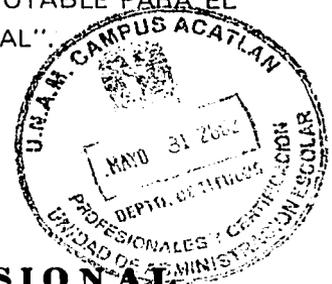




UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN"

"PROCESO CONSTRUCTIVO DEL MACROCIRCUITO DE DISTRIBUCION DE AGUA POTABLE PARA EL DISTRITO FEDERAL"



TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE: INGENIERO CIVIL PRESENTA: ISRAEL ROMERO MONROY

ASESOR: ING. FERNANDO FAVELA LOZOYA

SANTA CRUZ ACATLAN, ESTADO DE MEXICO JUNIO DE 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. ISRAEL ROMERO MONROY

ALUMNO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

P R E S E N T E

En atención a su solicitud presentada con fecha de 29 de septiembre de 2000, prorrogada el día 17 de octubre de 2001, me complace notificarle que esta Jefatura de Programa aprobó el tema que propuso, para que lo desarrolle como Tesis para su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

**"PROCESO CONSTRUCTIVO DEL MACROCIRCUITO DE
DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE PARA EL DISTRITO FEDERAL"**

INTRODUCCIÓN

1. ANTECEDENTES DEL MACROCIRCUITO DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE
2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA BIFURCACIÓN PARA LOS RAMALES NORTE Y SUR DEL MACROCIRCUITO
3. PROCESO CONSTRUCTIVO DEL RAMAL SUR DEL MACROCIRCUITO DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE PARA EL DISTRITO FEDERAL
4. PROCESO CONSTRUCTIVO DEL RAMAL NORTE DEL MACROCIRCUITO DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE PARA EL DISTRITO FEDERAL

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFÍA GENERAL

Asimismo fue designado como asesor al ING. FERNANDO FAVELA LOZOYA, 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 del trabajo escrito 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 mayo de 2002

Jefe del Programa

Ing. Manuel Gómez Gutiérrez

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

AGRADECIMIENTOS.

DOY GRACIAS A DIOS:

**POR HABERME DADO LA VIDA Y PACIENCIA NECESARIA
PARA PODER CONCLUIR MI CARRERA Y ESTAR AQUÍ PRESENTE.**

A MIS PADRES :

**LOURDES MONROY DE ROMERO Y JESÚS ROMERO MAYOR POR HABERME DADO LA
VIDA Y SIEMPRE HABERME DADO UN BUEN EJEMPLO, APOYÁNDOME EN TODO LO QUE
HE HECHO, GRACIAS POR SUS CONSEJOS Y DESVELOLOS QUE HAN TENIDO QUE PASAR
POR ESTAR CUANDO MÁS LOS HE NECESITADO.**

A MIS HERMANOS:

**ERIKA, ULISES Y JESICA, POR APOYARME Y ALENTARME EN TODO LO QUE HE HECHO
CON SUS BUENOS CONSEJOS, PALABRAS Y EJEMPLOS QUE SIEMPRE ME HAN SIDO
MUY ÚTILES EN TODO LO QUE HE TENIDO QUE REALIZAR.**

A LA FAMILIA RUIZ LEÓN:

**SANDRA, VÍCTOR MANUEL Y MI TÍA PAZ, QUE ME APOYARON PARA PODER
DESARROLLAR ESTE TRABAJO QUE AHORA ME DA LA CONFIANZA PARA PODER SEGUIR
MÁS ADELANTE EN LA VIDA.**

A LOS INGENIEROS

**FERNANDO FAVELA, JORGE URIARTE Y JORGE FLORES NUÑEZ QUE ME AYUDARON A
DESARROLLAR Y CONSEGUIR LA INFORMACIÓN NECESARIA PARA REALIZAR ESTE
TRABAJO.**

**A TODOS MIS MAESTROS POR TODOS LOS VALIOSOS CONOCIMIENTOS QUE ME DIERON
EN EL SALÓN DE CLASES EN BASE A SU EXPERIENCIA PERSONAL Y QUE ME HAN
MOSTRADO EL MEJOR CAMINO A SEGUIR.**

**Y AGRADEZCO TAMBIÉN A TODAS LAS DEMÁS PERSONAS QUE HAN APOYADO EN EL
TRANCURSO DE MI CARRERA Y QUE SIEMPRE TUVIERON UNA PALABRA DE APOYO
PARA LEVANTARME EL ANIMO Y ASÍ PODER LLEGAR HASTA ESTOS MOMENTOS, EN
ESPECIAL A VICTOR MANUEL MORENO RUIZ POR EL TIEMPO QUE ME BRINDO PARA
DESARROLLAR ESTE TRABAJO.**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

INTRODUCCIÓN.

CAPITULO 1. - ANTECEDENTES DEL MACROCIRCUITO DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE.	1
1.1. -Época Prehispánica.	1
1.2. - Historia de los primeros métodos para el transporte de agua potable en el Valle de México.	4
1.3. - Generalidades del Valle de México.	4
1.3.1.- Características físicas y urbanas.	4
1.3.2.- Evolución geológica de la Cuenca del Valle de México.	5
1.4. - Hundimiento de la Ciudad de México y situación actual.	5
1.4.1.- El hundimiento de la Ciudad.	5
1.4.2.- Situación actual.	7
1.5. - Estructura del plan maestro propuesto.	9
1.5.1.- Estructura del plan maestro de agua potable.	9
1.6. - Estudios básicos del agua y propuestas para mejorar el sistema y evitar pérdidas de este elemento.	10
1.6.1.- Estudios básicos.	10
1.6.2.- Estudios para el análisis del funcionamiento y el mejoramiento del sistema.	10
1.6.3.- Propuestas para mejorar el sistema y evitar pérdidas de este elemento.	10
1.7. - Fuentes internas y externas.	11
1.7.1.- Fuentes de abastecimiento.	11
1.7.2.- Fuentes internas.	11
1.7.3.- Fuentes externas.	12
CAPITULO 2. - CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA BIFURCACIÓN PARA LOS RAMALES NORTE Y SUR DEL MACROCIRCUITO.	14
2.1. - Características generales del Sistema Cutzamala.	14
2.2. - Características generales del Túnel Analco -San José.	18
2.2.1.- Generalidades del proceso constructivo del Túnel Analco - San José.	19
2.2.1.1.- Datos básicos de construcción de la obra.	19
2.2.1.2.- Características geológicas de los tramos.	19
2.2.1.3.- Obras necesarias para el inicio de actividades.	19
2.2.4.- Ciclo de excavación por el método convencional	21
2.3. - Estructuras que conforman la Bifurcación.	23
CAPITULO 3.- PROCESO CONSTRUCTIVO DEL RAMAL SUR DEL MACROCIRCUITO DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE PARA EL DISTRITO FEDERAL.	25
3.1.- Estudios y trabajos que se realizaron para proyectar el túnel No 5 y seleccionar el equipo que se utilizó.	29
3.1.1.- Estudios topográficos.	30
3.1.2.- Estudios de características Geológicas - Geotecnicas de la Zona.	31
3.1.3.- Geotecnia aplicada a la selección del equipo.	34
3.2.- Generalidades de las características de los soportes en los contactos geológicos y fracturamiento.	35
3.3.- Generalidades de las características y funcionamiento de la máquina túnelera "Topo".	36
3.3.1.- Conceptos básicos de obra para el topo con doble escudo.	37
3.3.2.- Instalaciones dentro del túnel para la máquina tunelera.	40
3.3.3.- Instalaciones exteriores.	40
3.3.4.- Alternativas de construcción mediante el método convencional.	42
3.4.- Generalidades del Proceso Constructivo de las Lumbreras No 5 y 2-A.	42
3.4.1.- Localización de la Lumbrera No.5.	42
3.4.2.- Excavación de la Lumbrera No.5.	42
3.4.3.- Secuencia constructiva de la Lumbrera No.5.	43

3.4.4.- Construcción de la Lumbrera No.2-A.	44
3.5.- Generalidades del Proceso Constructivo de la Tercera Derivación.	46
3.6.- Generalidades del Proceso Constructivo de la Cuarta Derivación en el Cadenamiento 20+950 como acceso para la Máquina Túnelera "Topo".	46
3.6.1.- Plataforma de la Cuarta Derivación.	46
3.6.2.- Sistema constructivo para la plataforma de operaciones para la Cuarta Derivación.	47
3.6.3.- Dimensiones de la Cuarta Derivación.	47
3.6.4.- Longitud del túnel de la Cuarta Derivación.	47
3.6.5.- Geología del túnel de la Cuarta Derivación.	47
3.6.6.- Excavación para la apertura del portal de la Cuarta Derivación.	47
3.7.- Generalidades del Proceso Constructivo de la Derivación 3-A.	49
3.7.1.- Procedimiento de excavación del tajo de la Derivación 3-A.	49
3.7.2.- Método constructivo en la unidades geotécnicas.	49
3.8.- Generalidades de las especificaciones de los materiales utilizados en el Ramal Sur.	50
3.8.1.- Especificaciones para la elaboración del concreto.	50
3.8.2.- Especificaciones del equipo para mezclado y aplicación del concreto lanzado en las paredes del túnel como revestimiento final.	53
3.8.3.- Especificaciones para la inyección de contacto en los vacíos del revestimiento.	55

CAPITULO 4. - PROCESO CONSTRUCTIVO DEL RAMAL NORTE DEL MACROCIRCUITO DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE PARA EL DISTRITO FEDERAL.

4.1. - Características generales del Ramal Norte del Macrocircuito.	57
4.2. - Generalidades de Operación de los elementos en las cuatro etapas.	59
4.2.1.- Primera etapa. D os Ríos, Huixquilucan - Tanque Emiliano Zapata.	59
4.2.2.- Segunda etapa. Tanque Emiliano Zapata, Atizapan de Zaragoza -Planta Barrientos.	59
4.2.3.- Tercera etapa, Tamo Barrientos - Coacalco.	60
4.2.4.- Cuarta etapa. Tramo Coacalco - Cerro Gordo.	61
4.3.- Generalidades de los estudios que se realizaron en el Ramal Norte.	62
4.3.1.- Estudio Geotécnico.	63
4.3.2.- Geología.	63
4.3.3.- Método de exploración.	64
4.3.4.- Tipo de muestreo.	64
4.3.5.- Ensayes de laboratorio.	64
4.3.6.- Elaboración de perfiles estratigraficos.	65
4.3.7.- Estudio de agresividad.	65
4.3.8.- Capacidad de Carga.	65
4.4.- Generalidades del Proceso Constructivo del Ramal Norte.	66
4.4.1.- Cruzamientos.	66
4.4.2.- Características de algunos cruces.	67
4.4.3.- Recomendaciones para la construcción de los cruces.	67
4.4.4.- Excavaciones.	67
4.4.5.- Tendido de tubería	68
4.4.6.- Relleno de Zanjas.	68
4.4.7.- Proceso para la construcción de zanjas.	68
4.4.8.- Bancos de materiales.	69
4.4.9.- Datos del proyecto.	69
4.4.10.- Características de los tubos.	70
4.4.10.1.- Características generales del tubo COMECOP, usado en este proyecto.	70
4.4.10.2.- Características generales de la tubería de Concreto ICHSA (SP-12).	72
4.4.10.3.- Tuberías a presión de placas de acero soldadas.	74
4.4.10.4.- La Protección Anticorrosiva de Tubería de Acero Subterránea empleada en la Distribución de Agua Potable.	77
4.3.11.- Instalación del tubo.	79
4.3.12.- Puesta en obra de los tubos.	82
Conclusiones.	97
Bibliografía general.	99

INTRODUCCIÓN.

Como se sabe el agua es un elemento importante en la vida y esta limitada en el mundo para su consumo, lo vemos como un problema muy grande la distribución a las comunidades que están muy necesitadas de este elemento. Por lo cual en este trabajo de tesis se describirán los pasos que se han llevado a cabo para poder dar solución a este problema.

Este trabajo se desarrollará en cuatro capítulos, dentro de los cuales en el primero se tratarán los antecedentes más importantes para transportar agua, desde la época prehispánica hasta nuestros días, otro punto importante que se toca son las características físicas y urbanas y cambios que ha sufrido la cuenca del Valle de México, viendo el punto del hundimiento de la Ciudad de México, que como sabemos es una consecuencia de la exagerada extracción de agua de los acuíferos y la inútil aportación que podemos hacer para reponerla, ya que las propuestas que se mencionan aquí como son la captación de agua de lluvia y infiltración, no resuelven este problema, ya que no hay sitios que se usen para filtrar agua, ya que casi toda el área del Valle está cubierta de concreto, por lo cual se tiene que llegar a proponer el suministro de agua de otras cuencas, para cubrir la gran demanda que se presenta día con día en el Distrito Federal.

En el capítulo dos se tratará las características de la bifurcación como punto de partida de los dos ramales Sur y Norte, que le dan forma al Macrocircuito, así como también se describe en forma general el Sistema Cutzamala como abastecedor de los ramales, con $19 \text{ m}^3/\text{s}$ proveniente de siete presas de almacenamiento, se menciona que el punto donde se ubica la bifurcación es en el túnel Analco -San José, se describirá en forma general el proceso constructivo que se siguió para la realización de este túnel y al final del capítulo se mencionarán las estructuras por las que está formada la bifurcación.

En el capítulo 3, se tratará el proceso constructivo del Ramal Sur, que transporta agua a la población del Sur y Oriente del Área Metropolitana, esta parte de la Zona del Cantil y se divide en cuatro etapas que se describirán oportunamente, así como sus elementos que son tanques y sifones a lo largo del ramal para tener una mejor distribución en toda la parte Sur del D.F., también se describirán en forma general los procesos constructivos de tres puntos importantes que son las derivaciones 3, 4 y 3-A, unidas por el Túnel No.5, ya que las condiciones geológicas de cada tramo no son las mismas, fueron diferentes los procedimientos constructivos, por lo cual en este capítulo se mencionaran diferentes métodos de excavación, como son el método de barrenación y de voladura, el de uso de la máquina tunelera topo, que se auxilia con las dovelas o marcos metálicos, que tendrán la función de soporte, y que esto lo definirán los estudios de geología, estratigrafía, pruebas de laboratorio y que se mencionarán como parte del proceso constructivo.

En el capítulo 4, se tratará el proceso constructivo del Ramal Norte, que surte a Municipios del Norponiente de la Ciudad de México y su proceso se divide en cuatro etapas, que cuenta con 17 tanques de almacenamiento y que distribuyen a gravedad a través de los ramales de tuberías, como parte del proceso se trata las características de los tubos COMECOP, ICHSA y algunos de los tubos de acero, que se usaron en algunos tramos, como barrancas, se explicaran algunos de los estudios y métodos de exploración que se desarrollaron, así como el proceso de instalación y

CAPITULO 1.

ANTECEDENTES DEL MACROCIRCUITO DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE.

EL AGUA.

Es un elemento importante de la naturaleza; indispensable en procesos de la vida y conforma el hábitat tanto de microorganismos como de grandes comunidades acuáticas. Los seres humanos estamos constituidos por un 70% a 85% de agua, la utilizamos además para generar energía mediante plantas hidroeléctricas, usos en la industria, en la agricultura y para uso doméstico.

1.1. - ÉPOCA PREHISPÁNICA.

La historia de las grandes culturas, se inicia y desarrolla cerca de ríos, lagos, lagunas y mares, ya que el agua es un elemento indispensable en la supervivencia, como se sabe, la agricultura intensiva constituyó la base de la economía fundamental de las culturas mesoamericanas y para tener éxito en sus cultivos, aprovecharon las fuentes cercanas de aprovisionamiento de agua, con este fin los agricultores construyeron ingeniosos canales de irrigación que conducían el vital líquido desde manantiales y ríos hasta parcelas donde crecían diversos cultivos, especialmente el maíz.

En la península Yucateca, los Mayas excavaban depósitos debajo de los pisos de sus casas, llamadas chultunes, que se impermeabilizaban para captar el agua de la lluvia. Los habitantes de Teotihuacán, 100-650 d. C, planearon y construyeron una red de ductos, se excavaba por debajo de calles y pisos de los conjuntos habitacionales, los canales eran de forma cuadrangular hechos con lozas de piedra, cuyas juntas se sellaban con estuco; y el sistema se tapaba con lozas.

Se aseguraban que el agua de lluvia corriera por la red sin basura e impurezas, recolectándola en depósitos, de donde la extraían según sus necesidades. Algunos de los sistemas hidráulicos más sofisticados que conocemos se deben al ingenio de Netzahualcoyotl, Tlatoani Acolhua que gobernó en Texcoco en el siglo XV de nuestra era, fue uno de los grandes hacedores de la época prehispánica, hizo construir, con abundante mano de obra indígena, los "Jardines de Texcotzingo".

El agua para irrigarlos se obtenía de manantiales de las montañas al oriente de esta localidad, cercana a la ciudad de Texcoco; el líquido se conducía por canales, por gravedad, hasta antes de Texcotzingo. Un problema del sistema fue una profunda cañada que corría de norte a sur; Netzahualcoyotl, ordenó tapar la hondonada con toneladas de tierra y piedra, uniendo 2 cerros, formando un acueducto de carácter indígena.

Ya en el Texcotzingo el agua se distribuía mediante canales excavados en la roca, llevándola a depósitos que llevan el nombre de los baños del rey y de la reina, las escalinatas excavadas en la roca se transformaban en cascadas cuando se requería y el cerro de Texcotzingo se convirtió, por la acción del hombre, en el sitio sagrado, lugar deleitoso donde residía Tláloc, el señor de la lluvia.

Los mexicas condujeron el agua potable que requerían mediante un acueducto de argamasa, desde los manantiales del cerro de Chapultepec, hasta el centro de su ciudad - isla, México - Tenochtitlan. Primero represaron el agua mediante depósitos que los españoles llamaron albercas; la conducción del líquido se llevaba por el efecto de la gravedad de la tierra, a través del acueducto que corría por el borde de la laguna, siguiendo la dirección del actual circuito interior, que más tarde se conocería como Calzada de la Verónica y ahora avenida Melchor Ocampo.

Al topar con la calzada indígena de Tlacopan o Tacuba el caudal se integraba a esta vía de comunicación, corriendo por el centro de la misma, hasta la ciudad. El acueducto que traía el agua potable de Chapultepec tenía doble canal, lo cual permitía que uno de ellos funcionara, mientras el

otro se aseaba para evitar enfermedades y epidemias. El doctor Ignacio Alcocer, autor de los Apuntes sobre la Antigua México - Tenochtitlan, conoció los restos del acueducto, e indica que cada ducto, en su masa constructiva de argamasa, media 1.60 m de base por 1.60 m de altura.

El aprovisionamiento de agua potable requería un control a cargo de funcionarios especializados, quienes en tiempos de ataque o durante la noche, cerraban las compuertas de las albercas, el abastecimiento de acueductos que conducían aguas de manantiales, como el de Chapultepec (1465) y el de Coyoacan. En épocas prehispánicas, en la colonia y parte de la vida independiente, el agua necesaria para él desarrolló primero de la gran Tenochtitlán y después de la ciudad de México fue aportada por su cuenca, con fuentes superficiales, como manantiales de Chapultepec, Xochimilco y Nativitas, que cumplían la demanda de la población.

Como los primeros asentamientos indígenas, fueron en islotes y riberas de lagos, el predominio de los aztecas, habitantes de la Ciudad de Aztlan, Tenochtitlán se extendió hacia superficies que ganaban agua, el aumento en los niveles de los lagos ocasionó daños, e inicio una lucha de los habitantes del Valle con el agua, aun sin tormentas, bastaba que en varios años hubieran veranos lluviosos, para que el nivel de los lagos se elevara peligrosamente, ya que no había desagües, ante el problema se hizo bordos y diques de contención, en el año 1450 Netzahualcóyotl rey de Texcoco, por encargo del rey azteca Moctezuma dirigió la construcción del Albarradón (figura 1.1) de 12 km de longitud y 4 m de ancho para proteger a Tenochtitlán del azote de inundaciones.

El dique dividió el lago de Texcoco y a la parte occidental la nombraron Laguna de México, que redujo la salinidad del agua que rodeaba a la ciudad y benefició a los cultivos, Tenochtitlán era una ciudad lacustre, sus habitantes aceptaban las circunstancias naturales, y pensaron en contener las aguas sin crear un sistema para desalojarlas del Valle, Moctezuma ordenó a Netzahualcoyotl, reconstruir el Acueducto de Chapultepec (figura 1.2) para traer agua para beber y para las chinampas productoras del sustento en 1466, otras obras fueron, el Acueducto de San Agustín de la Cueva a Huitzilopochco, desde Azcapotzalco hasta Tlatelolco y el de Huitzilopochco a Tenochtitlán, llevaba agua de la fuente Acuecuéxtla, en territorios de Coyohuacan y Huitzilopochco

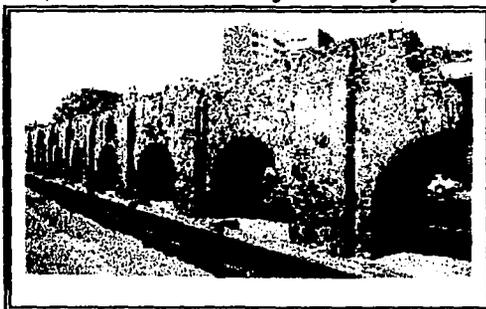


Figura 1.1.- Albarradón de Netzahualcoyotl(Referencia 3) Figura 1.2.- Acueducto Chapultepec (Referencia 3).

1.2. - HISTORIA DE LOS PRIMEROS MÉTODOS PARA EL TRANSPORTE DE AGUA POTABLE EN EL VALLE DE MÉXICO.

Después de construir el Acueducto de Chapultepec, le siguieron otras obras como:

- El Acueducto de Azcapotzalco - Tlatelolco se construyó en 1553, para llevar aguas de los manantiales de Xancopinca.
- En 1575 y 1582 se hizo el Acueducto Belén, llevando agua de Chapultepec, por la calzada de San Pablo hasta la pila del Salto del Agua.

- A inicios del siglo XVIII se construyó el Acueducto de la Verónica, por la avenida Melchor Ocampo hasta la pila de la Tlaxpana en la Calzada México - Tacuba, para descender hasta la pila de la Mariscal, frente a lo que es Bellas Artes, a la mitad del siglo se hizo el Acueducto Guadalupe, que abastecía la Zona de Tepeyac, al Norte de la Ciudad y a fines del siglo se uso manantiales del Desierto de los Leones, con ayuda de acueductos como el de Chapultepec y la Verónica.
- En México hay una tradición tunelera, la minería desde de la Colonia y la agreste topografía obliga a excavar túneles para obras civiles, el primer túnel hecho en el país, fue uno de 6,600 km, para sacar del Valle de México aguas del Río Cuautitlán; lo construyo Enrico Martínez en 9.5 meses, meses después se colapsó al no proteger las zonas débiles con un revestimiento, por falta de recursos económicos, y años más tarde se decidió hacer el tajo de Nochistongo, la construcción duró 152 años, interrumpida varias veces por problemas políticos y económicos.
- En 1847, para mejor distribución de agua se hicieron pilas y pozos a cielo abierto, por lo que a finales del siglo XIX ya habían más de mil pozos perforados en México.
- Al crecer la población en 1899, el Ingeniero Manuel Marroquí, estudió nuevas fuentes de abastecimiento y en 1901 presento un proyecto para emplear manantiales de Xochimilco.
- Entre 1905 y 1908 se hizo el Acueducto Xochimilco, captó 2100 lts/seg de agua de manantiales como La Noria, Nativitas, Santa Cruz y San Luis, con 2 bombas eléctricas en cada uno, y se bombeaba por un acueducto de 26 Km hasta la Condesa, con 4 bombas centrifugas de 850 lts, a 4 tanques de regulación y distribución del Molino del Rey, con capacidad de 50000 lts³ cada uno y en 1912 se suspendió la explotación de los manantiales.
- En 1917 se construyeron obras adicionales de captación, conducción y bombeo del Acueducto Xochimilco, así como de otros sistemas y pozos de la red.
- En 1941, se inicio la construcción del Acueducto y túnel Atarascuillo- Dos Rios de 15 km, para conducir agua captada, por pozos de la cuenca del Río Lerma, atravesando la Sierra de las Cruces, que divide las cuencas del Lerma y Valle de México.
- En 1950, la dotación se aceptaba, con más población y pozos, en 1951 crean la Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México, en 1970 había 8.5 millones de habitantes y se inicia la 2a etapa de obras del Lerma y Chiconautla, a base de pozos.
- A inicios de 1972, no solo se tenia que abastecer al D,F, sino también municipios conurbados, como Huixquilucan, Naucalpan, Atizapán, Cuautitlan - Izcalli, Tultitlán, Coacalco, Ecatepec, Ciudad Netzahualcoyotl, Los Reyes La Paz y Chimalguacan, y se dispuso conducir agua de otras cuencas al Valle de México, aprovechando acuíferos en zonas alejadas al área urbana donde el subsuelo basáltico soporte extracciones sin provocar hundimientos.
- Al iniciar el siglo XX, empezó la extracción de aguas subterráneas del acuífero de la cuenca del Valle de México, mostrando abatimiento de sus niveles piezométricos, con hundimientos diferenciales, desde los 0 hasta los 30 cm, afectando infraestructura urbana.

Como ejemplos de estas obras tenemos que los acueductos hechos, servían para abastecer a cultivos de Xochimilco, como el arroyo Otolum que abastecía a la población de la ciudad, muchos de estos arroyos ya no existen, ya que se han dejado secar y solo se conservan los arroyos secos.

La cuenca se limita al norte por las cuencas del río Tula y de la Laguna de Meztitlán, al este por la del río Tecolutla, y oeste por la del río Lerma, al sureste la de los ríos Atoyac y Mixteco y Sur por la del Río Amacuzac. Como se ve en la figura 1.3 en el interior de la cuenca se ubican los estados de México (48.08% del área total de la cuenca), Hidalgo (26.46%), Tlaxcala (8.75%) y Puebla (1.04%), y D,F (15.67%). Las altitudes mínimas están al noroeste de la cuenca (2000 m,s,n,m), y la máxima (4000 m,s,n,m) en la cima del Ajusco. Las características climatológicas de la región son de zona templada subhúmeda, su temperatura media anual va entre 12 y 15 °C. La precipitación media anual es de 90 mm y se presenta en período lluvioso de mayo a octubre. El Distrito Federal tiene una extensión de 1.504.5 km² (0.1% del territorio Nacional y un área urbana de 667.8 km²).

1.3.2.- Evolución geológica de la Cuenca del Valle de México.

La actividad volcánica que formó la cuenca del valle de México esta determinada por la del Eje Neovolcánica y el volcanismo para esta zona se ha dividido en general en siete etapas.

Primera y Segunda etapa: Están relacionadas con la formación de la Sierra Madre Occidental durante el Oligoceno (36.6 a 23.7 m.a), con una serie de lavas de composición intermedia y ácida con ignimbritas, tobas y depósitos fluviales, la serie está fracturada en forma de fosas y pilares.

Tercera etapa: Tuvo lugar en el Oligoceno Superior (30 a 23.7 m.a), Mioceno (23.7 a 5.3 m.a), en ella se forma la base de las sierras mayores Púlpito del Diablo, Mirador y Sierra de Xochitepec, y las elevaciones andesíticas del Peñón de los Baños, Cerro del Tigre, islotes de Cuauhtepac, Cerro de Chapultepec, además se inicia a formar el Eje Neovolcánico y se edificaron los domos y volcanes que son la base de la Sierra Chichinautzin.

Cuarta etapa: Se desarrolló en el Mioceno (23.7 a 5.3 m.a), formando la Sierra de Guadalupe, con lavas intermedias y ácidas, así como las Sierras menores, de Tepotzotlán, de las Pitahallas, El Petlachinque y el Tepozán. Estas rocas presentan menos tectonismo y los aparatos volcánicos aún conservan sus formas cónicas, aunque erosionadas, también se formaron los grandes domos dacíticos, como son el Cerro Tenango y Chiquihuite al Sur de la Sierra de Guadalupe.

Quinta etapa: En el Mioceno superior-Plioceno 1.2 a 5.3 m.a, se formaron las sierras mayores de las cruces, de Río Frío y Nevada fijando los límites poniente y oriente de la cuenca, las sierras fueron producto de efusiones andesíticas y dacíticas, emitidas a través de estratos de volcanes en el Plioceno (5.3 a 1.6 m.a.) y perduro su actividad hasta el Pleistoceno (0.01 m.a).

Sexta y Séptima etapa: Son continuación del volcanismo del Terciario Superior (23.7 a 1.6 m.a), a ellos corresponden andesitas basálticas de los Cerros de Chimalhuacan, la Estrella, Los pinos y del Peñón del Marqués en el Sur de la cuenca y al norte, de los cerros de Chiconautla, Gordo y las erupciones basálticas y andesíticas entre Tizayuca y Apan Hidalgo. La séptima fase fue en el Terciario superior y el Cuaternario, de composición basáltica y andesítica- basáltica, construyendo la Sierra del Chichinautzin en el Cuaternario superior (0.01 m.a), sobre la Sierra Nevada se formaron conos y domos del Iztaccihuatl y la parte superior del cono del Popocatepetl.

1.4.- HUNDIMIENTO DE LA CIUDAD DE MÉXICO Y SITUACIÓN ACTUAL.

1.4.1.- El hundimiento de la Ciudad.

Un grave problema que se registra en la Ciudad de México, es el hundimiento regional, por extracción del agua del subsuelo para satisfacer las necesidades de la población, provocando la consolidación acelerada de los mantos arcillosos de la zona de los lagos de Texcoco, Xochimilco y Chalco, desde 1891 ha habido nivelaciones sin periodicidad constante en la zona céntrica de la ciudad, desde 1952 las mediciones en la Ciudad son constantes y abarca un área cada vez mayor.

De los 3 lagos de la zona lacustre de la Ciudad de México, la zona del lago de Texcoco es la que tiene mayor información de su comportamiento a través de los años, el interés de conocer el comportamiento del hundimiento regional es para obras de gran longitud, como túneles de agua potable, drenaje, etc, en que hay que conocer el asentamiento diferencial regional para efectuar el diseño hidráulico, estructural y funcional de las estructuras. Desde el inicio del siglo hasta 1936, el hundimiento de la Ciudad de México fue de 5 cm al año, al crecer la demanda de agua, se perforo pozos profundos, entre 1938 y 1948, y el hundimiento subió a 18 cm y luego a 30 y 50 cm anuales.

La extracción de agua de acuíferos de los Valles de México y Lerma mostraron abatimiento en sus niveles piezométricos, iniciando hundimientos en la zona lacustre de la Ciudad de México por consolidación del suelo, y los hundimientos diferenciales van de 0 a 30 cm anuales. La Secretaría de Recursos Hidráulicos a través del Departamento del Distrito Federal (D,D,F), y la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH), realizaron nivelaciones constantes desde julio de 1952 a noviembre de 1983 en la mancha urbana de la Ciudad de México y se estudio 38 sitios de interés, calculando los hundimientos apartir de varias nivelaciones, calculando la velocidad de hundimiento, los resultados se graficaron en función del tiempo y se detecto cinco zonas en la mancha urbana de la Ciudad de México, según las velocidades de hundimiento.

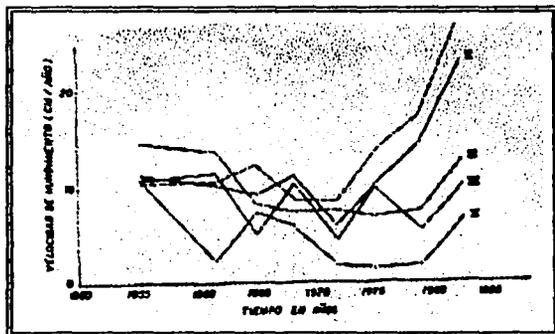


Figura 1.4.- Gráfica de velocidad - tiempo (Referencia 1).

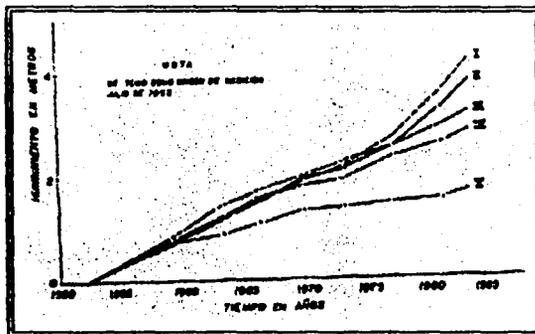


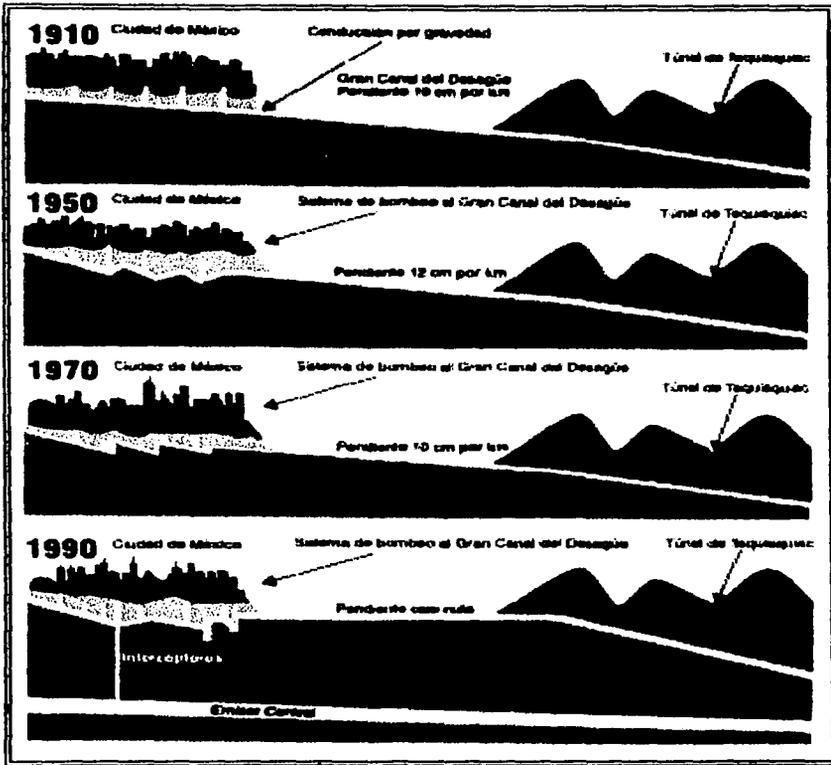
Figura 1.5.- Gráfica de hundimiento - tiempo (Referencia 1).

En la gráfica velocidad de hundimiento a través de los años (figura 1.4) se ven unos resultados:

- En las zonas III, IV y V se tenía tendencia a disminuir, o controlar la velocidad de hundimiento hasta fines de la década de los setenta, y se ha incrementado la velocidad de hundimiento.
- En las zonas I y II se nota que la velocidad de hundimiento es muy alta, con valores entre 27.5 y 23.0 cm/año, incrementando cargas en superficie debido a construcciones.
- Las zonas III y IV representan velocidades de hundimientos de 12.5 y 10.5 cm/año.
- La velocidad de hundimiento en la zona V es de 6.5 cm/año; aunque en esta zona, ya se habían tenido velocidades de 2 cm/año hasta 1980.

En la gráfica de hundimiento contra tiempo (figura 1.5) se ve un incremento del hundimiento en la ciudad de México y sólo en la zona V (al poniente) se tuvo durante 20 años un control de este, el hundimiento en zonas I y II (al oriente) es el máximo en la última década.

En la figura 1.6 se ve que como consecuencia del hundimiento de la ciudad, el drenaje proyectado para trabajar por gravedad requirió de bombeo para elevar las aguas hasta el nivel del Gran Canal, con un incremento en los costos de operación y mantenimiento. En la figura se muestra que la pendiente con la que se diseñó el sistema de 19 cm por km, se redujo a 7 cm por km en 40 años, luego 2 cm por km durante 20 años, y en 1990 la pendiente era casi nula, el nivel del lago de Texcoco que en 1910 estaba 1.90 m por debajo del centro de la ciudad, se hallaba 5.50 m más arriba y se requería un sistema que no lo afectara los asentamientos del terreno y se construyó el Interceptor y Emisor del Poniente, para recibir aguas del oeste de la cuenca, descargándolas a través del tajo de Nochistongo.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura 1.6.- Imagen del hundimiento de la Ciudad de México. (Referencia 3).

1.4.2.- Situación actual.

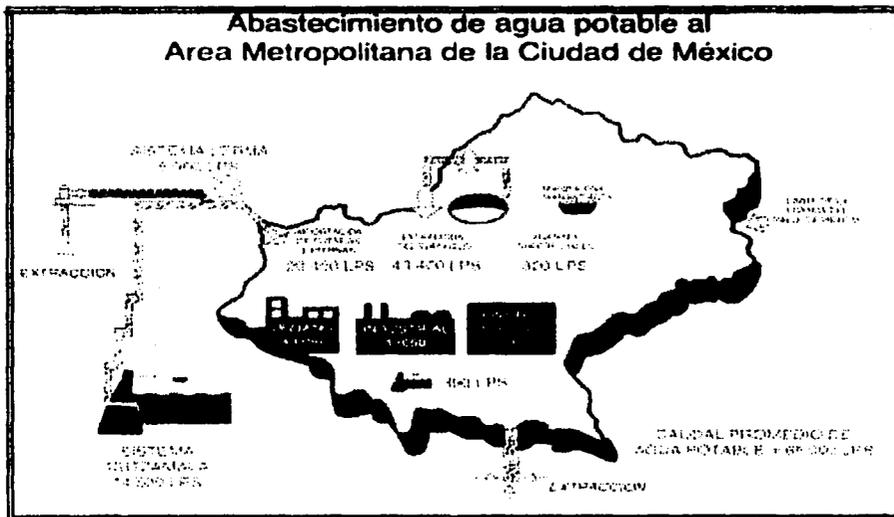
El agua, tiene valor por la relación con procesos vitales y desarrollo de actividades humanas, su uso es condición para superar desafíos del presente y preservar posibilidades del futuro, México conoce la problemática para acceso y defensa contra el vital elemento, la historia da testimonio del esfuerzo creador, para enfrentar retos de la geografía difícil para la actividad del hombre, quien ha trabajado para conseguir el agua que le permita atender sus necesidades.

La Comisión Nacional del Agua (CNA) de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), administra las aguas de la Nación, de acuerdo con las facultades que le da la Ley de Aguas Nacionales, reglamentaria del Artículo 27 de la Constitución Mexicana.

Los ordenamientos jurídicos en la política hidráulica son: La Ley de Contribución de Mejoras por Obras Públicas Federales de Infraestructura Hidráulica, regulando recuperación de inversiones públicas en obras hidráulicas federales determinando la contribución que cubren las personas beneficiadas por el uso, aprovechamiento o explotación de éstas y la Ley Federal de Derechos en materia de agua, establece las cuotas que el usuario cubrirá por la explotación, y aprovechamiento de aguas nacionales superficiales, del subsuelo, y de bienes nacionales que la CNA administra.

En la megalópolis, el abastecimiento, distribución de agua para consumo urbano e industrial, el desalojo de aguas pluviales y tratamiento de aguas residuales, configuraron desafíos para la política hidráulica y la acción concertada de instituciones y la sociedad. La ciudad se expande, la

población, crece y demanda mayor volumen del recurso, el abastecimiento de agua potable es una prioridad de la actualidad, para atender nuevas demandas y reducir la sobre - explotación del acuífero del Valle de México. La CNA a través de la Gerencia Regional de Aguas del Valle de México, suministra agua potable en bloque y coordina el manejo del drenaje. La Secretaría de Salud controla la calidad del agua; y el D,D,F, suministra y la distribuye, así como el desalojo de aguas residuales y pluviales de la ciudad.



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Figura 1.7.- Croquis que muestra el abastecimiento de agua potable al área metropolitana de la ciudad de México. (Referencia 2)

El Gobierno del Estado de México a través de la Comisión Estatal de Agua y Saneamiento (CEAS), estudia y proyecta obras de agua potable y alcantarillado; para regular y conducir hasta los lugares de consumo el agua que recibe de la Federación, entregándolo para su distribución a Organismos Operadores Municipales, que amplían, conservan, operan y administran los servicios.

La figura 1.7 muestra que la problemática se analiza con un enfoque integral y ámbito regional que comprende el D,F y Municipios conurbados del Estado de México, donde hay 73% de la población, en 1997, para el Área Metropolitana de la Ciudad de México, hay para abastecer de agua potable 65000 lt/seg, 43000 lt/seg, provienen del subsuelo del Valle de México y 14500 lt/seg del Sistema Cutzamala dan parte del suministro a Toluca, 5900 lt/seg del Sistema Lerma y 1200 lt/seg aprovecha la Presa Madín y manantiales del Valle.

Del abastecimiento, la Gerencia Regional de Aguas del Valle de México, aporta al área Metropolitana 23300 lt/seg (35%) con la operación en manantiales de 7 acueductos de más de 200 km de longitud en el Valle, que se forman de 213 pozos profundos, 5 plantas de rebombeo, la presa y planta potabilizadora Madín y el Sistema Cutzamala.

A continuación se describirá algunos de los problemas que se presentan en el manejo del agua en la Ciudad de México, para cubrir la demanda de una población creciente.

Escasez: Este problema es un factor que limita los desarrollos urbanos, la Ciudad de México presenta problemas para abastecer agua potable (con retos técnicos aumentados por la escasez del recurso). Las fuentes de aguas casi están agotadas y su calidad deteriorada, por la explotación de acuíferos, por lo que se busca explotar fuentes más lejanas para satisfacer a la población.

Abastecimiento: Al inicio de 1950, la población aumentó y en 1960 la mitad tenía agua potable, a fin de 1970, 2/3 partes solo tenían agua en su hogar y los demás solo tenían de llaves de agua colectiva, hidrantes públicos y camiones tanques, el mexicano consume 320 litros de agua por día, con 100 millones de habitantes, 15 millones en la Ciudad de México, serán necesarios 55,000 lts y no 35,000 lts/seg, insuficientes para satisfacer la demanda.

Sobreexplotación: Se extrae agua más rápidamente de lo que se recargan las reservas, los mantos freáticos son capas de roca porosa, saturada de agua de lluvia. En unas regiones, el sobreexplotar da la necesidad de hacer uso del agua naturalmente contaminada ya que, a grandes profundidades, el agua tiene elementos tóxicos como el arsénico, que genera problemas de salud.

Valorización real del recurso agua: La población, lo ve como recurso "subpreciado" a un precio por debajo de lo que le corresponde, como el uso doméstico del agua cuesta muy poco no se reparan fugas, se utiliza gran cantidad para lavar banquetas, calles, regar campos de golf, ciudades no ofrecen incentivos que eviten su desperdicio, unas unidades residenciales carecen de medidor de consumo y se deben reestructurar tarifas del agua para reflejar el costo del suministro.

1. 5. -ESTRUCTURA DEL PLAN MAESTRO PROPUESTO.

El D,F tiene aumento de población y demanda de servicios, para 1997 se calculan 8,573,700 habitantes y para 2010 un ascenso a 9,206,100 personas. Suministrar agua potable al D,F es complicado y costoso por gran distribución de pobladores en el territorio, el disponer del agua y el como entregarla, rezagaron la oferta con relación a la demanda, y el sobreexplotar mantos acuíferos provocó hundimiento del terreno, y afecto edificaciones, sistemas de drenaje, vialidades y vías de comunicación.

El objetivo del Plan Maestro es normar y establecer necesidades de consumo para mejorar el servicio que se da a usuarios, mediante políticas adecuadas de operación, con obras necesarias, jerarquizada según su importancia y lograr el manejo integral de agua potable, considerando la reducción de la sobre- explotación del acuífero y deterioro de la calidad del agua subterránea.

1.5.1.- Estructura del Plan Maestro de Agua Potable.

El Plan Maestro se integra, con estudios clasificados en 3 grupos principales atendiendo la forma como se relacionan dentro del sistema de abastecimiento:

- a) Estudios básicos.
- b) Estudios para el análisis del funcionamiento y mejoramiento del sistema .
- c) Oferta de agua potable en fuentes externas, fuentes internas, y perdidas por fugas.
- d) Demanda de agua potable.
- e) Acuífero de la Ciudad de México.
- f) Balance de agua subterránea.
- g) Tratamiento de agua residual.
- h) Distribución del agua en la red de tuberías entre tanques y la red primaria de distribución.
- i) Balance de oferta - demanda
- j) Lineamientos, objetivos y estrategias.
- k) Programa de acciones y estrategias para recuperación de agua.
Programa de Rehusó de Agua Residual Tratada.
Programa de Recarga de Acuíferos.
Programa de aprovechamiento responsable del agua.
Programa de ampliación y mejoramiento de la infraestructura.
Programa de suspensión de Pozos y mejoramiento de la operación y del servicio.

Los resultados en acciones para mejorar el servicio del usuario son la reducción de gastos de fugas en tomas domiciliarias y en la red de distribución, los usos eficientes del agua y el mejoramiento en la distribución del agua. Y se tienen acciones para mejorar las condiciones del acuífero, aumentando la recarga con agua renovada y suspendiendo operación de pozos.

1.6.- ESTUDIOS BASICOS DEL AGUA Y PROPUESTAS PARA MEJORAR EL SISTEMA Y EVITAR PÉRDIDAS DE ESTE ELEMENTO.

1.6.1.-Estudios básicos: Generan información de apoyo que tienen actualización de información sobre la infraestructura del sistema de abastecimiento de agua potable, tanques de regulación, plantas de bombeo y rebombeo, pozos de extracción, plantas de potabilización y tratamiento, estaciones de medición, redes de distribución, etc, y determina la demanda actual y futura, así como el suministro de agua desde fuentes externas e internas al D,F, y describe la evolución del nivel piezométrico y calidad con base en políticas operativas de extracción del agua en el acuífero. Es importante rehusar agua tratada, se proponen procesos para disponerla con calidad buena en recarga artificial del acuífero, se estima la magnitud de caudales de agua potable que se liberarán en el uso, urbano- industrial al emplear agua residual tratada para cumplir con la demanda.

1.6.2.- Estudios para el análisis del funcionamiento y el mejoramiento del sistema: Tiene las tareas que dan limitaciones y defectos del abastecimiento de agua potable al D,F, cuantifica el caudal perdido por fugas en la distribución y balances de hidrología superficial y subterránea, además proponen mejoras para aumentar la eficiencia y mayor cobertura del sistema, comprenden cálculo de presiones y gastos en la red primaria de tuberías, la variación del nivel de agua en los tanques del sistema de regulación y el análisis de flujo en las tuberías que los unen, los cambios en la red de tuberías se revisan con el modelo de simulación del flujo de la red primaria de agua.

1.6.3.- Propuestas para mejorar el sistema y evitar perdidas de este elemento: Para mejor eficiencia en el suministro, se busca operar mejor las redes y reducir consumo de energía en instalaciones, automatizando el funcionamiento de 128 pozos, 54 rebombeos y 50 tanques, se espera rehabilitar componentes del sistema hidráulico y automatización de instalaciones, que junto con modelos matemáticos de simulación, optimicen la operación del sistema, para reducir perdida de agua en la red de distribución, se desarrollo un programa para detectar y reparar fugas, como 4000 en el D,F y 1800 en el Estado de México. Con el problema de manejar agua en la Ciudad, se reestructurara tarifas del agua para reflejar el costo del suministro, eficientar su uso con recursos económicos para conservar cuencas de captación y llevar a cabo programas de educación sobre la cultura del agua y hay 3 alternativas que se proponen para ahorrar agua en viviendas, ya que es el principal consumidor con 70% del gasto total, la industria con 16% y los servicios con 14%.

Inodoros y lavamanos: Se puede ahorrar agua si se utiliza agua jabonosa del lavadero y del lavabo en el WC, usando sanitarios de baja descarga, (6 ò 10 lts). En la propuesta el inodoro obra con agua jabonosa de lavamanos y de la red por una llave de paso, un tubo transparente marca el nivel interior del tanque y con un rebosadero se dará salida a los excedentes de agua jabonosa.

Captación de agua de lluvia: Se necesita, cada día escasea más el agua de la red municipal y el costo por m³ aumenta. La intención es utilizar agua de lluvia y tomar menos cantidad de agua potable de la red municipal.

Reinfiltración fluvial: Se propone en conjuntos habitacionales, si es alto el costo de construir y operar drenajes para agua en un lugar lejano, el agua debe reinfiltrarse en un lugar de captación, en terrenos permeables, es ilógico trasladar el agua fuera de conjunto habitacional, se reinfiltra sin romper el ciclo de recarga acuífera y la debilidad de mantos acuíferos es mayor cada día, por aumento urbano y pavimento, habiendo menos zonas de recarga que alarga la superficie de suelo dando áreas de tensión, agrietamiento y derrumbes.

1.7.- FUENTES INTERNAS Y EXTERNAS.

1.7.1.- Fuentes de abastecimiento: En la naturaleza podemos encontrar 4 tipos de fuentes:

Agua superficial: Se origina por precipitación media anual equivalente a 780 mm, que proviene de 1.53 billones de m³, y el escurrimiento medio anual es de 410 000 Mm³, por lo que:

Escurrimiento fluvial = disponibilidad potencial renovable= escurrimiento superficial + flujo base = Volumen medio anual de 410 000 millones de m³.

Almacenamiento en lagos naturales es de 14 000 millones de m³.

En vasos en operación y construcción es de 124.7 000 millones de m³

Evaporación en vasos es de 9.3 000 millones de m³.

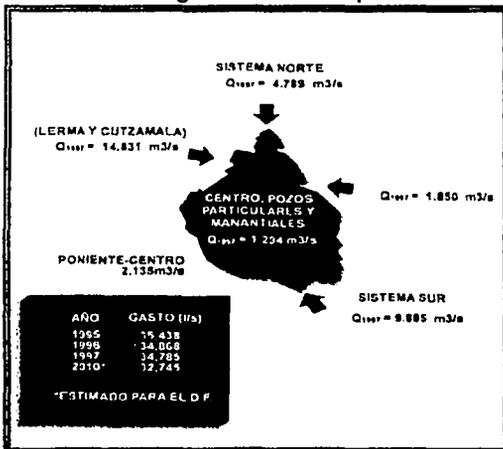
La Región Lerma tiene una precipitación de 731 Mm³ y en el Valle de México 730 Mm³, el escurrimiento en la Región Lerma es de 6445 Mm³ y en el Valle de México de 1853 Mm³.

Agua Subterránea: Tiene interrelación con el agua superficial, al explotar acuíferos, reduce el flujo base de un río, la descarga de manantiales y la intercepción del escurrimiento con obras artificiales reduce la recarga de los acuíferos. En la Región del Lerma se extraen al año 2587 Mm³, en el Valle de México 2840 Mm³, el agua se explota en más de 30 acuíferos, que provocan hundimientos, como el de la Ciudad de México, 53.6% del abastecimiento de agua potable es subterránea (18,659 m³/s en 1997) para determinar el estado actual de agua en el subsuelo en el balance geohidrológico se consideran entradas y salidas de agua, y el cambio de almacenamiento.

Agua Atmosférica: Se presenta en la Ciudad de México, y es de 1530000 miles de Mm³.

Agua Salada: Se presenta en mares y ríos de nuestro país y en el mundo es 71% de la superficie del planeta, para mantener los caudales de suministro, se rehabilitó el equipo de pozos para aumentar la capacidad instalada de estos, para que en sus fallas de abastecimiento de las fuentes externas, resuelvan las deficiencias de suministro como fuente alterna de emergencia.

1.7.2.- Fuentes Internas: Son los manantiales, gasto de la planta potabilizadora Magdalena y la extracción de agua a través de pozos en el D,F en 4 sistemas que se muestran en la figura 1.8.



Sistema Norte: Abarca a Azcapotzalco, Gustavo A. Madero en D.F, Tlalnepantla y Ecatepec, en el Estado de México, con zonas geohidrológicas de recarga de la Sierra de Guadalupe, Texcoco y Centro en su porción Norte, la extracción en pozos de Azcapotzalco es agua de buena calidad, con potasio por el tipo de roca, y en Chiconautla hay sales minerales por exceso de potasio,

Sistema Sur: Abarca Tlalpan, Xochimilco, Tlahuac, Milpa Alta, Coyoacán e Iztapalapa, este recarga a Chiconautla y Sierras de Santa Catarina, Xochimilco, Chalco y Centro, hay varias calidades de agua en pozos como el de Xotepingo, Coyoacán, Ajusco, La Noria, Xochimilco Centro y Sur, Tulyehualco y Tecomiltl.

Figura 1.8- Muestra las fuentes internas integrada por los Sistemas Norte, Sur, Centro, Oriente y Poniente(Referencia 3).

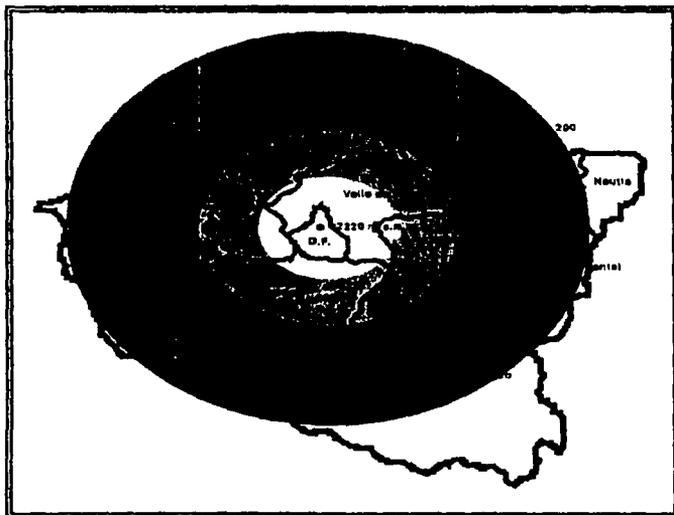
Sistema Poniente: Abarca Cuajimalpa, Magdalena Contreras, Miguel Hidalgo, Álvaro Obregón y al Oeste la Benito Juárez, que Geohidrológicamente ocupa la zona de recarga de las Sierras, aquí

los pozos son menos por estar en manantiales que dan 2% del agua al Sistema Hidráulico del D.F, la calidad es buena, y deficiente por circunstancias operativas temporales, y coliformes totales.

Sistema Centro: Abarca Cuahutemoc, Benito Juárez, Venustiano Carranza, Iztacalco, Iztapalapa, Coyoacán, y Álvaro Obregón. En la Cuahutemóc, operan 3 pozos Algarin, Antonio M, Anza, y Alameda de Santa María, la Ribera, de buena calidad, en Chapultepec, hay potasio. Benito Juárez tiene buena calidad con exceso de manganeso, los pozos de Iztacalco, presentan contaminantes por la barrera geológica, y en otros dan parámetros de origen orgánico. La calidad del agua de los Pedregales de Coyoacán es buena y en el Ajusco y Caracol es deficiente por carencia de drenaje.

Sistema Oriente: Abarca Venustiano Carranza, Iztacalco e Iztapalapa, influye en zonas geohidrológicas del Oriente, recibe recarga de Texcoco, Peñón de los Baños, Peñón del Marques, Cerro de la estrella y Sierra de Santa Catarina, es de calidad compleja, por factores geológicos, como el lago de Texcoco, con cloruro y potasio que repercuten en la conductividad eléctrica, alcalinidad, dureza y sólidos disueltos, la degradación de suelo por acumular lixiviados orgánicos eleva el nitrógeno amoniacal y proteico, y exceso de hierro da color y deteriora su calidad al agua.

1.7.3.- Fuentes Externas: Los Sistemas Barrientos, Chiconautla y Risco conducen el agua extraída por pozos localizados al norte del D, F, se estudió la importación futura de agua en bloque de las cuencas circundantes a la del Valle de México, Tula, Libres Oriental, Laguna de Meztlitlán, Atoyac y Mixteco, Tecolutla, Amacuzac, Nautla, San Juan.



Como se muestra en la figura 1.9 las cuencas están en un radio de 200 km respecto al centro del D.F, con factores limitantes a la exportación del agua tales como el caudal, la distancia a la ciudad, la elevación topográfica, la calidad del agua, la disponibilidad y afectaciones a terceros, se determino que las fuentes con condiciones favorables para su explotación, son las de los ríos Atoyac, Amacuzac y Tecolutla, como se ve en la figura.

Figura 1.9.- Imagen que muestra las probables fuentes externas al D.F, en círculos concéntricos con radios a cada 50 km (Referencia 3).

Cuenca del Río Balsas: Abarca 112320 km², en Tlaxcala, Puebla, Oaxaca, México, Michoacán, Guerrero, Jalisco, D.F, y Morelos. El Río nace en Sierras de Nevada, Río Frio San Nicolás y da origen al Río Atoyac y en la Sierra Madre el Río Mixteco, recibe corrientes de Amacuzac, Nexapa, Tepecoacuilco, Cocula, Cutzamala, Tacámbaro y Tapaicatepec con precipitación de 950 mm y dispone de 27100 Mm³, 25 300 es escurrimiento superficial y 1800 subterráneo, sus presas son Infiernillo, Valle de Bravo, M Avila Camacho, Villa Victoria, Vicente Guerrero, y la Villita.

Cuenca del Río Amacuzac: Abarca Morelos, México, Guerrero, Puebla, y D.F, en un área de 8790 km² con precipitación de 1100 mm, sus afluentes son los ríos Chontalcuatlán, San Jerónimo, Cuautla, Chalma y Yautepec, dispone de 3100 Mm³, 2400 Mm³ de escurrimiento superficial y 700 Mm³ subterráneo, almacena en la presa El Rodeo, la calidad del río es buena y en los ríos Apatlaxco, Yautepec y Cuautla, son contaminados por descarga doméstica e industrial.

Cuenca del Río Cutzamala: Abarca un área de 10740 km², parte del estado de México, Michoacán y Guerrero, sus afluentes son los Ríos Ixtapan, Tilostoc y Zitácuaro, con precipitación media anual de 1,100 mm. Su disponibilidad es de 3,350 Mm³, 95% es superficial y sus presas más son Valle de Bravo con 400 Mm³, el Bosque con 210 Mm³, Villa Victoria con 218 Mm³, y Tuxpan con 1Mm³, aporta 3,300 Mm³ aguas abajo e Ixtapan del Oro.

Cuenca del Río Lerma: Abarca el Río Lerma hasta la Presa Santa Rosa, con afluentes de ríos Gavia, Jaltepec, Laja, Guanajuato, Slaó, Turbio, Angulo, Duero, Zula Verde, Juchipila, río Grande de Morelia y el Queréndaro, tiene precipitación de 1200 mm al año al sur y 400 mm al Norte. El agua es contaminada por descargas de industria en Lago de Chápala y presa Corona, sus presas son Antonio Álzate, Tepuxtépéc, el Sistema Lerma se ubica en el Estado de México, en el valle de Toluca, en un área de 2,236 km², el agua la captan 267 pozos profundos en 16 ramas que alimentan 4 acueductos al inicio del túnel Atarasquillo - Dos Ríos.

Valle de México: Esta en el centro de la República, se forma de la Cuenca Hidrológica de los ríos Tula, San Juan y Cuenca de Libres Oriental, sus corrientes son la del Gran Canal del Desagüe, del Río de la Compañía, y las Avenidas de Pachuca. Sus cuerpos de agua son el Lago de Texcoco, Laguna de Zumpango, Presa Guadalupe, Presa Requena y Laguna de Apan, tiene precipitación de 645 mm, 1420 Mm³ es escurrimiento superficial y 2520 subterráneo, sus acuíferos son el Valle de México, Libre- Oriental en Puebla, Veracruz, Tlaxcala y el de Tula en Hidalgo, con 1730 Mm³ de rehusó, y exportan 365 Mm³ del acuífero de Toluca- Ixtlahuaca.

Subcuenca Distrito Federal: Esta al Sur de la Cuenca del Valle de México, con ríos que drenan agua al Interceptor Poniente, Lago de Xochimilco, y colectores del Área Metropolitana, en 1944 km², con corrientes del Río de los Remedios hasta el Eslava al Poniente, del Río de Churubusco, de la Piedad, de Consulado, e Interceptor Poniente y Gran Canal del Desagüe, presenta precipitación de 845 mm, se extrae de agua superficial 140 Mm³ y de subterránea 655 Mm³.

La suma de fuentes internas y externas en 1997 fue de 34,785 m³/seg, 9.942 m³/seg del Sistema Cutzamala, 4.889 m³/seg del Sistema Lerma, 1.294 m³/seg en pozos y manantiales en el D,F, y 18.659 m³/seg son fuentes internas de los sistemas norte, sur, centro, oriente y poniente del D,F.

Año	Gasto (lts)	Estimado para el D,F .
1995	35,438	
1996	34,868	
1997	34,785	
2010*	32,745	*

El agua se distribuye a pobladores del D,F, por la red primaria y tuberías, como en Xochimilco, Tlalpan, Magdalena Contreras, Alvaro Obregón, Cuajimalpa y Milpa Alta. Para el año 2010 con los programas propuestos en el Plan Maestro de Agua Potable, la demanda será de 28,223 m³/seg en el D,F, el Sistema Cutzamala operara su cuarta etapa con una aportación de 2.5 m³/seg, 37% de 34,785 m³/seg que ingresaron en 1997 a la ciudad, se perdió por fugas, en tomas domiciliarias y en la red, 12.884 y 21.109 m³/seg se consumen en rubros de la demanda, y 7.732 m³/seg es gasto que se escapo de tomas domiciliarias y 5.151 m³/seg, de la red primaria y 2.33 m³/seg de fugas.

Referencias del Capítulo 1.

- 1.- Revista Ingeniería Civil No 334. El Agua y su uso eficiente. Editada por el órgano Oficial del Colegio de Ingenieros Civiles de México, C.I.C.M. de A.C.
- 2.- Revista " Sistema Cutzamala " "Agua para millones de Mexicanos" Editada por la Comisión Nacional del Agua (C.N.A) y la Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca S.E.M.A.R.N.A.P.
- 3.- Revista Hidráulica Urbana No 1 Editada por la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica D.G.C.O.H.

CAPITULO 2.

CARACTERISTICAS GENERALES DE LA BIFURCACIÓN PARA LOS RAMALES NORTE Y SUR DEL MACROCIRCUITO.

2.1. – CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SISTEMA CUTZAMALA.

El Sistema Cutzamala consiste en el aprovechamiento de siete presas de almacenamiento Tuxpan y El Bosque, en Michoacán; Colorines, Ixtapan del Oro, Valle de Bravo, y Villa Victoria en el Estado de México, que eran parte del sistema Hidroeléctrico Miguel Alemán, se construyo para aprovechar aguas del río Malacatepec y de derivación, de la cuenca alta del Río Cutzamala; la construcción de un vaso de regulación horaria y un acueducto de 127 km, que incluye 19 km de túneles y 7.5 km de canal; la construcción de una Planta Potabilizadora con capacidad de 24 m³/s.



Figura 2.1.- Perfil del sistema Cutzamala. (Referencia 1).

Seis plantas de bombeo vencen un desnivel de hasta 1 100 m, como se observa en la figura 2.1 cuya operación requiere de energía de 1 650 millones de kilowatts hora por año y 24 km de túnel dentro de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México que corresponden a los ramales Norte y Sur, de 12.5 y 11.5 km, para la distribución del agua a los municipios conurbados del Estado de México y Distrito Federal.

Su ejecución se inició en 1976 programándose en 3 etapas constructivas de 4, 6 y 9 m³/s. Las aguas de este sistema son las mismas que antes se utilizaron para generación de energía eléctrica solo se realizó un cambio en su uso, dejando reservas de 3 m³/s para generar energía en las hora de mayor demanda y otro tanto para atender demandas locales, actuales y futuras que requiere el desarrollo agrícola e industrial de la región.

La Primera etapa inició su operación en 1982 aportando 4 000 lts/seg de la Presa Villa Victoria, se construyó la planta de bombeo No.5, que se muestra en la figura 2.2 que alberga 6 conjuntos motor-bomba- válvula esférica de 4 000 lts/seg cada uno y 3 equipos con capacidad de 1700 lts/seg, para vencer una carga de 174 m, así como la subestación eléctrica que reduce la tensión de 115000 volts a 13 800 volts, con la que funcionan los equipos, para procesar aguas que provienen de la presa Villa Victoria, conducidas por gravedad a la planta potabilizadora de Berros mediante el canal "Hector Martínez de Meza" que tiene longitud de 13 km y se ve en la figura 2.3.

Se construyó el tanque de recepción de aguas crudas y los canales Parshall para medir y adicionar reactivos químicos, el primer módulo de potabilización para 4000 lts/seg, un laboratorio para realizar análisis físico- químicos y bacteriológicos, el tanque de aguas claras, para 48000 m³, que funciona como tanque de sumergencia para la planta de bombeo No.5, una torre de oscilación de 10 m de diámetro interior y 45 m de altura, ubicada en el punto más alto de la conducción a 2700 m.s.n.m, a partir del cual el agua se lleva por gravedad hasta el Area Metropolitana de la Ciudad de México.

En esta etapa se instaló rampas de alta y baja presión con tuberías de acero que interconectan el tanque de aguas claras, la planta de bombeo y la torre de oscilación, y una conducción de tubería de concreto preesforzado de 2.50 m de ϕ con capacidad para 12 000 lts/seg, en una longitud de 77 kms hasta la conexión al túnel Atarasquillo- Dos Ríos, que introduce las aguas del Sistema Lerma al Valle de México. En la obra electromecánica que influye en la operación del Sistema Cutzamala que se alimenta del sistema Infiernillo-Nopala, se hizo la subestación "Donato Guerra" que reduce la tensión de 400 000 a 115000 volts con distribución a las plantas de bombeo del proyecto.

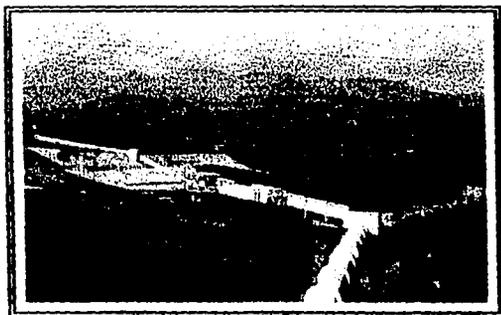


Figura 2.2.- Planta de bombeo No 5 (Referencia 1).



Figura 2.3.- Canal "Hector Martínez de Meza" (Referencia 1).

La Segunda etapa conduce de la presa Valle de Bravo (figura 2.4) a la planta potabilizadora Los Berros en 29 kms, se puso en marcha en 1985 aprovechando 6000 lts/seg de la presa, por lo cual se construyeron las plantas de bombeo 2 (figura 2.5), 3 y 4, se instalaron 3 conjuntos motor-bomba- válvula esférica de 6 proyectados para cada planta de capacidad de 4000 lts/seg y potencia en sus motores de 22000 caballos de fuerza, que vencen una carga de 822 m, 5.2 veces más de la altura de la Torre Latinoamericana, e impulsan el agua por una línea de tubería de concreto preesforzado de 2.50 m de ϕ y de acero con diámetros entre 1.83 y 3.17 m hasta el canal "Donato Guerra" (figura 2.6) de sección trapecial revestido de concreto con plantilla de 3 m de ancho, taludes de 1.5:1 y 3 m de profundidad con longitud de 7.5 kms, pasando luego al túnel "Agua Escondida" de 3 kms, sección de herradura de 3.85 m, revestido de concreto con estructuras de control en sus portales de entrada y salida, sigue la conducción por 2 líneas de tubería de concreto hasta la planta potabilizadora "Los Berros", donde hay 2 módulos de potabilización de 4000 lts/seg.



Figura 2.4.- Presa Valle de Bravo (Referencia 1).



Figura 2.5.- Planta de bombeo No 2 (Referencia 1).

Las plantas de bombeo 2, 3 y 4 tienen una torre de sumergencia y una de oscilación (figura 2.7), la primera, proporciona la carga y la cantidad de agua que necesitan los equipos para arrancar; y la otra reduce el golpe de ariete en la tubería de acero, minimizando el resto de la conducción, estas torres son estructuras cilíndricas de concreto reforzado cuya construcción requirió de un colado continuo con alturas entre los 32 y 51 m, con diámetros de 10 m y espesor en sus paredes de 1.60 m, para la operación de las macroplantas se instalaron sus subestaciones eléctricas para reducir la tensión de 115 000 a 13 800 volts, mediante 2 transformadores en cada una de ella, contando con accesorios y sistemas de control para protección.



Figura 2.6.- Canal "Donato Guerra" de la planta de bombeo 3.

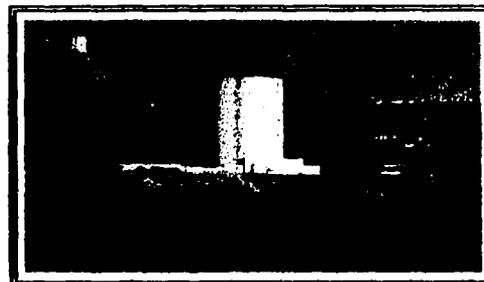


Figura 2.7.-Torres de sumergencia y de oscilación (Referencia1).

Para introducir el agua de esta segunda etapa al Valle de México atravesando la serranía de las Cruces, se construyó el Túnel Analco-San José de 16 kms de longitud con un diámetro superior a los 4.50 m y capacidad para conducir hasta 34 000 lts/seg, en previsión de futuros proyectos de abastecimiento, en su construcción se usó 2 lumbreras del túnel del Sistema Lerma, se excavó una tercera en Dos Ríos, con profundidad de 210 m, las 2 primeras y 30 m la última; en que se alojó la estructura de bifurcación en la conducción del agua hacia municipios conurbados del Estado de México, por el Ramal Norte y hacia el D,F por el Ramal Sur, los volúmenes excavados superaron los 870 000 m³, similar al de la Pirámide del Sol en Teotihuacán; y el volumen de concreto colado aumentó a 225 000 m³.

La Tercera etapa se integra por los Subsistemas Chilesdo y Colorines para aprovechar 9000 lts/seg, el primero opera desde enero de 1993 y aporta 1000 lts/seg en promedio y hasta 5000 lts/seg, en época de avenidas, capta aguas del río Malacatepec en la presa Chilesdo, (figura 2.8 a y b) construida con cortinas de concreto de sección tipo gravedad, altura de 19.2 m y 44,2 m de longitud, con lo cual se evita que estas aguas escurran hasta la presa Colorines, reduciendo los costos de operación, ya que la carga de bombeo de ese punto a la planta potabilizadora es de 275 m y desde la presa Colorines de 980 m.

Para su operación se construyó la planta de bombeo N.6, que aloja 3 conjuntos motor-bomba - válvula esférica, con capacidad de 1700 lt/seg, sus motores tienen una potencia de 16980 caballos de fuerza, una subestación eléctrica reduce la tensión de 115 000 a 13800 volts, la conducción de la planta de bombeo a la planta potabilizadora tiene 15.261 kms, donde la conducción de la obra de toma a la torre de sumergencia tiene longitud de 718 m de tubería de acero de 1.52 m de diámetro, e incluye tubo puente sobre el río Malacatepec.



Figura 2.8.- a) Cortina de la Presa Chilesedo (Referencia 1).

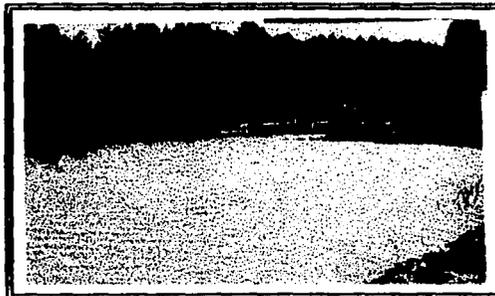


Figura 2.8.- b) Embalse de la Presa Chilesedo (Referencia 1).

De la torre de sumergencia a la planta de bombeo se instaló tubería de acero de 1.5 m de ϕ con una longitud de 83 m y de la planta de bombeo No.6 a la estructura de oscilación se colocó tubería de acero de 1.67 m de ϕ y 2460 m de longitud, siendo esta última la línea de alta presión; de la estructura de oscilación al punto de interconexión con el Acueducto Cutzamala se instalaron dos líneas de tubería de concreto preesforzado de 1.26 m de ϕ con 12000 m de longitud cada una. La torre de sumergencia es una estructura cilíndrica de 6 m de diámetro interior, espesor en sus paredes de 0.45 m, de concreto reforzado, colado continuo y una altura de 19 m.

El Subsistema Colorines aprovecha las aguas de las presas Tuxpan y el Bosque, en el Estado de Michoacán e Ixtapan del Oro, en el Estado de México, mediante una captación en la presa derivadora Colorines (figura 2.9), para un suministro de 8 000 lts/seg. La obra de toma en la presa Colorines (figura 2.10) se construyó de concreto reforzado equipándose para su operación con 8 compuertas deslizantes, 4 para servicio y 4 de emergencia.

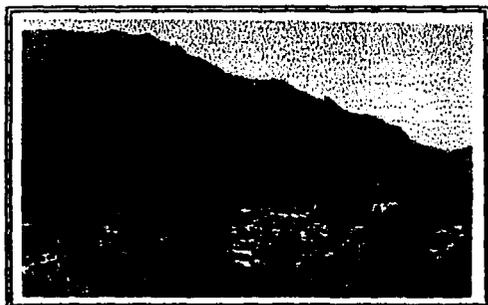


Figura 2.9.- Presa Derivadora Colorines.(Referencia 1). Figura 2.10.- Obra de toma Presa Colorines (Referencia 1).

La planta de Bombeo No.1 se constituye por una casa de máquinas con estructura metálica de 15 por 80 m, con altura de 18 m, en ella se instalaron 5 conjuntos motor-bomba-válvula esférica con potencia unitaria de 10700 caballos de fuerza y gastos de 4000 lts/seg, cada uno para una capacidad total de 20 000 lts/seg, venciendo una carga de 157 m.

Otras obras de la etapa son el vaso regulador "Donato Guerra" (figura 2.11), con capacidad de 770000 m³ para garantizar el suministro de agua a la planta potabilizadora en las horas pico de demanda de energía eléctrica; 2 módulos de potabilización para complementar la capacidad proyectada de la planta Los Berros en 24 000 lts/seg, siendo la mayor potabilizadora del país, la que a través de sus procesos de clarificación, filtración, y desinfección, garantiza el cumplimiento de la normatividad vigente para la calidad del agua potable establecida por el sector salud.



Figura 2.11.- Vaso regulador "Donato Guerra"



Figura 2.12.- Tanque Pericos.(Referencia 1).

El tanque de almacenamiento de agua "Pericos" (figura 2.12), cercano a la ciudad de Toluca, la instalación de las 2 líneas de tubería de concreto preesforzado con diámetro de 2.75 m y longitud de 6 900 m.

2.2.-CARACTERISTICAS GENERALES DEL TUNEL ANALCO – SAN JOSE.

Túnel Analco- San José: Es un túnel de Sección de herradura de 16 km, con diámetro de 4.10 m y pendiente de 0.00067, parte del portal de entrada (figura 2.13) ubicado en el poblado de Santiago Analco en el Estado de México, atraviesa una región de 3.312 m, hasta llegar a la lumbrera 1, en la Cuenca Lerma, atraviesa la Sierra de las Cruces uniéndose con la lumbrera 2 cerca del barrio de Agua Bendita en el Municipio de Huixquilucan, en un tramo de 7087.349 m.

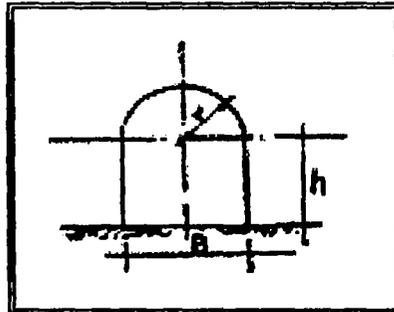


Figura 2.13.- Portal de entrada túnel "Analco San José" (Ref 1). Figura 2.14.- Esquema del portal del túnel

La lumbrera 2 se une con la 3, en un tramo de 3739.349 m al Norte del poblado Dos Ríos y el último tramo es de 1861.22 m, llegando al punto final que es el portal San José. Las lumbreras 1 y 2 se excavaron al construir el Acueducto Lerma, ampliando se para utilizarse en este proyecto, introduciendo equipo. A partir de la lumbrera 1 hasta la 3, es una línea paralela al eje del túnel Lerma, con separación horizontal de 19 m y vertical de 35 m.

Ramal Norte: Túnel de sección de herradura de longitud de 12.570 km, diámetro de 4.10m y pendiente de 0.002, parte de la lumbrera 3 y llega al barrio La Rosa, al oriente del poblado Santiago Tepaxtlaco Edo de Méx. y se dividió en 5 tramos en orden consecutivo que son:

Tramo 1 – La Mina: De longitud de 1699.956 m, inicia en la lumbrera 3 y termina en una mina de arena abandonada.

Tramo 2 – La Magdalena: De longitud de 3158.279 m, inicia en la mina y termina en el pueblo de Magdalena Chichicarpa municipio de Huixquilucan.

Tramo 3 – El Olímpico: Inicia en ese pueblo y termina en la propiedad comunal El Olímpico, con longitud de 2111.979, y al frente cruza la carretera Naucalpan- Toluca en el km 13.5.

Tramo 4 – Loma Colorada: inicia en la propiedad comunal el Olímpico y termina cerca del poblado de Loma Colorada.

Tramo 5 – Santiago: Inicia en la Loma Colorada y termina en el barrio La Rosa en el poblado Santiago Tepatlaxco con longitud de 5,599.786

La obra da servicio en la zona Norte de la Cd de México y a poblados que limitan con el D.F.

Ramal Sur: Inicia en el portal de salida del túnel Analco - San José y conduce agua hasta el punto final en el Cerro del Judío, para después distribuirla al Sur de la Ciudad de México.

2.2.1.- GENERALIDADES DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DEL TUNEL ANALCO – SAN JOSE .

2.2.1.1.- Datos básicos de construcción de la obra.

El gasto que pasa en el túnel es de $40 \text{ m}^3/\text{seg}$, satisface la demanda a la zona metropolitana de la ciudad de México y el gasto máximo será de $48 \text{ m}^3/\text{seg}$ repartidos, la mitad circula por el Ramal Norte y la otra mitad por el Ramal Sur, sus pendientes son, para el túnel Analco - San José de 0.000666 y para el túnel del Ramal Norte 0.0017. En base a las condiciones anteriores, la sección del túnel fue de herradura con un radio de 2.05 m, altura de 2.10 m y un ancho de 4.10 m, para el túnel Analco –San José y lo podemos observar en el esquema de la figura 2.14.

2.2.1.2.- Características geológicas de los tramos .

Un obstáculo fue el Cerro de las Cruces, el túnel Analco-San José atraviesa esa sierra que se localiza en el Eje Neovolcanico y distribuye por dos ramales. La formación de las cruces contiene emisiones de lava de composición andesítica y dacítica combinados con material piroclásticos como aglomerados volcánicos y tobas arcillo arenosas, por lo que la parte superior gruesa es material piroclásticos y la inferior son derrames volcánicos estratificados.

2.2.1.3.- Obras necesarias para el inicio de actividades.

Primero se hicieron tajos, como en el 0+000 del túnel se construyó un túnel falso, en que se colocó dala de desplante, dentellón de entrada en ambos portales, colocando los marcos metálicos sobre la dala a cada metro, la longitud del portal en este caso fue de 6 m, esto implicó colocar 7 marcos metálicos, posteriormente armando el acero de refuerzo de la zona del portal de entrada (es túnel falso). En el marco pegado al túnel, se colocó anclas de tensión a cada 30 cm, en el diámetro de la sección hasta la altura del nacimiento del túnel u hombro, cimbrando, colando con concreto de $f'c=200 \text{ kg/cm}^2$.

Para la excavación después de colocar túnel falso, se uso un traxcavo para rezagar con sistema neumático y camiones para desalojar material a la entrada y más adentro se uso una rezagadora, fuera de vía se colocan rieles para vagonetas de 4 m³, un volteador de vagonetas y 2 tolvas de 20 m³ cada una con su locomotora de 20 ton. Los marcos son de tipo "I" de 6", ligero a una distancia necesaria, según las condiciones del terreno y se complementa con una capa de 3 a 5 cm de concreto lanzado, evitando la intemperización, al iniciar cada excavación se debe abastecer aire comprimido para el equipo de perforación y agua para el concreto lanzado del emportalamiento.

Corte o tajo para emportalamiento: Se hace para iniciar la construcción del túnel, se inicia con una inclinación en la entrada y en la salida del túnel, para tener un frente en el rompimiento del túnel, con una profundidad sobre la clave del túnel que va a ser igual al mínimo 3 veces el diámetro del mismo, y se hizo para evitar que el túnel una vez iniciada la excavación tienda a cerrarse ya que las fuerzas actuantes por corte del peso del terreno debe ser soportada, por sí mismo. La inclinación del talud en las paredes laterales del tajo es igual a medio por ciento y varia por las condiciones del terreno, presentando fallas por:

Por deslizamiento: Cuando las partículas del suelo se deslizan por superficie inclinada del talud a causa de la falta de presión que existe y puede ser por disminución de resistencia del suelo al esfuerzo cortante o por formación geológica.

Por erosión: Son por arrastre de vientos, agua, etc y es notorio en empinadas laderas de cortes e inestabilidad en taludes por la presión que soportara, el terreno se puede anclar, con ayuda de mallas y concreto lanzado y el equipo para cortar fue un tractor, un traxcavo y martillos neumáticos de rompimiento camión volteo, etc.

Instalación para bombeo de agua filtrada: Bombas son Máquinas para elevar agua u otros líquidos, e impulsarlos en una dirección y se clasifican por el diámetro del tubo de sección y descarga, sacan el agua filtrada en el túnel, por ser un problema al construir el túnel hay bombas verticales y horizontales, para bombeo vertical se usa bombas para pozo profundo con impulsores que vencen la carga, y las bombas se mueven por motor eléctrico.

Instalaciones de aire comprimido: Se utilizan compresores, llaves, válvulas y recipientes de almacenamiento, los compresores, comprimen y almacenan aire que alimentan herramientas neumáticas, como perforadoras, rompedoras, apisonadas.

Instalación de agua: Sirven para obtener y abastecer de agua, según las necesidades de trabajo, y tener condiciones optimas de trabajo.

Instalaciones eléctricas: Es conjunto de canalizaciones, cajas de conexión, elementos de unión entre canalizaciones, cajas de conexión, conductores eléctricos, accesorios de control y protección para interconectar fuentes de energía, el frente se alimenta de 150 KVA en 3 circuitos, para alumbrado, bombeo y otro para ventilación con aditamentos, subestaciones de transformadores se instalan en lugares ventilados a no menos de 50 m de dispositivos explosivos, con interruptor.

Instalación de ventilación: Mantiene el aire fresco en el túnel en el frente de trabajo, evitando contaminación de gases tóxicos, polvo, calor, etc, se utilizo tubo galvanizado calibre No 18 de 30" de ϕ , con ventiladores Booster eléctricos que funcionan con 500 ft³, que suministran aire en el lugar de trabajo, para barrer gases nocivos y polvo de las voladuras, se uso ventiladores en línea eléctrica, un frente se alimenta con 440 KVA, por medio de circuitos de la línea general.

Factores que determinan la ventilación en el área de trabajo son gases de explosivos, formación de polvo o gases de los motores de combustión, interna y calor producido por las rocas. Remoción de la carga explosiva, y se debe a problemas por un mal sistema de ventilación, destacando la

circulación de la ventilación. El volumen de aire requerido para la ventilación de un túnel varía con el número de obreros, con la frecuencia de detonaciones, de cargas de explosivos, con el método para controlar el polvo y con las máquinas que consumen aire comprimido. La cantidad de aire fresco que se proporciona a un obrero en el frente de trabajo es entre 200 a 500 ft³/min.

Instalaciones complementarias.

- a) Bodegas de cemento.
- b) Bodega para mineral y material.
- c) Oficina para departamento Técnico.
- d) Taller mecánico.
- e) Taller para soldadura.
- f) Taller para carpintería .
- g) Oficinas (8 en el tramo) generales de obra.
- h) Sub- estación de 100 KVA.
- i) Almacén general de la obra.
- j) Patios de Almacén .
- k) Oficina de superintendencia.
- l) Oficina jefe administrativo.
- m) Oficina de jefe de personal.
- n) Oficina jefe cajero.
- o) Oficina jefe de maquinaria.
- p) Comedor.
- q) Teléfono en la oficina y en cada frente.
- r) Radio en la oficina y radio en cada frente.
- s) Un polvorín para estopines y otra para artificios .

Programa general de la obra: Este programa muestra equipos y material para las actividades, que seguirán un orden en un ciclo y solo se presentan una sola vez, al avanzar en el frente se tienden las instalaciones, para Marcos Metálicos con fallas el programa es el siguiente:

- 1.-Cambio de acceso.
- 2.-Construcción de portal de entrada.
- 3.-Excavación del túnel Portal de Entrada (PE) - Lumbreira 1(L1).
- 4.-Lanzado de concreto.
- 5.-Construcción de lumbreira No.1.
- 6.-Excavación túnel Lumbreira1 (L1)- Portal de Entrada (PE).
- 7.-Excavación túnel Lumbreira1 (L1)- Portal de Entrada (PE).
- 8.-Lanzado de concreto ambos frentes.
- 9.-Construcción lumbreira No.2 .
- 10.-Excavación túnel Lumbreira 2 (L2) - Lumbreira 1 (L1).
- 11.-Excavación túnel Lumbreira (L2) - Lumbreira (L3).
- 12. Lanzado de concreto ambos frentes.
- 13.-Construcción lumbreira 3 .
- 14.-Excavación túnel Lumbreira 3 (L3) - Lumbreira (L2).
- 15.-Lanzados de concreto.

2.2.4.- CICLO DE EXCAVACION POR EL METODO CONVENCIONAL .

Las operaciones de un ciclo de excavación en un túnel por el método convencional a base de explosivos, varía de un frente a otro, se repiten actividades que dan un avance longitudinal y son:

1) Barrenación: Se hacen perforaciones distribuidas según el "Diagrama de Barrenación", se inicia en el frente de trabajo del túnel, en que se ha trazado con pintura, en el eje vertical y el

horizontal, así como en el contorno de la sección que se excavara. Por las características del material se utilizo explosivos, por el método convencional a base de explosivos, estableciendo 6 frentes de ataque, 4 se atacaron por lumbreras y 2 por portales de entrada y salida. La barrenación es a sección completa y cuña en V de 6 barrenos con Jumbo ALIMAK L-532 con 2 perforadoras neumáticas TAMREK 8400T con avance de 25 ft/hr (7.62 m/hr), montados en brazos del Jumbo de 2.50 m para barrenos de 1" de ϕ y 2.40 m de profundidad.

Se perforo cuña en "V" de 6 Barrenos de 1" de ϕ y 2.40 m de profundidad, el acero es de alta resistencia integral y artificios; se uso explosivo el tovox 700, como detonante el estopin eléctrico de retardo y corriente eléctrica con interruptor, la rezaga se cargo con rezagadora MITSUIR 585-A accionada con aire comprimido para llenar vagonetas de 4m³, formando trenes de 36 m³. La rezagadora se auxilia por piso extensible, el cambio de vagoneta fue con cambio California y se mueve cada 6 días, y como fuerza tractiva para vagonetas en el frente Locomotoras Diesel.

2) Limpieza de barrenación: Después de barrenar y antes de cargar explosivos, el barreno se limpia con aire que quita residuos en el, que evita buen retaque del explosivo, el soplado tiene conexión y válvula que regula el aire para limpiar, en terrenos fracturados y en roca no consistente inutilizando los barrenos.

3) Carga de explosivos: Inicia al terminar de limpiar y cargar el último barreno, prepara el inspector de explosivos, el número de cebos y cargas según el diagrama, separándolos con cajas para que el perforista cargue los barrenos y no se hace hasta terminar la barrenación.

4) Conexión eléctrica o amarre de las puntas de las mechas: Inicia al terminar de cargar los barrenos y conectar la línea de disparo o al tener los amarres necesarios de las mechas y unirlos a varias puntas para iniciar el encendido. Si se usa estopines eléctricos se conectan las guías entre sí, en túneles son series paralelas, es difícil detectar la falsa conexión, se rectifica el buen funcionamiento con el galvanómetro o ohmetro, se calcula resistencia del circuito, si varia el calculo y lectura 5%, se comprueba físicamente el circuito, lo realiza el Ingeniero o jefe en turno.

5) Retiro y voladura: El sobrestante entrega la llave interruptor, para la voladura, el personal se estaciona de espaldas a la pared del túnel, el interruptor esta a 300 m del frente, si la voladura se hace con corriente eléctrica, esta debe ser de 440v/220v/110v, o con explosor de buena calidad.

6) Ventilación: El tiempo de duración, es desde la voladura hasta iniciar la rezaga, y puede ser de 30 y 45 minutos, si los requerimientos de ventilación no han sido superados.

7) Rezaga: Aquí en cargar material de voladura, en lumbrera se ayuda de vagonetas que se vacían en alcancías en el fondo de esta, para después subirla al exterior y se realiza en 4 pasos

- a) Carga de material en frente de vagonetas.
- b) Transporte de vagonetas a la base de la lumbrera.
- c) Vaciado en alcancías en la base lateral de la lumbrera.
- d) Izado de material del fondo a la superficie en botes de vaciado automático(skips).

Manejo de la rezaga en el exterior.

- A) Para portales, se voltearan las vagonetas con volteador hidráulico y cargador frontal para cargar camiones de volteo de 6 m³ de capacidad, para llevar la rezaga a los tiraderos.
- B) Para Lumbreras, se huso camiones de volteo que reciben rezaga del material de las tolvas de las lumbreras, para proceder a llevar la rezaga a los tiraderos respectivos.

8) Amacize del terreno (Ademe): Protege la zona excavada y puede ser de 2 tipos:

8.1) Marcos metálicos y retaque de madera: Consiste en colocar elementos que formen 2 piezas con posición correcta en línea y nivel, y la actividad se divide en 2 partes, que son, la colocación de los dos elementos metálicos y Retaque de madera.

8.2) Concreto lanzado: El concreto lanzado consiste en que con máquinas "lanzadoras", se aplica éste, utilizando aire comprimido inyectado en la propia máquina, a través de una manguera y un chiflón se inyecta agua, elaborando la mezcla, reaccionando el cemento y aditivos acelerantes de fraguado, que se realiza en carros-tolvas, la aplicación debe hacerse en capas de 2 cm y por zonas para completar espesores que pueden ser de 15 cm.

9) Topografía y movimiento de equipo: Se huso aparatos topográficos de precisión; rayo láser, etc, verificando a cada 300 m, después de la voladura se inyecta volumen de aire igual al de la ventilación normal, con ventiladores centrífugos eléctricos para ventilación normal y neumáticos para ventilación adicional, después de las voladuras y las tuberías se harán a base de polietileno, este se comprende desde que sale la rezagadora hasta que llega la barrenadora al frente y la topografía se divide en 2 tipos:

A) Topografía detallada del frente, que consiste en:

- a) Prolongar alineamiento de la línea definitiva del túnel.
- b) Marcar el eje vertical y horizontal y la sección de excavaciones.
- c) Hacer levantamiento de la sección excavada.
- d) Determinar avance de voladura y cadenamamiento del frente en que se barrenará el otro ciclo.
- e) Colocar puntos de control de alineamiento y bancos de nivel, para prolongar el alineamiento mientras se prolonga la línea de precisión.

B) Topografía de precisión, que consiste en:

- a) Bajar el alineamiento de precisión al interior del túnel, en caso de las lumbreras.
- b) Los puntos de la línea de precisión se marcan en placas metálicas, que serán ancladas, fuera de la superficie de trabajo, si no se coloca en el piso, se colocara en el techo del túnel.
- c) La línea de precisión se prolonga cada 2 semanas, puntos de alineación y marcas del túnel.

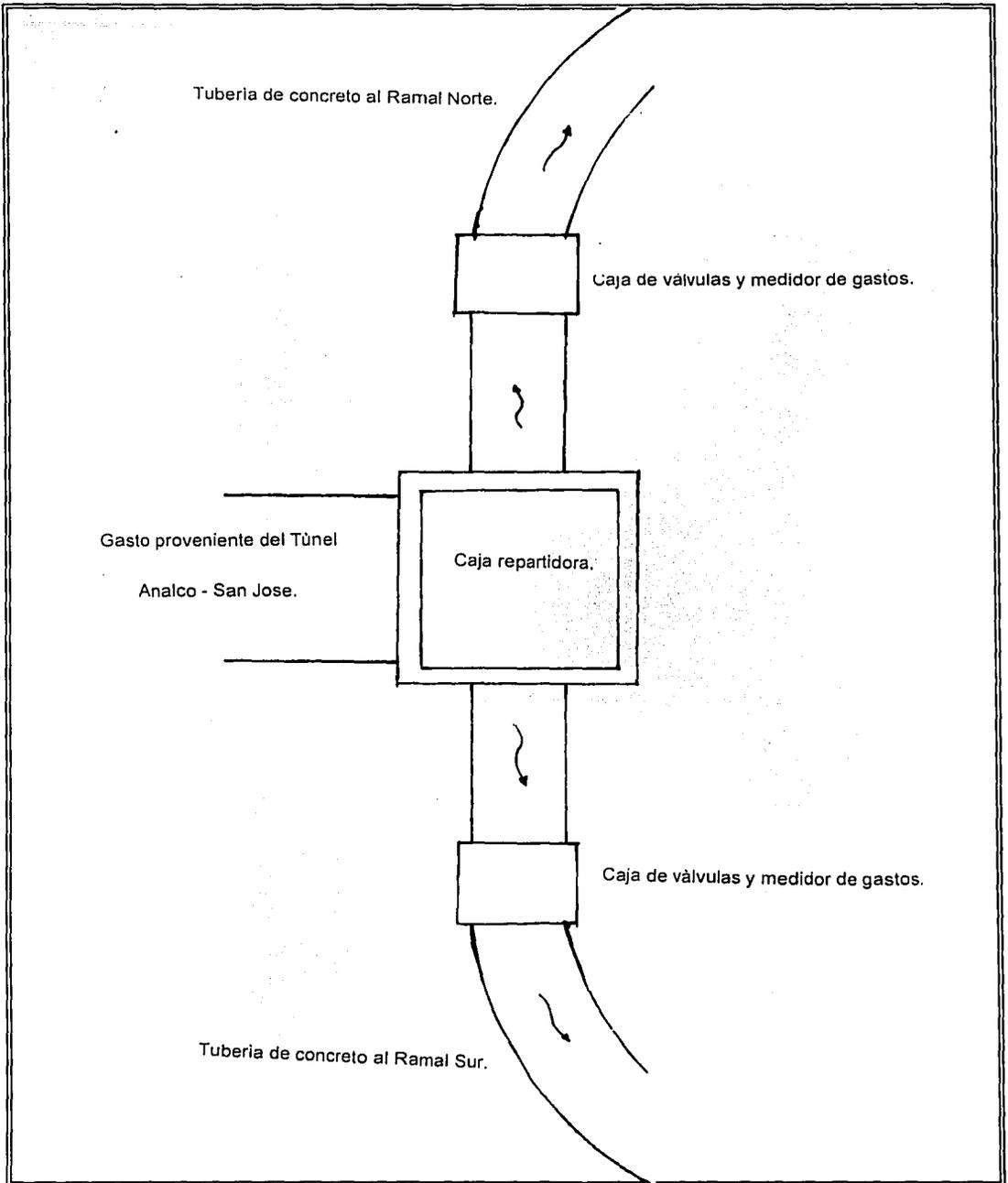
Comunicaciones: Se empleo líneas telefónicas y de radio con estaciones en el interior a cada 800 m y en exteriores en cada casetas de campo. Líneas telefónicas con estaciones en oficinas de superintendencia como oficinas de Portal de Entrada o Salida, en las plantas de concreto y de agregados y en estaciones a cada 800 mts.

2.3.- ESTRUCTURAS QUE CONFORMAN LA BIFURCACIÓN .

Como ya se dijo en la construcción del Túnel Anasco - San José se aprovecharon 2 lumbreras del Sistema Lerma y se excavó una tercera en Dos Ríos. La lumbrera No 3 del túnel aloja la estructura de bifurcación o repartidora de gastos hacia el Estado de México y el Distrito Federal, mediante la operación de compuertas, el esquema No 1 muestra un detalle de la caja repartidora.

Las estructuras que conforman la bifurcación son una Caja repartidora, una Caja de válvulas que se componen de Válvulas de control, Válvulas de expulsión y admisión de aire, Estructuras de medición y Compuertas deslizantes y que a continuación se describen:

Estructuras de regulación o de control: Se instalan con el objeto de garantizar los niveles del agua a cierta elevación, así como regular los gastos a lo largo del canal, como represas que constan de una serie de compuertas deslizantes o radiales que forman un conjunto y se localizan aguas abajo de tomas laterales o desfuegos y funcionan como estructuras repartidoras de gasto.



Esquema No 1.- Vista de planta de la caja repartidora.

Caja repartidora: Son cajas hechas de concreto con un f'c de 300 kg / cm², en las que el sistema de distribución es a base de flujo por gravedad, en los que los vasos de almacenamiento deberán quedar localizados a una elevación adecuada, arriba de la zona de aprovechamiento, con el objeto de suministrar la carga necesaria. Son muy variados los factores que se deben considerar para obtener un valor adecuado para la capacidad de conducción, dependiendo del tipo de aprovechamiento y de las características particulares de cada uno de ellos.

Caja de Válvulas: Son cajas de concreto de f'c de 300 kg/cm², hechas con el objeto de permitir regular o controlar el flujo de agua en conductos o tuberías. El tipo de válvulas que se pueden encontrar en esta caja son válvulas de expulsión y admisión de aire, válvulas de control y medidores de gasto y entre otros tipos que se pueden usar podemos mencionar los siguientes.

Válvulas de control: Bloquean el paso del agua, se utilizan para interrumpir el servicio y efectuar alguna reparación o mantenimiento, las válvulas de compuerta también se instalan con el fin de drenar y vaciar la línea de conducción en las depresiones columnios, para que por gravedad se produzca el vaciado, como ejemplos tenemos las válvulas de compuerta, de mariposa y globo.

Válvulas de expulsión y admisión de aire: Son piezas de funcionamiento automático, colocadas en los puntos elevados siempre que la carga piezométrica fuese reducida, en el caso de tuberías rígidas, estas válvulas se destinan a expeler el aire existente en el interior de las mismas mientras se llena y a expulsar el aire acumulado en los puntos altos, durante el propio funcionamiento, en tuberías flexibles de acero, éstas tienen además, la finalidad de admitir el aire, para evitar el colapso de las líneas bajo la acción de un eventual vacío interno.

Estructuras de Medición: Las estructuras de medición permiten conocer los gastos y volúmenes disponibles y en distritos de riego, ayudan a hacer una equitativa distribución del agua; también permiten relacionar el suministro con la demanda y limitar los desperdicios innecesarios. Las estructuras de medición comprenden estaciones para uso de molinete, medidores Parshall, orificios de carga constante y vertedores.

Compuertas deslizantes: En las compuertas el elemento de cierre u opturación se mueve sobre superficies deslizantes que sirven como apoyo y sello. Generalmente se construyen de acero colado y se mueven en estructuras de canales, en unas obras de toma en presas o tanques de regulación, se instalan una como emergencia y otra como regulación, los asientos de la compuerta se hacen de acero colado, maquinado, e inoxidable, o de bronce, y se apoyan en metal de diferente aleación, para evitar que se suelden a grandes presiones. Las casas constructoras dan compuertas de dimensiones preestablecidas, para cargas de hasta de 30 m, se han hecho compuertas deslizantes para que trabajen con contrapresión, la hoja de la compuerta se acciona con un mecanismo elevador, a través de un vástago o flecha de acero estirado en frío.

Referencias del Capítulo 2.

- 1-Revista "Sistema Cutzamala". Agua para millones de Mexicanos"
Editada por la Comisión Nacional del Agua (C.N.A) y la Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca S.E.M.A.R.N.A.P.
- 2.- Diseño y Construcción de Túneles. III Curso Internacional de Ingeniería Geológica aplicada a Obras Superficiales y Subterráneas. Facultad de Ingeniería U.N.A.M. División de Educación Continua.
- 3.- Memoria Técnica del Primer Congreso Mexicano de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas. Asociación Mexicana de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas. A.M.I.T.O.S.

movieron caudales del poniente al oriente, beneficiando delegaciones como Iztapalapa, que suministra agua potable al municipio de Netzahualcóyotl.

Este acueducto Subterráneo transporta, hacia el sur y al oriente de la ciudad de México, el caudal proveniente del Sistema Cutzamala, que conduce el túnel denominado Análco - San José, con longitud de 10.8 kms. Se inicia en un portal en el municipio de Análco y termina en el portal de San José, Municipio de Huixquilucan, en el Estado de México.

Como es muy grande la magnitud de la obra del Ramal Sur se optó por dividir su diseño, construcción y operación en cuatro etapas.

• **Primera etapa:** Ramal Sur, La construcción de esta etapa se inició en 1983 y concluyó en 1987. El proyecto inicia en el portal del túnel Ramal Sur, Análco - San José (figura 3.2) en el Estado de México, continúa por el Sur del D,F en las Delegaciones de Cuajimalpa y Alvaro Obregón y concluye en el portal de salida de la trifurcación (figura 3.3) Cerro del Judío en la Delegación Magdalena Contreras, el ϕ del conducto es de 4 m, con capacidad de 25 m³/seg, y longitud de 11 km.

El tramo Ramal Sur también cuenta con una serie de tanques para almacenar el agua y distribuirlas en diversos puntos de la ciudad. Su trazo es paralelo al denominado Ramal Sur del acueducto Lerma y dispone de cuatro líneas de derivación para su interconexión que son El Cartero, Santa Lucía, Villa Verdún y El Judío.

Cabe mencionar que esta primera etapa se subdivide en 4 tramos:

Tramo.	Longitud (m).
• San José - El Borracho.	1,807
• El Borracho - El Cartero	314
• El Cartero - Plateros .	2,096
• Plateros - Cerro del Judío.	<u>2,752</u>
Total	6,969 m.

El diseño del proyecto se complementa con 4 sifones con dos tuberías paralelas de acero de 2.5 m de ϕ y longitud de 1.236 m, y estos son los siguientes y que se muestran en las figuras 3.4 y 3.5:

Sifón	Longitud (m).
1.- San José	350
2.- El Borracho	396
3.- Santa Lucía	380
4.- Plateros.	<u>110</u>
Total	1,236

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

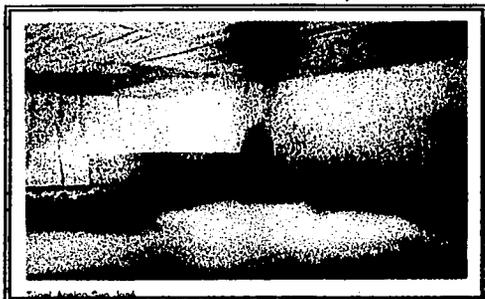


Figura 3.2.- Tanque Análco - San José (Referencia 1) .

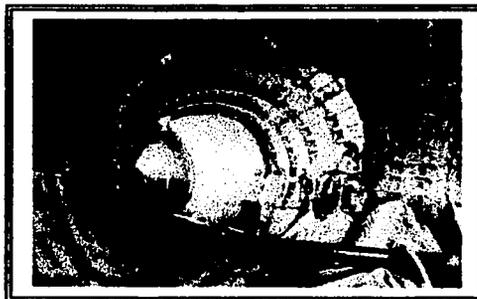


Figura 3.3.- Trifurcación plateros (Referencia 1) .

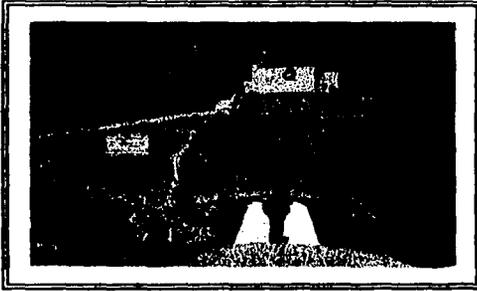


Figura 3.4.- Sifón Santa Lucía (Referencia 1) .

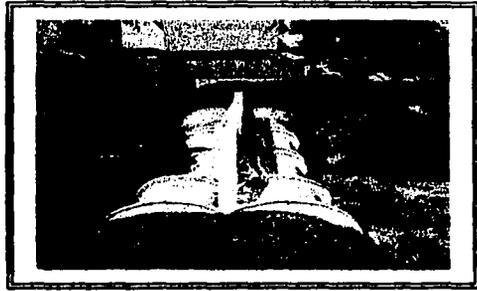


Figura 3.5.- Sifón Plateros (Referencia 1) .

Para iniciar el proceso de perforación de los túneles, se definieron los frentes de ataques y construyeron 2 lumbreras. La cero, de 6.60 m de diámetro y 41 m de profundidad, localiza da en Santa Fe, delegación de Cuajimalpa y la uno de igual diámetro y con profundidad de 37 m ubicada en San Bartolo Ameyalco, delegación Alvaro Obregón. Esta etapa empezó a operar en 1988, beneficiando a 400 mil habitantes, con un caudal de 8 m³/seg.

• **Segunda etapa:** El Cerro del Judío - Ajusco. Se inició en 1987 y se concluyó en marzo de 1994, comprende el tramo de bifurcación Cerro del Judío, en la delegación Magdalena Contreras, hasta el portal de salida del Ajusco, en la delegación Tlalpan, la etapa tiene 9.9 km y el túnel de sección terminada con ϕ de 4m y el conducto se subdivide en los siguientes tramos:

Tramo.	Longitud (m).
• Cerro del Judío - Providencia.	2,939
• Providencia L "2" (Cad. 5+769.50).	678
• Providencia (Cad 5+769.50) - L"2"- Ajusco (Cad. 8+699).	2,717
• Ajusco - L "2" (Cad. 8+ 699.98).	2,582
Total:	8,916 m

En el diseño de esta etapa se propuso la construcción de tres sifones en las barrancas del Judío, Magdalena y Providencia, integradas por dos tuberías de acero paralelas de ϕ de 2.51 m y 1,146 m de longitud y que podemos ver en las figuras 3.6, 3.7 y 3.8.

Sifón	Longitud (m).
1.- El Judío	151
2.- Magdalena	582
3.-Providencia	413
Total	1,146

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

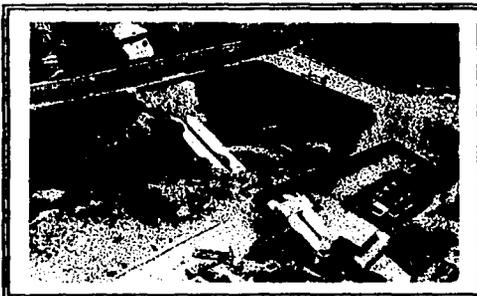


Figura 3.6.- Sifón el Judío (Referencia 1) .

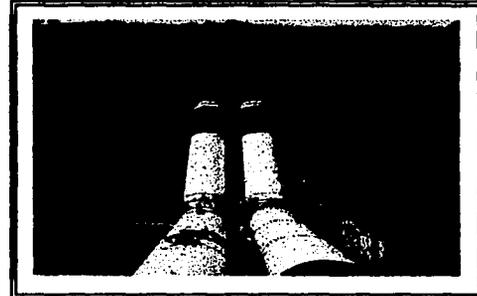


Figura 3.7.- Construcción del Sifón Magdalena (Referencia 1) .

El tramo comprende la segunda etapa del acueducto, se encuentra localizada en el Cerro del Judío y Providencia. El desarrollo del proyecto se inicia con el Sifón número 1, con una longitud de 151 m y se localiza en la parte norte del Cerro del Judío. Después se une con el túnel número 1 "Cerro del Judío- Magdalena Contreras" con longitud de 2,939 m.

Continua con el Sifón número 2, "Magdalena", con una longitud de 582 m, el cual se conecta al túnel número 2 Providencia - L"2" (Cad 5+769.5), con una longitud de 1,480 m. Este túnel conecta al sifón número 3 "Providencia" que tiene una longitud de 413 m. El proyecto continúa con el túnel número 3 que inicia en la Providencia (Cad. 5+769.5)- L "2", hasta el Ajusco (Cad 8+699.98) con una longitud de 2,930 m y por último se encuentra el túnel denominado Ajusco - L"2", cuya longitud es de 1,850 m. Esta etapa se terminó de construir en marzo de 1994, beneficiando a 800 mil habitantes. Adicionalmente se construyeron una serie de tanques de almacenamiento para distribuir el caudal en diferentes puntos, como el tanque Primavera que se muestra en la figura 3.9 y realizo al final de la segunda etapa.



Figura 3.8.- Sifón Providencia (Referencia 1).

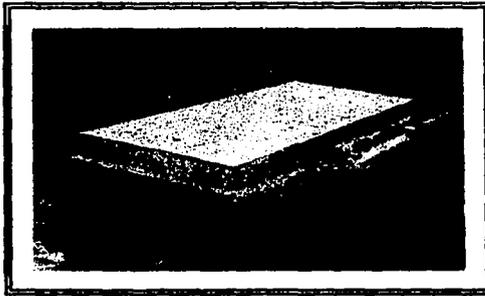


Figura 3.9.- Tanque de Agua Potable Primavera (Referencia 1).

• **Tercera etapa: Ajusco - San Francisco Tlalnepanitla.** El 15 de diciembre de 1993 se inició la construcción de 12,018 m correspondientes a la tercera etapa, cuya excavación se inicio en la Zona del Ajusco y termina en la cuarta derivación ubicada en la zona de San Francisco Tlalnepanitla. En este tramo, a diferencia de las primeras 2 etapas se huso tecnología de vanguardia, como la máquina túnelera denominada "topo", con la que tienen rendimientos 12 veces más que con el método convencional a base de barrenación y voladura, la figura 3.10 muestra un detalle de este túnel, excavado y recubierto.

Para ello se realizaron los estudios y proyectos correspondientes, que incluyen la exploración mediante sondeos directos y perfiles geofisicos a través del método de resistividad, además de los estudios de laboratorio y gabinete como, petrografía, mecánica de rocas, geohidrología, y análisis y diseño estructural. En Abril de 1977, se encuentra concluida la excavación de 6,307 m de túnel comprendidos entre las derivaciones 3 y 4 y 690 m del túnel del túnel entre las derivaciones 3 y 3-A, que contarán con un diámetro terminado de 3.10 m.



Figura 3.10.-Túnel San Francisco Tlalnepanitla (Referencia 1)

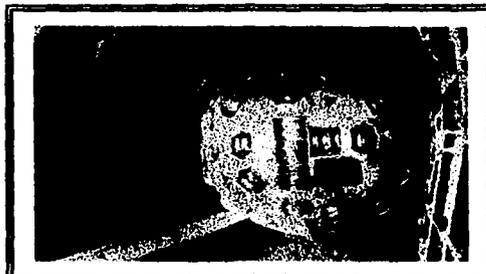


Figura 3.11.- Arribo del Topo a la Derivación 3.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Con método convencional, se excavo 700 m de la derivación 3-A y 1,410 m en la 3, se excavo con la máquina "topo" que se muestra en la figura 3.11, con la que se avanzo 9,107 m de túnel, de 12,018 m. Este esfuerzo constructivo es el 75,78% de la longitud total del túnel ya excavada y se programo terminar para diciembre de 1998.

- **Cuarta etapa: San Francisco- Cerro del Teutli.** A lo largo del trazo se construye la cuarta etapa que comprende un tramo de 16 mil metros, 9 mil en túnel y 7 mil metros en tubería de 1.82 m de diámetro, desde San Francisco Tlalnepantla hasta el Cerro del Teutli, que suministrará de agua potable a la zona oriente y municipios conurbados del Estado de México, continuando el desarrollo del proyecto hacia el norte del D.F, con un trazo para lolo a los límites con el Estado de México. La Construcción del acueducto hacia la zona oriente, reducirá la extracción de agua del acuífero, al incorporar nuevos caudales del Sistema Cutzamala, beneficiando paralelamente a sus habitantes y los recursos naturales de nuestra ciudad.

3.1.- ESTUDIOS Y TRABAJOS QUE SE REALIZARON PARA PROYECTAR EL TÚNEL No.5 Y SELECCIONAR EL EQUIPO QUE SE UTILIZO.

El Departamento del Distrito Federal, para satisfacer necesidades de bienestar de habitantes de la ciudad; entre ellos el agua, que juega un papel primordial en el desarrollo económico y social de esta urbe, le ordenó a la DGCOH la proyección y construcción del Ramal Sur .

A la tercera etapa se le llamó Túnel No 5 del Ramal Sur, la figura 3.12 muestra que va del cadenamamiento 9+751 al 20+980 km, con longitud de 11,229 km, la parte construida con topo será del 10+191 al 20+980 con diámetro a Línea A de 3.60 m revestido con anillos de 6 dovelas y espesor mínimo de 15.2 cm (6") con ancho de 1 m, y resistencia de $f_c=350 \text{ kg/cm}^2$, se conectaron las lumbrera 2-A, 3a y 4a Derivación, esta ultima es Portal de entrada del Topo, con una base de operaciones para el sistema constructivo con oficina, almacenes, taller y área para fabricar dovelas, se hizo vialidades para tiro de rezaga, para el tramo de la 3a Derivación - Lumbrera 2 A.

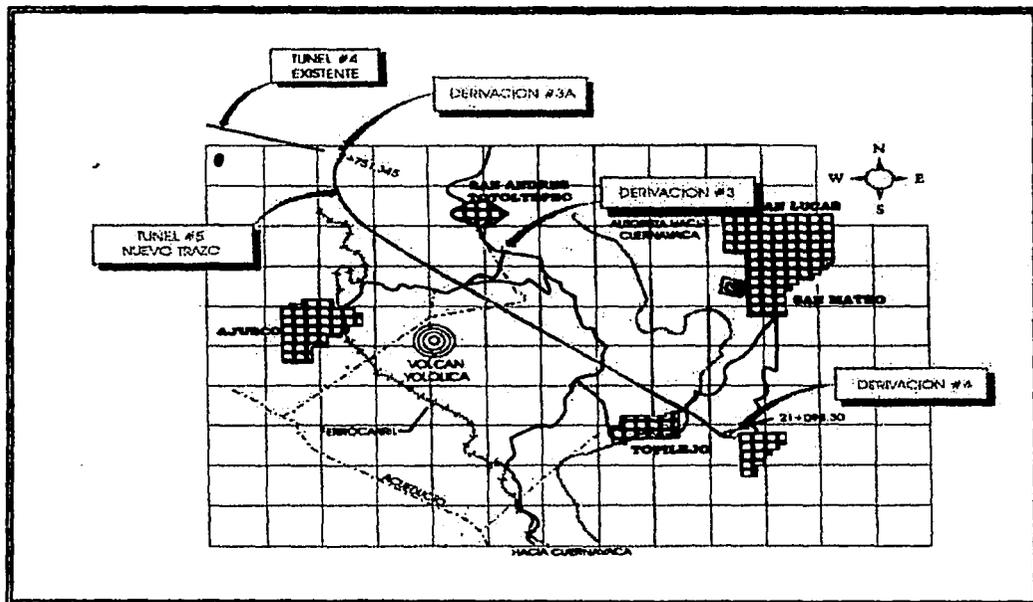


Figura 3.12.- Croquis de localización del Túnel No 5 (Referencia 2).

3.1.1.-Estudios topográficos: Estos trabajos se desarrollaron de la siguiente forma:

1.-Recopilación de información: Se recopiló la información disponible en la DGCOH como planos a escala 1:10000.

2.-Reconocimiento preliminar: Con datos de información, se recorrió la zona para obtener las características topográficas, facilidades, y accesos, identificando, vértices y bancos de nivel que sirvieron de apoyo para este levantamiento.

3.-Estudio Topográfico de gabinete: Con los datos obtenidos en campo, se trazó la ruta probable del eje del proyecto, proyectando curvas y ubicando sitios de lumbreras.

4.- Planeación: Definida la ruta y conocidos los accesos, se determinó el equipo a usar, así como precisiones que se manejaron en las diferentes actividades del apoyo topográfico.

5.- Parámetros del proyecto: Con los elementos para iniciar los trabajos de campo se procedió a establecer especificaciones rectoras del proyecto que se mencionan a continuación:

a) Precisión del polígono envolvente. Esta no será menor a 1:120000 en su cierre lineal y la precisión angular fue 1 segundo por la raíz cuadrada del Número de Vértices.

b) El equipo de trazo fue 1 teodolito, de 1 segundo de aproximación, distanciómetro con alcance de 5 km, bases nivelantes para tomas de lecturas, y accesorios para toma de datos en campo, como Walkie, talkies, termómetro, barómetro, sombrillas, porta-prismas, etc.

c) La precisión para cierre de la nivelación de bancos es de 5 mm en 1 km, $T = 0.005 K$ donde T es la tolerancia en metros, K es la longitud en kilómetros entre los bancos.

d) El equipo para este trabajo será un nivel NA-28, con desviación estándar de 1.5 mm, en un kilómetro y miras de nivelación GLNE.

e) Los vértices, bancos de nivel y referencias se ubicarán sobre mojoneras de acuerdo con las especificaciones (anexas) proporcionadas por la DGCOH.

6.- Retroalimentación con otras disciplinas: Un aspecto importante del proyecto, son las características geológicas y geotécnicas del lugar, por lo que se comento con especialistas de las disciplinas que involucran al proyecto datos obtenidos para los ajustes necesarios.

7.- Retroalimentación con el área técnica: En los trabajos, se comentaron accidentes encontrados en el terreno al área técnica de la DGCOH, solicitando recomendaciones.

8.- Trazo de la poligonal de apoyo: La poligonal de apoyo tiene un perímetro de 6866 m, parte de los vértices C7 y C8 definidos en una poligonal previa levantada por CONIISA.

9.- Establecimiento de bancos de nivel: Los bancos de nivel se corrieron al iniciar el trazo.

10.-Perfil del eje de trazo: Se realizó con un teodolito Wild T2 y taquimetría, levantando los puntos sobresalientes del perfil, determinando las cotas en cada punto de la línea.

11.-Levantamiento de detalles: Donde abundaron edificaciones e instalaciones, sin poder continuar con la línea eje de proyecto, se radiaron puntos como banquetas, bardas y todos los detalles que se encontraron en la zona.

12.-Eje del proyecto: Con la poligonal de trazo envolvente se definieron los PI del eje del proyecto del túnel y trazando en campo las curvas con todos sus elementos como, deflexión, grado, subtangente, y longitud de curva, se ubicaron en campo los PC y PT.

13.-Vértices de apoyo: Todos los vértices, bancos de nivel, PC, PI, y PT se fijaron en campo con mojoneras construidas de acuerdo con las especificaciones de la DGCOH.

14.-Reporte Fotográfico: Por cada vértice, banco y PI, se tomo fotografías, acercamientos con detalles y una fotografía panorámica para apreciar físicamente su ubicación en el terreno.

15.- Orientación Astronómica: Para determinar el azimut de la poligonal se realizaron orientaciones astronómicas una al inicio y otra al final del tramo, para verificar los azimuts obtenidos en el cálculo del polígono.

16.- Referencias: Definidos los vértices de la poligonal, los PI del eje de proyecto, se referenciaron con mojoneras para reponerlos en caso de pérdida de alguno de ellos los vértices fueron sobre terracería y sobre banquetas.

17.- Obras auxiliares o complementarias: El túnel requirió obras adicionales como lumbreras, túneles de salida y derivaciones, para facilitar maniobras durante las etapas de construcción o mantenimiento durante el tiempo de servicio, y fueron la Lumbrera No 5, ubicada en el cad 18+288.159 con diámetro de 8.00 m y profundidad de 135.816 m y también la Derivación final en el Cad 20+980.00, de longitud hasta el portal de 145.271m.

3.1.2.- Estudio de características Geológicas-Geotécnicas de la Zona: Se interpreto una docena de fotografías aéreas del Acueducto, a escala de 1:80000; cubriendo un área de 120 km², con la interpretación fotogeológica se definieron diferentes unidades de rocas de la zona, fallas, fracturas, arroyos, poblados, caminos de acceso, etc, que fueron verificadas en campo.

Geología del área del proyecto: El área del proyecto esta en la parte suroccidental de la cuenca de México, en Tlalpan. Se localiza topográficamente en la base de las Cruces, cubierta por derrames lávicos de la Sierra Chichinautzin. Al oeste-suroeste de la zona, hay varias elevaciones topográficas de forma cónica, que son volcanes como el Ajusco, los volcanes compuestos por cenizas, tobas, escoria, brechas y lavas de composición básica a intermedia, son el Xictle, Cuatzontle, Manimal, Ololica, Pelado, Oyameyo Tloca, Tlamaxco, Teuhli, entre otros, por tener apariencia cónica, se deduce que son recientes y geomorfológicamente están en juventud.

Perfil Geológico y resumen Geotécnico: Las unidades geotécnicas que podemos encontrar en la zona de estudio son las siguientes y se ve su ubicación en el perfil de la figura 3.13.

Unidades 1 y 2: Andesitas basálticas interdigitadas con material escoriáceo.

Unidad 3: Traquiandesíticas- dacíticas, muy fracturadas y en partes alteradas.

Unidad4: Traquiandesita-dacita dura y dacitas sanas, resistentes y poco fracturadas.

Unidad 5: Traquiandesitas y dacitas de poco a muy fracturadas, duras y tenaces.

Las 5 unidades presentan 4 familias de fracturas, que son Escoria en el frente y la bóveda, Andesita basáltica en la bóveda, Escoria en la bóveda y Toda la excavación en andesita.

Exploración y Unidades Geotecnicas: Se realizo 15 sondeos de geofísica en 3.2 kms, desde el cad 17+698, 8 sondeos con recuperación de muestra, la profundidad del sondeo vario según la ubicación en el trazo y posición topográfica en el, con el reconocimiento geológico en el campo, los sondeos hechos a lo largo del trazo y petrografía de muestras de rocas de formaciones geológicas, que están a nivel superior al túnel no serán atravesadas y obtenidas de los 8 barrenos se definió una columna estratigrafica:

Formación Chichinautzin (Plioceno - Pleistoceno) (Serie andesita - basáltica, arena y toba)

Formación Las Cruces (Mioceno - Plioceno) (Andesita).

Formación Xochitepec (Oligoceno - Mioceno) (Traquiandesita- dacita),la más antigua con domos volcánicos del Cantil y Topilejo.

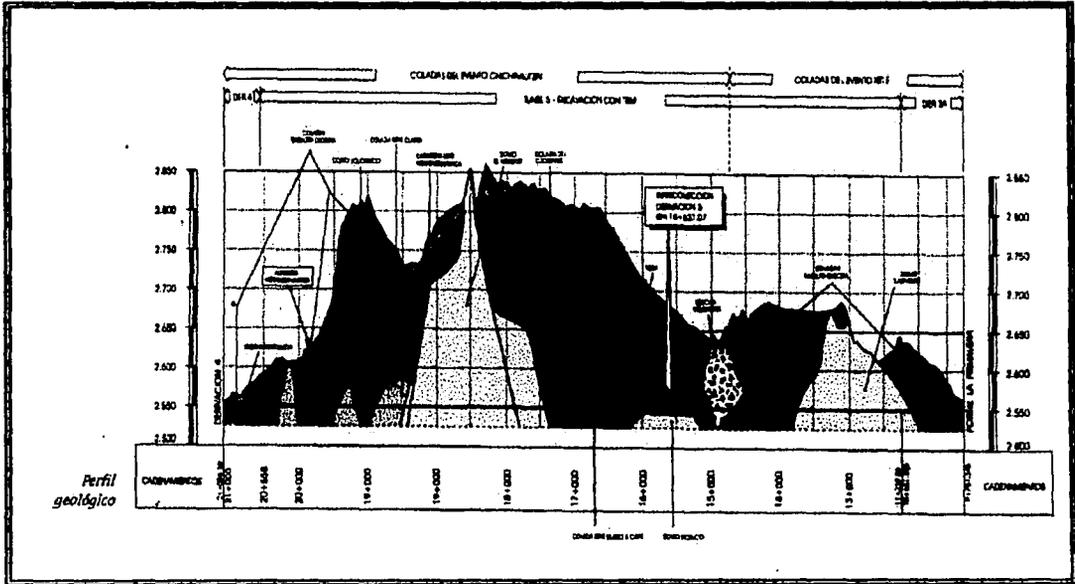


Figura 3.13.- Perfil Geológico de la zona (Referencia 2).

Se resume la geología de todo el Túnel desde el cadenamamiento 9+750 al 20+980 en las unidades que se describen, en la tabla 3.1. La primera letra Mayúscula se refiere a la época o edad geológica asignada Q: Cuaternario, T: Terciario, Ts: Terciario Superior, Ti: Terciario inferior, etc.

Tabla 3.1. Resumen Geológico que se localiza en el trazo del túnel No 5.

UNIDAD GEOTECNICA	DESCRIPCIÓN .
A	Arena volcánica (Qv) Serie Chichinautzin.
B	Toba arenosa amarilla (Qtba) ; S Chichinautzin .
D	Basalto - Escoria o andesita basáltica (QTsBae) ; Serie Chichinautzin .
G	Andesita masiva (Ts And-ma) .
H	Traquiandesita Formación Sierra de las Cruces .
	Traquiandesita Formación Xochitepec.
	Dácita (Tda); Formación Xochitepec.

Son unidades geotecnicas, las que son cortadas por el trazo del Túnel No.5 que inicia en el cadenamamiento 9+751, y solo las 3 últimas son cortadas por el trazo y se presentan en la tabla 3.2.

Tabla 3.2. Unidades Geotecnicas que se localizan en el trazo del túnel No 5.

UNIDAD GEOTECNICA .	DESCRIPCIÓN	UNIDAD GEOLÓGICA
U1	Andesita escoriacea	F
U2	Andesita con escoria.	G
U3	Traquiandesita- dácita alterada	Ha I
U4	Traquiandesita- dácita lajeada	He I.
U5	Traquiandesita- dácita Masiva	He I.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Estudios de Sondeos. El Sondeo con recuperación, determino las calidades geotécnicas de los tramos que atraviesa el túnel y analiza sus características físicas y mecánicas, realizando 8 sondeos de T-20 al T-27, que se muestran en la tabla 3.3.

Tabla 3.3.- Sondeos del nuevo trazo del Acueducto. (Tramo Cantil – Topilejo).

Sondeo	Cadenamiento	Cota Broca	C.Sr.Túnel	Profundidad	Sondeo (M)
	km	(m.s.n.m)	(m.s.n.m)	Teórica	Real
T-20	17+985.76	2678.816	2546.675	132.14	132.5
T-21	18+168.30	2675.8	2546.492	128.59	131.4
T-22	18+700.95	1667.911	2545.959	121.95	129.59
T-23	19+040.07	2725.703	2545.62	180.08	180.9
T-24	19+379.92	2778.509	2545.28	233.22	222.75
T-25	19+968.88	2613.272	2544.671	68.61	72.6
T-26	20+278.03	2611.531	2544.362	67.71	7085
T-27	20+658.15	2579.867	2543.983	35.98	40

Las muestras de sondeos tienen 2 familias de fracturas. Una con inclinaciones entre 90° y 80° subverticales, en ocasiones de 60° y la otra familia es subhorizontal, el patrón de fracturamiento es de 2 a 10 cm en la subhorizontal y de 1.5 a 2 m en subvertical. La familia subvertical tiene superficies planas, relleno ocasional, oxidación, de lisas a poco ásperas, unión entre ambas caras y poca alteración química y la horizontal, es sin relleno y sin oxidación de superficie irregular y áspera, de fracturamiento de Unidad 4, forman lajas de 2.5 a 5 cm, de espesor de 25 a 50 cm de largo y ancho, las lajas en la clave caen y provocan sobreexcavación en bóveda y "caídos".

Pruebas de dureza: Al usar la máquina tunelera, se hizo pruebas de dureza y desgaste en rocas de unidades geotécnicas a nivel del túnel, para determinar el consumo de cortadores, se realizaron en laboratorios del fabricante del topo en los E.U, estimando la relación entre la abrasividad de la roca y durabilidad de los cortadores en avance, sin ver problemas geológicos, geohidrológico, mecánico, eléctrico o constructivo. El costo del cortador es un rango por presencia de minerales duros, el porcentaje de estos en la roca varía, el desgaste del cortador se determinó por la presión de empuje sobre ellos, fracturamiento de la roca y el mantenimiento de cortadores.

Estudios de Petrografía: Después de pruebas de mecánica de rocas y dureza, se hizo pruebas de petrografía, determinando clasificaciones de las rocas, porcentajes y tipos de minerales que presentan. El número de muestras por sondeo estuvo en función de la cantidad de unidades geológicas que se atravesó y su importancia en la zona del túnel, los resultados de los análisis, definieron el origen, composición, tipo de roca y contactos entre las unidades en la zona del túnel.

Método de excavación convencional de barrenación y voladura.

En la excavación del túnel se empleó el Método de excavación convencional de barrenación y voladura y su ciclo de trabajo se compone de las siguientes operaciones, que ya no se describirán ya que es el mismo proceso empleado en la construcción del Túnel Analco - San José.

- 1.- Barrenación y limpieza de esta.
- 2.- Carga de explosivos y conexos, retiro de voladura.
- 3.- Ventilación.
- 4.- Rezaga.
- 5.- Movimiento de equipo, maniobras y topografía.
- 6.- Ademe y soporte temporal.
- 7.- Bombeo.

Ahora se describirán las características de los materiales en que se excavará y los elementos que ayudaron a realizar mejor el proceso sin tener problemas de derrumbes del material u otro tipo.

3.1.3.- Geotecnia aplicada a la selección del equipo.

Descripción de los problemas que presentara la escoria durante el tuneleo.

La escoria presenta problemas de estabilidad en la excavación, en la bóveda se colapsa, porque es de fragmentos sueltos y no tiene tiempo de autoaporte, en la excavación convencional obliga a realizar avances cortos o usar tablaestaca evitando que el caído progresa, o a media sección usar marcos metálicos, rastras y concreto lanzado, o combinar 2 métodos, se coloca un soporte temporal sobrado para la solicitación de carga de la escoria y la colocación del soporte hace lento el avance del túnel, para construir con topo, debe reunir características especiales, las anteriores, son para escoria en unidad 1 y 2, y en zona de falla con fracturamiento y en las otras 3 unidades de los 9,000 m de túnel, los cadenamamientos con fallas y contactos son los que se mencionan en la tabla 3.4 y van de mayor a menor, ya que el topo avanza de aguas abajo hacia aguas arriba.

Tabla 3.4.- Problemas que presenta la escoria durante el túneleo

Contacto	Cadenamiento	Problema esperado.
U-C / U-5	20 + 830	Contacto inferido de escoria con roca alterada (ZONA NO EXPLORADA). Requiere doble escudo y soporte inmediato.
	20+830 a 16+810	U-5 Existen contactos con U-3 y U-4 pero la exploración actual no permite ubicarlos por lo que es recomendable densificar la exploración con sondeos directos.
U-5 / U-4	16 + 800	U-5 Roca de buena calidad, U-4 roca muy fracturada. En U-4 necesario revestimiento con dovelas.
U-4 / U-3	16 + 760	U-4 roca muy fracturada (lajada) y U-3 roca brechada, necesario soporte con dovelas.
U-3 / U-2	16 + 730	U-3 roca brechada, U-2 roca con escoria en zona inestable, y probables filtraciones. Requiriendo exploración Adicional.
U-2 / U-3	12 + 900	U-2 permeable, U-3 impermeable probables filtraciones, la U-3 con alteración a caolín. Frente piso y bóveda potencialmente inestable, este contacto requiere exploración adicional.
U-3 / U-4	12 + 860	U-4 roca lajeada, bóveda inestable para sistema convencional, para el topo no presentara problema.
U-4 / U-5	12 + 830	U-5 roca sana, estable para la excavación integral.
U-5 / U-4	11 + 700	Entrara la zona lajeada por la bóveda, sin problemas para este tipo excavación.
U-4 / U-3	11 + 670	Entrará la roca alterada por la bóveda, probables filtraciones inestabilidad en el frente y en la bóveda, requiere exploración adicional.
U-3 / U-1	11 + 650	Contactos entre roca alterada y escoria en presencia de filtraciones. Inestabilidad en el frente, piso y en clave. Reducción en la velocidad de avance de un doble escudo. Zona muy problemática para excavación tanto convencional como con topo. Tratamientos de inyección. Requiere exploración adicional.
U-3 / U-1	11 + 650	Contacto entre roca alterada y escoria en presencia de filtraciones. Inestabilidad en el frente, piso y en clave. Reducción en la velocidad de avance de un doble escudo. como con topo. Tratamientos de inyección. Requiere exploración adicional.
U-1 / U-2	11+ 520	Contactos entre unidades con escoria.

Las ramas de falla influyen en 10 ó 20 m de túnel, y son 500 m de zonas de falla al nivel del túnel, se tomo precauciones y no todas las zonas tienen condiciones críticas. Los cadenamamientos son inferidos y no precisos con accidentes geológicos de ese tipo, hay tramos con escoria, zonas de falla, contactos geológicos y zonas brechadas, con problemas de estabilidad, desde severos hasta poco perceptibles y justifican que el topo tenga doble escudo y el terreno tenga soporte inmediato.

La máquina afronta condiciones de los macizos rocosos del túnel No 5, si la construcción se planea en conjunto y por tramos contando, con exploración y tratamientos recomendados en las zonas problemáticas ó que requieren exploración adicional dentro de cada unidad que requieren doble escudo. Los 3482 m no son continuos, sino repartidos a lo largo del túnel, no puede verse como un tramo para un topo sin escudo, sino que el equipo a lo largo del túnel contara con las especificaciones mencionadas y las complementarias.

3.2.-GENERALIDADES DE LAS CARACTERISTICAS DE LOS SOPORTES EN LOS CONTACTOS GEOLÓGICOS Y FRACTURAMIENTO.

Como se dijo la escoria y las otras zonas de contactos geológicos y fallas, no tienen tiempo de autoaporte en el sistema convencional. El sistema del topo al no hacer disturbio importante en el entorno del túnel permite, que la roca tenga más tiempo de autoaporte, en la escoria da su falla de cohesión, la inestabilidad se produce cuando pase el faldón de la máquina y en ese momento se pone el soporte. El soporte de colocación mas rápido son las dovelas ó concreto lanzado, sin embargo para utilizar el último, se avanza con gatos laterales apoyándose en la escoria, lo que no es muy seguro, ya que la escoria permite asentamientos o fallas en las paredes del túnel.

Se diseñan zapatas en los gatos laterales para minimizar el problema, habrá incertidumbre sobre su eficiencia, este problema puede ser resuelto mejor con las dovelas ya que el doble escudo, para avanzar, no se apoya en los gatos laterales sobre las paredes escoriaceas, sino se apoya en las dovelas con gatos laterales, alojadas en el faldón e ir autoavanzado, como cualquier escudo.

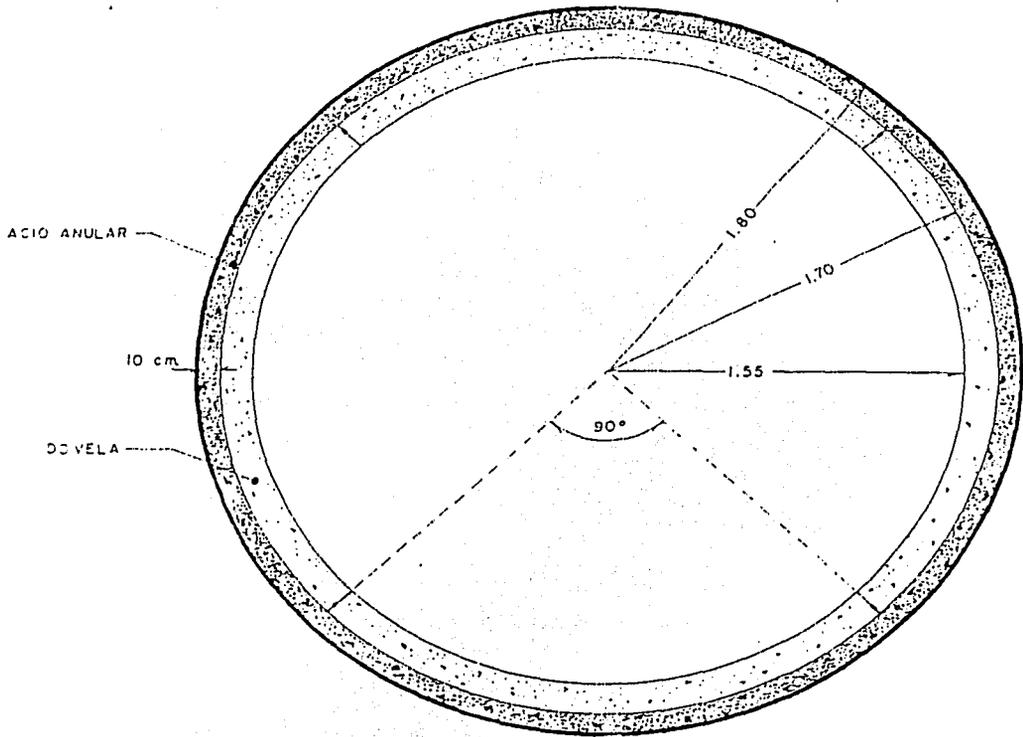
Las ventajas de las dovelas sobre el concreto lanzado son que en un túnel de este tipo, quedan como revestimiento definitivo, la mayoría de los túneles en E,U prescinden del revestimiento hidráulico, ya que alarga el tiempo de construcción, y tiene mayor costo de mantenimiento, ya que a pesar de controles de calidad, el revestimiento con concreto no tiene la que se les puede dar a las dovelas, si las dovelas se fabrican con buen control de calidad, en moldes diseñados, un topo con equipo erector, las colocará sin problema.

Otro factor en utilizar dovela como revestimiento definitivo, es el grado de impermeabilización que alcanza, se utiliza el sello de neopreno, que alcanzado alta eficiencia y la dovela aumenta su impermeabilidad con la inyección de contacto, si se utiliza relleno anular, las ventajas que ofrece la dovela sobre el concreto lanzado y otros soportes temporales son:

- 1.- El revestimiento definitivo se coloca de inmediato.
- 2.- El túnel se termina en forma definitiva junto con la excavación.
- 3.- La unión de dovela y relleno anular sobrepasa las especificaciones técnicas del concreto hidráulico y por supuesto su durabilidad y se reduce el costo de mantenimiento.
- 4.- Para el sistema convencional, se utiliza un soporte primario de 10 cm de espesor de concreto lanzado de mallas y anclas, el espesor más el rebote requiere de 1 m³ de concreto lanzado en 1 m lineal de túnel, y 2.65 m³ concreto hidráulico para revestimiento definitivo, se recomienda dovelas en escoria, contactos geológicos, fallas y zonas de fracturamiento en 3500 m, como soporte.

Diseño de dovelas: Se realizo en conjunto por los fabricantes de la máquina y de las dovelas, ya que el sistema erector se diseña y automatiza, para cierto tipo de dovelas. El diseño del anillo, se hizo con 6 dovelas, el ancho de las dovelas fue de 1 m por ser de más rápido manejo en su colocación y con un paso que permite tener un sistema erector poco robusto. En la escoria, zonas de falla, en unidad 4, cuando esta lajeada y en la 5 si esta brechada, se recomienda que el anillo sea expansible y la dovela superior o de corona tenga forma acuñada y al entrar deslizándose se expanda el anillo, el anillo lo podemos observar en la figura 3.14 que muestra una sección de túnel

La dovela de cubeta puede tener forma especial para que el piso sea plano, para apoyar directamente el nivel de la vía, sin embargo esta forma puede variar dependiendo del diseño de



ALTERNATIVA CON 4 DOVELAS
 AREA HIDRAULICA = 7.58 m²

SECCION DEL TUNEL DEL ACUAFERICO CON DOVELAS

Figura 3.14.- Sección de túnel del Ramal Sur revestido de dovelas.

vía que se seleccione o tenga el constructor, no se considera necesario que tenga dren para manejo de agua corriente, ya que en este tipo de roca, será posible desalojar agua del túnel por cárcamos de absorción localizados en zonas de escoria o brecha, en caso de filtraciones, el volumen continuo será bajo y se podrá manejar por tubería de 12"φ. El acero de refuerzo de las dovelas está calculado para temperatura y manejo de la dovela únicamente. El concreto de la dovela tiene un $f'c=350\text{g/cm}^2$ y se cura a vapor y el refuerzo será de $f_y=4200\text{ kg/cm}^2$.

Para el proyecto se diseñó dovela de uniones "a hueso" sin pernos, que permite rapidez al colocarla y no necesita que coincida los orificios de unión por pasador o en las cajas, el diseño definitivo se hace teniendo en cuenta el sistema erector y posicionador de la máquina, y la dovela se coloca por el equipo, al no tener conexiones especiales permite una fabricación simplificada.

Relleno de retaque: El espacio libre entre el estrato de la dovela y la excavación, se rellena por inyección o retaque. La convencional es colocando un relleno en la cubeta, para que sobre el se apoye la dovela de piso, el relleno es de grava calificada y lavada de ¼" a ½", luego se colocan 4 dovelas de pared, y el espacio anular se rellena con grava de ¼" en forma neumática y se coloca la dovela de la corona, y funciona como cuña, expandiendo el anillo, y se coloca el resto del relleno de retaque con sistema neumático.

El relleno es de grava limpia lavada, de banco natural, no triturada entre ¼" y ½", con espesor de 5 cm, se consideró el diseño integral del faldón del topo- dovela - relleno anular, por lo que el espesor varía y finalmente el relleno anular de grava se inyecta a través de un orificio central que tiene cada dovela, la inyección consiste de una lechada fluida de las siguientes características:

Lechada de 150 kg/cm^2 , relación agua - cemento de 0.65-a 1 más aditivo fluidizante y reductor de agua, similar al sikamex He, para una relación de fluidez igual al cono marsh, de 45 a 50 seg, la presión de inyección es de 1 a 1.5 kg/cm^2 , medida con manómetro en el brocal de inyección, el volumen de inyección es de 0.4 de m^3 , por metro lineal de túnel, se agregará la que tome la roca, en escoria se hacen pruebas, para un volumen adecuado y tener un límite de invasión de lechada en la roca y el sistema permite que la inyección se retrase respecto al faldón del escudo.

Relleno anular de mortero: Otra alternativa para rellenar el espacio anular, es inyectar mortero con dosificación de Cemento (12% peso), Ceniza volante (30% peso), Arena fina (40% peso), y Agua (18% peso), con la relación de mortero alcanzo en 28 días resistencia superior a la de las dovelas, la ceniza volante le da a la mezcla buena fluidez, evitando encampanamiento, el mortero con ceniza es impermeable, con lo que hace prescindir del sello impermeable de neopreno, el sistema simplifica el revestimiento, ya que no se coloca material antes de las dovelas, solo se colocó el anillo de dovelas y por los orificios centrales de cada una de ellas, se inyecta mortero primero en la dovela de cubeta y después en orificios centrales de las dovelas, y al final en la corona, la inyección de mortero pego en el faldón de la máquina, se ponen separadores en las dovelas para apoyarse en las rocas y todo se ve con el diseño del equipo, y se dice que la lechada tiene la misma secuencia inyectando primero en la cubeta, luego los laterales y en la corona.

3.3.- GENERALIDADES DE LAS CARACTERÍSTICAS Y FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA TÚNELERA "TOPO"

La máquina túnelera es de doble escudo, con cabeza cortadora giratoria de 3.60 m de diámetro, en la que están colocados en su frente y periferia 25 cortadores de 43 cm de diámetro, de acero de alta resistencia con cobres de carburo de tungsteno, que soportan una carga de 50 toneladas cada uno. La potencia de giro de la cabeza cortadora es de 1.250 H.P, a la que se le suministra fuerza de avance simultánea al giro de 1 millón 100 mil kilogramos. El topo requiere para su operación de un tren de soporte conectado a él, por medio de una banda transportadora que se utiliza para la extracción del material producto de la excavación, el tren de soporte es jalado por el

topo a medida que avanza y el tiene una cabina que opera con sistemas eléctricos y electrónicos de control, hidráulicos y de enfriamiento.

En la parte posterior y conectado al tren de soporte hay un cambio California con el que se hace libramiento de trenes que transportan el material excavado, desde la banda transportadora hasta el patio de maniobras exterior, los componentes de la máquina tunelera tienen longitud de 175 m, el topo tiene un sistema de dirección láser que permite al operador dirigirlo con precisión y tener lecturas en pantalla de 1 mm. En la figura 3.15 se muestra un diagrama de como se compone la máquina tunelera y sus principales partes.

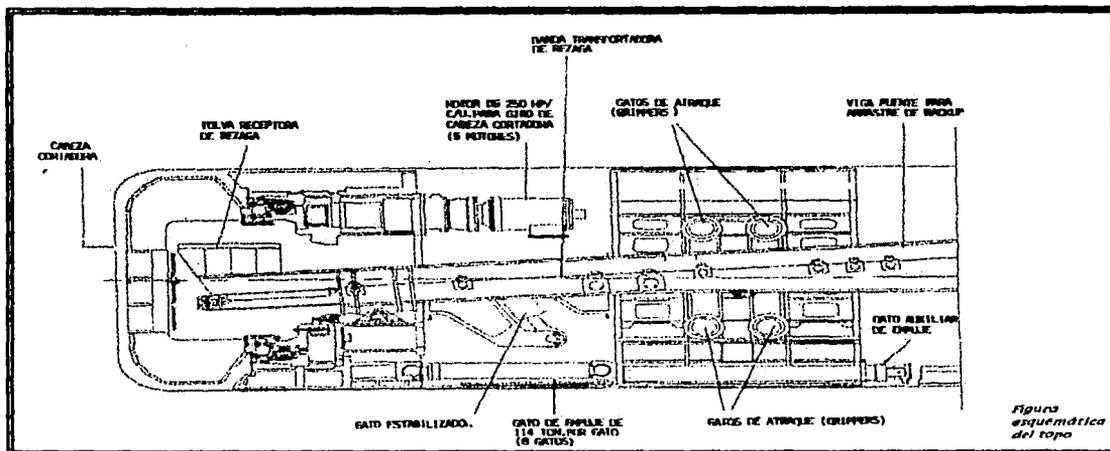


Figura 3.15.- Esquema de la máquina tunelera "Topo" (Referencia 2).

3.3.1.- Conceptos básicos de obra para el topo con doble escudo

El topo avanza de aguas abajo hacia aguas arriba para facilitar el procedimiento constructivo, incluyendo el manejo del agua, cuando se presente. La contrapendiente es de 1:1000, el inicio será en el cadenamamiento general 20+980 del Acueducto, en el área de Topilejo, donde inicia la 4a derivación y termina en un emportalamiento de corte en cajón, para iniciar el avance de la máquina tunelera y su salida será en el cadenamamiento 10+191, en la lumbreira 2-A. Este estudio geológico y geotécnico es del tramo del cadenamamiento 17+751 al 20+980, aunque el 17+751 solo es cadenamamiento de paso, donde no habrá acceso alguno. La figura 3.16 (a) y (b) muestran la máquina afuera del túnel, lista para armarse por personal calificado para volverse a ocupar.

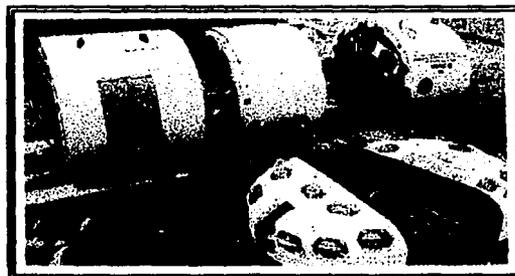
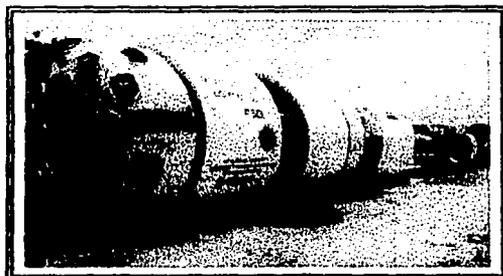


Figura 3.16.-a) Armado de la máquina tunelera (topo) (Referencia 1).

(b)

Revestimiento Primario y definitivo: Al seleccionar dovelas, el revestimiento primario es definitivo, y se usa dovelas que dejan un espacio anular de 10 cm entre ellas y la Línea A, que se rellena con grava que absorbe esfuerzos (deformaciones iniciales de la roca, que permiten la redistribución uniforme de carga de la roca), así como la distribución de lechada de la inyección de retaque ó inyección de mortero. La figura 3.17 muestra como queda terminado el revestimiento primario de un túnel a base de dovelas.



Figura 3.17.-Revestimiento primario del túnel (Referencia 2).

Equipo para elaborar concreto para revestimiento definitivo: Concreto armado de $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$ en revestimiento de sección herradura de 3.20 m y el equipo esta en la tabla 3.5.

Tabla 3.5.- Datos del equipo para elaborar concreto para revestir.

EQUIPO	Unidad	Cantidad	Rendimiento
a) Equipo	Planta de Concreto EMM-15	HR	20.89
	VAK ACT S/OP		
	Planta de Luz 150 KW S/OP	HR	24
	Bomba para concreto alta	HR	7
	Presión ACT S/OP	HR	20.89
	Cargador S/Neum.930 S/OP	HR	1
	Elevador de Canastilla S/OP.	HR	4
	Vibrador Eléctrico S/OP.	HR	14
	Camión Plataforma S/OP.	HR	1
	Soldadora 300 ACT S/OP.	HR	2
e)Relleno de Nichos bóvedas y llibradores.	Del inciso a)	M3	0.36
			3.6

Los elementos que se utilizaron para producir el concreto fueron:

- Depósitos de agregados pétreos.
- Dragalina que alimenta de agregados a la planta.
- Silos de almacenamiento de cemento a granel.
- Deposito de aditivo superfluidisante.
- Mecanismo de dosificación.
- Tolva por donde se vacía el concreto a los carros moran.

El sistema de transporte son 5 locomotoras con motores a diesel, 2 afuera, 1 cargando, 1 parada, 2 en el frente de colado y 1 en el Cambio de California y 2 Cambios California y Vías.

Empaque de neopreno entre dovelas: En la unión entre dovelas se coloca sello de neopreno, para impermeabilizar uniones transversales y longitudinales de ellas, la longitud de neopreno necesario será mínimo de 355 000 m.

Forma de dovelas: Se recomendó dovela sin conexiones, pero con la dovela en la corona de cuña los anillos no tiene conexiones con pernos en las uniones transversales, la unión es a tope y hay un espacio para colocar el sello de neopreno, en los túneles es usual la de unión de rótula y se toma en cuenta que el comportamiento de las dovelas con respecto al sismo es diferente al que sufren revestimientos someros de los túneles de la Ciudad de México. Para el Acueducto el efecto del sismo es casi nulo, porque el diseño definitivo se realiza junto con el fabricante del equipo, se sugiere su forma, para no tener varios diseños de dovelas, se evita las curvas en el túnel cuyo radió requiere forma especial de dovelas y es conveniente usar dovela estandarizada.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Secuencia constructiva: En condición normal la secuencia de la máquina tunelera, es:

- a) Avance del cabezal cortador de la máquina con carrera de hasta 1.5 m.
- b) Corte del frente de roca con el cabezal cortador de la máquina para colocar anillos de dovela
- c) Colocación a mano de grava de relleno anular debajo de la dovela inferior (cubeta)
- d) Colocación de 4 dovelas laterales, con el brazo colocador de dovelas (figura 3.18), manteniéndolas en su sitio con la estructura de soporte (cimbra) diseñada en la máquina para tal fin, las dovelas llevan instalado el sello de neopreno.
- e) Colocación de la dovela superior (corona).
- f) Efectuar relleno anular en las 4 dovelas laterales, como se ve en la figura 3.19 y en la superior e inyección de contacto atrás del frente de colocación de anillos.
- g) Mientras sucede la secuencia anterior, el topo extrae la rezaga y por banda transportadora llenará los carros sobre vía en un cambio California.

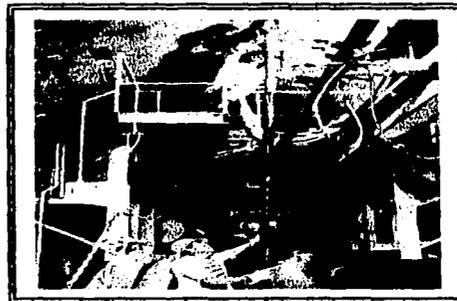
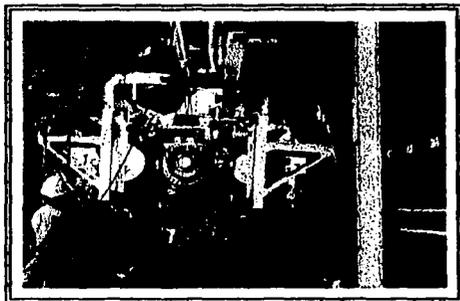


Figura 3.18.-Parte posterior del escudo donde (Referencia 2) Figura 3.19.- Relleno anular entre dovelas, se observa el brazo colocador de dovelas.

Algunos datos técnicos se muestran en la tabla 3.6.

TABLA 3.6.- CARACTERÍSTICAS DE LA MÁQUINA TUNELERA	
Diámetro de la máquina	3.6 m.
Diámetro de los cortadores	17 "
Numero de cortadores	26 "
Carga máxima individual	
Recomendada sobre cortadores	222 KN .
CABEZAL	
Empuje máximo	5772 KN .
Energía del Cabezal	Motores eléctricos con embrague hidráulico.
Fuerza del cabezal	896 Kw (4 x 224 kw) .
Velocidad del cabezal	5 a 10 r.p.m .
Par de torsión constante	856 kNm .
Carrera de pistón de empuje	1.2 m .
Carrera del cilindro auxiliar de empuje	2.0 m .
SISTEMA HIDRAULICO .	
Presión del sistema al máximo empuje recomendado. = 220 bar .	220 bar
Presión máxima del sistema.	345 kw .
Potencia	186 kw .
SISTEMA ELECTRICO .	
Circuito del motor	660 V Trifasico .60 Hz .
Sistema de control e iluminación	120 V. 60 Hz
Transformador	2 x 800 Kva = 1600kva
Voltaje Primario	11000 V.
Voltaje Secundario	660 V .
Capacidad de la banca transportadora	6.0 m3/min .
Peso de la máquina ,	200 T .

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.3.2.- Instalaciones dentro del túnel para la máquina tunelera.

A lo largo del túnel hay un sistema de conducción de energía eléctrica de alto voltaje que alimenta el tajo e ilumina el túnel. También hay una línea de conducción de agua, que se utiliza para el enfriamiento de motores y discos cortadores, como para lavar el aire por medio de sistema de filtrado de vía húmeda y contar con aire limpio que retorna a través del túnel hasta el portal de salida, el agua que se utiliza en el interior del túnel es tratada, que se conduce hasta el portal por tubería de 7.5 cm de diámetro. Las figuras 3.20 y 3.21 muestran la vía y como se instala la máquina en ella, junto con otras instalaciones para poder empezar a excavar dentro del túnel.

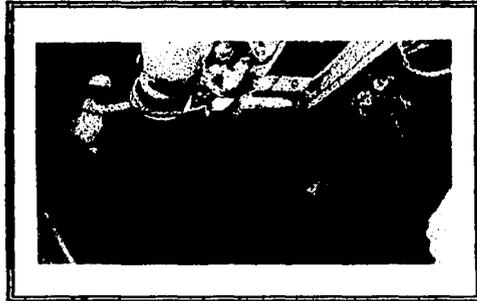
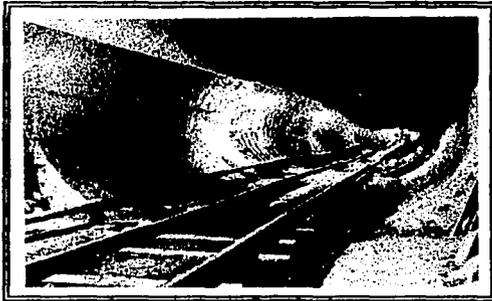


Figura 3.20.- Vías dentro del túnel para acceso del topo (Referencia 1) Figura 3.21.- Topo instalado en la vía, listo para excavar.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Ventilación: En la parte superior del túnel se cuenta con una línea de ventilación para suministrar aire fresco al frente del trabajo en cantidad y calidad suficiente, con el fin de lograr un ambiente adecuado para los obreros y el personal técnico.

La vía: En toda la longitud del túnel se colocó vía, para dar paso a los trenes que extraen el material de la excavación e introducir el material a utilizar en la construcción del túnel como marcos metálicos, madera de retaque, equipo, herramienta, etc, por lo que su mantenimiento fue un nodo de gran importancia en la ruta crítica de la eficiencia global de la excavación.

3.3.3.- Instalaciones exteriores:

Al llegar al patio de maniobras una locomotora con material de la excavación se cuenta con un volteador de vagonetas, que la sujeta y levanta a una altura de 6 m, las voltea sobre el patio, expulsando el material y se lleva en camiones de volteo hasta el depósito temporal.

En el exterior hay una planta de concreto, una fabrica de dovelas, una cisterna de agua tratada de capacidad de 700 000 litros, una subestación eléctrica, una planta de emergencia, un sistema de ventilación, el comedor, el campamento, los talleres, almacenes de materiales, herramienta, refacciones, oficinas, y el estacionamiento. En la excavación del T.B.M, al igual que en el sistema convencional se utilizo soportes como Anclaje, Costillas de perfil estructural ancladas a la clave del túnel, Malla de acero, Concreto lanzado, Marcos de acero estructural, que dependen de las condiciones del terreno, ya que la calidad de la roca es variada, que va de muy buena a muy mala

Tren de colado: El frente de colado se forma de

- Plataforma de llegada y salida de locomotoras y carros moran.
- La Tolva receptora, que por medio de un gran tornillo, si fin conduce el concreto a la Banda transportadora que lo vacía en la tolva receptora del concreto que lo conduce a la bomba que lo empuja por Tuberías de acero hasta el Snorquel, que es la máquina encargada que coloca el concreto en los orificios de la Cimbra, para distribuirlo en las paredes del túnel a revestir.

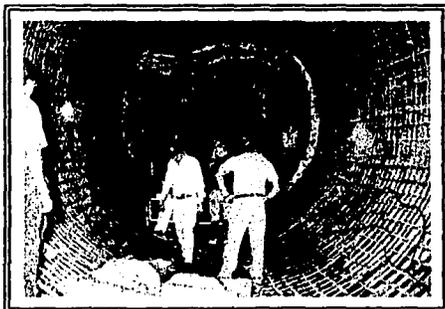
- El Jumbo de maniobras, es el encargado del movimiento y transporte de la cimbra.
- Cimbra metálica; se divide en 2 partes, la cubeta (parte inferior) y la concha a la clave (parte superior) con 9.0 m de longitud.
- Vibradores de pared Boch (5 piezas) y de chicote (3 piezas).
- Equipo de soldadura autógena y de arco eléctrico.
- Herramienta menor (macetas, cinceles, flexómetro, lamparas sordas, cascos y guantes).

Cimbra: En los últimos tiempos se ha usado mucho las cimbras metálicas, aplicables a revestir por ser económicas, fáciles de manejar y nos dan un buen acabado, las de madera se usan para curvas muy forzadas o en intersecciones, pequeñas galerías, transiciones, tapones, etc y en este proyecto se utilizaron 2 tipos que son:

Cimbra de madera: Por características geométricas de la intersección de la derivación 3 y el túnel 5, se empleo cimbra de madera construida fuera del túnel llevada al interior para colocarse.

Cimbra metálica telescópica o autotransportable: Se emplea para revestir, se forma de módulos de 9.0 m, con cinco partes cada uno, que son, una cubeta unida por una articulación, las otras tres se unen con articulaciones laterales, formando la concha, las articulaciones al terminar de colar, sirven para doblar la cimbra y llevarla en un Jumbo, que es un tren formado con 2 armaduras metálicas verticales, unidas entre sí, y este proceso se muestra en la figura 3.22, en la que se muestra como se coloca la cimbra telescópica..

Para levantar la sección inferior de la cimbra se uso un polipasto colocado expofeso en el carro de transporte, izada la cimbra de cubeta el carro de transporte corre sobre ruedas metálicas sobre una vía en la sección inferior de la cimbra colocada y fija en la posición para colado, llevando el tramo de cubeta de un extremo al otro de la cimbra. Los módulos se acoplan uno a continuación del otro, en el colado de revestimiento se usan varios juegos de cimbras, en algunos se usan 5 módulos con avance de 45 m y en otros tramos 4 o 3 módulos



Los módulos tienen instalaciones eléctricas con iluminación a base de lamparas fluorescentes y contactos con alta y baja tensión para alimentar 5 vibradores de pared y 2 de chicote para el colado, también están provistos de ventanas de bisagras, del tamaño de registros de inspección, boquillas para colocar concreto, piernas como troqueles que sujetan la cimbra, evitando empuje por el concreto y pernos para atomillar los vibradores de pared.

Figura 3.22.- Colocación de cimbra telescópica (Referencia 1).

La cimbra se apoyo en la dovela nivelada con pernos, la clave se troquelo en las paredes del túnel o en los marcos del ademe primario, cada sección de la cimbra se unió con tornillos colocados en el perímetro, el Jumbo transporta la cimbra, y con los gatos hidráulicos se coloca cada sección en la posición deseada.

Para descimbrar se dejó 2 horas para retirar la cimbra primaria, pero se deja 15 minutos para permitir el fraguado de concreto, ya endurecido se destornilla la cimbra, se quita el troquel y con los gatos se afloja la sección doblándola y llevándola, antes de colocar los módulos se limpian para evitar que el concreto fresco se quede en la cimbra metálica y se aplica una emulsión desmoldante en la parte que hace contacto con el concreto, así se logro un colado continuo del revestimiento, sin tener juntas frías en el colado, salvo por interrupciones por fallas en la planta de producción o el equipo de transporte.

3.3.4.-Alternativas de construcción mediante el método convencional.

Para hacer competitivo el método convencional con topo, se establecieron 10 frentes de excavación:

- 1.- Frente de excavación de 440 m desde la conexión del túnel No 5 hacia la lumbrera 3, que es necesaria dependiendo de la facilidad de acceso para la conexión. La lumbrera 3 se ubica en el cad.11+110 m en la zona de reserva ecológica del Ajusco .
- 2.- Frente de la lumbrera 3 a conexión de túnel No 4 con túnel No 5 estará en el cad 11+110 con longitud de 919 m.
- 3.- Frente de la lumbrera 3 a lumbrera 4 con longitud de 600 m. La lumbrera No 4 se localiza en la zona de Tlalpuente en el cad 12+680 km.
- 4.- Frente de la lumbrera 4 a la lumbrera 3 con una longitud de 970 m.
- 5.- Frente de la lumbrera No 4 a la tercera derivación con longitud de 1070 m. La tercera derivación se localiza en la zona de la casa de Tlalpan en el cad. Km 14+705.
- 6.- Frente de la 3a derivación hacia la lumbrera 4 con longitud aproximada de 955 m.
- 7.- Frente de la 3a Derivación a la lumbrera No 5 con una longitud aproximada de 1795 m, la lumbrera No 5 se localiza en la zona del Cantil en el Cad 18+288.
- 8.- Frente de la lumbrera 5 a 3a Derivación con longitud aproximada de 1788 m .
- 9.- Frente de la lumbrera 5 a 4a Derivación con longitud de 1333 m, la 4ª Derivación, se localiza cercas del poblado de San Miguel Topilejo en el Km 20+950.
- 10.- Frente de la 4a Derivación a la lumbrera 5, con longitud aproximada de 1333 m .

La figura 3.23 representa un croquis del trazo del Túnel No.5, que indica el avance del topo. Se deberán construir los túneles de 3a y 4a derivación de 644 m y 268 m, y el método convencional requiere construir accesos para lumbreras 3,4,5 y para el topo solo requiere como obra auxiliar la lumbrera 2.A de 90 m en cad 10+191.

3.4.-GENERALIDADES DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DE LAS LUMBRERAS No.5 Y 2-A.

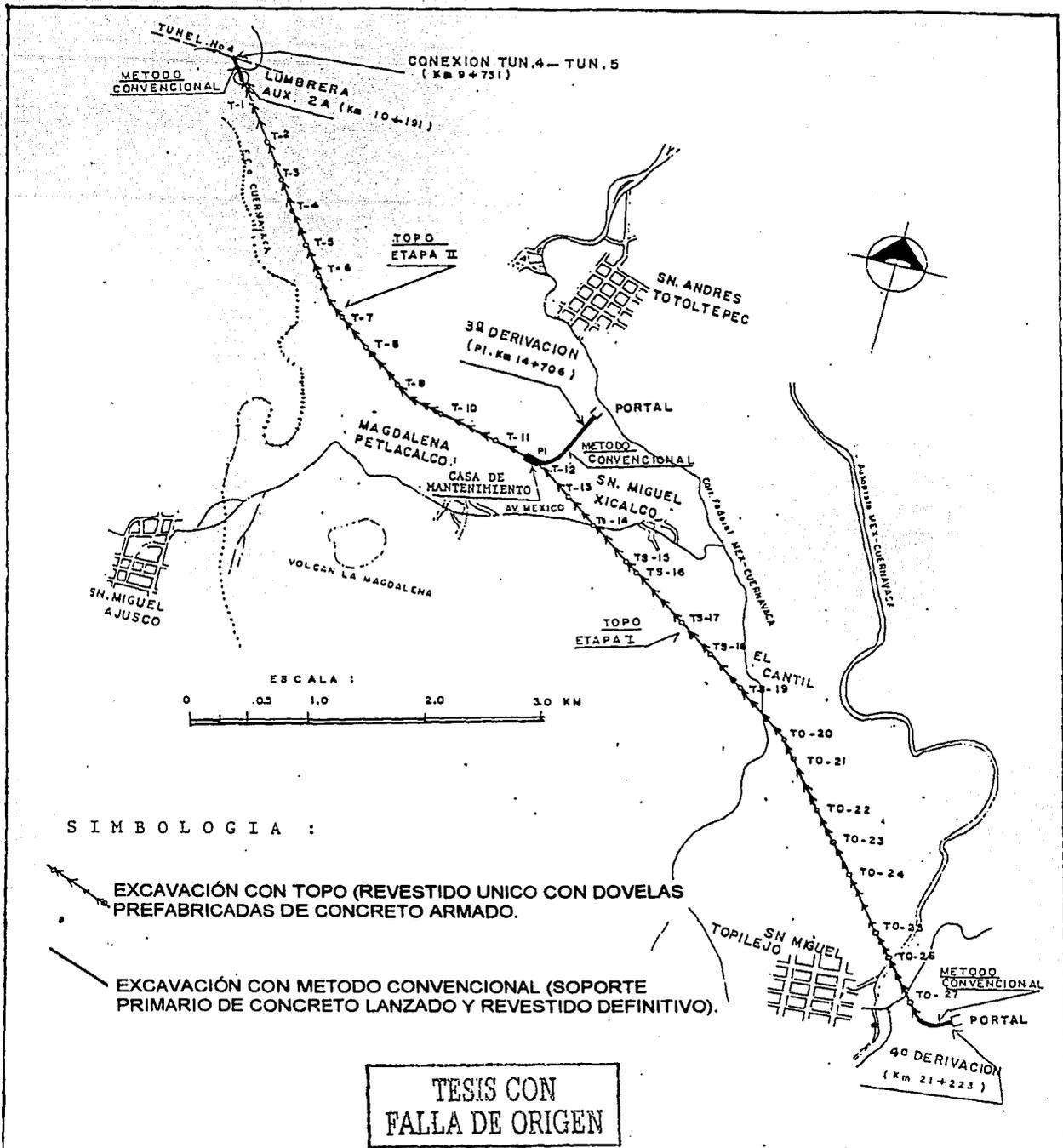
3.4.1.- Localización de la lumbrera No 5: Esta en el Cadenamiento 18+288.159, en el Km.28 de la Carretera Federal a Cuernavaca a la altura del Restaurante el Mirador, el terreno tiene cota de 2682.188, y profundidad de 36 m, más 5 m para un total de 141 m desde la superficie del terreno. Esta al Norte del poblado de San Miguel Topilejo, sin problemas de acceso y sin construcciones, el área para la plataforma de trabajo (80x80) está libre con un camino reasfaltado para su utilización, por la lumbrera se excavo 2 frentes, el primero en dirección a la Tercera Derivación, de 2537 m y el segundo frente hacia el Portal de Salida Topilejo.

3.4.2.- Excavación de la lumbrera No 5 .

La lumbrera No.5 (L-5) se aloja en una serie de rocas volcánicas, que cortará la siguiente secuencia de rocas, que muestra la tabla 3.7 siguiente:

Tabla 3.7.- Geología de la lumbrera No 5.

Profundidad	Espesor	Descripción	Unidad
0 - 30 m	30 m	Basalto Escoriáceo	(U-D)
30-56 m	26 m	Andesita con escoria	(U-2)
56-66 m	10 m	Dacita alterada.	(U-3)
66 -95 m	29 m	Dacita sana	(U-5)
95- 101m	6 m	Dacita Brechada	(U-4)
101 - 117 m	16 m	Dacita sana	(U-5)
117 - 123 m	6 m	Dacita brechada	(U-4)
123 - 145 m	22 m	Dacita sana	(U-5)



SIMBOLOGIA :

EXCAVACION CON TOPO (REVESTIDO UNICO CON DOVELAS PREFABRICADAS DE CONCRETO ARMADO).

EXCAVACION CON METODO CONVENCIONAL (SOPORTE PRIMARIO DE CONCRETO LANZADO Y REVESTIDO DEFINITIVO).

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Figura 3.23.- Esquema de los procedimientos constructivos a utilizar en el Túnel No.5 del Ramal Sur del Macrocircuito.

3.4.3.- Secuencia constructiva de la lumbrera No.5.

- 1.-El área adyacente a la lumbrera es de 80 x 80 m se despejo y excavo las terrazas y bermas.
- 2.-Construcción de las contra cunetas y cunetas, así como estabilización de taludes.
- 3.-Construcción del brocal de la lumbrera: Primero se excava una área circular de 12 m de diámetro y de 1 a 2 m de profundidad, esta profundidad va a estar supeditada al material, ya que si esta muy brechada, se opta por la mayor profundidad y si la excavación es en roca con poco brechamiento, se escogerá la menor profundidad, al terminar de excavar, se arma el fierro de refuerzo, el necesario por temperatura y se coloca la cimbra para colar con concreto $f'c = 2560 \text{ kg/cm}^2$, de tal manera que al ser retirada, el brocal deje 8 m de diámetro libre, si esta en escoria, habrá inestabilidad en la pared, y se estabilizara lanzándole concreto de $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$, en espesor de 5 a 10 cm, sin requerir de malla electrosoldada como refuerzo.
- 4.- Primera etapa de la excavación sistemática de la lumbrera: A partir del brocal y hasta unos 56 m de profundidad se excavara en la Unidad D y 2, usando explosivos, aunque como se dijo, hay intercalaciones de escoria y fracturamiento extremo en el basalto, que no es constante, por lo que el martillo de impacto se considera con reserva. El sitio de la lumbrera No.5 se ubica en el Domo del Cantil, que esta afectado por el sistema de grandes fallas regionales NE-SW, la lumbrera esta cerca de la falla Cantil-Peñon, por debajo de los 56 m de profundidad se presenta, la dacita, en sus tres unidades U-3, U-4 y U-5.

Al tener horizontes de dacita brechada o alterada U-3 y U-4, se utiliza martilló de impacto, que se instala en un traxcavo de descarga lateral, para que sea el equipo que se desplace en el fondo de la lumbrera, aunque existen otras alternativas para instalar el brazo para el martillo. la condición de esta roca, es que emplea voladura sistemática, es decir dacita sana U-5, controlada por retardos de milisegundos espesando las primeras series en la cuña y termina con la barrenación perimetral (coladura de postcorte), la barrenación perimetral, tendrá un patrón de barrenación en el que los barrenos estén separados no más de 60 cm, para evitar el bronqueamiento de la pared de la lumbrera, y la profundidad de barrenación llegara a 2.4 m.
- 5.-Sistema de Rezaga; La rezaga de material en los primeros 30 m de excavación se hizo con grúa y bote que baje sin guías, al estar rezagando se suspendió actividades del personal en el fondo y se retirara. El personal de rezaga se protege durante el recorrido vertical del bote, esta forma de rezaga es económica y rápida, pero lleva riesgo para el personal, por lo que se toma medidas de seguridad, ya que es probable que aigan filtraciones, en capas de andesita, dacita masiva y dura, se usa voladura en el área y en la cuña para abrirle caras de excavación al martillo.
- 6.-Segunda etapa de excavación sistemática: Desde los 30 m de profundidad, no se rezaga con grúa y bote libre, se instala un sistema de manteo provisional con bote guiado por cables y malacate fijo, y un elevador para el personal y material ligero, que se prolongara al avanzar la excavación, y es del tipo de cremallera, operado desde elevador y no del malacate (jaula).
- 7.- Soporte Temporal: Es a base de concreto lanzado de 10 cm de espesor y malla metálica electrosoldada de 10cm x10cm x 6.3 mm (¼"), este trabajara durante la excavación del túnel, ya que el revestimiento de la lumbrera se hizo al término de la excavación del túnel, como soporte provisional, para los bloques de roca, cuyas fracturas limitantes tiendan a darles salida se fijaron con anclas de fricción de 1" de ϕ y 3 m de longitud, en perforaciones de 2.25" de ϕ y con inyección de mortero de $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$. Con este sistema de excavación soporte temporal y manteo se llevo hasta la subrasante en la cota 2546.675, de este nivel hacia abajo y de acuerdo con el equipo de manteo que use el contratista, se excavo la alcancia para maniobrar el skip, y la profundidad de la alcancia es de 9 m bajo el nivel de la subrasante.

8.-Concreto lanzado: Al excavar se ademan las paredes de la lumbrera, con concreto lanzado de 10 cm de espesor, se pone una capa de 5 cm sobre la roca descubierta, sin polvo y seca, se coloca una malla electrosoldada de 10 cm x 10 cm x .3 mm (¼") y una capa de 5 cm espesor de concreto lanzado. El traslape de la malla no es menor de 30 cm, hecha la voladura, se pone el soporte temporal de concreto lanzado. El equipo de rezaga para llenar el bote, usa un traxcavo pequeño de descarga lateral, para retirarla después de la voladura, en unos horizontes de roca hay filtraciones, y se inyecta para estabilizar el terreno, impermeabilizarlo y sigue la excavación.

9.- Encapillado: En dirección del túnel se construirá una sección de encapillado, mas ancha que la normal de túnel, con altura de 6.4 m, el ancho depende del equipo a usar, se hará una marquesina perimetral para protección, al colar el revestimiento definitivo en el encapillado se puede alojar el tanque amortiguador para la caída del concreto y las tolvas para su recepción.

3.4.4.- Construcción de la lumbrera No .2-A.

Localización: Se localiza en el cadenamiento 10+191, con coordenadas X = 478,545,3753, Y=2,129,780, 473, con una cota de 2649.236 m,s,n,m, se ubicada en la zona del Ajusco, sin problemas de acceso y no existen construcciones que pueden ser afectadas, el área para la plataforma de trabajo (80x80m) esta libre y lo realizo la compañía CONIISA en 1990.

Dimensiones de la lumbrera 2-A: Se excavo en forma circular con ϕ de 7.2 m, la excavación del cuerpo de la lumbrera es de 7.6 m de ϕ , con 10 cm de soporte provisional y 25 cm de revestimiento definitivo, en el brocal la excavación es de 12 m de ϕ para permitir el colado.

Geología: La lumbrera 2A, se excavo en la secuencia de unidades geotécnicas, de la tabla 3.8:

Tabla 3.8.- Unidades geotecnicas de la lumbrera 2-A.

Profundidad	Espesor	Descripción	Unidad
0 - 20 m	20 m	Escoria y Basalto	(U-C)
20 - 47m	27 m	Basalto y Escoria	(U-D)
47 - 75 m	29 m	Andesita Escoriacea.	(U-1)
75 -107 m	27 m	Andesita con Escoria	(U-2)

Excavación de la lumbrera No 2 - A : Esta lumbrera cortará rocas que se clasifican como rocas duras y blandas, por lo que se emplearán métodos diferentes durante la excavación :

- a) En las rocas blandas como "tobas y escorias", sin el uso de explosivos y
- b) En las rocas duras son las "andesitas basálticas" y los "basaltos ", con uso de explosivos

La lumbrera 2-A se aloja en las Unidades U-C, U-D, U-1 y U-2, las unidades que se atravesó, en mayor o menor grado contienen capas de escoria, en que las máquinas de excavación como traxcavos y rippers martillos de impacto penetran o rompen, por lo que el procedimiento de excavación empleado se recomienda así:

Plataforma de trabajo: En área circundante a la lumbrera de 80 x80 m, se excavo terrazas y bermas y se construyo las contracunetas y cunetas, así como la estabilización de los taludes.

Construcción del brocal de la lumbrera: Primero se excava un área circular de 12 m de ϕ y de 2 a 3 m de profundidad, depende del tipo de material, en escoria, fue de mayor profundidad y en basalto denso, la profundidad fue menor. Al terminar la excavación, se armo el fierro de refuerzo por temperatura y se coloco la cimbra para colar con concreto $f'c= 250 \text{ kg/cm}^2$, y al retirarla, el brocal de 8 m de ϕ libre. El brocal en escoria, tuvo inestabilidad en la pared, y se estabilizo lanzándole concreto de $f'c= 250 \text{ kg/cm}^2$ con espesor de 5 a 10 cm sin malla electrosoldada como refuerzo y la figura 3.24 muestra un esquema de la lumbrera.

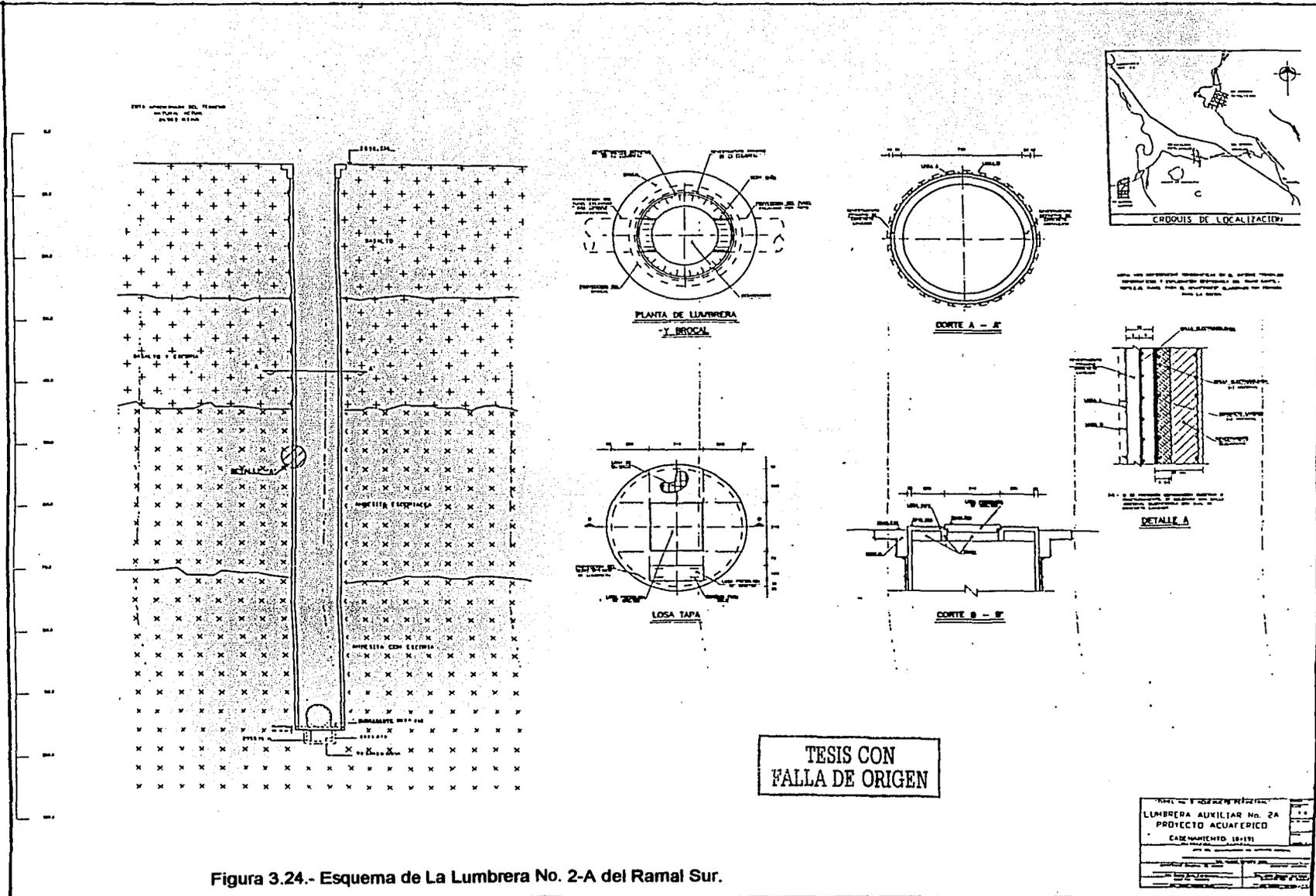


Figura 3.24.- Esquema de La Lumbrera No. 2-A del Ramal Sur.

Primera etapa de la excavación sistemática de la lumbrera: Desde el brocal y hasta 30 m de profundidad, se excava en la Unidad C, que tienen más escoria, es seguro que se evita el uso de explosivos, si se utiliza, será en sitios puntuales, donde se engruesa alguna capa de basalto, que presenta baja resistencia a la compresión simple, ya que no excede de 450 kg/cm^2 , pero hay varias muestras debajo de ese valor.

La baja resistencia, se debe a un microfracturamiento por contracción de rápido enfriamiento de la lava, permitiendo utilizar en la excavación con ventaja económica y de rapidez, al martillo de impacto, instalado en un traxcavo de descarga lateral que se desplaza en el fondo de la lumbrera, ya que será tanto el equipo rompedor como el rezagador, como no habrá voladura no necesita ser retirado del fondo, y hay más alternativas para instalar el brazo para el martillo.

Sistema de rezaga: La rezaga de material se hace con grúa y bote que baja libre sin guías, al rezagar se suspende la actividad del personal en el fondo, se retirara y protege al izar el bote, es económica y con lleva riesgo para el personal si no se retira, por lo que se toma medidas de seguridad. Como no hay agua en la excavación, el riesgo es menor, en el basalto grueso, se uso voladura en el área o solo en la cuña para abrirle caras de excavación al martillo de impacto.

Segunda etapa de excavación sistemática: Desde los 30 m de profundidad, ya no se rezaga con grúa y bote libre, se instala un sistema de manteo provisional con bote guiado por cables con malacate fijo, y un elevador para personal y material ligero, que se prolonga al avanzar la excavación, el elevador será de tipo de cremallera y no malacate fijo, se opera desde el elevador, el sistema de soporte provisional es a base de concreto lanzado de 10 cm de espesor y malla metálica electrosoldada. Como soporte provisional, para bloques de basalto con fracturas que de salida, se colocarán anclas de fricción de 1" y de 3.0 m de longitud en perforaciones de 2.25" de diámetro, y con inyección de mortero de $f'c=150 \text{ kg/cm}^2$. Con este sistema de excavación y manteo se llegará hasta la subrasante en la cota 2554.469.

Concreto lanzado: Al ir excavando, se ademan las paredes de la lumbrera, utilizando concreto lanzado de 10 cm de espesor. Primero se coloca una capa de 5 cm, sobre la roca descubierta, que esta libre de polvo y seca, luego se coloca una malla electrosoldada de 10 cm x 10 cm x 6.3 mm ($\frac{1}{4}$ ") y por último una capa de 5 cm de espesor de concreto lanzado.

Voladuras en basalto: Para excavar la lumbrera en roca dura, a profundidad de 50 m donde se corta andesita escoriacea y andesita con escoria (U-1 y U-2) se hizo de la siguiente manera: Barrenación del fondo de la lumbrera con avance de 0.80 m y 1.2 m de profundidad. Previo a la voladura en el fondo, saldrá el personal, se saca el equipo de excavación y rezaga a la superficie, el patrón de barrenación se diseña según la roca y equipo de construcción, pero se usa voladura controlada con estopines de retardo, siendo la barrenación perimetral al final, hecha la voladura, se puso ademe de la lumbrera a base de concreto lanzado, el equipo de rezaga empleado, es el mismo para la excavación en tobas y escorias. En horizontes de roca habrán filtraciones, pero no se considera necesario inyectar para estabilizar el terreno, solo impermeabilizarlo para continuar excavando y al llegar a la clave del túnel, si es necesario, se armará un marco de acero que sirva para apoyar las instalaciones de manteo.

Encapillado: En esta lumbrera no fue necesario el encapillado, ya que el diámetro libre de la lumbrera deja espacio para retirar el cabezal del equipo, ya sin el cabezal el equipo sigue empujándose con los gatos para salir a una plataforma donde puede ser "ayudado" para ser colocado en posición para ser izado. El conjunto de grúas para esta operación debe tener una capacidad superior a las 200 ton. Al nivel de la subrasante se coloca una plantilla de concreto de $f'c= 150 \text{ kg/cm}^2$ de 15 cm de espesor, de tal forma que en la zona del fondo de la lumbrera, el revestimiento del túnel tenga continuidad con la plantilla y el revestimiento temporal en toda la sección transversal.

Obras Complementarias: Como obras complementarias del Túnel No 5, tenemos la 3ª , 4a Derivación y 3-A, que van a tener una plataforma de maniobras y tajos de acceso al túnel.

3.5.- GENERALIDADES DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA TERCERA DERIVACIÓN.

Localización: Esta derivación se intercepta con el túnel No 5 en el cadenamiento 14+637.612 con una longitud de 643.64 m al oriente, con una salida en la Casa de Tlalpan, alrededor de la población de San Miguel Xicalco, que es el cadenamiento 0+000 y el 0+643.67 es el portal de salida. La derivación empieza en un portal excavado en cajón, el portal y túnel son 234 m en la unidad C, la unidad 1 va del 0+409 al 0+204 y la U2 desde este último al túnel No.5 (0+000).

Como la escoria esta en corte vertical, con sondeos se detecto capas de andesita fracturada de 3 m, y se clasifico la unidad como "mala" (RMQ) y extremadamente mala (Q) y el frente inclinado se desarrolla en la siguiente secuencia:

1.- Aflojamiento y retiro de escoria manual ó mecánicamente en 1.5 m, para definir la geometría de la bóveda, con talud inclinado de 60º, para dar autoaporte al material del frente.

2.- Aplicar capa de concreto lanzado de 5 cm, en la bóveda y áreas laterales, si hay inestabilidad en el frente se aplica otra capa de concreto de 3 cm.

3.-Retirar escoria y si hay andesita resistente, se usa martillo rompedor en brazo hidráulico, ó explosivos para fragmentar la roca al tamaño de rezaga.

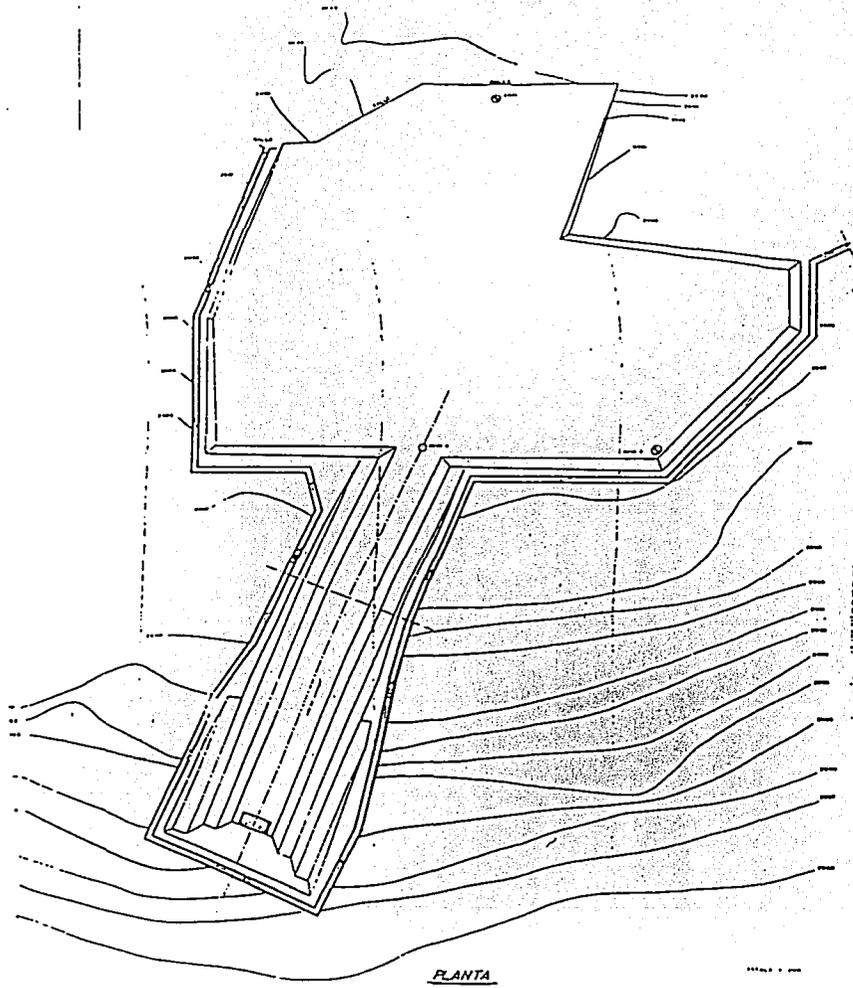
4.-En el tramo anterior, se coloco malla electrosoldada de 10 x10 x 6.3 mm (1/4), cubierto de 5 cm de concreto lanzado, el soporte se revisa y si hay sobrecarga, como deformación o fractura y dependiendo de la gravedad se toman medidas congruentes.

5.- Como el tiempo de autoaporte es limitado, escurrirá material antes de alcanzar avance de 1.5 m, si la estabilidad del material hace excavar 1 m de túnel por ciclo se toman procedimientos alternativos. En la excavación hubo un taller para fabricar IPR de 17.9 kg-m para un ademe primario del túnel, el control de deformaciones se basa en mediciones de linea de convergencia - divergencia se interrumpió por el movimiento del túnel, los explosivos ayudan a mover tierras, a realizar volados o tronadas y en este caso se utilizo para construir los tajos de la 3-A y 4a Derivación, y no se opuso la población, pero en la 3a Derivación, no se utilizaron por oponerse la población y la figura 3.25 nos muestra un esquema de lo que es la plataforma y portal de la tercera derivación, así como dos secciones una longitudinal y una transversal de la plataforma.

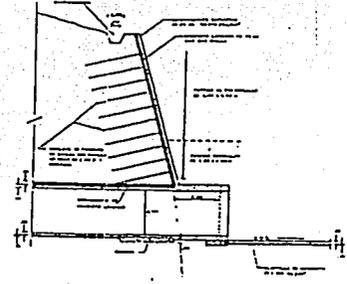
3.6.- GENERALIDADES DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA CUARTA DERIVACIÓN EN EL CADENAMIENTO 20+950 COMO ACCESO PARA LA MÁQUINA TUNELERA "TOPO".

En el Sondeo TO-27, del cadenamiento 21+046.5, el proyecto hidráulico requirió una derivación, obligando a construir el túnel, como parte del arranque del topo, la derivación es de 268 m, interceptando al trazo del túnel No.5 en el cadenamiento 20+954, sitio donde termina la Cuarta Derivación. Aquí se excavo el túnel No.5, el frente avanza hacia el noroeste para llegar a la Lumbra 2-A en el cadenamiento 10+191. El proceso de la Cuarta Derivación se planeo con sistema convencional, hasta la unión con el trazo del túnel No.5, donde empieza la excavación y revestimiento definitivo con la máquina tunelera, en el revestimiento, se apoya el topo para autoavanzar y colocarse en posición de excavar y revestir desde el cadenamiento 20+ 954.

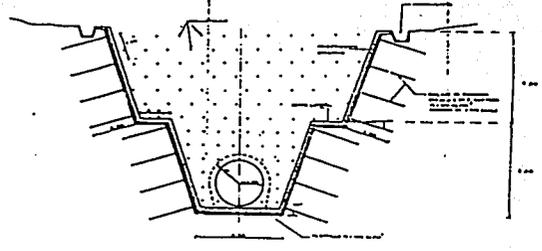
3.6.1.- Plataforma de la cuarta derivación: Previo al emportalamiento, excavación y revestimiento de la Derivación se hizo la plataforma para instalaciones y maniobras, es de 100 x 100 m, en un corte en cajón para el acceso al túnel, que se desplaza al sureste de la plataforma. El



PLANTA



SECCION LONGITUDINAL



SECCION TRANSVERSAL

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

PLATAFORMA Y PORTAL	
TERCERA DERIVACION	
ESTACION 1+000	
AÑO 1958	
PROYECTADO POR	ING. J. GARCIA
REVISADO POR	ING. J. GARCIA
APROBADO POR	ING. J. GARCIA
FECHA	1958

Figura 3.25.- Esquema de la plataforma y portal de la Tercera Derivación.

corte tuvo pendientes laterales de 1:3 y frontales de 1:2, los anchos de corte a los hombros van desde 16 m en su parte más angosta frente a la plataforma de trabajo y 25 m de ancho arriba del portal de entrada, el ancho de plantilla es de 6 m, se relleno con derrames de basaltos andesíticos escoriáceos Cuaternarios de la Sierra de Chichinautzin, sobre estos se desarrollo suelos de poco espesor, para excavar se considero roca y escoria, se quito con martillo de impacto, el espesor de la unidad es de 7 a 25 m, la figura 3.26 muestra un esquema de la Derivación.

3.6.2.- Sistema constructivo para la plataforma de operaciones para la Cuarta Derivación.

El esquema constructivo del túnel No.5, con excavación y revestimiento, dice que se excavara con Topo en la Cuarta Derivación en Topilejo, y saldrá en la Lumbrera 2-A, construyendo 10.673 m de túnel, del cad 20+954 al 10+191. El topo inicia por la Cuarta Derivación y sus actividades en el área de acceso durante la fabricación de la máquina tuneleadora serán las siguientes :

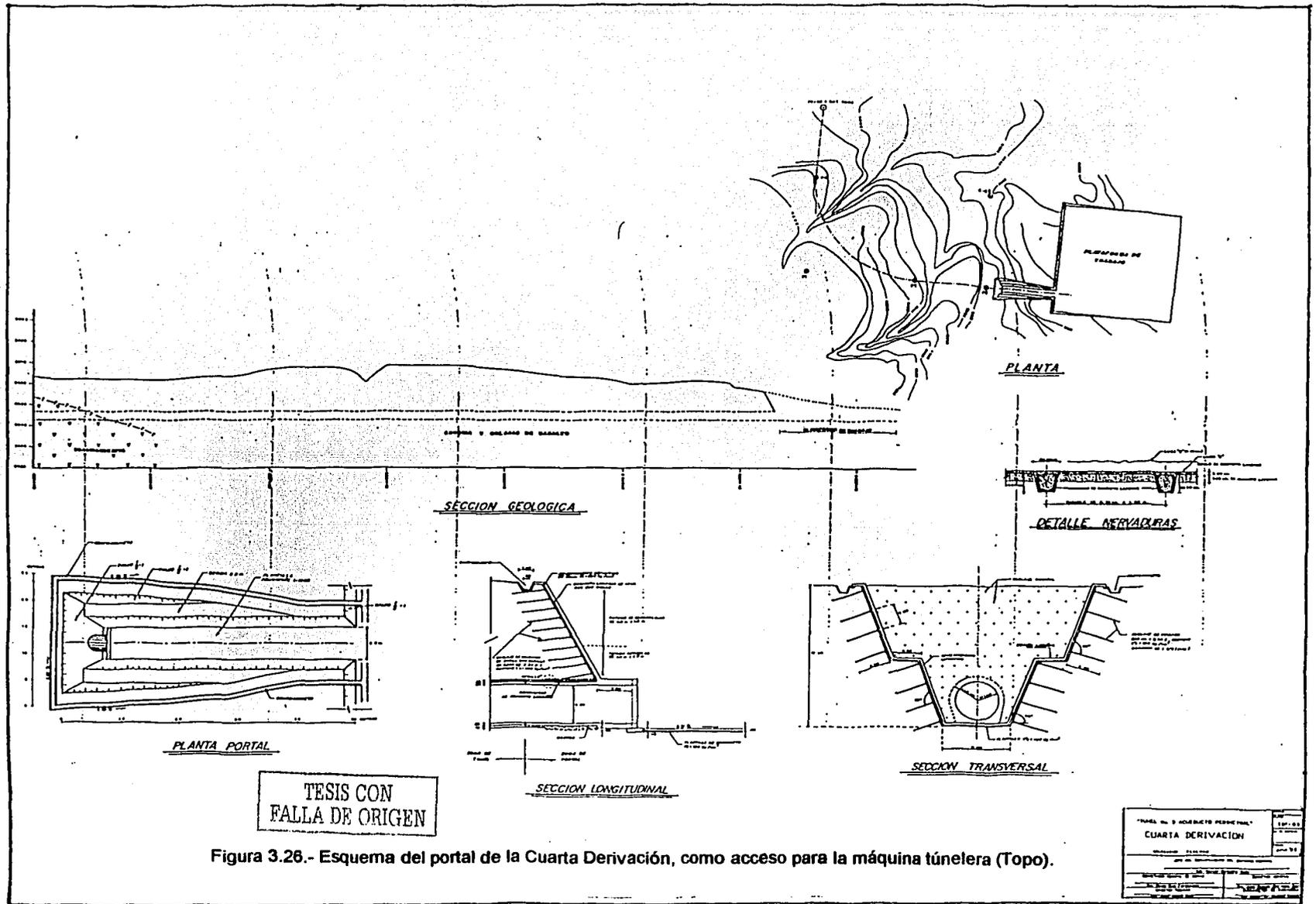
- 1.- Camino de Acceso, inicia en la Carretera Xochimilco Topilejo, con superficie de rodamiento de 7.2 m de ancho y pendiente máxima de 6.5%.
- 2.- Corte y relleno en roca de una área mínima de 80 m x 80 m .
- 3.- Instalar subestación para suministro de energía eléctrica al topo y a los servicios.
- 4.- Construir almacén de refacciones del topo, sistema de apoyo, cortadores y suministros eléctricos; área de 1800 m².
- 5.- Construir taller mecánico - eléctrico para mantenimiento y reparaciones del equipo (40 m x 40 m), instalar grúa viajera para 10 ó 15 ton, para mantenimiento y reparación de piezas de la máquina, no para su armado, que se hará con grúas móviles.
- 6.- Construcción de oficinas, comedor, servicios, dormitorios y casetas de vigilancia.
- 7.- Emportalamiento por sistema convencional en roca (escoria y basalto).
- 8.- Excavación con sistema convencional del túnel de acceso de 340 m de longitud.

3.6.3.- Dimensiones de la Cuarta Derivación: Por esta Derivación entro el topo armado y con sus medios impulsores llevo al cadenamamiento donde inicio su avance, la sección final de la derivación es circular de 3.6 m de ϕ , dando paso del topo. El espesor del revestimiento hidráulico es de 25 cm, y el del soporte temporal es de 10 cm en basalto y 20 cm en escoria en la bóveda.

3.6.4.- Longitud del túnel de la cuarta derivación: Es de 340 m, que recorre el topo apoyado con sus gatos laterales y de piso contra el revestimiento definitivo, los primeros 120.5 m, son rectos del cad 21+223.77 al PT=21103.27, inicia curva de radio de 100 m, hasta el cadenamamiento 0+954.20, donde termina la curva, sigue recto por el trazo del túnel No.5 en 70 m en el domo traquiandesítico de Topilejo, donde arranca la excavación mecanizada del topo. El túnel es acceso para la excavación con máquina tuneleadora, que permitirá el paso de la máquina armada, con diámetro mayor de 3.2 m que es el hidráulico y 3.8 m del gálibo que da paso del escudo del topo.

3.6.5.- Geología del túnel de la Cuarta Derivación: El túnel inicio en un portal excavado en el fondo de un corte en cajón de 45 m, el portal y el túnel están en andesita basáltica de unidad C, se tomo 340 m de longitud de excavación y revestimiento. Los porcentajes de recuperación fueron entre 80 y 100%, con valores de RQD. La escoria esta en fragmentos subangulosos de tamaño variable (2 a 20 cm) sueltos ó soldados, por su rugosidad tiene un ángulo de fricción alto (50°), y el ángulo de reposo del material es (70°), y la escoria no dio problemas de inestabilidad en el frente de excavación aunque el espesor pase 2 m, las filtraciones son importantes en temporada de estiaje y en época de lluvia hay filtraciones, ya que la escoria es permeable.

3.6.6.-Excavación para la apertura del Portal de la Cuarta Derivación: Terminado el anclaje del área del portal se excavo una ranura con martillo de impacto, de forma perimetral del túnel, con límite exterior la línea A y ancho de 60 cm, la profundidad fue de 50 cm, la ranura se abre de la clave del túnel hacia las partes inferiores, al avanzar la excavación se lanzo concreto, para que no



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura 3.26.- Esquema del portal de la Cuarta Derivación, como acceso para la máquina túnelera (Topo).

"INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS"	
CUARTA DERIVACION	
PROYECTO	ESTRUCTURA
FECHA	ESTADO
AUTOR	
REVISOR	
APROBADO	

prograda la sobreexcavación, el concreto se lanza contra la superficie de la Línea A y el frente del túnel, el espesor del concreto lanzado en el techo del túnel y la ranura es de 5 cm, la primera capa es de sello. Luego de 12 horas de terminada la primera fase, se inició la segunda, se abrió la ranura, en paredes inferiores del túnel, de igual dimensiones que la sección superior y se le lanzó concreto, terminada la fase se colocó la primera nervadura de varillas corrugadas, y se apoya en el piso en una plantilla de 5 cm de espesor de concreto, y se posesiona dentro de la ranura.

Se alinea con barrenaciones colocadas con rotomartillo y se le lanza concreto para rellenar el volumen interior de las varillas y recubrirlas exteriormente con 3 m de espesor, los marcos son de 4 varillas del No 6, con estribos a cada 25 cm del No.4, los traslapes entre secciones de marcos son de 45 cm y se hacen con amarres de alambre, hecho el "marco" de concreto lanzado "nervadura", se tiro el núcleo central de material de la ranura, y se avance ½ m protegido con anclaje frontal y con la primera nervadura, es el sistema de emportalamiento, con adaptaciones del sitio de acuerdo a las condiciones del terreno, y el ciclo avanza 50 cm, se repite el ciclo para darle espacio a la segunda nervadura, y en las siguientes la ranura fue de 1 m a 1.2 m de ancho.

Una alternativa a la nervadura o marco de concreto lanzado es el marco metálico (MM) pero antes de colarlo se le aplica el sello de concreto lanzado, es más difícil de colocar el marco metálico por su peso y rigidez, que los tramos ligeros de marco de varillas, necesito retaque de madera para garantizar su apoyo contra la pared de atizadores y separadores convencionales en el soporte, mientras más lenta sea la colocación del soporte provisional se produce mas aflojamiento de escoria en la bóveda y sobre excavación, pasando a "enuhacalados". Al combinar marcos metálicos y concreto lanzado, se instala soporte sobrado para solicitudes en el material. Aunque se instale soporte con nervadura en forma sistemática en algún otro tramo del túnel, una vez sistematizado, es simple y rápido de instalar que el marco metálico. La figura 3.27 muestra la colocación de marcos metálicos en terreno de escoria de baja resistencia.

El sistema de frente inclinado se desarrollo en la secuencia que a continuación se describe :

- 1.- Se retiro escoria con equipo manual y/o mecánico en 1.5 m dando la geometría de la bóveda, dejando talud inclinado 60° para dar autosoporte al material del frente.
- 2.- Se aplicó 45 cm de concreto lanzado en la bóveda y áreas laterales, con inestabilidad en el frente, se le puso otra capa de concreto lanzado de 3 cm.
- 3.- Se retiro escoria y capas de andesita con martillo rompedor montado en brazo hidráulico, o explosivos para fragmentar la roca.
- 4.- En el tramo anterior, se coloca malla electrosoldada de 10 x 10 x 6.3 mm (¼") que se cubre con 5 cm de concreto lanzado, en el punto el tratamiento es en la sección completa cerca del frente como la actividad lo permita, el soporte se inspecciona por si hay sobrecarga, como deformación y se le pone una segunda malla y se cubre con concreto lanzado.
- 5.- Con el tiempo de autosoporte limitado, se presenta escurrimiento de material antes de alcanzar avance de 1.5 m.

Se coloca tablaestaca metálica con barrenancias de varillas de acero de ϕ de 2.54 cm, con espacios de 0.80 m centro a centro y dirección de 15° cubriendo media sección superior. La varilla será de 3 m, y se coloca a 1 m de avance, desplazando las barras la mitad del espacio con respecto a la sección anterior, para tener separación de 0.40 m en un tramo . Colocada la línea de tablaestacas, se retira la escoria con herramientas de mano y si hay un frente mixto, se fragmenta la andesita con martillo de impacto, montado en un brazo hidráulico. Las figuras 3.28, 3.29 y 3.30 dan una idea de cómo queda colocada la tablaestaca metálica, con ayuda de la varilla metálica en el interior del túnel.

El 1 m en la sección superior, el material de la bóveda no falla causando sobreexcavación importante. Inmediatamente se coloca una capa de concreto lanzado de 3 cm de espesor y luego

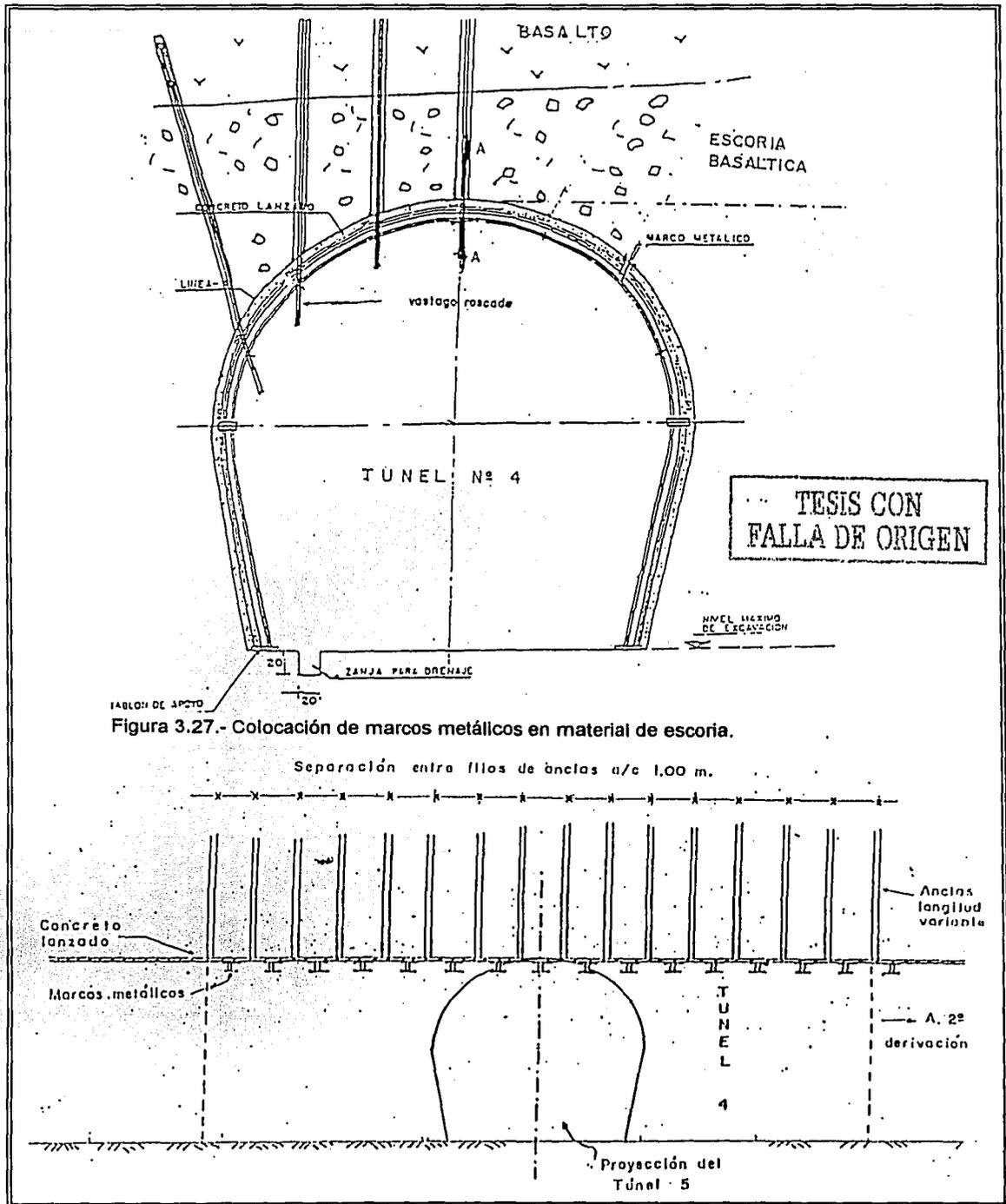


Figura 3.28.- Esquema que muestra la ubicación de anclas y marcos metálicos en el interior del túnel, revestido de concreto lanzado.

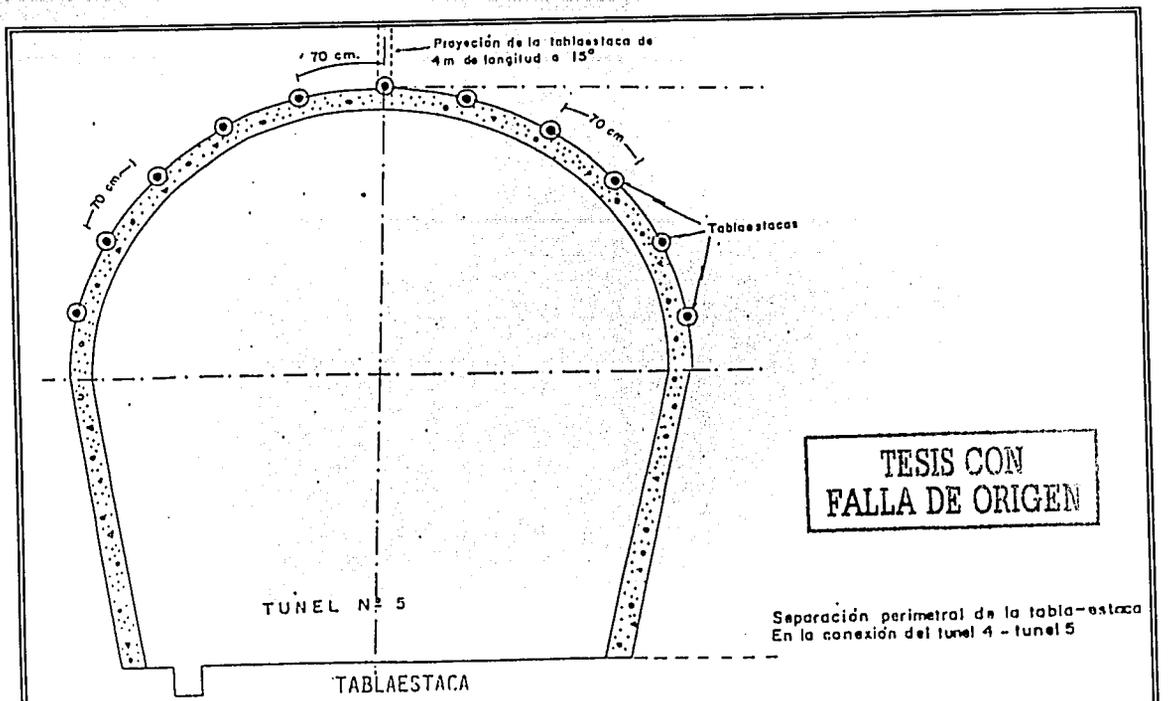


Figura 3.29.- Esquema que muestra la separación de la tabla-estaca en una sección de un túnel.

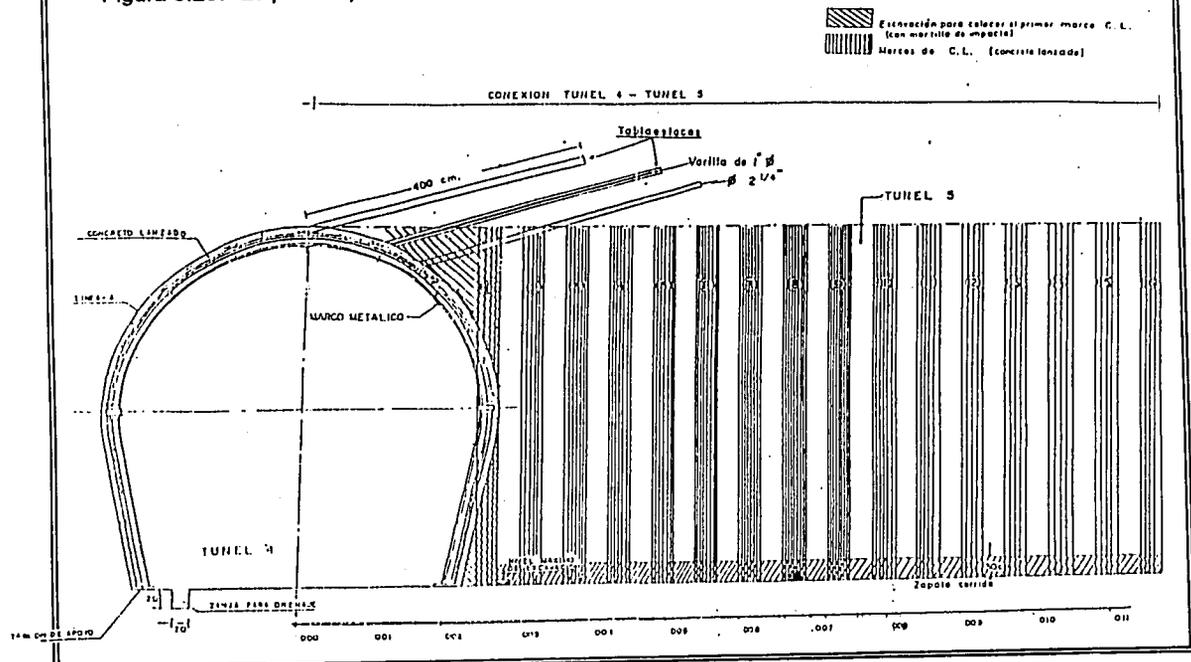


Figura 3.30.- Esquema que muestra el tablaestacado para el emportalamiento de un túnel.

la siguiente línea de tablaestacas. Se eliminará el material remanente en la media sección inferior y se cubrirá con concreto lanzado de 3 cm y se reforzará toda la sección con una segunda capa de 3 cm. Cuando la excavación convencional llega al domo de traquiandesita, y pase el contacto a 340 m del portal, se construirá el túnel de arranque del topo, que es una excavación de 12 a 13 m de longitud, en un diámetro de 4.2 m, para reemplazar los apoyos de concreto de 30 cm de espesor, donde se apoyarán los gatos laterales e interiores del topo.

3.7.-GENEALIDADES DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA DERIVACIÓN 3 - A.

3.7.1.- Procedimiento de excavación del tajo de la Derivación 3-A: El equipo utilizado en la perforación, demolición y rezaga del material para la construcción de este tajo fue una retroexcavadora, vagonetas, tractores y cargadores frontales. El equipo de barrenación utilizado para construir la plantilla fueron explosivos, y también se uso para demoler la colada de basalto de 2 m de espesor.

La carga de explosivos en barrenos para la excavación en banco del tajo de la derivación 3-A no fue problemática ya que no se encontraban construcciones cercas. Entre el equipo de excavación del tajo habían compresores, plantas generadoras, Track Drill y equipo dosificador con aliva para el concreto lanzado. El equipo integral para el lanzamiento de concreto en los taludes del tajo, cuenta con tolvas de agregados, cemento y aliva para el lanzamiento. La malla electrosoldada en taludes del tajo, fue colocada sobre la primera capa de concreto lanzado, que posteriormente se tapa con la segunda capa de concreto lanzado.

En el emportalamiento del túnel en frente mixto compuesto por una colada de basalto y escoria volcánica, se usó soporte con varillas llamadas jaulas de ardilla. Se colocó madera en el perímetro exterior del marco metálico en forma de herradura, posteriormente se lanzó concreto lanzado para amacizar el ademe, se rezago y amacizo el frente de excavación después de detonar los explosivos, durante el emportalamiento del túnel. Es necesaria la colocación y carga de plantilla de explosivos para la excavación de libradero. Las instalaciones de agua y aire son imprescindibles para el proceso de excavación por el método convencional y esto también lo podemos observar en la figura 3.30. El soporte provisional de la clave del túnel en el ciclo de excavación con explosivos, se hace mediante hincado de varillas y canales de 3 a 4 m de largo, después de preparar la superficie para colar la plantilla del túnel con concreto de $f'c=150 \text{ kg/cm}^2$.

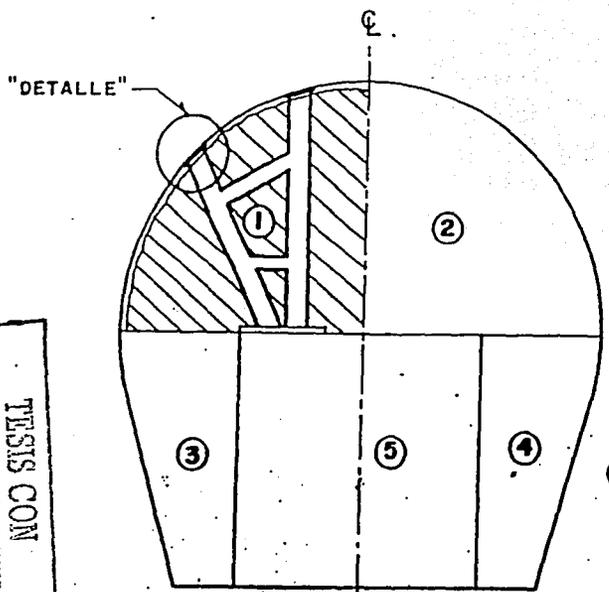
3.7.2.- Método constructivo en las unidades geotécnicas.

1.-Túneleo Convencional en U-3: De acuerdo con la estructura geológica que se determinó en la Unidad U-3 se presenta como la capa exterior de los domos del Cantil y Topilejo, tratándose de dacitas y traquiandesitas alteradas y suaves, esta condición se relaciona con una exposición a la intemperie y flujo de agua sobre las laderas expuestas del domo en otros tiempos, factor que perjudica las condiciones de estabilidad para efecto de tuneleo y las clasificaciones semiempíricas califican esta unidad de "regular a muy mala". La longitud del túnel en esta unidad es muy corta, de 10 a 20 m para cada cruce de U-3 y lo podemos observar en el detalle de la figura 3.31.

La roca se fragmenta con explosivos y con alteración con un martillo de impacto montado sobre un brazo hidráulico; será suficiente emplear herramienta de mano en zonas de arcilla. Esta zona brechada con arcilla tiene espesor de 2 m, las combinaciones de arcilla y filtraciones requiere de acciones de captación y encauzamiento del agua y colocación de soporte para evitar que sea un frente conflictivo, se debe tener disponible el equipo, material y personal que el procedimiento constructivo implica, para evitar fallas progresivas de los materiales.

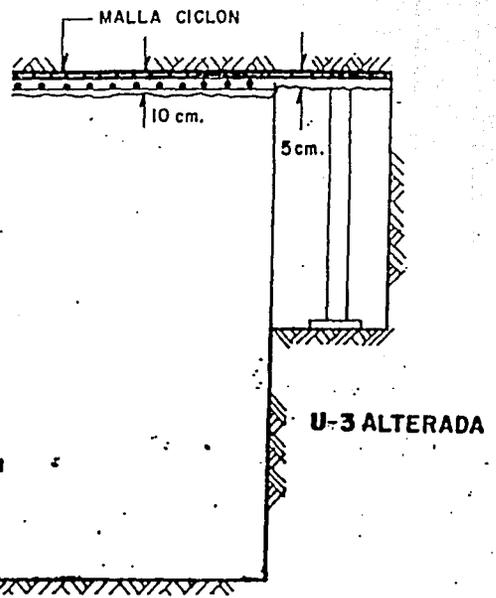
Las actividades fueron las siguientes:

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN

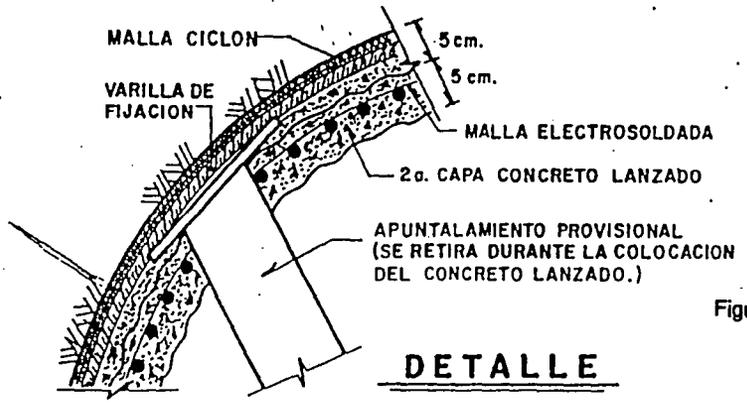


VISTA FRONTAL DEL TUNEL

① A ⑤ ETAPAS DE EXCAVACION Y RECUBRIMIENTO.



VISTA LATERAL POR E DEL TUNEL



DETALLE

Figura 3.31.- TUNELEO CONVENCIONAL EN U-3 MUY ALTERADA (ARCILLA)

a) Si el frente se excava en traquiandesita alterada, se hará con voladura de post-corte en la media sección superior, con longitud de barrenación de 2 m, en algunos tramos la alteración hace posible excavar con martillo de impacto, dando ventajas constructivas como:

Controlar las filtraciones para dejar "seca" la superficie que recibirá el concreto lanzado

Lanzar la primera capa de concreto de 5 cm de espesor.

Fragmentar y rezagar la media sección inferior.

Controlar y encauzar las nuevas filtraciones, si las hubiera.

Terminar el lanzamiento de la primera capa de paredes.

Continuar con otro ciclo de excavación y lanzamiento para otro tramo de 2 m.

Repetir las operaciones hasta dejar excavado y revestido con 5 cm de concreto lanzado un avance total de 8 m y colocar una malla de 10 cm x 10 cm x 6.3 cm (1/4") en toda la sección y cubrir con 5 cm de concreto lanzado en muros y bóveda.

b) Si el frente de excavación es arcilla o combinación de roca suave y arcilla el procedimiento deberá modificarse como se indica:

Reducir longitud de avance a 1 m y limitar la remoción del material a 1/4 de sección superior y colocar malla ciclón, posicionándola con anclas cortas introducidas a golpe, si es traquiandesita suave con una barrenación, si es dura, las anclas serán varillas de ϕ de 1.27 cm (1/2") colocadas transversalmente al túnel para que mantenga a la malla siguiendo la geometría de la bóveda y cubrir la malla con 5 cm de concreto lanzado, de igual forma para el otro 1/4 de sección superior.

Colocar en la media sección superior una malla electrosoldada de 10 cm x 10 cm x 6.3 mm (1/4") y lanzar una segunda capa de concreto de 5 cm.

Ranurar en ambos lados de la media sección inferior hasta nivel de plantilla, colocar malla ciclón y cubrir con 5 cm de concreto lanzado.

Retirar el material restante para despejar la sección completa, colocar la malla electrosoldada y aplicar concreto lanzado en toda la sección, hasta alcanzar 10 cm de espesor total.

Mantener en todo momento el control de filtraciones como se mencionó para la opción (a) y una vez terminada la colocación del revestimiento provisional, mantener una vigilancia o inspección para robustecerlo a 15 cm o 20 cm con una segunda malla, si hay agrietamiento.

La condición (a) se presenta en el macizo rocoso del Cantil, la (b), es probable en el macizo rocoso de Topilejo, aunque parece una combinación para zonas con gran fracturamiento y flujo de agua, por lo que su extensión debe ser limitada a 6-10 m, dentro de los 20 m o 30 m de espesor que constituyen la U-3. Esta unidad plantea aplicar un soporte inmediato en la media sección superior y la ejecución de voladuras poco tiempo después de aplicar el concreto lanzado, con posibilidad de que se cause fracturamiento en éste. Una concentración de explosivos en barrenos de ϕ de 32 mm es de 0.65 kg/cm², es decir que la carga en un barreno de 2.0 m será de 1.2 kg, utilizando estopines con microretardo, el efecto de la voladura será el correspondiente a la carga.

3.8.- GENERALIDADES DE LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES UTILIZADOS EN EL RAMAL SUR.

3.8.1.- Especificaciones para la elaboración del concreto: Establecer requisitos que cumplen materiales y procedimientos de elaboración y aplicación del concreto lanzado que sirve con los anclajes de refuerzo como soporte de la roca de las excavaciones y para proteger superficies expuestas al intemperismo,

Materiales: Los materiales que forman concreto lanzado son una mezcla de cemento Portland arena, grava, no mayor de 3/4", agua y un aditivo acelerante para elaborar concreto lanzado.

Cemento: Al iniciar la obra se efectuaran ensayos de calidad, análisis físicos y químicos de diferentes marcas de cementos, que se consigan cerca de la obra, (el cemento que se utilizará es el tipo I, o de norma C-2), que cumplirán con la calidad especificada en Normas Oficiales

Mexicanas, NOM C-1 ó NOM C-2, (ASTM C -150 en el tipo que corresponda), el cemento Portland-puzolana cumplirá con los requisitos del tipo IP, según norma (585), al usar agregados confirmados como efectivos con los álcalis del cemento, el cemento Portland que se usa tendrá un contenido de álcalis totales no mayor de 0.60% expresados como Na_2O . Si se emplea cemento Portland puzolana, la puzolana deberá absorber satisfactoriamente dicha reacción. Como se ha considerado en la especificación ASTM C-168, al realizar los trabajos se hace ensayes, el número depende del volumen que se use, generalmente se acostumbrara ensayar una muestra al mes.

Agregados: La arena y grava que se utilizarán para formar el concreto lanzado, deberán obtenerse de bancos naturales o por trituración de rocas. Las partículas deberán ser duras y sanas, capaces de resistir sin fragmentarse los efectos del impacto a la velocidad del lanzado. La calidad de la arena y grava deberán cumplir con la especificación ASTM C-33.

Los agregados no deben reaccionar con los álcalis del cemento, si los agregados provocaran una expansión excesiva en el concreto por la reacción con el cemento, deben desecharse a menos que se apliquen medidas correctivas, previa aprobación de la resistencia de la obra, aplicando los procedimientos establecidos en el apéndice de la especificación ASTM C-33. No se usarán agregados ligeros cuya densidad, en condición de saturada y superficialmente secos, sea menor de 2.2, tampoco se empleara grava cuya proporción de partículas planas y/o alargadas, determinados por el método de prueba CRD C119, exceda del 20% en peso.

Agua de mezclado: El agua de mezclado deberá ser potable. Cuando el agua que se pretenda usar no sea potable, se elaborarán 2 mezclas comparativas de mortero, siguiendo el método de prueba ASTM C-109, dichas mezclas serán idénticas, excepto por la procedencia del agua. En la mezcla de pruebas testigo se usará agua destilada, Si considera que el agua estudiada es aceptable cuando sus especímenes produzcan a 7 y 20 días, resistencias a compresión mayores de 90% de las correspondientes a los especímenes elaborados con la mezcla testigo conforme al criterio establecido en el código ACI-318 y además que los tiempos de fraguado inicial y final, no difieran más de 60 minutos.

Aditivos acelerantes: Deberá emplearse un aditivo que garantice en el concreto lanzado una resistencia de 90 kg/cm^2 , a las 24 horas, que cumpla con sus características de la norma ASTM C-266 en los siguientes requisitos:

- Tiempo de fraguado inicial (máximo) 3 minutos y tiempo de fraguado final (máximo) 12 min.
- Resistencia a la compresión simple de la pasta, a una edad de 8 horas, en cubos de 5 cm de lado 60 kg/cm^2 (mínimo).

Si algún aditivo no satisface uno de los requisitos anteriores y el contratista demuestra que con él se puede obtener las resistencias específicas en el concreto lanzado, se autorizara su uso. Los aditivos a usarse serán compatibles tanto con el cemento como con los agregados pétreos, antes de usarlo deberá aprobarlo la supervisión. El aditivo seleccionado para acelerar el fraguado del concreto lanzado, no debe contener cloruro de calcio u otra sustancia que perjudique las propiedades del concreto, a corto o largo plazo, el proporcionamiento del aditivo se ajustara más suave, con tendencia a disgregarse en presencia de agua fluyente.

Esta unidad fue cortada por los sondeos en la parte superior del domo del Cantil, por lo que se presentará en los contactos de los macizos rocosos, esta unidad tiene espesor de 10 m y se presentará a una profundidad entre 56 y 66 m. Presentará valores de RQD menores al 20% lo que la clasifica como una roca de "mala" calidad. Se espera que por ser un contacto entre unidades aigan filtraciones de agua seca, el cual consiste en mezclar perfectamente el cemento, los agregados y el aditivo, para introducir la mezcla resultante en un recipiente y de éste conducirla neumáticamente a través de una manguera hasta la boquilla de expulsión, añadiendo en la boquilla misma el agua de hidratación antes de lanzar la mezcla.

Después se someterán a los ensayos de preconstrucción que más adelante se especifican, de los resultados emanaran los ajustes necesarios y la aprobación del proporcionamiento propuesto, el diseño de la mezcla se ajustara a las especificaciones, la proporción de cemento - agregado, en peso, estará comprendida entre 1:3.5 y 1:4.5, la relación agua-cemento deberá ser tal que logre en el material colocado una consistencia estable lo más húmeda posible. La condición anterior se detecta si la superficie del concreto fresco es uniforme, libre de bolsas, huecos y otros defectos, como un lustre de humedecimiento ligero. El contenido de humedad de la mezcla en seco, se mantendrá entre el 3 y 8% de peso, se recomienda verificar frecuentemente la humedad.

Concreto hidráulico: El revestimiento definitivo del túnel es concreto hidráulico reforzado con una doble parrilla dimensionada para tomar los cambios de temperatura. Como la función final del túnel será la conducción de agua potable para el D.F, adquiere especial importancia la calidad del revestimiento definitivo para asegurar tanto su buen funcionamiento hidráulico como su perenidad, es necesario tener un laboratorio de control de calidad, cercano a frentes de trabajo, que efectúe las diversas pruebas que señalan las especificaciones oficiales (NOM, ASTM, ACI) en vigor, con el fin de corregir pertinentes que eviten demoliciones y atraso en el programa.

Transporte: El concreto fresco será conducido a la bomba de forma que no se presente derogación, pérdida de agua, o cualquier fenómeno que pueda cambiar las propiedades tanto de la mezcla fresca como del concreto fraguado. La bomba enviará la mezcla al sitio de colado, sin integrar contaminantes como lubricantes, combustibles, etc, que perjudicarían el fraguado del elemento y las propiedades finales del concreto. La bomba no debe originar segregación o clasificación de los materiales que constituyen la mezcla, debiéndose hacer los ajustes al proporcionamiento y/o aditivos, antes de iniciar las operaciones de colado.

Acero de refuerzo: El refuerzo es una varilla corrugada AR-42 que pase la especificación NOM B-6. Se verificará cada lote de acuerdo a la norma y en el sitio de colado se revisará que el acero este libre de óxido o cualquier substancia que afecte la adherencia con el concreto. El sitio se posesionara firmemente para no ser desplazado por operaciones de colocación del concreto y se comprobará el espaciamiento de las varillas en ambas direcciones, aceptando una diferencia de 2% del valor del proyecto y el recubrimiento mínimo es de 2.5 cm.

Concreto fresco: Se controlará el peso volumétrico en la planta y en el sitio de colocación, además del revendimiento, tiempo de fraguado, falso fraguado, contenido de aire, si se utilizó aditivo para tal fin sangrado de la mezcla, muestreando a cada 35 m³, de producción y cuando se reporte consistencia anormal en el concreto.

Resistencia final: Se fabrican cilindros de 15 x 30 cm con concreto de la misma bachada para ser probados a compresión simple, en parejas, a 3, 7 y 28 días por cada 35 m³ de producción, se adiciona una pareja de cilindros para comprobar la resistencia a 90 días, por cada 105 m³, los resultados a corto plazo permiten ajustes oportunos, sobre todo al iniciar los colados se destina los cilindros a 3 días a ampliar el número de datos a 28 días. Los resultados en cada edad se agruparán cada 20 pruebas, el promedio de resistencia de cada conjunto de 20 ensayos consecutivos es igual o mayor a la resistencia teórica y ningún resultado individual será menor al 75% de la resistencia teórica. Si un resultado no satisface las especificaciones, se extraerán a los 56 días del colado 3 núcleos de una misma sección del túnel, que corresponda al concreto sujeto a comprobación y se probarán a compresión simple, el promedio de los resultados será igual que 0.85 f'c y no será menor que 0.75 f'c para aceptar el tramo, según la especificación NOM-C-1 y considerar la resistencia de diseño del cemento (Portland II).

Anclas de Tensión ò Anclaje: De acuerdo con lo observado en la obra, el anclaje no sera una necesidad constante en la obra; sin embargo habrá zonas donde se requiera algún anclaje, por las características geológicas que se han establecido en la exploración.

El anclaje será de tensión con expansor, varillas de ϕ de 1" y 3 m de longitud, cuando la calidad de la roca permita el agarre eficiente del expansor, tensada el ancla, se inyectará con mortero $f'c=200 \text{ kg/cm}^2$ en toda su longitud. Se preferirá el expansor de conchas paralelas, ya que las anclas se tensan a 14 toneladas apretándolas con torquimetro. En la figura 3.32 se ven detalles de cómo esta colocada una ancla junto con un marco metálico y un recubrimiento de concreto lanzado en el interior de un túnel. Si hay duda sobre el funcionamiento del expansor, se colocarán anclas de fricción, con varillas corrugadas de idénticas características y se colocará una placa de 20 m x 20 cm x 1.27 mm ($\frac{1}{2}$ " soldada o sujeta con tuerca (es decir que requiere un extremo roscado en la varilla). La placa se apoya ó acuña en la superficie de la roca, considerando fallas, contactos, zonas con escorias y andesitas lajeadas, es posible que entre un 15 a 20% de la longitud del túnel que requiera anclaje.

3.8.2.- Especificaciones del equipo para mezclado y aplicación del concreto lanzado en las paredes del túnel como revestimiento final.

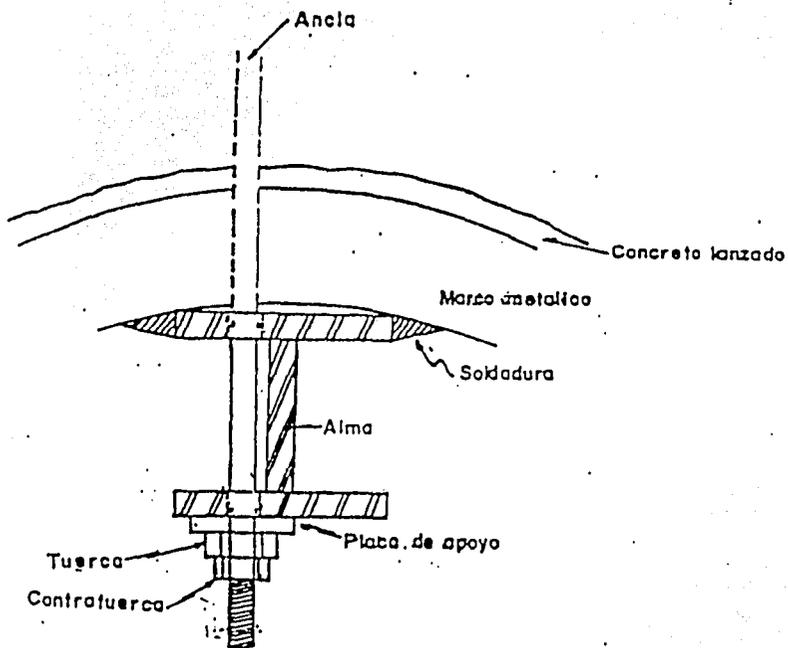
Equipo de lanzado: El equipo que se emplee para efectuar el mezclado y la aplicación del mezclado lanzado, deberán ser el apropiado para lanzar el agregado del tamaño especificado. El equipo deberá tener un recipiente para hacer el mezclado del cemento, agregados y aditivo en seco, para conducir la mezcla hasta la boquilla y expulsarla con aire a presión, deberá de mantenerse limpio y en buenas condiciones de operación. La presión del aire a la salida de la máquina lanzadora se mantendrá constante entre 2.5 y 4 kg/cm^2 y entre 3.5 y 5 kg/cm^2 la del agua para manguera hasta de 30 m de largo, medidas desde la lanzadora hasta la boquilla y deberá incrementarse la presión del aire a 0.30 kg/cm^2 por cada 15 m de manguera.

Dosificación y mezclado: Los agregados, grava y arena, se dosificaran separadamente en peso, en forma individual o acumulada, con tolerancias permitidas en la práctica recomendada ACI 304. El cemento puede dosificarse por peso o por sacos enteros. El aditivo se dosifica por peso o volumen respetando las tolerancias de la ACI 304, para mezclar y transportar, el contratista optara por una de las 2 condiciones:

- a) Mezclar los ingredientes en seco en una mezcladora y transportar la mezcla seca hasta el lugar del equipo de lanzado.
- b) Transportar el cemento y los ingredientes por separado hasta el lugar del equipo de lanzado y ahí mezclarlo.

Los agregados y el cemento, en cualquiera de las opciones deberán ser revueltos en tal forma que se obtenga una mezcla homogénea. El tiempo mínimo de mezclado deberá ser de 2 minutos a menos que se cuente con el equipo específicamente diseñado para dosificar y mezclar al mismo tiempo, en cuyo caso se prescindirá de esta exigencia. En cualquiera de las 2 opciones anteriores los materiales deberán ser transportados y descargados a las máquinas lanzadoras en forma tal que no se produzca segregación de los componentes de la mezcla. Todas aquellas mezclas secas de cemento y agregados que tengan más de 20 minutos de haberse mezclado deberán desecharse, en igual forma se procede con aquellas mezclas que tienen hidratación prematura.

Preparación de la superficie: La superficie en que se aplique el concreto lanzado, será la descubierta por la excavación y estará libre de trozos y fragmentos de suelos sueltos y lodo, se conservara la humedad natural del suelo hasta que se le aplique ella el concreto lanzado, por lo que esta operación será inmediata a la excavación o bien, la superficie se humedecerá con agua aplicada por aspersión. Unas áreas tendrán escurrimientos de agua sobre la roca que recibirá concreto lanzado, obstaculizando la adherencia concreto - roca, antes de aplicar el revestimiento provisional, se encauzarán las filtraciones mediante barrenos orientados para cortar las vías preferenciales, en cada barreno se colocará un tramo de manguera de diámetro adecuado al caudal no menor a 1.27 cm ($\frac{1}{2}$ "), calafateando con pasta de cemento y aditivo acelerante.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

VIGUETA MADRINA PARA EL
SOPORTE DE MARCOS DEL TUNEL

Figura 3.32.- Detalle de las características de una vigueta madrina para el soporte de marcos metálicos en un túnel.

La longitud de la manguera será la suficiente para conducir el agua a la plantilla sin mojar las áreas sobre las que se lanzará concreto, antes de aplicar el concreto, se usará un chiflón de aire para eliminar el exceso de agua superficial, excepto en el caso de que se tenga material escoriáceo o arcilloso, en donde puede desestabilizar la formación geológica.

Aplicación del concreto lanzado: Para esto, el contratista contará con el equipo especial y el personal entrenado y capacitado en la ejecución de este tipo de trabajos. La superficie estará húmeda para facilitar la adhesión del concreto y no deberá lanzarse el concreto sobre superficies secas o polvosas o cualquier sustancia que pudiera interferir en la adhesión.

Deberán preverse las instalaciones y equipo necesarios para que se pueda colocar en todo momento, con el objeto de asegurar el avance de la excavación. La posición de la boquilla de lanzado, con respecto a la superficie en que se aplica el concreto será normal, la distancia de lanzado estará comprendida entre 1 y 2 m de la superficie por aplicar, el lanzado se efectuara en posición normal a las superficies del muro, para lo cual se debe contar con andamios portátiles o equivalentes para evitar posiciones de lanzado inclinadas diferentes de la indicada.

El concreto lanzado terminado deberá presentar un aspecto denso y uniforme, no deberán observarse desprendimientos entre capas lanzadas sucesivamente sobre la superficie expuesta al subsuelo. Si se requiere colocar más de una capa de concreto lanzado, esta deberá aplicarse cuando la capa anterior haya endurecido lo suficiente para que durante el lanzado de la siguiente no se afecte su integridad y su adhesión al terreno.

Curado: En el caso de que las condiciones de humedad alrededor del concreto lanzado sean satisfactorias no será necesario curar el concreto aplicado; pero si las condiciones son secas será necesario curarlo con agua, a partir de 6 horas después de haber sido lanzado y se mantendrá húmedo durante un periodo no menor de 4 días.

Resistencia especificada del concreto lanzado: El concreto lanzado, ya colocado, alcanza resistencia a la compresión de 200 kg/cm² a 28 días de edad y se utilizarán los valores de la tabla 3.9 con indicativos de la variación esperada de la resistencia con el tiempo.

Tabla 3.9.- Tabla de edades y resistencia del concreto lanzado.

Edad	Resistencia a compresión simple.
24 HRS	90 kg/cm ² .
3 DIAS	120 kg/cm ² .
7 DIAS	150 kg/cm ² .
28 DIAS	200 kg/cm ² .

Las resistencias del concreto lanzado se obtendrán del ensaye de corazones de 3" de diámetro como mínimo, sus resultados serán corregidos por el factor de esbeltez para una relación de 2:1 (altura- diámetro) de acuerdo con la norma ASTM C-42. El concreto lanzado será adecuado en resistencia, si en promedio 3 corazones ensayos a una edad de 7 días es igual a 85% de la resistencia especifica, y ningún corazón tiene resistencia menor de 75%. Además del control estadístico, se aplica el concreto que cumpla con no más del 20% del número de pruebas de resistencia tendrán valores inferiores a las resistencia especificas y no más del 1% de las pruebas de resistencia a la edad de 7 días, podrá ser menor que la resistencia especificada de 50 kg/cm².

Mezclas de prueba: Para ensayar a influencia de aditivos y corregir el proporcionamiento de la mezcla del concreto, se efectuara mezclas de prueba de campo, con las diferentes marcas del cemento que utiliza. Las mezclas se realizan, lanzando concreto sobre un tablero de prueba de 80 x 80 cm, para cada mezcla. A 22 horas se extrae del tablero 2 especímenes cilíndricos de ϕ de 3" y se ensayan a compresión simple a 24 horas. El resto de la muestra se guarda en un cuarto húmedo o se cura en agua 70 horas, y se extraen 4 corazones que se ensayan a 7 y 28 días, 2

corazones por edad. Los especímenes a ensayarse serán sanos sin oquedades, será adecuada la mezcla, si el promedio de la resistencia de los corazones es igual a las resistencias indicadas en el inciso 4 para corazones con relación de esbeltez igual a 2.0. Para corazones con relación de esbeltez entre 1 a 2 se usarán los factores de corrección dados en la norma ATSM C-42.

Control de calidad: Para cada 50 m³ de concreto lanzado aplicados en la superficie excavada, se extraerá una muestra por medio de una artesa de madera con las dimensiones que se indican. La artesa la formará el lanzador produciendo por entero las condiciones del lanzado que efectúe normalmente. La artesa se mantendrá sujeta en una de las paredes de la excavación de manera que al lanzar sobre ella el concreto no se mueva o caiga. No se moverá la artesa antes de 12 horas de haberse lanzado, a partir de entonces se trasladará el laboratorio, cuidando que a la muestra no se le produzcan impactos durante su transporte.

En caso de ser necesario el uso de vehículo para el desplazamiento de las muestras, éstas deberán empacarse en cajas de madera robustas o en otros recipientes apropiadas, rodeados de arena o aserrín húmedos, o de otro material de empaque que sea adecuado. Al recibirse en el laboratorio deben colocarse en las condiciones de curado requeridas, a 23°C o sumergidas en agua a igual temperatura si se almacenan en el laboratorio de la obra.

A los 7 días se extraerán 2 especímenes de 3" de diámetro y se ensayaran a compresión simple. El resto de la muestra deberá guardarse en un cuarto húmedo o curarse en agua hasta alcanzar 28 días de edad del concreto. Si no se contienen especímenes sanos, especialmente a las 22 horas de edad, la muestra se desechará y se notificará al frente de trabajo para que se obtenga una muestra nueva, los especímenes no aprobados de inmediato deberán guardarse en un cuarto húmedo o sumergirse en agua a temperatura de 23° C.

Una vez por semana y al mismo tiempo que se formo la muestra en el lugar, se obtendrá una muestra de mezcla seca (sin acelerante pero con mortero), con cuidado de no compactarla, luego se llevará al laboratorio, para obtener su humedad y su contenido de cemento; también se obtendrá una muestra de la mezcla de agregados para determinar el contenido de agua, la granulometría y el % de partículas menores que la malla No.100, para que la determinación del contenido de cemento de la muestra pueda obtenerse con mayor precisión, las muestras de mezcla seca de agregados corresponderán a la mezcla usada en el lanzado de la artesa. De los agregados en obra se obtendrán muestras, una cada 500 m³ y/o una muestra por semana como mínimo, para realizar en ellos las pruebas específicas en la tabla No.1 de estas especificaciones.

3.8.3.- Especificaciones para la inyección de contacto en los vacíos del revestimiento.

En el inciso se presentan las especificaciones para realizar la inyección de contacto que rellenará vacíos entre los revestimientos del túnel No.5 del Acueducto Perimetral.

Procedimiento: Para realizar la inyección en el túnel se utiliza el método convencional de secciones alteradas. Las secciones serán de 2 tipos: Una formada por 3 barrenos inyectoros y otra con 2 barrenos. Las secciones con 3 barrenos, serán A y B, intercaladas y la separación entre intercaladas será de 4 m, es decir un diámetro, se recomienda para preparar barrenos inyectoros, instalar antes del revestimiento hidráulico, tubos de 5 cm de ϕ , pueden ser metálicos o de PVC cédula 40. El poder dejara los tubos bien colocados antes del revestimiento definitivo, significa no tener que barrenar sobre éste dañando el acero de refuerzo. Los barrenos que se perforan para instalación de tubos inyectoros penetran 5 cm en el revestimiento temporal, es necesario tener seguridad de que el revestimiento hidráulico ha sido completamente atravesado, la inyección se hará línea por línea, pero deberán estar preparadas con válvulas de paso las cuatro líneas adelante de la que se esta inyectando.

Línea de inyección: La inyección se realizará en tramos que incluyan diez secciones, es decir 72 m, ya que las secciones están separadas 8 m entre sí.

Primera etapa: A partir de que el concreto hidráulico tenga la resistencia proyectada, se inyectará como es usual, el orden de la inyección en las secciones A, empezará con el barreno inyector No. 1, cuando este barreno esté lleno se inyectará el No. 2 y se terminará la sección con el barreno No. 3, que está en la clave del túnel. Al inyectar en una sección, a veces se establecerá comunicación de lechada hacia barrenos inyectores de secciones posteriores; por los barrenos donde empiece a escurrir lechada, serán obturados y seguirá la inyección sin detenerlo. Esto también se presenta en barrenos de la misma sección que se inyectan, en este caso se obturarán y luego se reperforarán para reinyectarlos, con esto se inyectará 10 secciones del tipo A.

Segunda etapa: Comienza con la perforación de las secciones o líneas B, después de haber transcurrido 72 horas de edad de la inyección de las líneas A. Las líneas B se perforarán intercaladas entre las líneas A y serán 9, una menos que las líneas A, ya inyectadas. La inyección en las líneas B, comienza en el barreno inyector No. 1 y termina en el No. 2. En la sección B, se invertirá el orden del inyectado, se comenzará con el barreno No. 2. y se terminará con el No. 1, esta secuencia de inversión se seguirá en las líneas hacia adelante.

Cuando se presente comunicación de lechada con otra sección, se obturará el o los otros barrenos que presenten este caso, con las válvulas de paso instaladas en los barrenos inyectores, y se proseguirá la inyección sin interrupción. Terminada la secuencia normal de inyección, los barrenos que presentaron comunicación deberán ser reperforados y vueltos a una resistencia de 90 kg/cm², a las 24 horas, que cumpla en cuanto a sus características con la norma ASTM C-266 en los siguientes requisitos:

- Tiempo de fraguado inicial (máximo) 3 minutos y final (máximo) 12 minutos.
- Resistencia a compresión simple de la pasta, a 8 horas, en cubos de 5 cm de lado 60 kg/cm².

Relación de materiales para la mezcla de inyección: Los volúmenes a inyectar en cada barreno si no se alcanza una presión de 1.0 kg/cm², será aproximadamente de 1.0 m³ en los de las secciones A y de 1.5 m³ en los de las secciones B. Estos volúmenes serán con una lechada estable de agua-cemento proporcionados en peso 0.77:1 (A:C). Al inyectar volúmenes y diámetros de los barrenos de cada sección aún no se han llenado, se seguirá inyectando, modificando la mezcla, agregando bentonita en 3% del peso del cemento, para una fluidez Marsh de 70 a 90 segundos, que es el límite de bombeabilidad, el volumen de la lechada será en cada barreno inyector, no más de 0.30 m³, al terminar de inyectar el nuevo volumen, es probable que unos barrenos tengan capacidad para tomar más inyección, se seguirán inyectando, a la lechada de proporción agua-cemento de 0.77:1 se le agrega bentonita (un 3% en peso) y arena (125% en peso de cemento), y fluidizante para mortero, la cantidad de las especificaciones o recomendaciones del fabricante, como referencia se propone Sikament H.E y la presión que se inyecta la mezcla no excederá en ningún caso de 1.5 kg/cm².

Referencias del Capítulo 3.

- 1.- Revista Acueducto Perimetral Dirección Técnica y Subdirección de Programación. Editada por la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica D. G. C. O. H.
- 2.- Memoria Técnica del Primer Congreso Mexicano de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas. Asociación Mexicana de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas. A.M.I.T.O.S.

PROCESO CONSTRUCTIVO DEL RAMAL NORTE DEL MACROCIRCUITO DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE PARA EL DISTRITO FEDERAL.

4.1.- CARACTERISTICAS GENERALES DEL RAMAL NORTE DEL MACROCIRCUITO.



Figura 4.1.- Croquis de localización del Ramal Norte del Macrocircuito.

El Ramal Norte tiene por objetivo el distribuir los caudales del Sistema Cutzamala, a fin de mejorar y ampliar el servicio de agua potable a los Municipios conurbados del Estado de México situados al norponiente de la Ciudad de México, a través de subramales que llegan a los diversos tanques de regulación y almacenamiento.

El Ramal Norte que realiza la Comisión Nacional del Agua, también se construye en varias etapas, que estará dividida en varios tramos, que son:

Primera etapa : Tramo Dos Ríos - Tanque Emiliano Zapata. Tiene una longitud de 30.75 km y abastece a tres poblaciones las cuales tendrán un beneficio y es el siguiente:

	L,p,s	habitantes.
Huixquilucan.	460	230,000
Naucalpan.	1,000	500,000
A, Zaragoza	400	200,000

Segunda etapa : Tramo Emiliano Zapata - Planta Barrientos, tiene una longitud de 10.85 km y abastece a tres poblaciones, las cuales tendrán un beneficio y es el siguiente.

	L,p,s	habitantes.
A Zaragoza.	350	170,000
Tultitlán.	1,000	100,000
Tlalnepantla.	505	250,000

Tercera etapa: Tramo Barrientos - Coacalco y Derivación a Zona Cuautitlán Izcalli, tiene una longitud de 13.53 km y abastece a dos poblaciones importantes:

	L,p,s	habitantes.
C. Izcalli.	240	120,000
Coacalco.	1,000	500,000

Cuarta etapa: Tramo Coacalco - Cerro Gordo, tiene una longitud de 13.6km, abastece a la zona de Ecatepec con 500 l,p,s, beneficiando a 360,000 habitantes.

En las cuatro etapas se suministran 3, 800 l,p,s de agua y se beneficia a 2,000,000 de habitantes. Los primeros 12.5 km son sección de túnel que abarcan 5 tomas, que aportan un gasto importante al ramal y se marcan en el figura 4.1 con números romanos y son:

La mina ($Q=0.70 \text{ m}^3/\text{s}$).

I.- La Magdalena ($Q=1.3 \text{ m}^3/\text{s}$).

II.- El Olímpico ($Q=0.5 \text{ m}^3/\text{s}$).

III.- Loma Colorada ($Q=1.90 \text{ m}^3/\text{s}$).

IV.- Toma 4 (Esta última ya es la salida de la sección de Túnel).

A lo largo del ramal se hará uso de 17 tanques de almacenamiento que podemos ubicar en el croquis de la figura 4.1, que están numerados cada uno y se mencionan en la tabla 4.1:

Tabla 4.1.- Lista de tanques usados en el Ramal Norte.

Tanques de almacenamiento.	
Nombre	CAP (M3)
1.- No.3 (La Piedad)	32,000
2.-Gemelos.	25,000; 29,500
3.-Tanque No.6.	16,000
4.-Coacalco.	10,000
5.-Bosque del Lago.	3,000
6.-Emiliano Zapata.	5,000
7.-Chalma.	3,000
8.-Villas de la Hacienda.	1,300
9.-Caja Rompedora.	
10.-San Javier.	10,000
11.-Atizapan III.	2,500
12.-Planta Barrientos.	10,000
13.-Bellavista.	25,000
14.-Lomas Verdes Alto.	20,000
15.-Lomas Verdes Bajo.	6,912
16.Diplomaticos.	2,300
17.-Cerro Gordo.	15,000

4.2.-GENERALIDADES DE OPERACIÓN DE LOS ELEMENTOS EN LAS CUATRO ETAPAS.

4.2.1.- PRIMERA ETAPA. DOS RÍOS HUIXQUILUCAN - TANQUE EMILIANO ZAPATA, ATIZAPÁN DE ZARAGOZA.

La primera etapa, en operación desde octubre de 1994, de 31.0 km de longitud consta de 12.5 km de túneles de sección tipo herradura, de 3.5 m de diámetro y continua con una línea de 18.5 km de tuberías de concreto preesforzado y acero, tanques de regulación y estructura de cruce de derivaciones, con los cuales se suministran 3 000 lts/seg, que sumados al caudal de distribución directa del túnel benefician a 2 560 000 mil habitantes de municipios de Huixquilucan, Naucalpan, Tlalnepantla, Nicolás Romero y Atizapán de Zaragoza.

El Acueducto inicia en la Lumbrera No.3 del Túnel Analco- San José en Dos Ríos, municipio de Huixquilucan y llega al Tanque Emiliano Zapata (figuras 4.2 y 4.3), en el Municipio de Atizapán de Zaragoza Estado de México, y en el trayecto están las tomas de la Mina, La Magdalena, El Olímpico, Loma Colorada, Bella Vista, México Nuevo, San Javier, Atizapán III y Emiliano Zapata.

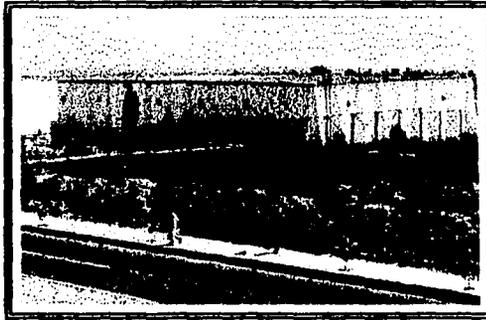
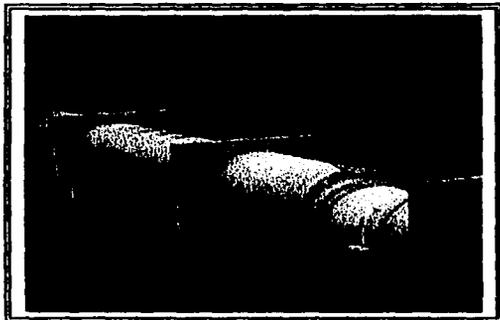


Figura 4.2.- Conducción al Tanque Emiliano Zapata. (Referencia 1) Figura 4.3.- Tanque Emiliano Zapata.

4.2.2.- SEGUNDA ETAPA. TANQUE EMILIANO ZAPATA, ATIZAPAN DE ZARAGOZA - PLANTA BARRIENTOS, TLALNEPANTLA.

La segunda etapa, también en operación desde junio de 1995, comprende un Acueducto de 11 km entre el tanque Emiliano Zapata, hasta su conexión al Tanque NZT Naucalpan, Zaragoza, Tlalnepantla, (figura 4.4), localizado en la Planta de Distribución Barrientos (figura 4.5), ubicada en el Municipio de Tlalnepantla.

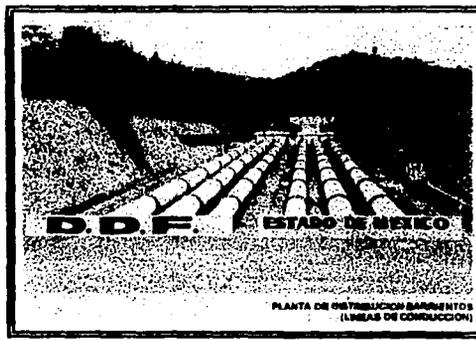


Figura 4.4.- Conducción al Tanque NZT. (Referencia 1) Figura 4.5.- Planta de Distribución Barrientos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Es una conducción mediante tuberías de concreto preesforzado y de acero (figura 4.6 y 4.7) de 1.20 m de diámetro, con un desarrollo de 11.0 km, abasteciendo en su trayecto las tomas de los tanques Chalma, Villas de la Hacienda y Providencia, para beneficiar a 865,000 habitantes asentados en los municipios de Atizapán de Zaragoza, Cuautitlán Izcalli, Tultitlán y Tlalnepantla, con una dotación promedio de 250 l/h/d .

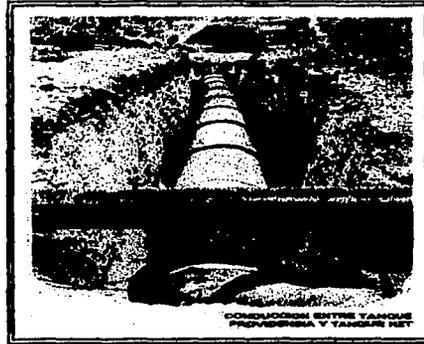
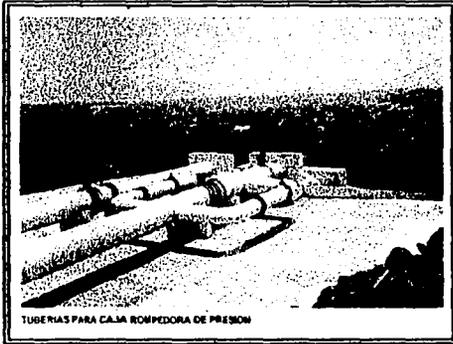


Figura 4.6.-Tuberías para cajas rompedoras de presión. Figura 4.7.-Conducción entre tanque Providencia y tanque NZT

Se continua en acueducto de 14 km hasta el Tanque Coacalco, en el mismo municipio, así como en la derivación a los tanques de Cuautitlán Izcalli 13.5 km el proyecto para la tercera etapa de este macrocircuito de distribución de los caudales que vienen del Sistema Cutzamala, contempla la conducción hasta el municipio de Ecatepec, con lo que se beneficiarán 335,000 habitantes más.

4.2.3.- TERCERA ETAPA . TRAMO BARRIENTOS COACALCO.

Opera desde junio de 1996, en su tramo Barrientos - Coacalco (figuras 4.8 y 4.9), de 13.53 kms de longitud, está integrado por tuberías de concreto preesforzado y acero con diámetros de 1.20 m (48") con el cual se mejora el servicio de Agua potable al Municipio de Coacalco.

Otra obra de la tercera etapa del Macrocircuito, también en operación, es una línea de derivación para abastecer de agua potable al municipio de Cuautitlán Izcalli. Esta línea inicia en el tanque de almacenamiento "Chalma" y llega hasta los tanques denominados Bosques del Lago (figura 4.10), No.6, Gemelos (figura 4.11) y No.3 La piedra tiene 12 kilómetros de longitud con tuberías de fibrocemento y acero de 30" y 24" de diámetro y suministra actualmente 300 lts/seg.

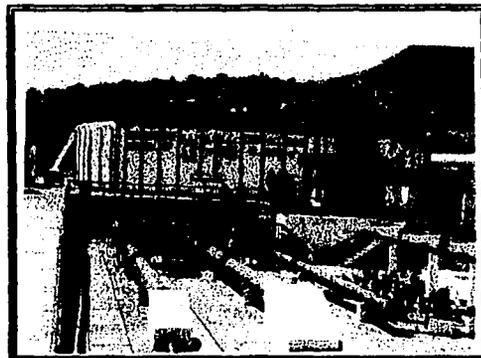


Figura 4.8.-Línea de Conducción Barrientos-Coacalco (Referencia) Figura 4.9.- Tanque Coacalco.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

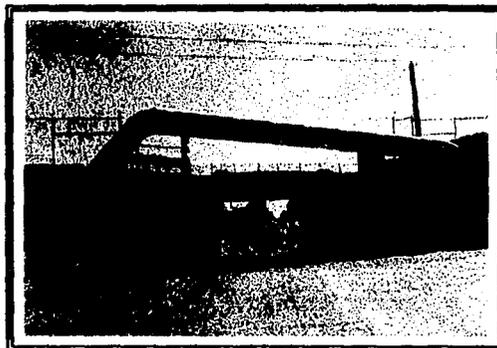
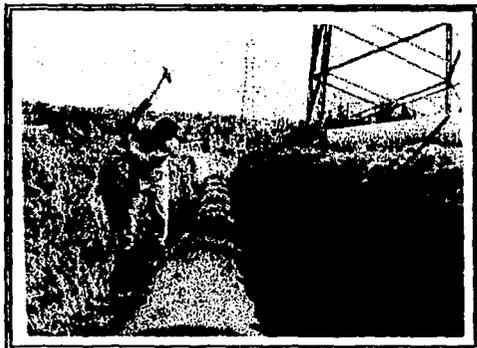


Figura 4.10.-Conducción al Tanque Bosques del Lago. Figura 4.11.- Línea de Conducción a los Tanques Gemelos.

4.2.4.- CUARTA ETAPA. TRAMO COACALCO – CERRO GORDO.

El siguiente tramo comprende la construcción del acueducto desde el tanque Coacalco, hasta el tanque Cerro Gordo en Ecatepec y de éste al Tanque La Caldera en el municipio de la Paz, lugar donde se cierra circuito con el Acueducto del Ramal Sur que construye el Departamento del Distrito Federal.

El tramo Coacalco – Cerro Gordo tiene longitud de 13.586 kms y se conforma por tuberías de concreto preesforzado de 54" (1.37 m) y 48" (1.20 m) de diámetro. La construcción de esta obra tuvo un alto grado de dificultad, ya que en su totalidad se realizó en zonas habitacionales con gran índice poblacional, y fue necesario el tendido de tubería de acero en cruces especiales de arroyos y barrancas, así como de la autopista México- Pachuca, cuyo cruce se realizó por medio del hincamiento de una camisa de acero de 72" de diámetro, para alojar la tubería de conducción; también se hicieron cruzamientos bajo ductos de PEMEX y de diversos acueductos en operación.

En la realización de los trabajos se contó con personal calificado, para garantizar la eficiencia y seguridad de los mismos. El tramo inicia su operación con un gasto de 350 l/seg; su capacidad de conducción es de 2000 l/seg, caudal que en futuro abastecerá a más de 280 colonias de la Zona Quinta y 25 colonias de la región de Cañada en Ecatepec, en beneficio de 1,500,000 habitantes.

El Municipio de Ecatepec dispone de un suministro de 3300 l/ seg, de los cuales 2600 proceden de fuentes propias, así como de 630 l/seg que le proporciona la Comisión Nacional del Agua a través de los ramales Los Reyes – Ecatepec y Chiconautla. Con el tramo Coacalco – Cerro Gordo, se aporta un volumen adicional de 350 l/seg provenientes del Sistema Cutzamala. Este caudal beneficia a una población de más de 300 mil habitantes, asentados en las zonas con mayores carencias en la disponibilidad del vital líquido de Ecatepec.

La línea principal de los tramos tiene longitud de 36.3 km., para suministrar de agua a Ecatepec, Netzahualcoyotl, La Paz, Chimalhuacán y Xico, que son los que tienen menor dotación del recurso. Las inversiones en el Sistema Cutzamala han sido cuantiosas, pero más costoso sería para la nación dejar extinguir, por la carencia del vital líquido, la ciudad que ha sido esencia de la cultura nacional y hoy el centro motor del país.

Compete a la ciudadanía su uso adecuado y ahorro permanente, evitando fugas en las redes domiciliarias y uso dispendioso en actividades domésticas e industriales, así como tomar conciencia del esfuerzo que presenta la tarea de abastecer de agua potable a su ciudad. Hay un problema, el habitante de la ciudad en su gran mayoría, ve el agua potable como un derecho, y lo

exige; por su parte, el habitante de zonas de captación, considera la explotación y transporte del recurso, como un despojo; conciliar los factores es reto y gran responsabilidad, y se debe hacer conciencia en los habitantes de la ciudad del esfuerzo que con lleva el suministro de Agua potable, reclama correspondencia por parte del usuario, en cuanto al cuidado, buen uso y pago del servicio.

No existe agua más cara que la que no se tiene y su ahorro y uso racional deben ser acciones de los habitantes de la ciudad, mantener el suministro, mejorar la calidad de los servicios y ampliar su cobertura para que cada día más mexicanos cuenten con agua potable, requiere de esfuerzos y enormes inversiones. Para lograrlo, se ha sumado al esfuerzo una capacidad de la ingeniería nacional para que los habitantes del Valle de México cuenten con el vital recurso, a las obras de ingeniería hidráulica ha sido necesario adicionar acciones como las derivadas del Programa de Uso eficiente del Agua, basadas en el cuidado del recurso en sus aprovechamientos, así como la detección y reparación de fugas en redes de distribución y tomas domiciliarias; el intercambio de aguas residuales tratadas por aguas blancas, en actividades que no requieren de calidad potable y la actualización de tarifas para un pago justo del servicio.

El esfuerzo es cada vez mayor de la ciudadanía para lograr el ahorro en el consumo y mejor utilización del recurso, consolidarán los principios de una Nueva Cultura del Agua, cuando el hombre domina el agua y aprende a conservarla, florecen su espíritu, su creatividad y hace una vida digna, es bueno recordar que la vida brotó del agua y de ella seguirá dependiendo.

4.3.- GENERALIDADES DE LOS ESTUDIOS QUE SE REALIZARON EN EL RAMAL NORTE.

Se menciona algunos estudios que se hicieron para determinar el tipo de material en que se excavo y para la excavación de los pozos se utilizó una máquina retroexcavadora, que llega a una profundidad mayor a 3.50 m. Para facilitar el estudio y los trabajos de campo, la longitud de la línea de conducción se dividió en 4 tramos que son:

- Tramo 1: Toma 4 –Tanque Bella Vista km 0+818.17 al km 6+032.79
- Tramo 2: Tanque Bellavista - Caja Rompedora de Presión km 6+ 032.79 a km 14+329.30
- Tramo 3: Caja Rompedora de Presión - Tanque Providencia, km 14+329.30 al 24+077.2
- Tramo 4: Tanque Providencia- Tanque Coacalco, km 23+641.90 al 40+198.08

Tramo 1: Tiene longitud de 6.033 km, en el se realizo 12 pozos, la mayor parte del tramo esta constituido de rocas blandas, como tobas y materiales piroclásticos. Los materiales superficiales son suelos de origen orgánico. Las tobas están a profundidad mayor a 50 cm. En el cadenamamiento 3+100 (Pozo 6) se tienen materiales de relleno (cascajo). La parte de la conducción se ubica en la zona de Lomas, en la Formación Tarango. Gran parte de materiales ensayados de los PCA a lo largo de la conducción son rocas volcánicas tobaceas, de comportamiento similar a suelos duros y su granulometría de esos materiales puede clasificarse como tobas arenosas y limosas.

Tramo 2: Tiene longitud de 8.297 km, en el se realizo 15 pozos con 5 cruces preparados durante la construcción de la Autopista Chamapa - La Quebrada. El terreno es tipo volcánico, con tobas arenosas y arcillosas y depósitos lacustres, hay cruces con ríos, arroyos y barrancas, porque la topografía del terreno es accidentada, resultados de las pruebas de laboratorio, resumen que en éste tramo no se hizo ninguna prueba triaxial y el tipo de suelo se puede usar en rellenos.

Tramo 3: Tiene longitud de 9.748 km, en el se realizo 18 pozos a cielo abierto, el material en este son rocas volcánicas tobaceas, como en los cadenamamientos 15+318; 21+643; 22+532 al 23+116 hay suelos orgánicos de espesor importante, los pozos se excavaron en zona urbana, sobre el camellón a lo largo del trazo de la línea de conducción, paralela a las líneas de 48" de diámetro, el tipo de suelo es tobaceo y en unos tramos hay material de relleno y cascajo.

Tramo 4: Tiene longitud de 16.121 km, en él se hizo 34 pozos a cielo abierto, en el tramo del km 30+800 al km 31+245 se encontró arcilla de alta plasticidad y compresibilidad. En 2 pozos se midió parámetros de agresividad del suelo y se realizaron pruebas triaxiales.

Pasando el cadenamamiento 32+500 hay roca volcánica de buena compacidad y resistencia, de la parte occidental de la Sierra de Guadalupe, el espesor de los suelos es de origen orgánico menor a 30 cm, la profundidad del material volcánico de buena calidad es de 50 cm, con material para el relleno de zanjas. Esta parte del trazo presenta condiciones favorables para excavar la zanja, ya que la topografía es menos abrupta y hay accesos, por ser zona urbana. En los cadenamamientos 36+400 (pozo 67), 37+500 (pozo 76), 39+686 (pozo 73), se tienen algunos rellenos de cascajo.

4.3.1.- Estudio Geotécnico .

La CNA ordenó un estudio geotécnico como parte de la ingeniería básica, para llevar a cabo el anteproyecto, el estudio es de longitud de 41 km en el eje principal, desde el portal de salida de la Toma 4 y hasta el Tanque Coacalco, Edo de México. Este inciso da una descripción del proyecto, un estudio de Mecánica de Suelos y un estudio de Agresividad de la línea, en el croquis de localización (figura 4.1) se indica el trazo de la línea de conducción. El estudio determino y describió la estratigrafía del subsuelo con base en la exploración, muestreo, pruebas de laboratorio y análisis de resultados, así como detectar los problemas a lo largo del trazo.

Como se dijo el proyecto es una línea de conducción de agua potable, por gravedad con una tubería de 60" de ϕ (152.4 cm) y de 54" de ϕ (37.16 cm) que se aloja a una profundidad de 3 m con respecto a la superficie de terreno natural y seguirá la configuración topográfica del sitio a lo largo del tramo comprendido entre la Toma 4 y el Tanque de abastecimiento Coacalco, del Sistema Cutzamala.

La tubería se aloja en su longitud dentro de una excavación de 3 m de profundidad, se apoyo sobre una cama de tezontle ò grava de 20 cm de espesor, se cubrió lateralmente con relleno de material estabilizado, que sirve como acostillamiento para evitar desplazamiento lateral de la misma, la diferencia de elevaciones entre la Toma 4 y el Tanque Coacalco es de 268.52 m.

Los 2 cruzamientos importantes que se realizaron son los siguientes:

- Carretera Atizapán de Zaragoza- Villa Nicolás Romero.
- Autopista México- Querétaro y Vía Ferrocarril México- Querétaro .

4.3.2.- Geología .

La zona en estudio esta al Norponiente de la Cuenca de México, en la zona de Lomas o zona I, según la zonificación geotécnica que marca el Reglamento de Construcciones del D.F, en sus Normas Técnicas Complementarias, en la que según F. Moser dominan depósitos de materiales volcánicos, producidos en la Cuarta y Quinta fase del vulcanismo, predominando la ultima fase, que se caracteriza por emisiones explosivas andesítico- dacítica.

El relleno Cuaternario de la Cuenca de México se formó por el cierre del desagüe hacia el Sur, por erupciones volcánicas de tipo basáltico, que formaron la Sierra Chichinautzin, en la Séptima fase del vulcanismo. Al igual que en la parte central de la cuenca, sobre la que se encuentra la Ciudad de México, afloran los depósitos de la Formación Clásica Aluvial del Grupo Chichinautzin, constituidos por arcilla, limo, arena, y lavas. Perímetralmente, la planicie de la zona en estudio está en contacto con depósitos de Pie de Monte.

Al Oriente está la Sierra de Guadalupe y al Norte el Río Hondo de Tepetzotlán, con laderas de la Sierra Monte de Abajo, con abanicos volcánicos formados por laderas, ignimbritas, capas de pómez, ceniza y depósitos fluviales, que forman la Formación Tarango. La Ciudad de México esta en el lecho del antiguo Lago de Texcoco, que ocupaba partes bajas de la Cuenca de México, que pertenece a la Provincia Fisiográfica del Eje Neovolcánico Transmexicano.

La Cuenca de México se limita por grandes Sierras formadas de la fuerte actividad volcánica en los Periodos Terciario Superior y Cuaternario y forma un vaso natural azolvado, en que se depositaron los productos de la erosión derivados de las dos grandes Sierras, la Nevada y la de las Cruces y en menor proporción. La Sierra de Pachuca, que se eleva en el límite Norte del vaso, así como los numerosos volcanes del Sur .

Antes del Pleistoceno, el valle drenaba hacia el Sur, hacia el Río Amacuzac, por 2 profundas cañadas que pasaban por Cuautla y Cuernavaca. Al final del Plioceno hubo fracturas orientadas en dirección E-W, en la zona de Puebla y al Sur de Toluca, por las que entraron efusiones de basalto, que formaron la Sierra Chichinautzin en el Periodo Cuaternario; según mediciones radiométricas, las erupciones masivas ocurrieron en los últimos 700 000 años.

Más del 90% del trazo del acueducto se ubica en roca volcánica, como tobas, aglomerados, ignimbritas y rocas piroclásticas, de buena compacidad y resistencia. En unos tramos hay rocas blandas, como tobas arcillosas, depósitos pumíticos, de medios lacustres y de transición, los suelos residuales en los pozos excavados tienen profundidad de 1.2 m, no se observaron niveles freáticos por la posición elevada de la línea, excepto del km 30+800 al 31+245. Los pozos excavados tienen paredes estables, sin problemas de fallamiento. La profundidad de los pozos estuvo regida por la dificultad de excavación con la máquina retroexcavadora, que alcanzó 3 m de profundidad y después de tomar muestras y fotografías de los pozos se cerraron.

4.3.3.- Método de exploración .

Para explorar el subsuelo se uso el método de "Excavación de Pozos a Cielo Abierto", al terminar las excavaciones se procedió a obtener el perfil litológico de cada sondeo. Con base en una clasificación visual y al tacto, se prepararon cortes litológicos en cada pozo de "Resultados de Exploraciones y pruebas de Laboratorio", con el procedimiento se conocen condiciones del subsuelo y se excava un pozo de dimensiones de 1.00 x 1.50 m y profundidad variable para que se inspeccione la litología en el subsuelo en su estado natural y observar la estratigrafía, se realizo 79 pozos a cielo abierto, en aspectos geotécnicos se realizo 8 pozos a cielos abierto en sitios en que se tiene proyectadas estructuras especiales y los sitios estudiados son los siguientes :

- 2 Pozos a cielo abierto en el sitio de la bifurcación.
- 4 Pozos a cielo abierto en los cruces con arroyos. Dos pozos en el sitio B y 2 en el sitio E .
- 2 Pozos a cielo abierto en el cruce con la autopista Lechería - Chamapa.

4.3.4.- Tipo de Muestreo: De los pozos se recupero muestras alteradas de material natural superficial y muestras cubicas inalteradas, se les identificó, etiqueto y protegió para evitar pérdida de humedad y las condiciones de la muestra se conservaron "in situ", como lo indica el Manual de Mecánica de Suelos, y se trasladaron al laboratorio para realizar las pruebas índices y mecánicas.

4.3.5.- Ensayes de laboratorio: En las muestras de los pozos se realizo pruebas, que se realizaron en un laboratorio de Mecánica de Suelos bajo condiciones optimas y una supervisión para garantizar que los resultados fueran confiables y estas fueron Análisis granulométricos, Contenido natural de agua, Peso Volumétrico, Clasificación de suelos según el SUCS, Clasificación del porcentaje de finos por lavado, Límite de Consistencia y Densidad de Sólidos.

4.3.6.- Elaboración de Perfiles Estratigráficos: Con la información del laboratorio se elaboro perfiles estratigráficos, donde se indica los materiales constitutivos del terreno natural, de relleno o bien de roca alterada y/o inalterada, no se encontró nivel freático en ningún pozo a cielo abierto.

4.3.7.- Estudio de Agresividad: "La corrosión es la destrucción de materiales debido a la reacción química o electroquímica por la interacción con el medio que la rodea". Las tuberías de acero y concreto preesforzado no se escapan, por lo que se hacen estudios que identifiquen parámetros de agresividad, que contribuyen al fenómeno corrosivo y define medidas preventivas.

Como la mayor parte del trazo de la línea de conducción se aloja en rocas de alta resistividad, se anticipo que la corrosión estará limitado, presentándose en el cadenamamiento 32+100, ubicado al norte de la Colonia Ciudad Labor. En éste Tramo se detectaron arcillas de alta plasticidad, de color negro y con elevado contenido de humedad, se realizo mediciones de resistividad en el campo, empleando el método "Wenner", y se obtuvieron muestras alteradas, para realizar las pruebas geoquímicas correspondientes, los resultados obtenidos se incluyen en la tabla 4.2.

Tabla 4.2.-"Parámetros de Agresividad".

Tabla No 2 Parámetros de Agresividad .					
Pozo No	Km	Resistividad	Contenido	Contenido	pH
		Wenner	de Cloruros	de Sulfatos	
		cm	%	%	
55	31+246.74	1300	0.004	0.007	7.8
54	30+800.00	5000	0.009	0.009	8.2

Interpretación: Para interpretar resultados se considero la NOM-C-346-1987, que da una relación de valores de resistividad y agresividad del suelo para estructuras metálicas y concreto.

Resistividad: De los resultados obtenidos, se concluyó que los suelos presentan una agresividad que va de muy agresivos a ligeramente agresivos, con valores mayores a 1000Ωcm

Cloruros: La norma indica que con concentración de cloruros mayor a 0.02%, hay condiciones agresivas al acero, y en este caso los valores no presentan corrosión potencial, ya que las concentraciones de cloruros son menores a 0.009%

Sulfatos: La norma indica que en concentración de sulfatos del 0.010%, se usará cemento Tipo I, para concentraciones mayores se usara cemento de mejor calidad. El contenido de sulfatos en las muestras fue menor a 0.01%, y no son suelos potencialmente agresivos al cemento.

4.3.8.- Capacidad de Carga del Suelo: Como la tubería esta alojada en roca de resistencia moderada, espesor reducido de intemperismo y baja densidad de fracturamiento, se consideró que la capacidad de carga no será factor determinante para el desplante de estructuras de la línea de conducción. En los materiales en la zona, como "rocas blandas", la capacidad de carga mínima es mayor a 50 t/m² y la capacidad en suelos donde se hizo pozos a cielo abierto varía de 12 a 15 t/m².

Las estructuras para el proyecto son atraques y cajas de válvulas de admisión y expulsión de aire, y se realizó un análisis de la capacidad de carga del terreno con la teoría de Terzaghi, cuya fórmula: $Q_c = cN_c + \gamma D_f N_q + \frac{1}{2} B_r N_\gamma$ En donde: C = cohesión en T/m²

γ = Peso volumétrico en T/m².

Df = Prof. de desplante en m.

B = Ancho de cimiento en m .

N_c , N_γ , N_q = Parámetros de capacidad de carga.

Los valores de los suelos que se utilizaron en cálculos se acotan en la tabla 4.3,

Tabla 4.3.-Capacidad de carga.

Pozo No.1.	Kilometraje.	C (t/m ²)		T/m ³	B	Df	q admisible.
1	0+785.00	4.4	30	1.68	20	2	85.7
1	0+785.00	4.4	30	1.68	20	3	98.61
42	24+265.00	25.14	48	1.39	7.8	2	190
42	24+265.00	25.14	48	1.39	7.8	3	190.47
54	31+35.00	1.45	16	1.66	1.1	2	12.04
54	31+535.00	1.13	16	1.66	1.1	3	14.75
55	32+107.00	1.13	14	1.52	1	2	8.79
55	32+107.00	1.13	14	1.52	1.8	3	10.81

Los valores de capacidad de carga obtenidos para materiales arcillosos están de 8 a 15 T/m², en las zonas tobaceas se obtuvo valores mayores a 85 T/m². Con relación a los resultados de las cartas de plasticidad la mayor parte de estos están en los límites de suelos de baja plasticidad, y el resto son arcillas plásticas.

4.4.- GENERALIDADES DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DEL RAMAL NORTE.

El proyecto del Macrocircuito consideró la construcción de una línea paralela en el tramo entre la Toma 4, ubicada en el municipio de Naucalpan de Juárez, hasta el tanque Coacalco en el mismo municipio. El primer tramo del Macrocircuito, se ubica al poniente de la Ciudad de México, sobre la Sierra de las Cruces, en su porción central. La mayor parte del tramo esta en rocas volcánicas, como tobas, ignimbritas, aglomerados, depósitos sedimentarios de origen lacustre, transición y suelos residuales, en los 79 pozos excavados se encontró material de buena calidad, debajo de los suelos residuales, que alcanzan profundidad de 1.20 m.

Por el tipo de material a excavar y la mayoría de los cruces, se considero que las excavaciones a 3 m de profundidad son estables, ya que es material de buena calidad, el material tobaceo de las excavaciones puede emplearse para rellenar cepas. Los materiales son rocas de alta resistividad, que no anticipan problemas de corrosión en tuberías, solo del Km 31+666.68 al km 32+100 tiene suelos agresivos por tener arcillas orgánicas de alta plasticidad con niveles freáticos altos.

Hay accesos a los tramos de la Conducción y el 50 % del trazo se ubica en zona urbana, en Naucalpan, Tlalnepantla, Atizapán de Zaragoza, Tultitlán y Coacalco. Hay 2 cruces importantes que no están preparados, uno corresponde a la carretera Atizapán de Zaragoza-Nicolas Romero y el cruce de la Autopista México-Querétaro. Para definir las condiciones geológicas y estratigrafía en estos cruces se realizo pozos, calas y se encontró material de relleno y terraplenes para nivelar vialidades existentes. La línea de conducción esta entre la cota 2557.91 en la Toma 4, del Municipio de Naucalpan y la cota 2289.39 en el Tanque Coacalco, el macrocircuito de la línea 2 va desde la bifurcación que se encuentra en el km 0+818.17, iniciando en el portal de salida de la Toma 4, y llega al Tanque Coacalco y la longitud del tramo es de 40.198 km.

Asentamientos: Debido a que los atraques y cajas de proyecto, se desplantaran en tobas y rocas de buena compacidad, los asentamientos elásticos serán mínimos.

Excavaciones: Los taludes para las excavaciones pueden ser verticales hasta los 5 m de altura, y se recomienda que las excavaciones se realicen con retroexcavadora.

4.4.1.- Cruzamientos: El proyecto incluye 10 cruces con vías de comunicación importantes y en los cruces del 1 al 8, hay preparaciones de estructuras de cruce para la tubería, por lo cual no se excavaron PCA en esos sitios, solo se realizo estudios geotécnicos en los Cruces 9 y 10. Se excavo pozos a cielo abierto y se labraron muestras inalteradas en los pozos 43 y 46:

1. Cruce 1: Km 7+557.84 Autopista- Lomas Verdes.
2. Cruce 2: Km 8+380.00 Autopista Chamapa- La Quebrada.
3. Cruce 3: Km 10+600.00 Carretera Chiluca- Lomas Verdes.
4. Cruce 4: Km 11+780.00 Autopista Chamapa- La Quebrada.
5. Cruce 5 : Km 12+120.00 Autopista Chamapa- La Quebrada.
6. Cruce 6 : Km 14+060.00 Autopista Chamapa-Lechería / Atizapán.
7. Cruce 7: Km 14+160.00 Accesos a la Carretera Atizapán .
8. Cruce 8: Km 16+930.00 Autopista Chamapa- La Quebrada.
9. Cruce 9: Km 14+270.00 Atizapán – Nicolás Romero.
10. Cruce 10: Km 24+200.00 Autopista México- Querétaro.
11. Cruce 11: Km 26+440 Ferrocarril México- Querétaro.

4.4.2.- Características de algunos cruces.

Cruce No 9. Carretera Atizapán – Nicolás Romero: La estratigrafía en el es homogénea, en ambos lados de la vialidad hay toba arcillo- arenosa, de color café, muy compacta y espesor mayor a 10 m, y se observó en cortes de la Autopista, el material presenta parámetros de resistencia de $c > 10 \text{ t/m}^3$ y $\phi = 30^\circ$, en la vialidad hay espesor mayor a 4 m de material de relleno, cascajo y basura

Cruce No 10. Autopista México- Querétaro: Tiene estratigrafía homogénea, superficialmente tiene toba arcillo- arenosa, de color café, seca, muy compacta, con espesor mayor de 10 m, se comprobó en cortes de la Autopista, los parámetros de resistencia son: $c > 15 \text{ ton/m}^2$ y $\phi = 30^\circ$.

Cruce No 11 Ferrocarril México- Querétaro: Superficialmente se detecto toba areno- arcillosa, de color café, seca, muy compacta con un espesor mayor a 5 m su resistencia al esfuerzo cortante es alta, mayor a 10 ton/m^2 .

4.4.3.- Recomendaciones para la construcción de los cruces.

Para cruzar vialidades se propuso usar el método de "Hincado del Tubo", debido a la gran resistencia del subsuelo, excavando el frente a mano, por tramos y empujando el tubo. En el cruce No 9 solamente se hincó el tubo.

Atraques: Se uso atraques por cambios de dirección, y se presentan las capacidades de carga para cada sitio de cruce, los asentamientos diferenciales y totales mínimos ya que los materiales son de alta resistencia y compacidad, en la tabla 4.4 se presentan datos de atraques en 3 cruces.

Tabla 4.4- "Capacidad de Carga".

Cruce	Ancho del cimiento (m).	Profundidad de Desplante (m).	Capacidad de carga Admisible T/m ³ .
1	3	3.5	65
10	3	3.5	90
11	3	3.5	90

4.4.4.-Excavaciones: Por la alta resistencia de materiales volcánicos y la nula presencia de fracturas que afectan los taludes excavados en las cepas, estas pueden ser verticales: hasta los 5 m, aunque la profundidad de excavación del proyecto es de 3.2 m. La clasificación se hizo en base en la resistencia de los materiales a ser excavados y se presenta por secciones en la tabla 4.5. Para excavar en material Tipo I, se uso una retroexcavadora y para materiales Tipo III, se uso martillo neumático, acoplado a una retroexcavadora, el Tipo II, no se considero en la clasificación debido a que la C,N,A, no lo incluyo en los catálogos de conceptos. A lo largo del tramo se encontró 2 tipos de materiales, y los depósitos superficiales se forman de suelos orgánicos y rocas volcánicas "blandas", que se comportan como suelos duros y se clasifican de acuerdo al SUCS.

Tabla 4.5.- Clasificaciones de materiales según el método del SUCS.

TRAMO DE A	ESTRATO N°	ESPESOR	CALIFICACION SUCS		CLASIFICACION PARA PRESUUESTO		PLANTILLA	UTILIZACION DEL MATERIAL		
			DESCRIPCION	I	III	RELLENO COMPACTADO		RELLENO SEMICOMPACTADO	DESPERDICIO	
1+500.00	2+500.00	1	0.30	SUELO VEGETAL	100	0	NO	NO	NO	SI
		2	0.65	ARENA MAL GRADUADA CON GRAVA	100	0	NO	NO	SI	NO
		3	0.60	TOBA GRAVOSA	50	50	NO	SI	SI	NO
		4	INDEF.	TOBA	100	0	NO	SI	SI	NO
2+500.00	3+050.00	1	INDEF.	RELLENO	100	0	NO	SI	SI	NO
3+050.00	3+000.00	1	0.20	SUELO VEGETAL	100	0	NO	NO	NO	SI
		2	1.60	ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD	100	0	NO	SI	SI	NO
		3	1.00	ARCILLA HUMEDA CAFE	100	0	NO	SI	SI	NO
		4	INDEF.	TOBA	100	0	NO	SI	SI	NO
3+900.00	4+200.00	1	0.20	SUELO VEGETAL	100	0	NO	NO	NO	SI
		2	0.40	ARENA ARCILLOSA	100	0	NO	SI	SI	NO
		3	0.60	TOBA DE ARENA ARCILLOSA	50	50	NO	SI	SI	NO
		4	0.05	ROCA GRIS	0	100	NO	NO	NO	SI
		5	INDEF.	ROCA	0	100	NO	NO	NO	SI
4+200.00	4+21.00	1	0.20	SUELO VEGETAL	100	0	NO	NO	NO	SI
		2	1.40	ARENA LIMOSA O POCA GRAVA	100	0	NO	NO	SI	NO
		3	0.30	ARENA MAL GRADUADA O POCA GRAVA	100	0	NO	SI	SI	NO
		4	INDEF.	TOBA	100	0	NO	SI	SI	NO
4+21.00	4+719.00	1	0.20	SUELO VEGETAL	100	0	NO	NO	NO	SI
		2	1.00	ARCILLA ARENOSA	100	0	NO	SI	SI	NO
		3	0.30	GRAVA ARENO-LIMOSA	100	0	NO	SI	SI	NO
		4	INDEF.	TOBA	100	0	NO	SI	SI	NO
4+719.00	5+878.00	1	0.50	SUELO VEGETAL	100	0	NO	NO	NO	SI
		2	0.30	ARCILLA	100	0	NO	SI	SI	NO
		3	0.30	TOBA	100	0	NO	SI	SI	NO
		4	INDEF.	ROCA	0	100	NO	NO	NO	SI
5+878.00	7+150.00	1	1.30	TOBA MUY COMPACTA	100	0	NO	SI	SI	NO
7+150.00	7+645.88	1	INDEF.	TOBA	100	0	NO	SI	SI	NO
7+645.88	8+580.00	1	0.30	ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD	100	0	NO	SI	SI	NO
		2	0.30	GRAVA ARENOSA	100	0	NO	NO	SI	NO
		3	INDEF.	TOBA	100	0	NO	SI	SI	NO
8+580.00	9+560.00	1	0.25	SUELO VEGETAL	100	0	NO	NO	NO	SI
		2	1.40	TOBA ARENO-ARCILLOSA CON LIMOS	80	20	NO	SI	SI	NO
		3	INDEF.	TOBA	100	0	NO	SI	SI	NO
9+560.00	10+225.08	1	0.40	SUELO VEGETAL	100	0	NO	NO	NO	SI
		2	0.00	ARCILLA	100	0	NO	SI	SI	NO
		3	0.70	ARCILLA BAJA PLASTICIDAD	100	0	NO	SI	SI	NO
		4	INDEF.	TOBA	100	0	NO	SI	SI	NO
10+225.08	10+528.19	1	0.25	SUELO VEGETAL	100	0	NO	NO	NO	SI
		2	INDEF.	TOBA	100	0	NO	SI	SI	NO
10+528.19	10+880.00	1	2.20	SUELO VEGETAL	100	0	SI	NO	SI	NO
		2	INDEF.	TOBA	100	0	NO	SI	SI	NO
10+880.00	11+250.00	1	0.70	SUELO VEGETAL	100	0	NO	NO	NO	SI
		2	1.00	ARENA CON GRAVA	100	0	NO	NO	SI	NO
		3	INDEF.	TOBA	100	0	NO	SI	SI	NO
11+250.00	12+860.00	1	0.30	SUELO VEGETAL	100	0	NO	NO	NO	SI
		2	1.00	ARCILLA ARENOSA	100	0	NO	NO	SI	NO
		3	1.00	TOBA ARENO-LIMOSA	80	20	NO	SI	SI	NO
		4	INDEF.	TOBA	100	0	NO	SI	SI	NO
12+860.00	14+300.00	1	1.00	TOBA ARENOSA	20	80	NO	SI	SI	NO
		2	INDEF.	TOBA	100	0	NO	SI	SI	NO
14+300.00	15+200.00	1	0.30	RELLENO CASCAJO	100	0	NO	NO	NO	SI
		2	0.80	ARENA ARCILLOSA	100	0	SI	NO	SI	NO
		3	0.90	TOBA ARENOSA O GRAVA Y ARCILLA	80	20	NO	SI	SI	NO
15+200.00	15+400.00	1	0.30	SUELO VEGETAL	100	0	NO	NO	NO	SI
		2	3.00	RELLENO DE CASCAJO SEMICOMPACTADO	100	0	NO	NO	NO	SI
		3	INDEF.	TOBA	100	0	NO	SI	SI	NO
15+400.00	16+200.00	1	0.45	SUELO VEGETAL	100	0	NO	NO	NO	SI
		2	1.35	TOBA ARENO GRAVOSA Y ARCILLOSA	50	50	NO	SI	SI	NO
		3	INDEF.	TOBA	100	0	NO	SI	SI	NO
16+200.00	16+400.00	1	1.90	RELLENO DE CASCAJO SEMICOMPACTADO	100	0	NO	SI	SI	NO
		2	INDEF.	TOBA	100	0	NO	SI	SI	NO
16+400.00	17+200.00	1	0.90	RELLENO CASCAJO SEMICOMPACTADO	100	0	NO	NO	NO	SI
		2	1.20	ARENA MAL GRADUADA	100	0	SI	NO	SI	NO
		3	INDEF.	TOBA	100	0	NO	SI	SI	NO

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TRAMO		ESTRATO Nº	ESPESOR	CALIFICACION SUELOS DESCRIPCION	CLASIFICACION PARA PRESUESTO		PLANTILLA	UTILIZACION DEL MATERIAL		
DE	A				I	III		RELLENO COMPACTADO	RELLENO SEMCOMPACT	DESPERDICIO
17+300.00	17+600.00	1	0.80	RELLENO CASCAJO SEMI COMPACTADO	100	0	NO	NO	NO	S
		2	1.40	ARENA ARCILLOSA C/POCA GRAVA	100	0	NO	S	S	NO
		3	INDEF.	TCBA	100	0	NO	S	S	NO
17+600.00	18+000.00	1	0.50	RELLENO CASCAJO SEMI COMPACTADO	100	0	NO	NO	NO	S
		2	2.00	TCBA ARCILLOSA	40	60	NO	S	S	NO
18+600.00	19+700.00	1	0.60	RELLENO CASCAJO SEMI COMPACTADO	100	0	NO	NO	NO	S
		2	0.50	TCBA ARENOSA	50	50	NO	S	S	NO
		3	1.00	TCBA ARENOSA C/POCOS FINOS	50	50	NO	S	S	NO
19+700.00	20+400.00	1	0.60	RELLENO CASCAJO SEMI COMPACTADO	100	0	NO	S	S	NO
		2	1.00	ARCILLA ARENOSA	100	0	S	S	S	NO
		3	1.40	TCBA ARENOSA C/GRAVAS COMPACTADAS	30	70	NO	S	S	NO
20+400.00	20+700.00	1	3.00	RELLENO CASCAJO SEMI COMPACTADO	100	0	NO	NO	NO	S
		2	INDEF.	TCBA	100	0	NO	S	S	NO
20+700.00	21+000.00	1	0.50	RELLENO CASCAJO SEMI COMPACTADO	100	0	NO	NO	NO	S
		2	0.60	ARCILLA ARENOSA	100	0	S	S	S	NO
		3	1.40	TCBA ARCILLOSA DE ALTA PLASTICIDAD	60	40	NO	S	S	NO
21+000.00	22+600.00	1	1.80	TCBA ARENO-ARCILLOSA MUY COMPACTA	40	60	NO	S	S	NO
22+600.00	23+300.00	1	0.30	SUELO VEGETAL	100	0	NO	NO	NO	S
		2	1.00	LIMO ARCILLOSO	100	0	S	NO	S	NO
		3	1.20	TCBA ARCILLOSA DE ALTA PLASTICIDAD	30	70	NO	S	S	NO
23+220.00	23+800.00	1	2.70	TCBA ARENO-ARCILLOSA	50	50	NO	S	S	NO
		2	INDEF.	TCBA	100	0	NO	S	S	NO
23+800.00	24+064.68	1	2.16	TCBA ARENO-ARCILLOSA	80	20	NO	S	S	NO
		2	INDEF.	TCBA	100	0	NO	S	S	NO
24+064.68	24+300.00	1	0.30	SUELO VEGETAL	100	0	NO	NO	NO	S
		2	1.00	TCBA ARENO-ARCILLOSA	50	50	NO	S	S	NO
		3	INDEF.	TCBA	100	0	NO	S	S	NO
24+300.00	30+400.00	1	0.25	SUELO VEGETAL	100	0	NO	NO	NO	S
		2	1.00	ARENO LIMOSA	100	0	S	S	S	NO
		3	0.80	TCBA ARENO LIMOSA	50	50	NO	NO	S	NO
		4	INDEF.	TCBA	100	0	NO	NO	S	NO
30+400.00	31+100.00	1	0.20	SUELO VEGETAL	100	0	NO	NO	NO	S
		2	0.70	LIMO C/POCA ARENA	100	0	S	NO	NO	NO
		3	0.20	FRAGMENTOS	80	20	NO	NO	S	NO
		4	1.90	ARENA LIMOSA	100	0	S	S	S	NO
		5	INDEF.	TCBA	100	0	NO	NO	S	NO
31+100.00	31+450.00	1	0.20	SUELO VEGETAL	100	0	NO	NO	NO	S
		2	0.60	LIMO	100	0	S	S	S	NO
		3	1.00	ARENA LIMOSA	100	0	S	S	S	NO
		4	INDEF.	TCBA	100	0	NO	S	S	NO
31+450.00	31+560.00	1	0.40	TCBA ARENOSA	50	50	NO	NO	S	NO
		2	0.50	ROCA FRAGMENTADA	0	100	NO	NO	S	NO
		3	1.10	ARENA LIMOSA	100	0	S	S	S	NO
		4	INDEF.	TCBA	100	0	NO	S	S	NO
31+560.00	32+300.00	1	0.20	SUELO VEGETAL	100	0	NO	NO	NO	X
		2	0.50	LIMO ARENOSO	100	0	S	S	S	NO
		3	1.30	TCBA ARCILLO ARENOSA	50	50	NO	NO	S	NO
		4	INDEF.	TCBA	100	0	NO	NO	S	NO
32+300.00	32+750.00	1	0.30	SUELO VEGETAL	100	0	NO	NO	NO	S
		2	0.60	LIMO ARCILLOSO	100	0	S	S	S	NO
		3	0.20	ROCA FRAGMENTADA	0	100	NO	NO	S	NO
		4	0.80	TCBA ARENO-GRAVOSA	50	50	NO	NO	S	NO
		5	INDEF.	TCBA	100	0	NO	NO	S	NO
32+750.00	35+047.27	1	0.30	SUELO VEGETAL	100	0	NO	NO	NO	S
		2	0.50	LIMO ARCILLOSO	100	0	NO	S	S	NO
		3	1.50	TCBA ARENO LIMOSA	60	40	NO	NO	S	NO
		4	INDEF.	TCBA	100	0	NO	NO	S	NO
35+047.27	35+600.00	1	0.30	SUELO VEGETAL	100	0	NO	NO	NO	X
		2	1.00	ARCILLA LIMOSA	100	0	S	S	S	NO
		3	1.00	TCBA ARENO LIMOSA	50	50	NO	NO	S	NO
		4	INDEF.	TCBA	100	0	NO	S	S	NO

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Se encontró depósitos lacustres y material ígneo tobáceo, pumítico areno- limoso o limo-arenoso, ígnimbritas y aglomerados, cementados con pequeña cantidad de arcilla, de color café claro amarillento y rojizo, con cantidades variables de gravas y boleos en el tramo, con baja compresibilidad y resistencia media al esfuerzo cortante, su espesor es variable y se clasifica como un SM, SM-ML, ya que los materiales no son suelos en sentido estricto, aunque se pueden clasificar según SUCS, con las siguientes propiedades geotécnicas:

- Contenido natural de agua : 6.3 a 33.7%.
- Peso volumétrico natural : 1.60 a 1.82 t/m³
- Densidad de sólidos : 2.60 a 2.70 g / cm³ .
- Relación de vacíos inicial : 0.89 a 0.98
- Grado de saturación : 20.8 % a 26.3 % .

Este material se emplea en la construcción del acostillamiento para proteger la tubería y para el relleno de cepas excavadas en tramos que se mencionan en la Tabla 4.5, para su excavación, se recomienda acamellonar los materiales a los lados de la excavación para su empleo posterior.

4.4.5.- Tendido de tubería.

- a) Transporte, Descarga y colocación de la tubería, previo a su colocación .
 - Transportación .Se realiza apoyando la tubería sobre polines de madera.
 - Descarga, se realiza con grúa y eslingas de cable grueso o mediante rampas y cablestante.
- b) Plantilla.
 - Colocación: Los tubos se alinean paralelamente al trazo de la línea de conducción y descansa en 2 camellones de tierra suave separados 4.0 m .
 - Se conforma el fondo de la cepa para colocar las conchas para el enchufe.
 - Se coloca cama de apoyo, con capa de material suelto o granular, como grava, balasto o tezontle
 - Se coloca el tubo a fondo de zanja, con grúa habilitadas con esfingas.
 - Se une el tubo empujando la extremidad sobre la campana, con dispositivo de fricción interior o exterior.
 - Prueba hidrostática de tubería, a presión de trabajo, con llenado de agua o inyección de aire.

4.4.6.- Relleno de zanjas.

a) **Relleno compacto:** Terminado el acostillado sigue el relleno compacto hasta 30 cm encima de la clave de la tubería, con material homogéneo granular, grava cementada, tezontle, tepetate.

b) **Relleno a volteo:** Se llena la zanja con material de la excavación, sin boleos o roca, y no se compacta el material, se deposita sobre la tubería en forma progresiva para evitar rupturas por deformaciones por cargas sobre el tubo. El banco es de buena calidad, se aprovechara para relleno de zanja y algunos tramos de la zona urbana de Coacalco.

4.4.7.- Proceso para la construcción de zanjas.

- Se realizó excavación de la zanja, con ancho de 2.50 m tanto para tuberías de 54" como para las de 60" de diámetro.
- La profundidad de la cepa es de 3 m, considerando que el colchón mínimo es de 1.50 m.
- Se marca con cal el trazo de la conducción, estacando los vértices de la poligonal de apoyo
- Se excavo la cepa y se mantuvo profundidad adecuada para cumplir con el colchón de 1.50 m
- Con características de los materiales explorados a lo largo de la línea de conducción, se hizo zanjas rectangulares, de paredes verticales, ya que la estabilidad de gran parte de los materiales encontrados es aceptable y en ningún caso se requiere instalar ademes de contención .

4.4.8.- Bancos de Materiales:

A lo largo de la línea Tramo: Toma 4-Tanque Coacalco se ubican 4 bancos de materiales de buena calidad y aptos para ser utilizados como plantilla de la tubería; además, existen abundantes afloramientos de tobas, para relleno en las zanjas.

Banco de material No 1: Esta en el kilometro 0+650.00, es un banco de terreno ejidal, llamado Santiago Tepatlaxco, es de una sociedad de ejidatarios, el Encargado es el Ing. Mario Ochoa.

Produce: Arena, Piedra, Grava y Tepetate.

Superficie: Actualmente tienen 7 Ha, con una gran superficie por desarrollar.

Volumen de producción aproximado: 500 m³/día en promedio.

Banco de material No 2: Se localiza en el Municipio de Cuautitlán Izcalli.

Nombre: San Martín Obispo Tepetlixpa

Opera: Banco de Préstamo al Ejidatario.

Construcciones y Urbanizaciones Rega, S. A.

Representante: Sr. Antonio Rega García.

Produce: Tepetate.

Material controlado 60-40 y 70-30 para compactación.

Volumen: 200 a 300 camiones por día, según las necesidades requeridas. El banco es de buena calidad, se localiza en el km 24+241.31, junto a la Autopista Chamapa - La Quebrada.

El banco de préstamo se utiliza para rellenar la cepa a partir del cruce con la Autopista México - Querétaro y hasta el cruce con las vías de ferrocarril en el Puente López Portillo.

Banco de material No 3: Esta en el kilometro 33+700.00 en Cuautitlán Izcalli, es banco de préstamo que produce tepetate de excelente calidad, se utiliza en el tramo del km 30+400 al km 32+100, en que se presentan suelo arcilloso, así como en tramos con material de relleno y cascajo

Banco de material No 4 .

Nombre: "La Palma".

Produce: Tepetate controlado.

Volumen: 200 m³ diarios. El banco es de buena calidad, esta en el km 36+200, en la división política de Tultitlán y Coacalco, el banco se utiliza para rellenar zanjas en tramos de Coacalco.

4.4.9.- Datos del Proyecto.

La tubería que se utiliza en la línea de Conducción del Macrocircuito del Sistema Cutzamala, en el tramo Toma 4-Tanque Coacalco es de 60" y 54" de ϕ . La línea de conducción esta dividida en 3 partes, el tramo de 60" de ϕ comprende desde el punto de bifurcación del km 0+818.17, hasta el km 10+620.00, denominado Derivación Zona Esmeralda; del km 10+620.00 al km 23+612.57 es de 54" de ϕ y por último del Km 23+641.90 al km 39+685.70 de 60" de ϕ , en el proyecto los gastos de diseño se determinaron por el método de Darcy-Weisbach. Para analizarlos, la tubería se subdividió en 4 partes, los cuales son:

- | | | |
|---|------------------------|------------|
| • Tramo 1 (Toma 4-T. Bellavista) | 7.80 m ³ /s | 60" |
| • Tramo 2 (T. Bellavista - C. R. P) | 5.45 m ³ /s | 60" y 54". |
| • Tramo 3 (C. R. P - T. Providencia) | 6.25 m ³ /s | 54" |
| • Tramo 4 (T. Providencia- T- Coacalco) | 3.05 m ³ /s | 60" |
| • Coeficiente de variación diaria | 1.20 | |
| • Coeficiente de variación Hr | 1.50 | |
| • Sistema | Por gravedad | |
| • Criterio | Darcy- Weisbach. | |
| • Línea | T. S. S. R. | |

4.4.10.- Características de los Tubos.

En estos proyectos las conducciones a presión para abastecer de agua a poblaciones que por crecer tienen demanda mayor, requieren tuberías que garanticen condiciones técnicas y económicas que se plantean en transportación de grandes volúmenes de agua para satisfacerlas. Los tipos – marcas de tubos que se emplearon en el ramal norte fueron COMECOP E ICHSA.

Los tubos de concreto pretensado, fabricados en México, ofrecen las siguientes ventajas:

- Coeficiente de escurrimiento óptimo y permanente, debido a la tersura de sus paredes interiores obtenidas en su fabricación por centrifugación o colado vertical.
- Resistencia a las presiones y cargas requeridas, producto del empleo en fabricar concretos de alta resistencia y al proceso de pretensado del acero de refuerzo, longitudinal y transversal.
- Fácil de instalar al emplearse para uniones, la junta de hule autocentrable, que además de asegurar una hermeticidad, otorga flexibilidad en las instalaciones.
- Larga vida, ya que la tubería resiste corrosión, y el concreto cubre los refuerzos de acero.

4.4.10.1.- Características generales del tubo COMECOP, usado en este proyecto.

Constitución del tubo: La fabricación comprende tres operaciones principales:

- 1.-Producción de tubo primario provisto de alambre pretensado longitudinalmente
- 2.-Zunchado del tubo primario por enrollamiento bajo tensión controlada de un alambre de acero que produce el pretensado transversal.

3.-Protección del zunchado por una capa de concreto de revestimiento, los extremos se elaboran con precisión para recibir un anillo de elastómero y constituir una junta flexible autocentrante.

Resistencia a la corrosión: Combinar concreto con acero es una unión feliz.

El concreto, medio alcalino (Ph cercano a 12) coloca el hierro en estado "pasivizado" al abrigo de la corrosión, prolonga la pasivación con el tiempo y protege el acero contra el agua transportada.

Sistemas de fabricación: El tubo primario es por centrifugación en moldes horizontales o por colado vertical. La centrifugación y fabricación de tubos horizontales, es normal para tubos de 2100 mm de diámetro y al colado vertical de tubos primarios, le puede seguir un zunchado y revestimiento que puede ser en posición horizontal y vertical.

Cemento: El utilizado es del Tipo Portland, ordinario o de alta resistencia inicial, en caso de corrosión por aguas y terrenos sulfatados se usara el de baja alúmina (Tipo V).

Agregados: La arena para el concreto será sílicea natural, procedente de molienda, y la limpieza de la arena es esencial. La grava para concreto primario es de piedras duras (cantos rodados) o roca triturada, de forma regular, con coeficiente volumétrico superior a 0.15, cumpliendo las normas del DGN. La dimensión de la grava varía con el espesor de la pared de los tubos primarios las clases granulares utilizadas son 8-16 y 10-20 mm. La gravilla para concreto de revestimiento es de piedra dura rodada o trituradas; la dimensión máxima es entre 6 y 8 mm .

Composición y características de los concretos: El concreto primario se dosifica a 425 kg de cemento por m³ compuesto con el mínimo de arena compatible con la trabajabilidad necesaria. Después de la centrifugación o colado vertical, los concretos de tubos COMECOP presentan una resistencia al aplastamiento de:

A los 7 días de $\geq 400 \text{ kg/cm}^2$ y a los 28 días de $\geq 500 \text{ kg/cm}^2$.

La resistencia a compresión (aplastamiento) usualmente obtenida es :

A los 7 días de $\geq 400 \text{ kg/cm}^2$ y a los 28 días de $\geq 500 \text{ kg/cm}^2$.

Acero de Pretensado: Los alambres de pretensado son de acero con alto contenido de carbono, tratados para alcanzar gran resistencia mecánica. En la fabricación del tubo se usan:

- En pretensado longitudinal: alambre liso o ligeramente entallados de diámetro de 5 a 8 mm
- En Zunchado: alambre liso de diámetro de 4 a 9 mm, de resistencia a ruptura de 160kg/cm²

Cumplen las normas DGN- B-293-1968, ASTMA-421- A -570, y British Standard 2691-1981.

Una planta de tubos COMECOP consta de 2 secciones:

- Cadena primaria, es un círculo de moldes donde salen los tubos primarios pretensados longitudinalmente y las operaciones de esta cadena son Armado del pretensado longitudinal, Tensado del refuerzo, Centrifugación, Entufado, Desmolde, Rectificado y Patio Primario.
- Cadena secundaria, donde entran los tubos primarios y salen los tubos terminados después del zunchado Colado vertical y revestimiento.

Los diámetros van de 750 a 4,000 mm y el largo de 5 a 7 mm. Se usan para conducir agua, con un espesor de 25 mm, y para presiones de planta de 22-24 kg/cm² y de servicio de 15-16 kg/cm², en presión mayor se incrementa el espesor. En el proyecto es presión de trabajo, con relleno de zanja de 1.50 m, 2/3 de presión de planta el tubo de ϕ de 1.500 mm ó 150 cm, es para una prueba de 40 kg/cm² y espesor de 150 mm, para una presión alta, se usa zunchado de doble capa de alambre pretensado. En 1954 pruebas en conductos de 1100 mm se midió la rugosidad hidráulica de tubos centrifugados o de colado vertical en servicio, y es de $K=0.000062$ m ó 0.062 mm.

También se usa en alcantarillados bajo presión, en conductos de gran diámetro, la carga exterior importa para proponer el pretensado transversal que la presión interior, es irracional y económico usar tubos de concreto pretensado. Una planta de tubos COMECOP produce Tubos de concreto armado de alta calidad para alcantarillado ó cubierta de conducciones cruces de ferrocarril, tubo de concreto armado para bajas presiones y canaletas semicirculares pretensadas longitudinalmente para sistemas de riego y se usan en donde hay necesidades hidráulicas para conducción y distribución de agua potable, para riego alcantarillado y evacuar aguas residuales industriales.

COMECOP fabrica piezas especiales, en cualquier diámetro y presión alta, como:

- Codos de todos los ángulos.
- Tesis tubulares (derechas, oblicuas, axiales o tangenciales)
- Bocas de registro con brida y tapa.
- Tubos de bifurcación simétricos o disimétricos.
- Reducciones cónicas.
- Terminales con o sin brida para conectar a compuertas seccionadas o giratorias, instrumentos de medición, etc y terminales de obturación (Puntas muertas) y Venturas.

Las características de resistencia, ayudan en su fabricación, para soportar una presión por alta que esta sea, están constituidas con alma de acero con espesor que soporta altas presiones de trabajo, se trabaja en forma manual y soldada y probada con queroseno, el acero se recubre de concreto, en exterior lleva refuerzo de acero en espiras y generatrices, que resisten cargas exteriores. Sus extremos de las piezas se construyen según convenga utilizarla en la conducción:

- Juntas Brigadas.
- Juntas Gibault Johnson.
- Juntas H.- Extremos hembras con junta de hule.
- Juntas M.- Extremos machos con junta de hule.
- Juntas U.- Extremos unidos por la soldadura parte cubre- juntas(figura 4.13).
- Cualquier otro extremo se realiza según lo pidan.

Tubos cortos y adaptadores: Están en los extremos de un tubo standard, pero por su posición de la pieza es imperativa en puntos que no son extremos y serán las llegadas a la obra terminal, Cruces de ríos, vías férreas, carreteras y acotamiento de un trazo obligado (figuras 4.12 a y b), para conectarlo se utiliza tubos cortos y adaptadores, ya sean tubo corto con extremos H, en un extremo H y en otro U, uno de ellos y el otro M y U y el tubo intermedio es con extremo U.

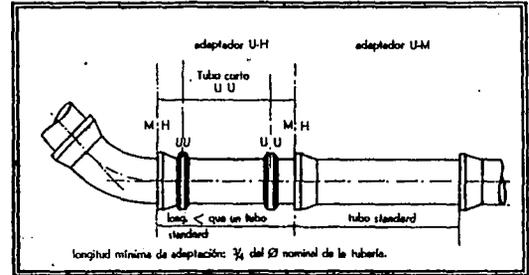
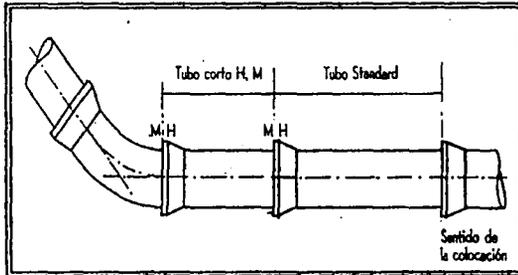
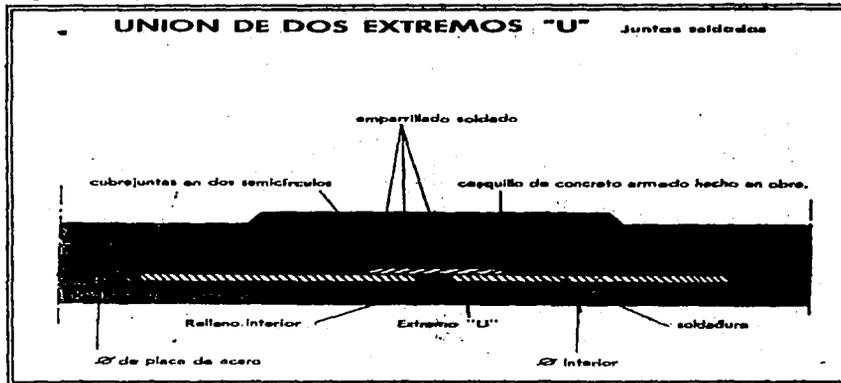


Figura 4.12 a) Tubos cortos.

(Referencia 2)

Figura 4.12 b) Tubos cortos.



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Figura 4.13.-Juntas U (Referencia 2).

4.4.10.2.- Características Generales de la Tubería de Concreto ICHSA (SP -12).

Fabricada de acuerdo con la especificación AWWA - C301 (American Water Works Association).

Esta tubería es del tipo de concreto preesforzado, con cilindro de acero para presión. Este tubo se diseña de acuerdo con la norma AWWA C301 y la norma mexicana NMX-C-253. El refuerzo consiste en un cilindro de acero sellado mediante soldadura continua y ahogado en el concreto. El tubo está provisto de juntas flexibles de acero de sección especial soldadas al cilindro y firmemente ancladas a la estructura. El cilindro está recubierto interior y exteriormente de concreto. El núcleo de concreto está comprimido con alambre de alta resistencia. El alambre de preesfuerzo está protegido por una capa densa de mortero. La junta está provista de un empaque de hule, el cual permite, una vez instalados los tubos, absorber asentamientos diferenciales del suelo, contracciones o extensiones térmicas. La junta es autocobante (figura 4.14).

Dimensiones: Las dimensiones del tubo recto se indican en la tabla 4.6, el tubo debe ser cilíndrico, recto y sus extremos perpendiculares al eje longitudinal. El diámetro interior no debe ser menor del nominal en más de 0.6 cm (1/4"). Las piezas especiales reducciones, codos, salidas, etc pueden tener longitudes menores a las del tubo recto, de acuerdo con las necesidades de la obra.

SP-12

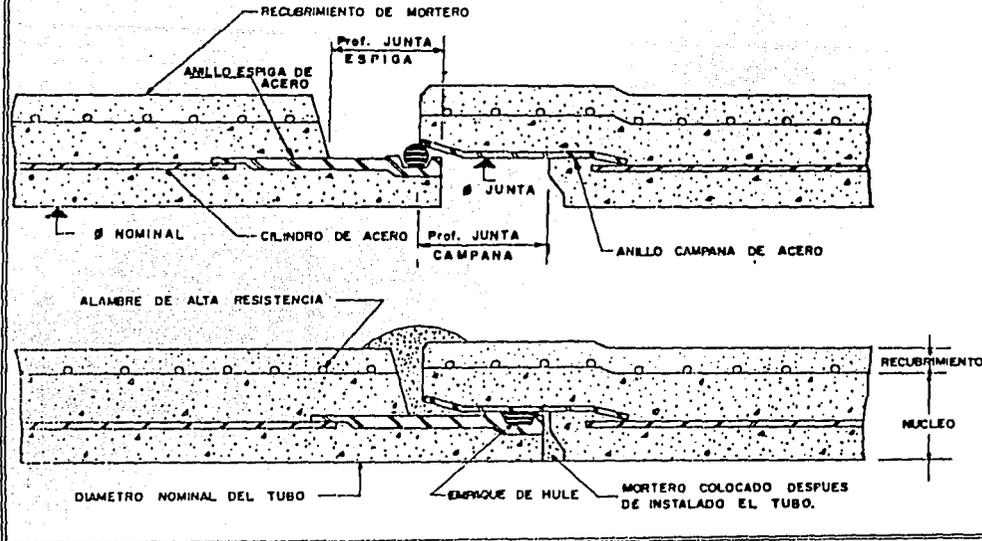


Figura 4.14.- Detalle de una junta provista de un empaque de hule, en el cilindro de acero para un tubo.

Tabla 4.6.- Características de los tubos ICHSA más usados en obras hidráulicas.

DIAMETRO NOMINAL		E S P E S O R E S						LONGITUD APROVECHABLE	PESO APROXIMADO	
		N U C L E O		R E C U B R I M I E N T O		P A R E D			POR METRO	POR TUBO
PUL	MM	PUL	MM	PUL	MM	PUL	MM	M	TON/M	TON/TUBO
30"	762	2 1/4	57	1 1/4	31	3 1/2	88	4.88	0.571	2.8
36"	914	2 1/4	57	1 1/4	31	3 1/2	88	4.88	0.673	3.3
42"	1066	2 5/8	66	1 1/4	31	3 7/8	98	4.88	0.865	4.2
48"	1219	3	76	1 1/4	31	4 1/4	107	4.88	1.081	5.3
54"	1371	4	101	1 1/4	31	5 1/4	133	4.88	1.514	7.4
60"	1524	4 1/2	114	1 1/4	31	5 3/4	146	4.88	1.840	9.0
66"	1676	5	127	1 1/4	31	6 1/4	158	4.88	2.198	10.7
72"	1828	5 1/2	139	1 1/4	31	6 3/4	171	4.88	2.588	12.6
72"	1828	4 1/2	114	1 1/4	31	5 3/4	146	6.10	2.278	13.9
84"	2133	5 1/4	133	1 1/4	31	6 1/2	165	6.10	2.968	18.1
84"	2133	6 1/2	165	1 1/4	31	7 3/4	196	4.88	3.461	16.9
99"	2514	6 1/4	158	1 1/4	31	7 1/2	190	4.88	3.888	19.0
99"	2514	6 1/4	158	1 1/4	31	7 1/2	190	7.32	3.888	26.5
108"	2743	6 3/4	171	1 1/4	31	8	203	6.10	4.622	28.2

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Diseño.

a) Alambre: El alambre de tensado debe cumplir con las especificaciones ASTM A-648. El diámetro del alambre y su espaciamiento deben producir el presfuerzo requerido en el núcleo de concreto. La deformación elástica o plástica del concreto y el acero deben tomarse en consideración en el diseño. El esfuerzo de aplicación del alambre de alta resistencia no deberá exceder del 75% de la resistencia mínima a la ruptura. El espaciamiento máximo no debe exceder lo indicado en la norma aplicable y el mínimo será aquel que produzca un claro de 0.5 cm (3/16") en los alambres. El diámetro mínimo del alambre es de 0.49cm (0.192", calibre No.6).

b) Cilindro: El acero del cilindro debe estar de acuerdo con la especificación ASTM A-569; ASTM A-570; ASTM A-611 grados C o D; a AISI Manual 1214. Cada cilindro terminado, con sus anillos de junta y completamente soldado debe ser sujeto a una prueba hidrostática. Mientras el cilindro está bajo presión todas las soldaduras deben ser inspeccionadas cuidadosamente. Si existe cualquier fuga, ésta debe ser reparada y el cilindro se somete de nuevo a presión. El cilindro terminado debe ser hermético bajo las condiciones de prueba hidrostática. La presión de prueba será tal que no rebase el 0.9 del límite elástico del acero del cilindro. La soldadura debe efectuarse mediante un proceso aprobado. El acero de cilindro y del alambre de calidad diferente al indicado en estas especificaciones puede ser usado siempre y cuando en el diseño del tubo se tomen en cuenta las propiedades físicas de los materiales.

c) Núcleo: El núcleo no debe ser comprimido hasta que el concreto alcance la resistencia especificada, la compresión inicial en el concreto producida por el presfuerzo, no debe exceder 55% de la resistencia a la compresión del concreto en el momento de ser enrollado el alambre.

Juntas: Las juntas deben de sellar mediante un empaque de manera que permanezca hermética bajo cualquier condición normal de servicio incluyendo asentamientos, contracciones o expansiones. El anillo espiga deberá tener una ranura capaz de alojar y confinar el empaque. Los anillos espiga y campana deben conformar con las especificaciones AWWA C-301. El empaque debe ser de hule natural o sintético, con una textura que asegure la hermeticidad de la junta en forma permanente y debe ser manufacturado por un fabricante que tenga cuando menos cinco años de experiencia en la fabricación de empaques de hule. El empaque debe tener una sección uniforme y debe llenar la ranura de la espiga cuando se instale la tubería. El mortero de cemento para el junteo no se toma en cuenta para garantizar la hermeticidad de la junta. El empaque debe cumplir con la norma NMX-T-21.

Concreto: El cemento debe cumplir con los requisitos de la especificación ASTM C-150. Los agregados deben estar compuestos por partículas resistentes y durables, limpias y libres de materia orgánica. El agua usada para el concreto debe ser limpia y libre de cantidades deletéreas de ácidos, álcalis o materia orgánica. El concreto usado en la fabricación del tubo debe constar de cemento, arena y piedra triturada o grava natural cuidadosamente proporcionados para producir alta densidad y resistencia. En ningún caso el contenido de cemento debe ser menor que 333 kg/cm³ (564 lbs/yd³). El concreto debe colocarse en moldes verticales de acero contruidos de tal forma que el molde interior, el exterior, los anillos y el refuerzo sean concéntricos. Durante el colado los moldes deben vibrarse adecuadamente.

El concreto debe tener una resistencia promedio de 317 kg/cm² (4500 PSI) a los 28 días en cilindros de prueba Standard de 15.2 φ x 30.5 cm de longitud (6" x 12) curados en forma similar al tubo. Para cumplir con esta norma, el promedio de 10 pruebas consecutivas de los cilindros representativos de cada mezcla, debe ser igual o mayor que la resistencia especificada y no más del 20% tendrá resistencia inferior.

Curado: El curado del concreto puede hacerse por medio de vapor o agua. Se podrá emplear el curado mediante agua siempre y cuando la temperatura ambiente sea superior a 7°C (45° F). En cualquiera de los dos casos se debe contar con un lugar apropiado para efectuar el curado.

a) Curado con vapor: El curado de los núcleos debe hacerse en cuarto cerrado o cubriéndolos adecuadamente con lonas, en tal forma que permite la libre circulación del vapor. Una vez colado el núcleo se somete a un período de reposo de 4 horas antes de que el vapor húmedo entre en contacto con el núcleo. La temperatura del cuarto de curado debe incrementarse gradualmente hasta alcanzar un mínimo de 43° C (110° F) y un máximo de 66° C (150° F). Si el curado se hace exclusivamente de vapor el tiempo mínimo para desmoldar es de 6 horas después de comenzar el curado y el tiempo total de curado es de 12 horas quedando incluidos los tiempos de reposo y desmolde. Si el curado es mixto, esto es con vapor para el fraguado inicial y con agua para el fraguado complementario, el tiempo mínimo para desmoldar es de 6 horas después de comenzar el curado de vapor, transcurrido este período, los núcleos se transportan a un patio donde se riegan continuamente, por medio de aspersores de agua, hasta obtener resistencia especificada.

b) Curado con agua: Los núcleos deben permanecer en los moldes durante un período mínimo de 12 horas. Una vez transcurrido este tiempo el núcleo debe conservarse húmedo mediante aspersión continua, hasta obtener la resistencia especificada.

Recubrimiento: El recubrimiento de mortero debe aplicarse dentro de las 72 horas de haber sido presforzado el núcleo. El mortero debe ser colocado en el tubo mediante una máquina que lanza el mortero, previamente mezclado, contra la superficie exterior del núcleo para producir un recubrimiento denso sobre el alambre de tensado (brush coating). El espesor del recubrimiento no debe ser menor que el indicado en la tabla y el curado del recubrimiento podrá hacerse por medio de vapor o agua.

a) Curado por vapor: El tubo recubierto debe ser colocado en una cámara de vapor tan pronto como sea posible después de colocado el recubrimiento, y curado como se especifica en el curado del núcleo con vapor por un período mínimo de 12 horas. Si la temperatura a la intemperie es superior a 5°C se puede substituir cada hora de vapor por 4 horas de curado con agua, el tubo debe manejarse con cuidado para evitar daños al recubrimiento en las etapas de manejo.

b) Curado con agua: Dos horas después de haber sido colocado el recubrimiento, éste debe mantenerse húmedo mediante aspersión continua por un período mínimo de 4 días o cubierto con polietileno.

Piezas especiales: Las curvas de gran radio pueden formarse mediante la deflexión propia (junta abierta) de cada junta en los tubos rectos o por medio de tubos y/o adaptadores biselados. Las piezas especiales son diseñadas para resistir la misma carga de trabajo que los tubos adyacentes. Los codos, tees, reducciones, yes, etc, se construyen de concreto reforzado con cilindro de acero, el sistema de enchufe de las piezas especiales es el mismo de los tubos, excepto cuando se requiere conexión con otras tuberías o accesorios en cuyo caso las juntas conforman con estos.

El coeficiente de fricción de HAZEN-WILLIAMS, es establecido para este tipo de tubería, es de 135 para diámetros hasta 42" y 145 para diámetros mayores. El término ASTM significa: American Society for Testing and Materials. Pequeñas grietas en el concreto que no afectan la integridad estructural del tubo no serán causa de rechazo y el tubo que cumple con esta especificación está diseñado para satisfacer una prueba de estanqueidad en la que las fugas no exceden 50 litros por cm de diámetro por km de longitud en 24 horas de prueba a la presión de prueba.

4.4.10.3.- Tuberías a presión de placas de acero soldadas.

Las tuberías deben de ser hidráulicamente eficientes como sea posible, para conservar la carga disponible y estructuralmente seguras para prevenir fallas que causen pérdidas de vida o bienes, se pueden fabricar de gran variedad de materiales, pero la resistencia y flexibilidad del acero hace de él el más conveniente para trabajar con la variación de presiones que provoca la operación de una turbina, bomba o válvula.

El diseño y la construcción de tuberías de gran diámetro, para trabajar a presión, están regulados por códigos apropiados que establecen las reglas y prácticas que se deben seguir. En México no hay un código especial que norme el diseño y la construcción de tuberías a presión, por lo que ha habido necesidad de apearse a normas estadounidenses y en las de la A.S.M.E.

En la actualidad las tuberías de grandes diámetros que aquí se trataran se hacen con placas de acero soldadas, razón por la cual en el diseño se deben tener en cuenta los procesos y procedimientos para aceros soldados que se huzan en las tuberías modernas en México.

Especificaciones técnicas de las placas de acero para tuberías a presión, soldadas.

Las especificaciones técnicas fijan las características de las placas de acero que se utilizan en la fabricación de la tuberías a presión o en algunas partes anexas de construcción soldada. El tipo y el grado del acero se definen por su composición química, su elaboración, su tratamiento térmico y sus características mecánicas y tecnológicas. Las placas de acero se pueden entregar según su grado y su clase en uno de los 3 estados siguientes:

- 1.- Laminadas a temperatura controlada: Se exige el control de la temperatura final de laminado.
- 2.- Normalizadas: Comprende un calentamiento seguido de un enfriamiento al aire en calma.
- 3.- Tratadas: Se entiende por tratamiento un temple seguido de un revenido.

Características mecánicas y tecnológicas.

Los valores del límite elástico y de la resistencia quedan en una zona de dispersión. De esta zona quedan fijados el límite inferior y superior de la resistencia a la ruptura, estas características deben estar garantizadas al final de la fabricación de las piezas de la tubería, con el fin de comprobar la ausencia de defectos internos, las placas deben ser sometidas a control por ultrasonido.

Se debe establecer la manera de proceder, así como la magnitud de los controles.

Aceros que se usan en tuberías

Acero A 285 - 66 A. S. T. M.

En calidad de brida o de fogón y tres grados para el límite elástico.

Grado A 1688 kg / cm².

Grado B 1899 kg / cm².

Grado C 2110 kg / cm².

Acero A 515 - 67 A.S.T.M.

Cuatro grados para el límite elástico.

Grado 55 2110 kg / cm².

Grado 60 2250 kg / cm².

Grado 65 2461 kg / cm².

Grado 70 2672 kg / cm².

Este acero es el que más se usa en tuberías, sobre todo el de grado 60 con refuerzo de tensión min. 4219 kg / cm² máx 5063 kg / cm². Cuando se necesita un acero de mayor resistencia se usan:

Acero A 537 - 67 A.S.T.M:

Dos grados para el límite elástico.

Para espesores de 31.75 mm o menores.

Grado A 3516 kg / cm² normalizado.

Grado B 4219 kg / cm² templado.

Para espesores entre 31.75 y 50.8 mm.
Grado A 3235 kg / cm² normalizado.
Grado B 4219 kg / cm² templado.

Acero A 514 - 67 a A.S.T.M.

Para espesores hasta 63.5 mm
Límite elástico 7032 kg / cm².

Tubos de acero Armco y Trivelato de fabricación brasileña: Diámetros de 14" hasta 72", con variaciones de 2" en 2". Las tuberías de acero pueden construirse de diferente revestidos los cuales deben ser especificados según la calidad del agua y naturaleza del terreno.

Tubos de acero galvanizado en mm y su diámetro nominal equivalente expresado en pulgadas: 12.5 (1/2), 19 (3/4), 25 (1), 32 (1 -1/4), 38 (1 -1/2), 50 (2), 60 (2 -1/2), 75 (3), 100 (4), 125 (5), 150 (6) y 200 (8).

La localización de la tuberías la determinará el tipo de cortina, la obra de toma y la localización de la presa y casa de máquinas, o presa y descarga, en presas en que se desvía a través de túneles, la tubería se puede colocar dentro de ellos. Sin embargo las tuberías se diseñan para soportar la presión interna; y en ambos casos las placas de acero debe tener espesor suficiente para suministrar la rigidez necesaria durante la fabricación, transporte y colocación, así como para servir de molde al concreto o a las lechadas o morteros de relleno exterior.

Para tuberías apoyadas en silletas o anillos atiesadores (figura 4.15) dentro de túneles o rampas exteriores, se debe considerar la superposición de esfuerzos por cambios de temperatura y por trabajo como viga a los obtenidos por presión interna.

Esfuerzos de viga: Cuando una tubería se coloca sobre apoyos trabaja como una viga continua. Las cargas de trabajo serán el peso de la tubería propiamente dicha y el peso del agua. Se deberán hacer varias combinaciones de los esfuerzos obtenidos por trabajo de viga, temperatura y otros para determinar la condición más crítica que se debe considerar en el diseño definitivo.

Apoyos en las tuberías de acero: Para que una tubería funcione como viga se deben limitar las deformaciones de la placa en el apoyo mediante el uso de anillos de rigidez, estos impiden grandes deformaciones de la placas de tubería en los apoyos y la tubería estará sometida a esfuerzos directos de viga y esfuerzos circunferenciales, siendo transmitidas las cargas a los anillos atiesadores por cizalleo.

Debido a la restricción del anillo de rigidez o de un machón de anclaje de concreto (figura 4.16), ocurren esfuerzos de flexión secundarios en la tubería. Una tubería se diseña para resistir esfuerzos de flexión y cortantes que actúan en sección plana del tubo por varios métodos, como :

- a) Dándole suficiente rigidez a la placa, por sí misma.
- b) En volviendo en forma continua parte de la periferia del tubo.
- c) Por medio de apoyos individuales en forma de silletas.
- d) Por medio de anillos de rigidez, que transmiten cargas a columnas y a la cimentación.

Como la presión estática dentro del tubo varía del techo al fondo, se distorsiona la forma circular y se ve en tubos grandes de placa delgada sometidos a cargas bajas o parcialmente llenas, le causa deformaciones su peso y relleno, tanto las silletas como los anillos de rigidez se usan en el diseño de tuberías, el caso de apoyo sobre un solo punto no se debe usar en tuberías de gran diámetro e instalaciones permanentes.

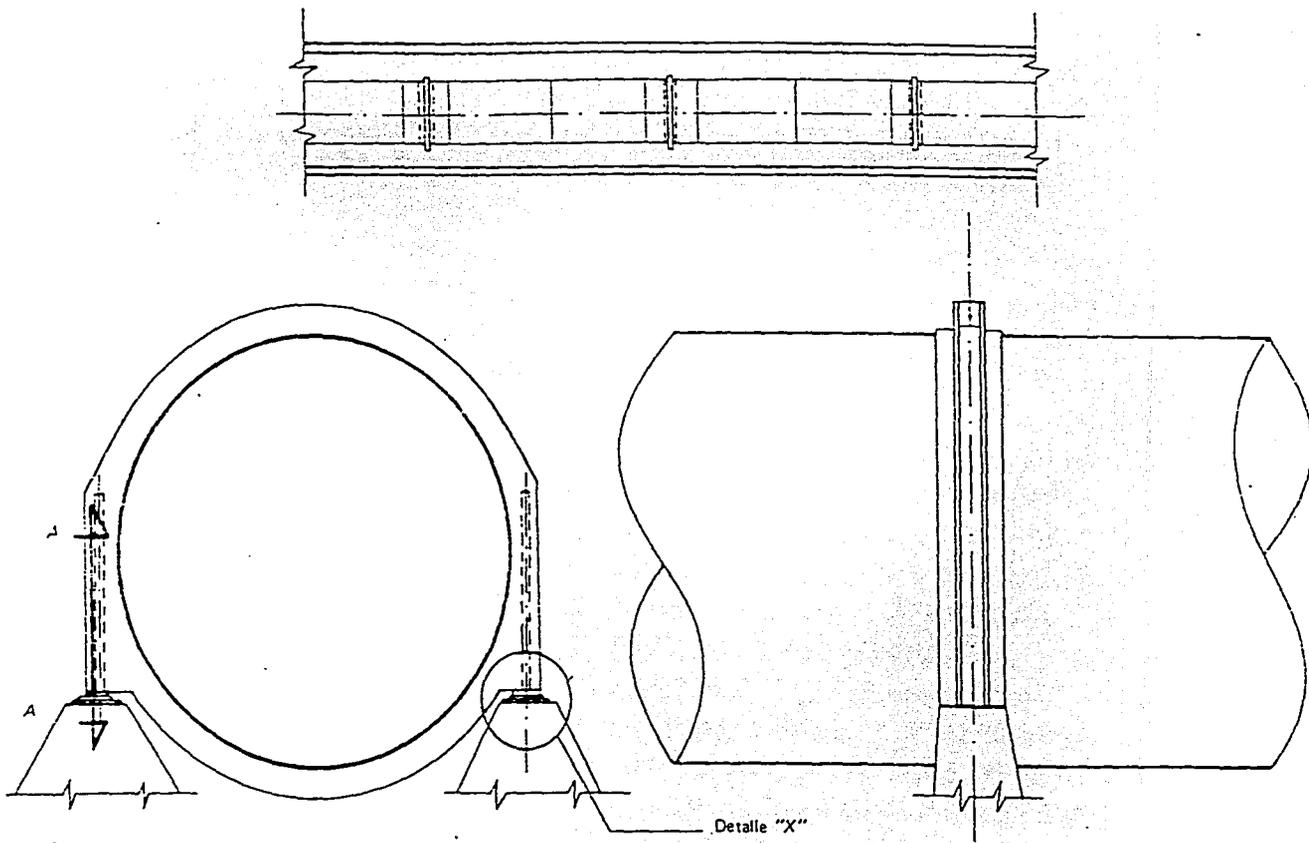


Figura 4.15.- Tubería con anillos atiesadores.

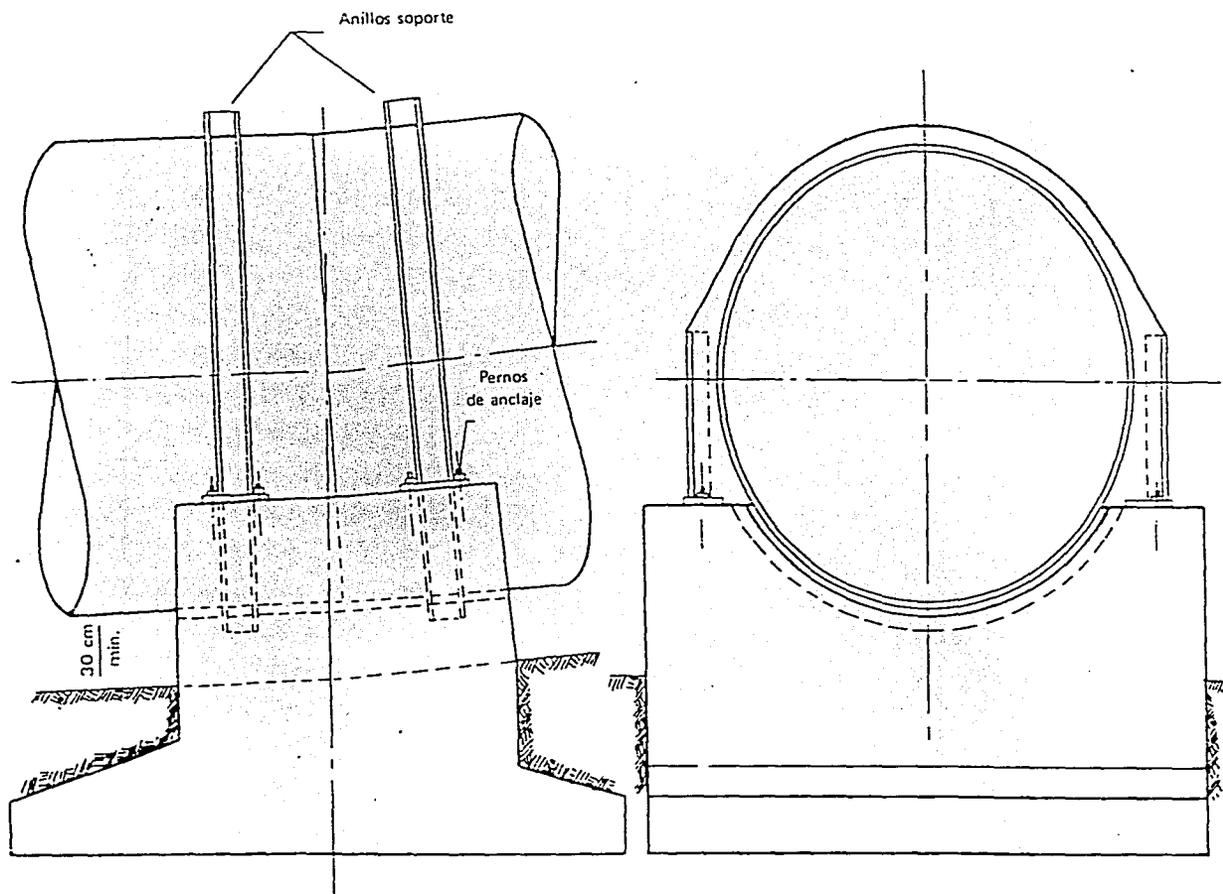


Figura 4.16.- Tubería con anclaje típico de concreto.

4.4.10.4.- La Protección Anticorrosiva de Tubería de Acero Subterránea empleada en la Distribución de Agua Potable.

Toda estructura de Acero subterránea está expuesta a efectos de corrosión, por deterioro de las paredes del tubo, dada por pérdida de material, causada por una reacción electroquímica entre el material del ducto y el fluido que transporta el o el suelo circundante, particularmente el oxígeno, que reacciona con el metal para producir el óxido metálico.

Mecanismo de Reacción: El oxígeno de la atmósfera oxida al hierro para formar óxido de hierro hidratado, $Fe_2O_3 \times H_2O$ donde puede variar el valor de x. Este óxido de hierro es el material café rojizo llamado herrumbre y los procesos de oxidación - reducción en la corrosión son:



En la corrosión, los electrones fluyen desde el punto donde ocurre ésta (ánodo) hacia otra parte del acero o donde el oxígeno y humedad están en contacto con el acero (cátodo), y los átomos de hierro se separan del metal, ion ferroso (Fe^{2+}) en el ánodo, conforme el gas se reduce en el cátodo, con más oxígeno, los iones Fe^{2+} que forman en el ánodo se oxidan a Fe^{3+} y forman $Fe_2O_3 \times H_2O$, lo que consume el acero en el sitio del ánodo y el metal pierde su solidez.

La corrosión provoca falla de la línea perforando las paredes, modifica la presión de trabajo de la tubería, volviéndola ineficiente en su funcionamiento e interrumpe su servicio, contamina el agua transportada, pérdidas por fugas, aumentando costos de suministro, que pueden elevarlos.

Descripción del fenómeno de corrosión en tubos de acero, subterráneo.

La "Corrosión Galvánica" se produce con 4 elementos, un ánodo, un cátodo, un electrolito y un conector metálico, que se observan en la figura 4.17.

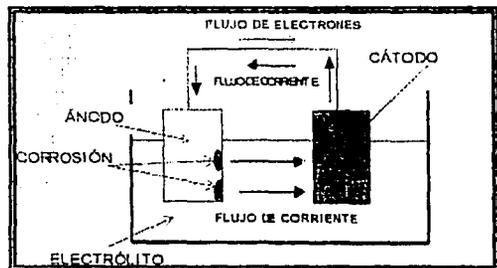


Figura 4.17.- La Corrosión Galvánica. (Referencia 3).

En tuberías de acero subterráneas, da un fenómeno semejante por la composición del suelo y contenido de oxígeno y humedad. El agua de suelo contiene sales disueltas como cloruro, sulfatos y nitratos u oxígeno disuelto, son factores que provocan corrosión en tuberías de acero. El oxígeno esta en el agua de la tierra húmeda a diferente profundidad y grado de aereación del terreno, en tubería subterránea expuesta a ellos habrá zonas anódicas, con corrosión por menor, con menor cantidad de oxígeno y zonas catódicas, con mayor cantidad de oxígeno, con corrosión, este fenómeno se muestra en las siguientes figuras. En la figuras 4.18 a, b y c, se ve la corrosión en el exterior del tubo, el presentarse en el interior es por el medio interno, que puede ser agua de pozos, ríos, lagos o mar con sales minerales y gases.

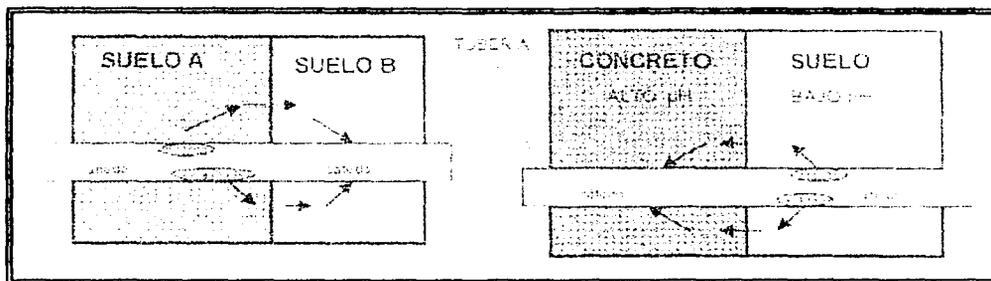


Figura 4. 18 a) Corrosión por diferencia de tipo de Suelo.

Figura b) Corrosión por diferencia de Ph.

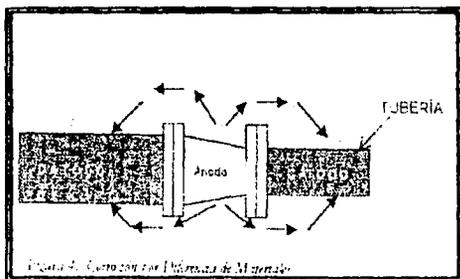
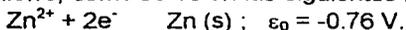


Figura c) Corrosión por diferencia de Materiales.(Referencia 3)

Métodos de protección Anticorrosiva: Los más comunes son los catódicos, los más comunes son barreras resistentes a corrosión - erosión, pero no asegura el aislamiento del metal con el medio interno y externo, por lo que se complementa con protección catódica.

Recubrimientos de protección Corrosiva: Se utilizan diversos materiales en delgadas capas, con espesor de 5 mm, y que se puede aplicar después de soldar las uniones o al fabricar. El proceso consiste en limpiar el tubo con cepillo de alambre, con un chorro de arena o baño de ácido, después se aplica una capa de esmalte asfáltica o de alquitrán, recubriendo el tubo espiralmente con fibra de vidrio y se aplica una capa de asbesto con asfalto de alquitrán.

Otros recubrimientos para tubería, son pinturas epóxicas, cintas de PVC o polietileno, resinas o plásticos, morteros de cemento y zinc aplicado por galvanización, evitando corrosión como protección catódico, con ventaja en que el Potencial de Reducción del zinc es más negativo que el hierro, como se ve en las siguientes reacciones:



Como el Zinc es mejor agente reductor que el acero, eléctricamente, conectado el zinc al acero que será protegido (tuberías, placas de cascos de barcos, etc), el zinc se oxida proveyendo electrones al acero reduciendo el oxígeno (O_2). El Zinc es un ánodo en una celda galvánica y obliga al acero a convertirse en un cátodo reduciendo Oxígeno ($\text{O}_2 + \text{H}^+$ si la solución es ácida) y si es pieza grande de acero, será un cátodo y no se corroe.

Protección catódica contra la Corrosión: Se base en el funcionamiento de la pila galvánica, conectando la tubería a una barra metálica, como un ánodo y el tubo es un cátodo, imprimiendo voltaje de corriente eléctrica, en que el ánodo se corroe y el tubo no. Hay 2 formas de protección de tipo catódica con suministro eléctrico y estas son por protección galvánica y por medio de un sistema de corriente impresa.

Protección galvánica: Es un sistema pasivo que genera flujo de corriente, al juntarse 2 metales diferentes en un electrólito, dando una corrosión del más activo y protegiendo al otro. La figura 4.19 representa un proceso, en que el metal protegido es el acero del tubo y el metal que se corroe es el ánodo galvánico, que puede ser de magnesio, zinc, aluminio ó cadmio, esto se recomienda para suelos de baja resistividad (menores de 10,000 Ohm,cm) o en donde se requiere corrientes bajas.

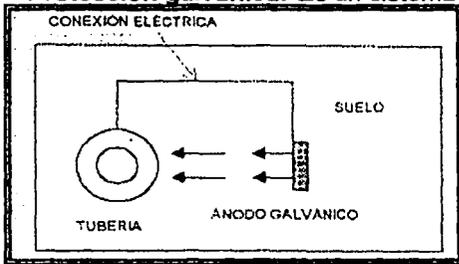


Figura 4.19.- Protección Galvánica (Referencia 3).

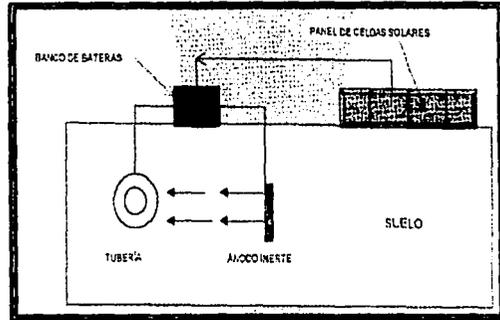
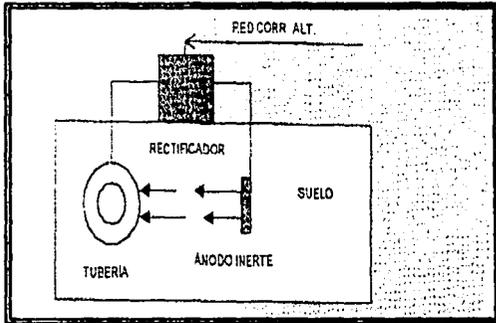


Figura 4.20.- Sistema de Corriente Impresa (Referencia 3) Figura 4.21.- Sistema de Corriente Impresa.

Sistemas de Corriente Impresa: Es un sistema igual al de protección galvánica, aquí se da corriente desde un rectificador que esta en una red de corriente alterna o de sistemas autónomas, como un banco de baterías, (figuras 4.20 y 4.21), que se usa en suelos con alta resistividad y donde se quiere proteger tramos grandes de tubería, donde un material como ánodo puede ser grafito, por lo anterior se considera importante una protección anticorrosiva en la instalación de tubería de acero enterrada, evitando así la corrosión, aunque sea un costo importante, y al paso del tiempo será un ahorro, impidiendo futuros problemas en la operación de los ductos.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

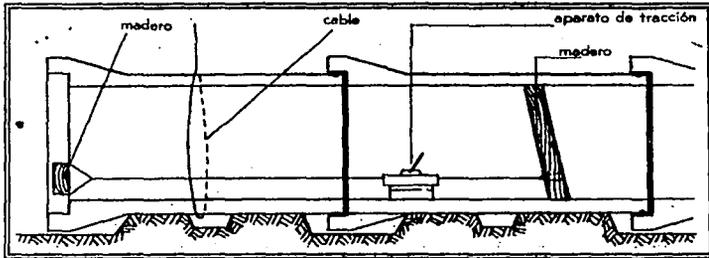
4.4.11.- Instalación del tubo .

- a) **Transporte:** Se lleva al lugar de obra en camión con malacates y poleas, con 2 operadores, la descarga se hace en puntos cercanos a la obra y a caminos transitables en todo tiempo, para almacenarse. El traslado del almacén a la zanja, se hace en carretas jaladas por tractores. se deposita al lado de la zanja con las campanas en posición del sentido en que se instalara.
- b) **Excavación de zanjas:** En tierra blanda, la excavación precede a la instalación por pocos días, en terrenos movedizos la excavación precede a la instalación, las zanjas se amplían a partir de la parte superior del diámetro del tubo y evita desprendimiento de tierra en paredes de la zanja y en algunos casos se uso apuntalamientos, lo que reduce el tiempo de instalación.
- c) **Trabajos de instalación:** Se realizan en las siguientes operaciones sucesivas:

1) **Regulación del fondo de la zanja:** La cota del fondo de zanja será generatriz inferior de la envoltura exterior del tubo y se afinara el fondo de la cota, según datos topográficos de nivelación, para alojar la campana y el cable, que sostiene al tubo en descenso, se hacen dos zanjas transversales al fondo de la zanja, el ancho de esta se calcula y se le aumenta 60 cm, al valor del

diámetro exterior del tubo. Se usara un material adecuado para la cama de apoyo, en terrenos rocosos se profundiza la zanja 15 cm, de la cota teórica del fondo, rellenando con arena o gravilla para evitar el contacto del tubo con el terreno rocoso.

2) Descenso del tubo: Se coloca la junta e inspecciona la unión, con grúas para colocar tubos en la zanja, acomodando una eslinga en el centro de gravedad del tubo, levantándolo para colocar un anillo de sellado en la ranura del extremo macho, impregnando con agua jabonosa, no cáustica, el interior de la campana, bajando el tubo hasta el alto del extremo macho del último tubo instalado, tiene en su interior un madero transversal, para apoyar el mecanismo de tracción, se aproxima el tubo al extremo del tubo instalado y el anillo de hule hace contacto en el eje, se inspecciona antes del enchufe para evitar perder tiempo, se coloca el mecanismo de tracción entre un madero y otro en la campana del tubo a instalar (figura 4.22).



La tracción se interrumpe al llegar a la mitad, viendo que el anillo de hule, en la ranura haga contacto con el entorno interior de la campana y se llegue el tubo a su posición final, con un espacio extremo macho y hembra de 10 mm, al dar deflexión se retrocede una distancia y se verifican en el

Figura 4.22.- Colocación del tubo (Ref 2).

Hasta este momento se suelta la suspensión de la grúa o polipastos y retira la eslinga, verificando que el tubo este en la cota y apoyado en su longitud y no se desplace por la tracción en el eje longitudinal, si se desplace, se tensa el cable del aparato de tracción y se rellena apisonando corrigiendo el desplazamiento, se afloja la tensión acoplado de nuevo. En pendiente grande los tubos se dejan en un punto alto, con una vía de 60 cm en el fondo de la zanja se desliza orientando las campanas hacia abajo, los tubos montados en un carro se sustentan con cable en un malacate en una parte alta, regulando el deslizamiento, los carros son de altura regulable, para poder hacer el acoplamiento y en el enchufe el juego entre macho y campana se llena con mortero seco para evitar deslizamiento del tubo hacia abajo.

Relleno: El relleno se efectúa al terminar el enchufado, evitando el choque sobre los tubos de piedras mayores de 6 cm, y las disposiciones en rellenos de tubería metálicas, no se aplican en tubos de concreto, dado su gran peso e inercia de sus paredes y revestimiento, se evita agua en zanjas del tubo antes del relleno, para evitar flotación del tubo y su anclaje que puede ser con cunas, por contacto directo del concreto contra el revestimiento del tubo y la otra cuna es un apoyo deslizante por interposición de un cuerpo liso y no adherente entre el contacto y el revestimiento del tubo (cartón asfáltico, hoja de plástico). Al tener el tendido de tubería pendiente, conviene anclar cada tubo sobre una de las cunas.

e) Pruebas: Las tuberías se prueban a presión interna y la prueba en zanja es una verificación suplementaria para asegurar buen funcionamiento de la conducción. Los pasos son:

- 1.- Llenar la conducción lentamente, purgando el aire alojado.
- 2.- Levantar la presión desde el punto más bajo del tramo a probar a 2 kg/cm^2 , por 1 semana para permitir el colmatado de la tubería.
- 3.- Se purga el aire que quedo y se levanta la presión hasta la carga prevista, tomando hora y cantidad de agua inyectada. Con válvula cerrada, la presión baja por absorción del concreto y por la figura de conducción, se baja a 1 kg/cm^2 , y luego inyecta para restablecer la inicial, se anota hora y la diferencia de lectura da la pérdida de agua teórica en 24 horas, al ser tolerable será satisfactoria.

f) **Atraques:** La presión interna en el conducto, provoca empujes y desplazamientos, que se contrarrestan por atraques, para conocer las dimensiones, se deben conocer esos empujes y resistencia a la compresión del terreno en que se apoya

Algunos valores de resistencia de terrenos son:

Arenosos: arenas de mediana a alta compacidad ,	cementadas	3 a 4 kg/cm ² .
arenas de mediana a alta compacidad ,	no cementadas	1.5 a 3 kg/cm ² .
arenas de baja compacidad,		0.4 a 0.8 kg/cm ² .
Limosos: limos de mediana a alta compacidad		0.8 a 1.2 kg/cm ² .
limos de baja compacidad		0.3 a 0.5 kg/cm ² .
Arcillosos: arcillas compactadas		0.5 a 1 kg/cm ² .

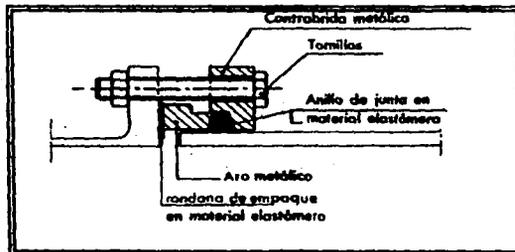
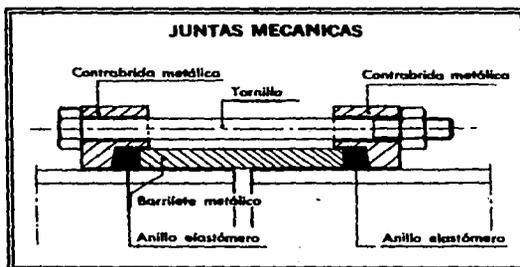
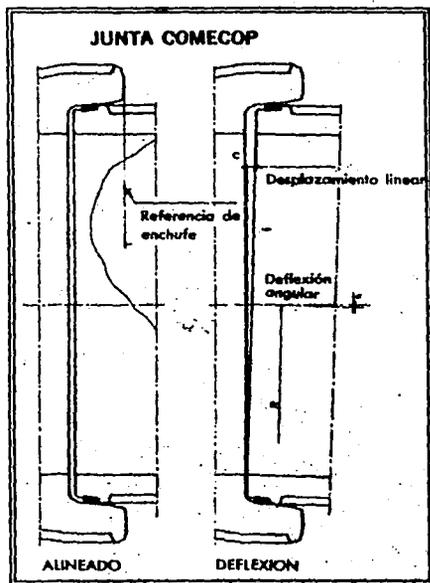
Tubos especiales y piezas especiales: Una línea de conducción se forma de tubos normales conjuntamente con tubos y piezas especiales, lo cual da oportunidad a soluciones variables.

Juntas: En un tubo especial, las juntas de la línea están en 3 categorías (figuras 4.23 a, b y c):

1) **Junta Normal. (Macho o campana):** Constituida por un anillo teórico de hule COMECOP. Se trata de una junta flexible, capaz de deflexiones angulares y lineales dentro de los límites.

2) **Junta Mecánica (tipo similar a la Gibault):** Constituida por un anillo de hule oprimido por medio de tornillos sobre los extremos de un barrilete metálico. Esta junta, sino está bloqueada, permite desplazamientos axiales relativamente importantes.

3) **Juntas de Brida:** Constituida por el aplazamiento de una rondana de hule entre 2 bridas metálicas atomilladas y esta junta es rígida.



Figuras 4.23.- (a) Tipos de Juntas (Referencia 2).

(c)

4.4.12.- Puesta en obra de los tubos .

Proyecto: Los documentos esenciales del proyecto para la puesta en obra del tubo son el trazo en planta y el perfil de la línea que define el trazo en el plano vertical del "hilo de agua", o generatriz inferior del cilindro interior del tubo.

Estacado: Los trazos en planta y perfil deben materializarse sobre el terreno, antes de la colocación por estacas en los vértices de la poligonal del trazo y un estacado paralelo, es decir fuera del eje de la tubería que no sea afectado ni por la terracería excavada ni por la circulación a lo largo de la línea. El jefe de obra dispone de bancos de nivel en vértices de la poligonal, la estaca en vértices de la poligonal se nivela frecuentemente con precisión y se usa como referencia.

Plan de ejecución: El jefe de los trabajos de colocación provisto del trazo y del perfil de la conducción, que definan, por referencia a los vértices de la poligonal y al estacado paralelo:

- El trazo en la planta con indicación de ángulos y curvas planimétricas.
- El perfil del hilo de agua (o línea roja) con indicación de los niveles a intervalos de 50 m como máximo y en particular:
 - Los cambios de pendiente,
 - Las curvas altimétricas,
 - Las clases de tubos
 - Los tubos especiales y las piezas especiales perfectamente señaladas.

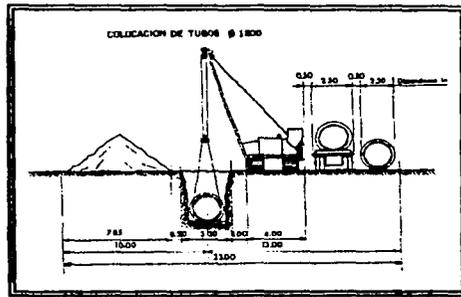
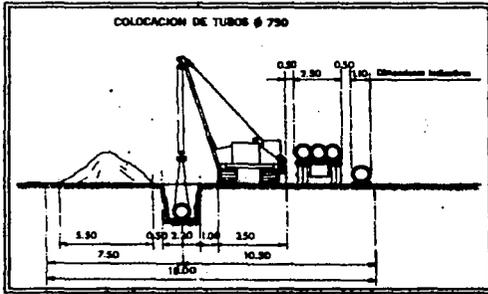
Organización general de los trabajos: El programa del conjunto de los trabajos debe ser previsto para permitir el desarrollo sin interrupción de las tareas de colocación y luego de las pruebas de recepción de la línea lo más pronto posible después de su instalación. Conviene prever cuidadosamente las voladuras de roca, las obras a construir previamente, las cajas de válvulas, Cruces (corrientes de agua, vías férreas, caminos, etc), las obras a construir después de la instalación, Atraques, anclajes y pequeñas cajas de desfogue y ventosas.

Estas disposiciones son válidas para cualquier tipo de conducción. Los acueductos de concreto pretensado exigen además una particular atención sobre la Dirección del avance de colocación y el Relleno de la tubería. Los puntos de partida del tendido deben elegirse para permitir en todos los casos, el tendido ascendente y el llenado progresivo de la tubería tan pronto sea colocada, así, la colocación y el conjunto de los trabajos, deben ser organizados en función de las pendientes del terreno y los puntos de aprovisionamiento de agua.

Documentación de obra: Al terminar los trabajos la entidad instaladora debe enviar al dueño de la obra un perfil demostrativo señalando el emplazamiento preciso de los tubos y piezas especiales debidamente enumeradas. Los reportes diarios de los equipos y la bitácora de la obra deben consignar día por día, las instrucciones recibidas, el avance de los diversos trabajos, los incidentes que afectan la ejecución y las recepciones por tramos .

Terracerías.

Terreno- camino: La amplitud de la zona depende de la cantidad de terracerías y los métodos adoptados son para disposiciones de productos excavados y manejo y colocación de los tubos. Las figuras 4.24 a y b permiten determinar el ancho de la zona de trabajo de ejecución rápida en campo abierto para los tubos de la serie considerada (750-2100). En este caso una pista de circulación suficiente para el acceso de camiones es preparada paralelamente a la zanja. La pista de circulación y el camellón de material excavado se ponen a un costado de la zanja de acuerdo con el mejor compromiso posible entre exigencias contradictorias que contemplan las vías de acceso, las pendientes transversales del terreno, la protección contra escurrimientos de agua y la eventual evacuación de aguas bombeadas de la zanja.



Figuras 4.24.- a) Diagrama de dimensiones de una zanja (Referencia 2). b)

Terracería en la zanja: Estas figuras, representan una zanja normal en buen terreno (figura 4.25 a y b).

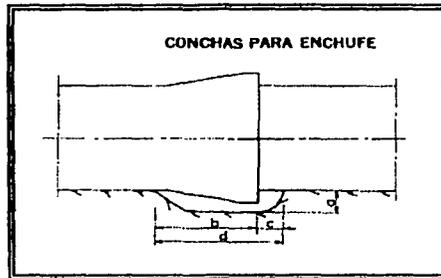
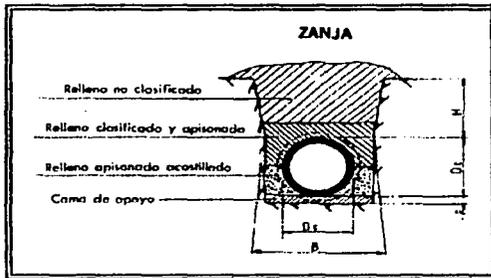


Figura 4.25 a) Zanja en buen terreno (Referencia 2)

(b)

Anchura: El ancho libre al nivel de la generatriz superior del tubo debe ser suficiente para permitir la compactación del relleno de acuífamiento y justamente suficiente para no incrementar la carga del relleno sobre el tubo. Los tubos son calculados normalmente para un ancho de zanja igual al diámetro exterior del cuerpo del tubo aumentado en 60 cm y se deduce por encima del tubo, en ausencia de entibado, que reduciría el ritmo de colocación, el talud de la zanja debe ser el mínimo compatible con la seguridad que da la resistencia del terreno.

Profundidad: La altura del "hilo de agua", queda impuesta por el perfil de la línea el cual se estudia para asegurar una curvatura mínima especificada "H", sobre el tubo. Este valor "H" se precisa considerando la protección contra el hielo, las condiciones de cultivo u otras encima de la tubería y se considera como mínimo una cobertura de 60 cm. La sobreprofundidad "P", entre el tubo y el fondo de zanja es función de los métodos de excavación y de la naturaleza de la cama.

Fondo de zanja- cama de apoyo: La zanja no debe excavarse antes del tiempo mínimo previo a la colocación del tubo en función de la capacidad del equipo de excavación y el comportamiento del terreno. En terreno duro, las máquinas excavadoras deben excavar las conchas de enchufe. El fondo de la zanja listo para la colocación del tubo presentará una superficie plana alineada con la cota del proyecto y discontinuada para dar lugar a una concha o nicho en el lugar de cada junta para permitir el enchufe y un hueco para permitir retirar los cables o eslingas de colocación.

Entre unos casos posibles, mencionaremos cinco casos tipos de fondo de zanja:

- 1.- Terreno homogéneo de buena capacidad de carga (tierra granular no coherente pero firme).
- 2.- Terreno moderadamente heterogéneo bastante bueno para cargas.
- 3.- En terreno rocoso la excavación se ejecutará con sobreprofundidad.

- 4.- Terreno poco resistente - Capacidad de carga mediocre:
 5.- Terreno blando (Coherente). Débil capacidad de carga (Figura 4.26).

En el caso de terrenos aun más desfavorables que los cinco tipos aquí descritos (terreno pantanoso limo o lógamo), es indispensable prever una verdadera obra para asentar el tubo: cama de piedras de gran espesor, losa de concreto ò cimentación sobre pilotes.

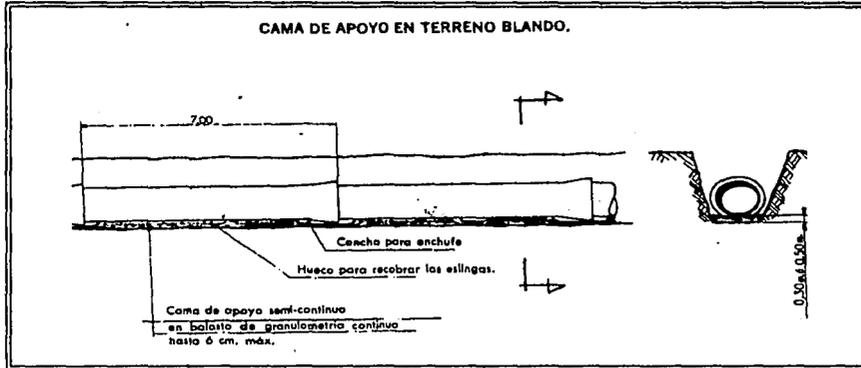


Figura 4.26.- Terreno blando (Referencia 2).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Relleno de acostillado: Después de la colocación, se hace el relleno de acostillado (hasta los costados del tubo), este relleno se efectúa con un material homogéneo, granular o débilmente coherente, cuidadosamente retacado bajo el tubo y compactado a rechazo en toda su altura con la ayuda de medios mecánicos, de preferencia pisones neumáticos. Ciertas especificaciones exigen una granulometría particular de material, para este caso no se limita la dimensión de los elementos más gruesos a menos de 6 cm, así como el balasto de piedra triturada o de cantos rodados constituye un excelente relleno de acostillado.

Relleno clasificado compactado: Consiste en recubrir el tubo hasta 30 cm, por encima de la generatriz superior. Este relleno es semejante al relleno de acostillado, en sus exigencias, pudiendo ser menores por lo que concierne a la calidad del material y su compacidad final.

Relleno a granel: El relleno se completa acabando de rellenar la zanja con el material excavado no clasificado, salvo indicaciones específicas, este relleno no se compacta, el material será cargado en la zanja en forma progresiva sobre el tubo para evitar los efectos dinámicos de cargas importantes cayendo sobre la tubería.

Relleno en dos etapas: Las 3 fases de relleno indicadas se ejecutan sucesivamente cuando se rellena la zanja, inmediatamente después del tendido. En caso que se requiera que las juntas, se expongan hasta la prueba hidráulica de la línea, se hará después del tendido, el relleno de acostillado, la parte de relleno apisonado y el relleno con material de excavación dejando un camellón sobre cada tubo. Los camellones están destinados a lastrar los tubos y represar escurrimientos de agua en la zanja en caso de temporal o inundación. En cruces con posibles cursos de escurrimientos, los camellones se continuarán hasta cubrir 2 o 3 juntas.

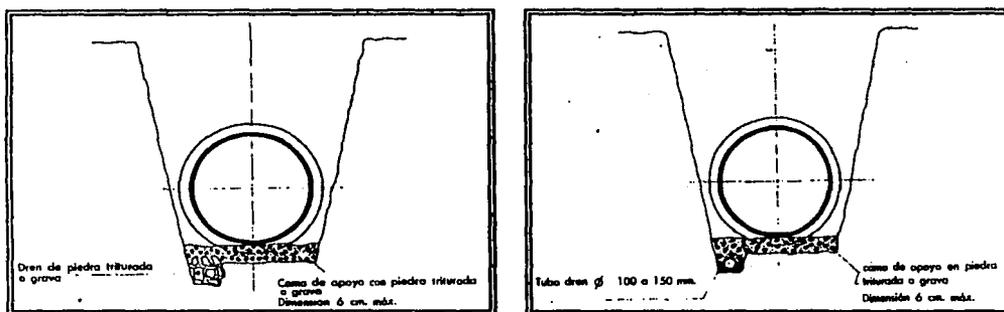
Protección contra los diferentes niveles del agua.

Flotamiento de tubos: Todas las tuberías vacías flotan en una zanja inundada, aún las más pequeñas de diámetro, 750 mm. Además, los tubos a partir del diámetro 1500 mm, aún llenos de agua, pueden llegar a flotar en fango o barro fluido. De ahí la necesidad de serias medidas de protección contra las aguas desde la excavación hasta el relleno completo de la zanja.

Aguas superficiales: La zanja abierta será protegida contra la inundación de aguas corrientes por medios como la Canalización , represado o desvío de los cauces, las defensas de tierra o cuentas cuando las pendientes transversales son desfavorables y los taponos no excavados en la zanja. Al terminar el relleno, el exceso del excavado constituye un cordón más o menos continuo en forma de camellón sobre la línea. Es necesario dejar espacios abiertos en este camellón para evitar la acumulación de aguas corrientes y la erosión o ablandamiento del relleno.

Aguas subterráneas: En los terrenos acuíferos la zanja no debe excavarse más que con un mínimo de antelación previo a la instalación. La instalación de tubos sin exigir una zanja seca, se necesita el control de entradas de agua por abatimiento de la napa, o por achique.

Drenaje: Cuando la línea esta en pendiente y la zanja, aún rellena, es susceptible de coleccionar aguas superficiales o aguas subterráneas, se pueden producir condiciones detrimientales que afectan peligrosamente la cama de apoyo y el relleno de acostillado. Para prevenir tales riesgos es, a veces necesario realizar un verdadero drenaje del fondo de la zanja. En tal caso los tubos se colocan sobre la cama de piedra triturada (figuras 4.27 a y b).



Figuras 4.27 (a) Drenajes en la cama de apoyo (Referencia 2)

(b)

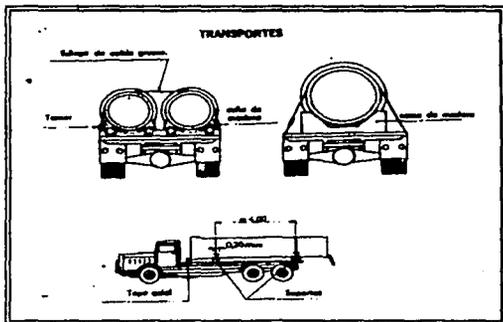
Transporte: Durante el transporte (figura 4.28), de los tubos debe apoyarse sobre dos traviesas de madera, guarnecidas de madera o de hule. Ambas traviesas deben ser suficientemente anchas (mínimo 20 cm) y dispuestas con aproximación a 4.10 m, entre ejes. Cada tubo debe quedar atrancado transversal y axialmente. La carga se amarra con cables de ϕ de 20 mm, para no afectar el revestimiento, de otra forma conviene insertar una banda ahulada entre cable y tubo.

Descarga: La descarga (figura 4.29) se hace con grúa o por rampas y cabrestante, y el manejo se asegura por cinchos o eslingas de cable grueso.

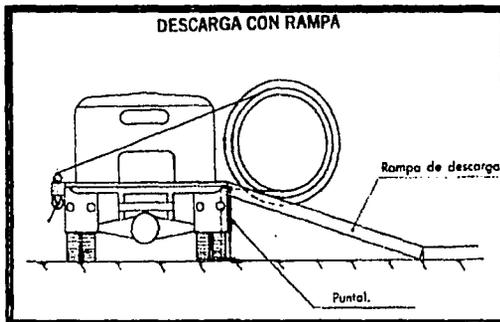
Acomodo: Es la operación que consiste en colocar cada tubo lo más cerca posible de su lugar exacto de colocación, cuando el camión no tienen acceso a la zona de instalación, el acomodo implica mover cada tubo con un tractor, grúa lateral o un carro. Sobre aparato de acomodo, las superficies de apoyo del tubo estarán recubiertas de madera o hule, la operación se realiza para evitar tiempos muertos en la colocación y eliminar desplazamientos de artefactos de carga.

Los tubos son alineados paralelamente al eje de la línea. Entre tubo y tubo es necesario dejar un espacio de 30 a 50 cm, lo que implica depositar dos tubos, lado a lado, cada 140 m, aproximadamente. Siendo los tubos disimétricos (macho y campana) deben ser colocados en el sentido correcto que corresponde al tendido, en función de la maniobra de los artefactos. Los tubos descansaran sobre dos piezas (traviesas) de madera o en su caso necesario sobre dos pequeños camellones de tierra suave, estando separados los apoyos 4 m.

Inspección: El responsable del acomodo debe realizar una inspección visual de los tubos, desde la descarga a fin de eliminar del acomodo los tubos dudosos o dañados en el transporte.



Figuras 4.28.- Transporte de tubos.



(Referencia 2) Figura 4.29.- Descarga de tubos

Colocación.

Condiciones normales: Es indispensable que un mismo técnico verifique la cama de apoyo (calidad, nivelación), la colocación incluyendo pruebas de junta y del relleno de acostillado, según la importancia y la organización de los trabajos, esta responsabilidad del jefe de instalación abarca la confección de la cama de apoyo, el relleno apisonado, camellones, relleno final y prueba de la línea y el jefe de instalación debe asegurarse que el estacado esté en su lugar, que el acomodo sea el correcto y que los tubos sean recibidos en cantidad suficiente y en la clase especificada.

Geometría del trazo.

Inclinación del perfil: Para la evacuación del aire y el buen funcionamiento de una línea en concreto pretensado, la inclinación, en el sentido de escurrimiento del agua es en descenso, superior a 4% (4 mm/m). En ascenso, superior a 1% (1 mm / m).

Estacado: El estacado paralelo al borde de la zanja es suficiente, en el tendido en terreno muy accidentado (cruce de un barranco) se hace el estacado en el fondo de la zanja.

Radio de curvas: Según la calidad del terreno, los desplazamientos alcanzan valores de la tabla 4.7, y deja latitud de movimiento de la conducción en la que la flexibilidad es cualidad esencial:

Tabla 4.7.- Tabla de radios para tubería.

Diámetro Nominal.	Deflexión minutos	Angular 2/3 Deflexión lineal Mm	Radio M	Deflexión minutos	Angular 2/3 Deflexión lineal Mm	Radio M
750	70	15,7	344	52	11,6	462
900	67	17,9	359	50	13,4	482
1000	63	18,7	382	48	14,2	501
1100	60	19,5	401	45	15,6	535
1200	57	20,2	422	42	14,9	573
1300	57	21,9	422	42	16,1	573
1400	43	21,9	453	40	16,5	602
1500	50	22,1	482	37	16,6	642
1600	48	21,8	523	35	16,5	688
1700	43	21,5	560	32	16,2	742
1800	40	21,1	602	30	15,9	802
1900	40	22,3	602	30	16,8	802
2000	37	21,7	650	27	15,9	891
2100	33	20,3	729	25	15,4	962

En lo que concierne al radio, es necesario precisar que el valor del mismo se aplica a la curva resultante. Frecuentemente la curvatura resulta de 2 curvas una planimétrica de radio R_h y otra altimétrica de radio R_v . El radio resultante tiene el valor de R_r y $R_r = (R_h \times R_v) / (R_h^2 + R_v^2)$.

Si el proyecto especifica radios de curvatura o cambios de pendiente excesivos, el jefe de colocación no debe vacilar en pedir una rectificación del trazo o de las terracerías.

Manejo: La colocación puede ser efectuada por grúa, un tractor con grúa lateral, una grúa de pórtico, o también se puede manejar con tripode. Cuando el artefacto de excavación es una pala mecánica equipada con retro - excavador y de suficiente capacidad, es posible, utilizarla como grúa, suspendiendo el tubo del brazo de la cuchara. En este caso la zanja se excava estrictamente por largos necesarios en el descenso en zanja de un tubo, el manejo del tubo se asegura con cinchos o eslingas preformadas de cable grueso para evitar maltrato al revestimiento, para buen equilibrio del tubo y fácil manejo, el gancho de levantamiento es de tipo simétrico doble.

Sentido de colocación-pendientes: En colocación normal, el extremo macho del tubo a colocar se introduce en la campana (enchufe) del tubo anteriormente colocado; pero el proceso inverso es posible. El trabajo fácil es el progreso del tendido ascendente. En tal caso el peso del tubo ayuda al enchufe. En una pendiente de 47% se coloca en subida con ayuda de un tractor con grúa lateral Caterpillar 583 .

Cuando el tendido progresa en descenso las pendientes de hasta 12% aproximadamente no crean problemas si el fondo de la zanja no es resbaloso. Pero las pendientes superiores a 12% hay que tomar precauciones especiales para anclar provisionalmente los tubos hasta la terminación del tendido del tramo pendiente.

Descenso en zanja: El tubo se baja a la zanja después de inspeccionar visualmente y comprobar su clase y también de verificar la cama de apoyo. El artefacto de colocación , grúa o tractor, se aproxima lo más cerca del punto de colocación y al borde de la zanja teniendo en cuenta la naturaleza del terreno. La bajada es lenta para evitar los golpes y balanceos del tubo.

Preparación de la junta: La preparación de la junta implica, las siguientes operaciones:

- a) Selección y verificación del anillo.
- b) Cuidadosa limpieza del extremo macho.
- c) Inserción del anillo en la ranura del extremo macho contra el respaldo del concreto.
- d) Lubricación de la parte exterior del anillo.
- e) Cuidadosa limpieza del enchufe hembra (campana).
- f) Lubricación del enchufe hembra.

Las b, c y d , se efectúan antes del descenso del tubo a la zanja, en instalación se presenta el extremo macho antes del enchufe(campana) del tubo ya colocado

Lubricación: Se hace con jabón vegetal, producto industrial, o con glicerina grafitada a 1/3 grafito natural, amorfo y puro y 2/3 glicerina industrial de 80% glicerol.

Enchufe: Descripción del proceso habitual :

- a) Presentación del extremo macho a insertar en el enchufado del último tubo colocado.
- b) Grúa o artefacto de colocación en tensión ligera, es decir, que el tubo a colocar es empujado ligeramente hacia el enchufe por efecto pendular .
- c) Verificación de la junta con ayuda de una espátula de madera.
- d) Acentuación de tensión de la máquina de colocación y encaje del anillo de hule en el enchufe.
- e) Comprobación de la posición del anillo, por el operario, en el interior del tubo con ayuda de un escantillón, el cual recorrerá toda la circunferencia de la junta (figuras 4.30 a y b).
- f) Acentuación de la tensión por la máquina de colocación .

- g) Puesta en operación del sistema de tracción al mismo tiempo que el tubo recibe en su extremo libre un ligero movimiento de balanceo.
- h) Cuando se alcanza el enchufe a tope, la máquina colocadora deja descansar el tubo sobre la cama de apoyo.
- i) Comprobación de nivelación y alineamiento y retirada de eslingas.
- j) Medición y anotación en reporte de colocación del espacio interior entre tubos sobre 4 radios a 90°. Los útiles que ejerzan esfuerzos sobre el tubo son de madera o revestidos de hule.

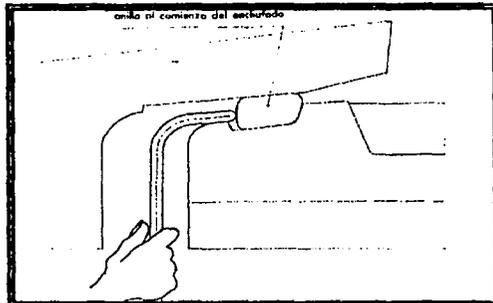
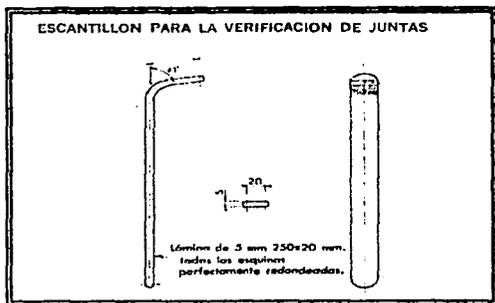


Figura 4.30.-a) Escantillon para verificación de juntas (Referencia 2).

b)

Dispositivo de tracción: El dispositivo de tracción normalmente es Exterior (figura 4.31), para tubos 750 y 900 e Interior, para tubos 1000 y más. En ambos casos, la reacción se aplica sobre el tercer tubo hacia atrás del frente de colocación.

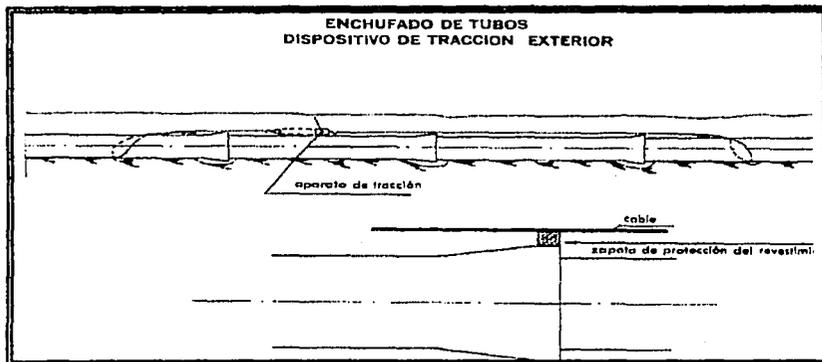


Figura 4.31.- Dispositivo de tracción exterior (Referencia 2).

Empuje de enchufado: El esfuerzo de tracción se obtiene por varios artefactos como, Gato hidráulico de doble efecto, tensor de cable (Tirfor), Polipasto de palanca (Pull-lift) o por Poleas de engranes y será cuerda, cable o poleas y la capacidad mínima será de acuerdo con la tabla 4.8.

Tabla 4.8.- Diámetros de tubería para ver su esfuerzo.

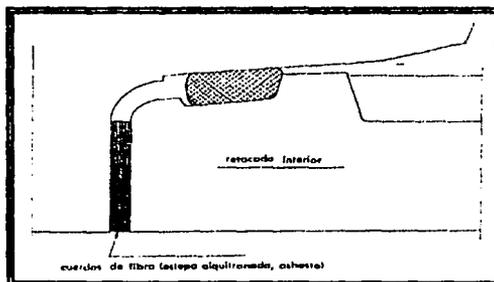
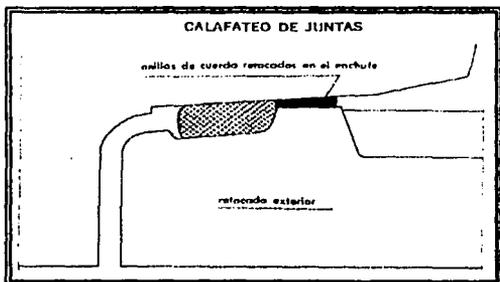
Diámetro Nominal	Fuerza en Tons.	Diámetro Nominal.	Fuerza en Tons.
750	3,75	1500	7,5
900	4,5	1600	8
1000	5	1700	8,5
1100	5,5	1800	9
1200	6	1900	9,5
1300	6,5	2000	10
1400	7	2100	10,5

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Juego entre tubos: Los tubos standard están provistos para un largo teórico de 7000 mm, y dejan un juego nominal entre tubos. El colocador no debe tener en cuenta esta holgura nominal teórica, sino enchufar la junta a tope con un esfuerzo igual a la fuerza indicada a la tabla precedente. Una junta está enchufada a tope cuando el tubo recula ligeramente por el efecto elástico del hule cuando cesa el esfuerzo de enchufe y el cable del dispositivo de tracción queda flojo. El juego entre tubos puede reducirse a 5 mm, y por el contrario el juego máximo debe dejar el anillo de hule protegido en el interior del enchufe (campana).

El juego "máxima deflexión" de la tabla anterior se refiere al lado abierto de una junta deflectada angularmente al máximo permitido. Cuando el juego alcanza el valor mínimo de 5 mm, antes del enchufado a tope, el tubo en proceso de colocación debe ser retirado, el anillo de hule removido debe ser reemplazado por un anillo super grueso y colocado sobre una liga que cubra el fondo de la ranura del extremo macho. El anillo normal encaja con un alargamiento de un 20%, en su relación a su estado sin estiramiento en reposo. Para permitir al colocador un control visual desde el exterior, es deseable que los tubos lleguen de fábrica con una marca sobre el extremo macho indicando alineamiento de la cara exterior de la campana para el juego nominal, puede ser una serie de Tés cuya barra transversal esté a la distancia siguiente de la nariz del extremo macho.

Protección de las juntas: En condiciones habituales, el juego entre tubos, de uno y otro lado del anillo de hule esta estático sin relleno, algunas especificaciones requieren relleno de mástic bituminoso. Las condiciones peculiares de colocación en pendientes conducen a un retacado interior del espacio entre tubos.



Figuras 4.32 (a) Calafateo de juntas

(Referencia 2)

(b)

El material utilizado generalmente en un cordón de fibra imputrescible es estopa alquitranada y asbesto. Para líneas de impulsión, sometidas a golpes de ariete que provoquen un vacío importante en el interior de los tubos, es deseable proceder desde la ejecución del enchufe a un calafateo del juego del enchufe (figuras 4.32 a y b). El calafateo, actúa como filtro en relación con elementos del relleno que podrían ser aspirados a causa de un vacío excepcional en la línea y perjudicarían la estanqueidad de la junta, el retaque contribuye al centrado de la junta.

Limpieza de la conducción: En el uso de los trabajos de instalación, toda clase de precauciones deben ser tomadas para evitar la acumulación de cuerpos extraños que ensucien el interior de la línea. La limpieza debe ser hecha a medida que progresa la instalación. Al fin de la jornada, la extremidad del último tubo se cerrará con tapa para prevenir entrada de animales.

Instalación en pendientes fuertes: La colocación sobre pendientes (figura 4.33) se hace a partir de la parte baja sobre la cama de piedra triturada. Los tubos se anclan, la frecuencia de anclaje, se da, a título indicativo. La indicación 1/3, arriba, significa 1 tubo anclado cada 3 tubos.

a.- Designa un terreno rocoso o muy firme sin brotes de agua.

b.- Designa un terreno suave o coherente (arcilla, magra) o granular y acuífero.

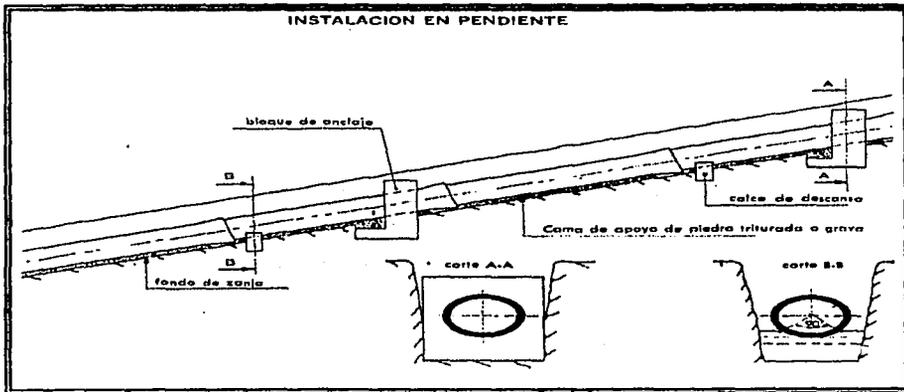


Figura 4.33.- Tubos en pendientes fuertes (Referencia 2).

Un anclaje comprende 2 elementos en concreto que son el macizo de anclaje propiamente dicho, en la parte alta del tubo y el calce o zapata de apoyo en la parte baja. Los 2 elementos estarán espaciados 4.10 m, entre 2 ejes midiendo a lo largo de la generatriz del tubo. El espacio entre tubos en pendiente se rellena interiormente con material fibroso, retacado moderadamente para mantener una posibilidad de compresión (estopa alquitranada, cordón de asbesto). La disposición reparte esfuerzos de empuje y regulariza los movimientos axiales de las juntas, además del anclaje, disposiciones particulares deben permitir la canalización de las aguas superficiales y subterráneas para prevenir escurrimientos del terreno y asegurar la estabilidad de la conducción .

Líneas aéreas: Los tubos aéreos (figura 4.34) en líneas horizontales se apoyan en 2 puntos en soportes de concreto. Uno de los soportes (cunas) asegura el anclaje por contacto directo del concreto contra el revestimiento del tubo. La otra cuna es un apoyo deslizante por interposición de un cuerpo liso y no adherente entre el concreto y el revestimiento del tubo (cartón asfaltado hoja de plástico). Cuando el tendido tiene pendiente, se ancla cada tubo sobre las cunas.

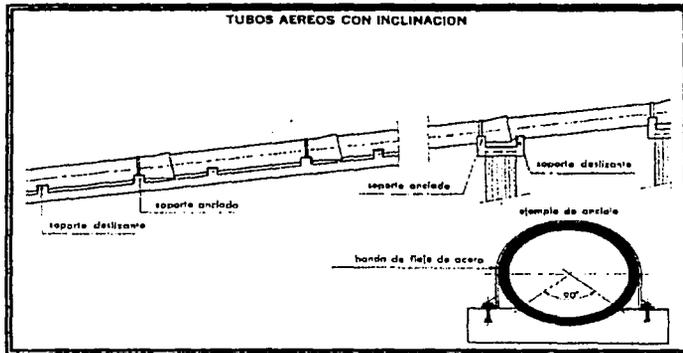


Figura 4.34.- Tubos aéreos con inclinación (Referencia 2).

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Tubos en pasos subterráneos: Las vías férreas y carreteras se cruzan en subterráneo, colocando tubos en galerías, para canalizar el agua de una fuga o de una rotura

Tubos sumergidos: Son tubos que atraviesan ríos o cauces protegidos contra socavones, ahogados en concreto en terreno rocoso o muy firme, estable y por ataguías en terrenos

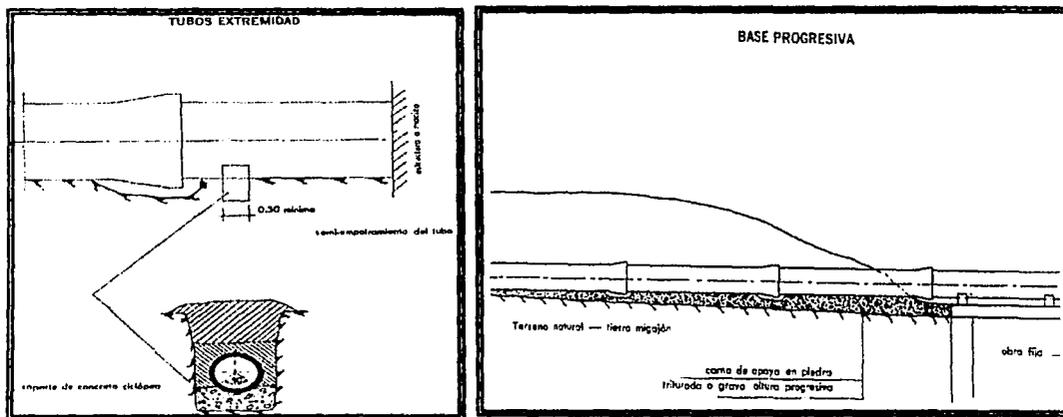
susceptibles de ligeros movimientos. En caso de ahogar en concreto, se calafatea con material fibroso o bituminoso el juego exterior entre tubos para que la junta mantenga su articulación. La confección de concreto de envolvente por el proceso de Colcrete (inyección de mortero emulsión en un esqueleto de piedra triturado), permite trabajar bajo el agua.

Tubos bloqueados: Queda encastrado y la parte libre descansa sobre su apoyo (cuna) de concreto y pueden estar inserto en un atraque ó anclaje, atravesando un muro de caja de válvula, registros o desfogues o en una extremidad de una línea contra un atraque temporal .

Conexiones con obras de arte: Una obra como pasadizo o caja de válvula es un punto de la línea, cuando la conducción pasa de obra fija a terreno susceptible de deformación, se asegura una deflexión del apoyo de los tubos. La figura 4.35 a y b, muestra la realización de un apoyo flexible, al encuentro entre el relleno y un pasadizo a una cama de piedra triturada de espesor decreciente a lo largo de 3 tubos y presenta casos como, Zanjas- tanque y caja de válvulas.

Pequeñas obras: Se evita que esas obras sean condicionamiento para la instalación, así como que las obras se monten sobre la línea y 2 obras más usuales son caja de ventosas y de desfogue

Juntas mecánicas: La fijación de una junta mecánica acerca los dos elementos que une, provocando el desenchufe de las juntas COMECOP adyacentes, ya que recibe un empuje hidráulico inferior al empuje sobre la junta. Un tubo entre estas juntas se puede desplazar, salvo con juntas de dilatación se bloquean las juntas mecánicas temporalmente. Como se ve en la figura la junta mecánica sobre el tubo de enlace, bloquea evitando el desenchufe de juntas.



(a)

(Referencia 2)

(b).

Figura 4.35 a y b.- Conexiones en un encuentro entre el relleno y un pasadizo a una cama de piedra triturada.

Prueba de juntas: Las juntas se verifican por prueba individual a baja presión (2 bars) (un bar = 1.01 kg /cm² aproximadamente) se usa por un dispositivo sobre un tramo terminado para detectar fugas, cuando en interior es accesible y para probar las juntas después de su colocación. La máquina de prueba avanza al mismo tiempo de colocar la tercera junta hacía atrás del frente de instalación, la presión de 2 bars hace presión sobre lo tubos que podría provocar desenchufe de las juntas, sin fricción en tubos sobre la cama de apoyo. La prueba no se efectúa en todas, pues la máquina no actúa en codos, por lo que se retira 3 tubos antes de un codo y es difícil al tener línea con pendiente, esta prueba constata estanqueidad de junta después de colocarla y antes de rellenar, por lo que el mal asentamiento de cama de apoyo mueve las juntas dejando fugas.

Llenado y prueba de la línea.

Llenado progresivo: Se llena lento y progresivo el conducto, después de la colocación:

- El Concreto de tubos, parcialmente seco antes de colocarlo, recuperado de su contracción mejora sus características mecánicas y de impermeabilización.
- El aire de línea en las juntas, se evacua lenta y completamente.
- La cama de apoyo se carga y asienta progresivamente,
- La estabilidad de la conducción mejora frente a riesgos de flotación en inundación en la zanja
- La capacidad de equipos de relleno, conexiones, bomba se minimiza.
- La juntas con fugas se puede descubrir a tiempo.
- La prueba de conducción se puede ejecutar después de instalar, lo que reduce el lapso de recepción y puesta en servicio .

Tramos de prueba: Las pruebas hidráulicas se efectúan, entre válvulas de seccionamiento o entre atraques provisionales, sobre conducción equipada no taponada o equipada , ventosas, desfogue ó sobre una conducción parcial o completamente cubierta, con junta descubierta, el largo de tramos varia según características de conducción, se secciona para descubrir fugas en juntas, atraques, anclajes insuficientes, válvulas no herméticas ó ventosas defectuosas, etc. El largo va de 500 m a 10 km, se secciona según la distribución de presión si la carga hidráulica no es horizontal y no se someta a presión mayor que la que soporta

Presión y duración de la prueba: La presión de prueba es de acuerdo al proyecto y se debe mencionar que una presión más alta que la máxima en servicio eleva cantidad de concreto en obras de atraque y anclaje. Para la presión de prueba se multiplica presión de servicio por coeficiente como 1.25, excesivo para tubos de elevada presión e insuficiente para de baja.

Se debe realizar en 2 etapas, con diferente presión:

1.-Prueba de estabilidad de línea: Es de corta duración mientras recorre el tramo y se ven anomalías, la presión será la próxima a la máxima de servicio , con sobrepresiones según estudio hidráulico, en función de dispositivos de protección previstas.

2.- Prueba de estanqueidad de la conducción: Es de larga duración a presión estática, o más cercana a la máxima en escurrimiento permanente, aquí se mide la cantidad de agua a inyectar en la conducción para tener presión constante, esto dura 24 hrs, en línea no rellena para eliminar variaciones de temperatura en una jornada, su duración se reduce en caso de línea tapada en donde la tasa de pérdida es constante o decreciente.

Condiciones de prueba: La estanqueidad no alcanza su significancia, sino se produce después de la purga de aire en la línea y saturación integral del agua en el concreto. Y con esto se supone que la línea esta llena lentamente y esta llena de una a 3 semanas.

Purga de aire: Al llenar al punto más alto de la conducción y se purga el aire de las tuberías, sea comprobando el funcionamiento de las ventosas "in situ", ó maniobrando las llaves de purga cuando las ventosas están reemplazadas provisionalmente por salidas tubulares.

Llenado de la conducción: El llenado es lento y si es rápido se da una tasa moderada que no exceda 6% de escurrimiento normal de línea con una velocidad de escurrimiento de 1.50 m/seg.

Colmatado: Periodo de empape de agua sobre el concreto desecado, para hacerle volver a estado de saturación, para evaluar esta cantidad se vería si el tubo primario esta seco, para saturarse debe absorber agua a 3.50% del peso de concreto seco y si 1.50% del peso del concreto. El colmatado absorbe 1% del volumen de la conducción.

Permeabilidad: El concreto centrifugado a pesar de la alta compacidad, presenta permeabilidad y para estimar su valor se considera en concreto primario, con valor como:

- Una permeabilidad aparente de 10^{-10} cm/s.
- Una presión de prueba de 10 kg/cm² ó 10⁴ cm de columna de agua.
- Una duración de 24 horas ó 8.64×10^4 segundos y un tramo de 1 km .

La pérdida por percolación se expresa por $Q \text{ cm}^3 = 10^{-10} S / e \cdot 8.64 \times 10^4 \times 10^4$
 $e =$ espesor primario en cm.

$S =$ superficie interior en cm² de ducto por km. $S = \pi \times D \text{ cm} \times 10^5$ ó $Q \text{ cm}^3 = 0.27 \cdot 10^5 D / e$
 Q litros = $27 D / e$, el valor del diámetro se toma de la tabla 4.9, que indica el valor del espesor primario.

Tabla 4.9.- Diámetros para determinar el valor del espesor primario en una serie reforzada.

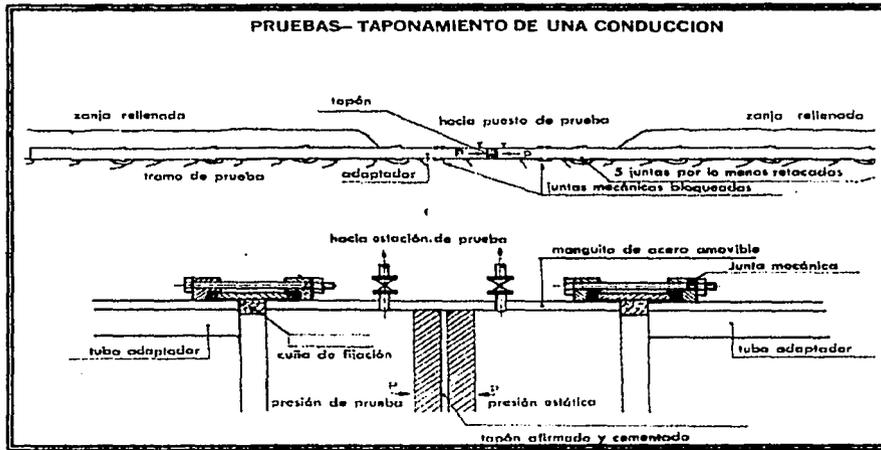
Diámetro Nominal	Diámetro D (cm).	Espesor e (cm)	D/e	Pérdida Lt/km	Volumen Conducido m3/km	Pérdida/Volumen %/∞
750	75	5.75	13.04	352	442	0.80
900	90	6.5	13.85	374	636	0.59
1000	100	7.0	14.28	386	785	0.49
1100	110	7.5	14.67	396	950	0.42
1200	120	8.0	15.00	405	1130	0.35
1300	130	8.5	15.29	413	1327	0.31
1400	140	9.0	15.55	420	1539	0.27
1500	150	9.5	15.79	426	1767	0.24
1600	160	10.0	16.00	432	2010	0.21
1700	170	10.5	16.19	437	2270	0.19
1800	180	11.0	16.36	442	2545	0.17
1900	190	11.5	16.52	446	2835	0.16
2000	200	12.0	16.67	450	3142	0.14
2100	210	12.5	16.80	454	3464	0.13

Criterio de recepción: En la prueba de conducción, la pérdida en 24 horas, depende del Grado de saturación (Colmatado), de la evacuación del aire confinado en las juntas, y de la permeabilidad del concreto. La pérdida disminuye con el tiempo, y la conducción se acepta si la pérdida en 24 horas es menor al 1/1000 del volumen de la conducción, de donde se deriva el criterio de recepción y la tabla 4.10 nos muestra los valores del valor de pérdida cada 24 horas de acuerdo al diámetro de la tubería que se utilice. El criterio es favorable para tubos de gran diámetro, con pérdidas que después del colmatado decrecen a valores inferiores, del orden de 1/3000 en 6 meses de servicio (en 24 horas) y 1/10000 a 2 años de servicio (en 24 horas).

Tabla 4.10.- Valores de pérdidas cada 24 horas según diámetro que se utilice.

Diámetro Nominal.	Pérdida para 24 horas (lt/km)	
	Serie Normal	Serie reforzada
750	465	442
900	665	636
1000	817	785
1100	985	950
1200	1167	1130
1300	1368	1327
1400	1584	1539
1500	1815	1767
1600	2061	2010
1700	2323	2270
1800	2601	2545
1900	2895	2835
2000	3205	3142
2100	3520	3464

Atraques contra tramos vecinos: El atraque contra terreno es un dispositivo habitual, y se puede hacer contra tramos vecinos, utilizando también para conducciones recubiertas con elementos desmontables, por lo se debe retacar el hueco de las juntas entre tubos en juntas de una y otra parte del mamparo, como se ve en el figura 4.38, el retacado puede hacerse con productos fibrosos imputrescible (cordel o cáñamo alquitranado, cuerda de asbesto).



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Figura 4.38.- Taponamiento de una conducción con un tapón cementado (Referencia 2).

Caso particular de aguas blandas: Las aguas blandas o poco mineralizadas exigen precauciones especiales. El colmatado es lento y progresivo, con necesidad de llenado siguiendo la colocación. Las líneas aéreas de conducción de aguas blandas pueden crear filtraciones sin peligro, si las aguas no son agresivas pero son desagradables, se procede como sigue:

- Elegir tubos de calidad irreprochable.
- Mantener estos tubos húmedos hasta el momento de colocación.
- Llenarlos después de colocados con agua adicionada de silicato de sodio.
- Subir la presión muy progresivamente.
- Observar un mantenimiento de presión estable, si aparecen filtraciones.
- Aumentar la presión si las filtraciones ya se secaron .

Por último se definirán algunos de los elementos que forman parte de una línea de conducción de agua potable, además de los que ya se mencionaron durante el desarrollo del capítulo 2 y algunos de estos elementos son:

Línea de conducción: Es la parte del sistema de agua constituida por el conjunto de conductos y accesorios o piezas especiales destinados a transportar el agua procedente de la fuente de abastecimiento, hasta un punto que pueda ser un tanque de regulación, una planta potabilizadora o donde principia la línea de alimentación.

Las estructuras en un sistema de conducción se pueden clasificar según su propósito en :
 Conducción. Canales, tuberías, túneles rápidos, puentes canal, y sifones invertidos.

Regulación: Represas.

Protección : Entradas, obras de desfogue, drenaje .

Medición: Estaciones de aforo.

Disipación de energía: Caídas, rápidas dentadas, tanques.

Elementos de seguridad.

Estructuras tipo.

Estructuras precoladas.

Cajas de paso o de conexión: Son cajas de mampostería o de concreto hechas con el objeto de permitir la unión de galerías con los tubos de conexión o destinadas a insertar una rebaja en la pendiente de la galería.

Cajas rompedoras de presión: Dentro de las instalaciones de by-pass y en la alimentación al tanque por gravedad, se instalará una caja rompedora de presión, con el objeto de mantener la presión estática en las líneas de salida, a la misma cota que la generada con los niveles dentro del tanque. Esta caja puede eliminarse, si al revisar las condiciones de las tuberías de salida y redes de distribución abastecidas al tanque, se determina que estas pueden absorber el incremento de presión estática. La caja rompedora estará dotada a su vez de una obra de excedencias y de válvulas para controlar el flujo de entrada en función de las demandas, se recomienda instalar por lo menos una válvula de mariposa en la línea de entrada a la caja.

Válvulas eliminadoras de aire: Expulsa aire que se acumula en los puntos más altos de una línea de conducción, pues de lo contrario se reduce el paso del agua, provocando pérdidas de presión que incluso puede llegar a romper la tubería por compresión de la bolsa de aire. La salida del aire al exterior es automática, esta válvula permite la salida al aire que contiene el agua que circula en un tubo de conducción, este aire se va acumulando en los puntos más altos y cambios de pendiente y conforme aumenta el volumen reduce el área efectiva de flujo, pudiendo ocasionar inclusive la interrupción de toda la sección, por lo que, con la instalación de estas válvulas se evitarán estos problemas, ya que irán eliminando aire acumulado. Constan de una cámara donde elevan un flotador para cerrar un orificio existente en la parte superior y que baja cuando la cantidad de aire adquiere cierto volumen, permitiendo la salida de aire acumulado.

Válvulas de descarga: Localizadas en los puntos más bajos de las tuberías, permiten su evacuación cuando sea necesario, Las descargas son medidas como boquillas, teniéndose en cuenta el tiempo admitido para su vaciamiento de la línea en consideración. La descarga es en galerías, valles, arroyos, etc y se debe evitar una conexión peligrosa con alcantarillas.

Válvula de desfogue: Se coloca en los puntos más bajos de la línea de conducción, con la finalidad de drenar la tubería para posibles inspecciones o reparaciones, esta válvula generalmente son de compuerta y se instalan en el área inferior del tubo, el desagüe se efectúa hacia una barranca y pueden ser de compuerta, mariposa y globo.

Válvula reductora y reguladora de presión: Reduce automáticamente la presión aguas abajo de las mismas, dependiendo del cauce circulante y presión aguas arriba hasta regularlo al valor admisible para la línea aguas abajo. El pistón de Civer se autorregula, por medio de conexiones con la presión existente, antes y después de la válvula. Protege el equipo de bombeo y tuberías de sobrepresiones por fenómenos transitorios, la válvula se calibra y diseñada para abrir automáticamente y descargar al exterior, cuando la presión en la línea es mayor que a la que fue calibrada, el pistón es accionado por la presión del agua para moverse hacia arriba de la válvula, al movimiento se opone un resorte con presión controlable según desee calibrar el flujo.

Válvula de seccionamiento: Se emplean en una línea de conducción para lograr el aislamiento de ciertos tramos de la tubería con el objeto de proporcionar mantenimiento o bien proporcionar el suministro en otros tramos ya que de no hacerse el abastecimiento se interrumpiría.

Referencias del Capítulo 4.

- 1.- Revista " Sistema Cutzamala " Rama Norte " " Macrocircuito".
2a Etapa editada por la Comisión Nacional del Agua (CNA) y la Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca S.E.M.A.R.N.A.P. Gerencia Regional de Aguas del Valle de México.
- 2.- Manual Técnico de Instalación de tubería de Concreto pretensado COMECOP.

CONCLUSIONES.

Este trabajo tiene como finalidad la de informar a los lectores sobre los trabajos que se están realizando para resolver uno de los mayores problemas en México, que es la de escasez de agua y que esta llegando a presentar cambios en el estado físico de la Ciudad de México. El agua se ha convertido en un elemento vital, de gran importancia y de primera necesidad, no solo en México, sino en todo el mundo, el porcentaje que abarca de territorio el agua consumible se esta agotando.

Un gran problema que se presenta y preocupa hoy día en México, es el abastecimiento de agua potable, ya que esta se presenta en todas las actividades y que no podemos ignorar, esto se debe a que el agua que estaba almacenada en los acuíferos ya no es suficiente para cumplir con la demanda que exige la población, que día con día va en aumento.

El grave problema del hundimiento que se presenta en la Ciudad de México, se debe más que nada a la desesperada extracción que se ha realizado del agua que estaba almacenada en los acuíferos y que no es tan fácilmente repuesta a estos, ya que no hay lugares que se puedan usar como filtros, ya que casi toda el área del Distrito Federal esta cubierta de concreto y la que no lo esta, el terreno se presta para esta función, y se deben de buscar otras soluciones como el transportar agua de otras fuentes fuera del Valle de México, a través de tuberías conectadas a tanques de almacenamiento, que beneficien poblaciones con ayuda de los ramales de tubería.

El hundimiento se presenta por la consolidación del material del subsuelo, la falta de agua en este hace que el gran peso de las casas y vehículos que están sobre el, lleguen a compactar el material presentándose un acomodo de este, lo que provoca el hundimiento perjudicando a sistemas de comunicación, agua potable, gas y drenaje que están instalados en el subsuelo.

El plan maestro de agua potable que se presenta. es de gran importancia, ya que esta tocando puntos muy importantes como son el de estudiar cual es la oferta y demanda de este elemento, para poner en practica programas que beneficien al suministro, como son la de suspender los pozos y mejorar el sistema de operación y servicio, así como la de rehusar agua residual tratada para reducir el consumo y hacer conciencia en la población para que arregle fugas en sus instalaciones y denuncie la que vea en la redes de distribución ya que es uno de los problemas en que se pierde gran cantidad .

El uso de los pozos de extracción de agua no garantiza cumplir con la demanda de agua, porque ya no hay agua en el subsuelo que se pueda extraer y la poca que se extrae tiene efectos nocivos para la salud, por no tener un buen control de la calidad del agua en ellos, ya que se llegan a transportar algunas sales minerales, producto de la barrera geológica en que se encuentran instalados estos pozos.

En el capitulo dos se concluye que el Sistema Cutzamala tiene gran importancia como fuente de abastecimiento, ya que se suministran $19 \text{ m}^3/\text{s}$, por medio del uso de siete presas que forman parte de él como elementos de abastecimiento, el bombeo que se hace para librar 1100 metros de altura y suministrar por medio de gravedad, hace que se reduzcan los costos en la obra, ya que si se decidiera otro método elevaría el costo y aumentaría el tiempo de construcción,

En el capitulo tres podemos concluir que es una obra muy completa, que funcionara a base de gravedad, que abastecerá a tanques y por medio de sifones, reparte el gasto del agua a zonas del Sur que están necesitadas, ya que se tuvieron que realizar muchos estudios del lugar para poder conocer la zona, donde se iba a construir esta obra, los estudios más importantes

fueron los geológicos y geotécnicos de la roca donde se iba a excavar, los resultados sirvieron para determinar que era una roca de buena calidad en algunos tramos y en otros presentaría una pequeña debilidad y se podría disgregar el material provocando derrumbes por lo que se tomo la importante decisión de utilizar el topo, que es una máquina que excava y coloca un soporte a base de dovelas, que soportaría la presión ejercida por el material que estuviera a su alrededor.

Debido al terreno de la Derivación 4, que se compone de escoria y basalto, fue importante usar otros métodos de soporte importantes como tablaestacas, marcos metálicos y anclas de tensión, que se recubren con concreto para evitar la filtración de agua que atraviesa las capas de roca, el uso de las lumbreras como la No.5 y 2-A y portales de entrada y salida de Derivaciones como la 3 y 4, ayudan en la construcción introduciendo maquinaria, material y equipo al interior del túnel, así como en la intersección de dos excavaciones, evitando tiempos largos en un sentido, permitiendo atacar dos frentes, otro proceso importante fue el uso de cimbra deslizante que reduce el tiempo de cimbrado y descimbrado, teniendo mayor avance diario, sin detener la obra.

En el capítulo cuatro podemos concluir que el Ramal Norte es una obra que trabaja a base de gravedad, por lo que no se necesita tanto el sistema de bombeo y todo se transporta por medio de tubería concreto y acero, permitiendo la llegada del agua a tanques, que reducirán la presión por medio de estructuras de control, almacenando y repartiendo a comunidades del Norponiente por medio de la tubería de concreto oculta, que soporta la presión del agua y problemas que presentan el suelo donde se coloca, otro tubo importante fue el de acero que se diseña para soportar grandes presiones y se coloca principalmente en lugares donde es difícil el acceso, como barrancas. Este tipo de tubería se emplea también para pasar por debajo de carreteras y caminos, por lo que se tuvo que respetar la decisión de la gente de los poblados.

Podemos concluir que esta obra se desarrolló con muy buenos resultados ya que se realizaron los estudios pertinentes de geología y geotecnia del lugar, para conocer el tipo de terreno donde se iba a colocar la tubería, además que en esta obra no fue necesaria usar una máquina tan grande como el topo, sino una pequeña como la retroexcavadora o un malacate que ayudaría para hacer la zanja y el tendido de los tubos dentro de esta.

Podemos concluir que los costos en los dos ramales, llegan a ser diferentes, ya que en el Sur será una excavación mucho más grande en longitud en el caso de los túneles y para el caso de las lumbreras verticalmente, el uso de explosivos, máquina tunelera, material y mano de obra aumenta mucho el costo, pero es necesario, ya que las condiciones del lugar no se prestan para otro procedimiento, en cambio en el Ramal Norte se reduce el costo, por ser un proceso más sencillo, en el que no se excavará gran cantidad de material y la maquinaria y mano de obra es menor.

Un comentario final que se puede hacer es que estas obras son muy importantes para la comunidad del Valle de México y que el Ingeniero Civil las debe hacer con una gran responsabilidad, basándose y apoyándose en las necesidades, estudios y propuestas, así como en sus conocimientos generales, que puedan darle una gran seguridad en si mismo, preservando la naturaleza y medio que lo rodea.

BIBLIOGRAFÍA GENERAL.

1. - Memoria Técnica del Primer Congreso Mexicano de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas. Asociación Mexicana de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas. A.M.I.T.O.S. México Distrito Federal del 8 al 11 de Octubre de 1995.
2. - Memoria Técnica del Tercer Congreso Mexicano de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas. Asociación Mexicana de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas. A.M.I.T.O.S. México Distrito Federal del 10 al 12 de Noviembre de 1999.
- 3.- Estructuras de Vías terrestres.
Fernando Olivera Bustamante
Editorial: Compañía Editorial Continental. S.A de C.V.
- 4.- Curso "Víctor Hardy 1995"
Asociación Mexicana de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas. A.M.I.T.O.S.
México Distrito Federal
Agosto 1995.
- 5.- Curso " Víctor Hardy, 1998
Asociación Mexicana de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas A.M.I.T.O.S.
México Distrito Federal, Enero 1998.
6. - Diseño y Construcción de Túneles.
III Curso Internacional de Ingeniería Geológica aplicada a Obras Superficiales y Subterráneas.
Facultad de Ingeniería U.N.A.M.
División de Educación Continua.
México Distrito Federal, Palacio de Minería.
Del 17 al 21 de Julio de 1991.
- 7.- III Reunión Nacional de Mecánica de Rocas.
Sociedad Mexicana de Mecánica de Rocas, A.C. Construcción, Diseño y Explotación en Macizos Rocosos.
Universidad, La Salle A.C.
México, Distrito Federal.
Abril de 1993.
8. - Mecánica de Suelos Tomos I, II y III.
Fundamentos de la Mecánica de Suelos.
Juárez Badillo - Rico Rodríguez.
Editorial : Limusa Noriega Editores.
- 9.- Revista Ingeniería Civil No 336.
Vías Terrestres
Editado por el Órgano Oficial del Colegio de Ingenieros Civiles de México C.I.C.M de A.C.
Abril de 1997.
- 10.- Revista Ingeniería Civil No 337.
Movimientos Sísmicos.
Editada por el órgano Oficial del Colegio de Ingenieros Civiles de México, C.I.C.M. de A.C.
Julio de 1997.
- 11.- Revista Ingeniería Civil No 337.
Ingeniería de Túneles.
Editada por el órgano Oficial del Colegio de Ingenieros Civiles de México, C.I.C.M. de A.C.
Mayo de 1997.

12.- Revista Ingeniería Civil No 334.

El Agua y su uso eficiente.

Editada por el órgano Oficial del Colegio de Ingenieros Civiles de México, C.I.C.M.de A.C.

13.- Revista " Sistema Cutzamala "

Agua para millones de Mexicanos"

Editada por la Comisión Nacional del Agua (C.N.A) y la Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca S.E.M.A.R.N.A.P.

14--Revista " Hidráulica Urbana No 1

Editada por la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica D.G.C.O.H.

Enero de 1997.

15.- Revista " Hidráulica Urbana No 2

Editada por la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica D.G.C.O.H.

Junio de 1997.

16.- Revista " Hidráulica Urbana No 3"

Editada por la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica D. G. C. O. H.

Noviembre de 1997.

17.- Revista "Agua 2000".

Estrategias para la Ciudad de México

Editada por la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica D.G.C.O.H.
México, Septiembre de 1994.

18.- Revista Acueducto Perimetral

Dirección Técnica y Subdirección de Programación.

Editada por la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica D. G. C. O. H.
Unidad Departamental de Diseño Gráfico y Montaje.

19.- Revista " Sistema Cutzamala " Rama Norte " " Macrocircuito".

2a Etapa editada por la Comisión Nacional del Agua (C-N-A) y la Secretaria del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca S.E.M.A.R.N.A.P.

Gerencia Regional de Aguas del Valle de México.

20. - Topografía y exploración del Tramo Cantil - Topilejo Del Túnel para el Acuaferico (Vol III)

Estudios realizadas por la D.G.C.O.H. y CONISA

Diciembre de 1991.

21. - Interpretación Geodinámica del Volcanismo del Eje Neovolcánico Transmexicano.

Demand Alain.

UNAM Revista del Instituto de Geología Vol. 5 - 2

Año de 1982.

22. - Memoria de las Obras del Sistema de Drenaje Profundo del Distrito Federal.

Historia Geológica de la Cuenca de México Tomo 1.

Departamento de; Distrito Federal

Año 1975.

23.- Volcanismo Riólítico en el Eje Neovolcánico.

Geografía introducción Vol. 1.

Ferriz H y Mahood G. A

Año de 1986.

24- Revista Alcantarillado 2000.

Editada por la D.G.C.O.H. Departamento de Obras

Año 1999