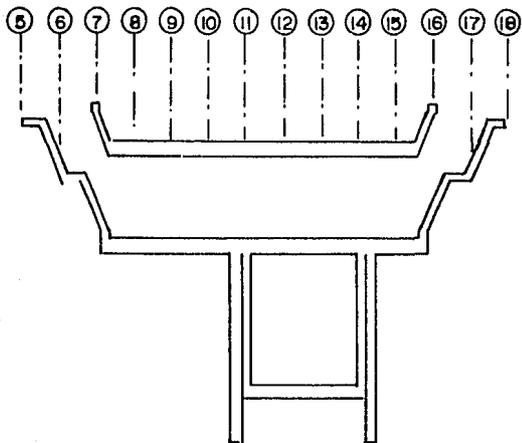
U N A M	FIG. II-9A	ESTACION TACUBA L-7
	ACOT. MTS.	JORGE ENRIQUE ZARATE PADILLA

CORTE III-III

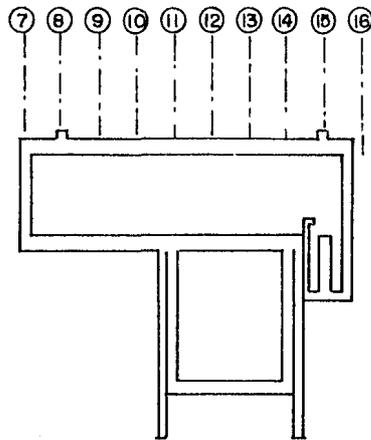


U N A M	FIG. II-9B	ESTACION TACUBA L-7
	ACOT. MTS.	JORGE ENRIQUE ZARATE PADILLA

CORTE II-II



CORTE I-I



U N A M	FIG. II-9C	ESTACION TACUBA L-7
	ACOT. MTS.	JORGE ENRIQUE ZARATE PADILLA

lo cual se describirán primero estas etapas y en seguida se hará la descripción de cada uno de los tres tipos de proceso constructivo.

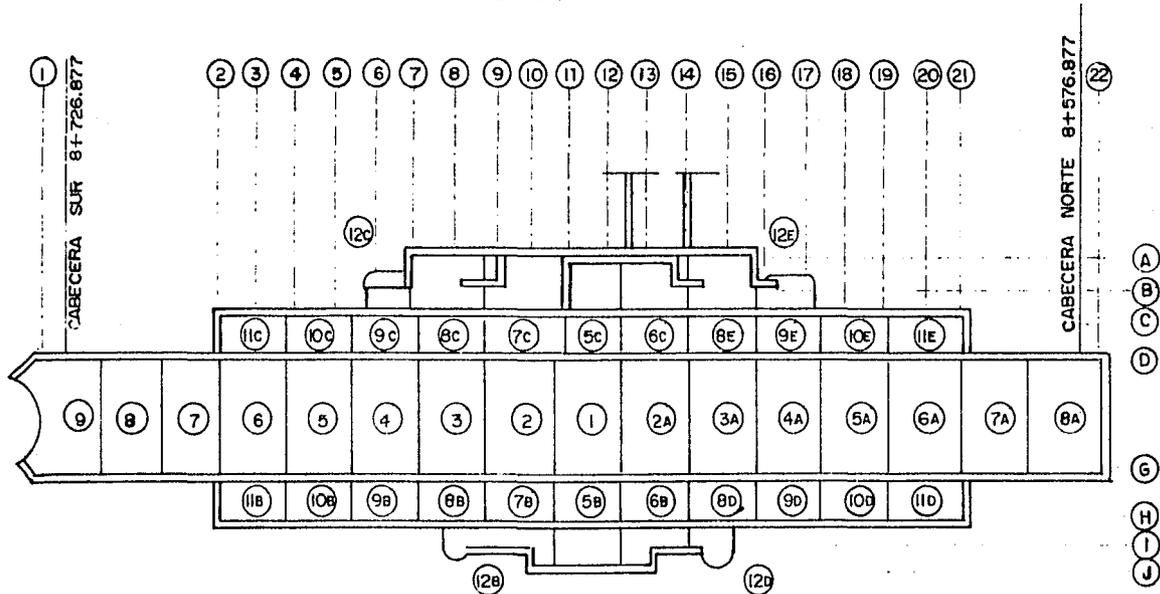
### II. 5.1 EXCAVACION Y APUNTALAMIENTO

La excavación de esta zona como se puede observar en la figura II-10 comprende las etapas 1 a 9 y 2A - 8A cuyo avance de excavación es de acuerdo con su número progresivo, siendo factible realizar en forma simultánea las marcadas con el mismo número creándose, por tan to en la zona central dos frentes de ataque.

En el sentido de avance de la excavación las etapas están limitadas (figura II-11) por un talud de 0.75:1 (horizontal-vertical) a partir del terreno natural y hasta una profundidad de 11.0m, a cuyo nivel se cons truye una berma de 3.0m de longitud, continuando posteriormente con una inclinación de 0.50:1 (horizontal-vertical) hasta alcanzar la profundidad de desplante correspondiente. A mayor profundidad, el terreno es más compacto, por lo cual en ocasiones, para realizar la excavación, el operador de la máquina excavadora, tiene que manejar la caída del cucharón de almeja con mayor eficiencia, llegándose el caso en el cual se prefiere romper primero el terreno con martillos neumáticos, para después con el terreno ya suelto, la draga equipada con el cucharón de almeja excave convencionalmente. Es importante señalar que para afinar la sección y excavar en zonas no accesibles para el cucharón se requiere de una -- cuadrilla de personal.

# ETAPAS DE EXCAVACION

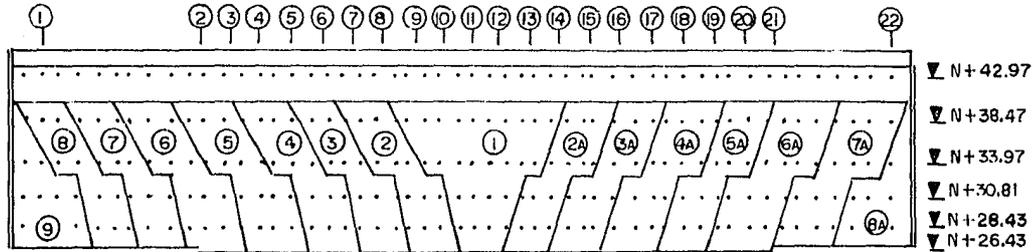
-PLANTA-



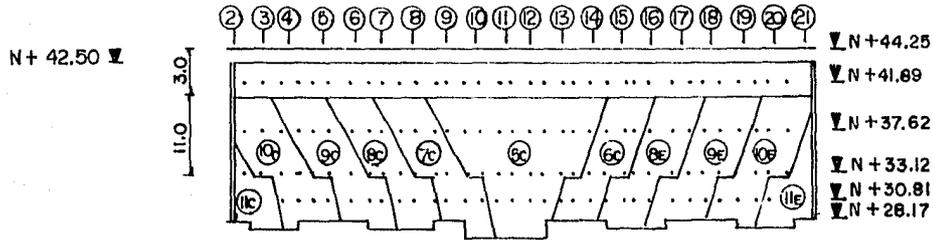
U N A M	FIG. II-10	ESTACION TACUBA L-7
	ACOT. MTS.	JORGE ENRIQUE ZARATE PADILLA

# ETAPAS DE EXCAVACION

-CORTES-



CORTE IV-IV ZONA CENTRAL



CORTE III-III ZONA LATERAL PTE.

U N A M	FIG. II-II	ESTACION TACUBA L-7
	ACOT. MTS.	JORGE ENRIQUE ZARATE PADILLA

La excavación y apuntalamiento se realizan en forma alternada es decir la excavación se suspende 0.30m abajo de cada nivel de apuntalamiento para proceder a colocar de inmediato los puntales correspondientes a ese nivel. Los puntales son elementos de acero de sección cuadrada o circular con una longitud un poco inferior al claro por apuntalar, se ajustan mediante secciones de madera ("quesos") y cuñas de acero; durante su colocación se les aplica una precarga de 35 toneladas debiéndose llevar un control riguroso en su aplicación. Una vez colocado el puntal y con el fin de evitar su caída debido al golpeo ocasional del cucharón de almeja al excavar o a cualquier otra eventualidad, es necesario asegurarlo a la superficie mediante estrobos.

No se debe continuar la excavación si no se han colocado los puntales cuyo nivel de aplicación ha sido descubierto, debido al peligro evidente de derrumbe de los muros tablaestaca.

La colocación de los puntales se realiza con la grúa de la máquina excavadora a la cual se le desprende el cucharón de almeja; se colocan uno a cada lado de la junta de construcción de los muros tablaestaca, su separación es variable de acuerdo con la longitud del mismo. En virtud de su profundidad, en la zona central como se observa en la figura II-II se consideraron 5 niveles de puntales.

El personal, la maquinaria y herramienta utilizada en la excavación del núcleo central y colocación de troqueles, por frente de ataque

se describe a continuación:

#### PERSONAL EN EXCAVACION

- 1 Cabo
- 15 Peones
- 1 Operador de draga
- 1 Ayudante de Operador
- 1 Ayudante de maniobras

#### PERSONAL EN COLOCACION DE TROQUELES

- 1 Cabo
- 1 Ayudante de maniobras
- 4 Peones
- 1 Operador de draga (\*)

#### MAQUINARIA EN EXCAVACION

- 1 Dragas Link-Belt con almeja de capacidad de 3 yardas cúbicas.
- 20 Camiones de volteo
- 1 Compresor de 900 P. C. M.
- 4 Rompedoras neumáticas. (\*\*)

(\*) Esta draga es la misma que la de excavación.

(\*\*) Las rompedoras neumáticas son para demoler el brocal o cualquier otro elemento que interfiera en la excavación, usándose también, en ocasiones, cuando el terreno por excavar presenta mucha resistencia a la penetración de la almeja.

## MAQUINARIA EN COLOCACION DE TROQUELES

- 1 Draga Link-Belt (\*)
- 1 Compresor de 900 P. C. M.
- 8 Rompedoras neumáticas.

## HERRAMIENTAS EN EXCAVACION

- 15 Juegos de pico y pala

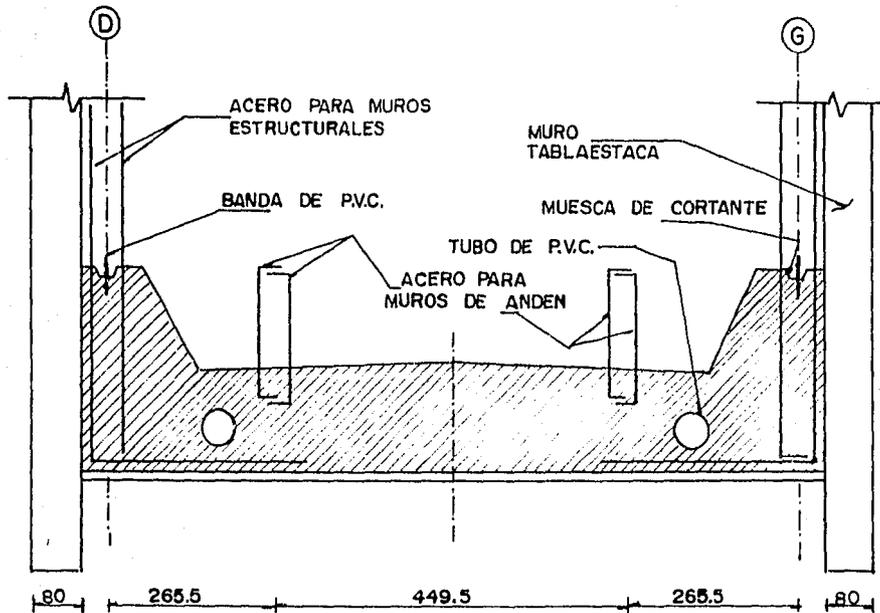
## HERRAMIENTAS EN COLOCACION DE TROQUELES

- 4 Gatos hidráulicos provistos de bomba y manómetro.
- 1 Lote de secciones de madera ("quesos") y cuñas de acero.

### II-5.2 LOSA INFERIOR

Alcanzada la profundidad máxima de excavación en cada etapa, se inicia la construcción de la losa inferior, para lo cual, se deja una superficie limpia y nivelada de terreno, se colocan hiladas y reventones, con el fin de colocar una plantilla de grava de 10cm de espesor, llevándose la grava hasta el fondo de la excavación con el cucharón de almeja de la draga. Una vez termina la plantilla, se coloca el acero de la losa, la cimbra tapón, la llave de cortante, la banda de P. V. C. en las juntas y los tubos para el drenaje de la estación. Es importante colocar también el acero para los muros estructurales y de andén (figura II-12) que serán construidos posteriormente, así como el acero de las contratraves, y su-

LOSA DE FONDO  
EN ZONA CENTRAL



U N A M	FIG. II-12	ESTACION TACUBA L-7
	ACOT. CMS.	JORGE ENRIQUE ZARATE PADILLA

cimbra, para colarlas en forma simultánea con la losa.

Para iniciar el colado, se deben tener, listos los canalones por los que descenderá el concreto, los vibradores para su acomodo, así como todas las preparaciones para las instalaciones eléctricas, hidráulicas y sanitarias que quedarán ahogadas en la losa.

El concreto que se utiliza es premezclado con f'c de  $200 \text{ kg/cm}^2$  con revenimiento de 10 cm y agregado grueso de  $1 \frac{1}{2}''$ ; la losa de fondo por etapa de excavación requiere de alrededor de  $400 \text{ m}^3$  de concreto.

Es importante una vez alcanzada la máxima profundidad de excavación se cuele la losa de fondo lo más pronto posible, a fin de conservar la estabilidad y evitar una latente falla de fondo o bufamiento del terreno; la especificación al respecto señala que no deben transcurrir más de 48 horas contadas a partir de que se alcanzó la máxima profundidad - sin que se haya iniciado el colado de la losa de piso correspondiente y que entre el inicio y terminación del colado no deben transcurrir más de 12 - horas.

Después de veinticuatro horas de terminado el colado de la losa de fondo y ésta alcance su resistencia inicial, ya es posible retirar los troqueles del nivel inferior correspondientes al nivel N + 28.48m. Es importante señalar que no se debe excavar a una profundidad mayor al 50 % ninguna etapa subsecuente si no se tiene totalmente colada la losa de piso de la etapa inmediata anterior.

El personal, la maquinaria y herramienta necesaria para efectuar la construcción de la losa inferior se relaciona a continuación.

#### PERSONAL

- 1 Cabo de colados
- 4 Oficiales albañiles
- 2 Vibradoristas
- 5 Peones
- 1 Cabo fierro
- 6 Oficiales fierros
- 6 Ayudantes fierros
- 1 Sobrestante de carpintería
- 1 Cabo de carpintería
- 3 Oficiales carpinteros
- 3 Ayudantes carpinteros

#### MAQUINARIA POR CUADRILLA

- 2 Vibradores Bosch eléctricos
- 1 Convertidor de alta frecuencia con mangueras.
- 1 Doblador de varilla.

#### HERRAMIENTA

- 2 Carretillas
- 5 Juegos de pico y pala
- 4 Cucharas de albañil
- 2 Reglas de madera

- 4 Reventones de hilo o nylon
- 6 Amarradores de fierro
- 6 Martillos de carpintero
- 3 Serrotes.

Una vez realizada la construcción de la losa de fondo y contra trabes correspondientes, se inicia la construcción de los muros estructurales, diferenciándose a partir de este momento en tres tipos de procedimiento constructivo, dependiendo de la localización de la etapa por construir.

### II-5.3 ESTRUCTURA ENTRE EJES 1-5 y 18-22

#### II-5.3.1 Muros Estructurales

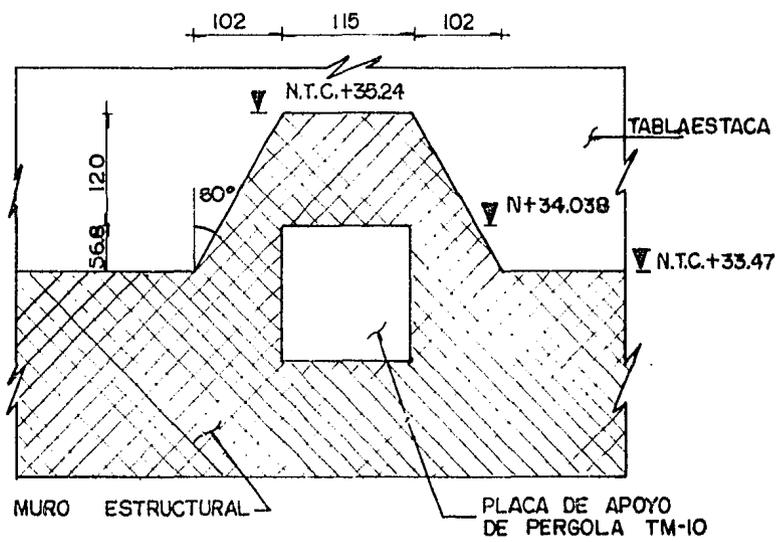
Como se ha visto, al construir la losa de fondo, se dejó preparado el acero vertical de los muros, por lo cual su proceso constructivo se inicia armando el acero horizontal y realineando el vertical, que en las zonas de troqueles no se encuentra a la separación de proyecto; una vez realizado el armado, se procede al cimbrado que lleva en sus límites tanto horizontales, como verticales una llave de cortante, cuando se trata de una junta de colado. Es importante se tengan listas antes del colado todas las preparaciones necesarias para realizar en su tiempo las instalaciones tanto eléctricas como sanitarias y de aire acondicionado, con este fin, se introducen las tuberías correspondientes o se dejan los huecos necesarios, como por ejemplo en los nichos contra-incendio ubi-

cados en los cadenamientos 8 + 705.6 y 8 + 609.6 ejes D y G respectivamente, así como el hueco para el ventilador del cuarto de aire acondicionado que se encuentra en el eje G entre los ejes 18 y 19.

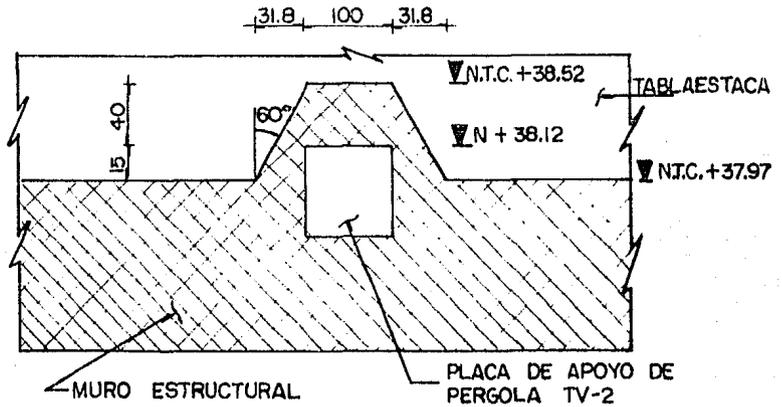
Una vez listos el armado, la cimbra y las instalaciones, se procede al colado de los muros estructurales hasta el nivel N+33.47m, y en zona de pérgolas hasta 1.20m arriba del tope de la placa de apoyo para garantizar su anclaje (ver figuras II-13 y II-14). Después de 72 horas se estima que el concreto alcanzó suficiente resistencia ( % de la de proyecto) para proceder a la colocación de puntales apoyados a los muros estructurales en el nivel N+32.47m, a fin de sustituir los puntales correspondientes al nivel N+33.97m, que serán retirados con el propósito de continuar el colado de los muros estructurales que se realizará en esta etapa hasta el N+37.97m, y en zona de pérgolas 1.20m arriba de la placa de apoyo (figura II-14). Después de 72 horas se colocan troqueles sustitutos en el nivel N+36.97 y se realiza el colado de los muros hasta el nivel N+41.47.

Es conveniente anotar que en las zonas comprendidas entre los ejes 2 - 6 y 17 - 21 ejes G y D en el nivel superior, se tienen las zonas destinadas a galerías de ventilación, por lo cual se realiza el remate de los muros, hasta el nivel N+37.97m, conteniendo entonces, el nivel superior trabes y columnas como elementos estructurales, cuyo proceso constructivo se detalla a continuación.

DETALLE DE COLADO DEL MURO  
ESTRUCTURAL EN ZONA DE PERGOLAS NIVEL MEZZANINE

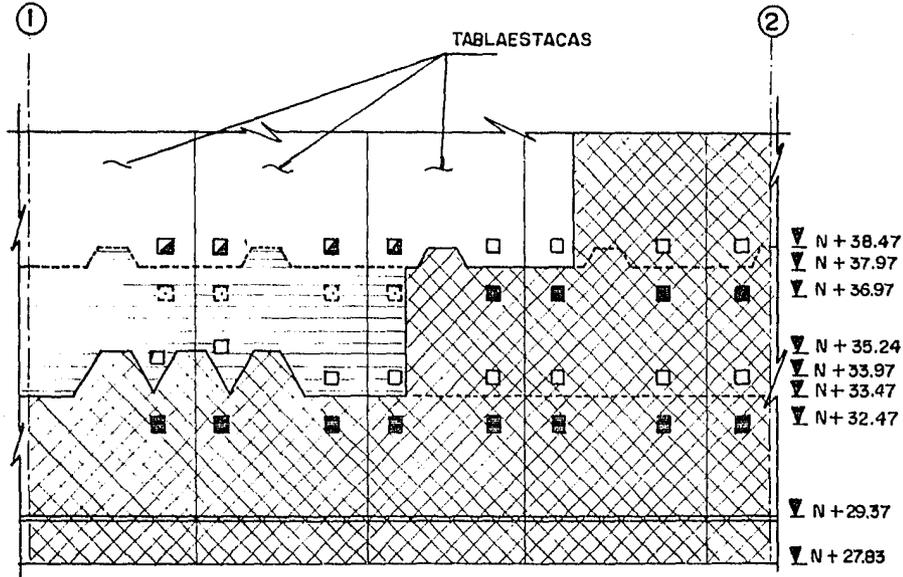


DETALLE DE COLADO DEL MURO  
ESTRUCTURAL EN ZONA DE PERGOLAS NIVEL VESTIBULO



U N A M	FIG. II-13	ESTACION TACUBA L-7
	ACOT. CMS.	JORGE ENRIQUE ZARATE PADILLA

# TROQUELES EN ZONA DE PERGOLAS



- TROQUELES SUSTITUTOS APOYADOS EN MUROS ESTRUCTURALES
- ▣ TROQUELES EN SU POSICION ORIGINAL
- ⊠ TROQUELES A COLOCAR EN SUSTITUCION
- TROQUELES SUSTITUIDOS

- MURO ESTRUCTURAL YA COLADO
- MURO ESTRUCTURAL PROXIMO A COLAR

U N A M	FIG II-14	ESTACION TACUBA L-7
	ACOT. MTS.	JORGE ENRIQUE ZARATE PADILLA

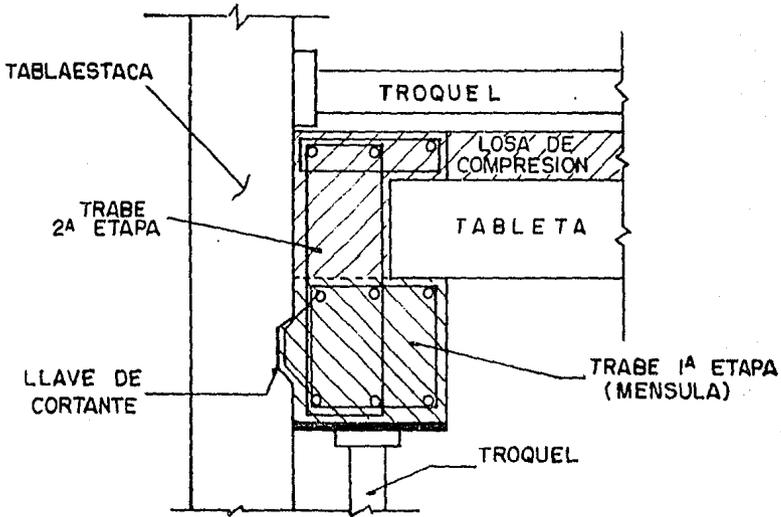
### II-5.3.2 Trabes y Columnas

Para garantizar el anclaje de las columnas C-7 ubicadas en la zona de galerías de ventilación en el nivel superior, (como en todas las demás columnas), su acero vertical debe empotrarse en los muros estructurales del nivel inferior, para lo cual, en este caso, el acero debe estar colocado antes del colado del muro del nivel vestíbulo que se realiza hasta el nivel N+37.97m. Una vez efectuado el anclaje, se termina de habilitar el acero y la cimbra, verificándose la verticalidad, alineamiento y recubrimiento de cada columna indicados en el proyecto; en seguida se preparan los canalones y conductos para el vaciado del concreto, realizándolo ahora hasta el nivel de desplante de las trabes TS-3 en la elevación N+ 40.87m.

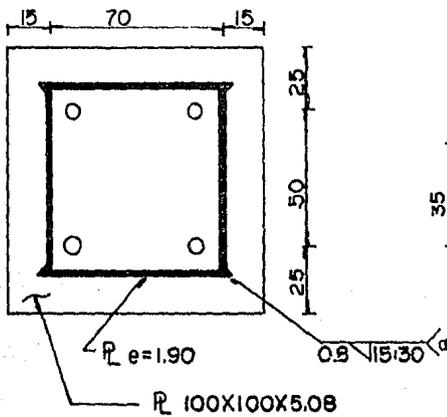
El proceso constructivo de las trabes se inicia demoliendo murecas de cortante en los muros tablaestaca de los ejes D y G, para continuar con el armado, cimbrado y colado de su parte inferior, con el fin de formar una ménsula que 24 horas después soportará las tabletas precoladas; posteriormente se habilita el armado del firme de compresión y del resto de las trabes y se realiza el colado de ambos elementos, retirando veinticuatro horas después el primer nivel de troqueles, (ver figura II-15).

Puesto que la estación se construye por etapas desde la losa inferior, las trabes que abarcan más de una etapa; no se pueden construir en toda su longitud al mismo tiempo, por lo cual, se realizan juntas de colado

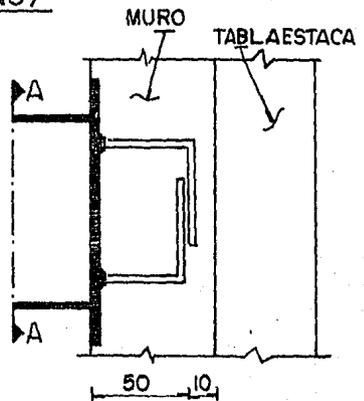
## TRABES EN ZONA DE TABLETAS



## TRABES TV-2 (PERGOLAS)



SECCION A-A



DETALLE DE APOYO EN MURO ESTRUCTURAL

U N A M	FIG. II-15	ESTACION TACUBA L-7
	ACOT. CMS.	JORGE ENRIQUE ZARATE PADILLA

en donde el esfuerzo cortante es mínimo.

### II. 5. 3. 3 Muros Diafragma

En los ejes G y D en las zonas comprendidas entre los ejes 2 -2' y 2l - 2l', se tiene el caso particular en el cual los muros se desplantan a partir del nivel mezzanine (figura II-8), dando lugar a los llamados "muros diafragma"; para construirlos, se demuele en los muros tablaestaca la llave de cortante y en seguida se habilita la cimbra y armado, realizando el colado del muro hasta su nivel de remate (N+37.97m). Siendo preferible para facilitar la construcción en la zona central, mover los troqueles, sin descuidar la estabilidad de los muros tablaestaca, a tener que dejar cajas para después recuperarlos.

Es importante en un proceso constructivo como el de la estación Tacuba, realizar juntas de colado adecuadas, para este propósito la superficie del concreto anterior sobre la cual se va a colocar el nuevo concreto, debe estar rugosa y limpiarse previamente, eliminando de ella todo residuo de polvo y grasa. En el momento de colado, es conveniente que esté húmeda o haya sido cubierta con algún aditivo del tipo de la resina epóxica; aún así las juntas horizontales en los muros son difíciles de ocultar, y si se quiere evitar recubrimientos, deben aparentarse, lo cual se logra colocando chaflanes en la cimbra. Adicionalmente a lo anterior el proyecto contempla acero y muescas de cortante, así como bandas de P. V. C para evitar filtraciones, señalando además que sólo debe haber juntas de colado donde el mismo proyecto lo indique.

#### II-5.3.4 Pérgolas.

Otro elemento estructural importante ubicado en esta zona son - las pérgolas (trabes TV-2), constituidas por placas de acero A-36, de 1.90 cm de espesor, fabricadas longitudinalmente en planta 10cm mayores que la distancia entre paños interiores de los muros de los ejes D-G y cuya - magnitud real se da en obra, ya que una unión telescópica no es recomendable en este caso.

Las placas de apoyo de las pérgolas TV-2 se instalan antes del co lado de los muros y trabes ya que deben quedar perfectamente ancladas; - las dimensiones de las pérgolas y sus placas de apoyo pueden observarse - en la figura II-15.

#### II-5.4 ESTRUCTURA ENTRE EJES 5-8 y 15-18

Alcanzada la profundidad máxima de excavación de proyecto, en - cada una de las etapas ubicadas en esta zona, se coloca la plantilla de gra va y se realiza el armado, cimbrado y colado de la losa de piso y contra - trabes correspondientes, dejando durante el colado las preparaciones ne - cesarias para la liga estructural con los muros. Veinticuatro horas des - pués se pueden retirar los dos últimos niveles de puntales para proceder - al armado, cimbrado y colado de los muros nivel anden cuando estén pro - yectados ya que en esta zona se encuentran localizadas puertas para loca - les de servicio y paso de usuarios, en cuyo caso se construirán las tra bes y ménsulas correspondientes al nivel mezzanine en su primera etapa

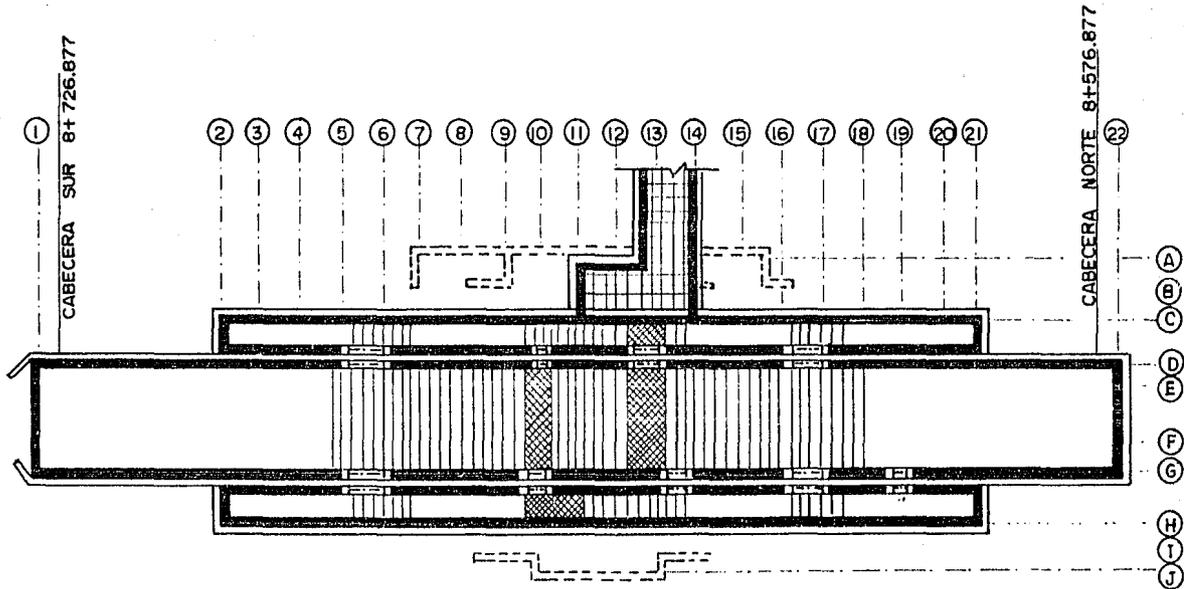
hasta el nivel N+32, 77m, con el fin de colocar las tabletas ó realizar el colado de la losa del nivel mezzanine.

#### II-5. 4. 1 Losas de compresión.

En el nivel mezzanine de la estación en la zona central, el proyecto contempla tanto losas coladas en sitio, como losas de compresión con tabletas prefabricadas (figura II-16). Para construir las del segundo tipo, las tabletas se colocan sobre el borde libre de los muros o ménsulas de las traves correspondientes, procurando que la superficie de unión entre muro y tableta esté limpia, colocando un mortero de proporción -- 1 : 3 ( cemento-arena ) que actúe como ligante. Una vez colocadas las traves prefabricadas, entre una y otra se colocan losetas de asbesto cemento que servirán como cimbra, colocándose en seguida el acero de refuerzo del firme de compresión (ver figura II-17), la cimbra tapón y la tubería para las instalaciones, realizándose a continuación una limpieza general del área por colar y colocando las trompas y canalones necesarios para el vaciado del concreto.

Con relación a las losas de nivel mezzanine coladas en sitio, sus dimensiones, deben ser semejantes a las losas con tabletas prefabricadas para producir continuidad visual; su construcción es en forma tradicional, siendo importante señalar que la cimbra lleva contraflecha (figura II-17) debido al claro por salvar y por lo tanto a la deflexión esperada.

PLANTA NIVEL MEZZANINE



**SIMBOLOGIA**

-  LOSA COLADA EN SITIO
-  LOSA CON TABLETAS PREFABRICADAS
-  COLUMNAS Y TRABES
-  LOSA DE FONDO
-  MURO ESTRUCTURAL

U N A M	FIG. II-16	ESTACION TACUBA L-7
	SIN ACOT.	JORGE ENRIQUE ZARATE PADILLA

La cuadrilla de personal, maquinaria y herramienta necesarias para la construcción de las losas de compresión se presenta en seguida:

#### PERSONAL

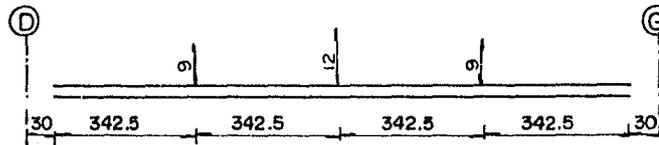
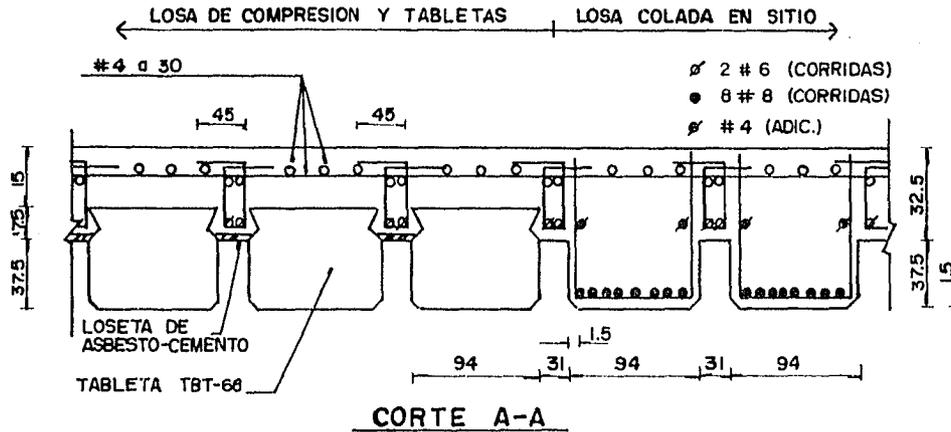
- 1 Cabo de colados
- 3 Oficiales albañiles
- 6 Peones
- 1 Cabo fierro
- 6 Oficiales fierros
- 6 Ayudantes fierros
- 1 Cabo de carpintería
- 2 Oficiales carpinteros
- 2 Ayudantes carpinteros
- 1 Cabo de maniobras
- 1 Ayudante de maniobras
- 2 Peones
- 1 Operador de grúa.

#### MAQUINARIA

- 1 Doblador de varilla
- 1 Grúa autopropulsada

#### HERRAMIENTA

- 4 Juegos de pico y pala
- 1 Carretilla
- 2 Cucharas de albañil



CONTRAFLECHA DE LOSA

U N A M	FIG. II-17	ESTACION TACUBA L-7
	ACOT. CMS.	JORGE ENRIQUE ZARATE PADILLA

- 2 Reventones de hilo o nylon
- 6 Amarradores de fierro
- 4 Martillos de carpintero
- 2 Serrotes.

Después de veinticuatro horas del colado de la losa de compresión del nivel mezzanine es factible retirar el tercer nivel de troqueles, para proceder al armado, cimbrado y colado de los muros, entre los ejes 6 -8 y 15 - 17, hasta el nivel N+37. 97m y en zona de pérgolas 1. 20m arriba del nivel de la placa de apoyo. Una vez que el concreto utilizado alcanza suficiente resistencia (después de 72 horas de colado), se colocan troqueles apoyados en los muros estructurales en la elevación N+36. 97m, con el propósito de sustituir a los del segundo nivel que están apoyados en las tablaestacas, que serán retirados para poder continuar la construcción de los muros y realizar el siguiente colado hasta el nivel N+41. 47, procediendo veinticuatro horas después a la colocación de tabletas y a la realización de la losa de compresión.

En las zonas comprendidas entre los ejes 5 - 6 y 17 - 18, D - G, se habilita la cimbra y el armado de las trabes del nivel vestíbulo, elevación N+37. 97m, realizando su colado cuando los gálibos, la ubicación de las placas de apoyo para las pérgolas han sido verificados y el acero de las columnas C-7 y C-1 de los ejes 5, 18 y 6, 7 han sido preparados para su anclaje. A continuación se construyen las columnas mencionadas hasta

el nivel de desplante de las trabes TS-3, construyéndose ésta en dos etapas: la primera hasta el nivel de apoyo de las tabletas y la segunda hasta su nivel de remate, realizando el colado en forma monolítica con la losa de compresión.

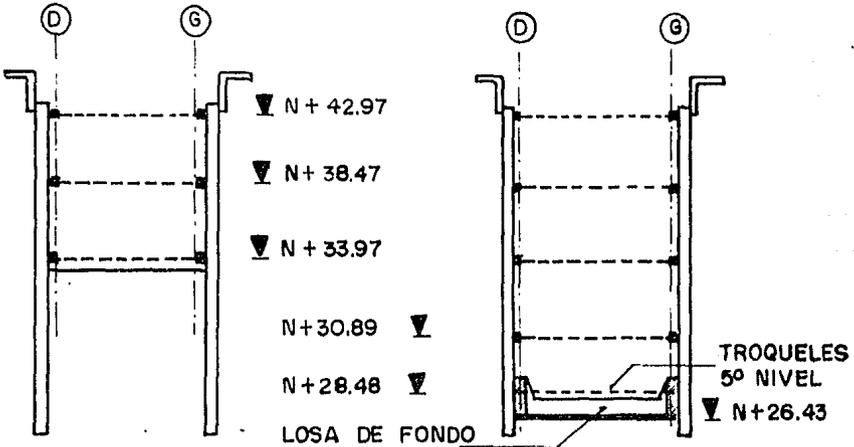
#### II-5.4 ESTRUCTURA ENTRE EJES 8-15.

El proceso constructivo de esta zona se describirá tomando como referencia el corte 16-16, que se anota en forma esquemática en la figura II-18 y se detalla a continuación.

Una vez que la excavación del núcleo central, alcanzó el nivel -N+ 26.43 se coloca la plantilla de grava, se habilita el acero inferior, de temperatura y de estribos de la contratrabe CT-1, los dos últimos elementos excepto en donde se apoyan los troqueles del quinto nivel (N+28.48m); en forma simultánea se habilita la totalidad del acero de la losa inferior, con el fin de colar ambos elementos hasta el nivel N+28.18m, excepto en la zona marcada como "A" en la figura II-19, es importante dejar preparados los estribos correspondientes a esta zona, para cuando se hayan retirado los troqueles, colocarlos en su posición final.

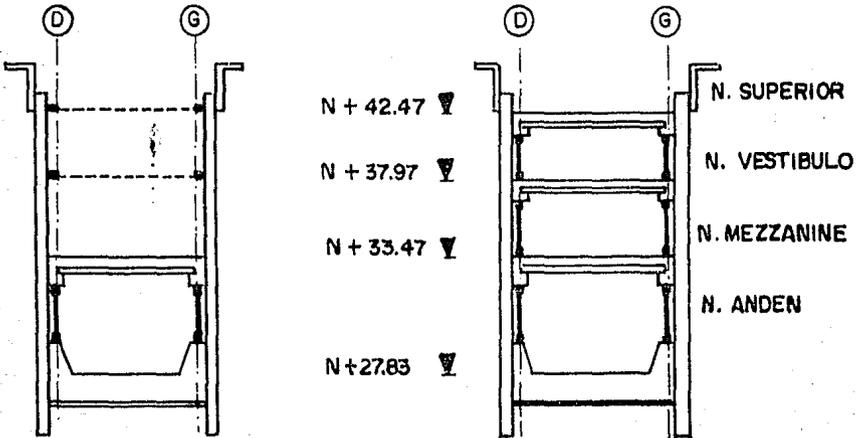
Después de veinticuatro horas del colado de la losa de piso y de la parte correspondiente de la contratrabe, se retiran los troqueles del quinto nivel, se habilita la cimbra y el refuerzo faltante de la contratrabe (estribos, refuerzo de temperatura y refuerzo del lecho superior), se lim

# CORTE 16-16 ZONA CENTRAL



a) EXCAVACION Y APUNTALAMIENTO

b) PLANTILLA Y LOSA DE FONDO

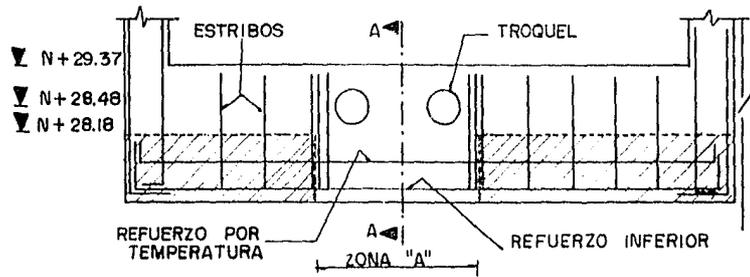


c) TRABES Y LOSA DE COMPRESION HASTA NIVEL MEZZANINE

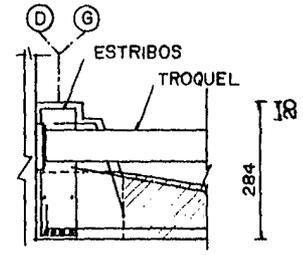
d) TRABES Y LOSAS DE COMPRESION HASTA NIVEL SUPERIOR

U N A M	FIG. II-18	ESTACION TACUBA L-7
	ACOT. MTS.	JORGE ENRIQUE ZARATE PADILLA

# CONTRATRABE CT-1

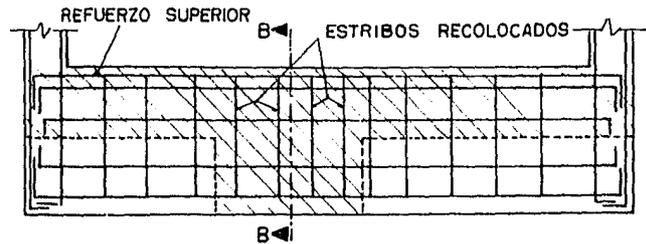


CONTRATRABE CT-1 EN PRIMERA ETAPA

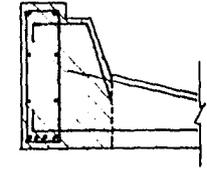


CT-1 LOSA INFERIOR

CORTE A-A



CONTRATRABE CT-1 SEGUNDA ETAPA



CORTE B-B

- AREA COLADA EN PRIMERA ETAPA
- AREA COLADA EN LA SEGUNDA ETAPA

U N A M	FIG. II-19	ESTACION TACUBA L-7
	ACOT. CMS.	JORGE ENRIQUE ZARATE PADILLA

pia y se deja rugosa la superficie de unión entre concreto, para realizar en seguida el colado de la zona "A" y las partes restantes de la losa de piso y contratrabes correspondientes, agregando resina epóxica en las superficies de colado y aditivo estabilizador de volumen.

Después de veinticuatro horas se retira el cuarto nivel de troques y se habilita la cimbra y armado de la trabe del nivel mezzanine (TM-10), colándose hasta el nivel de apoyo de las tabletas (N+32.77m), que se colocarán veinticuatro horas después con el fin de continuar con el armado del firme de compresión y del resto de la trabe, realizando su colado simultáneamente. Cuando el concreto alcanza su resistencia inicial, se retira el tercer nivel de puntales.

Con las trabes del nivel mezzanine apuntaladas se habilita la cimbra y armado para las trabes del nivel vestibulo colando la ménsula hasta el nivel N+32.27m, las tabletas se colocan veinticuatro horas después, para trabajar a continuación en el habilitado de la cimbra y el acero de la losa de compresión y de la parte faltante de la trabe, estos elementos se colarán en forma monolítica. Con las trabes de los niveles inferiores apuntaladas se construyen tanto la losa de compresión, como la trabe del nivel superior (N+42.47), para lo cual se procede en forma semejante a las anteriores elevaciones, tomando en consideración, que los puntales de cualquiera de las trabes sólo se podrán retirar cuando el concreto utilizado en su construcción alcance la resistencia de proyecto.

Es importante señalar que los troqueles colocados en cada uno de los dos primeros niveles, se retiran después de que la losa de compresión y trabes correspondientes de ese nivel han adquirido su resistencia inicial.

## II-6 CONSTRUCCION DE ZONAS LATERALES

La excavación y construcción de las zonas laterales, a semejanza de la zona central, se hará a cielo abierto y por etapas, entre una estructura de contención integrada por muros tablaestaca. Para fines de descripción del procedimiento constructivo, se denominará zona lateral poniente a la comprendida entre los ejes 2-21 y A - D; y zona lateral oriente a la limitada por los ejes G-J y 21-2.

### II-6.1 ZONA LATERAL PONIENTE

Esta zona contiene las etapas 5C a 12C y 6E - 12E cuyas dimensiones y secuencia de excavación se indican en la figura II-10. Es importante señalar que en esta zona no puede iniciarse la excavación de ninguna etapa si la zona central colindante a dicha etapa no está totalmente estructurada.

#### II-6.1A Etapas 5C y 6C

Se realiza la excavación hasta el nivel N+4l. 59m y se coloca el primer nivel de troqueles en la elevación N+ 4l. 89m, los puntales se apoyan

en uno de sus extremos, sobre la tablaestaca localizada en el eje A y en el otro, en la localizada en el eje D colineal a la losa del nivel superior correspondiente a la zona central, como se indica en la figura II-20A. Conforme avanza la excavación de la etapa 6C, se debe ir realizando la demolición del muro tablaestaca existente entre los ejes 13'-15 paralelo al eje B. No es conveniente profundizar la excavación en ningún caso si los troqueles del nivel descubierto no se han colocado, pero una vez que esto se ha realizado se puede continuar hasta alcanzar el nivel N+36. 57m.

Conforme se descubre el muro tablestaca interior correspondiente al eje C se procede a su demolición, con el fin de colocar el segundo nivel de puntales (inclinados) apoyando uno de sus extremos en el muro tablaestaca adyacente a la zona central en la elevación N+37. 62m, y el otro extremo en el muro milán lateral localizado sobre el eje A, en la elevación N+36. 87m como se ilustra en la figura II-20A.

Concluido lo anterior se continúa con la excavación de las etapas - 5C y 6C respetando su secuencia de construcción; cada una de éstas estará comprendida a ambos lados del muro tablaestaca del eje C, excavándose hasta alcanzar la elevación N+32. 82m, para proceder de inmediato a la colocación del tercer nivel de puntales, que permitirán la excavación del área comprendida entre los ejes C y A, hasta alcanzar el nivel N+32. 52m. En la zona donde se ubica la contratrabe correspondiente a esa elevación - se continúa con la excavación de la zanja necesaria para alojarla, y proceder de inmediato a la colocación de la plantilla de grava, así como al arma

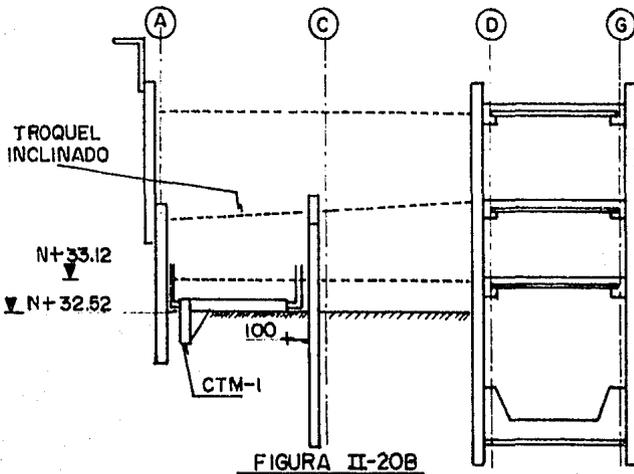
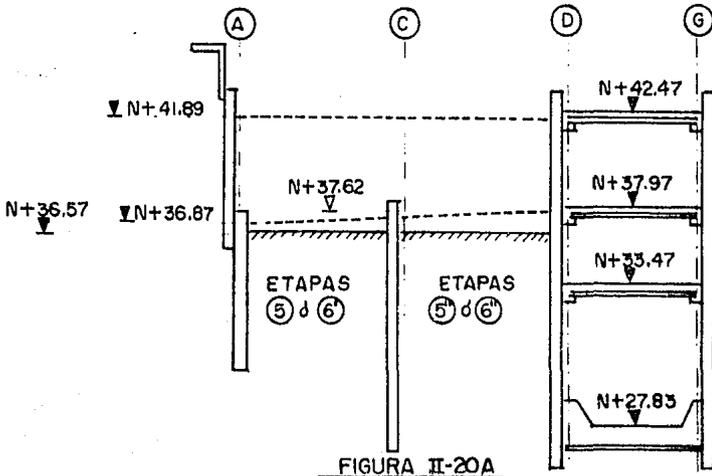
do y colado de la contratrabe y de la losa de piso, terminando esta última hasta 1.00m antes de la tablaestaca intermedia localizada en el eje C, dejando las preparaciones necesarias para la liga estructural con el muro milán localizado en el eje C y la losa del nivel N+33.22m ubicada entre los ejes C y D (figura II-20B).

Durante el colado de la losa se deben dejar los apoyos necesarios para recibir el cambio de puntales del muro tablaestaca del eje A indicado posteriormente.

Una vez realizado lo anterior se continúa con la excavación (respetando su secuencia) de las etapas 5C" y 6C"; en el área comprendida entre los muros tablaestaca interiores localizados en los ejes C y D suspendiéndola momentáneamente en el nivel N+30.51m, para proceder de inmediato a la colocación del cuarto nivel de puntales localizado en la elevación N+30.81m, tanto en la zona central como en las zonas laterales, y continuar con la excavación hasta alcanzar la profundidad de proyecto considerada entre los ejes C y D en el nivel N+28.17m, a excepción de las zonas de contratrabes que llevarán una excavación adicional. Posteriormente se coloca la plantilla de grava y se realiza el armado, cimbrado y colado de la losa de fondo y contratrabes, dejando las preparaciones necesarias para la construcción de los muros, como se ilustra en la figura II-20C.

Veinticuatro horas después, se retira el cuarto nivel de troqueles

CONSTRUCCION ZONA PONIENTE



U N A M	FIG. II-20	ESTACION TACUBA L-7
	ACOT. CMS.	JORGE ENRIQUE ZARATE PADILLA

CONSTRUCCION ZONA PONIENTE

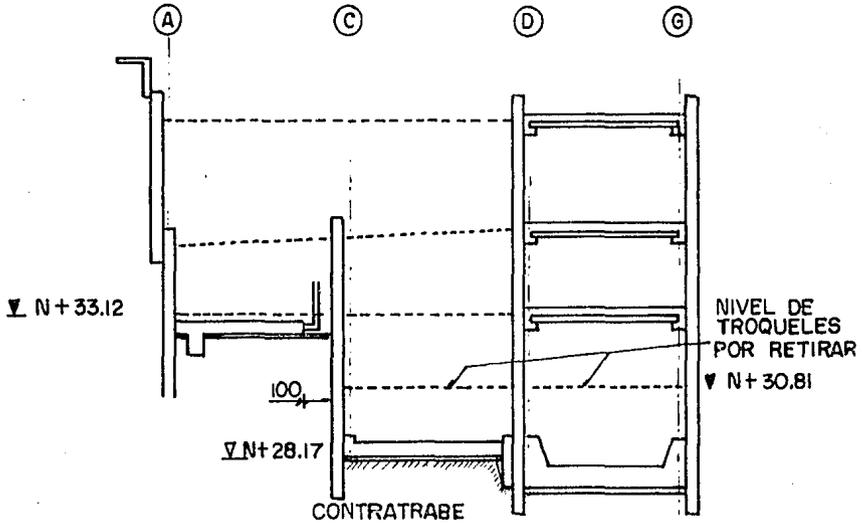


FIGURA II-20C

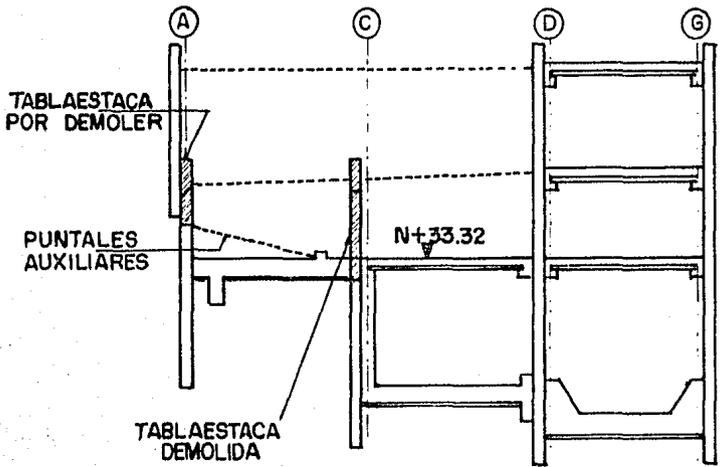


FIGURA II-20D

U N A M	FIG. II-20	ESTACION TACUBA L-7
	ACOT. CMS.	JORGE ENRIQUE ZARATE PADILLA

# CONSTRUCCION ZONA PONIENTE

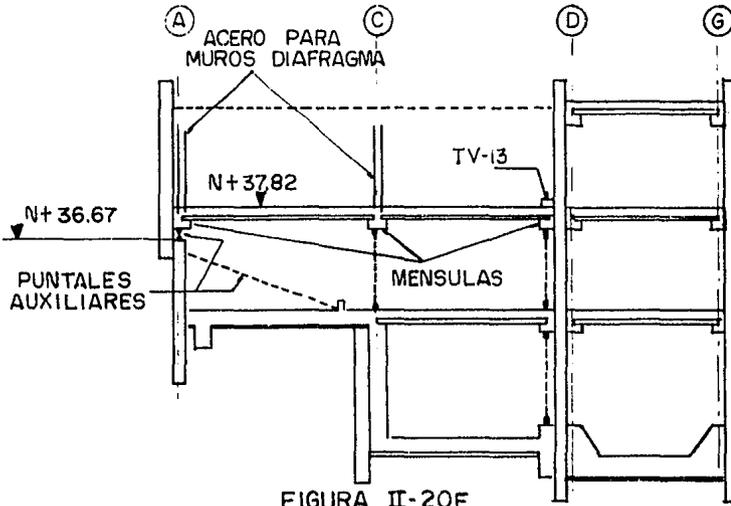


FIGURA II-20E

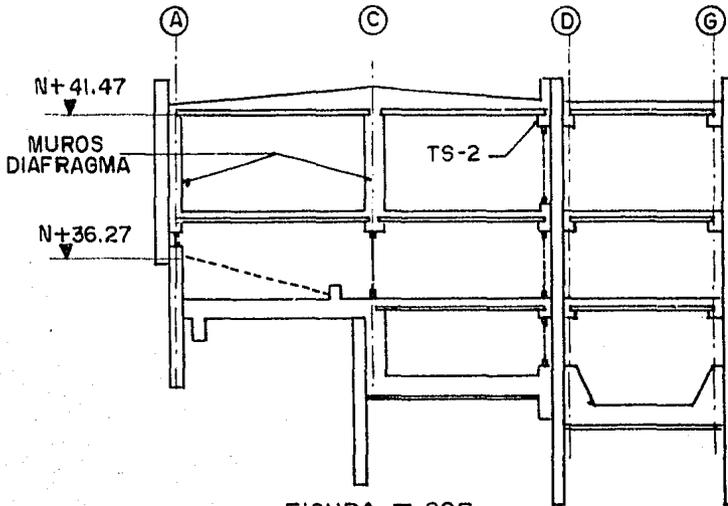


FIGURA II-20F

U N A M	FIG. II-20	ESTACION TACUBA L-7
	SIN ACOT.	JORGE ENRIQUE ZARATE PADILLA

tanto en la zona lateral poniente, como en la zona central, para proceder al armado, cimbrado y colado del muro estructural del eje C, así como de la ménsula y parte de la trabe localizada en el eje D hasta el nivel N+32.77m.

Se hace notar que es conveniente que la excavación de las zonas laterales se realicen en forma simultánea, por lo cual, la colocación y el retiro del cuarto nivel de puntales correspondientes a la elevación N+30.81m, se debe llevar a cabo al mismo tiempo y en forma colineal tanto en la zona central como en las zonas laterales oriente y poniente.

Cuando los muros y las trabes alcanzan su resistencia inicial, se procede a la colocación de las tabletas prefabricadas en aquellas zonas donde no hay troqueles, efectuando posteriormente la demolición de la tablaestaca del eje C hasta el nivel N+32.52m, excepto en aquellas áreas donde se encuentran apoyados los puntales del nivel N+33.12m, cortando el refuerzo del muro milán, de tal manera que pueda ligarse a la losa y al firme de compresión localizados entre los ejes A-C y C-D respectivamente.

Una vez ligado el refuerzo se colará el firme de compresión y las partes restantes tanto de la trabe del nivel N+33.32m como de la losa de piso entre los ejes A-C, retirando después el tercer nivel de puntales localizado a ambos lados del muro tablaestaca del eje C procediendo a la demolición del mismo hasta el nivel N+32.52m en aquellas áreas donde se encontraban apoyados los puntales, para llevar a cabo la liga de los armados

y el colado de la estructura según lo indicado anteriormente (figura II-20D).

A continuación se procederá a demoler el muro tablaestaca del eje A, hasta el nivel N+36. 67m excepto en aquellas zonas donde se encuentran apoyados los puntales inclinados, de tal forma que se pueda estructurar - hasta el nivel N+37. 82m la zona comprendida entre los ejes A-D, para lo cual se deben colocar puntales, apoyando uno de sus extremos sobre el muro tablaestaca del eje A en la elevación N+36. 27m y el otro sobre la losa - de piso localizada entre los ejes A-C. En seguida se habilita la cimbra y el armado de las ménsulas, tanto de la trabe TV-13 (junto al eje D) como de los muros diafragma de los ejes C y A, en éstas dos últimas el armado de be prepararse para continuar posteriormente con los muros.

Se efectúa a continuación el colado de las ménsulas hasta el nivel - N+37. 27m y después se colocan las tabletas prefabricadas y se habilita el armado del resto de la trabe TV-13 y del firme de compresión entre los - ejes A-C y C-D, dejando las preparaciones de los muros de los ejes A y C. Veinticuatro horas después de colado el firme se retira el segundo nivel - (inclinado) de troqueles, previa colocación de un nivel de puntales auxiliar apoyado en el nivel N+36. 27m. Posteriormente se demuele la tablaestaca - sobre el eje A en la zona de apoyo de troqueles hasta el nivel N+36. 67m y se concluye el colado de las ménsulas, y el firme del nivel N+37. 82m (figura II-20E).

La siguiente etapa consiste en habilitar el armado de los muros dia

fragma sobre los ejes A y C y la cimbra y armado de la ménsula de la trabe TS-2, para colar estos elementos hasta el nivel N+41.47m, colocando posteriormente las tabletas con el fin de colar el resto de la trabe TS-2, en forma monolítica con el firme, excepto en donde se encuentran colocados los troqueles. Veinticuatro horas después de colado el firme de compresión se retirará el primer nivel de puntales que se encuentran colocados en la elevación N+41.89m, con el fin de estructurar del mismo modo la zona en donde estaban colocados los troqueles (figura II-20F).

Cabe hacer notar que no se deben olvidar las preparaciones que se requieren en muros y trabes para el anclaje de columnas.

El troquel inclinado apoyado en el nivel N+36.27m se retirará hasta que se realice la excavación del túnel de correspondencia de la estación Tacuba L-7 con L-2 y se demuela la tablaestaca del eje A hasta el nivel N+32.52m para llevar a cabo la construcción de la junta constructiva.

#### II-6.1B Etapas 7C, 8C y 8E.

Se inicia la excavación a partir del nivel de terreno natural hasta alcanzar el nivel N+41.59m, suspendiéndola momentáneamente para colocar los troqueles correspondientes al primer nivel, apoyando uno de sus extremos en la tablaestaca adyacente al eje A y el otro sobre la adyacente al eje D en forma colineal a la losa superior de la zona central, en seguida

se continúa la excavación hasta alcanzar la elevación N+37.32m, suspendiéndola para colocar el segundo nivel de puntales en forma colineal, tanto en la zona entre ejes A-C como en la zona C-D. La excavación se realiza en forma simultánea en estas dos zonas, hasta alcanzar la profundidad máxima correspondiente a la zona entre ejes A-C, procediendo de inmediato a la colocación de la plantilla y al colado de la losa de fondo, en la cual se tienen que dejar las preparaciones necesarias (como se ha visto) para la liga con el resto de la estructura.

Como la zona entre ejes C-D exige mayor profundidad que la zona entre A - C, se continúa la excavación hasta alcanzar su profundidad máxima, suspendiéndola momentáneamente cuando sea necesario colocar los troqueles del tercer y cuarto nivel, retirando este último, cuando hayan transcurrido veinticuatro horas de terminado el colado de la losa de fondo. Los troqueles del primero, segundo y tercer nivel se retiran después del colado del firme de compresión de las losas correspondientes a esas elevaciones, procediendo posteriormente a la construcción de las áreas ocupadas por los puntales,

#### II-6. IC Etapas 9C-11C y 9E-11E

El área de estas etapas está comprendida entre los muros tablaestacas de los ejes C y D, iniciándose la excavación desde el terreno natural, suspendiéndola 30cm abajo de cada nivel de apuntalamiento.

Los troqueles de estas etapas se colocan apoyando uno de sus extremos sobre el muro tablaestaca del eje C y el otro sobre el del eje D considerándose en esta zona cuatro niveles de puntales, que permitirán la excavación hasta la profundidad de proyecto, para conformar desde aquí su estructura, de acuerdo con el procedimiento ya visto en etapas anteriores.

#### II-6.1D Etapas 12C y 12E

El frente de excavación para la construcción de las etapas 12C y 12E está limitado por un talud cuya inclinación está definida de acuerdo al nivel de proyecto de escaleras para la zona de acceso en cuestión. Adicionalmente la excavación derramará un talud hacia el poniente de 0.75:1 (horizontal a vertical) como se indica en la figura II-10.

Una vez concluida la excavación de estas etapas se procede a la colocación de una plantilla de concreto pobre de 10cm de espesor conteniendo aditivo acelerante de fraguado y a construir los elementos estructurales no olvidando dejar las preparaciones para las instalaciones eléctricas y sanitarias.

#### II. 6.2 ZONA LATERAL ORIENTE

La zona lateral oriente comprende las etapas 5B-11B y 8D-11D ubicadas entre los ejes G-J y 7-15; la excavación y construcción se llevará a cabo en la forma que se indica a continuación:

-Las etapas 8D-IIID y 8B-IIIB se construyen en forma semejante a las etapas 9E-IIIE y 9C-IIIC de la zona lateral poniente, y las etapas 12B y 12D en forma semejante a las 12C y 12E.

-Las etapas 5B, 6B y 7B se inician con la excavación desde el nivel de terreno natural hasta alcanzar la elevación N+41.59m, donde se suspende momentáneamente para proceder a la colocación del primer nivel de puntales, que estarán apoyados en uno de sus extremos en la tablaestaca adyacente al eje G, y en el otro en la adyacente al eje J. Concluido lo anterior se continúa la excavación hasta alcanzar la cota N+37.32m, el apuntalamiento de este nivel estará conformado por pares de puntales colocados en forma colineal a ambos lados del muro milán del eje H.

En la zona comprendida entre los ejes I-H se excavan 30cm más para alcanzar la profundidad de proyecto, procediendo de inmediato a colocar la plantilla y a realizar el colado de la losa de piso, hasta 1.00m antes del muro tablaestaca del eje H, dejando las preparaciones para la liga con la losa que se localiza entre los ejes G-H y el muro estructural del eje I, que se construirán posteriormente.

Se continúa con la excavación entre los ejes G-H hasta alcanzar la profundidad de proyecto, suspendiéndola en los niveles necesarios para realizar el apuntalamiento respectivo. En seguida se coloca la plantilla de grava y se realiza el colado de la losa de fondo con sus contratrabes correspondientes, continuando la estructuración en la forma convencional a excepción de las zonas de troqueles y hasta el nivel N+37.02m, en el cual se sus

pende la construcción, para demoler el muro tablaestaca del eje H, hasta la elevación indicada, excepto en la zona de puntales, con el fin de realizar la liga entre la losa de compresión del nivel vestíbulo entre los ejes G-H y la losa de fondo construida entre los ejes H-I.

Una vez realizado lo anterior, se construyen los muros de los ejes H e I, así como la trabe TS-2 en su primera etapa, para permitir la colocación de las tabletas prefabricadas, y la construcción del firme de compresión, en el nivel superior, con lo cual se tendrá la posibilidad de retirar los troqueles para terminar de estructurar las zonas ocupadas por éstos.

### II-7 RELLENO SOBRE EL CAJON SUBTERRANEO

El relleno sobre el cajón subterráneo se efectua después de que el concreto empleado tanto en la losa de compresión superior, como en los muros estructurales, haya alcanzado su resistencia de proyecto.

La calidad del material debe ser tal que cumpla los siguientes requisitos:

- 1) Material predominantemente areno-limoso, del tipo del tepetate.
- 2) No debe contener troncos, ramas, raíces, etc., y en general es

- tará libre de toda materia orgánica en partes o cantidades visibles; no contendrá cascajo, fragmentos de materiales extraños, ni piedras mayores a 7cm de tamaño medio
- 3) La contracción lineal máxima admisible será de 3.0% y un límite líquido máximo del material equivalente a 50%.
  - 4) El valor relativo de soporte deberá ser como mínimo de 10%.
  - 5) El porcentaje máximo de partículas que pasan la malla No. 100, no debe ser mayor del 25%.

El equipo que se emplea para la formación y compactación de las capas de relleno sobre las trabes precoladas del cajón subterráneo debe ser tal que logre el peso volumétrico "in situ" y no arroje sobre la losa de techo, una presión mayor a  $3.0 \text{ t/m}^2$ , tomando en consideración el peso del equipo y el peso del material de la primera capa, cuyo espesor compacto no debe ser mayor a 30 cm. Pudiéndose utilizar equipo autopropulsado después de haber construido la segunda capa de relleno, sin embargo su peso no debe ser mayor de 2 toneladas. Es importante compactar todas las zonas (por ejemplo las orillas) debiendo contar con el equipo adecuado para compactar donde no pueda pasar el equipo voluminoso empleado para la compactación general.

El procedimiento constructivo del relleno se divide en dos etapas primordialmente, el tendido del material y la compactación del mismo, en la primera se debe garantizar una buena incorporación del agua requerida

para alcanzar la humedad óptima correspondiente al material empleado; en la segunda, la compactación se hará por capas, con las siguientes características:

- a) Espesor compacto máximo de 30cm.
- b) Compactación al 90% respecto a la norma AASHTO estándar T-99 variante "A" con una energía de compactación de 6.02 - Kg-cm/cm<sup>3</sup>
- c) En el peso volumétrico "in situ", cuando máximo debe haber una variación respecto al indicado hasta del  $\pm 5\%$ .

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### III CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La construcción de una línea del STC y en este caso particular de una Estación, implica graves problemas ya que muchas veces es necesario cerrar calles y desviar el tránsito, ocasionando además deterioro ambiental por polvo y ruido, así como demoras y molestias a los habitantes de la zona. En los alrededores de la Estación, las actividades comerciales se ven afectadas, ya que el acceso de clientes se reduce considerablemente.

Sin embargo es evidente que los barrios y colonias colindantes se ven beneficiados por un aumento de plusvalía de los predios, ya que el Metro provee en la zona, a mediano o a largo plazo una regeneración natural del lugar, permitiendo adicionalmente una rápida comunicación con los centros urbanos y comerciales de la Metrópoli. Se tienen entonces dos aspectos contrastantes, el de la molestia en la construcción y el de los beneficios de su operación, la conclusión inmediata de esto es que es necesario mejorar y optimizar los tiempos de construcción, sin dejar de tomar en cuenta, por supuesto y esto es ingeniería, los problemas de inversión.

Es recomendable que se generen ahorros en tiempos totales de construcción no sólo por la vía del incremento de las horas trabajadas por turno (incluyendo las horas extra), o por el incremento en el número de turnos (en este momento se trabaja día y noche), ya que los accidentes y -

errores de construcción mas graves se cometen por personal nocturno o con gran trabajo de horas extra; sino se generen ahorros en tiempos totales por medio de la utilización de avances tecnológicos correctamente aplicados a nuestro sistema de producción, así como con la utilización de mayor cantidad de personal en trabajo diurno.

La estación Tacuba se construyó con el procedimiento tradicional en base a muros millón, por estar conectado a dos túneles, su edificación se realizó a gran profundidad, el método constructivo ya ha comprobado su seguridad y eficiencia, sin embargo se está pensando utilizar en el futuro, lodo arcilloso en lugar de bentonita y muros precolados machihembrados para abatir la cantidad de troqueles. Adicionalmente a esto, es indispensable utilizar cada vez mas los sistemas constructivos que hacen uso intensivo de los elementos prefabricados, que permiten una mejor calidad en la obra, una programación y control de actividades mas ágil, y disminuyen notablemente el tiempo de trabajo en la obra, característica crítica en la construcción del Sistema de Transporte Colectivo Metro de la ciudad de México.