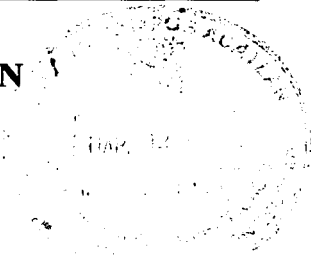




**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**CAMPUS ACATLÁN**



**SISTEMAS DE INSTALACIÓN, REHABILITACIÓN  
Y REEMPLAZO DE TUBERÍAS SUBTERRÁNEAS,  
MEDIANTE LA TECNOLOGÍA DEL  
MICROTUNELEO.**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL  
P R E S E N T A  
RAYMUNDO GERARDO GONZÁLEZ REYES

**ASESOR DE TESIS:  
ING. JORGE FLORES NÚÑEZ**



**Acatlán, Edo. de Méx., 2002**

**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.



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLÁN"  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

**SR. RAYMUNDO GERARDO GONZÁLEZ REYES  
ALUMNO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL  
P R E S E N T E**

En atención a su solicitud presentada con fecha de 22 de octubre de 1998, prorrogada el día 30 de octubre de 2000, me complace notificarle que esta Jefatura de Programa aprobó el tema que propuso, para que lo desarrolle como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

**"SISTEMAS DE INSTALACIÓN, REHABILITACIÓN Y REEMPLAZO DE TUBERÍAS  
SUBTERRÁNEAS, MEDIANTE LA TECNOLOGÍA DEL MICROTUNELEO"**

INTRODUCCIÓN

- I. ASPECTOS GENERALES DE UN MICROTÚNEL
- II. ESTUDIOS PRELIMINARES
- III. PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE LOS SISTEMAS DE MICROTUNELEO
- IV. EJEMPLO DE APLICACIÓN

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

GLOSARIO

Asimismo fue designado como asesor de tesis el ING. JORGE FLORES NÚÑEZ, pido a usted, tomar nota en cumplimiento de lo especificado en la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses, como requisito básico para sustentar examen profesional, así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Esta comunicación deberá publicarse en el interior del trabajo profesional.

**ATENTAMENTE.**  
**" POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU "**  
**Acatlán Edo. de México a 22 de octubre del 2001**

Jefe del Programa

**Ing. Manuel Gómez Gutiérrez**



**ENEP-ACATLÁN  
JEFATURA DEL  
PROGRAMA DE INGENIERIA**

## AGRADECIMIENTOS

*Agradezco a mi padre Raymundo González Arvizu por todo el apoyo y cariño que me ha brindado a lo largo de mi vida, sin el cuál este logro no hubiera sido posible. ¡ Te quiero papá !*

*Dedico este trabajo a la memoria de mi madre Remedios Reyes Melchor, la cual me enseñó una de las cosas más importantes en la vida, el siempre luchar por mis objetivos. ¡ Siempre te tendré en el corazón mamá !*

*A ti mi hermano Edgar, espero que este trabajo sea un aliciente para que pronto logres lo mismo y mucho más.*

*Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México por haberme brindado la oportunidad de tener una formación Universitaria; agradezco también a todos mis profesores que tuve durante mi formación, por brindarme parte de sus conocimientos, con el único afán de enseñar.*

*Agradezco a mis amigos por su amistad sincera y apoyo en las buenas y en las malas.  
¡ Juntos llegaremos lejos !*

*Agradezco con especial cariño al Ing. Jorge Flores Núñez, por haberme brindado la oportunidad de ser mi asesor y haberme dedicado parte de su valioso tiempo.*

**GRACIAS.**



# SISTEMAS DE INSTALACIÓN, REHABILITACIÓN Y REEMPLAZO DE TUBERÍAS SUBTERRÁNEAS, MEDIANTE LA TECNOLOGÍA DEL MICROTUNELEO.

	Pág.
INTRODUCCIÓN . . . . .	1
<b>CAPÍTULO 1 : ASPECTOS GENERALES DE UN MICROTÚNEL. . .</b>	<b>3</b>
1.1 Componentes generales de un microtúnel. . . . .	3
1.2 Campos de utilización. . . . .	5
1.3 Ventajas de la aplicación de los métodos y tecnologías del microtuneleo. . . . .	7
1.4 Análisis económico. . . . .	8
<b>CAPÍTULO 2 : ESTUDIOS PRELIMINARES. . . . .</b>	<b>10</b>
2.1 Levantamiento de interferencias en el eje del proyecto. . . . .	10
2.2 Estudios geotécnicos. . . . .	10
2.2.1 Exploración y Muestreo. . . . .	11
2.2.2 Pruebas de laboratorio. . . . .	18
2.2.3 Clasificación del suelo. . . . .	23
2.2.4 Estratigrafía. . . . .	26
2.3 Estabilidad del frente del túnel. . . . .	26
2.4 Deformaciones y cambios de esfuerzos inducidos por la excavación. . . . .	30
2.5 Hundimientos, desplazamientos y otras afectaciones a estructuras vecinas. . . . .	34
2.6 Elección del equipo para el microtuneleo. . . . .	38
<b>CAPÍTULO 3 : PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE LOS SISTEMAS DE MICROTUNELEO. . . . .</b>	<b>40</b>
3.1 Sistemas de Instalación de tuberías subterráneas. . . . .	40

	Pág.
3.1.1 Miniescudos . . . . .	42
3.1.2 Tuleo a base de hincado hidromecánico de tuberías de concreto . . . . .	51
3.1.3 Perforación Auger . . . . .	55
3.1.4 Perforación Direccional . . . . .	60
3.1.5 Perforación Percusiva . . . . .	66
3.1.6 Hincado de tuberías metálicas . . . . .	69
3.2 Sistemas de Rehabilitación de tuberías subterráneas . . . . .	76
3.2.1 Inspección mediante circuito cerrado de televisión . . . . .	77
3.2.2 Encamisados de tubería . . . . .	80
3.3 Sistemas de Reemplazo de tubería subterránea . . . . .	87
3.3.1 Reemplazo con reventamiento de tubería existente. (Pipe Bursting) . . . . .	87
3.3.2 Reemplazo por extracción de tubería existente. (Pipe Extraction) . . . . .	91
3.3.3 Reemplazo de conexiones domiciliarias. (Lateral Replacement Method) . . . . .	92
 CAPÍTULO 4 : EJEMPLO DE APLICACIÓN . . . . .	 94
<p>Proyecto integral: Estudios, Diseño, Proyecto y Construcción del desvío de 97.0 metros del colector de 2.44 m. de diámetro localizado a una profundidad entre 5.0 y 7.0 m. inducido por la construcción del metropolitano línea "B", Buenavista -Ecatepec.</p>	
4.1 Estudios preliminares . . . . .	96
4.2 Diseño y Proyecto . . . . .	100
4.3 Proceso constructivo del proyecto . . . . .	108
 CONCLUSIONES . . . . .	 125
FUENTES DE INFORMACIÓN . . . . .	128
GLOSARIO . . . . .	131

## INTRODUCCIÓN

El crecimiento urbano e industrial en las ciudades está generando la necesidad de introducir en el subsuelo nuevas tuberías y conductos subterráneos para solventar la demanda de servicios como; agua potable, drenaje, energía eléctrica, redes de intercomunicación, renovación y reemplazo de tuberías averiadas, así como instalación de modernas redes de tuberías para distribución de energéticos.

El método tradicional de apertura de zanjas es insustituible cuando las condiciones orográficas lo exigen, por ejemplo; en la construcción de un gasoducto u oleoducto que deberá quedar instalado en un terreno no muy compacto, plano y a poca profundidad, siendo un procedimiento de fácil aplicación con personal no muy calificado y uso de maquinaria común; como retroexcavadoras e incluso el pico y la pala, garantizando siempre la colocación correcta de las tuberías en el subsuelo, sin embargo otras veces en proyectos de esta naturaleza, el método es inadecuado, por ejemplo; donde haya que atravesar montañas, cauces, vías férreas, carreteras, pistas de aterrizaje, zonas habitacionales, entre otras.

Como se sabe en zonas montañosas se ha seguido el contorno de la orografía para tender las tuberías, obligando al proyecto a la utilización de sistemas de bombeo para vencer las fuerzas gravitacionales. Para el cruce de una tubería por el cauce de un río se recurre a las soluciones de tubo puente, al tendido de la tubería sobre el fondo del cauce, o bien en algunos casos la solución ingenieril es el desvío temporal del cauce, o cuando la naturaleza lo permita se espera la época de sequía para utilizar el método de zanjeo; cualquier solución que se tome de las anteriores implica para el proyecto mayor tiempo de obra y la utilización de equipos de construcción pesada como son grúas de gran capacidad, el cruce de vías férreas se hace muy crítico al no poder suspender el tráfico de los ferrocarriles por la actividad económica que desarrollan, en este caso el método de excavación a cielo abierto o de trincheras no es aplicable. Ante este problema el ingeniero ha recurrido a la construcción de túneles de diámetros grandes, para cruzar tuberías de sección pequeña, esta solución resulta costosa y sobrada, pero se ha utilizado al no existir el conocimiento de otra alternativa disponible. Para atravesar una carretera se pueden utilizar cualquiera de los métodos convencionales (abrir zanja o excavar un túnel); sin embargo, la apertura de zanjas implica el bloqueo temporal de uno de los carriles de la carretera, generándole retrasos a la circulación vehicular, además de dejar marcado el tramo de pavimento con un gran bache permanente.

Conforme a las necesidades de la era moderna ha surgido la tecnología de los microtúneles, con el fin de proporcionar métodos constructivos que puedan dar soluciones sin la práctica del método tradicional de apertura de zanjas.

En México se está iniciando la aplicación de la nueva tecnología del microtuneleo para la instalación, renovación y reemplazo de tuberías y ductos subterráneos.

La tecnología del microtuneleo se considera como un proceso no destructivo del medio subterráneo o superficial para la instalación, renovación y reemplazo de tuberías y ductos subterráneos en comparación con la apertura de zanjas que afecta a las estructuras superficiales y subterráneas.

El microtuneleo es una técnica que se desarrolla en forma similar a la de los túneles de gran diámetro, donde se abren lumbreras al inicio y al final del túnel, ocupando una reducida área superficial reduciendo así al mínimo la afectación al medio superficial.

El objetivo general de este trabajo que se presenta como tesis profesional es el de exponer el proceso constructivo de varias técnicas de microtuneleo para la instalación, rehabilitación y reemplazo de tuberías subterráneas, así como sus campos de utilización y analizar los procesos fundamentales que contribuyen para la selección óptima del equipo de excavación. Dentro del capítulo 1 se presentan los componentes generales de un microtúnel, así como los campos de utilización de los diferentes sistemas de esta tecnología y sus ventajas de aplicación, concluyendo con un breve panorama económico de dicha tecnología y su aceptación en el medio ingenieril. En el capítulo 2 se exponen los estudios previos a la ejecución de cualquiera de los sistemas de instalación, rehabilitación o reemplazo de tuberías subterráneas con la tecnología del microtuneleo. En el capítulo 3 se describen los diferentes procesos constructivos de varios sistemas de instalación, rehabilitación y reemplazo de tuberías subterráneas con la tecnología del microtuneleo, así como su compatibilidad con los diferentes tipos de suelo y sus máximos avances longitudinales. En el capítulo 4 se desarrolla un caso práctico de aplicación de un sistema en particular en el Proyecto integral: "Estudios, Diseño, Proyecto y Construcción del desvío de 97.0 metros del colector de 2.44 m. de diámetro localizado a una profundidad entre 5.0 y 7.0 m. inducido por la construcción del metropolitano línea "B", Buenavista -Ecatepec. "

Esperando que este trabajo de tesis profesional sea una herramienta de utilización práctica a los ingenieros y estudiantes de ingeniería ayudándolos a tener un panorama más amplio de los diferentes métodos de instalación, rehabilitación y reemplazo de tuberías subterráneas y con ello ejecutar obras de alta calidad y eficiencia.

## CAPÍTULO 1: ASPECTOS GENERALES DE UN MICROTÚNEL.

### 1.1 Componentes generales de un microtúnel.

Túnel es todo paso subterráneo abierto artificialmente para establecer una vía de comunicación. Las obras subterráneas (túneles) se han construido normalmente para pasos de vías férreas, carreteras, grandes obras hidráulicas, acceso de minas, etc., en la mayoría de estos proyectos ha gobernado para su ejecución la orografía, la geología, o simplemente la necesidad técnica para ejecutarlas; pero también se construyen túneles de pequeñas secciones que obedecen a otras necesidades, como por ejemplo al urbanismo.

Generalmente cuando se recurre a la obra subterránea de un túnel, se piensa en secciones donde el hombre pueda manipular el equipo requerido para la excavación dentro del espacio que va quedando al avanzar, pero cuando se construyen túneles de pequeñas secciones denominados microtúneles, se aplican técnicas distintas a las tradicionales utilizadas en grandes túneles, donde el hombre por razones de espacio, interviene durante su construcción operando el equipo de excavación desde el exterior, en la mayoría de los casos.

Desde el punto de vista del urbanismo, la tecnología del microtuneleo tiene por objeto proporcionar métodos no destructivos para la instalación, rehabilitación y reemplazo de tuberías y conductos subterráneos, que durante su construcción no afecte el medio superficial.

En cuanto a sus dimensiones, los métodos del microtuneleo consideran diámetros de hasta 3.0 metros y longitudes no mayores a 350 metros; esto no implica que la longitud del proyecto no pueda ser mayor, lo que nos marca la limitante de los 350 metros es debido a que es uno de los alcances longitudinales máximos de las máquinas de microtúnel y a que al tener una longitud continua mayor a 350 metros, el empuje necesario para realizar la excavación del microtúnel para la tubería, tendría que ser mucho mayor y se correría el riesgo de dañar la tubería o conducto. El procedimiento que se realiza es el de construir lumbreras de salida constituyéndose también en lumbreras de partida para el hincado o empuje, éstas se localizan a distancias promedio de 120 a 180 metros en función del proyecto y de la traza urbana.

Un microtúnel puede definirse de la siguiente forma: obra subterránea construida con una técnica de excavación o perforación no destructiva, que no afecta la infraestructura existente como: tuberías, cimentaciones y ductos subterráneos, ni al medio superficial, pavimentos, banquetas, áreas verdes, entre otras. Es una oquedad de sección relativamente pequeña, de eje horizontal o inclinado construida para el alojamiento de cables, tuberías o ductos subterráneos, en áreas urbanas, industriales o bajo cualquier punto calificado como conflictivo, cruces en vialidades con continuo tráfico, vías ferroviarias, canales, montañas, aeropistas, entre otras, donde el constructor manipula el equipo desde el exterior del microtúnel por falta de espacio para trabajar en forma práctica en su interior, esto ocurre en

la mayoría de los casos, ya que hay equipos donde el operario se encuentra dentro del mismo equipo que va realizando la excavación.

Al seleccionar un sistema de microtuneleo ya sea para instalación, rehabilitación o reemplazo, existen muchos factores que se deben considerar; el tipo y tamaño (diámetro y longitud) de tubería, condiciones del subsuelo, longitud de empuje, restricciones de la lumbrera y el costo.

El componente fundamental de cualquier sistema de microtuneleo, ya sea de instalación, rehabilitación o reemplazo de tuberías, es la maquinaria que realiza la actividad que le da el nombre al sistema, ya sea la perforación para poder hacer la instalación, la rehabilitación o el reemplazo de tuberías, respectivamente, en el caso de la instalación de tuberías, la máquina de perforación es la que mantiene la estabilidad mecánica del frente y de las paredes y permite controlar la dirección del microtúnel.

En la mayoría de los sistemas de microtuneleo para instalación de tuberías, la máquina perforadora está conformada en su exterior por un cilindro de acero el cual sirve como ademe para soportar las cargas del terreno y para alojar en su interior las partes mecánicas de la máquina, es decir la cabeza cortadora, el gato hidráulico de la transmisión, los motores eléctricos de la transmisión, los gatos hidráulicos para direccionar la máquina y el sistema de acarreo de la rezaga de perforación.

La máquina excavadora consta de tres partes fundamentales; la frontal que es donde se aloja la cabeza cortadora, la central que está articulada con respecto a la frontal y es donde se alojan los gatos hidráulicos para direccionar la cabeza cortadora y la tercera o faldón, la cual se fija a la central donde se conecta la tubería nueva por instalar.

Un componente importante es el sistema de acarreo, cuya función es la de transportar el material de desalojo desde el cabezal de perforación hasta la lumbrera para su posterior transportación al tiro designado.

Otro componente es el de la unidad de potencia, que es el que da la fuerza, ya sea para la instalación, rehabilitación o reemplazo de la tubería, mediante empuje o tracción de la misma; dicha unidad de potencia generalmente se encuentra en el fondo de la lumbrera. En algunos sistemas se utilizan estaciones intermedias de empuje. Los sistemas de empuje o tracción están diseñados de acuerdo al diámetro de la tubería, a la longitud del trayecto y en el caso de instalación, a las características del suelo que se va a perforar.

El sistema de lubricación tiene la finalidad de disminuir la fricción existente entre el suelo y la tubería a instalar, este lubricante puede ser bentonita o un polímero sustituto, el cual es inyectado en forma simultánea al hincado desde la superficie y por el interior de la tubería mediante orificios en la tubería, pudiendo así fluir alrededor de la misma. Esto ayuda a disminuir considerablemente la presión de los gatos de empuje, consiguiéndose mayores distancias de hincado y evitándose daños en la tubería por sobreesfuerzo.

En la superficie, este sistema consiste de un tanque de almacenamiento para el agente lubricante, de una bomba de inyección y tuberías.

El control de la alineación horizontal y vertical, tiene como objetivo el de mantener la excavación del microtúnel dentro de las tolerancias permisibles las cuales varían de acuerdo al sistema empleado. El alineamiento vertical y horizontal del túnel está dado de acuerdo al proyecto topográfico referido en forma convencional a los bancos topográficos de dicho proyecto. En el caso de la rehabilitación y reemplazo de tuberías la alineación horizontal y vertical está dada por la tubería vieja, en caso necesario se deberán realizar pequeños ajustes.

Otro componente a considerar es el dimensionamiento y construcción de las lumbreras; este dimensionamiento está dado por la longitud de la máquina cortadora que se pretende utilizar, la longitud y ancho de los gatos de empuje y las dimensiones de la tubería a hincar. La lumbrera de entrada y las intermedias deberán ser capaces de alojar la máquina cortadora y el sistema de gatos de empuje y éste a su vez a la tubería. Por su parte, la última lumbrera de recepción deberá ser capaz de alojar la máquina cortadora.

El diseño estructural de las lumbreras y su procedimiento constructivo, se rigen por la geometría de las mismas (ancho, largo y profundidad), así como las condiciones del suelo en las que se va a excavar, pudiendo ser construidas con tablestaca, vigueta y ademe, concreto lanzado, dovelas prefabricadas, sin ademe, entre otras.

## 1.2 Campos de utilización.

El campo de aplicación de estas técnicas cada día se torna más diverso, que va desde la instalación, rehabilitación y reemplazamiento de tuberías y ductos subterráneos, como son: gasoductos, líneas de agua potable, colectores para el sistema de drenaje, teléfonos, líneas de alta tensión, oleoductos, todo ello bajo banquetas, pavimentos e incluso bajo áreas verdes y el propio tránsito vehicular, hasta la conformación de nuevos métodos para la construcción de muros y techos para cajones subterráneos, como los empleados para las obras del metro.

A continuación se mencionan obras que se pueden realizar con esta tecnología aprovechando las ventajas que ésta ofrece y que de realizarse por métodos tradicionales, resultaría muy costoso y con tiempos de ejecución muy largos:

- Cruce de ductos bajo vialidades de continuo tránsito vehicular, como; aeropistas, autopistas, carreteras, avenidas, calles, por ejemplo la Av. Tlalpan, la Autopista México – Querétaro, la Autopista Ensenada – Tijuana, entre otras.
- Cruce de ductos bajo vías férreas, tal es el caso de las vías férreas: México – Cuautla, México - Veracruz, entre otras
- Parte del sistema de ademe primario para la construcción de túneles de mayor diámetro, principalmente en zonas urbanas, a poca profundidad, exitoso en algunos pasos del

Sistema Metropolitano de Transporte "Metro", de la Ciudad de México, como ha sido el caso de la estación Chabacano y el paso por debajo de la Av. Hidalgo, en la estación Bellas Artes, de la línea 8.

- Para atravesar canales y ríos por debajo de su sección hidráulica, como ha sido el caso del cruzamiento del Río San Javier con el colector de alivio del Río San Javier, en Atizapán de Zaragoza.
- Construcción de oquedades a través de elevaciones orográficas.
- Construcción de nuevos drenajes desde casas habitación hacia los pozos de visita existentes.
- Útil en la construcción de techos subterráneos.
- Es muy práctica su aplicación en obras de aeropuertos sin necesidad de la interrupción del tráfico aéreo, para tender una nueva red hidráulica, ductos para el tendido de cables enterrados para el sistema de señalamiento aéreo. Para implementar un moderno sistema de bandas, para la descarga de mercancías y equipaje de las aeronaves.
- Aplicación a la construcción de nuevas instalaciones eléctricas, telefónicas, u otras enterradas en plazas comerciales, terminales aéreas, casas habitación y zonas residenciales.
- Para el hincado vertical de tuberías de acero para pilotes o tablestacas de ademe.
- Introducción de tuberías para la desgasificación de los basureros.
- Para la rehabilitación de tuberías mediante encamisados.
- Para el reemplazo de tuberías averiadas que además permite el incremento de su diámetro sin daño a las construcciones o líneas subterráneas de servicios aledaños.
- Para anclaje de taludes.
- Para instalación de tubos para la televisión por cable.

En general es una tecnología que brinda una nueva herramienta a la ingeniería tunelera para la apertura de oquedades bajo el terreno para cualquier fin o uso, sin afectar el patrimonio superficial colindante.



### 1.3 Ventajas de la aplicación de los métodos y tecnologías del microtuneleo.

Además de las ventajas técnicas y de cumplimiento de programas en tiempo, podrían ponderarse, entre otras las siguientes:

- Se reduce considerablemente el tiempo de ejecución, comparando estos sistemas con el procedimiento convencional de excavación a cielo abierto.
- La producción que se puede obtener con estos sistemas es de dos a cuatro veces más que a través del método convencional de excavación.
- En lo político, el cumplimiento oportuno de los compromisos establecidos.
- En lo económico, determinar un monto de contrato fijo, con garantía de precio, tiempo y calidad.
- En lo social, mínima afectación a las construcciones existentes y a las actividades cotidianas de los habitantes a causa de las obras.
- Simplificación administrativa en la supervisión, seguimiento y control de obra.
- En lo ecológico, mínimo impacto de alteración a las características actuales del suelo y del entorno.
- Mínima afectación de la superficie debido al poco espacio que se necesita para la construcción, únicamente se requiere del espacio para la operación de los equipos alrededor de la lumbrera, eliminando así la afectación al tráfico en las vías de comunicación (ferrocarriles, avenidas, autopistas, pistas en aeropuertos, canales de navegación, entre otros.)
- Capacidad de poder trabajar durante el periodo de lluvias sin interrumpir el proceso de construcción.
- Se reduce considerablemente el volumen de manejo de materiales producto de la excavación por extraer, el suministro de los materiales de reposición y de acostillado, únicamente se considera el material producto de la excavación de la cavidad del túnel.
- Se elimina el riesgo de colapso en las excavaciones a cielo abierto o los hundimientos o desplazamientos diferenciales del suelo a causa de la obra, ya que únicamente se afectará subterráneamente el área de la cavidad que será ocupada por la estructura del conducto, y la cohesión del suelo entre la parte superior de la estructura y la superficie se conserva intacta.
- Se incrementa la seguridad del personal que labore en la obra, ya que no será necesario exponerlo al riesgo de excavación a cielo abierto.

- Se obtiene una instalación de mayor precisión, con una tolerancia de exactitud mínima, en línea y en elevación, que por ende se refleja en una obra de conducción con mayor eficiencia.
- Se conservan las condiciones originales del nivel freático del suelo.
- Se reduce substancialmente el costo social durante la construcción, comparándolo con el método tradicional a cielo abierto.
- Se consigue fácil adaptación de los sistemas de un trabajo a otro.
- Ningún peligro de entrada de agua en los cruzamientos de ríos y canales.
- En el reemplazo de tuberías se puede aumentar el diámetro de la tubería al próximo inmediato.
- Una vez reemplazadas las tuberías aumentan los caudales debido a los bajos coeficientes de rugosidad de las tuberías de polietileno de alta densidad o de resinas epóxicas usadas, en el caso de la rehabilitación y el reemplazo.

#### 1.4 Análisis económico.

La primer interrogante que surge ante la presencia de la tecnología de los microtúneles gira en torno a su costo, haciendo una comparación con respecto a las técnicas tradicionales de apertura de zanjas.

En México donde la industria de la construcción tradicionalmente se basa en la mano de obra existente, es difícil aceptar algún cambio de tecnología, pues el obrero se dice, oferta obras baratas y el empleo de técnicas y tecnologías más eficientes, representa un costo innecesario.

Sin embargo, se pierde de vista que la implantación y desarrollo de las técnicas de los microtúneles ha de representar la apertura hacia un nuevo campo de aplicación con sus retribuíbles costos.

Es así como se podrán construir excavaciones subterráneas de sección pequeña e integrar otras de sección más grande, en los lugares más conflictivos como en áreas urbanas donde cada día la normatividad limita la utilización de los procedimientos constructivos convencionales.

Se dice que la obra túnel es más cara que las obras realizadas con la técnica de apertura de zanjas para el tendido de tuberías, lo cual es una afirmación sin fundamento; lo correcto es que se analice cada obra en específico, tomando en cuenta los conceptos que no tendrán que realizarse por ser una obra que no daña la superficie, por ejemplo; las "obras

inducidas” como demoliciones de pavimento, restitución del mismo, excavación en un volumen mucho mayor, acarreo innecesarios del volumen de excavación, retiro, desvío o suspensión temporal de alguna interferencia o servicio que se encuentre ubicado en el trazo de la tubería a instalar y sin olvidar un costo muy importante; el costo social que en la mayoría de los casos, malamente no se cuantifica, más sin embargo es posible llevar a cabo una valorización de estos costos y al hacerlo posiblemente sea de los costos más elevados, ya que representan repercusiones que se generan durante la aplicación del método tradicional por zanja, como podrían ser problemas viales, congestión de tránsito vehicular, problemas económicos a transeúntes y vecinos, así como a locales comerciales, los cuales al taparles la entrada principal por motivo de la obra, debido al riesgo de una obra a cielo abierto, sus ventas disminuirán notablemente. En lo que respecta a lo ecológico los sistemas de microtuneleo nos permiten preservar las áreas verdes y ecológicas logrando con esto no romper la armonía estética del paisaje.

El éxito de una nueva tecnología no surge en sus primeros intentos, ha de pasar por una serie de etapas:

- Debe generarse la introducción de la nueva tecnología, proporcionando la existencia de un mercado potencial, obras y proyectos.
- Efectuando el desarrollo paralelo a la técnica tradicional, surgiendo cuantitativamente los parámetros de comparación de rendimientos, producción y ahorros llevando así a su aceptación.

## CAPÍTULO 2: ESTUDIOS PRELIMINARES.

### 2.1 Levantamiento de interferencias en el eje del proyecto.

La ejecución de obras en la vía pública expone a las empresas contratistas a diversos riesgos propios de la actividad que desarrollan. Es usual encontrar en los pliegos licitatorios la obligación de los contratistas de requerir información sobre la ubicación de instalaciones subterráneas de servicios públicos, que puedan existir a lo largo del trazo, antes de comenzar los trabajos de excavación a efectos de evitar daños a dichas instalaciones previendo así mismo el mecanismo para su remoción y/o libramiento de las mismas.

De existir planos de dichas instalaciones podrá seguramente el contratista tener la información necesaria para poder tomar las precauciones del caso, para efectos de no provocar daños innecesarios. Si no cuenta con los planos o los mismos no son confiables como sucede comúnmente por su desactualización, el contratista antes de excavar y a efectos de minimizar el riesgo propio de la obra en ejecución, deberá realizar sondeos, de 2 ½" Ø mediante presión de agua y succión, la investigación a través de vecinos u otras dependencias, o bien en la actualidad se cuenta con herramientas que ayudan a la detección de interferencias como son los detectores electrónicos que permitan localizar cualquier instalación que se superponga con la obra a ejecutar como pueden ser colectores, albañales, tuberías de agua potable, entre otras instalaciones. Esto con el fin de no dañarlas al utilizar excavadoras u otros medios mecánicos.

La falta de control sobre la real ubicación de las instalaciones subterráneas por falta de actualización de los planos, ha colocado a las empresas constructoras en una difícil situación, ya que los planos que suministran las dependencias encargadas de los servicios públicos no siempre precisan la ubicación exacta de dichas instalaciones y la urgencia de cumplir en tiempo los contratos impide muchas veces la realización de sondeos previos, lo que generalmente culmina en la producción de un daño. Las consecuencias de no haber detectado oportunamente alguna interferencia, puede resultar costosa ya que se pueden dañar las instalaciones y detener la excavación; además de que repararlas implicaría excavar a cielo abierto.

### 2.2 Estudios geotécnicos.

Con lo dicho anteriormente, se presupone de manera obvia la necesidad que se tiene de contar, tanto en la etapa del proyecto como durante la ejecución de la obra, con datos firmes, seguros y abundantes respecto al suelo con el que se esta tratando.

Los estudios geotécnicos es todo el conjunto de estudios de campo y laboratorio, análisis y cálculos que conducen al proyectista a adquirir una concepción razonable de las propiedades físico mecánicas del suelo que hayan de ser consideradas en su análisis para determinar el conjunto de recomendaciones y conclusiones necesarias para establecer las

normas geotécnicas a las que han de ajustarse el proyecto y los procedimientos de construcción.

El estudio geotécnico deberá poner a disposición del grupo encargado del proyecto, toda la información relevante sobre el terreno, señalando su probable comportamiento futuro y los tratamientos que se requieran.

En la ejecución de un estudio geotécnico pueden distinguirse dos etapas, la primera comprende reconocimientos, exploración, levantamiento de datos y las pruebas de laboratorio, en la segunda etapa se recopila la información disponible, se analiza, se producen recomendaciones detalladas y se redacta el informe correspondiente.

### 2.2.1 Exploración y Muestreo.

De lo dicho anteriormente, resultan así estrechamente ligadas las dos importantes actividades; el muestreo de los suelos y la realización de las pruebas de laboratorio. El muestreo debe estar regido anticipadamente por los requerimientos impuestos a las muestras obtenidas por el programa de pruebas de laboratorio y a su vez, el programa de pruebas debe estar definido en términos de la naturaleza de los problemas que se suponga puedan resultar del suelo presente en cada obra, el cual no puede conocerse sin efectuar previamente el correspondiente muestreo, aparece así un círculo vicioso, de cuyo correcto balance depende el éxito en un programa de muestreo y pruebas. El círculo suele resolverse recurriendo a la ayuda de programas preliminares de exploración y muestreo; Por procedimientos simples y económicos, debe procurarse adquirirse una información preliminar suficiente respecto al suelo, información que, con ayuda de pruebas de clasificación tales como granulometría y límites de plasticidad, permita formarse una idea clara de los problemas que se han de esperar en cada caso particular. El conocimiento apriorístico de tales problemas permite a su vez programar en forma correcta las pruebas necesarias para la obtención del cuadro completo de datos de proyecto investigando todas aquellas propiedades físicas del suelo de las que se pueda sospechar que lleguen a plantear en la obra una condición crítica. La realización de esta nueva serie de pruebas definitivas suele presentar nuevas exigencias respecto a las muestras de suelo de que se disponga y ello obligará en general, a efectuar nuevas operaciones de sondeo y muestreo a fin de obtener muestras definitivas.

Así pues, en general se tendrán dos tipos de sondeos: preliminares y definitivos, cada uno con sus métodos propios de muestreo. La experiencia del ingeniero determinará el correspondiente programa de exploración y muestreo, para cada obra en particular, tomando en cuenta la importancia de la misma y el factor costo. Una obra de importancia ameritará un programa amplio de exploración totalmente diferente para una obra menor. No sólo la importancia de la obra juega papel como norma de criterio del proyectista sino también el tipo de obra, con las consecuencias de su falla respecto a pérdidas en bienes o vidas. Un aspecto importante será siempre, que la magnitud tanto en tiempo como en costo del programa de exploración y muestreo este acorde con el tipo de obra por ejecutar.

### *Tipos de sondeos.*

Los tipos de sondeos que se usan en mecánica de suelos para fines de muestreo y conocimiento del subsuelo, en general son los siguientes:

#### Métodos de exploración preliminar.

- Pozos a cielo abierto con muestreo alterado o inalterado.
- Perforaciones con posteadora, barrenos helicoidales o métodos similares.
- Métodos de lavado.
- Método de penetración estándar.
- Método de penetración cónica.
- Perforaciones en boleos y gravas (con barretones, etc.)

#### Métodos de sondeo definitivo.

- Pozos a cielo abierto con muestreo inalterado.
- Métodos con tubo de pared delgada.
- Métodos rotatorios para roca.

#### Métodos geofísicos.

- Sísmico.
- De resistencia eléctrica.
- Magnético y gravimétrico.

#### □ Métodos de exploración preliminar.

#### *Pozos a cielo abierto. (PCA)*

Este método es satisfactorio para conocer las condiciones del subsuelo, ya que consiste en excavar un pozo a pico y pala de dimensiones suficientes para que un técnico pueda directamente bajar y examinar los diferentes estratos de suelo en su estado natural así como darse cuenta de las condiciones referentes al agua contenida en el suelo. Este tipo de excavación no puede llevarse a grandes profundidades a causa de la dificultad de controlar el flujo de agua bajo el nivel freático; naturalmente que el tipo de suelo también influye en los alcances del método en sí. La excavación se encarece mucho cuando sean necesarios ademes y haya excesivos traspaleos a causa de la profundidad.

En estos pozos se pueden tomar muestras alteradas o inalteradas de los diferentes estratos que se hayan encontrado. Las muestras alteradas son simplemente porciones de suelo que se protegerán contra pérdidas de humedad introduciéndolas en frascos o bolsas emparafinadas. Las muestras inalteradas se obtienen labrando la muestra en una oquedad en la pared del pozo, la muestra debe protegerse contra pérdidas de humedad envolviéndola en una o más capas de manta debidamente impermeabilizada con brea y parafina.

### *Perforaciones con posteadora, barrenos helicoidales o métodos similares.*

En estos sondeos exploratorios la muestra de suelo obtenida es completamente alterada, pero suele ser representativa del suelo en lo referente a contenido de agua. Los barrenos helicoidales pueden ser de muy diferentes tipos dependiendo del suelo por atacar. En arenas colocadas bajo el nivel de aguas freáticas estas herramientas no suelen poder extraer muestras y en esos casos es preferible recurrir al uso de cucharas especiales de las que también hay variedad de tipos.

Un inconveniente serio de la perforación con barrenos se tiene cuando la secuencia estratigráfica del suelo es tal que a un estrato firme sigue uno blando, en estos casos es muy frecuente que se pierda la frontera entre ambos o aún la misma presencia del blando.

### *Método de lavado.*

Este método constituye un procedimiento económico y rápido para conocer la estratigrafía del subsuelo. Las muestras obtenidas en lavado son tan alteradas que prácticamente no deben ser consideradas como representativas para realizar ninguna prueba de laboratorio. La operación consiste en inyectar agua en la perforación una vez hincado el ademe, la cual forma una suspensión con el suelo en el fondo del pozo y sale al exterior a través del espacio comprendido entre el ademe y la tubería de inyección; una vez fuera es recogida en un recipiente en el cual se puede analizar el sedimento.

### *Prueba de penetración estándar. (SPT).*

La Standard Penetration Test, en suelos puramente friccionantes permite conocer la compacidad de los mantos que es la característica fundamental respecto a su comportamiento mecánico. En suelos plásticos la prueba permite adquirir una idea tosca de la resistencia a la compresión simple, además el método lleva implícito un muestreo que proporciona muestras alteradas representativas del suelo en estudio.

El fondo del pozo debe ser previamente limpiado de manera cuidadosa usando posteadora o una cuchara, una vez limpio el pozo, el muestreador se hace descender hasta tocar el fondo y seguidamente, a golpes, se hace que el penetrómetro entre 15 cm. dentro del suelo. Desde este momento deben contarse los golpes necesarios para lograr la penetración de los siguientes 30 cm. a continuación se hace penetrar el muestreador en toda su longitud. Al retirar el penetrómetro, el suelo que haya entrado en su interior constituye la muestra que puede obtenerse con este procedimiento.

La mayor utilidad e importancia de la prueba de penetración estándar radica en las correlaciones realizadas en el campo y en el laboratorio en diversos suelos, sobre todo arenas, que permitan relacionar aproximadamente la compacidad, el ángulo de fricción interna en arenas y el valor de la resistencia a la compresión simple en arcillas con el número de golpes necesarios en ese suelo para que el penetrómetro estándar logre entrar los 30 cm. especificados. Un esquema del penetrómetro se muestra en la figura 2.1

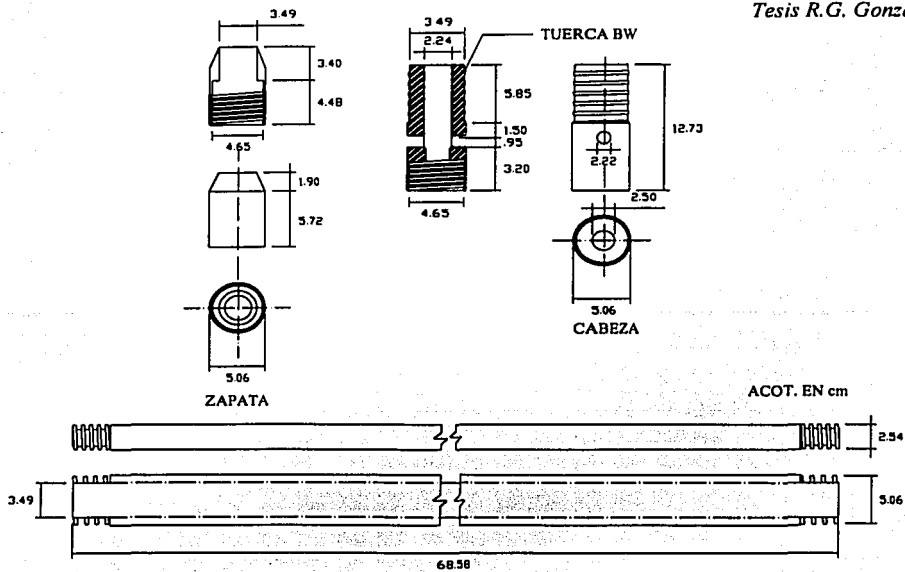


Fig. 2.1 Penetrómetro Estándar.

### *Método de penetración cónica.*

Este método consiste en hacer penetrar una junta cónica en el suelo y medir la resistencia que el suelo ofrece. Dependiendo del procedimiento para hincar los conos en el terreno, este método se divide en estático y dinámico; en los primeros la herramienta se hinc a presión medida en la superficie con un gato apropiado; en los segundos el hincado se logra a golpes dados con un peso que cae.

Normalmente en este tipo de obra, el sondeo que se utiliza como exploración preliminar es el método de penetración estándar que entre todos los exploratorios preliminares, es quizá el que rinde mejores resultados en la práctica y proporciona más útil información en torno al subsuelo y no solo en lo referente a descripción.

#### □ Métodos de sondeo definitivo

Son los métodos de muestreo que tienen por objeto obtener muestras inalteradas en suelos, apropiados para pruebas de compresibilidad y resistencia. En ocasiones, los procedimientos estudiados anteriormente especialmente los que rinden muestras representativas pueden llegar a considerarse como definitivos.

### *Pozos a cielo abierto con muestreo inalterado.*

Esté método de exploración ha sido ya descrito anteriormente, sin embargo es conveniente insistir en el hecho de cuándo es factible, debe de considerarse el mejor de



todos los métodos de exploración para obtener muestras inalteradas y datos adicionales que permitan un mejor proyecto y construcción de una obra.

*Método con tubo de pared delgada.*

Se debe a M.J. Hvorslev un estudio que condujo a procedimientos de muestreo con tubos de pared delgada, que por lo menos en suelos cohesivos se usan actualmente. El grado de alteración que produce el muestreador depende principalmente del procedimiento usado para su hincado; las experiencias han comprobado que si se desea un grado de alteración mínimo aceptable, ese hincado debe efectuarse ejerciendo presión continua y nunca a golpes ni con algún otro método dinámico.

En ocasiones y en suelos muy blandos y con alto contenido de agua, los muestreadores de pared delgada no logran extraer la muestra, esto se puede evitar hincando el muestreador lentamente y una vez lleno de suelo dejándolo en reposo un cierto tiempo antes de proceder a la extracción. En la Fig. 2.2 se muestra un esquema de este muestreador.

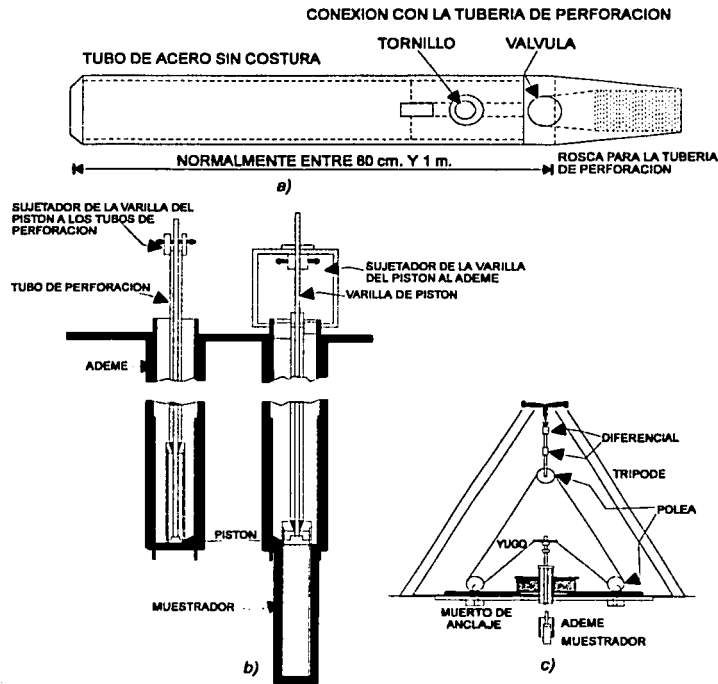


Fig. 2.2 Muestreadores de tubo de pared delgada.

- a) Tipo Shelby.
- b) De pistón.
- c) Dispositivo de hincado por presión de un diferencial.

### *Métodos rotatorios para roca.*

Cuando un gran bloque o un estrato rocoso aparezcan en la perforación se hace indispensable recurrir al empleo de máquinas perforadoras a rotación, con broca de diamante o del tipo cáliz. En la primera, en el extremo de la tubería de perforación va colocado un muestreador especial llamado "corazón", en cuyo extremo inferior se acopla una broca de acero duro con incrustaciones de diamante industrial que facilitan la perforación. En la segunda, los muestreadores son de acero duro y la penetración se facilita por medio de municiones de acero que se echan a través de la tubería hueca hasta la perforación y que actúan como abrasivo.

El éxito de una maniobra de perforación rotatoria depende fundamentalmente del balance de tres factores, velocidad de rotación, presión de agua y presión sobre la broca, respecto al tipo de roca explorado.

#### □ Métodos geofísicos.

Los métodos geofísicos de exploración indirecta se han desarrollado principalmente con el propósito de determinar las variaciones en las características físicas de los diferentes estratos del subsuelo o los contornos de la roca basal que subyace a depósitos sedimentarios. Los métodos son rápidos y permiten tratar grandes áreas, pero la información que proporcionan no es suficiente para fundar criterios definitivos del proyecto.

### *Método sísmico.*

Este procedimiento se basa en la variación de la velocidad de propagación de las ondas vibratorias de tipo sísmico a través de diferentes medios materiales. Las mediciones realizadas sobre diversos medios permiten establecer que esa velocidad de propagación varía entre 150 y 2,500 m/seg. en suelos, correspondiendo los valores mayores a mantos de grava muy compactos y las menores a arenas sueltas; los suelos arcillosos tienen valores medios, mayores para las arcillas duras y menores para las suaves. En roca sana los valores fluctúan entre 2,000 y 8,000 m/seg.

Esencialmente el método consiste en provocar una explosión en un punto determinado del área a explorar usando una pequeña carga de explosivo, usualmente nitroamonio. En la zona a explorar se sitúan registradores de ondas (geófonos), separados entre sí de 15 a 30 m. la función de éstos es captar la vibración que se transmite amplificada a un oscilógrafo que marca varias líneas, una para cada geófono.

### *Método de resistividad eléctrica.*

Este método se basa en el hecho de que los suelos, dependiendo de su naturaleza, presentan una mayor o menor resistividad eléctrica cuando una corriente es inducida a

través de ellos; este método generalmente es aplicado para determinar la presencia de estratos de roca en el subsuelo.

Las mayores resistividades corresponden a rocas duras, siguiendo rocas suaves, gravas compactas y teniendo los menores valores los suelos suaves saturados.

#### *Métodos magnéticos y gravimétricos.*

En el método magnético se usa un magnetómetro que mide la componente vertical del campo magnético terrestre en la zona considerada, en varias estaciones próximas entre sí. En los métodos gravimétricos se mide la aceleración del campo gravitacional en diversos puntos de la zona a explorar. Valores de dicha aceleración ligeramente más altos que el normal de la zona, indicarán la presencia de masas duras de roca; lo contrario será índice de la presencia de masas ligeras o cavernas y oquedades.

Estos métodos son poco usados, debido a lo errático de su información y a la difícil interpretación de sus resultados.

#### Número de sondeos.

El número de sondeos de exploración está en función de la longitud proyectada del cruce y de la complejidad del terreno. Si el cruce es de unos 300 metros por ejemplo, pudiera ser suficiente realizar dos sondeos, uno a cada lado, siempre y cuando las pruebas efectuadas a las muestras indiquen que el terreno es homogéneo en ambos lados. Sin embargo si la información revela anomalías, discontinuidad en las capas, presencia de roca o grandes concentraciones de gravas, es recomendable realizar sondeos adicionales para definir mejor la naturaleza de las capas.

En caso de cruces más largos y especialmente en el caso de tuberías de gran diámetro donde exista evidencia de grava, canto rodado, boleos o roca es preciso realizar sondeos cada 200 a 250 metros a no ser que se hayan detectado anomalías significativas que impongan la necesidad de realizar más. Todos los sondeos deben figurar en el perfil del cruce y sus cotas de elevación deben ser claramente identificables. De ser posible, los sondeos deben efectuarse a no menos de 8 metros del eje central del proyecto. Todos los sondeos practicados deberán sellarse una vez concluido el estudio.

#### Profundidad de los sondeos.

Todos los sondeos deben realizarse a una profundidad mayor que la cota más baja del perfil propuesto, tomándose siempre la magnitud que sea más elevada de las dos. En algunos casos podría interesar tanto a la propiedad como al contratista que el cruce se realice a una mayor profundidad de la requerida por la licencia. Es recomendable que todos los sondeos se efectúen a la misma elevación o nivel con el fin de poder determinar con

más precisión la consistencia del material del subsuelo, su naturaleza, grado de variación que pueda presentar, etc.

### 2.2.2 Pruebas de laboratorio.

Como ya se mencionó anteriormente las pruebas de laboratorio están ligadas totalmente a los muestreos realizados, estando estos regidos anticipadamente por los requerimientos impuestos por el programa de pruebas de laboratorio y a su vez, éste último debe estar definido en términos de la naturaleza de los problemas que se suponga puedan resultar del suelo presente en cada obra.

En las muestras representativas alteradas e inalteradas, se deberán realizar pruebas de laboratorio para identificar y clasificar los suelos y para definir las propiedades índice y mecánicas de los mismos.

Después de realizadas las primeras etapas de exploración y muestreo, las muestras de suelo se enviarán a laboratorio debidamente protegidas contra pérdida del contenido natural del agua, para su identificación y clasificación, la clasificación del suelo en laboratorio deberá efectuarse en seco y en húmedo, de acuerdo con el criterio del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), el cual se verá con detalle más adelante.

Las pruebas de clasificación tales como granulometría y límites de plasticidad, permiten formarse una idea clara de los problemas que se han de esperar en cada caso particular. El conocer la clasificación del suelo nos permite programar en forma correcta las pruebas necesarias para la obtención del cuadro completo de datos de proyecto investigando todas aquellas propiedades físicas del suelo de las que se pueda sospechar que lleguen a plantear en la obra una condición crítica.

#### *Propiedades índice de los suelos.*

Las propiedades índice de los suelos nos ayudarán a obtener una mejor identificación y clasificación de las diferentes capas del suelo exploradas en un sondeo o pozo a cielo abierto, siendo estas las siguientes:

- Contenido natural del agua.
- Límites de consistencia (límite líquido, plástico y de contracción.)
- Densidad relativa.
- Granulometría.

#### *Contenido natural del agua.*

Contenido de agua o humedad: es la relación entre el peso de agua contenida en el mismo y el peso de su fase sólida. Se expresa como un porcentaje

$$W(\%) = W_w / W_s \times 100$$

### Límites de consistencia

- Límite líquido (LL): Frontera entre el estado semilíquido y plástico.
- Límite plástico (LP): Frontera entre el estado plástico y el semisólido, contenido de agua para el cual el suelo deja de presentar un comportamiento plástico.
- Límite de contracción: Frontera entre el estado semisólido y sólido, contenido de agua donde el suelo ya no disminuye su volumen al irse secando.

Los parámetros de correlación más útiles son el índice de plasticidad ( $I_p$ ), el índice líquido (Il), el índice de contracción ( $I_s$ ). Estos parámetros se definen en la siguiente tabla.

Índice	Definición	Correlación
Plástico	$I_p = LL - LP$	Resistencia, compresibilidad, compactibilidad
Líquido	$Il = (W - LP) / I_p$	Compresibilidad, y estado de esfuerzos
Contracción	$I_s = LP - LC$	Potencial de contracción

Donde :

LL = límite líquido.

LP = límite plástico.

W = Contenido de humedad en %

LC = límite de contracción.

### Densidad relativa $D_r$

La densidad relativa de los suelos cohesivos puede expresarse en términos de la relación de vacíos ( $e$ ), o el peso volumétrico seco ( $\gamma_d$ ) :

$$D_r = (e_{\text{máx}} - e_0) / (e_{\text{máx}} - e_{\text{min}})$$

$$D_r = (1 / \gamma_{\text{min}} - 1 / \gamma_d) / (1 / \gamma_{\text{min}} - 1 / \gamma_{\text{máx}})$$

La  $D_r$  determina una propiedad de los suelos no cohesivos y permite correlacionarse con otros parámetros, como el ángulo de fricción, la permeabilidad, compresibilidad, módulo de esfuerzo cortante – deformación, resistencia cíclica al corte.

### *Granulometría.*

Este análisis constituye una prueba mecánica de materiales granulares aplicada sobre muestras obtenidas en el lugar de la obra durante el periodo en el que se realizan las pruebas de penetración estándar. Las muestras que se obtienen con dicho método son llevadas al laboratorio. El análisis granulométrico consiste en separar y clasificar por tamaños los granos que la componen. A partir de la distribución de los granos en un suelo, es posible formarse una idea aproximada de otras propiedades del mismo. Las muestras proporcionan un análisis porcentual del material granular en base a tamaño y peso.

Según su composición, la granulometría puede determinarse por medio de mallas, y por el método del hidrómetro.

### *Propiedades mecánicas de los suelos*

Las propiedades obtenidas de las pruebas estándar de laboratorio en muestras inalteradas de suelo, son: la permeabilidad, la compresibilidad y la resistencia al esfuerzo cortante. La determinación de las propiedades mecánicas se realizara en cada estrato identificable que pueda afectar la estabilidad de la construcción.

### *Permeabilidad.*

Se dice que un material es permeable cuando contiene vacíos continuos que permiten el paso del agua.

La existencia de huecos en la masa del suelo constituyen, pasajes por los que el agua se puede mover. Estos huecos son de tamaño variable, y las trayectorias son tortuosas e interconectadas.

Al movimiento del agua se le llama filtración; su medida se llama permeabilidad; y el factor que relaciona la permeabilidad a las condiciones unitarias se le llama coeficiente de permeabilidad,  $k$ , que representa la descarga a través del área unitaria con la pendiente hidráulica unitaria.

### *Compresibilidad de suelos.*

El fenómeno de la compresibilidad está asociado con los cambios de volumen de los huecos y sólo en muy pequeña proporción con cambio de partículas sólidas. Si los huecos están en gran parte llenos de aire, la adición de una carga sobre la masa del suelo resultará en compresión casi inmediatamente.

Por otra parte si los huecos están casi completamente llenos de agua, se producirá muy poca o ninguna compresión inmediatamente después de la aplicación de la carga, y

solamente al drenar el agua de la masa del suelo tendrá lugar la consolidación.

Si el agua se puede drenar fácilmente de la masa del suelo, la consolidación puede tener lugar en un periodo relativamente corto, pero si el suelo es muy impermeable y la masa de suelo grande, la consolidación completa requerirá muchos años.

#### *Prueba de consolidación.*

El objeto de esta prueba es determinar el decremento de volumen y la velocidad con que este decremento se produce, en un espécimen de suelo, confinado lateralmente y sujeto a una carga axial.

Durante la prueba se aplica una serie de incrementos crecientes de carga axial y, por efecto de éstos, el agua tiende a salir del espécimen a través de piedras porosas colocadas en sus caras. El cambio de volumen se mide con un micrómetro montado en un puente fijo y conectado a la placa de carga sobre la piedra porosa superior.

Para cada incremento de carga aplicada se miden los cambios volumétricos, usando intervalos apropiados para efectuar las mediciones. Los datos registrados conducen a la obtención de la curva de consolidación.

#### *Resistencia al esfuerzo cortante en suelos.*

La idea de Coulomb consistió en atribuir a la fricción entre las partículas del suelo la resistencia al corte del mismo y en extender a este orden de fenómenos las leyes que sigue la fricción entre cuerpos, según la Mecánica elemental.

Coulomb admitió que, en primer lugar, los suelos fallan por esfuerzo cortante a lo largo de los planos de deslizamiento y que, esencialmente, el mismo mecanismo de fricción rige la resistencia al esfuerzo cortante de, por lo menos, ciertos tipos de suelos.

Coulomb, observó que el material arcilloso exhibe resistencia al esfuerzo cortante aún en condiciones en que el esfuerzo normal exterior es nulo. A este tipo de materiales Coulomb les asignó arbitrariamente otra fuente de resistencia al corte, a la cual llamó cohesión y la consideró también una constante de los materiales.

Según Coulomb, los suelos presentan características mixtas entre las antes mencionadas; es decir, presentan, a la vez cohesión y fricción interna, por lo que puede asignárseles una ley de resistencia que sea una combinación de las anteriormente mencionadas. Esta ecuación, es conocida en mecánica de suelos con el nombre de Ley de Coulomb y se escribe de la siguiente manera:

$$S = c + N \tan \phi.$$

En donde:

S = resistencia al esfuerzo cortante.

c = cohesión.

N = esfuerzo normal.

$\phi$  = ángulo de fricción interna.

### *Prueba de compresión triaxial.*

Esta prueba se realiza con el propósito de determinar las características de esfuerzo-deformación y resistencia de los suelos sujetos a esfuerzos cortantes, mediante dicha prueba se consigue reducir el problema tridimensional a un problema plano en el que se aplican dos esfuerzos normales en direcciones respectivamente perpendiculares, sin producir concentraciones de esfuerzos en la zona de ruptura.

Esta prueba se lleva a efecto en la cámara de compresión triaxial en la que pueden regularse tanto los esfuerzos normales como el grado de saturación, el grado de consolidación y la velocidad de deformación en una dirección. También puede medirse la presión neutral o presión de poro que es la del fluido que ocupa los espacios intergranulares.

A continuación se describen en forma breve las diferentes pruebas de compresión triaxial.

### *Prueba lenta ( Consolidada – Drenada, CD ).*

Los esfuerzos aplicados en esta prueba son efectivos. En la primera etapa se sujeta al suelo a una presión hidrostática (  $\sigma_c$  ), permaneciendo abierta la válvula de drenaje durante toda la prueba y dejando transcurrir el tiempo necesario para que la muestra se consolide bajo la presión actuante. Cuando el equilibrio estático interno se haya restablecido, todas las fuerzas exteriores las tomarán las partículas sólidas del suelo, o sea, se producen esfuerzos efectivos, en tanto que las presiones neutrales en el agua corresponden a la condición hidrostática.

En la segunda etapa se comienza a aplicar carga axial incrementándose gradualmente hasta que la muestra falle. Cada incremento se mantiene el tiempo necesario para que las presiones en el agua en exceso de la hidrostática se disipen completamente.

### *Prueba rápida – consolidada ( Consolidada – no drenada, CU ).*

Durante la primera etapa la muestra se consolida, en primer término, por efecto de la presión hidrostática (  $\sigma_c$  ) manteniéndose la válvula de drenaje abierta, hasta que el esfuerzo (  $\sigma_c$  ) llegue a ser efectivo actuando sobre las partículas sólidas del suelo. En



seguida se hace fallar la muestra con un rápido incremento de carga axial de modo que no haya lugar a un cambio de volumen. No debe permitirse ninguna consolidación adicional durante la aplicación de la carga axial, por lo que la válvula de drenaje debe cerrarse. Aunque una vez cerrada la válvula de salida del agua de las piedras porosas a la bureta, la carga axial puede ser a una velocidad cualquiera, dicha velocidad si influye en la resistencia del suelo pese a ya no existir drenaje.

#### *Prueba rápida (No consolidada – No drenada, UU).*

Esta prueba se lleva acabo con la válvula de drenaje cerrada en ambas etapas, por lo que, en ningún momento, la muestra del suelo puede consolidarse. Durante la primera etapa la muestra se sujeta a la presión hidrostática del agua de la cámara e inmediatamente el suelo se lleva a la falla con la aplicación de la carga axial, completándose con ello la segunda etapa de la prueba.

En esta prueba los esfuerzos efectivos al igual que su distribución no se determinan con exactitud.

Durante las pruebas se obtienen los datos necesarios para estimar la deformación axial, la carga vertical, la velocidad de deformación y de acuerdo al tipo de prueba la presión de poro, el volumen de agua drenada y el tiempo empleado en el ensaye.

Con los datos obtenidos de varias pruebas con especímenes de una misma muestra se puede calcular la envolvente de resistencia correspondiente.

#### *Registros de laboratorio.*

En los registros de laboratorio se deberá de presentar la información obtenida mediante la clasificación visual y al tacto, en los mismos registros se deberán anotar todos los datos referentes a cada uno de los estratos por clasificar, tales como el numero de muestra, su elevación , su contenido de agua natural expresado en porcentaje, y en su caso el contenido natural de arena y grava; así mismo se deberá expresar su plasticidad, su resistencia en estado seco, la movilidad del agua en el material, también se harán anotaciones referentes a su color y a los valores de la resistencia al corte.

### 2.2.3 Clasificación del suelo.

En su origen todos los suelos son producto de la alteración química o desintegración mecánica de un macizo rocoso, el cual a sido expuesto a los procesos de intemperismo. Posteriormente los componentes del suelo pueden ser modificados por los medios de transporte, como el agua, el viento, el hielo y también por la inclusión o descomposición de

materia orgánica, en consecuencia, los depósitos del suelo pueden ser conferidos a una clasificación geológica, al igual que una clasificación de elementos constitutivos.

Existen varios sistemas de clasificación de suelos, algunos están basados en criterios de granulometría la cual sería una clasificación descriptiva utilizando las curvas granulométricas, sin embargo los que para aspectos ingenieriles nos servirán serán las clasificaciones basadas en propiedades mecánicas, ya que la clasificación de criterios granulométricos nos pueden identificar algún material como 100% arcilla de acuerdo a su tamaño a pesar de que no presente ninguna de las propiedades mecánicas que definen el comportamiento de este material.

#### *Clasificación de suelos basada en sus propiedades mecánicas.*

##### Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. (S.U.C.S.)

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos se basa en el reconocimiento del tipo y predominio de los constituyentes, considerando tamaños de grano, graduación, plasticidad y compresibilidad.

Esta clasificación divide a los suelos en tres grupos principales: suelos gruesos, suelos finos y suelos de alto contenido de materia orgánica (turba). En el campo, su identificación se lleva a cabo por medio de inspección visual para los granos gruesos y por medio de pruebas manuales sencillas para la parte fina de los suelos o para los suelos finos. En el laboratorio, se emplea la curva granulométrica y los límites de Atterberg. Los suelos turbosos (T) son identificados por su color, olor, sensación esponjosa y textura fibrosa.

# CLASIFICACIÓN DE SUELOS BASADA EN SUS PROPIEDADES MECÁNICAS

## SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACIÓN EN EL CAMPO (Escribir en las parcelas mayores de 7.6 cm (3") y basando las fracciones en pesos estimados)		SIMBOLOS DEL GRUPO	NOMBRES TÍPICOS	INFORMACIÓN NECESARIA PARA LA DESCRIPCIÓN DE LOS SUELOS	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO						
<b>SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS</b> Más de la mitad del material es retenido en la malla No. 200 (Sus partículas son aproximadamente las más pequeñas variables a simple vista)	<b>GRAVAS</b> Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida en la malla No. 4 (Para clasificación usual puede usarse 1/2 cm como equivalente a la abertura de la malla No. 4)	<b>GRAVAS CON FINES</b> (Cantidad apreciable de partículas finas) GW GP GM GC	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, con poco o nada de finos Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena, con poco o nada de finos Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo Gravas arcillosas mezclas de grava arena y arcilla	Dese el nombre típico, indiquense los porcentajes aproximados de grava y arena, tamaño máximo, angulosidad, características de la superficie y dureza de las partículas gruesas; nombre local y geológico, cualquier otra información descriptiva pertinente y el símbolo entre parentesis Para suelos alterados agregue información sobre estratificación, compactación, cementación, condiciones de humedad y características de drenaje	Coeficiente de uniformidad (Cu), Coeficiente de curvatura (Cc), $Cu = D_{60}/D_{10}$ , mayor de 4, $Cc = (D_{30})^2/(D_{10} \times D_{60})$ , entre 1 y 3 No satisfacen todos los requisitos de graduación para GW						
	<b>ARENAS</b> Más de la mitad de la fracción gruesa pasa la malla No. 4 (Para clasificación usual puede usarse 1/2 cm como equivalente a la abertura de la malla No. 4)	<b>ARENAS CON FINES</b> (Cantidad apreciable de partículas finas) SW SP SM SC	Arenas bien graduadas, arenas con grava, con poco o nada de finos Arenas mal graduadas, arenas con grava, con poco o nada de finos Arenas limosas, mezclas de arena y limo Arenas arcillosas, mezclas arena y arcilla			Para suelos no alterados agregue información sobre estratificación, compactación, cementación, condiciones de humedad y características de drenaje EJEMPLO: Arena limosa con grava, como un 20% de grava de partículas duras, angulosas y de 15 cm de tamaño máximo, arena gruesa a fina de partículas redondeadas o subangulosas, alrededor de 15% de finos en plásticos de baja resistencia en estado seco, compactada y húmeda en el lugar, arena arcillosa (SM)	Límites de plasticidad debajo de la Línea "A" ó 1p menor que 4 Límites de plasticidad arriba de la Línea "A" ó 1p mayor que 7 Arriba de la Línea "A" y con 1p entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles Cu = $D_{60}/D_{10}$ , mayor de 6 Cc = $(D_{30})^2/(D_{10} \times D_{60})$ , entre 1 y 3 No satisfacen todos los requisitos de graduación para SW Límites de plasticidad debajo de la Línea "A" ó 1p menor que 4 Límites de plasticidad arriba de la Línea "A" ó 1p mayor que 7 Arriba de la Línea "A" y con 1p entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles				
	<b>PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACIÓN EN LA FRACCIÓN QUE PASA LA MALLA No. 40</b>		<b>RESISTENCIA EN ESTADO SECO</b> (Características al rompimiento) Nula a ligera Media a alta Ligera a media					<b>DILATANCIA</b> (Reacción al apriado) Rápida a lenta Nula a muy lenta Lenta	<b>TENACIDAD</b> (Consistencia cerca del límite plástico) Nula Media Ligera	Dese el nombre típico, indiquense el grado y carácter de plasticidad, cantidad y tamaño máximo de las partículas gruesas; color del suelo húmedo, nombre local y geológico, cualquier otra información descriptiva pertinente y el símbolo entre parentesis Para suelos no alterados agregue información sobre la estructura, estratificación, consistencia tanto del estado alterado como remediado, condiciones de humedad y drenaje	
	<b>PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACIÓN EN LA FRACCIÓN QUE PASA LA MALLA No. 200</b>		<b>RESISTENCIA EN ESTADO SECO</b> (Características al rompimiento) Nula a ligera Media a alta Ligera a media					<b>DILATANCIA</b> (Reacción al apriado) Rápida a lenta Nula a muy lenta Lenta	<b>TENACIDAD</b> (Consistencia cerca del límite plástico) Nula Media Ligera		Dese el nombre típico, indiquense el grado y carácter de plasticidad, cantidad y tamaño máximo de las partículas gruesas; color del suelo húmedo, nombre local y geológico, cualquier otra información descriptiva pertinente y el símbolo entre parentesis Para suelos no alterados agregue información sobre la estructura, estratificación, consistencia tanto del estado alterado como remediado, condiciones de humedad y drenaje
	<b>LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido mayor de 50</b>	<b>RESISTENCIA EN ESTADO SECO</b> (Características al rompimiento) Nula a ligera Media a alta Ligera a media	<b>DILATANCIA</b> (Reacción al apriado) Rápida a lenta Nula a muy lenta Lenta					<b>TENACIDAD</b> (Consistencia cerca del límite plástico) Nula Media Ligera	Dese el nombre típico, indiquense el grado y carácter de plasticidad, cantidad y tamaño máximo de las partículas gruesas; color del suelo húmedo, nombre local y geológico, cualquier otra información descriptiva pertinente y el símbolo entre parentesis Para suelos no alterados agregue información sobre la estructura, estratificación, consistencia tanto del estado alterado como remediado, condiciones de humedad y drenaje		
	<b>LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido menor de 50</b>	<b>RESISTENCIA EN ESTADO SECO</b> (Características al rompimiento) Nula a ligera Media a alta Ligera a media	<b>DILATANCIA</b> (Reacción al apriado) Rápida a lenta Nula a muy lenta Lenta					<b>TENACIDAD</b> (Consistencia cerca del límite plástico) Nula Media Ligera			
	<b>LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido mayor de 50</b>	<b>RESISTENCIA EN ESTADO SECO</b> (Características al rompimiento) Nula a ligera Media a alta Ligera a media	<b>DILATANCIA</b> (Reacción al apriado) Rápida a lenta Nula a muy lenta Lenta	<b>TENACIDAD</b> (Consistencia cerca del límite plástico) Nula Media Ligera	Dese el nombre típico, indiquense el grado y carácter de plasticidad, cantidad y tamaño máximo de las partículas gruesas; color del suelo húmedo, nombre local y geológico, cualquier otra información descriptiva pertinente y el símbolo entre parentesis Para suelos no alterados agregue información sobre la estructura, estratificación, consistencia tanto del estado alterado como remediado, condiciones de humedad y drenaje						
	<b>LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido menor de 50</b>	<b>RESISTENCIA EN ESTADO SECO</b> (Características al rompimiento) Nula a ligera Media a alta Ligera a media	<b>DILATANCIA</b> (Reacción al apriado) Rápida a lenta Nula a muy lenta Lenta	<b>TENACIDAD</b> (Consistencia cerca del límite plástico) Nula Media Ligera		Dese el nombre típico, indiquense el grado y carácter de plasticidad, cantidad y tamaño máximo de las partículas gruesas; color del suelo húmedo, nombre local y geológico, cualquier otra información descriptiva pertinente y el símbolo entre parentesis Para suelos no alterados agregue información sobre la estructura, estratificación, consistencia tanto del estado alterado como remediado, condiciones de humedad y drenaje					
	<b>SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS</b>	Fácilmente identificables por su color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa	PI	Turba y otros suelos altamente orgánicos			EJEMPLO: Limo arcilloso, café, ligeramente plástico, porcentaje reducido de arena fina, numerosos agujeros verticales de raíces, firme y seca en el lugar (loess), (ML)	Use la curva granulométrica para identificar las fracciones en las fracciones en la columna de identificación en el campo Determine los porcentajes de grava y arena de la curva granulométrica Dependencia del porcentaje de finos (fracción que pasa la malla No. 200) los suelos gruesos se clasifican como sigue: Mas de 20% GP Mas de 12% GW Mas de 5% SW Mas de 5% a 12% Casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles			
	<b>EQUIVALENCIA DE SIMBOLOS</b> G - Grava M - Limo O - Suelo orgánico W - Bien graduada L - Baja compresibilidad S - Arena C - Arcilla Pt - Turba P - Mal graduada H - Alta compresibilidad						COMPARANDO SUELOS A IGUAL LIMITE LIQUIDO LA TENACIDAD Y LA RESISTENCIA EN ESTADO SECO AUMENTAN CON EL INDICE PLASTICO CARTA DE PLASTICIDAD PARA CLASIFICACION DE SUELOS DE PARTICULAS FINAS EN EL LABORATORIO				

## 2.2.4 Estratigrafía.

Con base en la información de los registros de campo y de laboratorio, se elabora un perfil estratigráfico de cada uno de los sondeos, en los cuales se muestran las fronteras de los diferentes estratos que constituyen el subsuelo, pudiéndolos identificar por medio de la simbología mostrada en la Fig. 2.3. Además, deberá graficarse en este perfil la resistencia a la penetración estándar, el contenido de agua natural, y la resistencia al esfuerzo cortante, también se anotarán fecha de ejecución del sondeo, tipo de herramienta utilizada en la extracción de cada muestra, la elevación del brocal del sondeo y la profundidad del nivel de aguas freáticas. (Fig. 2.4)

La información antes descrita se presentará en un registro en el que se muestran los resultados ya mencionados, en función de la profundidad.

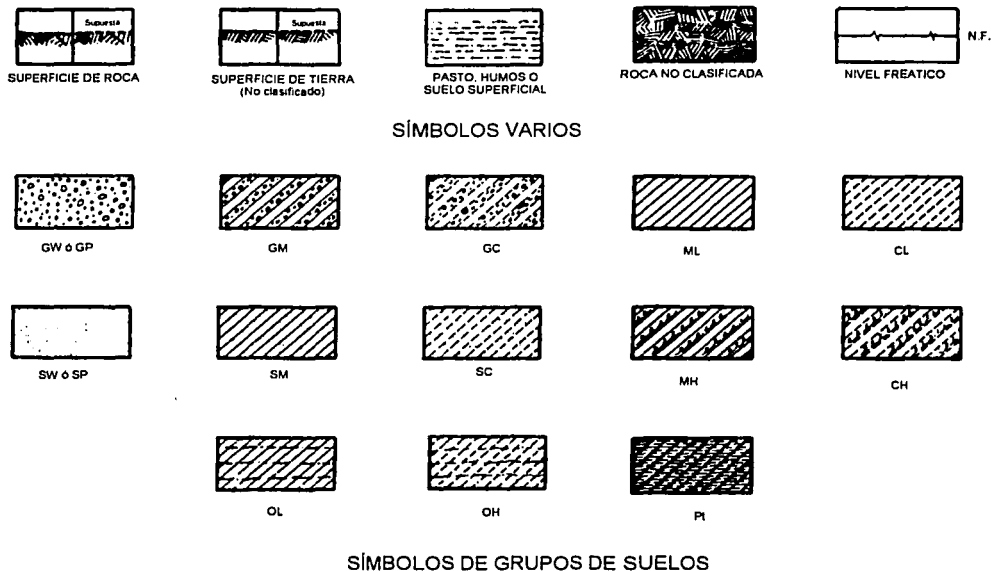
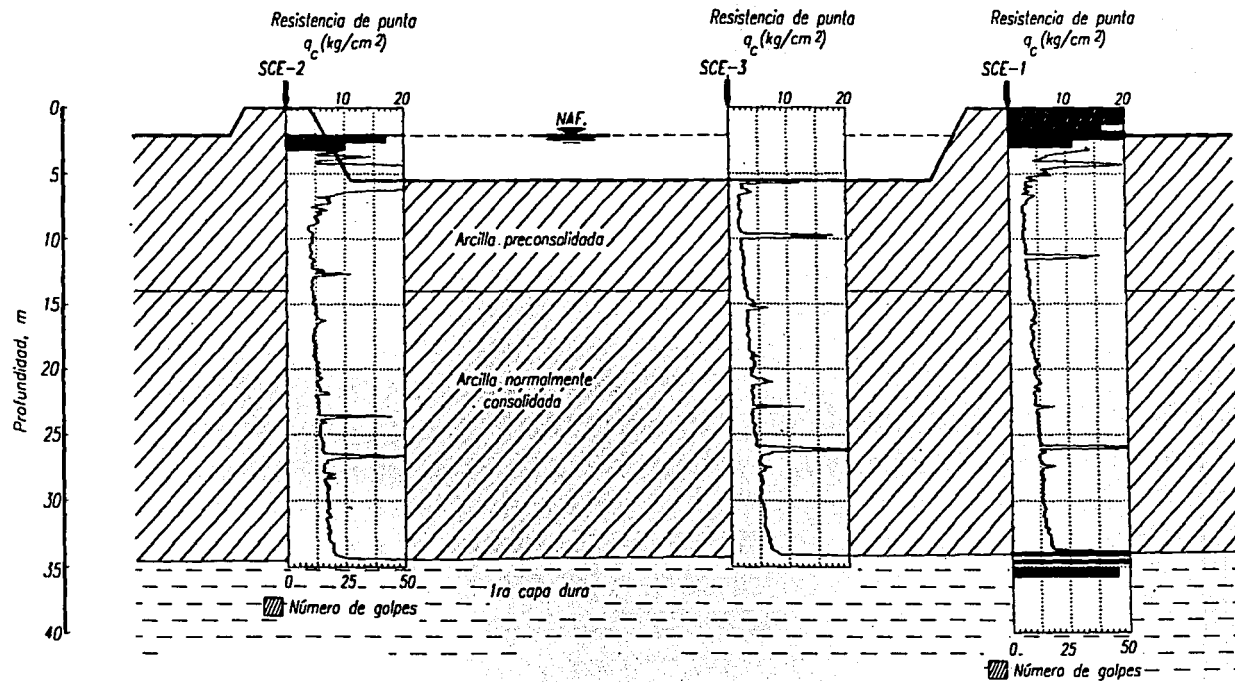


Fig. 2.3 Simbología de los diferentes tipos de suelo.

## 2.3 Estabilidad del frente del túnel.

Hace algunos años, los ingenieros mineros o civiles especialistas en túneles tomaban decisiones relativas al procedimiento de construcción basándose en sus experiencias y en el reconocimiento visual del frente después de haber empezado la excavación, observando la estabilidad del túnel en función del aspecto de la roca o suelo del



**SIMBOLOGÍA**

NAF Nivel de aguas freáticas

SCE Sonda de cono eléctrico

Fig. 2.4 Perfil estratigráfico.

27

frente de excavación, así como de los desplazamientos observados y de la magnitud de los asentamientos inducidos en la superficie del terreno; la información geológica servía como un indicador, donde el proceso de construcción quedaba expuesto a frecuentes modificaciones y la capacidad de improvisación y la experiencia práctica del ingeniero eran las únicas bases para resolver problemas de diseño y construcción. Esta experiencia empírica era difícil de extrapolar a otras condiciones geológicas, sin embargo ha sido la base para el desarrollo de los criterios de diseño y construcción actuales, que se auxilian además, del conocimiento de la estructura geológica y las propiedades mecánicas de los suelos y de las rocas, así como de la correlación entre estas propiedades y el comportamiento observado en túneles durante la construcción y después de concluida.

Los criterios más recientes incluyen investigaciones con modelos de elementos finitos, sin embargo la estabilidad del frente de excavación es un problema tridimensional cuya solución práctica se facilita con la ayuda de un modelo mecánico simple, el cual se describirá a continuación.

Cabe mencionar que los criterios de análisis y diseño así como los mecanismos de falla que se explican a continuación están referidos a la construcción de un túnel "normal" en el caso de las técnicas de microtuneleo para instalación de tuberías casi nunca se darían estas fallas a reserva de algún caso en especial donde se presente en el frente de excavación algún tipo de falla por no haber una coordinación entre la excavación y el avance de la máquina, por ejemplo donde se estuviera excavando sin un avance aparente donde el volumen de material excavado fuese mayor que el que corresponde al avance logrado provocándose una sobreexcavación en el frente de ataque induciendo deformaciones en suelo aledaño, si la resistencia de dicho suelo no soporta tales deformaciones se pudiera causar la falla del frente de excavación o bien cuando en el frente de excavación se encontrara algún material licuado por alguna fuga de agua en la periferia y al retirar dicho material producto de la excavación, el mismo microtúnel sirviera como un dren de este material licuado, de no existir estos casos extremos no se presentarían este tipo de fallas, ya que el principal motivo de éstas es el de dejar sin soporte alguno la clave de la excavación realizada, en el caso de las técnicas de microtuneleo no existen zonas excavadas sin soporte alguno.

### *Criterios de análisis y diseño.*

El método de análisis de la estabilidad del frente de un túnel que se explica a continuación está basado en un mecanismo de falla simplificado obtenido a partir de la observación y estudio de fallas ocurridas en la práctica, así como en modelos de laboratorio. El análisis de este mecanismo facilita la comprensión y evaluación de los factores que intervienen en el equilibrio de la masa de suelo circundante al túnel bajo los esfuerzos inducidos por la cavidad que deja la excavación.

El análisis del equilibrio del mecanismo propuesto permite establecer una ecuación general de estabilidad para calcular el factor de seguridad contra colapso del frente, en función de diversos factores, como son:

- La profundidad de la clave del túnel (  $H$  )
- El ancho y la altura de la sección excavada (  $D$  y  $A$  )
- La longitud de avance sin apoyo temporal (  $a$  ) (en el caso del microtúnel es casi nula)
- El peso volumétrico y parámetros de resistencia al corte del suelo (  $\gamma$  ,  $c$  y  $\phi$  )

Dicha ecuación general de estabilidad se presenta más adelante.

#### Descripción del mecanismo de falla.

Antes de la construcción de un túnel existe en el subsuelo un estado inicial de esfuerzos naturales en equilibrio, el cual se altera al hacer la excavación, generándose un nuevo estado de esfuerzos y deformaciones en la masa de suelo que rodea al frente y a la periferia de la cavidad. Si el suelo no es capaz de soportar estos nuevos esfuerzos se produce el colapso del frente, que puede propagarse hasta la superficie del terreno, dando lugar a un hundimiento como el que se ilustra en la Fig. 2.5

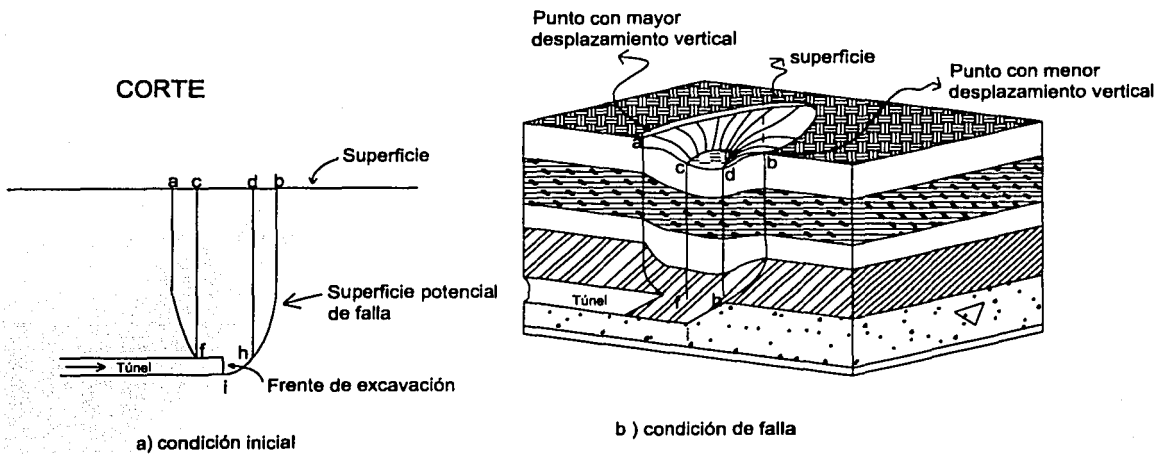


Fig. 2.5 Falla de frente del túnel.

En la masa de suelo afectada por el colapso del frente del túnel se distinguen tres zonas con diferentes patrones de deformación: al centro queda un prisma de suelo (cdhf) que cae verticalmente sin sufrir deformaciones importantes, como si fuera un cuerpo rígido; alrededor de este prisma deslizante central se desarrolla otra zona (acf y bdh) en la que el suelo muestra grandes deformaciones angulares, indicando con ello que los

desplazamientos de esa zona son producidos por esfuerzos cortantes verticales. Bajo la base del prisma central se forma otra zona, identificada con las letras (fhi) en la que el suelo que se encuentra detrás del plano vertical del frente sufre desplazamientos verticales y horizontales por esfuerzos cortantes que distorsionan completamente su estructura original.

## 2.4 Deformaciones y cambios de esfuerzos inducidos por la excavación.

Al realizar la excavación de un túnel de cualquier dimensión y profundidad, se estará provocando en la masa de suelo un cambio en el estado de esfuerzos.

La redistribución de esfuerzos debido a las deformaciones del suelo, provocadas por la excavación, se pueden presentar en forma más crítica en el frente de ataque.

Las condiciones iniciales del estado de esfuerzos de un punto por el que más tarde se excavará son el esfuerzo vertical promedio inicial, y el esfuerzo horizontal promedio inicial. Al llegar la excavación a esta sección se generan deformaciones y un nuevo estado de esfuerzos en la masa de suelo que envuelve al frente y a la periferia de la cavidad. Si el suelo no resiste a esta nueva condición de esfuerzos, se provocará la falla del frente.

La falla del frente puede transmitirse hasta la superficie provocando hundimientos, afectando a otras estructuras que se apoyan en esa masa de suelo.

El menor o mayor grado del estado de desequilibrio dependerá de las características mecánicas que observe el suelo durante su excavación, así como el tipo de máquina utilizada y del mismo procedimiento constructivo.

Para analizar el equilibrio de la masa de suelo que rodea al frente del túnel se utiliza el mecanismo simplificado de falla, el que refleja los patrones de deformación de cada una de las zonas del suelo afectadas por la excavación.

### *Mecanismo de falla simplificado.*

Observando los patrones de deformación de la Fig. 2.5 se puede analizar el equilibrio de la masa del suelo que rodea el frente de excavación del túnel, antes de la falla mediante el mecanismo simplificado que se muestra en la Fig. 2.6 el cual esta formado por tres prismas:

- Prisma 1: Se forma adelante del frente de excavación y tiene la forma triangular de una cuña de Coulumb.
- Prisma 2: Es rectangular y se apoya sobre la cuña del frente .
- Prisma 3: Es rectangular y se localiza en la clave de la zona excavada sin soporte.

Las dimensiones de estos prismas están condicionadas por la geometría del túnel, las propiedades mecánicas del suelo y la longitud excavada sin soporte.



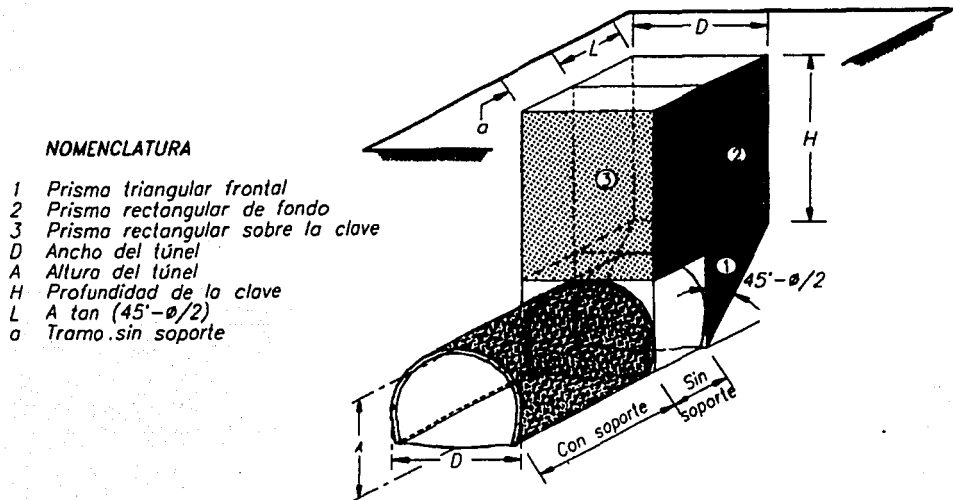


Fig. 2.6 Mecanismo de falla.

En el equilibrio de este mecanismo de falla intervienen las fuerzas actuantes y las fuerzas resistentes.

- a) **Fuerzas actuantes:** Estas fuerzas son producidas por los pesos de los prismas que tienden a producir el movimiento descendente del conjunto, cuya magnitud se determina fácilmente en función del volumen de los prismas y el peso volumétrico del suelo. Por otra parte, las fuerzas externas que pueden o no estar presentes, como la sobre carga superficial producida por el peso de estructuras existentes en la superficie del terreno o por el tránsito de vehículos o maquinaria de construcción, así como las presiones interiores ejercidas sobre el frente y la clave, aplicadas por aire comprimido o por escudos de frente presurizado.
- b) **Fuerzas resistentes:** Son derivadas de la resistencia del suelo al esfuerzo cortante y se desarrollan en las caras de los prismas rectangulares y el prisma triangular al desplazarse éstos hacia abajo. Su magnitud depende en el caso más general, de la cohesión y ángulo de fricción del suelo, así como de la intensidad y distribución de los esfuerzos de compresión horizontales que actúan sobre las caras de los prismas, inducidos en la masa del suelo que rodea a la cavidad al hacer la excavación.

La tecnología del microtúnel ha resuelto en buena medida el problema de inestabilidad durante y posteriormente al proceso de construcción, debido a que los procesos sincronizados de excavación con los métodos de microtuneleo se llevan a cabo prácticamente sin enterar a la masa subterránea de algún cambio de esfuerzos, ya que los procesos de excavación, rezaga e hincado son casi simultáneos.

*Factor de seguridad del frente de excavación.*

La estabilidad del mecanismo de falla del frente que muestra la figura 2.6 se analiza estableciendo la relación entre las fuerzas actuantes y resistentes que se desarrollan en el frente de excavación. En la Fig. 2.7 se muestra una sección longitudinal del túnel con el conjunto de prismas que integran el mecanismo de falla y todas las fuerzas que pueden intervenir en su equilibrio.

El factor de seguridad se expresa como la relación entre las sumas de los momentos de las fuerzas resistentes y de los momentos de las fuerzas actuantes, tomados respecto a un eje horizontal que pasa por el punto 0 y es perpendicular al eje del túnel; así se tiene:

$$FS = \Sigma M_r / \Sigma M_a$$

Donde: FS = Factor de seguridad.  
 $\Sigma M_r$  = Suma de los momentos de las fuerzas resistentes.  
 $\Sigma M_a$  = Suma de los momentos de las fuerzas actuantes.

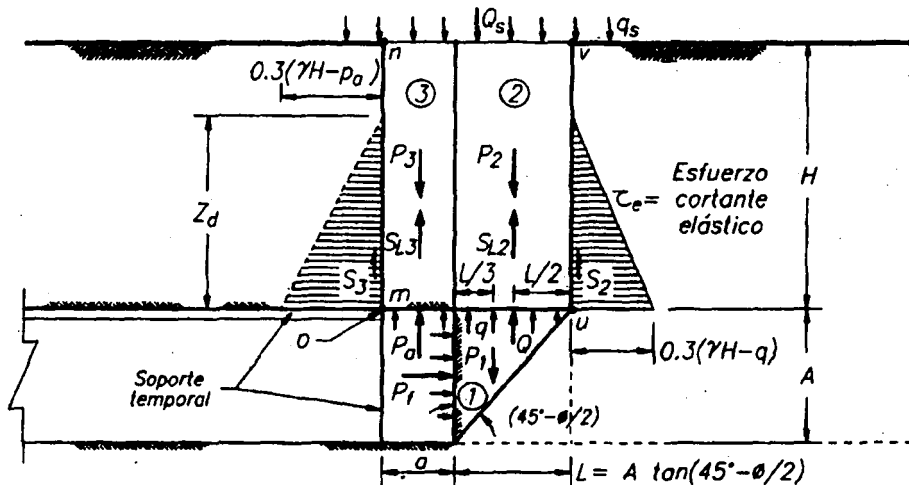


Fig. 2.7 Fuerzas que intervienen en el mecanismo de falla simplificado de equilibrio.

### Sistema de fuerzas.

Fuerzas actuantes ( $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ ,  $Q_s$ ,  $P_a$  y  $P_f$ ). Se deben al peso de los tres prismas que integran el mecanismo de falla, a la sobrecarga superficial, a la presión radial interior y a la presión aplicada al frente. En la siguiente tabla se anotan los valores de las fuerzas y sus momentos respecto del punto 0.

Fuerzas resistentes del suelo ( $S_2$ ,  $2S_{12}$ ,  $S_3$ ,  $2S_{13}$  y  $Q$ ). Son las que se desarrollan en la superficie lateral de los prismas 2 y 3, considerando que la interacción horizontal entre ellos no es significativa. La fuerza resistente  $Q$  es la capacidad de carga del prisma triangular del frente 1; ésta puede estimarse aplicando la solución de Meyerhof (Terzaghi 1942) para la capacidad de carga de una zapata rectangular apoyada en la corona de un talud vertical.

Sistema de fuerzas del mecanismo de falla

	FUERZAS	MOMENTOS	ACLARACIONES
ACTUANTES	$P_1 = 1/2 \gamma ALD$	$M_1 = 1/2 \gamma ALD (a + L / 3)$	$P_1$ peso del prisma triangular 1
	$P_2 = \gamma LDH$	$M_2 = \gamma LDH (a + L / 2)$	$P_2$ peso del prisma rectangular 2
	$P_3 = \gamma a DH$	$M_3 = 1/2 g Dha^2$	$P_3$ peso del prisma rectangular 3
	$Q = q_s (a + L)D$	$M_s = 1/2 q_s D (a + L)^2$	$q_s$ sobrecarga en la superficie
	$P_a = p_a a D$	$M_a = 1/2 p_a D a^2$	$p_a$ presión radial ejercida por el soporte temporal o un fluido a presión
	$P_f = p_f A D$	$M_f = 1/2 p_f D A^2$	$p_f$ presión horizontal que actúa sobre el frente de la excavación.
RESISTENTES	$S_2 = s_{m2} Z_d D$	$M_{s2} = s_{m2} Z_d D(a + L)$	$s_{m2}$ resistencia media en la cara uv del prisma 2
	$S_{12} = 2s_{m2} Z_d L$	$M_{s12} = 2s_{m2} Z_d L (a + L / 2)$	
	$S_3 = s_{m3} Z_d D$	$M_{s3} = 0$	$s_{m3}$ resistencia media en la cara mn del prisma 3
	$S_{13} = 2s_{m3} Z_d a$	$M_{s13} = s_{m3} Z_d a^2$	
	$Q = (2.7 c (K_p)^{1/2} + p_f K_p) LD$	$M_Q = (2.7 c (K_p)^{1/2} + p_f K_p) LD (a + L/2)$	$q$ capacidad de carga del prisma 1
		$q = 2.7 c (K_p)^{1/2} + p_f K_p$	

### *Ecuación general de la estabilidad.*

La ecuación general de la estabilidad del túnel se obtiene sustituyendo en la expresión  $FS = \Sigma M_r / \Sigma M_n$  los momentos actuantes y resistentes de la tabla anterior quedando de la siguiente manera:

$$FS = \frac{s_{m2} Z_d D (a + L) + 2s_{m2} Z_d L (a + L/2) + s_{m3} Z_d a^2 + (2.7c (K_p)^{1/2} + p_r K_p) LD (a + L/2)}{\frac{1}{2} \gamma ALD (a + L/3) + \gamma LDH (a + L/2) + \frac{1}{2} (\gamma H - p_a) Da^2 + \frac{1}{2} q_s D (a + L)^2 - \frac{1}{2} p_r DA^2}$$

Simplificando y agrupando los términos, el factor de seguridad contra la falla general del frente del túnel queda expresado por la siguiente ecuación:

$$FS_g = \frac{[2s_{m2}[D/L(1 + a/L) + 1 + 2a/L] Z_d/D + 2s_{m3}(a/L)^2 Z_d/D + 2.7c (K_p)^{1/2} (1 + 2a/L) + p_r K_p(1 + 2a/L)]}{[\gamma H [A/H (1/3 + a/L) + (1 + a/L)^2] + q_s (1 + a/L)^2 - p_a (a/L)^2 - p_r K_p]}$$

En esta expresión aparecen en forma explícita los factores que determinan la estabilidad:

- *Características geométricas del túnel*, dadas por la profundidad a la clave, el ancho y la altura de la sección de la excavación (H, D y A).
- *Propiedades del suelo*, definidas por la resistencia al esfuerzo cortante y el peso volumétrico (c,  $\phi$  y  $\gamma$ ).
- *Procedimiento constructivo*, caracterizado por la longitud de avance (a), la presión de apoyo de la clave proporcionada por un escudo o soporte ( $p_a$ ), y en su caso, la presión de estabilización del frente ( $p_r$ ).
- *Magnitud de sobrecargas en la superficie* ( $q_s$ ).

## 2.5 Hundimientos, desplazamientos y otras afectaciones a estructuras vecinas.

La excavación de un túnel, genera una disminución de los esfuerzos radiales naturales en la masa de suelo, provocando desplazamientos radiales hacia su interior, que se traducen en asentamientos de la superficie del terreno.

La estimación, magnitud y distribución de los asentamientos es de gran importancia en los túneles urbanos, para diseñar un procedimiento constructivo que reduzca al mínimo la posibilidad de dañar edificios e instalaciones de servicio existentes (tuberías de agua y drenaje, gasoductos, entre otras.)

A continuación se describe un procedimiento simplificado de cálculo para evaluar el asentamiento máximo de la superficie, el cual tiene tres componentes principales:

- Desplazamiento del suelo del frente debido a la disminución de esfuerzos inducida por la excavación, ( $u_i$ .)
- Convergencia de las paredes del túnel para llenar el espacio anular (holgura) entre el suelo y el revestimiento, ( $u_h$ .)
- Desplazamiento del revestimiento por flexión y por asentamiento de las zapatas de apoyo en túneles revestidos de concreto lanzado, ( $u_r$ .)

El Dr. Romo (1985) presenta un procedimiento de análisis riguroso que incluye el asentamiento inducido por la consolidación de un anillo de arcilla sensitiva que rodea al túnel, remodelada durante la excavación.

En la Fig. 2.8 se presenta esquemáticamente la configuración de asentamientos superficiales observados durante la construcción de túneles en suelos de la ciudad de México (Rendón, 1982).

En la dirección longitudinal (Fig. 2.8 b) el efecto de la excavación se manifiesta adelante del frente a partir de un punto A, localizado a una distancia aproximadamente igual a la profundidad al eje del túnel  $H_0$ . En un punto O localizado sobre la vertical que pasa por el frente se produce el asentamiento  $\lambda_0$ , que es de un 20% a 40% del valor total  $\lambda_m$  (Rendón, 1982); éste último se presenta a una distancia de 5 a 7 diámetros hacia atrás del frente de excavación (punto P de la Fig. 2.8 b). la magnitud de  $\lambda_0$  depende principalmente del decremento de los esfuerzos por descarga inducidos al avanzar la excavación del frente, lo que constituye un caso de equilibrio tridimensional; por su parte  $\lambda_m$  se debe, además, a la interacción suelo - revestimiento, fenómeno bidimensional. La curva de asentamientos muestra la transición entre ambos tipos de comportamiento.

Cabe señalar que el asentamiento sobre el frente  $\lambda_0$  tiene poca importancia desde un punto de vista práctico, ya que ocurre de manera transitoria hacia el valor final  $\lambda_m$ .

La configuración transversal de los asentamientos (Fig. 2.8 a) es una curva simétrica que se extiende a ambos lados del eje del túnel, hasta una distancia aproximada de  $H + D/2$  (Peck, 1969; Moreno y Schmitter, 1981 y Reséndiz y Romo, 1981); el valor máximo  $\lambda_m$  se presenta en la vertical que pasa por el centro del túnel, aunque eventualmente puede quedar desplazado hacia algún lado del eje, a causa de la heterogeneidad del suelo.

En el caso de túneles excavados en arcilla los asentamientos superficiales descritos pueden incrementarse con el tiempo por efecto de la preconsolidación de los suelos circundantes remodelados durante la excavación (Romo, 1985), o por abatimiento de presiones en el agua del suelo causado por infiltración hacia el interior del túnel.

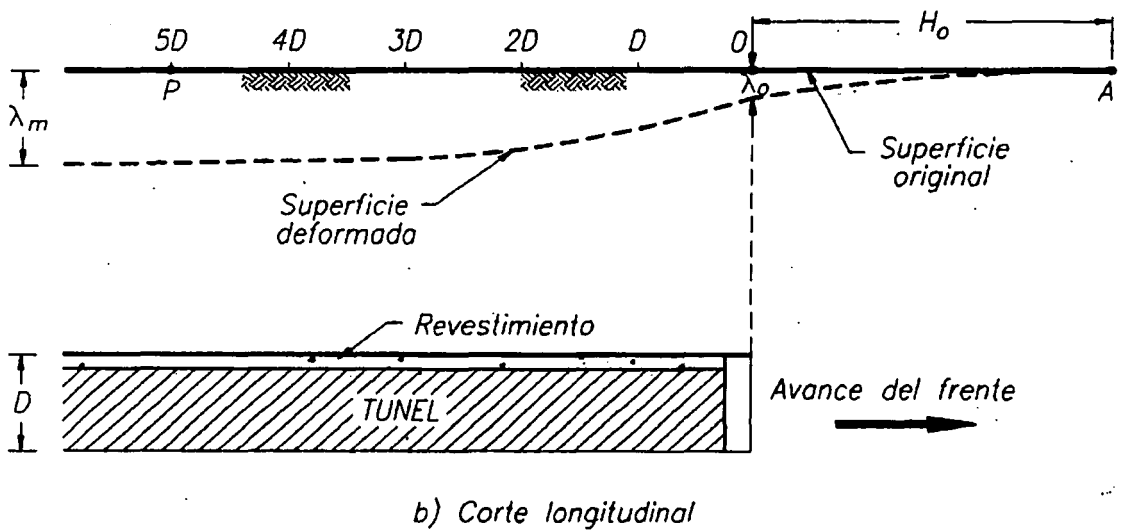
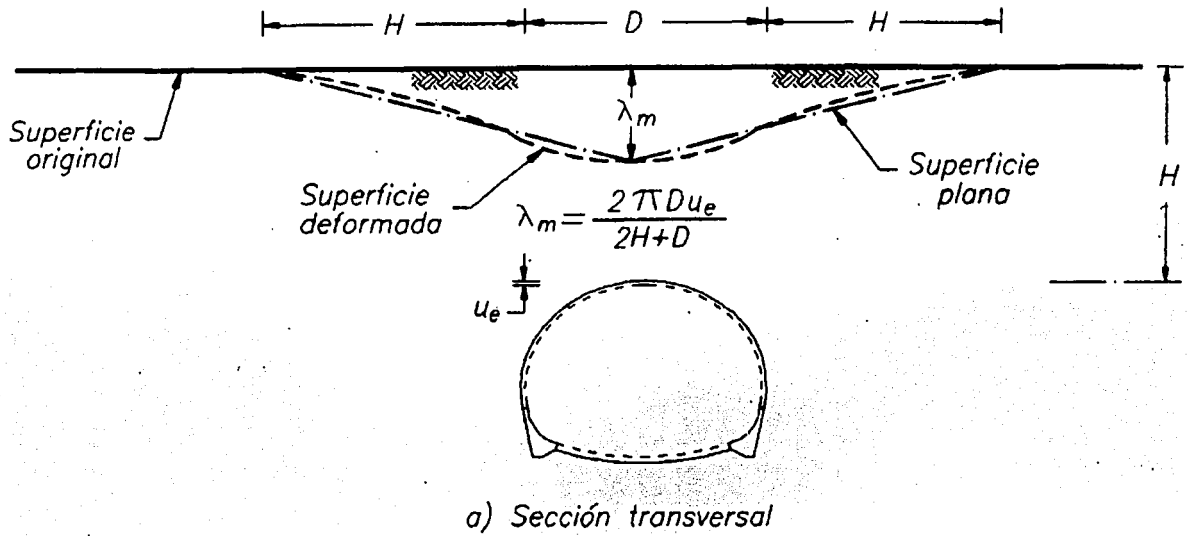


Fig. 2.8 Asentamiento de la superficie producido por la construcción del túnel.

*Estimación del asentamiento máximo.*

Numerosas mediciones indican que el asentamiento asociado a la construcción puede estimarse igualando el volumen de asentamientos superficiales,  $V_a$ , con el volumen de suelo que se desplaza hacia el interior del túnel,  $V_d$ . Considerando la configuración triangular simplificada de asentamientos que se presenta en la Fig. 2.8 a, se obtiene:

$$V_a = \frac{1}{2} (2H + D) \lambda_m$$

Por otra parte, el volumen del suelo desplazado en la periferia del túnel puede expresarse por:

$$V_d = \pi D u_c$$

Siendo  $u_c$  el desplazamiento radial medio que sufre el suelo y el revestimiento para alcanzar el equilibrio, de acuerdo con el análisis de interacción, incluyendo el desplazamiento por holgura en su caso. Igualando estas ecuaciones y despejando se obtiene:

$$\lambda_m = (2\pi D u_c) / (2H + D)$$

La pendiente media del asentamiento se expresa por:

$$\theta_m = \lambda_m / (H + D/2)$$

La tabla siguiente contiene valores máximos recomendados para  $\lambda_m$  y  $\theta_m$ , mismos que deben verificarse en cada caso particular de acuerdo con la susceptibilidad de las construcciones a los asentamientos diferenciales.

<b>OCUPACIÓN DE LA SUPERFICIE</b>	<b>Suelos plásticos</b>		<b>Suelos frágiles</b>	
	$l_m$ (cm)	$q_m$	$l_m$ (cm)	$q_m$
Construcciones o instalaciones susceptibles al asentamiento diferencial, sobre el eje del túnel.	2 a 4	0.0015	1 a 2	0.0015
Construcciones o instalaciones cercanas al eje del túnel, dentro de la zona de ancho $1.5 (2H + D)$	4 a 8	0.003	2 a 4	0.003
Superficie libre de construcciones o instalaciones dentro de la zona de ancho $1.5 (2H + D)$ sobre el eje del túnel.	20	0.003	<6	0.003

## 2.6 Elección del equipo para el microtuneleo.

El conocimiento del subsuelo juega un papel fundamental en la elección de la máquina excavadora y de sus herramientas de corte.

Conocer las características de los equipos de los diferentes fabricantes, así como la experiencia de éstos en trabajos similares, resulta de gran ayuda.

El diámetro de la máquina es determinado por la sección hidráulica de la tubería, sin embargo, es conveniente homologar los diámetros del proyecto hasta donde sea costeable, para perforar mayores distancias con una misma máquina.

Para elegir entre los diferentes sistemas de microtuneleo que ofrecen los fabricantes, es conveniente revisar los componentes que los conforman y como se adecuan éstos al tipo de terreno por perforar, como son: el tipo de cabeza cortadora, como se proporciona soporte mecánico al frente, el soporte hidrostático, las herramientas de corte, las aberturas de la cabeza cortadora, si cuenta con trituradora integrada o no, las revoluciones por minuto de la cabeza cortadora, el torque de la cabeza cortadora, las direcciones de rotación, el empuje en la transmisión, de que forma regula la presión de lodos en el frente, posibilidad de intercambio de la cabeza cortadora, posibilidades de crecimiento en el diámetro de la máquina, profundidad a la que puede operar, distancias factibles de recorrer entre lumbreras, rendimiento esperado, sistemas de dirección y alineación, sistemas de rezaga, capacidad del sistema de empuje, sistema de lubricación, alcances en el sistema de operación, entre otros.

Por último, es necesario considerar el valor de adquisición o arrendamiento, la vida útil del equipo, la disponibilidad de refacciones, el acceso a servicio y la capacitación que ofrece el fabricante.

En la tabla que se muestra a continuación, se hace referencia a la técnica a utilizar; por ende el quipo requerido en función del diámetro y tipo de suelo.



Tipo de Técnica	Tipo de Suelo				Observaciones
	Gravas	Arenas	Finos de consistencia firme	Finos de consistencia blanda	
<b>Hasta un diámetro de 25 cm.</b>					
Percusión	Requiere ademe.	Requiere ademe bajo el NAF	Sin problema.	Requiere ademe.	La union del segmento debe ser rápida.
Auger	Requiere ademe.	Requiere ademe bajo el NAF	Sin problema.	Requiere ademe.	
Perforación Horizontal	No adecuado.	No adecuado.	Sin problema.	Requiere ademe.	
<b>Hasta un diámetro de 100 cm.</b>					
Hincado de tubería	Adecuado el mismo tubo es ademe.	Adecuado el mismo tubo es ademe.	Adecuado.	Adecuado.	
Auger	Requiere ademe.	No adecuado bajo el NAF	Adecuado.	Requiere ademe.	
Perforación Horizontal	Adecuado.	Adecuado.	Adecuado.	Adecuado.	
Hincado de tubería con escudo	Adecuado.	Adecuado.	Difícil ejecución.	Adecuado.	
Escudo presurizado	Adecuado.	Adecuado.	No adecuado.	Adecuado.	Método costoso.
<b>Mayor a un diámetro de 100 cm.</b>					
Hincado de tubería	Adecuado.	Adecuado.	Adecuado con herramienta de corte.	Adecuado.	
Perforación Horizontal	No adecuado.	No adecuado.		No adecuado.	
Hincado de tubería con escudo	Adecuado.	Adecuado.	Adecuado.	Adecuado.	
Escudo presurizado	Adecuado.	Adecuado.	Adecuado.	Adecuado.	

## **CAPÍTULO 3: PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE LOS SISTEMAS DE MICROTUNELEO.**

El objetivo de este capítulo es el de exponer los diferentes procesos constructivos de varios sistemas de instalación, rehabilitación y reemplazo de tuberías subterráneas con la tecnología del microtuneleo, de acuerdo a diferentes diámetros, tipos de suelo en los que puede trabajar, sus sistemas de alineación y nivelación, sus máximos avances longitudinales y sus restricciones en su caso.

### **3.1 Sistemas de Instalación de tuberías subterráneas.**

Los sistemas de instalación de tuberías subterráneas mediante microtuneleo consisten en la perforación de túneles de pequeño diámetro y de corta longitud, no mayor a 350 m en promedio entre fosas de inicio y de término.

Todo sistema de instalación de tubería subterránea cumple con tres procesos fundamentales, los cuales consisten en la excavación o corte del subsuelo, retiro del material excavado (rezaga) e introducción de la tubería; éste último puede ser por medio de empuje o tracción.

#### *Proceso de excavación o corte del subsuelo.*

El proceso de excavación se realiza mediante una herramienta de corte o penetración, la cual al girar o impactar su masa contra el terreno o por la fuerza del choque de algún fluido de alta presión, abre la oquedad.

Esta herramienta de corte puede ser entre otras; un cortador de disco, una broca aguzada, el bisel de un tubo, el flujo a alta presión, un martillo neumático. El movimiento de dichas herramientas de excavación es producido por diferentes formas de energía como pueden ser: la energía eléctrica, hidráulica, neumática, mecánica, sónica y otras más. La energía eléctrica, hidráulica o mecánica pueden hacer girar a un cortador dentado, desgastando el material; la neumática puede lograr el vaivén de una cabeza cortadora, perforando por impactos; la energía dinámica de un flujo de alta presión puede lograr el corte del terreno a través de chiflones y con energía sónica en forma de vibraciones transmitidas al terreno a través de la tubería de acero durante su penetración, reduce la resistencia al esfuerzo cortante del suelo. También, la energía hidromecánica es utilizada por medio de gatos que producen el empuje necesario para el hincado de tuberías en el terreno.

#### *Proceso de extracción de la rezaga.*

El proceso de extracción de rezaga consiste en conducir el material, que se va cortando hacia el exterior del microtúnel.

En los sistemas de instalación de tubería mediante microtuneleo se distinguen tres tipos de extracción de la rezaga, como son; circulación de flujo de lodos (SLURRY), algún tipo de transportador ya sea helicoidal o mediante bandas y la limpieza posterior a la inserción de la tubería.

El sistema rezagador por flujo de lodos lo forman dos tuberías conectadas a una cámara de mezclado y a un tanque almacenador, así como bombas hidráulicas. Éstas últimas establecen una circulación controlada de lodos a través de los conductos y al pasar por la cámara encauzan el material de corte hacia la superficie.

El transportador helicoidal lo forma un tren de barras con canales espirales; al girarlas desde el exterior conducen el material excavado, retirándolo del pequeño túnel.

En el caso de instalación de tubería con un diámetro mayor, también se utilizan sistemas de extracción mediante bandas y tolvas en carros motrices.

En los sistemas anteriores de extracción de rezaga se lleva simultáneamente al proceso de excavación.

La otra forma empleada para la extracción del material de corte es utilizada en el método de inserción de tuberías mediante empuje donde la única herramienta de corte es el mismo tubo que está siendo instalado, no contando con algún mecanismo mecánico para la extracción del material excavado, por lo que para la extracción de la rezaga se emplea agua o aire a presión o bien manualmente, realizando estos trabajos de limpieza después de la inserción del tramo de tubería.

#### *Proceso de hincado o inserción.*

El empuje de tuberías para su penetración en el subsuelo es un proceso indispensable para la mayoría de los métodos de instalación de tubería mediante microtuneleo, ya que en algunos, la inserción de la tubería se lleva a cabo por tracción.

Durante este proceso, las fuerzas de empuje o tracción deben ser eficientes para vencer a las fuerzas que se oponen al movimiento. (fuerzas cohesivas o friccionantes)

#### *Clasificación de los sistemas de instalación de tuberías subterráneas.*

Esta clasificación representa las técnicas en sus diversos procesos, las cualidades propias de cada etapa (hincado, excavación y extracción de la rezaga), que las hace ser diferentes y aplicables a diferentes tipos de material.

Las diferentes máquinas se han diseñado a partir de las necesidades que se generan al excavar o perforar los diferentes tipos de suelo y el diámetro de la tubería a instalar, así como de la forma de cortar y rezagar el suelo o roca y la manera de llevar en la dirección correcta la máquina de microtuneleo.

No resulta práctico clasificar a las técnicas de excavación de los microtúneles respecto a los materiales en que se van aplicar, aunque cada máquina específica es fabricada para cierto rango de materiales; resulta más práctico clasificar a las técnicas de instalación de tubería mediante el microtuneleo respecto a su proceso de operación, construcción y diámetro de tubería a instalar.

En seguida se enlistan los diferentes sistemas de instalación de tuberías subterráneas mediante la tecnología del microtuneleo:

- Miniescudos.
- Tuneleo a base de hincado hidromecánico de tubería de concreto.
- Perforación Auger.
- Perforación Direccional.
- Perforación Percusiva.
- Hincado de tuberías metálicas.

### 3.1.1 Miniescudos.

El miniescudo es uno de los conceptos más completos y modernos de máquinas excavadoras de túneles de pequeño diámetro implementando diferentes sistemas para realizar los tres procesos principales del microtuneleo que son: excavación, extracción de rezaga e hincado de la tubería.

El rango en cuanto al tamaño de tubería que puede instalar es desde 30 cm a 360 cm de diámetro.

La instalación de tubería por medio de miniescudos utiliza potentes gatos hidráulicos para empujar la tubería detrás de un broquel de tunelización a control remoto llamado miniescudo, simultáneamente se excava por delante de la máquina y los materiales de excavación son bombeados a la superficie por un sistema de suspensión acuosa circulante . Fig. 3.1

Los miniescudos se caracterizan por contar con las siguientes ventajas sobre algunos sistemas de microtunelización:

- la operación de sus funciones a control remoto, donde un solo hombre puede llevar adelante la operación de la máquina; ya que cuenta con sensores y controles electrohidráulicos y electroneumáticos controlados a través de un tablero de mando que normalmente se localiza en la superficie. (Fig. 3.2)
- Las presiones de la tierra en el frente de ataque son compensadas por la máquina eliminando los posibles hundimientos en el suelo.

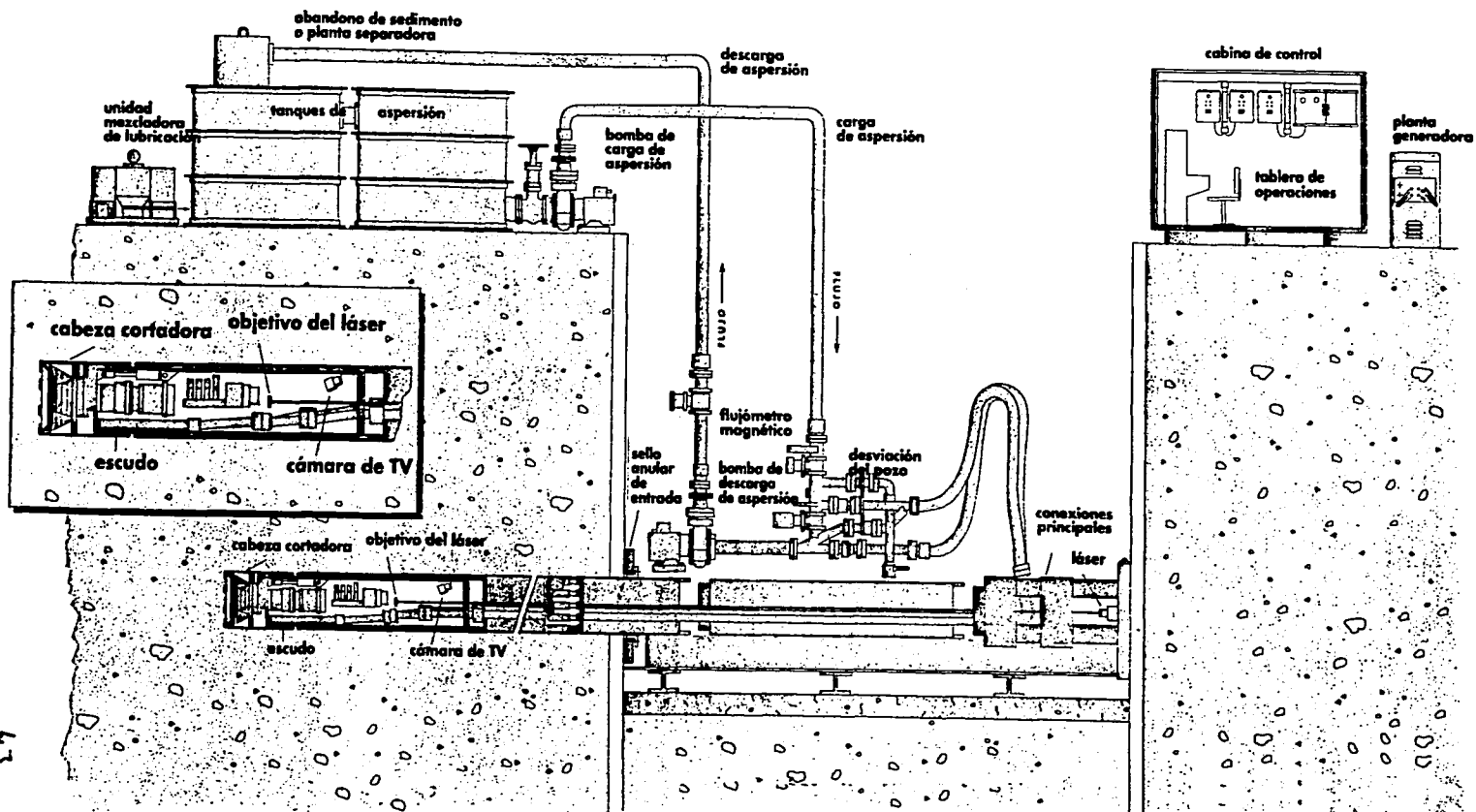


Fig. 3.1 Proceso Constructivo de la instalación de tubería por medio de un Miniescudo.

- Cuando se trabaja por debajo del nivel freático las presiones hidrostáticas son compensadas por la máquina.
- Trabajan casi en todo tipo de suelo.



Fig. 3.2 Cabina de control, desde esta cabina se controla prácticamente todo el sistema.

El sistema de instalación de tuberías mediante los miniescudos, es una técnica que se desarrolla en forma similar a la de los túneles de gran diámetro, donde se abren fosas, (lumbreras) al inicio y al final del túnel, ocupando una reducida área superficial.

La forma de las lumbreras pueden ser circulares, ovaladas, cuadradas o rectangulares, todo en función del proyecto en particular, sin embargo deberán tener una longitud mínima para que quepa en conjunto el sistema de tunelización, específicamente la longitud del equipo de empuje, el muro de empuje, la máquina excavadora y la tubería a instalar entre las dos últimas lo que sea más largo; por otra parte las lumbreras de salida o recepción bastará con que su longitud nos permita la remoción del miniescudo. Fig. 3.3

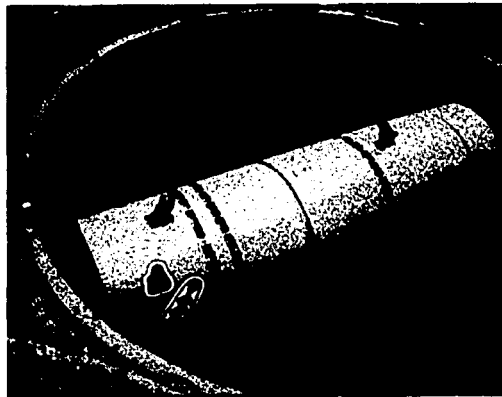


Fig. 3.3 Lumbera circular de empuje.

Después de tener estables las paredes de la lumbrera se colocará una losa de fondo de concreto para la estabilización del fondo y poder tener una superficie alineada para el lanzamiento del miniescudo o bien la recepción del mismo, en el caso de la lumbrera de empuje también será necesario construir un muro para poder transmitir la presión de empuje.

Una vez que se tiene lista la lumbrera se instala todo el equipo el cual consiste en:

- Cabina de control y panel de controles.
- Sistema de empuje (gatos hidráulicos).
- Sistema de lubricación.
- Sistema de suspensión acuosa
- Equipo auxiliar, como son grúas, generadores, camiones para el retiro del material de excavación, entre otros.

Este tipo de sistema debido a su frente de excavación puede trabajar casi en cualquier tipo de material.

El proceso de excavación o corte se realiza con el miniescudo, el cual puede tener diferentes tipos de frente de ataque, dependiendo el tipo de material que se pretenda atacar, este elemento se mueve independientemente del sistema de rezaga.

Una vez que se tiene seleccionado el tipo de frente con el que se trabajará, se procederá a bajar el miniescudo a la lumbrera de empuje, alineándolo perfectamente en la corredera y se procede a conectar todas las mangueras y a realizar una prueba de todo el sistema. Fig. 3.4

El microtúnel comienza con la inserción del miniescudo al terreno hincándolo mediante el sistema de gatos hidráulicos, en dirección a la lumbrera de salida o intermedia. Alimentado el frente de excavación por motores eléctricos o hidráulicos se comienza con la excavación, triturando de ser necesario el material producto de la excavación en el cabezal de la máquina, donde posteriormente pasa a una cámara de solución acuosa donde se mezcla con dicha solución y se manda a la superficie a través de una tubería, durante la excavación se usa un sistema compensador de presión de tierras, eliminando así movimientos bruscos del suelo, por ende los hundimientos diferenciales en la superficie.

Una vez que se encuentra todo el miniescudo incrustado en el terreno, se detiene la excavación, se desconectan los cables y mangueras y se baja el primer tubo a instalar, la tubería se empuja hasta que está en contacto con el miniescudo y se procede a reconectar todos los cables y mangueras, luego ya unidos el miniescudo y la tubería se prosigue con la excavación y simultáneamente se empuja la tubería, al completar el hincado de un tubo se detiene la excavación, se replegan los gatos de empuje y se procede a bajar un nuevo tubo,

esta operación se vuelve sistemática hasta que el miniescudo llega a la lumbrera de salida quedando así instalada la tubería en ese tramo.

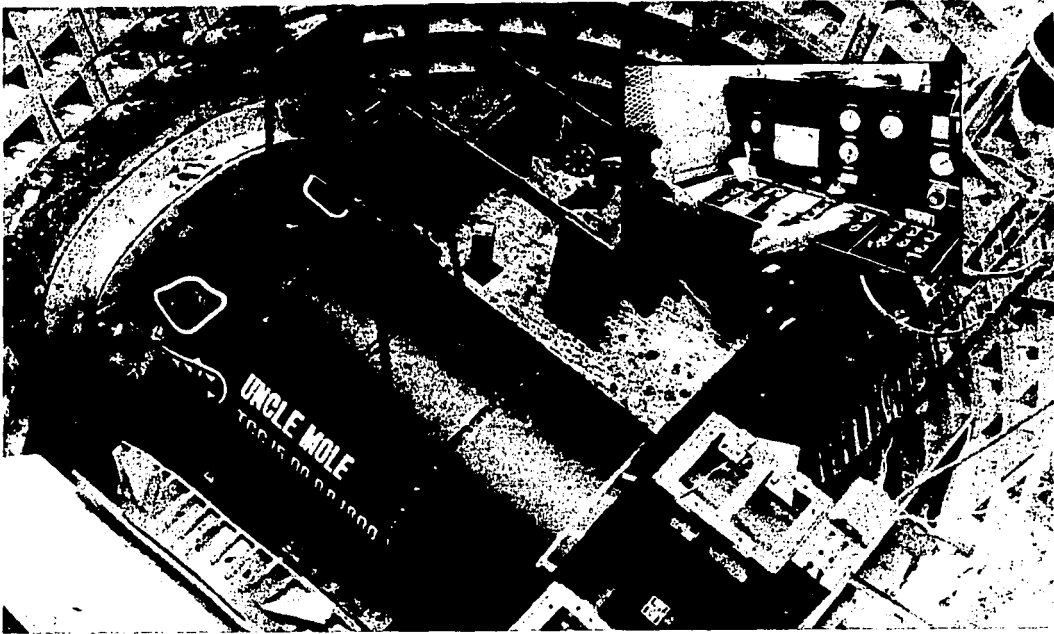


Fig. 3.4 Prueba del sistema.

La alineación de la máquina se controla por un sistema guiado por un rayo láser, este haz de luz es emitido por un nivel previamente programado en alineación y pendiente el cual se encuentra ubicado en la lumbrera de empuje, dicho haz de luz es proyectado hasta el miniescudo reflejándose en un blanco que tiene la máquina, una cámara de televisión toma una imagen del blanco y la transmite al panel de control en la superficie, el operador puede articular los gatos de conducción de la máquina, para poder dirigirla según sea necesario, la precisión que se logra con este sistema es de aproximadamente una pulgada en línea y gradiente.

El sistema de rezaga por medio de la solución acuosa tiene dos funciones prácticas; una la de estabilizar el frente de excavación y la otra el poder llevar el material de la excavación a la superficie.



El sistema de empuje hidráulico, es el que proporciona la fuerza necesaria para mover la tubería y el miniescudo a través del subsuelo, la fuerza de los gatos está en función de la fuerzas de fricción que se ejerce alrededor de la tubería que se está instalando, a medida que aumenta la longitud de avance también aumenta la fuerza de fricción entre la tubería y el suelo exigiendo una mayor fuerza de empuje, para reducir esta fricción se inyecta dentro de la corona circular entre la tubería y la tierra circundante un lubricante a base arcilla o algún polímero mezclado por una bomba en la superficie, el lubricante se inyecta inmediatamente después del miniescudo, también es inyectado a través de la tubería a intervalos regulares para que haya una lubricación continua a través de toda la tubería, está hace que se reduzca considerablemente la fuerza de fricción y por ende la fuerza necesaria para el empuje, sin embargo como factor de seguridad se colocan estaciones intermedias de empuje, estos gatos intermedios suministran una fuerza adicional de empuje y redistribuyen la fuerza necesaria del empuje a intervalos regulares a lo largo de la tubería. (Fig. 3.5.)

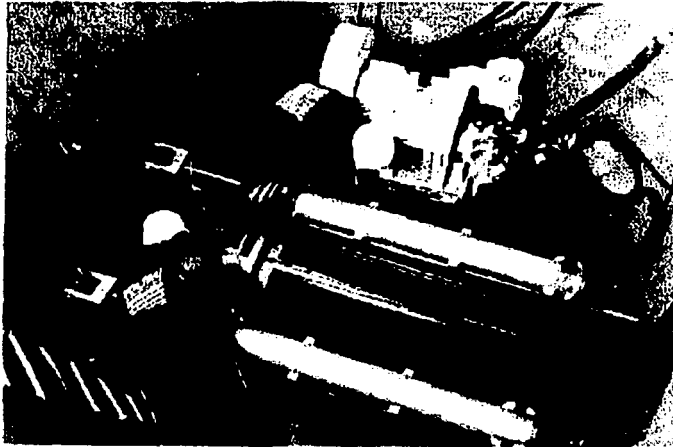


Fig. 3.5 Vista de los gatos de empuje.

De lo anterior podemos observar que el proceso constructivo con este método es muy rápido ya que la excavación, la rezaga y el empuje de la estructura de soporte (tubería) se ejecuta en una sola operación, formando un proceso sistemático.

La longitud de avance sin interrupción puede ser de hasta 350 metros entre lumbrera y lumbrera, hasta cubrir la longitud total del proyecto.

Los principales fabricantes de este tipo de escudos de pequeño diámetro a control remoto en el mundo son: *ISEKI, SOLTAU, HERRENKNECHT Y AKKERMAN*.

A continuación se mencionan algunos tipos de máquinas con diferentes frentes de excavación del fabricante Iseki.

### *Miniescudo Unclemole.*

El miniescudo Unclemole (Fig. 3.6 ) tiene la capacidad de hacer frente a diversos tipos de suelo, puede manejar desde arcillas, limos y arenas hasta cantos rodados, y rocas blandas, con o sin agua y utilizando la misma cabeza cortadora. Algo que distingue a esta máquina es su triturador cónico, que es impulsado a través de un engranaje central, este engranaje produce una torsión intensa con una rotación excéntrica en el cono.

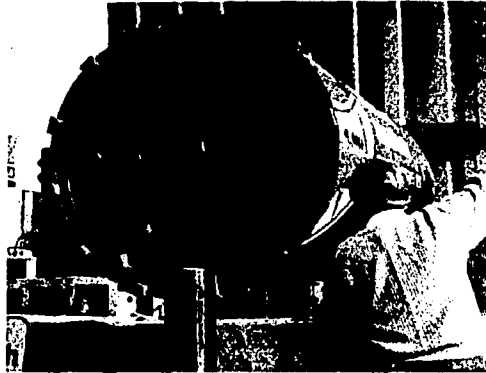


Fig. 3.6. Miniescudo Unclemole.

Esta rotación tritura el material excavado convirtiendo boleos y cantos rodados de hasta un 30% del diámetro de la máquina, en pedazos muy pequeños, entre el cono y la parte exterior del escudo, que posteriormente pueden circular sin problemas en forma de lodo por las tuberías.

Mientras el escudo es impulsado hacia adelante, el terreno es compactado hacia el frente de la máquina, donde el cono tritura el terreno pasando hacia adentro de la cámara de lodos.

Debido a que la máquina puede generar una gran rotación, es capaz de excavar con gran rapidez a través de cualquier tipo de material: arcilla, limo, gravas, boleos, cascajo de relleno, lutitas y pizarras arcillosas y areniscas blandas; capaz de moler piedras con dureza de hasta 2000 kg/cm<sup>2</sup>.

La ventaja sobre otras máquinas en cuanto a la excavación de suelos finos, es que el molino excéntrico tiende a formar bolas, no permitiendo que se peguen a las paredes los materiales pegajosos como las arcillas.

Esta máquina es fabricada en diferentes diámetros para instalar tubería desde 0.25 m hasta 2.00 m.

### *Miniescudo Discmole.*

El miniescudo Discmole, (Fig. 3.7) combina la capacidad para triturar rocas de un triturador cónico con la capacidad de corte de discos cortantes especialmente desarrollados en su frente, también posee la capacidad de excavar y triturar roca y reducirlos hasta tamaños de gravilla.

Este miniescudo utiliza un sistema de lodos para transportar el material excavado desde su frente hasta una planta de separación en la superficie.

Este escudo excava e instala tuberías en roca maciza o terrenos mixtos y tiene la capacidad de funcionar en una gran variedad de condiciones de suelos, con la añadida capacidad de excavar roca dura de hasta  $3500 \text{ kg/cm}^2$

La longitud máxima de hincado depende de la resistencia y tipo de la roca.

Esta máquina es fabricada en diferentes diámetros para instalar tubería desde 0.50 m hasta 1.65 m.

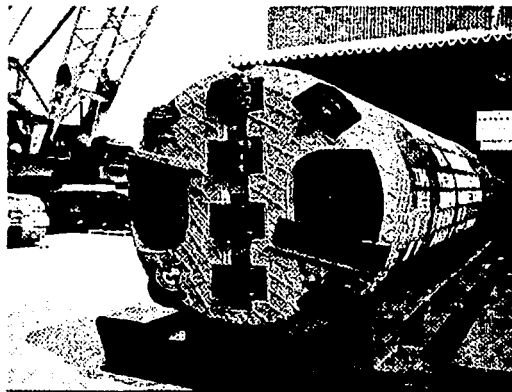


Fig. 3.7 Miniescudo Discmole

### *Miniescudo Crunchingmole.*

El sistema de tunelización Crunchingmole, (Fig. 3.8) excava terrenos granulares, limos, arenas, gravas, guijarros y rocas blandas con o sin presencia de nivel freático.

Debido a que los suelos granulares poseen un mayor ángulo de fricción interna que arcillas o limos son menos sensitivos y por lo tanto tienen un envolvente mucho mayor de presión activa y pasiva del terreno, por lo que, se emplea una puerta de ranura para lograr el efecto de contrapeso de la presión de la tierra. La presión en esta puerta se calibra entre la

presión activa y pasiva; detrás de la puerta de ranura se incorpora una cámara de lodos, la cual incluye un triturador rotatorio impulsado por una derivación del eje principal.

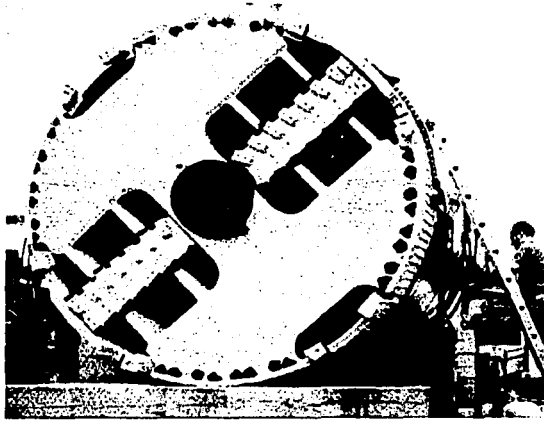


Fig. 3.8 Miniescudo Crunchingmole.

El cortador cuenta con dos grupos de ventanillas al girar el cortador excava el material y le permite el paso hacia una primera cámara, parte de este material pasa a través de una ventanilla con compuerta al molino giratorio, ahí es triturado hasta un 20% del diámetro del escudo a un tamaño que puede ser bombeado por el sistema de lodos y depositado en una segunda cámara de la cual es extraído el material por bombeo hasta la superficie, donde son separados del lodo los materiales gruesos.

Esta máquina es fabricada en diferentes diámetros para instalar tubería desde 1.50 m hasta 3.00 m.

#### *Miniescudo MEPCB (Mechanical Earth Pressure Counter Balance)*

El sistema MEPCB de excavación de túneles mediante el equilibrio mecánico de la presión de la tierra está diseñado para la excavación de microtúneles en arcilla muy blanda e inestable, limo y arena, con o sin agua en el terreno, minimizando tanto los asentamientos como los levantamientos.(Fig. 3.9)

La MEPCB fue la primera máquina excavadora de túneles con escudo que equilibra mecánicamente la presión de la tierra proporcionando un máximo de seguridad contra los movimientos de tierra. El sistema de rezaga MEPCB se emplea tanto para equilibrar la presión del agua en el terreno, como para evacuar la tierra removida.

El cabezal cortador de la MEPCB está calibrado para mantener la presión pasiva y activa calculada de la tierra. Debido a que la presión actual de la tierra encontrada varía

continuamente durante la excavación, la presión de apoyo proporcionada por el escudo es infinitamente variable.

Esta máquina es fabricada en diferentes diámetros para instalar tubería desde 0.60 m hasta 3.00 m.

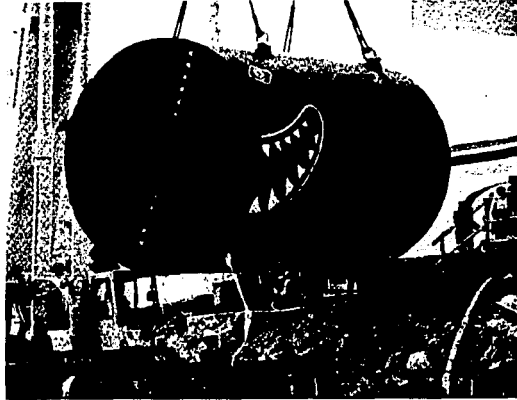


Fig. 3.9 Miniescudo MEPCB.

### 3.1.2 Tuneleo a base de hincado hidromecánico de tuberías de concreto.

El tuneleo a base de hincado hidromecánico de tuberías es un método de instalación de tubería el cual consiste en empujar dicha tubería a través del terreno mientras se excava y se retira el suelo a medida que la tubería avanza. Este sistema es un método muy parecido al de los miniescudos, la principal diferencia entre estos métodos, es que el de estudio en cuestión, no es a control remoto sino es operado dentro del túnel, por lo que esto nos limita en su tamaño en cuanto al rango inferior, siendo el diámetro más pequeño de operación de 48" (1.22 m). Fig. 3.10

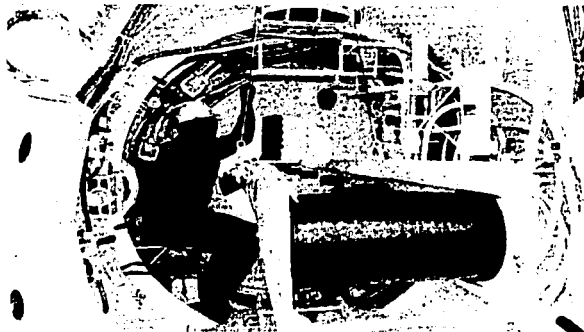


Fig. 3.10 Vista interior de un escudo.

El rango en cuanto al tamaño de tubería que puede instalar es desde 122 cm a 360 cm de diámetro.

Como ya se dijo anteriormente este sistema en cuanto a su proceso constructivo es muy parecido al sistema de los miniescudos, ambos sistemas utilizan potentes gatos hidráulicos para empujar la tubería a través del suelo detrás del escudo, (Fig. 3.11) simultáneamente se excava por delante de la máquina y el material producto de la excavación, a diferencia del sistema de los miniescudos, es extraído por medio de un sistema de bandas transportadoras y unas tolvas que se mueven por medio de unos carros motrices.(Fig. 3.12)

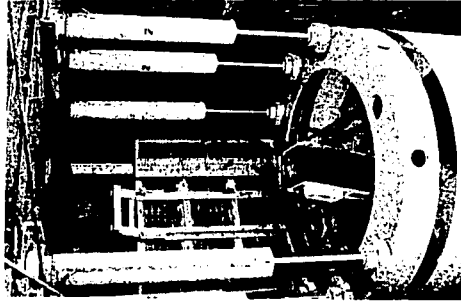


Fig. 3.11 Gatos Hidráulicos.

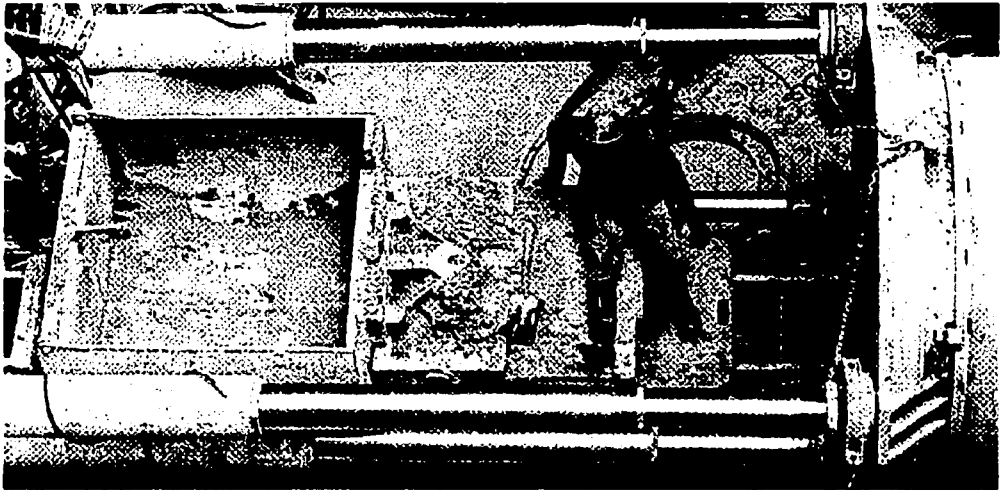


Fig. 3.12 Sistema de rezaga.

El proceso constructivo se inicia construyendo la lumbrera de hincado la cual puede tener la forma que requiera el proyecto en particular, por facilidad constructiva

generalmente es rectangular teniendo como único requisito la longitud mínima para que reciba al conjunto de sistemas de hincado, por otra parte las lumbreras de salida o recepción bastará con que su longitud nos permita la remoción del equipo.

Después de tener estables las paredes de la lumbrera se colocará una losa de fondo de concreto para la estabilización del fondo y poder tener una superficie alineada para el lanzamiento del escudo o bien la recepción del mismo, en el caso de la lumbrera de empuje también será necesario construir un muro de empuje para poder transmitir la presión de empuje, posteriormente se procede a instalar todo el equipo.

El control de alineamiento vertical y horizontal durante el hincado, se deberá referir a los bancos generales topográficos del proyecto, el control se lleva con un nivel de rayo láser ubicado entre la pared de empuje y la unidad de potencia, este haz de luz se proyecta hasta el frente del escudo donde se encuentra un blanco y el operador del escudo puede articular los gatos de conducción de la máquina, para poder dirigirla según sea necesario, la precisión que se logra con este sistema es de aproximadamente una pulgada en línea y gradiente.

En lo que se refiere al frente de ataque, el cabezal de corte puede estar equipado con placas para tierra y placas de carburo de tungsteno, repisas de arena para material suelto o un accesorio de frente cerrado, también existen máquinas de tipo excavadora, tipo retroexcavadora de coraza maniobrable, con módulo de control y un transportador accionado por cadena, es importante destacar que a diferencia de los miniescudos que son a control remoto, estos escudos son operados en el interior del microtúnel por personal, siendo por esto de suma importancia un dispositivo de alarma auditiva contra la detección de gases. (Fig. 3.13)

La rezaga es depositada en la parte baja y recogida por una banda transportadora que se encuentra a través del escudo, la cual deposita el material excavado en una tolva colocada sobre un carro motriz eléctrico que corre sobre rieles a lo largo de la tubería hasta la lumbrera de empuje, los rieles son instalados simultáneamente al avance de excavación, una vez que el carrito llega a la lumbrera es sacada la tolva mediante una grúa y el material de excavación se deposita sobre camiones los cuales lo llevan al lugar de tiro designado.

El sistema de empuje es alimentado por una unidad hidráulica de potencia, existen en diferentes modelos, algunas localizadas dentro o fuera de la lumbrera, de acuerdo al proceso de empuje, en lo que se refiere a los sistemas que se encuentran en el interior de la lumbrera, estos se desplazan a lo largo de los rieles (corredera), se fija a ellos en puntos de atraque según se necesite, y transmite la fuerza de empuje variando ésta de acuerdo al tipo de sistema de hincado (aproximadamente 400 toneladas). En los sistemas donde se encuentra la unidad de potencia en el exterior de la lumbrera, se utiliza un sistema de cilindros telescópicos de hincado, la ventaja de este sistema con respecto al anterior es que incrementa la capacidad de empuje, ya que cuenta con un número mayor de gatos, haciendo este sistema el más adecuado en diámetros mayores, otra de las ventajas es que nos permite reducir el tamaño de las lumbreras, debido a que no es necesario el espacio ocupado por la unidad de potencia, como auxiliar a esta unidad se instalan estaciones intermedias de

hincado, y se colocan a intervalos necesarios de acuerdo a la longitud de hincado y a la resistencia misma del suelo.

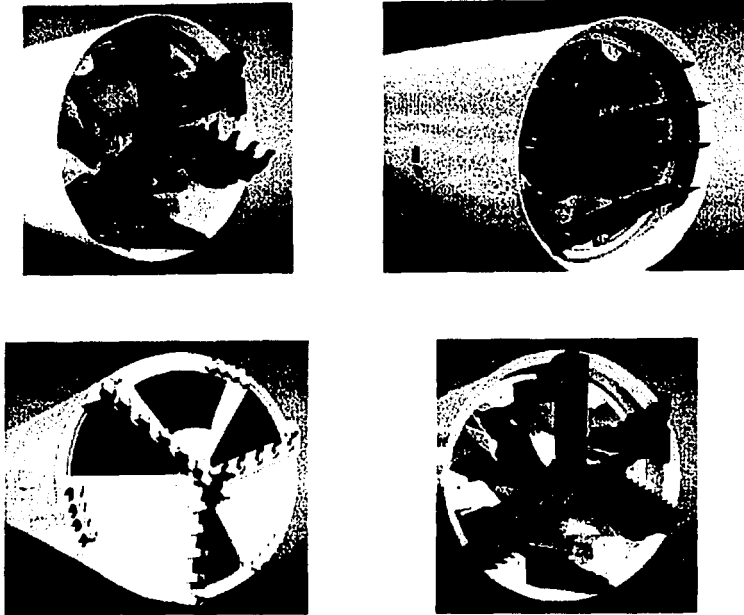


Fig. 3.13 Frentes de excavación.

Todo el sistema es hidráulico, impulsado por motores eléctricos, utilizando un sistema de alta presión para la unidad de potencia y las estaciones intermedias de hincado y un sistema de baja presión para la alimentación del escudo excavador y para la banda transportadora de carga.

Ya que en este sistema trabaja personal que debe estar laborando en forma coordinada, es importante que en todo momento se tenga comunicación, es por esto que se cuenta con un sistema de comunicación entre el operador del escudo, el operador de la consola de empuje, el operador del sistema de rezaga y el operador de la grúa. Fig. 3.14

Para efectos de lubricación es inyectada bentonita o un polímero a través de la tubería en forma simultánea al hincado, su principal objeto es el de reducir la fricción entre el tubo de hincado y el terreno; en casi todos los casos, el resultado es una reducción significativa en el empuje necesario.

Las lumbreras de salida se localizan a distancias promedio de 120 a 250 metros en función del proyecto y de la traza urbana, constituyéndose en su mayoría en lumbreras de empuje. Una vez retirado el equipo, se construirán las cajas y pozos de visita. Se retirará el ademe y se procederá a rellenar con tezontle a lomo de tubo y con material de banco (tepetate) compactado en capas hasta el nivel de subrasante.



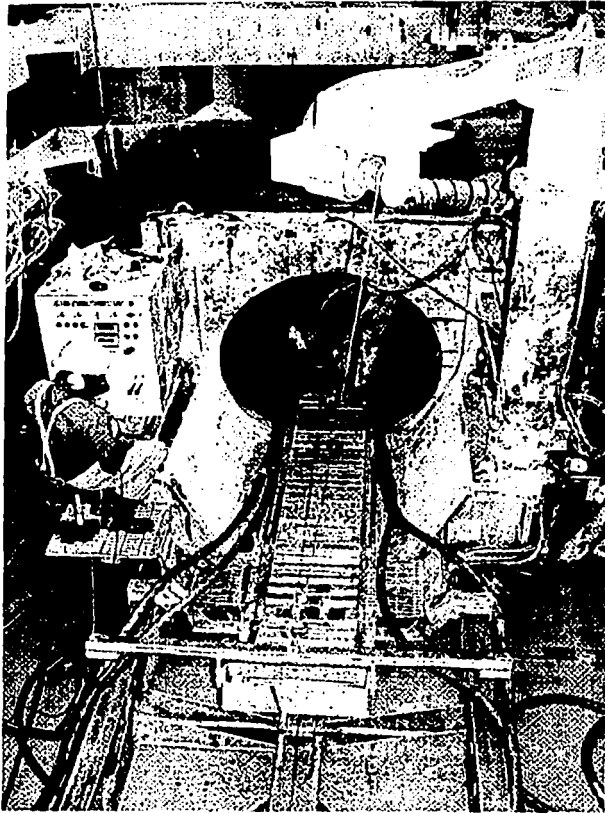


Fig. 3.14 Sistema de comunicación.

### 3.1.3 Perforación Auger.

El método de perforación Auger (perforación mediante barrenos, taladros, tornillo sinfín) para instalación de tubería, es un método de perforación horizontal utilizado en suelos estables, el proceso de corte y rezaga está conformado por el elemento cortador el cual es movido desde el exterior de la oquedad a través de barras helicoidales, que a su vez realiza el proceso de extracción de la rezaga del interior del pequeño túnel. (Fig. 3.15) La inserción o hincado del tubo se lleva a cabo también, con el método de empuje de tubería mediante gatos "*Pipe-Jacking*". Estas máquinas se fabrican para instalar tubería desde 4" hasta 60" (Fig. 3.16).

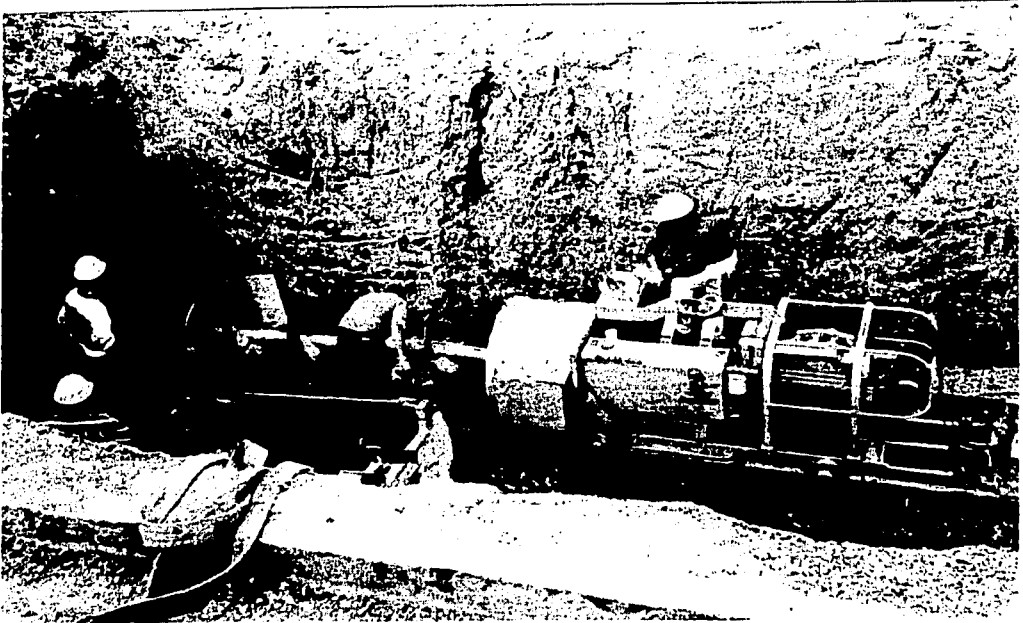
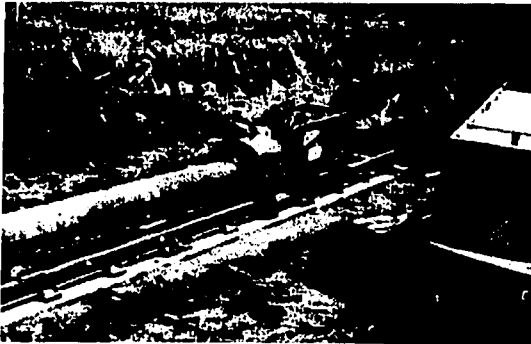


Fig. 3.15 Proceso de perforación mediante tornillo sinfín. (Perforación Auger).



a) Perforadora para instalar tubería de 12"



b) Perforadora para instalar tubería de 60"

Fig. 3.16

Existe un variado número de modelos de perforadoras Auger para diferentes diámetros.; a) Perforadora para instalar tubería de 12", b) Perforadora para instalar tubería de 60".

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La diferencia esencial de una perforadora Auger y los miniescudos es la siguiente: en los miniescudos el torque para el giro del cortador es generado por una unidad hidráulica o eléctrica, independientemente del sistema rezagador, mientras que en los perforadores Auger el mismo sistema de barras helicoidales (serpentin), a la vez que gira para extraer el material de excavación, hace rotar a la herramienta de corte, funcionando como un solo elemento (cortador - rezagador).

El corte de material puede llevarse a cabo por medio de un disco dentado, con broca aguzada o con cabeza giratoria y discos. (Fig. 3.17) Cuando se utiliza un disco dentado su trabajo lo efectúa fuera del cilindro (no importa que esté fuera cortando ya que su aplicación se limita a suelos duros donde es muy baja la posibilidad de sobreexcavación); el hecho de que el cortador este retirado del cilindro, permite la entrada del material cortado con mayor facilidad integrándolo al serpentín rezagador más rápido. El disco cortador gira a las mismas revoluciones que el serpentín, sobre el cual se ejerce una presión en forma constante a través de las barras helicoidales, permitiendo mantener los dientes excavadores continuamente clavados en el terreno facilitando de esta manera el corte del material.

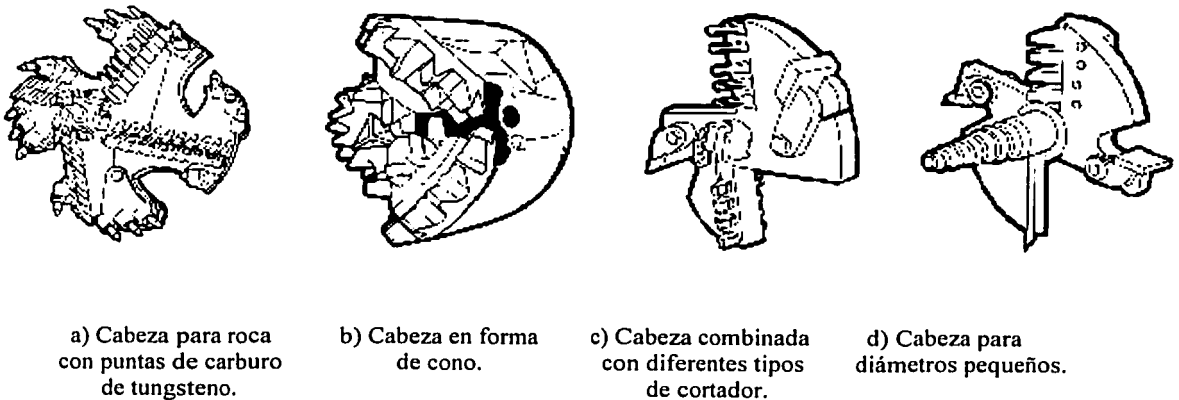


Fig. 3.17 Cabezas cortadoras.

En el caso del auger de broca aguzada y cabeza de corte, el proceso de excavación se presenta en dos partes en forma simultánea; (Fig. 3.18) primeramente la broca aguzada corta por el centro de la cavidad hasta un diámetro menor que el pequeño túnel, y la cabeza de recorte afilada, que es la parte delantera del cilindro de dirección, se va encajando en el material alterado sin dificultad, logrando la excavación del diámetro final. El cortador (broca) es movido desde la lumbrera de lanzamiento a través del tren de barras helicoidales.

Ya que este tipo de máquinas es propio de suelos duros o consolidados no es necesario que haya una presión hidráulica en el frente; aunque en el caso de excavación en arenas sumergidas, a la técnica auger se le puede adicionar un flujo de lodo para establecer una presión hidráulica en el frente.

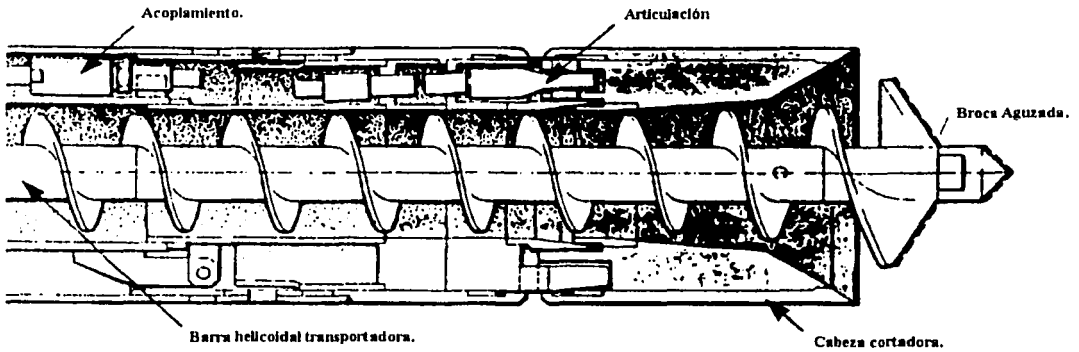
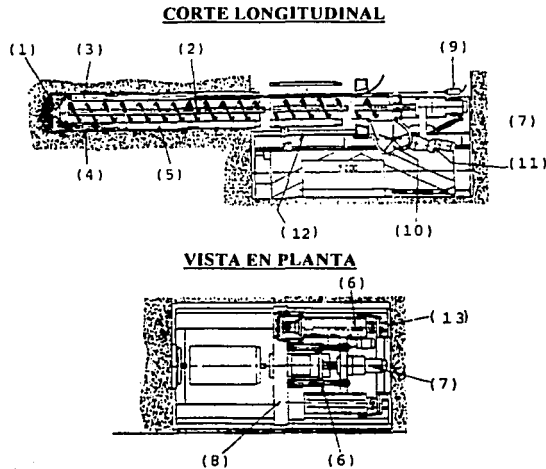


Fig. 3.18 Perforador Auger con broca aguzada.

Al mismo tiempo que se efectúa el corte y el transporte del material, se ejecuta el proceso de inserción de la tubería de conducción de rezaga, la cual es empujada hacia el interior del terreno con gatos hidráulicos. La fuerza de empuje es aplicada a la tubería a través de una corona de empuje, con el fin de distribuir uniformemente las fuerzas de los gatos. Fig. 3.19



- (1) Herramienta de corte.
- (2) Barras helicoidales.
- (3) Cabeza cilíndrica de dirección.
- (4) Mecanismos hidráulicos de control de dirección.
- (5) Tubería de conducción de rezaga (temporal).
- (6) Sistema de empuje.
- (7) Motor hidráulico del rezagador helicoidal.
- (8) Corona de empuje.
- (9) Láser.
- (10) Receptor de rezaga.
- (11) Unidad de rezaga externa.
- (12) Estructura y plataforma de lanzamiento.
- (13) Atraque.

Fig. 3.19 Partes principales de un Perforador Auger.

Las máquinas más modernas de perforación Auger cuentan con una cabeza cilíndrica de dirección, la cual está sujeta al resto de la máquina por cuatro gatos hidráulicos que le sirven de pivoteo para su movimiento de corrección de dirección. La operación de estos gatos se realiza a control remoto por medio de válvulas electrohidráulicas y una computadora. En el caso de las perforadoras que no cuentan con este sistema será necesario tener un control estricto en cuanto a línea y pendiente desde la fosa de lanzamiento.

Este método puede aplicarse en suelos de alta cohesión, arenosos, suelos con mezclas de arena y grava, suelos duros y rocas fracturadas.

En el perforador Auger de tierra balanceada, (Fig. 3.20) el material entra a una primera cámara de donde es extraído a una velocidad controlada para mantener una presión de tierra en el frente, lo que se logra manteniendo igual la cantidad de material que entra a la cámara con el material que se extrae de ésta. El cortador de disco puede girar a diferentes velocidades ya que es independiente del rezagador helicoidal. Este tipo de perforador tiene dos serpentines, uno de revolución variable (de control remoto) que extrae la rezaga de la primera cámara y la lleva a un segundo depósito, y el que alimenta al rezagador de serpentín, conduciendo la rezaga hasta la lumbrera de lanzamiento. Esta máquina es ideal para arenas con bajos contenidos de finos (arenas de baja cohesión) y además, para excavar sobre o bajo el nivel de aguas freáticas.

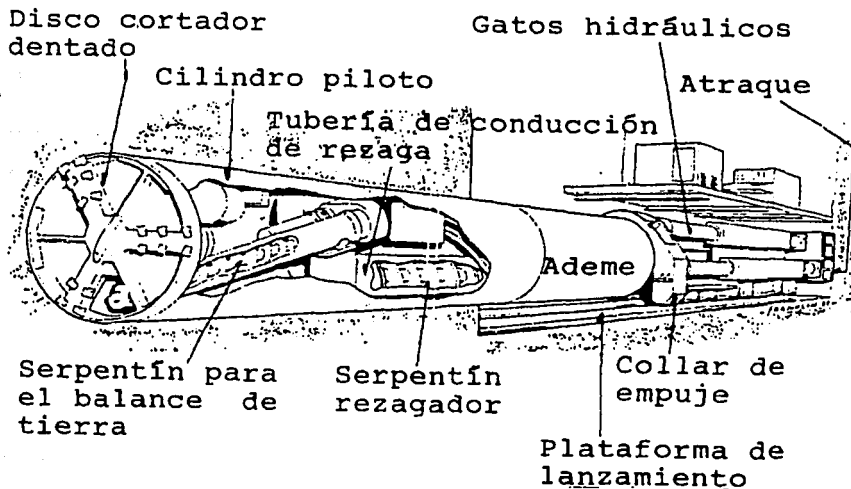


Fig. 3.20 Perforador Auger de tierra balanceada.

### 3.1.4 Perforación Direccional.

El método de perforación Direccional para instalar tubería, se ha utilizado desde los años 70'. Debido a su proceso constructivo obliga a construir los microtúneles con un radio de curvatura vertical, aunque para la mayor parte de su recorrido se puede controlar la excavación manteniéndose horizontal. Debido a lo anterior este método es utilizado principalmente para cruces, ya sea de ríos, autopistas, carreteras etc. El cruce de mayor diámetro realizado hasta la fecha es de 2,000 m aproximadamente, habiéndose instalado tuberías con diámetros máximos de hasta 1.22 m de diámetro. (Directional Crossing Contractors Association). Fig. 3.21



Fig. 3.21 Esquema del método de Perforación Direccional.

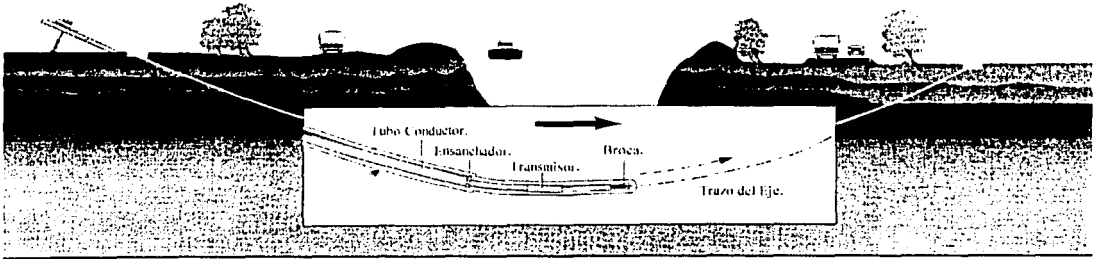
Es una técnica de alto rendimiento constructivo y para largos recorridos de excavación. La barrenación principal piloto se lleva a cabo con el sistema llamado de "corte suave", el cual consiste en un chorro de agua con bentonita a alta presión aplicado en el frente de excavación, realizando el corte del material abriendo paso al tren de barras de perforación.

La rezaga se deja acumular a lo largo de la oquedad, para que funcione como ademe, la cual es retirada por bombas mediante un proceso de succión simultáneo a la etapa de inserción de la tubería de ademe la cual es colocada dentro de la oquedad mediante el proceso de tracción.

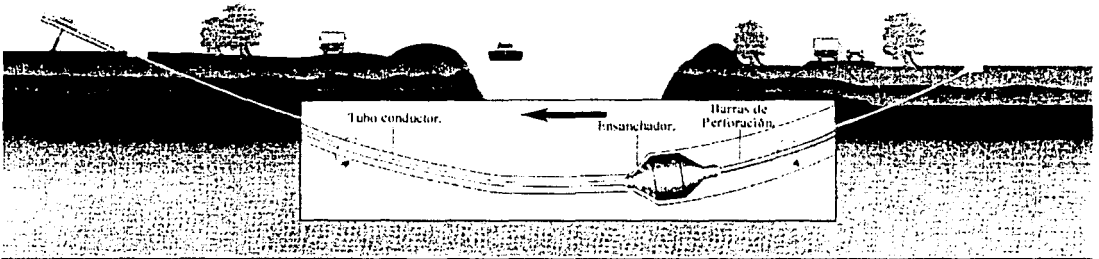
Las partes principales que conforman la máquina de barrenación horizontal con sistema de perforación suave, son; sistema de empuje, tracción, rotación, inyección de alta presión, plataforma guía con mecanismo de inclinación, barras de perforación, chiflón de corte, sonda de dirección, cabeza de corte ensanchadora y una junta giratoria.

El proceso constructivo se lleva a cabo en tres etapas: Perforación piloto. Excavación de ensanchamiento. Colocación de tubería de servicio. las cuales se ilustran en la Fig. 3.22:

Etapas 1 : Perforación Piloto.



Etapas 2 : Excavación de Ensayamiento.



Etapas 3 : Colocación de la Tubería de Servicio.

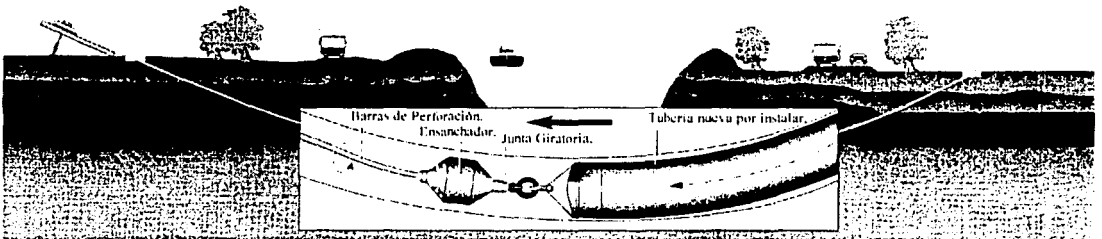


Fig. 3.22 Etapas del proceso constructivo del método de Perforación Direccional.

### Etapa 1: Perforación Piloto.

Para iniciar la perforación piloto, es muy importante definir cual deberá ser la inclinación de la plataforma de lanzamiento y el radio de curvatura de ataque de la barra guía. Este último es la curvatura que se le deberá dar a la primera barra, de tal forma que ésta describa el curso de la excavación.

La plataforma es inclinada a un ángulo de proyecto por medio de gatos hidráulicos, sobre ésta se encuentra el equipo de perforación (hidráulico). Fig. 3.23

El tren de barras es empujado por la máquina con el sistema de gatos de empuje hacia el interior de la excavación, al mismo tiempo que la barra guía con sus chiflones va cortando el suelo con una presión de 105 a 352 kg/cm<sup>2</sup>, abriendo espacio para el avance de las barras de perforación.

La inyección para el corte del terreno es una mezcla homogénea de bentonita, el fluido al incidir en el suelo lo corta y a la vez lo hace circular hacia el interior de la excavación: la mezcla de la bentonita con el material cortado sirve de ademe a la oquedad y además como lubricante para el movimiento de las barras, reduciendo la fricción de éstas en el suelo.

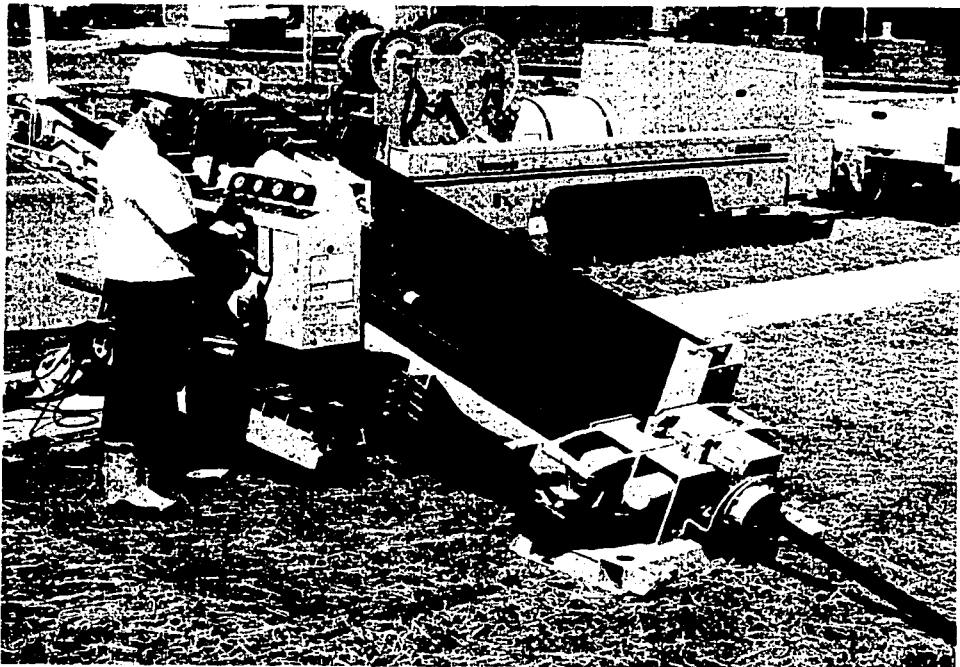


Fig. 3.23 Perforadora Direccional, modelo: D24b Navigator Marca: Vermeer.



En la primera barra de perforación se introduce una sonda direccional; es un dispositivo utilizado para ubicar en el subsuelo la posición de la barra guía. La sonda es monitoreada en forma remota con el uso de instrumentos de geofísica, y de esta forma se conoce cual es la tendencia que sigue bajo el terreno la barra guía, que es la que describe la trayectoria de la pequeña excavación. La barra guía se reviste con un forro antimagnético como requisito para la aplicación del método geofísico. La barra guía tiene varios chiflones (de 2 a 5) en la cabeza, éstos son pequeños orificios ubicados en la parte frontal de la barra direccional, el diámetro de éstos es entre 0.5 y 1.0 mm.

El control de dirección del sistema lo proporciona la rotación del tren de barras, éste solo se hace girar cuando se desea reorientar el tren de barra, si se orienta hacia la derecha, la trayectoria de la perforación se desviará hacia la derecha describiendo un pequeño arco. Fig. 3.24

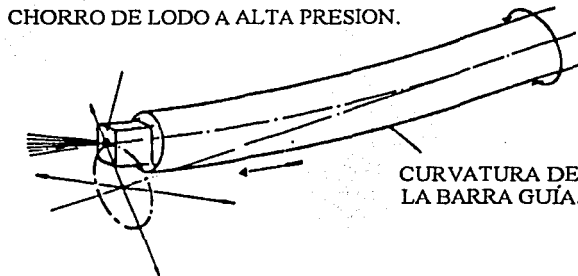


Fig. 3.24 Barra guía con curvatura para el control de la dirección.

Etapa 2: Excavación de ensanchamiento.

El objetivo de la primera etapa fue abrir la excavación hasta un diámetro mucho menor que el de la tubería de servicio de un extremo al otro sin excavaciones adicionales, lumbreras o pozos, únicamente introduciendo la barra con la dirección correcta de acuerdo al proyecto.

En esta segunda etapa, la excavación inicial es ampliada hasta el diámetro final, que es un poco mayor que el diámetro de la tubería de servicio. Para realizar la ampliación de la sección, se pueden utilizar dos métodos; el método de "corte suave" o el de "broca de corte", ambos métodos son muy parecidos.

*Corte suave.*

Con este método se utiliza una cabeza ensanchadora con chiflones, la cual es atornillada al tren de barras desde la margen de arriba, en lugar de la barra guía. La máquina tracciona para jalar el tren de barras (utilizado en la etapa inicial) junto con la cabeza ensanchadora; durante este proceso se introduce simultáneamente con un nuevo conjunto de barras. Fig. 3.25

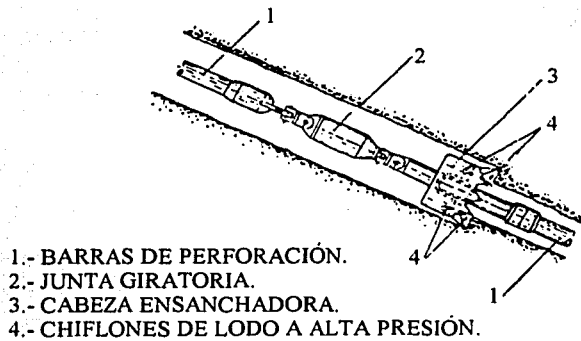


Fig. 3.25 Cabeza ensanchadora con chiflones cortadores.

La cabeza ensanchadora utiliza para el corte chiflones con bentonita, colocados perimetralmente, simultáneamente al corte, la máquina tracciona a la cabeza para su avance. La bentonita es suministrada por el mismo tren de barras, ésta junto con la rezaga, llenan el espacio de la nueva sección, ayudándole a su estabilidad.

El tamaño de la nueva excavación es regulado mediante la velocidad de avance de la cabeza ensanchadora, al jalar la máquina el tren de barras junto con la cabeza de corte, el sistema hidráulico mantiene una presión constante, la cual aumenta cuando la cabeza se incrusta en un material duro y disminuye al vencer su resistencia, además la unidad oleohidráulica del sistema de tracción es autorregulable, es decir si aumenta la presión de tracción, automáticamente se reduce la velocidad de avance provocando así que los chiflones concentren su energía sobre una misma área hasta fatigar el suelo duro, cortándolo. Cuando esto sucede, la presión del sistema de bombeo de la bentonita aumenta y vuelve a disminuir cuando la cabeza de corte logra avanzar.

#### *Broca de corte.*

Esta técnica es muy parecida a la del corte suave, la diferencia consiste que el corte del material para la perforación del ensanchamiento lo realiza una broca, donde el fluido a alta presión es utilizado para provocar el giro de la broca y además servirá como transportador de la rezaga, facilitando así la perforación, al mismo tiempo permite el enfriamiento del emisor electrónico de localización.

En lo que se refiere al tipo de broca, existe una gran variedad de tipos y formas, las cuales se utilizan dependiendo del tipo de terreno en el que se esté trabajando.

Para el cambio de la dirección se utiliza dicha broca la cual se encuentra instalada con un ángulo de inclinación de 10 grados, por lo que cuando se opera la unidad de barrenación con rotación continua y empuje de las barras, la barrenación será totalmente recta, pero si la barrenación la efectuamos únicamente mediante el empuje, podemos cambiar la dirección de la barrenación hacia cualquier lado según sea la dirección hacia donde apunte la broca de corte.

Esta broca es monitoreada dos veces en cada barra que se introduce (cada barra mide normalmente 3.00 mts.), para comprobar la dirección que sigue la broca y en caso de sufrir alguna desviación, poder corregir la dirección de nuestra perforación.

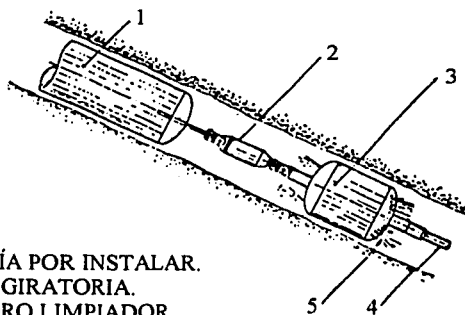
La localización de esta broca es posible, debido a que dentro del cuerpo de esta va instalado un elemento emisor electrónico, el cual envía una señal que es captada por un receptor también electrónico que se encuentra sobre la superficie del terreno, obteniendo la siguiente información:

1. Posición exacta de la cabeza barrenadora.
2. Profundidad a la que se encuentra la cabeza barrenadora.
3. Inclinación o tendencia que lleva la barrenación.
4. Posición exacta de la broca de corte.
5. Temperatura del emisor electrónico.
6. Vida útil de las baterías del emisor electrónico.

### Etapa 3: Colocación de la tubería de servicio.

Cuando se ha concluido el ensanchamiento, la tubería de servicio se introduce a la oquedad por medio del tren de barras que se introdujo en la segunda etapa; desde el extremo opuesto de la máquina, simultáneamente se extrae de la excavación la bentonita y el material de corte que se han acumulado dentro de la oquedad.

Detrás de la última barra, se coloca un cilindro con chiflones, con el fin de quitar del paso el azolve acumulado para que pueda introducirse libremente la tubería de servicio. Entre ésta última y el cilindro limpiador, se coloca una junta giratoria para evitar esfuerzos de torsión. (Fig. 3.26)



- 1.- TUBERÍA POR INSTALAR.
- 2.- JUNTA GIRATORIA.
- 3.- CILINDRO LIMPIADOR.
- 4.- BARRAS DE PERFORACIÓN.
- 5.- CHORRO DE LODO A ALTA PRESIÓN.

Fig. 3.26 tracción de la tubería hacia el interior del túnel.

### 3.1.5. Perforación Percusiva.

Este método de instalación de tubería consiste en ir abriendo la oquedad que alojará a la tubería por instalar, mediante la compactación del terreno a través del movimiento de una cabeza percusiva en vaivén; instalando la tubería al mismo tiempo que la máquina avanza hacia el interior del terreno y jalando la tubería que servirá de ademe por detrás de la máquina. Fig. 3.27

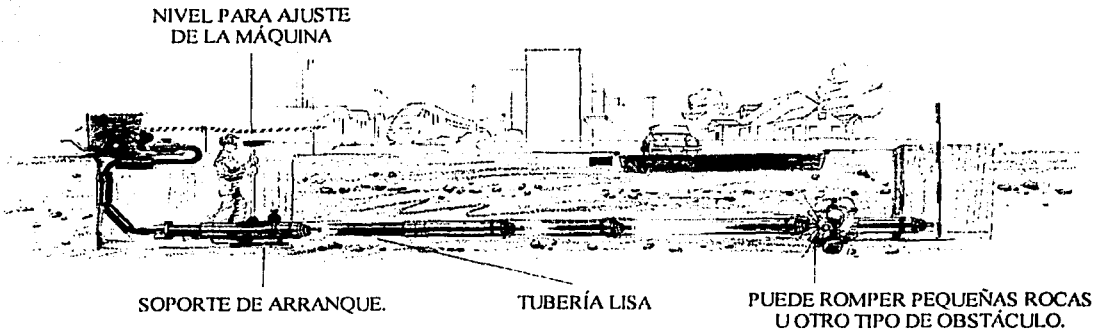


Fig. 3.27 Esquema del método de Perforación Percusiva.

En este método no hay necesidad de retirar la rezaga producto de la excavación, ya que no existe dicha rezaga, lo anterior debido a que el corte del material en el cual se está instalando la tubería se lleva a cabo por impactos, originando que no haya rezaga por extraer ya que instantáneamente al cortar el material lo va compactando.

En la instalación de tubería por el método de perforación percusiva o también llamado "*perforación neumática de compactación de terreno*" se utilizan máquinas de perforación percusiva, las cuales consisten esencialmente en un martillo neumático que transmite impactos con una cierta frecuencia contra una cabeza, la cual adquiere un movimiento de vaivén, provocando el corte y compactación en el terreno, lo cual se aprovecha para abrir una oquedad.

Este tipo de máquinas pueden ser de dos tipos: las máquinas de cabeza fija o las máquinas de cabeza móvil; como su nombre lo indica la principal diferencia que existe entre ellas es el tipo de percusión, ya que en el caso de la primera, realiza su movimiento en una sola etapa, cuerpo y cabeza debido a que esta máquina está constituida en una sola unidad, por ende, el cuerpo y la cabeza se mueven en un mismo paso (Fig. 3.28).

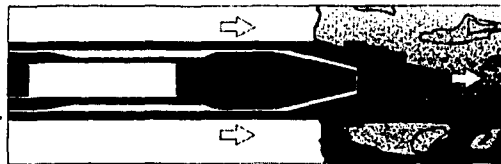


Fig. 3.28 Perforadora Percusiva de cabeza fija.

En el caso de la máquina con cabeza móvil el movimiento lo realiza en dos pasos, en el primer paso el cincel es golpeado por el pistón y el cabezal montado sobre el cincel se abre paso destruyendo posibles obstáculos, ( Fig. 3.29 a ) en el segundo paso el cuerpo es introducido junto con el tubo a instalar. ( Fig. 3.29 b )

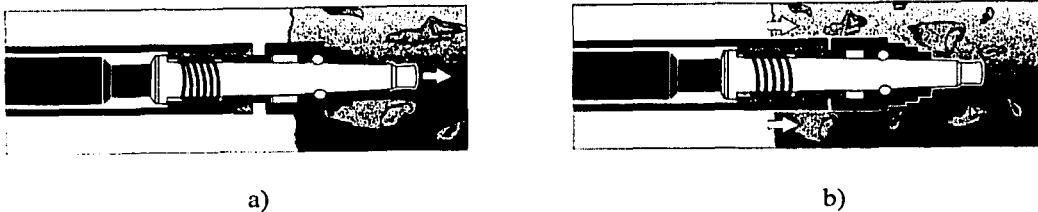
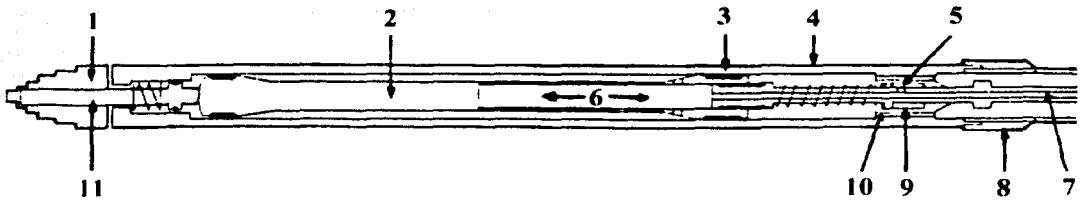


Fig. 3.29 Perforadora Percusiva de cabeza móvil.

De lo anterior podemos decir que los dos tipos de máquinas presentan ciertas ventajas con respecto una de la otra; por ejemplo en el caso de la máquina con cabeza móvil, se tiene una máquina más confiable en cuanto a su alineación y pendiente que va a tener para la instalación de la tubería, lo anterior debido a que la energía del golpe se concentra en la punta de la cabeza pudiendo romper posibles obstáculos, en el caso de la máquina con cabeza fija, al encontrarse con un obstáculo de cierta dureza no lo puede romper y es desviada la máquina, este tipo de máquina tiene la ventaja de que su velocidad de avance es mayor teniendo un mejor rendimiento.

A continuación se describe el funcionamiento de una máquina de perforación percusiva de cabeza móvil, (BT40 British Telecom.): El aire que entra por el conducto ( 7 ) ejerce presión contra el pistón ( 6 ) en forma instantánea, provocando su desplazamiento, al final de su recorrido golpea al yunque de transferencia ( 11 ) , y éste a su vez le crea un movimiento muy rápido a la cabeza de impactos ( 1 ) ; en la parte trasera de la máquina el orificio ( 5 ) del ducto ( 7 ) también se desplaza hacia delante, hasta coincidir con el escape ( 10 ) , al alinearse éstos se produce una descompresión del pistón y una compresión en el émbolo equilibrador para contramarcha, generándose un movimiento hacia atrás, posteriormente, el aire de contramarcha escapa. El resultado de este funcionamiento es el vaivén de la cabeza que se desplaza hacia atrás y hacia delante (6 veces por segundo). El movimiento resultante de este trabajo es el desplazamiento del martillo percusivo hacia el interior del suelo.(Fig. 3.30)

El proceso constructivo de instalación de tubería por este método es relativamente sencillo; la máquina de Perforación Percusiva se coloca en una plataforma metálica sobre una media caña nivelable, la plataforma puede estar en una zanja previamente preparada o en cualquier desnivel del terreno, generalmente para alinear en la dirección correcta la máquina se utiliza un cuadro con lente, nivel y estadal, al menos que las condiciones propias del lugar no lo permitan, solo se utilizará un nivel de mano.(Fig. 3.31)



- 1.- Cabeza percusiva forjada con punta de carburo de tungsteno.
- 2.- Cilindro de aceite denso.
- 3.- Sellos de autolubricador.
- 4.- Fuste en media caña.
- 5.- Orificio de escape para la contramarcha.
- 6.- Pistón.
- 7.- Conducto de entrada de aire.
- 8.- Extremo de cabezal intercambiable.
- 9.- Émbolo equilibrador para contramarcha.
- 10.- Escapes.
- 11.- Yunque de transferencia.

Fig. 3.30 Máquina de Perforación Percusiva de cabeza móvil BT40 British Telecom.



Fig. 3.31 Nivelación de la máquina de perforación.

Al inicio de la perforación se hace una previa excavación a mano para introducir la cabeza percusiva ejerciendo una presión contra la máquina hasta que ésta se agarre al terreno.

El aire necesario para el funcionamiento de la máquina de perforación percusiva es suministrado por un compresor.

Para reducir la fricción con el suelo se realiza la excavación con una máquina de diámetro mayor que el tubo, por ejemplo, es usual utilizar un diámetro de máquina de 95 mm y tubos de 88.9 mm.

Una de las ventajas con las que cuenta este tipo de perforadora es que tiene marcha atrás (reversa) por lo cual es muy fácil su recuperación.

El medio de perforación puede ser arcilla muy compresible, arena con o sin agua, entre otros, en el caso de los suelos sumergidos con alto contenido de agua no se podrá excavar ya que se presenta el fenómeno de rebote elástico, generado por el agua atrapada en el interior del material. Para la perforación en suelos sueltos, con este tipo de máquina es necesario mantener sobre ésta una presión axial para su mayor agarre con el suelo.

Con esta técnica se han podido realizar perforaciones horizontales de hasta 60 m. con un rendimiento de hasta 10m/hr. El rango de perforaciones que se pueden manejar con este método es desde 45 mm hasta 580 mm.

Esta máquina también se puede utilizar para hacer excavaciones verticales, para anclajes y micropilotes, para evacuación de gases en los depósitos de basura o rellenos sanitarios, para consolidación de taludes, entre otros trabajos.

### 3.1.6 Hincado de tuberías metálicas.

En casi todas las técnicas de microtúnel en la etapa de excavación o perforación se realiza simultáneamente el proceso de empuje de la tubería para su inserción en el suelo o roca. En este caso, el sistema de instalación por medio del método de hincado de tuberías se refiere a un empuje sobre la tubería para su inserción directa en el suelo.

Este método implica dos etapas durante el proceso constructivo; la primera donde se hincan o insertan los tubos en el terreno y la segunda cuando se retira el material que queda alojado dentro de la tubería.

El hincado de tuberías metálicas se puede realizar por dos métodos: el método con sistema hidráulico y el método con sistema neumático, siendo la principal diferencia entre ellos, el cómo se realiza el hincado de la tubería en el terreno; el primero lo realiza con gatos hidráulicos y el segundo método con equipo neumático.

#### *Método con sistema hidráulico.*

La instalación de tubería por el método con sistema hidráulico, consiste como primera etapa el hincado directo de una tubería en el terreno utilizando gatos hidráulicos que empujan la tubería hacia el interior del suelo. El corte del material donde se va a instalar la tubería se realiza por medio del tubo frontal o tubo piloto, que se encuentra

localizado al frente de la tubería, el cual lleva en el frente un anillo metálico con filo. (Fig. 3.32)

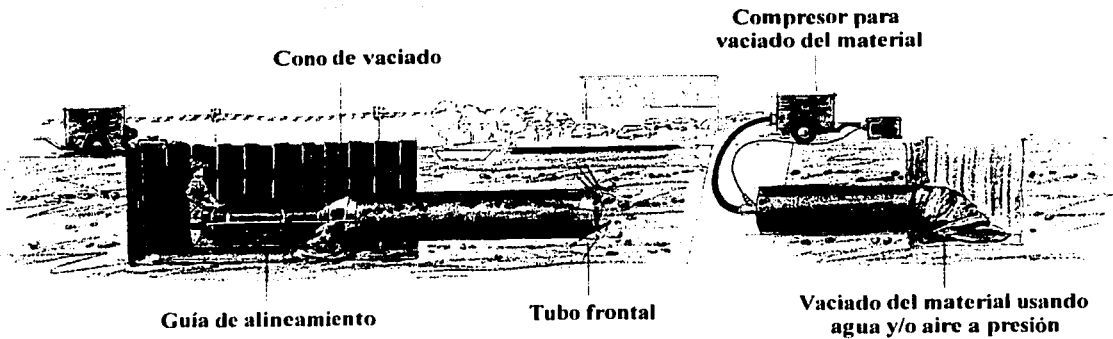


Fig. 3.32 Esquema del sistema de hincado de tubería.

En lo que se refiere al proceso de limpieza o extracción de la rezaga es un proceso que se lleva a cabo como segunda etapa al terminar el hincado de la tubería. Se utilizan chiflones de agua a alta presión, en ocasiones agua con arena a alta presión, aire a alta presión o tornillos "sinfin" (serpentin) para la limpieza de la tubería la cual normalmente queda retacada de material.

En este método, en la primera etapa intervienen los siguientes elementos, como se muestra en la figura 3.33

- ✓ Tubo frontal o piloto con anillo metálico con filo.
- ✓ Corona de empuje.
- ✓ Gatos hidráulicos.
- ✓ Plataforma de lanzamiento.
- ✓ Atraque o Muro de empuje.
- ✓ Unidad hidráulica.
- ✓ Generador.
- ✓ Equipo de topografía.

El proceso constructivo con este método consiste en abrir una lumbrera llamada de lanzamiento o de hincado, en el fondo de ésta se construye una plantilla de concreto simple sin pendientes, sobre la que se coloca la plataforma o guía de lanzamiento, la que queda nivelada y anclada al piso. En la parte trasera de la lumbrera se coloca una estructura metálica de atraque, o se construye un muro de concreto reforzado con una cara plana; será aquí donde los gatos se apoyen para transmitir su empuje a la tubería. En la parte frontal de los vástagos de los gatos de empuje, se coloca la corona o anillo de empuje, que sirve de acoplamiento entre la tubería y los gatos hidráulicos, este anillo tiene como función distribuir uniformemente el empuje sobre el perímetro de apoyo del tubo, conforme se va avanzando los tubos hincados se van uniendo por medio de soldadura con el siguiente tramo de tubería a hincar.



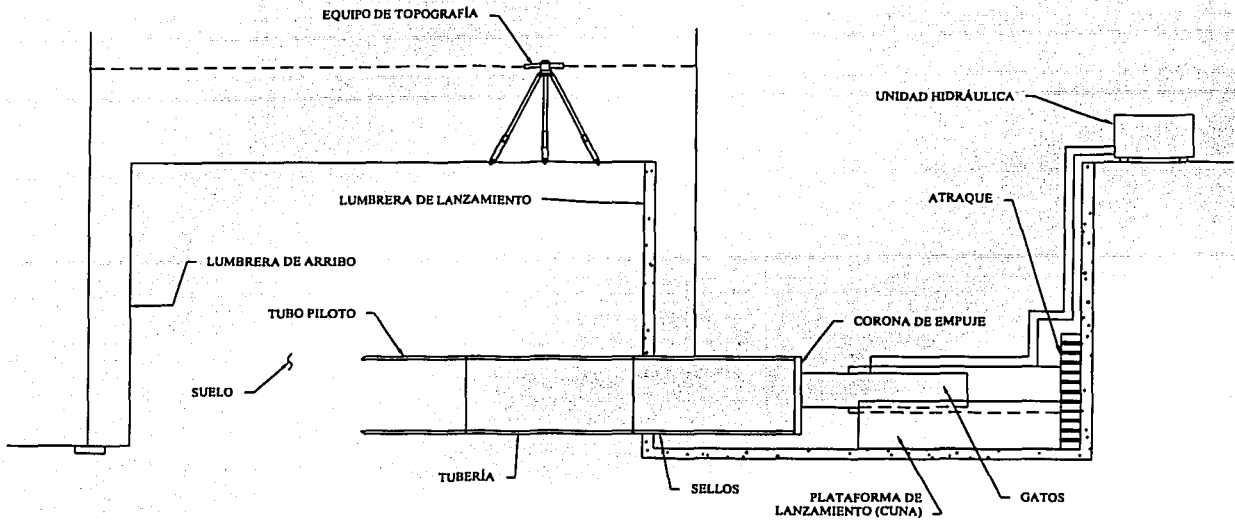


Fig. 3.33 Hincado de tubería por el método con sistema hidráulico.

El tubo frontal realiza dos funciones de suma importancia que son: el corte del suelo por penetración y la compactación del suelo, con el fin de reducir la fricción de los tubos subsiguientes el tubo frontal cuenta con un filo perimetral y se le coloca una costura con soldadura en forma helicoidal permitiendo así una penetración con mayor facilidad, cuando se requiere hincar un tubo de concreto por este método se le coloca un anillo de acero afilado al frente, este tubo frontal o piloto es recuperable para poder ser reutilizado nuevamente. En el siguiente esquema se muestra el comportamiento del suelo.

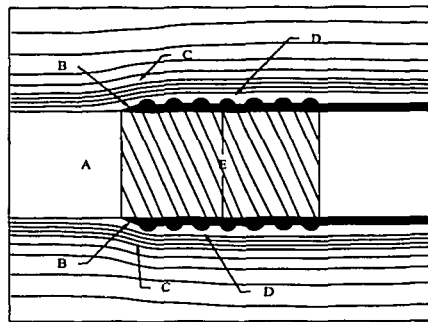


Fig. 3.34 Esquema del comportamiento del suelo durante el proceso de hincado.

El material de la zona A entra en el interior del tubo piloto, donde la fricción del suelo con el tubo es máxima (zona E); dado que el diámetro interior de los tubos subsiguientes es un poco mayor al del tubo piloto, la fricción interna disminuye, pero conforme la longitud de la tubería insertada se incrementa, las fuerzas friccionantes se van

adicionando. El suelo de la zona B es el primero en fallar, debido a la carga axial que le transmite el anillo afilado; al suscitarse la falla del material en la zona mencionada, el anillo penetra provocando deformaciones al suelo, plastificación y compactación al terreno sobre el exterior del tubo piloto. El material que se encuentra inmediatamente detrás del anillo afilado (zona C) se encuentra altamente compactado y las fuerzas friccionantes que se generan son muy altas, para disminuir este efecto y que no trascienda a lo largo de la tubería, algunas veces se le construye al tubo piloto, una costura de soldadura antifriccionante en forma helicoidal, otras veces lo que se hace para reducir este efecto de fricción, se utiliza un tubo pilote de mayor diámetro que el de los tubos a instalar. En la zona D se observa como las costuras helicoidales ayudan a comprimir el suelo abriendo más que el diámetro del tubo por instalar facilitando el hincado de esta tubería.

Cuando se hincan tuberías de concreto es necesario colocarles en la parte trasera un anillo metálico o bien un anillo de madera para evitar su despostillamiento.

La desventaja que presenta este tipo de métodos es la exactitud que se puede lograr en cuanto a línea y pendiente, ya que el único control que se puede llevar es el del alineamiento de la tubería en la lumbrera de empuje, en el interior del suelo se desconoce su comportamiento. En el caso de que se encuentre un obstáculo de dureza considerable, provocaría el desvío de la tubería e inclusive impedir por completo el hincado de la misma.

#### *Método con sistema neumático.*

La instalación de la tubería por el método con sistema neumático consiste como primera etapa el hincar la tubería en el terreno por medio de golpeo utilizando un equipo neumático. El corte del material también se realiza por medio del tubo frontal o tubo piloto, que se encuentra localizado al frente de la tubería, el cual lleva en el frente un anillo metálico con filo. En la siguiente figura se muestra el Grundoram, equipo neumático para hincar tubería, el cual se puede adaptar a diferentes diámetros de tubería, intercambiando el casco cónico, pudiendo hincar con este mismo equipo tuberías desde 200 mm de  $\varnothing$ , hasta 2000 mm de  $\varnothing$ . (Fig. 3.35)

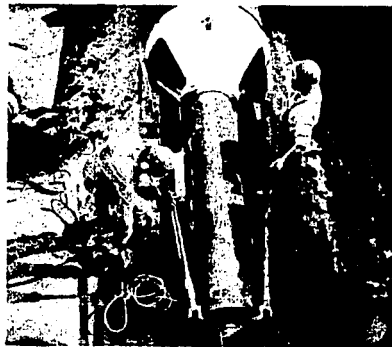


Fig. 3.35 Equipo neumático para hincar tubería Grundoram.

En lo que se refiere al proceso de limpieza o extracción de la rezaga se realiza al igual que en el método hidráulico al terminar el hincado de la tubería, utilizando chiflones de agua a alta presión o aire (Fig. 3.36) o tornillos "sinfin" e inclusive en el caso de tuberías de diámetros grandes, es factible retirar la rezaga con ayuda de herramienta de mano.



**Placa de estanqueidad  
conectada a aire o agua.**



**Terreno vaciado tras el hincado.**

**Fig. 3.36 Limpieza de la tubería por medio de aire a alta presión.**

Es importante destacar que a diferencia del método con sistema hidráulico, en el método neumático existe una pieza intermedia entre el equipo neumático y la tubería que nos sirve para ir vaciando parcialmente el material evitando que este se compacte demasiado en el interior de la tubería facilitando así su limpieza posterior.

El proceso constructivo con este método es muy parecido al hincado de tuberías con el método con sistema hidráulico; se abre una lumbrera de hincado o se realiza un corte vertical al terreno, como se puede observar en la Fig. 3.37 pero a diferencia del sistema hidráulico no se necesita construir ninguna cimentación de apoyo, por tal motivo esto nos permite que la lumbrera de hincado pueda tener dimensiones más pequeñas que la que se necesita para el sistema hidráulico, de manera perpendicular a la pared por la que se va a hincar la tubería se coloca ésta sobre una guía de lanzamiento la que podrá estar formada por viguetas metálicas las cuales deberán estar debidamente niveladas, previo a la colocación de la tubería sobre las guías, la tubería deberá tener ya colocado el tubo piloto.

Debido a que normalmente los tubos a hincar son de diámetro diferente al de la máquina neumática, a esta se le coloca un cono adaptador de acoplamiento que se ajusta a diferentes diámetros, detrás de este cono es colocado una pieza intermedia llamada cono de vaciado el cual cuenta con una ventana para retirar el material de excavación y así evitar que se compacte demasiado este material dentro del tubo; colocadas estas dos piezas intermedias la máquina es sujeta a la tubería con cadenas o eslingas debidamente tensadas, la máquina es colocada sobre una base especial con ajuste de altura, dicha base también es colocada sobre las guías previamente niveladas y cuando la tubería y la máquina han quedado niveladas y sujetadas se procede a instalar el compresor el cual dará la presión necesaria para el movimiento de vaivén del yunque golpeador de la máquina que se impacta contra el tubo, proceso similar al de las máquinas de percusión. Cada vez que es hincado un tubo se recorre la máquina para dar lugar al siguiente tramo de tubería, una vez que el tubo ha sido nivelado y sujeta a la máquina neumática es soldado al tubo ya hincado.

La presión y cantidad de aire requeridas se regulan durante el proceso, según las necesidades que se vayan presentando durante el hincado.

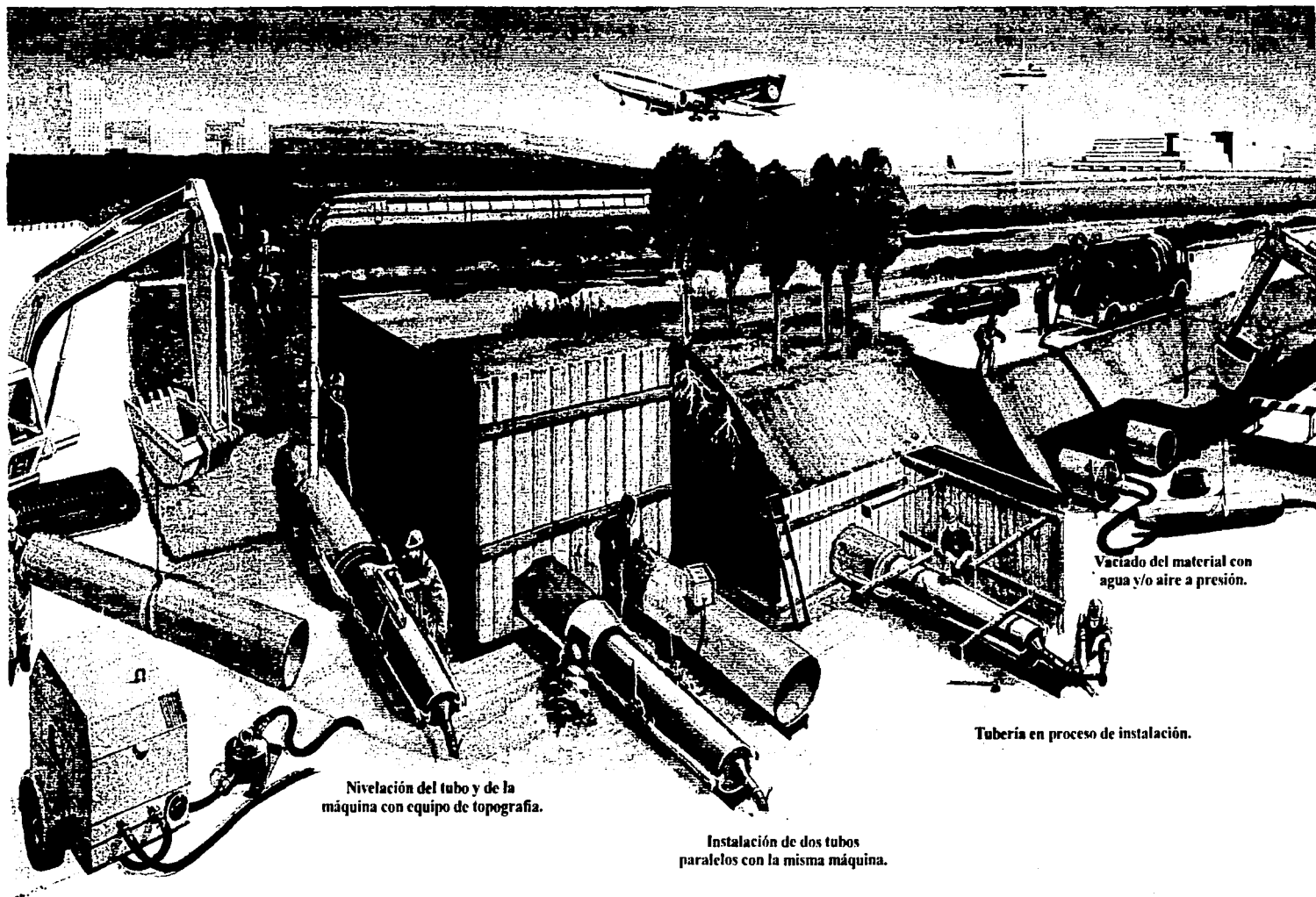
Este sistema de hincado de tuberías generalmente es utilizado para salvar tramos de entre 30 y 40 metros aunque se ha llegado a utilizar hasta en longitudes de más de 80 metros; estos alcances dependen mucho del tipo de terreno y del diámetro de la tubería

Los rendimientos que se pueden obtener con estas técnicas son de hasta 10 m / hr. mucho influye en este rendimiento el diámetro y longitud del tubo, el tipo de terreno y la máquina utilizada. Los empujes desarrollados por estas máquinas neumáticas son desde 80 ton. hasta 1,500 ton., requiriendo un consumo de aire de entre 4 hasta 36 m<sup>3</sup> / min.

Otra de las ventajas de estas máquinas es que pueden ser utilizadas verticalmente para el hincado de pilotes o tablestacas metálicas.

En la siguiente tabla recomendada por los fabricantes de este tipo de maquinaria se muestran los diferentes diámetros de tubería de acero así como sus espesores requeridos para ciertas longitudes máximas.

Diámetro DN - mm.		Espesor mínimo hasta 20 metros		Espesor mínimo para más de 20 metros		Longitud máxima	
DN	100	6.3	mm			10.0	m
DN	150	6.3	mm			15.0	m
DN	200	6.3	mm			20.0	m
DN	250	6.3	mm	7.1	mm	25.0	m
DN	300	6.3	mm	7.1	mm	30.0	m
DN	400	7.1	mm	8.0	mm	40.0	m
DN	500	8.0	mm	10.0	mm	50.0	m
DN	600	10.0	mm	12.0	mm	60.0	m
DN	700	10.0	mm	15.0	mm	70.0	m
DN	800	12.0	mm	18.0	mm	80.0	m
DN	1000	12.0	mm	18.0	mm	85.0	m
DN	1200	15.0	mm	18.0	mm	90.0	m
DN	1400	18.0	mm	20.0	mm	90.0	m



Nivelación del tubo y de la máquina con equipo de topografía.

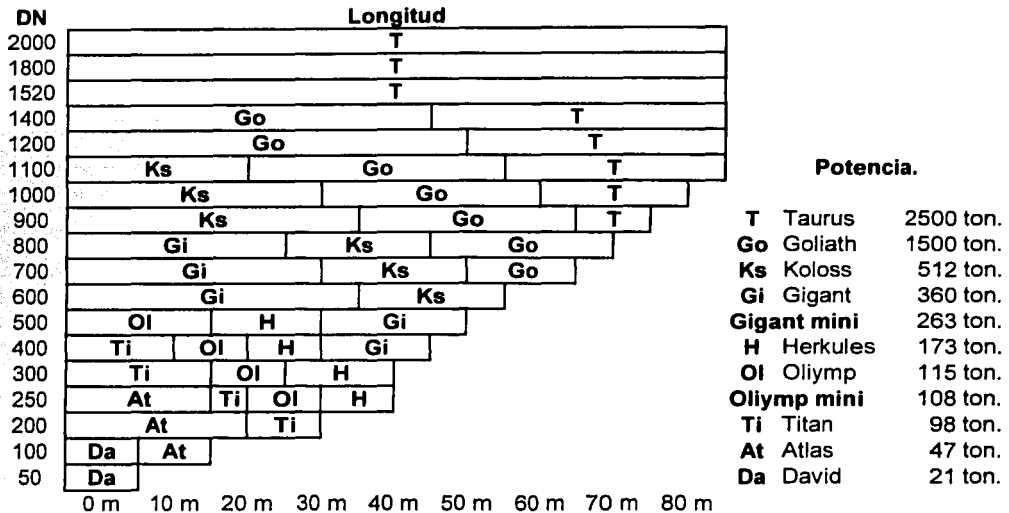
Instalación de dos tubos paralelos con la misma máquina.

Vaciado del material con agua y/o aire a presión.

Tubería en proceso de instalación.

Fig. 3.37 Proceso constructivo del hincado de tuberías con sistema neumático.

En la siguiente tabla se muestran los modelos recomendados para diversas longitudes y diámetros diferentes.



### 3.2 Sistemas de Rehabilitación de tuberías subterráneas.

Los sistemas de rehabilitación de tuberías subterráneas mediante microtuneleo, son aquellos sistemas empleados como un método correctivo en tramos de tuberías de diámetros diversos o conductos de diferentes secciones, que presentan diferentes tipos y grados de deterioro como pueden ser: fugas en sus juntas, corrosión, fisuras, entre otros, esta rehabilitación nos dará como resultado el alargamiento de la vida útil de estas estructuras a un menor costo que si tuviéramos que reemplazarlas por los métodos tradicionales.

Estos métodos tienen ciertas características particulares; por ejemplo, la cualidad más importante de estos métodos, el no tener que abrir una zanja a lo largo de la tubería que será rehabilitada, otra peculiaridad es el que no se podrá incrementar el diámetro de la tubería a rehabilitar sino por el contrario en la mayoría de los casos se tiende a disminuir por los recubrimientos que son colocados para su rehabilitación, sin embargo estos recubrimientos presentan una menor rugosidad que la que tenía la tubería vieja, evitando así que se vea disminuida su capacidad hidráulica e inclusive se llega a mejorar la capacidad de conducción. Otra característica importante es la condición que debe guardar la tubería vieja, ya que para la aplicación de estos métodos será necesario que dicha tubería cuente con cierta estabilidad estructural y que no esté colapsada.

### 3.2.1 Inspección mediante circuito cerrado de televisión.

Es importante destacar que previo a cualquier trabajo de rehabilitación o reemplazo de tubería se deberán realizar trabajos de inspección detallados, para determinar las condiciones reales en la que se encuentra la tubería en cuestión y así decidir que será más factible en cuanto a tiempo y costo, ya sea la rehabilitación o reemplazo de dicha tubería.

Anteriormente cuando era necesario realizar una inspección dentro de una tubería de aguas negras o pluviales era forzoso que dicha inspección fuera realizada por personal a vivo pleno dentro de la tubería y con ello todos los riesgos que se acompañan, además, en el caso de tuberías de pequeño diámetro resultaba prácticamente imposible la inspección de las tuberías ya que no era posible el acceso directo a ellas. Con este método de inspección de circuito cerrado de televisión es posible la introducción de una cámara a control remoto, ( Fig. 3.38 ) la cual nos muestra las condiciones en que realmente se encuentra la tubería, sin tener que poner en riesgo la integridad del personal que realizará la inspección.

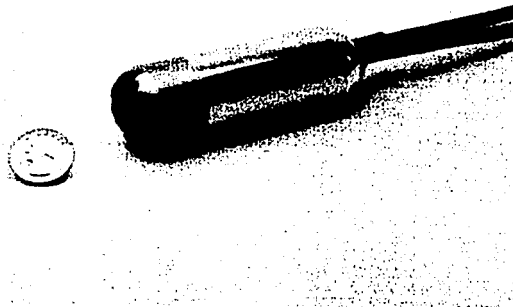


Fig., 3.38 Cámara a control remoto.

Para la realización de la inspección mediante circuito cerrado de televisión, es conveniente que dicha inspección se realice en seco, para lo cual será necesario realizar un desvío (by pass) de las aguas residuales.

Para realizar dicho desvío será necesario taponar la red de alcantarillado existente, dicho trabajo se puede llevar a cabo por medio de taponos de neopreno inflables, los cuales existen en una diversidad de rangos de diámetro desde 0.10 m hasta 2.44 m. (Fig. 3.39) el taponamiento deberá realizarse aguas arriba del tramo a rehabilitar, en el pozo de visita inmediato siguiente a dicho tramo.

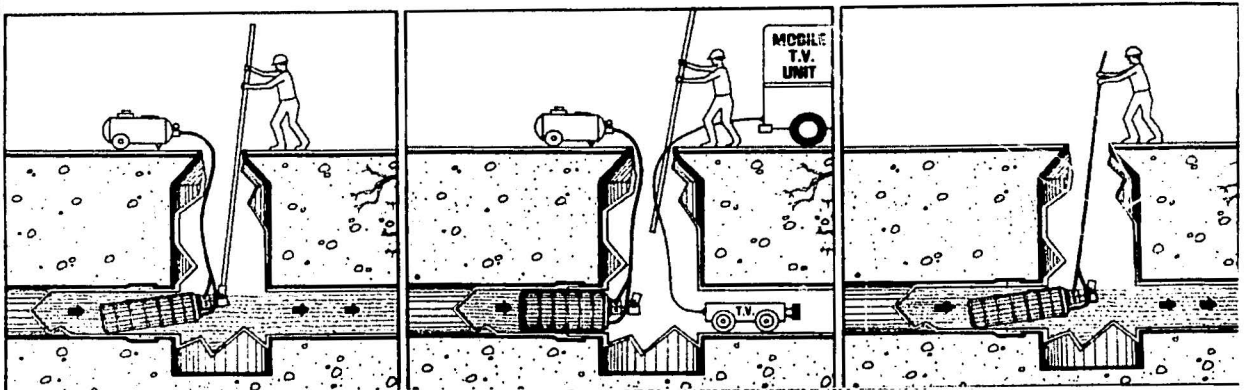


Fig. 3.39 Tapones de neopreno inflables.

Previo a la inspección mediante circuito cerrado de televisión, será necesario realizar una limpieza o desazolve, retirando los posibles obstáculos que pudieran estorbar, lo anterior es con la finalidad de poder asegurar que tendrá paso libre la cámara de video a través de todo el tramo a inspeccionar, dicha limpieza se puede llevar a cabo ya sea mediante un equipo de desazolve por medio de malacate, descargando el producto de la limpieza de la tubería directamente sobre un camión de volteo o bien mediante equipo de agua a presión succionada por medio de vacío (jet).

Una vez realizada la limpieza se llevará a cabo la inspección la cual se realizará de pozo a pozo de visita con el equipo de televisión de circuito cerrado, estos equipos cuentan con una visión mayor a 180 grados con respecto a la horizontal y a la vertical, los cuales pueden ir montados sobre orugas o ruedas guiados a control remoto (Fig. 3.40) o bien si fuera necesario debido a las condiciones de la tubería existente, el equipo de televisión se puede colocar sobre tablas deslizables las cuales son jaladas mediante un malacate.



En el monitor se pueden observar las condiciones reales en que se encuentra la tubería, localización del tramo y tipo de falla, con el contador automático se puede obtener la distancia recorrida de pozo a pozo de visita y la localización y características de las descargas.



Fig. 3.40 transportador de cámara sobre ruedas.

Además de la inspección, generalmente se entrega un reporte en video cassette el cual cuenta con toda la información resultado de la inspección debidamente editado con distancias conforme al recorrido, así mismo un reporte gráfico en el cual se encuentran los datos referentes a distancias entre pozo y pozo de visita así como ubicaciones de descargas, tipo de fallas, notas y comentarios. (Fig. 3.41)

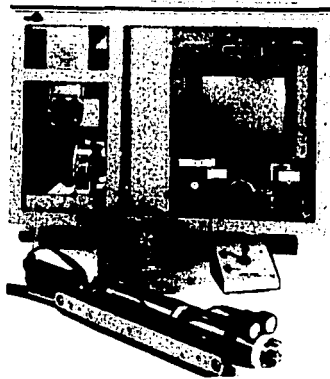


Fig. 3.41 Equipo de monitoreo y captura de datos.

Una vez realizados los trabajos de rehabilitación generalmente es necesario el corte de los recubrimientos puestos a lo largo de la tubería en las zonas de las descargas laterales, para lo cual se utilizan cámaras especiales con cortadores, las cuales son manejadas a control remoto, donde el operador desde la superficie controla toda la operación de corte. (Fig. 3.42)

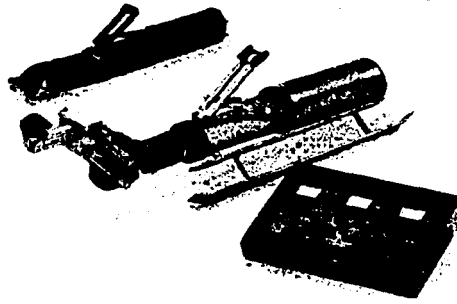


Fig. 3.42 Cámaras a control remoto con cortadores para descargas laterales.

### 3.2.2 Encamisados de tubería.

Dentro de los sistemas de rehabilitación de tuberías se encuentran los encamisados los cuales están diseñados especialmente para reparar tuberías de drenaje existentes, sin la necesidad de excavar el tramo a rehabilitar, todos los trabajos de rehabilitación se realizan a través de los pozos de visita y están diseñados para trabajar de pozo a pozo de visita.

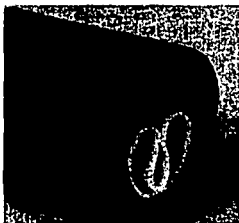
Existen varios métodos constructivos para rehabilitación que caen en la categoría de encamisados dentro de los cuales se mencionan los siguientes

- Encamisado por medio de una tubería flexible y expansible que cubrirá la tubería en toda su longitud.
- Encamisado por medio del deslizamiento de una tubería dentro de la tubería vieja.

#### *Encamisado mediante tubería flexible y expansible.*

En lo que se refiere a este proceso podemos decir que es un método en el que la tubería nueva (flexible y expansible) se apoya en lo que a estructura se refiere, totalmente en la tubería vieja por lo que resulta de suma importancia que la tubería vieja cuente al momento de su rehabilitación con una estructura estable. (Fig. 3.43)

a)



b)

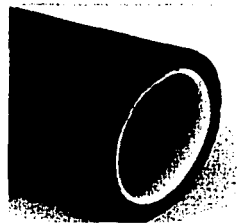


Fig. 3.43 a) Tubería por instalar flexible, b) Tubería ya instalada rígida.

Este tipo de tubería está diseñada para reparar las tuberías de drenaje y es fabricada a base de cloruro de polivinilo (PVC), que al momento de instalarse es flexible, lo que permite reparar líneas de drenaje rotas o con fugas, sin la necesidad de excavar y que al endurecerse queda en un estado rígido, resistente y sin costuras.

*El procedimiento constructivo de este método es el siguiente:*

1. Una vez abiertos los pozos de visita se tendrá que ventilar la tubería a rehabilitar asegurándose de que existen niveles seguros de oxígeno para el trabajo del personal.
2. Dejar estanco el tramo a rehabilitar taponando la línea aguas arriba y aguas abajo, así como las descargas en el tramo a rehabilitar.
3. Se realizará una limpieza en el tramo a rehabilitar desazolviendo la tubería así como retirando todos los posibles obstáculos que pudiera haber que eviten el paso de la cámara de inspección.
4. Inspección para observar las condiciones de la tubería y poder verificar la ubicación exacta de las descargas domiciliarias, para que posterior a la rehabilitación de la línea éstas se vuelvan a conectar y verificar los problemas potenciales. (Fig. 3.44)

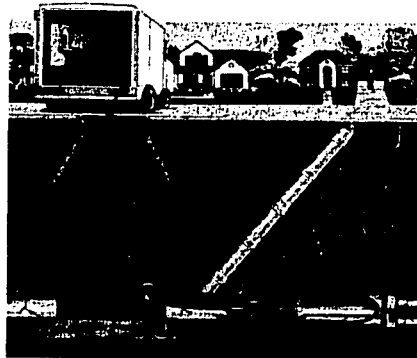


Fig. 3.44 Inspección a través de cámara de TV remota.

5. Se realiza una limpieza exhaustiva quitando todo el material que se pueda desprender de la tubería vieja. Esta limpieza puede ser ya sea a base de chorro con agua a alta presión o bien de manera manual.
6. Una vez limpia la tubería existente se jala la nueva tubería flexible y expansible doblada, a través de la existente, de pozo a pozo de visita y los extremos se recortan al tamaño necesario. (Fig. 3.45)

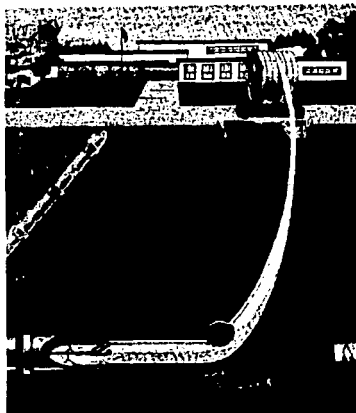


Fig. 3.45 La tubería flexible es jalada de pozo a pozo de visita.

7. Instalada la tubería flexible y expansible se suministra vapor a presión, para provocar que el calor desdoble la tubería haciéndola flexible, y que la presión haga que se expanda dando forma y acomodo contra la tubería vieja, la capacidad de este material permite que se amolde herméticamente contra la tubería original para que quede fija en su lugar. (Fig. 3.46)



Fig. 3.46 Aplicación de vapor caliente a presión para dar forma a la nueva tubería flexible.

8. Después la tubería nueva es enfriada con aire presurizado y a medida que se va enfriando se endurece, adquiriendo resistencia hasta llegar a tener una estructura sólida.
9. Por último una vez que la nueva tubería se encuentra rígida, se recorta el área de los pozos de visita y las descargas domiciliarias, mediante una cámara con cortador a control remoto. (Fig. 3.47)

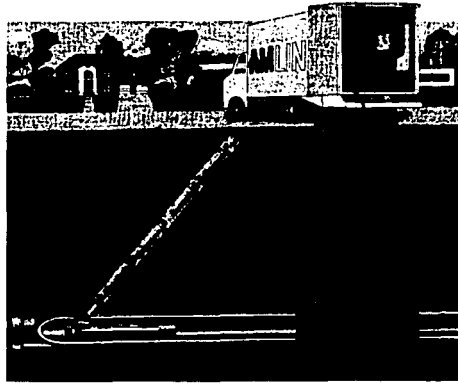


Fig. 3.47 Las descargas domiciliarias se cortan por medio de una cortadora robótica.

Este mismo procedimiento se realiza para los pozos de visita, cambiando exclusivamente las dimensiones y forma de este recubrimiento. (Fig. 3.48)

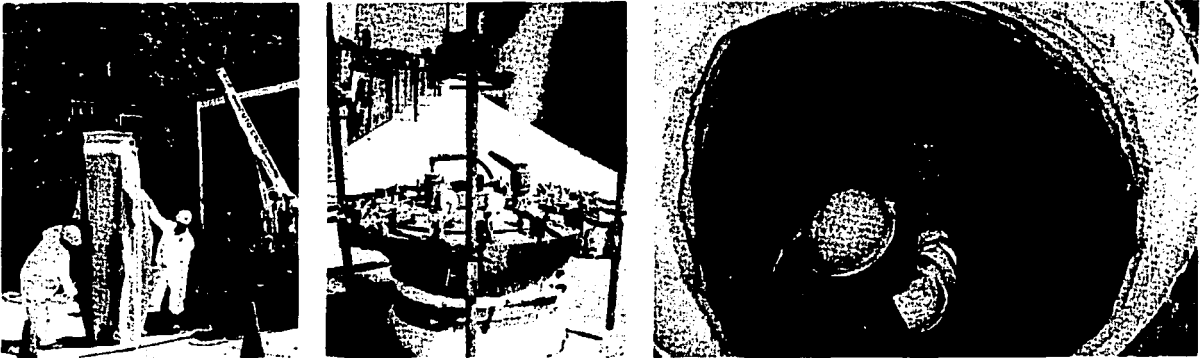


Fig. 3.48 Pozo de visita en rehabilitación.

#### *Encamisado mediante deslizamiento de tubería (Sliplining).*

Este método consiste en hacer deslizar la nueva tubería dentro de la deteriorada, a diferencia del método anterior, la tubería nueva es rígida.

Este método tiene dos variantes para introducir la nueva tubería, ya sea por medio de empuje o de tracción.

### *Sistema de deslizamiento mediante empuje.*

Este sistema nos sirve para insertar y deslizar una nueva tubería dentro de otra deteriorada, una característica principal de este método es que permite la rehabilitación al pleno vivo sin la necesidad de desviar las aguas residuales. (Fig. 3.49)

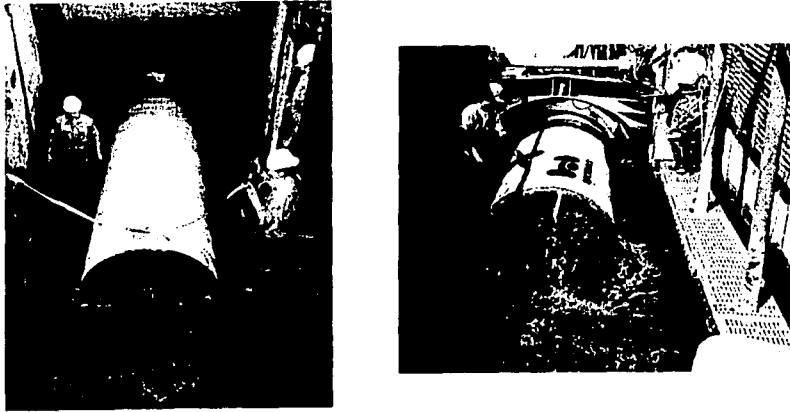


Fig. 3.49 Deslizamiento de tubería mediante empuje.

#### Proceso constructivo:

- Construcción de una lumbrera donde se bajará el equipo de deslizamiento de tubería, así como la tubería misma.
- Una vez construida la lumbrera, la mitad superior de la tubería existente es removida a lo largo de la lumbrera, lo anterior con la finalidad de crear el acceso a la tubería vieja.
- Posteriormente se procede a bajar el equipo de deslizamiento de tubería y se ancla a la lumbrera de inicio.
- El siguiente paso es el bajar la tubería al sistema el cual controla la nivelación y evita que el caudal que trae la tubería vieja mueva a la tubería nueva por instalar.
- Una vez que la tubería nueva es colocada en el sistema de empuje, éste se pone a funcionar y empuja la tubería axialmente, un malacate de retención sujeta la hilera de tuberías que se va instalando y evita que se mueva debido a la fuerza del flujo del líquido.
- Ya instalada la nueva tubería se procederá a rellenar el espacio anular que queda entre la tubería deslizada y la tubería vieja, este relleno puede ser de diferentes

materiales, desde lodos bentoníticos, morteros o bien poliuretanos por medio de inyección.

### *Sistema de deslizamiento mediante tracción.*

Este sistema nos sirve para insertar y deslizar una tubería nueva dentro de otra deteriorada; a diferencia con el sistema anterior no es posible realizar la rehabilitación de la tubería vieja mientras ésta esté en funcionamiento, debido al proceso constructivo que se indica adelante. (Fig. 3.50)

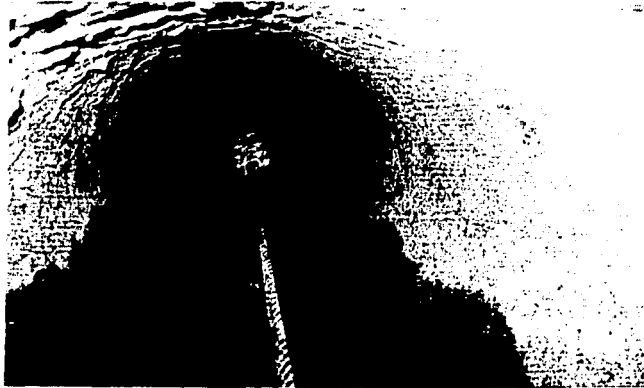


Fig. 3.50 Deslizamiento de tubería mediante tracción.

#### Proceso constructivo:

- En el caso de que la tubería a rehabilitar sea de drenaje; ésta se deberá ventilar asegurándose de que existan niveles seguros de oxígeno para el trabajo del personal.
- Dejar estanco el tramo a rehabilitar taponando la línea aguas arriba y aguas abajo así como las descargas en el tramo a rehabilitar.
- Se realizará una limpieza en el tramo a rehabilitar desazolviendo la tubería así como retirar todos los posibles obstáculos que pudiera haber y que eviten el paso de la cámara de inspección.
- Inspección para observar las condiciones de la tubería y poder verificar la ubicación exacta de las descargas domiciliarias, para que posterior a la rehabilitación de la línea éstas se vuelvan a conectar y verificar los problemas potenciales.
- Crear un acceso a la tubería vieja, con la finalidad de poder introducir la nueva tubería por instalar.

- Preparación de la tubería por instalar; generalmente en este método se utiliza tubería de polietileno de alta densidad (PAD), unidos por termofusión.
- Previo a la inserción de la tubería nueva en la vieja, se le instala a la tubería nueva una cabeza metálica, la cual va hacer el punto de jalón.
- Del lado opuesto de la tubería por rehabilitar se abre otra ventana donde se instala un malacate (winch) el cual suministrará la fuerza para traccionar toda la tubería nueva a través de la vieja.
- Dependiendo del diámetro de la tubería así como las condiciones de la tubería vieja se abren ventanas a cada cierta longitud para verificar el paso de la tubería nueva y en caso necesario se suministrará algún lubricante par reducir la fricción entre la tubería nueva y la vieja. (Fig. 3.51)

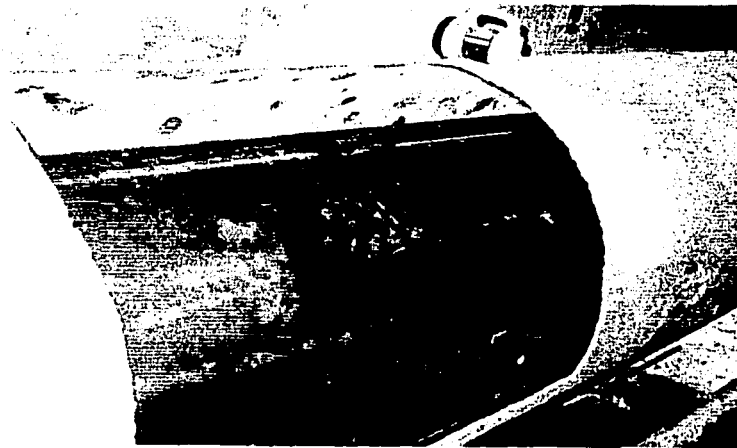


Fig. 3.51 Ventana de inspección durante el proceso de tracción de la tubería nueva.

- Ya instalada la nueva tubería se procederá a rellenar el espacio anular que queda entre la tubería deslizada y la tubería vieja, este relleno puede ser de diferentes materiales; lodos bentoníticos, morteros o bien poliuretanos por medio de inyección.



### 3.3 Sistemas de Reemplazo de tuberías subterráneas.

Los sistemas de reemplazo de tuberías subterráneas mediante microtuneleo, son aquellos sistemas empleados como un método de reemplazo total en tramos de tuberías de diámetros diversos, que presentan diferentes tipos y grados de deterioro que ya no permiten el funcionamiento óptimo de la tubería como pueden ser: alto grado de corrosión, fisuras, grietas, intrusiones de raíces, entre otros, e inclusive partes semicolapsadas; la principal ventaja que nos presentan estos métodos de reemplazo es la no apertura de zanjas a lo largo de la tubería, si no exclusivamente en pequeños tramos para la introducción de la nueva tubería dándonos como resultado un menor costo que si tuviéramos que reemplazarlas por los métodos tradicionales con toda la obra inducida que esto representa.

Una ventaja que presentan estos métodos es el poder incrementar el diámetro de la tubería que se va a reemplazar hasta un cierto rango pudiendo incrementar así su capacidad en cuanto a conducción se refiere.

Otra característica que presenta debido a su proceso constructivo es el poder evitar casi por completo la obra inducida debido a que la nueva tubería por instalar tendrá el mismo trazo que la tubería existente, siendo más accesible para contratación en la modalidad de precio alzado ya que son conceptos muy definidos así como los volúmenes de obra.

#### 3.3.1 Reemplazo con reventamiento de tubería existente. (Pipe Bursting)

El sistema de reemplazo con reventamiento de tubería existente (pipe bursting) es un método que se utiliza para el reemplazo de tuberías de agua, drenaje, gas entre otras, de diversos materiales ya sea de barro, asbesto cemento, concreto, hierro fundido, PVC, concreto reforzado, entre otras, con el cual se puede aumentar el diámetro de la tubería al próximo inmediato e inclusive dependiendo de las condiciones del terreno hasta 3 diámetros subsiguientes mas. Para este método se utiliza tubería de polietileno de alta densidad (PAD); debido a la posibilidad de incremento de diámetro y a la baja rugosidad que tiene este tipo de tubería incrementando considerablemente su capacidad de conducción. (Fig. 3.52)

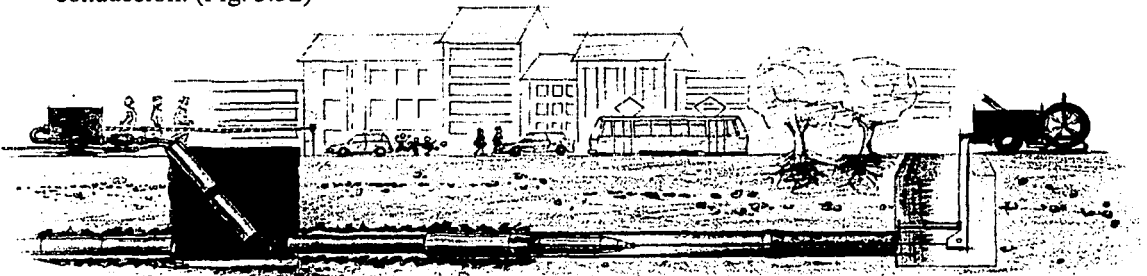


Fig. 3.52 Proceso constructivo del método de reventamiento de tubería (Pipe Bursting).

Este método es muy usado en Europa, habiendo reemplazando más de 100 Km. en países como Alemania, Holanda, Francia, Inglaterra entre otros y aproximadamente desde hace 5 años, se está usando en México.

Éste es un método con el cual se va destruyendo, mediante expansión, la tubería vieja existente al mismo tiempo que se va instalando la nueva tubería del mismo diámetro e inclusive con un diámetro mayor; la tubería nueva generalmente es de polietileno.

Durante el proceso constructivo existen dos variantes para el reemplazo de la tubería vieja, ya sea que se instale la nueva tubería por medio de tracción o bien se instale por percusión, como si se tratase del método de perforación percusiva, descrito antes en el subcapítulo 3.1.5

El proceso constructivo de este método es prácticamente el mismo que el método anterior el cual consiste en:

- Abrir pequeñas zanjas de acceso a la tubería vieja, así como de salida aproximadamente de 100 a 200 m. Fig. 3.53



Fig. 3.53 Ventanas de acceso.

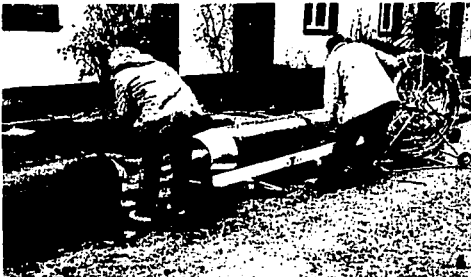
- En el caso de que la tubería a reemplazar sea de drenaje; ésta se deberá ventilar asegurándose de que existen niveles seguros de oxígeno para el trabajo del personal.
- Dejar estanco el tramo a rehabilitar taponando la línea aguas arriba y aguas abajo así como las descargas en el tramo a rehabilitar.
- Se realizará una limpieza en el tramo a rehabilitar desazolviendo la tubería así como retirar todos los posibles obstáculos que pudiera haber que eviten el paso de la cámara de inspección.

- Inspección para observar las condiciones de la tubería y poder verificar la ubicación exacta de las descargas domiciliarias, o tomas para que posterior al reemplazamiento de la línea éstas se vuelvan a conectar.
- Preparación de la tubería por instalar; generalmente se utiliza tubería de polietileno de alta densidad (PAD), unida por termofusión. (Fig. 3.54)

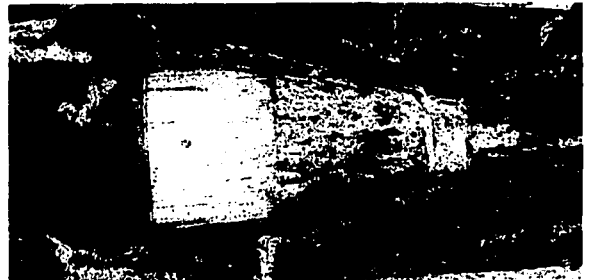


Fig. 3.54 Preparación la tubería nueva de PAD.

- Previo a la inserción de la tubería nueva en la vieja, se le instala una cabeza metálica en forma de cono llamada cabeza fragmentadora, la función que tiene esta pieza es el de romper la tubería existente al momento que es jalada a través de ella, forzando que los fragmentos de ésta se muevan hacia la pared del terreno. Fig. 3.55



Neumática



Por tracción

Fig. 3.55 Cabezas de fragmentación.

- Se introduce una guía a través de la tubería por reemplazar.
- Del lado opuesto de la tubería por rehabilitar se abre otra ventana donde se instala un malacate (winch) o una unidad de tracción, dicho elemento será el que suministrará la fuerza para traccionar toda la tubería nueva a través de la vieja; en el caso del método por percusión no será necesario este elemento de tracción ya que la fuerza de tracción la realiza la cabeza de percusión. Fig. 3.56

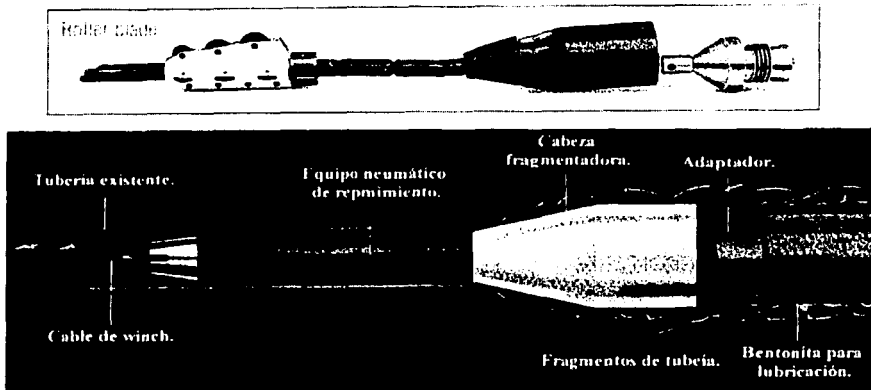


Fig. 3.56 Unidad de tracción.

- Una vez instalado el equipo de tracción, se conecta la guía a la cabeza fragmentadora, la cual arrastra la tubería nueva tras ella instalándola al mismo tiempo que va rompiendo la tubería vieja, esta pieza tiene un diámetro ligeramente mayor al de la nueva tubería esto para reducir la fricción, y por supuesto mayor que el diámetro interior de la tubería existente.
- Dependiendo del diámetro de la tubería nueva así como las condiciones de la tubería vieja, se abren ventanas a cierta longitud para verificar el paso de la tubería nueva y en caso necesario se suministrará algún lubricante par reducir la fricción entre la tubería nueva y la vieja. Fig. 3.57

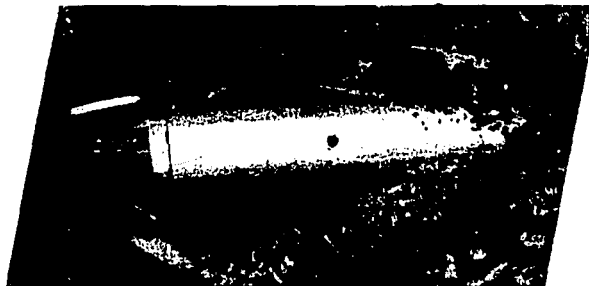


Fig. 3.57 Ventanas de inspección

- Una vez reemplazada la tubería se procede a la conexión de tomas en el caso de tubería de agua o descargas en el caso de tubería de drenaje.
- Por último, se procede a rellenar las ventanas de acceso o inspección.

### 3.3.2 Reemplazo por extracción de tubería existente. (Pipe Extraction)

El sistema de reemplazo por extracción de tubería existente (pipe extraction) es un método que no intenta romper la tubería que se piensa reemplazar, si no que es un método que extrae la tubería vieja en donde se emplea una pieza extractora que es colocada en la punta de la tubería existente, la cual empuja y va desplazando a esta tubería hacia un pozo donde se puede extraer toda la tubería vieja, (Fig. 3.58). Dependiendo de las condiciones del subsuelo este método generalmente requiere emplear más fuerza que el de reventamiento de tubería.

Este método es empleado generalmente para el reemplazo de tuberías de acero o fierro fundido sin excavación donde su principal aplicación es para líneas de alimentación de agua potable y gas.

Una ventaja de este método de extracción en estas aplicaciones es que también extrae los coples de reparaciones hechas con anterioridad en la tubería al ser reemplazada.

En una extracción de tubería de agua potable los procesos constructivos a seguir son los siguientes:

- Abrir pequeñas zanjas de acceso a la tubería vieja, así como de salida en forma semejante que como se hace en el método de reventamiento de tubería.
- Dejar estanco el tramo a rehabilitar suspendiendo el suministro de agua en la línea.
- Se inspecciona la tubería para observar las condiciones de la misma y poder verificar la ubicación exacta de las tomas domiciliarias, para que posterior al reemplazamiento éstas se vuelvan a conectar.
- Antes de empezar la extracción de la tubería vieja y previendo que ésta se desvíe durante el empuje para la extracción de la misma, se emplea una pieza extractora que es colocada en la punta de la tubería existente, la cual empuja y va desplazando a la tubería existente hacia el pozo donde se puede extraer.
- El proceso de empuje consiste en que una unidad hidráulica va empujando barras de acero que a su vez mueven la pieza extractora que al estar acoplada con la tubería vieja la va desplazando hacia un pozo donde se puede extraer toda la tubería.

- Cuando la extracción es completada, el espacio ocupado por la tubería vieja ahora es ocupado por las barras de empuje y esto permite que la cavidad se mantenga.
- Cuando la herramienta de extracción es liberada por completo en el pozo de salida de la tubería vieja, esta herramienta es cambiada por una herramienta de instalación, parecida a la usada en el método de reventamiento de tubería (cabeza fragmentadora) y ésta a su vez es conectada con la nueva tubería.
- Ya conectada la herramienta de instalación se procede a traccionar con la misma unidad de empuje la nueva tubería.

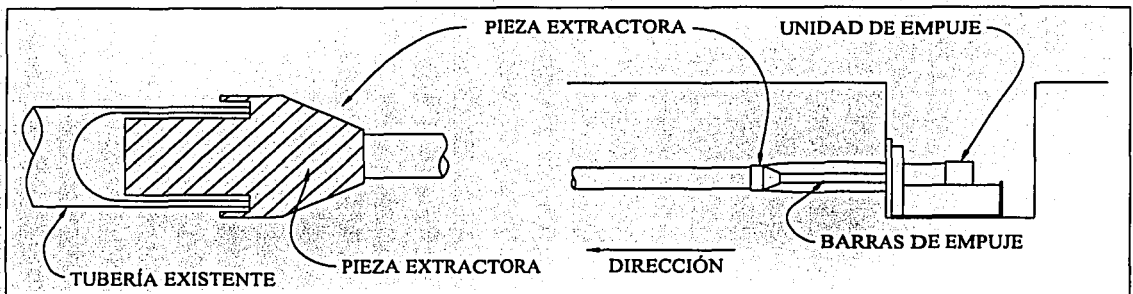


Fig. 3.58 Proceso constructivo del método de reemplazo por extracción de tubería existente.

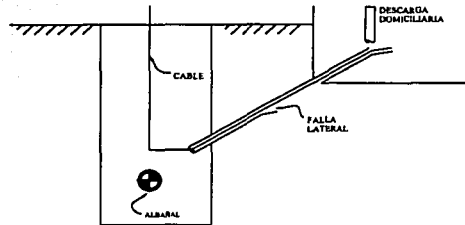
### 3.3.3 Reemplazo de conexiones domiciliarias. (Lateral Replacement Method)

El reemplazo de conexiones domiciliarias (albañales) de la línea principal (colector general) a las viviendas o negocios, ha causado problemas considerables en el pasado. Los jardines, pisos, edificaciones, cimentaciones y cocheras han sido dañadas para reemplazar tuberías antiguas que por estar muy deterioradas o rotas ya no cumplen con su función adecuadamente.

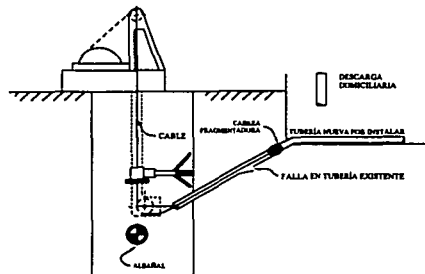
Con el uso del método de reemplazo de conexiones domiciliarias éstas pueden ser reemplazadas sin estos percances, la conexión domiciliar es desconectada en su junta con la línea principal (colector general) y se inserta un cable a través de la tubería existente para alcanzar un registro en el interior del predio, una pieza cónica es instalada a la punta del cable y la tubería nueva es a su vez conectada a dicha pieza cónica, tanto la pieza cónica como la tubería nueva son jaladas hacia la línea principal, simultáneamente va fragmentando la tubería vieja y al mismo tiempo va instalando la nueva y corrigiendo deficiencias menores de alineamiento y pendiente.

Con un poco más de detalle el proceso constructivo para el reemplazo de conexiones domiciliarias es el siguiente:

- El primer paso es localizar la descarga domiciliaria y verificar el daño que ésta presenta, esto se puede realizar con una inspección previa mediante circuito cerrado de televisión.
- Una vez localizada la descarga domiciliaria se excava una pequeña fosa de acceso con el tamaño suficiente para poder operar y visualizar bien la descarga domiciliaria.
- La descarga domiciliaria es desconectada en su junta con el colector general y ésta se abre en sus extremos tanto en la conexión con el colector general como en el interior del predio.
- Una vez que se tiene acceso por ambos extremos de la descarga domiciliaria se inserta un cable a través de la tubería desde el registro en el interior del predio hasta la conexión con el colector general, como se muestra en el siguiente esquema.



- Se coloca una cabeza fragmentadora como la usada en el método de reventamiento y se instala en la punta del cable y la tubería nueva es a su vez conectada a dicha pieza cónica, tanto la pieza cónica como la tubería nueva son jaladas hacia la línea principal, simultáneamente va fragmentando la tubería vieja y al mismo tiempo va instalando la nueva, como se muestra en el siguiente esquema; generalmente la tubería nueva a instalar es de polietileno.



- Se finaliza reconectando la nueva tubería tanto con el colector general como en el interior del predio y se procede a rellenar la fosa de acceso.

## CAPÍTULO 4: EJEMPLO DE APLICACIÓN.

Proyecto Integral: Estudios, Diseño, Proyecto y Construcción del desvío de 97.0 metros del colector de 2.44 m. de diámetro localizado a una profundidad entre 5.0 y 7.0 m. inducido por la construcción del metropolitano línea "B", Buenavista- Ecatepec.

### Antecedentes:

La ejecución de esta obra se realizó para el Gobierno del Distrito Federal, por conducto de la Dirección General de Construcción de Obras del Sistema de Transporte Colectivo "D.G.C.O.S.T.C."

La contratista que realizó esta obra fue: Microtunel, S.A. de C.V. mediante contrato de Obra pública a precio alzado y tiempo determinado.

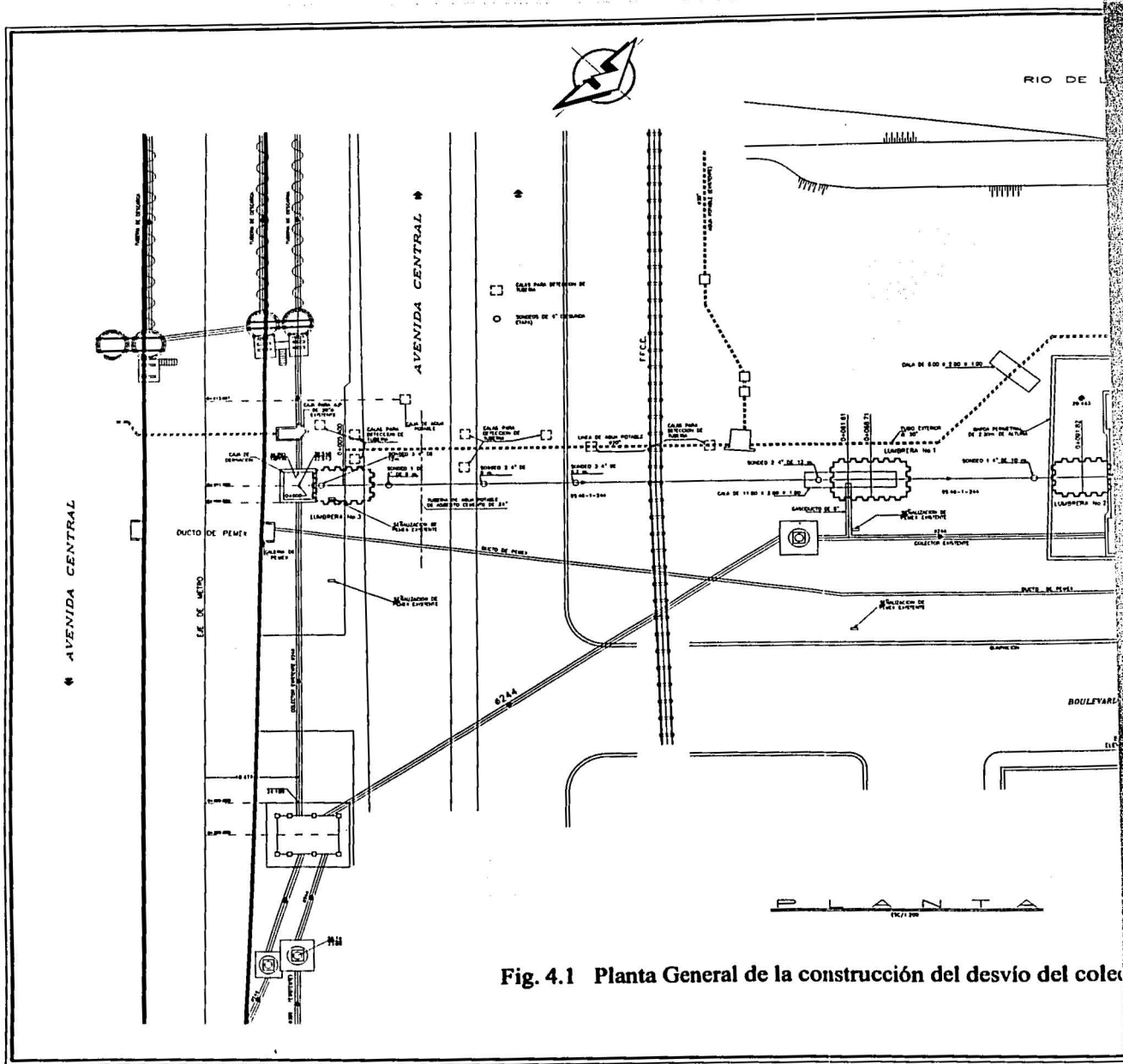
La ubicación de esta obra es Av. Carlos Hank González (Av. Central) al norte de la estación Río de los Remedios aproximadamente en el cadenamiento 5 + 402.017 respecto al metro, en el Municipio de Ecatepec Estado de México. (Fig. 4.1 Planta General)

La ejecución de esta obra se realizó mediante el método de Tuneleo a base de hincado hidromecánico de tuberías de concreto, el cual como ya se describió en el capítulo 3, es un método de instalación de tubería que consiste en empujar dicha tubería a través del terreno mientras se excava y se retira el suelo a medida que la tubería avanza.

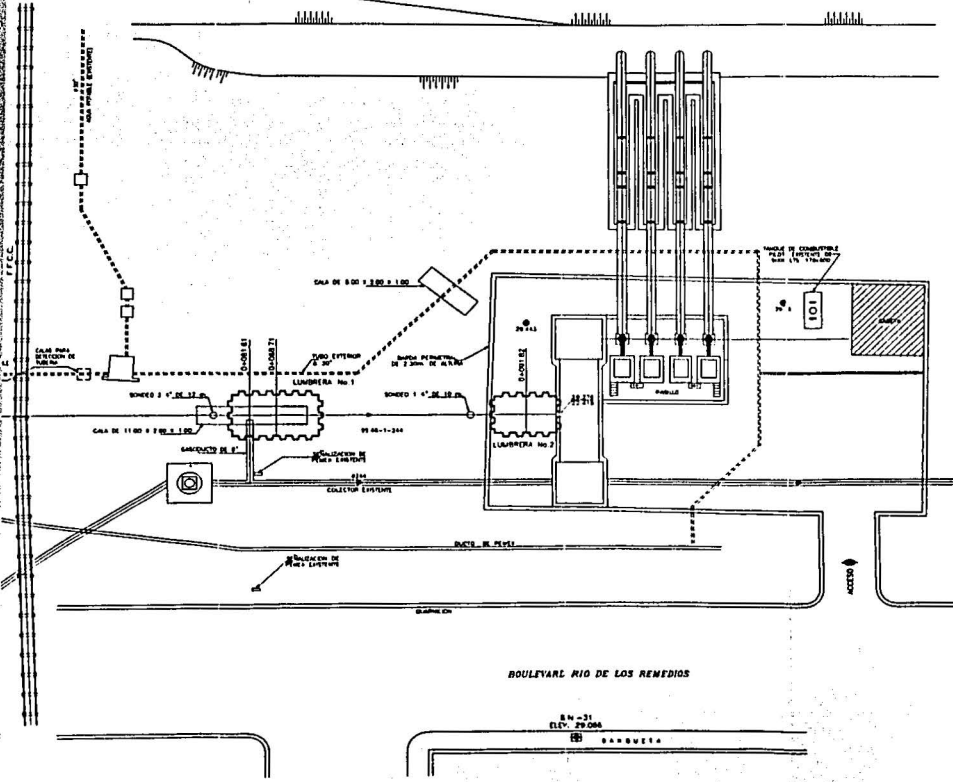
La decisión de que esta obra se realizara por dicho método se fundamentó en lo siguiente:

Para poder continuar con la construcción del metropolitano línea B en su tramo de la estación Río de los Remedios a la estación Múzquiz aproximadamente en el cadenamiento 5 + 402.017 era necesario sustituir un colector existente de 2.44 m de Ø interior de concreto reforzado, así como unos cárcamos de bombeo, dado que este colector se encontraba en el eje del proyecto del metropolitano línea B, por lo tanto habría que hacer una desviación del mismo, para lo cual se construyó un cárcamo de bombeo denominado Cárcamo de bombeo No. 10 aproximadamente a 100 m paralelos a los existentes (Fig. 4.1 Planta General), una vez construido dicho cárcamo habría que conectar el colector existente con el cárcamo No. 10, para lo cual se tendría que atravesar la Av. Carlos Hank González, en sus cuatro carriles en dirección Texcoco-México, la cual cuenta con un tránsito con una carga vehicular muy densa así como la vía del ferrocarril México - Cuautla, tomando en cuenta lo anterior era prácticamente imposible realizar esta obra a cielo abierto debido a que el costo social sería muy alto, fue así como se determinó desde su licitación pública como Proyecto Integral y el cruce de la vía del ferrocarril se tendría que realizar por el método de tubería hincada.





RIO DE LOS REMEDIOS



BOULEVARD RIO DE LOS REMEDIOS

S.N. 321  
ELEV. 79.066

BANQUETA

PLAN  
ENC/1200



CROQUIS DE LOCALIZACION

NOTAS

- 1 - LAS INDICACIONES ESTAN EN CENTIMETROS EXCEPTO LAS DEMOSIAS EN OTROS UNIDADES
- 2 - ELIZACIONES EN METROS
- 3 - TODOS LOS DIMENSIONES INDICADAS EN CENTIMETROS EXCEPTO DONDE SE HAYAN OTROS UNIDADES
- 4 - EL NUMERO DE CANTIDAD INDICADOS SERAN CUANTOS EN LA UNIDAD QUE SE INDICA SIEMPRE QUE NO SE INDICAR OTRO NUMERO
- 5 - ESTARAS INDICADAS LAS INDICACIONES EN EL CASO DE INDICACIONES EN UNIDADES OTROS QUE LAS UNIDADES INDICADAS EN EL PLAN
- 6 - PARA DETALLES ESTRUCTURALES CONSULTAR PLANOS CORRESPONDIENTES

SIMBOLOGIA

	PLANO DE SERVIDIO	ESTRUCTURA	PROYECTO
COLECTOR			
LINEA DE SEDA POSIBLE			
LINEA DE PARETE			
SARLA ESTACA AZ			
ELIMINACION DEL TERRENO			
ELIMINACION DE PLANTAS			
DIMOS DE SIVEL			

No.	MODIFICACION	FECHA	FORMA



GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL  
Secretaría de Obras y Servicios  
Dirección General de Construcción de Obras del Sistema de Transporte Colectivo

METROPOLITANO LINEA B

FECHA	ESTADO	PROYECTO

Plano General de la construcción del desvío del colector de 2.44 m de Ø

En esta obra se aprovechó una ventaja desde el punto de vista económico administrativo que ofrece este tipo de sistemas que es la contratación a precio alzado por obra terminada y ejecutada en un plazo establecido.

#### 4.1 ESTUDIOS PRELIMINARES.

Para la ejecución del proyecto y construcción del Colector de 2.44 m de  $\emptyset$ , se llevó a cabo una investigación previa para la localización de posibles interferencias así como para determinar las propiedades geotécnicas de la zona, en donde se construyó este Colector y un Estudio de Impacto Ambiental.

##### *Levantamiento de interferencias en el eje del proyecto.*

Previo a la construcción del desvío del colector mediante el método de tuneo a base de hincado hidromecánico de tuberías de concreto, se realizó un levantamiento de las interferencias que se encontraban en el eje del proyecto y en la zona aledaña, con la finalidad de poder ubicar las instalaciones subterráneas de los diferentes servicios públicos, que pudieran existir y así poder evitar cualquier tipo de daño a dichas instalaciones.

El levantamiento realizado consistió en la revisión de los planos de dichas instalaciones, recopilados con las diferentes dependencias operadoras de los servicios que se encontraron en la zona, las cuales fueron de agua potable, Pemex, alcantarillado, luz, entre otros, así como la verificación de los mismos con la realización de sondeos y calas en el lugar. (ver Fig. 4.1)

Cabe señalar que es de suma importancia tratar de agotar por todos los medios la posibilidad de encontrar alguna instalación no detectada en el eje del proyecto y si es necesario realizar cambios en el proyecto se deberán realizar, en esta obra en particular sucedió un evento no previsto; después de haber agotado aparentemente todas las posibilidades de localizar interferencias, durante la ejecución de la obra se encontró una tubería de agua potable de 24" de  $\emptyset$  a una profundidad de 6 m la cual se dañó durante el hincado y esto se reflejó en un sobrecosto de la obra.

##### *Estudios geotécnicos.*

Previo a la construcción del colector se realizó un estudio de mecánica de suelos donde se determinó que de acuerdo a la zonificación propuesta para el Valle de México, en las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Cimentaciones, (Fig. 4.2 Zonificación del Valle de México) el tramo donde fue construido este colector de 2.44 m de  $\emptyset$  pertenece a la zona III o Zona de Lago, específicamente en la subzona de Lago Virgen.

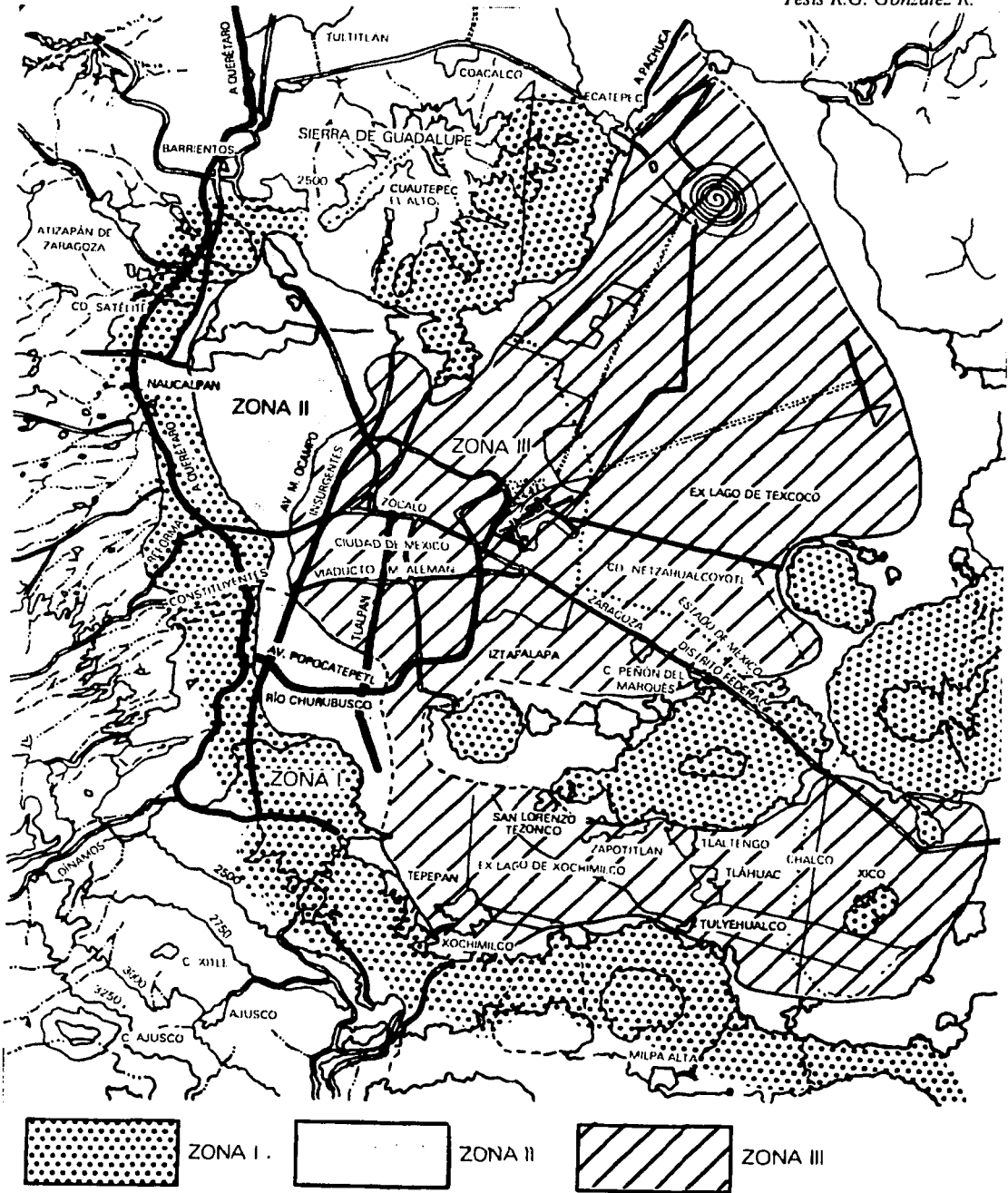


Fig. 4.2 Zonificación del Valle de México Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Cimentaciones.

La subzona del Lago Virgen corresponde a un sector de lago que se caracteriza por presentar grandes espesores de arcilla de alta compresibilidad y consistencia muy blanda, con contenidos de agua comprendidos entre los 100 y 350%.

Con la finalidad de determinar las características estratigráficas en esta zona y verificar los datos de la zonificación propuesta se realizaron 6 sondeos mixtos, a lo largo de la trayectoria de este colector (Fig. 4.3), además de estos sondeos se analizó la información geotécnica recopilada del lugar (estudio realizado para la construcción de la Estación Río de los Remedios del Metropolitano Línea "B") como resultado de este análisis se eligieron tres sondeos realizados con cono eléctrico en dicho estudio, dichos sondeos fueron realizados sobre el eje del colector de proyecto.

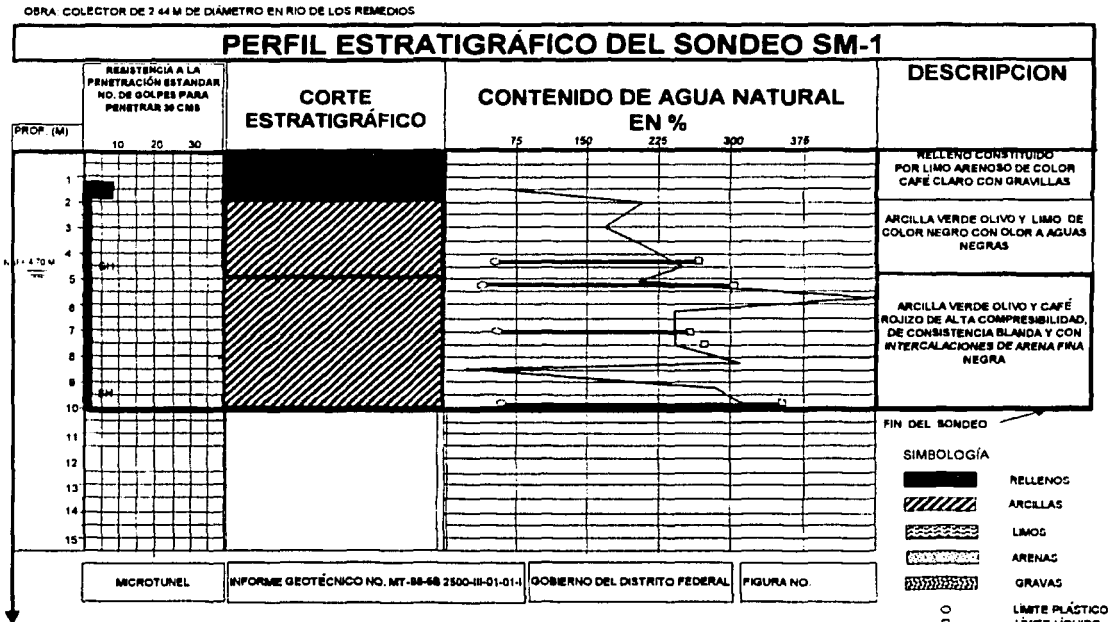
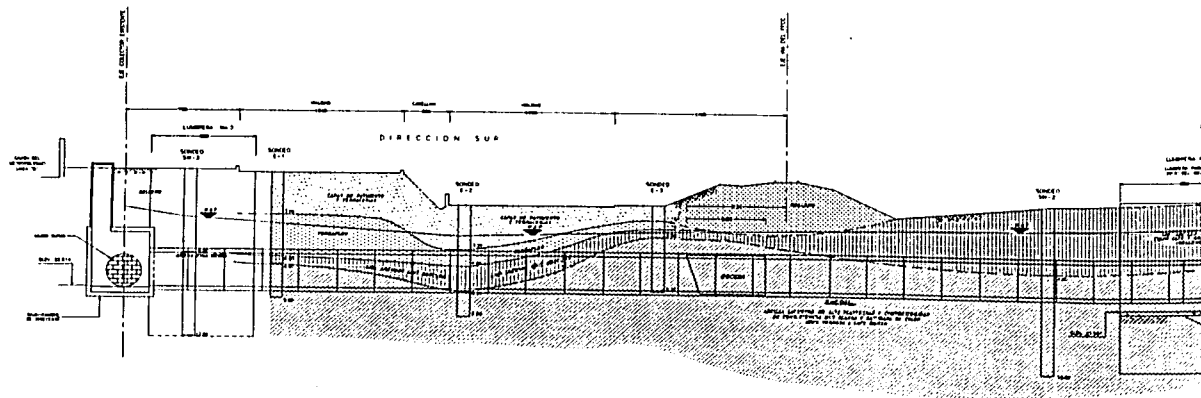
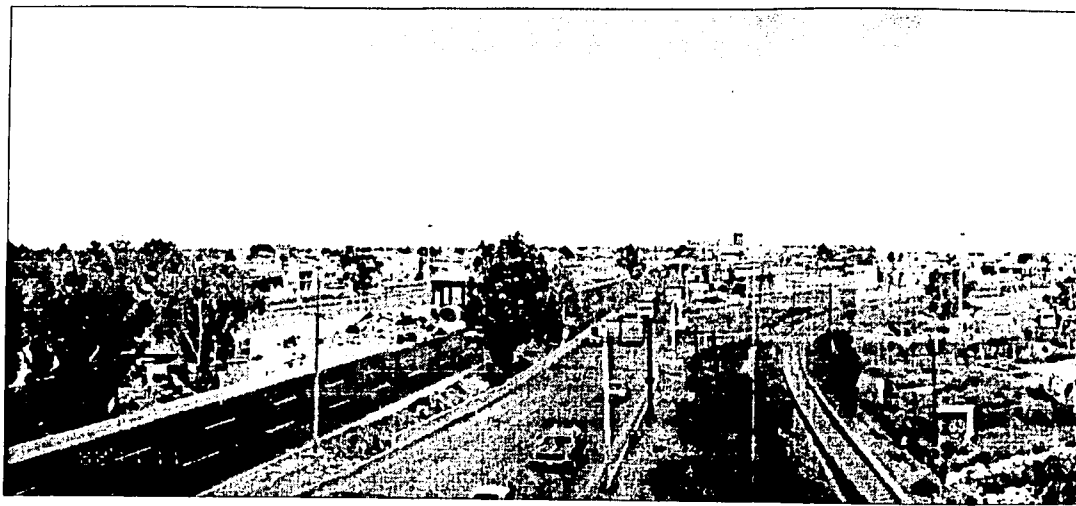


Fig. 4.3 Perfil estratigráfico del sondeo SM-1

Después de analizar los resultados de los sondeos mixtos así como los sondeos de cono eléctrico, se definió la estratigrafía local del sitio, la cual coincidió con la zonificación propuesta para el Valle de México, en las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Cimentaciones para la zona III o Zona de Lago. (Fig. 4.4)

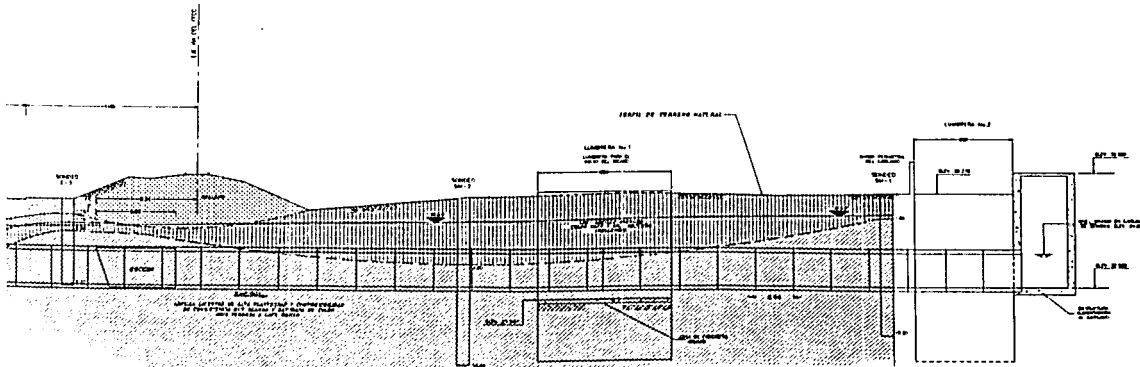
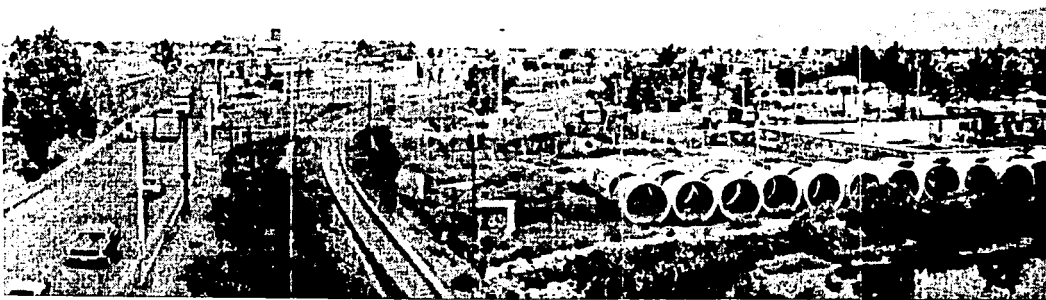
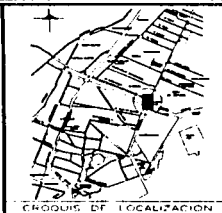
En forma general la columna estratigráfica del tramo esta conformada de la siguiente manera:



ESTACIONES	TIPO DE OBRA	PROYECTO	ESTADO	COORDENADAS	PROYECTO	ESTADO	COORDENADAS	PROYECTO	ESTADO	COORDENADAS	PROYECTO	ESTADO	COORDENADAS	PROYECTO	ESTADO	COORDENADAS
STACION	PLANTA	PROYECTO	ESTADO	COORDENADAS	PROYECTO	ESTADO	COORDENADAS	PROYECTO	ESTADO	COORDENADAS	PROYECTO	ESTADO	COORDENADAS	PROYECTO	ESTADO	COORDENADAS
244500.00	22.311	20.348	244500.00	22.311	20.348	244500.00	22.311	20.348	244500.00	22.311	20.348	244500.00	22.311	20.348	244500.00	22.311
244517.75	22.411	20.394	244517.75	22.411	20.394	244517.75	22.411	20.394	244517.75	22.411	20.394	244517.75	22.411	20.394	244517.75	22.411
244534.50	22.411	20.348	244534.50	22.411	20.348	244534.50	22.411	20.348	244534.50	22.411	20.348	244534.50	22.411	20.348	244534.50	22.411
244551.25	22.411	20.348	244551.25	22.411	20.348	244551.25	22.411	20.348	244551.25	22.411	20.348	244551.25	22.411	20.348	244551.25	22.411
244568.00	22.411	20.348	244568.00	22.411	20.348	244568.00	22.411	20.348	244568.00	22.411	20.348	244568.00	22.411	20.348	244568.00	22.411
244584.75	22.411	20.348	244584.75	22.411	20.348	244584.75	22.411	20.348	244584.75	22.411	20.348	244584.75	22.411	20.348	244584.75	22.411
244601.50	22.411	20.348	244601.50	22.411	20.348	244601.50	22.411	20.348	244601.50	22.411	20.348	244601.50	22.411	20.348	244601.50	22.411
244618.25	22.411	20.348	244618.25	22.411	20.348	244618.25	22.411	20.348	244618.25	22.411	20.348	244618.25	22.411	20.348	244618.25	22.411
244635.00	22.411	20.348	244635.00	22.411	20.348	244635.00	22.411	20.348	244635.00	22.411	20.348	244635.00	22.411	20.348	244635.00	22.411
244651.75	22.411	20.348	244651.75	22.411	20.348	244651.75	22.411	20.348	244651.75	22.411	20.348	244651.75	22.411	20.348	244651.75	22.411
244668.50	22.411	20.348	244668.50	22.411	20.348	244668.50	22.411	20.348	244668.50	22.411	20.348	244668.50	22.411	20.348	244668.50	22.411
244685.25	22.411	20.348	244685.25	22.411	20.348	244685.25	22.411	20.348	244685.25	22.411	20.348	244685.25	22.411	20.348	244685.25	22.411
244702.00	22.411	20.348	244702.00	22.411	20.348	244702.00	22.411	20.348	244702.00	22.411	20.348	244702.00	22.411	20.348	244702.00	22.411

PERFIL POR EL EJE DEL COLECTOR

Fig. 4.4 Perfil estratigráfico en la zona del cruce del colector con la vía de ferrocarril México - Cuautla



CANTON 1		CANTON 2		CANTON 3		CANTON 4		CANTON 5	
ESTRADA	22 570	22 570	22 570	22 570	22 570	22 570	22 570	22 570	22 570
ESCALERA	22 570	22 570	22 570	22 570	22 570	22 570	22 570	22 570	22 570
REJILLA	22 570	22 570	22 570	22 570	22 570	22 570	22 570	22 570	22 570

MIL POR EL EJE DEL COLECTOR

del colector con la vía de ferrocarril México - Cautla y la Av. Carlos Hank González.

PROFESION	SECCION	FORMA
GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL Secretaría de Obras y Servicios <small>Oficina General de Construcción e Infraestructura de Transportación y Movilidad</small>		
PERIFONEO DE LOCALIZACION PERIFONEO ESTRATEGICO EN ZONA DE OBRAS DEL COLECTOR <small>Linea No. 1 y Av. CARLOS HANK GONZALEZ</small>		
PLAN 11881		
ESTADO	SECRETARIA	PROYECTO
MEXICO	DE OBRAS Y SERVICIOS	CONSTRUCCION DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTACION Y MOVILIDAD
FECHA	DE	HOY
10/10/2013	10/10/2013	10/10/2013

### *Costra Superficial.*

Superficialmente y con un espesor variable entre 1.8 m en la zona cercana al cárcamo No. 10 y 5.8 m en la zona cercana al muro del metropolitano línea "B", se presenta un relleno heterogéneo formado por limo arenoso y arcilla arenosa con gravas y gravillas, de color café y con presencia de cascajo y basura.

### *Formación Arcillosa Superior.*

Subyaciendo a esta capa de relleno y hasta los 20.0 m de profundidad, se distingue la formación arcillosa superior correspondiente a la arcilla volcánica de alta plasticidad y consistencia muy blanda, intercalada con lentes de arena y vidrio volcánico. Según los sondeos de cono eléctrico analizados existe un lente de arena el cual se localiza a profundidades variables, cerca del cárcamo No. 10 se encuentra aproximadamente a 7.2 m y cerca del muro del metropolitano línea "B" a una profundidad de 10.5 m.

En base a los resultados obtenidos en laboratorio, se encontró que la resistencia al corte estimada de acuerdo con el Manual de Diseño Geotécnico varía de 1.46 a 2.69 t/m<sup>2</sup> y en base a las pruebas de laboratorio obtenidas, como un promedio de todos los valores, se determina que el valor promedio de la cohesión es de 1.9 t/m<sup>2</sup>.

## **4.2. DISEÑO Y PROYECTO.**

Una vez analizados los estudios preliminares y habiendo determinado las propiedades geotécnicas de la zona y tomando en cuenta las interferencias detectadas se procedió a la elaboración del diseño y proyecto ejecutivo del desvío de 97.00 m de Colector de 2.44 m de Ø.

Dicho proyecto ejecutivo está comprendido por informes técnicos, estudio de impacto ambiental, memorias descriptivas y de cálculo, boletines de detalles constructivos, especificaciones de procesos constructivos y un conjunto de 35 planos donde se incluyen tanto los topográficos, geotécnicos, hidráulicos, estructurales, de instrumentación, y de procedimientos constructivos.

A continuación se enlista la serie de documentos en que consistió el proyecto ejecutivo:

### *Informe técnico.*

- Informe de exploración de campo y laboratorio para la construcción del colector de 2.44 m de diámetro.

### *Estudio de Impacto ambiental.*

- Estudio de Impacto ambiental para la construcción del colector de 2.44 m de diámetro.



*Memorias descriptivas y de cálculo.*

- Memoria de cálculo de la estabilidad de las paredes y fondo de la excavación de las lumbreras para la construcción del colector de 2.44 m de diámetro.
- Memoria descriptiva y de cálculo del proyecto estructural.
- Memoria descriptiva y de cálculo del proyecto hidráulico.

*Boletines de detalles constructivos.*

- Boletín técnico 1. Detalle constructivo para la sustentación de las tablestacas existentes de concreto en el cárcamo No. 10, previo a la demolición de éstas para la conexión de la tubería de 2.44 m de diámetro.
- Boletín técnico 2. Detalle estructural de la conexión de la tubería de 2.44 m de diámetro en el cárcamo No. 10
- Boletín técnico 3. Detalle estructural de la interconexión de la tubería de 2.44 m de diámetro en la lumbrera de empuje.
- Boletín técnico 4. Proyecto hidráulico del cruce de la tubería de agua potable de 24" de asbesto - cemento, con la tubería del colector de desvío de 2.44 m.
- Boletín técnico 5. Taponamiento en la caja de derivación a la entrada del colector existente.
- Boletín técnico 6. Procedimiento constructivo para la estabilización del tramo de tubería de 2.44 m de diámetro del colector existente que quedará fuera de servicio.
- Boletín técnico 7. Análisis del equipo de bombeo situado en el cárcamo redondo, para su instalación en el cárcamo No. 10.

*Especificaciones de procesos constructivos.*

- Especificación del proceso de colocación e hincado de ataguías metálicas que se utilizaron para la construcción de lumbreras.
- Especificación general de rellenos para el colector de 2.44 m de diámetro.
- Especificación general de instrumentación.

- Especificación general de control de calidad para la instalación de la tubería mediante hincado hidromecánico para el colector de 2.44 m de diámetro.
- Especificación general del acero de refuerzo que se empleará para la construcción.
- Especificación general de concreto que se empleará para la construcción.
- Especificación general de pavimento flexible que se empleará en la construcción.

Para poder medir los posibles movimientos que se presentarán en la zona y estructuras aledañas a la obra por la construcción del colector mediante el método de Tuneleo a base de hincado hidromecánico de tuberías de concreto con escudo abierto de rejillas, se llevó a cabo un control general de instrumentación, previo a la construcción del colector, durante y posterior a ésta, esto con el fin de tener un control sobre la ejecución del proceso de excavación, asegurando con ello un comportamiento dentro de los rangos de seguridad previstos tanto a corto plazo como para la condición definitiva, tanto del colector, como de sus colindancias.

La instrumentación estuvo integrada por puntos de control topográfico, consistente en la instalación de bancos de nivel superficial, referencias en las estructuras, referencias superficiales de acuerdo a lo indicado en el plano de instrumentación. ( Fig. 4.5 )

Las referencias situadas en las vías de ferrocarril tuvieron la finalidad de evaluar los movimientos verticales y horizontales que pudieron haberse presentado en la vía del ferrocarril, durante el proceso de construcción e inmediatamente después que éste concluyó; se colocaron un total de 18 “palomas” en ambos rieles del ferrocarril, referidas en distancia y elevación con respecto a un banco de nivel de partida.

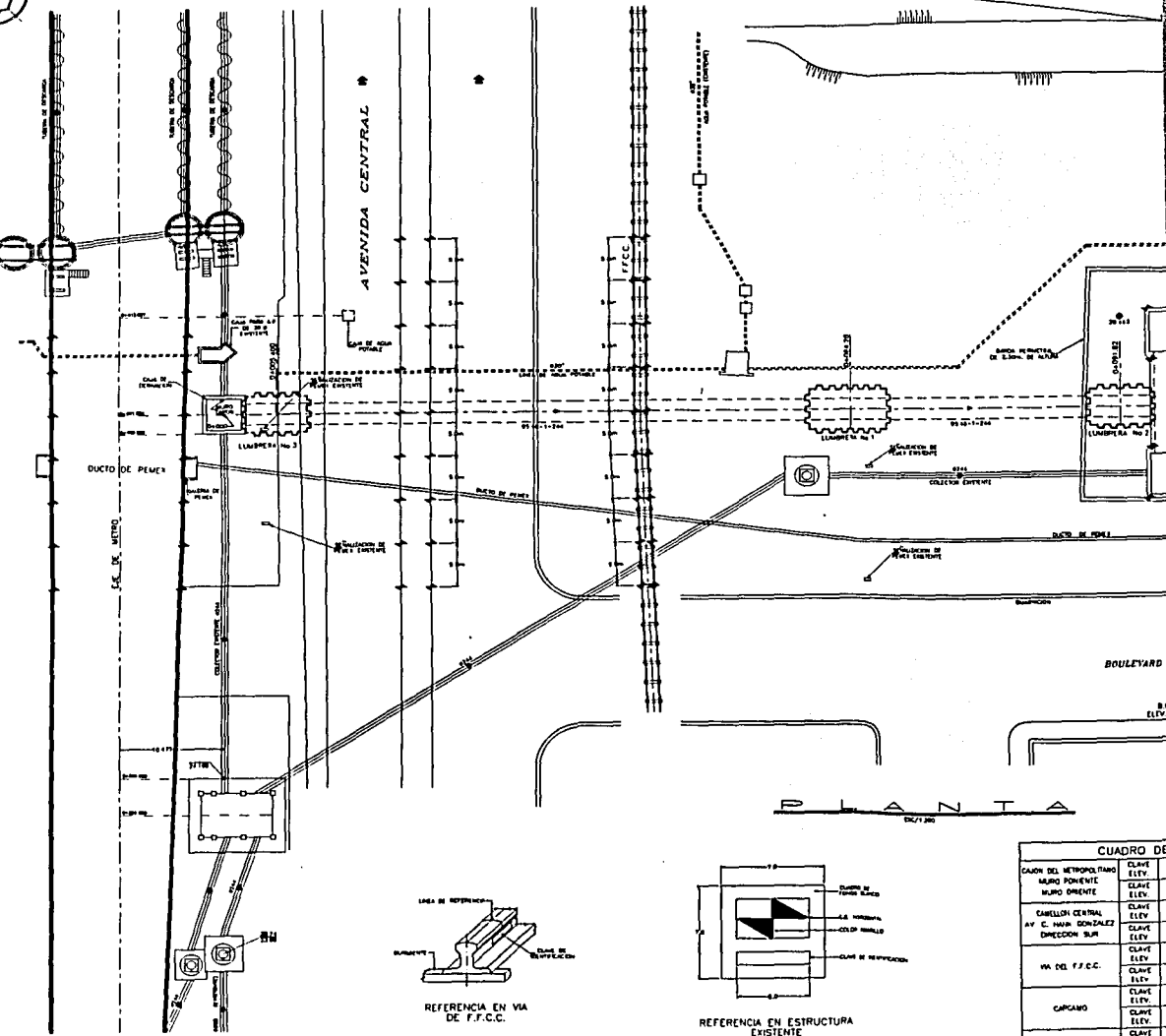
En cuanto a las referencias en estructuras éstas se colocaron con el fin de conocer los movimientos que se pudieron presentar en las estructuras aledañas al hincado de tubería, referidas en distancia y elevación con respecto a un banco de nivel de partida, las “palomas” se ubicaron en puntos donde pudieran dar una idea del comportamiento de las mismas, columnas, castillos, losas; ubicándolas de la siguiente manera. (Fig. 4.5)

Una vez instalado el sistema de instrumentación indicado se asignaron cotas referidas al banco de nivel superficial más cercano a la zona, las lecturas de dichas “palomas” se llevaron a cabo 2 veces por semana a lo largo de toda la construcción del colector, dichas lecturas se registraron y se graficaron, con intención de poder apreciar las tendencias de los movimientos (Figura 4.6), cabe mencionar que nunca hubo asentamientos considerables, el mayor asentamiento registrado fue de 25 mm en las vías del ferrocarril corrigiéndolo mediante el lastrado de las mismas.

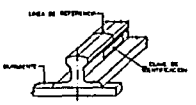
En lo que se refiere a planos del proyecto podemos destacar en cuanto a diseño, los planos de lumbreras, y procedimiento constructivo del túnel. (figura 4.7)



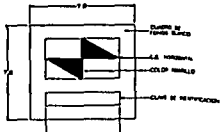
AVENIDA CENTRAL



PLANTA



REFERENCIA EN VIA DE F.F.C.C.

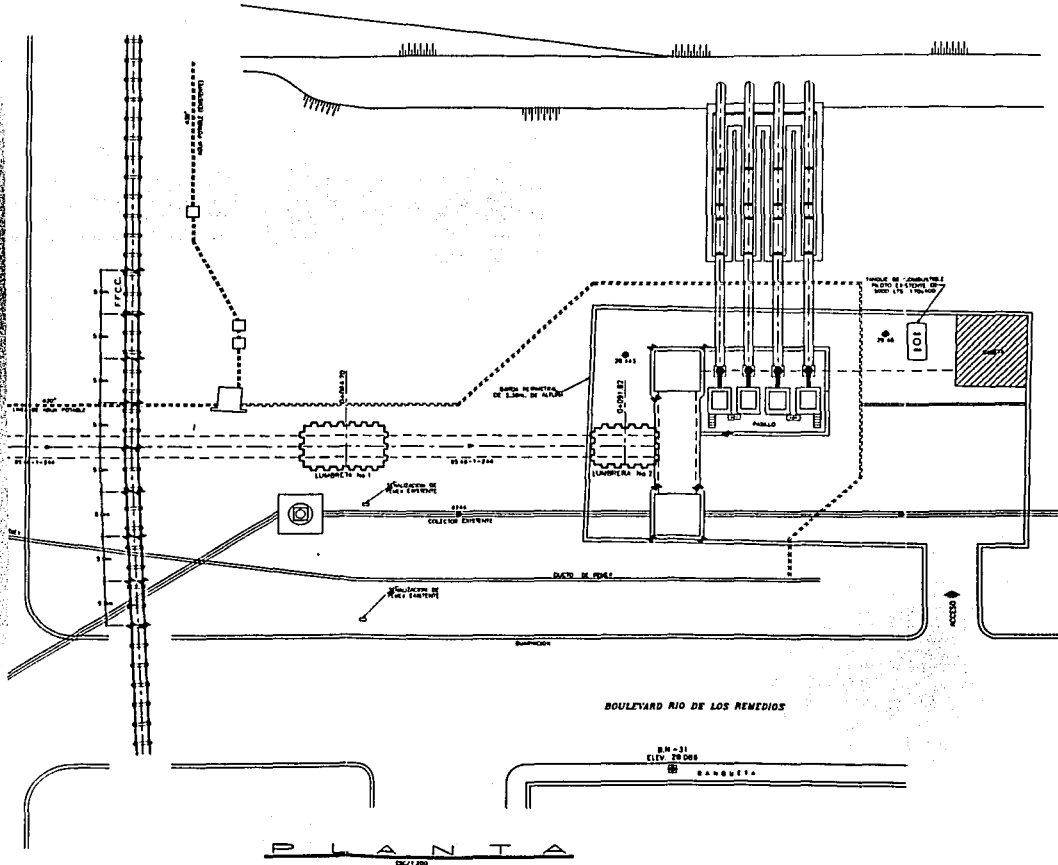


REFERENCIA EN ESTRUCTURA EXISTENTE

CUADRO DE	
CACION DEL METROPOLITANO	CLAVE
NAURO ORIENTE	CLAVE ELEV. 1
NAURO ORIENTE	CLAVE ELEV. 2
CABELLO CENTRAL	CLAVE ELEV. 3
AV. C. MORA GONZALEZ	CLAVE ELEV. 4
DIRECCION SUR	CLAVE ELEV. 5
MA. DEL F.F.C.C.	CLAVE ELEV. 6
	CLAVE ELEV. 7
GARCANO	CLAVE ELEV. 8
	CLAVE ELEV. 9
COLONIAS PERIFERICO	CLAVE ELEV. 10

Fig. 4.5 Plano de instrumentación para la construcción del colector de desvío de 2.

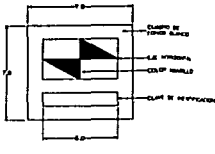
RIO DE LOS REMEDIOS



BOULEVARD RIO DE LOS REMEDIOS

B.N-21  
ELEV. 78.086

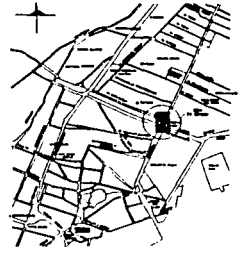
PLANTA  
1/200



REFERENCIA EN ESTRUCTURA EXISTENTE

CUADRO DE REFERENCIAS PARA CONTROL TOPOGRAFICO									
CAJON DEL METROPOLITANO	CLAVE ELEV.	MT-07	MT-13	MT-41	MT-10	MT-12	MT-04	-	-
MURO PONIENTE	CLAVE ELEV.	MT-7	MT-5	MT-1	MT-1	MT-2	MT-6	-	-
MURO ORIENTE	CLAVE ELEV.	31 876	31 874	31 874	31 874	31 874	31 874	-	-
CALLEJON CENTRAL	CLAVE ELEV.	MT-15	MT-13	MT-11	MT-8	MT-17	MT-8	MT-10	MT-12
AV. C. HERRER GONZALEZ	CLAVE ELEV.	30 384	30 341	30 386	30 481	30 524	30 612	30 700	30 809
DIRECCION SUR	CLAVE ELEV.	MT-12	MT-19	MT-21	MT-23	MT-23	MT-20	MT-18	MT-14
	CLAVE ELEV.	28 345	28 345	28 363	28 378	28 414	28 521	28 765	28 935
	CLAVE ELEV.	MT-31	MT-28	MT-27	MT-25	MT-24	MT-22	MT-21	MT-20
	CLAVE ELEV.	30 340	30 314	30 378	30 444	30 508	30 568	30 763	30 842
VM DEL F.F.C.C.	CLAVE ELEV.	MT-35	MT-33	MT-31	MT-29	MT-15	MT-38	MT-32	MT-30
	CLAVE ELEV.	30 376	30 378	30 338	30 412	30 478	30 546	30 771	30 835
GARCASO	CLAVE ELEV.	MT-01	MT-02	MT-03	MT-03	MT-05	MT-06	MT-07	MT-08
	CLAVE ELEV.	30 886	30 898	30 898	30 843	30 861	30 851	30 866	30 858
COLUMNAS PERIFERICO	CLAVE ELEV.	MT-11	MT-11	-	-	-	-	-	-
	CLAVE ELEV.	30 877	30 889	-	-	-	-	-	-
	CLAVE ELEV.	MT-36	MT-40	-	-	-	-	-	-
	CLAVE ELEV.	31 786	31 788	-	-	-	-	-	-

CROQUIS DE LOCALIZACION



- NOTAS**
- En este plano se muestra el sistema de instrumentación de los niveles para la obra de construcción del colector de desvío de 2.44 m de Ø.
  - La instrumentación fue por doble nivel, con el uso de los niveles de precisión de nivelación tipo 1 y 2, con un error de lectura de 0.1 mm en un nivel de precisión de nivelación tipo 1.
  - Las lecturas de los instrumentos de medición se tomaron en una posición de la línea de visión que permita obtener lecturas correctas y en un terreno en el cual no exista el fenómeno de refracción.
  - En las planas se muestra el detalle de los niveles de nivelación de precisión de nivelación tipo 1 y 2, con un error de lectura de 0.1 mm en un nivel de precisión de nivelación tipo 1.
  - El plano de nivelación de precisión de nivelación tipo 1 y 2, con un error de lectura de 0.1 mm en un nivel de precisión de nivelación tipo 1, se muestra en el plano de nivelación de precisión de nivelación tipo 1 y 2, con un error de lectura de 0.1 mm en un nivel de precisión de nivelación tipo 1.
- PLANOS RELACIONADOS CON REFERENCIA**
- MT-08-1070-10-00-00-00-00-00-00-00
  - MT-08-1070-10-00-00-00-00-00-00-00-00
  - MT-08-1070-10-00-00-00-00-00-00-00-00
  - MT-08-1070-10-00-00-00-00-00-00-00-00
  - MT-08-1070-10-00-00-00-00-00-00-00-00
  - MT-08-1070-10-00-00-00-00-00-00-00-00

**SIMBOLOGIA**

FORMA DE SIMBOLO	DEFINICION	PROYECTO
(Symbol)	COLECTOR	(Symbol)
(Symbol)	LÍNEA DE AGUA POTABLE	(Symbol)
(Symbol)	LÍNEA DE FOGON	(Symbol)
(Symbol)	TUBO ESPECIAL	(Symbol)
(Symbol)	DEFINICION DE PLANO	(Symbol)
(Symbol)	REFERENCIA EN ESTRUCTURA EXISTENTE	(Symbol)
(Symbol)	BANCO DE NIVEL	(Symbol)

No	MODIFICACION	FECHA	FIRMA

PROYECTO	PROYECTO	PROYECTO

**GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL**  
Secretaría de Obras y Servicios  
Dirección General de Construcción de Obras de Infraestructura Urbana

**METROPOLITANO LINEA B**

PLANO DE INSTRUMENTACION PARA LA CONSTRUCCION DEL COLECTOR DE DESVIO DE 2.44 m. METROPOLITANO LINEA B

NOVEMBRE 1970

mentación para la construcción del colector de desvío de 2.44 m de Ø

De la figura 4.7 Proceso constructivo para lumbrera de empuje del hincado hidromecánico de tubería de 2.44 m de diámetro para colector de desvío Metropolitano Línea B, se puede observar paso a paso el procedimiento constructivo de las lumbreras requeridas para el hincado de tubería, dichas lumbreras fueron construidas a base de ademe metálico (tablestacado tipo AZ machihembrado y marcos a base de perfil IPR).

De la figura 4.8 Proceso constructivo del túnel mediante hincado hidromecánico de tubería de concreto reforzado de 2.44 m de diámetro para colector de desvío Metropolitano Línea B, se observa esquemáticamente las ventajas que presentó la utilización de este sistema constructivo, la no destrucción de las vialidades así como de las vías férreas, también se observa con más detalle el equipo requerido para el método de Tuneleo a base de hincado hidromecánico de tuberías de concreto.

CONTROL DE ELEVACIONES DE LA INSTRUMENTACION  
 PARA LA CONSTRUCCION DEL COLECTOR DE DESVIO DE  $\varnothing 2.44$   
 METROPOLITANO LINEA "B".

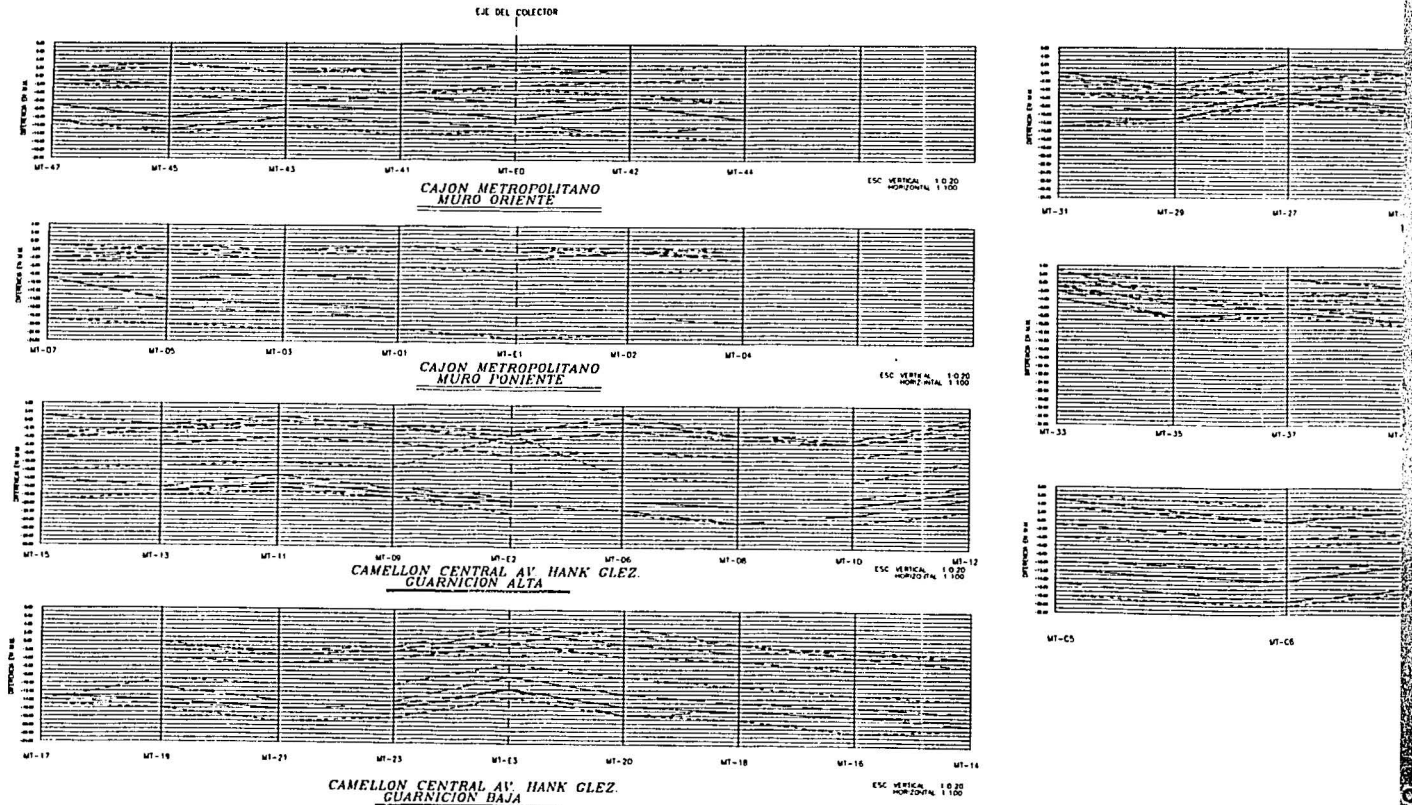
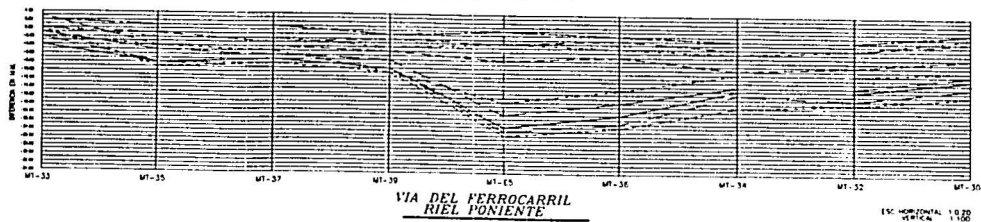
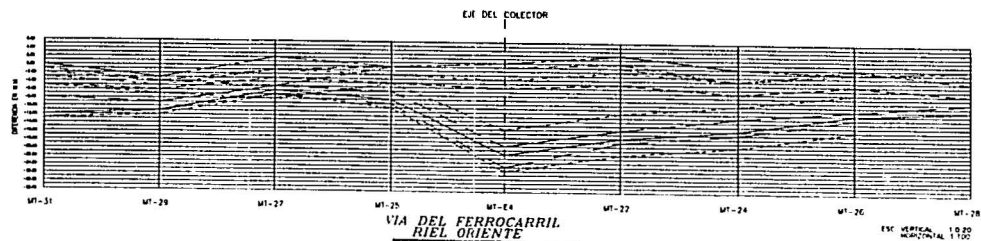
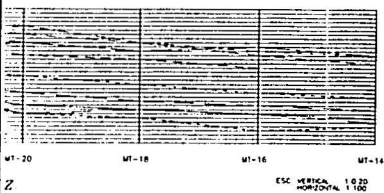
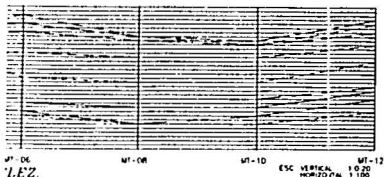
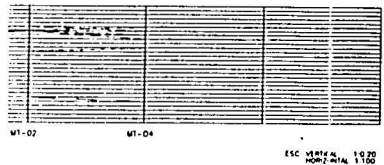
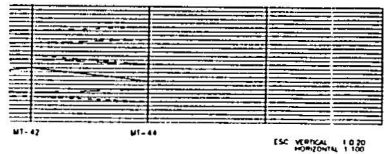


Fig. 4.6 Control de elevaciones de la instrumentación en la construcción del colector de 2.44 m de  $\varnothing$

# CONTROL DE ELEVACIONES DE LA INSTRUMENTACION PARA LA CONSTRUCCION DEL COLECTOR DE DESVIO DE Ø2.44 m. METROPOLITANO LINEA "B".



**SIMBOLOGIA**

---	ESTACION DE NIVELACION
---	ESTACION DE NIVELACION
---	ESTACION DE NIVELACION
---	ESTACION DE NIVELACION
---	ESTACION DE NIVELACION
---	ESTACION DE NIVELACION
---	ESTACION DE NIVELACION
---	ESTACION DE NIVELACION
---	ESTACION DE NIVELACION
---	ESTACION DE NIVELACION
---	ESTACION DE NIVELACION
---	ESTACION DE NIVELACION

**GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL**  
Secretaría de Obras y Servicios

División General de Construcción de Obras de Obras y Servicios

MEMORANDO

ASUNTO: CONTROL DE ELEVACIONES DE LA INSTRUMENTACION PARA LA CONSTRUCCION DEL COLECTOR DE DESVIO DE Ø2.44 m. METROPOLITANO LINEA "B".

FECHA: 10/11/66

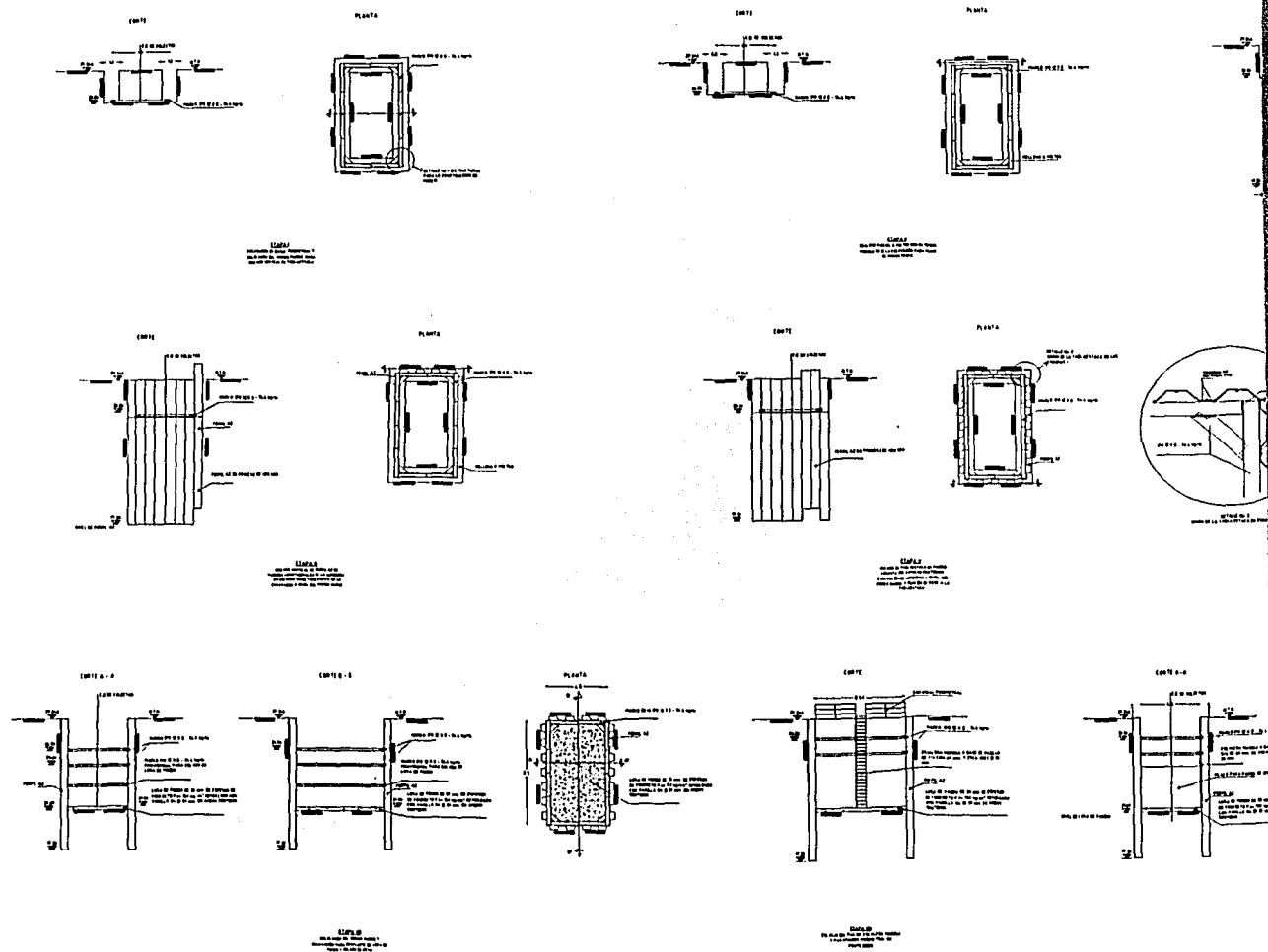
ELABORADO POR: [ ]

REVISADO POR: [ ]

APROBADO POR: [ ]

Instrumentación en la construcción del colector de 2.44 m de Ø

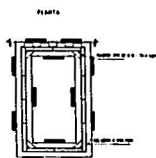
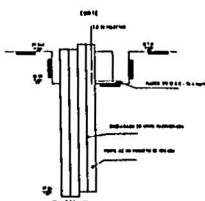
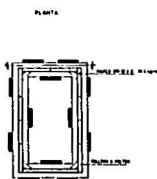
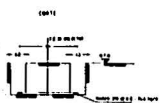
**PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO PARA LUMBRERA DE EMPUJE**



**Fig. 4.7 Proceso constructivo para lumbera de empuje del hincado hidromecánico de 2.44 m de Ø para el colector de desvío Metropolitano Línea B.**

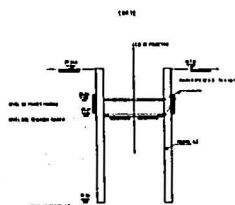
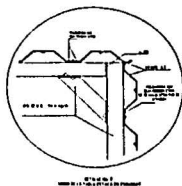
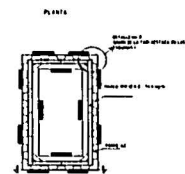
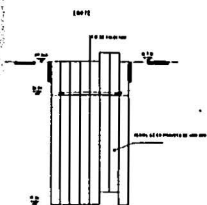


# NTO CONSTRUCTIVO PARA LUMBRERA DE EMPUJE



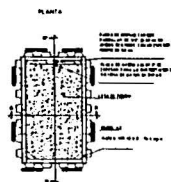
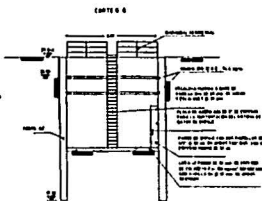
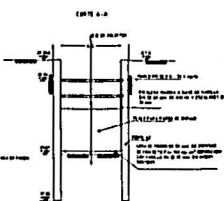
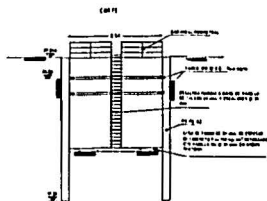
**CORTE 1**  
Sección lateral de la lumbrera de empuje, mostrando la estructura de la tapa superior y los pilares de soporte.

**CORTE 2**  
Sección lateral de la lumbrera de empuje, detallando la conexión entre la tapa superior y los pilares.



**CORTE 3**  
Sección lateral de la lumbrera de empuje, mostrando la estructura de la tapa superior y los pilares de soporte.

**CORTE 4**  
Sección lateral de la lumbrera de empuje, mostrando la estructura de la tapa superior y los pilares de soporte.



**CORTE 5**  
Sección lateral de la lumbrera de empuje, mostrando la estructura de la tapa superior y los pilares de soporte.

**CORTE 6**  
Sección lateral de la lumbrera de empuje, mostrando la estructura de la tapa superior y los pilares de soporte.

## NOTAS

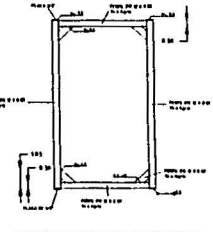
1. EN ESTE PLANO SE MUESTRA EL PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO GENERAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA LUMBRERA DE EMPUJE LA CUAL SE REALIZA CON UN PERFO ESTRUCTURAL AL MACIZO CONCRETO.
2. EN QUANTO AL PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO EN ESTE TIPO DE HINCADO SE DEBE TENER EN CUENTA LAS SIGUIENTES CONSIDERACIONES:
  1. PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LOS HINCADOS SE DEBERÁN TOMAR LOS LINEAMIENTOS MARCADOS PARA LA EJECUCIÓN COMO SE MUESTRAN EN ESTE PLANO.
  2. LAS PLANTAS Y CORTES ESTÁN FUERA DE ESCALA.
  3. LOS MATERIALES Y HERRAJES ESTÁN DADOS EN METROS.
  4. EL ACERO DE REFUERZO ES CON UN FUNDIDO "3000 kg/cm<sup>2</sup>".
  5. CONCRETOS:
    1. EL CONCRETO DE LA LOSA DE FONDO DEBES CONCRETAR: "C-1000 kg/cm<sup>2</sup>" Y CON UN F. O. D. "1".
    2. EL CONCRETO DE LA PARED DE EMPUJE DEBE CONCRETAR: "C-1000 kg/cm<sup>2</sup>" Y CON UN F. O. D. "1".
  6. LA EJECUCIÓN DE LA TAPA Y VIGUERÍA DEBEN SER HECHAS EN UN MANTO DE 20 CM DE ALTO.
  7. PARA LA UNIÓN DEL ACERO AZÚCAR EXISTENTE EN EL HINCADO DEBEN SER HECHAS EN UN HINCADO DE 20 CM DE ALTO.
  8. EL TIEPPO MARCA PREVISIONAL DEBEN SER HECHAS EN UN HINCADO DE 20 CM DE ALTO.
3. PLANOS DE EJECUCIÓN:
  1. PLANOS DE EJECUCIÓN GENERAL: HT-1000 kg/cm<sup>2</sup> Y HT-1000 kg/cm<sup>2</sup>.
  2. PLANOS DE PROTECCIÓN HERRAJES: HT-1000 kg/cm<sup>2</sup> Y HT-1000 kg/cm<sup>2</sup>.

## LEGENDA

- |  |                            |
|--|----------------------------|
|  | TERMINAL TUBAL             |
|  | REFUERZO A VIGUERÍA        |
|  | CONCRETO                   |
|  | NIVEL DE TERMINACIÓN TUBAL |
|  | NIVEL PLANO DE EXCAVACIÓN  |

## DETALLE No. 1

DETALLE DE LA CONEXIÓN ENTRE LA TAPA Y LOS PILARES DE EMPUJE.



**NOTA:** TENER EN CUENTA LAS SIGUIENTES CONSIDERACIONES:

No.	MODIFICACION	FECHA	FIRMA

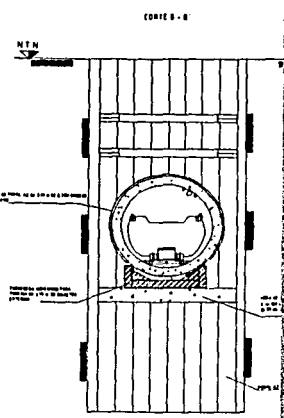
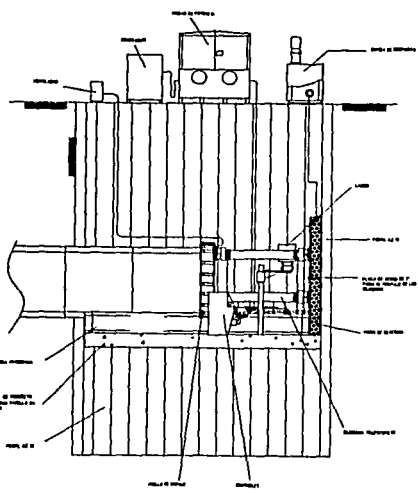
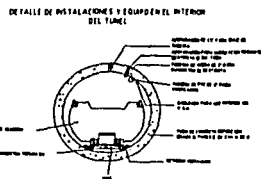
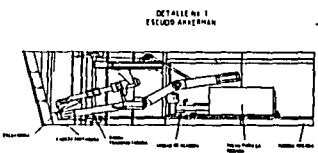
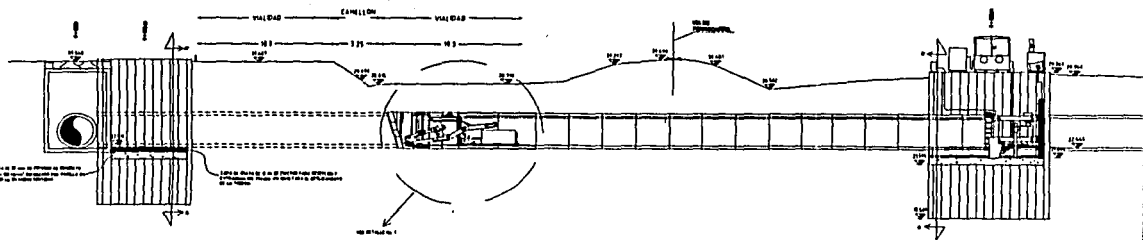
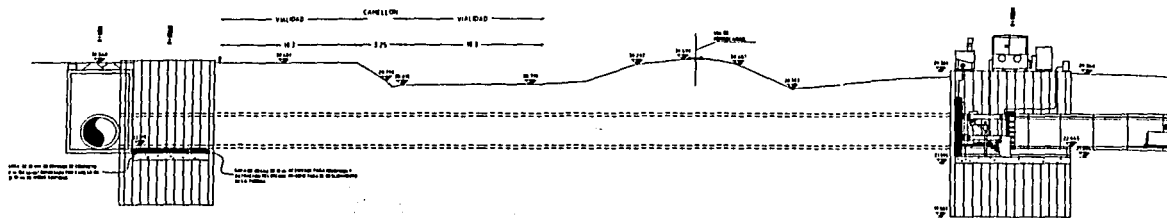
GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL  
Secretaría de Obras y Servicios  
Dirección General de Construcción de  
Obras de Infraestructura de Transporte Colectivo

HEC-1000 kg/cm<sup>2</sup> Y HT-1000 kg/cm<sup>2</sup>

PROYECTO CONSTRUCTIVO PARA LUMBRERA DE EMPUJE DEL HINCADO HERRAJES DE TUBERÍA DE 20 CM DE DIÁMETRO PARA COLECTOR DE DESVÍO			
NO.	FECHA	ESTADO	FECHA

ra lumbrera de empuje del hincado hidromecánico de tubería a el colector de desvío Metropolitano Linea B.

**PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL TUNEL MEDIANTE EL EMPUJE HIDROMECAICO DE TUBERIA**



**Fig. 4.8 Proceso constructivo del túnel mediante hincado hidromecánico de tubería de concreto**

### 4.3 PROCESO CONSTRUCTIVO DEL PROYECTO.

Una vez concluidos los estudios preliminares requeridos, el proyecto ejecutivo aprobado y liberada la zona de trabajo y ya que se contaba con todos los permisos requeridos se procedió dar inicio a la obra, llevando a cabo los siguientes procedimientos constructivos:

- Trazo e instrumentación.
- Mejoramiento de acceso a la obra y área de trabajo.
- Suministro de tubería de concreto reforzado de 2.44 m de Ø interior nominal.
- Construcción de la lumbrera de doble hincado y la lumbrera de salida en el cárcamo de bombeo No. 10
- Primer hincado de tubería, dirección hacia el cárcamo No. 10
- Colocación del tapón provisional del colector de 2.44 m de Ø.
- Segundo hincado de tubería, en el sentido hacia el Cajón del Metro y Construcción de la lumbrera de salida adjunta al Cajón del Metro para la extracción del escudo.
- Construcción de la caja de derivación con la línea existente.
- Remoción del tapón provisional del colector de 2.44 m de Ø.
- Desmantelamiento y reubicación de la estructura del polipasto.
- Reubicación del equipo de bombeo de emergencia existente, al cárcamo de Bombeo No. 10
- Reposición de las estructuras dañadas.
- Estabilización de la tubería que quedará fuera de servicio.

#### *Trazo e Instrumentación.*

El trazo e instrumentación es el primer paso de los procesos constructivos al iniciar la obra y se inició localizando topográficamente el eje del proyecto del colector de 2.44 m de diámetro, conforme a los bancos de nivel previamente establecidos, una vez localizado el eje del proyecto se procedió a localizar la ubicación de las lumbreras conforme a lo proyectado y se trazaron mediante encalado.

La instrumentación para la instalación de la tubería mediante el sistema de tuneleo e hincado de tubería se llevó a cabo continuamente durante la instalación de la tubería mediante la verificación de la línea y pendiente mediante rayo láser, el cual guía el escudo en el frente de excavación, así mismo previo al inicio de los trabajos se corrió una nivelación de referencia mediante palomas en diferentes estructuras como fueron, el cárcamo de bombeo No. 10, el puente vehicular sobre el Periférico que cruza la Av. Carlos Hank González, la estructura del Cajón del Metro, las vías del ferrocarril México - Cuautla, las guarniciones de la Av. Carlos Hank González y la estación del Metro "Río de los Remedios", verificándose durante la instalación de la tubería y al finalizar los trabajos, a fin de poder comprobar que no hubo asentamientos o afectaciones a causa de la ejecución de los trabajos de esta obra.

#### *Mejoramiento de acceso a la obra y área de trabajo.*

En la franja de acceso hacia el área de trabajo, sobre el ducto de PEMEX se procedió a realizar un mejoramiento de suelo a base de una compactación y nivelación de terreno según indicaciones estrictas de PEMEX, así como el confinamiento del área restringida para la maquinaria.

En el área de trabajo el mejoramiento que se realizó fue mediante una nivelación para el acomodamiento del equipo.

#### *Suministro de tubería de concreto reforzado de 2.44 m de $\emptyset$ interior nominal.*

La tubería requerida para este trabajo debía de cumplir con ciertas características de acuerdo a la norma mexicana de tubos la NMX-C-402-1996-ONNCCE

- Diámetro nominal interior de 2.44 m
- Junta hermética.
- Grado estructural III.
- Espesor de pared "B".
- Longitud efectiva de 2.44 m.
- Resistencia del tubo a la ruptura.
- Resistencia del concreto a la compresión.
- Absorción del concreto.
- Flexión de las uniones.
- Acabado.

El suministro de la tubería de concreto reforzado de 2.44 m de diámetro nominal, fue realizado directamente por la dependencia dueña de la obra (D.G.C.O.S.T.C.) y en un 5.00 % la contratista.

### *Construcción de la lumbrera de doble hincado y de la lumbrera de salida en el Cárcamo de bombeo No. 10.*

Una vez que se tenía el trazo de las lumbreras se procedió a la construcción de la lumbrera de empuje mediante un ademe metálico a base de tablestacas machihembradas AZ 13 y perfiles IPR 12" x 8" como troqueles y posteriormente se dio inicio a la construcción de la lumbrera de salida.

El proceso constructivo de las lumbreras (ver Fig. 4.7) se inicia mediante la excavación de una zanja perimetral de aproximadamente 2.00 m de profundidad, donde se coloca el primer marco metálico formado con perfiles IPR de 12" x 8", la idea de que se coloque dicho marco es que sirva de guía para el hincado de las tablestacas, para evitar que dicho marco se mueva se procede a rellenar parcialmente la zanja con material producto de la excavación, en la parte donde queda expuesto el marco se da inicio al hincado del tablestacado AZ 13 machihembrado hasta el nivel requerido conforme al proyecto, hasta tener cerrada completamente la lumbrera, una vez que la tablestaca se ha hincado se procede a la excavación del núcleo, cuando se llega a la profundidad del primer marco guía éste es fijado al tablestacado mediante soldadura, ya fijo dicho marco se excava hasta el nivel del siguiente marco, este marco es construido, nivelado y fijado a la tablestaca en el interior de la lumbrera, este procedimiento es repetitivo hasta llegar al nivel del fondo de la excavación, donde se procede a conformar el piso con una losa de concreto, para estabilizar el fondo de la lumbrera. (Fig. 4.9)

En la lumbrera de empuje, es construido un muro de concreto reforzado de reacción para el empuje, el cual se coloca en el lado opuesto al hincado de la tubería, este muro es colado entre una placa de acero y el ademe posterior al sentido del hincado, dicho muro es armado con dos parrillas con varilla de 3/8" a cada 30 cm en ambos sentidos, una vez concluido esto se da lugar a las correderas del equipo de hincado las cuales se nivelan a la cota requerida para la instalación de la tubería, dichas correderas son fijadas a la lumbrera mediante troquelamiento con las paredes laterales de la lumbrera y en la parte posterior es fijada a la placa de acero del muro de reacción o empuje.

Para poder llevar a cabo la construcción de la lumbrera de salida en el cárcamo de bombeo No. 10, fue necesario demoler parte de la losa de concreto del cárcamo de bombeo No. 10 en el área donde fue construida, así como parte de la barda perimetral del cárcamo.



Fig. 4.9 Lumbrera de Empuje.

*Primer hincado de tubería, dirección hacia el Cárcamo No. 10.*

El túnel realizado a base de hincado hidromecánico de tubería de concreto se realizó en dirección de aguas arriba hacia aguas abajo, partiendo de la lumbrera de doble hincado hacia el cárcamo No. 10 (figura 4.8), contrario a lo normal que es de aguas abajo hacia aguas arriba, la razón de esto fue que de realizarlo conforme al procedimiento normal se hubiera tenido que aplicar la fuerza de empuje prácticamente sobre la estructura del cárcamo pudiendo en un momento dado dañar su estructura, por tal motivo se decidió que el hincado se realizara en el sentido opuesto; el control de alineamiento vertical y horizontal se llevó mediante un nivel automático de rayo láser ubicado en el lado corto de la lumbrera entre la pared de empuje y el ademe metálico, el cual manda su haz de luz al frente del escudo para que éste controle su dirección, el nivel automático de rayo láser es referido a los bancos generales topográficos del proyecto y revisado a través de todo el proceso de hincado, el proceso constructivo del tuneo a base de hincado hidromecánico de tuberías de concreto, fue conforme a lo expuesto en el capítulo anterior, una vez que el escudo llegó a la pared del cárcamo, se procedió al retiro del mismo en la lumbrera de salida en el cárcamo No. 10. (Fig.4.10)

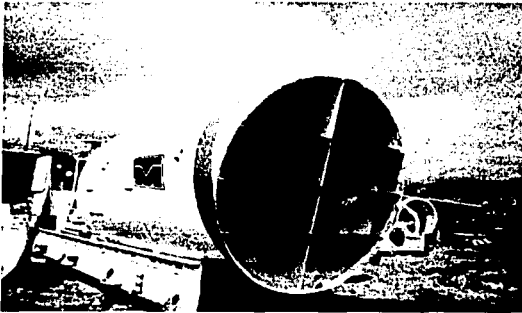


Fig. 4.10 Escudo utilizado en esta obra TBM 960

*Colocación del tapón provisional del colector de 2.44 m de Ø*

Al mismo tiempo que se realizó el hincado en la caja donde se encontraba el polipasto, se procedió a tapan el flujo del agua que va hacia el cárcamo No. 10, bombeando dicho flujo con las bombas que estaban situadas sobre el camellón de la Av. Central (Bombas de emergencia), también el agua que se encontraba en el cárcamo No. 10 se bombeó con las bombas ahí situadas, dejando sin flujo, el sitio donde se procedió a realizar la conexión de la nueva línea y el cárcamo. Este extremo de la tubería de la línea nueva se bloqueó con un muro tapón que después fue removido.

*Segundo hincado de tubería, en el sentido hacia el Cajón del Metro y Construcción de la lumbrera de salida adjunta al Cajón del Metro.*

Paralelo al inicio del segundo hincado se procedió a la construcción de la lumbrera de salida adjunta al cajón del metro, el túnel a base de hincado hidromecánico en esta ocasión se realizó hacia aguas arriba, partiendo de la lumbrera de doble hincado hacia el cajón del metro, mediante el proceso constructivo anteriormente expuesto en el capítulo 3, una vez que el escudo llegó a la pared de la línea existente de 2.44 m, dado que se encontraba desviado el flujo por el tapón que se colocó en la caja donde se encontraba el polipasto, quedó estanco el sitio donde se realizaron los trabajos de conexión de la nueva línea y la caja de derivación. (Fig. 4.11)

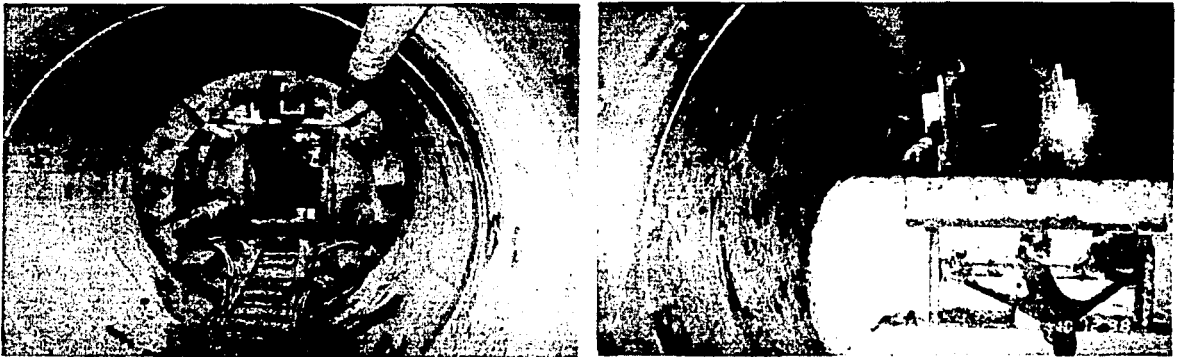
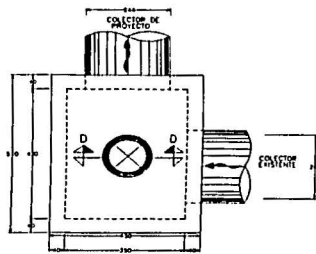


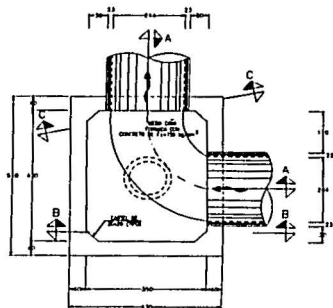
Fig. 4.11 Interior del Túnel.

*Construcción de la caja de derivación con la línea existente.*

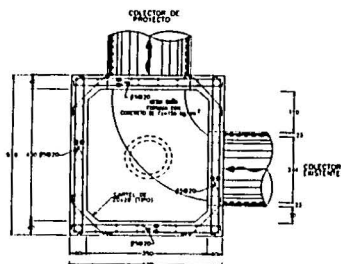
Para la construcción de la caja de derivación con la línea existente, debido a la profundidad a la que se encontraba se requirió la construcción de una lumbrera de las mismas características que las de salida del escudo, con la variante en dimensiones para dar cabida a la construcción de la caja derivadora y poder tener acceso a la línea existente una vez construida la lumbrera se procedió a la construcción de la caja de derivación de concreto conforme al proyecto ejecutivo, (figura 4.12) para dejar fuera de servicio la línea existente posterior a la caja de derivación, en ésta se construyó un muro tapón.



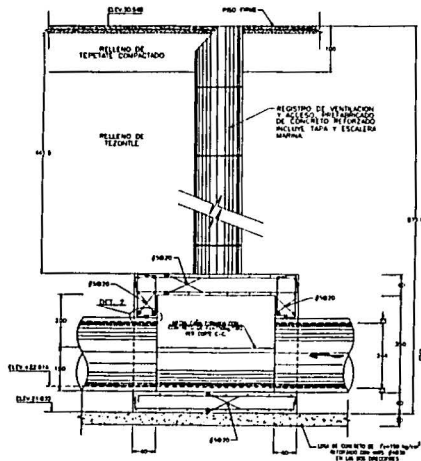
PLANTA LOSA DE CUBIERTA  
S.M.T.C.



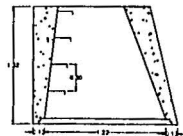
PLANTA LOSA DE FONDO  
S.M.T.C.



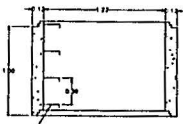
CORTE 1-1  
S.M.T.C.



CORTE DESARROLLADO SEGUN A-A  
S.M.T.C.

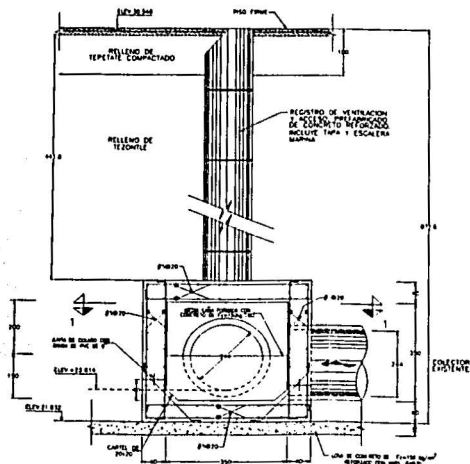


CODO SUPERIOR  
Codo Lateral



EXTENSIONES  
Codo Lateral

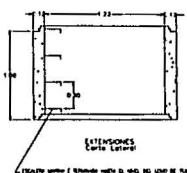
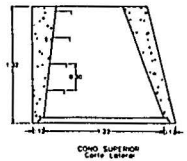
REGISTRO DE VENTILACION  
Y DE ACCESO PREFABRICADO  
S.M.T.C.



CORTE B-B  
S.M.T.C.

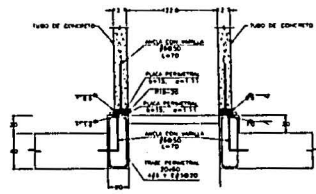
Fig. 4.12 Proyecto estructural de la caja de derivación.



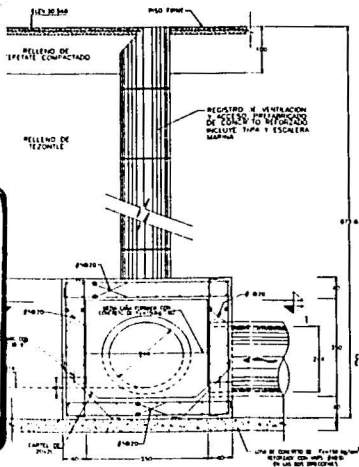


REGISTRO DE VENTILACION Y DE ACCESO PREFABRICADO

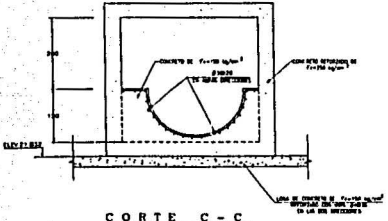
CANTIDADES DE OBRA		
CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD
ESCAFOQUE	m <sup>3</sup>	287.80
RELEVO	m <sup>3</sup>	171.37
CONCRETOS	m <sup>3</sup>	18.65
Fe=150 kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	43.30
ACERO DE REFUERZO F <sub>yk</sub> =4200 kg/cm <sup>2</sup>		
Ø2	kg	80.00
Ø3	kg	218.65
Ø4	kg	87.00
Ø5	kg	45.00
CHUBASCO	m <sup>2</sup>	127.50
LOSAS	m <sup>2</sup>	21.83
ACERO A-36	kg	594.00
BANDA DE P.V.C. Ø=33.50 x 50 x 3.00	m	18.00



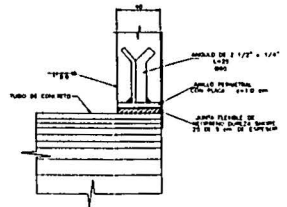
CORTE D-D



CORTE D-B



CORTE C-C



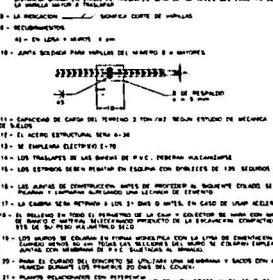
DETALLE 2



CROQUIS DE LOCALIZACION

- NOTAS GENERALES:**
1. Las dimensiones están dadas en centímetros y los volúmenes en metros cúbicos en caso de volúmenes de obra.
  2. Verificar dimensiones generales e locales en planos arquitectónicos.
  3. En la junta de concreto se debe respetar un ancho mínimo de 10 cm y un ancho máximo de 18 cm.
  4. En el caso de rebarbas de acero se debe respetar un ancho mínimo de 10 cm.
  5. En el caso de rebarbas de acero se debe respetar un ancho mínimo de 10 cm.
  6. Las longitudes de varillas a más allá de los volúmenes computan con el número total e incluye los anchos de otros volúmenes en el mismo.

DETALLES DEL REFUERZO



1. No se permite protuberancia de varillas en uniones.
2. En las juntas de concreto se debe respetar un ancho mínimo de 10 cm y un ancho máximo de 18 cm.
3. En las juntas de concreto se debe respetar un ancho mínimo de 10 cm y un ancho máximo de 18 cm.
4. En las juntas de concreto se debe respetar un ancho mínimo de 10 cm y un ancho máximo de 18 cm.
5. En las juntas de concreto se debe respetar un ancho mínimo de 10 cm y un ancho máximo de 18 cm.
6. En las juntas de concreto se debe respetar un ancho mínimo de 10 cm y un ancho máximo de 18 cm.
7. En las juntas de concreto se debe respetar un ancho mínimo de 10 cm y un ancho máximo de 18 cm.
8. En las juntas de concreto se debe respetar un ancho mínimo de 10 cm y un ancho máximo de 18 cm.
9. En las juntas de concreto se debe respetar un ancho mínimo de 10 cm y un ancho máximo de 18 cm.
10. En las juntas de concreto se debe respetar un ancho mínimo de 10 cm y un ancho máximo de 18 cm.
11. En las juntas de concreto se debe respetar un ancho mínimo de 10 cm y un ancho máximo de 18 cm.
12. En las juntas de concreto se debe respetar un ancho mínimo de 10 cm y un ancho máximo de 18 cm.
13. En las juntas de concreto se debe respetar un ancho mínimo de 10 cm y un ancho máximo de 18 cm.
14. En las juntas de concreto se debe respetar un ancho mínimo de 10 cm y un ancho máximo de 18 cm.
15. En las juntas de concreto se debe respetar un ancho mínimo de 10 cm y un ancho máximo de 18 cm.
16. En las juntas de concreto se debe respetar un ancho mínimo de 10 cm y un ancho máximo de 18 cm.
17. En las juntas de concreto se debe respetar un ancho mínimo de 10 cm y un ancho máximo de 18 cm.
18. En las juntas de concreto se debe respetar un ancho mínimo de 10 cm y un ancho máximo de 18 cm.
19. En las juntas de concreto se debe respetar un ancho mínimo de 10 cm y un ancho máximo de 18 cm.
20. En las juntas de concreto se debe respetar un ancho mínimo de 10 cm y un ancho máximo de 18 cm.
21. En las juntas de concreto se debe respetar un ancho mínimo de 10 cm y un ancho máximo de 18 cm.

GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL  
SECRETARIA DE OBRAS Y SERVICIOS

SECRETARIA DE OBRAS Y SERVICIOS  
DIRECTOR GENERAL DE CONTROL DE OBRAS DEL METROPOLITANO DE LA CIUDAD DE MEXICO

PROYECTO DEL COLECTOR DE DESAGÜE #24-AM  
CAJA CAMBIO DE DIRECCION  
PLANO ESTRUCTURAL

FECHA	MODIFICACION	FECHA	FORMA

ecto estructural de la caja de derivación.

### *Remoción del tapón provisional del colector de 2.44 m de Ø.*

Una vez construida la caja de derivación y realizada la interconexión de la tubería de 2.44 m de diámetro en la lumbrera de empuje, así como la conexión en el cárcamo de bombeo No. 10 se procedió a la remoción del tapón provisional que se construyó en la caja de derivación donde se encontraba el polipasto, dando libre paso al flujo.

### *Desmantelamiento y reubicación de la estructura del polipasto.*

Dentro de este proyecto se tenía contemplado la remoción y reubicación del polipasto que se encontraba en la caja derivadora existente al cárcamo de bombeo No. 10, por lo cual la estructura del polipasto fue desmantelada en la caja derivadora, trasladada y reconstruida considerando sus nuevas dimensiones en el cárcamo No. 10 (figura 4.13), una vez colocado el polipasto en el cárcamo No. 10 se rehabilitó todo el sistema eléctrico para dejarlo en condiciones de operación.

Ya retirado el polipasto de la caja derivadora existente se procedió a realizar la remoción de las rejillas, construcción de losa tapa de esta caja, chimeneas de ventilación hasta el nivel de jardinería a base de tabique recocido y rellenos necesarios hasta nivel de jardinería.

### *Reubicación del equipo de bombeo de emergencia existente, al cárcamo de Bombeo No. 10*

El equipo de bombeo de emergencia fue desmantelado en el lugar donde se encontraba y fue removido hacia el cárcamo No. 10 en donde se armó y se colocó en el sitio indicado en el cárcamo de bombeo No. 10.

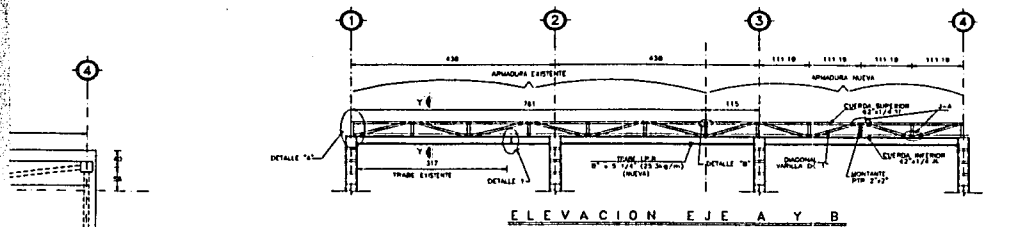
### *Reposición de las estructuras dañadas.*

Cuando fue construida la lumbrera de salida en el cárcamo de bombeo No. 10 se tuvo la necesidad de demoler parte de la losa del cárcamo así como parte de la barda perimetral, en cuanto a la losa de fondo se realizó la reposición de la misma con un espesor de 20 cm. con concreto de  $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$  y acero de refuerzo, la barda perimetral también fue reparada de acuerdo a las condiciones originales.

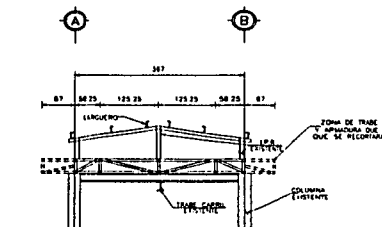
### *Estabilización de la tubería que quedará fuera de servicio.*

Debido a la construcción del desvío de colector de proyecto, quedó fuera de servicio una tubería de concreto existente de 2.44 m de diámetro, dicha tubería se procedió a darle una estabilización a base de inyección de un lodo estabilizado con bentonita y cemento portland tipo II, mediante un diseño previo en laboratorio.

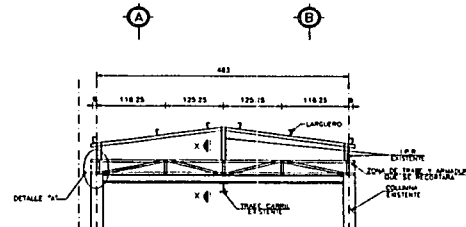




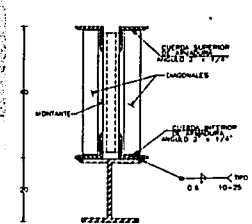
ELEVACION EJE A Y B



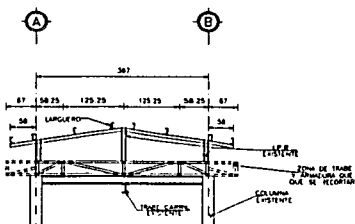
ELEVACION EJE 1 Y 2



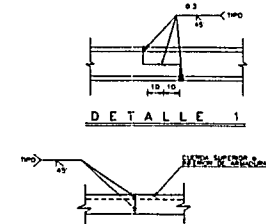
ELEVACION EJE 4



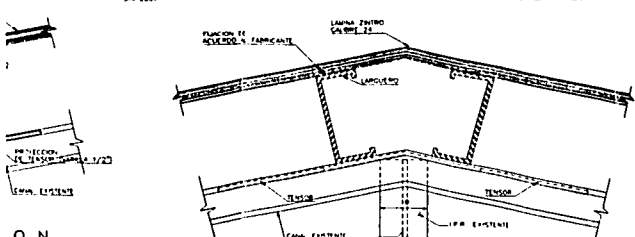
CORTE Y-Y



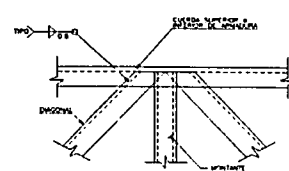
ELEVACION EJE 3



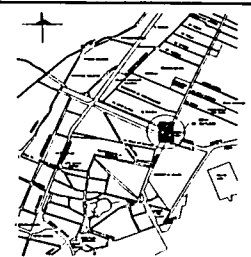
UNION TIPO EN ANGULOS DE CUERDAS SUPERIOR E INFERIOR DE ARMADURA DETALLE "B"



DETALLE "Y"



JUNTA JA EN ARMADURA



CROQUIS DE LOCALIZACION

CANTIDADES DE OBRA		
CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD
ACERO A-28		
VIGA IPR	kg	445.00
ANGULOS	kg	312.00
MONTES (CPLZ 3"-14)	kg	324.00
MALLA 10=2300g/cm2	kg	8.00

NOTAS GENERALES:

1. SE HA CONSIDERADO UN 10% DE RESERVA PARA LOS MATERIALES QUE SE ENCONTRAN EN EL MERCADO LOCAL. 2. SE HA CONSIDERADO UN 10% DE RESERVA PARA LOS MATERIALES QUE SE ENCONTRAN EN EL MERCADO LOCAL. 3. SE HA CONSIDERADO UN 10% DE RESERVA PARA LOS MATERIALES QUE SE ENCONTRAN EN EL MERCADO LOCAL.

Nº	MODIFICACION	FECHA	ELABORADO
1	ADICIONES DE ACEROS A LA ESTRUCTURA EXISTENTE	15-11-99	
2			
3			

GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL  
Secretaría de Obras y Servicios  
División General de Construcción de Obras de Obras de Ingeniería Civil

PROYECTO		METROPOLITANA LINEA B	
PROYECTO	ESTRUCTURAL DEL POLIPASTO EN CAPCANO No 10	FECHA	ELABORADO
ESTRUCTURAL	DEL POLIPASTO EN CAPCANO No 10	15-11-99	
PROYECTO	ESTRUCTURAL DEL POLIPASTO EN CAPCANO No 10	15-11-99	
ESTRUCTURAL	DEL POLIPASTO EN CAPCANO No 10	15-11-99	
PROYECTO	ESTRUCTURAL DEL POLIPASTO EN CAPCANO No 10	15-11-99	

### *Análisis económico de la obra.*

El análisis económico que se presenta a continuación, es un análisis económico comparativo del Proyecto Integral: Estudios, Diseño, Proyecto y Construcción del desvío de 97.0 metros del colector de 2.44 m. de diámetro localizado a una profundidad entre 5.0 y 7.0 m. inducido por la construcción del metropolitano línea "B", Buenavista- Ecatepec., considerando que esta obra se hubiera realizado por un proceso constructivo a cielo abierto (zanjeo) contra con la que fue construido, método de tuneleo a base de hincado hidromecánico de tuberías de concreto.

En dicho análisis se trató de contemplar todos los costos que se pudieran involucrar para que la comparativa pudiera ser lo más representativa posible, para lo cual se consideró todos los costos que con lleva el método tradicional a cielo abierto zanjeo; *costos sociales valorizados indirectamente y costos inducidos por el procedimiento constructivo.*

Dado que el tipo de información económica se maneja de una manera confidencial, tanto de parte de la contratante de la obra como de la contratista que realizo la misma, el análisis que se realizó, deberá considerarse como una propuesta genérica del análisis económico comparativo entre el método de tuneleo a base de hincado hidromecánico de tuberías de concreto y el método tradicional a cielo abierto, realizado por el autor de esta tesis, aclarando que tanto los conceptos como los costos incluidos en dicho análisis, probablemente no sean iguales a los obtenidos realmente en la obra; sin embargo, quedan dentro de los rangos de la misma, ya que el análisis que se presenta está basado, en los conceptos mínimos a realizar de acuerdo a los dos procedimientos constructivos y costos del mercado a la fecha de ejecución de la obra.

Cabe aclarar que al concepto del cruce con las vías del ferrocarril México - Cuautla, se le considero una alternativa consistente en una estructura metálica de soporte, dado que esta vía se utiliza generalmente para transporte de carga y la posibilidad de que Ferrocarriles Nacionales de México autorizara la interrupción de la misma, era prácticamente nula. Un concepto muy importante que se valorizó de manera indirecta fue el costo social (horas hombre sin producir y horas - máquina) mediante el retraso de tan solo 10 min. que ocasionaría la interrupción parcial de una avenida de la importancia de la Carlos Hank González, dado la alta densidad vehicular que transita a toda hora por esta avenida. Otro factor muy importante que no fue considerado para este análisis, es el factor tiempo, ya que solo se contaba con cuatro meses para ejecutar la obra y al realizarla a cielo abierto sería necesario por lo menos seis meses.

**ANÁLISIS ECONÓMICO COMPARATIVO ENTRE EL MÉTODO DE TUNELEO A BASE DE HINCADO HIDROMECÁNICO DE TUBERÍA DE CONCRETO VS. MÉTODO TRADICIONAL A CIELO ABIERTO**

CLAVE	CONCEPTO	TUBERÍA HINCADA				CIELO ABIERTO			
		UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
	<b>ESTUDIOS PRELIMINARES</b>								
1	ESTUDIOS PRELIMINARES; INCLUYE: RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN EXISTENTE, TRABAJOS TOPOGRÁFICOS PARA LOCALIZACIÓN DE PROBABLES INTERFERENCIAS E INFORME, ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL, EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA, INCLUYE: SONDEOS GEOFÍSICOS Y/O MECÁNICOS, PRUEBAS DE LABORATORIO E INFORMES; LA VOLUMETRÍA ES RESPONSABILIDAD DEL CONTRATISTA POR SER CONTRATO A PRECIO ALZADO.	CONJUNTO	1.00	\$206,027.34	\$206,027.34	CONJUNTO	1.00	\$206,027.34	\$206,027.34
	<b>DISEÑO</b>								
2	DISEÑO HIDRÁULICO Y ESTRUCTURAL, INCLUYE MEMORIAS DE CALCULO E INFORMES, DISEÑO ESTRUCTURAL DE LUMBRERAS, CAJAS Y OBRAS COMPLEMENTARIAS TEMPORALES, PERMANENTES Y PERITAJES; LA VOLUMETRÍA ES RESPONSABILIDAD DEL CONTRATISTA POR SER CONTRATO A PRECIO ALZADO.	DISE	1.00	\$151,104.98	\$151,104.98	DISE	1.00	\$151,104.98	\$151,104.98
	<b>PROYECTO</b>								
3	ELABORACIÓN DE PROYECTO EJECUTIVO; INCLUYE ELABORACIÓN DE PLANOS A NIVEL EJECUTIVO, ESPECIFICACIONES, PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS, LA VOLUMETRÍA ES RESPONSABILIDAD DEL CONTRATISTA POR SER CONTRATO A PRECIO ALZADO. LA VOLUMETRÍA ES RESPONSABILIDAD DEL CONTRATISTA POR SER CONTRATO A PRECIO ALZADO.	PROY	1.00	\$119,100.00	\$119,100.00	PROY	1.00	\$119,100.00	\$119,100.00
	<b>OBRA INDUCIDA</b>								
4	MEJORAMIENTO A BASE DE RELLENO CON TEPETATE BANDEADO EN UN ESPESOR DE 0.60 M PARA PROTECCIÓN DE DUCTOS DE PEMEX ASÍ COMO LAS ÁREAS DE OPERACIÓN DE EQUIPO PESADO, INCLUYE SUMINISTRO DE LOS MATERIALES, INCORPORACIÓN DE HUMEDAD, EQUIPO Y MANO DE OBRA NECESARIOS PARA SU CORRECTA EJECUCIÓN, LA VOLUMETRÍA ES RESPONSABILIDAD DEL CONTRATISTA POR SER CONTRATO A PRECIO ALZADO.	M2	540.00	\$104.42	\$56,386.80	M2	540.00	\$104.42	\$56,386.80
5	DEMOLICIÓN DE LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO NECESARIAS EN EL CARCAMO No. 10, Y EN VIALIDADES PARA LA CORRECTA CONSTRUCCIÓN DEL COLECTOR DE DESVÍO, INCLUYE: EQUIPO, MAQUINARIA, MANO DE OBRA Y ACARREOS NECESARIOS, DEMOLICIÓN DE GUARNICIONES, BANQUETAS Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCIÓN, LA VOLUMETRÍA ES RESPONSABILIDAD DEL CONTRATISTA POR SER CONTRATO A PRECIO ALZADO.	M3	21.80	\$315.40	\$6,875.72	M3	25.56	\$315.40	\$8,061.62
6	ELEMENTO PROVISIONAL PARA SUJETAR TEMPORALMENTE LAS TUBERÍAS DE AGUA POTABLE Y DRENAJE EN SUS DIFERENTES DIÁMETROS UBICADAS EN EL ÁREA DONDE SE CONSTRUIRÁ EL COLECTOR, EL PRECIO UNITARIO INCLUYE: TODOS LOS MATERIALES PUESTOS EN LA OBRA, MATERIALES DE CONSUMO, MAQUINARIA, HERRAMIENTA, MANO DE OBRA, ASÍ COMO PREPARACIÓN Y COLOCACIÓN DE ELEMENTOS DE FIJACIÓN, TRABES DE ACERO ESTRUCTURAL PARA SOPORTE, TENSORES, ATIESADORES, PLACAS DE ACERO, TUERCAS, RONDANAS, TORNILLOS, ACCESORIOS, ETC. ASÍ MISMO INCLUYE LA INSTALACIÓN Y RETIRO DE TODOS LOS ELEMENTOS QUE SE UTILIZARÁN PARA EL SOPORTE TEMPORAL DE LAS TUBERÍAS Y TODO LO NECESARIO PARA LA CORRECTA EJECUCIÓN DE ESTA ACTIVIDAD, LA VOLUMETRÍA ES RESPONSABILIDAD DEL CONTRATISTA POR SER CONTRATO A PRECIO ALZADO.	PZA.	0.00	\$4,850.00	\$0.00	PZA.	4.00	\$5,200.00	\$20,800.00

**ANÁLISIS ECONÓMICO COMPARATIVO ENTRE EL MÉTODO DE TUNELEO A BASE DE HINCADO HIDROMECAÁNICO DE TUBERÍA DE CONCRETO VS. MÉTODO TRADICIONAL A CIELO ABIERTO**

CLAVE	CONCEPTO	TUBERÍA HINCADA				CIELO ABIERTO			
		UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
7	RETIRO DE POSTE CON LUMINARIA Y COLOCACIÓN AL TERMINO DE LOS TRABAJOS EL PRECIO UNITARIO INCLUYE: LA DESINSTALACIÓN, AISLAMIENTO DE CABLES ENERGIZADOS, PARA EVITAR ACCIDENTES, ALMACENAMIENTO DE POSTES, BRAZOS Y LUMINARIA EN ALMACÉN DE LA CONTRATISTA SIENDO ESTA LA RESPONSABLE DEL DAÑO QUE SUFRAN CUALQUIER ELEMENTO, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA, CONEXIÓN, EQUIPO, MAQUINARIA, MANIOBRAS Y TODO LO NECESARIO PARA TERMINAR ESTA ACTIVIDAD, LA VOLUMETRÍA ES RESPONSABILIDAD DEL CONTRATISTA POR SER CONTRATO A PRECIO ALZADO.	PZA.	0.00	\$3,500.00	\$0.00	PZA.	2.00	\$3,500.00	\$7,000.00
8	CONSTRUCCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO QUE FUERON DEMOLIDAS EN EL CARCAMO No. 10, Y EN VIALIDADES PARA LA CORRECTA CONSTRUCCIÓN DEL COLECTOR DE DESVÍO, TAL COMO SE ENCONTRABAN ORIGINALMENTE LAS ESTRUCTURAS EXISTENTES INCLUYE: SUMINISTRO DE MATERIALES, EQUIPO, MAQUINARIA, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA Y ACARREOS NECESARIOS, TRAZO, JUNTAS, CIMBRAS Y DESCIMBRAS Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCIÓN, LA VOLUMETRÍA ES RESPONSABILIDAD DEL CONTRATISTA POR SER CONTRATO A PRECIO ALZADO.	M3	21.80	\$2,100.00	\$45,780.00	M3	25.56	\$2,100.00	\$53,676.00
9	CRUZAMIENTO DE LA VÍA DEL FERROCARRIL ( MÉXICO - CUAUTLA ) A BASE DE ESTRUCTURA METÁLICA, MEDIANTE ADEMÉS METÁLICOS TIPO AZ QUE SOPORTARAN LOS TALUDES Y PERFILES ESTRUCTURALES TIPO IPR DE 18" x 18" DE 104 kg/ml DE UN SOLO USO, DICHA ESTRUCTURA DEBERÁ TENER LAS DIMENSIONES NECESARIAS PARA LA CORRECTA INSTALACIÓN DE LA TUBERÍA, INCLUYE LA EXCAVACIÓN, ACARREOS Y TODO LO NECESARIO PARA LA CORRECTA EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS. LA VOLUMETRÍA ASÍ COMO EL DISEÑO ES RESPONSABILIDAD DEL CONTRATISTA POR SER CONTRATO A PRECIO ALZADO. PREVIA A LA CONSTRUCCIÓN EL DISEÑO DEBERÁ ESTAR AUTORIZADO POR LA DEPENDENCIA.	ESTRUCTURA	0.00	\$1,225,345.00	\$0.00	ESTRUCTURA	1.00	\$1,225,345.00	\$1,225,345.00
10	VALORIZACIÓN DEL COSTO SOCIAL, DERIVADO DE LA INTERRUPCIÓN PARCIAL DE TRAFICO VEHICULAR DE LA AV. CARLOS HANK GONZÁLEZ, SE VALORIZA EL TIEMPO MAQUINA Y EL TIEMPO HOMBRE DE NO PRODUCCIÓN.	DÍA	0.00	\$675,307.88	\$0.00	DÍA	75.00	\$675,307.88	\$50,648,091.00
11	DESVÍO DE TUBERÍA DE AGUA POTABLE DE 24" DE DIAMETRO A 6.00 M DE PROFUNDIDAD MEDIANTE UN BY - PASS, EL PRECIO UNITARIO INCLUYE: EXCAVACIÓN PARA DESCUBRIR LA TUBERÍA, ADEME DE LA EXCAVACIÓN, RELLENOS Y TODOS LOS MATERIALES PUESTOS EN LA OBRA, MATERIALES DE CONSUMO, MAQUINARIA, HERRAMIENTA, MANO DE OBRA, ASÍ COMO TODO LO NECESARIO PARA LA CORRECTA EJECUCIÓN DE ESTA ACTIVIDAD, LA VOLUMETRÍA ES RESPONSABILIDAD DEL CONTRATISTA POR SER CONTRATO A PRECIO ALZADO.	DESVÍO	1.00	\$750,225.00	\$750,225.00	DESVÍO	0.00	\$750,225.00	\$0.00
<b>CONSTRUCCIÓN DE COLECTOR</b>									
12	TRAZO Y NIVELACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS HIDRÁULICAS CON EQUIPO DE TOPOGRAFÍA INCLUYENDO SEÑALAMIENTO NECESARIO, LA VOLUMETRÍA ES RESPONSABILIDAD DEL CONTRATISTA POR SER CONTRATO A PRECIO ALZADO	M2	1267.00	\$3.99	\$5,055.33	M2	1267.00	\$3.99	\$5,055.33

**ANÁLISIS ECONÓMICO COMPARATIVO ENTRE EL MÉTODO DE TUNELEO A BASE DE HINCADO HIDROMECÁNICO DE TUBERÍA DE CONCRETO VS. MÉTODO TRADICIONAL A CIELO ABIERTO**

CLAVE	CONCEPTO	TUBERÍA HINCADA				CIELO ABIERTO			
		UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
13	SUMINISTRO, HABILITADO, HINCADO Y RETIRO DE ADEME METÁLICO A BASE TABLESTACADO MACHIHEMBADO PERFIL AZ Y TROQUELAMIENTO MEDIANTE PERFIL IPR DE 12" x 8" DE 74.4 kg/ml, EL PRECIO UNITARIO INCLUYE: TODOS LOS MATERIALES PUESTOS EN LA OBRA CON SUS MERMAS Y DESPERDICIOS, MAQUINARIA NECESARIA PARA EL HINCADO DE LAS TABLESTACAS, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA, EQUIPO SOLDADURA, EQUIPO DE CORTE, ACARREOS, SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA REQUERIDA E ILUMINACIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO Y EN GENERAL TODO LO NECESARIO PARA LA CORRECTA EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS. LA UNIDAD DE MEDICIÓN SERÁ EL KILOGRAMO, LA VOLUMETRÍA ES RESPONSABILIDAD DEL CONTRATISTA POR SER CONTRATO A PRECIO ALZADO	KG	0.00	\$11.42	\$0.00	KG	200,851.66	\$11.42	\$2,293,725.96
14	COLOCACIÓN DE TUBERÍA DE CONCRETO REFORZADO DE ACUERDO A LAS NORMAS NMX-C-402-1996-ONNCC, PARA DRENAJE CON JUNTA HERMÉTICA, TUBO DE 2.44 M. DE DIÁMETRO INTERIOR EL PRECIO UNITARIO INCLUYE: CORTE DE CARPETA EN LAS PROFUNDIDADES NECESARIAS, DEMOLICIÓN DE CARPETA, EN LOS ESPESORES NECESARIOS, EXCAVACIÓN CON EQUIPO MECÁNICO Y MANUAL ENTRE TROQUELES Y TABLESTACAS EN CUALQUIER TIPO DE TERRENO HASTA LOS NIVELES REQUERIDOS CONFORME AL PROYECTO, ACARREOS DEL MATERIAL PRODUCTO DE EXCAVACIÓN AL TIRO DESIGNADO APROX. 15 KM, SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CAMA DE TEZONTLE, LOS MATERIALES PARA LA UNIÓN DE LOS TRAMOS DE TUBERÍA Y TODOS LOS MATERIALES NECESARIOS PARA LA CORRECTA EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS, ASÍ COMO MANO DE OBRA, EQUIPO, HERRAMIENTA, ALINEACIÓN Y NIVELACIÓN, CON EQUIPO DE TOPOGRAFÍA, ACARREO DE LA TUBERÍA AL SITIO DE COLOCACIÓN, INCLUYENDO TODAS LAS MANIOBRAS CON EL EQUIPO REQUERIDO PARA ESTOS TRABAJOS, COLOCACIÓN DE EMPAQUES DE HULE, TODAS LAS MANIOBRAS CON EL EQUIPO APROPIADO EN LA ZONA DE TRABAJO PARA LA COLOCACIÓN Y ENSAMBLE DE LA TUBERÍA, CORTE DEL TUBO SI FUERA EL CASO CON DISCO ABRASIVO, SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE RELLENOS A BASE DE TEPETATE COMPACTADO AL 95% PROCTOR, SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA, BOMBEO DE ACHIQUE REQUERIDO EN LA ZONA DE EXCAVACIÓN PARA ABATIR EL N.A.F. Y EN CASO DE SER REQUERIDO POR FUGAS DE AGUA POTABLE, RUPTURA DE DRENAJE, LLUVIA, ETC, SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA REQUERIDA E ILUMINACIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO Y TODO LO NECESARIO PARA LA TERMINACIÓN DE LOS TRABAJOS A SATISFACCIÓN DE LA DEPENDENCIA. LA UNIDAD DE MEDICIÓN SERÁ EL METRO DE TUBO COLOCADO, LA VOLUMETRÍA ES RESPONSABILIDAD DEL CONTRATISTA POR SER CONTRATO A PRECIO ALZADO	M.L	0.00	\$11,506.42	\$0.00	M.L	97.00	\$11,506.42	\$1,116,122.74
15	CONSTRUCCIÓN DE LUMBRERA DE EMPUJE DE 4.50 M X 10.00 M DE HASTA 7.00 M DE PROFUNDIDAD PARA EL DESPLANTE DE LA BASE HINCADO PARA TUBERÍA DE CONCRETO REFORZADO DE 2.44 M DE DIÁMETRO, INCLUYE: TABLESTACADO MACHIHEMBADO DE ACERO ESTRUCTURAL, MADRINA Y PUNTALES A BASE DE PERFIL IPR DE 12" X 8" DE 74.4 KG/M, EQUIPO DE SOLDADURA Y CORTE, MAQUINARIA PARA LA INSTALACIÓN, EXCAVACIONES Y RELLENOS CONSTRUCCIÓN DE LOSA DE FONDO PARA ESTABILIZACIÓN DE LUMBRERA, PARED DE APOYO PARA EL EMPUJE, BOMBEO DE ACHIQUE NECESARIO, DESMANTELADO DE LUMBRERA (MATERIAL RECUPERABLE EN FAVOR DEL CONTRATISTA), ASÍ COMO TODOS LOS TRABAJOS NECESARIOS PARA SU CORRECTA EJECUCIÓN. LA VOLUMETRÍA ES RESPONSABILIDAD DEL CONTRATISTA POR SER CONTRATO A PRECIO ALZADO	PZA	1.00	\$550,325.50	\$550,325.50	PZA	0.00	\$550,325.50	\$0.00



**ANÁLISIS ECONÓMICO COMPARATIVO ENTRE EL MÉTODO DE TUNELEO A BASE DE HINCADO HIDROMECÁNICO DE TUBERÍA DE CONCRETO VS. MÉTODO TRADICIONAL A CIELO ABIERTO**

CLAVE	CONCEPTO	TUBERÍA HINCADA				CIELO ABIERTO			
		UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
16	CONSTRUCCIÓN DE LUMBRERA DE SALIDA DE 4.50 M X 10.00 M DE HASTA 7.00 M DE PROFUNDIDAD PARA LA EXTRACCIÓN DEL ESCUDO. INCLUYE TABLESTACADO MACHIHEMBRADO DE ACERO ESTRUCTURAL, MADRINA Y PUNTALES A BASE DE PERFIL IPR DE 12" X 8" DE 74.4 KG/M, EQUIPO DE SOLDADURA Y CORTE, MAQUINARIA PARA LA INSTALACIÓN, EXCAVACIONES Y RELLENOS CONSTRUCCIÓN DE LOSA DE FONDO PARA ESTABILIZACIÓN DE LUMBRERA, PARED DE APOYO PARA EL EMPUJE, BOMBEO DE ACHIQUE NECESARIO, DESMANTELADO DE LUMBRERA (MATERIAL RECUPERABLE EN FAVOR DEL CONTRATISTA), ASÍ COMO TODOS LOS TRABAJOS NECESARIOS PARA SU CORRECTA EJECUCIÓN. LA VOLUMETRÍA ES RESPONSABILIDAD DEL CONTRATISTA POR SER CONTRATO A PRECIO ALZADO	PZA	2.00	\$385,450.00	\$770,900.00	PZA	0.00	\$385,450.00	\$0.00
17	CONSTRUCCIÓN DE TÚNEL DE 290 CM (114") DE DIÁMETRO MEDIANTE HINCADO DE TUBERÍA DE CONCRETO REFORZADO DE 244 CM DE DIÁMETRO NOMINAL A BASE DE EMPUJE HIDROMECÁNICO CON ESCUDO MECÁNICO TIPO EXCAVADOR, SISTEMA DE REZAGA Y DE ACARREO DENTRO DEL TÚNEL, SISTEMA DE EMPUJE DE HASTA 200 TON, ALINEACIÓN CON NIVEL AUTOMÁTICO CON RAYO LÁSER, INCLUYE LA EXCAVACIÓN DE LA CAVIDAD, BAJADO A LUMBRERA E INSTALACIÓN DE LA TUBERÍA, EMPAQUE DE MADERA PARA ACOJINAMIENTO ENTRE TUBO Y TUBO PARA SU EMPUJE, BOMBEO DE ACHIQUE MEDIANTE EL PROCESO DE HINCADO, EXTRACCIÓN DE LA REZAGA DENTRO DEL TÚNEL, CARGA Y ACARREO DEL MATERIAL PRODUCTO DE LA EXCAVACIÓN DEL TÚNEL, HASTA EL LUGAR DE TIRO DESIGNADO, ASÍ COMO LAS OPERACIONES NECESARIAS PARA SU CORRECTA EJECUCIÓN. LA TUBERÍA SERÁ SUMINISTRADA POR LA DGCOSTC, LA VOLUMETRÍA ES RESPONSABILIDAD DEL CONTRATISTA POR SER CONTRATO A PRECIO ALZADO.	ML	97.00	\$15,250.00	\$1,479,250.00	ML	0.00	\$15,250.00	\$0.00
18	SUMINISTRO DE TUBERÍA DE 2.44 CM DE DIÁMETRO NOMINAL, GRADO III, PARED B, DE 2.44 M DE LONGITUD. EFECTIVA, COMO COMPLEMENTO A LA QUE SUMINISTRA LA DGCOSTC, LA VOLUMETRÍA ES RESPONSABILIDAD DEL CONTRATISTA POR SER CONTRATO A PRECIO ALZADO	ML	9.76	\$8,843.86	\$86,316.07	ML	9.76	\$8,843.86	\$86,316.07
19	RENIVELACION DE BROCALES DE LA CAJA DERIVADORA EXISTENTE AL NIVEL DE JARDINERÍA DEL PROYECTO NUEVO, CONSIDERANDO LOSA TAPA NUEVA CON PRECOLADOS Y TRES POZOS CHIMENEA POR TUBO DE COLECTOR PARA MANTENIMIENTO INCLUYE, CHIMENEA DE TABIQUE DE BARRO, EMPLASTE Y PULIDO DE CEMENTO, BROCAL Y TAPA DE FOFO DE 61 CMS DE DIÁMETRO HASTA NIVEL DE JARDINERÍA, RELLENO HASTA NIVEL DE JARDINERÍA Y LOS TRABAJOS NECESARIOS PARA SU CORRECTA EJECUCIÓN. LA VOLUMETRÍA ES RESPONSABILIDAD DEL CONTRATISTA POR SER CONTRATO A PRECIO ALZADO	PZA	1.00	\$33,782.20	\$33,782.20	PZA	1.00	\$33,782.20	\$33,782.20
20	CONSTRUCCIÓN DE CAJA DE DERIVACIÓN CON MURO TAPÓN SEGÚN INDICACIONES DE LOS PLANOS PARA LA UNIÓN DE COLECTOR EXISTENTE AL DE PROYECTO, EN EL CAMELLON CENTRAL. INCLUYE SUMINISTRO Y HABILITACIÓN DE LOS MATERIALES, CIMBRADO Y DESCIMBRADO, CONCRETO DE Fc = 200 KG/CM2, DOS REGISTROS DE VENTILACIÓN HASTA EL NIVEL DE JARDINERÍA A BASE DE TABIQUE RECOCIDO, EMPLASTE CON APLANADO FINO Y JUNTEADO CON MORTERO CEMENTO ARENA 1.5, DOS BROCALES Y TAPA DE FOFO, REGISTRO DE ACCESO DE 70 C 60 CM. ASÍ COMO LOS MATERIALES MANO DE OBRA Y EQUIPO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCIÓN. LA VOLUMETRÍA ES RESPONSABILIDAD DEL CONTRATISTA POR SER CONTRATO A PRECIO ALZADO	PZA	1.00	\$77,385.36	\$77,385.36	PZA	1.00	\$77,385.36	\$77,385.36

**ANÁLISIS ECONÓMICO COMPARATIVO ENTRE EL MÉTODO DE TUNELEO A BASE DE HINCADO HIDROMECÁNICO DE TUBERÍA DE CONCRETO VS. MÉTODO TRADICIONAL A CIELO ABIERTO**

CLAVE	CONCEPTO	TUBERÍA HINCADA				CIELO ABIERTO			
		UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
21	REUBICACIÓN, REMOCIÓN Y AMPLIACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE POLIPASTO EXISTENTE EN LA CAJA DERIVADORA EXISTENTE AL NUEVO CARCAMO No. 10, DICHA REUBICACIÓN CONTEMPLA UN SISTEMA ELÉCTRICO, SU ESTRUCTURA DE SOPORTE Y LAS REJILLAS, ESTAS ÚLTIMAS SE DEBERÁN ADAPTAR A LA NUEVA ESTRUCTURA DEL CARCAMO No. 10, INCLUYE 2 PUNTOS. LA VOLUMETRÍA ES RESPONSABILIDAD DEL CONTRATISTA POR SER CONTRATO A PRECIO ALZADO	PZA	1.00	\$59,357.66	\$59,357.66	PZA	1.00	\$59,357.66	\$59,357.66
22	DESMANTELAMIENTO Y REUBICACIÓN DE EQUIPO DE EMERGENCIA PARA BOMBEO DE MOTOR DE COMBUSTIÓN, DEPÓSITO DE COMBUSTIBLE INCLUYE: LA CONSTRUCCIÓN DE BASES DE APOYO Y SUSTENTACIÓN DE ESTE EQUIPO A SU LUGAR FINAL, ASÍ COMO TODOS LOS TRABAJOS NECESARIOS PARA SU CORRECTA EJECUCIÓN, LA VOLUMETRÍA ES RESPONSABILIDAD DEL CONTRATISTA POR SER CONTRATO A PRECIO ALZADO	PZA	1.00	\$10,348.49	\$10,348.49	PZA	1.00	\$10,348.49	\$10,348.49
23	ESTABILIZACIÓN DE TUBERÍA DE CONCRETO EXISTENTE DE 244 CM QUE QUEDARA FUERA DE SERVICIO DEBIDO A LA CONSTRUCCIÓN DE LA LÍNEA DE PROYECTO, INCLUYE: ESTABILIZACIÓN A BASE DE INYECCIÓN DE LODO ESTABILIZADO CON BENTONITA Y CEMENTO PORTLAN TIPO II, PREVIO DISEÑO EN LABORATORIO, ASÍ COMO TODOS LOS TRABAJOS NECESARIOS PARA SU CORRECTA EJECUCIÓN, LA VOLUMETRÍA ES RESPONSABILIDAD DEL CONTRATISTA POR SER CONTRATO A PRECIO ALZADO	M3	117.00	\$693.79	\$81,173.43	M3	117.00	\$693.79	\$81,173.43
24	CONEXIÓN DE LA LÍNEA DE PROYECTO AL CARCAMO No. 10, INCLUYE MATERIALES, MANO DE OBRA Y EQUIPO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCIÓN, ASÍ COMO DEL ABATIMIENTO DEL NIVEL DEL AGUA EN EL CARCAMO DURANTE LOS TRABAJOS, LA VOLUMETRÍA ES RESPONSABILIDAD DEL CONTRATISTA POR SER CONTRATO A PRECIO ALZADO	PZA	1.00	\$45,444.48	\$45,444.48	PZA	1.00	\$45,444.48	\$45,444.48
25	CONEXIÓN A TUBO LLENO EN LA CAJA DE DERIVACIÓN DE PROYECTO MEDIANTE LA DEMOLICIÓN DE UN TRAMO DE TUBERÍA DE CONCRETO REFORZADO DE 244 CM DE DIÁMETRO DE COLECTOR EXISTENTE, PREVIA CONSTRUCCIÓN A NIVEL DE MUROS DE ESTA CAJA DERIVADORA, INCLUYE MATERIAL, EQUIPO Y MANO DE OBRA NECESARIOS PARA SU CORRECTA EJECUCIÓN, LA VOLUMETRÍA ES RESPONSABILIDAD DEL CONTRATISTA POR SER CONTRATO A PRECIO ALZADO	PZA	1.00	\$55,717.05	\$55,717.05	PZA	1.00	\$55,717.05	\$55,717.05
<b>SEÑALAMIENTO Y PROTECCIÓN DE SEGURIDAD VIAL.</b>									
26	SEÑALAMIENTO DIURNO, INCLUYE TODA LA SEÑALIZACIÓN QUE DE CONFORMIDAD SE REQUIERA DURANTE EL TIEMPO QUE SEA SEGÚN LO INDIQUE EL PROYECTO PREVIA AUTORIZACIÓN DE LA D.G.C.O.S.T.C. LA VOLUMETRÍA ES RESPONSABILIDAD DEL CONTRATISTA POR SER CONTRATO A PRECIO ALZADO	JGO	1.00	\$9,332.24	\$9,332.24	JGO	3.00	\$9,332.24	\$27,996.72
27	SEÑALAMIENTO NOCTURNO, INCLUYE TODA LA SEÑALIZACIÓN QUE DE CONFORMIDAD SE REQUIERA DURANTE EL TIEMPO QUE SEA SEGÚN LO INDIQUE EL PROYECTO PREVIA AUTORIZACIÓN DE LA D.G.C.O.S.T.C. LA VOLUMETRÍA ES RESPONSABILIDAD DEL CONTRATISTA POR SER CONTRATO A PRECIO ALZADO	JGO	1.00	\$17,846.10	\$17,846.10	JGO	3.00	\$17,846.10	\$53,538.30

**ANÁLISIS ECONÓMICO COMPARATIVO ENTRE EL MÉTODO DE TUNELEO A BASE DE HINCADO HIDROMECAÁNICO DE TUBERÍA DE CONCRETO VS. MÉTODO TRADICIONAL A CIELO ABIERTO**

CLAVE	CONCEPTO	TUBERÍA HINCADA				CIELO ABIERTO			
		UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
28	PERSONAL DE APOYO PARA SEGURIDAD Y PROTECCIÓN VIAL PARA LA CIUDADANÍA A DISPOSICIÓN DE LA D.G.C.O.S.T.C. INCLUYE: CINCO AUXILIARES Y UN SUPERVISOR DURANTE EL PERIODO DE EJECUCIÓN DE LA OBRA, DOS JUEGOS DE UNIFORMES DE COLOR AMARILLO POR PERSONA, CASCOS DE SEGURIDAD, BOTAS DIELECTRICAS Y EQUIPO CON SISTEMA DE RADIOLOCALIZACIÓN, LA VOLUMETRIA ES RESPONSABILIDAD DEL CONTRATISTA POR SER CONTRATO A PRECIO ALZADO.	MES	4.00	\$30,143.46	\$120,573.84	MES	6.00	\$30,143.46	\$180,860.76

**TOTAL DE OBRA POR EL MÉTODO DE MICROTUNELEO: \$4,738,307.59**

**TOTAL DE OBRA A CIELO ABIERTO: \$56,622,417.29**

**DIFERENCIA: \$51,884,109.70**

**PORCENTAJE DEL COSTO DE OBRA DE MICROTUNELEO CONTRA OBRA A CIELO ABIERTO: 8.37%**

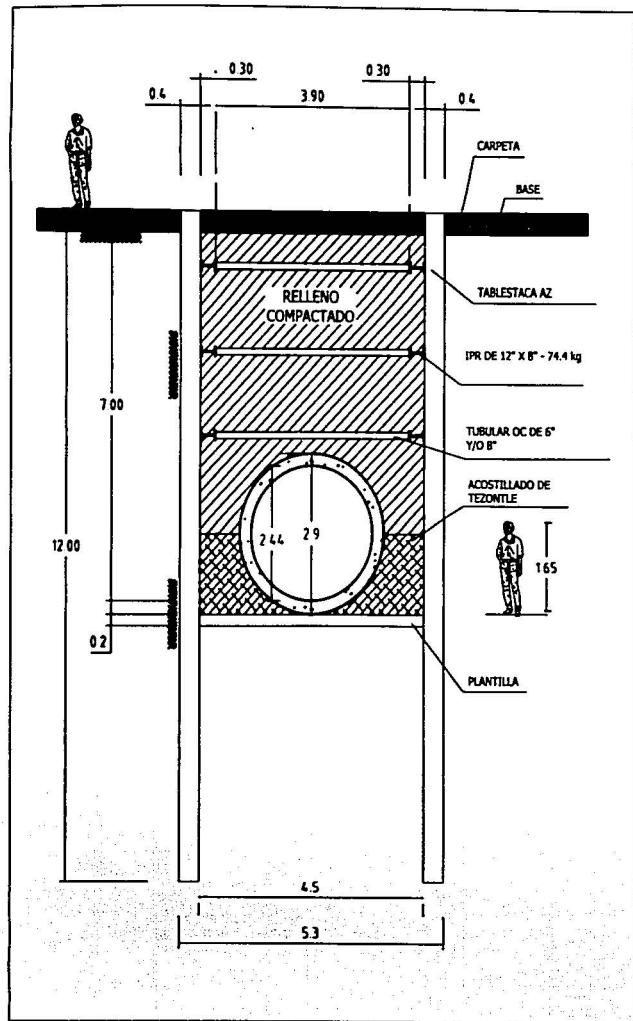
**TOTAL DE OBRA POR EL MÉTODO DE MICROTUNELEO: \$4,738,307.59**

**TOTAL DE OBRA A CIELO ABIERTO SIN CONTEMPLAR EL COSTO SOCIAL: \$5,974,326.29**

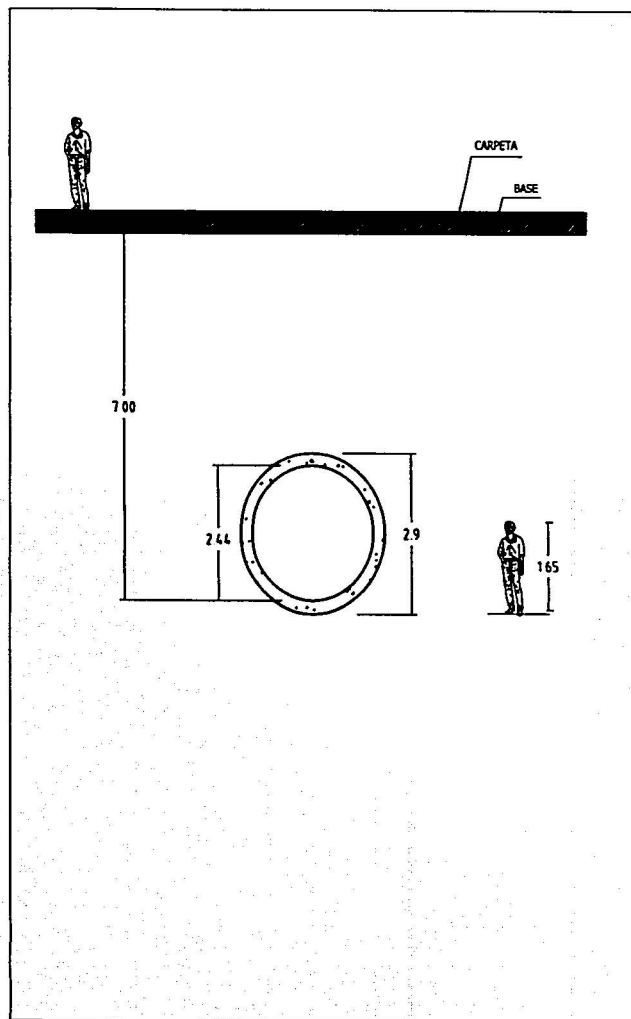
**DIFERENCIA: \$1,236,018.70**

**PORCENTAJE DEL COSTO DE OBRA DE MICROTUNELEO CONTRA OBRA A CIELO ABIERTO: 79.31%**

## SECCIÓN TIPO ZANJA



## SECCIÓN TIPO HINCADO



Como resumen de lo anteriormente expuesto en el análisis económico comparativo entre el método de hincado de tubería de concreto y el método a cielo abierto tenemos:

Total de obra por el método de hincado de tubería: \$ 4,738,307.59  
(Cuatro millones setecientos treinta y ocho mil trescientos siete pesos 59/100 M.N.)

Total de obra por el método a cielo abierto (zanja): \$ 56,622,417.29  
(Cincuenta y seis millones seiscientos veintidós mil cuatrocientos diecisiete pesos 29/100 M.N.)

De lo anterior se puede observar que tenemos una diferencia a favor del método de hincado de tubería de : \$ 51,884,109.70 (Cincuenta y un millones ochocientos ochenta y cuatro mil ciento nueve pesos 70/100 M.N.) esto nos indicaría, que el realizar la obra por el método de hincado de tubería de concreto, equivale tal solo al 8.37 % del costo de la obra a cielo abierto.

Vale la pena hacer mención de que el concepto que más influye en este análisis económico comparativo entre los dos métodos, es el costo social que ocasiona la interrupción de una avenida con tanta fluencia vehicular, como la de este proyecto en específico, lo cual nos da una idea de los beneficios que se obtienen al optar por el método de tuneleo a base de hincado hidromecánico de tuberías de concreto, cabe señalar que este costo no se valoriza en un contrato de la naturaleza de esta obra; por tal motivo se observo los resultados obtenidos, sin considerar el costo social, obteniendo que aun se encuentra una diferencia a favor del método de hincado de tubería de : \$ 1,236,018.70 (Un millón doscientos treinta y seis mil dieciocho pesos 70/100 M.N.) esto nos indica, que aun sin contemplar el costo social, el cual es de suma importancia; el realizar la obra por el método de hincado de tubería de concreto, equivale al 79.31 % del costo de realizar la obra a cielo abierto.

Derivado de lo anterior, se puede concluir que la decisión de que la obra se realizara por el método de tuneleo a base de hincado hidromecánico de tuberías de concreto, fue la más acertada, sin lugar a duda, ya que representa un costo menor, así como menor empleo de tiempo y sin los inconvenientes de una obra a cielo abierto.

## CONCLUSIONES

La Ciudad de México cuenta con una red de drenaje antiguo, que data desde el siglo XVIII, con esto nos da una idea de las necesidades que imperan en la actualidad, tanto en la instalación de drenaje con mayor capacidad, como la rehabilitación del ya deteriorado, o bien el reemplazo total de algunos tramos que son inoperantes, dado el crecimiento de la población que se ha dado a la fecha, lo mismo pasa con los demás servicios públicos, como pueden ser el suministro de agua potable, gas, luz, telefonía, así como el suministro de diferentes energéticos; si a esto le añadimos que en ciudades, además de la de México, Monterrey y Guadalajara, entre otras; donde cualquier interrupción en la vida cotidiana de sus habitantes ocasiona problemas que resultan de las obras a cielo abierto, así como congestionamientos vehiculares por el cierre de calles o avenidas, la afectación social en horas hombre de trabajo, repercusiones económicas a comerciantes cerca de la zona de trabajo, así como la obra inducida; desde reposición de pavimentos, banquetas, guarniciones, colganteos y desvíos temporales. La tecnología del microtuneleo de no apertura de zanja para la instalación, rehabilitación y reemplazo de tuberías subterráneas resulta de gran ayuda, para la solución de estos problemas.

Como se expuso en el primer capítulo de esta tesis, las ventajas que ofrecen estos sistemas con respecto a los métodos tradicionales de instalación o reemplazo de tuberías son sin duda mucho mayores en todos los aspectos, sin menospreciar la facilidad y versatilidad que ofrece el método tradicional a cielo abierto, cabe señalar que el campo de utilización de estos sistemas de microtuneleo es muy amplio y no se debe encasillar exclusivamente a la idea de que son buenos sólo para cruces. Ahora bien, en cuanto a lo económico, se puede destacar que es muy competitivo con respecto a los métodos tradicionales e inclusive muchas veces más económico, añadiendo que entre más largos sean los tramos más económico resulta, ya que el costo global se divide entre más metros de construcción.

Como se enfatizó en el capítulo dos, los estudios preliminares que se realizan antes de llevar a cabo la ejecución de la obra, son de suma importancia en semejanza a cualquier otro tipo de construcción. En los sistemas de microtuneleo se deberá empezar por localizar todas aquellas posibles interferencias que se tengan a lo largo del trazo.

En lo que se refiere al estudio geotécnico, en el caso de instalación de tubería nueva, es de suma importancia ya que es el que nos dará la pauta del tipo de suelo con el que vamos a tratar y por ende que tipo de herramienta será la que tendremos que utilizar así como el método más óptimo. En lo que se refiere a la estabilidad del frente del túnel, en el caso de estas técnicas de microtuneleo para la instalación de tubería prácticamente no se presenta la falla del frente de excavación, sólo se podría dar el caso cuando existiera una falla en la coordinación entre la excavación y el avance de la máquina excavadora ya que ésta última es la que le da soporte al frente de excavación. Un caso que se podría presentar

como posible falla sería que en el frente de excavación se encontrara algún material licuado por alguna fuga de agua en la periferia y al retirar dicho material producto de la excavación, el mismo microtúnel sirviera como un dren de este material licuado.

En el caso de un túnel tradicional, el principal motivo de que se presente una falla en el frente de excavación, es el de dejar sin soporte alguno la clave de la excavación realizada, en el caso de las técnicas de microtuneleo no existen zonas excavadas sin soporte alguno.

En lo que se refiere a los procesos constructivos de las técnicas de microtuneleo para la instalación, rehabilitación y reemplazo de tuberías subterráneas, podemos concluir que todo *sistema de instalación de tubería subterránea* cumple con tres procesos fundamentales, los cuales consisten en la excavación, en el retiro del material excavado (rezaga) y en la introducción de la tubería; en cuanto a la excavación podemos decir que la herramienta de corte con la que se realiza la excavación puede ser muy variada desde un disco cortador hasta un fluido a alta presión. En cuanto a la introducción de la tubería podemos destacar que posiblemente sea el proceso fundamental de todo método de instalación de tubería por microtuneleo ya que es el proceso donde finalmente queda instalada la tubería; este proceso se realiza en la mayoría de los métodos por medio del empuje de dicha tubería y en otros por medio de tracción.

Con respecto a los *sistemas de rehabilitación de tuberías subterráneas* mediante microtuneleo, estos sistemas son empleados como un método correctivo en aquellas tuberías, que presentan diferentes tipos y grados de deterioros como pueden ser: fugas en sus juntas, corrosión, fisuras, entre otros tipos de problemas, esta rehabilitación nos da como resultado una vida útil mayor de estas estructuras a un menor costo que si tuviéramos que reemplazarlas por los métodos tradicionales. Un inconveniente que tienen estos métodos de rehabilitación es que se tiende a disminuir el diámetro de las tuberías debido al espesor de los recubrimientos que son colocados para su rehabilitación, sin embargo estos recubrimientos presentan una menor rugosidad, que la que tenía la tubería vieja llámese tubería de concreto o acero, evitando así que se vea disminuida su capacidad de conducción e inclusive se llega a mejorar esta capacidad de conducción por el bajo coeficiente de rugosidad que presentan.

En cuanto a los *sistemas de reemplazo de tuberías subterráneas* mediante microtuneleo, son empleados como un método de reemplazo total en tramos de tuberías de diámetros diversos, que presentan diferentes tipos y grados de deterioros que ya no permiten el funcionamiento óptimo de la tubería como pueden ser: alto grado de corrosión, fisuras, grietas, intrusiones de raíces, entre otros. Una ventaja que presentan estos métodos es el poder incrementar el diámetro de la tubería que se va a reemplazar pudiendo incrementar así su capacidad en cuanto a conducción. Otra característica que presenta, debido a su proceso constructivo, es el poder evitar casi por completo la obra inducida debido a que la tubería nueva por instalar conserva el mismo trazo que la tubería existente.

En lo que respecta al ejemplo de aplicación expuesto en el capítulo cuatro: Proyecto Integral: Estudios, Diseño, Proyecto y Construcción del desvío de 97.0 metros del colector de 2.44 m. de diámetro localizado a una profundidad entre 5.0 y 7.0 m. inducido por la

construcción del metropolitano línea "B", Buenavista-Ecatepec, realizado mediante el método de Tuneleo a base de hincado hidromecánico de tuberías de concreto, podemos destacar que en esta obra se aprovecharon varias ventajas que nos ofrecen este tipo de sistemas de microtuneleo; en lo administrativo el poder realizar un contrato de obra pública a precio alzado (Llave en mano). Con respecto a la facilidad del proceso constructivo, el de poder atravesar una avenida de tanta circulación vehicular como lo es la Av. Carlos Hank González en sus cuatro carriles en dirección Texcoco-México, así como la vía del ferrocarril México-Cuautla, tomando en cuenta lo anterior era prácticamente imposible realizar esta obra a cielo abierto debido a que el costo social sería muy alto, el tener un tiempo determinado de conclusión de obra, el que se haya podido trabajar en época de lluvia sin ningún contratiempo; en cuanto al análisis económico comparativo que se realizó se puede concluir, que aun sin considerar el factor costo social, por no contemplarse en catálogo de contrato de una obra de esta naturaleza, el realizar la obra por el método de microtuneleo resultó más económico, que si se hubiese realizado la obra por el método tradicional a cielo abierto.

Finalmente me gustaría concluir anotando que hay que aprovechar las ventajas que nos ofrece el avance tecnológico que se ha dado en la ingeniería de obras subterráneas, logrando con esto disminuir tiempos y costo en las obras dando seguridad al trabajador y logrando así obras de calidad total en todos los aspectos.



## FUENTES DE INFORMACIÓN

### **PUBLICACIONES:**

- Arnal Simón Luis y Betancourt Suárez Max; Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal; Normas Técnicas Complementarias para Diseño y construcción de Cimentaciones. Primera reimpresión. Editorial Trillas. México, 2000.
- Cornejo Álvarez Laureano., Excavación Mecánica de Túneles. Editorial Roeda. Madrid, España, 1988.
- Juárez Badillo Eulalio y Rico Rodríguez Alfonso., Mecánica de Suelos. Tomo I. Fundamentos de la Mecánica de Suelos. Tercera edición. Editorial Limusa. México, 1974.
- Juárez Badillo Eulalio y Rico Rodríguez Alfonso., Mecánica de Suelos. Tomo II. Teoría y Aplicaciones de la Mecánica de Suelos. Segunda edición. Editorial Limusa. México, 1979.
- Rico Rodríguez Alfonso y Del Castillo Hermilo., La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres. Volumen II. Primera edición. Editorial Limusa. México, 1977.
- Tamez González E., Rangel Núñez J. L., Holguín E., Diseño Geotécnico de Túneles Editorial TGC Geotecnia. México, D.F. 1997.
- T. M. Megaw y J. V. Bartlett., Túneles Planeación, Diseño y Construcción. Traducido del inglés por Carlos Alberto García Ferrer. Volumen I. Primera edición. Editorial Limusa. México, 1988.
- Vargas Alcántara Vicente, Mecánica de Suelos, Instructivo para ensayos de suelos. Primera reimpresión. Colección Breviarios del agua. Secretaría de Recursos Hidráulicos, 1967. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 1990.

### **PONENCIAS:**

- Aguilar Díaz. Guillermo, Prueba de Penetración Estándar. Ponencia presentada en el Seminario Exploración Geotécnica. SMMS. México, 1986.
- Álvarez Piña Vicente, Microtúneles. Ponencia presentada en el Primer Congreso de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas. AMITOS. México, 1993.

- Itami Katagiri F., Santoyo Villa E. y Cruz Villafranco G., Sondeos para Obtener coeficientes de Correlación de la Resistencia al Corte de los Suelos. Ponencia presentada en el Curso Exploración Geotécnica. SMMS. México, 1986.
- Menache Alberto S. Comentarios Sobre el Comportamiento de Túneles Excavados en Suelos Blandos. Ponencia presentada en el Seminario Túneles en Suelos Blandos y Firmes. SMMS. México, 1981.
- Menache Varela Alberto S., Principales Técnicas de microtuneleo y sus Aplicaciones en México. Ponencia presentada en el Primer Congreso de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas. AMITOS. México, 1993.
- Moreno F. Andrés Túneles en Suelos Blandos del Valle de México. Ponencia presentada en el Seminario Túneles en Suelos Blandos y Firmes. SMMS. México, 1981
- Sáenz García. Clemente, Los Túneles y el Terreno, Ponencia presentada en el Curso Túneles y Obras Subterráneas, Organizado por la Revista Materiales, Maquinaria y Métodos para la Construcción. Editores Técnicos Asociados. Barcelona, España, 1977.
- Torres Flores José Antonio, Utilización del Sistema Akkerman de Tuneleo e Hincado de Tubería de Drenaje combinado del Valle de Chalco, Estado de México. Ponencia presentada en el Primer Congreso de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas. AMITOS. México, 1993.
- Torres Flores José Antonio, Guzmán Melgarejo Benjamín, González Reyes Raymundo G., Tunelización e hincado hidromecánico de tubería de concreto reforzado mediante escudo abierto de rejillas en las arcillas del Valle de México. Ponencia presentada en el Tercer Congreso de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas. AMITOS. México, 1999.

#### **PÁGINAS WEB:**

- <http://www.american-augers.com>
- <http://www.akkerman.com>
- <http://www.barbco.com>
- <http://www.cues.com>
- <http://www.herrenknect.com>
- <http://www.iseki.com>

- <http://www.microtunneling.com/soltau>
- <http://www.tracto-technik.de>
- <http://www.ttmag.com>
- <http://www.vermeer.com>

#### **ARCHIVO DEL GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL:**

- Proyecto ejecutivo de la obra denominada “Proyecto integral: Estudios, Diseño, Proyecto y Construcción del desvío de 97.0 metros del colector de 2.44 m. de diámetro localizado a una profundidad entre 5.0 y 7.0 m. inducido por la construcción del metropolitano línea “B”, Buenavista – Ecatepec.”, realizado por Microtúnel, S.A. de C.V. para el Gobierno del Distrito Federal, Secretaría de Obras y servicios por conducto de la Dirección General de Construcción de Obras del Sistema de Transporte Colectivo.

#### **FOTOGRAFÍAS Y ESQUEMAS:**

- Fotografías tomadas por el autor de esta tesis (archivo personal).
- Archivo fotográfico de la constructora Microtunel, S.A de C.V.
- Diversa publicidad de proveedores de maquinaria para la instalación, rehabilitación y reemplazo de tuberías por métodos sin zanja.
- Los esquemas son provenientes de diversas fuentes de información antes descritas.

#### **ASESOR:**

Ing. Jorge Flores Núñez

## GLOSARIO

- **Achique:** Operación de sacar el agua que inunda el fondo de una excavación, desde un cárcamo y mediante una bomba.
- **Alineamiento horizontal:** Proyección sobre un plano horizontal del eje del microtúnel.
- **Alineamiento vertical:** Proyección sobre un plano vertical del desarrollo del eje horizontal de un microtúnel.
- **Al pleno vivo:** Término utilizado para referir que los trabajos se realizarán con las instalaciones a rehabilitar o reemplazar en operación.
- **Azolve:** Material depositado en el fondo de una tubería por el fluido que lo arrastra aguas arriba.
- **Clave del túnel:** Parte superior de la sección de un túnel en forma circular o semicircular.
- **Desazolve:** Es la remoción o extracción de materiales sedimentados o depositados en el fondo o paredes de una tubería que generalmente conduce aguas negras.
- **Dovelas:** Pieza estructural con la que se integran los anillos para el soporte de la sección del túnel.
- **Eslingas:** Estrobo de fibra de nylon utilizado para cargas y descargas (maniobras de ciertos materiales) y evitar que se dañen o rayen.
- **Frente de ataque:** Término utilizado para nombrar el frente de la herramienta de corte que se está utilizando para excavar el microtúnel.
- **Lumbrera de empuje:** Excavación vertical a la profundidad requerida, de geometría variable, con las dimensiones requeridas para alojar a todo el equipo de hincado, también llamada lumbrera de lanzamiento, de partida o fosa de hincado; en esta lumbrera es donde se inicia el hincado.
- **Lumbrera de salida:** Excavación vertical a la profundidad requerida, de geometría variable, con las dimensiones necesarias para retirar el equipo de excavación del microtúnel, también llamada lumbrera de recepción, de llegada o de salida; en esta lumbrera es donde se finaliza el hincado.

- **Microtúnel:** Obra subterránea construida con una técnica de excavación o perforación no destructiva, que no afecta la infraestructura existente; de sección relativamente pequeña menor a 3 m de diámetro, de eje horizontal o inclinado construida para el alojamiento de cables, tuberías o ductos subterráneos; en áreas urbanas, industriales o bajo cualquier punto calificado como conflictivo, donde el constructor manipula el equipo desde el exterior del microtúnel por falta de espacio para trabajar en forma práctica en su interior.
- **Miniescudo:** Máquina excavadora de túneles de pequeño diámetro implementando diferentes sistemas, excavación, extracción de rezaga e hincado de la tubería, todos ellos a control remoto; El rango en cuanto al tamaño de tubería que puede instalarse es desde 30 a 360 cm de diámetro.
- **Obra Inducida:** Término utilizado para todas aquellas interferencias que se presentan para llevar a cabo la construcción de una obra determinada, en este caso el microtuneleo, las cuales se pueden desarrollar en forma independiente o paralela a la obra.
- **“sinfin”:** Término referido a los tornillos “sinfin” ; tornillo o broca en forma helicoidal, utilizado en los sistemas de microtuneleo para transportar la rezaga producto de la excavación.