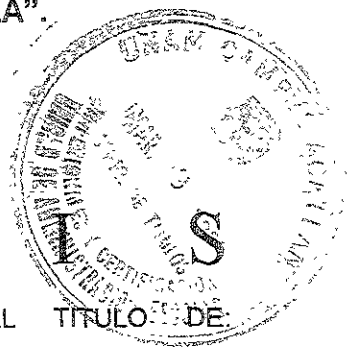




UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN"

"ESTUDIOS GEOTECNICOS Y ASPECTOS CONSTRUCTIVOS DEL PROYECTO ACUEDUCTO PERIMETRAL DE LA CIUDAD DE MEXICO, TERCERA ETAPA, TRAMO AJUSCO-SAN FRANCISCO TLANEPANTLA".



T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
PRESENTA:
ALFONSO LORENZO FLORES

ASESOR DE TESIS: ING. CELSO BARRERA CHAVEZ.

SANTA CRUZ ACATLAN, EDO. DE MEXICO, MARZO DE 2000.





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.



LIBERTAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MÉXICO

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

SR. ALFONSO LORENZO FLORES.  
ALUMNO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL.  
PRESENTE.

En atención a su solicitud presentada con fecha de 16 de abril de 1988, me complace notificarle que esta Jefatura de Programa aprobó el tema que propuso, para que lo desarrolle como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

"ESTUDIOS GEOTÉCNICOS Y ASPECTOS CONSTRUCTIVOS DEL PROYECTO ACUEDUCTO PERIMETRAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO, TERCERA ETAPA, TRAMO AJUSCO- SAN FRANCISCO TLANEPANTLA".

1. ANTECEDENTES.
2. DEFINICIÓN DEL PROYECTO.
3. ASPECTOS GEOTECNICOS DEL TRAMO AJUSCO-SAN FRANCISCO TLANEPANTLA DE LA TERCERA ETAPA DEL ACUEDUCTO PERIMETRAL.
4. MÉTODOS DE EXCAVACIÓN DEL TÚNEL DE CONDUCCIÓN DE LA TERCERA ETAPA DEL ACUEDUCTO PERIMETRAL.
5. PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA TERCERA ETAPA.

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

Esta comunicación deberá publicarse en el interior del trabajo profesional.

ATENTAMENTE.  
" POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU "  
Acatlán Edo. de México a 29 de febrero del 2000.

Jefe del Programa

Ing. Enrique del Castillo Fragoso



ENEP-ACATLÁN  
JEFATURA DEL  
PROGRAMA DE INGENIERÍA

DEDICO ESTE TRABAJO A MI ESPOSA ISABEL  
POR SU CONFIANZA, SU APOYO, SU PACIENCIA  
POR SU AMOR.

DEDICO ESTE TRABAJO A MI HIJA PAOLA  
POR LA FORTALEZA QUE ME DA,  
POR SU ALEGRIA.

DEDICO ESTE TRABAJO A MI MAMÁ,  
POR SUS ORACIONES,  
POR QUE SIEMPRE ESTA CONMIGO.

DEDICO ESTE TRABAJO A MI PAPÁ  
POR SU EJEMPLO,  
POR QUE SOLO POR HOY NOS MUESTRA QUE SE PUEDE VENCER  
LA ADVERSIDAD.

DEDICO ESTE TRABAJO A LEO, A LUPE, A LETY, A TOÑO, A GABY  
MIS HERMANOS,  
POR QUE NUNCA ME DEJAN SOLO.

DEDICO EN FORMA ESPECIAL ESTE TRABAJO AL SR. GERARDO GARCIA Y  
A LA SRA. ISABEL BENHUMEA  
MIS SUEGROS,  
POR SU GENEROSIDAD,  
DE LA QUE LES ESTARÉ ETERNAMENTE AGRADECIDO.

DEDICO SOBRE TODO ESTE TRABAJO A DIOS,  
LE DOY GRACIAS POR PERMITIRME CUMPLIR ESTE SUEÑO  
Y LE PIDO ILUMINE MI CAMINO.

FEBRERO DEL 2000

AGRADEZCO A MIS PROFESORES POR EL TIEMPO Y DEDICACIÓN QUE INVIRTIERON EN MI EDUCACIÓN.

AGRADEZCO A LOS COMPAÑEROS UNIVERSITARIOS QUE LUCHARON POR QUE LA ESTANCIA EN LA UNAM NO SE RESTRINGIERA, PERMITIÉNDOME CURSAR MI CARRERA, Y QUE HOY LUCHAN POR UNA UNIVERSIDAD PARA TODOS.

AGRADEZCO AL ING. CELSO BARRERA CHÁVEZ POR SU APOYO EN LA REALIZACIÓN DE ESTE TRABAJO.

AGRADEZCO A TODOS LOS QUE FORMA LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, MI ALMA MATER, POR EL ESFUERZO QUE COTIDIANAMENTE APORTAN A LA FORMACIÓN DE HOMBRES Y MUJERES LIBRES.

## ÍNDICE

	Págs.
INTRODUCCIÓN .....	X
CAPITULO 1.- ANTECEDENTES.....	1
1.1.- LA CIUDAD DE MÉXICO Y LA ZONA METROPOLITANA COMO UNA GRAN CIUDAD .....	1
1.1.1- LA CIUDAD DE MÉXICO	
1.1.2- ZONA METROPOLITANA.	
1.1.2.1.- DEFINICIÓN DE ÁREA METROPOLITANA.	
1.1.3.- DESCRIPCION FÍSICA DE LA UBICACIÓN DE LA CIUDAD DE MÉXICO Y LA ZONA METROPOLITANA.	
1.1.4.- ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA CIUDAD DE MÉXICO.	
1.1.5.- DATOS ACTUALES DE LA POBLACIÓN DEL AREA METROPOLITANA Y SU INTERRELACIÓN CON LA CIUDAD DE MÉXICO	
1.1.5.1.- DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN DEL ESTADO DE MÉXICO.	
1.2.- EL PROBLEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE MÉXICO...6	
1.2.1- EL ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE Y SU RELACIÓN CON LA SALUD PÚBLICA.	
1.2.2- NECESIDADES DE INVERSIÓN E INFRAESTRUCTURA.	
1.2.3.- POBLACIÓN Y DEMANDA ACTUAL DE AGUA EN EL ESTADO DE MÉXICO Y EL ÁREA METROPOLITANA.	
1.2.4- EXTRAPOLACIÓN DE LAS CONDICIONES ACTUALES.	
1.3.- OBRAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE MÉXICO.....13	
1.3.1.- DESCRIPCIÓN GENERAL DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE.	
1.3.1.1.- FUENTES DE ABASTECIMIENTO.	
1.3.1.2.- CAPTACIÓN.	
1.3.1.3.- CONDUCCIÓN	
1.3.1.4.- TRATAMIENTO.	
1.3.1.5.- REGULACIÓN	
1.3.1.6.- DISTRIBUCIÓN.	
1.3.2.- PROYECTO DE CONDUCCIÓN DE AGUA POTABLE.	
1.3.3.- METODOLOGÍA DE DISEÑO DE UNA LÍNEA DE CONDUCCIÓN.	
1.3.4.- ANTECEDENTES DEL PROBLEMA DE ABASTO DE AGUA Y LAS OBRAS DE ABASTECIMIENTO DE LA CIUDAD DE MÉXICO.	
1.3.4.1- EPOCA PRECOLOMBINA.	
1.3.4.2.- MEXICO, CAPITAL DEL VIRREYNATO DE LA NUEVA ESPAÑA.	
1.3.4.3.- PRIMER SIGLO INDEPENDIENTE (1821-1910).	
1.3.4.4.- OBRAS REALIZADAS EN TIEMPO DE LA REVOLUCIÓN MEXICANA	
1.3.5 OBRAS DE ABASTECIMIENTO ACTUALES.	
1.3.5.1- ORIGEN DE LAS FUENTES ABASTECEDORAS ACTUALES	
1.3.5.2.-FUENTES EXTERNAS.	

Págs.

- 1.3.5.3.-FUENTES INTERNAS
- 1.3.5.4 - INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA DE LA CIUDAD DE MÉXICO
- 1.3.5.5.- SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE CUTZAMALA.
- 1.3.5.5.1.- PRIMERA ETAPA
- 1.3.5.5.2 - SEGUNDA ETAPA
- 1.3.5.5.3- TERCERA ETAPA

- 1.3.6 - DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN EL ÁREA METROPOLITANA
- 1.3.6.1- APORTACIÓN DEL SISTEMA CUTZAMALA.
- 1.3.7 - OBRAS DE ABASTECIMIENTO DEL ÁREA METROPOLITANA.
- 1.3.8 - PERSPECTIVAS PARA CUBRIR LAS NECESIDADES DE AGUA DEL ÁREA METROPOLITANA.
- 1.3.9- ACCIONES PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA DEL AGUA.

1.4. - LUGAR QUE OCUPA EL ACUEDUCTO PERIMETRAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO EN EL PLAN NACIONAL DE DESARROLLO Y EL PLAN MAESTRO DE AGUA POTABLE Y DRENAJE..... 30

- 1.4.1.- EL PLAN NACIONAL DE DESARROLLO 1995-2000 Y LOS RECURSOS HIDRÁULICOS.
  - 1.4.1.1.- PROGRAMA HIDRÁULICO 1995-2000
  - 1.4.1.2.- OBJETIVOS DEL PLAN.
  - 1.4.1.3.- ESTRATEGIAS GENERALES
  - 1.4.1.4.-LÍNEAS DE ACCIÓN
- 1.4.2 EL PLAN MAESTRO DE AGUA POTABLE Y EL ACUEDUCTO PERIMETRAL
  - 1.4.2.1.- ESTRUCTURA DEL PAN MAESTRO DE AGUA POTABLE.
  - 1.4.2.2 - ESTUDIOS BÁSICOS.
  - 1.4.2.3.- ESTUDIOS PARA EL ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO Y EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA.
  - 1.4.2.4.- OFERTA DE AGUA POTABLE.
  - 1.4.2.5.- PERDIDA POR FUGAS.
  - 1.4.2.6.- DEMANDA DE AGUA POTABLE.
  - 1.4.2.7.- LINEAMIENTOS, OBJETIVOS Y ESTRATEGIAS
  - 1.4.2.8 - PROGRAMA DE RECUPERACIÓN DE AGUA
  - 1.4.2.9.- TABLA 7.- LINEAMIENTOS, OBJETIVOS Y ESTRATEGIAS.

1.5.- CONCEPCIÓN DEL ACUEDUCTO PERIMETRAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO..... 38

- 1.5.1.- NECESIDAD DE UN ACUAFÉRICO

	Págs.
CAPITULO 2.- DEFINICIÓN DEL PROYECTO.....	40
2.1.- CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL PROYECTO. ....	40
2.1.1.- OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	
2.1.2.- CONEXIÓN AL SISTEMA CUTZAMALA	
2.1.3.- PRIMERA ETAPA.	
2.1.4.- SEGUNDA ETAPA.	
2.1.5.- TERCERA ETAPA	
2.1.6.- CUARTA ETAPA.	
2.2.- CRITERIOS DE DISEÑO.....	47
2.2.1.- FACTORES QUE GOBIERNAN EL EQUILIBRIO DEL TÚNEL.	
2.2.2.- ASPECTOS DE GEOTECNIA RELACIONADOS CON LOS CRITERIOS DE DISEÑO DEL TÚNEL	
2.2.3.- EL SOPORTE TEMPORAL Y EL REVESTIMIENTO DEFINITIVO.	
2.2.4.- VARIACIÓN DE LOS DIÁMETROS DE EXCAVACIÓN.	
2.2.5.- AGUA EN EL TÚNEL.	
2.2.6.- PROYECTO HIDRÁULICO Y GEOMÉTRICO DEL TÚNEL Y OBRAS COMPLEMENTARIAS.	
2.3.- BENEFICIOS DEL PROYECTO.....	56
2.4.- LOCALIZACIÓN DE LA TERCERA ETAPA DEL ACUEDUCTO PERIMETRAL.....	57
2.4.1.- CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL SITIO	
2.5.- DEFINICIÓN DE TÚNEL COMO ESTRUCTURA DE CONDUCCIÓN DE AGUA... ..	59
CAPITULO 3.- ASPECTOS GEOTÉCNICOS DEL TRAMO AJUSCO - SAN FRANCISCO TLANEPANTLA DE LA TERCERA ETAPA DEL ACUEDUCTO PERIMETRAL.....	61
3.1 GEOLOGIA DE LA ZONA.....	61
3.1.1.- GENERALIDADES DE GEOLOGÍA	
3.1.1.1.- PROCESOS DE FORMACIÓN DE LAS ROCAS	
3.1.1.2.- ROCAS SEDIMENTARIAS.	
3.1.1.3.- ROCAS METAMÓRFICAS.	



Págs.

3 1 1 4 - ROCAS ÍGNEAS	
3.1.1.4.1.- TEXTURA DE LAS ROCAS ÍGNEAS	
3 1 1 4 2 - TIPOS DE ROCAS ÍGNEAS	
3 1 1.5 - ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS	
3 1 1.6.- ESTRUCTURA DE LAS ROCAS ÍGNEAS	
3.1.2 - UBICACIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO	
3.1.3 - GEOLOGIA REGIONAL	
3 1 4 - GEOLOGÍA HISTÓRICA DEL EJE NEOVOLCÁNICO	
3.1.5.- EJE NEOVOLCÁNICO.	
3.1.6.- TECTÓNICA.	
3.1.7.- CUENCA DEL VALLE DE MÉXICO.	
3.1.8 - EVOLUCIÓN GEOLÓGICA DE LA CUENCA DEL VALLE DE MÉXICO.	
3.1.9.- TECTÓNICA DE LA CUENCA DEL VALLE DE MÉXICO	
3.2 ESTRATIGRAFÍA DE LA ZONA DE LA OBRA.....	70
3.3.- EXPLORACION.....	72
3.3.1.- ETAPAS DE EXPLORACION.	
3.3.2.- FOTOGEOLOGÍA.	
3.3.2.1.- FALLAMIENTO DEL AREA DEL PROYECTO.	
3.3.2.2.- FRACTURAMIENTO DEL AREA DEL PROYECTO.	
3.3.3.- EXPLORACION Y UNIDADES GEOTÉCNICA.	
3.3.4.- MACIZOS ROCOSOS	
3.3.4.1.- MACIZO ROCOSO DEL CANTIL.	
3.3.4.2.- DOMO DE TOPILEJO.	
3.3.5.- GEOLOGIA A LO LARGO DEL TRAZO RESULTADO DE LOS SONDEOS DE LA EXPLORACIÓN.	
3.3.6.- CONTACTOS ENTRE DOMOS.	
3.3.7.- RESUMEN GEOLÓGICO DEL TUNEL 5 Y SUS DERIVACIONES	
3.3.7.1.- GEOLOGIA TÚNEL DERIVACIÓN 4.	
3.3.7.2.- GEOLOGIA TÚNEL No. 5	
3.3.7.3.- GEOLOGIA TÚNEL DERIVACIÓN 3-A.	
3.3.7.4.- GEOLOGIA TÚNEL DERIVACIÓN 3.	
3.3.8- SONDEOS.	
3.4.- ESTUDIOS GEOFÍSICOS.....	93
3.4.1.- RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS GEOFÍSICOS	
3.4.2 - INTEGRACIÓN GEOLÓGICO-GEOFÍSICA.	
3.5.- PRUEBAS DE LABORATORIO.....	96
3.5.1.- PETROGRAFÍA	
3.5.2 - INGENIERIA GEOTÉCNICA.	
3.5.2.3 - RESULTADOS OBTENIDOS.	

	Págs.
<b>3.6 MÉTODOS DE ANÁLISIS UTILIZADOS PARA DETERMINAR EL TIPO DE ESTRUCTURA DE SOPORTE DEL TÚNEL.....</b>	<b>103</b>
3.6.1.- CLASIFICACIONES GEOTÉCNICAS Y SU APLICACIÓN AL SOPORTE TEMPORAL	
3.6.2.- CLASIFICACIÓN NGI.	
3.6.3.- CLASIFICACIÓN CSIR.	
3.6.4.- PRUEBAS DE RESISTENCIA DE LA ROCA	
3.6.5.- PRUEBAS DE DUREZA.	
3.6.6 - ESTIMACIÓN DE LA CARGA DE DISEÑO	
3.6.6.1.- CRITERIO DE TERZAGHI	
3.6.6.2 - CRITERIO DE BARTON.	
3.6.6.3.- CRITERIO DE PROTODIAKONOV	
3.6.7.-DISEÑO DEL SOPORTE COMO TUBO DE PARED DELGADA.	
<b>CAPITULO 4.- MÉTODOS DE EXCAVACIÓN DEL TÚNEL DE CONDUCCIÓN DE LA TERCERA ETAPA DEL ACUEDUCTO PERIMETRAL.....</b>	<b>107</b>
<b>4.1.- MÉTODOS DE EXCAVACIÓN DE TÚNELES.....</b>	<b>107</b>
4.1.1.- TÚNELES DE ROCA SANA E INTACTA O EN SUELOS FIRMES.	
4.1.2.- TÚNELES EN ROCA FISURADA	
4.1.3.- TÚNELES EN ROCA TRITURADA.	
4.1.4.- MÉTODO DE EXCAVACIÓN CONVENCIONAL DE BARRENACIÓN Y VOLADURA.	
4.1.4.1.- CICLO BÁSICO DE TRABAJO.	
4.1.4.2.- EQUIPO UTILIZADO EN EL CICLO BÁSICO.	
4.1.4.3.- TIPOS DE PERFORACIÓN DE TÚNELES POR EL MÉTODO TRADICIONAL.	
4.1.4.4.- BARRENACIÓN	
4.1.4.5.- CUÑAS.	
4.1.4.6.- VOLADURAS CONTROLADAS.	
4.1.4.7 - EXPLOSIVOS Y SUS PROPIEDADES.	
4.1.4.8.- DINAMITA.	
4.1.4.9 - AGENTES EXPLOSIVOS	
4.1.4.10.- PROPIEDADES DE LOS EXPLOSIVOS	
4.1.4.11.- DISPOSITIVOS DE INICIACIÓN	
4.1.4.12.- DISPOSITIVOS ELÉCTRICOS.	
4.1.5.- CLASIFICACIÓN EMPÍRICA DEL TUNELERO.	
4.1.6.- MÉTODO DE EXCAVACIÓN CON MAQUINA EXCAVADORA ROTATORIA A SECCION COMPLETA (TOPO)	
4.1.6.1.- ANTECEDENTES DE LA EXCAVACIÓN CON MAQUINA TOPO	
4.1.6.2.- REQUERIMIENTOS DEL USO DE MAQUINA TOPO.	

- 4.1.6.3.- ESTUDIOS GEOLÓGICOS PREVIOS A LA EXCAVACIÓN CON MÁQUINA TUNELERA
  - 4.1.6.3.1 - PASO 1- RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO.
  - 4.1.6.3.2.- PASO 2.- EXPLORACIONES GEOLÓGICAS EN DETALLE
- 4.1.6.4.- RECOMENDACIONES DERIVADAS DE LOS ESTUDIOS GEOTÉCNICOS
- 4.1.6.5 - PUNTOS CRÍTICOS
- 4.1.6.6 - ASPECTOS DE GEOTECNIA E INGENIERÍA ECONÓMICA EN LA TUNELERÍA CON TOPO.
- 4.1.6.7.- ASPECTOS ECONÓMICOS POSITIVOS DEL USO DE LA MÁQUINA TUNELERA

4.2.- PROBLEMAS ESPECIALES DURANTE EL PROCESO DE EXCAVACIÓN.....125

- 4.2.1.- CAMBIOS DE PROYECTO Y SU JUSTIFICACIÓN
- 4.2.2 - RETRASOS DERIVADOS DE FALLAS O PROBLEMAS CON LA MÁQUINA TUNELERA EN DERIVACIÓN 4 (TÚNEL 5).
- 4.2.3.- AVANCE DE EXCAVACION CON MÁQUINA TUNELERA EN EL TÚNEL 5
- 4.2.4 - PROBLEMAS Y SOLUCIONES DE LA EXCAVACIÓN DEL TÚNEL 5.

4.3.- INSTRUMENTACIÓN.....131

- 4.3.1.- OBJETIVO DE LAS MEDICIONES DE CONVERGENCIAS EN EL INTERIOR DEL TÚNEL.
- 4.3.2.- DESCRIPCIÓN DE UN EXTENSÓMETRO
- 4.3.3.- EXTENSÓMETROS DE CINTA O DE ALAMBRE.
- 4.3.4 - INSTALACIÓN
- 4.3.5.- PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN.
- 4.3.6.- INTERPRETACIÓN.
- 4.3.7 - CORRELACIÓN ASENTAMIENTOS - CONVERGENCIAS.
- 4.3.8.- COMENTARIOS ACERCA DE LA INSTRUMENTACIÓN.
- 4.3.9.- MEDICIONES DE DESPLAZAMIENTOS LATERALES.
- 4.3.10.- MEDICIONES DE ASENTAMIENTOS SUPERFICIALES.
- 4.3.11 - DESARROLLO DE LA INSTRUMENTACIÓN.
- 4.3.12.- COMPARATIVA ENTRE LOS DOS PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS: MÉTODO CONVENCIONAL Y MÉTODO MECÁNICO
- 4.3.13.- CONCLUSIONES DE LA INSTRUMENTACIÓN.

4.4.- ANÁLISIS DE PRESIONES.....140

- 4.4.1.- PRESIÓN DE ROCA.
- 4.4.2.- MEDICIONES DE CARGA, PRESIÓN Y ESFUERZOS ACTUANTES
  - 4.4.2.1.- CELDA DE CARGA
  - 4.4.2.2 - CELDA DE PRESIÓN.
  - 4.4.2.3 - GATO PLANO

4.5.- EXCAVACIÓN DE OBRAS COMPLEMENTARIAS.....	141
4.5.1.- ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN PARA LA DERIVACIÓN 3.	
4.5.1.1.- METODO CONSTRUCTIVO EN LAS UNIDADES GEOTÉCNICAS DE LA DERIVACIÓN 3	
4.5.1.2.- EXCAVACIÓN DEL TÚNEL DE LA DERIVACIÓN 3.	
4.5.1.3.- USO DE EXPLOSIVOS.	
4.5.2.- ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN PARA LA DERIVACIÓN 4	
4.5.2.1.- ACCESO PARA EL TOPO.	
4.5.2.2.- PLATAFORMA DE LA DERIVACIÓN 4.	
4.5.2.3 - SISTEMA CONSTRUCTIVO PARA LA PLATAFORMA DE OPERACIONES PARA LA DERIVACIÓN 4.	
4.5.2.4.- EMPORTALAMIENTO Y CORTE EN TALUD	
4.5.2.5.- SOPORTE TEMPORAL DE LA EXCAVACIÓN DEL TAJO	
4.5.2.6.- ANCLAJE ESTRUCTURAL.	
4.5.2.7 - APERTURA DEL PORTAL DE LA CUARTA DERIVACIÓN	
4.5.2.8.- TÚNEL CUARTA DERIVACIÓN.	
4.5.3.- EXCAVACIÓN DEL TAJO DE LA DERIVACIÓN 3-A.	
4.5.3.1 - EXCAVACIÓN DEL TÚNEL 3-A.	
 CAPITULO 5.- PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA TERCERA ETAPA.....	150
5.1.- ORGANIZACIÓN DE LA OBRA.....	150
5.1.1.- ACTIVIDADES INVOLUCRADAS EN LA CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL	
5.1.2.- OBSTACULOS A VENCER.	
5.1.3.- PROGRAMAS Y PRESUPUESTOS.	
5.1.4.- CONTROL DE CALIDAD.	
5.1.5.- SUPERVISIÓN DE OBRA.	
5.1.5.1.- ALCANCES DE LA SUPERVISIÓN.	
5.1.6.- CONTROL DEL PROYECTO.	
5.2.- MATERIALES USADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DEL ACUEDUCTO.....	157
5.2.1.- MATERIALES UTILIZADOS EN LA EXCAVACIÓN DEL TÚNEL, LAS OBRAS COMPLEMENTARIAS Y SU ESTABILIZACIÓN	
5.2.1.1.- MATERIAL PARA LA EXCAVACIÓN DEL TÚNEL DE 3.80 M DE DIÁMETRO, POR MEDIO DEL MÉTODO DE BARRENACIÓN Y VOLADURA (ML)	
5.2.1.2.- MATERIALES UTILIZADOS EN EL CONCRETO LANZADO PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA EXCAVACIÓN.	
5.2.1.2.1.- CEMENTO.	
5.2.1.2.2 - AGREGADOS.	
5.2.1.2.3.- AGUA DE MEZCLADO.	
5.2.1.2.4.- ADITIVOS ACELERANTES.	
5.2.1.2.5.- MEZCLA.	

Págs.

5.2.2 - MATERIALES UTILIZADOS EN EL RECUBRIMIENTO DEFINITIVO, LA INYECCIÓN DE CONTACTO Y EL ACABADO FINAL	
5.2.2.1.- MATERIALES DEL CONCRETO HIDRÁULICO PARA EL REVESTIMIENTO DEFINITIVO	
5.2.2.2.- CEMENTO	
5.2.2.3.- AGREGADOS DEL CONCRETO.	
5.2.2.4.- LIMITES GRANULOMÉTRICOS	
5.2.2.5.- AGUA.	
5.2.2.6.- ADITIVOS	
5.2.2.7.- DOSIFICACIÓN Y MEZCLADO.	
5.2.3.- MATERIALES Y EQUIPO PARA LA EXCAVACIÓN DEL TÚNEL CON LA MÁQUINA TUNELERA	
5.2.4.- NORMAS DE CALIDAD PARA LOS MATERIALES DE LA INYECCIÓN DE CONTACTO.	
5.2.4.1.- AGUA.	
5.2.4.2.- CEMENTO.	
5.2.4.3 - BENTONITA.	
5.2.4.4.- ARENA	
<b>5.3.- MANO DE OBRA.....</b>	<b>164</b>
5.3.1 - MANO DE OBRA DE LA EXCAVACIÓN DEL TÚNEL DE 3.80 M DE DIAMETRO, POR MEDIO DEL MÉTODO DE BARRENACIÓN Y VOLADURA (ML).	
5.3.2.- MANO DE OBRA PARA EL CONCRETO ARMADO.	
<b>5.4.-</b>	
<b>EQUIPO.....</b>	<b>167</b>
5.4.1.- EXCAVACIÓN POR BARRENACIÓN Y VOLADURA, LLAMADO MÉTODO CONVENCIONAL.	
5.4.2.- EQUIPO PARA LA EXCAVACION DE TÚNEL DE 3.80 M DE DIAMETRO, POR MEDIO DEL MÉTODO DE BARRENACIÓN Y VOLADURA	
5.4.3.- EQUIPO DE BARRENACIÓN.	
5.4.4.- LOCOMOTORAS.	
5.4.5.- VAGONETAS.	
5.4.6.- LIBRADERO	
5.4.7.- DOVELAS.	
5.4.8.- INSTALACIÓN ELECTRICA DENTRO DEL TÚNEL.	
5.4.9.- EQUIPO PARA CONCRETO LANZADO.	
5.4.10.- EQUIPO DE VENTILACIÓN.	
5.4.10.1- FACTORES QUE DETERMINAN LA VENTILACIÓN EN EL ÁREA DE TRABAJO.	
5.4.11.- SISTEMAS DE SOPORTE DEL TERRENO.	
5.4.12.- EQUIPO PARA LA EXCAVACIÓN CON LA MAQUINA TUNELERA (T.B M)	
5.4.12.1 - CARACTERÍSTICAS DE LA MAQUINA TUNELERA	
5.4.12.2.- DESCRIPCIÓN DE SUS ELEMENTOS	
5.4.12.3 - INSTALACIONES DENTRO DEL TÚNEL PARA LA MAQUINA TUNELERA	
5.4.12.4 - INSTALACIONES EXTERIORES.	
5.4.13.- TREN DE COLADO	

Págs.

5 4.14 - CIMBRA	
5 4 14 1 - CIMBRA DE MADERA	
5.4.14 2 - CIMBRA METÁLICA TELESCÓPICA O AUTOTRANSPORTABLE	
5 4 14 3.- FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE LA CIMBRA.	
5.4 15 - EQUIPO PARA LA ELABORACIÓN DEL CONCRETO PARA REVESTIMIENTO DEFINITIVO	
<b>5.5. - EJECUCIÓN DE LA OBRA.</b>	<b>187</b>
5.5.1 - PROCESO CONSTRUCTIVO.	
5.5.1.1- PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE PARA LA COLOCACIÓN DEL CONCRETO LANZADO	
5.5.1.2- APLICACIÓN DEL CONCRETO LANZADO.	
5 5.2 - PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA EXCAVACIÓN CON LA T B M. DEL TÚNEL 5	
5.5.3.- USO DE SOPORTE PRIMARIO.	
5 5.4.- REVESTIMIENTO DEFINITIVO.	
5.5.4 1 - PLANTA CONCRETERA.	
5.5.4 2 - CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO	
5 5.4.3.- FRENTE DE COLADO.	
5.5 4.4.- PREPARACIÓN DEL SITIO DEL COLADO.	
5.5.4.5 - VIBRADO DEL CONCRETO DEL REVESTIMIENTO DEFINITIVO	
5.5.4.6.- MOVIMIENTO DEL TREN DE COLADO	
5.5.5.- LA COMUNICACIÓN DENTRO DEL TÚNEL.	
5 5.6.- EJECUCIÓN DE LA INYECCIÓN DE CONTACTO.	
5 5.7 - LIMPIEZA FINAL DEL TÚNEL.	
5.5.8.- PROBLEMAS PLANTEADOS DURANTE LA EJECUCIÓN.	
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>203</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>206</b>

## INTRODUCCIÓN

Estudios geotécnicos y aspectos constructivos del proyecto Acueducto Perimetral de la Ciudad de México, tercera etapa, tramo Ajusco - San Francisco Tlanepantla es el tema de este trabajo de tesis. Se trata de una obra hidráulica de infraestructura que tiene como objetivo subsanar el rezago del abastecimiento de agua potable a la Ciudad de México, problema que se suma a escala mundial a la problemática de dotar de agua a los habitantes del planeta.

Podemos preguntar, por qué en los umbrales del siglo XXI la mayoría de la gente carece de los servicios de primera necesidad como el agua potable, la inequitativa distribución de la riqueza es el origen de las carencias de la mayoría de la gente. Naciones enteras, aun siendo ricas en recursos naturales y humanos, sufren del dominio económico de países y organismos internacionales acreedores que las mantienen en el subdesarrollo y en la explotación irracional de sus recursos naturales y humanos, generando la destrucción del entorno ecológico al contaminar tierra, agua y aire.

Sabemos que el agua apta para el consumo humano es escasa en el mundo, y que los recursos que se destinan, a nivel mundial, para su aprovechamiento y cuidado no se comparan con los recursos que se destinan a la producción de armas químicas o de cualquier tipo, que sólo sirven para la destrucción. Es importante no perder de vista esta cuestión, por que de elle depende el porvenir nuestro y el de generaciones futuras. De esta cuestión se desprende el por qué no existen los suficientes recursos para terminar con el desabasto de agua potable, en este caso en México, en particular del Distrito Federal, que con una deuda externa impagable no le permite contar con los recursos suficientes para atender las necesidades de la población.

La ingeniería civil trabaja siempre con el objetivo de realizar obras que sean funcionales, seguras y económicas. Cuando los recursos son escasos y las necesidades grandes, busca hacer más eficientes las obras que construye. Estos principios rigen la obra del Acueducto Perimetral (Acuaférico) de la Ciudad de México. En ella se delimitó el problema y posteriormente se plantearon distintas alternativas que terminaron por definir el proyecto, los estudios preliminares generaron la localización de la obra, posteriormente se realizaron los estudios geológicos y la exploración del lugar para conocer las características del suelo donde se construiría.

Este trabajo tiene como objetivo determinar cómo influyen los estudios geotécnicos al nivel de recomendaciones en el proyecto y los procedimientos constructivos a emplear en el Acueducto Perimetral de la Ciudad de México, tercera etapa, tramo Ajusco - San Francisco Tlanepantla.

La obra del Acueducto Perimetral tiene dos ramas, la norte y la sur, esta última consta de cuatro etapas, las dos primeras están en funcionamiento actualmente, la tercera está en proceso de construcción y la cuarta está en proyecto.

La tercera etapa incluye tres derivaciones, 3-A, 3, y 4, las tres unidas por el túnel No 5. Las condiciones geotécnicas y los procedimientos constructivos, no han sido los mismos en las distintas etapas, en cada una se hicieron las modificaciones adecuadas a los recursos y las condiciones del terreno, en particular la excavación con la máquina tunelera, por primera vez utilizada en México, generaba metro a metro de excavación nuevos problemas, que pedían tomar decisiones rápidas y bien fundamentadas para solucionarlos.

Este trabajo se divide en cinco capítulos, en los que se desarrollarán los aspectos que nos permitan cumplir con el objetivo trazado. En el primer capítulo citaremos los antecedentes del Acueducto Perimetral, las características del Valle de México, el problema de abasto de agua potable, las obras de

abastecimiento, la ubicación del Acuífero en los planes de desarrollo del país y en el plan maestro de agua potable y drenaje de la Ciudad de México

En el segundo capítulo definiremos el proyecto del Acueducto Perimetral, sus características técnicas, criterios de diseño, beneficios, la ubicación particular de la tercera etapa y al túnel como estructura de conducción. A partir de tercer capítulo sólo nos ocuparemos de la tercera etapa, tramo Ajusco - San Francisco Tlanepantla, por lo que cualquier aspecto únicamente estará relacionado con este tramo de la obra.

El tercer capítulo trata de los aspectos geotécnicos de la tercera etapa, la geología, estratigrafía, estudios geofísicos, exploración, pruebas de laboratorio y los métodos de análisis utilizados para determinar el tipo de soporte del túnel de conducción.

El cuarto capítulo trata los métodos de excavación del túnel, su instrumentación, el análisis de presiones y la excavación de las obras complementarias.

El quinto capítulo trata del proceso constructivo definitivo utilizado, la organización de la obra, los materiales, equipos y la mano de obra, así como los problemas planteados durante la ejecución de la misma.

El trabajo está respaldado con gráficos, fotografías, planos, y bibliografía que aparece al final



## CAPÍTULO 1

### ANTECEDENTES

## CAPÍTULO 1.- ANTECEDENTES

El objetivo de este capítulo es dar a conocer históricamente el abastecimiento de agua potable a la Ciudad de México y el área metropolitana, en particular, las obras de conducción de agua de otras cuencas, y la problemática en torno al abastecimiento de agua. La Memoria de las obras del Sistema de Drenaje Profundo del Distrito Federal, Tomo I y II, es la fuente de consulta principal de este capítulo, ya que contiene información detallada de la historia del la Cuenca del Valle de México

### 1.1.- LA CIUDAD DE MÉXICO Y LA ZONA METROPOLITANA COMO UNA GRAN CIUDAD.

#### 1.1.1 - LA CIUDAD DE MÉXICO

Actualmente la Ciudad de México es considerada como una de las más grandes del Mundo por sus características, destacando principalmente la demográfica, aunada a su gran mancha urbana, y como tal, presenta graves problemas derivados de la gran concentración de personas, de industrias que contaminan el ambiente en su operación, y la deficiencia en el abastecimiento de agua apta para el consumo humano, hecho que como veremos más adelante inicia con su fundación y ubicación geográfica, sin dejar de lado la responsabilidad de los gobiernos que a través de los años no han sabido dar solución a los problemas derivados de su crecimiento.

Partimos del origen y la problemática que enfrenta la ciudad en cuanto a la dotación de servicios básicos como lo es el abastecimiento de agua potable, porque obras civiles como el Acuaférico se conciben como solución total o parcial a estas necesidades.

La Ciudad de México y los orígenes de su escalada demográfica inician a principios de este siglo, teniendo como detonante a la red ferroviaria, la política económica centralista que alienta el desarrollo de la incipiente industria nacional, la gran masa de población rural que busca refugio del incendio revolucionario y la falta de alimentos, tierra y empleo para sobrevivir. Más tarde se repite el fenómeno al trazar la red carretera con el mismo criterio centralista, al iniciar la industrialización del país, la ciudad se convierte en embudo nacional donde además de abundar la mano de obra barata, se libera de impuestos, se fraccionan terrenos sin agua y sin drenaje y se crean factores de perturbación económica y urbana. Fuentes industriales se establecen en Tlalnepantla, Naucalpan y posteriormente en los demás Municipios conurbados, ocupando a miles de obreros que tienen que trasladarse diariamente desde barrios del D.F. en donde residen, hasta los sitios de trabajo, generando una crisis de congestionamiento de los insuficientes medios de transporte y vías de comunicación.

El comercio estaba concentrado en la Ciudad de México, al igual que gran parte de la industria ligera desde el siglo pasado. Así creció el D.F., alimentado por corrientes urbanas procedentes de regiones agrícolas, castigadas, explotadas y despojadas por caciques latifundistas, que terminaron por desencadenar la revolución de 1910. Actualmente esta afluencia continúa y es que las causas persisten (despojo, explotación y miseria que sufren los campesinos en manos de caciques y autoridades impuestas que aun existen en nuestros días en Guerrero, Chiapas y Oaxaca, por ejemplo)

Son fenómenos económicos, políticos y sociales, los que generan la gran concentración de la población en la Ciudad de México que termina por desbordarse y ocupa la mayoría de las áreas del propio D.F. y, salvando los propios límites políticos de la entidad inunda los municipios inmediatos de los estados vecinos, trasladando el problema a toda la cuenca del Valle de México, proceso que conduce a lo que se denomina conurbación, y que se traduce en que en el área metropolitana de este valle habite el 14% de la población total del país, concentre el 35% de la actividad industrial y el 70% de los servicios de todo el territorio nacional.

## 1.12 - LA ZONA METROPOLITANA

### 1.12.1 - DEFINICIÓN DE ZONA METROPOLITANA.

El Distrito Federal colinda al Norte, al Este y al Oeste con el Estado de México, al sur con el estado de Morelos, pero es el Estado de México con el que se ha dado el fenómeno de conurbación total, de tal modo que la mancha urbana es una sola y no se distingue donde inicia una entidad y donde termina.

Área urbana o área metropolitana es la ciudad propiamente dicha, definida desde todos los puntos de vista (geográfico, social, económico, etc.) excepto política o administrativamente.

En otras palabras: Área urbana o Área metropolitana, es la superficie habitada o urbanizada con uso de suelo de naturaleza urbana (no agrícola) y que partiendo de un núcleo central, presenta continuidad física. Esta envolvente urbana, salvo excepciones, no coincide con los límites políticos o administrativos de la ciudad.

Grandes municipios conurbados actualmente sirven como dormitorios de la población que diariamente se transporta al D.F. a trabajar y sólo regresan por las tardes o fines de semana a dormir o descansar, ya que en el lugar donde viven las fuentes de trabajo no existen o son escasas, fenómeno que se origina por la falta de un plan de desarrollo regional que acabe con el centralismo de las megaciudades (Guadalajara, Monterrey).

El área metropolitana de la Ciudad de México, constituye un ente físico, socioeconómico con problemas comunes que deben ser estudiados y resueltos con un mismo criterio, pero en base al respeto de la soberanía de cada entidad y al fortalecimiento de las administraciones locales, en cuyo territorio se manifiesta el proceso.

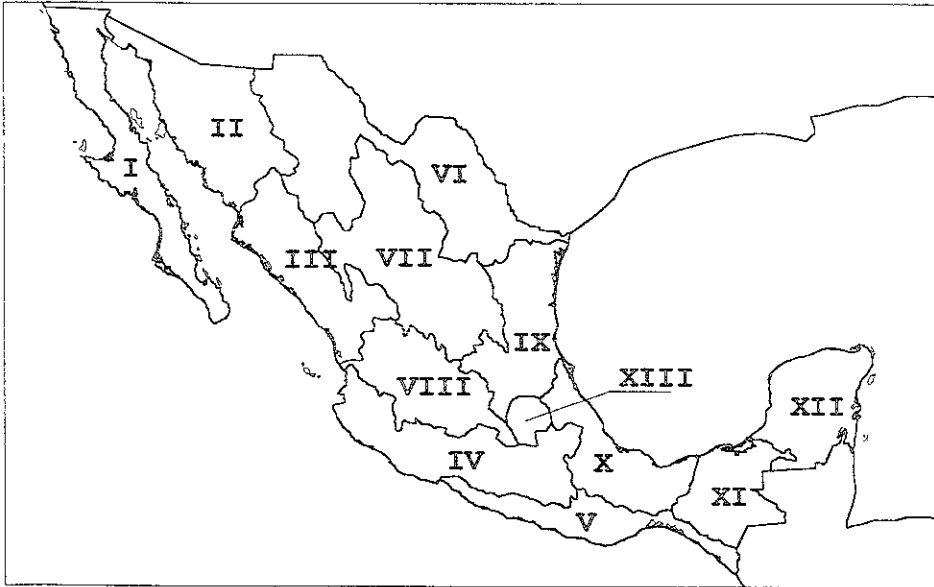
### 1.13.- DESCRIPCIÓN FÍSICA DE LA UBICACIÓN DE LA CIUDAD DE MÉXICO Y LA ZONA METROPOLITANA.

Físicamente la Ciudad de México y la zona metropolitana, se ubican en la cuenca del Valle de México que es cerrada, tiene una superficie aproximada de 9,000 km<sup>2</sup>. Su longitud mayor, orientada de noroeste a suroeste, mide aproximadamente 110 Km. y su longitud menor, en la dirección sureste a noroeste, mide 80 Km. aproximadamente.

La cuenca está limitada al norte por las cuencas del río Tula y de la laguna de Meztitlán, al este por el río Teocolutla, al oeste por el río Lerma, al sureste por la de los ríos Atoyac y Mixteco y al sur por el río Amacuzac. En el interior de la cuenca se ubican parcialmente los estados de México (48.08 % del área total de la cuenca), Hidalgo (26.46 %), Tlaxcala (8.75 %), y Puebla (1.04 %), así como el Distrito Federal (15.67%).

Las altitudes mínimas se encuentran hacia el noroeste de la cuenca (2,000 m.s.n.m), y la máxima, (4,000 m.s.n.m) se localiza en la cima del Ajusco. Las características climatológicas de la región corresponden a una zona templada subhúmeda cuya temperatura media anual varía entre 12° y 15 °C.

La precipitación media anual es de 900 mm y se presenta durante un período lluvioso definido de mayo a octubre. El Distrito Federal tiene una extensión de 1,504.5 km<sup>2</sup> (0.1 % del territorio nacional) y un área urbana de 667.8 km<sup>2</sup>.



Regionalización para el Manejo del Agua, la XIII es la Cuenca del Valle de México  
Fuente: Comisión Nacional del Agua. 1996

#### 114 - ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA CIUDAD DE MÉXICO.

En 1824, la Constitución Mexicana creó el Distrito Federal como asiento de los poderes de la unión, segregando su territorio del estado de México. Ese territorio se establece como un área circular con centro en la plaza mayor y un radio de dos leguas. Tanto en lo político como en lo económico, su gobierno queda bajo su jurisdicción del Gobierno Nacional.

En 1898 se establecen los límites actuales, incorporando al Distrito Federal territorio del Estado de México. En 1917, como resultado de la corriente promotora del Municipio libre, se fijan las bases de la organización política, dividiendo al territorio del Distrito Federal en municipalidades a cargo de ayuntamiento de elección. Sin embargo, el gobernador es nombrado por el presidente de la República.

La creación del Departamento del Distrito Federal durante la presidencia de Alvaro Obregón, concede al presidente de la República la responsabilidad del Gobierno del Distrito Federal, función que delega en el Jefe del departamento. Este a su vez, se auxilia de los delegados políticos en las municipalidades para ejercer las funciones de Gobierno.

La ley orgánica de 1941 instituye una nueva división política en la que figura la Ciudad de México y doce delegaciones, finalmente, la ley Orgánica de 1971 confiere al Distrito federal su estructura administrativa actual y transforma a los que fuesen los doce antiguos cuarteles de la ciudad de México en cuatro nuevas delegaciones.

En 1930, con sus 1 049,000 habitantes, el Área metropolitana representaba el 6.38% de la población del país. Ocupa 86.6 km<sup>2</sup>, limitándose a la Ciudad de México, es decir a los doce cuarteles posteriormente denominados Delegaciones de Juárez, Hidalgo, Carranza y Cuauhtemoc.

En las décadas de 1940 y 1950 se registra el mayor crecimiento, al alcanzarse una tasa sin precedentes del 50%. Se realiza entonces una etapa de desconcentración de población hacia el sur de la capital. En 1950, la población se confinaba aún en el Distrito federal con casi tres millones de habitantes y una superficie de 240.0 km<sup>2</sup>, habiendo duplicado la superficie que ocupaba al inicio de la década. Representaba el 11.2% de la población del país.

Entre 1950 y 1960 se rebasan los límites del DF, y en 1960, 233,000 habitantes se ubican en la parte correspondiente al Estado de México. La superficie poblada alcanza 536.6 km<sup>2</sup> y una de las más bajas densidades, es decir, surgen muchos fraccionamientos que empiezan a poblarse: el incremento de la superficie poblada es proporcionalmente superior al crecimiento demográfico. La población del área urbana es de cinco millones y representa el 14.2% de la población del país. Entre 1960 y 1970, el crecimiento alcanzó una tasa de 5.6% correspondiendo a un 3.3% de crecimiento natural, un 2.2% de migración y un 0.2% de la población considerada como rural que se incorpora al área urbana, sin cambiar de ubicación.

La tasa de crecimiento de la zona correspondiente al Estado de México fue de 17.6%, distribuyéndose la población en los siguientes municipios metropolitanos, con sus tasas de crecimiento correspondientes al lapso 1960-1970:

MUNICIPIOS	HABITANTES	TASA DE CRECIMIENTO %
NETZAHUALCOYOTL	580,436	26.0
NAUCALPAN	382,184	16.5
TLALNEPANTLA	366,935	13.6
ECATEPEC	216,408	18.4
TULTITLAN	52,317	13.2
ZARAGOZA	44,322	18.8
CUAUTITLAN	41,156	7.4
HUIXQUILUCAN	33,527	7.8
LA PAZ	32,527	15.4
CHIMALHUACAN	19,946	5.7
COACALCO	13,197	13.1

Para 1970, en el DF quedaban por poblarse, sin incluir las zonas de veda, 246.46 km<sup>2</sup> que con una densidad de 150 hab/ha, permitirían una población adicional de 3 696,900 habitantes. Mientras el país triplicó su población entre los años 1930 a 1970, la ciudad de México la quintuplicó.

## 11.5.- DATOS ACTUALES DE LA POBLACIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA Y SU INTERRELACIÓN CON LA CIUDAD DE MÉXICO

### 11.5.1.- DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN DEL ESTADO DE MÉXICO.

Actualmente en la zona metropolitana de la Ciudad de México, viven 18.5 millones de habitantes. De ellos residen en el DF 8.8 millones, más la población flotante que entra y sale diariamente de esta entidad. El Estado de México cuenta con una población del orden de los 12.3 millones de habitantes, 72 por ciento de los cuales se ubica en las zonas metropolitanas del valle de México y de Toluca, con densidades de población de hasta 400 habitantes por hectárea. El 22 por ciento restante se ubica en ciudades medias o rurales, con densidades de población relativamente bajas.

Sin duda, la circunstancia que más profundamente ha afectado el desarrollo urbano del Estado de México es el notable cambio de su población, experimentado en pocos años como resultado de su ubicación inmediata en la ciudad de México el principal polo de atracción económica y poblacional del país desde su fundación en 1500 por los tenochcas.

Dos hechos han incidido fuertemente en este aspecto. Uno es el crecimiento demográfico, que ha generado una tasa de crecimiento poblacional en la entidad superior a la media nacional (27 % contra 2.3 %) y crecimientos promedio anuales del orden de los 460 mil habitantes, de los cuales 280 mil corresponden a los 18 municipios conurbados de la zona metropolitana del valle Cuautitlán-Texcoco. El otro acontecimiento está dado por los asentamientos irregulares que, según el cálculo, suman alrededor de 675 mil predios.

Las respuestas actuales del gobierno del Estado de México a este problema de desorden demográfico, se ha canalizado mediante tres directrices fundamentales:

- La reorientación de las corrientes migratorias hacia nuevos polos de desarrollo;
- El control del crecimiento urbano esperado en las zonas críticas, y
- El ordenamiento hacia el interior de los asentamientos humanos actuales.

## 1.2.- EL PROBLEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE MÉXICO

Al establecerse el hombre en sitios que quizá no fueron los mejores para su desenvolvimiento, surge la necesidad de conducir el agua a lugares apartados, pero tener agua donde se necesita, justifica los trabajos del hombre para captarla y conducirla, ya sea diseñando obras o ideando procedimientos que permitan conseguir el objetivo

La reunión de las diversas obras que tienen por objeto suministrar agua a la población en cantidad suficiente, calidad adecuada, presión necesaria y en forma continua, constituyen un sistema de abastecimiento.

En México el 74% de los habitantes se concentran a altitudes mayores a 500 m; en contraste, el 85% de la disponibilidad de agua se localiza debajo de esta cota. Los recursos humanos se han polarizado en la zona central del país, donde los recursos naturales son relativamente escasos, mientras que en otras regiones se registra el fenómeno inverso.

La disponibilidad mínima del recurso agua ocurre en las regiones centro, norte del país y en la península de Baja California, clasificadas como zonas desérticas, áridas y semiáridas y que constituyen el 56% del área del país (1.1 millones de km<sup>2</sup>), superficie equivalente a la de España y Francia juntas.

El caudal total suministrado a nivel nacional se estima en 170 m<sup>3</sup>/seg; la mayor parte no está medido y de este gasto, la zona metropolitana de la Ciudad de México recibe 63 m<sup>3</sup>/seg, Guadalajara 11 m<sup>3</sup>/seg y Monterrey 9,5 m<sup>3</sup>/seg

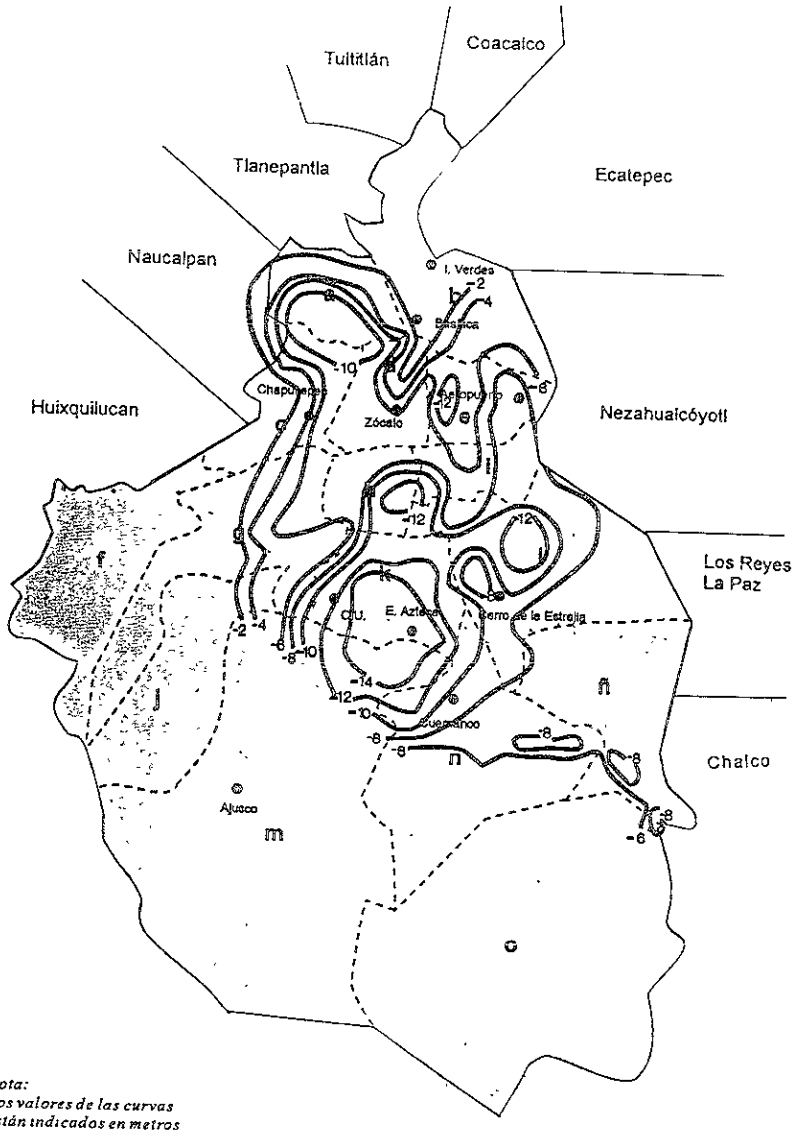
### 1.2.1 - EL ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE Y SU RELACIÓN CON LA SALUD PÚBLICA.

Históricamente, a los servicios de agua potable y alcantarillado se les ha inscrito en el campo de la salud pública, ya que el agua es a la vez fuente de vida, pero también vehículo para la transmisión de gérmenes patógenos, causantes de enfermedades tales como el cólera, la tifoidea, la disentería y la parasitosis intestinal. Debemos señalar que aunque los servicios sanitarios tienen un papel importante, otros factores influyen como son la inequitativa distribución del ingreso por regiones o sectores de la población, los deficientes niveles de nutrición y los bajos índices de educación.

### 1.2.2.- NECESIDADES DE INVERSIÓN E INFRAESTRUCTURA

La población sin servicios de alcantarillado y abastecimiento de agua potable, es actualmente de 44.6 y 26.1 millones de habitantes respectivamente, para dar servicio a tres millones de habitantes cada año, ante un crecimiento de la población de dos millones anuales, se requieren inversiones de 2.8 billones de pesos por año como se muestra en el cuadro 1.5. De la inversión total requerida en el periodo 1990-1994, las grandes zonas urbanas requieren 60%, las demás zonas urbanas 33% y el medio rural 7%. Con esta inversión podría enfrentarse el reto de brindar mayor justicia social a esta población, en particular en las zonas indígenas.

Pero ante la vulnerabilidad de la economía mexicana, totalmente dependiente de los vaivenes financieros transnacionales, la inversión se ve mermada en la mayoría de los rubros prioritarios como son la educación, la salud, el empleo y la obra pública para infraestructura como el abastecimiento de agua potable y alcantarillado, con lo que los rezagos en el nivel de vida del grueso de la población, se antojan insalvables



ABATIMIENTO DE LOS NIVELES DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL PERIÓDO 1986-1994 REGISTRADOS POR LA D.G.C.O.H.



### 1.2.3 - POBLACIÓN Y DEMANDA ACTUAL DE AGUA EN EL ESTADO DE MÉXICO Y EL ÁREA METROPOLITANA

Si se considera una dotación media deseable de 283 litros por habitante y por día, se requieren 39.48 m<sup>3</sup>/seg. Se cuenta con un caudal de 38 65 m<sup>3</sup>/seg. Por lo que el déficit es de 0.83 m<sup>3</sup>/seg. Cabe mencionar que 98.78 por ciento del caudal suministrado, se desinfecta mediante cloración.

La oferta de agua potable, está conformada por 10.5 m<sup>3</sup>/seg. que aporta la federación, 3.53 m<sup>3</sup>/seg. el estado y 24.62 m<sup>3</sup>/seg. los municipios y los particulares.

Para el año 2000, se estima que la población será de 13.3 millones de habitantes, que demandarán alrededor de 41.6 m<sup>3</sup>/seg., lo que implica la necesidad de incrementar la oferta, como mínimo en 0.52 m<sup>3</sup>/seg. anualmente para conservar el nivel de servicio, y en m<sup>3</sup>/seg. para abatir el déficit.

El área metropolitana del Valle de México, con una población de 7.8 millones de habitantes, demanda 26.5 m<sup>3</sup>/seg., y únicamente se dispone de 26.3 m<sup>3</sup>/seg., por lo que el déficit es de 0.2 m<sup>3</sup>/seg., lo que representa en cuanto a caudal una cobertura de 99 por ciento. Sin embargo, en cuanto a infraestructura la cobertura es de 91 por ciento.

En la zona metropolitana del Valle de México, las entregas de agua en bloque por parte de la federación que más caudal aporta se tienen en el norte y el poniente. Las mayores carencias del caudal se presentan en el oriente. Este problema se agudiza ya que en esta zona es donde se han registrado los asentamientos irregulares, producto de la inmigración que recibe el área metropolitana.

PRONÓSTICO DE DISPOSICIÓN - NECESIDAD PARA EL DISTRITO FEDERAL 1994-2000  
Y LA ESTRATEGIA PROPUESTA POR LA D.G.C.O.H

AÑO	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
*Población (miles)	8,812.20	8,962.80	9,119.40	9,277.20	9,440.60	9,606	9,776.60
NECESIDAD							
	Condiciones actuales m <sup>3</sup> /s	Condiciones futuras m <sup>3</sup> /s					
	39	39,4	40,4	41	41,8	42,6	43,3
PUEDA (Programa de Uso Eficiente Del Agua)	-1,4	-2	-2,5	-3,7	-4,2	-4,9	
Reduccion por el uso de agua residual tratada D F	-3,2	-3,2	-4,2	-4,4	-4,6	-4,7	-4,9
Necesidad Total	34,4	34,2	33,7	33,5	33,5	33,7	33,5

\* Dotacion promedio considerando todos los usos 380 L/hab /dia (incluye 10% de fugas en la red, 17% por el uso industrial y 16% en el sector comercio y servicios)

## DISPONIBILIDAD

Acuífero Valle de México	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7
Acuífero Valle de Lerma	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9
Manantiales, río Magdalena y sus presas	1,1	1,1	1,1	1,1	1,8	1,8	1,8
Sistema Cutzamala:							
Etapas 1 y 2	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Etapas 3	8	8	8	8	9	9	9
Etapas 4					5	5	5
Total Cutzamala	15,6	15,6	15,6	15,6	21,6	21,6	21,6
Total disponible	43,3	43,3	43,3	43,3	50	50	50
Diferencia	8,9	9,1	9,6	9,8	16,5	16,3	16,5
Disponibilidad - Necesidad							

Reducción propuesta para el acuífero del Valle de México	12,8	12,6	12,1	11,9	5,2	5,4	5,2
Total disposición según reducción	34,4	34,2	33,7	33,5	33,5	33,7	33,5
Diferencia Disponibilidad - Necesidad según reducción	0	0	0	0	0	0	0

\* Proyeccion basada en el XI Censo nacional de poblacion y vivienda 1990 (INEGI)

PRONÓSTICO DE DISPOSICIÓN - NECESIDAD PARA LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MEXICO 1994-2000 Y LA ESTRATEGIA PROPUESTA POR LA D.G.C.O.H

	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
*Población (miles)	17,263	17,886	18,530	19,197	19,888	20,604	21,345
<b>NECESIDAD</b>							
	Condiciones actuales m3/s	Condiciones futuras m3/s					
	65,4	67,6	69,8	72	74,4	77	79,4
PUEDA Edo Mex y D.F. (Programa de Uso Eficiente Del Agua)	-2,2	-3,5	-4,7	-5,8	-6,9	-7,9	-9,1
Reduccion por el uso de agua residual tratada Edo Mex y D.F	-4,6	-5,5	-7,2	-8,4	-9,6	-10,7	-12,9
<b>Necesidad Total</b>	<b>58,6</b>	<b>58,6</b>	<b>57,9</b>	<b>57,8</b>	<b>57,9</b>	<b>58,4</b>	<b>57,4</b>

## DISPONIBILIDAD

Acuífero Valle de México	31,8	31,6	31,1	30,9	24,2	24,4	24,2
Acuífero Valle de Lerma	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9
Manantiales, río Magdalena y sus presas	1,6	1,6	1,6	1,6	2,3	2,3	2,3
<b>Sistema Cutzamala</b>							
Etapas 1 y 2	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8
Etapas 3	8	8	8	8	9	9	9
Etapas 4					5	5	5
<b>Total Cutzamala</b>	<b>18,8</b>	<b>18,8</b>	<b>18,8</b>	<b>18,8</b>	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>24</b>
<b>Total disponible</b>	<b>58,1</b>	<b>57,9</b>	<b>57,4</b>	<b>57,2</b>	<b>56,4</b>	<b>56,6</b>	<b>56,4</b>
Diferencia		-0,7	-0,5			-1,5	-1
<b>Disponibilidad - Necesidad</b>							

\* Proyección basada en el XI censo nacional de población y vivienda 1990 (INEGI)

\*\*Valores considerados según la reducción propuesta para el D.F

Nota Para el año 2000 se espera que sean tratadas al 100% las aguas residuales generadas en el Valle de México

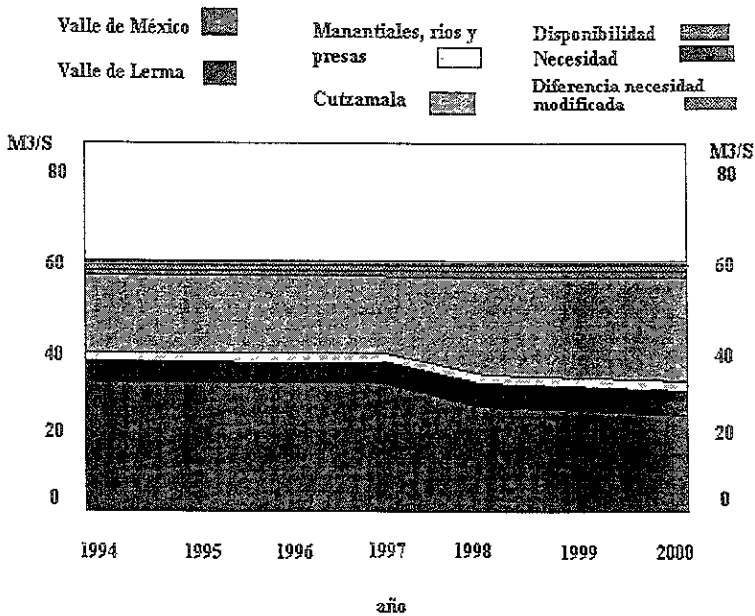
Fuente Plan Maestro de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento del Edo de México

1.2.4.- EXTRAPOLACIÓN DE LAS CONDICIONES ACTUALES

Si se calcula la población con base en la tasa de crecimiento de la zona metropolitana (3.6%), en el año 2000 existirán 21 millones de habitantes

A partir de las dotaciones actuales y para alcanzar una cobertura del 99%, los requerimientos de agua serán de 58 l m<sup>3</sup>/seg., lo que representa un incremento de 12.5 m<sup>3</sup>/seg., (ver figura) la disponibilidad será, en términos generales, ligeramente superior a la necesidad.

PRONOSTICO DISPOSICIÓN-NECESIDAD PARA EL D.F. 1994 -2000  
ESTRATEGIA PROPUESTA



Sin embargo, de persistir las condiciones actuales en el abastecimiento, distribución y comercialización del servicio, en el futuro mediano se agravaran los efectos de la explotación del acuífero; el hundimiento de gran parte de la ciudad, del deterioro en la calidad del agua extraída y la desigualdad en la distribución de caudales. También, se incrementarán los costos de operación y mantenimiento y aumentará el subsidio del servicio, así como el desperdicio del recurso por parte de los usuarios, lo que disminuirá la cobertura y calidad del mismo.

La tendencia de agua se ve disminuida gracias a los resultados obtenidos del Programa de Uso Eficiente del Agua y se prevé menor consumo de agua con la continuidad del programa.

Si bien es cierto que la ciudad de México cuenta con una dotación promedio por habitante de 290 litros diarios de agua potable de buena calidad, lo que representa un servicio con los más altos estándares mundiales, persiste la siguiente problemática:

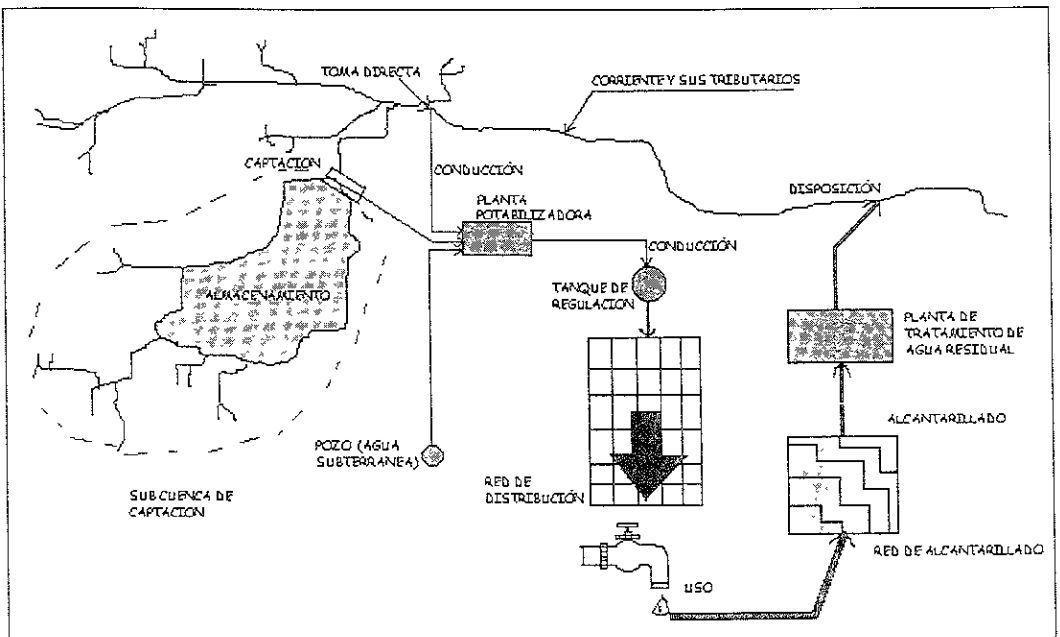
- La explotación de la fuente más importante de abastecimiento, el acuífero del Valle de México, sigue provocando los hundimientos del terreno que afecta el funcionamiento de las redes.
- Debido al crecimiento de la zona urbana, el sistema hidráulico se ha tornado cada vez más extenso y complejo, además, la distribución de los caudales no es uniforme y persiste una actitud de derroche por parte de los usuarios.
- El proceso del servicio permanece subsidiado y prevalece una baja eficiencia en la medición, facturación y cobro, lo cual propicia el desperdicio del recurso e impide la autosuficiencia en el suministro
- El D.F. ha presentado un crecimiento continuo de su población que ha implicado una demanda de servicios creciente. Para 1997, se estimaban 8,573,700 habitantes y se estima que en el año 2010, su población habrá ascendido a 9,206,100 personas.
- El suministro de agua potable al D.F. es complicado y costoso, debido a la heterogénea distribución de sus pobladores a lo largo del territorio. La disponibilidad, así como los problemas propios de la entrega, ha originado un rezago de la oferta con relación a la demanda. Aunado a esto la sobre explotación de los mantos acuíferos ha ocasionado hundimientos del terreno que afectan a edificaciones, sistemas de drenaje, vialidades y vías de comunicación. Además da lugar a la disminución de la calidad del agua en algunas zonas del acuífero.

### 1.3.- OBRAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE MÉXICO.

#### 1.3.1- DESCRIPCIÓN GENERAL DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE

Agua potable, es la que reúne las características para beber, no causan daño ni molestia al ser ingerida, es agradable al paladar y realizan sin daño ni peligro las funciones fisiológicas del organismo humano.

La figura siguiente muestra la configuración de un sistema hidráulico urbano, que tiene por objeto evitar la propagación de enfermedades infecciosas mediante el adecuado tratamiento y disposición de los desechos humanos y con la potabilización de los suministros de agua. También podemos ver que las partes de que consta un sistema hidráulico urbano son: fuente, captación, conducción, tratamiento de potabilización, conducción, regulación, distribución, recolección, conducción, tratamiento del agua residual y disposición.



CONFIGURACIÓN GENERAL DE UN SISTEMA HIDRÁULICO URBANO (REFERENCIA No. 1)

El sistema de abastecimiento de agua potable, es un subsistema del sistema hidráulico urbano y está integrado por los siguientes elementos fuente, captación, conducción, tratamiento de potabilización, regulación y distribución

### 1.3.1.1.- FUENTES DE ABASTECIMIENTO.

Gracias al ciclo hidrológico, se encuentran disponibles en la naturaleza las siguientes fuentes de abastecimiento

- Agua superficial.
- Agua subterránea.
- Agua atmosférica y
- Agua salada.

### 1.3.1.2.- CAPTACIÓN.

Las obras de captación son las obras civiles y equipo electromecánico que se utiliza para reunir adecuadamente aguas aprovechables. Dichas obras varían de acuerdo a la naturaleza de la fuente de abastecimiento. El diseño de la obra de captación debe ser tal que se prevean las posibilidades de evitar contaminación del agua.

### 1.3.1.3 - CONDUCCIÓN.

Se denomina línea de conducción a la parte del sistema constituida por el conjunto de conductos, obras de arte y accesorios, destinados a transportar el agua procedente de la fuente de abastecimiento, desde el lugar de captación hasta un punto que puede ser un tanque de regulación, a un cárcamo para segunda conducción o a una planta potabilizadora.

En México, son clásicos tres ejemplos de obras colosales de conducción recientes: el acueducto para la conducción de las aguas del sistema Lerma (60 km.), el acueducto Linares - Monterrey y las obras del sistema Cutzamala, cuyo caudal es conducido hasta el área metropolitana de la ciudad de México, cuenta con 6 plantas de bombeo, dos acueductos paralelos de 100 km. cada uno, dos túneles de 19 km. y un canal cubierto de 7.5 km. de longitud. La etapa del acueducto Linares Monterrey que empezó a funcionar en 1984, está compuesta por una línea de conducción de tubería de 2.10 m de diámetro y 135 Km de longitud, mas una conexión a la presa de la Boca de 5 Km, 113 Km de esta conducción es de tubería de concreto, incluida una serie de estructuras especiales de cruce con los ríos arroyos y vías de comunicación, se instalaron 25 Km de tubería de acero

Un problema de abastecimiento de agua potable se puede resolver, conociendo los caudales disponibles y aprovechables de un manantial o de un río, aguas subterráneas o fuentes distantes, quedando por resolverse el tratamiento de aguas, si es necesario. También, es conveniente estudiar el sitio en donde aflora, para diseñar su forma de captación.

El agua se transporta desde la fuente a la comunidad en conductos abiertos o cerrados, suministrándose la energía necesaria por gravedad o por bombeo. En el caso del acueducto periférico, esta conducción se realiza por gravedad en un túnel que funciona como canal con un espejo de agua.

Las obras destinadas al transporte de agua potable reciben el nombre de " Línea de Conducción"

### 1.3.1.4 - - TRATAMIENTO

El término tratamiento, se refiere a todos los procesos capaces de alterar favorablemente las condiciones del agua, la idea del tratamiento es coagular las partículas suspendidas que causan turbiedad, sabor, olor y color para que puedan ser removidas por sedimentación y filtración

### 1.3.1.5.- REGULACIÓN.

La regulación tiene por objeto, transformar el régimen de alimentación de agua. Esto se logra mediante tanques de almacenamiento y regulación.

### 1.3.1.5- DISTRIBUCIÓN

Para ser adecuado, un sistema de distribución debe proporcionar un amplio suministro de agua potable con la presión adecuada para el uso doméstico, comercial e industrial y para protección contra incendios. A veces se requieren bombeos auxiliares para poder servir a las zonas más elevadas o a los consumidores más remotos. El sistema de distribución incluye bombas, tuberías, válvulas de regulación, conexiones domiciliarias, líneas principales y medidores.

### 1.3.2.- PROYECTO DE CONDUCCIÓN DE AGUA POTABLE.

Factores por considerar.

- Topografía
- Afectaciones
- Clase de terreno por excavar (geotecnia).
- Cruzamientos
- Calidad del agua por conducir
- Gasto por conducir
- Costo de suministro e instalación de tuberías.
- Normas de calidad y comportamiento de tuberías.
- Aspectos socio-políticos

De acuerdo con la posición relativa de la fuente y del centro de distribución, la conducción puede hacerse por medio de la acción de la gravedad o por medio de bombas, es decir por medio de una conducción libre, trabajando el tubo como canal, o a presión.

### 1.3.3.- METODOLOGÍA DE DISEÑO DE UNA LÍNEA DE CONDUCCIÓN.

Paso 1: Trazo planimétrico.

Paso 2: Trazo altimétrico.

Paso 3: Cálculo hidráulico.

Una vez estudiado el trazo planimétrico y altimétrico de la conducción se procede a calcular su diámetro. Si está alimentada por gravedad, el diámetro está completamente definido. Si está alimentada por bomba, el problema tiene múltiples soluciones y la mejor se decide por condiciones económicas. En el caso de una línea de conducción por gravedad, el diámetro económico es aquel con el que se consuman por pérdidas la mayor carga disponible que sea posible, en un perfil particular

Paso 4: Localización de piezas especiales y dispositivos.



### 1.3.4.- ANTECEDENTES DEL PROBLEMA DE ABASTO DE AGUA Y LAS OBRAS DE ABASTECIMIENTO DE LA CIUDAD DE MÉXICO.

#### 1.3.4.1.- ÉPOCA PRECOLOMBINA.

Las grandes civilizaciones se han situado y desarrollado cerca de las márgenes de los ríos, lagunas, siempre cerca de donde había suficiente agua, para cubrir las necesidades del hombre

La gran ciudad de Tenochtitlán, cuyos primeros pobladores, provenientes de Aztlán, decidieron asentarse en un valle ubicado a más de 2240 m.s.n.m., donde se encontraba un gran lago de aguas salobres. De esta decisión, desde entonces, se derivaron grandes y diversos problemas de abastecimiento de agua para consumo humano y al mismo tiempo para desalojar las aguas usadas y pluviales.

Al inicio de la fundación de la gran ciudad de Tenochtitlán, el abastecimiento de agua lo hicieron mediante la construcción de acueductos que conducían las aguas provenientes de los manantiales de Chapultepec en 1465, y de Coyoacán en 1495. A medida que requerían de más agua, fueron incorporando los manantiales de Santa Fe, Xochimilco y Nativitas

La construcción de la primera obra de abastecimiento de agua potable, consistió en un acueducto ideado por Chimalpopoca sin resultados satisfactorios. En el siglo XV de nuestra era hubo de todo: inundaciones, heladas, sequías y hambre, fue cuando Nezahualcóyotl proyectó y realizó un dique de 12 km por 20 m de ancho, para contrarrestar las inundaciones de las aguas salobres de Texcoco. Fue construido con piedra, arcilla y revestida con hilera de empalizada. Esta obra no solo fue remedio para las inundaciones, sino que también contribuyó a que el agua que rodeaba a Tenochtitlán se tornara menos salobre, con lo que beneficiaría a los cultivos

Moctezuma ordenó nuevamente a Nezahualcóyotl la construcción del acueducto de Chapultepec; pues el agua tan importante para beber, también lo era para irrigar las chinampas productoras del sustento. No se sabe cuándo comenzaron las obras del gran acueducto, pero en 1466 comenzó a funcionar

De otros acueductos prehispánicos se tiene noticias, algunos de ellos fueron: el que iba de San Agustín de la Cueva a Huitzilopochco, el que partía de Azcapotzalco hacia Tlateloco y el que iba de Huitzilopochco a Tenochtitlán. Este llevó agua a la ciudad de una fuente llamada Acuecuéxatl que caía en los términos de Coyohuacan y Huitzilopochco. Los tenochcas tuvieron que resolver de manera inaplazable las dificultades inherentes a su situación lacustre: necesidad de agua potable, inundaciones, expansión demográfica, urbanización y comunicaciones. Las obras que se realizaron son dignas de admiración por la eficiencia que tuvieron a pesar de no contar con el instrumental y medios de acarreo apropiados.

En la época de la Colonia, la época independiente, la época de la Revolución y hasta nuestros días el problema del abastecimiento de agua potable y el desalojo de aguas residuales se han mantenido constantes y la búsqueda de soluciones y nuevas fuentes de abastecimiento no han parado, aunque el desvío de recursos, la mala aplicación y la mala administración también han sido unas constantes. Mas adelante hablaremos de las obras y recursos destinados a la solución de estos problemas en las distintas épocas.

Conforme la ciudad se extendió y su población aumentó, se requirió de mayores volúmenes de agua y llegó el momento en el que los manantiales existentes ya no fueron suficientes para abastecer a la población. A esta situación se inició la búsqueda de otras fuentes de abastecimiento.

### 1.3.4.2 - MÉXICO, CAPITAL DEL VIRREYNATO DE LA NUEVA ESPAÑA

La primera obra importante realizada en el valle para abastecimiento de agua durante la época colonial fue la reconstrucción del acueducto de Chapultepec.

En 1553, ante la escasez de agua en la parte norte de la ciudad, se ordenó la construcción del acueducto Azcapotzalco-Tlatelolco, que capta el agua de los manantiales de Xancopinca.

Entre 1575 y 1582 se construyó el acueducto Belén, que conducía agua de Chapultepec a lo largo de la calzada de San Pablo (actualmente avenida Chapultepec) y termina en el pueblo del mismo nombre, entregando parte de su caudal en la pila del Salto del Agua.

A principios del siglo XVII se edificó el acueducto de La Verónica, que corría por lo que hoy es la avenida Melchor Ocampo hasta la pila de la Tlaxpana en la Calzada México-Tacuba, para de ahí descender hasta la pila de la Mariscala, frente al actual Palacio de Bellas Artes.

A mediados del siglo XVIII se construyó el acueducto Guadalupe, que abasteció a la zona del Tepeyac, al norte de la capital.

Para aumentar el abastecimiento, a finales del siglo XVIII se captaron los manantiales del Desierto de los Leones, cuyas aguas se condujeron hasta entroncar con los acueductos de Chapultepec y La Verónica, aprovechando la capacidad disponible de estas obras.

### 1.3.4.3.- PRIMER SIGLO INDEPENDIENTE (1821-1910)

A principios del México independiente, la escasez de recursos no permitió la construcción de nuevas obras. Sin embargo, se mejoró la distribución del agua construyendo nuevas pilas. En 1847 se inició la perforación de pozos a cielo abierto; este método se populariza rápidamente por su economía. A finales del siglo XIX había ya más de mil pozos perforados en la ciudad de México.

Como la población aumentaba rápidamente y había que incrementar el abastecimiento de agua, en 1899 el Ayuntamiento de la ciudad de México encargó al ingeniero Manuel Marroquín y Rivera realizar un estudio de posibles fuentes de abastecimiento. En 1901 se presentó su Proyecto de Abastecimiento y Distribución de Aguas Potables para la Ciudad de México, donde proponía el empleo de los manantiales de Xochimilco.

Entre 1905 y 1908 se construyó el acueducto Xochimilco que consistía en captar 2,100 litros de agua por segundo de los manantiales La Noria, Nativitas, Santa Cruz y San Luis, por medio de dos bombas eléctricas instaladas en cada uno. Una vez captada, el agua se bombeaba por un acueducto de 26 km. De longitud hasta la planta de bombas de la Condesa, que contaba con cuatro bombas centrifugas de 850 litros cada una, elevándose desde ahí hasta los cuatro tanques de regulación y distribución del Molino del Rey, cuya capacidad se diseñó para 50,000 metros cúbicos cada uno.

Todavía en 1908, cuando el acueducto de Xochimilco inició su operación, llegaba a la Condesa agua de Chapultepec, no fue sino hasta 1912 cuando se suspendió la explotación de estos manantiales.

### 13.4.4 - OBRAS REALIZADAS EN TIEMPO DE LA REVOLUCIÓN MEXICANA

La Revolución Mexicana creó una conciencia sobre la propiedad nacional de los recursos naturales, así como de la necesidad de hacer una equitativa distribución de la riqueza pública y cuidar de su conservación.

La constitución de 1917, en su artículo 27 establece que la propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional corresponden originalmente a la nación. Este artículo estipula la regulación del aprovechamiento de los recursos hidráulicos mediante concesiones otorgadas por el ejecutivo federal y limita el alumbramiento de aguas del subsuelo cuando así lo exija el interés público. Se construyeron obras adicionales de captación, conducción y bombeo en el acueducto de Xochimilco, así como otros sistemas menores y pozos conectados directamente a la red.

En la década de los veinte, el ingeniero Roberto Gayol, al verificar el nivel de las compuertas de San Lázaro, punto de partida del Gran Canal, descubrió que la Ciudad de México se hundía. Ya no se debería extraer mas agua del acuífero; había que pensar en otras fuentes fuera del Valle de México. La idea de traer agua de la cuenca del Lerma, concebida desde fines del XIX, se convirtió en un proyecto ejecutivo en la década de los treinta y en 1941 se iniciaron las obras de este proyecto. Para conducir el agua captada, por medio de pozos de la cuenca del río Lerma, se construyó un acueducto y el túnel Atarasquillo-Dos Ríos de 15 km de largo que atraviesa la Sierra de las Cruces, la cual divide las cuencas del Lerma y del Valle de México.

Hacia 1950, la dotación de agua potable al D.F. era teóricamente aceptable; sin embargo, el crecimiento demográfico continuaba y el número de pozos dentro del valle de México seguía creciendo. Ya para este tiempo, la ciudad se hundía a un ritmo de 50 cm por año, lo cual ocasionó fracturas en la cimentaciones de los edificios, en las banquetas y en el sistema de desagüe.

Se creó en 1951 la Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México, esta comisión dependía de la entonces Secretaría de Recursos Hidráulicos.

El crecimiento demográfico en el área metropolitana rebasó todas las proyecciones posibles. De 1.6 millones de habitantes que tenía la Ciudad de México en 1930, había llegado a 8.5 en 1970. Adicionalmente a las obras ya mencionadas se construyó la segunda etapa de las obras de Lerma, así como el sistema Chiconautia y otros sistemas, todos ellos basados en la extracción de agua por medio de pozos.

A principio de 1972 el problema del abastecimiento de agua era crítico. El Area Metropolitana del Valle de México ya no se limitaba en el Distrito Federal; había que considerar a los municipios de Huixquilucan, Naucalpan, Tlalneantla, Atizapán, Cuautitlan-Izcalli, Tultitlán, Coacalco, Ecatepec, Ciudad Nezahualcóyotl, Los Reyes La Paz y Chimaluacan, pertenecientes al Estado de México, pero formando un todo conurbados con la ciudad de México

Las soluciones basadas en perforación de pozos locales para el Distrito Federal y para cada uno de estos municipios, no eran aceptables por los hundimientos que provocarían.

El problema rebasaba a las entidades federativas. Había que pensar en soluciones de tipo federal.

Ante esta situación, el gobierno federal constituyo, por decreto presidencial del 17 de agosto de 1972, la Comisión de Aguas del Valle de México, dependiente de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, que en

1976 pasó a formar parte de la Secretaría de agricultura y Recursos Hidráulicos. La nueva comisión absorbió a la comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México.

La Comisión de Aguas del Valle de México quedó definida como un organismo desconcentrado técnica y administrativamente. Mientras se desarrollaban los proyectos ejecutivos que permitieran conducir agua de otras cuencas vecinas al valle de México, se resolvió el problema de abastecimiento mediante un Plan de Acción Inmediata, aprovechando acuíferos en zonas alejadas al área urbana o donde el subsuelo basáltico soporte las extracciones sin provocar hundimientos de consideración.

Siguiendo los objetivos señalados en el Plan, se construyeron más de 200 pozos, 225 km de acueductos, y plantas potabilizadoras. El Plan de acción mediata estaba diseñado para traer agua de cuencas externas a la del valle de México. Sus objetivos son:

1. *Satisfacer la demanda del área Metropolitana del valle de México hasta el año 2000.*
2. *Reducir la sobreexplotación del acuífero del valle de México y la del acuífero del Alto Lerma tan pronto como el balance de oferta y demanda de agua en el área metropolitana lo permita.*
3. *Coadyuvar al crecimiento industrial de las zonas de Toluca e Ixtlahuaca.*

Para lograr los objetivos, con base en los estudios realizados por la comisión Hidrológica de la Cuenca del valle de México y en los de la comisión del Plan Nacional Hidráulico, se encontró que las cuencas más viables para abastecer al Área Metropolitana eran las de los ríos Cutzamala, Tecoluitla y Amacuzac.

Actualmente el sistema Cutzamala es una de las fuentes más importantes de abastecimiento de la Ciudad de México y el Área Metropolitana, es la que entrega el caudal que conduce el Acuaférico al oriente de la ciudad por el ramal sur y al estado de México por el norponiente de la ciudad por medio del Ramal Norte. Mas adelante trataremos en particular al Sistema Cutzamala.

A principios del siglo XX se inició la extracción de aguas subterráneas del acuífero de la cuenca del valle de México. Pero esto no fue suficiente, la demanda siempre superaba la oferta: por más pozos que se perforaban, siempre resultaban insuficientes, por lo que fue necesario recurrir a fuentes externas de la ciudad. En el año de 1951 se comenzó a explotar la cuenca del Valle Lerma, y con la adición de los nuevos caudales mejoró el suministro del servicio: había agua para más habitantes, pero se presentaron otros problemas colaterales: la extracción de agua de los acuíferos de los valles de México y de Lerma dieron muestra de un importante abatimiento en sus niveles piezométricos, e iniciaron hundimientos en la zona lacustre de la ciudad de México, por la consolidación del suelo, esto originó los hundimientos diferenciales que van de los 0.00 cm a los 30 cm anuales, afectando considerablemente a la infraestructura urbana.

Así, no era conveniente seguir extrayendo agua del acuífero, sin una estrategia adecuada, sino que debían buscarse fuentes de abastecimiento alternativo, mejorar la distribución, evitar los desperdicios y derroches del agua y crear una nueva cultura del agua. El Departamento del Distrito Federal creó el programa del uso eficiente del agua.

Sin embargo esto no fue suficiente: la población seguía creciendo anárquicamente con tasas muy altas, ni había nada que pudiera ordenar el crecimiento urbano y demográfico, ni tampoco agua e infraestructura suficiente para que todos los habitantes de la ciudad de México contaran con un adecuado servicio de agua potable. Debido a esta situación, las autoridades realizaron los estudios necesarios para importar agua para el consumo humano de una segunda fuente externa. De los análisis correspondientes se seleccionó la cuenca del río Cutzamala, que es la fuente de abastecimiento más reciente, y proveerá a la zona metropolitana de la ciudad de México, en su etapa final, con 24 m<sup>3</sup>/seg, agua elevada a 1,200 m y conducida en 127 km, de longitud para llegar a la ciudad.

### 1.3.5 - OBRAS DE ABASTECIMIENTO ACTUALES

Con el objeto de atender los requerimientos de agua potable a los 18.5 millones de habitantes de la zona metropolitana de la ciudad de México, incluyendo a 8.8 millones que residen en el Distrito Federal, más la población flotante que entra y sale diariamente de esta entidad, se suministra un caudal medio anual de 59 m<sup>3</sup>/seg., con lo cual se alcanza una cobertura mediante tomas domiciliarias del 98% en el D.F. y del 90% en los 17 municipios conurbados del Estado de México, abasteciéndose el resto de los habitantes a través de carros tanques y tanques portátiles.

#### 1.3.5.1.- ORIGEN DE LAS FUENTES ABASTecedorAS ACTUALES

La distribución promedio en el DF es de 35.4 m<sup>3</sup>/seg., de lo cuales el 69% proviene de fuentes subterráneas; esto es 55% del Valle de México y 14% del valle del río Lerma; el 31% restante corresponde a fuentes superficiales, básicamente de la cuenca del río Cutzamala.

El 67% del caudal suministrado es destinado al uso habitacional, el 17% a la industria y el 16% restante es empleado en comercios y servicios.

#### 1.3.5.2.-FUENTES EXTERNAS.

El sistema Lerma se ubica en el Estado de México, en el valle de Toluca, al poniente de la Ciudad de México, ocupa aproximadamente un área de 2,236 Km<sup>2</sup>. El agua es captada por 267 pozos profundos divididos en los 16 ramales que alimentan a cuatro acueductos que conducen el líquido hasta el inicio del túnel denominado Atarasquillo - Dos Ríos; el cual cruza la Sierra de las Cruces para introducir el agua al valle de México.

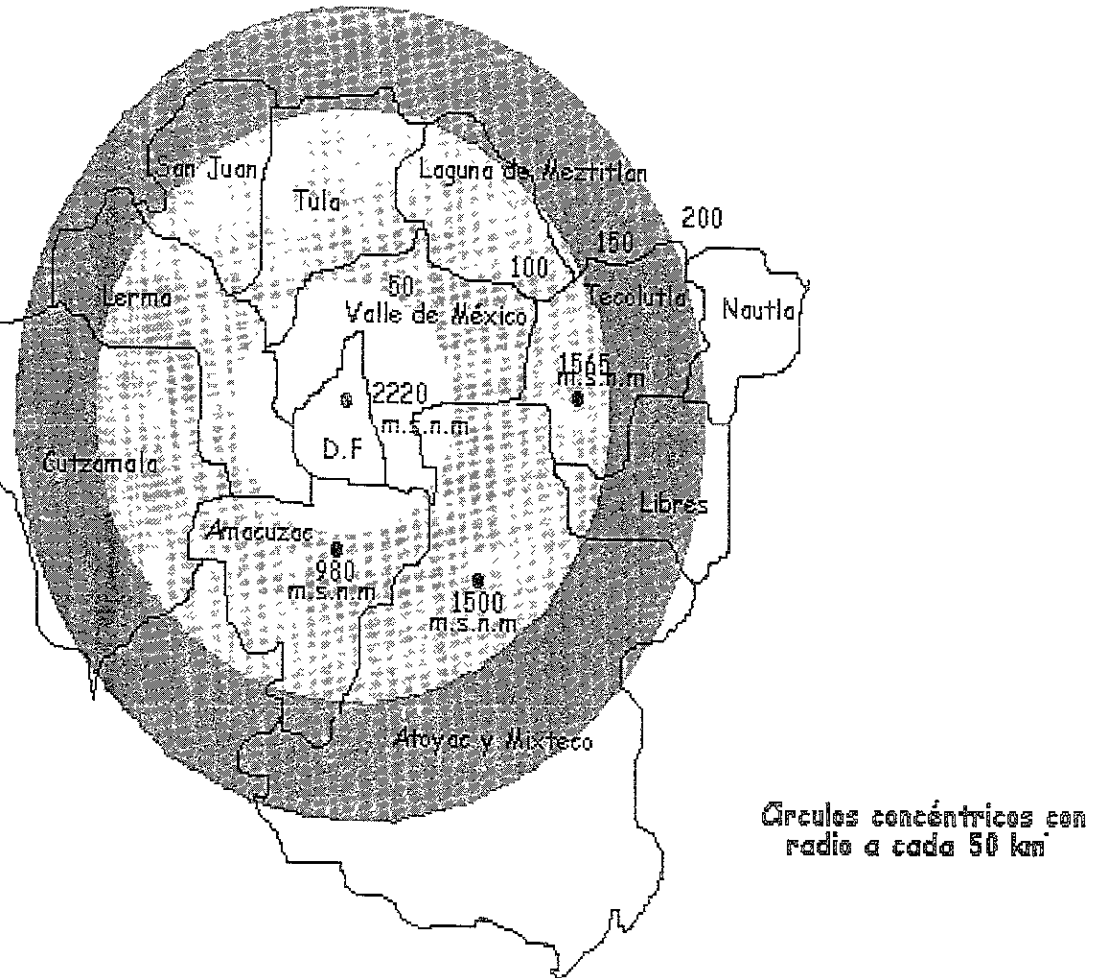
El sistema Cutzamala tiene como captaciones las presas de almacenamiento de Villa Victoria, Valle de Bravo y Colorines. Esta última es alimentada por un sistema de presas interconectadas que comprende a Tuxpan, El Bosque e Ixtapan del Oro.

Los sistemas Barrientos, Chiconautla y Risco conducen el agua extraída por pozos localizados al norte del Distrito Federal.

Se estudio la importación futura de agua en bloque de las cuencas circundantes a la del valle de México: Tula, Libres Oriental, Laguna de Mezquitlán, Atoyac y Mixteco, Tecolutla, Amacuzac, Nautla y San Juan

Estas cuencas se encuentran dentro de un radio de 200 Km respecto al centro del Distrito Federal Tienen factores limitantes a la exportación del agua tales como el caudal, la distancia a la ciudad, la elevación topográfica, a la calidad del agua, la disponibilidad y las afectaciones a terceros.

Se determinó que las fuentes con condiciones más favorables para su explotación, son las correspondientes a los ríos Atoyac, Amacuzac y Tecolutla



PROBABLES FUENTES EXTERNAS DE ABASTECIMIENTO AL D.F. (REFERENCIA No. 4)

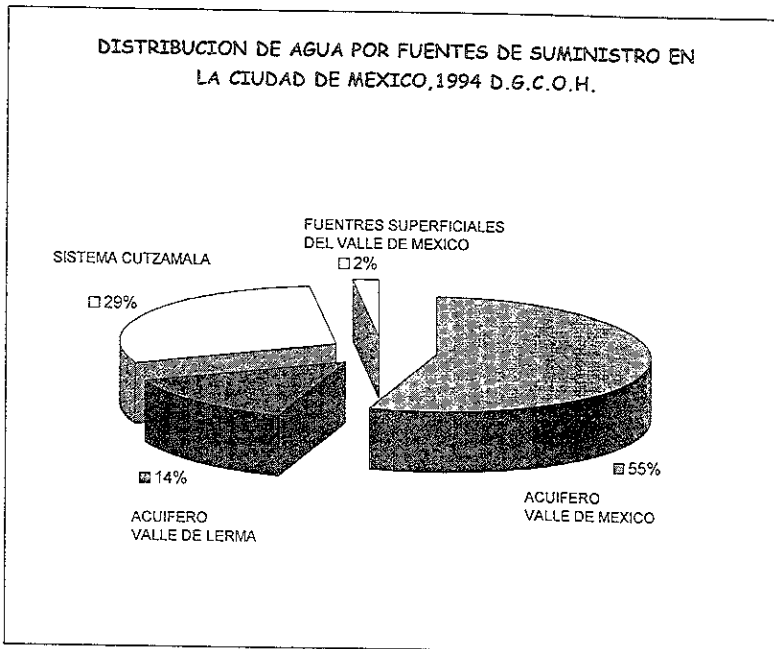
## 1.3.5.3 -FUENTES INTERNAS

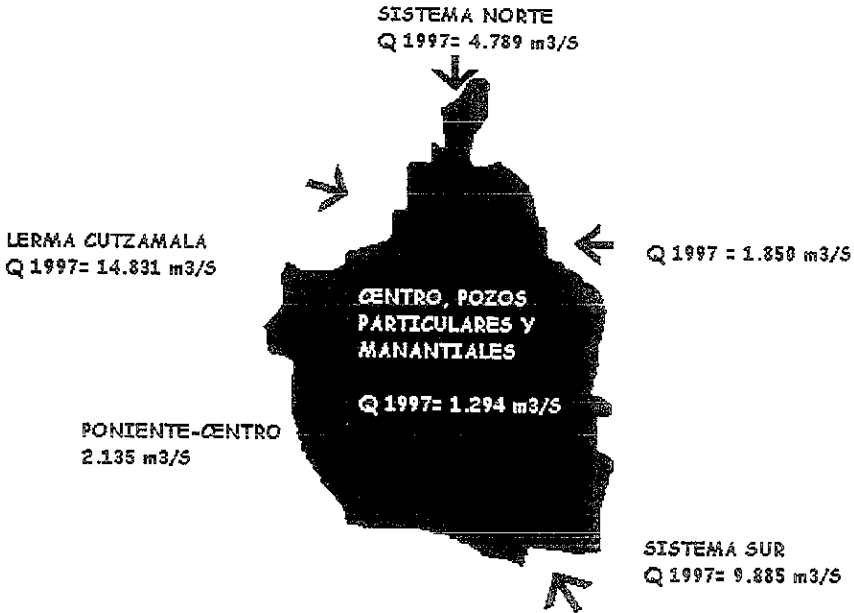
Las fuentes internas corresponden a los manantiales, el gasto de las plantas potabilizadora Magdalena y la extracción del agua a través de los pozos ubicados dentro del Distrito federal

La suma de la oferta por fuentes internas y externas en 1997 fueron de 34.785 m<sup>3</sup>/seg, de los cuales 9.942 m<sup>3</sup>/seg tuvieron su origen en el sistema Cutzamala, 4.889 m<sup>3</sup>/seg en el sistema Lerma, 1.294 m<sup>3</sup>/seg en pozos particulares y manantiales dentro del Distrito Federal, los restantes (18 659 m<sup>3</sup>/seg) provienen de fuentes internas de los sistemas norte, sur, centro, oriente y poniente del Distrito Federal

El agua es distribuida a los pobladores del Distrito Federal por la red primaria de distribución y el resto por el sistema de tuberías que funcionan de manera independiente, principalmente en las delegaciones Xochimilco, Alvaro Obregón, Tlalpan, Magdalena Conteras, Milpa Alta y Cuajimalpa

Para el año 2010, y llevando a cabo los programas propuestos en el Plan Maestro de Agua Potable se calcula que la demanda será aproximadamente de 28 22 m<sup>3</sup>/seg en el Distrito Federal. El sistema Cutzamala estará operando en su cuarta etapa, incrementando su aportación en 2.5 m<sup>3</sup>/seg.





AÑO	GASTO (l/s)
1995	35,438
1996	34,868
1997	34,785
2010	32,745
ESTIMADO PARA EL D.F.	

ABASTECIMIENTO DE AGUA (REFERENCIA No. 4)



### 1354 - INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA DE LA CIUDAD DE MÉXICO

La infraestructura hidráulica de la ciudad de México, es actualmente una de las más grandes y complejas del mundo desde el punto de vista operativo, la cual ha sido construida a lo largo de varias décadas, con una gran inversión acumulada. En el DF se cuenta con 514 km. de líneas de conducción a 279 tanques de almacenamiento, con capacidad conjunta de 1,700 millones de litros, distribuyéndose a los usuarios mediante mas de 10,700 km. de redes, primaria y secundaria. Adicionalmente, se utilizan 227 plantas de bombeo para incrementar la presión en la red y dotar de agua a los habitantes de las partes altas

Para preservar la calidad del agua, se utilizan plantas potabilizadoras y dispositivos de cloración, efectuándose constantes inspecciones sanitarias a las instalaciones del sistema y llevando a cabo un programa permanente de muestreo, mediante la realización de mas de 50,000 análisis físicos, químicos y biológicos en el laboratorio de control de la calidad del agua de la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica.

Mediante muestreos complementarios, la Secretaría de Salud certifica la calidad del agua suministrada, lo que ha permitido anualmente el certificado de calidad del agua del D.F. desde 1982, fecha en que fue establecido en la Ley de Salud.

Se cuenta con un laboratorio de control de calidad del agua, donde es posible analizar más de 250 parámetros físicos, químicos y biológicos. Para ello se emplean desde técnicas convencionales hasta las más desarrolladas, tales como la absorción atómica, cromatografía de gases y espectrometría de masas, lo que puede permitir la detección de virus, mutágenos, metales pesados y orgánicos sintéticos en muestras de agua potable, residual, pluvial y residual tratada.

El porcentaje de las muestras que cumplen con los criterios de la Secretaría de Salud en cuanto a cloro residual y bacteriológico en la red de distribución, es de 98% y 91%, respectivamente, lo que es superior al 80% establecido por dicha Secretaría.

La extracción de agua del valle de México es superior a la que se infiltra. Esto ha provocado abatimientos de los niveles freáticos en algunos sitios hasta de 7 metros en un periodo de 6 años (1986-1992) y la disminución paulatina de los caudales extraídos, ver figura, lo que ha obligado a crear nuevas políticas de explotación de pozos (ver pagina 7), además la explotación puede inducir la degradación de la calidad físico-química del agua en algunas zonas, y en otras, se requiere del saneamiento para evitar la contaminación con aguas residuales, cuyas consecuencias serían incalculables.

Durante la explotación del acuífero se han presentado hundimiento del terreno, en promedio de 10 cm anuales, aunque existen valores extremos de 40 cm. Los hundimientos afectan el funcionamiento de la infraestructura hidráulica y provocan daños en las edificaciones, que si bien su costo es difícil de evaluar, no por ello deja de ser importante. Para el caso particular del drenaje, ha obligado a la construcción de plantas de bombeo e infraestructura compleja y costosa para evacuar las aguas residuales y pluviales.

La infraestructura de agua potable, se caracteriza por su magnitud, complejidad y la necesidad de operarla en forma continua. La distribución de agua aún no es uniforme en toda la ciudad. Generalmente en zonas de crecimiento desordenado el suministro es problemático y costoso, jugando un papel importante la ubicación de las fuentes de abastecimiento, el derroche del recurso y la falta de infraestructura para conducir mayores volúmenes de agua a las zonas donde se presentan mayores deficiencias.

El agua que conduce el Acuaferico proviene del sistema Cutzamala por lo que a continuación haremos una descripción general de él:

### 1.3.5.5 - SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE " CUTZAMALA".

El sistema Cutzamala comenzó a construirse en 1976 en tres etapas de constructivas con un gasto de 4, 7 y 8 m<sup>3</sup>/seg respectivamente. El sistema consiste en el aprovechamiento de 7 presas de almacenamiento pertenecientes a la cuenca alta del río Cutzamala, la construcción de un vaso regulador y un acueducto de 127 km, que incluye 19 km. de túneles y 7.5 de canales; la construcción de una planta potabilizadora con capacidad instalada de 24 m<sup>3</sup>/seg; y 6 plantas de bombeo para vencer un desnivel de 1200 m, cuya operación requiere de 1,650 millones de kilowatt hora por año. También consta de 24.5 km. de túneles en su primera etapa dentro de la zona metropolitana de la ciudad de México que corresponde a los ramales norte y sur de 12.5 y 12 km., respectivamente para la distribución del agua en el Estado de México y el Distrito Federal. El ramal norte está a cargo de la Comisión Nacional del Agua y de Comisión Estatal de Agua y Saneamiento del Estado de México, el ramal sur es responsabilidad del D.F. y de la Secretaría de Obras y Servicios, a través de la D.G.C.O.H.

#### 1.3.5.5.1 - PRIMERA ETAPA.

La primera etapa está en operación desde 1982 aportando 4 m<sup>3</sup>/seg, procedentes de la Presa Villa Victoria, que se conduce a través del canal Martínez de Meza de 12 km al primero de seis módulos de la planta potabilizadora de Berros y posteriormente se realiza un bombeo en la planta No 5, venciendo una carga total de 174 m para conducir el agua a través del acueducto de tubería de concreto reforzado de 2.50 m de diámetro y 12 m<sup>3</sup>/seg de capacidad en una longitud de 77 km, atravesando la Sierra de las Cruces en la parte noroeste del Area metropolitana, mediante el túnel de 15 km de Atarascillo-Dos Ríos, que conduce también las aguas del Alto Lerma, iniciándose en Dos Ríos la distribución del agua.

#### 1.3.5.5.2 - SEGUNDA ETAPA

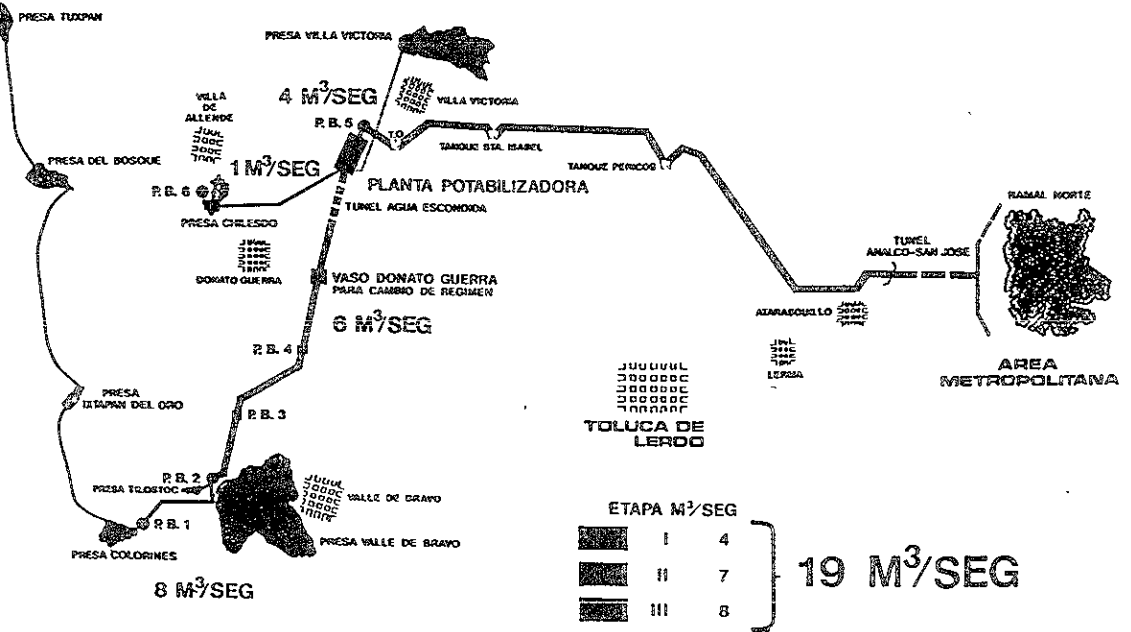
La segunda etapa consiste en la captación y conducción de 7 m<sup>3</sup>/seg aprovechándose de la Presa Valle de Bravo 6 m<sup>3</sup>/seg, y 1m<sup>3</sup>/seg de la Presa Chilesdo.

Para ello se ha construido la conducción de la Presa Valle de Bravo a la planta potabilizadora de Berros, que incluye tuberías de acero de alta y baja presión con diámetros que fluctúan entre 1.83 y 3.27 m, en una longitud total de 3.7 km. y tuberías de concreto reforzado de 2.5 m de diámetro con capacidad de 12 m<sup>3</sup>/seg; en una longitud de 14.5 km, así como las Plantas de Bombeo 2,3 y 4 para vencer una carga de 122 m, 350 m y 350 m respectivamente.

Las magnitudes de los motores de las plantas de bombeo alcanzan niveles extraordinarios, ya que para vencer cargas de hasta 350 m se ha requerido de una potencia de 21,700 h.p para cada uno de ellos. Así mismo los elementos y piezas especiales utilizadas como las válvula esféricas y de mariposa que protegen los equipos de bombeo, son también de tamaño inusitado.

Las plantas de bombeo de este sistema, elevan 19 m<sup>3</sup> de agua cada uno a una altura de 1,100 m de altura y recorrer 127 km, todo para poder suministrar 19,000 litros por segundo.

CROQUIS DEL SISTEMA CUTZAMALA



CROQUIS DEL SISTEMA CUTZAMALA (REFERENCIA No. 4)

Cada planta de bombeo cuenta con una torre de oscilación, la primera tiene como función proporcionar la carga y el volumen que requieren los equipos de bombeo para su arranque y la segunda, evitar el golpe de ariete en la tubería de presión de acero que va de la planta de bombeo de la torre de oscilación, eliminando dicho golpe del resto de la conducción.

Estas torres de sumergencia y oscilación son estructuras cilíndricas de concreto reforzado, de colado continuo, con altura variable de 37 a 58 m, equivalentes en promedio a un edificio de 20 pisos, teniendo diámetros interiores de 10 m y sus paredes, espesores de hasta 1.60 m

El Vaso Donato Guerra funciona como regulador, enviando por gravedad hasta 19 m<sup>3</sup>/s a la planta potabilizadora para asegurar en esta un suministro continuo durante las 24 horas, ya que el proyecto contempla dejar de bombear agua de la presa Valle de Bravo y Colorines durante 4 horas al día, para permitir la generación de energía eléctrica en las horas de mayor demanda

A partir de esta obra se conducen los caudales mediante un canal abierto de sección trapezoidal con longitud de 7.5 km y capacidad de 24 de 24 m<sup>3</sup>/seg., hasta el portal de entrada del túnel Agua Escondida de sección de herradura de 4.2 m y longitud de 3.1 km.

Del portal de salida de este túnel se conduce el agua mediante tubería de concreto hasta el tanque receptor de aguas crudas de la Planta Potabilizadora.

La presa derivadora Chilesdo permite enviar a la Planta Potabilizadora hasta 5 m<sup>3</sup>/seg., durante la época de avenidas, mediante la Planta de Bombeo No. 6 y su torre de oscilación, con un gasto medio anual de 1 m<sup>3</sup>/seg., a través de tubería de concreto preesforzado y de acero de alta presión en 11.3 km.

La planta potabilizadora de agua del sistema, cuenta con laboratorios y sistemas computarizados de control que la convierten en modelo en su tipo. Su capacidad total es de 24 m<sup>3</sup>/seg con 6 módulos de potabilización de 4 m<sup>3</sup>/seg cada uno.

En la planta de bombeo No.5 además de los equipos que operan en la Primera Etapa, se dispone de tres bombas con capacidad de 4 m<sup>3</sup>/seg. Para la segunda etapa se eleva el agua 174 m hasta la torre de oscilación No 5 y a partir de este punto se inicia la conducción por gravedad a través del acueducto de 77 km hasta el portal de entrada del túnel Analco-San José, de 16 km de longitud, sección portal de 4.60 m de diámetro y capacidad de 34 m<sup>3</sup>/seg que atraviesa la Sierra de las Cruces y por el cual se conduce desde 1986 los caudales de la Primera, Segunda y Tercera etapas la conducción del total de 19 m<sup>3</sup>/seg con que cuenta el sistema.

La lumbrera No 3 de este túnel se considera la estructura repartidora de gastos hacia el Estado de México y el Distrito Federal mediante la operación de compuertas instaladas en ese punto. De esta estructura parten los Ramales Norte y Sur que integran el acueducto periférico del Área Metropolitana de la Ciudad de México.

### 1.3.5.3- TERCERA ETAPA.

La tercera etapa, permite captar en la presa de Colorines 8m<sup>3</sup>/seg., procedentes de las presas Tuxpan y el Bosque, en el Estado de Michoacán, e Ixtapan del Oro en el Estado de México, para lo cual se construyó la Planta de Bombeo 1 Colorines, para una capacidad de 20 m<sup>3</sup>/seg y carga de 157 m; la conducción de 4 km de Colorines a Valle de Bravo, la segunda tubería de 2.50 m de diámetro con capacidad de 12 m<sup>3</sup>/seg entre Valle de Bravo y el túnel Analco-San José, con 90 km de longitud; la

instalación de los 3 equipos de bombeo de las plantas 2, 3, 4 y 5 y tres módulos de potabilización requeridos para el tratamiento

### 1.3.6 - DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN EL ÁREA METROPOLITANA

#### 1.3.6.1.- APORTACIÓN DEL SISTEMA CUTZAMALA

Para distribuir adecuadamente los caudales disponibles y aprovechar las aguas provenientes del sistema Cutzamala, el Gobierno del Estado de México y la Comisión Nacional del Agua vienen construyendo el macrocircuito de distribución de agua potable, conocido como Acuaférico

En la actualidad, los municipios que reciben agua de Cutzamala son Atizapán de Zaragoza, Huixquilucan, Naucalpan, Tlanepantla en su zona poniente, Nicolás Romero, Cuautitlán Izcalli, Coacalco, Nezahualcóyotl mediante un convenio de transferencia con el Departamento del Distrito federal, así como Toluca y Lerma. El caudal distribuido es de 4.33 m<sup>3</sup>/seg.

Con las obras que se vienen realizando desde la línea troncal del macrocircuito hasta el tanque Cerro Gordo ubicado en el municipio de Ecatepec, se beneficiará a la población asentada en el municipio del mismo nombre.

### 1.3.7.- OBRAS DE ABASTECIMIENTO DEL ÁREA METROPOLITANA.

Entre las obras más importantes destacan el macrocircuito de distribución que ya alimenta el tanque Coacalco y líneas de distribución a partir de los tanques Emiliano Zapata, San Javier, Chalma y Providencia, las líneas primarias de conducción de la zona norte de Atizapán de Zaragoza, el sistema primario y secundario de Chimalhuacán, el sistema San Andrés de la Cañada en Ecatepec y el sistema Tlalmanalco.

### 1.3.8.- PERSPECTIVAS PARA CUBRIR LAS NECESIDADES DE AGUA DEL ÁREA METROPOLITANA.

1.- En primer lugar, se pretende mejorar sustancialmente la eficiencia de los sistemas de distribución hasta reducir las pérdidas a sólo 10 por ciento del flujo inicial.

2.- En segundo término, se espera incrementar el acopio de agua potable, buscando el equilibrio entre las distintas fuentes de aprovisionamiento, de manera que 90 por ciento de la población de la entidad cuente con el servicio.

Las principales acciones serán.

- 1.- Iniciar la cuarta etapa del sistema Cutzamala;
- 2.- Reforzar el abastecimiento de agua potable a la zona oriente de la zona metropolitana del valle Cuautitlán Texcoco.
- 3 - Continuar la construcción del macrocircuito de distribución de agua potable.

### 1.3.9 - ACCIONES PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA DEL AGUA

La solución al problema de abastecimiento, tradicionalmente se ha planteado mediante la incorporación de nuevos caudales adicionales provenientes de fuentes externas

En la actualidad, este planteamiento no es eficiente y la estrategia para atender los requerimientos de la población, se ha basado en la implementación de programas de uso eficiente del agua, el cual tiene como premisa la disminución del consumo sin deterioro del nivel de bienestar y de las actividades productivas de la población, así como un manejo más eficiente de la infraestructura del sistema

Para lograr lo anterior, se realizan las siguientes acciones:

1- Rehabilitación, reposición y reequipamiento de pozos, no solo para mantener, sino para aumentar la capacidad instalada de los pozos, para que en caso de fallas del abastecimiento de las fuentes externas, resuelvan las deficiencias de suministro como fuente alterna de emergencia.

Se debe disminuir el caudal de extracción en la medida que las fuentes externas del valle incorporen caudales adicionales y las acciones de uso eficiente lo permitan, de tal forma que en 20 años se logre reducir la extracción actual en 24 m<sup>3</sup>/seg., para mantener el equilibrio del acuífero, lo cual también es función de la recarga artificial que se pueda lograr, de acuerdo a los resultados que se tengan en el programa de infiltración que actualmente se lleva a cabo. así mismo, en el corto plazo se debe eliminar la extracción de agua para riego agrícola que actualmente asciende a 6 m<sup>3</sup>/seg.

2.- Con el fin de lograr una distribución más equilibrada, se continua la construcción del Acueducto Perimetral en sus ramas sur y norte, a cargo del gobierno del D.F. y la CNA, respectivamente

La primera y segunda etapas de la rama sur, con longitud de 22 km. y 4 m de diámetro, ya han sido concluidas y están operando. A fines de 1993, se inició la construcción de la tercera etapa, con una longitud de 12 km. Incluyendo derivaciones, desde el Ajusco, Tlalpan hasta el poblado de San Francisco Tlanepantla, Xochimilco; quedando pendiente la cuarta etapa.

Para reducir las pérdidas de agua en la red de distribución, se desarrolla un programa permanente de detección y reparación de fugas, lo que ha permitido atender en promedio mensual 4,000 fugas del D.F. y 1,800 en el Estado de México

3 - El programa de instalación de muebles sanitarios y accesorios de bajo consumo, se inició en el D.F. en 1989 y consiste en la sustitución de muebles sanitarios convencionales, que usan en promedio 16 litros por descarga, por muebles de bajo consumo que solamente requieren de 6 litros.

4.- El Agua residual tratada, es una medida eficaz para reducir la necesidad de agua potable. Actualmente las 21 plantas de tratamiento que operan en el distrito federal, producen 6,250 litros por segundo. En el futuro se deberá aumentar la producción de agua residual tratada, para intercambiar más agua potable por agua residual tratada en las industrias, comercios, servicios y en la agricultura, de tal manera que en el largo plazo se alcance el mayor caudal de rehuso posible.

5.- Continuar las acciones de expropiación de terrenos, donde sea factible crear zonas verdes para preservar las áreas de recarga natural con agua de lluvia en el Distrito Federal y asimismo, continuar con el programa de saneamiento básico de las zonas altas del poniente y sur de la cuenca, mediante la construcción de colectores marginales en causes y barrancas.

## 1.4 - LUGAR QUE OCUPA EL ACUEDUCTO PERIMETRAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO EN EL PLAN NACIONAL DE DESARROLLO Y EL PLAN MAESTRO DE AGUA POTABLE Y DRENAJE.

Para conocer el lugar que ocupa el Acueducto Perimetral en los planes nacionales y regionales es necesario conocer el contenido de ellos, por lo que a continuación se describen en términos generales el Plan Nacional de Desarrollo 1995-2000 y el Plan Maestro de Agua Potable y Drenaje

### 1.4.1 - El Plan Nacional de Desarrollo 1995-2000 y los recursos hidráulicos.

De conformidad con el Plan Nacional de Desarrollo 1995-2000 y en cumplimiento de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, de la Ley de Planeación en sus artículos 14, 15, 16, 17, 19, 22, 23, 24, 25, 26 y 29, y del decreto por el que se crea la Comisión Nacional del Agua (CNA), se elaboró el programa sectorial de mediano plazo denominado Programa Hidráulico 1995-2000

#### 1.4.1.1.- PROGRAMA HIDRÁULICO 1995-2000

El Programa refleja las opiniones de los diferentes sectores de la sociedad expresadas en los Foros de Consulta Popular y Democrática sobre Política Hidráulica, con los temas de uso urbano e industrial, uso agrícola y la vinculación del agua con el desarrollo sustentable, realizados para la formulación del Plan Nacional de Desarrollo 1995-2000. El Programa integra estrategias con base en los análisis regionales de las diferentes características hidrológicas, económicas, sociales y ambientales del país.

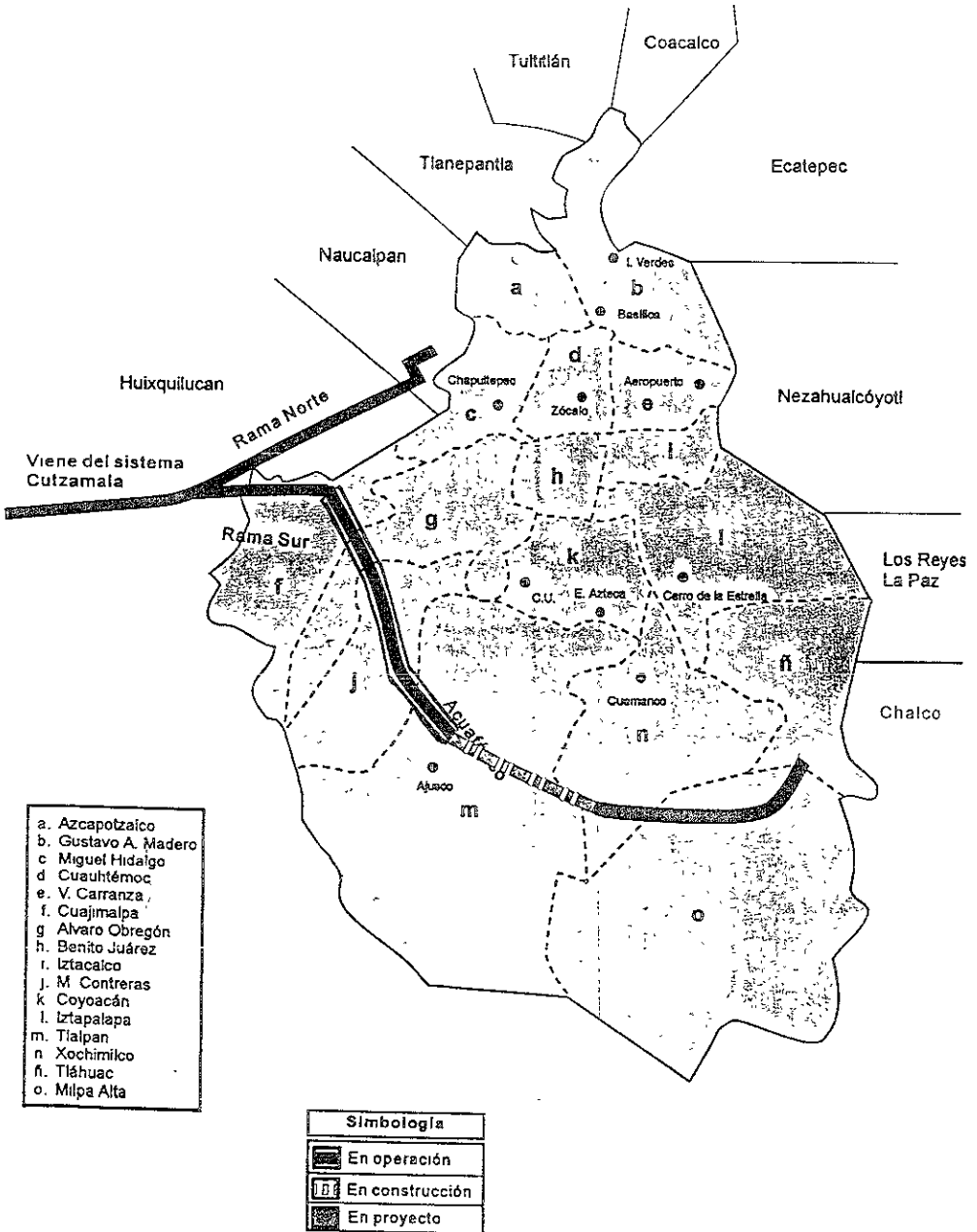
#### 1.4.1.2.- OBJETIVOS DEL PLAN.

Los objetivos del Programa se establecen de acuerdo con las modalidades de utilización del recurso:

- Para consumo humano, higiene y cuidado de la salud pública;
- En la atención a grupos de población y zonas con mayor pobreza.
- En la dotación de servicios para mejorar los niveles de vida y bienestar social,
- Como insumo en la agricultura, industria, comercio, y demás actividades económicas, y,
- En el aprovechamiento pleno de los recursos naturales dentro de un marco de sustentabilidad.

Con base en lo anterior se establecen los objetivos generales siguientes:

- Contribuir a reducir los rezagos y limitaciones en la disponibilidad de agua, que afectan a grupos sociales desprotegidos.
- Avanzar en el saneamiento integral de cuencas, comenzando por aquellas cuya contaminación produce mayores efectos negativos para la salud, la economía y el ambiente.
- Otorgar seguridad jurídica en el derecho al uso de las aguas nacionales y bienes inherentes.
- Contribuir al proceso de transición hacia el desarrollo sustentable mediante la racionalización de los precios del agua, con criterios económicos y ambientales.
- Ampliar los canales de participación de la sociedad en la planeación y utilización del agua.
- Administrar el recurso de manera más eficiente, a través de la descentralización progresiva y constante de programas y funciones a los usuarios y autoridades locales dentro del marco del Nuevo Federalismo.
- Inducir patrones de utilización del agua más eficientes en riego, uso doméstico, uso industrial, a fin de preservar la disponibilidad y la calidad futuras del recurso



ACUAFÉRICO DE LA CIUDAD DE MÉXICO



- Contribuir a reducir los rezagos y limitaciones en la disponibilidad de agua, que afectan a grupos sociales desprotegidos.
- Avanzar en el saneamiento integral de cuencas, comenzando por aquellas cuya contaminación produce mayores efectos negativos para la salud, la economía y el ambiente
- Otorgar seguridad jurídica en el derecho al uso de las aguas nacionales y bienes inherentes.
- Contribuir al proceso de transición hacia el desarrollo sustentable, mediante la racionalización de los precios del agua, con criterios económicos y ambientales
- Ampliar los canales de participación de la sociedad en la planeación y utilización del agua.
- Administrar el recurso de manera más eficiente a través de la descentralización progresiva y constante de programas y funciones a los usuarios y autoridades locales dentro del marco del Nuevo Federalismo
- Inducir patrones de utilización del agua más eficientes en riego, uso doméstico, uso industrial, a fin de preservar la disponibilidad y la calidad futura del recurso

#### 1.4.1.3.- ESTRATEGIAS GENERALES

En la atención a los rezagos se aplicará una estrategia que privilegie el mantenimiento, la complementación y la construcción de infraestructura de alta calidad para servicios de agua potable, alcantarillado, saneamiento, control de avenidas y producción agrícola. La jerarquización de las inversiones incorporará criterios de rentabilidad económica, pero sobre todo, de impacto social positivo, para asegurar que la población tenga acceso al recurso para satisfacer, en primera instancia, sus necesidades básicas de salud y bienestar.

La atención de los rezagos requiere de grandes inversiones, que demandan la participación privada conjuntamente con la pública. Las modalidades de financiamiento se diversifican, desde los créditos al sector público, hasta la concesión de servicios, como ya sucede en el caso de sistemas de agua potable, alcantarillado y saneamiento. De esta forma, se generarán mayores capacidades para atender a los segmentos marginados de la población.

Fomentar la concientización de todos los actores locales sobre la disponibilidad y la protección de los recursos hidráulicos por cuencas a través de la información confiada a las autoridades y la opinión pública.

#### 1.4.1.4.-LÍNEAS DE ACCIÓN

Serán abarcadas las 13 regiones hidrológicas en que está dividido el país, con objeto de apoyar técnicamente los procesos de organización de los Consejos de Cuenca y administrar con mayor certidumbre el recurso, además, de permitir que las funciones de autoridad federal se realicen con efectividad.

Atender el rezago de servicios en las zonas rurales y en poblaciones urbanas marginadas, con apoyo gubernamental federal, estatal y municipal, así como con la participación de los sectores de la población.

Apoyar a elevar el servicio de agua potable en las zonas rurales, de 13.8 millones de habitantes en 1995 a 18.8 millones de habitantes al año 2000, y el saneamiento de 5.5 millones de habitantes en 1995 a 15.1 millones de habitantes al año 2000

Promover que se incremente el servicio de agua potable en las zonas urbanas de 62.8 millones de habitantes en 1995 a 68.1 millones de habitantes al año 2000, e incrementar el servicio de alcantarillado de 56.0 millones en 1995 a 60.6 millones de habitantes en el año 2000.

Incrementar el abasto de agua del sistema Cutzamala para el Valle de México, de 0.6 km<sup>3</sup>/año (19 m<sup>3</sup>/s) a 0.76 km<sup>3</sup>/año (24 m<sup>3</sup>/s) y dar tratamiento a 1.3 km<sup>3</sup>/año (42 m<sup>3</sup>/s) de aguas residuales

Mantener niveles de desinfección que cubran cuando menos el 95% del agua que se suministra a la población e incrementar de 2.2 a 2.4 km<sup>3</sup>/año (70 a 75 m<sup>3</sup>/s) la capacidad instalada de potabilización

Incrementar el tratamiento de aguas residuales de origen urbano de 0.54 a 2.6 km<sup>3</sup>/año (17 a 82 m<sup>3</sup>/s), incluyendo los logros en la rehabilitación de infraestructura existente y por la construcción de nuevos sistemas. Dar prioridad a la instalación de plantas de tratamiento de aguas residuales en localidades ubicadas en las 15 cuencas prioritarias

*"Se consolidarán las primeras tres etapas del Sistema Cutzamala, la rehabilitación y reposición de infraestructura existente en el Valle de México, la terminación de las obras de la segunda etapa del Ramal Norte y la operación y mantenimiento de los sistemas existentes que suministran actualmente el 45% del caudal total que consume la población, con lo que se atenderá la demanda hasta 1997. Se construirá la cuarta etapa del Sistema Cutzamala en la captación Temascaltepec con la que se incrementará de 19 a 24 m<sup>3</sup>/s la capacidad de abasto del sistema con el fin de poder satisfacer la demanda hasta el año 2000. Se construirá el Acueducto Periférico y se rehabilitará y ampliará la planta potabilizadora denominada Berros."*

Se dará solución integral al tratamiento de los 42 m<sup>3</sup>/s de aguas residuales que genera la zona metropolitana mediante el Programa de Saneamiento del Valle de México, a cargo de la CNA. Este proyecto incluye la construcción de macroplantas de tratamiento para cada uno de los emisores que desalojan las aguas del Valle y diversas acciones en las zonas de riego que aprovechan esos afluentes

Después de conocer en términos generales el contenido del Plan, observamos cómo la obra del Acueducto Periférico se plantea como una acción primordial para lograr un eficiente abastecimiento y distribución de agua potable a la Ciudad de México y la Zona Metropolitana. Nunca se plantea como obra exclusiva de D.F., sino que desde su concepción se plantea como una obra con carácter metropolitano.

## 1.4.2 EL PLAN MAESTRO DE AGUA POTABLE Y EL ACUEDUCTO PERIMETRAL

Para contar con un suministro eficiente de agua potable en el Distrito Federal se determino la necesidad urgente de emprender distintos programas de acciones y estrategias relacionadas entre sí. En ellas se debe considerar el aprovechamiento del acuífero y así evitar su sobre explotación y alterar la calidad del agua subterránea.

El conjunto de estudios de apoyo, ampliación y mejoramiento, así como las estrategias de operación, construcción y mantenimiento, se integra dentro del documento denominado PLAN MAESTRO DE AGUA POTABLE DEL DISTRITO FEDERAL, 1997-2010, (PMAP), cuya entidad responsable es la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, perteneciente al gobierno del Distrito federal.

La Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOPH) es la dependencia del Gobierno del Distrito Federal, encargada de planear, proyectar, construir, operar y mantener las estructuras formadoras de los sistemas de abastecimiento de agua potable, drenaje y saneamiento del Distrito Federal dentro del Area Metropolitana de la Ciudad de México.

El objetivo del Plan Maestro de Agua Potable es normar y establecer las necesidades de consumo para mejorar el servicio que se proporciona a los usuarios, mediante políticas adecuadas de operación y con las obras necesarias, jerarquizadas de acuerdo a su importancia. Además, lograr el manejo integral del agua potable considerando la reducción, tanto de la sobreexplotación del acuífero, como el deterioro de la calidad del agua subterránea.

### 1.4.2.1.- ESTRUCTURA DEL PAN MAESTRO DE AGUA POTABLE.

Para integrar el Plan maestro de Agua Potable se llevaron a cabo distintos estudios que se han clasificado en tres grupos principales atendiendo a la forma en que se encuentran relacionadas dentro del sistema de abastecimiento.

### 1.4.2.2.- ESTUDIOS BASICOS.

Trabajos necesarios para generar la información de apoyo; sobre la infraestructura del sistema de abastecimiento de agua potable. acueductos, tanques de regulación, plantas de bombeo y rebombeo, pozos de extracción, plantas de potabilización y tratamiento, estaciones de medición, redes de distribución, etcétera.

En forma paralela, se determina la demanda actual y futura, así como el suministro de agua desde fuentes externas e internas al Distrito federal. También se describe la evolución de los niveles piezométricos y la calidad con base a distintas políticas operativas de extracción del agua en acuífero.

Se considera de manera importante el rehuso de agua tratada, la CARGA ARTIFICIAL DE LOS ACUÍFEROS, y el empleo del agua residual tratada para cumplir con la de manda de urbano - industrial.

## 1423 - ESTUDIOS PARA EL ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO Y EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA

En este grupo se encuentran aquellas tareas dedicadas a determinar con detalle las limitaciones existentes y defectos de abastecimiento de agua potable al Distrito Federal. Por ejemplo, el estudio para cuantificar el caudal perdido por fugas durante la distribución y los balances de hidrología superficial y subterráneas, así mismo se ubican aquellos estudios enfocados a proponer mejoras de las que se derive un aumento en la eficiencia y una mayor cobertura de dicho sistema. Ello comprende el cálculo de las presiones y los gastos en la red primaria de las tuberías, la variación del nivel de agua dentro de los tanques que forman el sistema de regulación y el análisis de flujo en las tuberías que los unen. Los cambios necesarios en la red de las tuberías son revisados con el modelo de simulación del flujo no permanente en las tuberías de la red primaria de agua potable.

### 1.4.2.4 - OFERTA DE AGUA POTABLE.

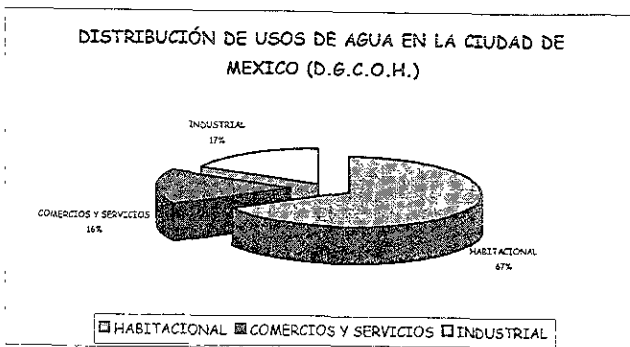
Para satisfacer la demanda de los 8.7 millones de habitantes en el Distrito Federal en el año de 1997 ingresaron al sistema de agua potable 34.7 m<sup>3</sup>/seg provenientes de fuentes externas e internas.

### 1.4.2.5 - PÉRDIDA POR FUGAS.

Se estima que del orden del 37 % de los 34.7 m<sup>3</sup>/s que ingresaron en promedio en 1997 a la ciudad se perdió por fugas domiciliarias y en la red, es decir, 12.8 m<sup>3</sup>/s y 21.901 m<sup>3</sup>/s son consumidos en los distintos rubros que componen la demanda. La mayor parte del agua no aprovechada corresponde a los gastos que se escaparon de las tomas domiciliarias (al rededor de 7.7 m<sup>3</sup>/s), otra parte, cercana a 5.1m<sup>3</sup>/s se salió de la red primaria y 2.3 m<sup>3</sup>/s se presentó en otra clase de fugas.

### 1426.- DEMANDA DE AGUA POTABLE.

La demanda de agua potable en un sistema de abastecimiento está integrada por la suma del consumo total de los usuarios mas las pérdidas físicas del caudal que se presentan en los distintos componentes del mismo o sea en las fugas. El consumo de agua se integra por la suma de los consumos totales que cada tipo de usuario lleva a cabo. Los tipos de consumo se integran de acuerdo con la figura:



( Referencia No. 3 )

Para tomar en cuenta los distintos requerimientos de los usuarios domésticos se ha considerado el nivel socioeconómico de los usuarios con base en el número de salarios mínimos que integran el ingreso familiar. El tipo doméstico se divide en: popular con menos de 3 s.m., medio entre 3 y 7 s.m., medio alto entre 7 y 17 s.m. y residencial con más de 17 s.m.

En 1996 a partir de mediciones se determinó el consumo de los usuarios y al relacionarlos con los valores de la población en el Distrito Federal para el año de 1997 se obtuvieron las demandas.

#### 1.4.2.7.- LINEAMIENTOS, OBJETIVOS Y ESTRATEGIAS

El departamento del D.F. a fin de transitar hacia un desarrollo sustentable de la capital del país apoyado en el uso del recurso hidráulico, ha establecido un marco de lineamientos en tres direcciones:

- Ambiental, a través de la cual se busca contener y revertir la sobre explotación del acuífero, y en consecuencia reducir la problemática del hundimiento de la ciudad.
- Social, en la cual se plantean acciones que permitan que toda la población, principalmente la ubicada en la zona oriente de la ciudad, disponga del agua suficiente, en cantidad y calidad, para satisfacer sus necesidades. Además, fomentar una cultura sobre el uso del agua.
- Económica, que comprende el fomento a la eficiencia del servicio, mediante la reducción del porcentaje actual de pérdidas a valores aceptables internacionalmente. Detectar en forma sistemática y programada, las fugas que ocurran en el sistema de distribución de agua potable; rehabilitar 2 190.4 km. de tuberías. El aprovechamiento racional de recursos, dado énfasis al reuso de las aguas tratadas.

El incremento de la productividad, a través de la rehabilitación y/o sustitución de infraestructura que se encuentra en mal estado. Hacer del abastecimiento del agua un servicio público financieramente autosuficiente.

En relación con los lineamientos indicados, se ha establecido los objetivos y estrategias de los cuales se pueden ver en la tabla 7.

Con base en los lineamientos señalados, se han diseñado siete programas generales, cuyas acciones apoyaran y aceleraran el proceso de cambio que requiere el sistema de abastecimiento de agua potable del Distrito Federal.

#### 1.4.2.8.- PROGRAMA DE RECUPERACIÓN DE AGUA

Para cumplir con los objetivos planteados, el plan maestro de agua potable se organizó, en un primer nivel de desglose, considerando la aplicación de 7 programas generales.

## 1.4.2.9.- TABLA 7- LINEAMIENTOS, OBJETIVOS Y ESTRATEGIAS

OBJETIVOS	ESTRATEGIAS
1- Mantener el nivel de cobertura del servicio de agua potable	1.- Incrementar la infraestructura de abastecimiento en las delegaciones que presentan expansión de la mancha urbana
2.- Rehabilitar y modernizar la infraestructura de abastecimiento	2.- Realizar acciones de rehabilitación y sustitución de tramos, en aquellas redes de distribución que presenten elevados porcentajes de fugas
3.- Mejorar la operación y ampliar la infraestructura de agua potable	3.- Rehabilitar o sustituir las tomas domiciliarias que presentan fugas.
4.- Reducir la sobre explotación del acuífero y disminuir la velocidad del hundimiento regional de la zona urbana	4.- Continuar con la construcción del acueducto periférico, para incrementar el abastecimiento de agua potable a la zona suroriente de la Ciudad
5.- Incrementar la capacidad del tratamiento de las aguas residuales, para fines de reúso y recarga del acuífero.	5.- Cancelar los pozos en aquellas zonas factibles de abastecer por medio de las redes primarias de distribución.
6.- Lograr la autosuficiencia financiera del sistema de abastecimiento.	6.- Establecer mejoras en la política de operación, acorde a las capacidad de la infraestructura existente, dando énfasis a una mejor distribución del agua en las distintas zonas de la ciudad.
7.- Fomentar la cultura del uso eficiente del agua	7.- Incrementar la participación de la iniciativa privada en el tratamiento y reúso del agua.
	8 - Incrementar la recarga artificial del acuífero con aguas tratadas de buena calidad, principalmente en aquellas zonas donde su inyección reduzca los problemas de hundimiento del terreno.
	9.- Medir los consumos de agua en la totalidad de las tomas domiciliarias existentes en el Distrito Federal y aplicar el cobro correspondiente.
	10.- Fortalecer el sistema de recaudación, eliminando el mecanismo de cobro por tarifa fija.

## 1.5.- CONCEPCIÓN DEL ACUEDUCTO PERIMETRAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO.

Como una muestra de la política económica y para lograr una distribución más eficiente y equilibrada del volumen de agua proveniente del sistema Cutzamala, en el mes de junio de 1983 el Departamento del Distrito Federal, a través de la D.G.C.O.H., inició la construcción de la primera etapa del proyecto denominado acueducto periférico la cual fue concluida en junio de 1988, estando concluida por 10,969.0 m. de túnel con 40 m de diámetro terminado y una pendiente de 10 al millar, diseñado para una capacidad de construcción de 25.0 m<sup>3</sup>/seg. El túnel inicia en el portal San José en Huixquilucan, Edo. de México, llegando al portal Cerro del Judío, delegación Alvaro Obregón, contando con dos derivaciones, una de ellas hacia el portal Villa Verdum

### 1.5.1 - NECESIDAD DE UN ACUAFÉRICO

Uno de los mas graves problemas del área metropolitana, es el proporcionar el servicio adecuado de infraestructura hidráulica a cada uno de sus habitantes, de la zona conurbada más grande del mundo

Dentro de las acciones que esta llevando a cabo la D.G.C.O.H. está la implantación del sistema Cutzamala, que abastecerá tanto al DF como al Estado de México. En la zona metropolitana del valle de México, las entregas de agua en bloque que más caudal aporta la federación se tienen en el norte y el poniente. Las mayores carencias del caudal se presentan en el oriente. Este problema se agudiza ya que en esta zona es donde se han registrado los asentamientos irregulares producto de la inmigración que recibe el área metropolitana. De esta manera y con objeto de contar con la infraestructura adecuada para recibir los caudales de dicho sistema se proyecta la construcción de las obras de conducción, dos ramales, ramal norte que abastecerá al Estado de México y un ramal sur que abastecerá el área oriente de la Ciudad de México.

En el caso del ramal sur que es el motivo de este trabajo se realizaron estudios del trazo definitivo y estudios de mecánica de suelos, incluyendo el censo y levantamiento topográfico de las afectaciones que se presentan, así como el análisis y evaluación de alternativas para la realización del proyecto ejecutivo del Acuífero con base en la alternativa seleccionada.

De acuerdo a la planeación existente se considero una operación de 6.5 m<sup>3</sup>/seg. en el sureste del área metropolitana, procedente del Bajo Amacuzac.

Verificando los planes mas recientes (Agosto de 1986) de la Comisión de Aguas del Valle de México (C.A.V.M.), se encontró descartada esta opción debido a la excesiva longitud y desnivel por vencer, así como a su mala calidad. En compensación se suministrara un caudal menor (5.0 m<sup>3</sup>/seg) a mediano plazo procedente de la zona de Temascaltepec, concluyéndose que las aportaciones futuras adicionales serán alimentadas al sistema por el poniente del área metropolitana

Debido a que el menor diámetro construible en túnel es de 3.00 m, y que la pendiente mínima recomendable que se ha fijado por la D.G.C.O.H., para conservar al Acuífero en elevaciones lo mas alto posible es de 0.001

El problema de abastecimiento de agua potable de la Ciudad de México y el área metropolitana ha tenido que ver por años con el incremento desmesurado de la población, el surgimiento de cada vez más asentamientos irregulares, la falta de planeación, la carencia de recursos económicos y la falta de integración con los planes y políticas ambientales y de desarrollo urbano.

El problema en el abasto del agua a la Ciudad de México persistirá, pues mientras se explotan 14.5 metros cúbicos por segundo, sólo se reinyectan 2.5 al acuífero. Es un rezago inmenso heredado desde los años 40, cuando se perdió el equilibrio entre lo que entraba a las presas de manera natural y lo que se consumía.

En este panorama se inscribe la obra del Acueducto periférico de la ciudad de México que tiene como objetivo principal conducir, por gravedad, el agua potable que entra por el poniente, proveniente del Sistema Cutzamala que es una de las fuentes de abastecimiento de agua más importante que tiene la Ciudad de México y el Área Metropolitana (municipios conurbados).

Esta obra se proyectó para cubrir una demanda cada vez más creciente del líquido vital y para frenar la explotación excesiva de los mantos acuíferos de la Ciudad de México, que está generando una gran cantidad de problemas a la infraestructura de redes de distribución de agua, redes subterráneas de energía eléctrica, drenaje (hundimiento del Gran canal), líneas telefónicas, etcétera.

#### REFERENCIAS

- 1.- Valdéz Enrique Cesar. *Abastecimiento de agua potable. UNAM.* México D.F., 1991
- 2.- Memoria de las obras del Sistema de Drenaje Profundo del Distrito Federal. Tomo I, México D.F., 1975
- 3.- Compendio 1996 de la D.G.C.O.H. de los servicios hidráulicos de la Ciudad de México, agua y drenaje.
- 4.- Revista Hidráulica urbana. D.G.C.O.H., revista trimestral México D.F., número 2 julio de 1997 y número 3 noviembre de 1998.



## CAPÍTULO 2

### DEFINICIÓN DEL PROYECTO

## CAPITULO 2. DEFINICIÓN DEL PROYECTO.

El objetivo de este capítulo es establecer las características técnicas particulares del proyecto del Acueducto Perimetral de la Ciudad de México.

### 2.1.- CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL PROYECTO.

Ya en el capítulo anterior hablamos sobre la concepción del Acuífero, en este capítulo trataremos a cerca de las características de las distintas etapas que lo forman. El ramal sur del Acueducto Perimetral de la Ciudad de México se construye bajo la dirección de la DGCQH.

#### 2.1.1- OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Son 2 los objetivos principales

- a) Abastecer de agua potable en forma más eficiente la zona sur - poniente, el oriente y sur - oriente de la Ciudad de México.
- b) Incorporar nuevas fuentes de abastecimiento de agua provenientes del Sistema Cutzamala, así como ahorrar en el consumo del agua potable, siendo lo anterior posible por medio de la difusión del Programa de Uso Eficiente del Agua (PUEDA).

#### 2.1.2.- CONEXIÓN AL SISTEMA CUTZAMALA

Como parte del sistema Cutzamala se construyó el túnel Analco-San José, entre los pueblos de San Mateo Atarascuillo y Dos Ríos, ambos situados en el estado de México, con una longitud de 12 km. Aquí da inicio el Acuífero. En 1983 dio inicio su construcción, que al funcionar por gravedad, elimina en gran medida los costos por concepto de bombeo; además de constituir la opción más favorable para suministrar agua para consumo humano en el distrito federal, sobre todo en las zonas más alejadas como es el oriente de la ciudad.

El Acuífero se caracteriza por ser una obra metropolitana puesto que da servicio tanto al D.F., como a una parte del Estado de México.

Por la magnitud de la obra del acueducto Perimetral se optó por dividir su diseño, construcción y operación en cuatro etapas.

## 2.1.3 - PRIMERA ETAPA

En el mes de junio de 1983 el Departamento del Distrito Federal, a través de la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (D.G.C.O.H.), inició la construcción de la primera etapa del proyecto denominado Acueducto Periférico, que fue concluida en junio de 1988, estando constituida por 10,969.0 m de túnel con 400 m de diámetro terminado y una pendiente de 10 al millar, diseñado para una capacidad de conducción de 25.0 m<sup>3</sup>/seg y una longitud de 12 Km. La primera inicia en portal de salida del túnel Analco - San José en Huixquilucan en el Estado de México, entra por el poniente del Distrito Federal en las delegaciones Cuajimalpa y Alvaro Obregón, y concluye en la trifurcación Cerro del Judío en la delegación Álvaro Obregón.

Su desarrollo es prácticamente paralelo al llamado Ramal Sur del acueducto Lerma, disponiendo de cuatro líneas de derivación que son El Cartero, Santa Lucía, Villa Verdún y El Judío.

Para fines constructivos esta primera etapa se dividió en cuatro tramos que son

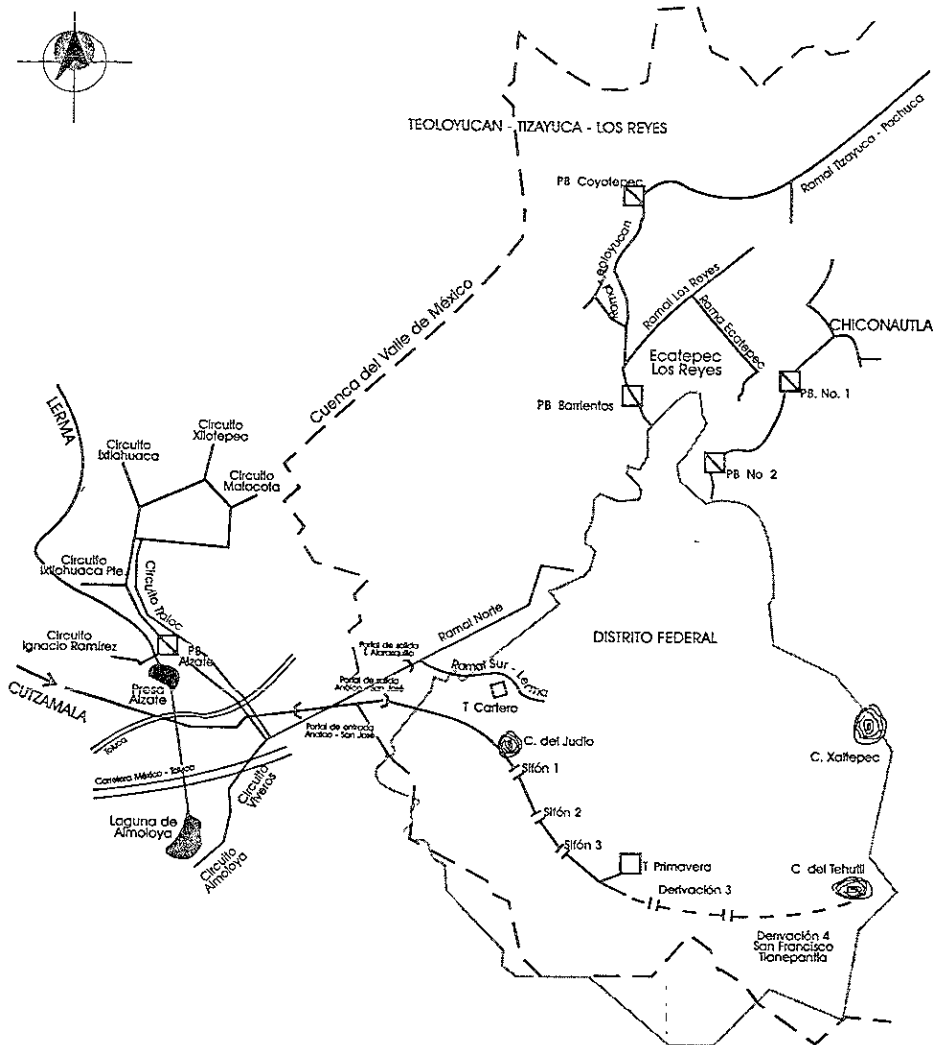
Tramo	longitud (m)
1- San José- El Borracho	1,807
2,- El Borracho- El Cartero	314
3 - El Cartero- Plateros	2,096
4.- Plateros- Cerro del Judío	2,752
total	6,969

Para definir los frentes de ataque de acuerdo al proceso constructivo del túnel se tuvieron que construir dos lumbreras. La cero de 6 m de diámetro y 41 m de profundidad, localizada en Santa Fe, en la delegación Cuajimalpa; la uno de igual diámetro y de 37 m de profundidad que se ubica en San Bartolo Ameyalco en la delegación Alvaro Obregón.

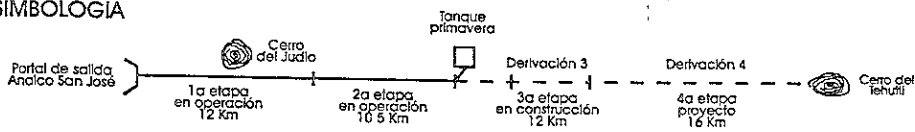
El túnel y las lumbreras fueron excavados con procedimiento convencional, esto es, mediante barrenación y uso de explosivos, utilizando como soporte primario marcos metálicos en forma de herradura y un revestimiento definitivo a base de concreto hidráulico reforzado.

También se construyeron 4 sifones para cruzar las barrancas de San José, El Borracho, Santa Lucía y Plateros. Cada sifón está constituido por líneas de tubería de acero de 2.51 m de diámetro cada una, sumando en su conjunto una longitud de 1,236.00 m. para los cuatro sifones; estructura de trifurcación, medidor de gasto parshall y estructura de transición

Sifón	longitud (m)
1 - San José	350
2 - El Borracho	396
3 - Santa Lucía	380
4.- Plateros	110
total	1,236



**SIMBOLOGIA**



TRAZO DEL ACUEDUCTO PERIMETRAL

(Referencia No. 3)

Adicionalmente se construyeron una serie de tanques de almacenamiento, para distribuir este caudal en diferentes puntos de la ciudad que presentaban deficiencias en el servicio

La primera etapa entró en operación en el año de 1988, beneficiando a 400 mil habitantes de las delegaciones de Cuajimalpa y Alvaro Obregón, con un caudal de 8 m<sup>3</sup>/seg El tiempo invertido en la construcción de esta etapa fue de 5 años aproximadamente, en donde la excavación por método convencional absorbió la mayor parte

#### 2.1.4 - SEGUNDA ETAPA

En el mes de julio de 1987, se inicia la construcción de la segunda etapa, la cual fue concluida en marzo de 1994, constituida por 9,877.0 m de túnel con 4.00 m de diámetro terminado y con una pendiente de 1.0 al millar, diseñado para una capacidad de conducción de 25 m<sup>3</sup>/seg El túnel inicia en el portal Cerro del Judío, en la delegación Magdalena Contreras, llegando al portal Ajusco, de la delegación Tlalpan

Mediante esta segunda etapa, son beneficiadas las delegaciones Magdalena Contreras y Tlalpan.

Para la construcción de la segunda etapa se dividieron los 10.5 km en cuatro tramos y para definir los frentes de ataque de acuerdo al proceso constructivo del túnel se tuvo que construir la lumbrera 2 en la delegación Tlalpan, con 8 m de diámetro y 67 m de profundidad:

Tramos de la segunda etapa:

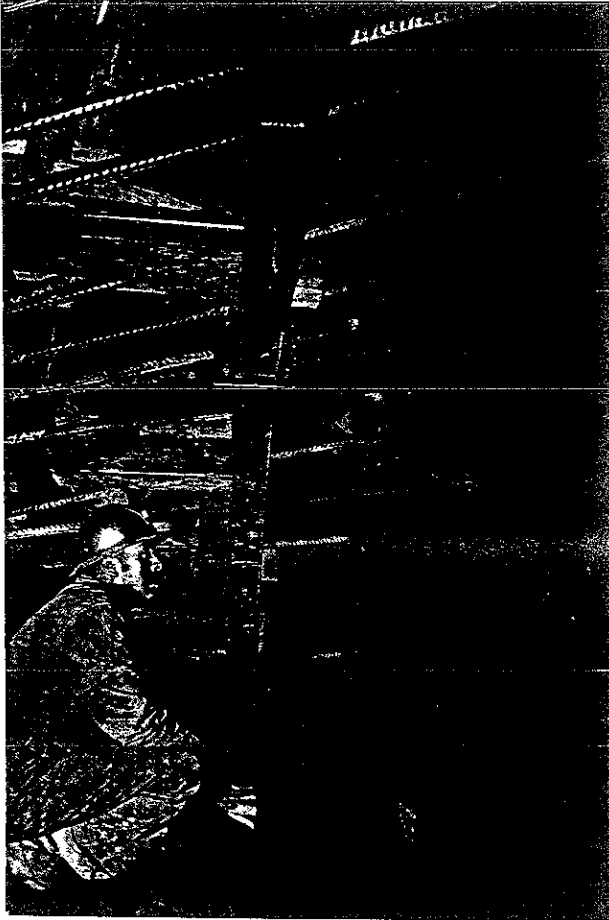
Tramo	longitud (m)
1.- Cerro del Judío- Magdalena	2,939
2 - Magdalena - Providencia	678
3 - Providencia - Lumbrera 2	2,717
4 - Lumbrera 2 - Ajusco	2,582
	<hr/>
total	8,916

Se construyeron 3 sifones:

Sifón	longitud (m)
1.- El Judío	151
2 -Magdalena	582
3 - Providencia	413
	<hr/>
total	1,146

Esta etapa se terminó de construir en marzo de 1994, beneficiando a 800 mil habitantes. El tiempo invertido en esta obra fue de aproximadamente 7 años.

El túnel y la lumbrera fueron excavados con procedimiento convencional, esto es, mediante barrenación y uso de explosivos, utilizando como soporte primario marcos metálicos en forma de herradura y un revestimiento definitivo a base de concreto hidráulico reforzado.



Excavación por el método convencional, utilizando marcos metálicos y anclas como soporte primario

## 215 - TERCERA ETAPA.

A principios de 1995, se inició la construcción de la tercera etapa que tendrá una longitud total de 12 km., inicia en la zona del Ajusto para terminar en la cuarta derivación ubicada en el poblado de San Francisco Tlanepantla, delegación Xochimilco Para su construcción, se utilizó por primera vez con éxito una maquina tunelera (TOPO), que permitió incrementar los rendimientos en la excavación Para ello se realizaron los estudios y proyectos correspondientes, que incluyen la exploración mediante sondeos directos y perfiles geofísicos a través del método de resistividad Además de los estudios de laboratorio y gabinete tales como: petrografía, mecánica de rocas, geohidrología, y análisis y diseño estructural.

Esta etapa fue construida por la empresa COTRISA, empresa constructora que gano el concurso mediante el cual fue licitada la obra por la D.G.C.O.H De igual forma la empresa A.D. CONSTRU-CONSULTA, fue la empresa que ganó el concurso de la supervisión de la obra

La tercera etapa corre con dirección noroeste a sureste de la Delegación política de Tlalpan a Xochimilco, con pendiente de 0.001 en la dirección que aumenta el kilometraje. Esta etapa inicia según el proyecto de modificación de trazo del mismo, en un portal denominado derivación 3A en el Cad 9+751.345 localizado en las cercanías del portal de salida del túnel 4 en la primavera y termina en el acceso de la derivación número 4 en el CAD 21+098.30 en el poblado de San Francisco Tlanepantla en la delegación Xochimilco. El túnel de la derivación 3 inicia en el CAD 0+000 cuyo portal se localiza a un costado del restaurante Hipocampo ubicado a la altura del kilómetro 24.5 de la carretera federal México-Cuernavaca, su longitud considerando la ampliación por la modificación del eje del trazo del túnel 5 es de 1354.42 m, donde se incluyen tres curvas y dos tangentes sensiblemente perpendiculares al túnel principal.

La longitud que se excavo exclusivamente con máquina tunelera fue de 9131.45 m con una sección de excavación circular de diámetro de 3.60 m y con un diámetro terminado de 3.10 m.

De acuerdo con el proyecto, el túnel 5 debió iniciar en el cadenamiento 20+887.706 con la máquina tunelera, sin embargo, las condiciones geomecánica de macizo rocoso no fueron propicias para la excavación mecánica, considerando las características de diseño de la TBM, así la excavación convencional acepción de herradura de 2.12 m de radio se continuo dentro del dominio del túnel 5 hasta el cadenamiento 20+558, aunque las condiciones no fueron del todo propicias, a partir del mes de octubre de 1995, al encontrar cierta mejoría en la calidad geomecánica de la roca se determino continuar la excavación por medios mecánicos.

El túnel 5 y las tres derivaciones se encuentran a profundidades variables que varían de 15 a 300 m y su excavación de acuerdo con el proyecto original se realizaría sobre 5 macizos rocosos bien definidos: macizo rocoso del cantil, macizo rocoso de Topilejo, macizo rocoso de Tlalpuente, macizo rocoso del domo Xicalco y macizo rocoso del Ajusto; estos macizos presentan materiales clasificados como traquiandesíticos, dacíticos, basálticos y escoriáceos La zona esta representada por rocas de origen ígneo extrusivo cuya composición varia de intermedia a básica

La longitud de excavación en el tramo del túnel 5, fue de 9 461.15 metros al concluir la etapa de excavación comunicándose con el túnel de la derivación 3ª el 26 de febrero de 1998, en donde 9 131.449 metros se excavaron con la máquina tunelera, de acuerdo con ello el túnel excavado con medios mecánicos esta limitado por los cadenamientos 20+558 al 11+233.30

El túnel 5 inicia en el cadenamiento 20+887.706, en su etapa inicial se excavó con método convencional hasta el 20+558.00, debido a la mala muy mala calidad geomecánica de la roca que se esta representada

por roca basáltica producto de los derrames lávicos, escoria granular, brechas de bloques y por acumulación de suelos limo - arcillosos atrapados entre coladas. La secuencia del sentido en que excavó la máquina tunelera fue del cadenamiento 21+098 al 9+751 345

La derivación 3-A en su totalidad se excavó sobre el dominio de coladas sucesivas de lavas en cuyos contactos existe variable cantidad y espesor de escoria volcánica de carácter fragmentario sin cohesión entre partículas, habiendo iniciado su excavación el 31 de julio de 1996 en el cadenamiento 10+651 38, para una longitud total de 900.04 m. la litología donde se construyó la totalidad de este frente fue en el dominio de las coladas de lava pertenecientes al volcán Xitle.

En los capítulos siguientes detallaremos sobre los estudios geotécnicos, los procedimientos de excavación y de construcción del túnel 5 de la tercera etapa, motivo de este trabajo de investigación

#### 2.16 - CUARTA ETAPA

La cuarta etapa está contemplada para mediano plazo, es decir que para 1999 inicie su construcción, en un tramo de 16 Km; 9 km en túnel y 7 km. en tubería de 1.82 m de diámetro; iniciará en San Francisco Tlanepantla hasta el cerro de Tehutli en la delegación Milpa Alta. Con esta etapa se proporcionará el servicio de agua potable a la zona oriente y a algunos municipios conurbados del estado de México, partiendo de la derivación del Tehutli con nuevos acueductos, que deberán ser construidos con tuberías, continuando el desarrollo del proyecto hacia el norte del Distrito Federal con un trazo paralelo a los límites del estado de México.

La construcción de este acueducto hacia la zona oriente, permitirá reducir la extracción de agua del acuífero, a medida que se incorporen nuevos caudales del Sistema Cutzamala, beneficiando paralelamente a sus habitantes y los recursos naturales de nuestra ciudad.



## 2.2.- CRITERIOS DE DISEÑO.

En diciembre de 1993, se inicia la construcción de la tercera etapa, misma que esta proyectada para que se concluya en el mes de febrero de 1999 y está constituida por 12,018,0 de túnel con 3.1 m de diámetro terminado y una pendiente de 10 al millar, diseñado para una capacidad de conducción de 200 m<sup>3</sup>/seg

El diseño de un túnel para que resulte satisfactorio, debe cumplir con cuatro requisitos esenciales.

1. Que su frente sea estable durante la construcción
2. Que los movimientos que genera en la masa del suelo que lo alberga, sean reducidos a fin de no ocasionar daños en las construcciones aledañas, ya sean superficiales o profundas.
3. Que su revestimiento sea capaz de resistir durante toda su vida útil los esfuerzos a que será sometido
4. Que su revestimiento sea impermeable, tanto a corto como a largo plazo, para evitar fenómenos de consolidaciones locales.

### 2.2.1 - FACTORES QUE GOBIERNAN EL EQUILIBRIO DEL TÚNEL

El diseño del revestimiento de los túneles, constituye un serio problema dada la gran cantidad de factores de origen geológico, geotécnico y estructural que intervienen en él, los cuales, no todos se identifican ni se definen fácilmente. Las dificultades surgen principalmente del problema de interpretación del comportamiento extremadamente complejo del suelo, por lo que la construcción o perforación de túneles, se considera un arte.

Existen diferentes métodos de diseño, unos sustentados en teorías e hipótesis simplificadoras y denominados analíticos, los observacionales como el nuevo método Austríaco de tuneleo y los empíricos basados en la experiencia obtenida en condiciones similares. De todos los anteriores y de acuerdo con el estado actual del conocimiento, no existe un método que cubra todas las posibles combinaciones, a las que se puede enfrentar un diseñador, el cual debe usar sus conocimientos prácticos para complementar, y corregir cuando es necesario, los resultados de los cálculos

Una vez escogido el método de diseño del túnel, debe analizarse a fondo la influencia del subsuelo puesto que como es sabido, no son constantes en el tiempo.

El diseño del revestimiento de un túnel se retroalimenta con la información de su comportamiento durante la construcción del mismo e inclusive posteriormente a ésta. Con base en lo anterior, resulta evidente la necesidad de instrumentar y monitorear estas estructuras

El equilibrio de un túnel, está gobernado por un considerable número de factores como son

- a) Equilibrio inicial natural o bien estados de esfuerzos originales

En cualquier punto bajo la superficie del terreno, existe un estado inicial de esfuerzos cuya magnitud y distribución, depende principalmente de la profundidad del punto considerado, del peso propio de los materiales que gravitan sobre dicho punto, de los esfuerzos tectónicos existentes en la zona y de las propiedades mecánicas del medio del que forma parte

- b) Propiedades físicas y constitutivas del subsuelo y de su medio ambiente

La concentración de esfuerzos, también está determinada tanto por la resistencia al esfuerzo cortante que ofrecen los materiales como por su permeabilidad, las condiciones frontera entre estratos, contactos o discontinuidades

- c) Las etapas de construcción con respecto al factor tiempo.

Resulta evidente que el estado de esfuerzos se modificará, si de acuerdo al proceso constructivo las etapas de excavación se realizan a sección completa o de manera parcial y más aún, si esta excavación permanece abierta sin soporte alguno. El material que antes ocupaba el hueco, recibía y transmitía las cargas inherentes a la propia masa del material, sin embargo al desaparecer por la excavación, esta función la tiene que realizar el material vecino, originándose la redistribución de esfuerzos.

- d) La geometría y propiedades mecánicas de los componentes del ademe primario y definitivo, así como las condiciones en la interfase.

Si los materiales que constituyen las paredes de la perforación no tienen la resistencia suficiente para soportar la redistribución de esfuerzos, la oquedad tenderá a cerrarse, a menos que se coloquen elementos estructurales en contacto con la masa de suelo que al interactuar con ésta, garanticen la estabilidad del túnel. Los elementos estructurales pueden ser de madera, acero o de concreto reforzado, con infinidad de variantes geométricas, y que evidentemente presentarán diferentes propiedades mecánicas que alteran el estado de esfuerzos

- e) Condiciones de operación en cavidad o túnel terminado.

Las condiciones con que opera la oquedad una vez concluida su construcción, también constituye un factor de modificación del estado de esfuerzos, puesto que la redistribución de las mismas, no será igual si el túnel trabaja con presión interior como los acueductos, que sin ella, como en los túneles de vías terrestre.

A continuación presentamos una serie de cuadros sinópticos, donde se resumen los criterios de diseño.

- En el cuadro 1 aparecen las generalidades sobre el diseño.
- En el cuadro 2 aparece un resumen de los métodos de diseño de túneles
- En el cuadro 3 aparece un resumen de los parámetros que definen la estructura del túnel.
- En el cuadro 4 aparecen los datos de entrada para el diseño del túnel

CUADRO 1.- GENERALIDADES SOBRE EL DISEÑO DEL TÚNEL

EL EQUILIBRIO FINAL DE UN TÚNEL ESTA GOBERNADO PRINCIPALMENTE POR LOS SIGUIENTES FACTORES

- 1. CONDICIONES ORIGINALES DE ESFUERZO
- 2. LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y LEYES CONSTITUTIVAS DEL SUELO DE ALREDEDOR Y DE SU AMBIENTE
- 3. LAS ETAPAS DE CONSTRUCCIÓN CON REFERENCIA AL FACTOR TIEMPO
- 4. LA GEOMETRÍA Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS SOPORTES TEMPORALES Y DEFINITIVOS, Y LAS CONDICIONES EN LA INTERFACE CON EL SUELO
- 5. CONDICIONES DE OPERACIÓN EN EL TÚNEL TERMINADO O CAVIDAD.

PROBLEMAS ANALÍTICOS EN EL DISEÑO DE UN TÚNEL.

- 1. DEFINICIÓN PRECISA DE LAS CONDICIONES ORIGINALES DE ESFUERZOS
- 2. EFECTOS DE JUNTAS Y DISCONTINUIDADES.
- 3. PATRONES DE COMPORTAMIENTO DEL SUELO.
- 4. FALTA DE CONOCIMIENTO PRECISO DE LA SECUENCIA CONSTRUCTIVA O LA FORMA DE INTRODUCIRSE EN LOS MODELOS MATEMÁTICOS.

DEFICIENCIAS RECURRENTE.

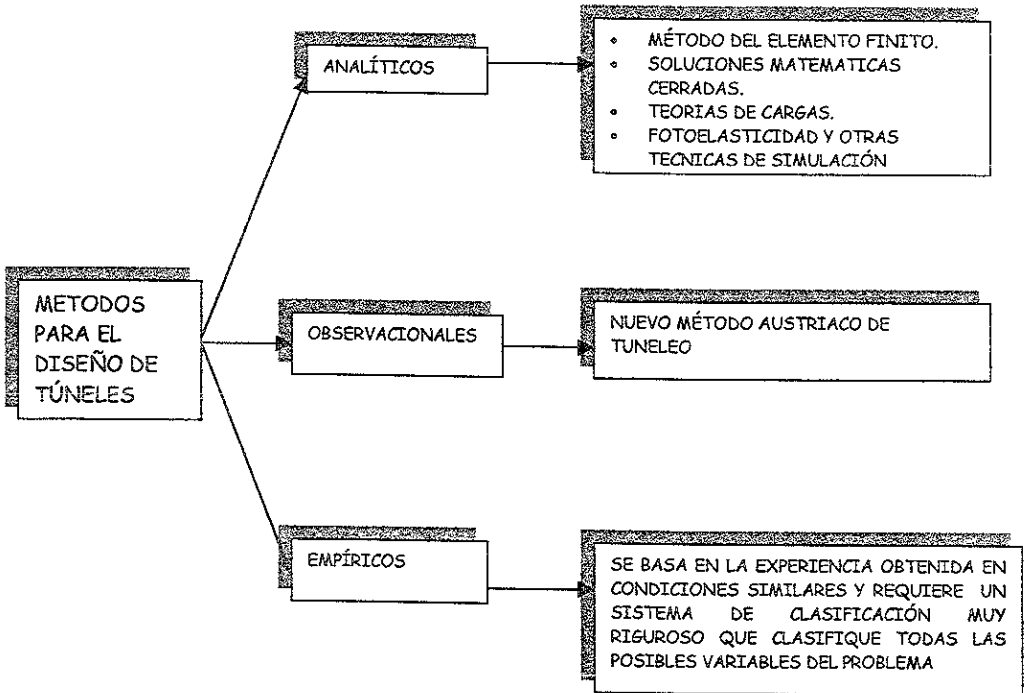
- EN LAS HERRAMIENTAS DE EXPLORACIÓN Y MUESTREO.
- EN LAS DETERMINACIÓN DEL ESTADO DE ESFUERZOS INICIAL.

CASI TODOS LOS MODELOS TOMAN COMO BASE LAS CONDICIONES SIGUIENTES

- ESPACIO BIDIMENSIONAL.
- ISOTROPÍA.
- SE IGNORA EL TIEMPO COMO VARIABLE A CONSIDERAR
- COMPORTAMIENTO LINEAL DEL SUELO Y LAS TEORÍAS QUE APORTA LA MECÁNICA DEL MEDIO CONTINUO COMO LA ELASTICIDAD Y LA PLASTICIDAD.

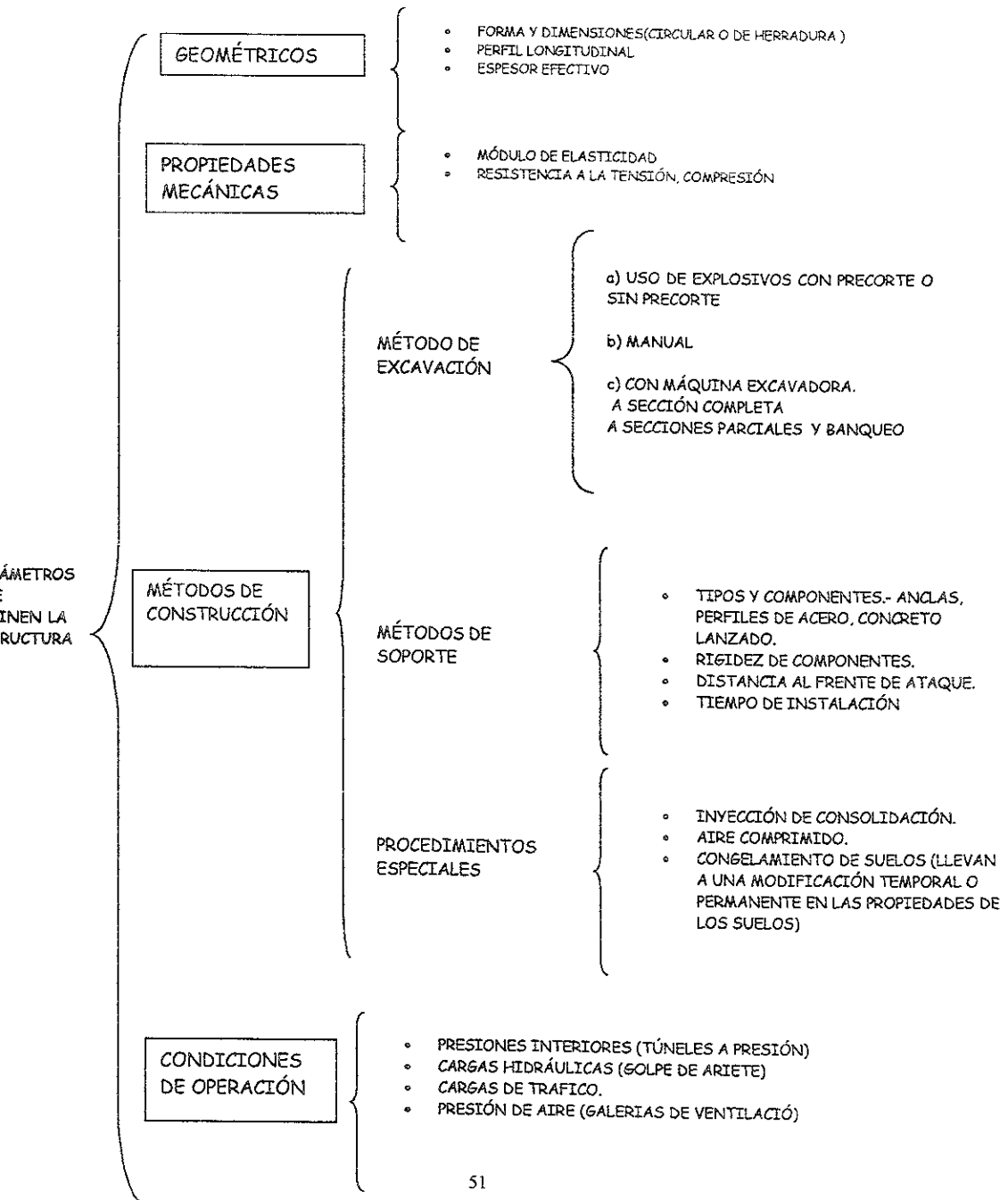
REFERENCIA No.1

CUADRO 2.- MÉTODOS DE DISEÑO DE TÚNELES

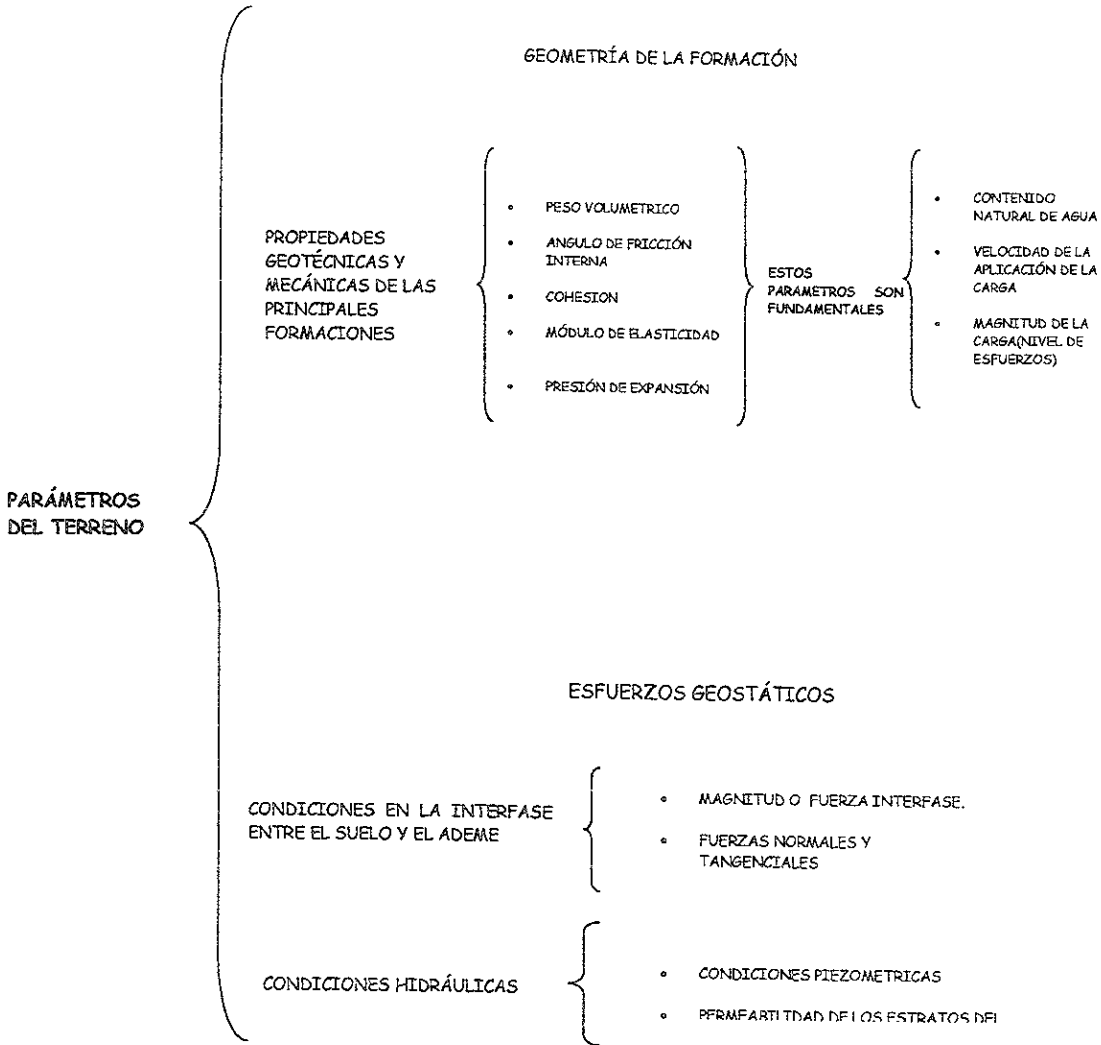


REFERENCIA No.1

CUADRO 3.- PARÁMETROS QUE DEFINEN LA ESTRUCTURA DEL TUNEL



CUADRO 4.- DATOS DE ENTRADA PARA EL DISEÑO DEL TUNEL  
(PARAMETROS DEL TERRENO)



REFERENCIA No.1

## 2.2.2 - ASPECTOS DE GEOTÉCNIA RELACIONADOS CON LOS CRITERIOS DE DISEÑO DEL TÚNEL

En relación a los efectos por el espesor de roca sobre el túnel, en los túneles Blanco y Azotea en el Estado de Nuevo México, perforados con topo a través de lutita, una formación sedimentaria, fue observada una relación directa entre el espesor de la cubierta rocosa sobre el eje vertical del túnel y los siguientes aspectos.

- A) El avance medio logrado por unidad de tiempo
- B) El grado de importancia, en lo que a tiempo de instalación se refiere, asignable al soporte temporal aplicado a los diversos tramos.
- C) El grado de fortificación en la zona del diámetro horizontal.

En los dos túneles citados, resultó que el ritmo de avance en excavación fue inversamente proporcional al espesor de la cubierta de roca, se evidenció especialmente cuando el espesor de roca pasó de 300 m. En el túnel Blanco, su mayor cubierta llegó a los 570 m.

En el túnel Blanco, ocurrió que en aquellos tramos con espesor de roca considerable, hubo caídos y se registraron mas roturas asociadas con despostilladura de roca, en una faja del paramento del túnel, aproximadamente desde 1 metro arriba, hasta 1 metro abajo del diámetro horizontal. En la zona de clave sin embargo, el problema resultó menor, posiblemente debido al efecto de soporte inducido por los pernos de anclaje puestos; los iban instalando atrás de la cabeza de la cortadora, tan pronto como quedaba descubierta la roca.

La experiencia que se obtiene de lo comentado es la conveniencia que puede resultar de instalar un sistema de pernos de anclaje a lo largo de la faja horizontal de más o menos 1 metro, de ambos lados del perímetro horizontal

Cuando en los tramos ya excavados, el comportamiento de la roca indica la necesidad de fortificarla, hay que emprender este trabajo, sin esperar a que la roca empiece a mostrar signos avanzados de inestabilidad.

### 2.2.3 - EL SOPORTE TEMPORAL Y EL REVESTIMIENTO DEFINITIVO

Respecto al diseño estructural, tanto del revestimiento definitivo como el soporte temporal del túnel, cabe indicar que el proyectista puede extraer de los estudios geológicos previos aquellos elementos de juicio que le permitan establecer los criterios particulares de diseño, aproximados y sujetos a revisión y ajuste, a medida que la excavación del túnel avance.

Es de llamar la atención la economía en tiempo y dinero que pueda lograrse, si en la construcción de un túnel es utilizado el soporte de concreto lanzado, reforzado o no, solo o combinado con pernos de anclaje o marcos metálicos, o ambos según proceda. La combinación de estos sistemas, permite la adaptación fácil a las condiciones variables en: competencia de la estructura rocosa y cargas; permite diseños de soporte temporal, evolutivo por etapas hasta el permanente, de ágil adaptación y que puede rendir economías apreciables en tiempo y costo, por que al túnel se le va dando el apoyo que en un cierto momento requiere, y precisamente cuando es más oportuno; apoyo que en varias etapas, puede ir aumentando hasta llegar a la categoría de soporte definitivo

Después de la primera, las etapas de soporte pueden diseñarse y ser programadas, para causar la menor interferencia posible al avance del frente de ataque cualquiera que sea el método de excavar adoptado.

### 2.2.4 - VARIACIÓN DE LOS DIÁMETROS DE EXCAVACIÓN.

Cuando por las condiciones estructurales de las formaciones rocosas, a veces es necesario modificar por tramos los espesores del revestimiento definitivo, pueden aprovecharse la circunstancia de que las excavadoras rotatorias a sección completa, pueden llevar dispositivos para ajustar en diámetro la cabeza giratoria que lleva los cortadores.

Por ejemplo en un túnel comprendido entre 3.00 y 3.23 metros, la cabeza cortadora tenía un juego de 20 cm en su diámetro exterior. Esta posibilidad de poder variar a voluntad el diámetro de excavación, permite al proyectista del túnel dar el espesor del revestimiento definitivo y adecuado a cada tramo de túnel, según los requerimientos de la estructura geológica, cargas, deformaciones y esfuerzos en la roca, llevando una instrumentación para medir esfuerzos y deformaciones en el interior y apreciar la correlación de éstos, con los aspectos geológicos. Con esto puede obtenerse un diseño racional y ciertas economías, durante la construcción del túnel.

### 2.2.5 - AGUA EN EL TÚNEL.

Este aspecto puede afectar fundamentalmente el diseño y la construcción del túnel, los avances, los métodos de construcción y los costos; por lo que necesita investigarse lo mejor posible,



## 2.2.6 - PROYECTO HIDRÁULICO Y GEOMÉTRICO DEL TÚNEL Y OBRAS COMPLEMENTARIAS

Para análisis y diseño hidráulico de las estructuras principales del túnel, se definió el arreglo geométrico, en el que se incluyeron los elementos para su operación, mantenimiento garantizado y la determinación de la capacidad de diseño hidráulico del túnel 5, de 3.10 m de diámetro interior y longitud de 2 km

Si se toma en cuenta el proyecto preliminar del tramo, con pendiente de proyecto de  $s = 0.0010$  a partir de la cota inicial de la plantilla del túnel proporcionada por la DGCOH, elev. 2543.552 m, km 21+098 en el portal extremo, en el km 9+000, se tendrá como cota de plantilla en la salida la elev. 2533.80 m, es decir se tendrá un desnivel de 9.752 m en estas condiciones, se procedió a la revisión hidráulica del túnel, habiéndose encontrado que para una relación de llenado tirante - diámetro de 0.98 y que corresponde al gasto máximo capaz de conducir el acueducto, funciona como canal, este resulta ser de 15.44 m<sup>3</sup>/seg.

Por otra parte, si se intenta incrementar la capacidad hidráulica de conducción del túnel a 20.00 m<sup>3</sup>/seg, se presentan tres posibles soluciones.

- a) La primera opción, sería incrementar el valor de la pendiente del túnel, respetando la misma sección geométrica de 3.20 m de diámetro, hasta tener la capacidad de conducción de 20.00 m<sup>3</sup>/seg. La pendiente resultante es de  $s = 0.0018$ ; es decir se tendría una diferencia en las cotas de plantilla en el tramo de 17.554 m, incrementándose el desnivel aguas abajo en 7.802 m.
- b) La siguiente opción, es aumentar el diámetro del túnel, esto es sin modificar el valor de la pendiente del proyecto, en estas condiciones el diámetro requerido para darle la capacidad de 20.00 m<sup>3</sup>/seg, sería de 3.60 m.
- c) Finalmente otra opción, sería hacer trabajar al túnel como conducto a presión en este tramo, lo cual implicaría que se requeriría una carga piezométrica al inicio del tramo del orden de 6.00 m, lo que afectaría la operación del Acueducto en los tramos de aguas arriba, ya existentes.

La capacidad máxima de conducción del acueducto, en el túnel 5 con la pendiente de proyecto de  $s = 0.0010$  y 3.10 de diámetro, resulta ser de 15.44 m<sup>3</sup>/seg, y se considera que es la adecuada, ya que cualquier otra modificación, ya sea en la pendiente, incrementar la sección del túnel o intentar hacerlo trabajar a presión, implica cambios sustanciales del mismo, ya que además de los aspectos constructivos, se afectarían grandemente las condiciones de operación hidráulica del acueducto, sea aguas arriba del tramo o de aguas abajo.

### 2.3.- BENEFICIOS DEL PROYECTO.

A la fecha se tienen terminados y en operación 22 Km del Acueducto, lo que permite beneficiar a 800 mil habitantes de las colonias Lomas de Padierna, Héroes de Padierna, Pedregal de Chichitcaspatl, San Nicolás Totolapan, Pedregal de San Nicolás, Torres de Padierna y Ejidal del Pedregal en las Delegaciones Magdalena Contreras, Coyoacán, Alvaro Obregón y Tlalpan

Con la puesta en operación de las etapas 1 y 2 del acueducto se mejoró el suministro del agua potable en la zona sur- poniente del Distrito Federal. Una vez que entren en operación las etapas subsecuentes se lograrán beneficios similares para las zonas oriente y sur-oriente de la Ciudad.

Con la conclusión de la tercera etapa del Acueducto Perimetral, se pondrá en operación la tercera derivación con lo que se beneficiará a 200 mil habitantes de los poblados de San Andrés, San Pedro Mártir, San Angel Xicalco y Santo Tomás Ajusco, de la Delegación Tlalpan y la cuarta derivación que beneficiará a los poblados de Topilejo y Párres en Tlalpan, San Francisco Tianepantla, San Andrés Ahuyucan, Santa Cecilia, San Mateo y la cabecera delegacional de Xochimilco

## 2.4. - LOCALIZACIÓN DE LA TERCERA ETAPA DEL ACUEDUCTO PERIMETRAL.

El túnel, de acuerdo al sentido de escurrimiento, inicia en el portal "Ajusco", de la Derivación 3-A, en la delegación Tlalpan, llegando al portal "Derivación número 4" en San Francisco Tlanepantla, delegación Xochimilco, contando con una derivación intermedia, denominada "Derivación 3"

El área del presente proyecto se encuentra ubicada en la parte sur occidental de la Cuenca de Valle de México, en las coordenadas  $19^{\circ}17'$  y  $19^{\circ}13'$  de latitud norte y  $99^{\circ}08'$  y  $99^{\circ}16'$  de longitud oeste. Políticamente se ubica en la delegación de Tlalpan.

Topográficamente se encuentra localizada en la base nordeste de la Sierra de las Cruces, y esta, a su vez, está cubierta por derrames lávicos de la sierra Chichinautzin.

Hacia el oeste suroeste de esta zona, se reconocen varias elevaciones topográficas de forma cónica, que corresponden, a volcanes adventicios de uno mayor, el Ajusco.

Estos volcanes generalmente están compuestos por cenizas, tobas, escoria, brechas y lavas de composición básica a intermedia y son los siguientes: Xitle, Cuatzontle, Maninal, Ololica, Pelado, Oyameyo, Tloca, Tlamaxco, Teuhtitl entre otros. Debido a que aun conservan su apariencia cónica, se deduce que son muy recientes y que geomorfológicamente se encuentran en una etapa de juventud.

Por lo tanto en el área existe la presencia de materiales volcánicos, correspondientes tanto a las fases jóvenes como a la más antiguas del volcanismo de esta zona.

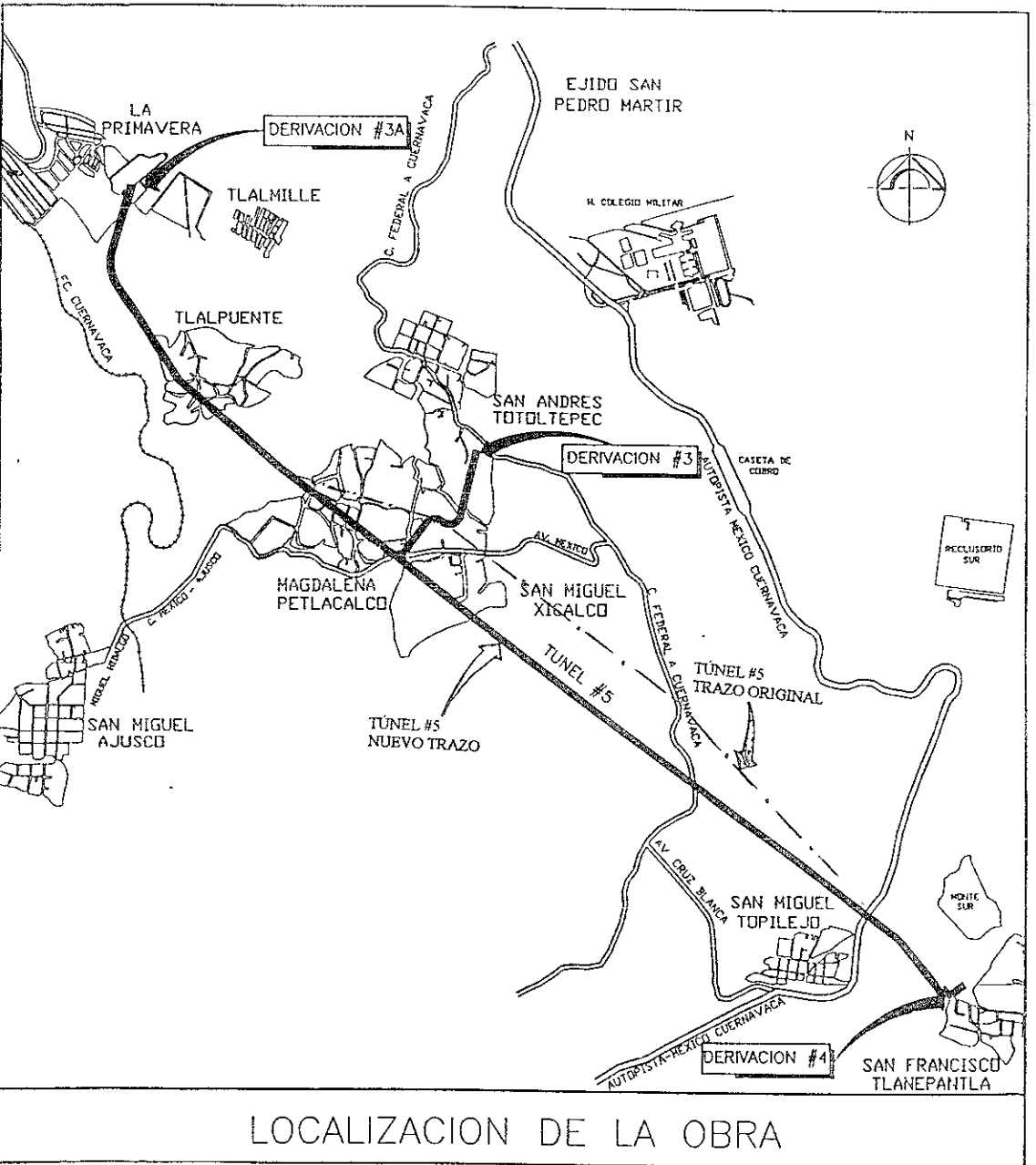
Hidrologicamente se caracteriza esta zona por presentar pequeños escurrimientos intermitentes, paralelos, muy poco desarrollados; cerca de los conos volcánicos, el escurrimiento se vuelve radial.

El paralelismo que presenta el drenaje con una orientación SW, evidentemente está relacionado con el fracturamiento regional que presenta la misma orientación.

Los terrenos por los cuales se desarrolla la tercera etapa son en su totalidad de tipo suburbana.

### 2.4.1.- CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL SITIO.

Para la realización del proyecto correspondiente a la tercera etapa del Acueducto Perimetral se continuó con el criterio marcado inicialmente desde la primera, se tuvo como punto de partida el poniente de la ciudad de México, esto con la finalidad de lograr una mejor distribución de caudales, en las zonas más alejadas, como es el oriente de la ciudad.



## LOCALIZACION DE LA OBRA

(Referencia No. 2)

## 2.5.- DEFINICIÓN DE TÚNEL COMO ESTRUCTURA DE CONDUCCIÓN DE AGUA.

El hombre ha aprovechado los espacios subterráneos como una solución para conducir agua, para la explotación minera, para almacenamiento de líquidos y otros materiales, para diferentes vialidades terrestres, para desarrollos urbanos y para instalaciones de servicios de comunicación entre otros

El grado de utilización de estos medios en mínimo, a pesar de que este tipo de obras subterráneas tienen orígenes muy antiguos. En la actualidad las obras hidráulicas, así como los ferrocarriles han encontrado en los túneles artificiales una solución aceptable para sus proyectos. En la actualidad en México se tienen grandes obras subterráneas como: El Sistema Metropolitano de Transporte, el Drenaje Profundo, el Drenaje Semiprofundo, carreteras, proyectos hidroeléctricos e hidráulicos, los cuales han aprovechado las obras subterráneas como una alternativa eficaz y eficiente

Los túneles que conducen el agua potable o las aguas negras tienen características en común, las principales características que debe tener el túnel son: que sea liso e impermeable.

Su importancia varía, las diferencias entre túneles que conducen agua a tubo lleno, o a presión como en la alimentación de turbinas o en un acueducto que pase por el fondo de un valle; y aquellos que actúan solo como canales.

La importancia de un revestimiento liso depende de la velocidad y de la longitud del túnel, para maximizar el flujo o para hacer mínima la pérdida de carga hidrostática en el aprovechamiento de la energía eléctrica

La impermeabilidad depende en parte de la presión interna o externa. Los túneles de alta presión deben estar extremadamente bien sellados para evitar las pérdidas de agua que generan erosión. Los abastecimientos de agua potable deben protegerse contra la contaminación por infiltraciones cuando corren a baja presión.

Requerimiento general para los túneles que transportan agua es que tengan medios de acceso para la inspección, mantenimiento y reparación, tomando en cuenta las necesidades futuras.

El abastecimiento de agua potable a las ciudades por acueductos es una necesidad que se remota a tiempos antiguos y que demanda a menudo la construcción de túneles

Los acueductos que llevan agua de una presa hasta la ciudad pueden estar contruidos por tuberías aéreas o que corran sobre la superficie o en una zanja, pero los túneles son necesarios cuando es preciso cruzar crestas o sea económicamente ventajoso, donde existen numerosas obstrucciones y se dispone de una ruta conveniente. Por lo general, el agua no está a alta presión en dichos túneles y pueden fluir hasta parcialmente llenos.

Los principales requerimientos que deben cumplir los acueductos son: gradiente hidráulico descendente de extremo a extremo de acuerdo con el volumen y la velocidad del agua requeridos, perforación lisa y sin obstrucciones, y revestimiento impermeable.

La formula de Manning:

$$v = k R^{2/3} S^{1/2}$$

Combina:

La velocidad del agua	(v)
La rugosidad del túnel	(k)
El radio hidráulico medio	(R)
El gradiente hidráulico	(S)

Es el factor de rugosidad que varía desde un valor de 100 para un túnel de grandes dimensiones con paredes excepcionalmente lisas, hasta un valor extremadamente bajo de 25 para un túnel sin revestimiento perforado en roca. Para un túnel revestido de concreto tendrá un valor promedio aproximadamente de 80. Con dichas cifras se podrá determinar el valor para un revestimiento liso que ajuste a condiciones especiales.

En el túnel de conducción de agua que no trabaje a tubo lleno, podría tomarse otro tipo de acabado mas económico en la parte superior que quedará libre de la acción del agua. Las pérdidas de agua acumuladas en un acueducto de gran longitud es excesiva y es necesario aplicar altas normas de calidad. La contaminación por infiltración es menos probable, pero se debe prevenir

Se determinan las dimensiones de los túneles para conducir el volumen necesario, utilizando el gradiente disponible, y se especifican los tipos de revestimientos para que se cumplan tres funciones principales:

1. Cualquier soporte necesario del suelo excavado.
2. Que sea una perforación adecuadamente lisa.
3. Impermeabilidad en ambas direcciones.

Existe un diámetro práctico mínimo de aproximadamente 2 m para túneles que no sean los frentes mas cortos, el tamaño del túnel será a veces mayor de lo necesario. Es fundamental el control mediante tubos de alimentación y las instalaciones para la inspección y mantenimiento; tal vez sea necesario incluir pozos de alivio. Es probable que los gastos sean mucho más uniformes en el abastecimiento urbano que en los túneles hidroeléctricos o de sistemas de riego.

## REFERENCIAS Y OBRAS CONSULTADAS

- 1.- Apuntes del curso internacional de construcción de túneles de la D.G.C.O.H
- 2.- Reporte del túnel 5 del Acuaférico de la ciudad de México. D.G.C.O.H. 1998
- 3.- Revista Hidráulica Urbana. D.G.C.O.H. Revista trimestral. México D.F número 2 julio 1997
- 4.- Linares Sánchez Antonio. Túneles y obras subterráneas. Barcelona España Editores Técnicos Asociados. S A , 1977
- 5.- T. M. Megan y J. V. Bartlett Túneles, planeación, diseño y ejecución. México D.F. Editorial Limusa.

## CAPÍTULO 3

### ASPECTOS GEOTÉCNICOS DEL TRAMO AJUSCO - SAN FRANCISCO TLANEPANTLA DE LA TERCERA ETAPA DEL ACUEDUCTO PERIMETRAL

## CAPITULO 3. ASPECTOS GEOTÉCNICOS DEL TRAMO AJUSCO - SAN FRANCISCO TLANEPANTLA DE LA TERCERA ETAPA DEL ACUEDUCTO PERIMETRAL.

El objetivo de este capítulo es establecer y dar a conocer las condiciones geológicas, geotécnicas, los aspectos estratigráficos de la zona en que se construye la tercera etapa del acueducto y los métodos de análisis para determinar el tipo de estructura de soporte del túnel de conducción de esta obra. Para el desarrollo de éste capítulo se consultó La memoria de las obras del sistema de drenaje profundo del Distrito Federal Tomo I, el libro *Geología para Ingenieros* de Robert Legget, el proyecto del túnel 5 del Acuaferico y los apuntes del curso internacional de construcción de túneles de la D.G.C.O.H., además de los registros de campo obtenidos durante la ejecución de la obra.

### 3.1 GEOLOGÍA DE LA ZONA.

El conocimiento de las características mecánicas de las rocas y de los suelos *in situ*, así como de su comportamiento, constituye actualmente una necesidad ineludible para el Ingeniero proyectista, a fin de poder dar los valores adecuados para cada obra de Ingeniería Civil que se construye sobre dichos elementos. En el área de Ingeniería Civil el estudio del suelo es una actividad inherente, por ello es fundamental que el conocimiento que se tenga acerca de éste y de los factores que interactúan sobre el mismo sean cada vez más claros y precisos. Haciendo un breve examen del suelo, revela que se compone de materiales formados por partículas minerales que pueden estar sueltas, unidas o fuertemente unidas, mejor conocidos como suelos y rocas respectivamente, en ocasiones unidos o separados. Las ramas de la ciencia que estudian estos materiales se llaman Mecánica de Suelos y Mecánica de Rocas, estas han centrado sus esfuerzos en el estudio principalmente de la resistencia mecánica del material, propiedades índice y otras características; sin embargo, existe también la necesidad de entender el tipo y la estructura de dichos materiales, por lo cual es indispensable conocer los procesos geológicos básicos.

Ante esto se crea la *Geotecnia*, en la que se aplica la Mecánica de Suelos, la Mecánica de Rocas y la Geología. En general estudia las rocas y los suelos que guardan relación con los procesos geológicos, analizándose especialmente las propiedades asociadas a su comportamiento, por un lado bajo presión mecánica y por otro ante las acciones químicas y del intemperismo, que actúan en la superficie terrestre, las cuales producen la desintegración de la roca sólida y la convierten en suelo. Además se puede predecir el comportamiento del suelo cuando se construye sobre éste.

#### 3.1.1.- GENERALIDADES DE GEOLOGÍA

##### 3.1.1.1.- PROCESOS DE FORMACIÓN DE LAS ROCAS

La Geología aporta los conocimientos necesarios sobre la formación de las rocas que constituyen la corteza terrestre, y determina que tres procesos distintos intervienen en la formación de estas, a partir del conjunto de los minerales que las forman, reunidos en diferentes proporciones. Se les conoce como procesos de formación: ígnea, sedimentaria y metamórfica. En este trabajo abundaremos en las rocas ígneas debido a que la obra del Acuaferico fue construida casi en su totalidad en este tipo.

##### 3.1.1.2.- ROCAS SEDIMENTARIAS

Las rocas sedimentarias se forman bajo el agua, en mares, lagos y en depósitos de arena y polvo transportados por el viento. Cuando se forman bajo el agua, estos sedimentos tienen cantidades variables



de dos componentes: 1) Detritus, el producto de erosión transportado al mar por los ríos, se compone principalmente de cuarzo, arcilla, mica y fragmentos de roca; 2) Minerales precipitados a partir de soluciones en el agua, carbonatos de calcio y magnesio, sulfuros y óxidos e hidróxidos de hierro y sílice en forma de cuarzo.

Los sedimentos se depositan hundiéndose lentamente en cuencas sedimentarias, que son áreas de aguas someras de la superficie terrestre. También se acumulan en las zonas más profundas del océano y en las cuencas adyacentes a algunas partes de los continentes. Por regla general, el material de grano más grueso se acumula en zonas cercanas a tierra y, el grano más fino, más hacia el interior del mar. El agua salada de los estuarios provoca la floculación de la arcilla suspendida en aguas fluviales y se deposita como lodo en los depósitos de estuario. Las rocas sedimentarias detríticas comunes incluyen capas de arcilla, lodo, arena y grava que cuando se convierten en rocas duras, después de rellenar los espacios vacíos con material cementante, forman lutitas, limolitas, areniscas y conglomerados, respectivamente.

### 3.1.1.3.- ROCAS METAMÓRFICAS.

El término metamorfismo se restringe a los cambios en la textura y composición que sufren las rocas sólidas.

Las rocas metamórficas se forman a partir de otras clases de roca por la acción del calor y la presión, por separado o actuando en forma simultánea. La composición química de la roca no se altera durante el proceso de metamorfismo, pero los elementos se vuelven a combinar de manera distinta para formar nuevos minerales y, a menudo, al aplicar presiones muy altas a la roca, ésta reduce su volumen.

### 3.1.1.4.- ROCAS ÍGNEAS

Las rocas ígneas se forman por la cristalización o enfriamiento del material fundido de silicatos en la corteza o bien en la superficie terrestre, arrojado allí por una erupción volcánica. El nombre corresponde a la palabra latina fuego, debido a que los volcanes activos parecen arder, aunque este efecto se debe a rocas incandescentes a temperaturas de aproximadamente 2000 °C y no por la combustión. Esta roca fundida se conoce como magma; se forma en el interior de la corteza y en el manto superior por los mismos procesos que causan el levantamiento de la corteza y la formación de cadenas montañosas. La roca fundida puede penetrar a regiones donde se están formando montañas y, al enfriarse y cristalizarse, construir su basamento de roca ígnea sólida. Este proceso genera la formación de grandes masas de roca ígnea de cientos de kilómetros de longitud.

Por su composición mineralógica las rocas ígneas se dividen en:

- Básicas (oscuras) Fe, Mg
- Intermedias.
- Ácidas (claras) SiO<sub>2</sub>, Al, K, Na

Por la velocidad de cristalización de los minerales que las conforman las rocas se dividen en :

ROCAS ÍGNEAS	{	EXTRUSIVAS (enfriamiento rápido, grano fino)
		INTERMEDIAS
		INTRUSIVAS (enfriamiento lento, grano grueso)

## 3.1.1.4.1 - TEXTURA DE LAS ROCAS ÍGNEAS

1. Textura piroclástica. se caracteriza por contener granos o minerales de diferentes tamaños, esto varía desde unas micras hasta los tres o cuatro milímetros de diámetro. Tobas, lapillis, cenizas volcánicas
2. Textura vítrea. se caracteriza por presentar una apariencia de vidrio. Obsidiana, perlita, piedra pez
3. Textura afanítica: presenta granos o minerales tan pequeños que no se pueden identificar a simple vista, o bien con la ayuda de una lente de mano, como el basalto, las andesitas y las riolitas
4. Textura fanerítica o granular: con granos o minerales que pueden ser observables e identificados a simple vista o con una lente de mano. Por lo general los granos o minerales presentan un mismo tamaño (equigranulares): Granitos, granodioritas.
5. Textura porfirítica: mezcla de la textura afanítica y de la fanerítica, es decir, se presentan granos grandes en una matriz de cristales pequeños, como los pórfidos.

## 3.1.1.4.2.- EJEMPLOS DE ROCAS ÍGNEAS

**GRANITO.-** Es una roca ígnea intrusiva ácida de grano grueso compuesta por: cuarzo (10 a 25%), feldespato potásico (60 a 80%), mica (2 a 5%) Los feldespatos son principalmente del tipo Na-K, ortoclasa y perita pero por lo general hay cierta cantidad de plagioclasa, el feldespato de Na-Ca.

**DIORITA.-** Es una roca ígnea intrusiva intermedia de grano grueso, compuesta principalmente de feldespato Na-K y plagioclasa, así como hornblenda, que es un mineral ferromagnésico de color verde. El contenido de cuarzo puede alcanzar hasta 10%. Es un tipo de roca de transición entre el granito y el gabro; se convierte a dolerita cuando tiene mayor cantidad de calcio, Mg o Fe, también se le encuentra augita. Cuando contiene mayor cantidad de Na, K y SiO<sub>2</sub> la roca varía de granodiorita a granito.

**ANDESITA.-** Tiene la misma composición química que la diorita, pero es extrusiva de grano fino y puede contener algunos cristales nítidos y rectangulares de plagioclasa de más de 3 mm de largo.

**OBSIDIANA Y RETINITA.-** Son rocas ígneas vítrea, solidificadas inmediatamente después de una erupción. Ambas son parecidas al vidrio, de color oscuro u opaco, muy duras y quebradizas.

**GABRO, DOLERITA Y BASALTO-** Estas rocas pertenecen al grupo denominado básico, por el alto contenido de magnesio, calcio o sodio en su composición química, en comparación con las rocas ígneas ácidas. Dichas rocas tienen mayor cantidad de hierro que las ácidas y es este elemento contenido en los minerales silicatados denominados ferromagnésicos, el que da el color rojizo a las rocas. Aproximadamente la composición mineral está constituida por los ferromagnésicos, olivino, piroxeno (augita) y hornblenda; otra parte es el feldespato plagioclasa; el feldespato de Na-K puede estar presente, y el cuarzo si no hay olivino en la roca. Los óxidos de hierro y titanio, por lo común, son componentes secundarios, se encuentran en un porcentaje del 2 al 3%. De esto se desprende que hay muchas variedades: gabro de olivino, dolerita de olivino, dolerita de cuarzo, etc. Estas rocas son duras y difíciles de excavar, requieren del uso de dinamita (explosivos).

**TOBAS.-** Son rocas piroclásticas compuestas por partículas sólidas o fragmentos que han sido lanzados al aire a diferencia de las que permanecieron como masa líquida hasta cristalizar

### 3.1.1.5.- ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS

El término estructura geológica se emplea para describir las masas rocosas considerando las tres dimensiones.

La corteza terrestre está constituida por una gran diversidad de estructuras geológicas, las cuales varían desde estructuras de grandes dimensiones como, por ejemplo, una placa continental o una cuenca oceánica, hasta elementos pequeños como un plano de estratificación en un fragmento de roca que pueda sostenerse en la mano. Las estructuras principales están compuestas por un conjunto de otras pequeñas, las cuales han sido formadas por los procesos de sedimentación, intrusión magmática, así como el ascenso y descenso del nivel de la superficie terrestre en diferentes lugares. Las estructuras pueden tener límites bien definidos entre sí o pueden pasar gradualmente de un tipo a otro.

### 3.1.1.6.- ESTRUCTURAS DE LAS ROCAS IGNEAS .

Las intrusiones ígneas constituyen otro grupo de las estructuras de rocas con dimensiones que varían desde cientos de kilómetros hasta centímetros, desde batolitos hasta pequeñas vetas en otras rocas. Las masas muy grandes se llaman batolitos o plutones, formados en los núcleos de cadenas montañosas y que ahora son visibles porque la erosión los dejó al descubierto. Las intrusiones menores que derivan de los batolitos se denominan stocks o cúpulas; son extensiones sobre la masa principal del batolito.

Las rocas ígneas que ocupan posiciones verticales se llaman diques: son como muros. Sus dimensiones también son muy variadas, hasta varios kilómetros de longitud y decenas de metros de ancho. Los diques se han formado por la intrusión de magma en grandes fracturas de la corteza terrestre. Los diquestratos son estructuras predominantemente horizontales, pero hay un ángulo definido, bajo el cual un dique se convierte en diquestrato. El ángulo de cambio se puede considerar de 45° con respecto a la horizontal. El basalto forma también montes amplios que cubren inmensas extensiones planas de cientos de kilómetros cuadrados. La importancia de estas estructuras para el ingeniero geotécnico radica en la posibilidad de que haya cambios repentinos en las propiedades de las rocas. Las rocas ígneas son generalmente muy duras y resistentes debido a que no tienen planos de estratificación como las sedimentarias, las cuales, a menudo, se rompen con facilidad a lo largo de estos planos de debilidad o de la superficie de diaclasas regulares.

### 3.1.2.- UBICACIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO.

El área del presente proyecto se encuentra ubicada en la parte sur occidental de la cuenca del Valle de México, en las coordenadas 19° 17' y 19° 13' de la latitud norte, y 99° 08' y 99° 16' de longitud oeste. Políticamente se ubica en la delegación Tlalpan. Topográficamente se encuentra localizada en la parte noreste de la Sierra de Las Cruces, y ésta a su vez, está cubierta por los derrames lávicos de la Sierra Chichinautzin. Hacia el oeste- sudoeste de esta zona se aprecia varias elevaciones topográficas de forma cónica que corresponden a volcanes adventicios de uno mayor, el Ajusco.

Estos volcanes generalmente están compuestos por cenizas, tobas, escoria, brecha y lavas de composición básica a intermedia y son los siguientes: Xitle, Cuatzontle, Maninal, Ololica, Pelado, Oyameyo, Tloca, Tlamaxco y el Teuhtli entre otros. Debido a que aún conservan su apariencia cónica, se deduce que son muy recientes y que geomorfológicamente se encuentran en una etapa de juventud.

Por lo tanto, en el área existe la presencia de materiales volcánicos, correspondientes tanto a las fases jóvenes como a la más antigua del vulcanismo de esta zona. Hidrológicamente se caracteriza esta zona por presentar pequeños escurrimientos intermitentes, paralelos, muy poco desarrollados; cerca de los conos volcánicos, el escurrimiento se vuelve radial. El paralelismo que presenta el drenaje con una misma orientación SW, evidentemente está relacionado con el fracturamiento regional que presenta la misma orientación.

### 3.1.3 - GEOLOGÍA REGIONAL.

México se caracteriza por presentar una gran variedad de provincias geológicas, que varían en tiempo desde el Precámbrico hasta el Reciente, como producto de una intensa actividad geológica no del todo conocida. Existe un consenso casi general en dividirla en quince provincias. El área de estudio de este proyecto está en la provincia denominada Eje Neovolcánico, la cual corta a la República Mexicana en dirección este-oeste. El eje se inicia al oeste en el Océano Pacífico y termina al este, junto al Golfo de México.

### 3.1.4.- GEOLOGÍA HISTÓRICA DEL EJE NEOVOLCÁNICO.

La historia del Eje Neovolcánico ha sido conformada por varios eventos volcánicos, de los cuales es posible diferenciar tres principales que se encuentran estrechamente relacionados con las etapas de la deriva de la Placa Norteamericana (constituida por la parte norte del continente americano, Canadá, E.U y parte de México).

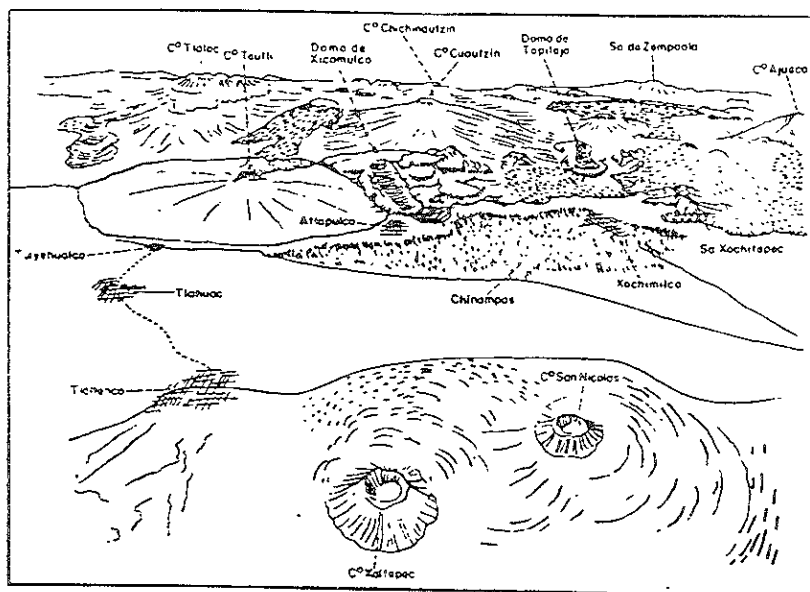
- a) El primer gran evento volcánico registrado durante los periodos Jurásico-Cretácico (192.5 a 66 m.a.) consistió en un volcanismo de tipo "arco volcánico-marginal". Este arco fue resultado de la subducción del Paleo-Pacífico bajo la placa Norteamericana. El arco volcánico generado ha sido denominado Arco Alisitos-Teololoapan.
- b) El segundo gran evento volcánico ocurrió durante el Oligo-Mioceno (37.5 a 7 millones de años), y esta relacionado con la subducción de la placa oceánica de Farallón bajo la Placa Continental Norteamericana. Esta colisión de placas contribuyó directamente a la formación de la Sierra Madre Occidental y del Eje Neovolcánico.
- c) Finalmente se reconoce un periodo volcánico Plio-Cuaternario (7 a 1.8 millones de años) más complejo, constituido por basaltos toleíticos y calcoalcalinos. En este periodo ocurren tres eventos geológicos importantes: 1) la formación del Golfo de California; 2) el volcanismo alcalino-toleítico de la planicie costera del Golfo de México y 3) la formación de la cubierta del Eje Neovolcánico. Asociados a la subducción de la placa oceánica de Cocos bajo la placa continental Norteamericana.

### 3.1.5.- EJE NEOVOLCÁNICO.

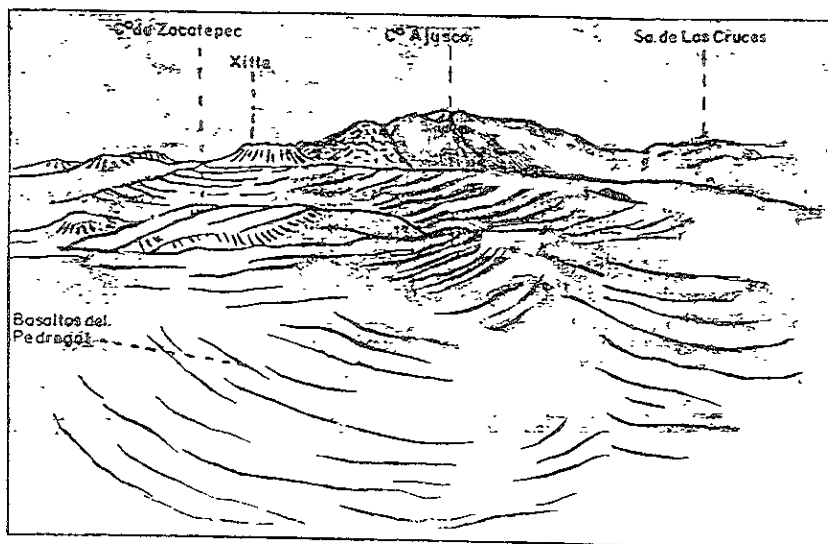
La provincia del Eje Neovolcánico constituye uno de los elementos más característicos de la tectónica de México. Se extiende en la parte central del país, desde el Océano Pacífico hasta el Atlántico, por más de 1000 Km., con una orientación este-oeste y una anchura variable entre 50 y 150 Km. Esta provincia como unidad orográfica es una de las más espectaculares del territorio nacional, debido a las grandes elevaciones que presenta, como son 105 volcanes: entre ellos el Ceboruco y el Colima en el poniente, el Citlaltépetl al oriente y el Popocatepetl, Iztaccihuatl y Nevado de Toluca en el centro del país. Debe señalarse que el carácter mineralógico de las rocas de esta provincia es muy heterogéneo, ya que se encuentran rocas riolíticas, andesíticas y basálticas, en este orden de antigüedad.

### 3.1.6.- TECTÓNICA.

El tectonismo a lo largo de esta provincia es intenso y extenso, está caracterizado por familias de fracturas con patrones de orientación bien definidos. El fallamiento normal tiene una orientación preferencial NW-SE, mientras que las fallas transcurrentes tienen dirección NE-SW. A través de ambos patrones de fallas ascendieron los magmas provenientes de la parte superior del manto y contribuyeron al desarrollo de un gran número de pequeños volcanes (en Michoacán y Sierra Chichinautzin) y de grandes estrato-volcanes (Iztaccihuatl, Popocatepetl, Pico de Orizaba) a lo largo del Eje Neovolcánico.



Vista de la Sierra de Santa Catarina, la zona de Xochimilco y la Sierra Chichinautzin.  
(Referencia No.1)



Vista del Pedregal de San Angel desde Ciudad Universitaria (Referencia No 1)

### 3.1.7 - CUENCA DEL VALLE DE MÉXICO

La Cuenca del Valle de México se encuentra localizada en la parte central del Eje Neovolcánico, entre los meridianos 98°15' y 99°30' y los paralelos 19°00' y 20°15'.

Tiene un contorno irregular, es alargada de norte a sur con amplia extensión hacia el noreste. En su mayor eje, desde Xochimilco al suroeste, hasta las regiones semiáridas de Pachuca al norte mide unos 100 Km.; en su eje menor, desde la Sierra de las Cruces en el oeste, hasta las cimas nevadas del Iztaccihuatl en el este, mide unos 80 Km. La Cuenca del Valle de México tiene un área de aproximadamente 9600 Km<sup>2</sup>. Debe su formación a una serie de procesos volcánicos y tectónicos que se han desarrollado durante los últimos 50 m.a, relacionados principalmente con la formación del Eje Neovolcánico.

Las erupciones volcánicas en distintas fases han provocado grandes y extensas acumulaciones de lavas, tobas, escorias y brechas de composición heterogénea

### 3.1.8.- EVOLUCIÓN GEOLÓGICA DE LA CUENCA DEL VALLE DE MÉXICO.

La actividad volcánica que formó la Cuenca del Valle se encuentra determinada por la del Eje Neovolcánico como se mencionó con anterioridad. El vulcanismo para esta zona se ha dividido en siete etapas o fases de las cuales se hará una breve descripción

La primera y segunda etapas, están estrechamente relacionadas con la formación de la Sierra Madre Occidental durante el Oligoceno (36.6 a 23.7 millones de años). Presentan una serie de lavas de composición intermedia y ácida, junto con ignimbritas, tobas y algunos depósitos fluviales. Esta serie se encuentra intensamente fracturada en forma de fosas y pilares.

La tercera tuvo lugar en el Oligoceno Superior (30 a 23.7 millones de años) y Mioceno (23.7 a 5.3 m.a.). En esta etapa se forma la base de las sierras mayores (Púlpero del Diablo, Mirador y Sierra de Xochitepec), además de las elevaciones andesíticas del Peñón de los Baños, Cerro del Tigre, Islotes de Cuatpec, Cerro de Chapultepec, entre otros. En esta fase se inicia la formación del Eje Neovolcánico y desde esta época se edificaron los domos y volcanes que son la base de la sierra Chichinautzin.

La cuarta fase se desarrolló en el Mioceno (23.7 a 5.3 m.a.). En ella, se forma la Sierra de Guadalupe, con lavas intermedias y ácidas, así como las sierras menores (S. de Tepozotlán, S. de las Pitahallas, S. El Petlachinque y el Tepozan). Estas rocas presentan menos tectonismo y los aparatos volcánicos aún conservan sus formas cónicas, aunque erosionadas. En esta fase se formaron los grandes domos dacíticos, como son el Cerro Tenango y Chiquihuite al sur de la Sierra de Guadalupe.

La quinta fase (Mioceno Superior-Plioceno, 5.3 a 1.2 m.a.) se formaron las sierras mayores (Sierra de las Cruces, Sierra de Río Frío y la Sierra Nevada) fijando los límites poniente y oriente de la Cuenca. Estas sierras fueron producto de efusiones andesíticas y dacíticas, emitidas a través de estrato volcanes en el Plioceno (5.3 a 1.6 m.a.) y perdura su actividad hasta el Pleistoceno (0.01 m.a.).

La sexta y séptima fases son continuación del vulcanismo del Terciario Superior (23.7 a 1.6 m.a.). A ellas corresponden las andesitas basálticas que forman los Cerros de Chimalhuacán, La Estrella, Los Pinos y Peñón del Marques en el sur de la Cuenca. Al norte los cerros de Chiconautla y Gordo y la gran cantidad de erupciones Tizayuca y Apan, Hgo.

La séptima fase se presentó en el Terciario Superior y el Cuaternario, es principalmente de composición andesítica - basáltica que culminó con la construcción de la gran Sierra del Chichinautzin durante el Cuaternario superior (0.01 m.a.). Además, sobre la Sierra Nevada se formaron los conos y domos del Iztaccihuatl y la parte superior del gran cono del activo Popocatepetl.



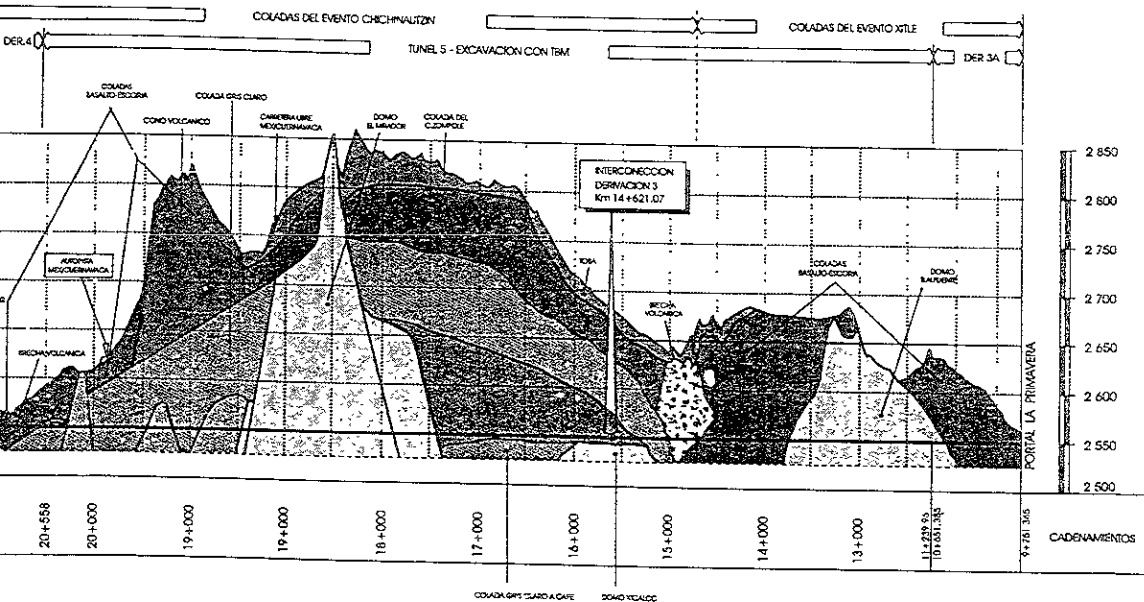




3.2 ESTRATIGRAFÍA DE LA ZONA DE LA OBRA.

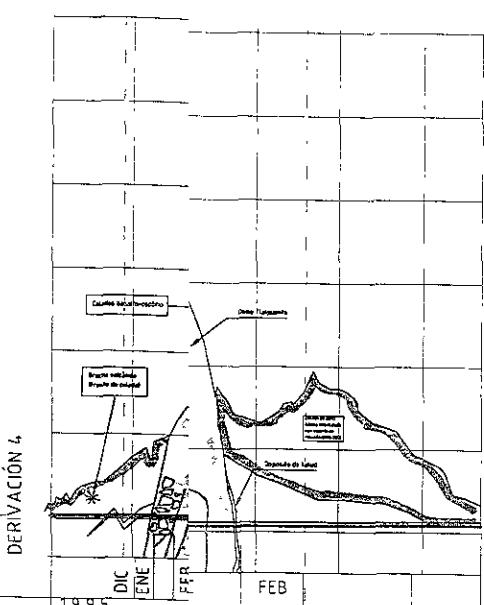
Existen dos perfiles estratigráficos.

1. El obtenido como resultado de la recuperación de barrenos y los estudios geofísicos sobre el trazo original del túnel 5, el cual sirvió de base para determinar mediante correlaciones la estratigrafía que atravesaría la obra civil
2. El perfil estratigráfico del túnel 5 obtenido del registro metro a metro y a partir de la excavación realizada y que se complementó con los datos estratigráficos previos.



Perfil geológico No. 1, resultado de la exploración y los estudio geotécnicos antes de iniciar la excavación. (Referencia No. 2)

ELEVACIÓN (Metros)



ELEVACIÓN (Metros)

CADENAMIENTOS

DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA

LONGITUD (m)

CALIDAD GEOMECAÁNICA DE LA ROCA

LONGITUD (m)

SOPORTE PRIMARIO (marcos)

SECCIONES DE INSTRUMENTACIÓN

C = CONVERGENCIA  
D = DIVERGENCIA

1995  
21+098  
21+000  
20+558  
20+382.42  
20+233.36  
DIC  
ENE  
FEB

Colada fracturada  
Bloques con cenizas  
Colada muy fracturada  
Bloques y bracha volcánica con cenizas, baja consistencia, poca cohesión.

21  
25  
30  
35  
40  
45  
50  
55  
60  
65  
70  
75  
80  
85  
90  
95  
100  
105  
110  
115  
120  
125  
130  
135  
140  
145  
150

Regular  
Muy mala

204

5  
10  
15  
20  
26  
30  
500

0.80(C)  
2.75(C)  
1.30(C)  
7.95(C)  
-1.05(D)  
6.30(C)  
1.45(C)

1997  
11+234.5  
10+051.38  
1996  
9+751.35

Reda híbrida de composición volcánica color gris claro. Textura porfírica a triclástica brechada y caliza en algunas zonas (zona filoniana).

Costa de composición básica color gris y porfírico textura vesicular, forma alargada que muy raras se encuentran al estar con rocas productivas.

199  
1315.5

Mala  
Regular a muy mala  
1316

5  
10  
15  
20  
26  
30  
500

2.45(C)  
1.20(C)  
-2.00(D)  
-0.55(D)  
1.20(C)  
2.10(C)  
1.30(C)  
0.85(C)  
1.85(C)

CADENAMIENTOS

DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA

LONGITUD (m)

CALIDAD GEOMECAÁNICA DE LA ROCA

LONGITUD (m)

SOPORTE PRIMARIO (marcos)

SECCIONES DE INSTRUMENTACIÓN

C = CONVERGENCIA  
D = DIVERGENCIA

PERFIL GEOLÓGICO DE LA OBRA D.G.C.O.H.

### 3.3.- EXPLORACIÓN.

Antes de que un túnel se pueda planear en líneas generales y diseñar en detalle, se deberá reunir información sobre los aspectos físicos del proyecto, además de los estudios económicos, los cuales tienen una relación directa.

*La necesidad de una detallada y extensa investigación es probablemente mayor que para la mayoría de los otros tipos de construcción. La construcción de túneles es necesariamente costosa, pero constituye una falsa economía ahorrar en la información requerida para poder hacer la mejor selección de la línea, nivel y método.*

No importa cuán excelentes sean los registros anteriores, cada proyecto se beneficia de las perforaciones adicionales y otras exploraciones del lugar.

Las investigaciones para el túnel deben ser una actividad continua durante el proyecto, diseño y construcción. La localización exacta de las interfaces y los cambios de textura y resistencia de las rocas son muy importantes en la construcción de túneles, por lo que se deben hacer más exploraciones para establecer dichos puntos. Es imperioso se reduzcan las áreas de incertidumbre.

#### 3.3.1 - ETAPAS DE EXPLORACIÓN.

La exploración del trazo tuvo como objetivo reconocer su totalidad y consistió en la realización de 15 sondeos de geofísica a lo largo del mismo y de 27 sondeos mediante perforaciones con recuperación de muestras de roca, que cubrieron esa misma longitud de estudio.

La variación estratigráfica que se presenta en la zona del Cantil y Topilejo, requirió, durante la exploración con sondeos de recuperación, de tuberías y ademes de diversos diámetros por telescopio para alcanzar el fondo programado de las perforaciones. Además se necesitó de brocas y lodos de perforación adecuados, para poder obtener un porcentaje de recuperación alto que permitiera una adecuada correlación estratigráfica entre las unidades de roca obtenidas en los sondeos. De esta forma se obtuvo el tipo de roca en la zona del túnel y su entorno, permitiendo el dibujo de los perfiles geológico-geotécnicos del eje del proyecto Acuaférico.

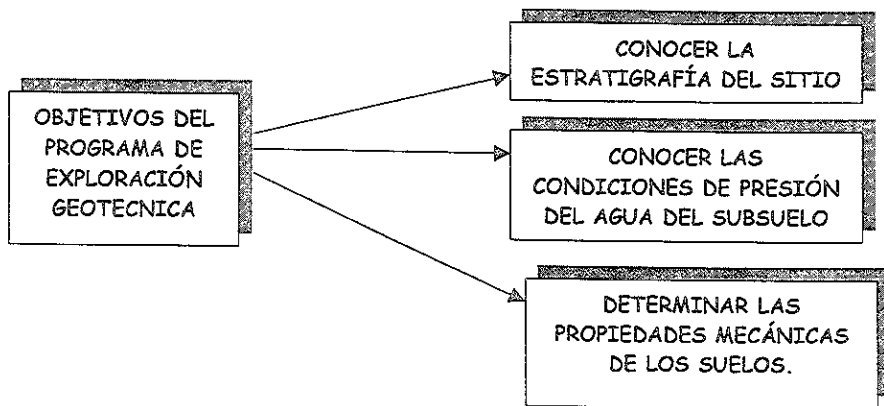
De ésta se obtuvo un modelo geológico del trazo seleccionado. Con la exploración fue posible determinar, a detalle, la estratigrafía, las divisiones de unidades geotécnicas, y extraer el material para realizar pruebas de mecánica de rocas, petrografía, R.Q.D (Rock Quality Designation), con las cuales se determinaron las cargas de roca, los soportes temporales y definitivos, así como los métodos de excavación recomendados.

La exploración del túnel 5 se llevó a cabo sobre un trazo previamente establecido, el cual tenía como objetivo determinar las condiciones de la roca que atravesaría en su excavación. La exploración por lo tanto es deficiente desde su planteamiento, ya que la magnitud de la obra y los recursos a invertir exigían una exploración más exhaustiva que sirviera de parámetro para elegir un trazo con las condiciones más propicias para la excavación integral a base de una máquina tunelera.

La exploración siguiente se realizó sobre la línea del trazo original y sólo corresponde parcialmente a la alineación definitiva. Es importante mencionar que basándose en estos estudios se determinó que era necesario hacer una modificación al trazo, de manera que el túnel se adentrara más en las montañas donde las estructuras geológicas obtenidas por correlación podrían presentar mejores condiciones.

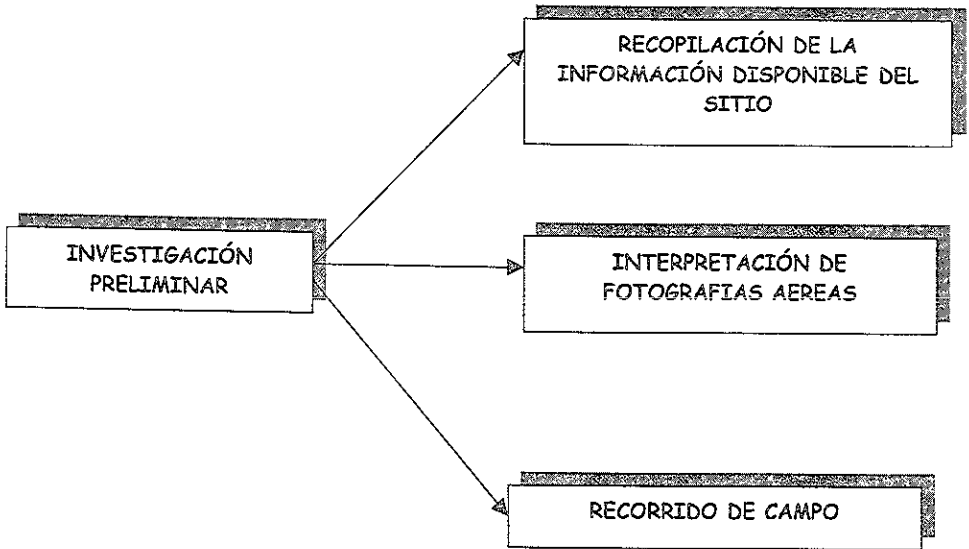
A continuación se presentan cuatro diagramas que resumen los trabajos de exploración y de estudios geotécnicos:

### OBJETIVOS DE LA EXPLORACIÓN.



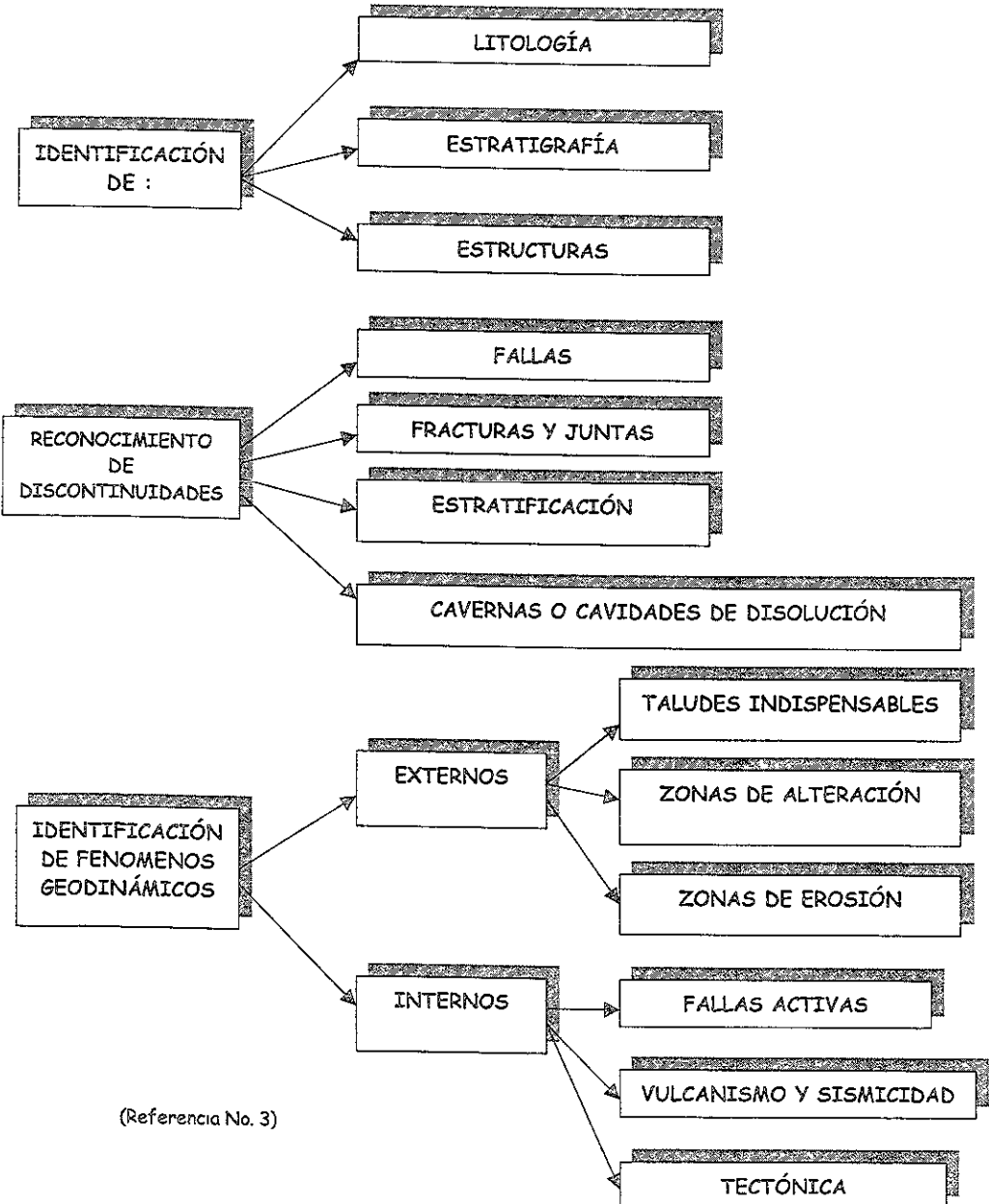
(Referencia No. 3)

PRIMERA ETAPA DE LA EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA.



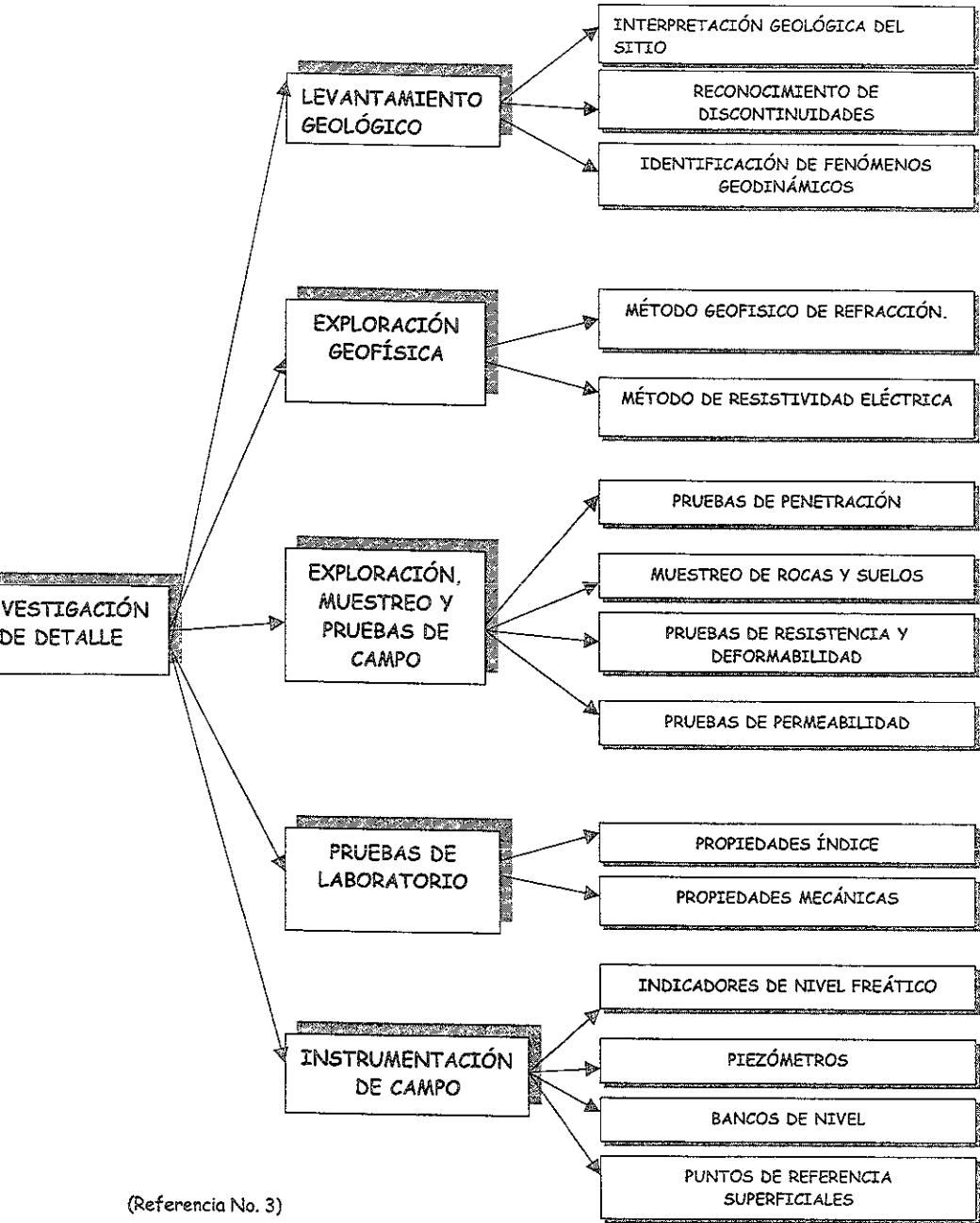
(Referencia No. 3)

### OBJETIVOS DEL LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO



(Referencia No. 3)

SEGUNDA ETAPA DE LA INVESTIGACIÓN GEOTECNICA.



(Referencia No. 3)

### 3.3.2. - FOTOGEOLOGÍA.

Dentro de la primera etapa de exploración se procedió a realizar la fotointerpretación de una docena de fotografías aéreas de la zona del Acuaférico.

Estas fotografías están a una escala de 1:8000; cubren un área de aproximadamente 120 Km<sup>2</sup>

A partir de la interpretación fotogeológica se definieron las diferentes unidades de roca presentes en la zona así como fallas y fracturas, arroyos, poblados, caminos de acceso, etcétera. posteriormente las observaciones fueron verificadas y corroboradas en campo, la información obtenida, actualizó el plano geológico de la zona del proyecto.

#### 3.3.2.1.- FALLAMIENTO DEL AREA DEL PROYECTO.

La Formación Sierra del Ajusco, no aflora en ninguna parte de este tramo ya que se encuentra cubierta por una serie de materiales volcánicos de la Sierra Chichinautzin.

Tanto los derrames basálticos del Chichinautzin como del Xitle son muy recientes, y no han sufrido tectonismo, por lo que superficialmente no se advierten en campo evidencias de saltos de falla, aunque los arroyos mas antiguos del área y los que se están desarrollando en estas rocas basálticas, tienen un alineamiento preferencial en dirección NE-SW, que concuerda con la orientación de las fallas regionales en el Valle de México.

Estas cubiertas de basaltos sobre los macizos rocosos, no permiten ver directamente el fallamiento que pueda presentar la dacita y traquiandesita de la Formación Xochitepec, pero si presenta alineamientos de arroyos y fuertes pendientes en laderas que indican posibles fallas y fracturas.

#### 3.3.2.2 - FRACTURAMIENTO DEL ÁREA DEL PROYECTO.

Por lo que respecta al fracturamiento y fallamiento, los patrones constan de tres familias de fracturas con las siguientes orientaciones generales:

1) NE-SW, 2 ) NW-SE y 3) E-W.

Las muestras de los sondeos, indican que las unidades presentan un fracturamiento de escaso a moderado, con un espaciamiento irregular, las fracturas son cerradas, sin relleno y con oxidación como evidencia de filtraciones de agua.

En tanto que el fracturamiento del macizo rocoso del Cantil es de moderado a intenso, poco espaciado, con fracturas cerradas pero con evidencia de alteración por flujo de agua, el macizo rocoso de Topilejo presenta fracturamiento de escaso a moderado, en ocasiones preferencialmente horizontal y no hay evidencias de alteración entre las fracturas



### 3.3.3.- EXPLORACION Y UNIDADES GEOTÉCNICAS.

A partir del reconocimiento geológico hecho en campo, los sondeos realizados a lo largo del trazo y la petrografía de las muestras de roca obtenidas de los ocho barrenos, fue posible definir la siguiente columna estratigráfica:

- Formación Chichinautzin (Plioceno - Pleistoceno) (serie andesita basáltica, arena y toba)
- Formación Las Cruces (Mioceno - Plioceno) (andesitas).
- Formación Xochitlapepec (Oligoceno - Mioceno) (traquiandesita - dacita).

En forma general se puede resumir la geología del Túnel No. 5, desde el cad. 9+750 al 20+980 en las unidades geológicas, que a continuación se describirán, aunque se presentan con más detalle las correspondientes a la geología del trazo aquí reportado, la nomenclatura de las formaciones geológicas se escribe con la primera letra en mayúscula y se refiere a la época o edad geológica asignada:

- Q: Cuaternario
- T: Terciario
- Ts: Terciario superior
- Ti: Terciario inferior

UNIDAD GEOLÓGICA	DESCRIPCIÓN
A	Arena volcánica(QAv);Serie Chichinautzin
B	Toba arenosa amarilla (QTba) S: Chichinautzin
D	Basalto - Escoria o andesita basáltica(Q-TsBae); Serie Chichinautzin
G	Andesita masiva (TsNnd-ma) Formación Sierra de las Cruces
H	Traquiandesita (TTrq) Formación Xochitlapepec.
I	Dacita (TDa); Formación Xochitlapepec.

Por otro lado solamente se considerarán como unidades aquellas que son cortadas por el trazo completo del túnel No.5 que se inicia en el cad. 9+751, y son las siguientes:

UNIDAD GEOTÉCNICA	DESCRIPCIÓN	UNIDAD GEOLÓGICA
U1	andesita escoriácea	F
U2	andesita con escoria.	G
U3	traquiandesita-dacita alterada	He I
U4	traquiandesita-dacita lajeada	He I
U5	traquiandesita-dacita masiva	He I

### 3.3.4 - MACIZOS ROCOSOS

El túnel 5 y las tres derivaciones se encuentran a profundidades variables que varían de 15 a 300 m y su excavación de acuerdo con el proyecto original se realizaría sobre 5 macizos rocosos bien definidos Cantil, Topilejo, Tlalpuente, domo Xicalco y Ajusco; estos macizos presentan materiales clasificados como traquiandesíticos, dacíticos, basálticos y escoriáceos (de acuerdo con los estudios petrográficos del proyecto original), sin embargo, por el cambio de trazo la química de la roca varió y sería necesario efectuar nuevos estudios petrográficos para precisar la nomenclatura de las diferentes unidades de rocas, por lo que para fines de los estudios y registros durante esta obra fue necesario referir las distintas rocas de acuerdo a su estructura de formación, sin perder de vista que la zona está representada por rocas de origen ígneo extrusivo cuya composición varía de intermedia a básica. De acuerdo con las características primarias, origen de formación, composición mineralógica y estructuras tectónicas o carencia de ellas; los citados macizos rocosos localizados en la excavación están representados de la siguiente manera:

- **Macizo del Ajusco**, lo constituye lava de composición básica (presencia de olivino), textura vesicular con intercalación de escoria, ceniza y lapilli. Esta lava fue depositada por el cono volcánico Xitle
- **Macizo Tlalpuente**, está representado por una caldera de edad pliocénica constituida por lavas de composición intermedia a ácida alternada con material piroclástico de la misma composición, con presencia de fracturas abiertas sin relleno; a través de fracturas y fallamientos de la caldera emigró magma que se depositó en la superficie como material inyectado formando la estructura dómica de composición intermedia.
- **Macizo Xicalco**, se esperaba encontrar un domo de composición intermedia, sin embargo, esta estructura queda ubicada topográficamente abajo del nivel del túnel (afiora al sur del eje del trazo), y en consecuencia estratigráficamente las lavas de composición básica intercaladas con escoria, ceniza y lapilli procedentes de conos volcánicos de la Formación Chichinautzin sobreyacen el domo. Este macizo por sus características petrográficas es análogo al macizo Topilejo. En esta zona existe una etapa volcánica de actividad violenta que interrumpe de manera local a las emanaciones de lava, este evento está representado por la acumulación de material piroclástico retrabajado por factores como la acción de la gravedad en los materiales depositados en laderas muy pronunciadas y por la acción del agua, a estos depósitos se les da el nombre de lahar que al no estar consolidados su calidad geomecánica es muy mala.
- **Macizo el Cantil**, está representado por la estructura dómica constituida por lava de composición intermedia cuyo origen está asociada con la presencia de la misma caldera de los domos Tlalpuente y Xicalco.
- **Macizo Topilejo**, lo constituyen lavas de composición básica e intermedia muy sanas y de gran espesor, aunque en el extremo oriente el espesor de las coladas disminuye y está alternando con escorias y ceniza e incluso con brecha de bloques, estas lavas cubrieron en el eje del túnel a tres conos volcánicos compuestos por bloques, lapilli, cenizas y lavas de composición básica con desarrollo de hornblenda.

Cada uno de estos cuerpos rocosos de forma dómica, presentan características litológicas homogéneas, por lo que en forma genérica se les ha llamado macizos rocosos, se encuentran formados por una o más unidades geotécnicas. Estos domos volcánicos son las rocas más antiguas en que se excavara el túnel, ya que pueden ser correlacionadas con la Formación Xochitepec.

ESTI TESIS NO DEBE  
VOLAR DE LA BIBLIOTECA

Los domos volcánicos se formaron con una lava densa, a una temperatura relativamente baja, que permitió el crecimiento de cristales de tamaño megascópico, dándole una apariencia granular a la roca semejante al granito, aunque genéticas y mineralógicamente son totalmente diferentes.

### 3 3 4 1.- MACIZO ROCOSO DEL CANTIL.

Este domo se localiza entre los cadenamientos 16+730 a 18+581, pero el presente tramo de túnel se inicia desde el cadenamiento 17+698, por lo que tendrá una longitud de 830 m, y es de composición dacítica

La dacita es una roca extrusiva de color blanco grisáceo a amarillento, con tonos rojizos. Mineralógicamente está constituida por andesina, oligoclasa, cuarzo, piroxenos y hornblenda, con algo de biotita y sanidino.

Este macizo presenta una serie de variaciones mineralógicas de importancia para la excavación del túnel, por lo que se han establecido tres unidades geotécnicas: U-3, U-4 y U-5.

UNIDAD 3.- Dacita alterada. Esta roca se encuentra constituida mineralógicamente, en gran porcentaje, por plagioclasas que se han alterado a arcillas, debido a un largo tiempo de exposición al intemperismo, convirtiendo a la roca dura en una más suave, con tendencia a la disgregación en presencia de agua. Fue cortada por los sondeos en la parte superior del domo, y a una profundidad de 62 m; pero se considera que se presentará principalmente en los contactos de los macizos rocosos.

UNIDAD 4. Dacita brechada. Es una roca sana con un fracturamiento de moderado a intenso en varias direcciones. El fracturamiento produce fragmentos de forma irregular, angulosos y de tamaño mayor a los 5 cm. En la zona del Cantil, ha sido muy persistente el fracturamiento originando una roca de mala calidad.

UNIDAD 5. Dacita sana. Se presenta masiva, sana, compacta, muy resistente pero muy fracturada. Esta es la que se encontrará en un 25% de la longitud del túnel dentro del macizo del Cantil.

### 3 3 4.2 DOMO DE TOPILEJO.

Es una roca extrusiva de color rojizo con tonos o bandas negras o rojo oscuro, rojiza o gris. Mineralógicamente está constituida por plagioclasas sódicas feldespatos alcalinos, biotita, y piroxenos. Se trata de traquiandesita compacta, muy resistente y con un fracturamiento entre escaso y moderado.

El domo se localiza entre los cadenamientos 18 + 581 a 18 + 848, con una extensión de 2 267 m. Se le ha denominado a este domo Macizo Rocosos de Topilejo

Al igual que el domo del Cantil, este macizo presenta una serie de variaciones de importancia para la excavación del túnel, por lo que se ha establecido 3 unidades geotécnicas que son las unidades: U-3 traquiandesita alterada, roca que se encuentra constituida mineralógicamente, en gran porcentaje por plagioclasas que se han alterado a arcilla, fue cortada por los sondeos en la parte superior del domo, por lo que se considera que se presentará en los contactos de los macizos rocosos; U-4 traquiandesita lajeada, roca sana muy resistente, no se encuentra alterada, se caracteriza por presentar un fracturamiento moderado horizontal cuyo espesor es de 5 a 10 cm, con una extensión horizontal variable (en los sondeos de este tramo, ha sido muy persistente la presencia de este fracturamiento casi horizontal); y la unidad U-5 que se trata de una traquiandesita masiva, roca masiva, sana, compacta, muy resistente y con fracturamiento de escaso a moderado. Esta unidad se presentará en un 75% de la longitud del túnel dentro del macizo de Topilejo.

### 3.3.5 - GEOLOGÍA A LO LARGO DEL TRAZO RESULTADO DE LOS SONDEOS DE LA EXPLORACIÓN

Las características geológico - geotécnicas que presentan las diferentes unidades de roca que serán cortadas por el túnel, se describen a continuación de acuerdo con la información proporcionada por los sondeos con recuperación realizados entre el Cantil y Topilejo.

**Cadenamiento 17 + 698 a 18 + 581.** Dentro de esta zona se localizan los barrenos TO-20 y TO-21. De las observaciones hechas en los sondeos con recuperación, se detectó la presencia de la dacita brechada y masiva, unidad 4 y 5, en la zona del túnel.

A esta unidad le sobreyacen una secuencia de rocas basálticas con escoria, que se han denominado unidades D y G respectivamente, las que se describen a continuación:

**Unidad D.** En cuanto al basalto-escoria ( D ) consiste de una alternancia de basalto y escoria en una relación de 75-25% respectivamente. El basalto es de color gris oscuro a claro, compacto, resistente, con fracturamiento moderado de subvertical a horizontal.

La escoria está constituida por fragmentos de roca básica, subredondeados, rodeados por una matriz arenosa no cementada ni compactada, por lo que el conjunto fragmentos- matriz es totalmente deleznable.

Esta unidad parece relacionarse con las últimas etapas de actividad volcánica de los volcanes cercanos que dan lugar a la formación Chichinautzin, para mayor certeza sería necesario realizar fechamiento de las unidades. Además en cuanto a su carácter mineralógico, de acuerdo a los análisis petrográficos, propiamente corresponde a una andesita basáltica lo que corroborara su directa asociación con la Formación Chichinautzin.

La unidad D está formada por derrames del volcán Oyameyo (o Pelado ), localizado a unos 3 km al noroeste del poblado de San Miguel Topilejo. Este volcán es una estructura monogenética que entró en actividad hace aproximadamente 2500 m.a. Los derrames lávicos se extienden en superficie sobre el trazo del túnel por cerca de 3 km hasta perderse después cerca de la autopista de cuota México-Cuernavaca , el espesor promedio es de 30 m aunque localmente alcanza espesores mayores. Presenta valores de calidad de roca entre el 20-80 %, lo que lo califica según la tabla I como de calidad " mala " a "buena".

**Andesita.** En lo que respecta a la andesita de la unidad G (unidad geotécnica U-2), consiste en un conjunto de derrames de lava y escoria de composición intermedia, con una relación de 80-20 % respectivamente. En general la andesita es compacta, muy resistente y con un fracturamiento moderado, encontrándose algo silicificada. Se ha correlacionado con la Formación las Cruces faltando su corroboración por medio de fechamientos. Tiene un espesor aproximado de 45 m.

Esta unidad tuvo porcentajes de RQD de 20-80 %, es decir de "mala" a "buena" calidad

**Unidad 3. Dacita alterada.** Esta roca está constituida principalmente por plagioclasas que se han alterado a arcilla, debido a un largo tiempo de exposición al intemperismo, convirtiendo a la roca dura en una más suave, con tendencia a la disgregación en presencia de agua fluyente. Fue cortada por los sondeos del domo, aunque en el caso del sondeo TO-21 se presenta también a una profundidad de 62 m con espesor de 7 m.

Los valores de RQD para esta unidad se encuentran entre 0-20 % de calidad es decir "muy mala".

**Unidad 4. Dacita brechada.** Se caracteriza por presentar un fracturamiento moderado a intenso de varias direcciones, el fracturamiento produce fragmentos de forma irregular, angulosos y tamaño menor a los 10 cm. En la zona del Cantil, ha sido muy persistente el fracturamiento originando una roca de mala calidad.

Esta unidad presenta valores de RQD menores a 10 %, predominando 0%.

**Unidad 5. Dacita sana.** La roca es sana, compacta, muy resistente. Esta es la que se presentará en un 25% de la longitud del túnel dentro del macizo del Cantil.

Es en esta unidad U-5 en la que se excavará el túnel y se extiende entre los cadenamientos 17+751 a 18+581, en donde entra en contacto con la traquiandesita gris-rojizo U-3 del macizo rocoso de Topilejo. Los promedios de recuperación y RQD de 15 a 70 % determinados dentro de la profundidad de excavación corresponden a una roca de calidad de muy mala a regular.

Durante la excavación del túnel en la dacita sana, se espera un regular comportamiento con probables problemas de estabilidad por el gran fracturamiento que presenta.

Cadenamiento 18+581 a 20+898. Dentro de este cadenamiento se presentan las unidades A, B, D, 3, 4, 5, que se describirán a continuación.

**Unidad A.** Es una arena fina de color negro a gris oscuro, tiene un espesor de 9 m en el barreno 25. Por ser relativamente joven, se encuentra suelta, no cementada, tiene una continuidad lateral de unos 600 m alrededor de la perforación.

**Unidad B.** Es una toba de color pardo amarillento, poco resistente y deleznable.

**Unidad D Basalto- escoria.** Subyaciendo a la traquiandesita, tenemos una alternancia de basalto y escoria, cuya relación es 75-25 %.

**Unidad 3.** Traquiandesita alterada. Esta roca se encuentra constituida mineralógicamente, en gran porcentaje, por plagioclasas que se han alterado a arcillas, debido a un largo tiempo de exposición al intemperismo, convirtiendo a la roca dura en una más suave.

**Unidad 4.** Traquiandesita lajeada. Esta es una roca sana y muy resistente, no se encuentra alterada. Se caracteriza por presentar un fracturamiento moderado horizontal, con una extensión horizontal variable. En los sondeos de este tramo, ha sido muy persistente la presencia de este fracturamiento casi horizontal, presenta un RQD entre 0-20 %, lo que lo califica como de muy mala calidad.

**Unidad 5.** Traquiandesita masiva. Se presenta masiva, sana, compacta, muy resistente y con un fracturamiento de escaso a moderado. Esta unidad es la que se presentará en un 75 % de la longitud del tramo de 3.2 km dentro del macizo de Topilejo. Presenta valores RQD entre 70-100 %, es decir que tiene una calidad de buena a muy buena.

### 3 3.6.- CONTACTOS ENTRE DOMOS.

Aproximadamente en el cadenamamiento 18+581 se presentan los contactos entre los macizos rocosos del Cantil y Topilejo, en las unidades 3 y 5, mientras que en el 20+848 la traquiandesita está en contacto con el basalto con escoria de la unidad D. en esta zona se pueden presentar algunos problemas con la calidad de la roca, ya que la dacita y la traquiandesita alterada, U-3, se presentará alterada químicamente, ya que ha sido una superficie de intemperismo y erosión con la consecuente alteración de la roca, así también la zona de contacto es un área propicia para la presencia de flujo laminar de agua, que, aunque no sea continuo, puede provocar problemas de estabilidad durante la excavación.

Estos contactos serán importantes en el desarrollo de la obra, por lo que se deben localizar con precisión y sobre todo establecer el problema que pueden llegar a presentar a la construcción.

Por otra parte, los registros eléctricos indican discontinuidades importantes entre estos contactos y superficialmente hay evidencias de ellos, ya que en el cadenamamiento 18+580 existe un arroyo que drena desde el Ajusco, esto aumenta las probabilidades de presencia de filtraciones combinadas con la roca alterada, situación de las más indeseables en túneles por los riesgos que conlleva de empujes de roca importante, afluencia de agua a presión e inestabilidad en cadena.

Entre los sondeos 26 y 27, al nivel del túnel, se presenta la traquiandesita lajeada, en una longitud aproximada de 320 m, la cual tendrá un tiempo de autosoporte reducido durante la excavación, y tenderá a caer formando una bóveda piramidal (arco maya) sobre la clave del túnel; este efecto puede llegar a ser del diámetro de túnel o más sobre la clave, dependiendo del patrón de fracturamiento vertical.

En forma general la roca que corta el túnel, es mejor en el nivel del macizo rocoso de Topilejo que en el Cantil, después de compararse los porcentajes de recuperación o RQD de los respectivos sondeos.

Esta situación reditúa en un incremento en la rapidez de excavación, al eliminarse las zonas de mayor problema, que influirá también en una disminución de costos y en un aumento de seguridad.

### 3.3.7.- RESUMEN GEOLÓGICO DEL TÚNEL 5 Y SUS DERIVACIONES

La longitud de excavación en el tramo del túnel 5, fue de 9 461.15 metros comunicándose con el túnel de la derivación 3-A el 26 de febrero de 1998, en donde 9 131,449 metros se excavaron con la máquina tunelera, de acuerdo con ello el túnel excavado con medios mecánicos está limitado por los cadenamientos 20+558 al 11+233 30.

A continuación se presenta la descripción geológica del túnel 5 y las tres derivaciones, resultado de los registros obtenidos durante la excavación; con una secuencia en el sentido en que excavó la máquina tunelera, es decir del cadenamiento 21+098 al 9+751.345.

#### 3.3.7 1.- GEOLOGIA TÚNEL DERIVACIÓN 4.

La totalidad de esta derivación se excavó sobre el dominio de coladas sucesivas de lavas en cuyos contactos existe variable cantidad y espesor de escoria volcánica de carácter fragmentario sin cohesión entre partículas. De acuerdo con los registros del levantamiento geológico realizado en la sección de corte a cada metro de separación, se pudo determinar que las coladas en su parte interna son más densas, además de presentar zonas con lajeamiento intenso y variar el espesor de las coladas de 3 a 8 metros, en los límites de dichas coladas la textura es intensamente vesicular y el material entre coladas sucesivas está representado por la escoria fragmentada, por la brecha de bloques e incluso por material limo-arcilloso (suelo superficial) que se quedó atrapado y que no fue asimilado por la lava durante su estado líquido. En los siguientes párrafos se hace una descripción detallada de las características petrográficas, estructurales y geotécnicas de las dos partes diferenciadas que componen las coladas sucesivas.

**Colada de lava.** La coloración que presentó la roca de manera predominante fue en tonos de gris claro y oscuro, con menos frecuencia café obscuro, la única textura fue la vesicular con eminente orientación de su eje alargado en el sentido de flujo, mismo que tiene cambios de dirección como consecuencia de la topografía de la superficie durante el flujo de las lavas. Tomando en cuenta el color de la roca, la textura y la relación que tiene con la escoria la composición se considera hacia las rocas llamadas básicas o basálticas y probablemente intermedia. En cuanto a las estructuras presentes, corresponden a una o dos familias de fracturas onduladas. Sin abertura, rugosas a ásperas y en algunos casos con una película de óxido en los planos de fractura, existen zonas donde el fracturamiento es muy persistente dando origen a lajeamiento. Estas características en conjunto con la dureza y lo sano de la roca le dan en particular una calidad geomecánica de regular a buena, sin embargo, cuando está alterada con la escoria la calidad del conjunto para el tuelleo es de regular a mala, de acuerdo con la posición que guarda la escoria en la sección de excavación la cual es el caso común a lo largo de esta derivación. Debido a que el procedimiento de excavación de este túnel fue exclusivamente con método convencional (explosivos), la energía de las voladuras revelan en la roca presencia de diaclasas no visibles antes de su acción y que por lo general se aprecian como cortes planos; referente a la presencia de agua, ésta se presenta a manera de goteos a través de algunas fracturas.

**Escoria volcánica.** Como se citó anteriormente el límite de cada colada está representado por escoria de color rojizo y en algunos casos negro con granulometría en diámetros de 0.5 a 15 cm, angulosos a subangulosos con 15% de ceniza volcánica o sin ella. Si de manera aislada se clasifica la calidad geomecánica de este material, le correspondería de acuerdo con los parámetros considerados por el método NGI (Barton), de muy mala a extremadamente mala y clase V de acuerdo con la clasificación CSIR (Bieniawski), sin embargo la inestabilidad manifestada en la caída de material con sobre excavación de manera simultánea a la vibración generada por las voladuras o en su caso, durante la primera hora posterior a la acción del explosivo se presenta cuando la posición de la escoria respecto a la sección de corte está en la media sección superior (esta característica fue frecuente y por ello el procedimiento constructivo y en algunos tramos se dividió en media sección superior y banqueo de la parte

complementaria ) y es menor el efecto inestable cuando ésta se presenta en la media sección inferior o cuando queda restringida entre dos coladas de lava ahora consolidadas. Referente a la presencia de agua, ésta se manifiesta como goteos y pequeños escurrimientos por su característica de permeabilidad muy superior a la de la roca sana.

### 3.3.7.2.- GEOLOGIA TÚNEL No. 5

Considerando que el túnel 5 inicia en el cadenamamiento 20+887.706 y que en su etapa inicial se excavó con método convencional hasta el 20+558.00, debido a la mala calidad geomecánica del material que está representado por roca basáltica producto de los derrames lavicos, escoria granular, brechas de bloques y por acumulación de suelos limo - arcillosos atrapados entre coladas, de acuerdo con esto se aprecia que la descripción geológica es la misma a la descrita para el túnel de la derivación 4 y como consecuencia sólo se citan la zonas que abarcan estos cambios litológicos y que corresponden a lo siguiente:

Del 20+887 al 20+852 alternancia de basalto y escoria granular con ceniza volcánica

Del 20+852 al 20+820 colada de composición básica a intermedia, lajeada

Del 20+820 al 20+806 alternancia de basalto y escoria granular con ceniza volcánica.

Del 20+806 al 20+789 brecha volcánica de bloques empacados en matriz de lapilli y escoria.

Del 20+789 al 20+769 alternancia de basalto y escoria granular con ceniza volcánica.

Del 20+769 al 20+657 zona de frente de colada constituida por brecha de bloques, limo arcilla y escoria.

Del 20+657 al 20+593 alternancia de basalto y escoria granular con ceniza volcánica.

Del 20+593 al 20+577 zona de frente de colada constituida por brecha de bloques, limo- arcilla y escoria.

Del 20+577 al 20+558 alternancia de basalto y escoria granular con ceniza volcánica.

Al llegar al cadenamamiento 20+558 se percibió un cambio respecto a la calidad de la roca, hacia mejores características geomecánicas, sobre la base de ello se decidió continuar la excavación con la máquina tunelera para lo cual se construyó la cámara de arranque cuya función fue brindar el calce y apoyo efectivo a las zapatas y a los gatos estabilizadores. A partir de este punto la excavación ha cruzado por alternancia de coladas con escoria, brechas de bloques, potentes coladas constituidas exclusivamente por roca de tres conos volcánicos compuestos de bloques, lapilli y ceniza volcánica con variación en su consolidación, el domo dacítico " El cantil ", depósito aluvial, coladas delgadas en alternancia con escoria granular, brecha de bloques con matriz de lapilli y ceniza con baja cohesión, lavas con estructura de flujo pertenecientes a una antigua caldera, el domo " Tlalpuente ", y finalmente coladas de basalto alternadas con escoria volcánica y lapilli. La descripción detallada de los cambios litológicos a lo largo del túnel es la siguiente

Del CAD 20+558 al 20+509.60 se excavó en coladas de tonos gris claro a tonos gris oscuro de composición básica, roca sana, dureza elevada y dos sistemas de fracturas principales y una más secundaria, misma que en algunas zonas la familia de fracturas fue más persistente al grado de formación de lajeamiento; en cada límite de sobreposición de una colada con otra más reciente existe presencia de escoria granular color rojizo en diámetro de 2 a 20 cm combinado con aproximadamente 20% de ceniza volcánica. Debido a la irregularidad en los contactos de las coladas, la roca y escoria se



presentaron en la sección de corte de túnel en calidad y posición aleatoria y considerando la casi nula cohesión de la escoria y su presencia en la media sección superior hizo que la calidad geomecánica para el tuneleo fuera de mala a muy mala.

Del CAD 20+509.60 al 20+446 predominó la presencia de un frente de coladas constituido por bloques de basalto de diversos tamaños que variaron de 5 a 200 cm de diámetro y aristas angulosas y subangulosas, esta roca combinada con ceniza volcánica sin consolidación ni cohesión denotaba presencia de agua, dando como resultado un material de calidad geomecánica de muy malas condiciones para el tuneleo integral

Del CAD 20+446 al 20+389 nuevamente se presentaron las coladas de color gris de composición básica, en roca sana de dureza elevada, pero con intenso fracturamiento de manera irregular, formado con estos bloques sueltos en algunos sitios, otra característica de estos 57 metros es la baja presencia de escoria, la cual representa aproximadamente el 10% del volumen excavado.

Del cad. 20+389 al 20+080 se cruzó un cono volcánico constituido en los 65 metros iniciales por bloques, lapilli y cenizas volcánicas con baja consolidación y en los 91 metros restantes la calidad de los bloques se redujo substancialmente, con un incremento importante en la consolidación por lo que la calidad geomecánica varió de mala a buena. Se aclara que por el cambio del trazo, en esta zona se obligó una igualdad de cadenamientos, siendo el CAD. 20+383.8 igual a 20+233.4.

Del CAD. 20+080 al 19+449 se presentó una colada de composición básica a intermedia, de color gris claro a oscuro, roca sana, dureza elevada, con dos sistemas de fracturas cerradas espaciadas entre planos de 1 a 3 metros y que se cruzan en el túnel de manera diagonal y favorable a la excavación.

Del CAD 19+449 al 19+181 se presentó un segundo cono volcánico que por sus características petrográficas es clasificado como brecha volcánica, donde sus constituyentes son fragmentos de basalto rojizo con aristas subangulosas y textura porfídica en tamaños de 1 a 40 cm de diámetro y algunos bloques de 2 o más metros de diámetro, que en conjunto con el lapilli constituyen la parte gruesa, que está empacada en matriz de ceniza volcánica representada por el 25 al 40% del volumen total; el grado de consolidación cambia de bajo en la zona limitada por los CAD. 19+449 al 19+385.5 a moderado en la zona restante de esta estructura volcánica.

Del CAD 19+181 al 18+890 se cruza una colada con las mismas características del fracturamiento, el cual sigue las direcciones E-W y NW-SE en planos cerrados, lisos, ligera ondulación y una película de óxido de hierro, además de que el espaciamiento entre discontinuidades es de 20 a 60 cm, características que le dan a la roca una calidad geomecánica de buena a muy buena.

Del CAD. 18+890 al 18+461 se cruzó el tercer cono volcánico constituido en su mayoría por una brecha volcánica idéntica a la descrita en el segundo cono, con la peculiaridad que en este caso los primeros 60 m están representados por un derrame de basalto rojizo y textura porfídica, dos familias principales de fracturas y otras secundarias, todas sin abertura que dan a la roca buena calidad geomecánica. De esta zona de brechas, del CAD. 18+830 al 18+650 la buena consolidación da a la roca buena calidad y de este último cadenamiento y hasta el 18+461 la consolidación es baja, por lo que la calidad decrece a mala.

Del CAD. 18+461 al 18+447 se presentó un depósito de talud constituido por bloques de roca ígnea hipabisal de composición intermedia con intensa alteración; esta zona marca el límite entre eventos volcánicos de carácter extrusivo y composición básica a un cuerpo emplazado a profundidad moderada de composición intermedia y de mayor antigüedad geológica.

Del CAD. 18+447 al 16+394 la excavación se efectuó en un domo emplazado a moderada profundidad, por lo que el enfriamiento de la lava fue más lento, dando origen a la formación de pequeños cristales, de acuerdo con ello la roca se denomina hipabisal y de composición intermedia. Debido a la acción de agentes externos como el agua de manera preferencial, la roca tiene mayor grado de alteración en el perímetro de la estructura dómica y gradualmente ésta se hace más incipiente hacia el núcleo, de esta manera del cad. 18+447 al 17+887 la roca va cambiando de alto grado de alteración a bajo grado, por lo que el color es gris verdoso a gris amarillento, las tres familias de fracturas son más densas con separación de 5 a 70 cm, con frecuencia abiertas de 1 a 2 mm, con relleno de material limoso y óxido de hierro, incluso del cad. 18+410 al 18+285 y del 18+250 al 18+140 la roca está afectada por fallas denominadas de tipo normal de acuerdo al desplazamiento relativo entre bloques; así es la gran mayoría de estos 560 metros, la calidad de la roca es clasificada como mala. Del cad. 17+887 al 16+605 la roca es de color gris claro, dureza moderada a elevada, casi sin alteración, dos familias de fracturas cerradas y una tercera aislada; en los dos sistemas principales por lo general las fracturas están espaciadas entre sí de 40 a 80 cm, y en algunos casos de 5 a 20 cm. Dentro de estos 1284 metros existe una zona limitada por los cad 17+194 al 17+096 donde se presentó alteración parcial de los minerales a caolín, de acuerdo a lo anterior la roca tiene de buena a muy buena calidad geomecánica. Del cad. 16+605 al 16+393.9 el grado de alteración de la roca se incrementa dando lugar a menor dureza, coloración verdosa y acentuación de fracturas de 5 a 80 cm de separación, pero con mayor frecuencia de 5 a 20 cm en sitios donde existe humedad, de manera paulatina la calidad de la roca varía de buena a regular y mala al llegar al cadenamiento 16+393.90 donde finaliza esta estructura geológica.

Del Cad. 16+393.9 al 16+378.80 se presentó un depósito de talud constituido por material limoso y arcilloso color rojo con 30% de detritus angulosos de roca hipabisal en tamaños de 2 a 90 cm de diámetro.

Del Cad. 16+378.80 al 16+338.5 se cruzó la base de coladas de roca de composición básica representada por escoria fragmentada en tamaños de 1 a 20 cm de diámetro, lapilli y 10% de ceniza volcánica

Del Cad. 16+338.50 al 15+860.55 se cruzó exclusivamente en coladas de roca de composición básica con variación en su color gris claro a oscuro y café rojizo, sana, muy dura, dos familias de fracturas cerradas y en las zonas entre los Cad. 16+304 al 16+255 y del 16+103 al 15+985 presenta fracturas irregulares y ramificadas con abertura de 3 a 15 cm sin relleno

Del Cad. 15+860.55 al 15+794.20 se cruzó escoria granular idéntica a la descrita en la zona de los Cad. 16+378.80 al 16+370.70.

Del Cad. 15+794.20 al 15+218 se cruzó en coladas subsecuentes con espesores de 0.80 a 6.0 metros, con presencia de escoria granular entre los límites de cada colada. La composición de la roca es de tipo básico, de color rojizo, textura vesicular, dureza elevada y dos familias de fracturas cerradas; la escoria es de color rojizo y de carácter granular tiene diámetros de 1 a 30 cm y cenizas de un 15%.

Del cad 15+218 al 14+988 se cruzó un depósito aluvial como resultado de la acumulación de material detrítico durante un periodo de calma en la actividad ígnea, las características granulares del depósito, corresponden a fragmentos subangulosos a subredondeados de rocas de composición básica en tonos grises y rojizos además de fragmentos de escoria, los diámetros varían de 2 a 20 cm combinados con arena y limo color rojizo, el conjunto posee moderada compactación y humedad.

Del Cad. 14+988 al 14+220 se presentan coladas subsecuentes de roca y escoria con espesores de 0.80 a 6.0 metros, con presencia de escoria granular entre los límites de cada colada. La composición de la roca es de tipo básico, de color rojizo, de textura vesicular, dureza elevada y dos familias de fracturas cerradas; mientras que la escoria de color rojizo y de carácter granular tiene diámetros de 1 a 30 cm y

cenizas de un 15%. Hasta este punto se considera que el aporte del material ígneo fue originado a través de los aparatos volcánicos pertenecientes al evento de la Formación Chichinautzin, esto basado en la dirección del flujo evidenciado por la inclinación de las coladas y por el escaso espesor de las mismas

Del Cad. 14+220 al 13+913 continúa la presencia de coladas pero en este caso existe diferencia en el aumento de espesor, en la dirección del flujo, menor inclinación y en la disminución del porcentaje presente de escoria, estas características hacen interpretar que el aporte de estos materiales sea originado por el volcán Xitle, pero sin el apoyo petrográfico en laboratorio o de datación por algún método de precisión que corrobore la hipótesis, sin embargo, existen otras características que no se habían presentado con anterioridad como la presencia de un horizonte de material tobáceo de aproximadamente 4 metros de espesor con la misma inclinación de las coladas, que se presume pertenece al volcán Xitle.

Del Cad. 13+913 al 13+889.50, se presentó la brecha de bloques, cuyos fragmentos angulosos a subangulosos de roca de composición básica en tamaños de 10 a 15 cm de diámetro con aproximadamente 10% de arenas y limos que en conjunto con la humedad manifestada con goteo y la casi nula cohesión entre partículas nos da una calidad geomecánica de muy mala a extremadamente mala para el tuneleo, de acuerdo con la metodología de clasificación de Barton y Bieniawski.

Del Cad. 13+889.50 al 13+5882 infrayaciendo a la brecha de bloque en un contacto de 45° se presentó una potente colada de composición básica a intermedia, en la zona de contacto la colada presenta coloración café rojiza, es decir del 13+889.50 al 13+8877.50 (con los metros iniciales intensamente fracturados), y del 13+630.60 al 13+5882.00, de manera que del cad. 13+877.50 al 13+630.60 el color de la roca es gris claro; otras características de la colada es la textura vesicular en tamaños menores a 1 mm, roca sana y dureza elevada, con dos sistemas de fracturas cerradas y esporádica presencia de fracturas en disposición irregular con abertura de 0.5 a 10 cm sin relleno. De acuerdo con lo anterior y basándose en las clasificaciones de los autores anteriormente citados, la roca en casi toda su extensión tiene calidad geomecánica de buena a muy buena.

Del Cad. 13+582 al 12+610 se presentó infrayaciendo a la colada basáltica, una brecha volcánica de bloques siendo el contacto de un ángulo de 20% con inclinación hacia el noroeste; los detritos de la brecha corresponden a fragmentos de roca de composición básica en varios tonos de gris y café rojizo, con tamaños oscilantes de 0.10 a 1.10 m de diámetro, empacados en una matriz color rojizo constituida de arena y limo que en conjunto con la humedad presente a manera de goteos y la casi nula cohesión entre partículas nos da una calidad geomecánica de muy mala a extremadamente mala de acuerdo con metodologías de clasificaciones de Barton y Bieniawski, esta variación en la calidad radica de manera determinante en dos factores, por una parte el grado de consolidación de manera que presenta la matriz del cuerpo de la roca y por otra la existencia de agua, en conjunto con otros factores como el tamaño de los bloques, el ángulo y el sentido de inclinación de los planos de contacto de las coladas con las brechas de bloque; así las variantes que se presentaron durante la zona excavada en la brecha de bloques fueron tres, la mas favorable que consiste en matriz con aceptable cohesión en conjunto con fragmentos líticos de 0.10 a 1.10 m de diámetro con calidad mala y clase II a IV donde se genera sobre excavación eventual entre 10 y 30 cm de profundidad, pero donde es indispensable la colocación de soporte primario a base de marcos metálicos. La segunda condición es semejante a la anterior, pero en este caso la cohesión de la matriz no es satisfactoria y por ende se genera mayor sobreexcavación, la que oscila de 0.50 a 1.20 metros y donde la calidad geomecánica es clasificada como muy mala y clase IV de acuerdo con los procedimientos de Barton y Bieniawski, finalmente la condición mas desfavorable está representada donde se conjugan los grandes bloques empacados en matriz de limo y ceniza volcánica con presencia de agua a manera de goteos constantes, pero aún por debajo de 5 litros por minuto, situación que provoca lavado de finos y factores conjuntos que hacen que la calidad geomecánica sea clasificada como extremadamente mala y clase V con los dos criterios de clasificación. A lo largo de esta zona de

brecha se han presentado once interrupciones de la misma por la presencia de lengüetas de coladas que ingresan a la sección de corte del túnel desde la zona de clave, por lo que se interpreta que cubriendo a la brecha existen coladas de composición básica, sin descartar que algunos de estos elementos sean cuerpos tabulares por lava inyectada en sentido ascendente "dique", como resultado de fallamiento de tipo normal por el que está afectada la estructura dómica cercana al trazo del túnel

Del CAD. 12+610 al 12+576.09 se excavó en el contacto de una colada de lava de composición básica con el depósito de talud constituido en la parte de los fragmentos líticos por rocas provenientes de las coladas y de roca de composición intermedia de procedencia del domo de dacita en tamaños de 10 a 30 cm de diámetro en forma redondeada a subredondeada, empacados en matriz de limo, arcilla y arena con regular consolidación y saturada de agua, lo que origina constantes goteos sin exceder los 5 litros por minuto, situación que llega a provocar el lavado de finos, factores que hacen que la calidad geomecánica sea clasificada de muy mala a extremadamente mala o clase V de acuerdo con los procedimientos de clasificación de Barton y Bieniawski.

A partir del Cad. 12+576.09 se excavó en una colada de color gris y de composición básica con fracturamiento intenso en una dirección con separación entre planos de 5 a 15 cm, lo que provoca lajeamiento, además del sistema constante de fracturamiento; también se presentaron fracturas irregulares que del Cad. 12+576 al 12+540 tienen abertura sin relleno de hasta 5 cm, del Cad. 12+540 al 12+475 no se presentaron este tipo de fracturas y del Cad 12+475 al 12+444 la abertura de las fracturas llega hasta 15 cm sin ningún tipo de relleno, de acuerdo con las características de la roca y de su estructura, la clasificación geotécnica varía de regular a mala respectivamente.

Del Cad 12+444 al 12+376 se excavó en el depósito de talud constituido por fragmentos subredondeados de roca procedentes de lavas y del domo dacítico empacados en matriz de limo y arena con humedad pero sin llegar a la saturación, con baja consolidación, por lo que su calidad geomecánica es de mala a muy mala.

Del Cad. 12+376 al 11+854 la excavación cruzó por el cuerpo poniente de una caldera por la cual se originaron los domos, quedando emplazados sobre estructuras volcánicas de mayor antigüedad, constituidas por alternancia de coladas de composición intermedia color gris claro, textura porfídica con fenocristales de plagioclasas, cuarzo y hornblenda; presenta estructura de flujo, fracturas diagonales al eje del túnel con abertura sin relleno de 5 a 30 cm y dos sistemas de fracturas más sin abertura, con roca constituida por piroclastos de composición intermedia en tamaños de 5 a 80 cm de diámetro promedio empacados en matriz de arena y limo todo con regular a buena consolidación, pero afectada por las fracturas abiertas; esta alternancia de coladas de lava y piroclastos se presentó de la siguiente manera: del 12+375 al 12+337, del 12+293 al 12+231 del 12+204 al 11+962 y del 11+874 al 11+854, son zonas de lava; mientras que del 12+337 al 12+293, del 12+231 al 12+204 y del 11+962 al 11+9874 son piroclastos.

La zona limitada por los cadenamientos 11+854 al 11+655 está representada por coladas de lava de composición intermedia procedentes del domo Tlalpuente y las cuales se depositaron en las laderas externas. Esta lava tiene dos características en su estructura, siendo más frecuente la brechada, originada durante la caída y el enfriamiento de la lava por la ladera de la caldera, pero también existen zonas de estructura masiva donde posiblemente el aporte de lava fue mayor deslizándose ésta sin sufrir fragmentación, el color de esta lava es gris claro, de textura porfídica y alteración de moderada a elevada y donde la calidad geomecánica es mala, regular y buena; pero las calidades clasificadas como malas predominaron por lo que, sólo en 26 metros, se pudo prescindir de soporte primario

En el cadenamiento 11+655 se presentó el contacto con la colada de basalto a través de un depósito de talud representado por arena, arcillas y limo con saturación de agua y casi nula consolidación, por lo que la

calidad geomecánica de la roca es en este punto considerada como muy mala, siendo el espesor de este material de 5 metros

A partir del Cad. 11+650 y hasta el cadenamiento de comunicación con el túnel de la derivación 3-A en el cadenamiento 11+233.99 (donde existe una igualación de cadenamientos con el 10+651.38), se presentan las coladas de composición básica color café grisáceo y gris oscuro, textura vesicular, muy sana y de dureza elevada, fracturas de patrón irregular abiertas de 1 a 2 cm; distintas coladas de lava están interrumpidas por material piroclástico color rojizo (lapilli) constituido por fragmentos de roca de la misma composición, escoria volcánica y 10% de ceniza, con baja cohesión entre partículas, por lo que la calidad de la sección de corte varía de acuerdo con las características de su estructura pero en especial con la composición en la que se presenta lapilli y escoria, de manera que la calidad geomecánica cuando el lapilli esta en la zona de clave es mala y cuando se presenta en la sección inferior es regular.

### 3.3.7.3.- GEOLOGIA TÚNEL DERIVACIÓN 3-A.

La totalidad de esta derivación se excavó sobre el dominio de coladas sucesivas de lavas en cuyos contactos existe variable cantidad y espesor de escoria volcánica de carácter fragmentario sin cohesión entre partículas, habiendo iniciado su excavación el 31 de julio de 1996 en el cadenamiento 10+651.38, para una longitud total de 900.04 m. la litología donde se construyó la totalidad de este frente fue en el dominio de las coladas de lava pertenecientes al volcán Xitle, las cuales corresponden a estructuras más o menos tabulares de basaltos con intercalación de escorias en los límites de cada colada, la pendiente de estas estructuras tiene como promedio de 10 a 30 grados de inclinación hacia el E. En los siguientes párrafos se hace una descripción detallada de las características petrográficas, estructurales y geotécnicas de las dos parte diferenciadas que componen las coladas sucesivas. Las coladas de basalto y la escoria volcánica en general tienen las mismas características de la derivación 4.

### 3.3.7.4.- GEOLOGIA TÚNEL DERIVACIÓN 3.

Al igual que la derivación 3-A, la totalidad de esta derivación se excavó sobre el dominio de coladas sucesivas de lavas en cuyos contactos existe variable cantidad y espesor de escoria volcánica de carácter fragmentario sin cohesión entre partículas De acuerdo con los registros del levantamiento geológico realizado en la sección de corte a cada metro de separación se pudo determinar que la inclinación general de las coladas varía entre 15° a 30° con dirección hacia el norte y que el espesor de las coladas varía de 0,5 a 5 metros. Esta derivación inicia en el cad. 0+000, cuyo portal se localiza a un costado del restaurante Hipocampo ubicado a la altura del kilómetro 24.5 de la carretera federal México - Cuernavaca, con una longitud de 1 354.42 m. Las coladas de basalto y la escoria volcánica en general tienen las mismas características de la derivación 3-A.

## 3.3.8.- SONDEOS

Los diferentes macizos rocosos que atravesó el túnel han sido evaluados desde el punto de vista geotécnico, a partir de los núcleos recuperados en sondeos directos.

Para la evaluación estadística se han recopilado los datos de:

- a) Porcentaje de recuperación.
- b) R.Q.D
- c) Pruebas de mecánica de rocas.
- d) Análisis petrográfico.

El índice R.Q.D. (**Índice de Calidad de la Roca**), se basa en la observación del estado de fracturamiento que presentan los corazones obtenidos de los muestreos. Se obtiene valorando el cociente de la longitud que resulta de sumar los trozos de roca mayores a 10 cm, entre la longitud de avance del sondeo. La roca se clasifica de acuerdo con los índices que presenta.

TABLA 1 DESCRIPCIÓN DE LA ROCA A PARTIR DE R.Q.D.

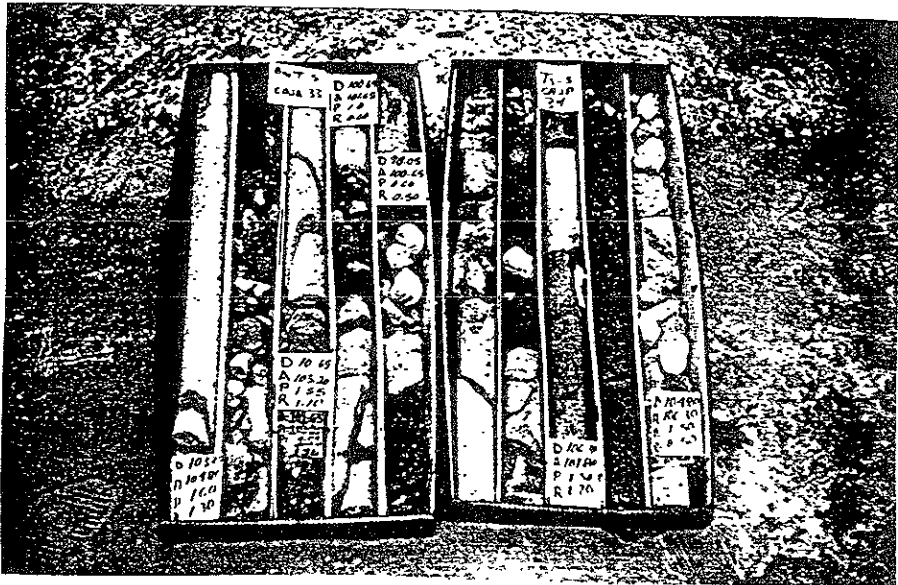
R.Q.D. %	CLASIFICACIÓN
DE 0 A 20	MUY MALA
DE 20 A 40	MALA
DE 40 A 60	REGULAR
DE 60 A 80	BUENA
DE 80 A 100	MUY BUENA.

Esta etapa de la exploración consistió en la realización de 27 sondeos con recuperación de muestra, para determinar las calidades geotécnicas de los tramos que atravesará el túnel y analizar sus características físicas y mecánicas. La profundidad de cada sondeo es variable de acuerdo con su ubicación dentro del trazo del Acuaferico y su posición topográfica en el mismo.

Durante la exploración con sondeos de recuperación, se requirió de tuberías y ademes de diversos diámetros, por telescopio para alcanzar el fondo programado de las perforaciones. Además se necesitó de brocas y lodos de perforación adecuados, para poder obtener un porcentaje de recuperación alto, que permitiera una adecuada correlación estratigráfica entre las unidades de roca obtenidas en los sondeos.



Sondeos con recuperación de muestras de roca a lo largo del trazo del túnel.



Muestras de roca para determinar el R.Q.D

### 3.4.- ESTUDIOS GEOFÍSICOS.

La Geofísica es una herramienta de gran interés en su utilización como método indirecto de exploración, mediante el cual, se pueden conocer las variaciones en las características físicas del subsuelo sobre el que se construirá una futura obra civil.

Continuando con los estudios de exploración con la finalidad de correlacionar las características litológicas de los diferentes estratos que cortará el túnel Acuífero con las diferentes perforaciones de los sondeos directos, se realizó un estudio geofísico de resistividad, mediante la técnica de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV), en la modalidad Schlumberger.

El objetivo de estos estudios, fue establecer una correlación entre los datos obtenidos indirectamente por medio de la geofísica, y los datos directos proporcionados por los diferentes tipos de rocas recuperados de los sondeos con recuperación que se realizaron, de manera que se obtuviera un modelo geológico más aproximado a la realidad.

Esta sección se formó con 35 SEV, cuya distribución permitió relacionar los muestreos de roca, con una abertura entre electrodos de corriente de AB/2- 800 m en promedio. Los trabajos de campo se ejecutaron con un transmisor marca Scintrex modelo TSQ - 2E, junto con un sistema de recepción basado en un multímetro de alta impedancia de entrada. Los datos de campo se ajustaron por las variaciones laterales y se interpretaron mediante el programa Resix - Plus de Interpex.

El método de resistividad eléctrica se basa en el hecho de que los suelos, dependiendo de su naturaleza, presentan una mayor o menor resistividad eléctrica cuando una corriente es inducida a su través. la resistividad eléctrica de una zona de suelo puede medirse colocando cuatro electrodos igualmente espaciados en la superficie y alineados; los dos exteriores, conectados en serie a una batería son los electrodos de corriente (medida por un miliamperímetro), en tanto que los interiores se denominan de potencial y están conectados a un potenciómetro que mide la diferencia de potencial de la corriente circulante.

Los electrodos de corriente son simples varillas metálicas, con punta afilada, mientras que los de potencial son recipientes porosos llenos de una solución de sulfato de cobre, que al filtrarse al suelo garantiza un buen contacto eléctrico.

La resistividad se puede calcular a partir de las lecturas del miliamperímetro  $I$ , del potenciómetro  $V$  y de la separación entre los electrodos,  $d$ , con la fórmula:

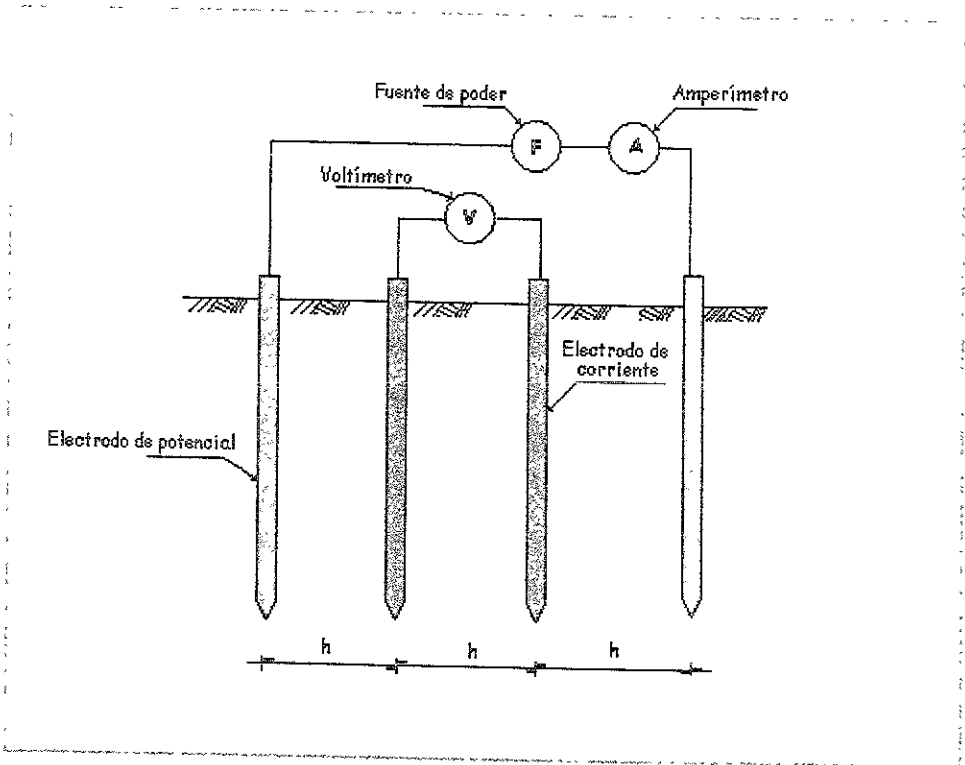
$$P = 2\pi d (V/I)$$

El método sirve en primer lugar, para medir las resistividades a diferentes profundidades, en un mismo lugar y, en segundo, para medir la resistencia a una misma profundidad, a lo largo de un perfil. Lo primero se logra aumentando la distancia  $d$ , entre electrodos, con lo que obtiene que la corriente penetre a mayor profundidad. Lo segundo se consigue conservando  $d$  constante y desplazando todo el equipo sobre la línea a explorar.

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

Debe mencionarse, sin embargo, que los procedimientos de exploración indirecta no son sustitutos de la exploración directa a partir de sondeos, sino complementaria por lo que las incertidumbres del modelo geológico que se presenta en este informe se deberán basar en este último tipo de exploración.





Esquema del Método Geofísico de Resistividades.  
( Referencia No. 4 )

### 3.4.1- RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS GEOFÍSICOS

Con base en la interpretación de los SEV ejecutados se llegó a los siguientes resultados

En la sección de iso-resistividad aparente se presenta una zona en el SEV número 2 de baja resistividad, de hecho con resistividad menor de  $300 \Omega\text{-m}$  en parte de la sección, que se ha asociado con una dacita en contacto lateral con materiales de alta resistividad, mayores a  $1000 \Omega\text{-m}$  y que se conforma por basaltos, tobas, brechas volcánicas y andesitas. Bajo la zona del SEV número 9 se detecta un domo con resistividades mayores de  $10000 \Omega\text{-m}$ .

La sección geoelectrica nos muestra bajo el SEV numero 2 una roca con resistividades entre  $100$  y  $286 \Omega\text{-m}$  que se han asociado con una dacita, en contacto lateral, tal vez por falla, con una secuencia de basaltos, brecha volcánica y tobas. La primera con un espesor promedio de  $30$  metros y resistividades de  $1710$  a  $5105 \Omega\text{-m}$ , la segunda con espesores de hasta  $100$  metros con resistividades entre  $1775$  a  $2333 \Omega\text{-m}$  y las tobas basálticas con resistividades entre  $882$  a  $839 \Omega\text{-m}$ .

SECCIÓN B - B.- Esta sección se encuentra formada por los SEV número 3, 6, 8, detectándose una serie de materiales basálticos bajo el SEV número 3 así como brecha volcánica y como basamento a una profundidad de  $160$  m bajo el SEV número 6 de traquiandesita.

SECCIÓN C-C - En esta sección formada por los SEV No.7, 9, y 10 como aspecto principal se detecta un domo bajo el SEV 9, el cual, dados los valores de resistividad  $3000 \Omega\text{-m}$  se puede encontrar bajo el SEV.10, a una profundidad de  $130$  m, que corresponde a la traquiandesita detectada en las secciones previas

SECCIÓN D-D - En esta sección se encuentran los SEV 11, 12 y 13. Las rocas son principalmente traquiandesitas, las cuales se encuentran en contacto lateral con secuencias de tobas y basaltos con resistividad entre  $674$  y  $816 \Omega\text{-m}$ , y en la zona del túnel esta traquiandesita presenta espesores de hasta  $150$  m.

SECCIÓN E-E - Constituida por los SEV 14 y 15, en esta sección la traquiandesita presenta un espesor promedio de  $70$  m y se localiza a una profundidad de  $20$  m. A esta traquiandesita le sobreyacen las tobas y arenas con resistividades de  $602 \Omega\text{-m}$ .

### 3.4.2- INTEGRACIÓN GEOLÓGICO-GEOFÍSICA.

A partir de los resultados obtenidos, se puede concluir que en general el túnel del Acuaférico se encontrará enclavado en los materiales andesítico - basálticos de la Sierra de Las Cruces (CAD 9+751 a 16+730) y en la traquiandesita y dacita de la Formación Xochitepec (CAD 16+730 a 18+020). Se recomienda tener especial cuidado en las zonas de fracturas y fallas, éstas se localizan en los cadenamientos 11+195, 11+670, 11+985, 12+135, 12+305, 12+445, 12+825, 12+955, 13+452, 13+465, 13+555, 13+735, 14+090, 14+520, 15+695, +17+705, +17+550, sin ser las únicas. Además se recomienda que se verifiquen los contactos entre unidades en la zona del túnel a través de sondeos directos, para conocer las zonas supuestamente riesgosas durante la construcción del túnel. Estas zonas se localizan aproximadamente en los cadenamientos 11+450 a 11+550, 16+680 a 16+750, 17+050 a 17+550.

### 3.5 PRUEBAS DE LABORATORIO.

#### 3.5.1 PETROGRAFÍA

Conforme se avanzo en la perforación de los sondeos, se analizaron petrográficamente muestras de rocas para conocer el porcentaje y tipo de minerales que presentan. El número de muestras por sondeo estuvo en función de la cantidad de unidades geológicas que se atravesaron y de su importancia, sobre todo en la zona del túnel.

Los resultados de estos análisis, permitieron definir con mayor claridad la composición, tipo de roca y los contactos entre las diferentes unidades en la zona del túnel del proyecto Acuaferico.

El estudio petrográfico incluye los siguientes datos (ejemplo):

#### 1.- DATOS GENERALES.

Muestra No.: BNO- T - 16 (37.25 - 40.25) lámina número 6

Localidad Acuaferico - Trazo nuevo.

#### 11. ASPECTO MEGASCÓPICO.

Color: gris con tinte verdoso.

Estructura: compacta con vesículas esporádicas

Textura: porfídica fina.

#### 111. ESTUDIO MICROSCÓPICO.

Textura.

Microfítica - porfídica.

Mineralogía (+%)

Esenciales: andesina, labradorita, vidrio.

Accesorios: pigeonita, olivino, magnetita

Secundarios: minerales arcillosos, hematita - limonita.

Relaciones entre minerales.

La roca está formada esencialmente por un agregado de plagioclasas de composición intermedia a básica (andesina - labradorita) con vidrio de composición media, relleno de intersticios entre los cristales de plagioclasas. Estos constituyentes se presentan con una ligera alteración a minerales arcillosos y tienen inclusiones de pigeonita en finos micro cristales disseminados, de contornos anedrales.

El olivino ocurre en escasos fenocristales eudrales disseminados en todo el agregado de plagioclasas.

La magnetita está presente en finos cristales disseminados, como inclusiones en plagioclasas y ferromagnesianos.

#### IV CLASIFICACIÓN.

Andesita basáltica de piroxeno con olivino.

#### V.- ORIGEN.

Extrusiva.

#### VI.-NOTAS.

1. Ejemplar estudiado en lámina delgada al microscopio petrográfico.
2. En la mineralogía se presenta una estimación aproximada de los porcentajes de los minerales presentes en la roca.
3. La roca pertenece a un vulcanismo calcoalcalino básico con ligera argilitización.

### 3.5.2.- INGENIERIA GEOTÉCNICA

El objetivo de la ingeniería geotécnica para el túnel No 5 fue establecer el análisis de los parámetros geotécnicos, y para hacer el diseño de los soportes requeridos en las diferentes unidades geotécnicas que alojaran al túnel, así como definir en ellas los soportes para casos especiales, como cruce de fallas, contactos geológicos, tramos de roca con calidad muy inferior al promedio, zonas con filtraciones, etc.

El análisis de geotecnia se ha basado en los estudios previos de geología y geofísica, así como también en el muestreo selectivo de los sondeos con recuperación. En las muestras obtenidas se realizaron pruebas de compresión simple y de tensión indirecta (ensaye brasileño) y determinación de su peso específico.

Utilizando diversos criterios se han caracterizado y delimitado en forma general las unidades geotécnicas, y en forma puntual para el túnel en los sitios de sondeos. Con esto se pretende establecer la correlación e interpolación entre datos puntuales (sondeos) y los generales (geología superficial, geofísica y la parte superior de los sondeos sobre el entorno próximo del túnel)

Este tipo de análisis geotécnico permite anticipar con aceptable exactitud el diseño de los diferentes tipos de soporte que requiere esta obra en los diferentes macizos rocosos o unidades, e incluso en subunidades y accidentes geológicos. En base a los tipos de soporte obtenidos en dicho análisis, se desarrollan los métodos constructivos que son objeto del siguiente capítulo.

De acuerdo con las condiciones geotécnicas de los macizos rocosos se obtuvieron las cargas de roca que debe soportar el recubrimiento primero.

Geológicamente, el túnel 5 atravesará cinco macizos rocosos: Ajusco, Tlalpuente, Sierra de las Cruces, Cantil y Topilejo, los cuales presentan condiciones geotécnicas diferentes y por lo tanto requieren soportes diferentes.

Estos macizos rocosos se subdividen en una serie de unidades, en donde la mayoría de ellas se espera que presenten buenas condiciones durante la excavación.

Lo anterior pudo ser evaluado desde el punto de vista geotécnico, a partir de los núcleos recuperados en sondeos directos, que proporcionaron los siguientes parámetros:

- A) Porcentaje de recuperación.
- B) R.Q.D.
- C) Propiedades mecánicas.
- D) Composición mineralógica.

La información obtenida de los sondeos permitió evaluar la calidad geotécnica de las diferentes unidades que atravesaría el Túnel 5, aplicando las clasificaciones semi empíricas desarrolladas, una por Barton y otra por Bieniawski.

Como parte de las pruebas geotécnicas de las unidades rocosas se realizaron pruebas de resistencia en algunas de ellas al nivel del túnel o de su entorno. Se obtuvo el parámetro  $R_c$  de pruebas de compresión simple, además se realizaron en algunos sondeos pruebas brasileñas que, junto con las de compresión simple, definieron las características mecánicas de las unidades que atravesaría el túnel (ángulo de fricción interna y cohesión), al permitir un trazo aproximado de la envolvente de Mohr.

Los valores obtenidos se llevan a tablas comparativas para localizar el tipo de soporte recomendado por ambos sistemas

### 3.5.2.3 - RESULTADOS OBTENIDOS

Todos los resultados obtenidos permitieron definir las calidades de roca, en general la calidad de las unidades 1 y 2 será mejor en el macizo del Ajusco que en el de Las Cruces. La calidad de la unidad 1 en el macizo de la Sierra de las Cruces resultó ser de extremadamente mala a muy mala (0.05 a 0.8) según el criterio de Barton, y de muy mala a mala calidad (16 a 32) según Bieniawski. Esta unidad fue la que obtuvo la menor calificación de entre las restantes. La unidad 2, fue clasificada de muy mala a mala calidad (0.05 a 0.66) en el macizo de las Cruces según Barton, y mejoró su calidad en el macizo del Ajusco (muy mala a regular calidad). Esta unidad fue calificada de mala a regular de acuerdo a Bieniawski.

Las unidades geotécnicas 3 y 4 que se presentaron en los macizos rocosos de Tlalpuente, Cantil y Topilejo tuvieron calificación de muy mala a mala (0.7 a 2.1) y muy mala (0.2 a 0.8) respectivamente, según el criterio de Barton, sin presentar variaciones con respecto al tipo de macizo rocoso. Así mismo, utilizando el criterio de Bieniawski, se le asignó la calidad de mala a regular (33 a 49) a la unidad 3 y de mala calidad (21 a 25) a la unidad 4.

La unidad 5 en los macizos Tlalpuente, Cantil y Topilejo tuvo una calificación de mala a regular calidad (1.15 a 4.8) según el criterio de Barton. Sin embargo, utilizando el criterio de Bieniawski hubo una pequeña variación de la calidad, es decir, en Tlalpuente fue calificada de regular calidad (41 a 53), mientras que en el Cantil y Topilejo de mala calidad a regular (38 a 53). Los resultados proporcionados por ambos criterios, concluyen que el túnel atravesará según el criterio de Barton, una roca de mala calidad en un porcentaje mayor, y en uno menor, los casos límites de extremadamente mala y de regular calidad.

De acuerdo con Bieniawski, el porcentaje mayor a excavar será una roca de calidad de mala a regular calidad, y los casos límite, con porcentajes mucho menor, serán de roca de muy mala calidad.

TABLA 5.6.- RESULTADOS DE LAS PRUEBAS MECÁNICAS EFECTUADAS POR LA CIA ROBBINS EN TRES UNIDADES GEOTÉCNICAS.

UNIDAD GEOTÉCNICA	DESCRIPCIÓN	Rc Kg/cm <sup>2</sup>	% DUREZA DE MINERALES			DENSIDAD t/m <sup>3</sup>	RENDIMIENTO m/hr
			1-4	5-6	7		
U-D	Basalto andesítico escoriáceo	600	10	85	5	2.46	3.7 A 4.3
U-3	Dacita/Traquiandesita gris alterada	761	10	85	5	2.46	5.6 A 6.4
U-4	Dacita/traquiandesita brechada y lajeada	761 1025	10	85	5	2.6	3.0 A 3.5
U-5	Dacita/Traquiandesita masiva	1490 3246	10	85	5	2.8	2.6 A 3.0

TABLA 5.6- CARACTERÍSTICAS MECÁNICO-GEOLÓGICAS DE LOS MATERIALES PÉTREOS OBTENIDOS EN CADA SONDEO AL NIVEL DEL TÚNEL. TRAMO CANTIL-TOPILEJO

SONDEO No.	Tipo de roca	Rc Kg/cm <sup>2</sup>	$\alpha$ grados	C Kg/cm <sup>2</sup>	Q	RMR	RQD%
T-20	Dacita gris	355	30	1025	0.8	49	20
T-21	Dacita gris	292.6	35	761	3.7	69	40
T-22	Traquiandesita gris	641.7	40	1496	45	139	90
T-23	Traquiandesita gris brechada	484.1	35	1056	0.13	53	10
T-24	Traquiandesita brechada	326	30	941	0.07	43	15
T-25	Traquiandesita	639	40	1490	67	139	90
T-26	Traquiandesita lajeada	1329	30	3459	25	89	50
T-27	Traquiandesita lajeada	1123	30	3242	7.5	44	10

Simbología :

Rc= Resistencia a la compresión simple.

$\alpha$ = Ángulo de fricción interna

c= cohesión

Q= Índice de calidad del NGI.

RMR= Índice de calidad del CSIR.

RQD= Índice de calidad de roca según Deere (valores promedio).

TABLA 5.10 - ESTIMACIÓN DE LAS CARGAS DE DISEÑO SEGÚN LOS CRITERIOS DE TERZAGHI, BARTON Y PROTODIAKONOV. TRAMO CANTIL-TOPILEJO.

Sondeo No	DATOS OBTENIDOS				TERZAGHI			BARTON			PROTODIAKONOV		
	Rc (kg/cm)	O (grad)	c (t/m <sup>2</sup> )	y (t/m <sup>3</sup> )	c	H (m)	Wv (t/m <sup>2</sup> )	Jr	Q	Wv (t/m <sup>2</sup> )	f	H (m)	Wv (t/m <sup>2</sup> )
T-20	355	30	1025	2,3	* ,35 1,1	2,52 7,92	4,78 15,05	3	1	0,71	1	6,45	8,2
T-21	293	35	761	2,2	* ,25 ,35	1,8 2,52	4,14 5,79	3	4	0,43	1	3,67	5,6
T-22	642	40	1496	2,5	0,3	0,9	2,07	3	45	0,1	5	0,6	0,95
T-23	404	35	1050	2,1	*1,1	7,92	15,1	2	0	2,63	1	5,24	6,65
T-24	326	30	941	1,9	*1,1	7,92	15,1	1	0	4,84 5,65*	1	6,45	8,20 *8,63
T-25	639	40	1490	2,4	0,3	0,9	2,25	3	67	0,16	10	0,3	0,5
T-26	1329	35	3459	2,5	*0,2 5 0,3 5	1,80 2,52	4,50 6,30	3	25	0,23	13	0,3	0,5
T-27	1123	30	3242	2,4	*1,1	7,92	19	3	8	0,34	1	6,45	13,2

## Simbología.

Rc= Resistencia a la compresión simple.

H= Altura del material a soportar.

Wv= Carga vertical de diseño.

Q= Índice de calidad de Barton.

Jr= Factor de rugosidad de las discontinuidades

Dia= Diámetro de la excavación (3.60 m).

C= cohesión

Y= Peso volumétrico.

O= Ángulo de fricción interna

\*= Considerados bajo nivel freático o con fuertes filtraciones.

En conclusión se puede resumir lo siguiente respecto al túnel 5 del Acuaférico:

- Las unidades geotécnicas que se presentaron en los sondeos al nivel del túnel fueron las 1, 2, 3, 4, 5
- La unidad 1 (andesita basáltica escoriácea), únicamente registrada en el sondeo T-4 al nivel del túnel (Sierra las Cruces) tuvo una extremadamente mala calidad de roca ( $Q=0.05$ )
- Para la unidad 2 (andesita basáltica masiva con escoria) se tienen valores de  $Q$  que oscilan en el intervalo de 1.1 a 3.5, los cuales corresponden a una roca de mala calidad
- La unidad 4 (Traquiandesita-dacita dura y fracturada de la serie Xochitepec) tiene valores de  $Q$  desde 1.0 hasta 4.8, lo que califica a la unidad de mala a regular calidad.
- En todos los casos de los sondeos analizados, con la excepción de los sondeos T-11 y T-17, nos indican que las excavaciones en esas zonas requerirán de algún soporte.
- El macizo de peor calidad se presentó en la andesita escoriácea de la Sierra de Las Cruces y en el macizo rocoso de Topilejo, calificada de muy mala calidad. Sin embargo, esta unidad está presente solamente en los primeros kilómetros y en una longitud pequeña. Tanto en la unidad 2 como en la 4, la roca que se presentará en la mayor parte del tramo será de mala a regular calidad según los criterios de Barton y Bieniawski.

Es posible establecer una correlación de la calidad de roca mala en los sondeos con la cercanía de fallas normales, sin que necesariamente se cumpla esta relación.

Lo anterior conlleva a decir que la presencia de la roca de muy mala calidad no es del todo predecible, pero será altamente probable que se encuentre en los lugares en donde existen discontinuidades geológicas (fallas y contactos entre unidades geológicas) y la presencia frecuente de lentes de material escoriáceo y/o brecha.

Es importante comentar que la presencia de lentes de escoria y/o brecha en la serie andesíticas de la Sierra de Las Cruces y en los domos del Cantil y Topilejo, es congénita con este tipo de derrames y estructuras, por lo que pueden presentarse en cualquier parte del túnel que atraviere las unidades 1, 2, 3, 4, 5.

El tiempo de autosoporte calculado para las diferentes unidades geotécnicas y discontinuidades geológicas varía desde 10 minutos en fallas y contactos geológicos hasta 5 días para un claro de 4 metros, las clasificaciones semiempíricas de Barton y Bieniawski, son muy útiles para determinar el soporte temporal y las de Terzaghi y Protodiakonov para determinar cargas finales necesarias para revestimientos totales.

Un elemento que contribuye al bajo nivel de calificación es la posible presencia de agua en las fracturas, sobre todo cuando se excave bajo los arroyos que drenan superficialmente la zona.

Los macizos rocosos fueron determinados con los resultados de la exploración de geología superficial, geofísica y sondeos con recuperación. Por lo que se refiere a la extensión de cada uno de estos macizos, sus límites referidos con respecto al cadenamamiento del túnel son aproximados, ya que los resultados de los sondeos en estas zonas, no permiten precisarlos. Para efectuar estas determinaciones con una mayor aproximación y prever el método constructivo adecuado en estos puntos, será necesaria una campaña de exploración complementaria, con sondeos con recuperación de muestra.



La Geología en el entorno del túnel, como ya se explicó en el capítulo anterior, en el trazo del mismo se extiende por varias formaciones geológicas; sin embargo, algunas de ellas están en un nivel superior al del túnel, por lo que no serán atravesadas por éste, y por lo tanto no son consideradas desde el punto de vista geotécnico.

Las formaciones que no son consideradas en geotecnia, aunque sí en geología, son:

- 1 - Derrames, brechas, tobas y arenas contemporáneas a la última fase de la Serie Chichinautzin,
- 2 - Derrames de la Formación Sierra de las Cruces

La formación geológica más antigua (Formación Xochitepec) que atravesará el túnel se presenta en los domos volcánicos, denominados el Cantil y de Topilejo. El del Cantil será cortado por este tramo de túnel desde su inicio, en el cadenamiento 17+751 hasta un punto que puede variar entre los cadenamientos 18+300 a 18+600. Este rango se debe a que la exploración no fue suficiente para determinar la posición estructural de los macizos, y en este caso la interpretación geológica depende de este factor. Para solucionar este problema y determinar la calidad geotécnica en 300 m de túnel, se requiere de exploración complementaria. Por otro lado también se ha mencionado que en este tramo el túnel cruzará fallas regionales importantes, probablemente con filtraciones, todo lo cual se conjuga para que sea una de las zonas más importantes desde el punto de vista de previsión de condiciones críticas durante la excavación.

El domo Topilejo, comienza donde termina el del Cantil, y termina aproximadamente en el cadenamiento 20+848 en las cercanías de la cuarta derivación.

Petrográficamente los domos El Cantil y Topilejo, han sido clasificados como traquítico-dácítico. Por conveniencia para distinguirlos y por continuidad con los informes anteriores, el domo del Cantil se clasifica como dácítico y el de Topilejo como traquiandesítico.

Sobreyaciendo a los domos se encuentran derrames caracterizados petrográficamente como andesíticos - basálticos y corresponden a las lavas que forman la parte intermedia de la Sierra Chichinautzin, por su posición estratigráfica corresponden a actividad volcánica contemporánea a la Formación Sierra de las Cruces.

Estos derrames clasificados geotécnicamente están constituidos básicamente por dos unidades: una, denominada "basalto con escoria" con un alto porcentaje de escoria o brecha escoriácea (35%) y la otra denominada "andesita con escoria" con mucho menor cantidad de escoria que la anterior (20%), ver figura 5.0, en donde se identifica como U-D y U-2 respectivamente. Estos porcentajes se cuantificaron en los sondeos y en el sentido vertical, como son cuerpos estratiformes su porcentaje puede ser mayor en caso de encontrarlas al nivel del túnel; en la conexión con la Cuarta derivación y a lo largo de ésta, la proporción de escoria será mayor.

Estas dos unidades se encuentran formando la parte superior de los macizos rocosos del Cantil y de Topilejo, aunque solamente en este último serán atravesadas por el túnel, en la conexión con la Cuarta derivación y a lo largo de ésta.

Los derrames andesítico - basálticos consisten de coladas de lava que forman capas de roca con intercalaciones de escoria volcánica no cementada, con extensiones laterales variables y con espesores de 3 a 8 metros.

### 3.6 MÉTODOS DE ANÁLISIS UTILIZADOS PARA DETERMINAR EL TIPO DE ESTRUCTURA DE SOPORTE DEL TÚNEL.

#### 3.6.1 - CLASIFICACIONES GEOTÉCNICAS Y SU APLICACIÓN AL SOPORTE TEMPORAL.

Con la información obtenida de los sondeos, se evaluó la calidad geotécnica aplicando las clasificaciones semiempíricas desarrolladas, una por Barton y otra por Bieniawski (1986).

La desarrollada por Barton, Lien y Lunde es la denominada clasificación NGI (Norwegian Geotechnical Institute). Esta es ampliamente utilizada por la ingeniería europea para todo tipo de excavaciones subterráneas, incluyendo las grandes cavernas de casas de maquinas hidroeléctricas, así como depósitos subterráneos de petróleo

La clasificación de Bieniawski, en el CSIR (South African Council for Scientific and Industrial Research) se ha estado utilizando tanto en Europa como en los Estados Unidos, y en Sudáfrica, donde fue desarrollada y en donde se ha excavado el 40% de los túneles mineros en el mundo

#### 3.6.2.- CLASIFICACIÓN NGI (Q).

Barton, Lien y Lunde del Norwegian Geotechnical Institute (NGI), han estado desarrollando desde 1974 un índice (Q) para determinar la calidad de un macizo rocoso para la excavación de túneles. El valor numérico de este índice se define:

$$Q = (RQD/JN) \times (JR/JA) \times (JW/SRF)$$

Donde:

RQD = Índice de la calidad de la roca de Deere.

JN = factor de calificación del sistema de juntas.

JR = factor de rugosidad de las fisuras.

JW = Factor de reducción por la presencia de agua.

SRF = Factor de reducción por esfuerzos.

#### 3.6.3.- CLASIFICACIÓN CSIR.

El método CSIR fue desarrollado por Bieniawski en 1974, buscando una clasificación del macizo rocoso que sea sencilla en sus términos y que se apoye en parámetros que se puedan medir en el campo de manera rápida:

- 1.- Resistencia de la roca inalterada (Rc).
- 2.- R.Q.D.
- 3.- Establecimiento de las discontinuidades (DE)
- 4.- Estado de las discontinuidades (CD).
- 5.- Condiciones del agua subterránea (FA).
- 6 - Efecto del rumbo y echado de las discontinuidades con respecto a la geometría del túnel (RD).

Estos parámetros pueden tomar un cierto rango de valores y quedan clasificados cuando se les asigna uno en especial. Estas clasificaciones se suman y se obtiene el valor final (RMR), el cual evaluará la calidad del macizo rocoso

### 3.6.4.- PRUEBAS DE RESISTENCIA DE LA ROCA

El valor del parámetro  $R_c$  se obtuvo de pruebas de compresión simple en los núcleos de roca obtenidos de sondeos con recuperación de muestra, al nivel del túnel y en zonas próximas a él. Asimismo se realizaron en algunos sondeos pruebas brasileñas que, junto con las de compresión simple, definieron las características mecánicas de las unidades que atravesó el túnel (ángulo de fricción interna y la cohesión). Una vez obtenidos los valores de  $Q$  y  $RMR$ , se dispone de las tablas correspondientes para localizar el tipo de soporte recomendado por ambos sistemas. Las variaciones de las calidades de roca de un macizo rocoso a otro, son debidas a que la resistencia a la compresión simple, el  $RQD$  y el número de fallas presentes en la formación varía con respecto al tipo de macizo rocoso. Tales variaciones no son abruptas.

### 3.6.5.-PRUEBAS DE DUREZA.

Para fundamentar la utilización de la máquina tunelera, se realizaron pruebas de dureza y desgaste en núcleos de roca representativos de las unidades geotécnicas al nivel del túnel, con el fin de determinar el consumo de cortadores que requerirá en cada una de ellas, con estas pruebas se estimó la relación entre la abrasividad de la roca y la durabilidad de éstos; su costo varía en un rango de acuerdo a la presencia de minerales duros, sin embargo, parte de que el % de estos en la roca puede variar, el desgaste de los cortadores también está determinado por la presión de empuje sobre ellos, el fracturamiento de la roca y el mantenimiento al equipo de corte.

### 3.6.6.- ESTIMACIÓN DE LA CARGA DE DISEÑO.

La carga de diseño para el revestimiento definitivo se calculó siguiendo tres criterios: el de Terzaghi, el de Barton y el de Protodiakonov. Dichos criterios, aunque son conservadores en comparación con el NATM, se utilizan en el diseño del revestimiento definitivo para considerar efectos tales como aflojamiento, deterioro y uso de las diferentes partes que conforman el mismo. El revestimiento definitivo del túnel no. 5 es de concreto hidráulico, en todo el túnel, independientemente que se utilice la máquina perforadora de túneles (topo) o el sistema de excavación convencional (barrenación y voladura).

#### 3.6.6.1- CRITERIO DE TERZAGHI.

Es uno de los más populares y antiguos criterios conocidos para determinar la carga de roca que gravita sobre el revestimiento definitivo del túnel. Está sustentado en la experiencia del autor en la construcción de túneles en diversas calidades de roca. El modelo utilizado aparece en la figura 5.10 y la magnitud de  $HP$  se determina entrando en la clasificación o descripción de la roca que más se asemeje a las condiciones geotécnicas en el proyecto. En el túnel Acuaférico se cruzarán rocas de los tipos "moderadamente fragmentada" hasta "muy fragmentada" o "triturada químicamente intacta". Los resultados y los valores de los parámetros utilizados se resumen en la tabla 5.10, considerando al túnel arriba del nivel freático.

#### 3.6.6.2 - CRITERIO DE BARTON

En la clasificación ingenieril de macizos rocosos del instituto geotécnico noruego, Barton estima la carga vertical actuante en la clave del túnel por medio de la siguiente ecuación:

$$W_v = 2 Q^{-1/3} / J_r$$

Siendo.  $J_r$  = Factor de rugosidad de las discontinuidades ;  $Q$  = Calificador del criterio Barton y  $-1/3$  es potencia de  $Q$

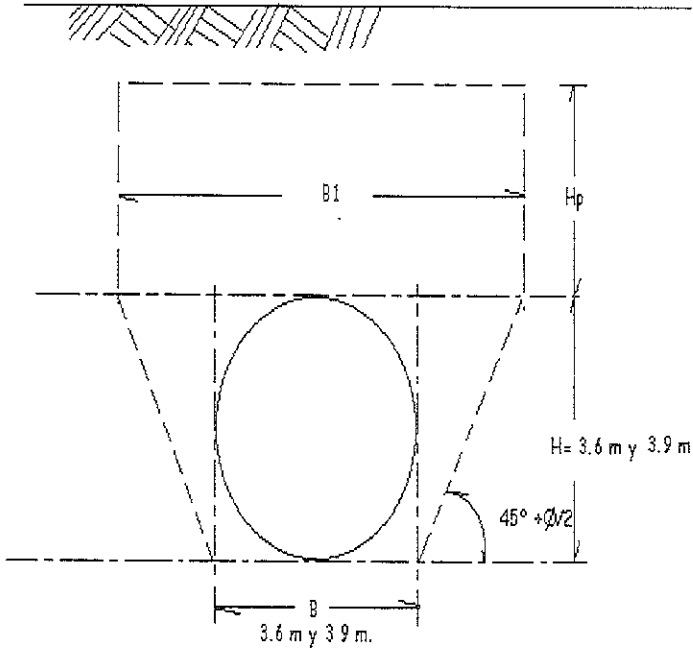


FIGURA 5.10

MODELO DE TERZAGHI PARA DETERMINAR LA CARGA DE ROCA  $H_p$  SOBRE EL REVESTIMIENTO DEFINITIVO

## 3.6.6.3.- CRITERIO DE PROTODIAKONOV

En el criterio de Protodiakonov la presión vertical que actúa sobre la clave del túnel se calcula mediante la ecuación.

$$W_v = 2HG/3$$

En donde,  $H = B / (2F)$

$F = \tan \phi + c/R_c$  o  $R_c/100$

$\phi$  = Angulo de fricción interna

$C$  = Cohesión

$R_c$  = Resistencia a la compresión simple

$G$  = Peso volumétrico del material

$B$  = Base de la parábola de carga, en metros.

En la tabla 5.10 se observan los resultados obtenidos utilizando estos tres criterios en los diferentes sondeos realizados a lo largo del tramo, además se indican las variables que se utilizaron para estimar dichas cargas. De la tabla antes mencionada se tienen los siguientes comentarios:

1. El criterio de Terzaghi generó resultados más conservadores en general y el de Barton los menos.
2. El sondeo T-24 presenta las condiciones más desfavorables
3. Las cargas máximas que se encontraron fueron:

CRITERIO	CARGA (Ton-m <sup>2</sup> )	SONDEO
Terzaghi	15.0	T-24
Protodiakonov	8.2	T-24
Barton	4.8	T-24

La carga reportada considera el nivel freático inferior a la elevación de la subrasante, pero en el criterio de Terzaghi se considera presencia de agua en la zona (valores marcados en la tabla 5.10). Concluyendo, la carga para el diseño del revestimiento definitivo, varía entre 4.8 Ton/m<sup>2</sup> y 15 Ton/m<sup>2</sup>. Con lo anterior, se cubre el caso más desfavorable, es decir la presencia de capas de dacita o traquiandesita brechada sobre la bóveda del túnel.

## 3.6.7.-DISEÑO DEL SOPORTE COMO TUBO DE PARED DELGADA.

Las cargas no son muy altas y permiten un diseño económico a base de concreto convencional. En la ecuación para calcular tubos de pared delgada,

$$D = PR/ow$$

en donde :

$D$  = espesor del revestimiento (cm)

$P$  = Presión radial sobre el tubo (kg/cm<sup>2</sup>)

$R$  = radio de la tubería (cm)

$ow$  = esfuerzo permisible a la compresión, reducido a 0.25  $f'_c$  por posibilidad de flambéo (kg/cm<sup>2</sup>)

Para el caso más desfavorable  $P=1.5$  kg/cm<sup>2</sup> y conocidos  $R=180$  cm y  $ow=50$  kg/cm<sup>2</sup>, sustituyendo en la ecuación anterior, tenemos:  $D = 1.5 \times 180/50 = 5.4$  cm; cuyo valor es acorde con los espesores recomendados para el concreto lanzado, por los métodos empíricos. Si por requisitos de funcionamiento hidráulico se requiere una superficie lisa, el espesor del revestimiento queda sujeto a limitantes como espacio de colocación y vibrado, durante el colado del revestimiento definitivo de concreto armado, estimándose entre 25 y 35 cm el espesor necesario del mismo.

## REFERENCIAS DEL CAPÍTULO 3

- 1.- Memoria de las obras del Sistema de Drenaje Profundo del Distrito Federal. Tomo I, II, III. México D.F. Gobierno del D.F. 1975
- 2 - Revista Hidráulica Urbana Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica. Revista trimestral. México D.F número 2 julio 1997.
- 3.- Comisión Federal de Electricidad Manual de diseño de obras civiles. b.3 Mecánica de rocas. b.3.7. Procedimientos de excavación, b.3.2. obras subterráneas. Primera impresión. México. Editorial mexicana, S.A. 1983.
- 4.- Apuntes del Curso Internacional de Construcción de Túneles de la D.G.C.O.H.

## CAPÍTULO 4

### MÉTODOS DE EXCAVACIÓN DEL TÚNEL DE CONDUCCIÓN DE LA TERCERA ETAPA DEL ACUEDUCTO PERIMETRAL

## CAPITULO 4. MÉTODOS DE EXCAVACIÓN DEL TÚNEL DE CONDUCCIÓN DE LA TERCERA ETAPA DEL ACUEDUCTO PERIMETRAL.

El objetivo de este capítulo es describir las técnicas empleadas en la excavación del túnel de la tercera etapa y compararlas con las técnicas utilizadas en las dos primeras etapas. En el desarrollo de éste capítulo se consultó la obra del Ing. Alfonso Rico, Ingeniería de suelos en las vías terrestre Vol. II, los apuntes del Curso Internacional de Construcción de Túneles de la D.G.C.O.H y se complementó con los registros y las observaciones hechas en campo durante la ejecución de la obra

### 4.1. - MÉTODOS DE EXCAVACIÓN DE TÚNELES.

El túnel del Acuaférico fue excavado en rocas de origen ígneo extrusivo, cuya composición varía de intermedia a básica. En general, las propiedades intrínsecas de la roca tales como su resistencia al corte o permeabilidad tienen menor importancia que las propiedades del conjunto. A este respecto, el grado e intensidad del fracturamiento así como la orientación de los sistemas de fracturas son notablemente más importantes en el comportamiento del futuro túnel.

De igual manera, la permeabilidad del macizo rocoso, a través de fracturamiento, fallas, huecos de disolución, etc., influyen de manera decisiva sobre la obra subterránea, más que la permeabilidad individual de la roca. Las fallas existentes, su actividad relativa y el material que contienen son fundamentales para el estudio del proceso del tuneleo. Los contactos entre las diferentes formaciones rocosas constituyen también puntos singulares de inestabilidad que deben detectarse con suficiente precisión para definir su solución estabilizadora. Al obtenerse el conjunto de datos relativos al macizo rocoso, procedentes de las pruebas realizadas en su mayor parte en el campo, se debe integrar el plano geológico base, que incluya existencia de fallas, contactos entre formaciones y permeabilidad del sistema de fracturas. Así mismo debe mostrar la ubicación de diques, lacolitos, mantos, etc., procedentes de las rocas intrusivas y las orientaciones de los sistemas de fracturas derivadas de su enfriamiento.

*Cuando los túneles se construyen en roca, es más importante conocer el mayor detalle posible del macizo rocoso y no solo las propiedades individuales de los fragmentos de roca.*

En la excavación del túnel 5 del Acuaférico se utilizaron 2 métodos de excavación: el método tradicional de barrenación y voladura y el método de excavación con una máquina tunelera a sección completa. Antes de iniciar el tema de los métodos de excavación trataremos las condiciones en que se presenta la excavación de un túnel en distintas condiciones de la roca.

#### 4.1.1. - TÚNELES DE ROCA SANA E INTACTA O EN SUELOS FIRMES.

La teoría ha demostrado que, en roca sana, la modificación que la presencia del túnel impone en el estado de esfuerzos de la masa general, tiende a nulificarse rápidamente a medida que aumenta el alejamiento del túnel; de hecho a distancias del orden de un diámetro, el efecto de la excavación ya es despreciable.

Como se dijo, en las paredes del túnel el esfuerzo radial, actuante en dirección normal a la pared, es nulo y la circunferencia, en la dirección de la tangente, es aproximadamente igual al doble del que existió antes de perforar el túnel. Un elemento de la pared del túnel está sujeto a un estado de esfuerzos hasta cierto tiempo similar al de un espécimen de roca que se prueba a la comprensión simple; la falla se produce cuando el esfuerzo circunferencial llegue a igualar la resistencia de la roca a la comprensión; esto conduce a muy grandes esfuerzos circunferenciales posibles que, si no hay presiones horizontales en la masa de roca sana, corresponden a altura de rocas sobre el túnel, compatibles con el equilibrio, del orden de los miles de metros. En estas condiciones, es evidente que el túnel de la roca sana no precisará, por lo general, ningún ademe



Existe, sin embargo, un problema relativamente frecuente en túneles que atraviesan roca sana estratificada que exige que estos deban ademarse en forma suficiente para la protección de los trabajadores durante el periodo de construcción. Este problema suele denominarse roca explosiva

La roca estratificada presenta el problema de romperse fácilmente a lo largo de los planos de estratificación y de juntarse transversalmente a esa dirección. Cuando la estratificación es horizontal se presenta en estas rocas el efecto conocido como de puente, según el cual la roca se sostiene sola como una losa sin necesitar ademe, siempre y cuando la resistencia a la tensión de la losa sea mayor que los esfuerzos ocasionados por la flexión. Si los esfuerzos de tensión son mayores que la resistencia de las losas de roca, el techo del túnel se agrieta y exige un sostén adecuado

El efecto de los explosivos en el frente del túnel durante el proceso de la construcción produce una sobre excavación que depende de la distancia entre las juntas de la roca, de la cantidad y potencia de los explosivos y de la distancia entre el ademe ya colocado y el frente de trabajo sin ademar.

Si los planos de estratificación de la roca están en dirección vertical, el monto de la sobre excavación depende mucho de la distancia entre el frente de ataque a la excavación, sin ademar y el principio del ademe ya construido atrás. Ahora las masas de roca se sostienen en fricción en sus planos de estratificación y el hecho del ademe solo tiene que soportar la diferencia entre su peso y dicha fricción, en realidad, las observaciones prueban que la situación es más favorable de lo que a primera vista podría decirse y la carga de roca muy rara vez excede en estos casos el valor del peso de la masa aflojada por el efecto de los explosivos. Tomando un valor de la carga de rocas del orden  $0.25 B$  ( $B$ , ancho del túnel) párese ser que se garantizan buenas condiciones para el ademe del techo.

Si los planos de estratificación están inclinados respecto al eje del túnel se ejercen en pujos no solo sobre el techo de este, sino también en la pared interceptada por la estratificación.

#### 4.1.2.- TÚNELES EN ROCA FISURADA

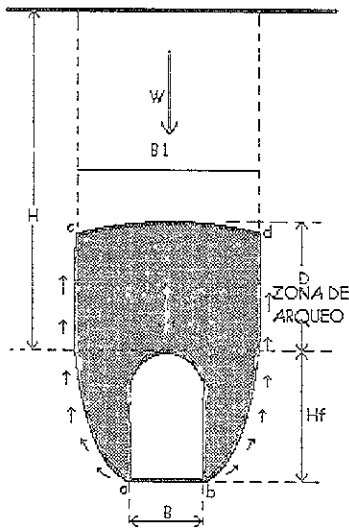
Es frecuente que el fisuramiento ocurra paralelamente a la superficie del terreno. En estas rocas los problemas de sobre excavación y soporte son muy similar a los tratados para el caso de las rocas estratificadas. Si las fisuras ocurren al azar, el no poner ademe conduce generalmente a un envobodamiento, especialmente sobre el techo, sin embargo, es frecuente que, por lo irregular la trayectoria de fisuramiento y la fricción y grabazón entre la roca juegue un gran papel, por lo que el empuje en las paredes suele ser nulo y el techo ligero, correspondiente, cuando mucho, a una carga de roca equivalente a una altura de una cuarta parte del ancho del túnel.

Cuando este tipo de roca esta sujeta a un fuerte estado de deformación elástica presenta también el problema de la roca explosiva, que debe ser prevenido como se dijo atrás.

### 4.1.3.- TÚNELES EN ROCA TRITURADA

En este tipo entran una gran variedad de formaciones, desde roca muy fragmentada, hasta roca a tal grado triturada que su comportamiento sea realmente el de una arena

En estas rocas es típico el fenómeno conocido como efecto de arqueo, que indica la capacidad de la roca situada sobre el techo de un túnel para transmitir la presión debida a su peso a las masas colocadas a los lados del mismo. Este efecto es en todo similar al del arqueo de arenas, ya mencionado y se produce como una consecuencia de la relajación de esfuerzos causada en el techo de la perforación. En la figura siguiente se muestra esquemáticamente la masa de roca afectada por el fenómeno. Muestra a la masa de roca afectada por el arqueo, el peso de esa masa que tiende a penetrar en el túnel mientras no se construya el ademe apropiado, se transfiere en su mayor parte a las masas laterales de roca y es resistido por la fricción que se desarrolla en las superficies ac y bd



(Referencia No. 1)

Nótese que el ancho de la zona de arqueo,  $B_1$ , es mayor que el ancho del túnel. También se observa que el espesor  $D$  de la zona de arqueo es aproximadamente igual a  $1.5 B$ ; por encima de esa altura, los esfuerzos en la masa de roca permanecen prácticamente inalterados cuando se efectúa la excavación.

De todo lo anterior se deduce que, en estos tipos de roca, es conveniente la construcción inmediata del ademe y del acañamiento correcto del mismo.

Si el túnel está excavado bajo el nivel freático, las pruebas en modelos han demostrado que el fenómeno de arqueo no se ve interferido por el flujo que se produce hacia el túnel, que actúa como un dren subterráneo, pero que las fuerzas de la filtración hacen que la carga de roca prácticamente se duplique. Naturalmente, el flujo afecta en forma importante la capacidad de la carga de la base de los puntales del ademado lateral.

#### 4.1.4. - MÉTODO DE EXCAVACIÓN CONVENCIONAL DE BARRENACIÓN Y VOLADURA.

##### 4.1.4.1 - CICLO BÁSICO DE TRABAJO.

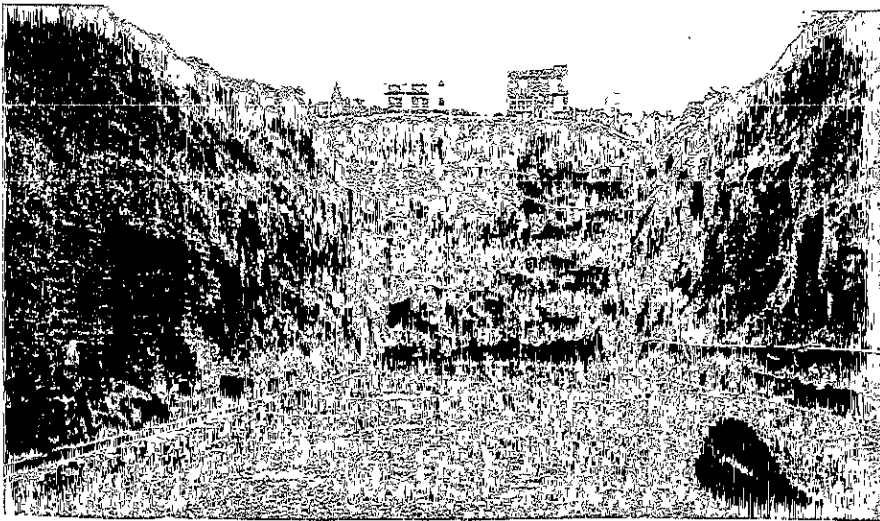
En este trabajo de excavación subterránea, las operaciones que se realizan son sucesivas, aunque en algunos casos puede haber traslape de las mismas, pero en muchas ocasiones estos traslapes de operaciones para reducir el tiempo resultan contraproducentes, pues las operaciones hechas de esta manera crean cierto grado de interferencia que se traduce en bajo rendimiento del ciclo.

Las operaciones del ciclo son:

- 1 Barrenación y limpieza de la misma.
- 2 Carga de explosivos y conexos, retiro de voladura.
- 3 Ventilación
- 4 Rezaga.
- 5 Movimiento de equipo, maniobras varias y topografía.
- 6 Ademe y soporte temporal ( cuando se requiere).
- 7 Bombeo (cuando se requiere)

##### 4.1.4.2. - EQUIPO UTILIZADO EN EL CICLO BÁSICO.

Para la barrenación por el método convencional, se utiliza normalmente brazos hidráulicos de perforación. Este brazo hidráulico es un dispositivo que posiciona el martillo de perforación en cualquier posición determinada del frente. Existe una gran variedad de brazos de perforación, pudiéndose agrupar en dos grandes grupos los portátiles que como su nombre lo indica son pequeños brazos para efectuar perforaciones de pequeña sección, y los que van montados en jumbo, es decir los fijos y de éstos existe una gran variedad. Los jumbos son equipos que consisten en un cuerpo portante al que van vinculados a los brazos de perforación y que pueden tener un sistema de desplazamiento propio o exterior. Estos jumbos se pueden clasificar en: jumbos compactos sobre rieles, jumbos autopropulsados y jumbos de pórtico. (ver equipo para excavación convencional en capítulo 5)



Excavación del tajo y trazo de la sección del túnel en el talud frontal de la derivación 3 (Ref. No 2)

#### 4.1.4.3 - TIPOS DE PERFORACIÓN DE TÚNELES POR EL MÉTODO TRADICIONAL.

Los túneles suelen abrirse simultáneamente por sus dos bocas. En muchos de los casos se excavan como las galerías de las minas, volando la roca con barrenos. Generalmente se abre primero una galería de avance y luego se aplica para ensancharla alguno de los cuatro métodos ilustrados por la figura y cuya adopción depende de la naturaleza del terreno. Modernamente, se excavan los túneles con grandes máquinas que avanzan sobre rieles, soportan varias plataformas para el ataque de la roca con perforadoras (o la ataca por sí mismo con una fresadora del diámetro del túnel) y permite al mismo tiempo ir efectuando el revestimiento.

- I **MÉTODO DE FRENTE COMPLETO** - Es el método mas usado en la actualidad se utiliza para sacar de una sola vez el área total del frente.
- II. **MÉTODO DE GALERÍA Y BANQUEO**.- Para material suelto, consiste en perforar una galería en la parte superior del túnel, tan ancha como vaya a ser el túnel, la parte baja o restante se saca de uno o mas escalones o bancos. En el banco queda generalmente una barrenación atrás del frente de la galería superior.
- III. **MÉTODO DE GALERÍA CENTRAL O TÚNEL PILOTO**.- Se abre una galería en el centro del túnel proyectado, como regla general, esta galería se abre atravesando de lado a lado el túnel del proyecto antes de iniciar su ensanchamiento.
- IV **MÉTODO DEL TÚNEL EXPLORADOR**.- Se perfora una galería paralela al túnel principal, generalmente su excavación se adelanta considerablemente a la del túnel principal, teniéndose de esta manera aviso oportuno de cualquier cambio de importancia en la formación de la roca, para así poder alterar a tiempo el método empleado en el túnel principal, además se abren cruceros, ofreciendo así dos frentes mas desde los cuales puede perforarse. El frente del túnel principal ofrece también un camino para desalojar la rezaga y un medio para mejorar la ventilación en los diversos frentes.

#### 4.1.4.4.- BARRENACIÓN

Las barrenaciones normalmente se nombra por el tipo de cuña que se utiliza para abrirlas, por ejemplo, una barrenación con cuña V o una barrenación con cuña piramidal. El tipo de cuña empleada, la longitud de la barrenación y el número de barrenos por disparo dependen del tamaño del frente que se este trabajando y de la dureza del material que se debe romper, además del equipo disponible para el trabajo.

Cabe hacer la aclaración que en frentes muy pequeños, la barrenación puede consistir únicamente en la cuña, lo que se denomina un par de ayudantes y los barrenos de tabla, en tanto que en frentes grandes, la barrenación puede incluir la cuña, varios juegos de ayudantes, varias líneas de segundos ayudantes y los barrenos de tablas.

Es imposible mostrar barrenaciones específicas que satisfagan todas las condiciones que se encuentran bajo tierra. Al trabajar un frente puede ser necesario cambiar el patrón de barrenación varias veces debido a las diferentes formaciones que se localicen.

La práctica usual al hacer las barrenaciones es barrenar la cuña de tal modo que rompa aproximadamente 2 pulgadas o 5 cm más que el resto de la barrenación. Esto proporcionará mas alivio en el fondeo del barreno facilitando que el resto de los barrenos rompan hasta el fondo.

Los barrenos próximos y paralelos a la cuña usualmente se llaman "primeros ayudantes".

#### 4.1.4.5.- CUÑAS.

La cuña es una abertura en el terreno sólido, generalmente al centro de la cara, que se necesita para poder avanzar en cualquier frente. Sin una buena cuña los barrenos no pueden romper con efectividad.

Existen tres tipos de cuñas:

1. La cuña en ángulo dentro de las que destacan la cuña triangular, la de abanico y la cuña piramidal.
2. La cuña quemada o fragmentada.
3. Combinación de las otras dos.

#### 4.1.4.6.- VOLADURAS CONTROLADAS.

En la actualidad, se emplean numerosas voladuras controladas para regular el sobre rompimiento que se considera sobre todo, que es una función de la geología.

Todas las técnicas tienen como objetivo común reducir y distribuir mejor las cargas explosivas para minimizar la fatiga y la fractura de las rocas mas allá de la línea de excavación neña y economizar sobre excavación. Estas técnicas se deben emplear cuando se conozca bien y con pruebas de campo e geología del futuro rompimiento.

Las técnicas de voladura controlada se agrupan en cuatro categorías:

1. Barrenación en línea.
2. Voladura amortiguada.
3. Voladuras suaves.
4. Precorte.



Peforistas en actividad de barrenación para el uso de explosivos en la excavación del tajo de acceso en la derivación 3-A.

#### 4.1.4.7 - EXPLOSIVOS Y SUS PROPIEDADES.

##### 4.1.4.8.- DINAMITA.

Las dinamitas son mezclas sensibles encapsuladas que contienen un compuesto explosivo, ya sea con sensibilizador o como el medio principal para desarrollar energía, el que se inicia adecuadamente, se descompone la velocidad de detonación

Las dinamitas se empaquetan en una amplia variedad de diámetros y longitudes; en tamaños pequeños 7/8" hasta 2" de diámetro

##### 4.1.4.9.- AGENTES EXPLOSIVOS.

Son mezclas químicas insensibles al fulminante, que no contiene ingredientes explosivos y que se pueden hacer detonar cuando se inicia con un cebo explosivo de alta potencia. Existen dos grupos especiales de compuestos, en un amplio rango de densidad con un contenido de energía variable y con diferente resistencia al agua

El primer grupo está clasificado como materiales oxidantes, debido a que no contienen altos explosivos y que se les conoce como nitro-carbonitratos, ejemplo de estos productos son el nitramón y nitranite.

El segundo grupo se refiere a aquellos explosivos que no contienen nitroglicerina y por lo tanto deben considerarse como altos explosivos. Ejemplos : nitramex, tobex y pourmex.

De las muchas ventajas ofrecidas por estos compuestos o mezclas sin nitroglicerina, son la seguridad en el manejo y su bajo costo

##### 4.1.4.10.- PROPIEDADES DE LOS EXPLOSIVOS.

**Potencia.**- Es el contenido de energía de un explosivo, que a su vez contribuye a la fuerza y poder que desarrolla y al trabajo que es capaz de efectuar. La clasificación de la potencia de una dinamita regular está dada por el % en peso de nitroglicerina en formula: así una dinamita regular de 100% contiene 40% de nitroglicerina y 60% de otros ingredientes.

**Densidad** - Esta se expresa por el número de cartuchos de 1 ½" x 8" que contiene una caja de 50 Lb ( en México el número e cartuchos en 25 kg), normalmente la densidad se compara con la del agua y se expresa en gramos por centímetro cúbico. Generalmente varía desde un mínimo de 0.14 g/cc a un máximo de 1.4 a 2.0 g/cc.

**Sensibilidad.**- Se refiere a la medición de su capacidad de propagación.

**Velocidad.**- Es la medida de la rapidez con que viaja la onda de detonación a través de una columna de explosivos. A medida que aumenta la velocidad, el explosivo produce un mayor efecto de fragmentación en materiales duros.

**Resistencia al agua.**- Es una propiedad a considerar si el explosivo debe permanecer bajo el agua algún tiempo

La resistencia a la congelación, la inflamabilidad, las emanaciones y la sensibilidad son otras de las propiedades de los explosivos

#### 4.1.4.11.- DISPOSITIVOS DE INICIACIÓN.

En cualquier operación de voladura se obtienen mejores resultados si los dispositivos de iniciación, se seleccionan tan cuidadosamente como el explosivo.

Los dispositivos para la iniciación son productos que se utilizan para:

- 1.- Iniciar las cargas de explosivos
- 2.- Proporcionar o transmitir la flama para iniciar la explosión
- 3 - Para llevar una onda de detonación de un punto a otro, o de una carga a otra.

#### 4.1.4.12 - DISPOSITIVOS ELÉCTRICOS.

La forma principal de un dispositivo eléctrico de iniciación es un estopín eléctrico. Estos están equipados con sistemas eléctricos de ignición; consisten en un casquillo metálico dentro del cual se colocan diferentes cargas de pólvora, y de un elemento eléctrico de ignición conectado a un par de alambres aislados.

En los estopines eléctricos de retardo, se interpone entre la mezcla de ignición y la carga de cebo, un elemento de retardo

Estos estopines eléctricos vienen normalmente con casquillos de aluminio que tienen longitudes variables desde 1,5" hasta 3", dependiendo del periodo de retardo.

Es importante que los estopines eléctricos se protejan contra la electricidad extraña, misma que puede ser causa de un disparo accidental. El uso de estopines eléctricos de retardo y retardos de milisegundos tienen las siguientes ventajas sobre los disparos con intervalos largos:

- Mejor fragmentación
- Menor vibración.
- Lanzamiento controlado.
- Menor número de barrenos controlados y menor cantidad de pólvora.
- Menor cantidad de explosivos y menor costo.

Los dispositivos no eléctricos están descontinuados y en desuso

#### 4.1.5 - CLASIFICACIÓN EMPÍRICA DEL TUNELERO.

Antes de iniciar el tema de la excavación a sección completa, trataremos un tema que nos proporciona una clasificación para determinar el tipo de excavación, el uso de tipo de soportes y de revestimiento, partiendo del tipo de material (macizo rocoso, suelo o formación geológica) en que se realizará la construcción de un túnel, y que sirvió bastante en la construcción del túnel 5 del Acuafémico

La clasificación Tunnelman's, presenta básicamente diez categorías para clasificación del material excavado, ordenadas de la menor a la mayor posibilidad de dificultades que pueden surgir al excavar un túnel. Mediante esta clasificación se adoptan los métodos de excavación, estabilización de la excavación, tipos de soporte a usar y el tipo de revestimiento del túnel.

**No.1 DURO.-** En este tipo de material, al frente del túnel puede avanzar sin requerir soporte alguno en la clave o en las paredes (rocas sanas, prácticamente sin fracturas, suelos calcáreos arcillosos duros, gravas y arenas cementadas, pueden caer dentro de esta primer categoría).

**No.2 FIRME.-** El frente del túnel puede avanzar sin soporte temporal en la clave, el soporte final puede colocarse antes de que el material empiece a moverse (rocas sanas poco fracturadas, loess arriba del nivel freático, arcillas calcáreas de baja plasticidad).

**No.3 GRANELO LENTO.-** Empiezan a caer del techo y paredes terrones y hojuelas de material, algún tiempo después que el material ha sido excavado (rocas poco alteradas fracturadas, suelos residuales, arenas con cementante arcilloso, arriba del nivel freático).

**No.4 GRANELO RÁPIDO.-** El proceso de desprendimiento de terrones y hojuelas se inicia en pocos minutos después que el material ha sido excavado (suelos residuales o arenas con cementante de arcilla bajo el nivel freático).

**No.5 EXTRUSIÓN LENTA.-** El terreno avanza lentamente hacia el túnel, sin fracturarse y con aumento notable de agua. Puede provocar hundimientos en la superficie (roca alterada, arcillas blandas o medianamente blandas).

**No.6 EXPANSIVOS.-** Aquí también el terreno avanza lentamente hacia el túnel, pero existe un notable incremento de volumen en el material vecino a la frontera excavada, asociado a la presencia de agua (rocas sedimentarias, conteniendo capas de anhidrita, arcillas fuertemente preconsolidadas, con índice plástico mayor al 30%).

**No.7 CORRIDA COHESIVA.-** Después de un breve período de graneado, el material "corre" colina abajo, como si fuese azúcar granulada hasta que el talud se estabiliza en la relación 2:1 aproximadamente (dos horizontal por uno vertical), se presenta en suelos arenosos francos con cierta humedad intergranular.

**No.8 CORRIDA.-** La remoción del soporte lateral o confinamiento en cualquier superficie con inclinación mas escarpada que 2:1 provoca un "corrimiento" del material similar al ocurrido en un reloj de arena, hasta que se estabiliza en un talud de 2:1 o similar. Esto ocurre en arenas limpias secas, medias a gruesas, arriba del nivel freático.

**No.9 EXTRUSIÓN RÁPIDA.-** El terreno avanza rápidamente hacia el hueco excavado en forma de flujo plástico o pseudo plástico, donde fragmentos de material conservan su consistencia original. Esto ocurre en arcillas limos con alto índice de plasticidad



No.10 FLUYENTE - El terreno se mueve como líquido viscoso pudiendo invadir todo el hueco excavado, incluyendo paredes y techo del túnel llegando a salir hasta los portales en algunos casos. Esto ocurre en suelos granulares bajo el nivel freático, con diámetro efectivo mayor de 0.005 mm

Es interesante observar que los materiales encasillados como DUROS o FIRMES, soporten claramente las concentraciones de esfuerzos provocados por la excavación sin menoscabo de su resistencia interna a pesar del "desconfinamiento". Es de esperarse que su componente cohesiva (cementación) sea altamente importante ( Ver cuadro 4.1)

En los materiales descritos con el calificativo de GRANELO LENTO o RÁPIDO, las concentraciones de esfuerzos pueden mermar de alguna manera la capacidad resistente del material, el cual poco a poco se rompe y traslada su responsabilidad al medio vecino, a la vez que extiende el proceso de desconfinamiento.

En algunos materiales, el intemperismo que acompaña a la excavación del túnel, puede ser la causa del graneado, que poco a poco degrada al suelo vecino a la oquedad, desactivándolo de su función de soporte, en un proceso progresivo

Los materiales clasificados como EXTRUSION LENTA o RAPIDA, son incapaces de soportar los nuevos esfuerzos impuestos por la oquedad, pero en vez de romperse bruscamente y salirse del sistema soportante, se plastifican progresivamente alrededor del hueco, conservando una parte de su responsabilidad, aunque con un notable incremento en las deformaciones ( Ver cuadro 4.2).

La rapidez con la que se provoca la plastificación depende del nivel de esfuerzos en relación a la resistencia del material y condiciona el que la extrusión sea lenta o rápida.

En los materiales EXPANSIVOS, existe una acción directa del agua sobre la estructura interna del material, que al haber perdido su confinamiento aumenta de volumen y pierde algo de su resistencia ( Ver cuadro 4.3).

Los suelos de CORRIDA, pierden por completo su resistencia al desconfinarse, cediendo libremente a las fuerzas gravitatorias, hasta alcanzar su estabilización.

Finalmente en los suelos FLUYENTES, la acción desconfinante, sumada al flujo del agua despertado por la excavación, provoca una completa movilización del suelo afectado que busca su nuevo estado de equilibrio ( ver cuadro 4.4)

EXCAVACIÓN	CLASIFICACIÓN DEL TUNELERO									
	DURO 1	FIRME 2	GRANEO LENTO 3	GRANEO RÁPIDO 4	ESTRUSION LENTA 5	EXPANSIVO 6	CORRIDA COHESIVA 7	CORRIDA 8	EXTRUSION RÁPIDA 9	FLUYENTE 10
EXPLOSIVOS										
HERRAMIENTA MANUAL NEUMÁTICA										
CHEFLONES DE AGUA										
REGILLAS FRONTALES										
GILLOTINAS										
TOPO										
FREZADORA										
BRAZO EXCAVADOR										
ESTRELLA CORTADORA										
DISCO CORTADOR										

CUADRO 4.1

ESTABILIZACIÓN FRONTAL	CLASIFICACIÓN DEL TUNELERO									
	DURO 1	FIRME 2	GRANEO LENTO 3	GRANEO RÁPIDO 4	ESTRUSION LENTA 5	EXPANSIVO 6	CORRIDA COHESIVA 7	CORRIDA 8	EXTRUSION RÁPIDA 9	FLUYENTE 10
POR RESISTENCIA INTRÍNSECA DEL MATERIAL										
CON AYUDA DE ABATILLENTO DEL NIVEL FREÁTICO										
CON AYUDA DE INYECCIÓN EN EL TERRENO										
CON AYUDA DE CONSOLIDACIÓN CON NAVAJAS PERIFÉRICAS EN CLAVE										
CON GATOS FRONTALES										
CON AIRE COMPRIMIDO										
CON LODO APRESTÓN PRESTACIONADO AL MATERIAL EXCAVADO										

CUADRO 4.2

ESTABILIZACIÓN DE LAS PAREDES	CLASIFICACIÓN DEL TUNELERO									
	DURO 1	FIRME 2	GRANDE LENTO 3	GRANDE RÁPIDO 4	EXTRUSIÓN LENTA 5	EXPANSIVO 6	CORRIDA COHESIVA 7	CORRIDA 8	EXTRUSIÓN RÁPIDA 9	FLUYENTE 10
POR RESISTENCIA INTRÍNSECA DEL MATERIAL	RECOMENDABLE	MODERADAMENTE RECOMENDABLE	NO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE						
ANCLAS	RECOMENDABLE	MODERADAMENTE RECOMENDABLE	NO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE						
CONCRETO LANZADO		MODERADAMENTE RECOMENDABLE	NO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE						
ANCLAS Y CONCRETO LANZADO		MODERADAMENTE RECOMENDABLE	NO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE						
VARILLOS METÁLICOS Y RETAJE DE MADERA		MODERADAMENTE RECOMENDABLE	NO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE						
ANILLOS METÁLICOS Y RETAJE DE MADERA		MODERADAMENTE RECOMENDABLE	NO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE						
DOVELAS DE CONCRETO			MODERADAMENTE RECOMENDABLE	NO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE					
DOVELAS DE PLACAS DE ACERO			MODERADAMENTE RECOMENDABLE	NO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE					
DOVELAS DE FIERRO FUNDIDO			MODERADAMENTE RECOMENDABLE	NO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE					

CUADRO 4.3

REVESTIMIENTO DEFINITIVO	CLASIFICACIÓN DEL TUNELERO									
	DURO 1	FIRME 2	GRANDE LENTO 3	GRANDE RÁPIDO 4	EXTRUSIÓN LENTA 5	EXPANSIVO 6	CORRIDA COHESIVA 7	CORRIDA 8	EXTRUSIÓN RÁPIDA 9	FLUYENTE 10
DEJANDO EL MATERIAL NATURAL	RECOMENDABLE	MODERADAMENTE RECOMENDABLE	NO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE						
CON ANCLAS	RECOMENDABLE	MODERADAMENTE RECOMENDABLE	NO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE						
CON CONCRETO LANZADO	RECOMENDABLE	MODERADAMENTE RECOMENDABLE	NO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE						
CON ANCLAS Y CONCRETO LANZADO	RECOMENDABLE	MODERADAMENTE RECOMENDABLE	NO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE						
CON DOVELAS DE CONCRETO			MODERADAMENTE RECOMENDABLE	NO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE					
CON CONCRETO COLADO CON CIBER			MODERADAMENTE RECOMENDABLE	NO RECOMENDABLE	POCO RECOMENDABLE					

CUADRO 4.4

#### 4.1.6.- METODO DE EXCAVACIÓN CON MÁQUINA EXCAVADORA ROTATORIA A SECCIÓN COMPLETA (TOPO)

##### 4.1.6.1.- ANTECEDENTES DE LA EXCAVACIÓN CON MÁQUINA TOPO

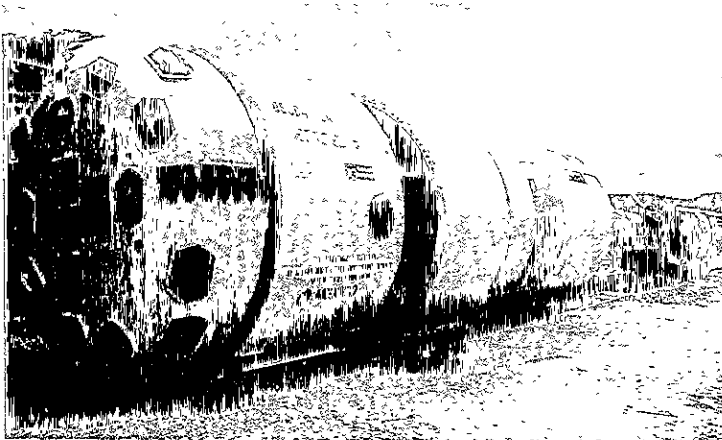
En 1960 la tunelería registró una innovación tecnológica clave que amplía el horizonte de posibilidades en la construcción de túneles con magníficos resultados, por lo que a rapidez, seguridad y economía se refiere la máquina excavadora rotatoria a sección completa, a la cual los tuneleros le han puesto el nombre de topo.

Los fabricantes han ido mejorando en forma notable el topo, al grado en que en nuestros días y en un medio favorable de trabajo, la máquina en si no representa mayor problema, en comparación a los que originan o provocan los demás componentes del sistema constructivo, en especial el rezagado. Esto deriva de una doble falla de organización y de tecnología, que los fabricantes de equipos y los constructores están empeñados en eliminar ideando procedimientos prácticos y equipo para el rezagado, el soporte temporal y el definitivo del túnel, así como las varias operaciones de apoyo, transporte de rezaga y materiales, ventilación, etcétera.

En México, la primera vez que se utilizó un topo fue en la construcción del túnel número 2 del acueducto Río Colorado - Tijuana, en la sierra de La Rumorosa; en Baja California Norte. La experiencia no fue del todo buena para la compañía constructora, que por falta de un buen control de dirección y nivel y en general por fallas de logística no pudo concluir la obra, debiendo terminarla por medio del método convencional de excavación.

##### 4.1.6.2.- REQUERIMIENTOS DEL USO DE MÁQUINA TOPO.

Para el constructor de túneles, el topo requiere de una importante inversión inicial, de una muy eficiente organización constructora altamente especializada, que cuente con planeación activa y flexible y del apoyo del mejor servicio logístico. Resulta indispensable que el topo sea empleado en condiciones de roca, que la experiencia previa que en otros lugares semejantes halla probado como adecuadas, requiere también que la longitud del túnel a ejecutar sea suficiente para garantizar la recuperación económica de la inversión en equipo, recomendaciones dignas de ser tomadas en consideración por quienes tienen la responsabilidad de elegir o recomendar el empleo de topo para un proyecto dado.



Máquina tunelera antes del inicio de la excavación en la derivación 4 (Ref. No 2).

#### 4.1.6.3 - ESTUDIOS GEOLÓGICOS PREVIOS A LA EXCAVACIÓN CON MAQUINA TUNELERA.

Para utilizar las maquinas perforadoras rotatorias integrales, es indispensable que la formación rocosa tenga una dureza moderada, como en las lutitas y varias clases de pizarra y arenisca.

*Más que en algún otro método de construcción convencional aplicable en la excavación de túneles, el empleo del topo requiere de estudios geológicos previos, como se menciona más adelante: esto, porque la tunelería abierta con estas maquinas excavadoras resulta ser altamente susceptible a la influencia de ciertas condiciones inherentes a la formación rocosa donde se tiene que trabajar*

Los estudios geológicos previos pueden reunirse en dos grupos. el reconocimiento, que constituye el paso 1, y así las exploraciones en detalle denominadas aquí como paso número 2.

Quando el paso número 1 arroje conclusiones de tipo negativo para el empleo del topo, lo indicado será elegir otro método de construcción. Detallaremos esos pasos 1 y 2 a continuación.

##### 4.1.6.3.1.- PASO 1.- RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO.

El reconocimiento será de superficie y abarcará la zona de terreno que incluye las varias alternativas de ruta para el túnel.

- A) Tipos y clases de roca que probablemente van a cruzarse
- B) Grados de dureza, según la escala de Mohs u otra
- C) Resistencia de la ruptura en compresión simple correlativas
- D) Posibilidades de encontrar en las diversas rutas a seguir por el túnel, condiciones geológicas adversas al ritmo de avance normal, tales como : zonas mineralizadas, duras o alteradas diques , cuarcita arenisca : roca con susceptibilidades de expansión bajo el efecto de liberación de esfuerzos en la superficie interior del túnel . zonas de roca cizallada, remolida o con agua a presión.
- E) Estado de integridad estructural: estructuras de roca sanas, fracturadas, alternadas.
- F) Grueso probable de los estratos o capas.
- G) La ubicación, dirección y buzamiento de fallas y fracturas prominentes, fajas remolidas, cizalladas o alternadas

Si resultan inciertos alguno o varios de los puntos citados, podrá convenir emprender las actividades del paso 2.

#### 4.1.6.3.2 - PASO 2.- EXPLORACIONES GEOLÓGICAS EN DETALLE

Cuando el reconocimiento geológico de resultados negativos, lo indicado será abandonar la idea de emplear el topo.

Si el paso 1 arroja resultados positivos, habrá que proceder con el paso 2 que, en términos generales será

- A) Localización sobre el terreno de la ruta o rutas por analizar en detalle.
- B) Ejecución de perforaciones verticales, espaciadas a juicio del geólogo entre 1 y 2 kilómetros a lo sumo y a lo largo de la línea eje; con recuperación de núcleos, los que deberán pasar al estudio y clasificación por un geólogo, quien formulará perfiles geológicos con los datos pertinentes, entre los que deberán incluirse la posición de la superficie freática o piezométrica, según proceda
- C) Determinación del grado de dureza según la escala de Mohs u otra, y de la resistencia a la compresión no confinada, obtenidas por los métodos estándar, en muestras seleccionadas como representantes de los varios tipos y clase de roca
- D) Investigaciones geofísicas consistentes en levantamientos.
  - 1. Sismológicos de refracción;
  - 2. Magnetométrico aéreo,
  - 3. Magnético y de gravedad.

#### 4.1.6.4.- RECOMENDACIONES DERIVADAS DE LOS ESTUDIOS GEOTÉCNICOS.

Las investigaciones a que se refiere este punto D) llevan la finalidad de ayudar al geólogo en la integración del marco de referencia global, en el cual proyectar las interpretaciones derivadas de la información o deducida, que resulte de los estudios comprendidos en los puntos A), B), C).

Las características indicadas en A), B), C), son necesarias para lograr en las alternativas de ruta, con sentido de la realidad, un buen diseño de los aspectos correlativos a la construcción y economía de túneles, así como para que el fabricante del topo atienda con eficacia los aspectos de diseño y adaptación de la máquina a las condiciones reales del proyecto.

El fabricante del topo aprovecha los datos obtenidos en el punto C) para diseñar el tipo, número y distribución de los cortadores, los empujes Perimetral y longitudinales a proporcionar las potencias en motores, estimar la potencialidad del avance, etcétera.

El ingeniero proyectista encontrará útiles los datos indicados en A), B), y C) para estimar las probables cargas y esfuerzos que actuarán sobre el túnel. Esto servirá para definir el grueso del revestimiento permanente en los diversos tramos y si este revestimiento deberá llevar acero de refuerzos en alguna parte. Además, el tipo, densidad y métodos de soporte temporal, marcos de ademe, anclas, concreto lanzado, etc.

El ingeniero de construcción aplica la información indicada en A), B) y C) para efectuar, en las alternativas de ruta, la estimación del avance medio probable en los varios tramos de roca con dureza diferente, los tipos, capacidad de carga y densidad de soporte temporal o permanente, requisitos varios en personal, equipos y materiales, para las diversas operaciones complementarias de apoyo a la construcción del túnel de cuya ejecución depende el ritmo de avance medio a lograr por todo el sistema constructivo.

*La mayor fuente de problemas de excavación con topes es la variación considerable en la dureza de la roca y otras características que afectan el avance u ocasionan en el topo un deterioro fuera de lo normal.*

Por lo mismo los diversos tipos de exploraciones geológicas y geofísicas que antes se mencionan, tienen la finalidad de proporcionar elementos de juicio, para que el geólogo procure localizar, hasta donde le sea posible, aquellos accidentes adversos al avance normal del topo, tales como diques o cuerpos intrusivos, zonas falladas o cizalladas que pueda cruzar el túnel. De encontrarse accidentes tales en número considerable, habrá que valorar su efecto en los análisis construcción y económicos a elaborar, para llegar a decidir sobre la conveniencia o no, de utilizar esa máquina.

#### 4.1.6.5. - PUNTOS CRITICOS.

Respecto a esto quiero llamar la atención hacia 5 puntos críticos por evaluar con base en la información obtenida en los estudios geológicos previos al paso 2.

PRIMERO. precisar si las formaciones de roca por encontrar tienen la suficiente dureza y capacidad de autosostén para que el topo rinda avances satisfactorios

SEGUNDO: definir el número, naturaleza y extensión de los diques o cuerpos intrusivos con dureza y resistencia compresiva superiores a la media probable de las otras formaciones rocosas .

TERCERO definir la cantidad, anchura y características generales de las zonas en roca remolida, falladas y cizalladas pues constituyen un problema mucho más serio para el funcionamiento y avance normal del topo que en la alternativa del tuneleo según el método convencional

CUARTO: localizar si hay cuerpos en roca sedimentaria de dureza inconveniente que restringen el avance medio de la perforadora. pizarras, calizas duras, o areniscas colindantes en dureza con la cuarcita, o estas últimas

QUINTO: definir si por lo que a la cantidad de agua filtrante se refiere, la construcción del túnel puede calificarse como: seca (de 0 a 6 litros por segundo), semihúmeda o en agua (30 o más litros por segundo).

Los cinco puntos anteriores no son los únicos, pero si son los de mayor ocurrencia en la práctica.

Es importante revisar los aspectos de geotecnia relacionados con los criterios de diseño del túnel, los cuales tratamos en el capítulo 2, en el subcapítulo 2.3 "Criterios de diseño"

#### 4.1.6.6.- ASPECTOS DE GEOTÉCNIA E INGENIERÍA ECONOMICA EN LA TUNELERÍA CON TOPO.

a) Trabajando en rocas de dureza apropiada y dentro de condiciones geológicas favorables, los topos pueden rendir excelentes avances. para obtener esa potencialidad al máximo es indispensable que el organismo constructor tenga una organización directiva y técnica de primer orden. Con el nivel de especialización adecuado, y en la obra personal altamente calificado, más una planta de construcción ajustada para responder a toda necesidad en cuanto a calidad, cantidad y capacidad.

La tunelería con topo demanda un alto grado de planeación y control en las operaciones: de servicio logístico además de flexibilidad y juicio profesional en la adaptación a cambios y exigencias que se presenten en el diseño y especificaciones de construcción, por lo que al equipo humano se refiere: proyectista, ingeniero residente y constructor.

b) El período de entrega de los topos es bastante grande, contando desde el día en que el concurso es otorgado hasta aquel en que la máquina debe estar en la obra lista para trabajar.

Este período de entrega, cuando es adquirida una máquina nueva o rentada, alcanza de 9 a 20 meses. Los plazos más cortos en la entrega corresponden a las máquinas que los fabricantes consideran de diámetro estándar y para ser empleadas en rocas de dureza adecuada, como de 2.5 en la escala de Mohs.

c) El punto (b) habrá que tenerlo muy en cuenta en los estudios económicos previos a la elección del método para atacar el túnel.

d) Otro aspecto que puede influir mucho económicamente, en especial en longitudes de túnel relativamente cortas es la inversión probable en el topo y equipos de apoyo, así como la relación de esta inversión al kilometraje del túnel que se proyecta. En términos muy generales puede decirse que aquí en México para que resulte costear el empleo del topo se estima como longitud necesaria cuando menos de 8 a 10 kilómetros.

e) Puede afirmarse que para tener éxito en el empleo de los topos es requisito básico que las filtraciones al túnel sean pequeñas.

f) Con el uso del topo queda bastante tersa la superficie perimetral del túnel excavado, de lo que se obtiene 5 aspectos económicos positivos e interrelacionados, que son:



#### 4.1.6.7.- ASPECTOS ECONÓMICOS POSITIVOS DEL USO DE LA MÁQUINA TUNELERA

1 - Mayor probabilidad de que resulte innecesario el revestimiento permanente del túnel.

En algunos casos en que resulte factible, los requisitos de servicio podrán demandar la colocación de una cubeta o piso, según proceda, colado en el sitio o formado con elementos precolados

2 - El aumento en capacidad de conducción hidráulica, para un diámetro dado de túnel

3 - Reducción drástica de excavación con respecto al método tradicional. La disminución correlativa en volúmenes e importes de excavación, soporte temporal y concreto de revestimiento, representan una efectiva economía acreditable a la tunelería con topo.

4.- Disminución en el espesor teóricamente requerido del revestimiento. La reducción en el espesor de tolerancia, indicada en el aspecto 3, acorta el diámetro de excavación para el túnel, y en consecuencia el grueso necesario del revestimiento.

5.- Disminución en la robustez y costo del sistema temporal de soporte

Los efectos mencionados en los aspectos 3 y 4, implican la reducción en diámetro del hueco a excavar en la masa rocosa para alojar el túnel. Esto, a su vez significa la correlativa disminución de intensidad en los campos de esfuerzos y deformaciones actuantes en la periferia del túnel y, por lo tanto, implica un soporte temporal algo más ligero que el resultante para el mismo caso, con el método de excavación convencional.

g) La prudencia aconseja en todos los casos, emprender estudios económicos comparados de la tunelería según el método convencional y con el topo.

Los estudios económicos deben abarcar el sistema completo: excavación, rezagado, soporte temporal, revestimiento definitivo y operaciones complementarias de apoyo.

En el caso del topo, la estimación del importe total que representa la construcción del túnel, debe tomar muy en cuenta los varios factores y circunstancias apuntados en los puntos (a) al (f).

Trabajando en rocas de dureza apropiada y dentro de condiciones geológicas favorables, los topos pueden rendir excelentes avances: para obtener esa potencialidad al máximo es indispensable que el organismo constructor tenga una organización directiva y técnica de primer orden. Con el nivel de especialización adecuado, y en la obra personal altamente calificado, mas una planta de construcción ajustada para responder a toda necesidad en cuanto a calidad, cantidad y capacidad.

*Téngase presente que la tunelería con topo es bastante sensible a las condiciones geológicas y a la efectividad del rezagado y operaciones de apoyo.*

*Cuando la diferencia en los presupuestos entre ambos métodos en un proyecto dado, resulte del orden del 20% o menor se recomienda someter ambos sistemas a prueba en un concurso, para obtener precios unitarios, e importes totales*

## 4.2.- PROBLEMAS ESPECIALES DURANTE EL PROCESO DE EXCAVACIÓN.

Derivados de problemas en el proceso constructivo surgieron modificaciones al proyecto ejecutivo que a continuación se comentan

### 4.2.1.- CAMBIOS DE PROYECTO y SU JUSTIFICACIÓN

MODIFICACIÓN	JUSTIFICACIÓN
a) Se decide no construir la Lumbra 2-A	Se define que la máquina tunelera podrá ser sacada por el túnel principal
b) Cambio de la ubicación de la derivación 3	No se pudo adquirir el terreno donde ésta se proyectó
c) Cambio de tipo de ademe de concreto lanzado y nervaduras por marcos metálicos y concreto lanzado	El procedimiento de concreto lanzado en la escoria no es posible y la colocación de armado de nervaduras no garantiza la estabilidad del túnel durante su colocación.
d) Cambio de revestimiento definitivo en túnel principal de anillos de dovelas a dovelas de piso y revestimiento de concreto armado	Se determina que el procedimiento a base de anillos de dovelas no es aplicable técnica ni económicamente debido a las condiciones de la roca
e) Cambio del trazo sobre el eje del túnel principal.	Se detecta material de mala calidad, no propio para la aplicación de la excavación con la máquina tunelera, por lo que se determina modificar el trazo para tener condiciones más favorables para la excavación.
f) Ampliación de sección de excavación de la derivación 4, de diámetro de 3.80 a 4.10 metros	Para facilitar las maniobras de rezaga de la excavación por el método convencional y para facilitar el acceso a la máquina tunelera
g) Alargamiento de la longitud de la derivación 3	Cambio del trazo sobre el eje del túnel principal
h) Construcción de la derivación 3-A para sacar el topo.	Se define que la máquina tunelera podrá ser sacada por el túnel principal

#### 4.2.2. - RETRASOS DERIVADOS DE FALLAS O PROBLEMAS CON LA MÁQUINA TUNELERA EN DERIVACIÓN 4 (TÚNEL 5)

En el mes de enero de 1996 se hacen los primeros intentos de avance de la T.B.M pero sufrió fallas en la banda transportadora de la rezaga además de que fue necesario aplicar soldadura en la base de apoyo de los gatos hidráulicos. En este mes también se presentaron problemas con obstrucción del láser con elementos interiores del escudo debido a la elevación de la parte posterior de la T.B.M.

A mediados del mes de Febrero se realizó una revisión y cambio de los discos de la cabeza cortadora. Se realizó mantenimiento a la T.B.M y se limpió tren de arrastre y telescopio. Se presentó una falla en el sistema de direccionamiento por lo que se suspendieron las actividades de excavación a las 17:00 hrs. Debido a la falla en el equipo de direccionamiento de la máquina tunelera y a la falla de la refacción para componer el sistema, se suspenden las actividades de excavación en el frente. Las actividades se reinician hasta las 16:00 del día miércoles 28 de febrero. El día jueves 29 del mismo mes se presenta falla en uno de los transformadores por lo que a partir de las 15:00 ya no se avanza en la excavación.

En el mes de marzo, debido a las fallas eléctricas del generador del día anterior se realizan pruebas en los cables de alimentación de la T.B.M tomando la decisión de cambiar estos, y hacer una revisión de los transformadores de la subestación y de la T.B.M. Se hicieron varios intentos fallidos de mover la máquina tunelera debido a que el amperaje de los motores eléctricos tendían a subir demasiado además de que las cuchillas del transformados se disparaban a cada intento. El día 5 falla el suministro de energía eléctrica, por lo que es necesario realizar el mantenimiento y revisión de todos los sistemas de la T.B.M desde el día 6.

Los días 7 y 8, 12, 17 y 19 se realizan trabajos de embragues de los motores en la T.B.M. además de trabajos de mantenimiento general. Del día 20 al 31 informa que la T.B.M. trabajo con solo 4 motores ya a una velocidad de rotación baja, debido a la falla del embrague No. 2.

Hasta mediados del mes de abril se continúa trabajando con solo 4 motores, se presentan fallas hidráulicas y mecánicas continuas que ocasionan paros en la excavación. Del día 10 al 16 se ve la necesidad de efectuar cambio y mantenimiento en los discos de la cabeza cortadora. El día 17 se realiza la reposición total de los 17 discos y revestimiento de la cabeza cortadora de la T.B.M., lo que cierra la etapa del primer avance. Los trabajos se reanuda el día 27 con un avance de 6.45 m mantenimiento general de la T.B.M.

Los primeros 11 días del mes de mayo se presenta una falla en el sistema hidráulico de la T.B.M., no se detecta el origen de la falla por lo que es necesaria la intervención de técnicos estadounidenses. El día 13 de mayo se realizan pequeños avances, pero se presentan problemas con la retracción del faldón. Es necesario peinar el terreno para subir nivel de marcos metálicos. El día 14 y 15 de mayo continúa mantenimiento de la T.B.M., se presentan avances de 12 m. y se continúa el calzado de marcos. El día 25. no hay avance por mantenimiento preventivo.

En el mes de junio, los días 7,8 no hay excavación por lanzado de concreto para proteger de la intemperización las paredes de la excavación. Comienza el cambio de embragues de la T.B.M. Los días 11,12, 13, se presenta falla en el set de láser de la T.B.M., no hay avance hasta el 13. El día 20 comienza cambio de cortadores así como de tornillos de los mismos y sus placa. Los días 21 al 25 no hay avance debido al párrafo anterior. se inicia el cambio del sello del balero de la cabeza cortadora.

En julio 13, se realiza el cambio de los gatos hidráulicos que causaron la perdida de nivel de proyecto de la T.B.M.

### 4.2.3.- AVANCE DE EXCAVACION CON LA MÁQUINA TUNELERA TERCERA ETAPA - TÚNEL 5

MES	CAD INICIO	CAD FINAL	AVANCE POR MES	ACUMULADO	GEOLOGÍA
octubre-95	20+558,000	20+499,100	58,90	58,90	colada de basalto gris y brecha de bloques
noviembre-95	20+499,100	20+499,100	0,00	58,90	
diciembre-95	20+499,100	20+499,100	0,00	58,90	
enero-96	20+499,100	20+397,430	101,67	160,57	brecha de bloques y colada de basalto
febrero-96	20+397,430	20+383,822	13,61	IGUALDAD DE CAD	cono volcánico basalto escoriaeo fracturado y colada de basalto gris
febrero-96	20+383,822	20+012,476	220,90	395,08	cono volcánico basalto escoriaeo fracturado y colada de basalto gris
marzo-96	20+012,476	19+624,085	338,39	733,47	colada de basalto gris
abril-96	19+624,085	19+385,655	238,43	1021,90	colada de basalto cono volcánico basalto escoriaeo fracturado
mayo-96	19+385,655	19+096,340	289,31	1311,22	cono volcánico basalto escoriaeo fracturado y colada de basalto gris
junio-96	19+096,340	18+668,140	428,20	1739,42	colada de basalto gris y cono volcánico basalto escoriaeo fracturado
julio-96	18+668,140	18+276,980	391,16	2130,58	cono volcánico basalto escoriaeo fracturado y domo de Dacita
agosto-96	18+276,980	17+575,330	701,65	2832,23	domo de Dacita
septiembre-96	17+575,330	16+827,250	748,08	3580,31	domo de Dacita
octubre-96	16+827,250	16+206,550	620,70	4201,01	domo de Dacita deposito de talud limo y arena escorias y colada de basalto
noviembre-96	16+206,550	15+288,470	518,08	4719,09	colada de basalto gris y colada de basalto rojo
diciembre-96	15+288,470	15+298,010	390,46	5109,55	basalto de escoriaeo y esconas volcánicas
enero-97	15+298,010	14+655,070	642,94	5752,49	basalto escoriaeo deposito aluvial y esconas
febrero-97	14+655,070	14+612,940	42,13	INTERCONEXIÓN D-3	excavado con metodo convencional
febrero-97	14+612,940	14+016,44	596,50	6348,99	basalto escoriaeo y esconas volcánicas
marzo-97	14+016,440	13+898,050	118,38	6467,38	basalto escoriaeo tobas volcánicas esconas cenizas y brechas de bloques
abril-97	13+898,050	13+473,200	424,85	6892,23	brechas de bloques
mayo-97	13+473,200	13+436,830	36,37	6928,60	brechas de bloques
junio-97	13+436,830	13+335,270	101,56	7030,16	colada de basalto y brecha de bloques
julio-97	13+335,270	13+272,030	63,24	7093,40	brecha de bloques colada de basalto y brecha de bloques
agosto-97	13+272,030	13+187,080	84,95	7178,35	brecha de bloques colada de basalto y brecha de bloques
septiembre-97	13+187,080	13+025,96	161,12	7339,47	
octubre-97	13+025,960	12+517,74	406,22	7745,69	
noviembre-97	12+517,740	12+595,50	24,24	7769,93	
diciembre-97	12+595,500	12+376,46	219,04	7989,97	
enero-98	12+376,460	11+610,64	765,82	8754,79	
febrero-98	11+610,640	11+233,99	376,65	9131,44	

Avance total con la TBM 9132,44

NOTA: EL CAD 11+233,99 DEL TUNEL 5 SU IGUALDAD DE CAD CON LA DERIVACIÓN 3-A ES EL 10+651,384

AVANCE EN 1995	20+558,000	20+499,100	58,90	58,90 EN 1995
AVANCE EN 1996	20+499,100	20+383,822	115,28	
AVANCE EN 1996	20+383,822	15+298,010	4935,37	5050,65 EN 1996
AVANCE EN 1997	15+298,010	14+655,070	642,94	
AVANCE EN 1997	14+655,070	12+376,460	2236,48	2879,42 EN 1997
AVANCE EN 1998	12+376,460	11+233,990	1142,47	1142,47 EN 1998

9132,44 GRAN TOTAL

#### 4.2.4.- PROBLEMAS Y SOLUCIONES DE LA EXCAVACIÓN DEL TÚNEL 5

La excavación a sección completa con la TBM se inicia al encontrar el primer cono volcánico (cad 20+390 aprox) Es donde se observan las ventajas de la tunelera, ya que el avance en este material es considerable con respecto al método convencional. Se utiliza ademe primario a base de marcos circulares metálicos y ademe con madera de retaque en el cono volcánico de bloques y cenizas. Por ser material de mala calidad se produce sobre excavación por lo que es necesario utilizar madera de retaque para que el macizo rocoso quede soportado por el marco metálico. En la sobre excavación generada por la mala calidad geomecánica en la zona del primer cono volcánico con brecha de bloques en el cad. 20+230 aprox. Se utiliza ademe con marcos metálicos y madera

Se recibe con viguetas y madera el caído del cad. 20+230 en la brecha del primer cono volcánico. Estos caídos generan una sobre excavación considerable, por lo que es necesario construir una estructura que sirva de soporte. Se utiliza ademe primario con marcos metálicos, madera y vigueta IPR de 17.9 kg-m para recibir la parte terminal del caído en el cad. 20+220.

Se genera sobre excavación sobre la TBM por el corto tiempo de autosoporte en la brecha de muy mala calidad geotécnica. Al no contar con el tiempo suficiente para ademar la excavación se da el fenómeno de arqueo en la excavación hasta que se logra el autosoporte, generándose una sobre excavación, se traspalean los bloques de roca, en la zona de maniobras, caídos durante la retracción del segundo escudo, (Cad. 20+190) debido al que el material carece de cohesión se desmorona. Es necesaria una demolición y extracción manual de bloques para dar piso a la rastra base de la estructuras metálica para recibir el caído. Es en este tipo de maniobras donde más se pone en riesgo la integridad de personal que labora en la construcción del túnel

Se construye una estructura a base de vigueta metálica para recibir el caídos mayores a 1.00 m y complementar el soporte primario con marcos circulares metálicos. Se realiza la aplicación de concreto lanzado por vía húmeda para evitar el intemperismo acelerado y como soporte previo al recibimiento del caído con vigueta IPR de 17.9 kg-m. Fue necesaria la barrenación con martillo neumático de la T.B.M. para el anclaje del ducto de ventilación en zona sin marcos metálicos.

Una forma de estabilizar la excavación fue la colocación de soporte primario a base de canal rolado, anclas tipo swelex y módulos de malla en el cad. 20+120 en roca de composición básica.

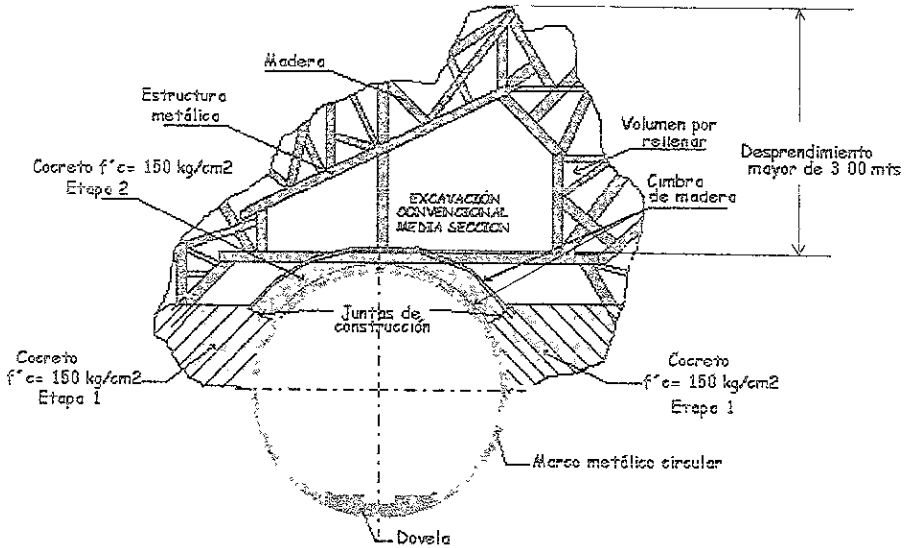
Fue necesaria la excavación de un nicho sobre la TBM para liberar el atascamiento de los gatos estabilizadores. Estos nichos se realizan de forma manual, también se les conoce como coyoterías, la excavación de estos llegó a ser común a todo lo largo del túnel donde se encontró material de mala calidad que hacía que se atascara la TBM. El llenado de las vagonetas, con el material de rezaga, se realizaba en la zona de descarga de la banda transportadora, donde se encontraba un cambio California para permitir la espera o salida de las locomotoras y las vagonetas cargadas.

Se colocó triplay como cimbra para el mejoramiento lateral durante la primera media sección agrandada. Primero se coloca una película de plástico para proteger el escudo, después se coloca duela, que es la que entra en contacto con el triplay, ya colocado todo se inicia el colado de los laterales. Se aprecia el sondeo exploratorio efectuado desde la superficie durante la primera media sección agrandada.

En el Cad. 19+455 se realizó una etapa de mantenimiento general y se aprovecha para hacer cambio de cortadores entre otras cosas.

En la siguiente figura se puede observar el conjunto de elementos para el avance mixto de la primera media sección agrandada, el revestimiento primario en la media sección y el tapón de madera para el mejoramiento lateral del terreno. Cuando se presentaban sobre excavaciones y se atascaba la tunelera, el avance en la excavación del túnel se hacía por medio del método convencional, hasta que se liberaba la máquina y se encontraba material de buena calidad.

Un método utilizado para el avance en excavación de la media sección agrandada, fue el uso de ademe con madera y anclaje tipo jaula de ardilla, para dar mas estabilidad al frente de excavación cuando el material presentaba baja cohesión.



Elementos para el avance mixto a media sección agrandada en caídas.

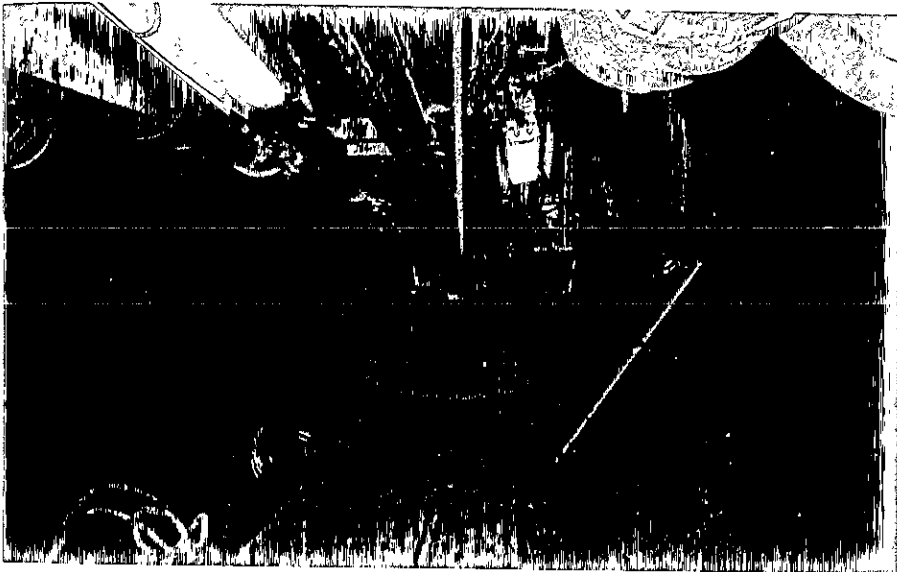
A medida que avanza la excavación se realiza la colocación y nivelación de las dovelas de piso, sobre las cuales se colocan los rieles que servirán para el transporte por medio de locomotoras y vagones dentro del túnel durante todo el proceso constructivo en la zona del primer cono volcánico.

La colocación del soporte primario a base de marcos metálicos y ademe con madera se realizaba en la zona inmediata a la TBM. Se realiza la colocación de marcos metálicos inmediata al faldón del segundo escudo. El recibimiento de bloques y sobre excavación se realiza con madera de ademe o retaque.

En el Cad 20+490, se generó un gran caído que fue recibido con acero estructural, madera de retaque y concreto lanzado, posteriormente se cimbró y se colocó concreto hidráulico formando una bóveda con 40 cm de espesor ( $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$ , en la zona del primer caído y media sección). Este método constructivo se planteó como una solución para ahorrar concreto de alta resistencia en el relleno de estas grandes cavidades, producto de la sobre excavación.

En el patio de maniobras de la derivación 4 llegan las vagones arrastradas por las locomotoras, se dirigen hacia la grúa pórtico donde se realiza el izaje de las vagones, que las voltea para vaciar la carga, que posteriormente se carga a camiones de  $7 \text{ m}^3$  por medio de un cargador frontal.

El Cad 19+800, no necesita soporte por ser material de buena calidad. En este tipo de material es donde se presenta el más alto rendimiento de la tunelera ya que presenta las condiciones ideales para la excavación, debido a que la sección es excavada sin problema alguno. Se realiza una barrenación para las anclas de fijación de la base de una nueva estación del rayo láser que guía el trazo de la excavación de la TBM. En el mismo cadenamiento, la máquina perdió el control del nivel debido al mal funcionamiento de uno de los gatos hidráulicos que rigen la dirección de la cabeza giratoria de la TBM, formando un "columpio", por lo que fue necesario realizar trabajos de nivelación y peine del túnel para corregir el error altimétrico.



Colocación de dovelas, mediante polipastos ubicados atrás del doble escudo de la T.B.M

### 4.3.- INSTRUMENTACIÓN.

La instrumentación de los túneles, tiene por objeto medir los desplazamientos de la masa del suelo o roca que circunda a la sección excavada y comparar estas mediciones con los parámetros de deformabilidad de la roca o masa de suelo empleados en la etapa de diseño, así como las características geológicas del terreno. Lo anterior ayuda a evaluar la estabilidad de la excavación y permite además adecuar el soporte (revestimiento) primario, según las necesidades del terreno.

Por lo anterior es necesaria la valuación de estas mediciones de instrumentación cuyos objetivos se plantean a corto, mediano y a largo plazo, como lo mencionaremos a continuación:

#### Objetivos a corto plazo

- a) Proporcionar los elementos que permitan enjuiciar y como consecuencia poder garantizar la seguridad tanto de la excavación, como de las estructuras localizadas en la superficie cuando estas existan.
- b) Fundamentar y favorecer la toma de decisiones con respecto al cambio o modificación de los procedimientos constructivos seguidos; así como un proceso de retroalimentación al diseño del soporte temporal o definitivo del túnel.

#### Objetivos a mediano plazo

- a) Conocer la naturaleza y si es posible cuantificar la presión inducida por la masa del suelo, definiendo los parámetros de deformabilidad del suelo y normar criterios para juzgar la interacción del subsuelo y el revestimiento considerado en el diseño.
- b) Obtener las bases para ajustar el diseño del revestimiento definitivo a la naturaleza de la masa del suelo, de acuerdo al comportamiento o reacción observado durante el proceso de excavación.

#### Objetivos a largo plazo

- a) El principal objetivo de la instrumentación a largo plazo, es comparar las predicciones teóricas empleadas con el comportamiento real de las estructuras de soporte temporal y del revestimiento definitivo del túnel.

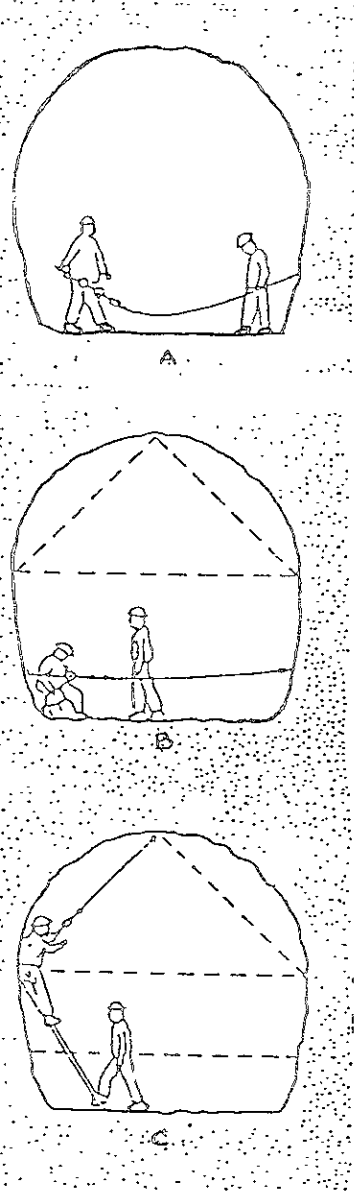
#### 4.3.1.- OBJETIVO DE LAS MEDICIONES DE CONVERGENCIAS EN EL INTERIOR DEL TÚNEL.

Las convergencias son desplazamientos entre dos puntos fijos localizados en la superficie expuesta del túnel; el conocimiento de estas magnitudes permite detectar condiciones de riesgo, revisar el diseño del revestimiento con apoyo en la velocidad con que se desarrollan las deformaciones y determinar el tiempo en que se estabiliza la excavación.

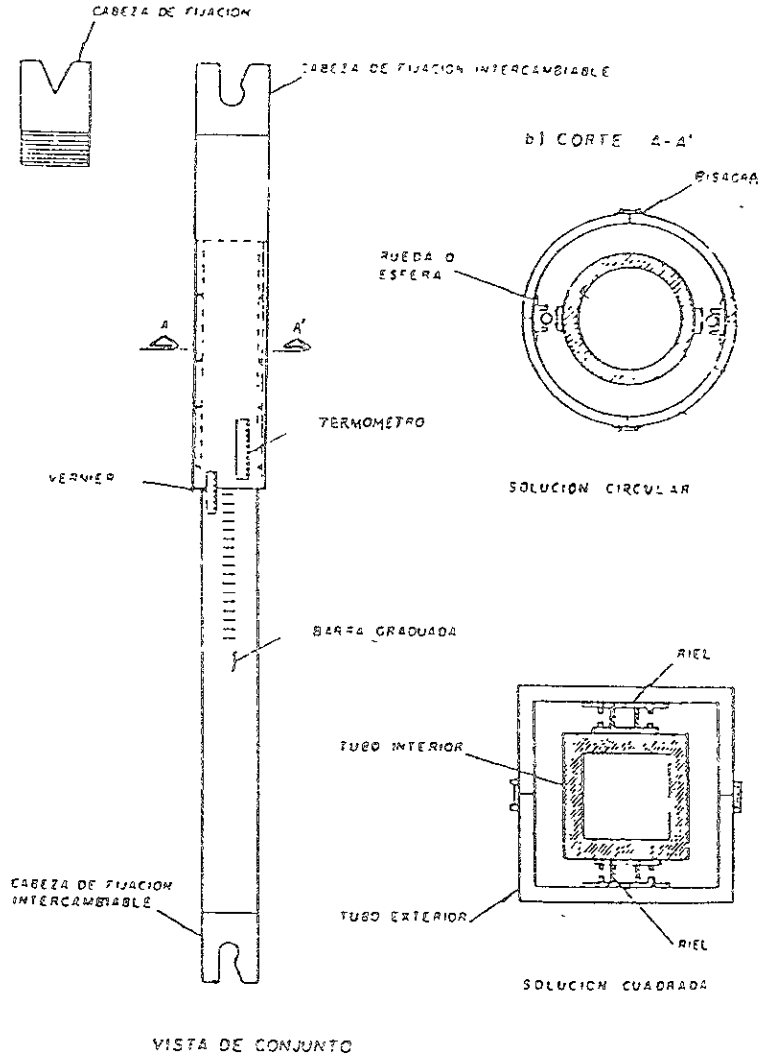
#### 4.3.2.- DESCRIPCIÓN DE UN EXTENSÓMETRO

Los extensómetros de convergencia idóneos son aquellos que utilizan alambre de Invar de diámetro pequeño, tensando a valor constante y que cuenta con dispositivos de alta calidad y confiabilidad para la medición de deformaciones y el ajuste de tensiones. Este tipo de aparatos siendo de una precisión alta, se utiliza de preferencia en túneles excavados en roca; sin embargo, para túneles en suelos, donde las convergencias son de mayor magnitud, los aparatos con cinta de acero o barras de aluminio tienen una precisión aceptable de 0.01 mm, con la ventaja de que su costo es menor.





Medición de convergencias



Extensómetro de barra

(Referencia No 3)

### 4.3.3.- EXTENSÓMETROS DE CINTA O DE ALAMBRE

Sus características son las siguientes: constan de una unidad de lectura A y de la cinta con referencias fijas o el alambre con que se efectúa la medición B. A la unidad de lectura la conforman los siguientes aditamentos: a) un dinamómetro 1 y un dispositivo tensor 2 para asegurar que la cinta o el alambre tenga la misma tensión en mediciones sucesivas entre dos puntos, y b) un medidor 3, que en el caso del extensómetro de cinta proporciona lecturas complementarias en los tramos de longitud fija, tanto el extensómetro de cinta como el de alambre cuentan con dispositivos de sujeción en ambos extremos, 4 y 5.

#### 4.3.4.- INSTALACIÓN.

Una vez seleccionados los puntos de referencia para las líneas de medición, fig 3, se instalan las pijas permanentes de referencia, empotrándolas de preferencia en el terreno natural, para seguir el desarrollo completo de las deformaciones, incluyendo la etapa de colocación de ademe; si esto no es posible se instalará en el revestimiento.

#### 4.3.5.- PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN.

Los extremos del aparato se fijan a las dos pijas de referencia elegidas, se tensa el alambre o la cinta y se efectúa la lectura según las especificaciones particulares del instrumento. Fig 4.

Se tendrá cuidado que la tensión aplicada a la cinta o alambre sea constante en todas las lecturas de una misma línea de convergencia, para que las lecturas sean comparables entre sí; si se utiliza alambre Invar, deberá contarse con un alambre de longitud adecuada para cada línea de convergencia.

#### 4.3.6.- INTERPRETACIÓN.

La interpretación se enfoca principalmente a 3 aspectos fundamentales: la correlación de las convergencias con los asentamientos medidos en la superficie y las revisiones del análisis teórico del comportamiento del túnel y del procedimiento constructivo (excavación y revestimiento).

#### 4.3.7.- CORRELACIÓN ASENTAMIENTOS - CONVERGENCIAS.

Al correlacionar las convergencias con los asentamientos, se debe intentar precisar la distancia de influencia longitudinal de la excavación del túnel, mediante el perfil de asentamientos en el eje (figura 8), donde se muestran las configuraciones de los desplazamientos en la superficie en función de las fechas del paso de frente por los cadenamientos.

Las mediciones de convergencia permiten estimar el volumen de suelo que se a movlizado hacia el interior y exterior del túnel, este volumen se compara con el de asentamientos superficiales, que pueden idealizarse en la forma de un triángulo.

La evolución de las convergencias puede sufrir diferencias importantes por efecto de sobre excavación o expansión, y a largo plazo consolidación de suelo circundante, en cualquier caso, se debe tener cuidado en identificar correctamente las causas de estas diferencias.



INSTRUMENTACION TUNEL 5 "ACUEDUCTO PERIMETRAL"

SECC. DE CONVERGENCIA No. 531

CAD 11:308 43

MARCO No 4510

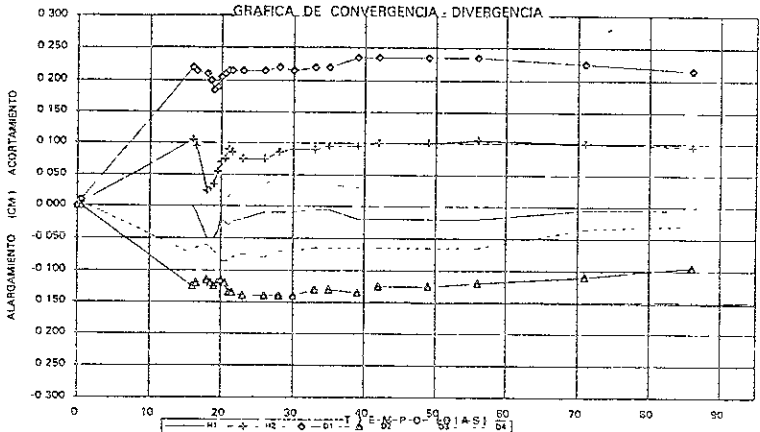
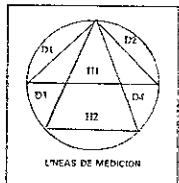
LINEA	DEFORMACIONES TOTALES (C.M.S)													
	0	05	16	16.5	18	18.5	19	19.5	20	20.5	21	21.5	23	
I11A	19-ab	19-ab	07-mar	07-mar	09-mar	09-mar	10-mar	10-mar	11-mar	11-mar	12-mar	12-mar	14-mar	
I11	0.000	0.000	0.000	-0.010	-0.050	-0.050	-0.050	-0.040	-0.020	-0.025	-0.030	-0.025	-0.020	
I22	0.000	0.005	0.105	0.095	0.025	0.030	0.035	0.035	0.070	0.075	0.090	0.085	0.075	
D1	0.000	0.070	0.220	0.215	0.210	0.200	0.185	0.190	0.205	0.210	0.215	0.215	0.215	
D2	0.000	0.000	-0.125	-0.120	-0.115	-0.120	-0.125	-0.120	-0.115	-0.120	-0.115	-0.135	-0.140	
D3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.010	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.025	0.035	
D4	0.000	0.005	-0.075	-0.065	-0.060	-0.065	-0.070	-0.075	-0.085	-0.085	-0.085	-0.080	-0.075	

LINEA	DEFORMACIONES TOTALES (C.M.S)													
	26	28	30	33	35	39	42	49	56	71	86			
H1	17-mar	19-mar	21-mar	24-mar	26-mar	30-mar	02-abr	09-abr	16-abr	01-may	16-may			
H1	-0.010	-0.010	-0.010	-0.005	-0.005	-0.020	-0.020	-0.020	-0.020	-0.005	-0.005			
H2	0.075	0.085	0.090	0.090	0.095	0.095	0.100	0.100	0.105	0.100	0.095			
D1	0.215	0.220	0.215	0.220	0.220	0.235	0.235	0.235	0.235	0.225	0.215			
D2	-0.140	-0.140	-0.140	-0.130	-0.130	-0.135	-0.125	-0.125	-0.120	-0.110	-0.095			
D3	0.035	0.045	0.035	0.045	0.035	0.030	0.040	0.045	0.045	0.035	0.030			
D4	-0.080	-0.070	-0.070	-0.065	-0.065	-0.065	-0.065	-0.065	-0.065	-0.035	-0.030			



Descripción Geológica: La sección de excavación está constituida por estrata de lava de composición básica de textura vesicular, muy fina, dureza elevada, presenta fracturas que forman bloques inestables.



EJEMPLO DEL LEVANTAMIENTO Y REGISTRO EN LA INSTRUMENTACIÓN DEL TUNEL 5, EJECUTADA POR LA EMPRESA QUE SUPERVISÓ LA OBRA.

#### 4.3.8.- COMENTARIOS A CERCA DE LA INSTRUMENTACIÓN.

- La medición de las convergencias deberá realizarse tan pronto como se tenga acceso al túnel, con el fin de seguir la evolución completa de los desplazamientos y el comportamiento del revestimiento inmediatamente después de su colocación
- Los puntos de apoyo de los extensómetros de convergencia deberán estar empotrados fijamente, para evitar que con la tensión aplicada durante la medición, tenga algún movimiento que proporcione una lectura errónea.
- El operador debe estar familiarizado con el aparato y tener un conocimiento claro de la importancia de las mediciones para evaluar la estabilidad del túnel, de manera que pueda detectar y corregir inmediatamente cualquier mal funcionamiento del aparato o identificar alguna anomalía en relación al comportamiento esperado.
- Los registros de la medición deberán ser sencillos y contener toda la información requerida para facilitar su interpretación. La validez de las conclusiones derivadas de comparar las convergencias medidas en el túnel con las previstas en el análisis teórico dependerá de la precisión y confiabilidad de las mediciones efectuadas.

#### 4.3.9.- MEDICIONES DE DESPLAZAMIENTOS LATERALES.

Mediciones de desplazamientos laterales por medio del INCLINÓMETRO, instrumento provisto de deformímetros que mide las desviaciones angulares del eje longitudinal del aparato con respecto de la vertical.

#### 4.3.10.- MEDICIONES DE ASENTAMIENTOS SUPERFICIALES.

Para registrar los asentamientos en la superficie del terreno, que se presentan debido a la excavación del túnel, se utiliza el método más conocido y sencillo, que es el de colocar una serie de puntos estables distribuidos en la superficie y nivelarlos topográficamente en forma periódica.

#### 4.3.11.- DESARROLLO DE LA INSTRUMENTACIÓN.

La instrumentación en el interior del túnel se realizó midiendo los movimientos de convergencia - divergencia, empleando un extensómetro con cinta "invar". este instrumento consiste en un dispositivo mecánico de alta precisión equipado con una cinta de acero inoxidable, que se acopla en un extremo a una ancla fija en la pared del revestimiento primario del túnel o directamente a la roca y por el extremo opuesto al propio extensómetro el cual también se acopla a otra ancla fija. Durante la medición, La cinta invar se hace tensar invariablemente con una tracción constante, el aparato proporciona los movimientos relativos entre las anclas, con una precisión nominal de 0.05 mm y con una precisión efectiva de 0.13 mm, para distancias menores de 10 m.

Para medir los desplazamientos en el interior del túnel se colocó un arreglo, que consiste en monitorear 6 líneas de medición con seis puntos de anclaje en las zonas excavadas en sección herradura con método convencional y cinco puntos donde se excavó con la máquina tunelera (TBM) en sección circular.

Las secciones de instrumentación se instalaron a cada 18 m, según la recomendación dada por esta compañía, aunque en algunos casos varió a la condición geológica presentada y de acuerdo al ademe colocado.

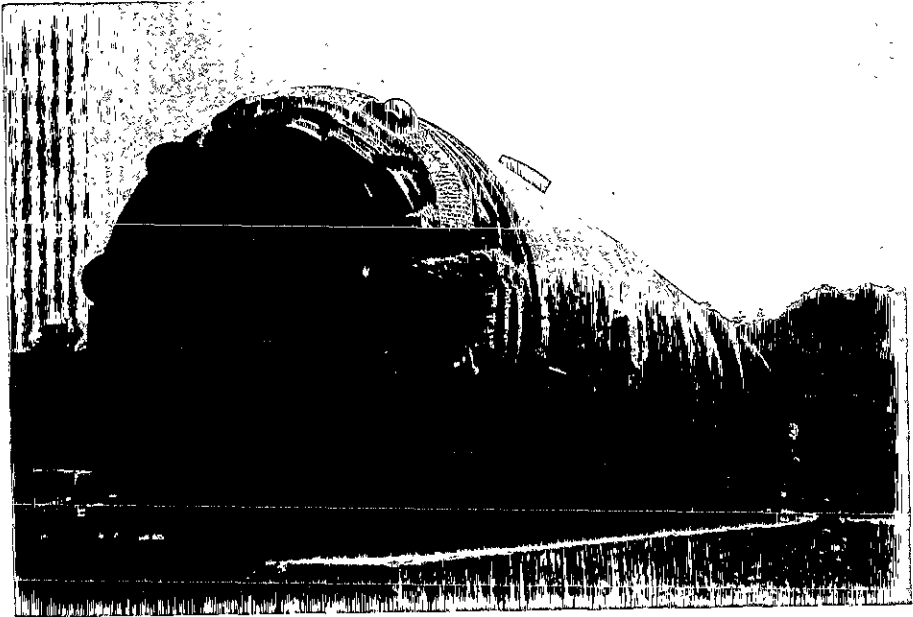
Los puntos de anclaje consistieron en la colocación de armellas de ojo abierto de, soldadas al revestimiento primario o ancladas directamente a la roca, en el caso del anclaje, éstas se colocaron retacando un material epóxico o cemento de fraguado rápido, en un barreno previamente realizado en el revestimiento de concreto lanzado o directamente sobre el macizo rocoso, posteriormente se empotra la armella aproximadamente unos 8 cm dentro del barreno relleno, dejando solo fuera la parte circular del ojo de la armella, endureciéndose el cementante en alrededor de 10 minutos, procediendo a tensar el ancla con el aparato de medición y corroborando así un anclaje firme.

#### 4.3.12.- COMPARATIVA ENTRE LOS DOS PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS: MÉTODO CONVENCIONAL Y MÉTODO A SECCIÓN COMPLETA

Para poder concluir de manera más fehaciente sobre las tres derivaciones y el túnel principiar de esta tercera etapa de desarrollo constructivo del Acuífero, primero se hacen notar las ventajas e inconvenientes que existen entre los procedimientos constructivos - método convencional y método mecánico - y en esas diferencias repercuten en las condiciones de estabilidad, de tiempo de autosoporte primario y revestimiento definitivo.

- La sección de excavación del método convencional es la herradura y el método mecánico es circular, por lo tanto la ventaja en la estabilidad de un túnel está en la sección circular.
- El área de excavación en la sección de herradura es mayor por lo tanto repercute de manera desfavorable comparado con la circular.
- Como resultado de los dos puntos anteriores y el consecuente impacto en el análisis de cargas de uno y otro método el peso del marco requerido para la sección de herradura es mayor y por lo tanto de mayor costo que el marco circular.
- El rendimiento del avance con el método mecánico es mayor.
- El impacto de las voladuras y la alteración del contorno de la excavación es de mayor relevancia en el método convencional y repercute de manera negativa en la sobre excavación generada.

- Debido a las características particulares del doble escudo y la longitud de los mismos es más oportuna la colocación del soporte primario en el soporte convencional
- Es difícil cualquier otra forma de soporte primario de manera inmediata que no sean los marcos metálicos con madera de retaque en el método mecánico.
- Las condiciones de seguridad y trabajo son más favorables en el método mecánico
- En situaciones riesgosas de inestabilidad es más rápida la respuesta en el método convencional.
- Los costos de excavación con el método de maquina tunelera son más económicos, siempre y cuando las condiciones geológicas sean favorables



La T.B.M. en la derivación 3, después de concluida la excavación.

## 4.3.13.- CONCLUSIONES DE LA INSTRUMENTACIÓN.

De acuerdo con las observaciones de las 654 secciones monitoreadas durante noviembre de 1994 a mayo de 1998 en los túneles de la derivación 4, 3ª, 3 y 5, se concluye lo siguiente:

- a) Prácticamente toda la excavación se mantuvo estable y los desplazamientos registrados en las secciones son considerados normales, considerando que una gran parte de las secciones tienen tres años o más de haberse instalado
- b) De acuerdo a lo anterior se concluye que el tipo de soporte colocado o la ausencia del mismo fue el correcto para la calidad geomecánica que presentó el macizo rocoso a todo lo largo de la excavación y en forma particular donde se instaló cada sección de instrumentación, sin embargo, de manera independiente al monitoreo de las secciones de instrumentación se mantuvo una inspección visual permanentemente a lo largo de la excavación, con el fin de detectar cualquier problema de inestabilidad en el túnel.
- c) En el monitoreo de las 654 secciones de instrumentación involucradas en el presente informe se caracteriza por encontrarse instaladas en los túneles excavados con método de maquina tunelera, donde la geología se caracterizó por la presencia de coladas de lava y escoria granular de composición básica, presencia de conos volcánicos constituidos por " EL CANTIL" y "TLALPUENTE", depósitos aluviales, lava con estructura de flujo pertenecientes a una antigua caldera y zonas de brecha (lahares) de muy mala calidad geomecánica, donde cada sección mantuvo la tendencia en el comportamiento registrado en su historial del monitoreo, siendo las mayores deformaciones las registradas en la sección número 4 de la derivación 3 (excavación con método convencional) con 12.95 mm en convergencia sobre la línea H2, con una velocidad de deformación de 1.150 mm/día hasta antes de llegar a la estabilidad, instalada el 04 de octubre de 1994 sobre una colada de basalto alternada con escoria volcánica por otra parte en lo que se refiere a la excavación realizada con la maquina tunelera la sección que mayor deformación registro fue la número 265 del túnel 5 con 21.75 mm en convergencia sobre la línea D4, con una velocidad de deformación de 0.29 mm/día hasta antes de la llegada a la estabilidad, instalada el 27 de noviembre de 1996 sobre una colada de basalto fracturada. Cabe señalar que en ambas secciones las velocidades no son factor de preocupación considerando que la mayor deformación registrada fue de los primeros días de su instalación para posterior entrar a una tendencia a la estabilidad como lo demuestran las gráficas respectivas, además de que el soporte instalado en toda esta zona no refleja problemas de estabilidad
- d) De manera general el comportamiento de las deformaciones en las secciones de instrumentación esta íntimamente relacionada con el tipo de terreno geológico donde se instalaron donde se instalaron, teniendo que en las secciones instaladas en la roca sobre las coladas del Chichinautzin estas muestras de manera general un comportamiento divergente en sus líneas de mayor deformación que por lo general son las diagonales, mientras que para las instaladas en roca sobre las coladas del evento Xitle, estas muestran de manera general un comportamiento convergente en sus líneas de mayor deformación y que por lo general son las son las líneas horizontales, siendo este comportamiento general observado en las secciones instaladas sobre el soporte primario ( marcos metálicos), independientemente del terreno geológico, así como también sobre aquellas zonas donde se presentaron intercaladas las coladas de basalto con las escorias volcánicas, o bien en donde se presentaron, depósitos aluviales, brechas de bloques con presencia de arenas, lapilli, ceniza volcánica y tobas. Por otra parte el comportamiento de las secciones instaladas dentro del domo mostró igualmente un comportamiento preferencial hacia la convergencia con las mayores deformaciones registradas en la mayoría de las veces sobre líneas de medición diagonales y en menor proporción sobre las horizontales.

- e) A manera de resumen se puede concluir, que las mayores deformaciones son más persistentes en aquellas zonas excavadas con máquina tunelera, asimismo el tiempo en que se estabiliza una sección es menor en el segundo caso
- f) La instrumentación a lo largo de la excavación de esta tercera etapa del acueducto perimetral jugó un papel muy importante ya que esta dio la pauta para el tipo de revestimiento primario a utilizar en las diferentes unidades geológicas, de acuerdo a las deformaciones registradas, y con el auxilio de la clasificación del macizo rocoso.
- g) La instrumentación cumplió con el objetivo de informar de manera oportuna sobre el comportamiento de la excavación y el soporte primario colocado en las diferentes unidades geológicas encontradas y así poder actuar de manera oportuna ante cualquier eventualidad que se hubiera podido generar, ya que hubo zonas en las que se hizo necesario reforzar con soporte primario (marcos metálicos, anclas de fricción o concreto lanzado) al mantener las secciones una deformación creciente sin tendencia a la estabilización, como fue el caso de la zona limitada por los cadenamientos 18+720 al 18+713 donde aún después de 120 días se detectaba deformación constante de 0.035 mm/día en una zona clasificada como buena de acuerdo con los dos procedimientos utilizados en este proyecto de manera que se optó por reforzar la zona con marcos metálicos, siendo una solución adecuada al ceder la deformación en pocos días



## 4.4. - ANÁLISIS DE PRESIONES.

### 4.4.1. - PRESIÓN DE ROCA.

El concepto de "presión de roca", fundamentalmente para diseño del soporte temporal implica conocer con amplitud el fenómeno de arqueo además de la interacción que existe entre el material excavado y el soporte temporal (ademe) que se le añade para mantener el hueco.

La selección del calibre adecuado para el soporte temporal, y el momento preciso de su instalación constituyen en sí el arte del tuneleo. Un soporte demasiado rígido colocado prematuramente, recibirá presiones del terreno demasiado elevadas, comparables a las existentes en el estado original de esfuerzos del medio. Por el contrario, si el soporte temporal se coloca tardíamente, puede ocurrir un aflojamiento excesivo del terreno que al separarse de la masa, deja de interactuar con esta, gravitando entonces directamente sobre el soporte temporal.

La solución consiste en dejar que el terreno excavado relaje un poco sus nuevos esfuerzos, redistribuyéndolos hacia la masa, pero sin exceder su resistencia al corte, enseguida entra en acción la presión confinante estabilizadora del ademe, creándose una verdadera interacción entre ambos sistemas.

El patrón carga - deformación en un determinado tipo de material por excavar y para una geometría predeterminada será entonces el objetivo fundamental que deberán alcanzar los estudios y análisis del medio. Para esto la instrumentación y observación de obras similares ofrece una excelente base de partida, complementada con los datos que se obtengan directamente del túnel en proceso de construcción

### 4.4.2.- MEDICIONES DE CARGA, PRESIÓN Y ESFUERZOS ACTUANTES.

#### 4.4.2.1.- Celda de carga.

Sirve para determinar la carga actuante en los marcos de acero que forman parte del revestimiento del túnel, están diseñadas para resistir cambios de humedad y temperatura, así como daños ocasionados por explosiones. Su objetivo es conocer la magnitud de las cargas y compararlas con las cargas establecidas en el diseño y de esta manera controlar la seguridad de la excavación desde un punto de vista de estabilidad de la misma

#### 4.4.2.2.- Celda de presión.

Sirve para conocer la presión de contacto existente entre el revestimiento del túnel y la masa de suelo o roca. Esta diseñada para la medición de presiones en una masa de suelo, buscando una relación diámetro-espesor en la celda lo más grande posible, con objeto de reducir la influencia de la rigidez de la celda en el medio compresible en que se instale.

#### 4.4.2.3 - Gato plano

Para conocer los esfuerzos reales actuantes en las paredes de un túnel excavado, se realiza la prueba de campo conocida con el nombre de Gato Plano, que es un instrumento formado por dos laminas cuadradas de acero inoxidable soldadas en toda su periferia, en su interior se coloca aceite hidráulico desairado, el cual será el encargado de transmitir a través de una manguera flexible de alta resistencia, la presión captada por la celda hacia un manómetro de alta precisión conectado en uno de los extremos de la misma. La presión máxima que puede ser registrada por la celda es del orden de 140 kg/cm<sup>2</sup>

## 5.5.- EXCAVACIÓN DE OBRAS COMPLEMENTARIAS.

Las obras complementarias al túnel 5 del Acuaférico son las derivaciones 3, 3-A y 4 que incluyen la excavación de las plataformas de maniobras y los tajos de acceso al túnel.

A continuación describiremos su proceso de excavación:

### 4.5.1.- ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN PARA LA TERCERA DERIVACIÓN

La tercera derivación intercepra con el túnel 5 del Aclareció en el cadenamamiento 14 + 637.6125, extendiéndose hacia el oriente 643.67 m de longitud y, cuya salida se localiza cerca de la Casa de Tlalpan, que se encuentra a su vez ubicada en los alrededores de la población de San Miguel Xicalco. Se considera como cadenamamiento inicial 0 + 000 al cruce de este con el túnel 5 y con cadenamamiento final 0 + 643.67 al portal de salida

La tercera derivación inicia en un portal excavado en cajón, el portal y parte del túnel quedan alojados en basalto de la unidad C, el túnel dentro de esta unidad avanza 234 m, iniciándose la excavación en el portal de esta derivación. De la estación 0 + 409 hasta 0 + 204 se atraviesa la U-1 ya antes descrita y, desde este punto hasta la intersección con el túnel 5 (0+000) se excava la unidad U-2.

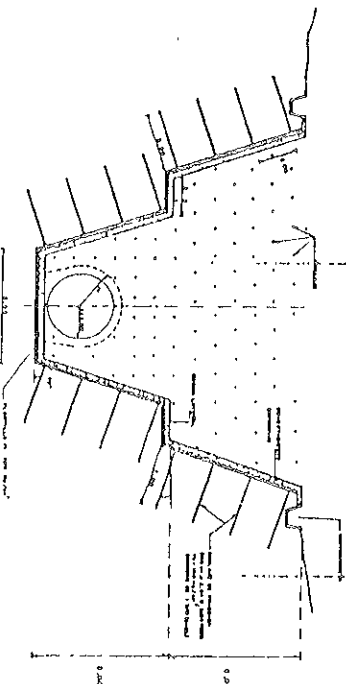
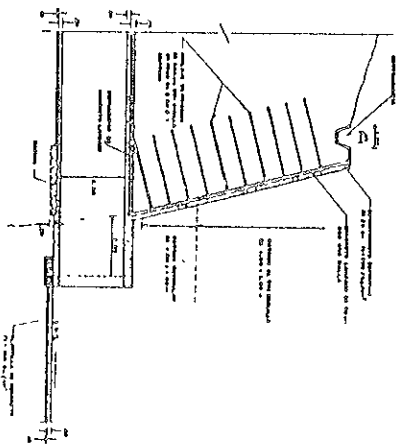
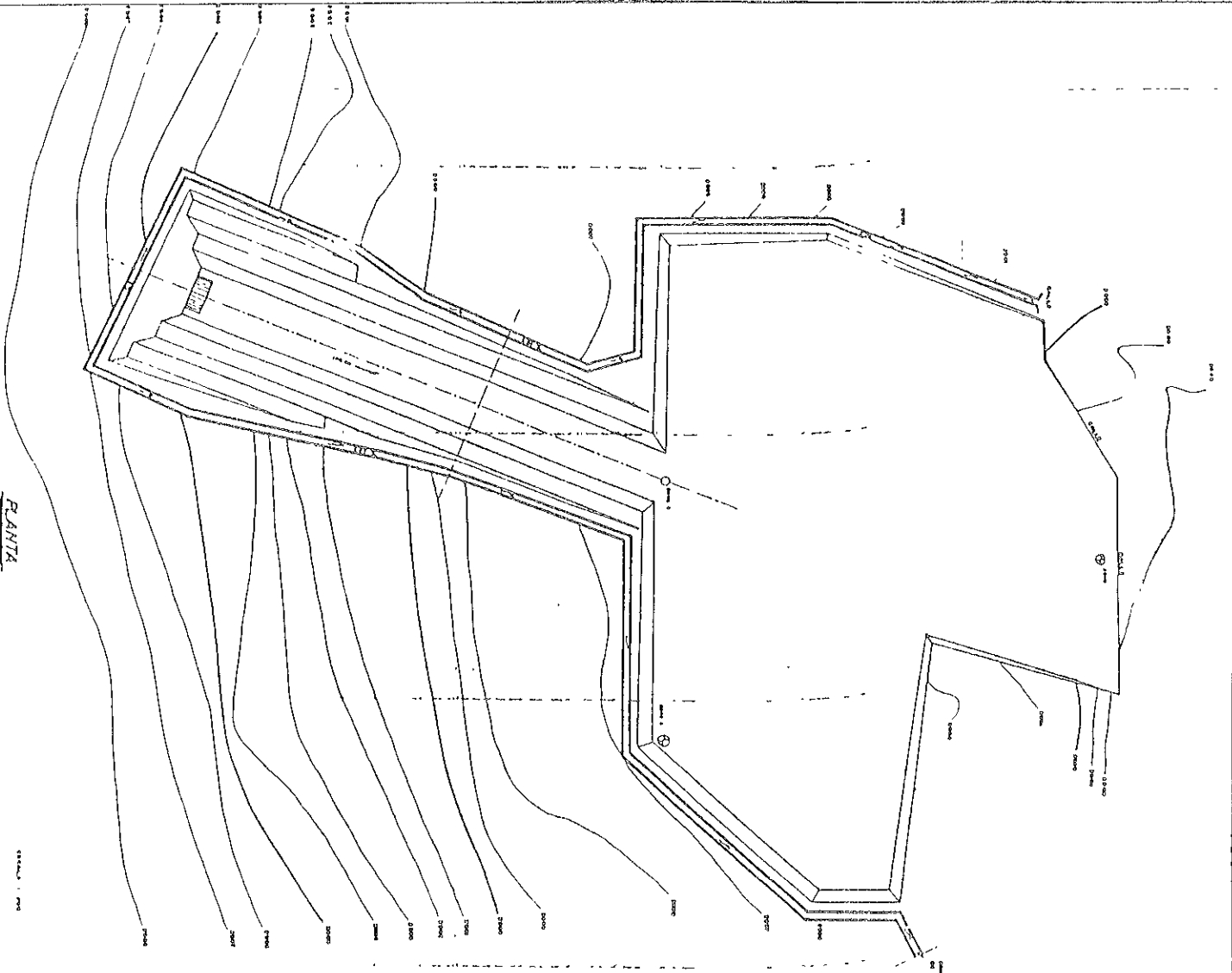
### 4.5.1.- METODO CONSTRUCTIVO EN LAS UNIDADES GEOTECNICAS DE LA DERIVACIÓN 3

El contenido de escoria llega a ser hasta del 54% en un corte vertical, en los sondeos con recuperación puede verse que el espesor de las capas de andesita moderadamente fracturada rara vez sobrepasan los 3 m, la clasificación por métodos semiempíricos describe a esta unidad como "mala" (RMQ) y "extremadamente mala" (Q).

De acuerdo con ello, la alternativa a seguir fue la de frente inclinado.

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

- 1.- Aflojamiento y retiro del material escoriáceo con equipo manual y/o mecánico en una longitud máxima de 1.5 m para definir la geometría de la bóveda, dejando un talud inclinado a 60° para dar autosoporte al material del frente.
- 2.- Aplicar una capa de concreto lanzado de 5 cm de espesor en la bóveda y áreas laterales. Si hay inestabilidad evidente en el frente, aplicar otra capa de concreto lanzado de 3 cm.
- 3.- Proseguir con el retiro de la escoria y si se presentan capas de andesita resistente, utilizar martillo rompedor para trabajo pesado montado sobre un brazo hidráulico, o bien utilizar explosivos en la cantidad necesaria para fragmentar la roca al tamaño que maneje el equipo de rezaga.
- 4.- En el tramo inmediato anterior, se procederá a colocar una malla electrosoldada de 10 x 10 x 6.3 mm (1/4), que se cubre con 5 cm de concreto lanzado. El soporte colocado deberá inspeccionarse rutinariamente, para que si aparecen síntomas de sobrecarga, como deformación o fracturamiento y dependiendo de la gravedad se tomen las medidas congruentes.
- 5.- Como el tiempo de autosoporte es muy limitado, puede presentarse escurrimiento de material antes de alcanzar el avance de 1.5 m. Si la estabilidad del material hace imposible excavar por lo menos 1 m de túnel por ciclo se adoptan algunos de los procedimientos alternativos.



CONSEJO NACIONAL DE INGENIERIA A. B. C.		E. S. E. I. N.	
Nombre del Proyecto	Nombre del Ingeniero	Fecha	Escala

PLANO	PLANO	PLANO	PLANO	PLANO


**ESTABLECIMIENTO DEL SISTEMA FEDERAL**  
**TERCERA DERIVACION**  
**PLATAFORMA Y PORTAL**

Tercera Derivacion  
 Plataforma y Portal  
 E. S. E. I. N.  
 100 - 01

#### 4.5.1.2 - EXCAVACIÓN DEL TÚNEL DE LA DERIVACIÓN 3

Una de las primeras tareas fue montar un taller para la fabricación de marcos basado en vigueta IPR de 179 kg- m, para ademe primario del túnel

El Control de las deformaciones basado en mediciones de líneas de convergencia - divergencia en una actividad prioritaria, aunque por el gran movimiento del túnel, esta actividad se ve muchas veces interrumpida

En la interconexión del túnel 5 y la derivación 3 fue necesario construir una cámara de arranque para la T.B.M. para su construcción se utilizo una cimbra de madera, malla de refuerzo 4 x 4 y 3 x 3.

El transporte y bombeo de concreto para el colado de la cámara de arranque se realizo desde la plataforma de maniobras de la derivación 3.

#### 4.5.1.3 - USO DE EXPLOSIVOS.

Los explosivos son un material que por sus efectos representa gran ayuda para los movimientos de tierra, para realizar volados o tronadas. Su utilización se ve limitada por el lugar donde esta emplazada la obra A continuación comentaremos sobre su uso en los distintos tajos construidos:

Tajo de la derivación 4: La población no se opuso a su uso, por lo que fueron utilizados según los requerimientos de la obra.

Tajo de la derivación 3. En esta localidad se ubican residencias y personas que no permitieron su utilización

Tajo de la derivación 3-A: La población no se opuso a su uso, por lo que fueron utilizados según los requerimientos de la obra.

#### 4.5.2 - ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN PARA LA CUARTA DERIVACIÓN.

##### 4.5.2.1 - ACCESO PARA EL TOPO.

La construcción de esta derivación se programo como para formar parte la operación del arranque de la T.B.M.

Esta derivación contará con una longitud de 268 m, ya que intercepta al trazo del túnel 5 en el cadenamamiento 20 + 954, sitio donde considera terminada ésta derivación.

El proceso constructivo de esta derivación se planeó con sistema convencional, hasta la unión con el trazo del túnel 5, sitio donde comienza la excavación con la T.B.M. Este túnel que forma la derivación contará con un revestimiento definitivo de concreto hidráulico como todo el túnel, que servirá como apoyo para el topo, de manera que se pueda colocar en la posición de excavar

##### 4.5.2.2- PLATAFORMA DE LA CUARTA DERIVACIÓN.

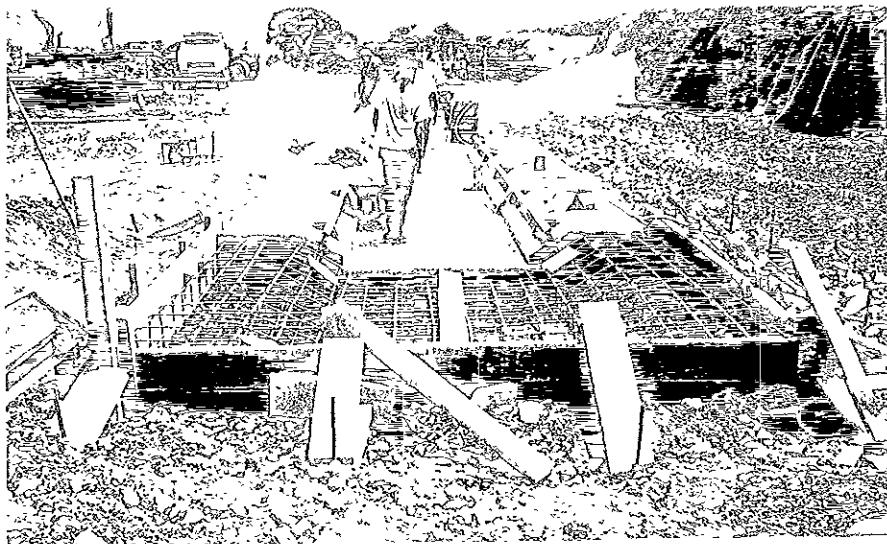
Previo a los trabajos de emportalamiento, excavación y revestimiento definitivo de ésta Derivación se construyó la plataforma para instalaciones y maniobras de la derivación, estas actividades se enlistan a continuación:

La plataforma de trabajo para esta derivación es de 100 x 100 m, y un corte en cajón para el acceso al túnel, el cual se encuentra desplazado hacia el sur - este de la plataforma (ver plano) El corte del cajón presenta pendientes laterales de 1:3 y en la frontal de 1:2, los anchos de corte a los hombros varía 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 continuo de 6 00 m

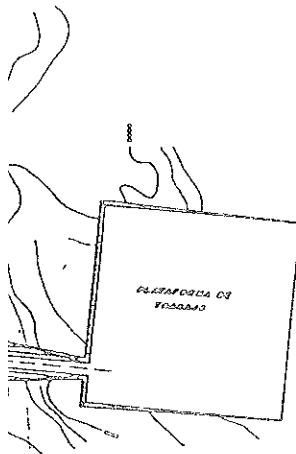
La plataforma de la cuarta derivación fue construida por corte y relleno en el basalto andesítico de la unidad C, esta unidad está formada por derrames de basaltos andesíticos escoriáceos Cuaternarios de la Sierra de Chichinautzin , con suelos de poco espesor, por lo que para fines de excavación se considero únicamente roca en su totalidad, aunque el 60% de ella fue escoria que se removió mecánicamente y el 40% de basalto se disgregó con martillos de impacto y explosivos. El espesor de esta unidad variaba de 7 a 25 m

El túnel de la cuarta derivación inicia en un portal excavado en el fondo de un corte en cajón de una longitud de 45 m; tanto el portal como el túnel, quedan alojados en andesita basáltica de la unidad C, así como parte del túnel 5. Para fines constructivos se consideró una longitud de excavación y revestimiento de 340 m a partir del portal, esta longitudes la que recorrió el topo apoyándose de una estructura construida en el piso, hasta encontrarse en la cámara de arranque donde inicia su trabajo de excavación mecanizada. De los 340 m, los primeros 120 5 son en recta, para empezar una curva con radio de 100 m. hasta el cadenamiento 20 + 954.20, donde termina la curva, de allí continuó en línea recta ya por el trazo del túnel 5 por una longitud de 70 metros donde se encontró con el domo de Topilejo.

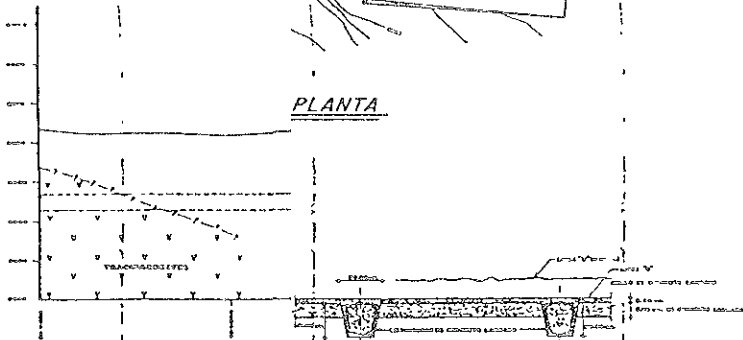
El esquema constructivo del túnel 5 con la T.B.M. consiste en iniciar la excavación en la cuarta derivación en Topilejo, para salir en la derivación 3-A, e iniciar el revestimiento definitivo al concluir totalmente la excavación con la T.B.M.



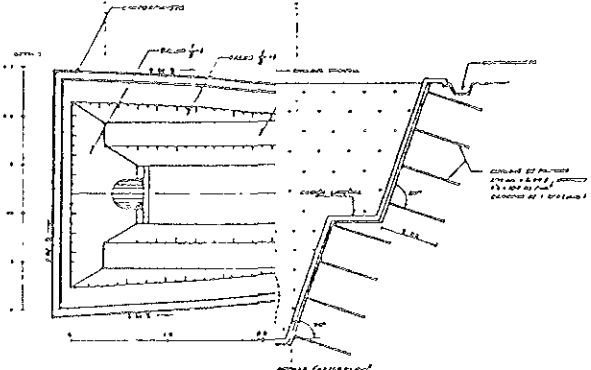
Preparativos para la cama de montaje de la T.B.M , en la derivación 4



PLANTA



DETALLE NERVADURAS



PL  
VERSAL

COMUNIDAD INTEGRAL EN INGENIERIA S.A. DE CV	
PROYECTO	QUINTAS
REVISOR	DR. JOSÉ LUIS GARCÍA
ELABORADO POR	ING. JOSÉ LUIS GARCÍA
FECHA	1968

DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL SECRETARÍA GENERAL DE OBRAS DIRECCIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN URBANÍSTICA		
DIRECCIÓN TÉCNICA		REGISTRADO EN ADMINISTRACIÓN
"TUNEL No. 3 ADUCTIVO PERIFÉRICO"		Tom. 08
CUARTA DERIVACION		PL. 08
MUNICIPIO: Tlalpala		Hoja 12
271 No. ESTACIONARIO DEL DISTRITO FEDERAL DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL SECRETARÍA GENERAL DE OBRAS DIRECCIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN URBANÍSTICA		

#### 4.5.2.3 - SISTEMA CONSTRUCTIVO PARA LA PLATAFORMA DE OPERACIONES PARA LA CUARTA DERIVACIÓN

La T.B.M. inició por la Cuarta Derivación, por lo que a continuación se hace una relación de las actividades desarrolladas en el área de este acceso durante el tiempo de fabricación de la T.B.M.

- 1 - Construcción de un camino de acceso en la carretera Xochimilco - Topilejo, con superficie de rodamiento de 7.20 m de ancho y pendiente máxima de 6.5 %
- 2 - Corte y relleno en roca de un área de 100 x 100 m
- 3 - Instalación de una subestación para suministro de energía eléctrica a la T.B.M., y para su servicio.
- 4.- Construcción de almacén de refacciones de la T.B.M., sistema de apoyo, cortadores y suministros eléctricos en un área de 1800 m<sup>2</sup>
- 5 - Construcción de taller mecánico-eléctrico para mantenimiento y reparaciones del equipo (40m x 40m) Instalación de grúa viajera para 10 o 15 ton, esta grúa es para reparación y mantenimiento de piezas de la máquina, no para su armado. El armado definitivo se realiza 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.

#### 4.5.2.4 - EMPORTALAMIENTO Y CORTE EN TALUD

El portal quedó emplazado en la unidad C que consiste de una alternancia de capas irregulares de andesita basáltica y escoria. El material escoriáceo puede ser derrumbado, por lo que no es necesaria una voladura, pero el basalto por su dureza es necesario que sea volado, sin embargo por las características del terreno, más que una voladura sistemática, se trata de un moneo con cierta lentitud por ser un trabajo selectivo e irregular. Los martillos de impacto fueron determinantes en el avance de la excavación.

El sistema de emportalamiento es similar al de la tercera Derivación, consistentes en portales dentro de un tajo o corte en cajón, se tomó esta solución por que abate en un 70% el volumen de excavación de las plataformas y permite un desarrollo un poco mayor para las instalaciones de vías y sistema de volteo para las vagonetas, por otro lado disminuye los problemas de estabilidad ya que abaten las alturas de los cortes de la plataforma, solamente requieren atención especial los cortes en cajón.

La plataforma de operaciones de la cuarta derivación fue excavada en corte con ripper y martillos de impacto, en el sitio seleccionado, los cortes son bajos, siendo la parte más alta de 6.0 m en el talud frontal (el del portal) debiendo realizarse un corte en cajón con plantilla de 6 m de ancho, taludes laterales con pendiente de  $\frac{1}{2}$  a 1 y talud frontal de  $\frac{1}{3}$  a 1 en presencia de coladas de basalto predominando sobre la escoria, en precedida de coladas de basalto predominando la escoria sobre ellas, el talud cambia de  $\frac{1}{2}$  a 1

#### 4.5.2.5 - SOPORTE TEMPORAL DE LA EXCAVACION DEL TAJO

Conforme baja la excavación de la plataforma se utiliza un sello de concreto lanzado de  $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$  de 3 a 4 cm de espesor, luego la colocación de malla electrosoldada y finalmente el lanzado de otra capa de concreto similar a la primera, los anclajes de fijación son iguales a los descritos para la plataforma de operación de la derivación 3 y 3-A, así como los traslapes de la malla. En los cortes de la plataforma no se utiliza anclaje de tipo estructural.

#### 4.5.2.6 - ANCLAJE ESTRUCTURAL.

Los taludes del corte del cajón requirieron de anclaje sistemático, es colocado conforme baja la excavación conjuntamente con el concreto lanzado y la malla electrosoldada en una sola operación. Este anclaje esta formado por anclas de tipo fricción de varilla AR 4200 del # 8 de 3.0 m de longitud y con mortero  $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$ , con dirección normal a los taludes y con una inclinación de  $15^\circ$  a  $20^\circ$  con la horizontal. La longitud de 3.0 m es para los taludes laterales, para el frontal son de 6.0 m de longitud, ya que en este se trata no solamente de estabilizar el talud, sino también de hacer una capa de roca estructurada de tal forma que sustituya la falta de arqueado natural.

El patrón de anclaje es al tresbolillo de 2.0 m x 2.0 m, en los taludes laterales, y rectangular en el corte frontal con la misma separación.

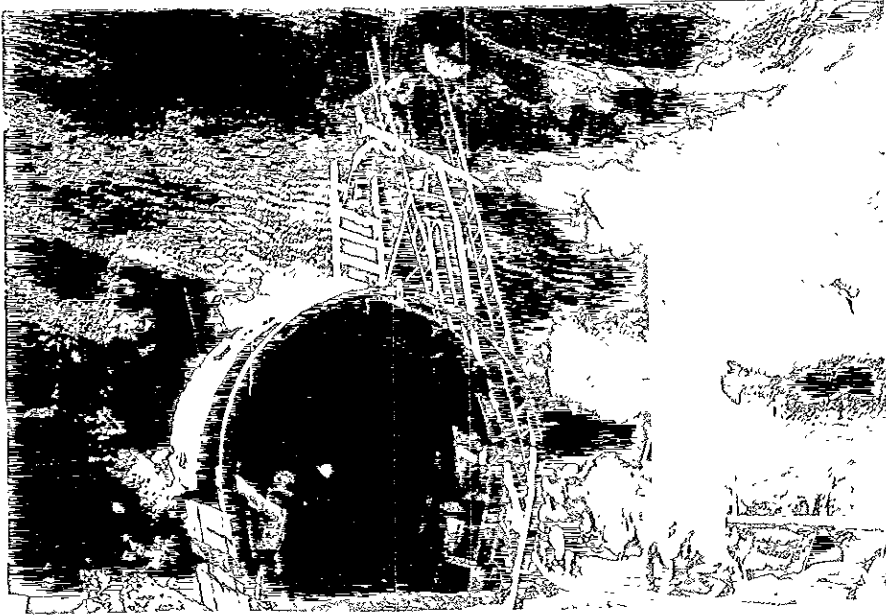
#### 4.5.2.7.- APERTURA DEL PORTAL DE LA CUARTA DERIVACIÓN

Terminado el anclaje del área del portal se inicia la excavación abriendo una ranura con la forma perimetral del túnel, con un martillo de impacto, teniendo como límite exterior la línea A, y un ancho de 60 cm con una profundidad de 50 cm, a partir de la clave del túnel hacia la cubeta, lanzando concreto conforme se avanza en la excavación para controlar la sobreexcavación. La primera fase de la ranura es solamente en la sección superior del túnel. Después de doce horas de terminada la primera fase se inicia la segunda que consiste en abrir la ranura en la media sección inferior, es decir en las paredes interiores del túnel, con las mismas dimensiones y lanzando el concreto de la misma forma. Una vez terminada esta fase se procede a colocar la primera nervadura de varillas corrugadas, apoyada en el piso en una plantilla de 5 cm de espesor de concreto ubicada lo más adentro que se pueda en la ranura. Después de terminado este marco de concreto lanzado se retira el núcleo central de material que quedó al formar la ranura, de esta forma se logra un avance de medio metro protegido con el anclaje frontal y con la primera nervadura o marco. Este es básicamente el sistema de emportalamiento, en el que se realizan las adaptaciones pertinentes de acuerdo a las condiciones que presenta el terreno.

El siguiente ciclo es otro avance de 50 cm, de la misma forma que el primero, aunque en esta ocasión y en las siguientes ranuras será de 1 m a 1.20 m de ancho. Se requiere de un total de 10 a 15 m dentro del túnel antes de dejar el sistema de nervaduras y pasar a las dos capas de concreto lanzado ya sin nervaduras, dependiendo de la relación estructural que presente la escoria y el basalto. Cuando el avance con las ranuras es posible a más de 1 m de longitud, entonces ya no son necesarias las ranuras y se puede pasar a soporte de concreto lanzado (dos capas) sin las nervaduras.

La otra alternativa a la nervadura o marco de concreto lanzado puede ser el marco metálico, pero antes de ser colocado se debe aplicar el sello de concreto lanzado. El marco necesita retaque de madera para garantizar su apoyo completo contra la pared y los atiesadores y separadores convencionales en este tipo de soporte. Mientras más lenta sea la colocación del soporte provisional se producirá mayor aflojamiento de la escoria en la bóveda y por lo tanto sobreexcavación, teniendo después que pasar a "enuhacalados" con una inversión de recursos mayor.





Apertura del portal de la cuarta derivación.



Plataforma de maniobras de la derivación 4.

#### 4.5.2.8 - TÚNEL CUARTA DERIVACIÓN.

El contacto entre el macizo rocoso de Topilejo y los derrames basálticos de Chichinautzin corresponden al túnel de la cuarta derivación. El contenido de escoria llega a estar entre 40 y 50% en un corte vertical, la clasificación por métodos semiempíricos describe a esta unidad como "mala" (RMQ) y "extremadamente mala" (Q). De acuerdo con ello, la alternativa a seguir fue la de frente inclinado.

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

- 1.- Aflojamiento y retiro del material escoriáceo con equipo manual y/o mecánico en una longitud máxima de 1.5 m para definir la geometría de la bóveda, dejando un talud inclinado a 60° para dar autosostento al material del frente.
- 2.- Aplicación de una capa de concreto lanzado de 5 cm de espesor en la bóveda y áreas laterales. Si hay inestabilidad evidente en el frente, aplicar otra capa de concreto lanzado de 3 cm.
- 3.- Proseguir con el retiro de la escoria y si se presentan capas de andesita resistente, utilizar martillo rompedor para trabajo pesado montado sobre un brazo hidráulico, o bien utilizar explosivos en la cantidad necesaria para fragmentar la roca al tamaño que maneje el equipo de rezaga.
- 4.- En el tramo inmediato anterior, se procederá a colocar una mala electrosoldada de 10 x 10 x 6.3 mm (1/4), que se cubre con 5 cm de concreto lanzado. El soporte colocado deberá inspeccionarse rutinariamente, para que si aparecen síntomas de sobrecarga, como deformación o fracturamiento y dependiendo de la gravedad se tomen las medidas congruentes.
- 5.- Como el tiempo de autosostento es muy limitado, puede presentarse escurrimiento de material antes de alcanzar el avance de 1.5 m. Si la estabilidad del material hace imposible excavar por lo menos 1 m de túnel por ciclo se adoptan algunos de los procedimientos alternativos:

#### 4.5.3 - 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: retroexcavadora, vagonetas, tractores, y cargadores frontales. Equipo de barrenación se utilizó para la construcción de la plantilla de explosivos, también para moler la colada de basalto de 2.00 m de espesor.

La carga de explosivos en barrenos para la excavación en banco del tajo de la derivación 3-A no fue problemática debido a que en ese lugar no se encontraban construcciones cercanas. Equipo necesario durante la excavación del tajo: 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 agregado, cemento y la aliva para el lanzado. La malla electrosoldada en taludes del tajo, fue colocada sobre la primera capa de concreto lanzado, que posteriormente se tapó con la segunda capa de concreto lanzado.

##### 4.5.3.1 - EXCAVACIÓN DEL TÚNEL 3-A.

En el emportalamiento del túnel en frente mixto compuesto por una colada de basalto y escoria volcánica, se usó soporte de la clave con varillas llamado jaula de ardilla. Se colocó madera en el perímetro exterior del marco metálico en forma de herradura, posteriormente se lanzó concreto para amacizar el ademe. Se realiza la rezaga y amacize del frente de excavación después de haber realizado la detonación del explosivo, esto durante el emportalamiento del túnel. Es necesaria la colocación y carga de plantilla de explosivos para la excavación del libradero. Las instalaciones de agua y aire son imprescindibles para el proceso de excavación por el método convencional. El soporte provisional de la clave del túnel durante el ciclo de excavación con explosivos, se realiza mediante el hincado de varillas y canales de 3 a 4 metros de largo. Posteriormente se realiza la preparación de la superficie para colar la plantilla del túnel con un concreto de  $f_c = 150 \text{ kg/cm}^3$ .

## REFERENCIAS DEL CAPÍTULO 4

- 1 - 11 - Rico Rodríguez Alfonso y del Castillo Hermilo. Ingeniería de suelos en las vías terrestres Vol II. México D F editorial Limusa
- 2.- Reporte gráfico de la supervisión de la obra del túnel 5. Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica 1998.
- 3 - Apuntes del Curso Internacional de Construcción de Túneles de la D.G.C.O.H.

## CAPÍTULO 5

### PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA TERCERA ETAPA

## CAPITULO 5.- PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA TERCERA ETAPA.

El objetivo de este capítulo es describir el proceso constructivo utilizado, atendiendo los aspectos de materiales, mano de obra y equipo utilizados, la organización de la obra y la forma en que se solucionaron los problemas que se presentaron en la construcción

### 5.1.- ORGANIZACIÓN DE LA OBRA.

La organización y programación general de la obra, debe involucrar todas las actividades a desarrollar, desde el inicio de la construcción del campamento, movimiento de equipo, emportalamiento, excavación y revestimiento del túnel y desmantelamiento de las instalaciones al término de la obra.

Considerando que la excavación y el revestimiento del túnel son la finalidad de la obra y por consiguiente las actividades mas importantes, es de vital importancia llevar el control y predicción en programas por separado, estas pueden representarse conjuntamente en un programa gráfico.

#### 5.1.1.- ACTIVIDADES INVOLUCRADAS EN LA CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL

##### DURANTE LA EXCAVACIÓN.

- 1 Canalización de filtraciones (sí es necesario).
2. Construcción del dren definitivo (sí es necesario).
3. Levantamiento topográfico de la excavación.
4. Peines y/o movimiento de marcos.
5. Diseño del eje de la cimbra.
6. Construcción de plantilla
7. Planeación del retiro de las instalaciones, de la limpieza y del control de filtraciones, antes, durante y después del colado.

##### ANTES DEL REVESTIMIENTO

1. Retiro de instalaciones.
- 2 Rectificación de dovelas y vías.
- 3 Calafateo final de las filtraciones
4. Limpieza del tramo por colar
- 5 Desazolve de drenes
- 6 Colocación del armado.
7. Colocación de boquillas de inyección
8. Picado de juntas.

##### DURANTE EL REVESTIMIENTO.

- 1 Colocación de cimbra
- 2 Verificación de espesores
- 3 Fabricación del concreto.
4. Transporte del concreto al frente del colado.
- 5 Colocación del concreto
6. Vibrado en pared y por inmersión.

## DESPUÉS DEL REVESTIMIENTO

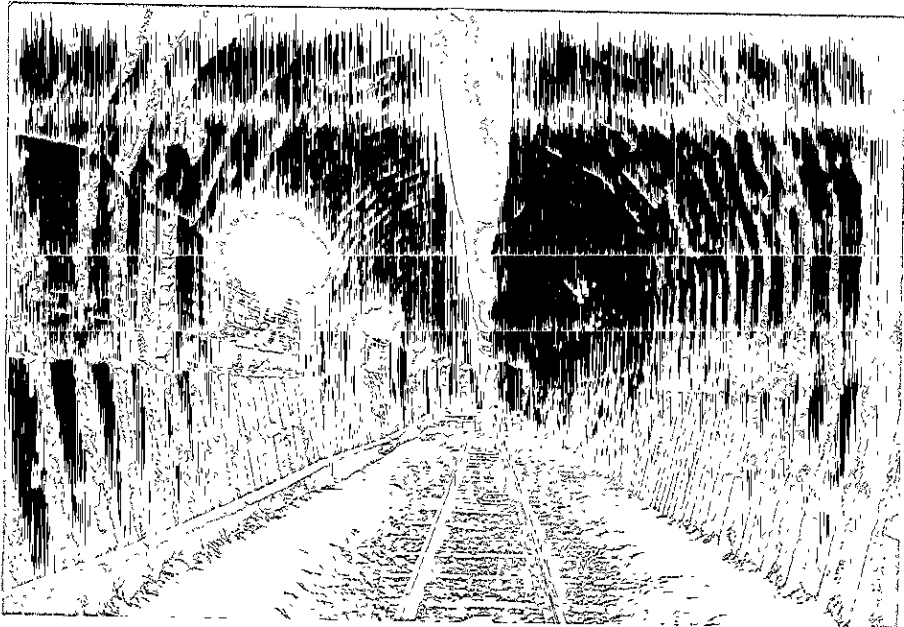
- 1 Descimbrado
- 2 Curado
- 3 Arreglo de defectos
- 4 Instalación de alumbrado y líneas para agua, aire e inyección.
- 5 Perforación de barrenos de inyección.
- 6 Inyección de contacto
- 7 Limpieza general

El control diario de avance se puede llevar en un subprograma gráfico mensual, el cual deberá cumplir con las metas del programa general, el que se podrá indicar tanto los avances diarios como los acumulados durante el mes

Con la objetividad de este tipo de programa y su continuo control comparativo con la realidad, permitirá prevenir los cambios necesarios para el cumplimiento de las metas.

## 5.1.2.- OBSTACULOS A VENCER.

El primer aspecto que debe planearse a detalle lo constituye el suministro de todos los elementos necesarios para la construcción, ya que *hablamos de un proceso de alto rendimiento, en donde todos los componentes deben encontrarse en el interior del túnel en el momento requerido* Otro aspecto importante es el análisis metro a metro, de las condiciones de la roca para así decidir de manera adecuada el soporte que se deberá colocar garantizando la estabilidad del túnel.



Vista del túnel 5 excavado por el método convencional en sección herradura.

### 5.13.- PROGRAMAS Y PRESUPUESTOS

El control de programas y presupuestos es un aspecto importante en la construcción de túneles por lo que es necesario que la presentación clara y oportuna de estos sea una de las condiciones que debe exigir la supervisión a la constructora, para que sean revisados y, bajo su consideración, sean aprobados, de lo contrario se deben corregir para cumplir con los compromisos establecidos con el organismo público que la contrata.

El programa general de la obra, en el que se indica la fecha de iniciación y terminación de la obra, debe venir acompañado de las actividades. Asimismo, en los programas parciales o de detalle, se debe incluir el personal y equipo con el cual se van a realizar, para revisar y definir si los rendimientos presentados están dentro de la realidad y que exista una secuencia lógica de construcción.

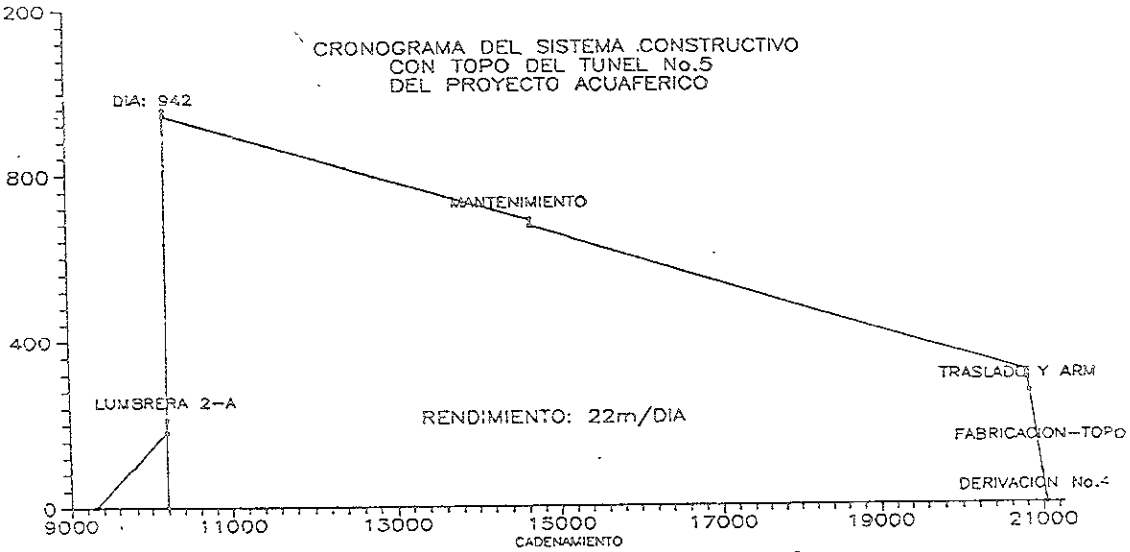
Los programas y presupuestos están intrínsecamente ligados. La presentación de un presupuesto debe venir acompañado por números generadores; rendimientos, equipo, personal y materiales a utilizar en cada actividad. Una vez que se obtiene esta información, debe vaciarse a un programa de erogaciones que debe concordar con los programas de obra para que de esta forma se pueda llevar el control presupuestal en forma similar y simultánea.

Las herramientas con que cuenta el supervisor para verificar la calidad de obra son los planos y especificaciones, con el auxilio de las observaciones de campo y del laboratorio de ensayo de materiales.

A medida que estas herramientas están lo más completas posibles, tendrá mayores posibilidades de llevar a buen término su trabajo; por lo que es obligación de la supervisión el revisar si estas herramientas son suficientes, si son explícitas y proponer al proyectista las aclaraciones y mejoras que puedan efectuarse.

Las especificaciones constituyen una forma de comunicación entre el supervisor y el constructor, por lo que deben ser realistas y tomar en cuenta las variaciones que cabe esperar durante la construcción de un túnel: es decir, que se refleje en las tolerancias y márgenes razonables de acuerdo con los procedimientos de construcción, así como al tipo de suelo y condiciones que pudieran presentarse. Su interpretación se facilitará en la medida que estén escritas en lenguaje claro, preciso, consistente con los planos y aplicables al trabajo definitivo.

La supervisión, por lo general, no está facultada para hacer cambios en los planos y especificaciones, pero su obligación es proponer modificaciones tendientes a mejorar la obra, en sus aspectos de calidad, costo y tiempo. Esto representa una práctica sana en cuanto al deslinde de responsabilidades y de respeto y reconocimiento al trabajo del diseñador, así como de los especialistas que intervinieron en el proyecto ejecutivo.



**CRONOGRAMA DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO  
CON TOPO DEL TUNEL No. 5  
MESES**

C O N C E P T O

	02	04	06	08	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	32	
1.-ACCESOS																			
2.-EXCAVACION PLATAFORMA																			
3.-REVESTIMIENTO, ACLAJES, CUNETAS ETC.																			
4.-TERMINACION DE INSTALACIONES																			
5.-EMPORIALAMIENTO																			
6.-EXCAVACION DE 340m DE DERIVACION																			
7.-REVESTIMIENTO DEFINITIVO																			
8.-FABRICACION TOPO																			
9.-TRASLADO TOPO																			
10.-ARMADO TOPO																			
11.-POSICIONAMIENTO DEL TOPO																			
12.-EXCAVACION Y REVEST. SISTEMATICOS																			

Diagramas gráficos de los programas de obra para la construcción del Túnel 5 del Acuífero, propuestos por la D.G.C.O.H.



#### 5.1.4 - CONTROL DE CALIDAD.

Las funciones del control de calidad de los materiales a utilizar en una obra, es la de verificar mediante pruebas físicas, químicas, radiográficas y visuales, que estos cumplan con lo indicado en las normas o especificaciones generales del proyecto.

Estas funciones tienen relación directa con la supervisión de obra, la cual para poder tomar decisiones, requiere de la entrega oportuna de los reportes de las pruebas efectuadas

El control de calidad de esta obra se llevó a cabo mediante la acción de varias empresas para evitar contubernios y malos manejos, de tal forma que los resultados de las pruebas fueran comprobados entre ellas. De igual forma el control topográfico de la excavación del túnel fue verificado por 3 equipos topográficos: el de la supervisión, el de la compañía constructora y una empresa externa

La supervisión y el control de calidad se complementan, pero generalmente los reportes de laboratorio informan de resultados sin incluir recomendaciones. Es necesario que los reportes se incluyan esas recomendaciones o cualquier otro tipo de acción de parte del laboratorio, porque aún cuando el supervisor es el que toma la acción ante el constructor, el personal de control de calidad debe estar integrado y conocer las condiciones de la obra.

#### 5.1.5.- SUPERVISIÓN DE OBRA.

La supervisión de la tercera etapa del Acuaférico fue ejecutada por la empresa A.D. CONSTRU-CONSULTA Formada por un equipo de geólogos, ingenieros civiles, topógrafos, laboratoristas y personal administrativo que hizo posible el control de todos los trabajos y ayudó a que se corrigieran todas aquellas desviaciones fuera del proyecto.

En nuestro medio se entiende como supervisión de obra a los servicios profesionales relacionados con la inspección técnica de los trabajos que se efectúan durante el proceso constructivo, así como del control de los recursos económicos que se ejercen en ella.

La supervisión puede operar de diferentes maneras dependiendo de las características de la organización que tengan los organismos o empresas privadas con que se contrate, por lo que es indispensable establecer con toda claridad los mecanismos de comunicación, alcances, responsabilidades específicas y líneas de autoridad de la supervisión. Así mismo, el supervisor debe conocer y disponer de todos los documentos contractuales requeridos para que la obra se construya con la calidad y el tiempo pactado; estos documentos son: contratos, planos, especificaciones, reglamentos, y precios unitarios con sus alcances

Uno de los aspectos más importantes de la supervisión es que tome un carácter preventivo, para lo cual debe tener una comunicación estrecha con el contratista en los trabajos de inspección que realice durante el proceso constructivo, de tal forma que la verificación del resultado no implique mayores complicaciones en las actividades de corrección que pudieran presentarse.

### 5.1.5.1- ALCANCES DE LA SUPERVISIÓN.

En la construcción de túneles y en general en cualquier tipo de construcción, el supervisor es el representante del cliente y deposita su confianza en él. La supervisión se hace responsable de

- Exigir al constructor que las obras se realicen en apego al proyecto ejecutivo, con la calidad y en el tiempo pactado.
- Cuantificar y evaluar la obra ejecutada para efectos de estimación y pago.
- Promover la presentación de los programas de obra por parte del constructor
- Manejo de la bitácora.
- Llevar registro de todo lo que acontezca relacionado con la obra

Para cumplir con los trabajos encomendados es necesario conocer, además de los aspectos técnicos, los aspectos jurídicos y administrativos relacionados con la obra

#### Aspectos jurídicos:

- Documentación presentada por la constructora para la contratación de la obra
- Bases del contrato
- Ley de obra Pública.
- Licencias y permisos para la construcción, exploración de bancos, caminos de Acceso, etc

#### Aspectos Económicos:

- Presupuestos.
- Precios unitarios y sus alcances.

#### Aspectos Técnicos:

- Programas de obra (general y detalle).
- Planos generales de localización.
- Planos de procedimientos constructivos.
- Planos estructurales.
- Especificaciones.
- Reglamento de construcción vigente.

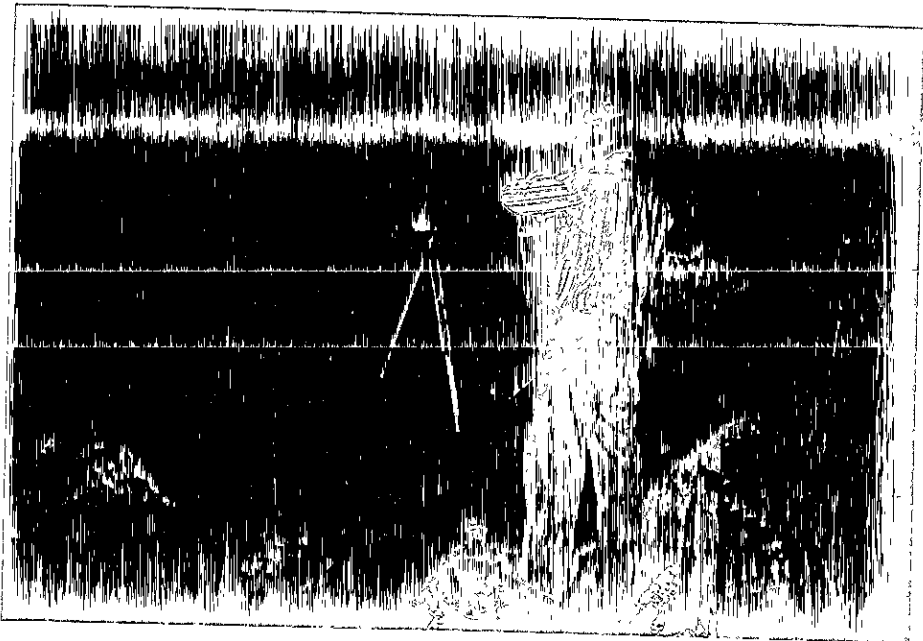
Los aspectos mencionados no son limitativos y están en función de los alcances que tenga el contrato de supervisión.

### 5.1.6.- CONTROL DEL PROYECTO.

Los proyectos implican una serie de acontecimientos que es necesario controlar, pero el aspecto fundamental es el factor humano. Los beneficios que brinda la aplicación de la tecnología moderna en el desarrollo y operación de un proyecto de construcción son enormes. Como primer requisito del control es la información, que debe ser confiable y oportuna. La tecnología ayuda a hacer más eficiente el trabajo. La realización de una obra implica un desarrollo, y aquí es donde entra la gerencia de proyectos, pues en ésta convergen una serie de instancias que tienen que ver con el mismo. La gerencia de proyectos se ocupa de la calidad, el control presupuestal y es además responsable de la armonía que debe existir en el grupo de trabajo, en definitiva, tiene el cometido de cuidar que el proyecto marche por buena ruta.

El proyecto ejecutivo se compone de estudios serios de mecánica del suelo, de un diseño arquitectónico completo, un diseño estructural y el diseño de todas las instalaciones. Cuando estamos realizando el diseño, debemos estar planeando simultáneamente cómo vamos a desarrollar nuestra obra, cuáles van a ser los diferentes procesos en los que vamos a intervenir, y para ello utilizamos un programa con el que vamos a poder razonar, planear adecuadamente, poner las cifras de las actividades que nos van a permitir garantizar al cliente el trabajo.

También se necesita un presupuesto base, para que él conozca el costo aproximado. Para calcular este presupuesto utilizamos una herramienta que nos permite tener cada uno de los conceptos perfectamente definidos desde el punto de vista de los precios. Como ya habíamos hecho un análisis, una estrategia de obra, ahora le agregamos nuestro programa de precios unitarios. Con esto se controlan dos aspectos: la programación física y la programación financiera. Algo muy importante cuando elaboramos una carpeta de concurso son las bases del mismo.



Control topográfico dentro del túnel.

## 5.2.- MATERIALES USADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DEL ACUEDUCTO.

Los materiales los podemos dividir en dos grupos

- 1 Los materiales utilizados en la excavación del túnel 5 , las derivaciones 3, 3-A, 4 , los tajos de acceso y su estabilización.
- 2 Los materiales utilizados en el recubrimiento definitivo, la inyección de contacto y el acabado final del túnel.

### 5.2.1- MATERIALES UTILIZADOS EN LA EXCAVACIÓN DEL TÚNEL, LAS OBRAS COMPLEMENTARIAS Y SU ESTABILIZACIÓN

#### 5.2.1.1.- MATERIAL PARA LA EXCAVACIÓN DEL TÚNEL DE 3.80 M DE DIÁMETRO, POR MEDIO DEL MÉTODO DE BARRENACIÓN Y VOLADURA (ML)

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	RENDIMIENTO
TOVEX 300	KG	6,970	1,62
SUPERMEXAMO "D"	KG	6,970	1,62
ESTOPÍN NONEL 12"	PZA	9,500	1,62
E-CORD	ML	16,000	1,62
ACERO DE BARRENACIÓN 2400 MM X 778	PZA	0,221	1,62
EQUIPO DE SEGURIDAD	JGO	0,200	1,62
AGUA	M3	1,102	1,62

#### 5.2.1.2.- MATERIALES UTILIZADOS EN EL CONCRETO LANZADO PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LA EXCAVACIÓN.

##### 5.2.1.2.1.- CEMENTO.

El cemento a utilizar es del tipo I o de norma C-2, que cumpla con la calidad especificada en las Normas Oficiales Mexicanas NOM C-I o NOM C-2 respectivamente (ASTM C en el tipo que corresponda). Cuando se utilicen agregados confirmados como efectivos con los álcalis del cemento, el cemento Portland empleado debe poseer un contenido de álcalis no mayor de 0-60% expresado como  $\text{Na}_2\text{O}$ . Si se emplea cemento Portland puzolana, la puzolana debe ser capaz de absorber satisfactoriamente dicha reacción. Durante la realización de los trabajos se debe efectuar ensayos periódicos, el número de estos depende del volumen que se emplee.

### 5.2.1.2.2 - AGREGADOS.

La arena y grava que se utilicen para formar el concreto, debe 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 lanzamiento. La calidad de la arena y grava deberá cumplir con las especificaciones ASTM C-33, los agregados no deben reaccionar con los álcalis del cemento. Si los agregados provocan una expansión excesiva en el concreto debido a la reacción con el cemento deben desecharse a menos que se aplique medidas correctivas, previa aprobación de la residencia de la obra. No debe utilizarse agregado ligero cuya densidad en condición de saturada y superficialmente secos sea menor de 2.2, tampoco debe emplearse grava cuya proporción de partículas planas y/o alargadas, determinados por el método de prueba CRD C119, exceda del 20 % en peso.

### 5.2.1.2.3.- AGUA DE MEZCLADO.

El agua de mezclado debe ser potable. Cuando el agua que se pretenda usar para el mezclado no sea potable, se elaborarán dos 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 de ensayo se usará agua destilada. Se considerará 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 de ensayo conforme al criterio establecido en el código ACI-318 y además, que los tiempos de fraguado inicial y final, no difieran en más de 60 minutos.

### 5.2.1.2.4.- ADITIVOS ACELERANTES

Se debe emplear un aditivo que garantice en el concreto lanzado una resistencia de 90 kg./cm<sup>2</sup>, a las 24 horas, que cumpla en cuanto a sus características con la norma ASTM C-266 en los requisitos siguientes:

- Tiempo de fraguado inicial máximo 3 minutos.
- Tiempo de fraguado final máximo 12 minutos
- Resistencia a la compresión simple de la pasta, a una edad de 8 horas, en cubos de 5 cm de lado 60 kg./cm<sup>2</sup> mínimo
- No debe contener cloruro de calcio o cualquier sustancia que perjudique las propiedades definitivas del concreto a corto o largo plazo.

Los aditivos a emplearse serán compatibles tanto con el cemento como con los agregados pétreos previamente a su empleo deberán ser aprobados por la supervisión. El proporcionamiento del aditivo se ajustará en las pruebas iniciales, dentro de los límites que indica el fabricante y sin exceder en ningún caso del 6% del peso del cemento.

### 5.2.1.2.5.- MEZCLA.

El procedimiento de mezclado en el concreto lanzado será el de mezcla seca, que 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, donde se añade el agua de hidratación antes de lanzar la mezcla.

Todas las mezclas secas que tengan más de 120 minutos de haberse mezclado deberán desecharse. En igual forma se procederá con las que presenten hidratación prematura.

## 5.2.2- MATERIALES UTILIZADOS EN EL RECUBRIMIENTO DEFINITIVO, LA INYECCIÓN DE CONTACTO Y EL ACABADO FINAL.

### 5.2.2.1- MATERIALES DEL CONCRETO HIDRÁULICO PARA EL REVESTIMIENTO DEFINITIVO

El revestimiento definitivo del túnel 5 consiste en concreto hidráulico con una parrilla de acero de refuerzo de #2, @ 20 cm en los dos sentidos, dimensionada para tomar los cambios de temperatura y los esfuerzos debidos a la acción de la roca y suelo que lo rodea. Este revestimiento definitivo debe contar con la calidad necesaria para cumplir el fin con que fue construido el túnel, tanto para un buen funcionamiento hidráulico como para que su vida útil sea cumplida.

El concreto se diseña para una resistencia  $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ , que al colocarlo presente una superficie lisa, libre de fisuras, abombamientos, escalones o zonas porosas.

Por lo anterior es necesario mantener un laboratorio de control de calidad cercano a los frentes de trabajo, que efectúe diariamente las diversas pruebas que señalen las especificaciones oficiales (NOM, ASTM, ACI) en vigor, con el fin de hacer las correcciones pertinentes que eviten demoliciones, reclamaciones y atrasos en el programa de obra.

### 5.2.2.2.- CEMENTO.

Se utiliza cemento Portland tipo II, por su moderado calor de hidratación y menor tendencia a la presentación de fraguado falso, determinado con el método de pasta de cemento. Observándose los mismos controles de calidad que en cemento para concreto lanzado.

### 5.2.2.3.- AGREGADOS DEL CONCRETO.

Las arenas y gravas utilizadas en la elaboración del concreto pueden obtenerse de bancos naturales o por trituración de rocas. Los fragmentos deben ser duros, sanos, de peso volumétrico mayor a 2.2 gramos/cm<sup>3</sup> y libres de materiales contaminantes como suelos plásticos y orgánicos.

Un estudio preliminar sobre material triturado proveniente de diferentes bancos permite eliminar aquellos que no cumplen con especificaciones primarias como la forma de los granos, el tipo de fractura, la contaminación con materia orgánica, etcétera. También sirve como indicador de las bondades del banco, el ensayo de cilindros de roca a la prueba de compresión simple, evitando el uso de aquellos que no alcanzan el valor de 250 kg/cm<sup>2</sup> con que se ha diseñado el revestimiento definitivo.

Los agregados deben cumplir con la especificación ASTM-C-33, con la granulometría más conveniente para concreto bombeable de acuerdo con el reporte del comité 304 del ACI.

Tanto la ligereza como la forma tabular o alargada de los fragmentos perjudica la bombeabilidad, resistencia final y costo del concreto, por lo que se limitará a 10% en peso de (método de prueba CRO C-119) la proporción admisible de partículas planas y/o alargadas. Una buena selección del banco de agregados debe incluir un estudio mineralógico para identificar y cuantificar a los minerales que

reaccionan a los álcalis del cemento, y someter a los agregados a la prueba de reactividad potencial (método químico) NOM- C-271, o bien con el método NOM-C-180

#### 5.2.2.4 - LIMITES GRANULOMÉTRICOS

La grava debe ser dosificada en dos granulometrías, denominadas 1 y 2 para tamaño máximo de  $\frac{3}{4}$  " y  $\frac{1}{2}$  "

Cada componente del concreto debe satisfacer las especificaciones siguientes

##### 5.2.2.5.- AGUA.

Con la calidad escrita en el agua para concreto lanzado.

##### 5.2.2.6.- ADITIVOS.

Cada aditivo que se empleé, debe ser compatible tanto con el cemento como con los agregados pétreos y su uso debe ser aprobado anticipadamente por la supervisión

La bombeabilidad del concreto se mejora con los aditivos inclusores del aire, que deben cumplir con las especificaciones ASTM-C-260. También las especificaciones y reductores de agua mejoran la bombeabilidad, y se aceptan aquellos que no incluyen cloruros en su formulación ni originen pérdidas del agua de la mezcla (sangrado)

Se deben hacer pruebas suficientes para seleccionar el o los aditivos que mejoren tanto la maleabilidad como la trabajabilidad y facilidad de colocación del concreto, considerando el poco espacio en el frente de colado y el lugar donde se colocará el concreto

##### 5.2.2.7.- DOSIFICACION Y MEZCLADO

La dosificación del concreto hidráulica será en base a pesada para lo cual se requiere de una plancha de la capacidad adecuada al avance programado, que será calibrada una vez por mas o antes si se detecta desviación en el proporcionamiento o mal funcionamiento en alguna de las compuertas alimentadoras.

Los aditivos se dosificarán ya sea por peso o volumen, siempre que se garantice la exactitud de la medida, y que cumpla la especificación ASTM - 494

El mezclado, en la olla revoladora, se hará el tiempo necesario para que el agua, el cemento, los agregados pétreos y en su caso los aditivos, queden perfectamente integrados, lo que se determinará al inicio de los colados, mediante la ejecución de pruebas, que muestran obtenidas con diferente tiempo serán sometidos a pruebas físicas para determinar la optimización en la homogeneidad de los materiales.

RESUMEN DE MATERIALES PARA CONCRETO ARMADO DE F' C= 250 KG/CM<sup>2</sup>, EN EL REVESTIMIENTO DEFINITIVO DEL TÚNEL (M<sup>3</sup>)

MATERIALES		UNIDAD	CANTIDAD	RENDIMIENTO
a) CONCRETO	CEMENTO A GRANEL	TON	0,3700	
	GRAVA	M <sup>3</sup>	0,7000	
	ARENA	M <sup>3</sup>	0,6000	
	AGUA	M <sup>3</sup>	0,2200	
	IMPERSIL "P"	KG	11,1000	
	DISPERSIL "N"	KG	3,0000	
	ANTISOL ROJO (MEMB.CURAD)	LT	6,0000	
MERMAS	%	0,0300		
CONCRETO	CONCRETO UNITARIO	M <sup>3</sup> /ML	3,6000	
DISPOSITIVO DE BOMBEO	JGO.TUBERIAS P/BOMBEO	JGO	1,0000	12040,5
b) ARMADO	ACERO DE REFUERZO	TON	0,1229	
c) MADERA EN TAPONES	MADERA DE TERCERA	PT	150,0000	188
d) EQUIPOS DE SEGURIDAD	EQUIPOS DE SEGURIDAD	JGO	100,0000	1500
e) CIMBRA METALICA	CIMBRA PARA TUNEL	BZA	1,0000	12040,5
f) RELLENO DE NICHOS BOVEDAS Y LIBRADEROS	DEL INCISO a) CONCRETO	M <sup>3</sup>	0,3600	



## 5 2 3 - MATERIALES Y EQUIPO PARA LA EXCAVACIÓN DEL TÚNEL, CON LA MÁQUINA TUNELERA

MATERIALES Y EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	RENDIMIENTO (ML)
TRANSMISION DE ELECTRICIDAD			
CABLE ALIMENTADOR P/TOPO	PZA	9978	10 588,00
CONECTORES P/CABLE	PZA	33	10 588,00
CONECTORES DE CABLE A TRANSFORMADOR	PZA	7	10 588,00
TRANSFORMADOR DE 112,5 KVA 13200 A 440	PZA	7	10 588,00
OPERACION ELECTRICA			
INTERRUPTOR DE 100 AMP	PZA	12	10 588,00
ARRANCADOR NEMA 3	PZA	12	10 588,00
INTERRUPTOR DE 60 AMP	PZA	12	10 588,00
INTERRUPTOR DE NAVAJAS 80 AMP	PZA	24	10 588,00
ARRANCADOR NEMA 1	PZA	24	10 588,00
LAMPARAS DE CUARZO DE 1000 W	PZA	14	10 588,00
CABLE USORUDO 2 X 12	ML	1440	10 588,00
CABLE USORUDO 3 X 10	ML	738	10 588,00
LINEA DE ELECTRICIDAD			
CABLE #12	ML	31764	10 588,00
INTERRUPTOR DE 200 AMP	PZA	3	10 588,00
INTERRUPTOR DE 100 AMP	PZA	12	10 588,00
TRANSFORMADOR DE 5 KVA	PZA	36	10 588,00
ILUMINACION			
CABLE #12	ML	31764	10 588,00
CABLE #20	ML	10588	10 588,00
INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO DE 35 AMP	PZA	70	10 588,00
GABINETE P/SLIM LINE	PZA	915	10 588,00
TUBO SLIM LINE DE 74 W	PZA	716	10 588,00
BALASTRA 2 X 74 W	PZA	915	10 588,00
AGUJA			
TUBO EXTRUAC RD 21 DE 1/2"	ML	10308	10 588,00
REDONDO 1/2"	PZA	1031	10 588,00
VALVULA COMP BRIDA ACERO 4"	PZA	2	10 588,00
MANIFERA 2" MEDIA PRESTION	ML	4	10 588,00
CONEXION 2" ALTA PRESTION	PZA	4	10 588,00
VALVULA 2" DE PASO	PZA	2	10 588,00
VALVULA ESFERA DE 3/4"	PZA	10	10 588,00
MANIFERA 3/4" MEDIA PRESTION	ML	10	10 588,00
CONEXIONES RAPIDA DE 3/4"	PZA	20	10 588,00
VENTILACION			
DUCTO P/VENTILACION 32"	ML	10308	10 588,00
FIJACIONES	JGO	100%	10 588,00
VIA			
JGO CAMBIO 4" RIEL 80 LBS	JGO	6	10 588,00
RIEL 30 LBS	TON	824,37	10 588,00
DURANTE METALICO RIEL 80 LBS	PZA	0	10 588,00
PLANCHUELA (RIEL 80 LBS)	PZA	2305	10 588,00
GRAPA P/SUJETAR RIEL	PZA	2	1,20
TORNILLO DE 3/4" X 2 1/2"	PZA	4	1,20
RONDAÑA DE PRESTION DE 3/4"	PZA	3	1,20

## 5.2.4.- CALIDAD DE LOS MATERIALES DE LA INYECCIÓN DE CONTACTO

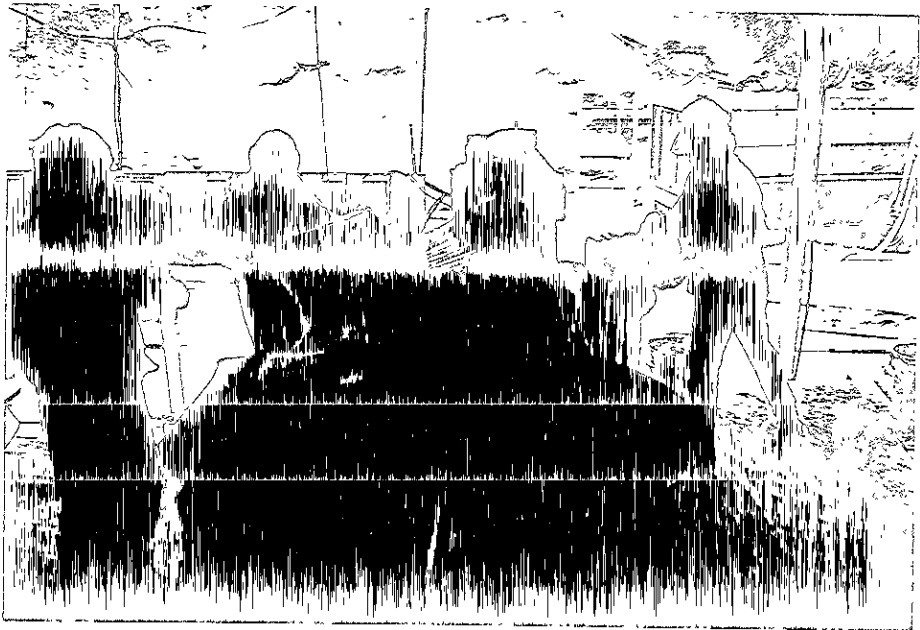
5.2.4.1- AGUA - Debe ser potable, libre de sedimentos, materia orgánica e impurezas

5.2.4.2 - CEMENTO.- Se debe utilizar cemento Portland tipo I

5.2.4.3.- BENTONITA.- Debe ser bentonita sódica de buena calidad (límite líquido mayor a 300) en forma de lodo hidratado por un mínimo de 6 horas y con una relación agua - bentonita, en peso de 10/1 aproximadamente (debe ser manejable para el equipo).

5.2.4.4 - ARENA.- Debe ser natural, no producto de trituración, libre de materia orgánica sin granulometría superior a 1.5 mm. Los % en tamaños serán como sigue:

MALLA No	% QUE PASA
10	100
30	50-85
50	20-25
100	10-30



Preparación de mezcla para inyección.

### 5.3. - MANO DE OBRA.

#### 5.3.1.- MANO DE OBRA DE LA EXCAVACIÓN DEL TÚNEL DE 3.80 M DE DIÁMETRO, POR MEDIO DEL MÉTODO DE BARRENACIÓN Y VOLADURA (ML)

MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	RENDIMIENTO
JEFE DE TURNO	JOR	0.5	ml 2.064
CARO DE TÚNEL	JOR		2.064
PERFORISTA	JOR	2	2.064
AYUDANTE DE PERFORISTA EN TÚNEL	JOR	5	2.064
ELECTRICISTA DE LA	JOR		2.064
AYUDANTE DE OFICIAL	JOR	1	2.064
OP. DE CARGADOR	JOR	1	2.064
CHOFER	JOR		2.064
PLANTERO	JOR		2.064
AYUDANTE GENERAL	JOR	2	2.064
INSTALACIÓN Y DESMANTELAMIENTO	JOR	40	320.00

Los perforistas y los pobladores son el personal humano importante en el método convencional ya que el rendimiento esta en función de la experiencia que ellos tienen, así mismo la seguridad de la obra esta en sus manos

#### MANO DE OBRA PARA LA EXCAVACIÓN CON LA MÁQUINA TUNELERA

Para la excavación del túnel con la máquina tunelera, fue necesario un gran número de personas, que trabajando en conjunto hicieron posible su operación:

##### PERSONAL TÉCNICO.

- o Geólogo.
- o Ingeniero mecánico
- o Ingeniero eléctrico.
- o Ingeniero topógrafo.

##### PERSONAL OPERATIVO

- o Operador de la máquina tunelera
- o Jefe de turno.
- o Electricista y ayudante
- o Brigada de Soldadores y ayudantes.
- o Colocadores de marcos y anclaje
- o Colocadores de madera de retaque
- o Operador de polipasto para colocación de dovelas
- o Operadores de locomotoras y marco de descarga de las vagonetas
- o Brigada de mantenimiento de vías.
- o Personal de apoyo en limpieza y actividades varias.

## 5.3.2.- MANO DE OBRA PARA LA ELABORACIÓN Y COLOCACIÓN DEL CONCRETO ARMADO

CONCRETO ARMADO DE F'c = 250 KG/CM<sup>2</sup> EN REVESTIMIENTO DEL TÚNEL  
(UNIDAD-M<sup>2</sup>)

MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	RENDIMIENTO
a) ARMADO DE ACERO			
DE REFUERZO	PIERRERO	JOR 3	1,855804
	AYUDANTE GRAL	JOR 6	1,855804
b) MANIOBRA			
	JEFE DE TURNO	JOR 1	20,89
	MANIOBRISTA	JOR 6	20,89
	AYUDANTE DE MANIOBRISTA	JOR 6	20,89
	SOLDADOR	JOR 1	20,89
	CARPINTERO	JOR 1	20,89
	CHOFER	JOR 1	20,89
	PLANTERO	JOR 1	20,89
	OP ELEVADOR	JOR 1	20,89
	ELECTRICISTA DE 2A	JOR 1	20,89
	AYUDANTE DE OFICIAL	JOR 4	20,89
	AYUD. EN REVESTIMIENTO	JOR 6	20,89
c) FABRICACIÓN DE CONCRETO			
	JEFE DE TURNO	JOR 0,5	20,89
	PLANTERO	JOR 1	20,89
	OP PLANTA DE CONCRETO	JOR 1	20,89
	OP DRAGALINA	JOR 1	20,89
	AYUDANTE GRAL	JOR 4	20,89
d) COLOCACIÓN DE CONCRETO			
	JEFE DE TURNO	JOR 0,5	20,89
	OP DE BOMBA DE CONCRETO	JOR 1	20,89
	OP DE SNORKEL	JOR 1	20,89
	OP DE GUILLOTINA	JOR 1	20,89
	PLANTERO	JOR 1	20,89
	OP ELEVADOR	JOR 1	20,89
	VIBRADORISTA EN REVESTIM	JOR 2	20,89
	ELECTRICISTA DE 2A	JOR 1	20,89
	AYUDANTE DE REVESTIMIENTO	JOR 5	20,89
	ALBAÑIL	JOR 6	20,89
	AYUDANTE DE OFICIAL	JOR 7	20,89
	AYUDANTE GENERAL	JOR 6	20,89
e) RELLENO DE NICHOS, BOVEDAS Y LIBRADEROS			
	DE LOS INCISOS a), b), c) y d)	M <sup>3</sup> 0,36	3,6
f) INSTALACION Y DES. MANTELAMIENTO DE PLANTA			
	DE LOS INCISOS b), c) y d)	M <sup>3</sup> 120	12040,5

## PERSONAL PARA LA OPERACIÓN DE LA PLANTA CONCRETERA.

- 1 op. Dragalina
- 1 op. Dosificadora
- 1 op. Cargador frontal
- 3 ayudantes generales

## PERSONAL PARA DETALLAR EL REVESTIMIENTO DE CONCRETO

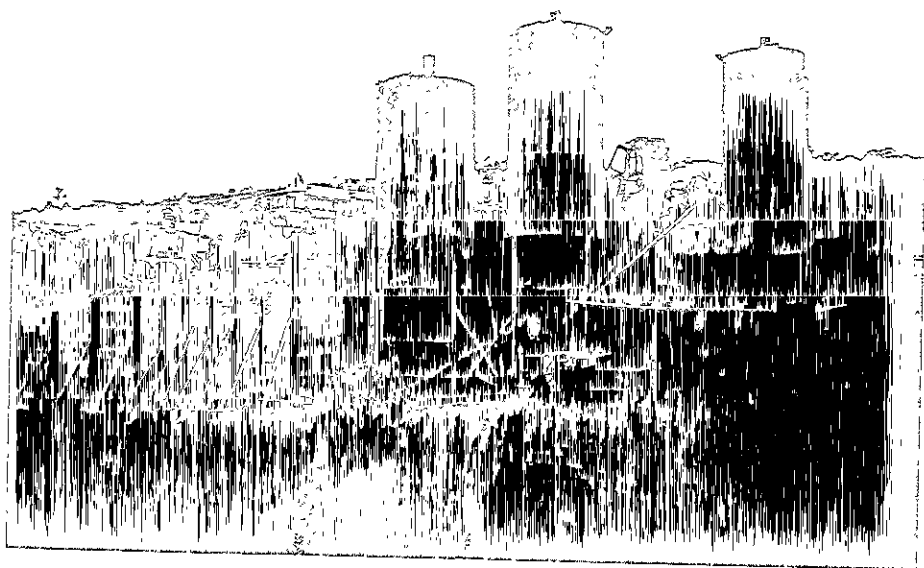
- 1 Brigada de albañiles (10 albañiles)

## PERSONAL DE LIMPIEZA GRUESA Y FINA

- 1 Brigada de limpieza (10 ayudantes y un cabo)

## PERSONAL DE SUPERVISIÓN.

- 1 registro de vol. de concreto.
- 1 supervisor de dosificación
- 2 laborarionista para obtención de pruebas de revenimiento y de especímenes



Planta concretera y depósito de materiales en la derivación 3

## 5.4.- EQUIPO.

### 5.4.1 - EXCAVACIÓN POR BARRENACIÓN Y VOLADURA, LLAMADO MÉTODO CONVENCIONAL

#### CICLO BASICO DE TRABAJO

Las operaciones del ciclo son

- 1 Barrenación y limpieza de la misma
2. Carga de explosivos y conexos, refirio de voladura
3. Ventilación
4. Rezaga.
5. Movimiento de equipo, maniobras varias y topografía
6. Ademe y soporte temporal ( cuando se requiere)
7. Bombeo (cuando se requiere)

#### EQUIPO UTILIZADO EN EL CICLO BÁSICO

Para la barrenación por el método convencional, se utiliza normalmente brazos hidráulicos de perforación. Este brazo hidráulico es un dispositivo que posiciona el martillo de perforación en cualquier posición determinada del frente. Existe una gran variedad de brazos de perforación, pudiéndose agrupar en dos grandes grupos: los portátiles que como su nombre lo indica son pequeños brazos para efectuar perforaciones de pequeña sección, y los que van montados en un cuerpo portante al que van vinculados a los brazos de perforación y que pueden tener un sistema de desplazamiento propio o exterior. Estos jumbos se pueden clasificar en jumbos compactos sobre rieles, jumbos autopropulsados y jumbos de pórtico.

Los equipos mas usuales para efectuar la carga son principalmente:

- Sobre rieles dentro de los que destacan los rezagadores.
- Sobre orugas, siendo los mas importantes los cargadores frontales y las palas

En lo referente a acarreo existe una gran variedad de equipos , pudiendo clasificarse en dos grandes grupos:

1. Sobre rieles ( locomotoras diesel, eléctricas y carros mineros)
2. Sobre llantas (camiones ligeros y pesados)

Dentro del equipo auxiliar podemos considerar lo siguiente:

- Bombas horizontales, verticales, etc.
- Transformadores
- Cambios California, car-passer
- Laderas fijas, pisos deslizantes, pisos navajo, etc.

Para la conducción de fluidos y energía, podemos considerar 4 grupos.

1. Tubería de Aire comprimido.
2. Tubería para agua de barrenación.

- 3 Tubería de ventilación
- 4 Conducciones eléctricas.
  - 4 1 alumbrado (normalmente monofásico de 110 V)
  - 4 2 Energía trifásica de alta y baja tensión (220 y 440 V)
  - 4 3 Línea telefónica

Para las plantas generadoras de energía se pueden enmarcar en tres aspectos principales

- 1 Corriente eléctrica
- 2 Casa de compresores.
- 3 Casa de bombas

Finalmente, dentro del equipo de emergencia podemos considerar

- o Equipo contra incendio.
- o Detectores de gas.
- o Planta de emergencia para energía eléctrica.
- o Transformadores
- o Bombas de todo tipo.

#### 5.4.2.- EQUIPO PARA LA EXCAVACIÓN DE TÚNEL DE 3 80 M DE DIÁMETRO, POR MEDIO DEL MÉTODO DE BARRENACIÓN Y VOLADURA (UNIDAD-ML).

EQUIPO	UNIDAD.	CANTIDAD	RENDIMIENTO (ML)
COMPRESOR GARDNER DENVERT 750 PCM ACT S/OP	HR	3,69	1,62
PERFORADORA DE PIERNA ACT S/OP	HR	73,76	1,62
PLANTA DE LUZ 400 KW ACT S/OP	HR	6,28	1,62
VENTILADOR AXIAL 24" ACT S/OP	HR	6,28	1,62
CARGADOR S/NEUM.930 ACT S/OP	HR	1,64	1,62
CAMIÓN DE VOLTEO 7M3 AC S/OP	HR	1,39	1,62

### 5.4.3.- EQUIPO DE BARRENACIÓN

Este equipo incluye los compresores, las herramientas neumáticas e hidráulicas, así como sus accesorios y equipos auxiliares. Al decir barrenación, o barrenos se está hablando de la horadación del terreno practicada por medio de herramientas manuales y/o mecánicas, con la finalidad de hacer barrenos destinados a alojar explosivos para aflojar roca, cuando esta no puede ser económicamente aflojada y excavada por medio de otros dispositivos y herramientas.

### 5.4.4.- LOCOMOTORAS.

Son máquinas para el arrastre de vagonetas utilizadas para acarrees de extracciones de la rezaga de material en túneles de longitud considerable, compuesto por una sucesión de varias vagonetas, que deben ser arrastradas de una sola vez para que el transporte sea eficaz y rentable.

La ventaja del transporte ferroviario reside en la poca resistencia a la rodadura que presenta la carga a remolcar. Los gastos de conservación del material móvil y de las vías son relativamente bajos.

Las locomotoras utilizadas en la construcción del túnel Acuaférico fueron de motor diesel, tienen una mayor maniobrabilidad en lo que respecta a la operación de parar y volver a ponerse en marcha que deben intercalar durante su recorrido. La velocidad de las locomotoras es de 12 a 25 km./h. se considera que la potencia de una locomotora es igual a la cuarta parte de su peso.

### 5.4.5.- VAGONETAS.

Los vagones o vagonetas empleadas en los convoyes se fabrican para capacidad comprendida entre 0.70 a 40 m<sup>3</sup>. La elección de la vía depende de la sección del carril determinada por la carga por eje y la separación de traviesas.

### 5.4.6.- LIBRADERO

En el método convencional se construyen libraderos dentro del túnel cuando el avance es tal que la maniobra de salida en reversa es inoperante (la distancia varía). Consiste en una sobre excavación que permita dar vuelta a los cargadores o a los camiones en la maniobra de rezaga. Cuando se utiliza un transporte sobre vías se sustituye por un cambio California.



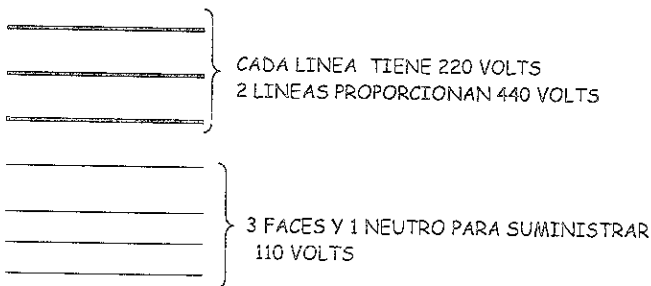
### 5.4.7.- DOVELAS

Las dovelas se construyeron en instalaciones ubicadas en la plataforma de maniobras de la derivación-4, de diferentes longitudes (de 2.40 m y 1 20 m) pero de un ancho constante, la producción de las dovelas era de 14 piezas diarias. Forma uno de los elementos constructivos mas importantes del Acuaférico. Se colocaron solo en el túnel construido con la máquina tunelera. Estas piezas de concreto armado cumplen varias funciones, después de la excavación, se colocan en la cubera y se nivelan para cumplir con la función de rasante hidráulica. Cuentan con preparaciones para que las vías se puedan fijar a ellas, con lo que durante la construcción del túnel forman parte de la vía de transporte de materiales, personal y equipo posteriormente, cuando se colocan los marcos circulares éstos se apoyan en la dovela para cerrar la sección.

### 5.4.8 - INSTALACIÓN ELECTRICA DENTRO DEL TÚNEL.

La energía eléctrica dentro del túnel es primordial porque es la única forma de energía que no contamina y permite el trabajo sin peligro de intoxicación. La electricidad se utiliza en la iluminación por medio de lamparas fluorescentes de 75 w, colocadas a cada 10 metros, y en el funcionamiento de maquinaria ( bomba, banda transportadora, Snorquel, Jumbo, compresor) y equipo (taladros, plantas para soldar, vibradores de pared, sistema de iluminación de la cimbra metálica). Cada uno de ellos necesita un voltaje determinado, por lo que se utilizan además transformadores a cada 300 metros para elevar o bajar el voltaje. En la derivación 3° se ubicó una planta de energía eléctrica que produce un voltaje de 440 V

La C.F.E suministró un voltaje de 13, 200 volts que se utilizaron para alimentar los transformadores de la T.B.M.



### 5.4.9.- EQUIPO PARA CONCRETO DE LANZADO.

Este equipo se utiliza para la colocación de concreto en taludes y paredes excavadas, para estabilizarlos y/o para protegerlos de la intemperización. La presión del aire a la salida de la máquina lanzadora se mantiene constante entre 2.5 y 4 kg/cm<sup>2</sup>, y entre 3.5 y 5 kg/cm<sup>2</sup> la del agua para manguera hasta de 30 m de largo, medida desde la lanzadora hasta la boquilla y deberá incrementarse la presión del aire en 0.30 kg/cm<sup>2</sup> por cada 15 m de manguera.

## 5.4.10- EQUIPO DE VENTILACIÓN.

El propósito de la ventilación es mantener el aire fresco en el interior del túnel, especialmente cerca del frente de trabajo, evitando así la contaminación por gases tóxicos, polvo, calor, etc. La ventilación adecuada proporciona un ambiente de trabajo que protege la salud del personal que labora en el interior del túnel depende de que su funcionamiento sea siempre eficiente y no se deben escatimar recursos en él.

La ventilación se obtiene generalmente por la circulación del aire desde el portal de entrada al túnel, hacia el lugar de trabajo, por medio de ductos que transportan el aire que es arrojado por ventiladores.

La selección de un sistema de ventilación se puede basar en las siguientes consideraciones:

- Determinación de los factores relativos a la ventilación en el área de trabajo.
  - a) Tipo de ventilación
  - b) Cantidad de aire requerida
  - c) Distancia desde el portal de entrada hasta el frente de trabajo
- Selección de ventilador y el tipo de ducto para proporcionar la cantidad de aire requerida en el área de trabajo.

### 5.4.10.1- FACTORES QUE DETERMINAN LA VENTILACIÓN EN EL ÁREA DE TRABAJO.

#### 1.- CAUSAS DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE.

- a) Gases producidos por explosivos - Después de cada tronada, una cierta parte del túnel es cargado con gas y humo que se forma, debido a la desintegración de los explosivos. Estos gases contienen monóxido de carbono y vapores nítricos que son tóxicos en concentración.
- b) Formación de polvo.- La explosión en un túnel produce un alto contenido de polvo, durante esta operación y durante la barrenación misma, la rezaga y en particular cuando la excavación se realiza por medio de una máquina tunelera, esta produce una gran cantidad de polvo debido a la trituración que produce la cabeza y los cortadores al ejercer presión sobre la roca, no obstante que la cabeza cuenta con aspersores de agua que disminuyen la producción excesiva de polvo.
- c) Formación de gases debido a los motores de combustión interna.- Es necesario mantener el aire fresco del túnel bajo ciertos límites permisibles, como son: 0.06 - 0.10 % para el monóxido de carbono.
- d) Calor producido por las rocas.- Cuando la temperatura de la roca es alta, la ventilación también es requerida para mantener temperaturas máximas de 35° sobre todo en el área de trabajo.
- e) Calor producido por la hidratación del cemento.

#### 2 - REMOCIÓN DE LA CARGA EXPLOSIVA

Esto se debe principalmente a problemas ocasionados por un mal funcionamiento del sistema de ventilación, destacando la circulación de la ventilación, corrosión de humo, excesiva ventilación. Para todos los casos existen tablas y fórmulas para valuar o corregir la cantidad de aire y se encuentran asentados en el manual de voladura de roca editado por la Compañía Atlas Copco.

## 5.4.11 - SISTEMAS DE SOPORTE DEL TERRENO

En zonas volcánicas como en la que se construye la tercera etapa la calidad de la roca es muy variada, desde muy buena hasta muy mala, por lo que se han diseñado los siguientes sistemas de soporte

- Anclaje
- Costillas formadas de perfil estructural ancladas a la clave del túnel.
- Malla de acero
- Concreto lanzado
- Marcos de acero estructural

### TIPOS DE ADEME.

#### ANCLAS

Durante los últimos 20 años el uso de anclas se ha popularizado, principalmente en las excavaciones en roca relativamente sanas. Para su uso se determinan los mecanismos de falla de la roca y se calcula el número y capacidad de las anclas para evitarlo.

El principio general del anclaje de las rocas es hacer que la roca forme parte de la estructura de soporte, es decir, que se autosoporte a excepción de cuando las anclas soportan fragmentos sueltos de roca. Para que esto suceda efectivamente las anclas se deberán colocar inmediatamente después de abrir la excavación. De manera muy simple se puede considerar que las anclas soportan la roca de las excavaciones subterráneas mediante cuatro mecanismos distintos.

1- Por suspensión - Es el caso cuando se colocan anclas para asegurar fragmentos de roca que pueden caer hacia la excavación

2- Formando vigas - Este proceso se presenta principalmente en las excavaciones en roca estratificada. Las anclas unen entre sí a varios estratos que tienen pequeñas o nula adherencia entre ellos formando así una viga capaz de autosoportarse y de soportar la roca que yace sobre ella.

3- Reforzando excavaciones que se autosoportan en las zonas donde se presenten concentraciones de esfuerzos, ya sea de compresión, tensión o corte. Estos esfuerzos pueden ser causados por la geometría de la excavación o por métodos de construcción y se determinan mediante el uso de las teorías de Elasticidad y Plasticidad si son aplicables.

4- Reforzando zonas sujetas a grandes fuerzas cortantes y de compresión

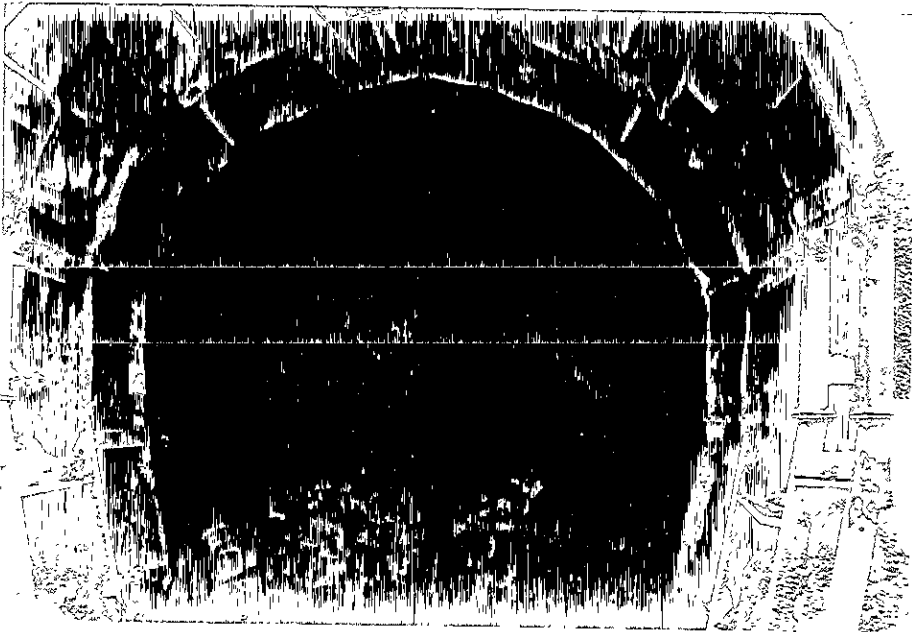
Estas anclas tendrán esfuerzos de cortante muy importantes en fallas o zonas de cortante.

Las anclas pueden dividirse en dos grupos:

- a) Anclas que tengan dispositivos de anclaje en un extremo y en el otro un dispositivo rígido que permita mantener una tensión suficiente para conducir un esfuerzo de compresión en la roca intermedia. Generalmente este dispositivo consiste en una placa y una tuerca.
- b) Anclas que se encuentran alojadas en barrenos cementados o inyectados, cuyo anclaje es proporcionado por la adherencia que se genera entre las paredes del barreno, mortero y ancla.



Inyección de ancla de fricción tipo swellex y soporte con canal de 8" en una zona de fractura en tabla y clave del túnel.



Marcos metálicos y ademe en arreglo "jaula de ardilla", en la excavación convencional

Es importante decir que la tensión de las anclas puede sufrir cambios muy importantes con el tiempo, debido por ejemplo a: flujo plástico de la roca, rotura de la concha de expansión, falla de la rosca de la tuerca, efecto de los explosivos, intemperismo o por el comportamiento viscoso de la roca. Por eso es necesario mantener una estricta supervisión y un adecuado mantenimiento es este tipo de soportes.

#### JAUJA DE ARDILLA

Otro procedimiento alternativo es la colocación de una tablaestaca metálica consistente de varilla de acero 1" de diámetro, situadas en la bóveda con espaciamiento variable y con una dirección ascendente de 15° cubriendo la media sección superior. La longitud de cada varilla es de 3 m, y se coloca el sistema a cada metro de avance, desplazando la posición de las barras la mitad de la distancia con respecto a la sección anterior, para obtener una separación efectiva de 0.40 m en cualquier tramo, excepto el primer metro de excavación.

Colocada la primera línea de tablaestacas, se retira el material escoriáceo con herramienta de mano y si existe un frente mixto, se fragmenta la andesita con martillo de impacto para trabajo pesado, montado sobre un brazo hidráulico. El avance es de 1.00 m como mínimo, en la media sección superior, si el material de la bóveda no falla causando sobre excavación importante. Inmediatamente se coloca una capa de concreto lanzado de 3 cm de espesor y a continuación la siguiente tablaestaca.

#### CONCRETO LANZADO.

El concreto lanzado impide el drenaje del agua contenida en las fracturas y también impide la tubificación del material que rellena las fracturas, e impide la intemperización de la roca por el agua y por el aire. Provee una considerable resistencia a la caída o aflojamiento de bloques del techo del túnel, siempre que se coloque inmediatamente después de que se realice la excavación.

La ventaja del concreto lanzado, es que suministra una forma de ademe rápida y efectiva en toda la superficie del túnel. Obviamente, el revestimiento de concreto lanzado no puede ser considerado un cilindro de pared delgada.

#### MARCOS

En excavaciones de gran sección transversal el ademe metálico es más económico. El ciclo de excavación comprende las siguientes operaciones: barrenación, carga, voladura, ventilación, rezaga y colocación del soporte. Entre el momento de la voladura y el de colocación del ademe puede fácilmente transcurrir dos horas o más, por lo que es necesario definir el tiempo máximo que puede permanecer el túnel sin ademar.

Es conveniente que los marcos estén formados por varias partes, de tal forma que se incremente su versatilidad. Al colocar el marco es necesario "acuarlo" con madera contra el terreno, con objeto de lograr que las cargas de la roca se transmitan como concentraciones en la estructura de soporte. Conocidas dichas cargas, es fácil hacer el análisis del marco por cualquiera de los procedimientos estándar de resistencia de materiales.

## 5.4 12 - EQUIPO PARA LA EXCAVACIÓN CON LA MÁQUINA TUNELERA (T.B.M)

## 5.4 12.1 - CARACTERÍSTICAS DE LA MÁQUINA TUNELERA.

En la siguiente tabla se muestran los datos de la máquina tunelera utilizada en este proyecto, la cual fue fabricada por la empresa Boretec en Cleveland, Ohio

## MAQUINA TUNELERA TBM (Tunelling Building Machine) DS, 3640

1.- PRINCIPAL CARACTERÍSTICA	DOBLE ESCUDO
2. CABEZA CORTADORA	
- DIÁMETRO	3.64 M
- DISCOS CORTADORES	
CANTIDAD	25
DIÁMETRO	0.43 M
PESO	22.70 TON
- POTENCIA	1,250.00 HP
MOTORES	5 (250 HP C/U)
- VELOCIDAD DE ROTACIÓN	
MÁXIMA	11.00 R.P.M.
MÍNIMA	1.80 R.P.M.
- PAR MOTOR	
MÁXIMO	1,893,800 lb/ft
MÍNIMO	557,000 lb/ft
- EMPUJE MÁXIMO	912 TON
3.- BANDA DE REZAGA	
- ANCHO	0.56 M
- CAPACIDAD	180 TON/ HR
4.- PESO DE LA MÁQUINA TUNELERA	185 TON

## 5.4 12.2.- DESCRIPCIÓN DE SUS ELEMENTOS

## 1.- Cabeza cortadora

Es un cilindro metálico de 3.64 m de diámetro por 1 m de longitud, el cual contiene 25 discos cortadores giratorios de 0.43 m. de diámetro cada uno colocados en todo su frente y periferia. Estos discos están contruidos de acero de alta resistencia con bordes de carburo de tungsteno, capaces de soportar una carga de 50 ton cada uno

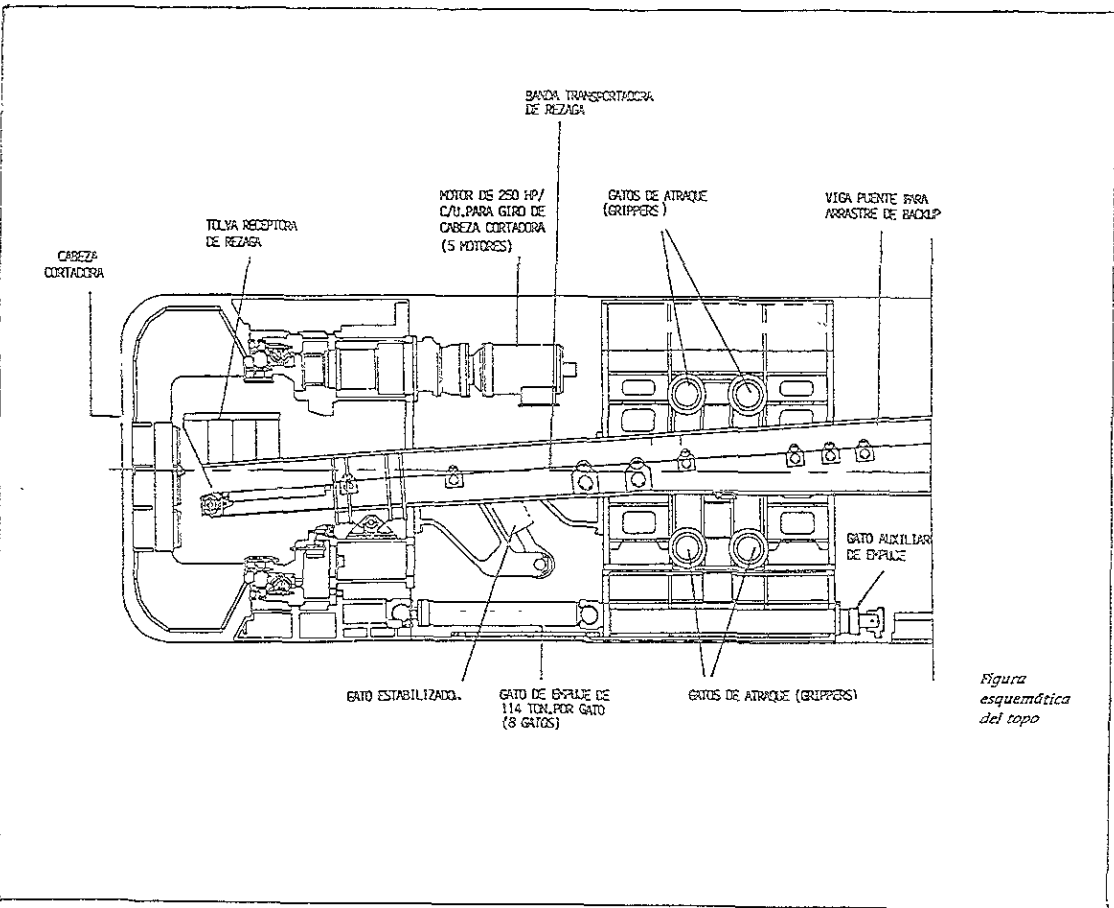


Figura esquemática del topo

Figura esquemática del topo (Ref No 2)

La cabeza cortadora gira sobre su eje, para efectuar la operación de excavación. La potencia de giro de la cabeza cortadora es del 1 250 HP, a la que se suministra una fuerza de avance simultáneo al giro de 1 millón 100 mil kg

## 2 - Escudos

Son cilindros metálicos. El primero sirve de apoyo tanto a la cabeza cortadora, como a los motores que le imprimen rotación. El segundo tiene un diámetro menor que el primero y penetra en éste. Asimismo, en el segundo escudo se apoyan los gatos que empujan a la cabeza cortadora y también los gatos transversales que permiten fijar a la máquina durante el proceso de excavación

Los escudos funcionan como acordeón, con avance (carrera) de 1 20 m

## 3.- Escudos para Soporte primario.

Es un escudo al final de la máquina, el cual está ranurado para permitir la ejecución de perforaciones transversales y/o alojar el soporte primario dentro del mismo

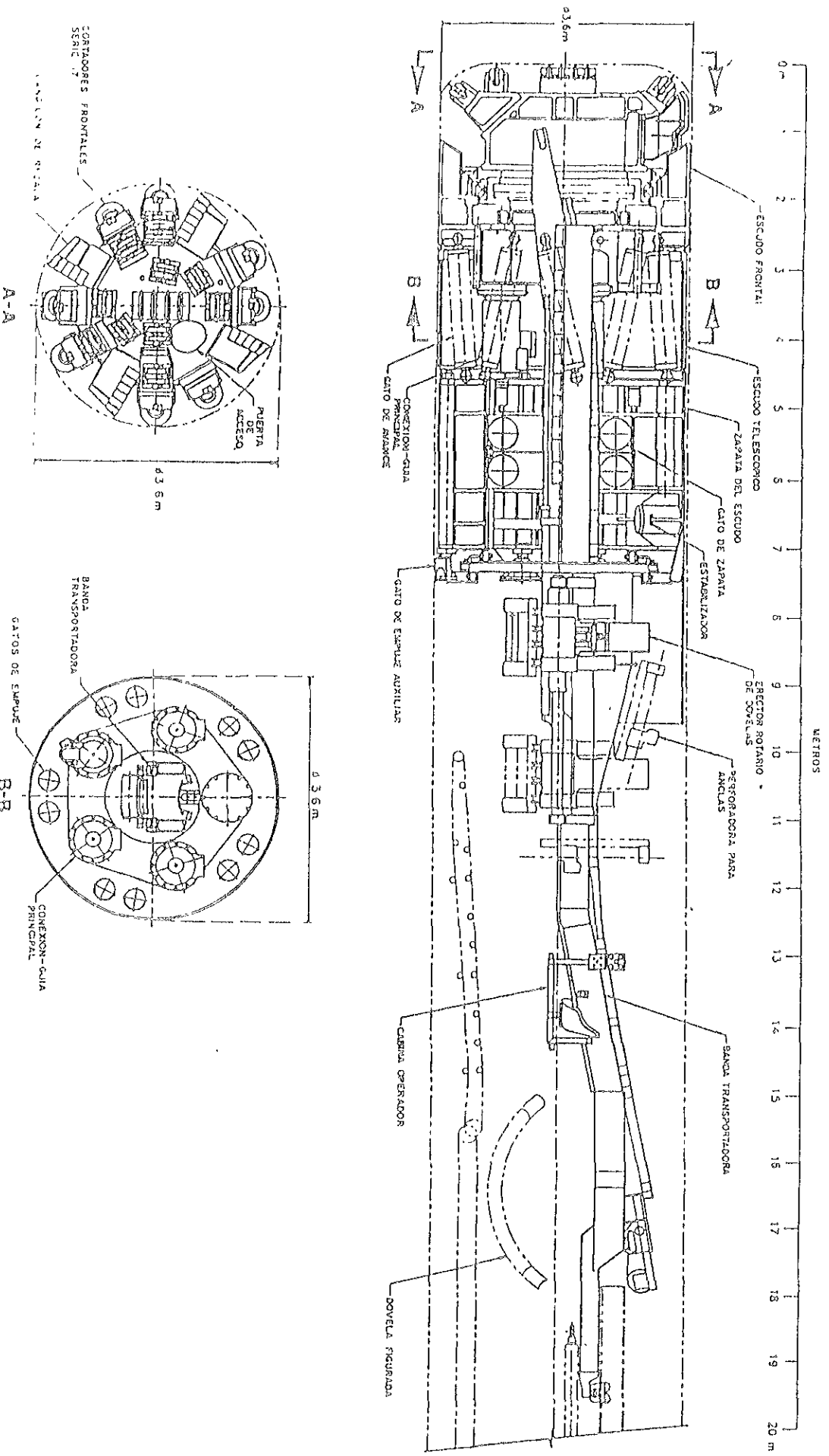
## 4 - Tren de apoyo

La T.B.M (Tunneling Building Machine) 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 mencionado tren de soporte es jalado por el "topo" a medida que este avanza y en él se encuentra la cabina de operación y los sistemas eléctricos, electrónicos de control, hidráulicos y de enfriamiento.

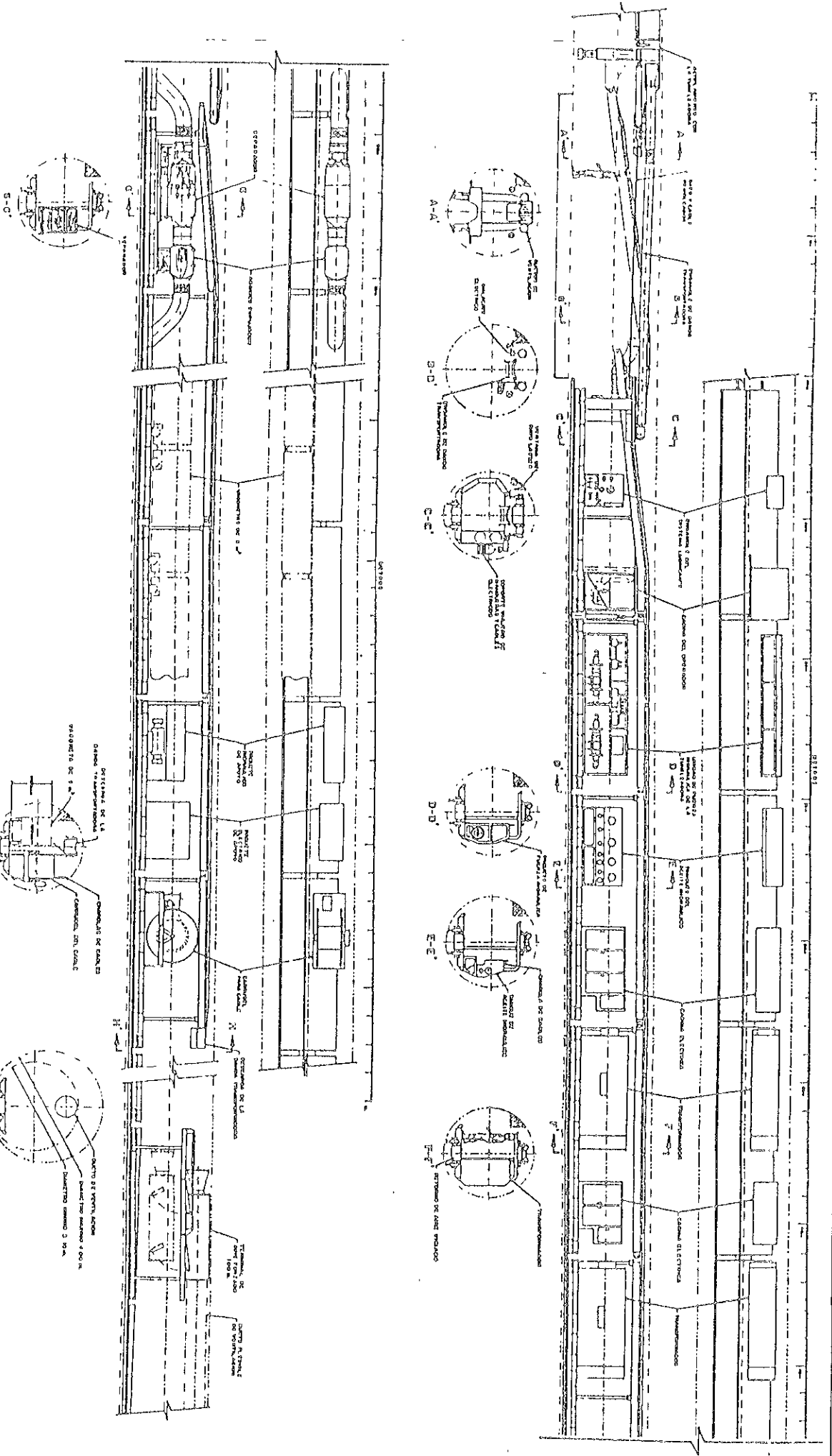
En la parte posterior y conectado al tren de soporte se cuenta con un cambio California con el que se realiza el libramiento de los trenes que transportan el material excavado, desde la banda transportadora hasta el patio de maniobras exterior. Todos estos componentes de la máquina tunelera tienen la longitud de 175 m.

La T.B.M. cuenta con un sistema de dirección láser, que permite al operador dirigirlo con precisión y tener lecturas en la pantalla de un milímetro de precisión





MAQUINA DE TUNELEO INTEGRAL (TOPO) UTILIZADA EN EL TUNEL No. 5 DEL ACUAFERICO



SISTEMA COMPLETO DE APOYO PARA MÁQUINA TUNELERA

COMPAÑIA PERUANA DE INGENIERIA S.A. S. DE C.V.		D O C O X	
PROYECTO	PROYECTO	DISEÑO	DISEÑO
FECHA	FECHA	FECHA	FECHA
ELABORADO POR	ELABORADO POR	ELABORADO POR	ELABORADO POR
REVISADO POR	REVISADO POR	REVISADO POR	REVISADO POR
APROBADO POR	APROBADO POR	APROBADO POR	APROBADO POR

N.º	FECHA	CONTENIDO
1	...	...
2	...	...
3	...	...

REVISADO	REVISADO	REVISADO	REVISADO
MODIFICADO	MODIFICADO	MODIFICADO	MODIFICADO
APROBADO	APROBADO	APROBADO	APROBADO

SECCION TYPICA DE LA VIA

APROBADO POR	APROBADO POR	APROBADO POR	APROBADO POR
REVISADO POR	REVISADO POR	REVISADO POR	REVISADO POR
ELABORADO POR	ELABORADO POR	ELABORADO POR	ELABORADO POR
FECHA	FECHA	FECHA	FECHA
PROYECTO	PROYECTO	PROYECTO	PROYECTO
FECHA	FECHA	FECHA	FECHA

### 5.4.12.3 - INSTALACIONES DENTRO DEL TÚNEL PARA LA MÁQUINA TUNELERA

A lo largo de todo el túnel se cuenta con un sistema de conducción de energía eléctrica de alto voltaje para la alimentación del topo, así como para la iluminación del túnel

También existe una línea de conducción de agua, misma que se utiliza tanto para el enfriamiento de los motores y discos cortadores como para lavar el aire por medio de un sistema de filtrado vía húmeda y así 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 agua tratada, que es conducida hasta el portal del túnel por una tubería de 7.5 cm de diámetro.

#### VENTILACIÓN

En la parte superior del túnel se cuenta con una línea de ventilación cuya función es suministrar aire fresco al frente del trabajo en cantidad y calidad suficientes, 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 producto 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 constituyó un nodo de gran importancia en la ruta crítica de la eficiencia global de la excavación.

### 5.4.12.4.- INSTALACIONES EXTERIORES.

Cuando llega al patio de maniobras una locomotora con material producto de la excavación se cuenta con un volteador de vagoneas, que la sujeta y levanta hasta una altura de 6 m, las voltea sobre el patio y expulsa el material que contiene, el cual se transporta en camiones de volteo hasta su depósito temporal.

En el exterior se encuentra una planta de concreto, una planta de fabricación de dovelas de piso, una cisterna de agua travada con capacidad de 700 mil litros, una subestación eléctrica, una planta de emergencia, un sistema de ventilación, el comedor, el campamento, los talleres, los almacenes de materiales, herramienta y refacciones, las oficinas y el estacionamiento. Es importante mencionar que durante la excavación con la T.B.M., lo mismo que con el sistema convencional se utilizaron distintos tipos de soporte (Anclaje, Costillas formadas de perfil estructural ancladas a la clave del túnel, Malla de acero, Concreto lanzado, Marcos de acero estructural), dependiendo de las condiciones del terreno, ya que la calidad de la roca es muy variada, desde muy buena hasta muy mala.

### 5.4.13 - TREN DE COLADO

El frente de colado esta formado por los siguientes elementos

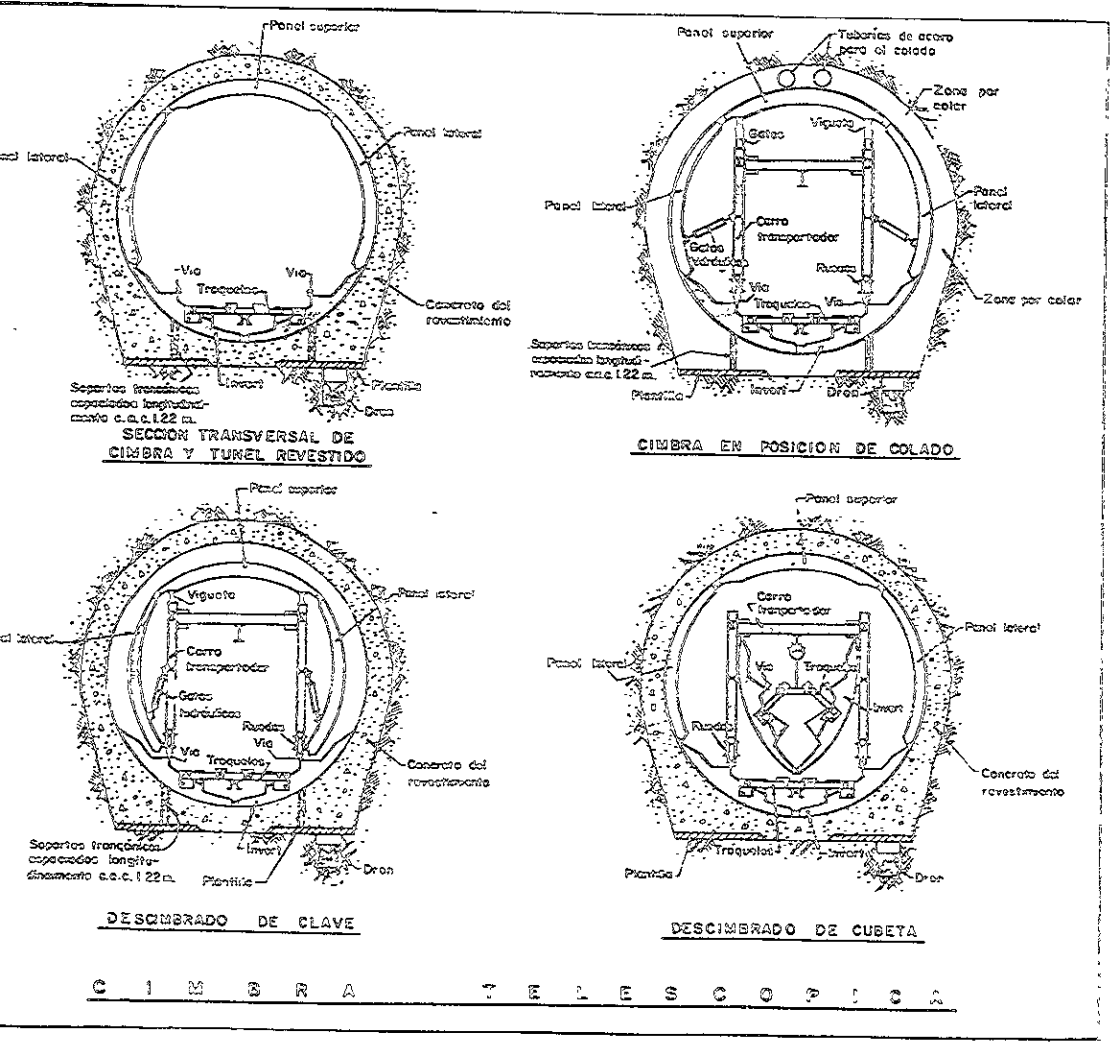
- Piataforma de llegada y salida de las locomotoras y carros morán
- La tolva receptora que por medio de un gran tornillo si fin conduce el concreto a la,
- Banda transportadora que lo vacía en,
- La tolva receptora del concreto que lo conduce a la,
- La bomba que lo empuja por,
- Tuberías de acero hasta ,
- El Snorquel que es la maquina encargada de colocar el concreto en los orificios de la Cimbra para que se baya distribuyendo uniformemente en las paredes del túnel a revestir.
- El Jumbo de maniobras, en cargado del movimiento y transporte de la cimbra
- Cimbra metálica .- se divide en dos partes, la cubeta (parte inferior), y la concha o clave (parte superior) con 9 metros de longitud.
- Vibradores de pared Boch (5 pzas.) y de chicote (3 pzas.)
- Equipo de soldadura autógena y de arco eléctrico,
- Herramienta menor (maceas, cinceles, flexómetro, lamparas sordas, cascos y guantes).

### 5.4.14 - CIMBRA

En los últimos años se ha mejorado el equipo y los métodos para el mezclado, acarreo y colocación del concreto, así como el diseño y fabricación de las cimbras, habiéndose popularizado el uso de cimbras metálicas, aplicables a la mayoría de las condiciones de revestimiento por ser económicas y fáciles de manejar y porque con ellas se obtiene un buen acabado. El uso de cimbras de madera resulta ya obsoleto; sólo se recurre a ellas en curvas muy forzadas o en estructuras especiales como intersecciones, pequeñas galerías, transiciones, taponos, etc. Para el colado del revestimiento de los túneles del Túnel 5 se emplearon dos tipos de cimbras:

#### 5.4.14.1.- CIMBRA DE MADERA.

Las características geométricas especiales en la interconexión de la derivación 3 y el túnel 5, obligó al empleo de una cimbra de madera construida fuera del túnel y posteriormente transportada al interior para su colocación



(Referencia No. 1)

#### 5.4.14.2 - CIMBRA METÁLICA TELESCÓPICA O AUTOTRANSPORTABLE

Este tipo de cimbra se empleó en la mayor parte del revestimiento, está formada por módulos de 9 00 m cada módulo. Consta de cinco partes, de las cuales dos constituyen la cubeta y están unidas por una articulación. Las tres restantes están unidas por dos articulaciones laterales y forman la clave (también llamada "concha"). Las articulaciones al momento de terminado el colado, sirven para doblar la cimbra y poderla transportar mediante un tren formado con dos armaduras metálicas verticales, unidas rigidamente entre sí, este equipo de transporte se le conoce como Jumbo.

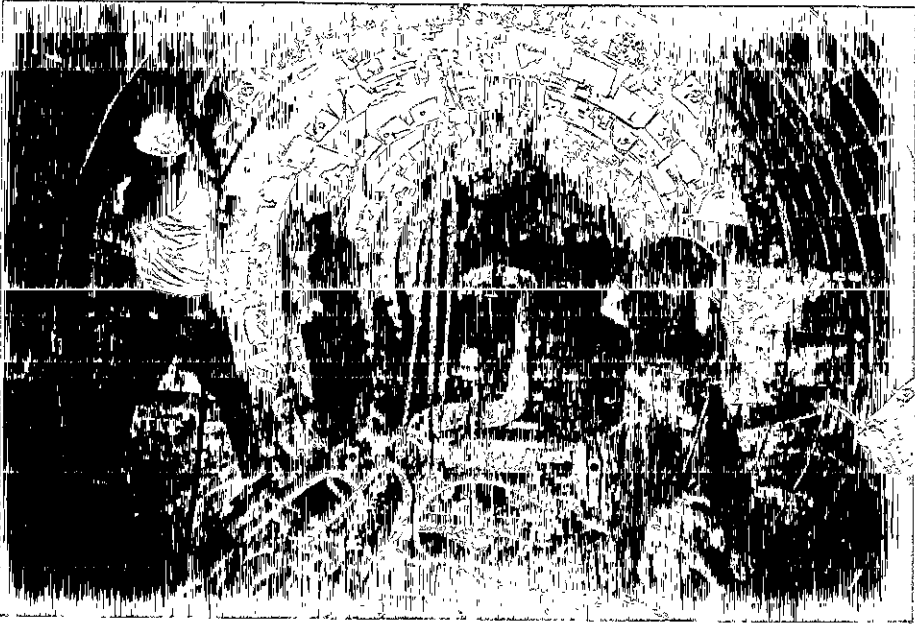
Para levantar la sección inferior de la cimbra se utilizó un polipasto colocado ex profeso en el carro de transporte, una vez izada la cimbra de la cubeta el carro de transporte corre sobre ruedas metálicas que se deslizan sobre una vía fija en la sección inferior de la cimbra colocada y fija en la posición para colado, llevando el tramo de cubeta de un extremo al otro de la cimbra. Los módulos se acoplan uno a continuación del otro. El colado del revestimiento se realizó utilizando distinto número de juegos de cimbbras, es decir, algunos tramos del túnel se colaron utilizando 5 módulos, con lo que se lograba un avance de 45.00 m, en otros tramos solo se utilizó 4 módulos y en otros 3 módulos.

Los módulos están provistos de instalaciones eléctricas que incluyen la iluminación a base de lámparas fluorescentes y contactos con alta y baja tensión para alimentar los 5 vibradores de pared y dos de chicote que se utilizan en el colado. También están provistos de ventanas de bisagras, del tamaño de registros de inspección, boquillas por donde se coloca el concreto, piernas que sirven como troqueles para mantener fija la cimbra y evitar desplazamientos debidos al empuje del concreto, y pernos donde se atornillan los vibradores de pared.

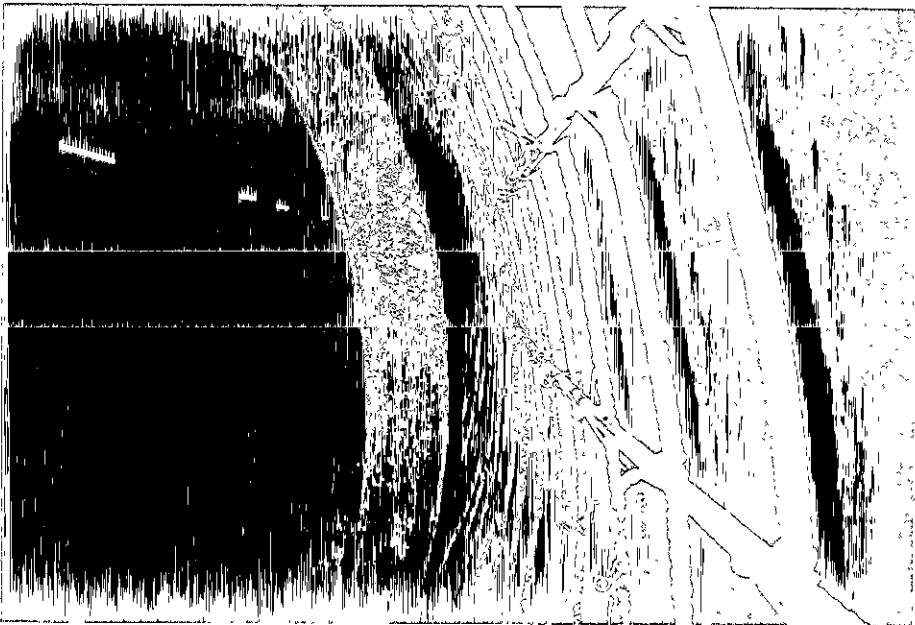
#### 5.4.14.3 - FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE LA CIMBRA.

La cimbra quedaba apoyada en las dovelas, y nivelada mediante unos pernos, la clave se troquelaba en las paredes del túnel excavado o sobre los marcos del ademe primario. Cada sección de la cimbra se unía por medio de tornillos colocados uniformemente en el perímetro. El Jumbo para transportar la cimbra, se contaba con gatos hidráulicos que servían para colocar en la posición deseada cada una de las secciones de la cimbra.

Para el descimbrado se especificó un lapso de mínimo de dos horas para retirar la cimbra que se había colado primero, es decir que en total permanecía quince horas, con el objeto de que el concreto hubiese adquirido su fraguado inicial. Una vez endurecido el concreto se destornillaban las secciones de la cimbra, se quitaban los troqueles y mediante los gatos hidráulicos se aflojaba la sección doblándola y transportándola, previo a la colocación de los módulos se hacía una limpieza de los mismos para evitar que el concreto fresco quedara adherido a la cimbra metálica y se aplicaba una emulsión desmoldante en la parte que entra en contacto con el concreto. Mediante este proceso se pudo lograr un colado continuo del revestimiento, sin tener juntas frías en el colado, salvo por interrupciones ocasionadas por fallas en la planta de producción o en el equipo de transporte.



Cimbra en posición de colado, se observa la tubería de acero y el esnorquel utilizado en la colocación del concreto.



Excavación, acero de refuerzo y cimbra metálica telescópica.

## 5.4.15- EQUIPO PARA LA ELABORACIÓN DEL CONCRETO PARA REVESTIMIENTO DEFINITIVO

CONCRETO ARMADO DE F'C= 250 KG/CM<sup>2</sup> EN REVESTIMIENTO  
SECCIÓN HERRADURA DE 3.20 M UNIDAD-M<sup>3</sup>

EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	RENDIMIENTO
1) EQUIPO			
PLANTA DE CONCRETO EMM-15 VAK ACT S/OP	HR		20,89
PLANTA DE LUZ 150 KW S/OP.	HR	24	20,89
BOMBA PARA CONCRETO ALTA PRESIÓN ACT S/OP	HR	7	20,89
CARGADOR S/NEUM.930 S/OP.	HR	1	20,89
ELEVADOR DE CANASTILLA S/OP.	HR	4	20,89
VIBRADOR ELÉCTRICO S/OP.	HR	14	20,89
CAMION PLATAFORMA S/OP.	HR	4	20,89
SOLDADORA 300 ACT S/OP.	HR	2	20,89
2) RELLENO DE NICHOS, BOVEDAS Y LIBRADEROS DEL INCISO a)	M <sup>3</sup>	0,36	3,6

LOS SIGUIENTES ELEMENTOS SE UTILIZAN EN LA PRODUCCIÓN DEL CONCRETO:

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

EL SISTEMA DE TRANSPORTE ESTÁ FORMADO POR LOS SIGUIENTES ELEMENTOS:

- o 5 locomotoras con motores a diesel
- o Dos afuera , una cargando, otra parada, dos en el frente del colado y una en el cambio California
- o 5 carros moran con una capacidad de 5 metros cúbicos.
- o 2 cambios California.
- o Vías





Vista general del tajo de acceso al túnel de la derivación 4 y su plataforma de maniobras, donde se observa la planta dosificadora de concreto, las locomotoras y los carros morán para el transporte del concreto, el libradero de las vías y las mezcladoras para la inyección de contacto.

## 5.5. - EJECUCIÓN DE LA OBRA.

### 5.5.1.- PROCESO CONSTRUCTIVO

El proceso constructivo de la obra, se inició con la excavación de los portales para llegar al nivel de la plantilla del túnel, estabilizándose los taludes con concreto lanzado, previa colocación de malla electrosoldada. La roca basáltica fue extraída mediante barrenación y voladuras controladas y mediante el empleo de martillos hidráulicos. Los perforistas y los pobladores son el personal humano importante en el método convencional.

Por lo que respecta a la excavación en sección herradura de los túneles de las derivaciones números 3 y 4, se utilizó el procedimiento convencional a base de explosivos, en donde la estructura geológica estuvo constituida por formaciones andesíticas y basálticas, empleándose martillos neumáticos ante la presencia de espumas volcánicas. El soporte primario, en donde fue requerido, varió desde la colocación de una sola capa de concreto lanzado de 0.025 m de espesor, para protección contra el intemperismo, hasta la instalación combinada de marcos metálicos con separación desde 0.60 m. hasta 1.20 m., madera de retaque y concreto lanzado con 0.10 m. de espesor. Igualmente, el empleo de «Jaula de ardilla» en la clave de túnel, a base de varillas de acero de 1" de diámetro, fue necesario para estabilizar la formación rocosa presentada en formas de bloques.

La extracción del material producto de la excavación, se efectuó mediante un cargador frontal, que lo retiraba totalmente del frente, depositándolo en un libradero o galería lateral, previamente excavado, para posteriormente a cargarlo en camiones de volteo.

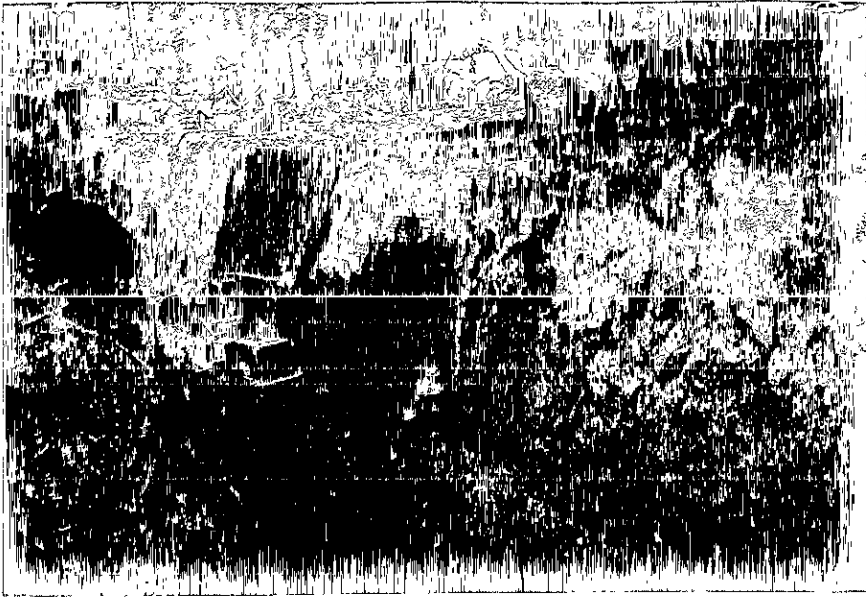
#### 5.5.1.1.- PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE PARA LA COLOCACIÓN DEL CONCRETO LANZADO

La superficie debe estar libre de trozos y fragmentos de suelos sueltos hasta que se aplique en ella el concreto lanzado, por lo que esta operación es inmediata a la excavación, o bien, la superficie se humedece con agua aplicada por aspersión. De ser necesario se encauzan las filtraciones mediante barrenos orientados para cortar las vías preferenciales, en cada barreno se coloca un tramo de manguera de diámetro adecuado al caudal existente, pero no menor a  $\frac{1}{2}$  pulgada, calafateado perfectamente con una pasta de cemento y aditivo acelerante. La longitud de la manguera debe ser suficiente para conducir el agua a la plantilla sin mojar las áreas sobre las que se lanzará el concreto.

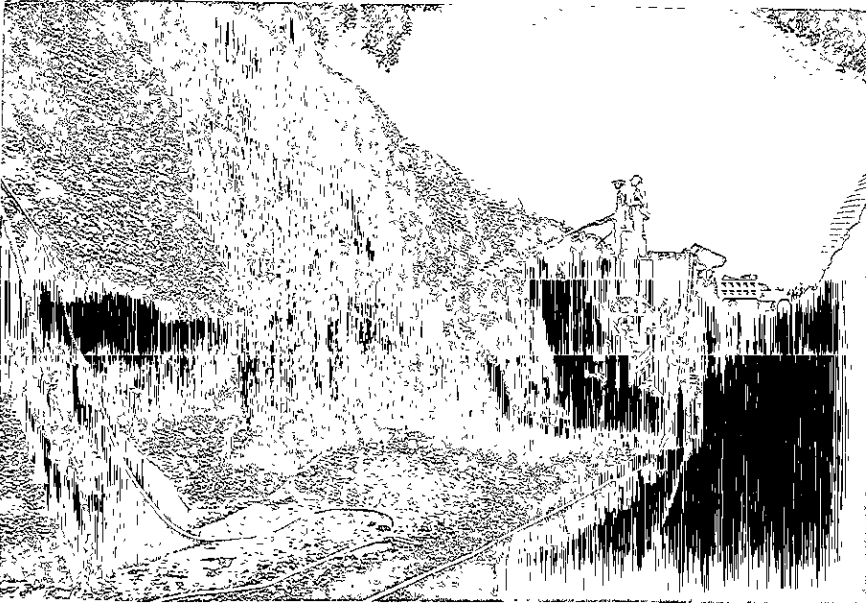
#### 5.5.1.2.- APLICACIÓN DEL CONCRETO LANZADO

La posición de la boquilla de lanzado, con respecto a la superficie en que se aplica el concreto, será prácticamente normal: la distancia de lanzado estará comprendida entre 1.0 y 2.0 m aproximadamente de la superficie de aplicar, para lo cual es indispensable contar con andamios portátiles o equivalentes para evitar posiciones de lanzado inclinadas diferentes a las indicadas.

El concreto lanzado debe presentar un aspecto denso y uniforme. No deben observarse desprendimientos entre capas lanzadas sucesivamente sobre la superficie expuesta al subsuelo. Si se requiere colocar más de una capa de concreto lanzado, este debe aplicarse cuando la capa de concreto lanzado anterior halla endurecido lo suficiente para que durante el lanzamiento de la siguiente no se afecte su integridad y su adhesión al terreno. En el caso de que las condiciones de húmedas al rededor del concreto lanzado sean satisfactorias no es 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.



Colocación de malla electrosoldada en paredes del tajo de acceso al túnel, previo al lanzamiento del concreto.



Aplicación del concreto lanzado en el tajo de acceso al túnel de la derivación 3.

## 5.5.2.- PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA EXCAVACIÓN CON LA T.B.M DEL TÚNEL 5

El túnel No 5, se excavó con una maquina tunelera (Tunelling Building Machine), la cual fue diseñada para estructuras geológicas constituidas tanto por formaciones de tipo andesítico

La maquina tunelera inicio la excavación del túnel No. 5 a 540.00 m del portal " Derivación 4", en San Francisco Tlanepantla, avanzando hacia el portal "Ajusco" y siguiendo un trazo que intercepta 3 domos andesítico, denominados el Mirador, Xicalco y Tlalpuente, siendo estructuras geológicas que no requieren soporte primario, incrementándose por lo tanto los avances en la excavación. El 27 de enero de 1997 llegó a la interconexión del túnel No 5 con la derivación numero 3 habiendo excavado 5, 752.52 m.

Después de efectuarse la revisión y mantenimiento de la máquina, el 10 de febrero de 1997, reanudó la excavación de los 3,668.60 m faltantes del túnel No 5 para interconectar con el frente que se excavó con procedimiento convencional a partir del portal Ajusco, a principios del mes de septiembre de 1997, con lo cual quedó totalmente concluida la excavación de 12,018.00 m de túnel de esta tercera etapa.

La tercera etapa del acueducto perimetral, es la primera obra realizada en la Ciudad de México en la que se utiliza una máquina tunelera (T.B.M). Los resultados obtenidos son satisfactorios, tomando en cuenta que las estructuras geológicas, no presentan en general características homogéneas.

El empleo de la tunelera en esta obra, representa el aprovechamiento de tecnología avanzada para el desarrollo de nuestra infraestructura en materia de túneles para conducción de agua potable

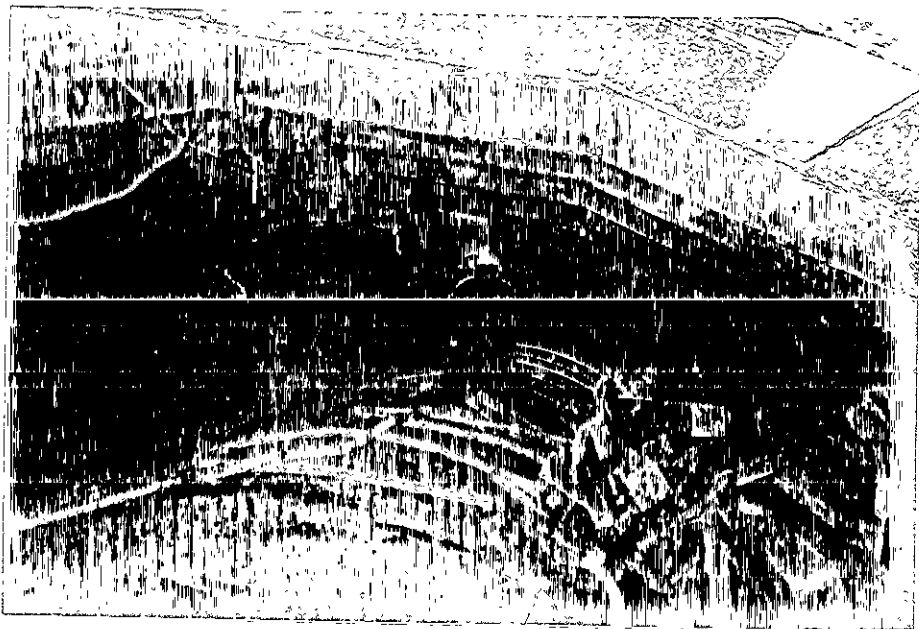
El avance promedio general logrado con la tunelera hasta su llegada a la interconexión del túnel 5 con la derivación 3, el 27 de enero de 1997, durante la excavación de 5,752.50 m., fue de 17.32. m/día, equivalentes a 450 m/mes.

Después de la excavación, continúan el revestimiento definitivo, utilizando concreto fabricado en obra, acero de refuerzo y cimbra metálica telescópica; para quedar terminados, después de la inyección de contacto correspondiente; con lo cual la infraestructura del Acuaferico alcanzará una longitud de conducción de 34.4 km.

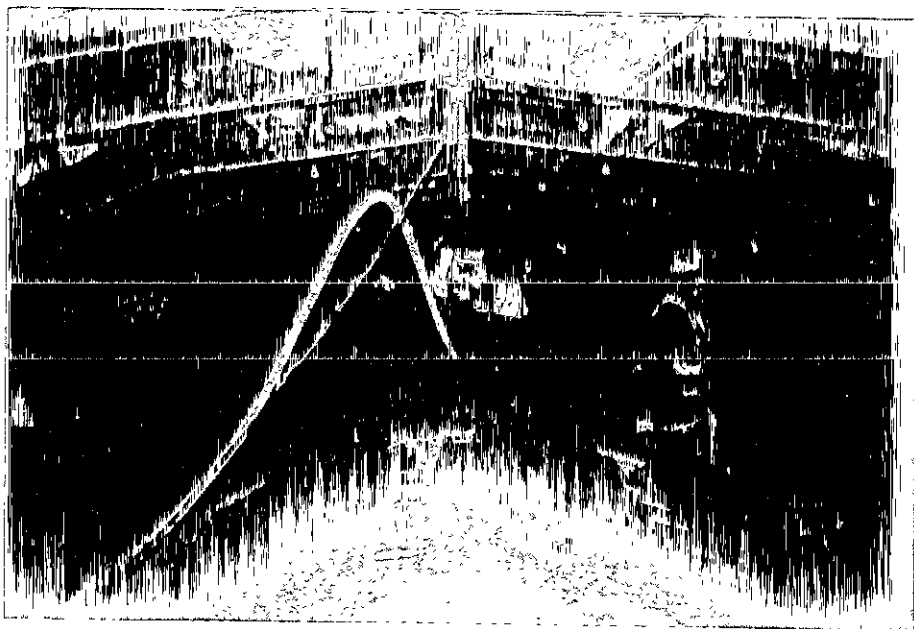
La introducción de esta tecnología ha probado ser la más adecuada para Túneles de gran magnitud, con lo que se han logrado los siguientes récords: 87 metros en un día, 227metros en una semana, 748 metros en un mes.

Estos récords en la perforación de túneles, han sido posibles debido al buen desempeño del Topo y equipo complementario en todo tipo de condiciones y al excelente rendimiento de los técnicos que involucrados en la obra dan solución a los problemas que diariamente se presentan

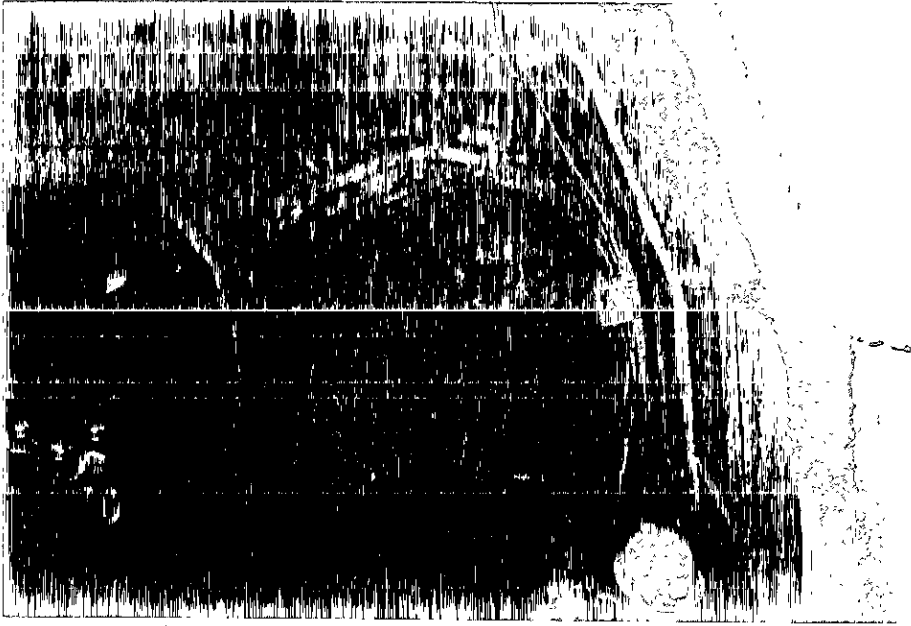
Esta magna obra se considera un triunfo para la ingeniería mexicana, por su dimensión, métodos constructivos, las dificultades superadas de la obra, tiempo récord de construcción y calidad técnica en la excavación y revestimiento del Acuaferico.



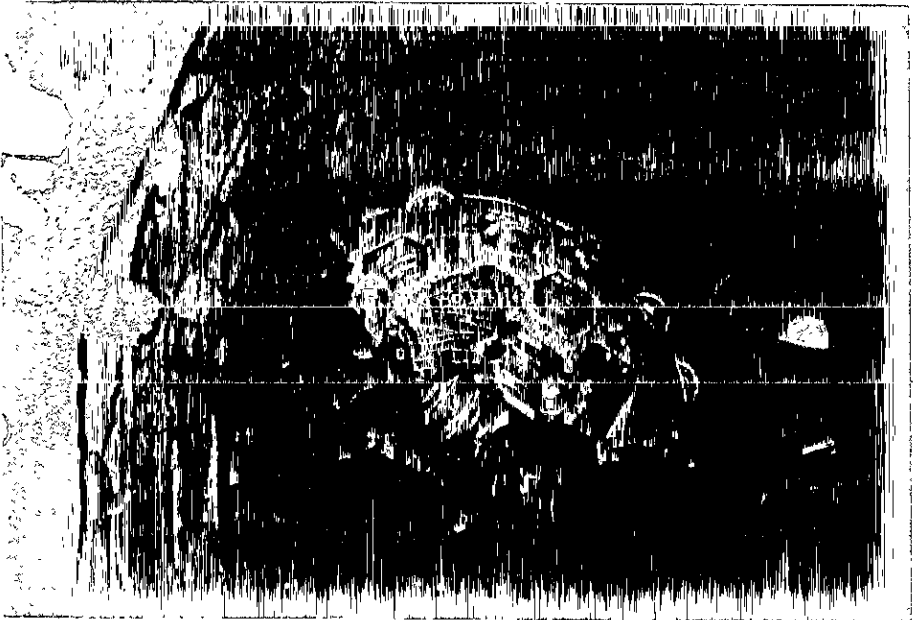
Estructuración de grandes caídos, en presencia de escoria volcánica, pésimo material para el trabajo de la T.B.M., ya que impide su avance debido a la falta de apoyo para avanzar.



La liberación de la T.B.M. se realizó manualmente, lo que requirió de la inversión de tiempo y recursos materiales y humanos que no estaban previstos.



Llegada de la T.B.M. a la interconexión del túnel 5 y la derivación 3.



En esta fotografía se observa los marcos metálicos y sobre ellos una capa de concreto lanzado, para estabilizar la excavación en material de mala calidad, colocados en la interconexión del túnel 5 y la derivación 3.

La máquina tunelera comparada con los métodos convencionales de tajeo, tiene las siguientes ventajas.

- El avance por frente es de 5 a 6 veces más rápido.
- En formaciones geológicas mixtas y/o inestables, el corte circular comparado con el perímetro irregular que se obtiene en un procedimiento de excavación con explosivos combinados con martillos neumáticos, resulta más rápido y seguro y con menos cargas sobre el soporte primario y sobre todo con mucho menos coeficiente de sobre excavación

### 5.5.3.- USO DE SOPORTE PRIMARIO

Inmediatamente después de la excavación se evalúa la calidad del macizo rocoso, que con anterioridad por medio de la exploración se conocía, para determinar el tipo de soporte primario a colocar para evitar deformaciones excesivas, caídos u otros posibles problemas

La clasificación NGI, recomienda una combinación de anclas, concreto lanzado y malla, mientras que el CSIR, presenta alternativas con menor grado de combinación, tales como anclaje con malla o concreto lanzado o marcos metálicos

La selección del soporte en esta etapa debe tender hacia los soportes conservadores, ya que la exploración proporciona información puntual, y algunos tramos sin ella puede ser problemáticos. Se excluye la recomendación CSIR del anclaje sistemático con malla por la dificultad de llevar el anclaje cerca del frente, así como el personal en el frente está restringido. Otra situación que limita el uso del ancla es el tipo de roca, como la andesita estratificada con escorias andesítico-basálticas, cuando estos cuerpos se presentan en la bóveda del túnel y/o arriba de ésta, el anclaje no es recomendable, ya que el expansor del ancla de tensión no va a empacar en la escoria, la va a desplazar lateralmente y no servirá de atraque a la varilla para ser tensionada. El ancla de fricción también es inoperante, porque la escoria es capaz de tomar una gran cantidad de lechada de inyección, y aún así dejar en duda la adherencia escoria-cemento y cemento-varilla.

Otra opción, es el anclaje con resina, sin embargo tendría el problema de que algunas veces se cierra el barrenado, (idéntico problema para los otros anclajes) y requiere de personal diestro en esta actividad, la escoria en la bóveda puede empezar a fallar antes de terminar la barrenación. El concreto lanzado con espesor de 20 cm, como recomendación de CSIR está sobrepasada.

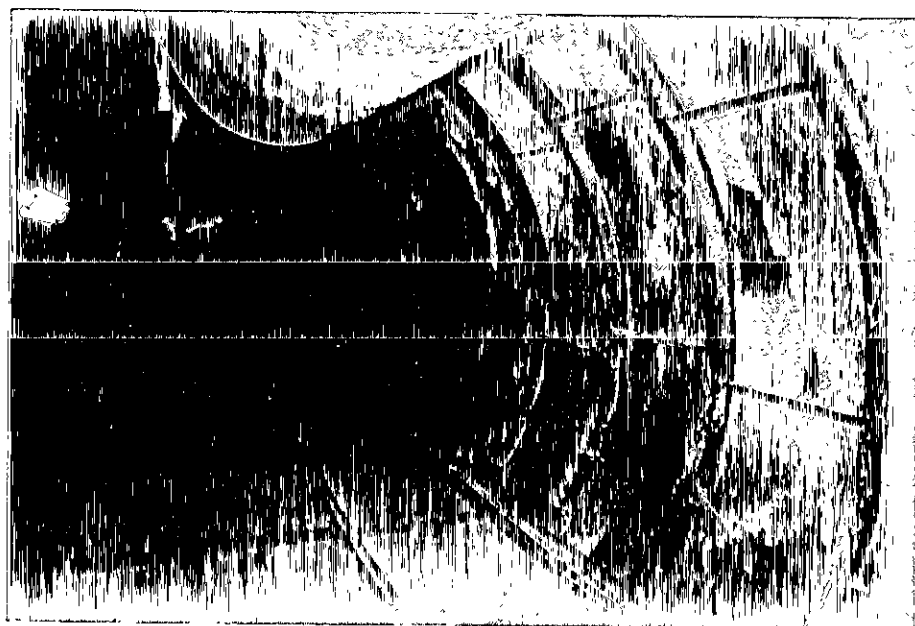
Los marcos metálicos como soporte generalizado, no se recomienda, debido a que según las cargas obtenidas, solo serán utilizados en zonas problemáticas muy locales. Los marcos metálicos deben tenerse a la mano y colocarse únicamente en donde sean necesarios en combinación con la tablaestaca, como solución alternativa, o para reforzar zonas críticas o con caídos, pero no como soporte sistemático.

En los macizos rocosos de Tlalpuente, Ajusco y el Cantil, el soporte fue diseñado con concreto lanzado, en espesores de 5 a 10 cm, en zonas de falla, fracturamiento intenso o entrada de contactos geológicos, se utilizó anclaje selectivo preferente de tensión-fricción, combinado con el concreto lanzado.

En caso de que intersecciones del túnel con zonas de falla presenten severa inestabilidad, se utilizan marcos metálicos H de 6" (18 kg/m) colocados a cada metro. Una alternativa consistente en construir en el sitio nervaduras de concreto lanzado con acero de refuerzo y anclaje. En las zonas de escoria o materiales muy alterados se debe mantener un espesor de concreto lanzado de 10 cm como mínimo



*Colocación de marcos metálicos y madera de retaque como ademe primario.*



*La calidad del macizo rocoso permite la ausencia de ademe en grandes tramos del túnel 5.*



Es necesario detectar en sus inicios la aparición de fracturas en el concreto lanzado y proceder, en su caso, al reforzamiento selectivo del revestimiento, es decir en los tramos identificados como faltos de soporte.

Otro procedimiento alternativo es la colocación de una tablaestaca metálica consistente de varilla de acero 1" de diámetro, situadas en la bóveda con espaciamiento variable y con una dirección ascendente de 15° cubriendo la media sección superior.

#### 5.5.4.- REVESTIMIENTO DEFINITIVO.

En el revestimiento definitivo a base de concreto  $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ , reforzado con varillas de  $\frac{1}{2}$ ", se utilizan 5 locomotoras, cada una de ellas arrastra un carro morán con capacidad de  $5\text{m}^3$  de concreto, cuatro de ellas operan durante el colado y una esta de reserva para entrar en acción en caso de un imprevisto. Para realizar el colado se necesita de la operación coordinada de la planta productora del concreto llamada "ELBA", el sistema de transporte con locomotoras sobre rieles, y del frenie de colado.

A continuación haremos una descripción de los elementos que los forma

##### 5.5.4.1 - PLANTA CONCRETERA.

Para el colado del revestimiento definitivo que inició en la derivación 3-A y hasta la interconexión el túnel 5 con la derivación 3, la planta concretera se ubicó en la derivación 3, en la plataforma de maniobras, del tajo de acceso al portal del túnel. Un ciclo de mezclado de la ELBA dura en promedio 12 minutos, es decir el tiempo que tarda en producir  $5 \text{ m}^3$  de concreto. En la semana del 4 al 9 de junio se colando tramos de 5 módulos que en total sumaban una longitud de 45 metros (180 m a la semana). Características del concreto del revestimiento:  $f'c = 250 \text{ kg./cm}^2$ , revenimiento de 10 cm (con el superfluidisante llega a 23 cm), tamaño máximo del agregado  $\frac{3}{4}$ " (grava de andesita).

##### 5.5.4.2.- CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO.

Se toma una muestra de ocho cilindros de concreto para probar su resistencia @  $40\text{m}^3$  o @  $35 \text{ m}^3$  de concreto producido, siguiendo el volumen acumulado. Estos cilindros se mandan al laboratorio para que se ensayen a 7, 14 y 28 días y se lleve un control estadístico de calidad, lo mismo que todos y cada uno de los materiales que intervienen en la construcción del túnel.

#### TRANSPORTE DEL CONCRETO.

El concreto fresco debe ser conducido a la bomba de forma que no se presente disgregación, pérdida de agua, o cualquier fenómeno que pueda cambiar las propiedades tanto de la mezcla fresca como del concreto fraguado. La bomba debe enviar la mezcla al sitio de colado, sin integrar contaminantes como lubricantes ó combustibles, que perjudicaran el fraguado del cemento y las propiedades finales del concreto. Los ajustes al proporcionamiento del concreto y a la cantidad de aditivo se deben antes de iniciar las operaciones de colado.

### 5.5.4.3 - FRENTE DE COLADO.

El tren de colado esta conformado por la plataforma de llegada de las locomotoras y los carros morán, la tolva receptora que por medio de un gran tornillo si fin conduce el concreto a una banda transportadora que lo vacía en la tolva de la bomba que lo empuja por tuberías hasta el Snorquel, que es la maquina encargada de colocar el concreto en los orificios de la cimbra, para que se distribuya uniformemente en las paredes del túnel a revestir

Cuando se realizó el revestimiento de la derivación 3-A y 3, donde la excavación fue hecha por el método convencional el espacio era mayor para realizar las maniobras del colado, a diferencia del túnel 5 excavado con la TBM el espacio fue reducido y las maniobras se hacían con mayor dificultad.

### 5.5.4.4.- PREPARACIÓN DEL SITIO DEL COLADO.

Se debe mantener una diferencia de alineación entre colados no mayor a 5 mm Resaltos mayores no son aceptados

Previo al colado y antes de colocar la cimbra se realiza una limpieza minuciosa de la superficie que entrara en contacto con el concreto. La superficie tanto del terreno como de la cimbra deben estar limpias, libres de fragmentos o lodo, sin residuos de concreto de colados interiores. Debe verificarse la posición correcta de la cimbra y atiesarse o apuntalarse para que no sufra desplazamientos ni deformaciones bajo la carga del concreto fresco. La cimbra debe estar tratada con un desmoldante comercial para conseguir un desmoldado rápido y sin perjuicios a la superficie definitiva del colado, cuidando de forma especial la superficie de las dovelas (cubeta o arrastre del túnel), de tal forma que la adherencia del concreto con las dovelas no se afecte con material extraño, lo que provocaría planos de falla o fisuras que se generarían filtraciones y pérdidas del gasto a conducir. En la limpieza se retira basura, cascajo y material suelto como arenas o polvo. Posterior a la limpieza se coloca el acero de refuerzo con un armado de acero del #4 @ 20 en los dos sentidos.

Para la colocación de la cimbra, previa aplicación de desmoldante, se utiliza una maquinaria llamada Jumbo, que por medio de motores eléctricos se desplaza sobre rieles y mediante un sistema neumático mueve y carga la cimbra metálica colocándola en el lugar y la forma requerida. Primero desmolda la concha que descansa en la cubeta, para de esta manera liberar la cubeta y colocarla en el tramo a colar y, ya nivelada ésta, coloca la parte superior o concha sobre ella. Posteriormente se verifica topográficamente el nivel de la cimbra.

Al inicio del colado se bombea 3 m<sup>3</sup> de mortero cemento - arena que se mezclan en la tolva de recepción con 200 litros de adekon (dehesivo para concreto) que después de unos minutos de mezclado inicia el bombeo. Esta mezcla sirve para obtener un sello optimo en la junta fría que se forma entre la dovela y el nuevo concreto.

La colocación del concreto se inicia al colocar el mortero, posteriormente, por medio de las ventanas de la cimbra se vacía el concreto de manera alternada en los costados de la sección para que la colocación sea uniforme. El vibrado por inmersión y por vibradores de pared permite que el concreto fluya y no quede aire atrapado

#### 5.5.4.5 - VIBRADO DEL CONCRETO DEL REVESTIMIENTO DEFINITIVO.

La falta de un buen vibrado en la colocación del concreto genera burbujas o cavidades con aire atrapado, lo que produce graves detalles que se observan al retirar la cimbra, aparecen al descubierto huecos sin concreto los cuales deben de repararse lo que genera una gran inversión de recursos humanos y materiales que merman la utilidad de la empresa. La maniobra eficiente del snorkel y un buen vibrado ayudarían a evitar fallas en el colado y daños a la cimbra metálica, que no obstante su resistencia puede ser fatigada y presentar deformaciones por exceso de presión del concreto por no mover a tiempo el snorkel con lo que se acumulan grandes presiones

#### ACUMULACIÓN DE PRESIONES DE BOMBEO DE CONCRETO.

Al cerrar el colado la presión de bombeo se acumula en la tubería, ya que se pretende rellenar totalmente las paredes y se busca que no queden huecos. Por el cúmulo de presión, en varias ocasiones las juntas de alguna tubería se llegaron a zafar provocando accidentes y lesiones desde leves hasta graves al personal que se encontraba cerca de dicha tubería.

#### LIMPIEZA DE LA TUBERÍA

Cuando esta por finalizar el colado se prepara la maniobra conocida como " la carrera del diablo" que consiste en hacer pasar una bola de hule espuma desde la bomba hasta el extremo opuesto de la tubería. Esta maniobra sirve para limpiar el interior de la tubería y mantenerla lista para el próximo colado. De no limpiarse la tubería sería imposible su utilización

Al concluir el colado se procede a limpiar perfectamente toda la maquinaria y equipo que estuvieron en contacto con el concreto antes de que este fragüe y se pierda mayor tiempo y recursos en su limpieza

#### 5.5.4.6 - MOVIMIENTO DEL TREN DE COLADO.

Previo al movimiento de la cimbra se mueve el tren de colado y posteriormente se realiza la maniobra de mover la cimbra. El arrastre del tren de colado se realiza utilizando las cuatro locomotoras formando un tren, por medio de un cable de acero se engancha a una locomotora y conjuntamente se ponen en movimiento para realizar el arrastre sobre las vías. Los trabajos de nivelación de las dovelas son una maniobra primordial que realiza una cuadrilla de trabajadores y son los encargados de entregar piso nivelado al frente de colado, sin el cual no es posible realizar el revestimiento definitivo

#### 5.5.5.- LA COMUNICACIÓN DENTRO DEL TUNEL.

En la excavación y el colado del revestimiento definitivo, la coordinación y comunicación de los operadores de la maquinaria es muy importante para que la producción se realice en el tiempo y costo planeado. De esta forma el personal técnico y operativo cuentan con información de primera mano, que les permite ejecutar las operaciones de manera coordinada, por ejemplo, los maniobristas se comunican con el operador de la bomba para que pare cuando sea necesario y continúe a una señal, así el operador de la bomba se comunica con la planta productora de concreto y determinan el ritmo de la producción, los operadores de las locomotoras se comunican constantemente para evitar congestión dentro del túnel y para que el transporte se realice eficientemente.

### 5.5.6.- EJECUCIÓN DE LA INYECCIÓN DE CONTACTO

Para llevar a cabo la inyección del túnel se utiliza el método convencional de secciones alternadas (tres bolillo). Las secciones son de dos tipos, una que está formada por tres barrenos inyectoros y otra con únicamente dos barrenos. Las secciones con tres barrenos, serán denominadas A y las de dos B.

Las secciones A y B van intercaladas y la separación entre intercalaciones serán de 4.0 m, es decir, un diámetro, figuras A - 1 y A - 2.

Es recomendable que la preparación de los barrenos inyectoros sea instalada antes del revestimiento hidráulico, esto se logra dejando tubos de 5 cm. de diámetro. Los tubos pueden ser metálicos o de PVC cédula 40. El poder dejar estos tubos bien colocados antes del revestimiento definitivo significa no tener que barrenar sobre este, dañado algunas veces el acero de refuerzo.

Los barrenos que se perforan para la instalación de los tubos inyectoros deben penetrar al menos 5 cm en el revestimiento temporal. Es necesario tener seguridad de que el revestimiento hidráulico ha sido completamente atravesado.

La inyección se hace línea por línea, pero deben estar preparadas con válvulas de paso las cuatro líneas delante de la que se está inyectando.

#### LÍNEA DE INYECCIÓN

La inyección se realiza 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 alcance la resistencia proyectada, se inyectarán las secciones A de las figuras A - 1 y A - 2.

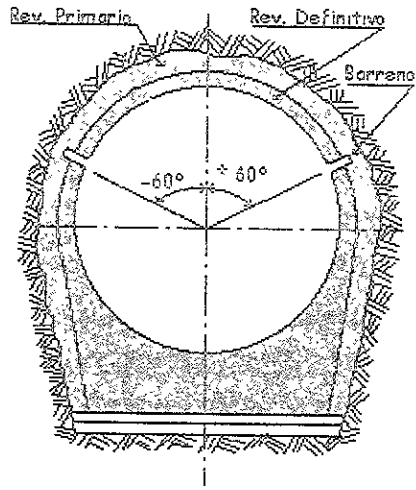
Como es usual, el orden de la inyección en las secciones A, comenzará con el barreno inyector N.1. cuando este barreno este lleno se pasará a inyectar el barreno N.2. y finalmente se terminará esta sección con el barreno inyector N.3 que esta en la clave del túnel.

Cuando se efectúa la inyección en una sección, ocasionalmente se establece comunicación de lechada hacia barrenos inyectoros de secciones posteriores o de la misma sección; por los barrenos por donde empieza a escurrir lechada deben ser obturados inmediatamente y continuar el proceso de inyección sin detenerlo.

#### SEGUNDA ETAPA

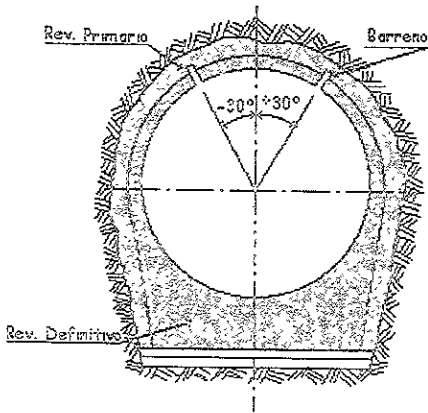
Esta etapa comienza con la perforación de las secciones o líneas B, después de haber transcurrido 72 horas de edad de la inyección de las líneas A.

Las líneas B se perforan intercaladas entre las A. Cuando se presente comunicación de lechada con otra sección, se obturan los barrenos que presenten este caso, con las válvulas de paso instaladas en los barrenos inyectoros, y se prosigue la inyección sin interrupción. Terminada la secuencia normal de inyección, los barrenos que presentaron comunicación se perforan y nuevamente son inyectados.

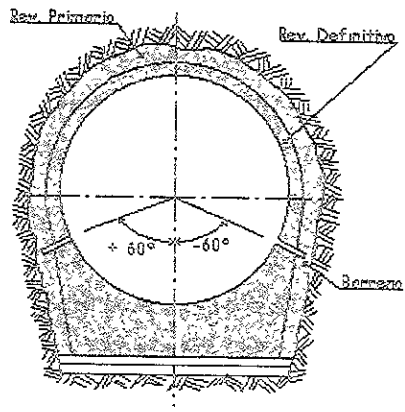


SECCIÓN A  
FIG. A-1

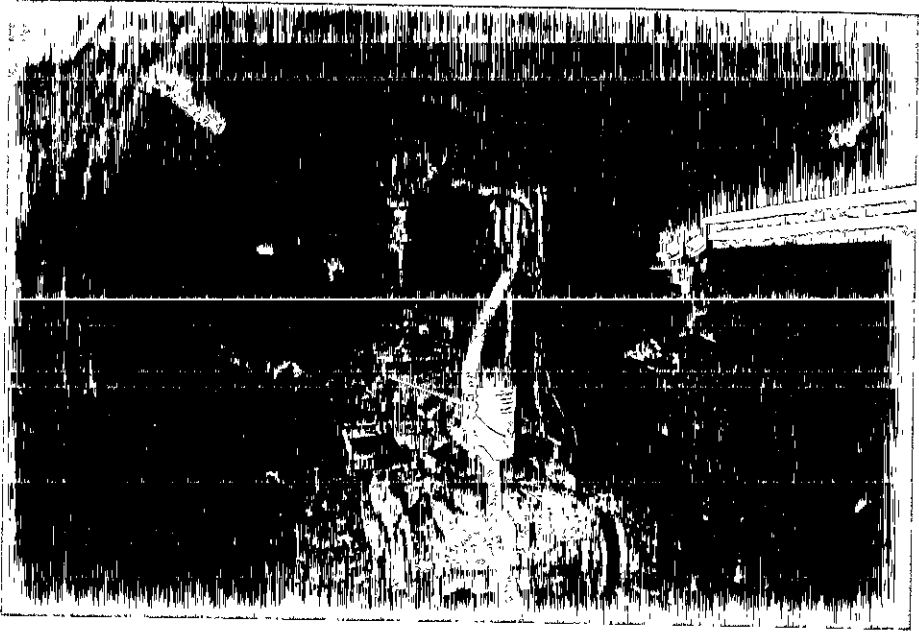
(Referencia No. 1)



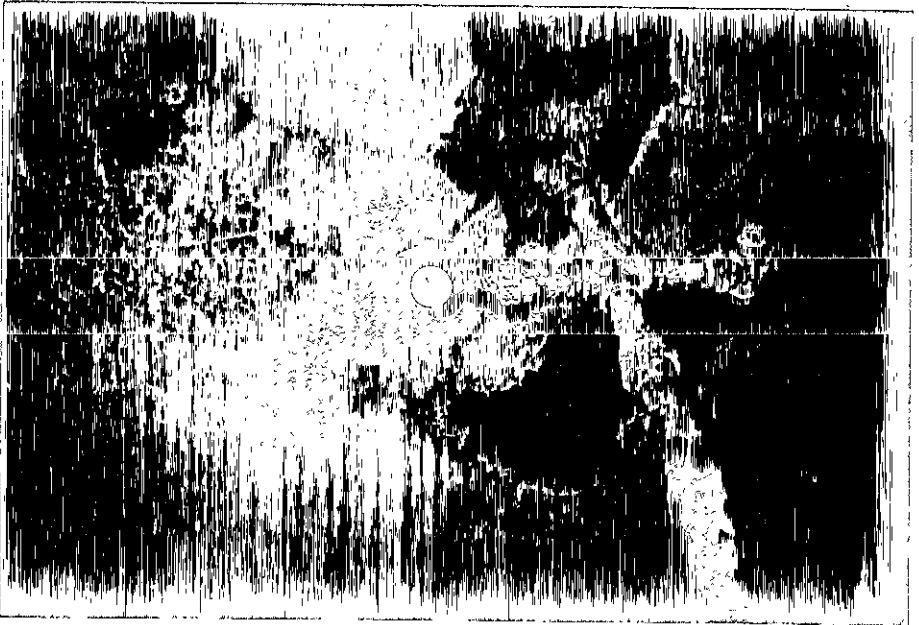
SECCIÓN B  
FIG. A-2



SECCIÓN B  
FIG. A-3



Ejecución de la inyección de contacto en el túnel 5



Cruceña y boquilla con válvula y manómetro para monitorear la inyección.

### TERCERA ETAPA

Para constatar que la inyección de contacto ha sellado los vacíos que puedan presentarse entre los revestimientos en la cubeta del túnel, es necesario realizar un inyectado en dos barrenos adicionales, localizados en las secciones B hacia su parte inferior Fig 3-A

Se perforan e inyectan nueve secciones, al igual que con las secciones B. la inyección en estos barrenos inyectoras de piso, debe ser cuando menos a las 72 horas de edad, de la inyección anterior.

La presión de inyectado no debe exceder, en ningún caso, de  $1.5 \text{ kg/cm}^2$ .

### SELLADO DE LOS BARRENOS.

Los barrenos se sellan cuando

1- El barreno no pueda absorber (tomar) el mortero o mezcla durante un minuto a una presión de  $1.5 \text{ kg/cm}^2$ .

2.- Cuando se midan presiones de  $1 \text{ kg/cm}^2$  para la lechada fluida, y el consumo sea menor a 1 litro por minuto.

Todo el tiempo el manómetro se mantendrá colocado junto al brocal del barreno que se inyecta

### PROPORCIONAMIENTO DE LAS MEZCLAS DE INYECCIÓN PARA PREPARAR $0.50 \text{ M}^3$ .

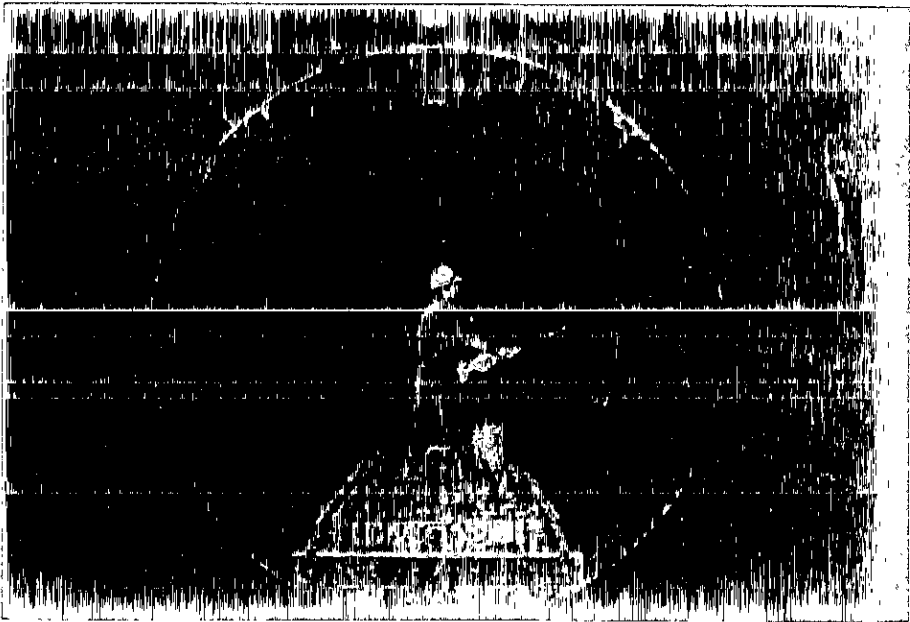
MATERIAL	MEZCLA 1	MEZCLA 2
CEMENTO	3 BULTOS	4 BULTOS
ARENA SILÍCA	22 BOTES	27 BOTES
AGUA BENTONITA	150 LITROS	250 LITROS
AGUA	350 LITROS	350 LITROS
ADITIVO FLUIDIZANTE	1 LITRO	1 LITRO

### MANO DE OBRA PARA LA PRODUCCIÓN DE LA MEZCLA:

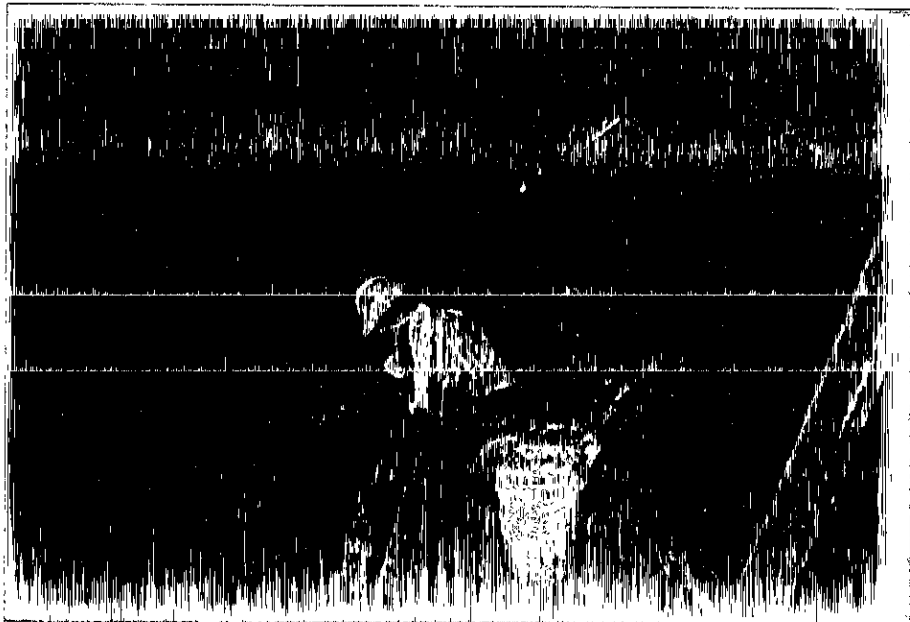
- o 1 supervisor.
- o 1 operador de agitador y bomba de bentonita.
- o 5 ayudantes que abastecen de arena

### EQUIPO.

- o 2 agitadores
- o 1 bomba de agua
- o 1 bomba de bentonita
- o Tubería de acero
- o Manómetros
- o Herramienta de mano.
- o 1 teléfono
- o 1 timbre.



Aplicación de la membrana de curado sobre el concreto, después de retirar la cimbra.



Limpieza y corrección de defectos en el revestimiento de concreto después del colado



### 5.5.7 - LIMPIEZA FINAL DEL TÚNEL

La limpieza de una obra, cualquiera que esta sea, es una actividad de gran importancia, ya que permite trabajar en condiciones de higiene y seguridad que redundan en una mayor productividad. Durante las diferentes etapas constructivas del Túnel 5 y sus derivaciones se realizó limpieza, en los trabajos preliminares, en la excavación de los tajos de acceso, en el emportalamiento, en la excavación del túnel por el método convencional e integral, antes del colado del revestimiento definitivo. Posteriormente, después del colado, se aplica la membrana de curado, se realiza la reparación de los defectos del colado en las paredes interiores del túnel y nuevamente se realiza una limpieza.

Después de realizar la inyección de contacto en la clave del túnel y en la dovelas de piso, se realiza una limpieza minuciosa previa a la entrega de la obra, con lo que se concluyen los trabajos de la construcción del túnel. La limpieza es un concepto dentro de un contrato de obra que no se debe perder de vista.

### 5.5.8.- PROBLEMAS PLANTEADOS DURANTE LA EJECUCIÓN.

La modificación del trazo se originó a raíz de la observación de las condiciones geotécnicas en que se estaba llevando a cabo la excavación con la TBM. Originalmente la construcción del túnel 5 se concursó tomando en cuenta tanto el método convencional de excavación, como el método de excavación integral (T.B.M.). Al evaluar las ventajas del método integral se optó porque todo el túnel 5 se construyera utilizando este método, y utilizando el método tradicional para la construcción de las derivaciones 3-A, 3 y 4.

De utilizarse el método convencional en la excavación del túnel 5 era necesaria la construcción de 2 lumbreras como vías de acceso de equipo, material, personal y la extracción del material producido de la excavación, así como para la construcción de mas frente de ataque. La profundidad de las lumbreras debería ser la mínima, por lo que se proyectaron en la ladera del sistema montañoso del lugar, donde se localizan los contactos entre las unidades geológicas y donde se presentan las condiciones más desfavorables para la excavación.

Después de elegir el método integral para la excavación se iniciaron los trabajos y fue entonces cuando se presentó el primer caído importante de material de mala calidad, provocando el atascamiento de la T.B.M., con las consecuentes pérdidas de tiempo, recursos humanos y económicos. En este lapso de interrupción de la excavación, los geólogos e ingenieros geotecnistas a cargo, hicieron la observación y la recomendación de que es necesario buscar mejores condiciones de la roca para la excavación. Correlacionando los datos geológicos y geotécnicos del proyecto ejecutivo original proponen modificar el trazo de la excavación, de manera que éste cruzara macizos rocosos de mejor calidad, evitando excavar en la ladera de los macizos y adentrar el trazo a la serranía donde las coladas de basalto son de mayor espesor y los domos y macizos rocosos son de mejor calidad y no han sufrido intemperismo importante.

En general, en la construcción de túnel 5 se sortearon una serie de problemas que debieron solucionarse rápida y eficientemente, como fallas mecánicas, falta de suministros, accidentes de trabajo, falta de coordinación algunas veces, así como condiciones del terreno que exigieron el esfuerzo de trabajadores y personal técnico.

#### REFERENCIAS DEL CAPÍTULO 5.

1.- Apuntes del Curso Internacional de Construcción de Túneles de la D.G.C.O.H.

2.- Revista Hidráulica Urbana. Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica. Revista trimestral. México D.F. número 2 julio 1997.

## CONCLUSIONES

## CONCLUSIONES.

El problema de abastecimiento de agua potable de la Ciudad de México y el área metropolitana ha tenido que ver por años con el incremento desmesurado su población, el surgimiento de asentamientos irregulares, la falta de planeación, la carencia de recursos económicos y la falta de integración con los planes y políticas ambientales y de desarrollo urbano

El problema en el abasto del agua a la Ciudad de México continua hasta el día de hoy, es un rezago heredado desde 1940, cuando se perdió el equilibrio entre lo que entraba a las presas de manera natural y lo que se consumía, y de continuar con la sobre explotación de los mantos acuíferos el hundimiento de la Ciudad de México persistirá, pues mientras se exploran 14.5 m<sup>2</sup>/seg, sólo se reinyectan 2.5 m<sup>2</sup>/seg al subsuelo.

En este panorama se inscribe la obra del Acuífero de la Ciudad de México que tiene como objetivo principal conducir, por gravedad, el agua potable que entra por el poniente, proveniente del Sistema Cutzamala, para frenar la explotación excesiva de sus mantos acuíferos, que está generando una gran cantidad de problemas a la infraestructura de redes de distribución de agua, redes subterráneas de energía eléctrica, drenaje (hundimiento del Gran canal) y líneas telefónicas.

Obras de gran magnitud como el Acueducto Periférico de la Ciudad de México requieren de un equipo de trabajo multidisciplinario, donde la ingeniería civil juega un papel fundamental, y donde los conocimientos del suelo donde se construye influyen el procedimiento constructivo a seguir y en conjunto determinarán el costo y la factibilidad del proyecto.

Un aspecto fundamental de este trabajo fue conocer las características de los macizos rocosos en los que se excavaría el túnel, mediante estudios geotécnicos que incluyeron: fotogrametría, sondeos, estudios geofísicos, datos que se vaciaron en un plano en el que se observaron las posibles condiciones del terreno.

La calidad de la roca en términos generales fue buena, lo que permitió avances promedio mayores a 15 ml por día. En lo personal lo más interesante fue entrar en contacto con las formaciones geológicas a medida que se realizaba la excavación y verificar el grado de precisión de la información que arrojan los estudios geofísicos. Toda la información registrada durante la excavación podrá ser analizada y servir de base para nuevas excavaciones al tener registrado el comportamiento de los distintos materiales excavados o para la interpretación de otros estudios

Los diversos tipos de exploraciones geológicas y geofísicas, tienen la finalidad de proporcionar elementos de juicio, para que el geólogo procure localizar aquellas formaciones adversas al avance normal del topo, tales como diques o cuerpos intrusivos, zonas falladas o cizalladas que pueden cruzar el túnel. De encontrarse accidentes en número considerable, habrá que valorar su efecto en los análisis de construcción y económicos a elaborar, para decidir sobre la conveniencia o no, de utilizar el topo.

Las investigaciones geotécnicas llevan la finalidad de ayudar al geólogo en la integración del marco de referencia global, en el cual proyectar las interpretaciones derivadas de la información directa o deducida, que resulte ésta. Son necesarias para lograr en las alternativas de ruta, con sentido de la realidad, un buen diseño de los aspectos correlativos a la construcción y economía de túneles, así como para que el fabricante de la máquina tunelera atienda con eficacia los aspectos de diseño y adaptación de ésta a las condiciones reales del proyecto.

El fabricante de la máquina tunelera aprovecha los datos obtenidos de los estudios geotécnicos para diseñar el tipo, número y distribución de los cortadores, los empujes perimetrales y longitudinales a proporcionar las potencias en motores, la potencialidad del avance, etcétera

El ingeniero proyectista encontrará útiles los estudios geotécnicos para estimar las probables cargas y esfuerzos que actuarán sobre el túnel. Esto servirá para definir el grueso del revestimiento permanente en los diversos tramos y si este revestimiento deberá llevar acero de refuerzos en alguna parte. Además, el tipo, densidad y métodos de soporte temporal, marcos de ademe, anclas y concreto lanzado

El ingeniero constructor aplica la información derivada de los estudios geotécnicos para efectuar, en las alternativas de ruta, la estimación del avance medio probable en los varios tramos de roca con dureza diferente, la mayor fuente de problemas de tuneleo con topes, los tipos, capacidad de carga y densidad de soporte temporal o permanente; requisitos varios en personal, equipos y materiales, para las diversas operaciones complementarias de apoyo a la construcción del túnel, de cuya ejecución depende el ritmo de avance medio a lograr, por todo el sistema constructivo.

En el capítulo 3 se indicaron los 5 los puntos críticos por evaluar con base en la información obtenida en los estudios geológicos previos al estudio geotécnico en detalle, para obtener un rendimiento óptimo de una máquina tunelera. la evaluación de la dureza capacidad de auto sostén de la roca, la ubicación de diques y cuerpos intrusivos con resistencia y dureza superior a la media normal, la ubicación de zonas en roca remolida, fallada o cizallada que afectan en mayor medida a la excavación con máquina tunelera y definir la cantidad de agua filtrante que se podría encontrar.

En la construcción de este túnel se pudieron evaluar las ventajas y los inconvenientes de los dos métodos de excavación, diferencias que repercuten en las condiciones de estabilidad, en el tiempo de autososteo primario y revestimiento definitivo. La sección del método mecánico es circular, más estable y de menor sección que la de herradura. De lo anterior se desprende que el consecuente impacto en el análisis de cargas de uno y otro método, el peso del marco requerido para la sección de herradura es mayor y por lo tanto de mayor costo que el marco circular. El rendimiento del avance con el método mecánico es mayor y menor la sobre excavación generada. El impacto de las voladuras y la alteración del contorno de la excavación es de mayor relevancia en el método convencional y repercute de manera negativa.

Debido a las características particulares del doble escudo y la longitud de la máquina tunelera, es más oportuna la colocación del soporte primario en el método convencional de excavación; además es difícil cualquier otra forma de soporte primario de manera inmediata que no sean los marcos metálicos con madera de retaque en el método mecánico. Las condiciones de seguridad y trabajo son más favorables en el método mecánico, aunque en situaciones riesgosas de inestabilidad es más rápida la respuesta en el método convencional. Un punto importante es que los costos de excavación con el método de máquina tunelera son más económicos, siempre y cuando las condiciones geológicas sean favorables.

De acuerdo con las observaciones y registros de las secciones instrumentadas, prácticamente toda la excavación se mantuvo estable y los desplazamientos registrados se consideraron normales. Por lo que el tipo de soporte colocado o la ausencia del mismo fue el correcto para la calidad geomecánica que presentó el macizo rocoso a lo largo de la excavación y en forma particular donde se instaló cada sección de instrumentación. Fue de gran importancia la inspección visual permanentemente a lo largo de la excavación, con el fin de detectar cualquier problema en el túnel, con lo que el objetivo de la instrumentación, de eliminar la incertidumbre de posible inestabilidad quedó cumplido.

Con el análisis de los problemas constructivos que dieron como resultado el cambio de trazo y los que se presentaron aun con esta modificación, se recomienda para futuros proyectos de túneles con longitudes acordes para el uso de los medios mecánicos, se aumenten los recursos en los estudios de prospección geológica, de sondeos y, si es el caso, de estudios geofísicos, primero en el área de interés para proponer el trazo con mejores condiciones de roca, y después sobre el trazo propuesto proponer los recursos necesarios para delimitar contactos geológicos, para contar con un modelo geológico y geomecánico lo más confiable posible, de manera que el aparente sobrecosto invertido en los estudios necesarios para un proyecto confiable, se subsana con la disminución de sobrecosto de la obra por problemas de inestabilidad no contemplados.

La experiencia global generada durante la excavación de esta tercera etapa del Acuafénico, nos deja que es costeable por los buenos rendimientos la excavación con medios mecánicos en las zonas complejas de actividad volcánica, siempre y cuando se evite en lo más posible las brechas volcánicas, lahares y bancos de ceniza volcánica con poca consolidación. Finalmente el ingeniero civil debe tener una mente abierta y no cerrarse entre cuestiones teóricas. Nunca debe descalificar algo de lo que no esté completamente seguro. Una de las recomendaciones es no perder de vista que las medidas preventivas siempre generan utilidades, tener claro que la seguridad de los recursos humanos y materiales de una obra están en manos de los ingenieros, y que sobre ellos cae la responsabilidad de los accidentes y pérdidas humanas al descuidar la seguridad e integridad de los trabajadores.

## BIBLIOGRAFÍA

## BIBLIOGRAFÍA.

- 1.- ABURTO VALDEZ RAFAEL. MAQUINARIA PARA CONSTRUCCIÓN. MÉXICO . FUNDEC A.C. 1990.
- 2.- APUNTES DEL CURSO INTERNACIONAL DE CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES DE LA D.G.C.O.H.
- 3.- CESAR VALDEZ ENRIQUE. ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE. SEGUNDA EDICIÓN. MÉXICO D.F. EDICIONES UNAM. 1991. 279 PAG.
- 4.- COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD. MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES. B.3 MECÁNICA DE ROCAS. B.3.7. PROCEDIMIENTOS DE EXCAVACIÓN, B.3.2. OBRAS SUBTERRÁNEAS, B.3.5. TRATAMIENTO DE MACIZOS ROCOSOS. PRIMERA IMPRESIÓN. MÉXICO. EDITORIAL MEXICANA, S.A. 1983.
- 5.- COMPENDIO 1996 DE LA D.G.C.O.H. DE LOS SERVICIOS HIDRÁULICOS DE LA CIUDAD DE MÉXICO, AGUA Y DRENAJE.
- 6.- . LEGGET ROBERT R. GEOLOGÍA PARA INGENIEROS. MÉXICO 1986.EDITORIAL MC. GRAW HILL.
- 7.- LINARES SANCHEZ ANTONIO TÚNELES Y OBRAS SUBTERRÁNEAS. BARCELONA ESPAÑA EDITORES TÉCNICOS ASOCIADOS. S.A., 1977.
- 8.- MEMORIA DE LAS OBRAS DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO DEL DISTRITO FEDERAL. TOMO I, II, III. MÉXICO D.F. GOBIERNO DEL D.F. 1975
- 9.- T. M. MEGAN Y J. V. BARTLETT. TUNELES, PLANEACIÓN, DISEÑO Y EJECUCIÓN. MÉXICO D.F. EDITORIAL LIMUSA.
- 10.- REVISTA HIDRÁULICA URBANA, DIRECCIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN HIDRÁULICA. REVISTA TRIMESTRAL. MÉXICO D.F. NÚMERO 2 JULIO 1997 Y NÚMERO 3 NOVIEMBRE DE 1998.
- 11.- RICO RODRÍGUEZ ALFONSO Y DEL CASTILLO HERMILO. INGENIERÍA DE SUELOS EN LAS VÍAS TERRESTRES VOL II. MÉXICO D.F. EDITORIAL LIMUSA.
- 12.- SZECHY KAROLY. THE ART OF TUNNELLING. BUDAPEST 1973. AKADEMIAI KIADO.