



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

77
2ED

FACULTAD DE INGENIERIA

**PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE CAJON
SUBTERRANEO DE METRO UTILIZANDO MURO
ESTRUCTURAL PREFABRICADO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A :
CARLOS GONZALEZ ROMERO



MEXICO, D. F.

1995

FALLA DE ORIGEN

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-201/93

Señor
CARLOS GONZALEZ ROMERO
Presente.

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **ING. FEDERICO ALCARAZ LOZANO**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

**"PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE CAJON SUBTERRANEO DE METRO
UTILIZANDO MURO ESTRUCTURAL PREFABRICADO"**

- I. INTRODUCCION.**
- II. ANTECEDENTES**
- III. PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS DE CAJON SUBTERRANEO**
- IV. COMPARACION DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS Y COSTOS DE LOS
PROCEDIMIENTOS ESTUDIADOS
CONCLUSIONES
ANEXOS**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, a 29 de noviembre de 1993.
EL DIRECTOR.


ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS/RCR*nll

pl.

A mis padres:

**Como ofrenda, por su apoyo incondicional
en cada etapa de mi vida y se sientan orgullosos
de alguien que forma parte de ellos.**

A mis hermanos:

Para que sigan luchando por ser mejores en la vida.

**A la memoria de mis abuelos, por que siempre
me brindaron lo mejor de ellos.**

a Dios.

A Ma. del Rocío.

Carlos.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por permitirme formar parte de esta gran familia universitaria y sentirme orgulloso de ser egresado de la máxima casa de estudios del país.

A mi alma mater, la Facultad de Ingeniería, por darme la oportunidad de estudiar en sus aulas y egresar como profesional.

Mi agradecimiento al Ing. Federico Alcaraz Lozano, por su comprensión y paciencia durante el desarrollo del presente trabajo, así como revisar pacientemente el texto.

Al Arq. Juan F Carrasco, por su apoyo incondicional y atinados consejos.

A Rocío y Alejandro, por que de alguna manera participaron en la elaboración de la tesis.

INDICE

	<i>Pag.</i>
1 INTRODUCCION.	3
2 ANTECEDENTES.	6
2.1 Tipo de estructuras.	7
2.2 Tramos de prueba o experimentales.	8
3 PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS DE CAJON SUBTERRANEO.	14
3.1 Construcción de cajón subterráneo utilizando muro milan prefabricado.	14
3.1.1 Presentación.	15
3.1.2 Localización.	15
3.1.3 Estratigrafía.	15
3.1.4 Proyecto.	17
3.1.5 Fabricación de muros.	18
3.1.6 Brocal guía.	19
3.1.7 Excavación en zanja para alojar muro prefabricado.	20
3.1.8 Fluido estabilizador.	21
3.1.9 Hincado del muro milan prefabricado.	23
3.1.10 Lodo fraguante.	25
3.1.11 Colado en celdas de muro.	26
3.1.12 Abatimiento del nivel freático.	26
3.1.13 Excavación de núcleo.	27
3.1.13.a Apuntalamiento.	29
3.1.14 Construcción de losas.	30
3.1.15 Colado de juntas entre muros.	31
3.1.16 Colocación de rellenos y pavimentación.	31
3.2 Construcción de cajón subterráneo utilizando muro milan colado en zanja.	32
3.2.1 Trazo.	32
3.2.2 Construcción de brocales.	32
3.2.3 Excavación de zanja para muro milan.	32
3.2.4 Fluido estabilizador.	32
3.2.5 Colado de muro milan.	33
3.2.6 Abatimiento de nivel freático.	35
3.2.7 Excavación de núcleo y apuntalamiento.	35
3.2.8 Losa de fondo y muros estructurales de acompañamiento (chapeo).	35
3.2.9 Colocación de tabletas y firme de compresión.	36
3.2.10 Colocación de rellenos.	37

4	COMPARACION DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS Y COSTOS DE LOS PROCEDIMIENTOS ESTUDIADOS.	61
4.1.a	Fabricación de muro prefabricado.	62
4.1.b	Construcción de muro milán colado en sitio.	62
4.2	Manejo, izaje y transporte.	63
4.3	Excavación de zanja.	64
4.4.a	Colocación de muros prefabricados.	64
4.4.b	Colado de muro milán en sitio.	65
4.5	Excavación de núcleo.	66
4.6	Construcción de losas.	67
4.7	Filtraciones.	68
	4.7.a Filtraciones temporales.	68
	4.7.b Filtraciones permanentes.	68
4.8	Análisis comparativo de costos para cajón de metro.	70
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	75
	ANEXOS	79
	REFERENCIAS	85

CAPITULO 1

INTRODUCCION

La idea del muro milan estructural, es decir aquel muro que cumple con dos funciones: la primera, servir como elemento de retención durante la etapa de excavación del núcleo y segunda, formar parte definitiva del cajón durante su etapa de servicio surge ante la necesidad de reducir los tiempos de construcción del subterráneo.

Con el propósito de incrementar la eficiencia en el proceso constructivo de los tramos subterráneos del metro de la Ciudad de México contruidos en cajón, en las últimas líneas se ha buscado un cajón diferente al cajón convencional a base de muro milan y/o muro estructural (procedimiento tradicional) por un muro tablestaca prefabricado, que sea más fácil de construir y que permita agilizar los trabajos para lograr rendimientos esenciales en la obra.

La realización del siguiente escrito como tema de tesis surge después de haber observado la forma en que se ejecutaron los trabajos en el tramo experimental " Cola Nonoalco " y confirmar la posibilidad de poder construir el subterráneo con una nueva técnica, la cual además de obtener mejores rendimientos en la obra permite mejorar la apariencia del cajón , reducir casi por completo las filtraciones hacia el interior, y tener la plena seguridad de tener un concreto sano en cada una de las partes que la integran.

En este trabajo se presenta el procedimiento constructivo de cajón subterráneo a base de muro estructural prefabricado llevado a cabo en la " Cola Nonoalco " de la Línea 8 del metro, el cual tiene como objetivo dar a conocer las ventajas que se obtienen al utilizar este tipo de muros en comparación con el procedimiento tradicional.

Para describir la información de este trabajo se reviso la bibliografía existente de los tramos experimentales construidos anteriormente, las especificaciones de proyecto del tramo en estudio, y los correspondientes al procedimiento tradicional. Asimismo no pretende ser de ninguna manera una especificación técnica de proyecto, sino más bien es una recopilación de datos efectuados durante la construcción del tramo de prueba.

La forma en que se desarrollaron los trabajos en el tramo, así como la comparativa entre procedimientos se presenta en los siguientes capítulos.

El capítulo 2 reúne la historia en forma condensada del muro milán prefabricado como alternativa de construcción para el cajón subterráneo recurriendo a los grandes laboratorios que resultan ser los tramos de prueba.

El capítulo 3 describe los procedimientos de construcción de cajón subterráneo haciendo uso del muro estructural prefabricado y del procedimiento tradicional. En el caso del prefabricado se menciona desde la solución técnica adoptada, hasta llegar a la colocación de los rellenos y pavimentación sobre el cajón.

En el capítulo 4 se comparan los procedimientos constructivos a partir de actividades que son comunes para ambos así como aquellas que distinguen uno respecto de otro y los costos que se generan en ellos.

Enseguida, en el capítulo 5 se presentan las conclusiones las cuales recogen los resultados globales del presente trabajo. Finalmente, en la parte correspondiente a los anexos se pueden encontrar los resultados respecto al control de calidad del lodo fraguante que sirvió para empacar al muro, la separación entre muros prefabricados además de los productos y el resultado de los mismos utilizados en las juntas entre muros.

CAPITULO 2

ANTECEDENTES

La solución técnica para construir cajón subterráneo en la Ciudad de México, ha consistido en un cajón limitado en sus paredes por muros de concreto reforzado colados en el sitio, desempeñando varias funciones: a) soportar los empujes del suelo, b) mantener la estabilidad de las estructuras y construcciones adyacentes durante la etapa de excavación del núcleo central y c) servir como pantalla impermeable que evita el flujo de agua hacia la excavación, dando como resultado un abatimiento local de los niveles freáticos; el elemento estructural con las características anteriores y que ya es bien conocido en el campo de la construcción recibe el nombre de Tablestaca o muro milán.

2.1 Tipo de estructuras.

Teniendo en cuenta las características del subsuelo y los problemas de hundimiento de la Ciudad de México se han adoptado dos soluciones básicas que dependen no sólo de las características geotécnicas, sino también del espacio disponible en las calles para las operaciones durante la construcción.

Los tipos de estructuras para el cajón subterráneo son las siguientes: construcción de cajón con muro ademe y/o muro estructural. Como se ve la construcción del cajón tiene dos alternativas, la primera en la que tanto la losa inferior como la superior se ligan estructuralmente a los muros ademe, integrando así una estructura rígida, ver figura 2.1.1.

La otra alternativa es construir entre los muros ademe otro cajón rectangular de menor espesor, esta solución se aplica en casos en que la profundidad de desplante del Metro sea tan grande que requiera mayor peso en la estructura para contar así con una cimentación del tipo compensada

La razón principal es que al aumentar la profundidad en el proyecto de perfil, aumenta el volumen de excavación del núcleo, por lo que es necesario compensar peso a dicho volumen agregando este muro de acompañamiento, ver figura 2.1.2.

El procedimiento constructivo que se ha empleado desde entonces ha consistido en las siguientes etapas:

- a) Excavación de zanja para construcción de brocales.
- b) Armado, cimbrado y colado de brocales.
- c) Excavación en zanja para alojar el muro utilizando fluido estabilizador.
- d) Armado y colado del muro milán.
- e) Abatimiento del nivel freático.
- f) Armado y colado de la losa inferior, con retiro de puntales.
- g) Colocación de tabletas y colado del firme de compresión.
- h) Relleno y pavimentación.

Con base en la experiencia adquirida en la utilización de muros tablestaca durante la construcción de nuevas líneas de metro en las etapas subsecuentes y con el propósito de optimizar el proceso constructivo de los tramos subterráneos del metropolitano de la Ciudad de México construidos en cajón, se estudio la posibilidad de sustituir el muro colado en zanja por un muro tablestaca estructural prefabricado, que sea más fácil de construir aún en zonas con espacios limitados y que permita agilizar los trabajos para lograr rendimientos sustanciales en la obra. Este muro será construido en planta de prefabricados para acoplar la producción a las necesidades de la obra.

En el muro prefabricado no solo se obtendrían todos los beneficios inherentes al concreto precolado, sino además el aspecto en las paredes del cajón tendrían una mejor apariencia y sobre todo desaparecer del programa constructivo del cajón el concepto "dejar de fraguar el muro antes de excavar" el cual provoca un período más largo de tiempo para construir el subterráneo.

2.2 Tramos de prueba o experimentales

Por lo anteriormente descrito el Departamento del Distrito Federal a través de la Comisión de Vialidad y Transporte Urbano (COVITUR) se ha encargado de la introducción de los llamados Muros de Prueba o Experimentales en la construcción de nuevas líneas, que resultan ser un gran laboratorio para la construcción en el diseño de nuevas técnicas en los procedimientos constructivos.

La idea de construir cajón subterráneo sustituyendo el muro tablestaca colado en el sitio por un muro prefabricado surge en el año de 1986 durante la construcción de la línea 6 del metropolitano.

Como primera alternativa de solución se proyectó construir en tramos de longitudes cortas, iniciando las pruebas en el intertramo Basílica y Lindavista, en éste primer sistema de pruebas, se utilizaron mesas de colado adyacentes a la obra. Asimismo se analizó el problema de la junta entre muros, proponiéndose un sistema de junta en zeta, permitiendo con esto que los muros se pudieran traslapar. De igual forma se experimentó un lodo fragante a base de bentonita-agua y cemento que sirviera para empacar al muro con las paredes de la zanja de excavación.

Los principales problemas en éste tramo de prueba fue la mala planeación del hincado del muro, al tenerse un tablero de grandes dimensiones y peso excesivo, necesitando dos grúas para su colocación ocupando espacios excesivos.

Del mismo modo los resultados en las pruebas al lodo fragante no fueron del todo satisfactorios, al no encontrarse hasta ese momento la dosificación adecuada de los componentes a pesar de tomar decisiones en campo en función de la consistencia del lodo.

En otro tramo de la misma línea entre las estaciones Basílica y Martín Carrera, se continuaron las pruebas con la idea de aligerar los tableros y reducir el ancho; así como buscar la dosificación óptima tanto en campo como en laboratorio de los componentes del lodo fraguante.

Los resultados de las pruebas fueron más alentadores, por que las maniobras fueron más sencillas y se utilizó una sola grúa, no obstante durante la colocación de los tableros existieron complicaciones para lograr el ensamble correcto ya que la unión de la junta entre muros fue a base de un machihembrado que no pudo ensamblar correctamente provocando filtraciones hacia el interior del cajón.

Siguiendo la misma tendencia, para la construcción de la línea 9 del Metro y teniendo como antecedente los resultados alcanzados en la línea 6, se decidió la construcción de otro tramo de prueba entre las estaciones Lázaro Cárdenas y Chabacano para tratar de conseguir mejores resultados en la construcción del cajón con un sistema similar al S.I.F Bachy, (ref 10).

En éste tramo de prueba se logró encontrar las dimensiones adecuadas del muro para realizar las maniobras tanto en su fabricación como en su colocación, además de no descuidar las de diseño para soportar los empujes de la masa de suelo, penetración del muro debajo del nivel máximo de excavación para prevención de la falla de fondo y pateo, entre otros.

En la construcción de este tramo se innovo el procedimiento en la colocación de los muros, al introducir en esta actividad un sistema de sujeción formado por viguetas cortas y tornillos niveladores embebidos en el muro que permitió sostener al elemento mientras el lodo fraguante adquiría la resistencia de proyecto para confinar el tablero con las paredes de la zanja, no permitiéndole desplazamientos y lograr un alineamiento más eficiente en una dirección longitudinal, transversal y cota de desplante.

Algunos de los avances en la construcción del muro prefabricado fueron: utilizar un gancho en la parte inferior para buscar que las dovelas empataran; el sistema de juntas entre muros a base de un machihembrado se siguió conservando. En las esquinas interiores se dejaron dos muescas que tienen por objeto efectuar un colado posterior para evitar filtraciones entre la unión de las dos tablestacas.

Otro aspecto ejecutado durante la construcción del cajón fue la reducción del número de puntales apoyándolos sobre placas embebidas en el muro. Los ensayos al lodo fraguante se continuaron, eliminando el acelerante de fraguado.

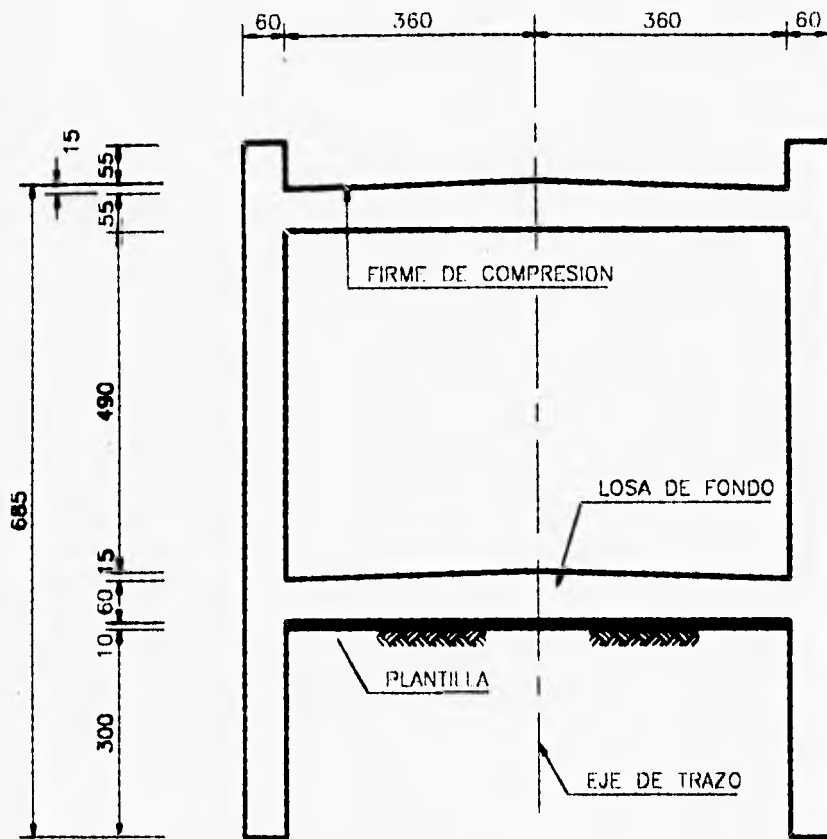
Aunque el sistema de juntas experimentado fue mejor que los anteriores, no cumplió completamente las expectativas, dado que no se llegó a empatar los tableros entre sí, por lo que persistieron las filtraciones.

En 1992, en la Línea 8 del Metro, se construyó otro tramo experimental con muros prefabricados, con el procedimiento Panosol. Las piezas fueron de 2.5 m de ancho ensambladas, aplicando además una inyección en la junta entre muros para incrementar la impermeabilidad. El trabajo se realiza antes de la excavación del núcleo. El comportamiento de la junta está clasificado como excelente a la fecha.

En el año de 1993 durante la construcción de la línea 8 del Metro de la Ciudad de México, y perseverando en la idea de seguir mejorando el procedimiento de construcción del cajón con muros prefabricados, se proyectó una opción diferente a las anteriores, con muros prefabricados presforzados de 4.50 x 9.0 x 0.55 m. Estos muros se colocaron en una excavación, estabilizada inicialmente con lodo, y rellena con lodo fraguante una vez colocado el muro.

La junta está resuelta mediante una sección tipo cajón entre piezas, la cual se reforzará con acero adicional, y se cimbrará y colará por dentro del cajón, una vez excavado éste.

En la figura 2.3 se muestran los tramos experimentales construidos en las diferentes líneas del Metro a los cuales se ha echo referencia en este capítulo, así como, los construidos en la reciente línea 8.



CAJON CON TABLAESTACA
ESTRUCTURAL

FIG. 2.1.1

SIN ESCALA
ACOTACIONES EN CM.

TITULO:

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE CAJON SUBTERRANEO DE METRO UTILIZANDO MURD ESTRUCTURAL PREFABRICADO.

FECHA:

JUNIO-1995

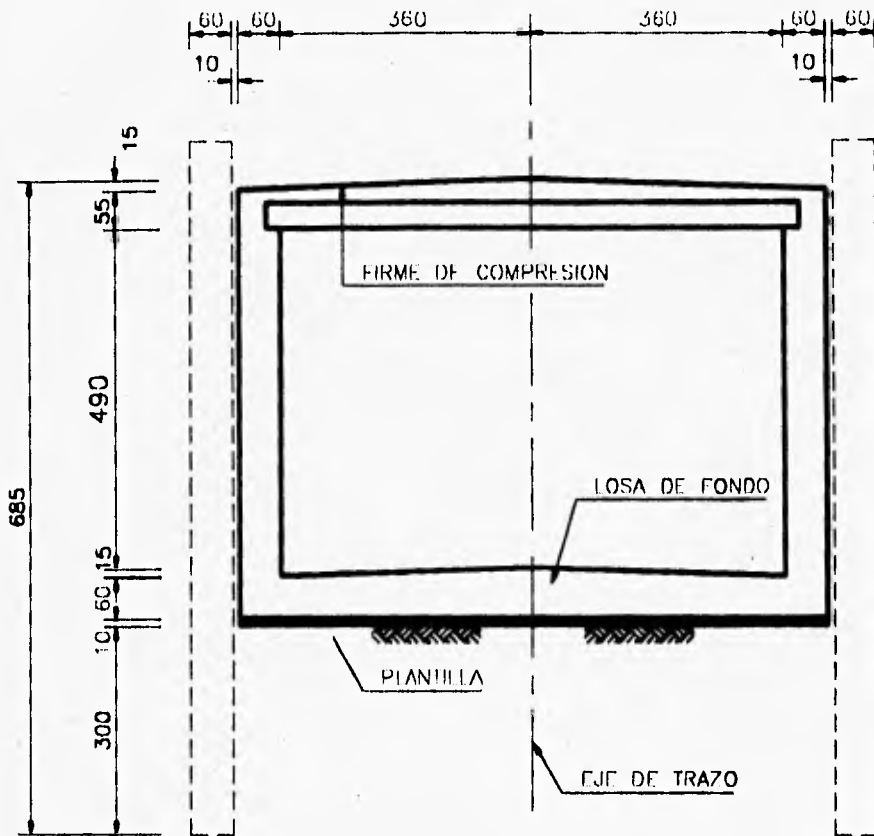
PRESENTO:

CARLOS GONZALEZ ROMERO

DIRECTOR DE TESIS:

ING. FEDERICO ALCARAZ LOZANO





**CAJON CON MURO ESTRUCTURAL
Y TABLAESTACA DE ACOMPAÑAMIENTO**

FIG. 2.1.2

SIN ESCALA
ACOTACIONES EN CM.

TITULO:
PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE CAJON SUBTERRANEO DE METRO UTILIZANDO MURO ESTRUCTURAL PREFABRICADO.

FECHA:
JUNIO-1995

PRESENTO:
CARLOS GONZALEZ ROMERO

DIRECTOR DE TESIS:
ING. FEDERICO ALCARAZ LOZANO



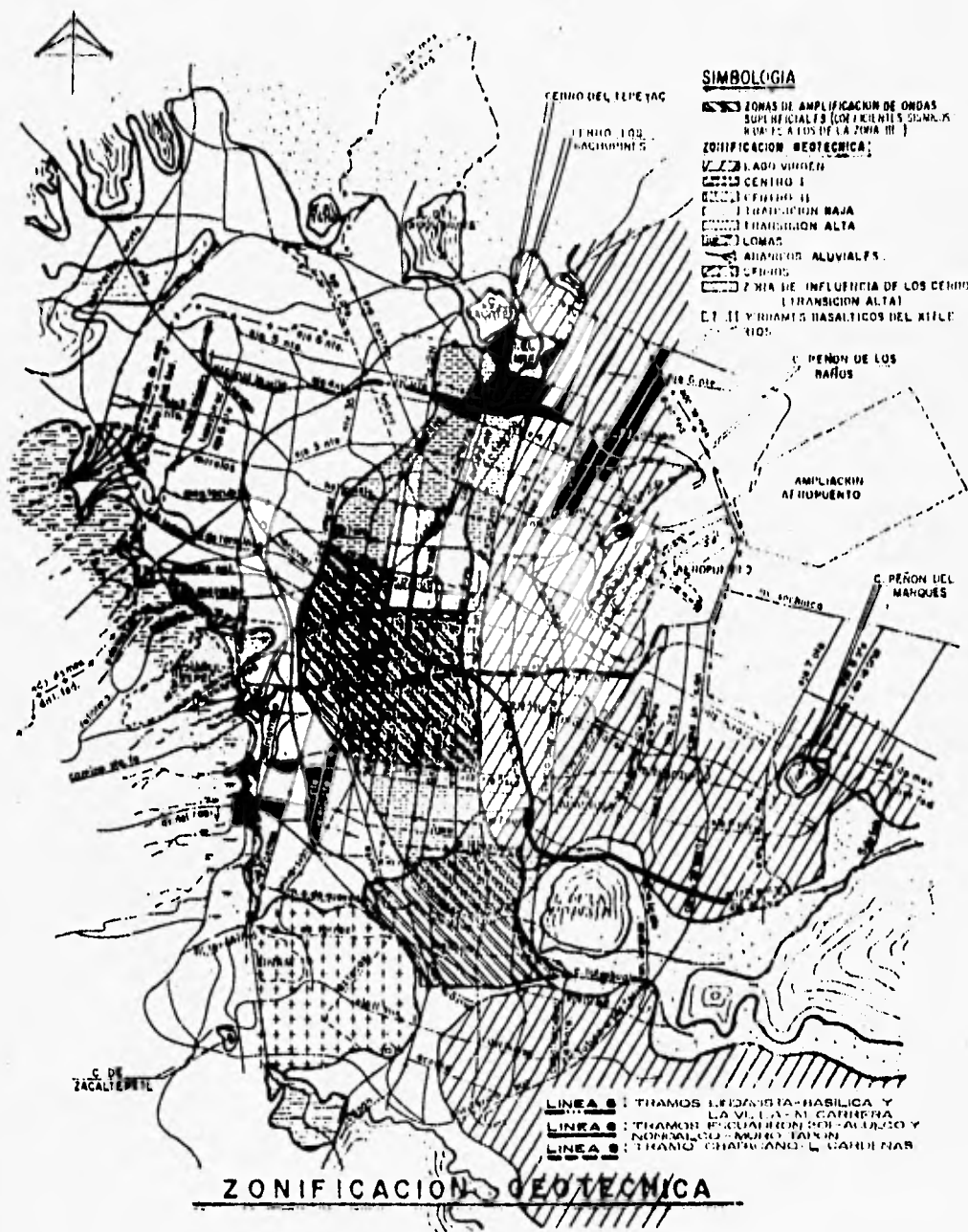


FIGURA 2.1.3

TITULO:
PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE CAJON SUBTERRANEO DE METRO UTILIZANDO MURO ESTRUCTURAL PREFABRICADO.

FECHA:
JUNIO-1995

PRESENTO:
CARLOS GONZALEZ ROMERO

DIRECTOR DE TESIS:
ING. FEDERICO ALCARAZ LOZANO



CAPITULO 3

PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS DE CAJON SUBTERRANEO

De acuerdo a las nuevas necesidades que exige la construcción de la obra metro en nuestros días, surgen nuevos procedimientos para su ejecución; tal es el caso del muro milán prefabricado en sustitución del muro milán colado en sitio utilizado en la construcción del cajón subterráneo.

3.1. Construcción de cajón subterráneo utilizando muro milan prefabricado

3.1.1. Presentación

La expansión constante de la red del Sistema de Transporte Colectivo Metro (STCM) de la Ciudad de México exige el estudio continuo de estrategias y procedimientos de construcción que interfieran lo menos posible en la vida de la ciudad, generando con ello la necesidad de optimizar los procedimientos constructivos tanto en el aspecto operativo como económico.

De ahí que su crecimiento ha permitido enriquecer y actualizar la tecnología, como es la construcción de 134.578 m (trazo en curva) de cajón subterráneo a manera de prueba con muro estructural prefabricado en sustitución de los muros colados In Situ.

Es en el tramo denominado Cola Nonoalco de la línea 8 del metro subtramo comprendido entre los cadenamientos 19 + 966.560 a 20 + 103.020 en donde se decidió aplicar esta tecnología persiguiendo como objetivos los siguientes:

1. **Mejorar la apariencia en las paredes del cajón, eliminando simultáneamente las filtraciones presentes en los muros colados en sitio.**
2. **Optimización en los tiempos de ejecución.**
3. **Comparación de costos entre los procedimientos constructivos de cajón subterráneo utilizados en el metro.**

A continuación se describe la construcción del tramo cola Nonoalco donde se construyeron 134.578 m de cajón subterráneo a base de muro milan prefabricado.

3.1.2. Localización

El tramo experimental ejecutado con muro estructural prefabricado en la cola Nonoalco de la línea 8 del metro se localiza al norte de la Ciudad de México, sobre la lateral oriente de la avenida Paseo de la Reforma entre las avenidas Flores Magón y la calle de Carbajal, ver figura 3.1.1.

3.1.3. Estratigrafía

De acuerdo con la Zonificación Geotécnica del Valle de México, propuesta en el Manual de Diseño Geotécnico por Covitur, el tramo experimental en estudio se sitúa en la Zona de Lago, particularmente en la subzona de Lago Centro II.

Las unidades geológicas que se reportaron en el tramo experimental fueron las siguientes:

a) **Rellenos Superficiales**

Esta unidad de origen antropógeno tiene un espesor variable entre 2.0 y 3.50 m, se caracteriza por ser una mezcla muy heterogénea de materiales, cuyo comportamiento mecánico corresponde al de un suelo friccionante.

b) **Manto Superficial**

Esta constituido por una secuencia estratigráfica de limos arenosos de alta plasticidad (MH) separados entre sí por lentes de arena de baja compacidad. Esta unidad tiene un espesor variable entre 2.0 y 3.5 m, llegando hasta una profundidad de 5 a 7 m, respecto al nivel de terreno natural. El peso volumétrico promedio de los materiales que constituyen el estrato es de 1.6 ton/m³. Su resistencia al esfuerzo cortante de naturaleza cohesivo friccionante teniendo una cohesión de 3.0 ton/m² y un ángulo de fricción interna de 25°, con un contenido natural de agua menor de 80%.

c) **Formación Arcillosa Superior**

Este gran evento geológico formado principalmente por arcillas de alta plasticidad (CH) de consistencia blanda con estratos intercalados de limo, limo arenoso y lentes de arena, se extiende hasta una profundidad de 31 m. Dicha unidad geológica presenta hacia su base un fuerte grado de consolidación ocasionada por una fuerte pérdida de presión en la primera capa dura. Por esta razón los estratos que se encuentra entre 7 y 21 m, son relativamente de mayor resistencia y menor deformabilidad que los estratos que se encuentran a partir de 21 m y hasta la frontera superior de la primera capa dura. El peso volumétrico de la arcilla es 1.2 ton/m³ y su resistencia al esfuerzo cortante de naturaleza cohesiva que varía en el rango de 2.0 a 4.0 ton/m² y un contenido de agua variable entre 250 y 300%.

d) **Primera Capa Dura**

Subyaciendo a la formación arcillosa superior se encuentra la primera capa dura formada principalmente por limo-arenoso de consistencia alta con un peso volumétrico de 1.7 ton/m³, y un contenido de agua promedio de 25%.

e) Formación Arcillosa Inferior

Corresponde a depósitos arcillosos de alta plasticidad (CH) intercalados por lentes duros en un arreglo muy semejante a la formación arcillosa superior. Los lentes duros son más numerosos y de composición limo arenosa, arena y ceniza volcánica.

f) Depósitos Profundos

Constituido por una serie de arenas limosas, gravas de origen aluvial, cementadas con arcilla dura y carbonatos de calcio.

Por otra parte, el nivel de aguas freáticas fluctúa entre 3.0 y 3.20 m de profundidad respecto al nivel de terreno natural. En la figura 3.1.2 se muestra el perfil estratigráfico del tramo en estudio, a partir de la interpretación de los sondeos de cono SC8-51, SC8-52 y del sondeo mixto SM8-38.

3.1.4. Proyecto

El proyecto contemplo la realización de un cajón subterráneo de 134.578 m de longitud con trazo en curva de 7.20 a 7.80 m de ancho libre y para lo cual se requirió una excavación promedio de 9 m de profundidad aproximadamente en toda su longitud.

El procedimiento consistió en la construcción de un cajón a base de tablestacas prefabricados, seguidas de excavación a cielo abierto, apuntalando la tablestaca con dos niveles de puntales, una vez alcanzado el nivel máximo de excavación se cuela la losa de piso o inferior y posteriormente la losa de techo o superior, ambas ligadas estructuralmente en las tablestacas prefabricadas.

El proyecto estructural consiste en el diseño de muros prefabricados pretensados con una geometría tal que entre un muro y otro se forma un hueco, ver figura 3.1.3., que posteriormente es armado y colado una vez concluida la losa de piso, logrando de esta forma tener un control de filtraciones hacia el interior del cajón.

Es importante señalar que el diseño geométrico y estructural de esta pieza tiene que ser tal que resista las solicitaciones (ser tablestaca durante la etapa de construcción y durante la de servicio ser un muro capaz de soportar fuerzas en reposo) a que deberá estar sujeta, además de optimizar su peso para facilitar su colocación.

En la siguiente tabla se presentan las características geométricas y ubicación de los muros utilizados en el tramo de prueba.

TIPO	DIMENSION LARGO X ANCHO X ESPESOR (m)	CADENAMIENTO
M-1, M-15 A M-24	8.75 X 4.50 X 0.55	19+966.860 A 19+993.945 Y 20+054.911 A 20+101.438
M-2, M-3, A M-14	9.00 X 4.50 X 0.55	19+993.945 A 20+054.911

El muro prefabricado se diseño para efectuar las conexiones tanto en la losa superior como en la losa inferior en forma más limpia que como se realiza en los muros milán colados en sitio. Esto se logro dejando preparaciones en el acero de refuerzo para realizar la liga estructural entre el muro prefabricado y los elementos mencionados, incluyendose además en estas conexiones bandas expansivas de sellado para garantizar que no se presentaran filtraciones.

Para efectuar la excavación de las zanjas que alojarían a los muros prefabricados, se especifico un procedimiento igual al procedimiento tradicional, contemplandose la construcción de brocales previos a la excavación de la zanja en diferentes posiciones etc.; para que una vez concluida la excavación se introdujera el muro, el cual sería plomeado y nivelado mediante los tornillos de ajuste diseñados para tal efecto, los cuales sirvieron además para soportar al muro, que quedo suspendido de la vigas metálicas hasta en tanto el lodo fraguante adquirió la resistencia necesaria para soportarlo.

La excavación del núcleo y colado de la losa de fondo se realizaron en condiciones normales, es decir, bombeo previo, excavación del núcleo hasta el nivel máximo de excavación indicado en el proyecto y colado de la losa de fondo, procediendo después de esta etapa a retirar el lodo fraguante del hueco formado en las juntas de los muros contiguos para poder realizar los trabajos de armado y colado de estas.

3.1.5. Fabricación de muros

La fabricación de los muros fue llevada a cabo en una planta prefabricadora, localizada en el km. 21.5 de la carretera Teoloyucán-Huehuetoca, Estado de México.

Para la prefabricación de los muros, se instalo una mesa de colado en donde se trabajaron simultáneamente dos muros.

El molde para fabricar estos elementos se diseño de tal manera que por la cara que constituiría la corona del muro se hicieron una serie de perforaciones, para permitir que por ellos pasara el acero de refuerzo que se dejo como preparación para ligar estructuralmente al muro con el firme de compresión de la losa superior.

El muro prefabricado se diseño en forma de paralelepípedo, el cual solo en un 50 % de su superficie esta constituido por una sección maciza; es decir para su diseño se incluyeron celdas en su interior para aligerarlo, estas celdas se formaron con un molde metálico.

Para conectar la losa de fondo con el muro prefabricado, se dejaron unas cajas de 60 x 85 cm en donde se diseñaron las preparaciones para ligar el acero de refuerzo de la losa de piso.

3.1.6. Brocal guía

La realización del trazo para alojar el muro milán prefabricado representa una actividad muy importante en el desarrollo de la obra, ya que la ejecución de ella se ve reflejada para dar los galibos necesarios que exige el proyecto en la construcción del cajón. Para cumplir con esta última función es necesario que exista un espacio libre entre brocales de 65 cm como mínimo (para muros de 55 cm de espesor).

Una vez realizado el trazo donde quedaran alojados los muros se inician las etapas de construcción para los brocales.

Los brocales son estructuras de concreto armado, colados en el sitio en forma de ángulo recto. Tienen como finalidad retener el material de relleno que se encuentra superficialmente previniendo una falla local cuando se realiza la excavación en zanja, además de servir como guía del equipo de excavación y soporte para la fijación y el calzado de los tableros, ver figura 3.1.4.

Para construir los brocales es necesario realizar una excavación por medio manuales o mecánicos, hasta una profundidad variable de acuerdo con el espesor de los rellenos, la cual nunca debe ser mayor a la cual se encuentre el nivel de aguas freáticas.

Debido a que en ésta zona se encuentran localizadas las instalaciones municipales la excavación se realiza por medios manuales evitando de esta forma alguna posible ruptura en alguna de las instalaciones.

Concluida la excavación de la zanja se inician los trabajos de habilitado del acero del brocal con varillas del #3, formando una parrilla de 20 x 20 cm, para la rama vertical del brocal conocido como faldón. Para colar ésta rama se coloca la cimbra en las partes armadas apoyandola una contra otra por medio de puntales para evitar que se formen abolsamientos en las caras.

Los puntales son polines de madera de sección cuadrada de 10 x 10 cm, colocados a cada 2.0 m de separación en el sentido longitudinal.

Las ramas horizontales de los brocales también forman una pequeña losa de concreto armado, donde el ancho de la misma debe garantizar que el brocal quede bien apoyado sin peligro de provocarle volteo al elemento durante la excavación en zanja. El armado tipo también es de 20 x 20 cm con varillas del # 3 para un ancho de losa de 1.0 m.

El brocal constituye una obra de carácter temporal, ya que su retiro se realiza en dos etapas: la primera cuando se excava el núcleo automáticamente se lleva la parte interna del brocal de cada lado y la segunda etapa ocurre cuando se restituye la carpeta asfáltica, procediendo a demoler y retirar la parte externa del brocal en ambos lados.

3.1.7 Excavación en zanja para alojar muro prefabricado

Una vez que el brocal guía adquirio la resistencia de proyecto, se procede a realizar la excavación en zanja hasta el nivel de desplante de los muros considerando una sobreexcavación de 0.50 m para no tener problemas de azolve en el fondo. La excavación se realizó con una grúa Link - Belt Ls-108 sobre orugas con capacidad de 40 ton y equipo guiado en forma mecánica, utilizando una draga de cucharón de almeja plana con capacidad de 0.75 yd³ para garantizar la verticalidad, alineamiento de las paredes de la zanja de excavación y alcanzar sin problemas la profundidad de los muros, y un cargador frontal sobre orugas Caterpillar 955L, que recibía el material producto de excavación para descargar al camión volteo.

Para cumplir con las características anteriores se debe tener presente lo siguiente: a) La herramienta de excavación debe deslizarse con suavidad sin chicoteos ni golpes, b) Se hincará evitando que choque o caiga libremente contra las paredes de la zanja para evitar desprendimientos o caídos, c) Se deberá meter y sacar sin brusquedad para evitar efectos de émbolo en el lodo, d) cortar firmemente el material hincandola a presión sin sacudirla repentinamente

Se prohíbe estrictamente utilizar para la excavación de las zanjas, maquinaria que utilice cucharón de almeja libre o cualquier tipo de herramienta no guiada, ya que se podrían provocar derrumbes en las paredes de la zanja de excavación.

La excavación no se realizo en forma alternada como en el procedimiento tradicional ni en forma continua, sino que se caracterizo por realizarse en forma modular, es decir, con avances continuos de excavación y colocación de muros de hasta cuatro tableros por módulo en diferentes jornadas de trabajo, ver figura 3.1.5.

Antes de que la grúa tomara posición el ayudante del operador verifico que no se tuviera una superficie de rodamiento irregular para el equipo, cuando se presento se utilizaron placas de acero en las orugas del equipo o alternativamente se hizo uso de una cama de tepetate coronada por polines de madera..

Definido el trazo de la excavación por medio de palomas colocadas en la corona del brocal se posiciona el equipo frente al panel a excavar, enseguida el ayudante verifica la verticalidad del equipo guiado colocando un tripie (formado con pedacería de varilla) provisto con una plomada a 10 m de distancia del equipo y sobre el eje de la zanja.

Para su excavación la zanja fue dividida en tres zonas en el sentido longitudinal, atacando primeramente el material en los extremos correspondientes a la primera y segunda posición y concluir el ciclo atacando el centro de la zanja correspondiente a la tercera posición. La excavación se realizo a una profundidad promedio de 12 m, ver figura 3.1.6.

Paralelamente al inicio de la excavación es necesaria la introducción de un fluido estabilizador para mantener estables las paredes de la zanja el cual debe mantenerse durante todo el ciclo de excavación procurando que este coincida con el nivel de aguas freáticas del sitio, ver figura 3.1.7.

Una vez alcanzado el nivel máximo de excavación de la tablestaca, se realiza una limpieza del fondo de la zanja desplazando el equipo aproximadamente 1.50 m tomando cada una de sus posiciones; asimismo se verifica la profundidad de la misma haciendo uso de una sonda.

No debe dejarse una zanja totalmente excavada y ademada con lodo por mucho tiempo por lo que no deben pasar más de 24 horas entre el inicio de la excavación de un muro y su colocación.

3.1.8 Fluido estabilizador

Durante la excavación en zanja las paredes de la misma no son estables por sí mismas. Para evitar que se derrumben, se requiere hacer uso de un fluido que ayude a lograr la estabilidad durante la excavación, y facilite la ejecución del hincado del elemento prefabricado; además de cumplir con las propiedades que marca el proyecto.

El lodo estabilizador debe ser una suspensión estable, tener una densidad mayor que la del agua con objeto de que el empuje hidrostático que ejerza sobre las paredes, sea mayor que el de esta.

En el tramo en estudio se hizo uso de dos tipos de fluido estabilizador: a) lodo bentonítico en la parte oriente por considerar una sobrecarga importante de una zona de edificios muy proxima a la zanja de excavación y b) lodo espontáneo, generado por el remoldeo y adición a las arcillas del sitio en el lado poniente del tramo.

Durante la excavación debe efectuarse un control de la propiedades del fluido estabilizador; este consiste en efectuar las pruebas necesarias para confirmar que se cumple con los límites y tolerancias señaladas en las especificaciones de proyecto. Se llevan cuando menos dos pruebas del fluido por cada tablero; las propiedades que debe cumplir el fluido se indican a continuación.

Propiedad	Especificación
Densidad	1.03 a 1.09 ton/m ³
Viscosidad Marsh	30 a 50 segundos

El nivel del fluido estabilizador dentro de la zanja debe coincidir con el nivel de aguas freáticas, evitando variaciones con respecto al mismo. No se permite abatir el nivel del fluido estabilizador mencionado anteriormente, ya que que se podrían generar succiones o gradientes en el manto freático que favorecen la desintegración y el derrumbe de las paredes.

Es importante mencionar que el lodo puede ser utilizado más de una vez en función del cumplimiento de las propiedades que se señalen, por lo que en cuanto los haya perdido, se debe desechar y utilizar uno nuevo. Para su reutilización se efectua una recirculación pasando por la planta de lodos.

El control de calidad de las propiedades del fluido estabilizador se realizo mediante un muestreo físico por parte de la supervisión en el tramo así como de la empresa contratista encargada de realizar los trabajos. El muestreo consistio en la introducción de un cilindro metálico conocido como buzo, obteniendose muestras de cada zanja excavada.

En seguida de haber tomado las muestras se llena un recipiente con fluido estabilizador para ser enviado inmediatamente al laboratorio y proceder a realizar las actividades necesarias para obtener la densidad de la muestra, la viscosidad con cono Marsh (con cono de volumen de 956 cm³ y hoyo de 4.75 mm) y el contenido de arena.

3.1.9. Hincado del muro milán prefabricado

La actividad de hincado del muro estructural prefabricado es una de las diferencias respecto al procedimiento constructivo tradicional.

El sitio de entongado se localizo muy proximo del sitio de hincado, en donde la brigada de Topografía a cargo de la supervisión se encargo de verificar las dimensiones de cada uno de los muros llevando un registro y anotándolas en un costado de los mismos. La distribución de los dos diferentes tipos de muros utilizados en el tramo de prueba se presentan en la figura 3.1.8.

Los trabajos de hincado o colocación del elemento prefabricado inician una vez que los de excavación concluyen; de esta forma se traslada el muro al sitio de colocación en un trailer que siempre se ubico en forma paralela al eje de trazo del metro, posición de donde lo toma la grúa para colocarlo en un estibado temporal.

Las maniobras para la colocación del muro fueron las siguientes:

- Se ubican topográficamente mediante referencias (clavo y pintura) en el brocal las dimensiones que debera cubrir el muro por colocar, verificando de esta forma el primer control de alineamiento en la dirección del eje "X"; es decir; en el sentido longitudinal.
- Se colocan los estrobos en los ganchos de izaje para desplazarlo de la plataforma del trailer a un estibado provisional con polines de madera, evitando el contacto directo con materiales rígidos y que se adhiera material producto de excavación en la cara de acabado aparente.
- En seguida se cortan los seis ganchos de izaje colocados en la cara que estara en contacto con la superficie del terreno natural. Así mismo se instalan en los costados del muro la tubería de PVC de 50 mm de diámetro los cuales forman los ductos por los que se introduce la inyección de lodo fraguante; paralelamente se colocan los estrobos sobre los ganchos anclados en la corona del muro.

Efectuado lo anterior, el muro se sube a una posición vertical paulatinamente, apoyando los bordes inferiores sobre polines de madera para evitar despostilladuras. En seguida que el tablero esta suspendido verticalmente se procede a introducirlo en la zanja excavada en varias etapas: a) el primer nivel de introducción esta definida por el limite superior de la losa de piso, b) a partir de este momento las siguientes maniobras están en función del alcance del brazo del peón que coloca una película de material graso (desencofrante) sobre la cara del muro que tiene un acabado aparente evitando que el lodo fraguante o el suelo se adhieran a éste y además facilitar la limpieza del tablero durante la excavación del núcleo central.

Durante el procedimiento de hincado es necesario bajar el nivel del fluido estabilizador dentro de la zanja hasta el nivel de remate o corona del muro anterior para alinear el muro en la dirección "X" (sentido longitudinal) y buscar que la dovela quede empatada.

En el caso particular de este tramo bajar el nivel de lodo espontáneo o bentonítico hasta el nivel de remate del muro no ocasiono problemas, ya que el nivel de corona del muro coincide sensiblemente o esta por arriba del nivel de aguas freáticas.

Para tener un control respecto a la profundidad de desplante (alineamiento en la dirección "Z") y debido a que esta fue de aproximadamente 12 m, se utilizaron coples en los tornillos niveladores para que estos rebasaran el nivel de terreno natural e introducir las vigas metálicas cortas (puentes) que forman el sistema de sujeción, ver figura 3.1.9.

Una vez que el muro se encuentra al nivel de desplante de proyecto, se continua el procedimiento calzando la dovela utilizando para ello un sistema de sujeción formado por: a) 4 barras empotradas y roscadas en una cierta longitud, tuercas de ajuste, viguetas de acero cortas (vigas madrina) que son apoyadas sobre el brocal y viguetas de acero cortas apoyadas sobre la vigas madrina, ver figura 3.1.10.

Instalado el sistema de sujeción la brigada de topografía realiza las siguientes actividades:

- Alineamiento en el sentido "Z" (cota de desplante). Se checa con ayuda de un estadal colocado en cada una de las esquinas del muro y tomando las lecturas correspondientes con un tránsito. Los ajustes se realizan por medio de las tuercas de precisión.
- Alineamiento en el sentido "X". Haciendo uso de un tránsito apoyado sobre el brocal y colocado sobre el eje de la zanja y con dos referencias superficiales (palomas) en el nivel de remate se realizan los ajustes necesarios girando la dovela.

- **Alineamiento en el sentido "Y". Este se verifica con una cinta métrica, midiendo la distancia que existe entre el eje de trazo del metro y la pared interna del muro.**

Después de lograr la posición correcta, ver figura 3.1.11 se retiran los estobos continuando el procedimiento constructivo con la inyección de lodo fraguante, el cual como se menciono anteriormente es introducido través de los tubos de PVC, a los cuales se conectan adaptadores y mangueras en su parte superior conectadas a un sistema de bombeo.

3.1.10 Lodo fraguante

La adición de cemento a una suspensión de arcilla tixotrópica (bentonita) produce un nuevo material de características muy complejas, cuyo aspecto en el momento de su elaboración es el de una lechada viscosa de color gris; esta mezcla no inicia su fraguado mientras se mantenga en movimiento, pero una vez que se deja de mover y permanece en reposo fragua rápidamente.

Dentro de sus principales aplicaciones se incluyen:

- a) Inyecciones.
- b) Pantallas impermeables.
- c) Cimientos de resistencia media.
- d) Empaque de aparatos de instrumentación dentro del subsuelo.

El lodo fraguante sirve , además de estabilizar las paredes de la zanja, de relleno entre la pieza prefabricada y la pared de excavación, para evitar asentamientos del terreno vecino; así mismo, consigue la estanqueidad necesaria de la juntas entre paredes y por ser material blando facilita la limpieza de la pared expuesta.

Para la elaboración del gel bentonita - agua se requiere la completa hidratación de la bentonita, el tiempo empleado en esta actividad depende del método de mezclado a utilizar.

La mezcla se considera aceptable cuando la resistencia a 10 min sea superior a 0.5 N/m², medida con viscometro Fann. Lo anterior es posible obtener mediante bombeo de alta turbulencia del gel en tanque de fondo cónico en cuyo vertice se ubique la succión de una bomba que sea capaz de recircular el 60 % de la mezcla en un plazo no mayor de 3 min.

Es común que aún con un método de mezclado como el descrito no se consiga el 100 % de la hidratación de la bentonita, por tal razón se recomienda mantener la mezcla en hidratación un plazo de 24 hr posterior al mezclado.

Una vez lograda la completa hidratación de la mezcla, 15 min antes de su uso en la trinchera, se le adiciona cemento Portland tipo 1 y fluidizante, en la proporción y con las características previamente especificadas. A partir de este momento la mezcla se mantiene en constante agitación, con un método similar para lograr que esta sea homogénea y frague antes de la colocación de la tablestaca.

La mezcla se conduce a la excavación llena de lodo bentonítico o lodo espontáneo, a través de un sistema de bombeo, conectando las tuberías a las puntas de los ramales de PVC instalados en los costados de los muros.

El nivel de lodo dentro de la trinchera se sitúa en la parte superior del muro. El volumen de lodo estabilizador desplazado por la tablestaca es conducido a la planta de lodos o al panel siguiente por excavar.

El muestreo físico para verificar las propiedades del lodo dentro de la zanja, se ejecutaron de la misma manera que en el caso del fluido estabilizador.

3.1.11 Colado en celdas de muros

De acuerdo al procedimiento, se proyectó un muro tal que permitiera facilitar las maniobras tanto para su manejo en planta como en su colocación. De esta forma las cuatro celdas huecas que se dejaron durante la fabricación y una vez que el lodo fraguante adquirió una resistencia de 0.30 kg/cm^2 como mínimo, se rellenaron completamente con concreto de la misma resistencia que el muro, provisto de algún aditivo estabilizador de volumen y de esta forma considerar una sección maciza en su totalidad.

Para ejecutar el colado de las celdas fue necesario efectuar la limpieza de las mismas con aire a presión para facilitar los trabajos. El colado se realizó con ayuda de una tubería hermética y una campana o tolva en la parte superior (sistema de colado utilizado en el sistema tradicional) para que el concreto baje gradualmente y evitar que se produzca sangrado en el mismo.

Con esta actividad concluye la colocación de los muros prefabricados, ver figura 3.1.11 y solo resta esperar un lapso de tiempo para iniciar la estructuración del cajón.

3.1.12 Abatimiento del nivel freático

Previo al inicio de los trabajos de excavación se establece en el proyecto que debe verificarse que el lodo fraguante haya alcanzado al menos el 50 % de la resistencia especificada, la cual se alcanzó a los siete días en promedio.

Para iniciar los trabajos de excavación del núcleo central, es necesario abatir el nivel de aguas freáticas, y la presión de poro por debajo del nivel de desplante del cajón con el fin de controlar las fuerzas de filtración y reducir las expansiones en el fondo. De tal forma es necesario implementar un sistema de bombeo profundo constituido por pozos y piezómetros.

La perforación de los pozos se realizo sobre el eje de trazo del metro; es decir a la mitad del núcleo y a cada 9 m de distancia entre sí como se muestra en la figura 3.1.12.

La perforación de los pozos se realizo con broca de aletas y con un diámetro de 30 cm, en la perforación no se permite utilizar algún tipo de lodo para ademar la perforación; para el lavado solo se utilizo agua.

Antes de colocar el ademe es necesario lavar el pozo con agua a presión. En seguida se instalo la tubería de ademe ranurada de 10 cm de diámetro cubierta con malla mosquitera en toda su longitud.

Posteriormente se coloca material de filtro de grava limpia y bien graduada con tamaño máximo de 1/2" entre las paredes del pozo y la tubería.

Dentro del ademe se colocan las bombas de puntas eyectoras.

Para iniciar los trabajos de excavación del núcleo central de una determinada etapa es necesario que exista un tiempo previo de bombeo de 2 días en cada pozo contenida en ella.

3.1.13 Excavación de núcleo

La excavación de núcleo constituye una serie de operaciones necesarias para la remoción y extracción de materiales ejecutados a cielo abierto con maquinaria y manualmente entre estructuras de contención y/o taludes diseñados según las características y propiedades del subsuelo de la zona que conforma el cajón por donde circula el metro. El equipo utilizado esta en función de las condiciones de distancia y profundidad de las líneas subterráneas en cajón.

La excavación se realizó con equipo mecánico desde la superficie del terreno de manera que sea posible realizar las maniobras dentro de la misma en forma segura entre puntales ya colocados. La maquinaria utilizada fue una almeja libre sobre una draga LS-108; auxiliándose en el fondo de la excavación por personal con equipo manual que coloque el material inaccesible para la maquinaria en posición de ser desalojado.

La excavación se ejecuto por etapas a todo lo ancho del área confinada lateralmente por los muros, en tramos de 7 m de longitud promedio. Cabe mencionar que los avances del cajón dependen de las especificaciones del proyectista y del estudio de mecánica de suelos; cada uno de ellos se realiza en etapas verticales de excavación que llega hasta un nivel de 0.30 m por debajo del nivel correspondiente al puntal, excepto la última etapa vertical que llega hasta el nivel máximo de excavación.

El frente de avance de excavación esta limitado por un talud con una relación 1:1 (horizontal: vertical). Cuando el talud permaneció abierto un tiempo mayor al señalado en las especificaciones la superficie se protegió con una capa de mortero reforzada con malla ligera tipo "tela de gallinero".

La primera etapa de excavación se llevo a una profundidad de 1.80 m respecto al nivel de terreno natural. En seguida se coloca el primer nivel de puntales apoyado sobre el faldón del brocal a una profundidad de 1.50 a 1.60 m aproximadamente, separados entre sí 4.50 m de distancia en el sentido longitudinal y ubicado al centro de la unión entre muros.

Colocado el primer nivel de puntales, se continua con la segunda etapa de excavación hasta una profundidad definida por las placas de fijación superiores embebidas en el muro ya que sobre estas se apoyara el segundo nivel de apuntalamiento, ver figura 3.1.13. Realizadas las actividades anteriores se continua con la tercera etapa de excavación la cual marca el nivel máximo de excavación.

Los últimos 30 cm de excavación se efectúan con herramienta manual, para evitar remoldeo excesivo de material y afinar el fondo.

Durante la excavación del núcleo se retira la junta de lodo fraguante alojada en la zona de colado secundario (junta entre muros), excepto donde las dovelas quedaron empatadas, ya que como se menciono anteriormente esta capa funciona como pantalla impermeable. El colado e impermeabilización de la junta se trata más adelante. Así mismo durante esta fase se ejecuta una limpieza en el nivel de remate del muro que consistió en cortar los tornillos de nivelación, torones, así como las varillas que sobresalían hasta dejarlas enrasadas al nivel de corona; esta actividad es necesaria para poder apoyar las tabletas prefabricadas para la losa de techo o tapa.

Para iniciar un nuevo avance de excavación es necesario que en avances anteriores se cumpla lo siguiente: en el avance inmediato anterior se haya colado la plantilla, dos atras se haya colado la losa de fondo y tres atras se haya colado la losa de techo, ver figura 3.1.14

3.1.13.a Apuntalamiento

Cuando se habla de excavación de núcleo a cielo abierto en la obra metro, es hablar también de apuntalamiento debido a que son acciones que necesariamente son realizadas de manera simultánea en el proceso constructivo.

Para mantener la estabilidad de los muros durante la excavación y colindancias del terreno natural, es necesario implementar un sistema de apuntalamiento. Apuntalar se refiere a la acción de colocar elementos rígidos con la finalidad de sostener una pared. En nuestro caso, los puntales utilizados son fabricados a base de tubería de acero, con características determinadas. Su objetivo es el de ayudar a soportar el empuje del terreno provocado por la descompensación del mismo al efectuar el desalojo del material en esa zona.

Los puntales también reciben el nombre de troquel. El diámetro de los puntales utilizados en el tramo fue de 10 y 12", cuentan en sus extremos con cabezales cuya función es absorber los empujes de los gatos hidráulicos para la presión del troquel en las paredes de excavación. Estos cabezales tienen una placa de acero para apoyarlo directamente; en este caso sobre la viga madrina o en el queso, los que a su vez se apoyaran sobre las placas de fijación embebidas en el muro.

Para el tramo en estudio, se instalaron tres niveles de apuntalamiento provisionales durante la excavación del núcleo apoyados, el primero sobre el faldón de brocal y los dos restantes sobre los muros prefabricados, cada uno correspondiente a cada etapa de excavación.

El primer nivel de troqueles se efectuó con troqueles de 12" de diámetro aplicando una precarga de 4 ton, reaccionando contra el brocal mediante una viga madrina (IPR 12") que reparte la carga uniformemente. Las vigas son sostenidas por varillas soldadas a la misma y ancladas en la carpeta asfáltica.

Alcanzado el segundo nivel de excavación se colocan los puntales en la misma posición de las placas de fijación, habiendo colocado un puntal por cada unión o junta entre muros apoyado sobre una viga madrina. Este nivel de puntales recibió una precarga de 65 ton.

Ejecutado lo anterior, se procede a la excavación de la tercera etapa que marca el nivel máximo de excavación; debiendo colocar el tercer nivel de apuntalamiento sobre las placas de fijación. Los puntales de este nivel recibieron una precarga de 80 ton.

Para los casos de sobregalibos o sobre ancho del cajón se utilizaron rodetes de madera (quesos), los cuales garantizan la transmisión de la precarga uniformemente. Los niveles de apuntalamiento pueden observarse en las figuras 3.1.13 y 3.1.15.

3.1.14 Construcción de losas

Después de haber alcanzado y afinado el nivel máximo de excavación, se cuela una plantilla de concreto pobre de $f_c = 100 \text{ kg/cm}^2$ de 5 cm, que va a permitir una superficie sin protuberancias y sobre la que se realizan todas las actividades inherentes al colado de la losa de piso, una vez que el colado alcanza su fraguado inicial, ver figura 3.1.15.

Los trabajos para el colado de la losa de fondo consisten en: a) retiro de la espuma de poliestireno en las cajas que se dejaron en los muros hasta descubrir el acero de refuerzo, b) descubiertas las cajas se desdobra el acero para mediante un método de soldadura común se ejecute la conexión con el armado de la losa de fondo. Durante las actividades de habilitado y colocación del acero de refuerzo se coloca una banda expansiva de sellado perimetral para la colocación de estos elementos y en la junta entre cada uno de los avances de las losas.

El procedimiento de colado de la losa de piso es simple. Se arma el acero de refuerzo, se cimbran los costados para evitar la derrama de concreto y se vierte el concreto de resistencia $f_c = 250 \text{ kg/cm}^2$, la forma del cajón en este momento es la mostrada en la figura 3.1.16.

En los extremos frontales de la losa se deja el acero de refuerzo necesario para continuar la liga estructural para cada uno de los avances del tramo.

Efectuada la losa de piso se suspende el bombeo del tramo y se sellan los pozos mediante la colocación de concreto con algún aditivo estabilizador de volumen.

Cuando el concreto de la losa de piso alcanzo una resistencia del 50% (24 hr aproximadamente) se retira el tercer nivel de apuntalamiento; de esta manera se pueden iniciar las actividades para el colado del firme de compresión.

Para el firme de compresión se colocan vigas T prefabricadas que sirven de cimbra y a la vez forman parte integrante de la losa tapa al ligarlos estructuralmente en los muros prefabricados. Ejecutado el armado, se cuela el firme de compresión integrando así la losa de techo del cajón subterráneo, ver figura 3.1.17. De la misma forma que en el caso de la losa de piso, una vez que el concreto alcanzo una cierta resistencia se retiro el segundo nivel de apuntalamiento.

3.1.15. Colado de junta entre muros

En la aplicación de la tecnología del tramo en estudio con muros prefabricados, las actividades de colado de la junta estructural para ligar los muros representa una de las etapas más importantes ya que se trata de evitar las filtraciones hacia el interior del cajón.

Para impedir el paso del agua hacia el interior del cajón se ensayaron dos bandas expansivas de sellado, las cuales trabajaron en forma conjunta con el colado de concreto. El nombre de estos materiales son la Banda Water-Stop utilizada cuando la separación entre muros no rebasaba una separación de 5 cm, y el Panel Volclay utilizado para una separación mayor.

Una vez concluida losa de fondo, el procedimiento para el colado de la junta entre muros consistió en : a) retiro del lodo, fraguante a todo lo largo del hueco (60 x 45 cm aproximadamente) formado por los muros en forma manual, excepto donde estos quedan empatados, b) colocación el acero de refuerzo y bandas de sellado antes de concluir el armado de la junta entre muros (ver figura 3.1.18 y c) colado integral de la junta introduciendo el concreto a través de una ventana dejada en la losa de techo, ver figuras 3.1.19 y 3.1.20.

3.1.16 Colocación de rellenos y pavimentación

Después de colado el firme de compresión de la losa superior y una vez adquirida el 50 % de su resistencia, la parte superior de esta se rellena con material areno-limoso (tepetate), en capas de 20 cm de espesor compactados al 95 % de su peso volumetrico seco máximo según la norma AASHTO Estandar (T-99). En el último tercio del relleno debe verificarse que se tenga un valor relativo de soporte (VRS) del 20 % como mínimo.

La distancia entre los rellenos y el frente de avance de las losas no debe ser mayor de 18 m.

Después de colocados los rellenos se procede a formar el cuerpo del pavimento flexible (para nuestro caso) de acuerdo a los requisitos y tolerancias de materiales, y procedimiento constructivo de pavimentos correspondiente. La sección que se obtiene al concluir el procedimiento se presenta en la figura 3.1.21.

3.2. Construcción de cajón subterráneo utilizando muro milan colado en zanja.

3.2.1 Trazo

De la misma forma en que se realiza el trazo para el caso del muro milan prefabricado se ejecuta para el muro milan colado en zanja, recordando que el trazo juega uno de los papeles más importantes en el procedimiento constructivo, ya que de éste dependera el que la construcción de los muros milan y consecuentemente la estructuración del cajón quede perfectamente y conserve los galibos que el proyecto exige.

3.2.2 Construcción de brocales

El procedimiento para la construcción de brocales sigue los lineamientos descritos para el caso del muro milan prefabricado.

Para esta actividad conviene señalar que no es necesario dejar un traslape entre el muro colado y el faldón del brocal, sino que la altura del mismo estará regido por el espesor de rellenos que se encuentre en el sitio.

3.2.3. Excavación de zanja para muro milan

La actividad de excavación en zanja para muro milan se desarrolla en forma idéntica al ejecutado para muro prefabricado, solo que el procedimiento desarrollado a lo largo de la Línea 8 del metro se realizó con un equipo guiado en forma neumática.

Las excavaciones de las zanjas se realizan en forma alternada, es decir, no deben excavar tableros contiguos en forma simultánea. Asimismo, no se excava ningún tablero hasta que el concreto de los tableros contiguos hayan alcanzado la resistencia que señale el proyecto.

3.2.4. Fluido estabilizador

El uso de fluido estabilizador es manejado en forma idéntica al procedimiento mencionado para el muro milan prefabricado, con la particularidad de que en éste caso, las pruebas para verificar los límites especificados, se llevan a cabo cuando menos : a) al vaciar el fluido en la zanja y b) inmediatamente antes de introducir la parrilla de refuerzo.

Es común observar que se utilice solo lodo bentonítico como fluido estabilizador, ya que ofrece y da mayor seguridad en las paredes de excavación.

Cuando se perciba cualquier fuga de lodo durante las operaciones de excavación deben anotarse todas las características y señalarse de inmediato en la bitácora de obra. No se permite colar en un tramo donde se hayan percibido fugas y no se hayan tratado adecuadamente, hasta asegurarse de que hayan desaparecido.

No debe transcurrir más de seis horas entre el momento que se alcance la máxima profundidad de excavación y el inicio del colado.

3.2.5 Colado de muro milán

Una vez concluida la excavación y verificado la profundidad de la zanja y las propiedades del fluido estabilizador, se procede a introducir las juntas metálicas y la parrilla de refuerzo.

Las juntas son tubos metálicos huecos de forma semicircular o rectangular que tiene en una de sus caras la forma de macho o hembra y que contendrá la banda integrada. Una parte de ésta banda queda ahogada en el momento del colado y la otra parte libre en el interior del tubo para ahogarse durante el colado del muro contiguo, ver figura 3.2.1

En el interior del tubo-junta no deberá introducirse el concreto, por lo que no deberá tener sus extremos cerrados y en su parte inferior tendrá una junta metálica que se hincará y asentará firmemente en el fondo de la zanja para evitar su flotación.

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

Una vez instaladas las juntas se procede de inmediato a introducir la parrilla de armado dentro de la zanja además con lodo, ver figura 3.2.2. Las parrillas irán contraventeadas con rigidizantes y se hará descender por su propio peso por medio de grúa tomando las debidas precauciones con respecto a la verticalidad, el alineamiento y la profundidad.

Las parrillas de refuerzo deben construirse de acuerdo con los planos estructurales correspondientes.

El tiempo que transcurra entre el momento de introducción de la parrilla en la zanja y el colado de la misma será de 4 horas, periodos mayores favorecen la formación de la costra o cake y reducen la adherencia concreto acero, por esta razón el colado del muro debe iniciarse inmediatamente después de introducida la parrilla de armado, ya que no es conveniente sacar y meter nuevamente la parrilla de la zanja pues en cada operación se pueden producir caídos inestables que afectan la inestabilidad de la zanja.

Con objeto de garantizar el recubrimiento de los muros, las parrillas de armado deben habilitarse con roles de concreto de 5" de diámetro que irán fijadas al acero principal por medio de varillas de 3/4", o bien con elemento similares que cumplen su función, localizadas en ambas caras de la parrilla en tres niveles equidistantes en el sentido vertical. Cada una de las varillas lleva cuatro roles ubicados también equidistantemente en el sentido horizontal. Asimismo es necesario dejar dentro de la parrilla espacios libres para el paso de las trompas de colado.

Después de colocada, centrada y nivelada la parrilla se introduzcan las trompas de colado por tramos. Los coples de unión de cada tramo de las trompas deben ser perfectamente herméticos para impedir que la succión de la columna de concreto, al bajar, chupe aire o lodo del exterior. Cada tramo es de no más de 2 m de largo y tiene un diámetro no menor de 30 cm. Al tramo que sobresale en la superficie se le conecta un embudo o una tolva. La boca de ésta debe quedar a una altura conveniente para que pueda descargar directamente el concreto desde las ollas revoledoras. Todo el conjunto se sube o baja durante el colado por lo tanto debe contarse con el equipo necesario para efectuar estos movimientos, ver figura 3.2.3

El extremo inferior de la trompa, o boca de descarga, debe quedar apoyado en el fondo de la zanja antes de iniciar el colado. Una vez introducidas las trompas de colado se coloca entre la tolva y el embudo un tapón constituido por un balón de látex, el cual desciende obligado por el peso del concreto vaciado evitando la segregación y contaminación del concreto. De esta forma se evita la descarga del concreto con mucha energía que pueda dar lugar a la mezcla del concreto con el lodo. Para iniciar el flujo de concreto la boca de la trompa de descarga debe levantarse una distancia de 30 cm a partir del fondo de la zanja.

El concreto debe ser suficientemente fluible, para que sin necesidad de vibrarlo penetre y se distribuya uniformemente por todo el tablero. La boca de descarga de la trompa de colado no debe quedar nunca ahogada menos de 1.50 m en el concreto que se este colando. Para ayudar al concreto a fluir al principio, puede desplazarse la trompa verticalmente hacia arriba y hacia abajo vigilando que permanezca siempre suficientemente ahogada en el concreto para que no exista contaminación del lodo con el concreto.

A medida que el concreto fluya se agrega más concreto a la tolva, manteniendo la columna a una altura conveniente para regular la rapidez del flujo, en esta forma, el lodo de la zanja es desplazado hacia la superficie por diferencia de densidades, sin necesidad de mover la tubería. El impulso que lleve la primera mezcla al salir por la boca de descarga produce un efecto de arranque en el fondo del tablero y lo deja limpio de lodo.

3.2.6 Abatimiento del nivel freático

Debido a que el nivel de desplante del cajón se sitúa por abajo del nivel de aguas freáticas y se requiere realizar los trabajos de excavación del núcleo en seco es necesario ejecutar un abatimiento de dicho nivel; la instalación, y colocación de este sistema se realiza en forma semejante a lo señalado en el procedimiento con muros prefabricados.

3.2.7 Excavación de núcleo y apuntalamiento

Habiendo realizado la construcción de los muros milán y abatido el nivel de agua freáticas, se procede a realizar la excavación del núcleo, y apuntalamiento de los muros el cual se realiza de acuerdo a lo señalado para el caso del muro prefabricado.

Restrictivamente para poder iniciar un nuevo avance de excavación, es necesario que en los avances de excavación anteriores se cumpla con la siguiente secuencia de colados: en el avance inmediato anterior se haya colado la plantilla; dos avances atrás se haya colado la losa de fondo y tres avances atrás, estén construidos también los muros laterales interiores por debajo del primer nivel de apuntalamiento.

El proyecto señala de manera específica, el momento y sitio, de acuerdo al procedimiento constructivo, en que deben ser colocados los puntales o troqueles, por lo que es de vital importancia respetarlos y por ningún motivo alterar cualquiera de las dos condiciones. Es importante recordar que en la excavación y troquelamiento radica el mayor porcentaje de riesgo en la obra; es necesario revisar y seguir con detalle las especificaciones para la colación y el retiro de las piezas.

3.2.8 Losa de fondo y muros estructurales de acompañamiento (chapeo)

Posterior a la excavación de núcleo y apuntalamiento, es necesario el colado de una plantilla de concreto pobre en el fondo de la excavación, tan pronto como sea alcanzado el nivel de proyecto. La razón primordial de esta acción es la de mantener una superficie limpia y en condiciones de trabajo (en muchas ocasiones también funciona como lastre).

Una vez fraguado el concreto de la plantilla, se procede a armar el acero de refuerzo que conformara la losa de fondo de la estructura completa del cajón del metro.

El procedimiento de la losa es simple: se arma el acero de refuerzo, se cimbra o fronterean sus costados para evitar la derrama de concreto y se vierte el concreto con una resistencia de 250 kg/cm², generalmente.

En los extremos laterales de la losa de fondo se deja el acero de refuerzo necesario para continuar con el armado que conformara los muros estructurales de acompañamiento.

Los muros estructurales de acompañamiento, son elementos que conforman el marco total del cajón, en conjunto con la losa de fondo, las tabletas y losa superior.

El armado inicia 24 horas después de haber colado la losa de fondo hasta un nivel de 0.30 m por debajo del primer nivel de troqueles. Se procede al cimbrado a base de tableros estructurales y posteriormente al colado.

Una vez que los muros estructurales alcanzan una resistencia del 75 % de la de proyecto, se coloca un troquel apoyado sobre el mismo muro con una precarga de 30 ton a un nivel de 0.75 m por debajo del primer nivel de apuntalamiento instalado originalmente, se retira hasta que el puntal apoyado en el muro estructural haya sido colocado.

Logrado lo anterior se procede al armado y colado complementario de la estructura hasta el nivel de proyecto para el remate del muro y sobre el que van colocadas las tabletas para la conformación de la losa superior.

La etapa del muro estructural no resulta ser una actividad difícil siempre y cuando la cimbra, que es el elemento estelar en el proceso, se encuentre debidamente habilitada y correctamente armada para cumplir con su cometido.

3.2.9 Colocación de tabletas y firme de compresión

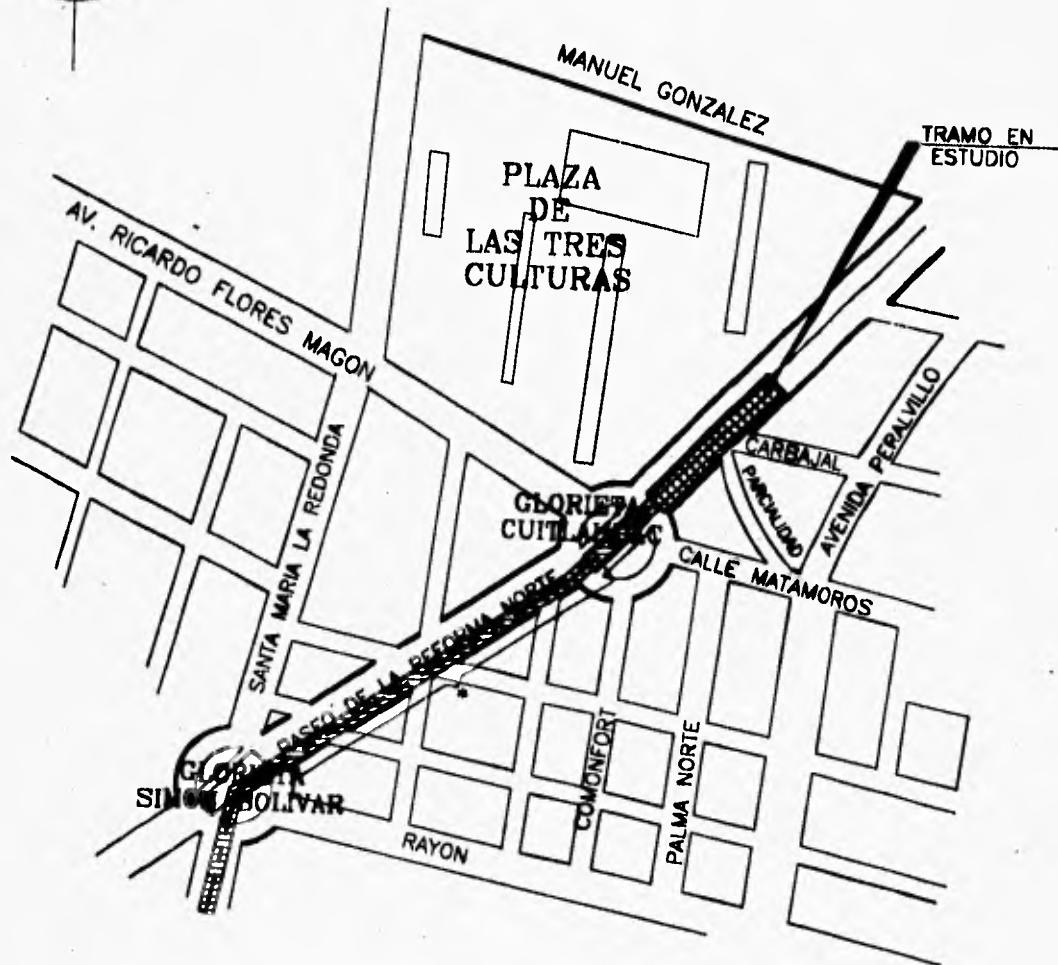
La colocación de tabletas se realiza de acuerdo con las siguientes etapas:

- 1a. Etapa. Colocar la tableta teniendo la precaución de no estropearla; en la colocación se recomienda utilizar un balancín.

- 2a. Etapa.** Apuntalar de acuerdo a lo indicado teniendo la precaución de que la tableta quede en contacto directo con las viguetas que sirven de apoyo, pero eliminando la posibilidad de que ejerza presión entre ambos elementos. El apoyo mínimo de las tabletas en cada uno de sus extremos con el muro milán o de acompañamiento es de 20 cm.
- 3a. Etapa.** Una vez colocada la tableta se procede a habilitar y armar lo que constituirá el firme de compresión.
- 4a. Etapa.** Retirar puntales una vez que el firme de compresión alcance el 100 % de su resistencia de diseño. (Pueden utilizarse concretos de fraguado rápido o aditivos acelerantes de fraguado que permitan el retiro de los puntales)
- 5a. Etapa.** Cuando el concreto del firme de compresión alcance su resistencia se procede a colocar los rellenos.

3.2.10. Colocación de rellenos

La colocación de los rellenos se realiza en la forma descrita para el caso del muro milán prefabricado.



CROQUIS DE LOCALIZACION

- TRAMO CON PROCEDIMIENTO TRADICIONAL SIN ESCALA

FIG. 3.1.1

TITULO:

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE CAJON SUBTERRANEO DE METRO UTILIZANDO MURO ESTRUCTURAL PREFABRICADO.

FECHA:

JUNIO-1995

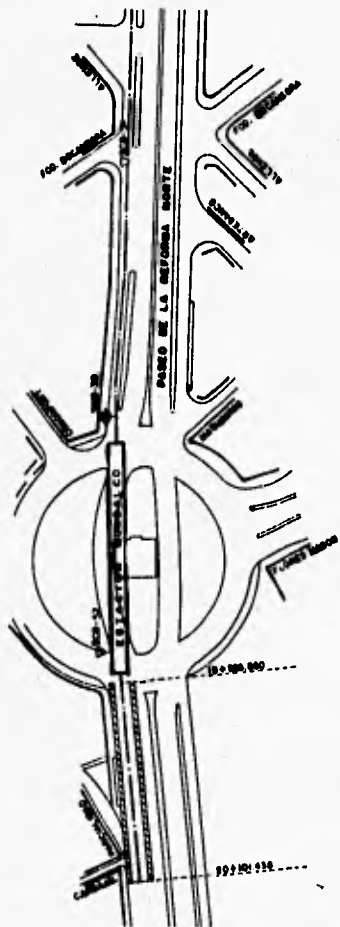
PRESENTO:

CARLOS GONZALEZ ROMERO

DIRECTOR DE TESIS:

ING. FEDERICO ALCARAZ LOZANO



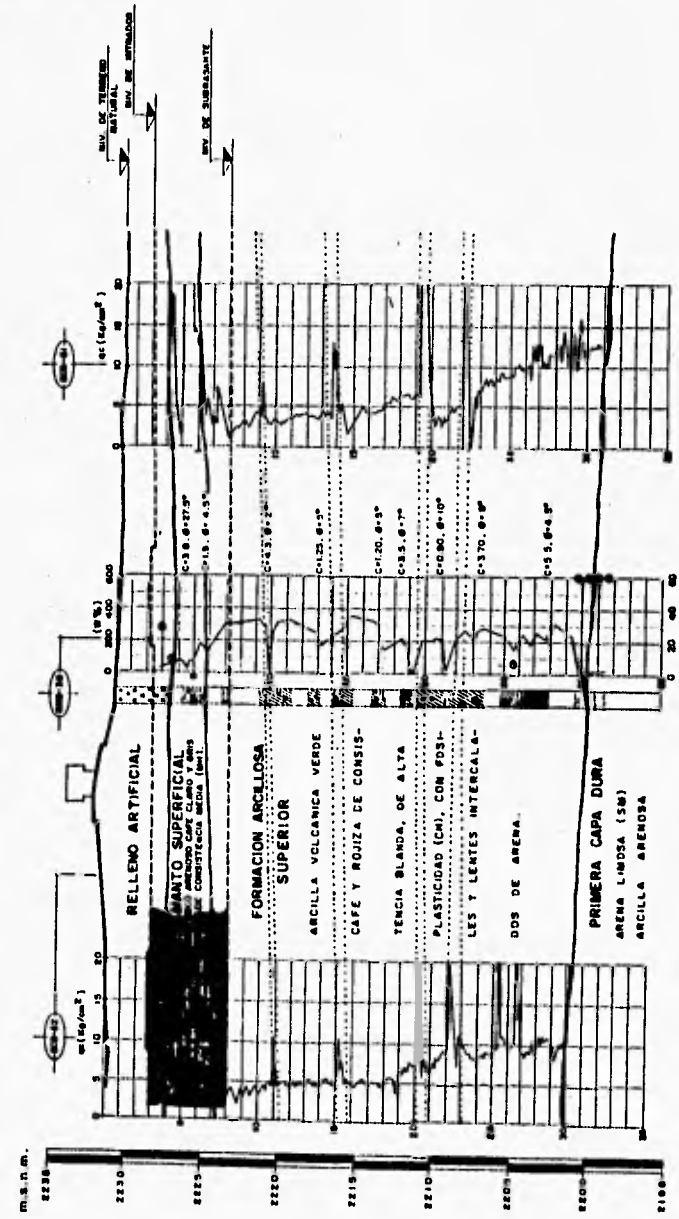


S I M B O L O G I A

- RELLENO ARTIFICIAL
- ARCILLA
- L I M O
- A R E N A
- SONDEO MIXTO SELECTIVO
- SONDEO DE CONO ELECTRICO
- TRAMO CONSTRUCTIVO CON MURO ESTRUCTURAL PREFABRICADO

N O M E N C L A T U R A

- W% ——— CONTEGIDO DE HUMEDAD (%).
- C ——— CONESION EN PRUEBA TRIAXIAL (%).
- F ——— ANGULO DE FRICCION INTERNA (°).
- Ø ——— NUMERO DE GOLPES EN SPT.
- σ_c ——— RESISTENCIA EN LA PUNTA DEL CONO (kg/cm²).
- N.A.F. ——— NIVEL DE AGUAS FREATICAS (-3.20m).



P E R F I L E S T R A T I G R A F I C O

SIN ESCALA

FIGURA 3.1.2

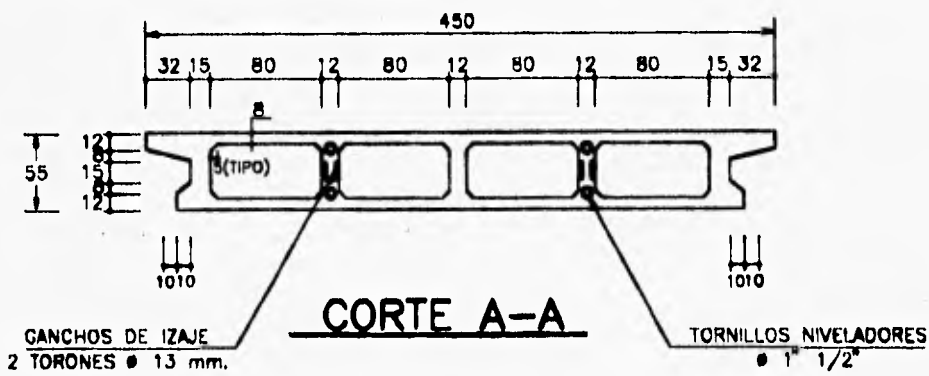
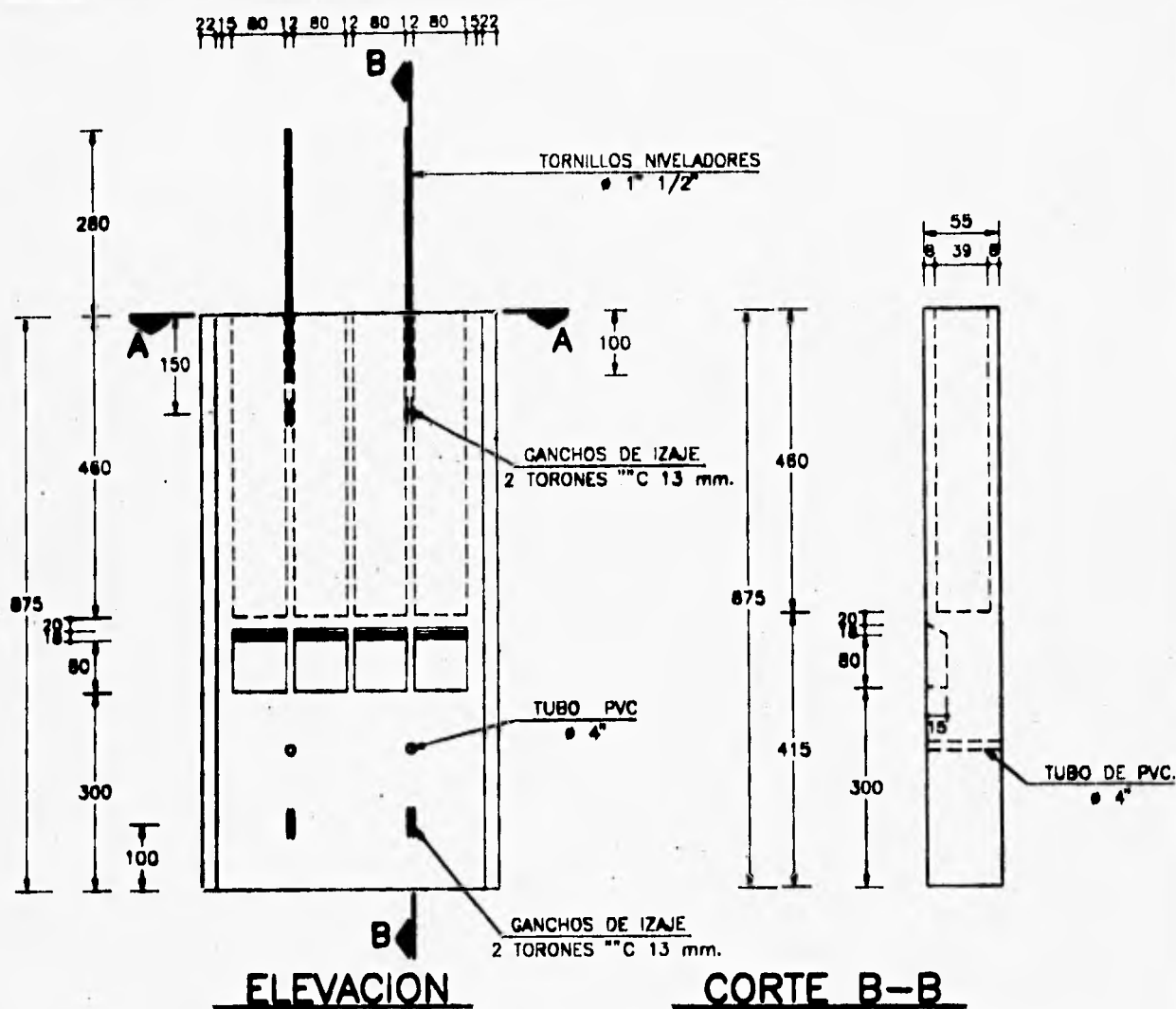


FECHA: JUNIO-1995

TITULO: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE CAJON SUBTERRANEO DE METRO UTILIZANDO MURO ESTRUCTURAL PREFABRICADO.

DIRECTOR DE TESIS: ING. FEDERICO ALCARAZ LOZANO

PRESENTO: CARLOS GONZALEZ ROMERO



SIN ESCALA
ACOTACIONES EN CM.

MURO PREFABRICADO
(GEOMETRIA)

FIG. 3.1.3

TITULO:

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE CAJON SUBTERRANEO DE METRO UTILIZANDO MURO ESTRUCTURAL PREFABRICADO.

FECHA:

JUNIO-1995

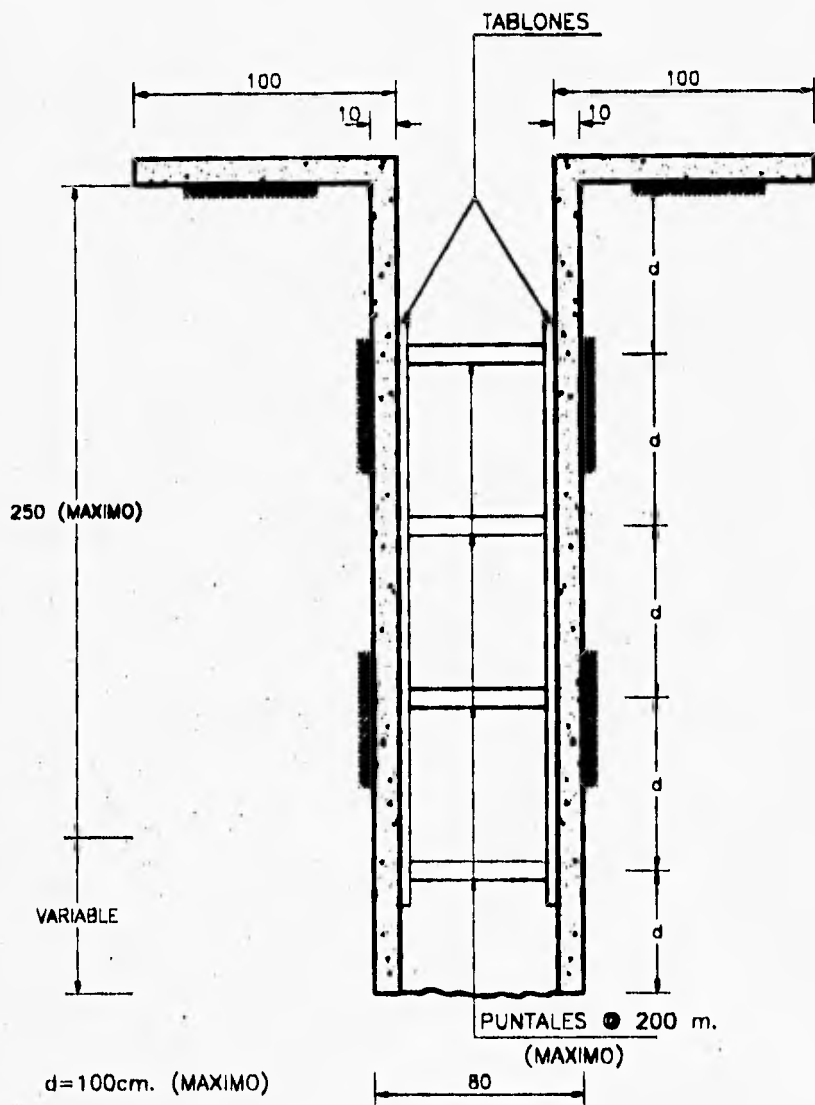
PRESENTO:

CARLOS GONZALEZ ROMERO

DIRECTOR DE TESIS:

ING. FEDERICO ALCARAZ LOZANO





**EXCAVACION DE ZANJA
Y CONSTRUCCION DE BROCALES**

SIN ESCALA
COTAS EN CM.

FIG. 3.1.4

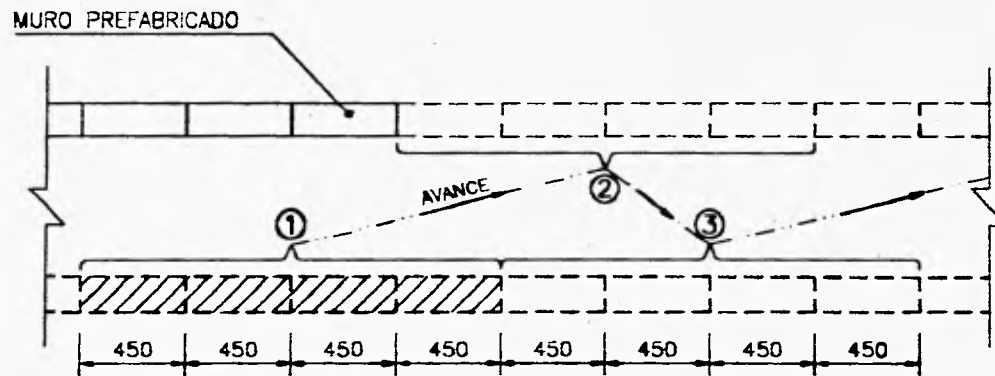
TITULO:
PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE CAJON SUBTERRANEO DE METRO UTILIZANDO MURO ESTRUCTURAL PREFABRICADO.

FECHA:
JUNIO-1995

PRESENTO:
CARLOS GONZALEZ ROMERO

DIRECTOR DE TESIS:
ING. FEDERICO ALCARAZ LOZANO



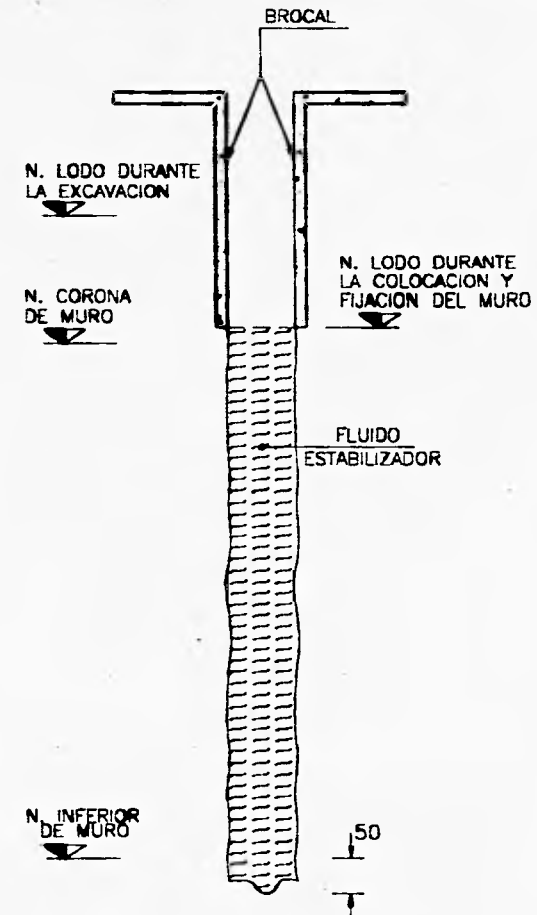


PLANTA

MURO PREFABRICADO CON AVANCE MODULAR

FIG. 3.1.5

SIN ESCALA
COTAS EN CM.



EXCAVACION DE TRINCHERA

FIG. 3.1.7

TITULO:

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE CAJON SUBTERRANEO DE METRO UTILIZANDO MURO ESTRUCTURAL PREFABRICADO.

FECHA:

JUNIO-1995

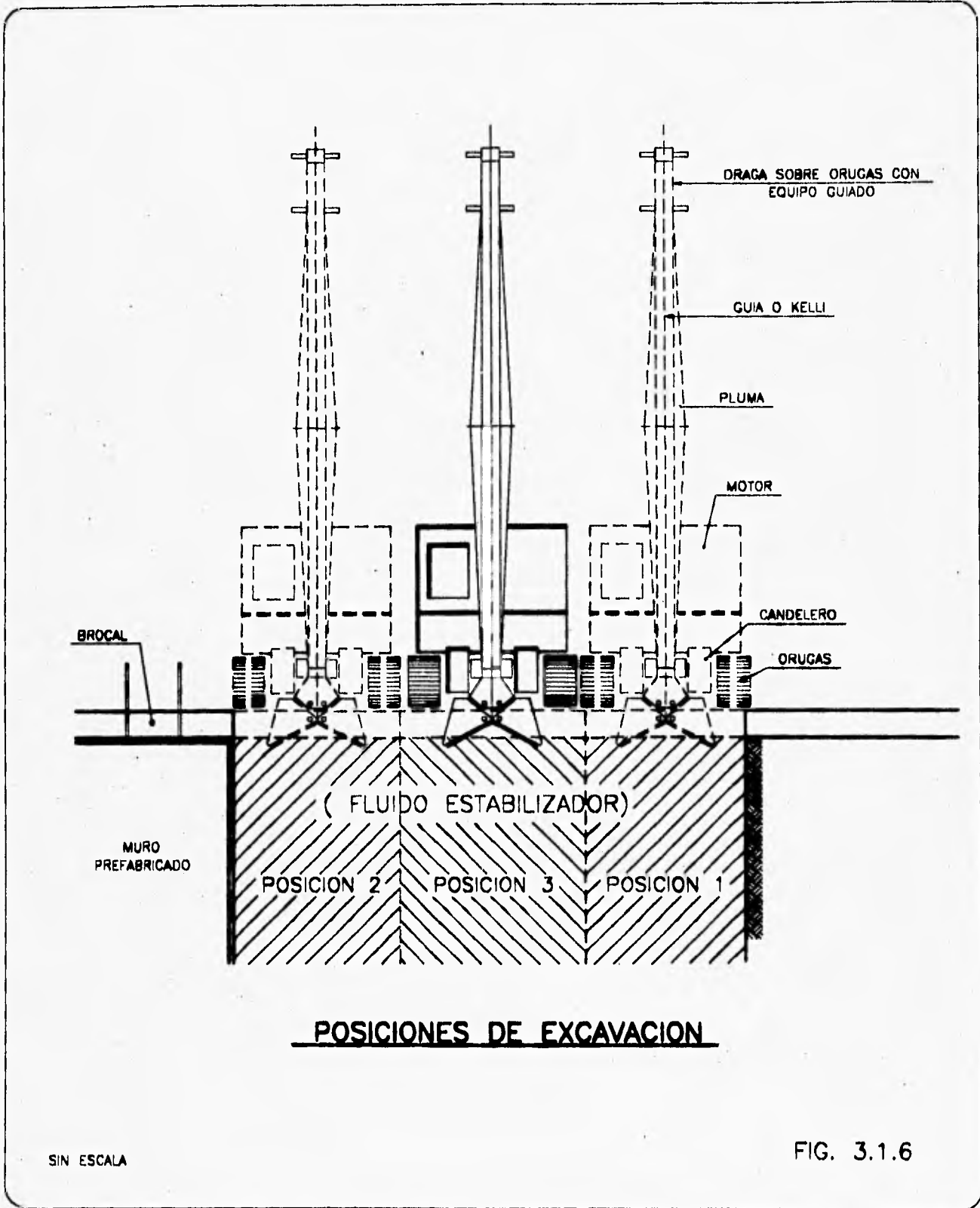
PRESENTO:


CARLOS GONZALEZ ROMERO

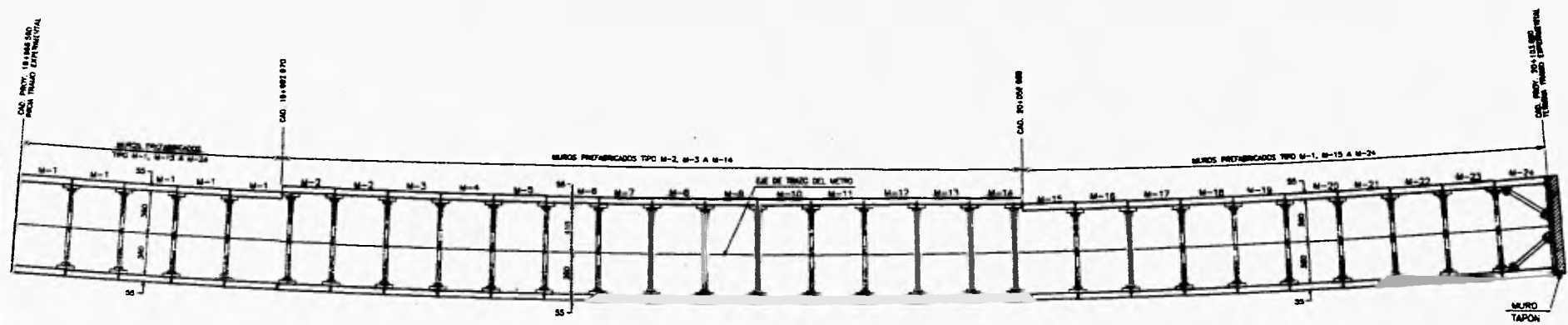
DIRECTOR DE TESIS:

ING. FEDERICO ALCARAZ LOZANO





TITULO: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE CAJON SUBTERRANEO DE METRO UTILIZANDO MURO ESTRUCTURAL PREFABRICADO.	FECHA: JUNIO-1995	FACULTAD DE  INGENIERIA UNAM
PRESENTO: CARLOS GONZALEZ ROMERO	DIRECTOR DE TESIS: ING. FEDERICO ALCARAZ LOZANO	



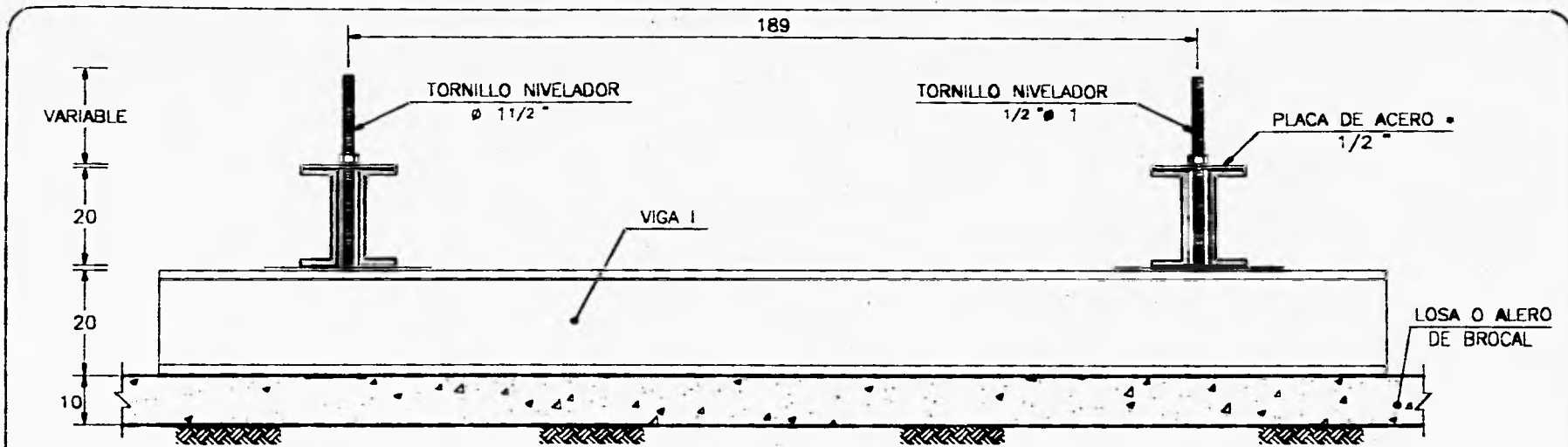
PLANTA DE MODULACION
MUROS PREFABRICADOS

SIN ESCALA
 ACOTACIONES EN CM.

FIGURA 3.1.8

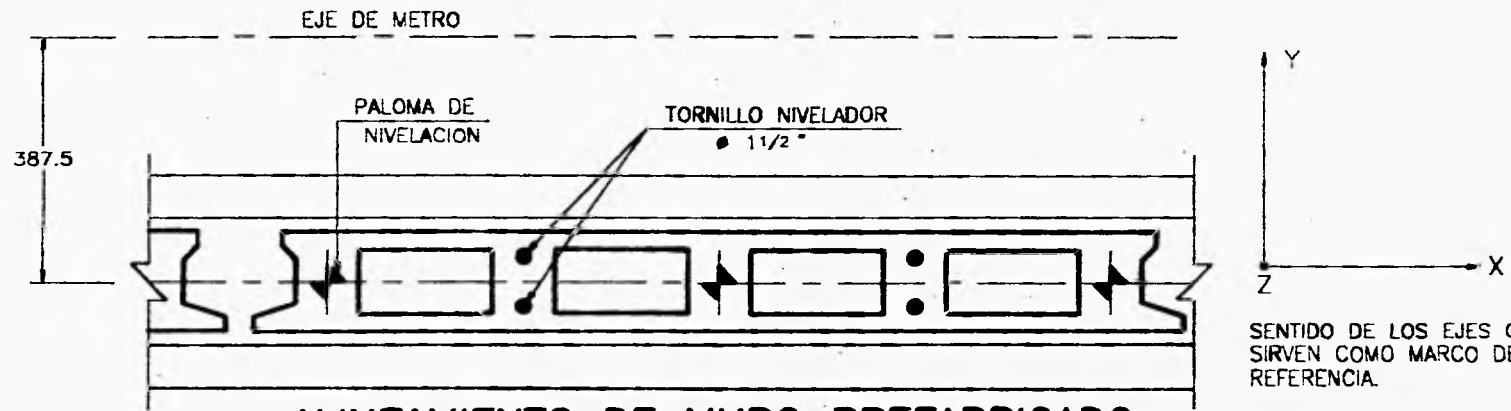
TITULO: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE CAJON SUBTERRANEO DE METRO UTILIZANDO MURO ESTRUCTURAL PREFABRICADO.	FECHA: JUNIO-1995
PRESENTO: CARLOS GONZALEZ ROMERO	DIRECTOR DE TESIS: ING. FEDERICO ALCARAZ LOZANO





LA PLACA DE ACERO SIRVE PARA UNIR LOS 2 PERFILES CANAL QUE FORMAN EL SISTEMA DE SUJECION.

CORTE B - B



SENTIDO DE LOS EJES QUE SIRVEN COMO MARCO DE REFERENCIA.

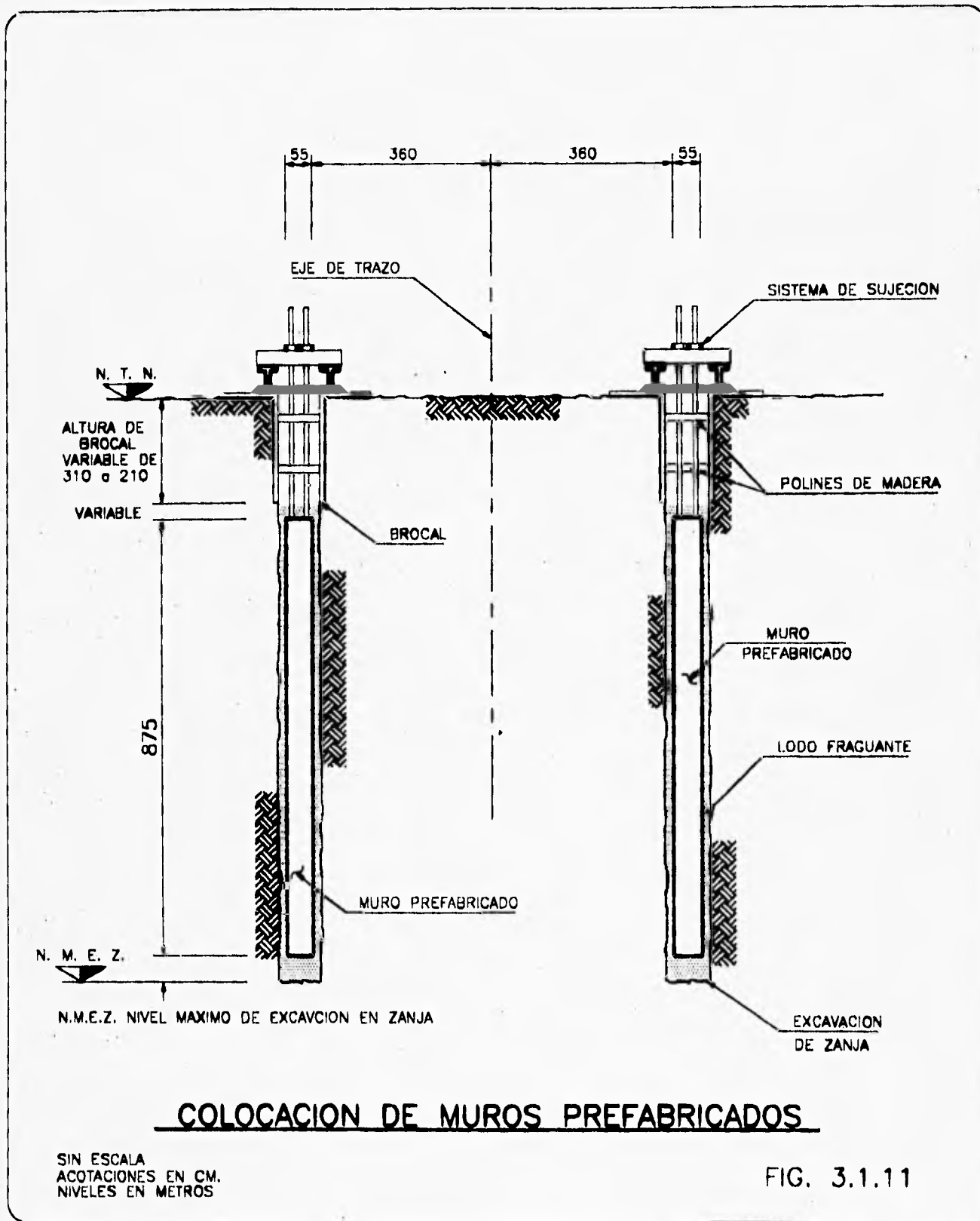
**ALINEAMIENTO DE MURO PREFABRICADO
DETALLES DEL SISTEMA DE SUJECION**

SIN ESCALA
ACOTACIONES EN CENTIMETROS

FIG. 3.1.10

TITULO: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE CAJON SUBTERRANEO DE METRO UTILIZANDO MURO ESTRUCTURAL PREFABRICADO.		FECHA: JUNIO-1995
PRESENTO: CARLOS GONZALEZ ROMERO	DIRECTOR DE TESIS: ING. FEDERICO ALCARAZ LOZANO	





TITULO: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE CAJON SUBTERRANEO DE METRO UTILIZANDO MURO ESTRUCTURAL PREFABRICADO.	FECHA: JUNIO-1995
PRESENTO: CARLOS GONZALEZ ROMERO	DIRECTOR DE TESIS: ING. FEDERICO ALCARAZ LOZANO



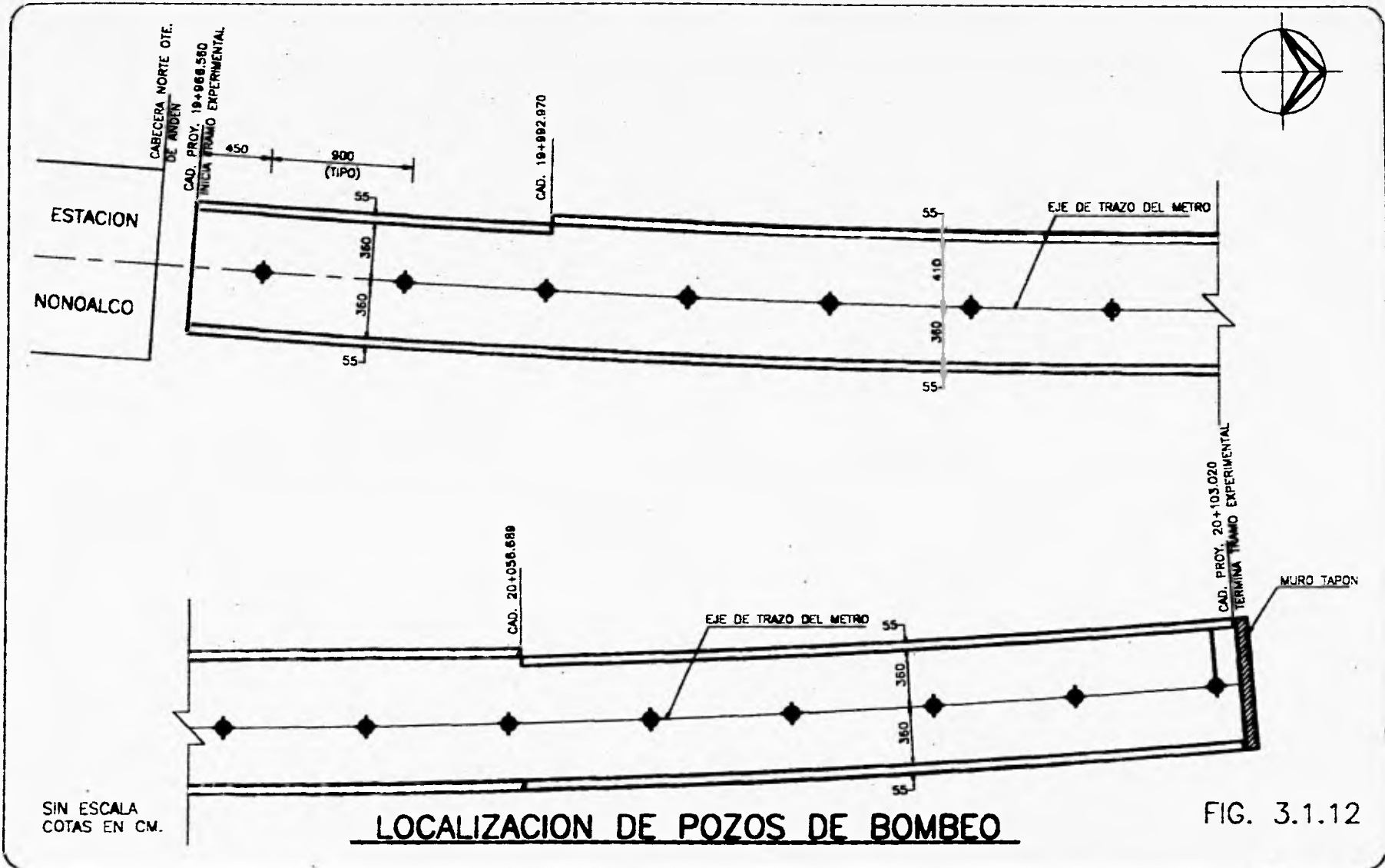
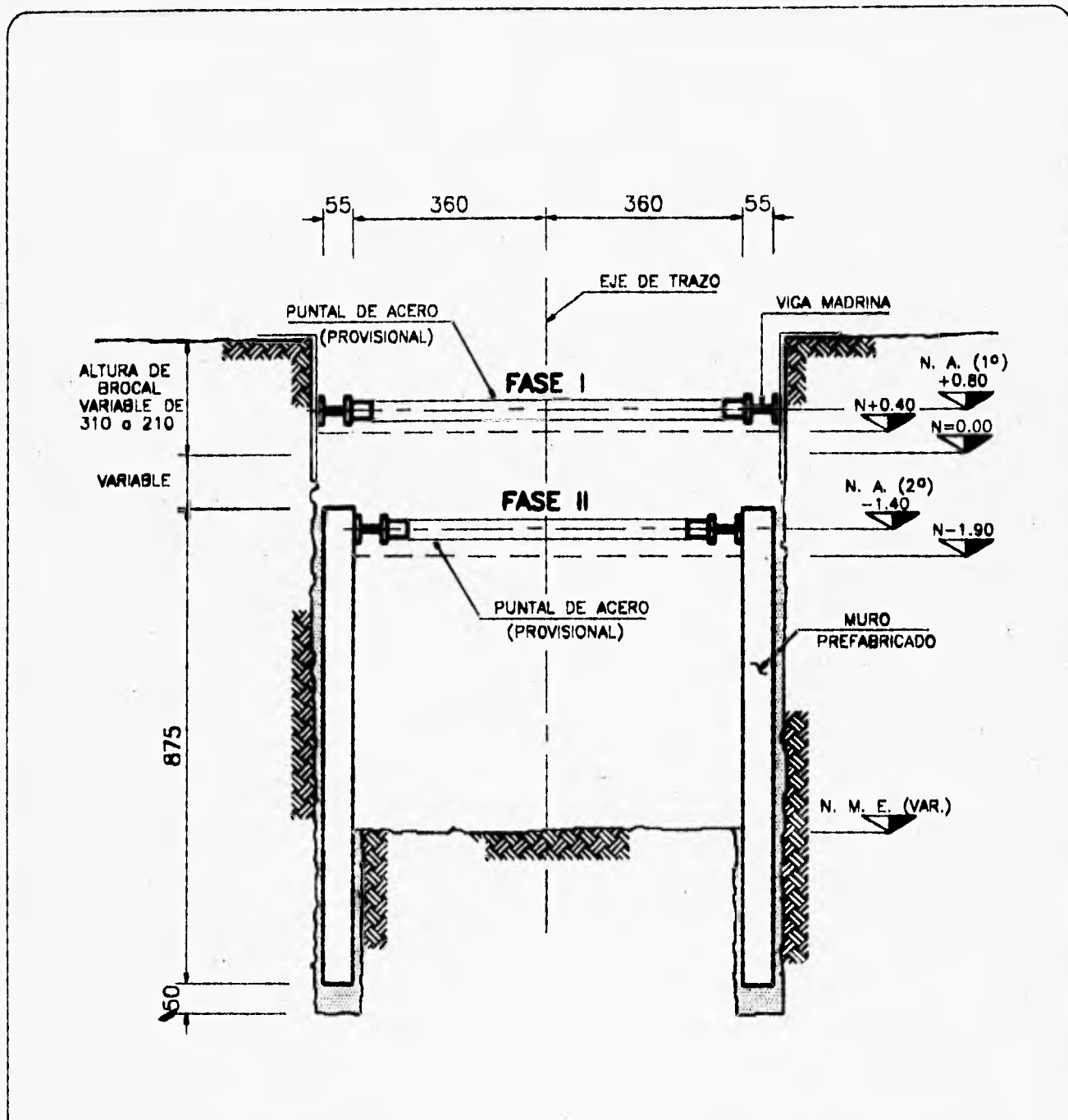


FIG. 3.1.12

TITULO: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE CAJON SUBTERRANEO DE METRO UTILIZANDO MURO ESTRUCTURAL PREFABRICADO.	FECHA: JUNIO-1995
PRESENTO: CARLOS GONZALEZ ROMERO	DIRECTOR DE TESIS: ING. FEDERICO ALCARAZ LOZANO




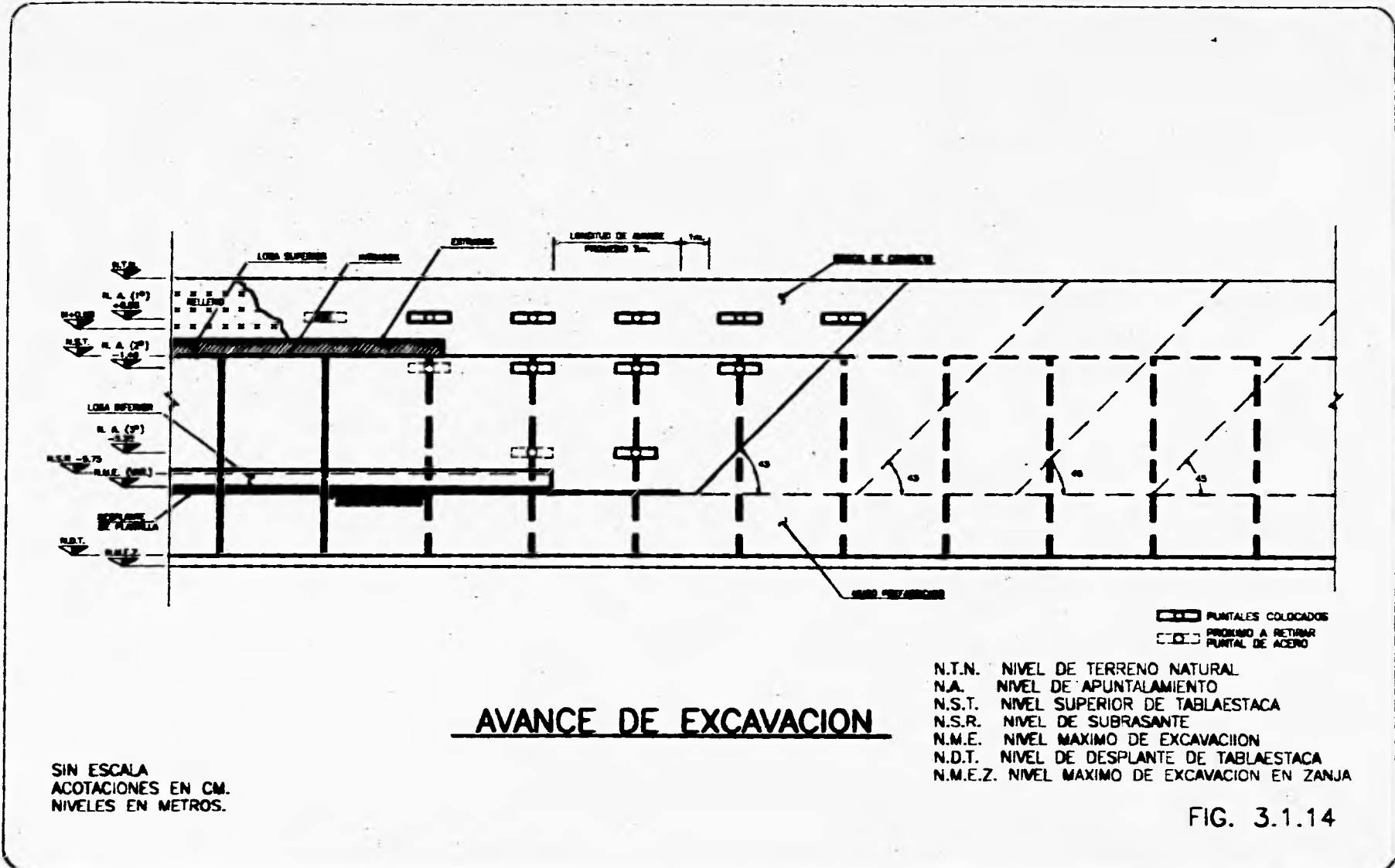


EXCAVACION DE NUCLEO CON APUNTALAMIENTO

SIN ESCALA
ACOTACIONES EN CM.
NIVELES EN METROS

FIG. 3.1.13

TITULO: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE CAJON SUBTERRANEO DE METRO UTILIZANDO MURO ESTRUCTURAL PREFABRICADO.	FECHA: JUNIO-1995	
PRESENTO: CARLOS GONZALEZ ROMERO	DIRECTOR DE TESIS: ING. FEDERICO ALCARAZ LOZANO	

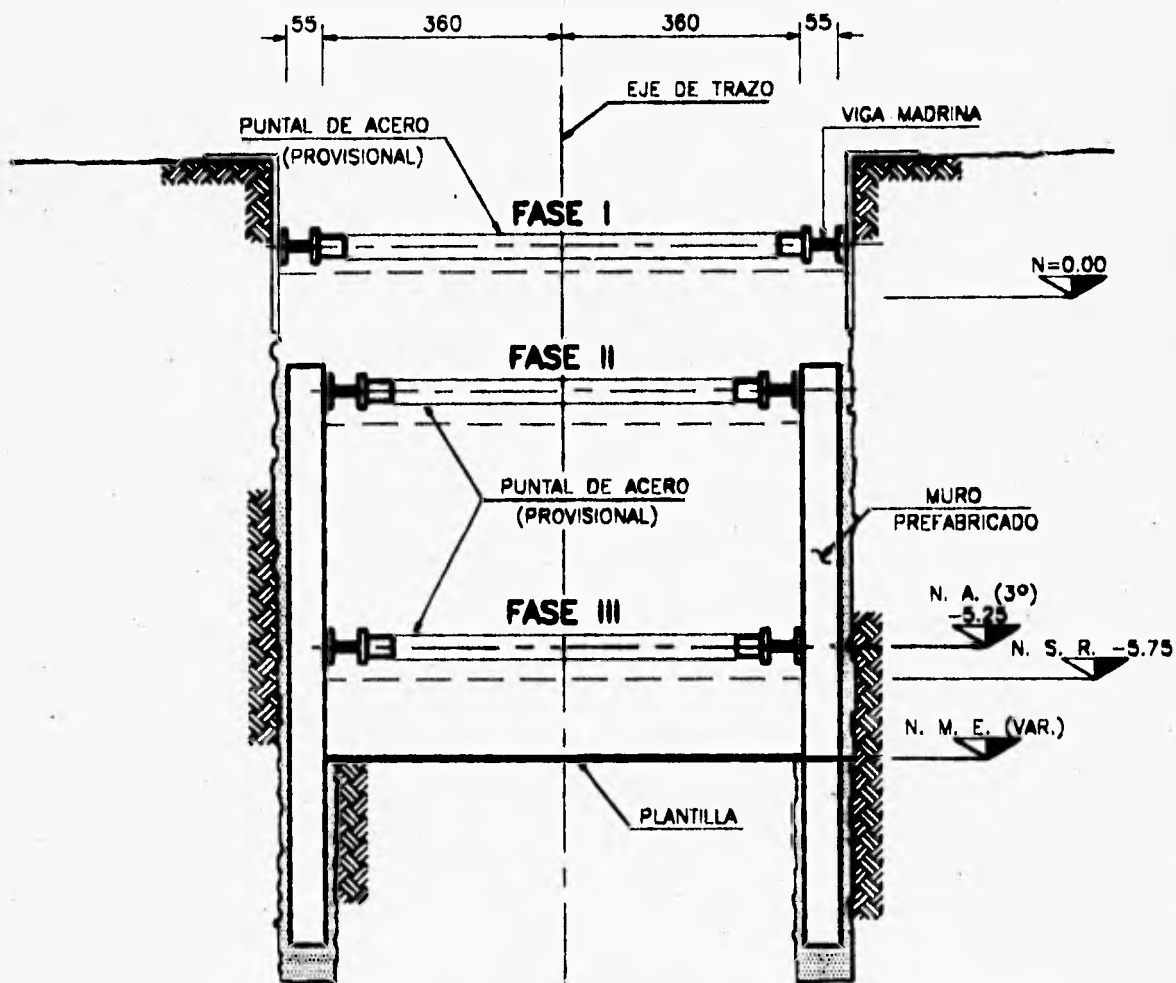


AVANCE DE EXCAVACION

SIN ESCALA
ACOTACIONES EN CM.
NIVELES EN METROS.

FIG. 3.1.14

TITULO: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE CAJON SUBTERRANEO DE METRO UTILIZANDO MURO ESTRUCTURAL PREFABRICADO.		FECHA: JUNIO-1995	
PRESENTO: CARLOS GONZALEZ ROMERO	DIRECTOR DE TESIS: ING. FEDERICO ALCARAZ LOZANO		



COLADO DE PLANTILLA

SIN ESCALA
ACOTACIONES EN CM.
NIVELES EN METROS.

FIG. 3.1.15

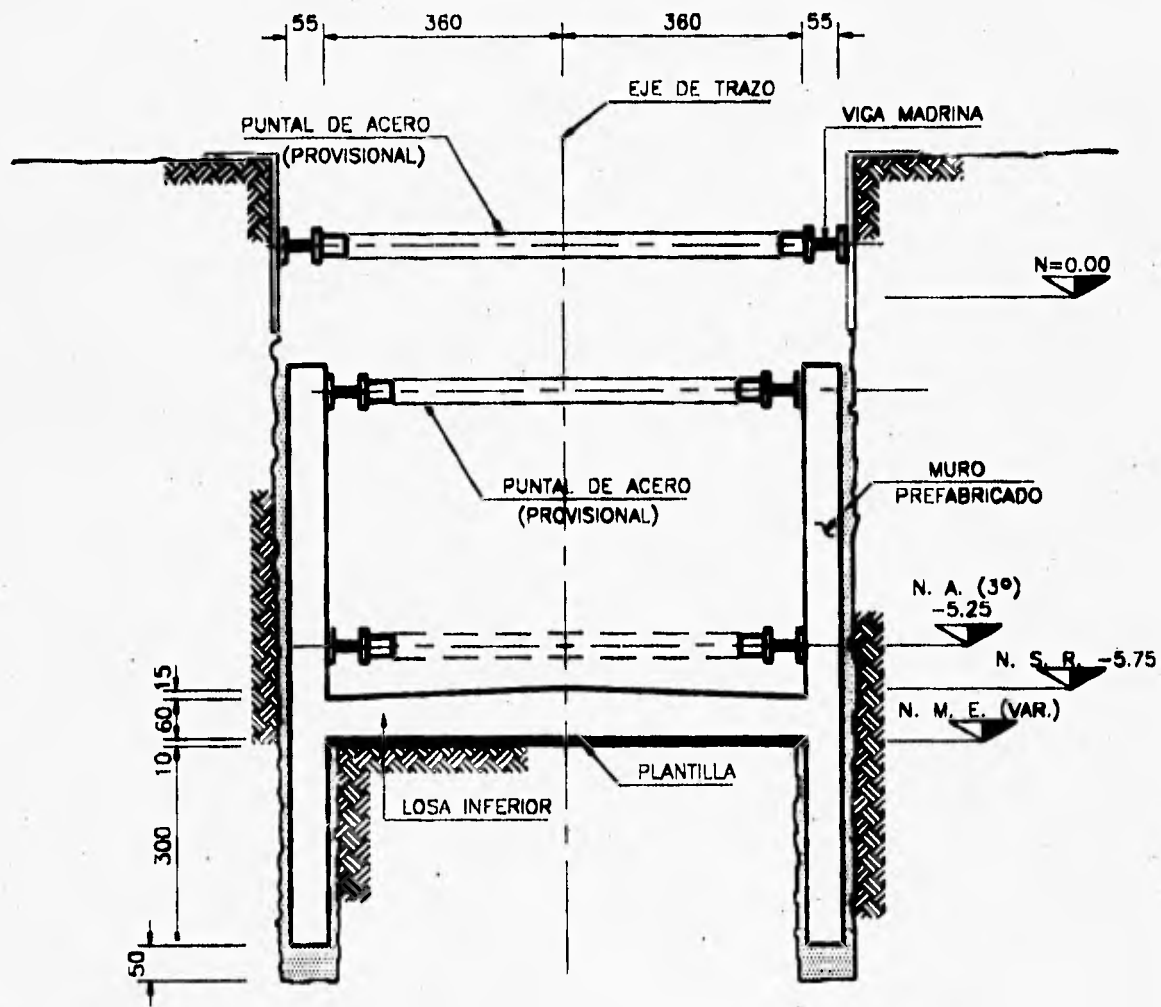
TITULO: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE CAJON SUBTERRANEO DE METRO UTILIZANDO MURO ESTRUCTURAL PREFABRICADO.

FECHA: JUNIO-1995

PRESENTO: CARLOS GONZALEZ ROMERO

DIRECTOR DE TESIS: ING. FEDERICO ALCARAZ LOZANO





ARMADO Y COLADO DE LOSA INFERIOR

SIN ESCALA
ACOTACIONES EN CM.
NIVELES EN METROS

FIG. 3.1.16

TITULO:

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE CAJON SUBTERRANEO DE METRO UTILIZANDO MURO ESTRUCTURAL PREFABRICADO.

FECHA:

JUNIO-1995

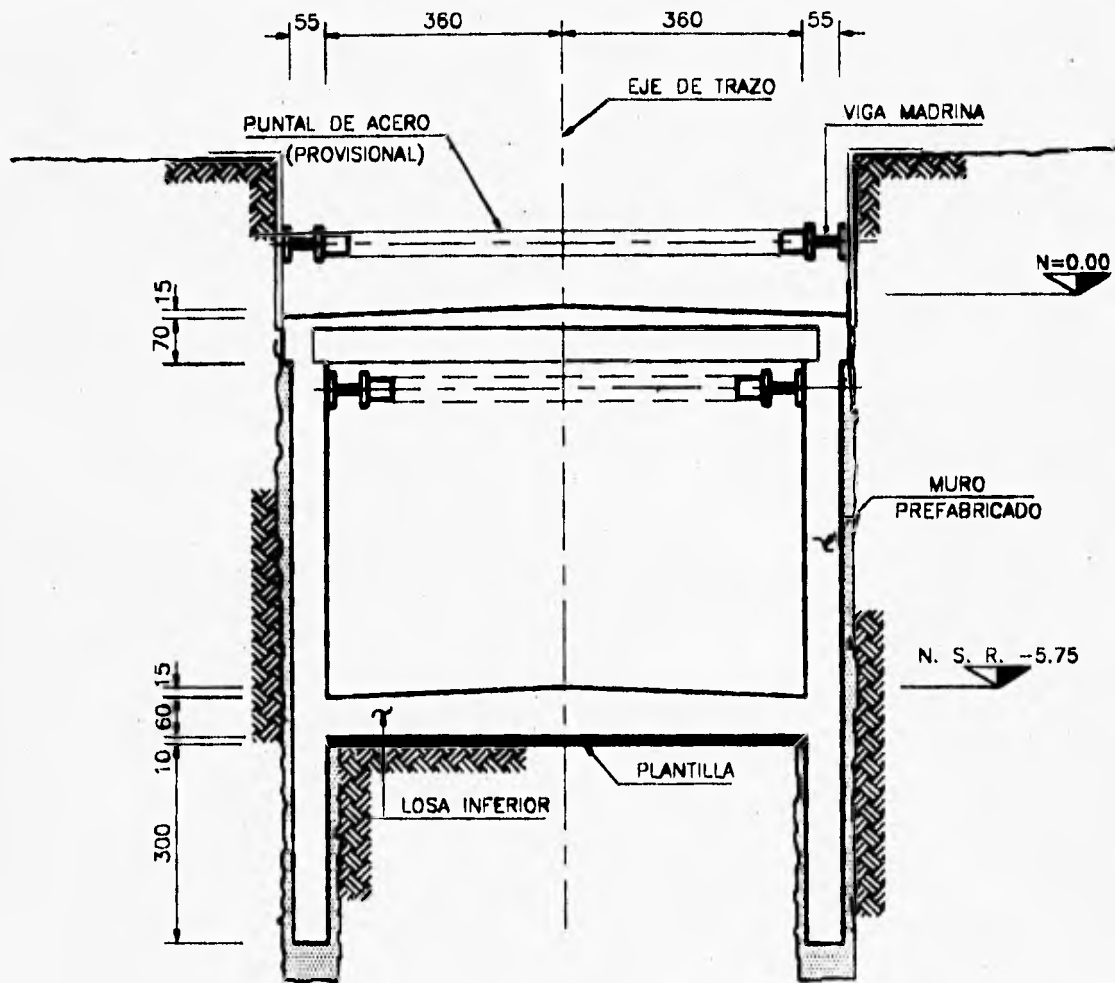
PRESENTO:

CARLOS GONZALEZ ROMERO

DIRECTOR DE TESIS:

ING. FEDERICO ALCARAZ LOZANO





ARMADO Y COLADO DE LOSA DE TECHO

SIN ESCALA
ACOTACIONES EN CM.
NIVELES EN METROS

FIG. 3.1.17

TITULO:

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE CAJON SUBTERRANEO DE METRO UTILIZANDO MURO ESTRUCTURAL PREFABRICADO.

FECHA:

JUNIO-1995

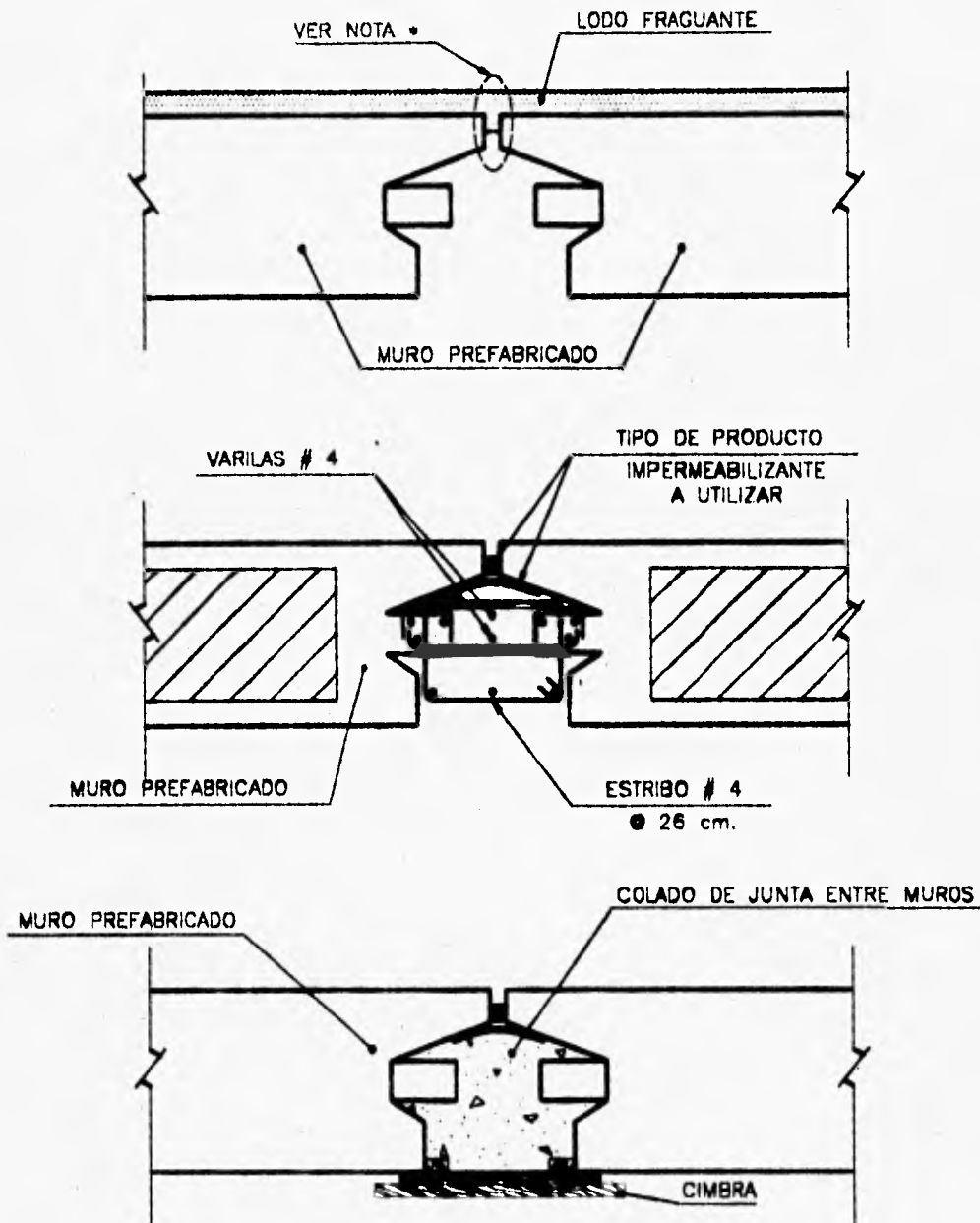
PRESENTO:

CARLOS GONZALEZ ROMERO

DIRECTOR DE TESIS:

ING. FEDERICO ALCARAZ LOZANO





**DETALLE DE JUNTA ESTRUCTURAL
ENTRE MUROS PREFABRICADOS**

NOTAS:

- DURANTE EL PROCEDIMIENTO DE COLADO DE JUNTAS ENTRE MUROS, LA CAPA DE LODO FRAGUANTE EN LA ZONA INDICADA, FUE RETIRADA POR LOS PEONES Y EL EMPUJE DEL AGUA. SIN ESCALA.

FIG. 3.1.18

TITULO:

PROCEIMIENTO CONSTRUCTIVO DE CAJON SUBTERRANEO DE METRO UTILIZANDO MURO ESTRUCTURAL PREFABRICADO.

FECHA:

JUNIO-1995

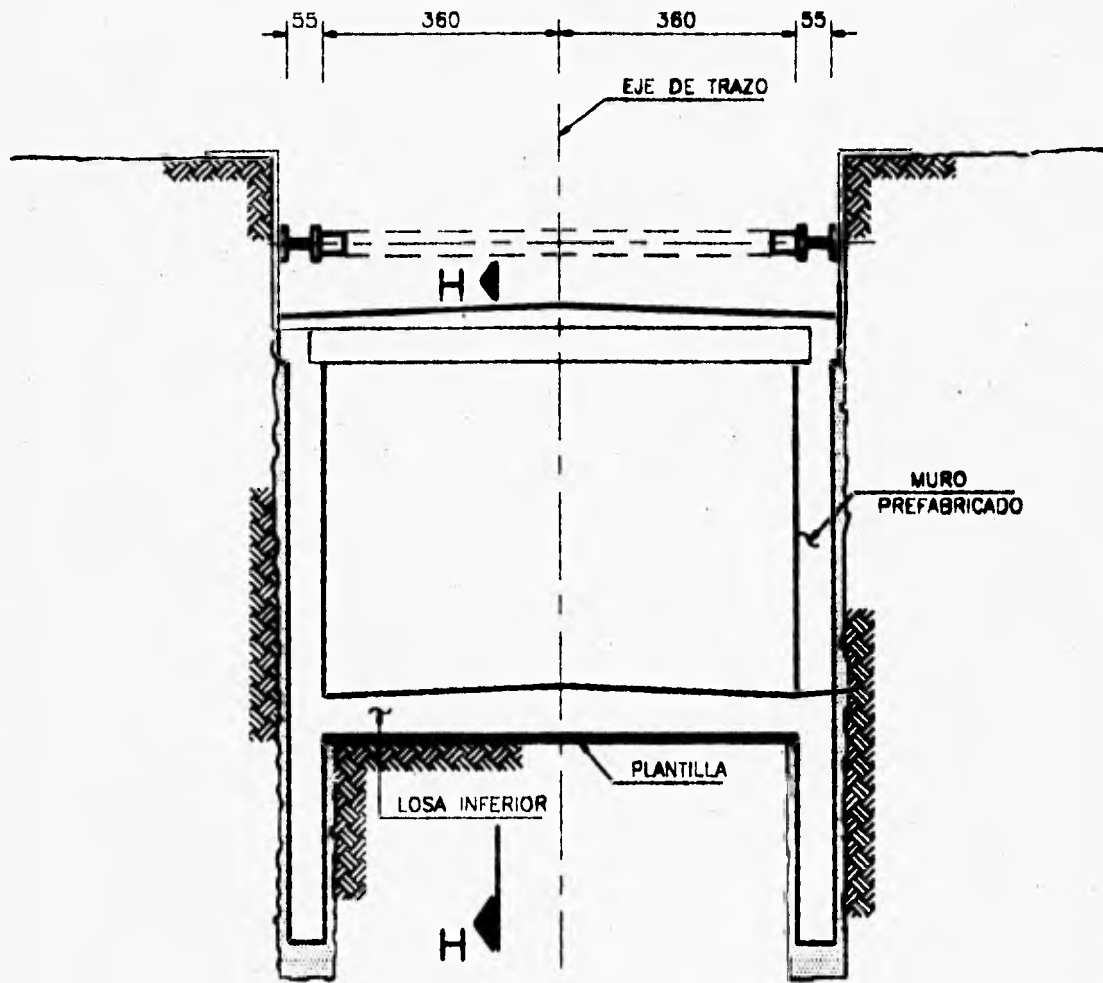
PRESENTO:

CARLOS GONZALEZ ROMERO

DIRECTOR DE TESIS:

ING. FEDERICO ALCARAZ LOZANO





**RETIRO DE PUNTAL Y COLADO
DE JUNTA ENTRE MUROS**

SIN ESCALA
ACOTACIONES EN CM.
NIVELES EN METROS.

FIG. 3.1.19

TITULO:

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE CAJON SUBTERRANEO DE METRO UTILIZANDO MURO ESTRUCTURAL PREFABRICADO.

FECHA:

JUNIO-1995

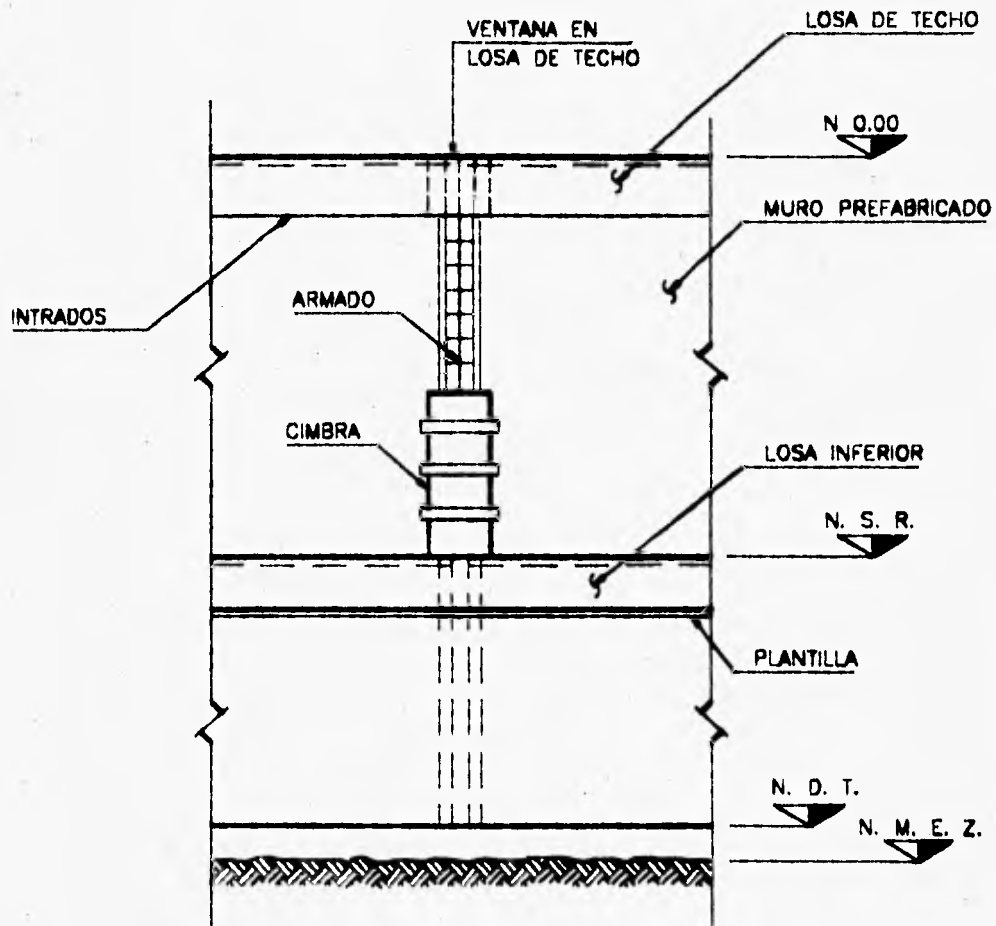
PRESENTO:

CARLOS GONZALEZ ROMERO

DIRECTOR DE TESIS:

ING. FEDERICO ALCARAZ LOZANO





**ARMADO Y COLADO DE JUNTA
ENTRE MUROS PREFABRICADOS**

SIN ESCALA

FIG. 3.1.20

TITULO:

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE CAJON SUBTERRANEO DE METRO UTILIZANDO MURO ESTRUCTURAL PREFABRICADO.

FECHA:

JUNIO-1995

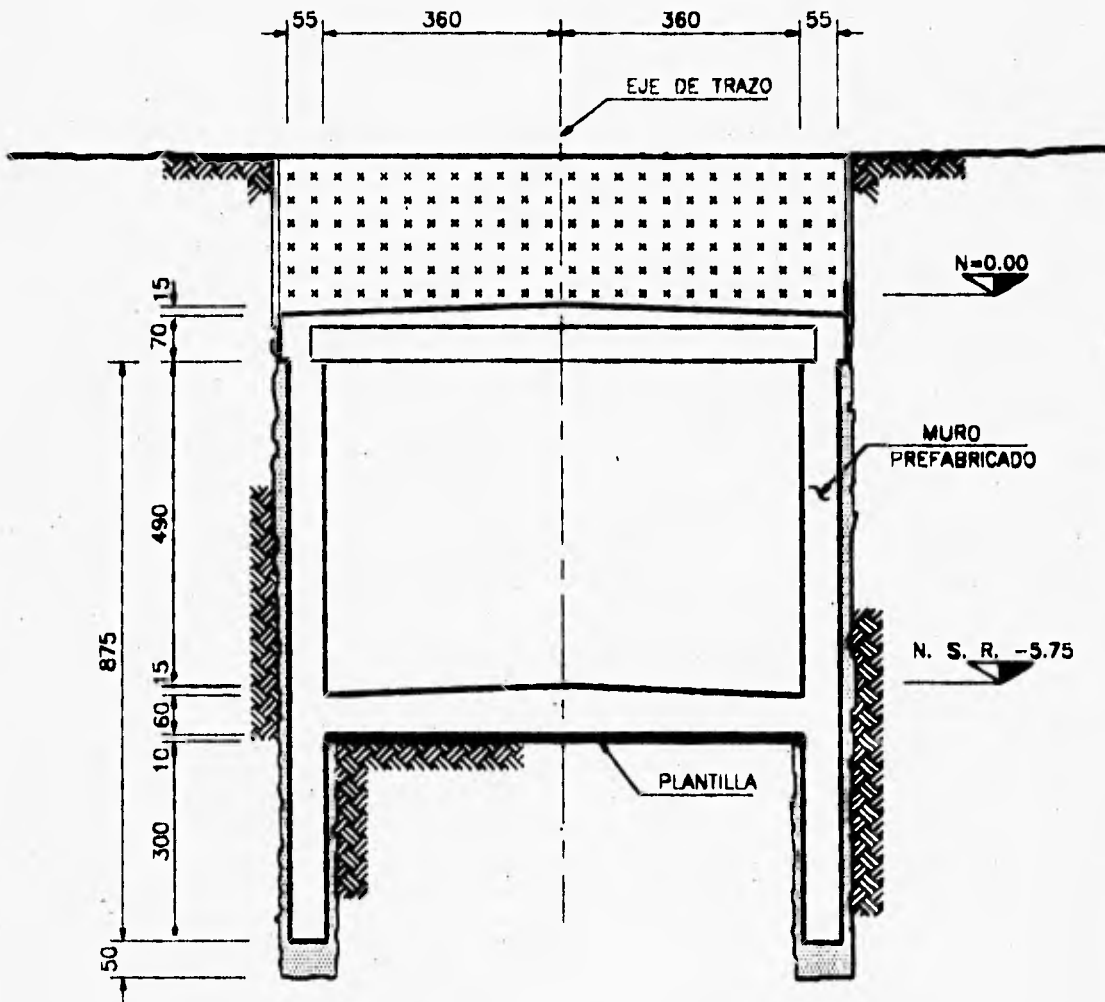
PRESENTO:

CARLOS GONZALEZ ROMERO

DIRECTOR DE TESIS:

ING. FEDERICO ALCARAZ LOZANO




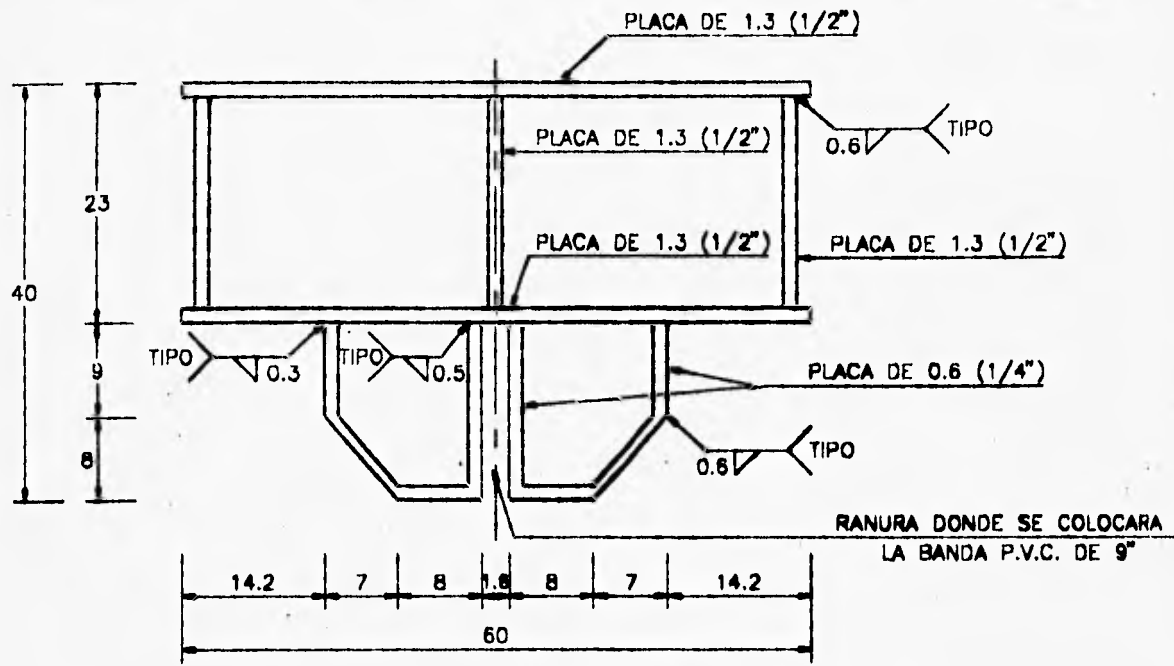


RELLENO Y PAVIMENTACION

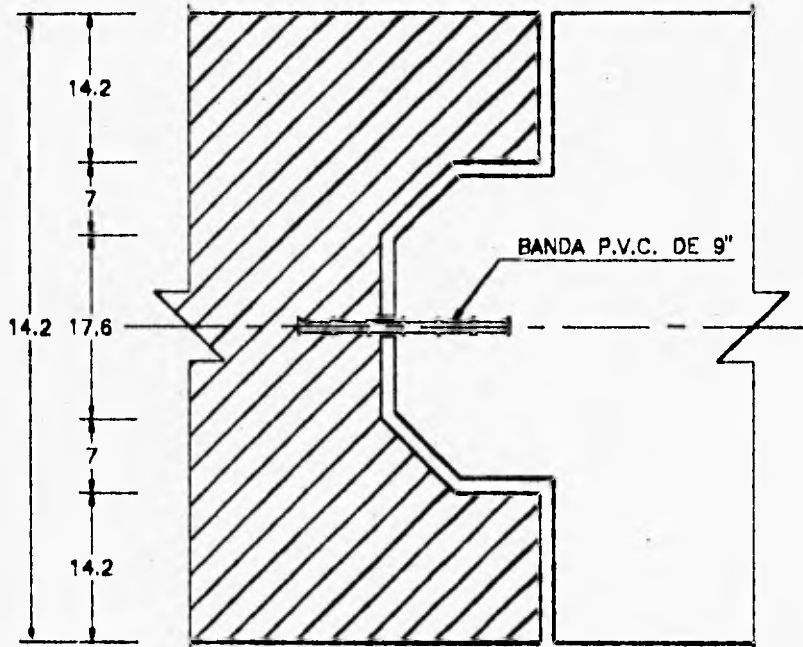
SIN ESCALA
ACOTACIONES EN CM.
NIVELES EN METROS.

FIG. 3.1.21

TITULO: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE CAJON SUBTERRANEO DE METRO UTILIZANDO MURO ESTRUCTURAL PREFABRICADO.		FECHA: JUNIO-1995	
PRESENTO: CARLOS GONZALEZ ROMERO	DIRECTOR DE TESIS: ING. FEDERICO ALCARAZ LOZANO		




JUNTA METALICA

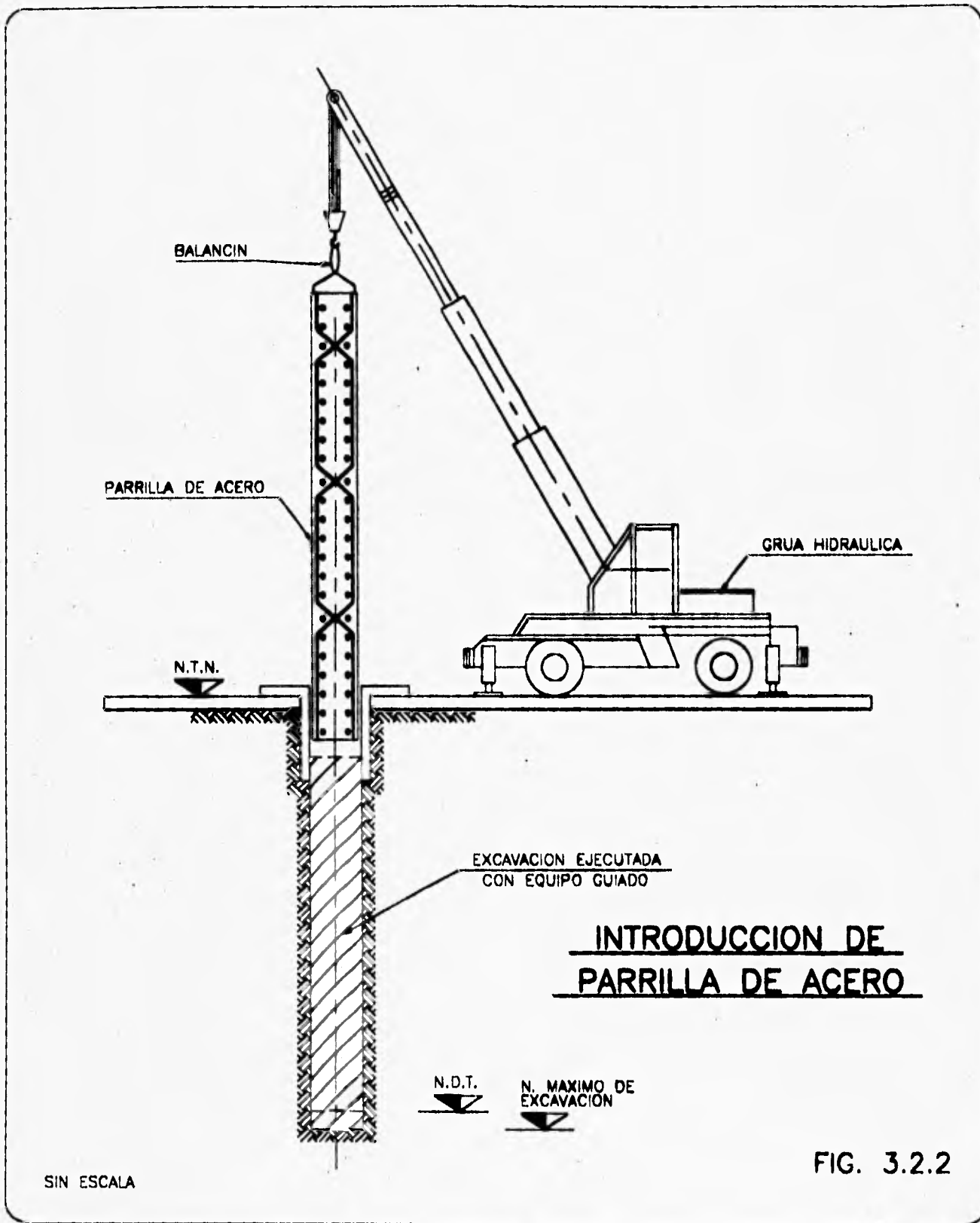


**JUNTA DE CONSTRUCCION
ENTRE TABLEROS
(P L A N T A)**

SIN ESCALA
COTAS EN CM.

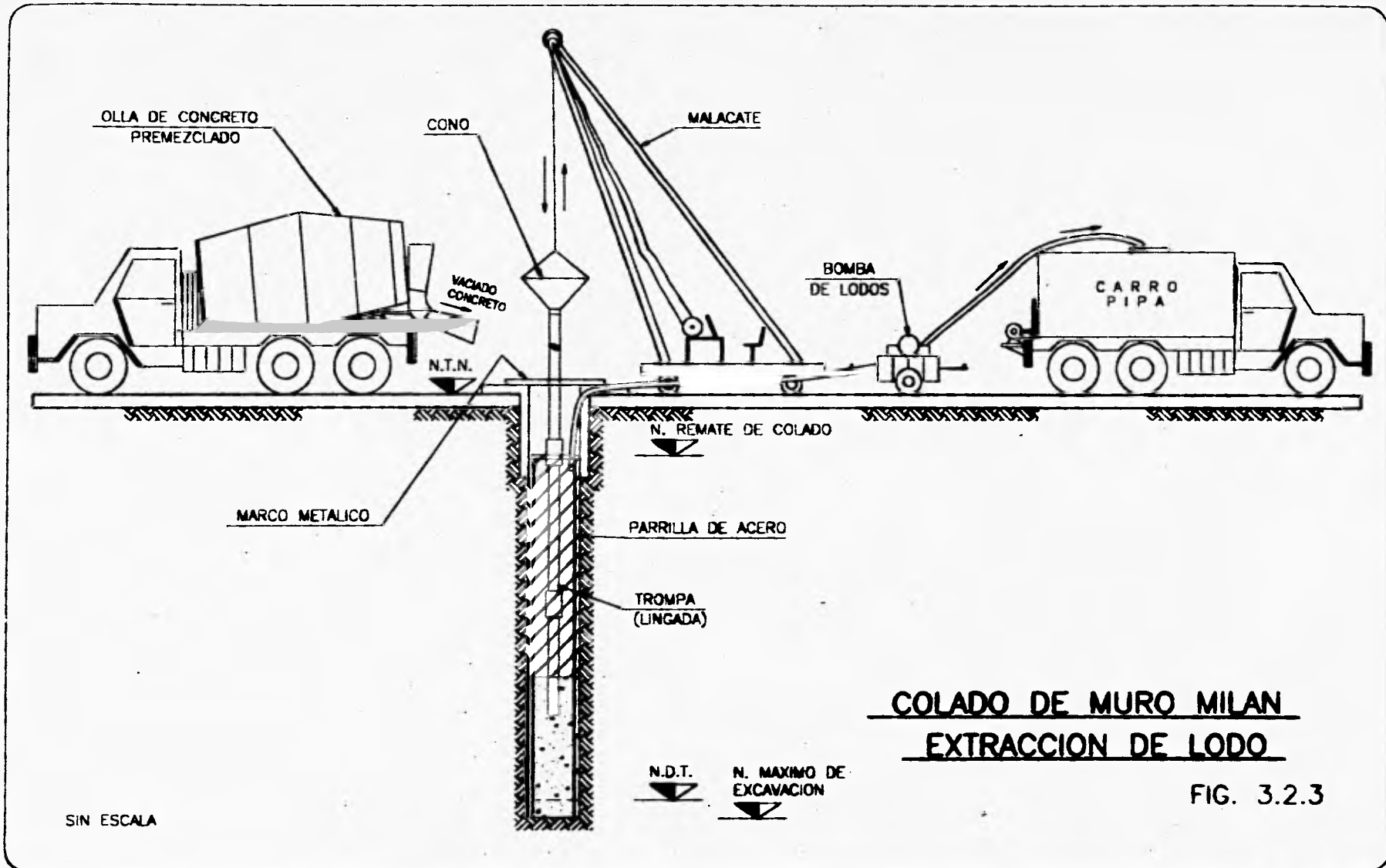
FIG. 3.2.1

TITULO: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE CAJON SUBTERRANEO DE METRO UTILIZANDO MURO ESTRUCTURAL PREFABRICADO.		FECHA: JUNIO-1995	
PRESENTO: CARLOS GONZALEZ ROMERO	DIRECTOR DE TESIS: ING. FEDERICO ALCARAZ LOZANO		



TITULO: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE CAJON SUBTERRANEO DE METRO UTILIZANDO MURO ESTRUCTURAL PREFABRICADO.	FECHA: JUNIO-1995
PRESENTO: CARLOS GONZALEZ ROMERO	DIRECTOR DE TESIS: ING. FEDERICO ALCARAZ LOZANO





TITULO:

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE CAJON SUBTERRANEO DE METRO UTILIZANDO MURO ESTRUCTURAL PREFABRICADO.

FECHA:

JUNIO-1995

PRESENTO:

CARLOS GONZALEZ ROMERO

DIRECTOR DE TESIS:

ING. FEDERICO ALCARAZ LOZANO



CAPITULO 4

COMPARACION DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS Y COSTOS DE LOS PROCEDIMIENTOS ESTUDIADOS

La comparación de los procedimientos constructivos se mencionará en éste capítulo diviendo el procedimiento en actividades que son representativas para ambos y son las siguientes:

- 1.a Fabricación del muro prefabricado
- 1.b Construcción de muro milan colado en sitio.
2. Manejo, Izaje y Transporte de muro prefabricado
3. Excavación de zanja
- 4.a Colocación de muros prefabricados
- 4.b Colado de muro milan
5. Excavación de núcleo
6. Construcción de losas
7. Junta entre muros
8. Filtraciones

4.1.a Fabricación de muro prefabricado

Los trabajos ejecutados en una planta de prefabricación se efectúan en mejores condiciones que el trabajo en obra. Haciendo una comparación entre las instalaciones fijas y las de carácter temporal estas últimas son poco cuidadas en razón de su mismo carácter temporal.

Un aspecto de gran relevancia es mencionar que las instalaciones están en mejores condiciones de trabajo y no dependen de las variaciones climatológicas. En planta se puede fabricar un concreto de muy buena calidad, pudiéndose garantizar la permanencia de esta calidad ya que se puede controlar por medios precisos.

De esta forma los puntos esenciales para alcanzar dichos fines son.:

- a) Perfeccionamiento de la preparación del concreto partiendo de los elementos que lo constituyen (cemento, agua, arena, grava)
- b) Perfeccionamiento de los moldes ya que el fin de estos es su máxima utilización.
- c) Perfeccionamiento en la preparación de los armados, sustituyendo los métodos manuales con el empleo de las herramientas y máquinas, asegurando su rigidez y su colocación correcta en los moldes.
- d) Perfeccionamiento en la colocación del concreto.

Es así como los elementos de concreto prefabricado pueden fabricarse bajo las mejores condiciones, en cuanto a cimbras o formas, colocación del (os) tipo(s) de acero empleados para su fabricación, colocación vibrado del concreto y curado del mismo. De esta manera, los puntos arriba mencionados permiten la fabricación en mejores condiciones y efectuar un trabajo continuo, obteniendo uniformidad y alta calidad de una manera práctica y económica con una mano de obra entrenada y no necesariamente especializada.

4.1.b Fabricación de muro milán

Para el caso del muro milán ademe y/o estructural colado en sitio, desaparece el concepto de fabricación al no tratarse de un muro prefabricado; sin embargo existen una serie de recomendaciones que deben tomarse en cuenta, éstas se mencionan en el subcapítulo 4.4.2.

4.2 Manejo, Izaje y transporte de muro prefabricado

Cuando el proceso de fabricación de los elementos pretensados ya ha sido completado; es decir, que ya ha sido colado, curado y descimbrado, se tienen que llevar a cabo una serie de movimientos y manipulaciones del mismo para finalizar el proceso que lleve a la terminación de dicho elemento, hasta su disposición final como parte de una estructura.

Los movimientos necesarios se agrupan en tres procesos diferentes: almacenaje, transporte y montaje, éste último forma parte medular en el procedimiento constructivo del cajón subterráneo, por lo cual se describirá más adelante y se mencionarán a continuación los dos primeros.

El primero se refiere al movimiento que se genera por la necesidad de retirar a los elementos del área de fabricación para continuar con el proceso de producción, llevándolos a una área de almacenaje para quedar en espera de su traslado a la obra.

Este sitio debe estar situado en un lugar cercano al sitio de montaje o al sitio del que proviene, seguidamente se debe tener en cuenta que un acceso inadecuado puede ser un serio impedimento para que los movimientos de carga y descarga se lleven a cabo eficientemente.

Asimismo, es necesario llevar a cabo el almacenaje en orden y sencillez poniendo especial cuidado en la forma de entongar los elementos para evitar roturas o fisuras; por lo cual debe elegirse una distribución de apoyos que no generen fuerzas superiores a las de servicio, provocando las anomalías mencionadas anteriormente.

En cuanto al concepto de transporte del muro, es necesario diseñar el trayecto, recorrerlo previamente con el fin de detectar las posibles restricciones al tránsito de estos elementos. En este sentido es muy importante el radio de giro (dado por la amplitud de las calles), y el radio de maniobras del vehículo, así como las restricciones generadas por el horario, por estas razones el transporte del elemento prefabricado se realizó durante el transcurso de la noche, ya que como se menciono anteriormente en otro capítulo de éste trabajo la planta de fabricación se localiza en el km 21.5 de la carretera Teoloyucán - Huehuetoca Estado de México.

El número de muros que se trasladaron de la planta al sitio de obra siempre fue de dos elementos o piezas, entongadas sobre la plataforma de un trailer.

4.3. Excavación de zanja

En el capítulo 3 se describió el procedimiento de excavación de zanja, el cual como se recordara en el caso del muro prefabricado se ejecutó utilizando equipo guiado en forma mecánica, implicando utilizar un cargador frontal para descargar el material producto de excavación al camión volteo. Si se hubiese empleado una grúa con equipo guiado en forma neumática como el desarrollado en la mayor parte de la excavación en zanja para la línea 8 del metro se hubiera evitado utilizar un cargador frontal en cuyo caso la descarga se hubiera efectuado en forma más directa. Otro de los inconvenientes de utilizar el equipo guiado en forma mecánica es su falta de capacidad para cortar el suelo por excavar, por lo que en futuras construcciones de metro con solución en cajón deberá cuidarse de no utilizar un equipo mecánico en este tipo de trabajos.

Además, no cumple con el requisito de deslizar suavemente el equipo guiado, mantener el alineamiento y verticalidad en las paredes de la zanjas de excavación. Otras deficiencias que se observan en el equipo guiado en forma mecánica son: a) los cables de la almeja se zafan continuamente, b) la almeja al excavar y descargar se trava. Lo anterior provoca que la secuencia sea interrumpida y en ocasiones no tener actividad retardando de esta forma el programa de obra.

El avance promedio de excavación de zanja en el tramo fue de 4.50 m por jornada (con duración de 8 horas) produciendo un volumen aproximado de 35 m³, a excepción de aquellas ocasiones en que se realizaron 2 excavaciones de zanja por día.

La selección del equipo utilizado en el tramo de prueba esta en función de la disponibilidad técnica de la empresa constructora. Esto quiere decir, que la excavación en zanja para muro, pudo haberse desarrollado con equipo guiado en forma neumática.

4.4.a Colocación de muros prefabricados

El montaje de los muros prefabricados requiere de la coordinación de los equipos de transporte, elevación, colocación y fijación. Otro aspecto que también hay que tomar en cuenta esta en que el ritmo de montaje condiciona al ritmo de transporte, debido a que éste debe suministrar el número de piezas en forma ininterrumpida a la maquinaria de elevación.

Por otro lado, una característica que afecta al montaje es la selección de la maquinaria adecuada, ya que existe una gran variedad de ellas que puede llevar a cabo el trabajo y que debe elegirse la más idónea, tomando en cuenta por un lado las características de los elementos como:

- Número de elementos.
- Sus dimensiones.
- El peso.
- Su tipo.

Las características inherentes a la obra como es su altura y también considerando las cualidades técnicas de la maquinaria de montaje que afectan directamente como son:

- Capacidad de elevación: en cuanto a pesos y distancias de colocación, así como la altura máxima alcanzable.
- Rendimiento: su velocidad de trabajo.
- Precisión: que permita colocar fácilmente los elementos sin golpearlos.

4.4.b. Colado de muro milán

Tratar el tema de colado de un muro milan en la obra metro involucra a las actividades que le preceden, siendo estas las siguientes:

i) Armado.- Se debe programar con detalle la secuencia de los muros por construir para que el habilitado del acero de refuerzo, siempre vaya por delante evitando los tiempos muertos y violaciones al procedimiento constructivo por una secuencia deficiente.

Identificación de las caras interior y exterior para su correcta colocación.

Contar con estrobos adecuados en longitud para la colocación de la parrilla en la zanja.

Es necesario mantener una supervisión que certifique las dimensiones de las parrillas (tipo de armado) para su debida ubicación. Frecuentemente se cae en el error de colocar parrillas en sitios incorrectos dentro de la zanja.

Calzar perfectamente la parrilla para evitar que se sumerja o tenga movimiento de flotación.

Es necesario el uso de un balancín para evitar el estrobo de las orejas y no dañar la soldadura y no dañar la parrilla, ver figura 3.2.2.

ii) Juntas de Colado.- Cuando se habla de colar un muro milán estructural es necesario colocar la banda de PVC en la junta metálica para evitar las posibles filtraciones hacia el interior del cajón, ver figura 3.2.1

Las juntas del muro milán nunca deben coincidir en las del muro estructural.

Durante la introducción de la parrilla en ocasiones se tienen problemas para su colocación, ya que en ese momento ésta no presenta la rigidez necesaria, obligando con ello a utilizar hasta dos grúas en esta actividad.

Debe extremarse el cuidado en la sujeción de la banda de PVC en la junta metálica para garantizar que en su estructuración la banda quede perfectamente ubicada en el sitio correcto.

En los suelos blandos de la zona de Lago de la Ciudad de México , durante el colado de los muros colados en sitio , en ocasiones se presenta el fenómeno de fracturamiento hidráulico provocando sobreconsumos de concreto.

Este fenómeno se puede describir como la activación de las fisuras preexistentes en las arcillas , provocada por el exceso de presión hidrostática que se desarrolla cuando el nivel de lodos queda por arriba de las aguas freáticas; este fenómeno se manifiesta por un descenso brusco del nivel de lodo que a su vez provoca la disminución del factor de seguridad y la eventual falla en el fondo de la excavación; se le ha dado como solución trivial la de mantener el nivel de lodo muy proximo al nivel freático, solución que seguramente podrá también adaptarse en las excavaciones en zanja para el muro milán.

Problema Constructivo.- Conviene agregar que este fenómeno de fracturamiento ocurre con más frecuencia cuando se introduce el concreto ya que se trata de un fluido de densidad 2.4, mayor a la de los materiales que se encuentran en la zanja de excavación , siendo de esta forma más capaz de activar las fisuras; así el concreto expande la excavación y penetra horizontalmente y sobre todo en forma de cuña vertical. Cuando esto sucede, se incrementa sin ningún control el volumen de concreto y se deforma la parte superior del muro; esta deformación no siempre puede observarse, por que frecuentemente queda por debajo del nivel máximo de excavación del cajón del metro.

4.5 Excavación de núcleo

Con base en la experiencia adquirida en la utilización de muros tablestaca durante la construcción de las nuevas líneas de metro, los trabajos de excavación del núcleo central son llevados a cabo en forma ordenada y sistemática.

Puede observarse que durante el desarrollo de cada una de las actividades involucradas en esta etapa constructiva existe un claro dominio en la técnica de excavación.

Si bien el procedimiento tradicional permite llevar a cabo con rapidez los trabajos sin descuidar el aspecto de seguridad al trabajar con una excavación a cielo abierto; con el procedimiento de muro milán prefabricado utilizado en el tramo de prueba se pueden realizar las maniobras necesarias de los equipos empleados en forma más eficaz, al manejarse una separación entre puntales de 4.50 m en el sentido longitudinal (al centro de cada una de las juntas entre muros), lo cual lleva a eficientar los trabajos de excavación.

4.6. Construcción de losas

El proyecto de muro milán prefabricado contempla la fabricación de un muro tal que permite efectuar las conexiones en una forma más limpia y rápida, dejando para ello las preparaciones necesarias para realizar la liga estructural de la losa de piso y techo con el muro prefabricado.

Respecto a la losa de piso, la liga estructural se inicia retirando la espuma de poliestireno alojada en las celdas preparadas para dicha actividad; doblar el acero y lograr la continuidad con el acero de refuerzo a través de bulbos de soldadura, asimismo se incluyen en las conexiones bandas expansivas de sellado para tratar de garantizar que no se presenten o disminuyan las filtraciones.

En el procedimiento tradicional es común observar, que para efectuar el colado de la losa de techo se deban emplear las máquinas rompedoras para retirar el espesor de concreto considerado como contaminado y sin ninguna función estructural y lograr así llegar al nivel de remate del muro que servirá a su vez para apoyar las vigas T o TT prefabricadas las cuales forman parte de la losa de techo.

En el muro prefabricado se realiza una limpieza en el nivel de remate del muro que consiste en cortar los torones en las nervaduras de la cara de acabado aparente, así como el acero de refuerzo que sobresale, hasta dejarlas al nivel de remate. El tiempo comparado de esta actividad con la del procedimiento tradicional es insignificante, no obstante se podría suprimir si después de la fabricación del muro se enrasaran al nivel de remate los torones y acero de refuerzo, eliminando esta actividad en la obra.

La limpieza del muro prefabricado también contempla el retiro de lodo fraguante a partir del nivel de remate, la cual puede efectuarse por medios manuales (pala o herramientas similar) en comparación con la de utilizar una rompedora para el retiro del concreto.

4.7. Filtraciones

De acuerdo a la forma en que se ejecuta el procedimiento constructivo para el cajón subterráneo metro, es conveniente subdividir el tema en dos puntos: a) filtraciones temporales, y b) filtraciones permanentes.

4.7.a Filtraciones temporales

Puede definirse como filtraciones temporales a aquellas que se presentan durante la estructuración del cajón, es decir, durante la excavación del núcleo, colado de losas, etc.; el cual es solucionado a través de implementar bombeo de achique, constituido por drenes laterales y bombas sumergibles.

En el procedimiento tradicional estas filtraciones se localizan en las juntas entre muros y paredes del propio muro milán, mientras que en el procedimiento con muros prefabricados se presenta al retirar la capa de lodo fraguante entre muros.

Es conveniente señalar que algunas de las causas que puede originar este tipo de filtraciones es la avería en la tuberías de agua potable y/o drenaje municipal.

En el muro prefabricado se facilita la filtración en la junta entre muros por no haber tenido el cuidado necesario en el retiro de la capa de lodo fraguante, ya que esta no debe ser retirada en su totalidad.

4.7.b Filtraciones permanentes

En la construcción del cajón subterráneo de la Ciudad de México no ha sido posible garantizar una impermeabilización total en la sección del cajón, originando con ello tener un costo adicional por el tratamiento de las filtraciones presentes.

En base al procedimiento tradicional las filtraciones están perfectamente localizadas en las siguientes zonas del cajón, ver figuras 4.7.1 y 4.7.2 :

*** Cajón con muro estructural ***

- En las juntas de colado entre los muros estructurales
- En la juntas que se provocan en la demolición del muro para anclar el armado de la losa de techo.
- En las juntas de colado entre losas de fondo.
- En las paredes del muro estructural.

*** Cajón con muro de acompañamiento ***

- Juntas entre muros de acompañamiento
- Juntas de colado entre losas de fondo
- Juntas de colado entre losa de fondo y muro de acompañamiento.

La localización de estas zonas ha sido posible por la experiencia adquirida a lo largo de la construcción de las diferentes líneas en que se ha empleado la alternativa de cajón subterráneo. Alguna de las causas por las que se presentan las filtraciones se debe a la calidad con que se efectúa el colado del muro milán, así como a la colocación de cada una de las bandas que se emplean en las juntas de colado. Indudablemente que la localización del sitio en algunos casos favorece este problema, tales como materiales granulares (lentes intercalados en el suelo arcilloso de la Ciudad de México), nivel de aguas muy superficial.

Con la introducción del muro milán prefabricado como alternativa de construcción, las filtraciones importantes que se presentan en el cajón subterráneo se reducen temporalmente a solamente la junta entre muros; pero una vez efectuado el colado de la junta y corregido los problemas a los que se enfrentó en obra debido al ensaye de los productos por utilizar y la forma de llevar a cabo el colado de la junta, estos desaparecieron casi por completo, por lo que se podría considerar que las filtraciones se eliminan utilizando este tipo de muros.

A continuación se presentarán los costos del cajón subterráneo comparando muro estructural prefabricado contra muro milán y muro estructural.

ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS PARA CAJON DE METRO

MURO PREFABRICADO VS MURO MILAN Y MURO ESTRUCTURAL

No.	CONCEPTO	UNIDAD	P.U (\$)	MURO PREFABRICADO		MURO COLADO EN SITIO	
				CANTIDAD	IMPORTE (\$)	CANTIDAD	IMPORTE (\$)
MURO MILAN							
1	Excavación a mano en zanja de 0.00 a 3.00 m	m ²	12,110.78	5.10	61,764.98		0.00
2	Excavación a mano de 0.00 a 2.00 m	m ²	10,404.86		0.00	3.40	35376.52
3	Acero brocal	kg	3,130.00	80.08	250,587.80	62.28	194936.40
4	Cimbra brocal	m ²	53,136.38	12.00	637,636.56	8.00	425091.04
5	Cimbra frontera	m ²	40,539.00	0.40	16,215.60	0.40	16215.60
6	Concreto brocal 150 3/4-10	m ²	255,809.72	1.44	368,366.00	1.04	266042.11
7	Carga con máquina y acarreo a 1er. km	m ²	5,289.04	5.10	26,872.10	3.40	17914.74
8	Acarreo material producto de la excavación	m ² / km	1,587.37	358.80	569,548.36	368.00	584152.16
9	Acarreo de agua (6 km)	m ² / km	1,098.52	60.51	66,471.45	74.00	81290.48
10	Excavación en zanja para muro milan con lodo bentonítico	m ²	232,206.62	10.50	2,438,189.51	12.84	2981533.00
11	Inyección de lechado	m ²	410,831.81	0.22	90,383.00	0.00	0.00
12	Acarreo de lodo	m ² / km	1,222.71	241.50	295,284.47	288.00	352140.48
13	Concreto f'c=250 kg/cm ² estructural en losas y muros	m ³	348,573.54	6.60	2,300,585.36		
14	Concreto estructural en muro colado en sitio	m ³	333,459		0.00	12.84	4281613.56
15	Concreto f'c=150 kg/cm ² , 3/4 estruc. en otras	m ³	273,222.94	2.68	732,237.48		
16	Acero de refuerzo grado duro	kg	2,466.94	513.68	1,267,217.74	1,438.01	3547484.39
17	Acero de refuerzo fy=18000 kg/cm ²	kg	13,364.35	175.64	2,347,314.43		
18	Curado a base de vapor	m ²	41,228.56	6.6	272,085.30		
19	Cimbra para tapón y/o muesca de cortante	m ²	79,192.58	4.28	338,944.24		
20	Junta metálica trapecial	PZA	664,171.50			0.28	185868.02
21	Cargo por planta	LOTE	7,258,394.55	0.08	580,671.56		
22	Transporte de muro	LOTE	350,000.00	2.00	700,000.00		
23	Colocación de muro	PZA	925,580.00	2.00	1,851,160.00		
24	Colado de juntas de concreto f'c=200 kg/cm ²	m ³	273,222.94	0.42	114,753.63		

Precios del catálogo de L-8 de Covitur, actualizado a Marzo de 93

El análisis considera tramo de 1.0 m

ANALISIS COMPARATIVO DE COSTOS PARA CAJON DE METRO

MURO PREFABRICADO VS MURO MILAN Y MURO ESTRUCTURAL

TIPO DE MURO			MURO PREFABRICADO		MURO COLADO EN SITIO		
No.	CONCEPTO	UNIDAD	P.U (\$)	CANTIDAD	IMPORTE (\$)	CANTIDAD	IMPORTE (\$)
25	Cimbra tapón en junta	m ²	35,907.00	1.72	61,760.04		
26	troqueles metálicos en cajón	pza.	2,453,879.59	0.44	1,079,707.02	0.84	2061258.86
27	Madrina para troqueles	pza.	76,580.00	0.44	33,699.60		
28	Sellado de filtraciones	pza.	247,612.41			2.00	495224.82
29	Bonificación por No. de usos de troquel	pza.	244,092.05	0.44	107,400.50	0.84	205037.32
30	Aplicación de precargas en cajón	pza.	35,320.24	0.44	15,540.91	0.84	29669.00
31	Verificación de precargas en cajón	verif.	13,676.93	0.86	12,035.70	1.68	22977.24
SUBTOTAL					16,636,423.33		15763625.74
EXCAVACION							
32	Excavación de núcleo	m ³	29,588.46	89.71	2,655,277.85	96.54	2857435.33
33	Acarreo de material producto de la excavación	m ³ /km	1,587.37	1973.62	3,132,865.18	2123.88	3371383.40
34	Bombeo	m ³	18588.9	89.71	1,667,610.22	96.54	1794572.41
SUBTOTAL					7,455,753.25		8023391.13
LOSA INFERIOR							
35	Dren P.V.C 10" en losa inferior	ml	74,256.59	1	74,256.59	1	74,256.59
36	Concreto en plantilla	m ³	232,877.84			0.85	197,946.16
37	Acelerante de fraguado en plantilla	m ³	29,467.00			0.85	25,046.85
38	Concreto estructural 150, 3/4-10	m ³	274,849.43	5.94	1,632,805.61	6.80	1,868,976.12
39	Cimbra tapón	m ²	40,539.00	5.76	233,504.64	6.80	275,665.20
40	Plantilla de grava bajo la losa inferior	m ³	89,343.00	5.76	399,415.68		
41	Acero de 1/2"	kg	2,585.13	104.58	270,352.90	122.78	317,402.26

Precios del catálogo de L-8 de Covitur, actualizado a Marzo de 93

El análisis considera tramo de 1.0 m

ANALISIS COMPARATIVO DE COSTOS PARA CAJON DE METRO

MURO PREFABRICADO VS MURO MILAN Y MURO ESTRUCTURAL

TIPO DE MURO				MURO PREFABRICADO		MURO COLADO EN SITIO	
No.	CONCEPTO	UNIDAD	P.U(\$)	CANTIDAD	IMPORTE (\$)	CANTIDAD	IMPORTE (\$)
43	Acero 3/4" o mayor	kg	2,474.95	245.50	607,600.23	273.15	676,032.59
44	Banda P.V.C. 9" en losa	ml	67,882.25	1.20	81,458.70	1.40	95,035.15
SUBTOTAL					3,314,403.34		3,548,400.59
MURO ESTRUCTURAL							
45	Cimbra para tapón	m²	57,988.00			1.01	58,547.68
46	Cimbra para muesca de cortante en muro	ml	60,012.96			1.57	94,220.35
47	Cimbra para muñon de muro	m²	78,561.28			0.40	31,424.51
48	Cimbra para muro de cajón	m²	63,464.80			9.40	596,569.12
49	Concreto f'c=200 kg/cm² en losa y muro de acompañamiento	m³	273,605.00			6.37	1,742,863.85
50	Acero de refuerzo grado duro en losas y muros de acompañamiento de cajón o estación	kg	2583.58			434.30	1,122,048.79
51	Curado	kg	2112.36			9.40	19,856.18
52	Banda P.V.C. 9" transversal en muros	ml	81,771.38			3.57	291,923.76
SUBTOTAL							3,957,456.49
LOSA SUPERIOR							
53	Losa tapa						
	a. Tipo I	m²	572,620.00	8.5	4,867,270.00		
	b. Tipo II	m²	600,330.00			9.70	5,823,201.00
SUBTOTAL					4,867,270.00		5,823,201.00

Precios del catálogo de L-8 de Covitur, actualizado a Marzo de 93

El análisis considera tramo de 1.0 m

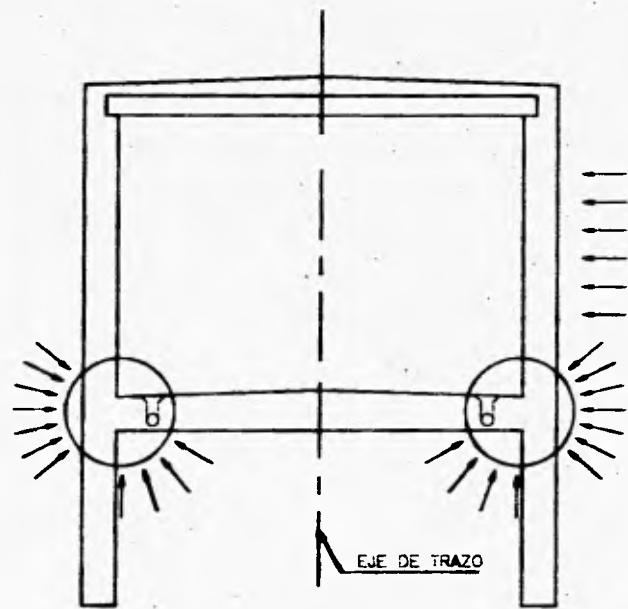
ANALISIS COMPARATIVO DE COSTOS PARA CAJON DE METRO

MURO PREFABRICADO VS MURO MILAN Y MURO ESTRUCTURAL

TIPO DE MURO	MURO PREFABRICADO	MURO COLADO EN SITIO
	IMPORTE (\$)	IMPORTE (\$)

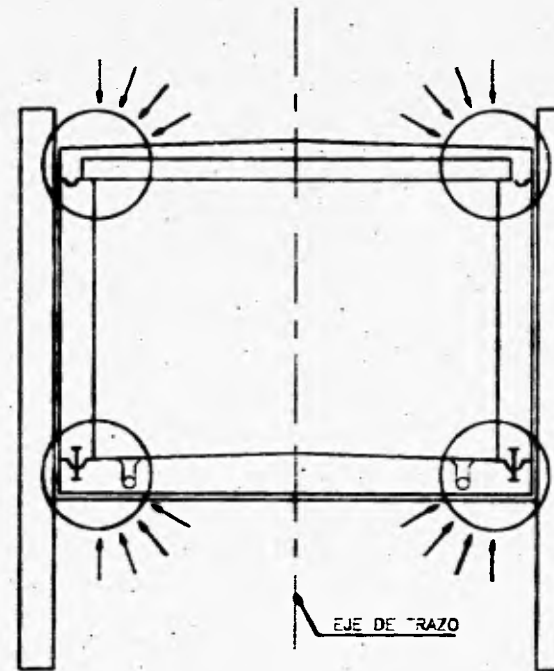
COSTO TOTAL	32,273,848.91	37,136,374.94
REFERENCIA PORCENTUAL	100%	115.07%

Precios del catálogo de L-8 de Covitur , actualizado a Marzo de 93
 El análisis considera tramo de 1.0 m



CAJON CON MURO ESTRUCTURAL
ZONAS POSIBLES DE FILTRACIONES

FIG. 4.1.1



POSIBLES FILTRACIONES EN SECCION
CAJON CON MURO DE ACOMPAÑAMIENTO

FIG. 4.1.2

SIN ESCALA

TITULO:

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE CAJON SUBTERRANEO DE METRO UTILIZANDO MURO ESTRUCTURAL PREFABRICADO.

FECHA:

JUNIO-1995

PRESENTO:

CARLOS GONZALEZ ROMERO

DIRECTOR DE TESIS:

ING. FEDERICO ALCARAZ LOZANO



CAPITULO 5

5.1 CONCLUSIONES

- * **Con la construcción de la Línea 8 del Sistema de Transporte Colectivo Metro de la Ciudad de México, se busca una vez más la racionalización en el diseño del cajón, desarrollando áreas de investigación y experimentación que permitan a su vez reducir el costo de la obra, sin menoscabo de la calidad; tal es el caso de la construcción de un tramo de cajón subterráneo a manera de prueba denominado " Cola Nonoalco ", a base de muro estructural prefabricado.**
- * **La alternativa de construir cajón subterráneo con muros prefabricados representa un gran paso en el campo de la construcción, pues se logran abatir tiempos de construcción, se garantiza la calidad de un concreto sano en cada una de las partes que lo integran, además de mejorar notablemente el aspecto en las paredes del cajón en relación con el procedimiento Tradicional.**
- * **El ancho de la zanja comparado con el ancho del muro permitió poca maniobrabilidad durante la introducción del muro y una vez colocado éste.**
- * **Las dimensiones del muro, particularmente en su ancho de 4.5 m limitó su transporte, que se realizó únicamente en la noche.**

- * El diseño de la junta entre muros esta concebido con el fin de asegurar su impermeabilidad.
- * El equipo utilizado durante la excavación en zanja no resulto ser el más adecuado al tenerse muchas fallas mecánicas en el mismo, generando bajos rendimientos de excavación y retraso en el programa de obra.
- * La inyección de lodo fraguante a través de los ductos de PVC instalados a un costado se optimizo notablemente una vez colocado éste.
- * Se pudo comprobar una vez más la eficiencia del lodo espontáneo como fluido estabilizador de la zanja de excavación .
- * Se detectaron irregularidades en la geometría del brocal lo cual entorpeció las actividades de colocación del muro prefabricado.
- * Los trabajos de excavación y colocación de muros prefabricados se llevaron a cabo en forma irregular debido a las fallas en el equipo mecánico y falta de coordinación en estas actividades, aunque también habría que considerar las dimensiones del muro.
- * Al utilizar muros prefabricados, los tiempos de ejecución para la excavación del núcleo y estructuración del cajón se reducen notablemente en comparación con el procedimiento tradicional, primeramente por que no hay necesidad de esperar a que el concreto adquiera la resistencia de proyecto e iniciar los trabajos de excavación, y en segundo lugar, la distribución de los niveles de apuntalamiento así como la separación entre estos permiten hacer más eficiente las maniobras y trabajos.
- * Durante los trabajos de colocación no se bajo el nivel del fluido estabilizador, lo cual implicó en algunos casos que la separación entre muros fuese mayor a los 5 cm , facilitando las filtraciones de tipo temporal durante la estructuración de cajón.
- * Para la construcción de la losa de piso y losa de techo el procedimiento es muy similar al utilizado en el procedimiento tradicional, pero con la particularidad de que al utilizar muro prefabricado los trabajos se llevan a cabo en forma más rápida y limpia.
- * Es necesaria un estricta Supervisión de los trabajos para garantizar resultados.
- * Se eliminan las lentas demoliciones que se dan generalmente en el nivel de remate del muro milán tradicional.

- * Se eliminan casi por completo las filtraciones hacia el interior del cajón, ya que se tiene un control perfecto de la zona en que aparece (junta entre muros), se puede dar un tratamiento con alguno de los productos disponibles en el mercado utilizados para la obra metro.
- * El acabado obtenido en las paredes del muro permite obtener una superficie de contacto adecuada para apoyar la viga madrina sobre la cual se apoya el puntal, en comparación con la del muro colado en sitio el cual tiene protuberancias y huecos.
- * Además de obtener un mejor acabado, la apariencia del cajón se mejora notablemente. Como se mencionaba inicialmente, con la fabricación del muro en una planta industrial se asegura un control total en la calidad del concreto empleado. lo cual se reflejara en la durabilidad potencial que pueden alcanzar estos elementos.
- * El análisis comparativo de costos de obra civil para cajón de metro, considero cajón con muro prefabricado contra cajón con muro milán y muro estructural.
- * Considerando únicamente el costo de muro milán, el muro estructural prefabricado es más caro 5 % respecto al muro milán colado en sitio, pero con la diferencia que el prefabricado forma parte integrante de la estructura final del cajón y el milán colado en sitio solo sirve como estructura de retención.
- * La construcción de cajón subterráneo utilizando muro milán y muro estructural resultó tener un costo mayor en un 15 % respecto del cajón con muros prefabricados, lo anterior se debe a que el procedimiento tradicional considera un espesor más grande (debido al espesor de los dos muros) que el prefabricado.
- * El empleo del muro prefabricado para el cajón subterráneo de metro, representa una nueva alternativa para la construcción de futuras líneas, que bien puede sustituir y con mejores resultados al procedimiento tradicional.
- * Con el empleo de esta nueva técnica se requiere que tanto el personal técnico como obrero dominen el procedimiento, lo cual repercutirá en beneficio para la obra (avance y economía).

5.2 RECOMENDACIONES

- **Debe tomarse en consideración las dimensiones del muro, particularmente en su ancho de 4.5 m, ya que limitó su transporte, que se realizó únicamente durante la noche; lo cual será una limitante en caso de utilizar solo muros prefabricados para la construcción del cajón subterráneo.**
- **El peso del elemento restringe la disponibilidad del equipo utilizado para su montaje y maniobras dentro de la obra.**
- **El ancho de la zanja de excavación para la colocación del muro, deberá ampliarse de tal manera que garantice una mejor maniobrabilidad de éste en la zanja y un espesor más grueso de lodo fraguante, lo cual funcionaría para que disminuyeran o desaparecieran por completo las filtraciones en la junta entre muros.**
- **Con el propósito de alcanzar mejores resultados en la alineación del muro prefabricado, el nivel del fluido estabilizador de la zanja, deberá coincidir con el nivel de remate de la corona del muro; para ello será necesario la aprobación del departamento de mecánica de suelos, para no generar zonas inestables en las paredes de la zanja.**
- **La perfecta coordinación entre las actividades de excavación y colocación del muro se verá reflejada en notable avances dentro del programa de obra.**
- **Con el objeto de aumentar los rendimientos en la actividad de excavación en zanja, se requiere hacer uso de un equipo guiado en forma neumática.**
- **Perfeccionar los detalles anteriormente mencionados llevarán a mejorar este procedimiento.**
- **Debe tenerse en consideración que existen nuevas técnicas constructivas para la construcción del cajón subterráneo como el caso del muro estructural prefabricado.**

ANEXOS

A.1. Datos estadísticos del tramo de prueba

A1.1. Colocación de muros prefabricados

Alineación de muros

El alineamiento horizontal de los muros se controló durante todos los pasos del proceso.

En general, 51 muros quedaron de acuerdo al trazo proyectado; presentándose en general variaciones poco significativas; de esta forma se cumplió en todos los casos con el galbo de proyecto.

Nivelación

De acuerdo al nivel de remate en la corona de los muros especificado en el proyecto, se obtuvieron los siguientes resultados:

De un total de 60 muros empleados en el tramo de prueba, 57 muros quedaron de acuerdo al nivel de proyecto señalado y solo 3 presentaron un deficiente alineamiento en sentido vertical.

Separación de muros

Se logró que el 83 % de los elementos colocados quedara dentro de los rangos esperados, 17 % presentó una separación mayor a la prevista. Para absorber estas diferencias se realizaron ajustes en la geometría del muro tapón.

La separación entre muros prefabricados se presentan en las gráficas 1 y 2

A1.2. Lodos fraguantes

La elaboración de las mezclas de lodo fraguante se llevo a cabo de acuerdo al proporcionamiento especificado en las especificaciones de mecánica de suelos. Para verificar el cumplimiento de las propiedades de diseño se elaboraron una serie de muestras durante el desarrollo de la obra.

El proporcionamiento en peso utilizado para el tramo de prueba fue el siguiente:

Material	Dosificación (%)	Tolerancia (%)
Agua	75	5
Cemento	17	2
Bentonita	7	1
Fluidizante	0.25	.05

Las propiedades esperadas de este material son las siguientes:

Propiedad	Especificación	Tolerancia
Densidad	1.17 ton / m ³	0.03
Viscosidad Marsh (con fluidizante)	40 s	Máxima
Resistencia del lodo para el retiro del sistema de sujeción	0.3 kg / cm ²	Mínimo

Los valores especificados para las propiedades del lodo fraguante se cumplieron en todos los casos, ver gráfica No. 3.

A.1.3. Sellado de juntas y filtraciones

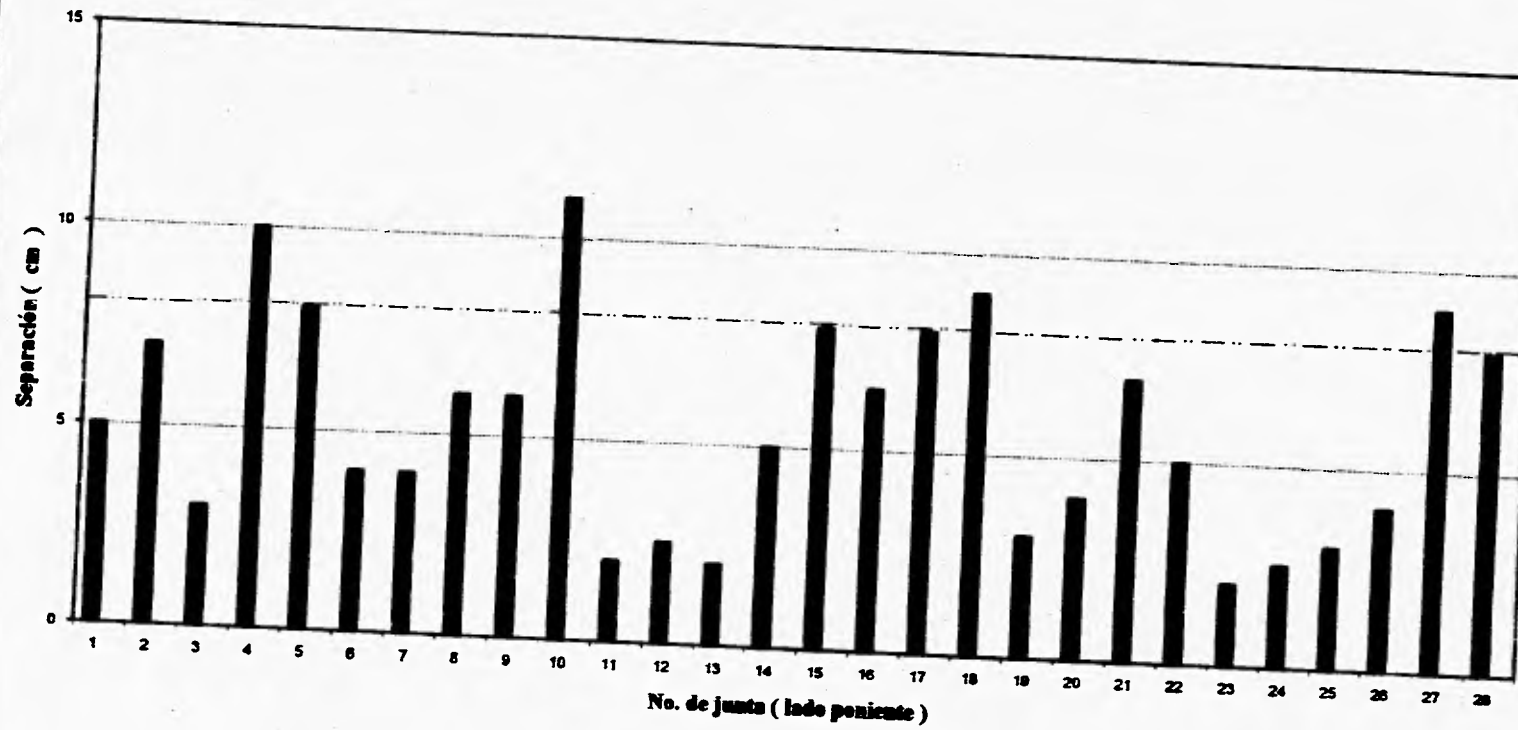
Para el tramo de prueba construido, la alternativa para resolver la junta, consistió en crear una sección tipo cajón entre dos piezas con lo cual se persigue fundamentalmente dar continuidad al muro y poder dar un tratamiento a la junta con un sistema de impermeabilización que garantice la eliminación de filtraciones.

En este tramo se utilizaron a manera de prueba dos productos para el tratamiento de la junta entre muros, el resultado de sellado fue el siguiente

No de juntas tratadas	Producto utilizado	Resultado
36	Panel Vol Clay	5 filtraciones
24	Water Stop	4 filtraciones

MUROS PREFABRICADOS L-3 COLA NONOALCO

SEPARACION ENTRE MUROS

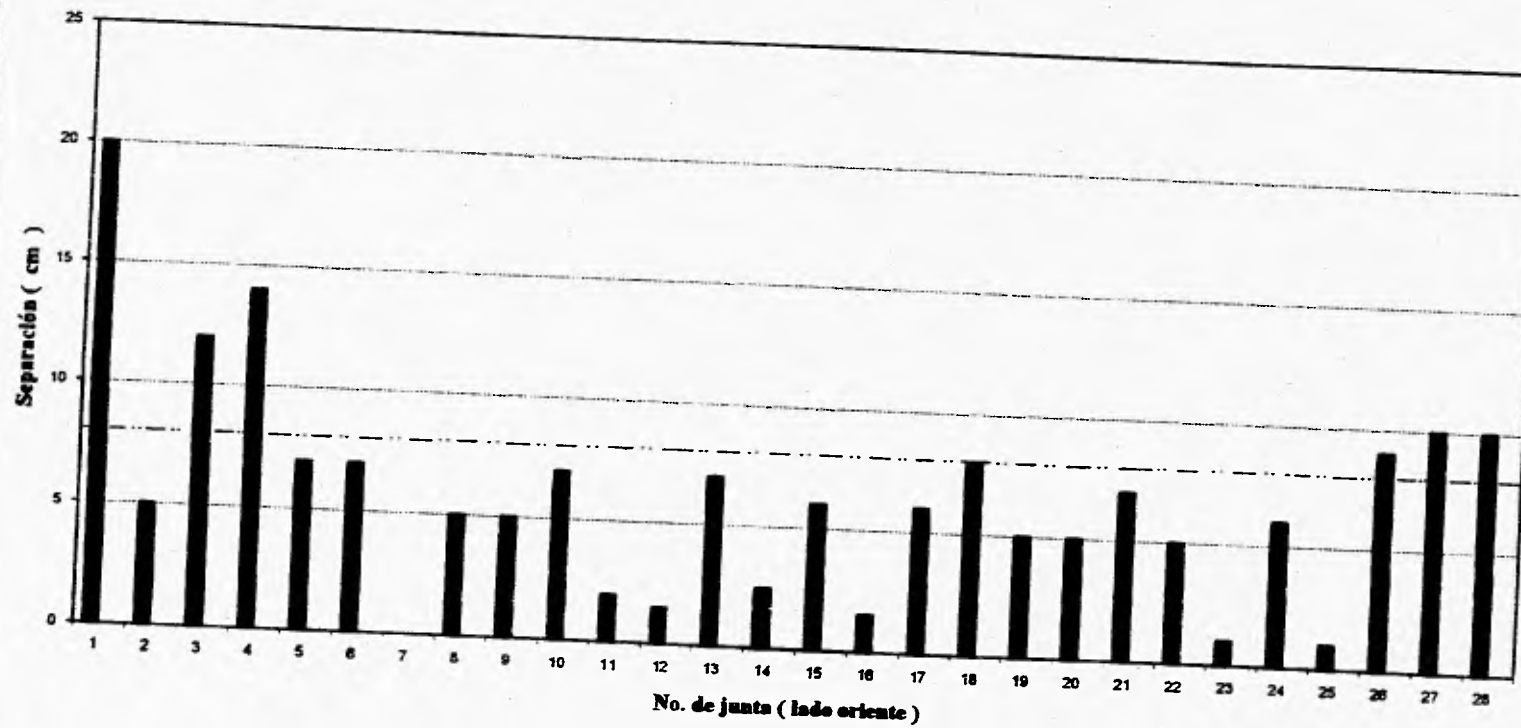


Gráfica no. 1

Valor medio

MUROS PREFABRICADOS L-8 COLA NONOALCO

SEPARACION ENTRE MUROS

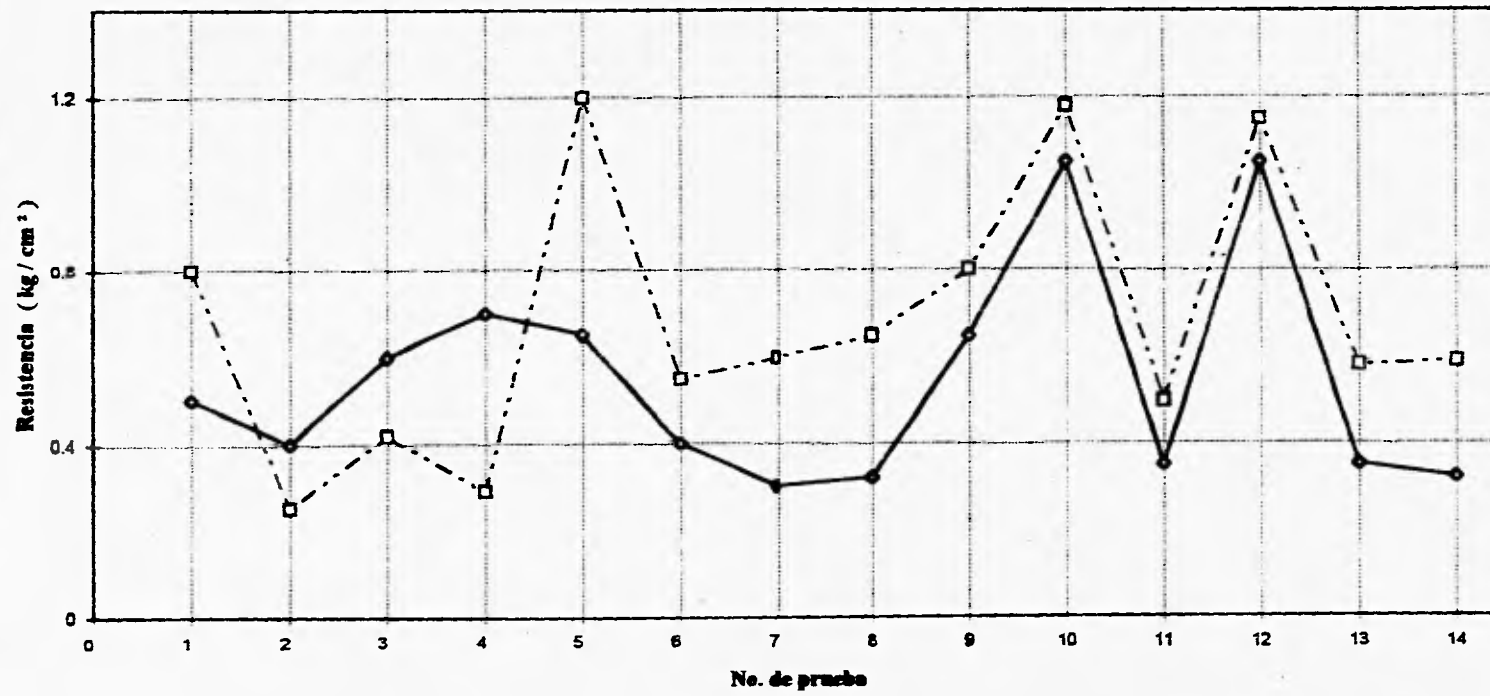


Gráfica no. 2

--- Valor medio

MUROS PREFABRICADOS L-8 COLA NONOALCO

LODO FRAGUANTE



Gráfica no. 3

Resistencia a la compresión
—◇— a 7 días
- - - □ - - - a 14 días

REFERENCIAS

1. **Consultoría Rioboo S.A (1993). Especificaciones para el procedimiento constructivo del cajón de metro en el tramo Cola Nonoalco de la Línea 8 del metro.**
2. **Consultoría Rioboo S.A (1993). Especificaciones generales para la elaboración de lodo fraguante a utilizar en el tramo de tablestaca prefabricada de la Línea 8 del metro.**
3. **Construcción Especializada S.A (1993). Informe de la construcción de muros precolados en el tramo Cola Garibaldi de la Línea 8 del metro.**
4. **Consultoría Rioboo S.A (1994). Informe de la construcción de muros prefabricados en el tramo: Cola Nonoalco de la Línea 8 del metro.**
5. **Colinas de Buen S.A (1994). Informe de la construcción y comportamiento inicial de cajón subterráneo con muros prefabricados en tramos experimentales de la Línea 8 del metro.**
6. **ICA Transporte S.A (1991). Manual de procedimientos constructivos.**
7. **TGC, Geotecnia S.A (1987). Supervisión técnica de la construcción de muros milán estabilizados con lodo arcilloso, colados en el lugar y con piezas precoladas.**
8. **Santoyo E, y Rubio L, y Hanhausen F (1989). Experiencias y posibilidades del muro milán en la Ciudad de México, memorias del Simposio Construcción especializada en Geotecnia, publicado por la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.**
9. **Ruelas S, Sánchez A y Rendón J (1989) Experiencias en el uso de muros tablestaca prefabricados y lodos fraguantes como ademe en excavaciones profundas, memorias del Simposio Construcción especializada en Geotecnia, publicado por la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.**
10. **Xanthakos, P R (1979). Slurry Walls, McGraw Hill Company, New york.**
11. **COVITUR (1985), Manual de estudios Geotécnicos, solución subterránea en cajón.**