

17
2eje.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

“ PROCESO CONSTRUCTIVO DEL ACUAFERICO
(TUNEL 4) ”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A N :

SOFIA CABALLERO ZAMORA

CRISTINA NAJERA MONTIEL



MEXICO, D. F.

1994

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-126/93

Señoritas
SOFIA CABALLERO ZAMORA
CRISTINA NAJERA MONTIEL
Presente.

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **ING. LUIS CANDELAS RAMIREZ**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrollen ustedes como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

"PROCESO CONSTRUCTIVO DEL ACUAFERICO (TUNEL 4)"

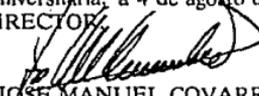
INTRODUCCION

- I. FACTORES QUE DEFINEN EL PROYECTO.**
- II. DESCRIPCION DEL PROYECTO**
- III. PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA LUMBRERA**
- IV. PROCESO CONSTRUCTIVO DEL CONDUCTO**
- V. PROGRAMA DE EJECUCION**
- VI. CONCLUSIONES**

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

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

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, a 4 de agosto de 1993.
EL DIRECTOR


ING. JOSÉ MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS/RCR*nl1

nl.

A MIS PADRES:

SUSANA ZAMORA RANGEL Y
JUAN CABALLERO LOPEZ
CON MUCHO CARIÑO Y A--
GRADECIMIENTO POR SU -
TRABAJO, SU EJEMPLO, -
SU APOYO, SU CONFIANZA
Y SU CARIÑO, PORQUE -
GRACIAS A ELLOS TENGO
TODO.

A MIS HERMANO:

TERESA, OSCAR, CESAR Y
BASILIO, CON CARIÑO Y
AGRADECIMIENTO POR SU
VALIOSO APOYO.

SOFIA.

A MIS QUERIDOS PADRES
SR. PEDRO NAJERA S.
SRA. MICAELA MONTIEL HDEZ.
EN AGRADECIMIENTO A SU
ESFUERZO Y APOYO .

A MIS HERMANOS
VERONICA, VICTOR Y SUSANA
CON AFECTO. .

AGRADECEMOS A NUESTRO DIRECTOR DE TESIS
EL INGENIERO LUIS CANDELAS RAMIREZ, A -
LA DIRECCION GENERAL DE CONSTRUCCION Y
OPERACION HIDRAULICA, AL INGENIERO ELI-
SEO PADRON, Y AL ING. MAURICIO HERNANDEZ
Y A SERVICIOS DE CONSULTORIA Y SUPERVI-
SION, AL ARQ. CESAR HERNANDEZ, AL ING.
PEDRO SANCHEZ, AL ARQ. ALEJANDRO, AL TO
POGRAFO FELIPE RUBIO Y DEMAS COLABORADO
RES POR EL APOYO BRINDADO PARA EL DESA-
RROLLO DEL PRESENTE TRABAJO.

CRISTINA Y SOFIA.

INTRODUCCIÓN **1**

CAPÍTULO I **Factores que definen el proyecto.**

- | | | |
|-----|--|----|
| I.1 | Plan maestro de abastecimiento de agua potable | 4 |
| I.2 | Factores sociales y ecológicos | 12 |

CAPÍTULO II **Descripción del proyecto.**

- | | | |
|------|-------------------------------------|----|
| II.1 | Ubicación del acueducto y lumbreras | 16 |
| II.2 | Investigación del suelo | 19 |
| II.3 | Geometría y trayectoria | 29 |

CAPÍTULO III **Lumbrera.**

- | | | |
|-------|--|----|
| III.1 | Instalaciones en superficie | 34 |
| III.2 | Antecedentes | 36 |
| III.3 | Construcción de la lumbrera | 38 |
| III.4 | Maquinaria y equipo utilizados en la construcción de la lumbrera | 57 |

CAPÍTULO IV

Proceso constructivo del acueducto.

IV.1	Perfil del eje de trazo	59
IV.2	Control de bancos de trabajo	62
IV.3	Bajada del trazo del eje del túnel	64
IV.4	Control del trazo	66
IV.5	Verificación de la sección	67
IV.6	Orientación interior del trazo	68
IV.7	Excavación	69
IV.8	Uso de explosivos	73
IV.9	Rezagado	80
IV.10	Ventilación	82
IV.11	Soporte primario	84
IV.12	Instrumentación	91
IV.13	Drenaje	98
IV.14	Revestimiento definitivo	100
IV.15	Método para el colado	102
IV.16	Inyección de contacto	106
IV.17	Descripción del equipo utilizado para la construcción del túnel	110

CAPÍTULO V

Programa de obra.

V.1	Programa y ruta crítica	113
V.2	Control de calidad	122
V.3	Seguridad dentro de la obra	132

CONCLUSIONES	134
---------------------	------------

REFERENCIAS	136
--------------------	------------

INTRODUCCIÓN

La obtención de un recurso que no es abundante representa serias dificultades para la población que lo demanda. La existencia de una autoridad capaz de unificar acciones y tomar decisiones acertadas en la relación al suministro del agua evitará la dispersión y el desabasto del líquido, ya que de no llevarse a cabo un estricto ejercicio de autoridad para regular el uso del agua continuarán los aprovechamientos ilegales, el incumplimiento de las normas de descarga y el deterioro de los mantos acuíferos. Otro factor que agrava el problema es el incremento poblacional cuyas demandas aumentan constantemente.

La situación económica que vive el país requiere de un hábil manejo de los recursos hidráulicos, que le permita prever las demandas futuras y actuar conforme a ellas.

El sistema hidráulico de México se caracteriza por su magnitud y complejidad, con los consiguientes costos que reclama su operación, mantenimiento y ampliación que ha crecido a un ritmo intenso y desordenado.

Si el agua es un recurso del cual resulta beneficiada toda la sociedad, deberá ser toda ella quien participe en su dotación, elevando la eficiencia de su uso y reutilizándola en aquellas actividades que no demanden estrictamente agua potable.

Entre los mayores retos que enfrentan pueblo y gobierno de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, está el abastecimiento de agua potable para satisfacer las necesidades de orden doméstico, industrial y de servicios. En las Delegaciones de Tlalpan, Coyoacán, Xochimilco,

Tlahuac y Milpa Alta, operan mas de 190 pozos para la extracción de agua. De aquí se envían a la Ciudad de México 16 metros cúbicos por segundo de este vital líquido, esta cantidad es la cuarta parte de toda el agua que se utiliza en el área metropolitana. La sobreexplotación de estos mantos acuíferos, sin propiciar su recarga, así como la urbanización atentan contra estos lugares, pero también perjudican a millones de habitantes de la capital del país.

El Departamento del Distrito Federal tiene la responsabilidad de satisfacer las necesidades mínimas de bienestar de los habitantes que actualmente asienta dentro de su perímetro, para lograrlo ha construido diversas obras de infraestructura, las cuales exigen fuertes inversiones para mantenerlas en buen estado.

El sistema hidráulico del Distrito Federal, enfrenta serias dificultades que complican su operación, entre ellas los problemas técnicos que representa depender de cuencas externas, tanto para el abastecimiento de agua potable como para el desalojo de aguas negras y pluviales. Uno de los grandes inconvenientes para el sistema es su gran magnitud. El caudal captado por estas fuentes junto con el de pozos y mantos superficiales, se almacena y distribuye a través de 209 km. de acueductos; 490 km. de líneas de conducción, 243 tanques con capacidad conjunta de 1.5 millones de metros cúbicos; 690 km. de líneas primarias y 12,060 km. de redes secundarias de distribución. Se cuenta también con 43,000 cruceros con mas de 90,000 válvulas de seccionamiento y accesorios especiales; como complemento importante existen 183 plantas de bombeo.

Las características especiales y temporales del agua superficial han impedido que este recurso se aproveche en mayor medida para satisfacer las necesidades de las poblaciones ubicadas dentro del Valle de México, en especial la del Distrito Federal. Por ello los manantiales y los acuíferos, íntimamente ligados entre sí, han jugado un papel fundamental en la tarea de saciar la sed de la Ciudad.

Corresponde al Ingeniero Civil la planeación, construcción, operación y mantenimiento de estas obras, el objetivo de este trabajo es describir el proceso constructivo de una de estas obras.

En el capítulo uno de este trabajo tenemos una breve descripción de la forma en que se encuentra distribuida la población dentro del Distrito Federal y de la forma en que se distribuye el agua potable y de los alcances que se tienen hasta el año de 1991.

El capítulo dos habla de los factores que definen el proyecto, de los estudios previos al mismo; dentro de estos factores tenemos en primer lugar los que definen las características del proyecto y en segundo lugar las que definen el proceso constructivo, la estructura y las condiciones que se presentarán durante la realización del proyecto.

El capítulo tres muestra la descripción del proceso constructivo de la lumbrera dos, esto es los procedimientos constructivos utilizados, los trabajos previos a la construcción, y los materiales y maquinaria utilizados durante la construcción.

El capítulo cuatro hace una descripción del proceso constructivo del túnel número cuatro, de los trabajos y disciplinas implicadas dentro de la construcción, como son la topografía y la geología. Se hace una descripción del proceso constructivo del túnel como son el uso de explosivos material y equipo utilizado; el revestimiento definitivo, el método de colado y los materiales utilizados.

El capítulo cinco presenta el programa de obra inicial de los factores que lo modifican, del control de calidad dentro de la obra y de la seguridad.

CAPÍTULO I

FACTORES QUE DEFINEN EL PROYECTO.

I.1 PLAN MAESTRO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE.

Durante años se ha tratado de satisfacer completamente las necesidades de agua potable de los habitantes del Distrito Federal; así durante las diversas épocas por las que se ha atravesado se ha enfrentado y dado solución a todos y cada uno de los diversos retos que implica el abastecimiento del vital líquido en esta ciudad. Sin embargo esto ha motivado, conjuntamente con otros factores el acelerado crecimiento demográfico y urbano de la entidad, que implica una mayor atención política, económica y social, desviando con ello el interés por la creación, y en otros casos consolidación, de otros polos de desarrollo. En un principio se extrajo exclusivamente el agua de los acuíferos del Valle de México, que se fue volviendo insuficiente ante la creciente población, a tal grado que hubo necesidad de recurrir a fuentes externas, específicamente a los acuíferos del Valle Lerma; pese a esto, el déficit sigue prevaleciendo, por lo que actualmente se está tomando agua de un aprovechamiento superficial externo como es el río Cutzamala.

Las perspectivas en el crecimiento de la red de distribución y en general del servicio de agua potable, deberán estar sujetas a las políticas planteadas en un Plan General de Desarrollo Urbano y Conservación Ecológica, en el que se establecen las zonas de desarrollo urbano, industrial y ecológico, permitiendo un mayor control sobre el crecimiento de la ciudad y facilitando con ello la planificación y crecimiento de los servicios públicos. En la actualidad para dotar y distribuir el agua a los

habitantes del Distrito Federal, se han creado una gran variedad de obras e instalaciones, que hacen posible tanto la captación del líquido de las fuentes superficiales y subterráneas como su conducción, potabilización, bombeo, regulación y distribución a través de líneas, acueductos, plantas potabilizadoras y de bombeo, tanques y redes de distribución.

En forma general se puede decir que los organismos responsables de las instalaciones del sistema de Agua Potable, son la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del Departamento del Distrito Federal, la cual se encarga de los sistemas ubicados dentro del Distrito Federal, así como de los sistemas Lerma y Chiconautla; también existe un organismo de tipo Federal que es la Comisión de Aguas del Valle de México, éste capta, opera y hace entrega de agua en bloque procedente de los sistemas Norte, Sur y Cutzamala. A continuación se presenta una breve descripción de la infraestructura con que actualmente se dispone para el abastecimiento de agua potable.

- Comisión de Aguas del Valle de México (C.A.V.M.):
 - Sistema Norte: Lo forman dos entradas de agua en bloque al Distrito Federal denominados Sistemas Barrientos y Risco; el Sistema Barrientos está conformado aproximadamente por 120 pozos y el agua extraída es transportada través de 15 kilómetros de líneas de conducción hasta los tanques de distribución, abastece al Estado de México y al Distrito Federal. El Sistema el Risco está compuesto por 16 pozos, cuyo gasto es conducido a través de 2.5 kilómetros de líneas de tubería.

 - Sistema Sur: El sistema está constituido por dos ramales dentro del Distrito Federal uno de ellos el ramal Sur, cuenta con 33 pozos perforados una profundidad promedio de 30 metros, el otro el ramal Nezahualcóyotl, consiste de una batería de 28 pozos ubicados a lo largo del canal de Chalco, abastece al Estado de México y el Distrito Federal.

- Sistema Cutzamala: Constituye el primer sistema del Valle de México que utiliza agua superficial, aprovecha 7 presas de almacenamiento y derivación, correspondientes a la cuenca alta del Río Cutzamala. La ejecución del proyecto Cutzamala, se inició en 1976 programados en 3 etapas constructivas. La primera etapa entró en operación en 1982, aprovechando el agua de la presa Villa Victoria y conduciéndola a través del canal Martínez de Mesa. La segunda etapa entro en operación en 1985 afectándose la captación del agua de la presa Valle de Bravo. La tercera etapa se encuentra en construcción y permitirá captar agua procedente de las presas Tuxcan y Bosque.

• Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCCH).

- Sistema Norte: Integrado por la Delegación Azcapotzalco y Gustavo A. Madero que totalizan una superficie de 125 km² dispone de los caudales Norte provenientes de la C.A.V.M. Opera al Sistema Chiconautla que aproximadamente tiene 39 pozos localizados en el Estado de México. Además cuenta para el abastecimiento con 35 pozos municipales.

- Sistema Centro: Este sistema se extiende en una área de 180 km², quedando dentro de sus límites parte de las delegaciones Magdalena Contreras, Coyoacán, Iztapalapa, Iztacalco, Venustiano Carranza, Miguel Hidalgo y en su totalidad las delegaciones Benito Juárez y Cuauhtemoc. El abastecimiento principal de este sistema se realiza con las aportaciones provenientes de las diversas fuentes que proporcionan agua al Distrito Federal; además dispone del gasto extraído en 114 pozos municipales.

- Sistema Poniente: Dentro de los límites del sistema quedan ubicadas parte de las Delegaciones Miguel Hidalgo, Alvaro Obregón, Magdalena Contreras y Cuajimalpa, en el se tienen importantes entradas de agua en bloque procedentes de los sistemas Lerma y Cutzamala, debido a ello los 800,000 m³ de

captación de almacenamiento de sus 103 tanques es superior a la de los otros sistemas. Además del agua en bloque, cuenta con el aprovechamiento de 23 pozos y parte de los 60 manantiales que existen dentro del Distrito Federal y se tienen 24 estaciones de bombeo con capacidad de 1,710 litros por segundo para distribuir y aumentar presiones a la red. En cuanto a la distribución del líquido esta se hace por medio del Acuaférico y comienza desde la entrada en bloque y se realiza a través de los ramales Norte y Sur. El primero de ellos abastece a los tanques Dolores y Aeroclub; mientras que del Ramal Sur se derivan las líneas Plateros, Santa Lucía, Aguilas, Las Torres y la derivación Picacho, que permite distribuir el agua a la zona Poniente del Distrito Federal.

- Sistema Sur: Este sistema se ubica al sureste del D.F., dentro de sus límites se encuentran parte de las delegaciones Coyoacán, Iztapalapa, Tláhuac y la totalidad de Tlalpan, Xochimilco y Milpa Alta, ocupando una extensión de 818 Km². El sur fue la primera fuente de aprovechamiento de agua para la ciudad y lo realizaba a través de manantiales; actualmente su infraestructura dispone de 198 pozos perforados, 168 de los cuales están en operación y se encuentran conectados a los Acueductos de Chalco-Xochimilco y Xochimilco. Este último entrega su gasto a la planta de bombeo Xotepingo, de donde salen dos líneas hacia los tanques Dolores y una más hacia el centro de la ciudad, distribuyendo el agua en sus trayectos; en cuanto al Acueducto Chalco-Xochimilco, que se inicia en Tulyehualco y abastece en forma mínima a la estación de Xotepingo, aporta la mayoría de su caudal a la planta de bombeo La Estrella, para de ahí hacerlo llegar a los tanques del mismo nombre, donde se realiza la regulación y distribución.

- Sistema Oriente: Comprende parte de las Delegaciones Venustiano Carranza, Iztacalco, Tlahuac e Iztapalapa, su infraestructura está compuesta por 47 pozos, 17 tanques con capacidad de 110,950 m³, 16 rebombes con una capacidad total

de 2814 litros por segundo y tres plantas potabilizadoras cuya capacidad es 890 litros por segundo.

- Sistema Lerma: Este sistema se encuentra ubicado en el Estado de México, hace uso de 256 pozos distribuidos en 16 ramales, que inyectan su gasto a cuatro acueductos que presentan una longitud de 260 kilómetros; de estos, 230 km funcionan a presión y el resto por gravedad, conduciendo el agua hasta el inicio del túnel Atarasquillo de Ríos, que cruza la sierra de las Cruces, con una longitud de 14.3 km y un diámetro de 3.2 m; al final del túnel se tiene la trifurcación del venado, de donde parten tres tuberías, una de ellas funciona como desfogue y las dos restantes son conocidas como Ramal Norte y Ramal Sur. Dentro del Ramal Norte se ubican 15 túneles, con diámetros de 3.2 m y una longitud total de 19.5 km, conduciendo el agua que alimenta a los tanques Dolores; existen además dos líneas de derivación de 48" y 42" de diámetro, que se conectan a los tanques Aeroclub. En lo que respecta al Ramal Sur, éste lo forma una línea de 2.5 m de diámetro y 13.5 km, de longitud, de ésta se derivan cinco líneas con dirección oriente de diámetro que van de 20" a 48" .

Cobertura del Servicio: De acuerdo a la infraestructura con que se cuenta y al caudal disponible que en 1991 promedio 37.6 m³/seg. en los que se incluyen 1.2 m³/seg de agua residual tratada, se estima que actualmente la cobertura del servicio del agua al Distrito Federal es del orden del 97% y si bien el nivel del servicio no alcanza el mismo porcentaje, como consecuencia de que en él intervienen acciones y actividades que no se han desarrollado con la misma velocidad que la infraestructura, se considera que en la mayoría de las delegaciones la calidad del servicio es la bastante buena como para asegurar a la población la potabilidad y disponibilidad del agua. El gasto de agua disponible de 37.6 m³/seg, es producto de las aportaciones de las fuentes operadas tanto por el Departamento del Distrito Federal como por la Comisión de Aguas del Valle de México que dan como resultado una dotación promedio de 312 l/hab/día para todos los usos. Del caudal total producido el 67.6%

proviene del acuífero del Valle de México, el 14,5% del Sistema Cutzamala y el restante es de agua residual.

Distribución de los caudales en los 5 sistemas regionales a cargo de la D.G.C.O.H.

- Sistema Norte: El caudal de 5.7 m³/s manejado en este sistema en el año de 1991, represento el 16% del total que ingreso al Sistema de Agua Potable del Distrito Federal. La D.G.C.O.H. entrega 2.9 m³/s y los restantes 2.8 m³/s fueron entregados por C.A.V.M. Con esta agua disponible se puede tener una cobertura del 100% en las Delegaciones Azcapotzalco y Gustavo A. Madero que son los que comprende el Sistema Norte.
- Sistema Centro: El gasto de este sistema producto de los pozos localizados en sus límites, fue de 2.7 m³/s en 1991 y además recibe las aportaciones de los sistemas restantes para abastecer a las delegaciones que caen dentro de sus fronteras. La cobertura del sistema en el servicio alcanza el 99%.
- Sistema Poniente: A través de este sistema ingresan los caudales mas importantes de agua en bloque a la ciudad, provenientes de los sistema Lema y Cutzamala que en 1991 aportaron un gasto promedio de 4.32 y 7.6 m³/s respectivamente, además cuenta con el gasto extraído de los pozos municipales ubicados dentro de sus límites que en promedio aportan 0.532 m³/s. Si bien es cierto que por su posición el sistema poniente tiene a cargo la gran infraestructura que sirve tanto para regular, como para distribuir la principal entrada de agua en bloque a otros sistemas, no alcanza pese a ello una cobertura del 100%; esto se debe a los asentamientos humanos que se han establecido en lugares poco propicios para hacerles llegar el agua en forma convencional.
- Sistema Sur: Se estima que el sistema sur maneja un caudal promedio de 11.47 m³/s en el año de 1991; dicho caudal proviene de diversas fuentes, pero en general se considera que la mayor parte de

su abastecimiento lo toma de los pozos que opera internamente y depende en una mínima relación directa con el de Agua Potable. Para la parte Sur Oriente de la delegación Coyoacán se aprovechan los caudales de los pozos auxiliares de Xotepingo, los de los conductos de la CAVM, y los del acueducto Xochimilco-Chalco. En las delegaciones de Iztapalapa y Tlahuac, el abastecimiento se realiza a través del acueducto Chalco-Xochimilco, además de que se dispone de pozos para cubrir las necesidades de las poblaciones pequeñas comprendidas en Tlahuac. La delegación Xochimilco cuenta con baterías de pozos que se conectan al acueducto Xochimilco. En la delegación Milpa Alta el abastecimiento y distribución del agua se realiza en igual forma que en Xochimilco. En esta se inician los acueductos Chalco-Xochimilco y Xochimilco, a los que se les inyectan los gastos extraídos de las baterías de los pozos de la delegación para su posterior conducción y distribución mientras que otros pozos aportan su caudal a subsistemas que los distribuyen a los pueblos de Milpa Alta.

- Sistema Oriente: Dispone del caudal producido en los pozos ubica dos dentro del sistema que en 1991 alcanzaron un promedio de 1.356 m³/s y también recibe aportaciones de los Sistemas Norte y Sur. El sistema Oriente abastece a una zona altamente poblada que tuvo un gran crecimiento urbano en las últimas décadas, donde se estima una cobertura del servicio del orden del 98%; sin embargo la prestación del servicio presenta las características más críticas. Su localización geográfica y su desarrollo urbano reciente, provocaron situaciones poco favorables para la distribución y abastecimiento del agua.

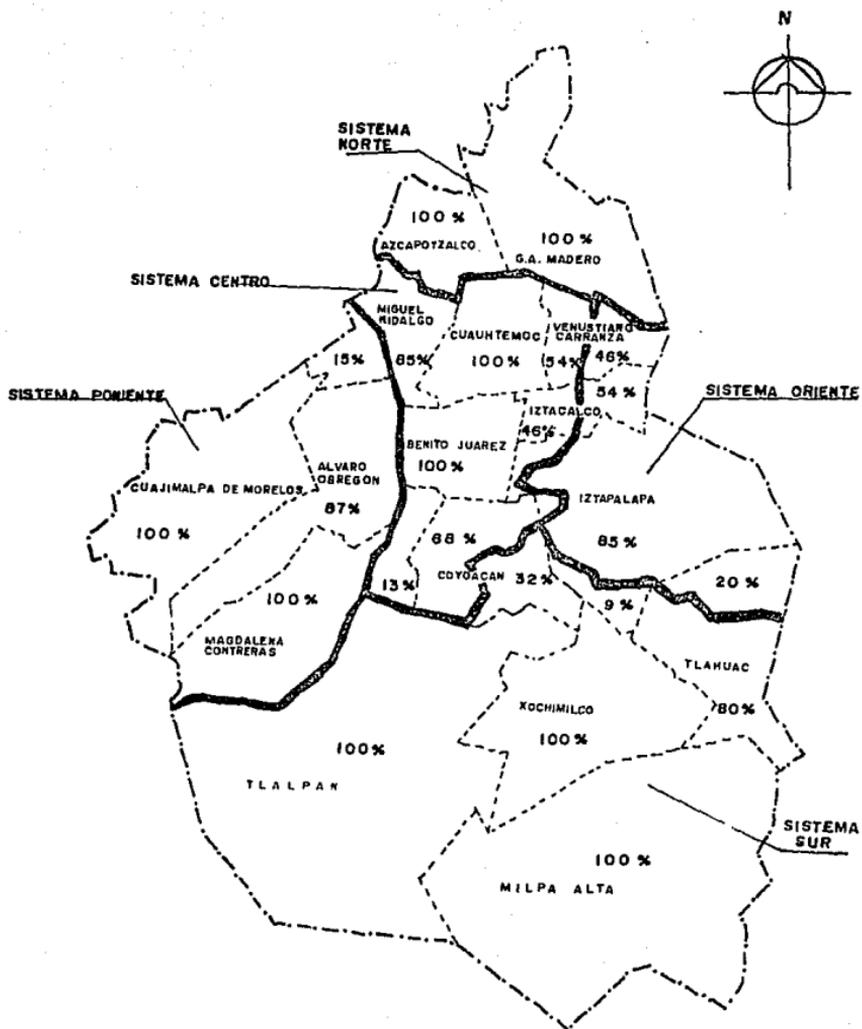


FIG. I.1.1. REGIONALIZACION DEL SIST. DE AGUA POTABLE

I.2 FACTORES SOCIALES Y ECOLÓGICOS.

I.2.1 Factores sociales.

Balance oferta-demanda: Para estar en condiciones de alcanzar la cobertura total o de mantener el nivel de servicio actual es necesario la ejecución de diversos programa y proyectos que acumulen el gasto disponible en la oferta. Las condiciones que se esperan en el futuro, en cuanto al abastecimiento de agua potable, seguirán presentando las mismas características de hoy en día, que se resumen en un constante aumento de la demanda y en un déficit que se incrementará en la medida que no se inicien los trabajos de alguna fuente externa de abastecimiento de agua en bloque.

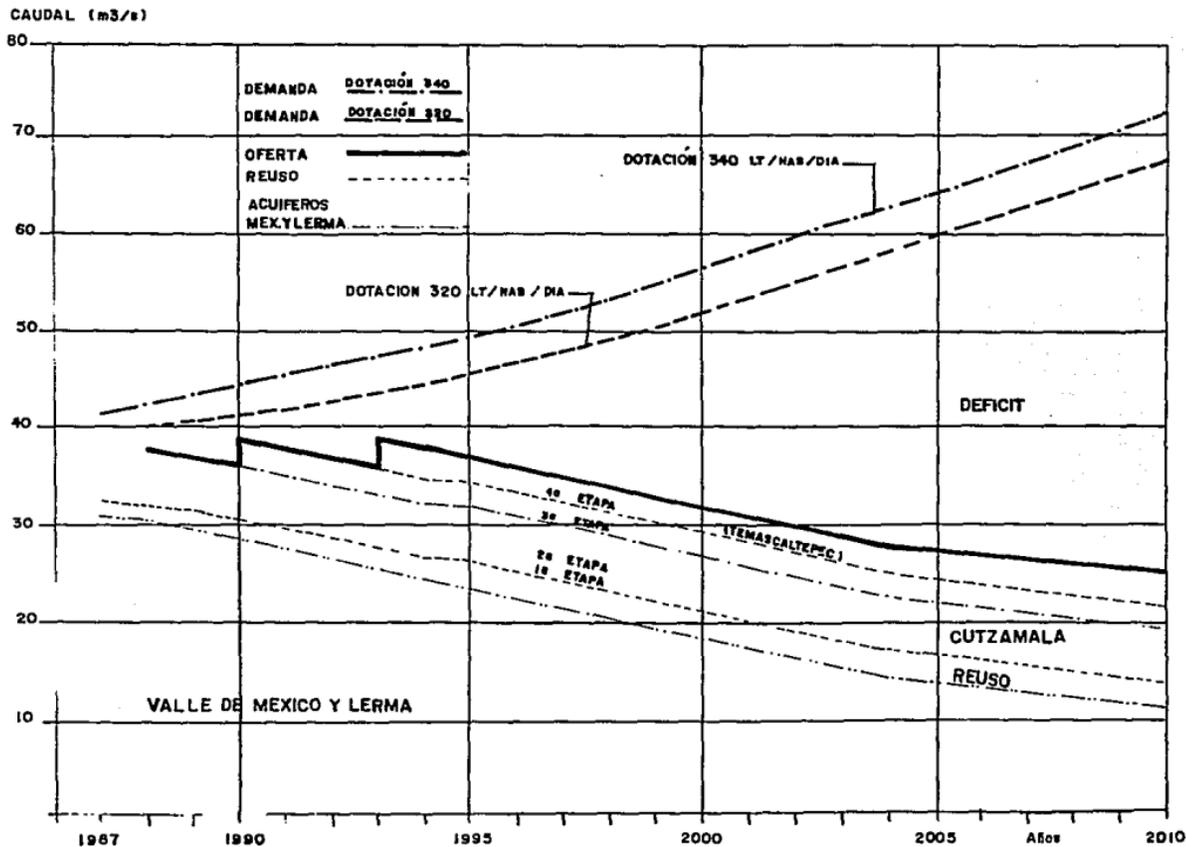
A continuación se presenta una gráfica en la cual se muestra la disponibilidad y demanda el líquido para la cual se hicieron las siguientes consideraciones:

- La población contemplada es la obtenida del estudio del colegio de México, ajustada con el censo de 1990.
- La dotación que se utiliza en el programa del uso eficiente del agua en donde se pretende disminuir de 340 a 320 l/hab/día.
- Otro aspecto que ha adquirido relevancia es la utilización de las aguas residuales tratadas, sobre todo cuando se emplea en actividades que no requieren agua con calidad potable.

FIG. 1.2.1.1 TABLA

AGUA POTABLE

OFERTA Y DEMANDA EN EL D.F. PARA EL PERIODO 1987 - 2010



Debido a los asentamientos humanos que se han establecido en lugares poco propicios para hacerles llegar el servicio del agua en forma convencional; como son los casos que se presentan en las partes altas de la delegación Alvaro Obregón, donde se carece de red secundaria y en los terrenos duros y accidentados de la delegación Cuajimalpa, donde resulta ser muy costosa la creación de la infraestructura, los asentamientos en los cerros de la Sierra de Santa Catarina (oriente) y el alejamiento de algunas zonas de los puntos de ingreso del agua en bloque.

1.2.2 Factores ecológicos.

De acuerdo a la situación actual el sistema de agua potable está ubicado dentro de un ecosistema en el que existe gran interactividad del hombre con su medio ambiente, por lo que no solo se piensa en atender las demandas de agua a la población, sino también dar mayor atención y cuidado a los recursos naturales. Estos puntos son básicos dentro de los planteamientos que se establecen dentro del Programa General de Desarrollo Urbano del Distrito Federal y de esta forma se pretende realizar una mayor vigilancia y conservación de los recursos naturales en beneficio de las actuales y futuras generaciones. El hecho de que se haga necesaria la existencia de un control sobre los recursos naturales, obedece a la interactividad existente entre los diversos factores naturales como son, suelo, aguas superficiales y subterráneas, vegetación, fauna, etc; es decir todos los elementos que forman parte del panorama ecológico, que son o pueden ser modificados por el hombre.

En el caso específico de abastecimiento de agua potable, el acuífero que subyace a la ciudad de México es de suma importancia en la oferta del agua disponible. Sin embargo, no ha recibido los cuidados necesarios, presentando infiltración de agentes contaminantes como consecuencia de asentamientos humanos en las zonas Sur y Poniente de la ciudad, que son puntos importantes en la recarga del acuífero. Por otra parte la desmesurada explotación a través de los pozos, aumenta las

posibilidades de obtener aguas de mala calidad si se extraen agua fósiles, además de los hundimientos del terreno que provocan afectaciones a la infraestructura de agua y de drenaje, así como daños a construcciones y edificios.

También existen las afectaciones del suelo, que por su relación inminente con el acuífero deben tomarse en cuenta; de ellas se pueden mencionar: el crecimiento del área urbana, que al cambiar el uso del suelo disminuye las captaciones y recargas de los acuíferos y en algunos casos los contamina, además de que provoca la deforestación. Esta última por su parte, aumenta la erosión de los suelos, que en la zona del poniente se ha convertido en un problema de grandes dimensiones, pues aumenta considerablemente la cantidad de azolve que se deposita en las presas que controlan los escurrimientos. La erosión de los suelos también afecta directamente al acuífero; ya que el terreno pierde gran parte de su capacidad de absorción y retención del agua e influye en la modificación del ciclo hidrológico. Todas estas circunstancias que provocan la rápida degradación del ecosistema y del acuífero, han tratado de ser controladas a fin de mantener un equilibrio hidrológico dentro de la cuenca; para ello se han tomado acciones que permiten una regionalización de las zonas, en donde se presentan las condiciones más favorables para la ubicación de áreas habitacionales, industriales, de amortiguamiento y de reserva ecológica; pretendiendo con esto tener un mayor control sobre el uso del suelo y los recursos hidráulicos. Así mismo se plantean medidas como aquellas tendientes a evitar la contaminación del acuífero, al aumentar la cobertura de la red de drenaje en las zonas de recarga; dar a las presas del poniente el uso adecuado, evitando que se conviertan en receptoras de desechos sólidos y de asentamientos humanos. Para la recuperación del acuífero, se deberán revisar los estudios que se han realizado en lo referente a la ubicación y factibilidad de los sitios para recargarlo, además de disminuir el caudal extraído y evitar la perforación de nuevos pozos.

CAPÍTULO II

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.

II.1 UBICACIÓN DEL ACUEDUCTO Y LUMBRERAS.

El acueducto perimetral es una construcción de carácter metropolitano cuyo objetivo fundamental, es lograr una distribución más equitativa de agua potable en la Ciudad de México y su zona conurbada, para beneficiar a los habitantes que se ubican en las zonas de mayor deficiencia en la región oriente.

El proyecto de construcción del acueducto se realiza por etapas, la primera etapa de la obra está formada por ramal Sur que se localiza al poniente de la ciudad entre el portal San José y el Cerro del Judío. Dicha construcción duró 4 años de 1983 a 1987. En el año de 1988 entró en operación la primera etapa del Ramal Sur con una longitud de 11 kilómetros y 4 metros de diámetro, los materiales básicos fueron el concreto lanzado con algunos marcos de acero en forma de herradura, la excavación se llevó a cabo con el método rústico. Así la primera fase se localiza en su mayoría en las delegaciones Cuajimalpa y Magdalena Contreras, cabe mencionar que sus estructuras complementarias están formadas por sifones, tanques de almacenamiento y líneas de derivación. La segunda etapa del Ramal Sur tiene una longitud de 33 kilómetros y llegará a la inmediaciones de Milpa Alta, de los cuales se encuentran en proceso de construcción 11 kilómetros quedando pendientes por realizar alrededor de 22 kilómetros, mismos que se proyecta realizarlos a un mediano plazo. Al mismo tiempo se construyen obras de infraestructura que en forma conjunta permitirán mover caudales del poniente al oriente,

beneficiando a la delegación Iztapalapa y municipios de Nezahualcoyotl y Chalco.

Para resolver el problema que constituye el abastecimiento distribución del agua potable, a corto y largo plazo, la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica en el año de 1983 encargo a I.P.E.S.A. un estudio con el título: "Desarrollo Integral del Sistema de Agua Potable" de donde se deduce la necesidad de trabajar a nivel de proyecto ejecutivo las obras correspondientes al acueducto perimetral, infraestructura necesaria para la recepción de aguas provenientes de los sistemas Cutzamala, Alto Amacuzac y las correspondientes al Lerma.

La D. G. C. O. H., ha construido la primera etapa del acueducto perimetral del Distrito Federal denominado "Acuaférico", en su primera parte, que contempla desde el túnel Analco-San José hasta la trifurcación Cerro del Judío. La segunda etapa del proyecto cruza por las colonias San Bernabe Ocoatepec, Vista Hermosa, El Rosal Alto, El Rosal Bajo, Potrerillo, La Carbonera, El Ejido de Totolapan, Pedregal Chichicarpa, Dos de Octubre, Cuchilla de Padierna, Lomas de Belvedere. También cruza los cauces de los ríos Texcalatlaco, Providencia y Magdalena, este último ubicado en el parque nacional de los Dinamos y el psrque nacional del Ajusco.

El trazo del proyecto se inicia en el portal de salida del túnel "Plateros-Crucero 2-Cerro del Judío", ubicado en la margen izquierda del río Texcalatlaco, el cual delimita las delegaciones Alvaro Obregón y Magdalena Contreras, con un sifón de 88.54 m. de longitud integrado por dos tuberías de acero de 2.51 m. de diámetro.

El portal de entrada del Túnel 1 se ubica en la estación 0+115.24, la longitud del túnel es de 2 939 m. El conducto es de sección circular de 4 m. de diámetro, el cual atraviesa el Cerro del Judío ubicado en la Delegación Magdalena Contreras. El portal de salida se encuentra en la estación 3+054.24. En ese punto se inicia la estructura distribuidora de

gastos que se ubica en la ladera sureste del Cerro de las Tres Cruces, de donde parte la derivación Línea Picacho.

El portal de entrada del túnel 3 está en la estación 4+283.91 a la elevación 2 560.37 msnm, la longitud del túnel es de 2 720.53 m., se ubica en el Ejido de San Nicolás Totolapan, en los límites de las delegaciones Magdalena Contreras y Tlalpan, el túnel termina en la estación 7+004.44.

En la estación 7+008.94 se tiene el eje de una lumbrera de sección circular de 8.00 metros de diámetro, con una altura de 67 metros, ubicada en la colonia Ejidal El Pedregal, se tiene una longitud de liga del túnel con la lumbrera de 9.00 metros entre las estaciones 7+004.44 a 7+013.44, cuyo piso está a la elevación 2 555.50 msnm. El túnel 4 inicia en la estación 7+013.44 a la elevación 2 557.629 msnm. la longitud del túnel es de 3580.86 metros, se ubica en la colonia Ejidal El Pedregal y el Parque Nacional del Ajusco, el portal de salida está en la estación 10+594.3 . En este punto inicia la estructura distribuidora de gastos la cual termina en la estación 10+564.98. Esta estructura alimentará a los tanques 1 y 2 de la línea de conducción superficial del acuaferico y 3 y 4 de la primera derivación cuya capacidad de almacenaje total es de 100,000 metros cúbicos. A partir de la salida de los tanques 1 y 2 se inicia la línea de conducción superficial del acuaferico que partirá con cadenamiento 10+821.306 y consta de tubería de concreto de 1.83 metros de diámetro, un tanque de almacenamiento de 25,000 metros cúbicos de capacidad y una línea de 1.22 metros de diámetro, aguas abajo de este tanque; esta línea tiene una longitud de 2 936.411 metros.

II.2 INVESTIGACIÓN DEL SUELO.

II.2.1 Objetivos del estudio geotécnico.

Con un análisis previo de la información existente y de un reconocimiento preliminar se propuso un programa de perforaciones y de exploración geofísica a lo largo del eje del túnel.

- Conocer las características geológicas de las formaciones aflorantes en el área de estudio, así como la relación existente entre ellas.
- Determinar las características geológicas y la distribución de las unidades litológicas en que se excavarán los túneles.
- Conocer las propiedades físicas y mecánicas de los distintos materiales que atravesará el túnel.
- Prever los posibles problemas que se presentarán durante la excavación del túnel.

II.2.2 Información preliminar.

Lo primero que se hizo fue una recopilación y análisis de la información geológica, fotográfica y cartográfica existente. Se obtuvo un informe, con planos topográficos escala 1:10,000, perfiles topográficos de los túneles 1:20,000 y fotografías aéreas verticales a escala 1:8,000.

II.2.3 Geología superficial.

Para hacer el estudio de la geología superficial se hizo una fotointerpretación geológica a lo largo de los ejes de los túneles, y cubriendo 1 kilómetro de ancho, para hacer la verificación en campo fue necesario hacer recorridos detalladas en la zona.

II.2.4 Geología del suelo.

Apoyados en el programa de exploración propuesto el estudio de la Geología del suelo se efectuó por medio de perforaciones verticales en diámetro NX y sondeos geoelectricos verticales.

II.2.4.1 Perforaciones.

Para determinar de una manera directa las condiciones geológicas y geotécnicas de las rocas al nivel del túnel se hizo un programa de perforaciones con recuperación continua de núcleos. Después de realizados los trabajos de perforación se hace una interpretación de los resultados y se realiza un perfil geotécnico, en este caso se hicieron tres perfiles geotécnicos integrados y un perfil litológico individual de cada sondeo.

II.2.4.2 Sondeos eléctricos verticales.

Una vez avanzados los trabajos de perforación fue necesario realizar sondeos geoelectricos que apoyados con la información directa de los núcleos permitirán correlacionar los contactos geológicos y tener de esta manera un mejor conocimiento de las unidades litológicas que están en el eje del trazo.

II.2.4.3 Pruebas de laboratorio.

De los núcleos extraídos de las perforaciones, se seleccionaron muestras representativas de las rocas duras y compactas que serán cortadas durante la excavación del túnel. A dichas muestras se les sometió a pruebas de laboratorio con la finalidad de inferir su comportamiento mecánico, determinándose su densidad, resistencia a la compresión simple, módulo de elasticidad y relación de Poisson. Los resultados de dichas pruebas se presentan en la tabla II.2.4.3.1.

II.2.5 Fisiografía.

La zona de estudio se encuentra en la parte sur occidental de la cuenca del Valle de México, forma parte del borde sur del eje Neovolcánico Transmexicano. Las unidades orográficas más importantes, aledañas a la zona estudiada son, la Sierra de las Cruces y la Serranía correspondiente al cerro de las Cruces. La Sierra de las Cruces es una cadena montañosa de dirección NNW-SSE que tiene elevaciones del orden de 3800 m., la cual está constituida por diferentes tipos de materiales volcánicos. El relieve, dentro de ciclo geomórfico de erosión corresponde a una zona en su etapa de madures y el drenaje que presenta es desarrollado e integrado. Al pie de la Sierra de las Cruces y del ajusco se presentan lomas de suave pendiente también formadas de materiales volcánicos, lavas, tobas y lahares y por depósitos fluvioglaciales, los cuales se muestran cortados y separados por algunas barrancas de poca profundidad. Hacia el borde sur-occidental de la Sierra de las Cruces se encuentra el cerro del ajusco formando un elevado macizo montañoso aislado, constituido por lavas muy erosionadas que se encuentran cubiertas, hacia el noreste por lavas y materiales asociados muy recientes de la formación Chichinautzin, éstos materiales conforman un relieve juvenil en su etapa inicial de disección, poco accidentado en proceso de formación por lo que no se muestran escurrimientos de importancia.

PERFORACION (SONDEO)	TUNEL	CADENAMIENTO	HERRAMIENTA DE MUESTREO	PROFUNDIDAD TOTAL (M)
SA-1	1	0 + 244.291	SH, P, NXL	80.00
SA-2	1	0 + 380	SH, P, NXL	100.75
SA-3	1	0 + 931	SH, P, NXL, NQ-ML	130.00
SA-4	1	1 + 366.041	P, D, NXL, NQ-ML	90.00
SA-5	2	3 + 441.326	P, NXL	70.00
SA-6	3-4	7 + 014.651	P, NXL	70.10
SA-7	4	8 + 307	P, NXL, NQ-ML, BQ-ML	130.10
SA-8	4	9 + 723	PCA, NXL, NQ-ML	95.00
SA-9	3	4 + 360	SH, P, NXL	59.60
SA-10	1	0 + 600	SH, P, D, NXL, NQ-ML	191.10
SA-11	1	2 + 620	P, SH, D, NV3	67.25
SA-12	3	4 + 620	P, SH, NXL	49.75
SA-14	3	6 + 000	P, NXL	55.10
SA-15	3	6 + 570	P, SH, NXL	55.20

PCA: Pozo a Cielo Abierto
 SH: Tubo Shelby
 D: Barril Denison
 P: Penetrómetro (tubo liso)

NXL: Barril Muestreador NXL
 NQ-ML: Barril Muestreador NQ Wire Line
 BQ-ML: Barril Muestreador BQ Wire Line
 NV3: Barril Muestreador NV3 (triple tubo)

TABLA II.2.4.3.1 PRUEBAS DE LABORATORIO.

II.2.6 Geología.

Afloran en la región rocas volcánicas, las cuales constituyen la formación de Las Cruces, Tarango y Chichinautzin, y algunos depósitos aluviales del cuaternario. En la zona poniente de la Sierra de las Cruces afloran derrames lávicos y pumíticas; también al pie de la sierra y hacia la zona de la barranca del Río Magdalena, en su margen derecha se encuentran materiales correspondientes a un abanico aluvial. En la zona sur del área de trabajo se encuentran lavas y escorias, de composición basáltica y materiales volcánicos que componen la formación Chichinautzin, los cuales fueron emitidos en tiempos históricos, por el volcán Xitle. Se presentan aluviones recientes en ambos márgenes de las corrientes principales y en las zonas planas ubicadas en las partes bajas de los lomeríos.

II.2.6.1 Estratigrafía.

En el área afloran formaciones de origen volcánico de carácter Intermedio constituidas por corrientes lávicas, brechas, tobas y aglomerados del terciario superior así como por productos volcánicos de carácter básico, coladas lávicas, tobas arenosas y escorias y depósitos aluviales del cuaternario. Las formaciones identificadas fueron Las Cruces, Tarango y Chichinautzin.

- Formación Las Cruces: La formación Las Cruces es el conjunto de rocas volcánicas que conforman a la Sierra de las Cruces y provienen de centros eruptivos relacionados y alineados a lo largo del eje de la sierra. La formación está constituida en la parte inferior por lahares, brechas, y tobas epiclásticas, de composición principalmente andesítica con intercalaciones de lavas de la misma composición y la parte superior está compuesta básicamente por derrames de lavas andesíticas. Esto puede considerarse como localidad tipo en la parte inferior de la Barranca del Río Magdalena. En el Cerro del Judío hasta el arroyo Chichicaspa con las perforaciones efectuadas se identificaron unidades litológicas: Andesitas,

tobas conglomeradas, brechas de bloques, lahares, tobas arenosas y tobas y escorias.

- Formación tarango: Su formación debe a fenómenos volcánicos, aluviales y aluviolacustres, cuyos productos se depositaron al pie de la Sierra de Las Cruces. La formación Tarango es un conjunto estratigráfico regular, irregular y hasta lenticular. Este es el material predominante desde el Cerro del Judío hasta la lumbrera.

- Formación Chichinautzin: Esta formación fue a causa de las erupciones del volcán Xitle y de la Sierra Chichinautzin. La formación está compuesta por coladas lávicas, escorias y materiales relacionados, principalmente de composición basáltica. La formación cubre un 50% del área estudiada desde la parte media del túnel 3 hasta el portal del túnel 4.

II.2.6.2 Exploraciones del suelo.

Con el fin de determinar las características geológicas y geotécnicas a lo largo del túnel se hicieron perforaciones con máquina con muestreo continuo y sondeos geoeléctricos.

II.2.6.3. Perforaciones exploratorias.

Para poder determinar las características geológicas y geotécnicas de las rocas al nivel del túnel se hicieron 14 perforaciones exploratorias con máquina rotatoria en diámetro NX. Los resultados de dichas perforaciones se muestran en la tabla II.2.6.3.1.

La recuperación que se obtuvo fue de mala a muy buena dependiendo del tipo de material que se perforaba, por ejemplo en las andesitas, basaltos compactos y en la toba conglomerática la recuperación fue de muy buena a excelente, mientras que en los demás materiales fue de prácticamente nula a regular, a causa de la ausencia de cemento o por la poca compactación del material. Para la descripción geotécnica de las muestras extraídas durante la perforación se siguió la secuencia

propuesta por la Geological Society Engineering Working Group (1970) de Londres, en el cual se recomienda lo siguiente:

1. Descripción litológica.
2. Estado de alteración.
3. Discontinuidades.
4. Porcentaje de recuperación e índice de calidad de roca.

Para la descripción litológica se hizo lo siguiente:

- Nombre de la roca.
- Color.
- Textura.
- Estructura.
- Estado de alteración.
- Grado de cementación.
- Resistencia de la roca.

Para las unidades blandas cuyo comportamiento se identifica más a los suelos que a las rocas se utilizaron además los conceptos de cohesión y consistencia.

Para la clasificación del macizo rocoso se utilizó el de la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (1977).

La clasificación se hizo de acuerdo a los siguientes puntos:

I. Sano: No hay signos visibles del intemperismo de la roca, pero puede haber una ligera decoloración en las superficies de las discontinuidades principales.

II. Levemente intemperizada: La decoloración indica el intemperismo de la roca y de las superficies de discontinuidades.

III. Moderadamente intemperizada: Menos de la mitad de la roca está descompuesta y/o desintegrada a suelo.

IV. Altamente intemperizada: Mas de la mitad de la roca está descompuesta y/o desintegrada a suelo.

V. Completamente intemperizada: Todo el material rocoso está descompuesto y/o desintegrado a suelo. La estructura original del macizo continúa intacta.

VI. Suelo residual: Todo el material rocoso está convertido a suelo; el macizo rocoso y la fábrica del material está extruida, el material no ha sufrido transporte significativo.

La clasificación anterior sólo se utilizó para las andesitas y basaltos porque para otras unidades este parámetro es difícil de estimar.

Es muy importante tener la mayor información de las discontinuidades que afectan al macizo rocoso, en la construcción de túneles. Aunque sólo se hayan realizado para las andesitas y basaltos porque para las demás unidades no se pudo hacer por su bajo grado de cementación y compactación. En los núcleos obtenidos de cada perforación se obtuvo la inclinación de las estructuras, rugosidad, alteración y resistencia de sus paredes, tipo de relleno en caso de que lo tuviese y tipo de filtraciones de agua a lo largo de las fracturas, también se calculó la densidad de fracturamiento por medio de perforación. De los núcleos también se determinó el porcentaje de recuperación, Índice de calidad de roca (RQD). El primer parámetro es una guía que puede dar idea del grado de cementación, compactación y fracturamiento de la roca. El RQD sirve para determinar la calidad de roca, el RQD y porcentaje de recuperación se calculó sólo para las andesitas, basaltos y tobas conglomeráticas bien compactas, para otras unidades estos parámetros son nulos o no son representativos.

Para correlacionar la información estratigráfica entre perforaciones directas, en los sitios donde se tenía duda o para determinar rasgos estructurales mayores y la calidad de la roca, se utilizó el método de exploración geoelectrónica, para lo cual se realizaron 32 sondeos geoelectrónicos verticales, 16 en el túnel 3 y el resto en el túnel 4. Para determinar las propiedades mecánicas de los materiales con los que se encontraron durante la exploración de los túneles fue necesario realizar pruebas de laboratorio a muestras de los núcleos recuperadas de las

perforaciones, las pruebas fueron de resistencia a la compresión simple, módulo de elasticidad y relación de Poisson y la densidad de la muestra.

SONDEO	MUESTRA	LITOLOGIA	RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE kg/cm ²	MODULO DE ELASTICIDAD kg/cm ²	RELACION DE POISSON	DENSIDAD g/cm ³
S1	M39	Andesita (Ta)	552.8	184,837.4	0.1448	2.41
S1	M67	Toba arenosa (Ttar)	—	—	—	2.24
S2	M35	Toba arenosa (Ttar)	121.1	24,058.4	—	2.09
S3	M75	Andesita (Ta)	577.3	168,186.4	0.1150	2.38
S3	M76	Andesita (Ta)	351.3	169,322.8	0.1734	2.35
S3	M78	Andesita (Ta)	375.5	194,138.0	—	2.31
S4	M65	Andesita (Ta)	739.2	260,079.0	0.1782	2.49
S4	M81	Toba conglomerática (Ttcg)	73.3	10,061.9	—	2.41
S4	M83	Toba conglomerática (Ttcg)	112.8	74,454.3	0.0948	2.15
S7	M54	Toba vitrea (Tte)	555.0	119,806.0	0.3157	2.29
S7	M59	Toba vitrea (Tte)	897.5	181,271.8	0.1980	2.43
S7	M80	Andesita (Ta)	1,228.9	245,786.8	0.1946	2.61
S7	M100	Andesita (Ta)	630.2	204,354.3	0.3015	2.47
S8	M60	Basalto (Qbe)	379.4	43,113.4	0.3183	2.63
S9	M52	Toba arenosa (Ttar)	—	—	—	2.01
S10	M106	Andesita (Ta)	379.4	137,463.0	0.3132	2.42
S14	M19	Basalto (Qbe)	427.1	1133,566.4	0.2279	2.34
S14	M20	Basalto (Qbe)	1,220.4	227,785.6	0.4596	2.72

TABLA II.2.6.3.1 SONDEOS EXPLORATORIOS.

II.3. GEOMETRÍA Y TRAYECTORIA.

La geometría de las secciones de un túnel, deberá diseñarse con líneas cuyo lugar geométrico esté bien definido, tratando de formar arcos y evitando al máximo las inflexiones. Deberán hacerse variar alternativas, seleccionando la que ofrezca mayor estabilidad y menor área de excavación.

Para diseñar su geometría se deberán tomar en cuenta los siguientes factores:

- a) El gasto
- b) El revestimiento primario y definitivo.
- c) El procedimiento de excavación
- d) Las características del suelo.

El tramo se inicia en la salida de la estructura de trifurcación con que finaliza la primera etapa con el sifón 1. El cadenamamiento se inicia en el portal de salida del túnel Plateros-Crucero 2-Cerro del Judío. Se revisó el comportamiento hidráulico del sifón 1 determinándose que a la salida se tiene, para un gasto total $Q_t = 21.365 \text{ m}^3/\text{s}$, un tirante $y = 2.56 \text{ m}$.

Sifón 1: El sifón 1 está constituido por dos tuberías de acero cada una de las cuales conducirá un gasto $Q = 10.678 \text{ m}^3/\text{s}$. Considerando el tirante en la salida de la estructura, las entradas al sifón, situadas a la elevación 2567.47 msnm, tendrán un diámetro de 80" (2.03 m) en un tramo de 3 metros de longitud, con el objeto de garantizar el sello de agua del acceso; en una longitud de un metro se tendrán ampliaciones a un diámetro de 99" (2.52 m), condicionado a conservar una separación de 1 metro entre los paños de ambas tuberías; el sifón continuará con tubería de 3.51 metros hasta la salida en la estación 0+105.24 y de acuerdo con la carga disponible y las pérdidas a lo largo de la conducción a la elevación 2566.5 msnm.

Estructura de transición Sifón-Túnel: Con el objeto de que el tránsito de las dos secciones circulares de 99" del sifón a la sección circular de 4.00

metros del túnel se realice en las mejores condiciones hidráulicas posibles, esta estructura se diseño de 4.00 metros de altura y en base a media-caña, que permitan modificar las secciones de manera suave pero progresiva y constante en una longitud de 10.00 metros y con una pendiente en el piso $S = 0.001$ que permita la rápida normalización del flujo.

Túnel 1: Mediante un programa se determinó el tirante crítico en sección circular para la $Q_t = 21.36$ metros resultando ser $y_c = 1.53$ m. Con otro programa se determinó el tirante normal para las mismas condiciones, resultando ser $y = 2.46$ metros lo cual hace ver que el flujo en el túnel tendrá un régimen lento.

El portal de entrada del túnel número uno se tiene en la estación 0+11524 y a la elevación 2566.486 metros, donde se tiene un tirante $y = 2.498$ m, alcanzando el tirante normal en una distancia $L = 23.491$ metros. El portal de salida se tiene en la estación 3+054.24 y a la elevación de 2563.541 msnm.

Estructura distribuidora de gastos: Se diseño una estructura de 4.00 metros de altura con las siguientes condiciones: Transición de sección circular de 4.00 metros de diámetro a sección rectangular de cuatro metros de ancho de plantilla, en una longitud de 4.00 metros. Con el objeto de tener una sección que permita el acceso a los conductos del sifón, se diseño una ampliación parabólica que en una longitud de 3.00 metros proporciona un ancho de plantilla de 6.56 metros. Para poder dar lugar a una derivación de 60" (1.524 m.) de diámetro, y a un desfogue de 48" (1.219 m.) de diámetro (los cuales serán controlados con compuertas deslizantes), se conservó la sección máxima alcanzada a una longitud de 2.00 metros. El acceso a los conductos del sifón se realizar mediante dos secciones rectangulares de 2.00 metros de ancho de plantilla en una longitud de 6.00 metros (lo cual permitirá la instalación de compuertas radiales de 2.00 m. por 3.00 m para control) separados por una pila de 1.00 metro de ancho. Sobre esta zona se localizará el puente de maniobras para operación de los controles mencionados. La estructura

tendrá entonces una longitud total de 15.00 metros y el piso será horizontal quedando ubicado entre las estaciones 3+054.24 y 3+069.24 y a la elevación de 2563.547 msnm.

Sifón 2: Dado que el planteamiento del sifón 1 se consideró tipo, se aplica en este otro. El sifón 2 se inicia en la estación 3+069.24 y a la elevación 2563.547 msnm. y termina en la estación 3+367.24 y a la elevación 2562.151 msnm.

La estructura de transición sifón túnel es igual a la estructura túnel sifón.

Túnel 2: El portal de entrada del túnel 2 se tendrá en la estación 3+377.24 y a la elevación 2562.141 msnm. El portal de salida se tendrá en la estación 4+055.00 y a la elevación 2561.456 msnm. La distribución de gastos a la salida del túnel 2 se realizará mediante la estructura descrita anteriormente.

Sifón 3: Esta estructura es igual a la del sifón 1 y 2. La transición del sifón 3 se inicia en la estación 4+055.00 a la elevación 2561.465 msnm. y termina en la estación 4+280.00 y a la elevación 2560.367 msnm.

Túnel 3: El portal de entrada del túnel 3 se tendrá en la estación 4+283.91 a la elevación 2560.373 msnm. El túnel 3 termina en la estación 7+004.94 y a la elevación 2557.654 msnm.

Lumbrera: En la estación 7+008.94 se localizará el eje de una lumbrera vertical de 8.00 metros de diámetro libre con una altura de 67.50 metros desde el arrastre hasta el terreno natural.

En cuanto se relaciona con el túnel, se tendrá una estructura consistente en una media caña de 4.00 metros de diámetro que a margen derecha se irá tendiendo hasta ser plana para dar lugar a un carcamo de sección cuadrada de 2.00 x 2.00 y 2.00 metros de profundidad, en previsión de futuras instalaciones de bombeo para el abastecimiento de las zonas altas. La estructura tendrá una longitud de 9.00 metros y su piso estará

horizontal a la elevación 2557.605 metros y su inclusión entre los túneles 3 y 4 no afecta significativamente el funcionamiento hidráulico del túnel.

Túnel 4: Se inicia en la estación 7+012.94 y a la elevación 2557.642 msnm. El portal de salida se tendrá en la estación 10+595.19 y a la elevación 2504.045 msnm. La distribución de gastos a la salida del túnel 4 se realizará mediante la estructura descrita anteriormente.

Líneas de alimentación a los tanques: A partir de la estación 10+564.98 y a la elevación 2554.108 msnm. se iniciarán las líneas de alimentación a los tanques del sistema de almacenamiento.

La figura II.3.1 muestra el croquis de localización del acueducto.

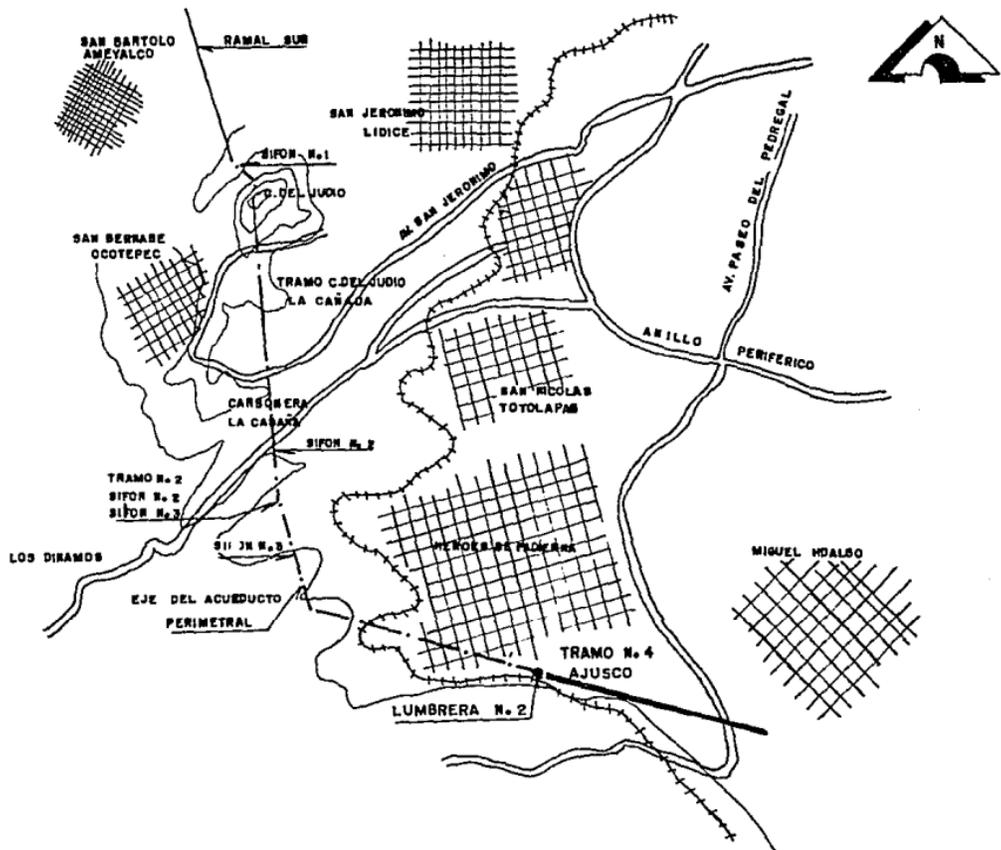


FIG. II.3.1 CROQUIS DE LOCALIZACION

CAPÍTULO III

LUMBRERA.

III.1 INSTALACIONES EN SUPERFICIE.

De la planeación en el proyecto del túnel es necesario prever el área necesaria para las instalaciones en superficie, así como su distribución. Esta área deberá considerarse en el momento de planear la localización de la lumbrera de acceso, tomando en cuenta el espacio que requieran las instalaciones.

Las instalaciones que se requieren son:

- Para el equipo de rezaga:
 - Torre de manto
 - Malacate
 - Entrada y salida de camiones de rezaga

- Plantas:
 - De luz
 - De bombeo
 - De compresores
 - De concreto.
 - Habilitado de marcos metálicos.

- Administrativas
 - Almacén
 - Oficinas

**Dormitorios
Comedor.**

La superficie requerida en cada lumbra de depende de la operación.

III.2 ANTECEDENTES.

Lumbrera de acceso: La lumbrera es el punto de acceso, constituye el punto de inicio de un túnel y su distribución a lo largo del trazo depende de varios factores como: Programa de obra, la disponibilidad de área en la superficie, posibilidad de afectación, el perfil del túnel, perfil estratigráfico y el procedimiento de excavación. El diámetro de cada lumbrera depende del procedimiento de excavación, del equipo que deberá pasar a través de ella y de las instalaciones con que toda la obra subterránea debe contar.

Localización de la lumbrera. En la estación 7+008.94 se tiene el eje de una lumbrera de sección circular de 8.00 m de diámetro con una altura de 67.5 m, ubicada en la colonia Ejidal del Pedregal, se tiene una longitud de liga del túnel con la lumbrera de 9.00 m entre la estación 7+004.44 y 7+013.44 cuyo piso esta a la elevación 2557.605 msnmm.

III.2.1 Finalidad de la lumbrera.

La finalidad de la lumbrera es poder introducir los equipos necesarios para la excavación como son las barrenadoras, bajar las instalaciones necesarias el equipo de barrenación, rezaga producto de la excavación de los túneles No 3 y 4 correspondientes al acueducto perimetral, tramo Cerro del Judío 2a. derivación, y además se avanza en la excavación por dos frentes lo que permite tener un mayor avance.

III.2.2 Instalaciones en la lumbrera.

Las instalaciones en la lumbrera y que pasaran por ella para poder realizar la obra son:

- Escalera de emergencia
- Calesa de personal
- Tubería de ventilación

- Bote de rezaga
- Tubería de aire comprimido
- Tubería de agregados
- Ductos eléctricos.
- Tubería de agua.

III.3 CONSTRUCCIÓN DE LA LUMBRERA.

La construcción de la lumbrera se hizo de acuerdo a las siguientes condiciones:

- Condiciones estratigráficas. De acuerdo con la información obtenida de la exploración geofísica y con los resultados obtenidos del sondeo directo cercano a la lumbrera se determinó el terreno en el cual se alojará la misma.

- Proyecto: Desde el terreno natural y siguiendo una configuración casi paralela a este se localiza un estrato de roca basáltica con espesor de 7.5 m y de acuerdo a las muestras extraídas del sondeo se obtuvo que se tiene un RQD variable de 60 y 95%, subyaciendo a este material se ubica un estrato de 4.5 m de espesor constituido por escoria basáltica no cementada la cual tiene un RQD que varía de 0 a 30% con una recuperación de muestra comprendida en 15 y 35% después de la escoria basáltica continúa hasta los 35 m una toba areno-limosa su consistencia blanda a firme con lentes.

III.3.1 Trabajos preliminares.

Fue necesario colocar cerca de la zona de la lumbrera instalaciones y equipos para la construcción de la misma, fue necesario construir una terraza mediante una excavación a cielo abierto. Para iniciar la excavación de la terraza y la construcción de las cunetas y contracunetas necesarias para controlar el flujo de escurrimientos pluviales. Ya definidas las dimensiones del área de trabajo se procederá a la construcción de contracunetas perimetrales. Después de terminada la excavación para la construcción en las contracunetas se hará el revestimiento que debe ser de concreto hidráulico con 10 cm de espesor y reforzado con una malla metálica. Ya construidas las contracunetas se inicia la excavación de la zona donde se ubicarán las instalaciones requeridas para la construcción de la lumbrera. Cuando se haya llegado

al nivel máximo de excavación del área establecida para la instalaciones, se construirán las cunetas laterales.

III.3.2 Excavación.

El ciclo de excavación de la lumbrera consiste en las siguientes actividades:

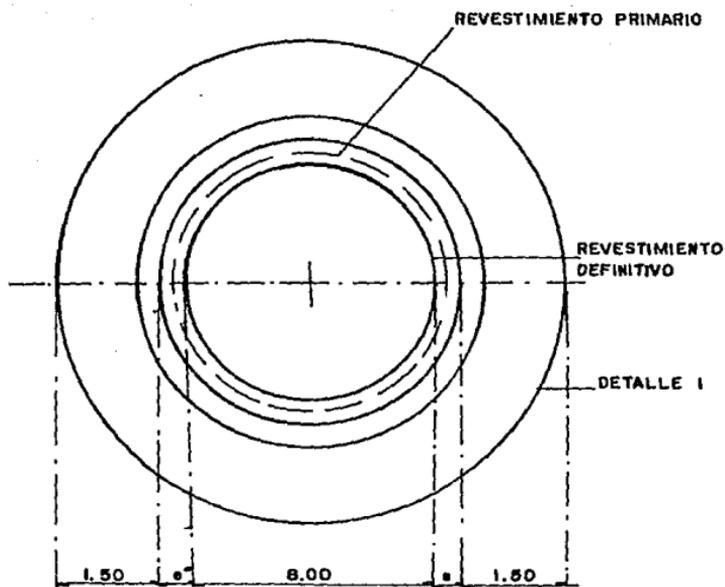
- 1.- Trazo.
- 2.- Barrenación.
- 3.- Limpieza de los barrenos.
- 4.- Carga y conexión.
- 5.- Detonación.
- 6.- Rezagado.
- 7.- Colocación de soporte primario.

El procedimiento constructivo que se utilizó en la lumbrera que sirvió de acceso a los túneles 3 y 4 del acueducto perimetral es el de excavación por etapas, este método se utilizó porque no hay riesgo de falla de fondo, en este caso el avance era de 3 metros y revestir lo excavado para formar la estructura de reforzamiento (revestimiento primario) que soporte las paredes. Por lo tanto el procedimiento consiste en una excavación de un túnel vertical, que avanza de arriba hacia abajo y las paredes son soportadas por marcos metálicos y retaque de madera, concreto lanzado solo o con anclas.

Después de construida la terraza se define el trazo de la lumbrera sobre el terreno.

Para iniciar la excavación de la lumbrera se hará una primera etapa, excavando dos metros y medio de profundidad con el objeto de construir los faldones del brocal, el cual será colocado por medio de una cimbra apoyada contra el fondo de la excavación. La excavación para construir el brocal se inicio con pala, como se encontró una estrato de material muy suelto se optó por realizar la excavación para el brocal por medio de un

tractor, y el proceso que se utilizó para el rezagado fue el siguiente: con una draga de arrastre se saca el material del área de excavación y con la misma draga se llenan los camiones de volteo para que lleven la rezaga a los sitios de tiro. La rama horizontal del brocal (alero) estará constituida por una pequeña losa la cual servirá para que el equipo de construcción pueda rodar libremente, sin peligro de que posteriormente se produzca algún caído hacia el interior de la lumbrera. Este brocal se construirá únicamente en el perímetro exterior. Su sección se observa en la fig. III.3.2.1.



PLANTA

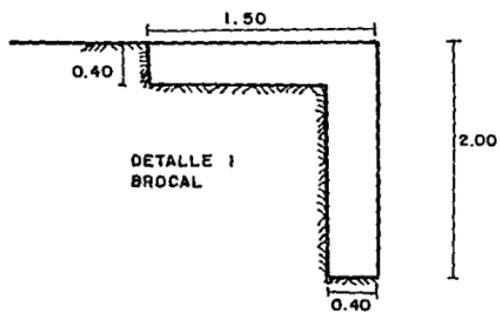


FIG. III 3.2.1 BROCAL

Para el colado del brocal se colocó primero el acero de refuerzo con $f_y = 3600 \text{ kg/cm}^2$ que formaría los faldones, el armado del los faldones se hizo con dos parrillas de acero (ver fig. III.3.2.2) como cuando se trata de muros, pues en realidad la función del brocal y los faldones es mantener la estabilidad del material durante la construcción de la lumbrera evitando que por el movimiento de los equipos que están fuera trabajando se produzca algún derrumbe. La separación de el acero longitudinal y transversal es de 15 cm. Se utilizó cimbra común de madera y se coló con concreto premezclado con $f_c = 250 \text{ kg/cm}^2$.



FIG. III.3.2.2 ARMADO EN FALDONES.

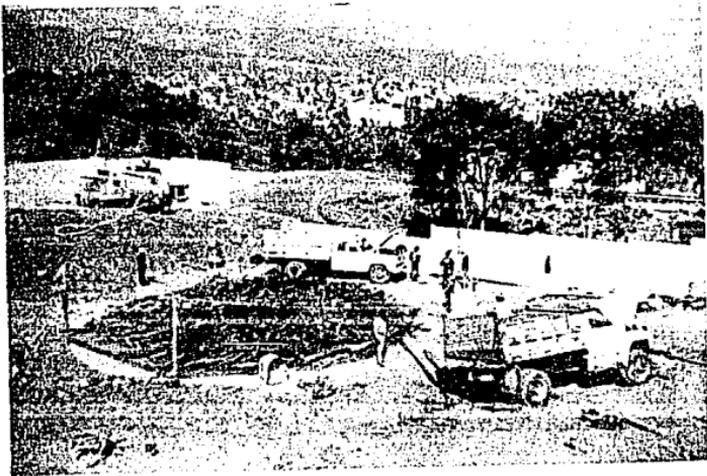
Ya construido el brocal se iniciará la excavación para la construcción de la lumbrera; la excavación será a cielo abierto por etapas. La profundidad máxima de excavación para cada etapa será de 3.00 metros y después de cada avance se deberá colocar el revestimiento primario (ver fig. III.3.2.3).



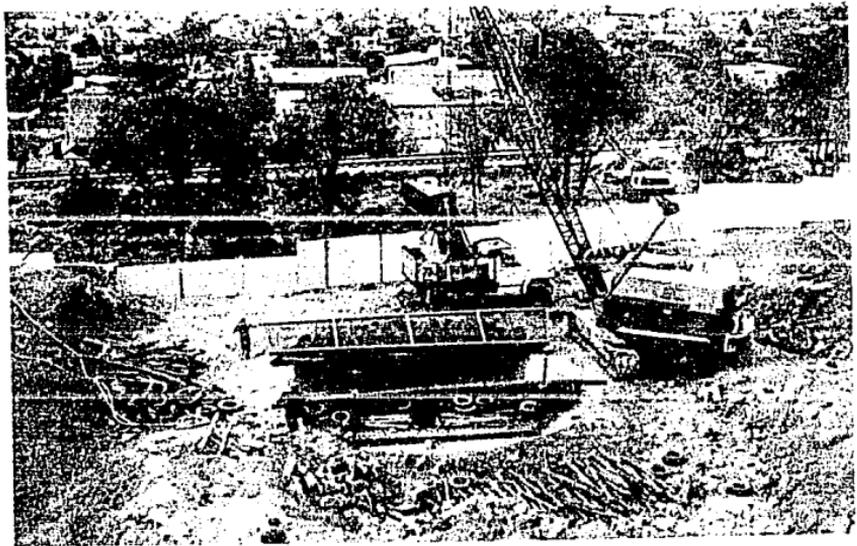
FIG. III.3.2.3 EXCAVACION EN LUMBRERA.

Para realizar la excavación del túnel vertical se utilizaron perforadoras neumáticas y explosivos.

Para la protección de las zonas que se encuentran alrededor de la lumbrera se hicieron unas rejas que se colocaron sobre la parte superior de la lumbrera para cubrir el túnel, estas rejas eran cerradas cuando se producía la voladura, las rejas se cubrían con troncos y llantas, para evitar que el material lograra levantarlas y evitar de esta manera algún accidente (ver figs. III.3.2.4 y 5).



FIGS. III.3.2.4 y 5 SIST. DE PROTECCION.



Barrenación: La barrenación consiste en hacer una serie de barrenos (agujeros) en el frente de excavación que posteriormente son cargados con explosivos. La etapa de barrenación se inicia desde que se empieza a perforar el primer barreno hasta el momento en que se termina el último. La excavación a lo largo de toda la trayectoria de la lumbrera fue a sección completa. Los factores que determinan el diámetro de los barrenos son: el área de la sección de excavación y la calidad de la roca. El diagrama de barrenación representa la forma y la manera de como se va a realizar la barrenación.

El diagrama de barrenación utilizado en la construcción de esta lumbrera fue el que se muestra en la figura III.3.2.6.

El diagrama de barrenación se compone de la siguiente manera:

- 5 barrenos de cuña.
- 8 barrenos ayudantes.
- 38 barrenos de contorno.
- 26 barrenos de radio.

El número de barrenos para cada sección depende del tipo de material que se encuentra en el momento de hacer la barrenación. En el diagrama de barrenación son muy importantes los barrenos de cuña y los barrenos ayudantes, ya que su función es generar un espacio vacío para que el material producto de los barrenos restantes tenga donde alojarse, además de que se pretende que la energía liberada por la voladura empuje el material al centro de la lumbrera.

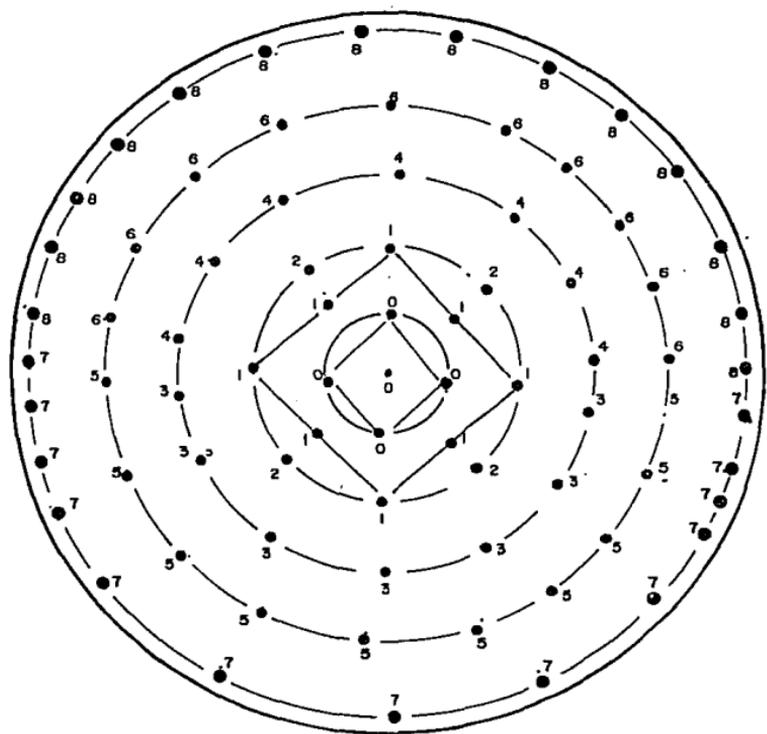


FIG. III.3.2.6. PLANTILLA DE BARRENACION EN LA LUMBRERA

Después de que ya se tiene el diagrama de barrenación se elige el equipo de perforación, con el cual se podrá determinar la velocidad de penetración en función de:

- el diámetro de la broca.
- peso de la perforadora.
- presión de aire de la perforadora.

En este caso la maquinaria utilizada fue:

- Perforadoras neumáticas.
- Compresores de aire.

Limpieza de los barrenos: Después de la barrenación, lo que se hace es limpiar los barrenos mediante aire comprimido, los barrenos se soplean con el fin de que no queden recorte intermedios o agua, los cuales restarán eficiencia al cargar el explosivo y a la voladura.

Carga y conexión: Cargar es colocar los explosivos en los barrenos, enseguida se hace la conexión entre barreno y barreno. Para la carga de los barrenos se utilizaron hidrogeles y se confinaron con mexamon. Las ventajas de utilizar hidrogeles son:

- Se controla mejor la densidad del barreno.
- Mayor facilidad en el cargado el cual puede hacerse en forma manual.
- Reducción de gases tóxicos.
- Reducción del riesgo de propagación de un barreno a otro.
- Eliminación de dolores de cabeza que producen los productos a base de nitroglicerina.
- Excelente resistencia al agua.
- Rango amplio de densidades.
- Velocidades desde 3400 m/s hasta 6700 m/s.

Para la carga es muy importante el cebo. El cebo es la porción de carga que contiene el dispositivo de disparo. Se utiliza para iniciar la detonación de los explosivos. Para seleccionar el cebo se deben considerar los siguientes factores:

- Seguridad.

- Tamaño-el diámetro del cebo debe ser esencialmente igual a la del barreno.
- Velocidad y presión de detonación. El cebo debe tener una velocidad y presión de detonación no menor a los del explosivo que esta cebado.
- Resistencia al agua. El cebo debe tener mayor resistencia al agua que el producto que ceba. Debe ser sensible a la iniciación después del tiempo de exposición mínimo requerido.

Para la construcción de esta lumbrera se utilizaron estopines de tipo eléctrico con retardo ms. Los iniciadores eléctricos se dividen en:

- Instantáneos
- Retardo ms (milisegundos)
- Retardo acudet mark V (intervalo largo)
- Retardos permisibles
- Sismográficos.

Método de iniciación: Se llaman iniciadores a los artificios que se construyen a base de explosivos primario y que se utilizan para detonar los secundarios. Los explosivos primarios son los que por su elevada potencia y sensibilidad solamente se utilizan como iniciadores de grandes cargas de explosivos. Los explosivos secundarios son los de tipo comercial. Los artificios de iniciación tienen como finalidad proporcionar o transmitir la flama para iniciar una explosión, e iniciar las cargas de explosivos. El procedimiento de iniciación consiste en: Preparación de la carga, carga de los barrenos, conexión de los sistemas none1 a las líneas troncales del cordón detonante y preparar la detonación.

El estopín es un fulminante con un dispositivo de retardo. La composición del retardo inicia la carga primaria, la cual a su vez inicia la carga base. Las características mas comunes de los estopines son:

- Casquillo de aluminio.
- Alambre de cobre.
- Tapón Impermeable dieléctrico.
- Corriente mínima de disparo 0.25 A.
- Cargas: ignición, cebo, base.

- Puente con resistencia de 1Ω .
- Shunt o desviador.
- La corriente proveniente de la fuente de energía pasa por el puente fundiéndolo, el calor inicia la carga de ignición y ésta sucesivamente el cebo y la base.

Las características que el estopín debe cumplir por especificación son:

- Corriente mínima de disparo 0.25 A.
- Corriente de diseño 2.00 A/serie
- Corriente máxima 10 A.
- Tiempo máximo 40 ms.

La iniciación de un estopín se produce cuando hay la suficiente energía calorífica en el alambre del puente para elevar la temperatura de la pólvora de ignición a un nivel crítico, por lo tanto la corriente eléctrica que produce la energía calorífica debe estar por arriba de su nivel mínimo de fluencia por un período de tiempo. Existe un limitante, el arranque, el cual, es la falla del estopín por una energía calorífica excesiva ya sea en tiempo o en cantidad.

El diseño de voladuras con estopines debe hacerse obteniendo las resistencias y corrientes totales para el disparo. La fuente de energía debe ser capaz de suministrar el voltaje y la corriente.

En este caso los estopines se usaron de la siguiente manera:

Tipo barreno	No. Barrenos	Dist. al centro	No. estopín
Cuña	1	0.00 mts.	0
Cuña	4	0.30 mts.	0
Ayud.	8	0.80 mts.	1
Cont.	4	1.30 mts.	2
Cont.	7	2.30 mts.	3
Cont.	7	2.30 mts.	4
Cont.	10	3.30 mts.	5
Cont.	10	3.30 mts.	6
Radio	13	4.30 mts.	7
Radio	13	4.30 mts.	8

Los factores que van a afectar la separación de los barrenos en un diagrama de barrenación son:

- La relación de carga expresada en kg/m^3 , el diámetro del barreno y la densidad del explosivo.
- La presión y el esfuerzo cortante obtenidos en una voladura dependen de la magnitud y características de la carga explosiva, la plantilla de barrenación y el cebo utilizado.
- Los circuitos se pueden formar en: serie, paralelo, series en paralelo. El tipo de circuito se elige en base a la cantidad de barrenos.

Los medios para el disparo eléctrico son: líneas de corriente, máquinas explosoras de tipo generador o condensador.

Una vez formulado el circuito y previo a la voladura es necesario checar que el circuito está bien conectado, también se debe recordar que la corriente mínima de disparo de un estopín, es de 0.25 A, que el voltaje de la pila común es de 1.5 V, la resistencia del alambre del puente es de 1Ω . Se debe tener cuidado que en el frente de trabajo no existan corrientes eléctricas extrañas, por ejemplo naturales (rayos, estática,

galvánica), y debidas a acciones del ser humano (equipo eléctrico mal instalado, generadores, radiofrecuencias, corrientes inducidas magnéticas y electrostáticas).

Esquema de encendido: El encendido de una voladura consiste en que la secuencia establecida permita la salida de cada una de las áreas en que se divide la voladura. En el caso de la lumbrera la secuencia fue la siguiente:

- 1.- barrenos de cuña,
- 2.- barrenos ayudante,
- 3.- primer grupo de contorno,
- 4.- segundo grupo de contorno,
- 5.- tercer grupo de contorno
- 6.- barrenos de radio.

La secuencia anterior tiene como propósito despejar el área del centro de la lumbrera para que al detonar los siguientes barrenos la energía que se libera, empuje el material de adentro hacia afuera.

Cuando ya esta lista la conexión el paso siguiente dentro del ciclo es la detonación para lo cual se despeja todo el frente.

Rezaga: El equipo utilizado para retirar el material producto de la excavación consta de una draga de arrastre con cucharón de almeja y camiones de volteo.

Después de cada etapa de excavación se procede a colocar el revestimiento primario.

III.3.3 Revestimiento primario.

Se construye de la siguiente manera, se coloca concreto lanzado con un espesor de 5 cm. en seguida se pone una malla de 10-10-6-6 electroforjada, la cual se deberá traslapar 30 cm., cuando es necesario

hacer algún traslape. Después de colocada la malla se procede a colocar otra capa de concreto de 5 cm. de espesor (ver figs.III.3.3.1 y 2).

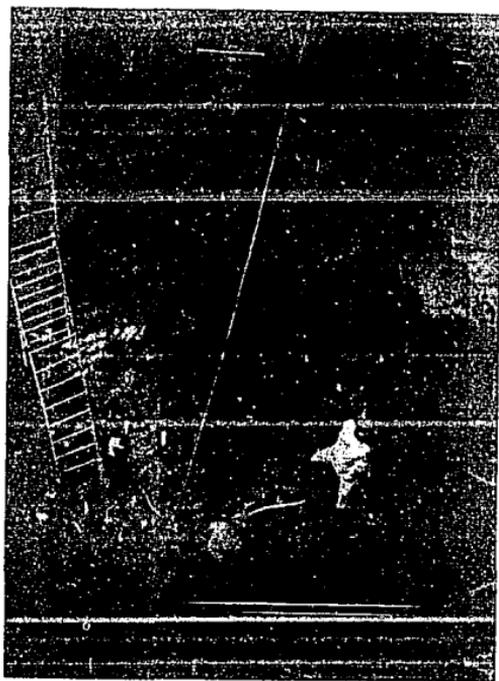


FIG. III.3.3.1 REV. PRIMARIO.

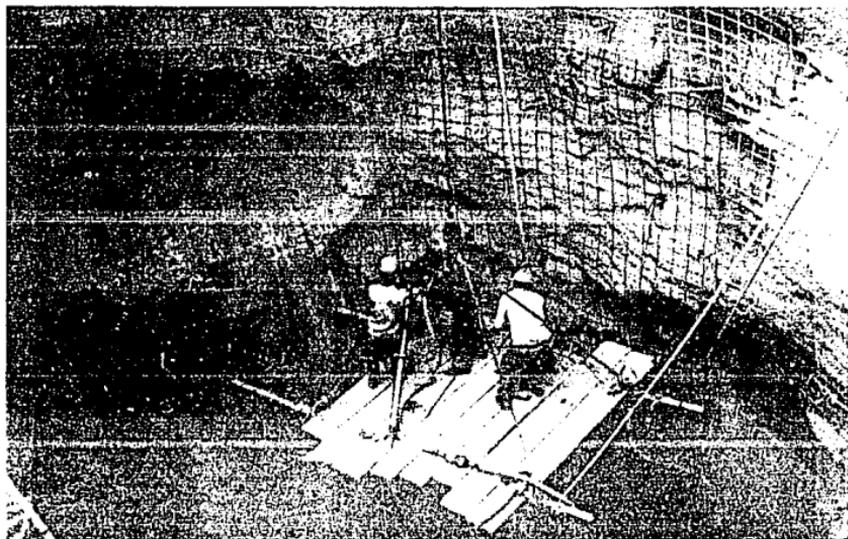


FIG. III.3.3.2. REVESTIMIENTO PRIMARIO.

III.3.4 Revestimiento definitivo.

El revestimiento definitivo se hace con un concreto hidráulico con $f_c = 250 \text{ kg/cm}^2$ para lo cual se requirió de una cimbra deslizante. Terminada la excavación y el revestimiento primario de la lumbrera se procede a colocar el acero de refuerzo. El armado se hace de la siguiente manera el acero transversal se coloca a cada 15 cm. y el acero longitudinal a cada 20 cm. a lo largo de la lumbrera.

Como ya se mencionó para el revestimiento se utilizó cimbra deslizante de madera, a base de duela, la longitud de la cimbra es de 1.2 m (ver fig. III.3.4.1). Para el proceso de colado se coloca la cimbra en el fondo de la lumbrera, y posteriormente se hace una estructura en forma de estrella, construida a base de perfiles de acero, la cual se apoyara en una columnas construidas sobre el alero del brocal. Sobre la estructura metálica se instala un sistema neumático al cual se conectan varillas que sirven de guía para que la cimbra deslice después de cada colado (ver figs. III.3.4.2 y 3). Ya instalada la cimbra se continúa con el colado para lo cual se requiere de un bote el cual se adapta a una grúa, para poder transportarlo al lugar donde se hará el colado; el bote tiene una capacidad de un metro cúbico, y en parte inferior tiene una puerta para que se facilite el proceso de vaciado (ver fig. III.3.4.4).

Vibrado: Para lograr que el concreto se compacte y no queden burbujas de aire se utilizan vibradores internos. El vibrado se realiza conforme se va llenando el espacio que queda en el terreno natural y la cimbra.

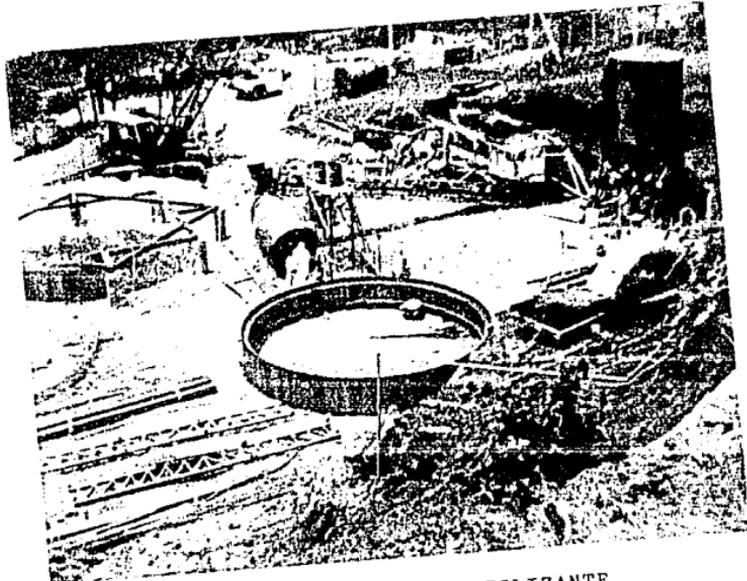


FIG. III.3.4.1 CIMBRA DESLIZANTE.

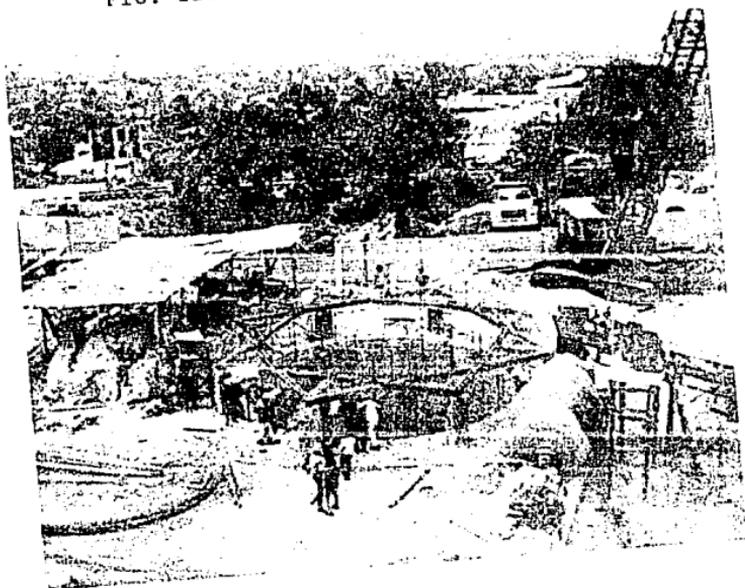


FIG. III.3.4.2 SISTEMA NEUMATICO.

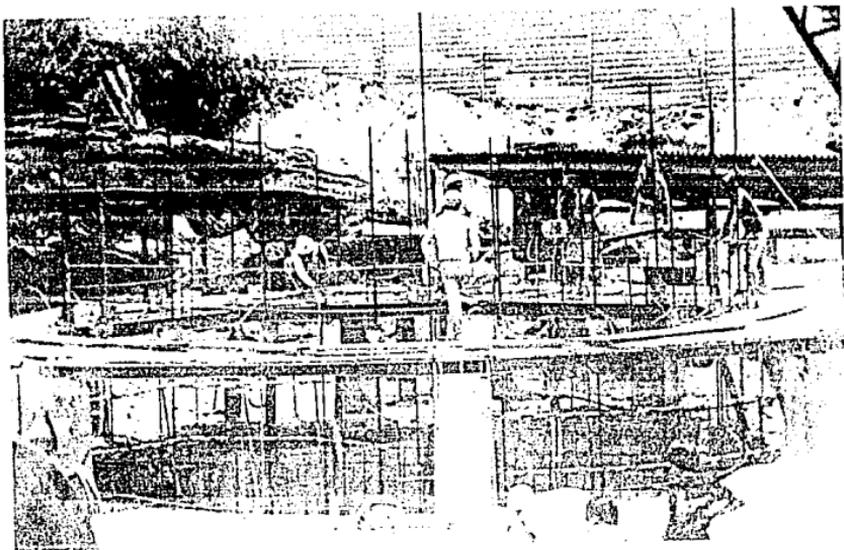


FIG. III.3.4.3 SISTEMA PNEUMATICO.

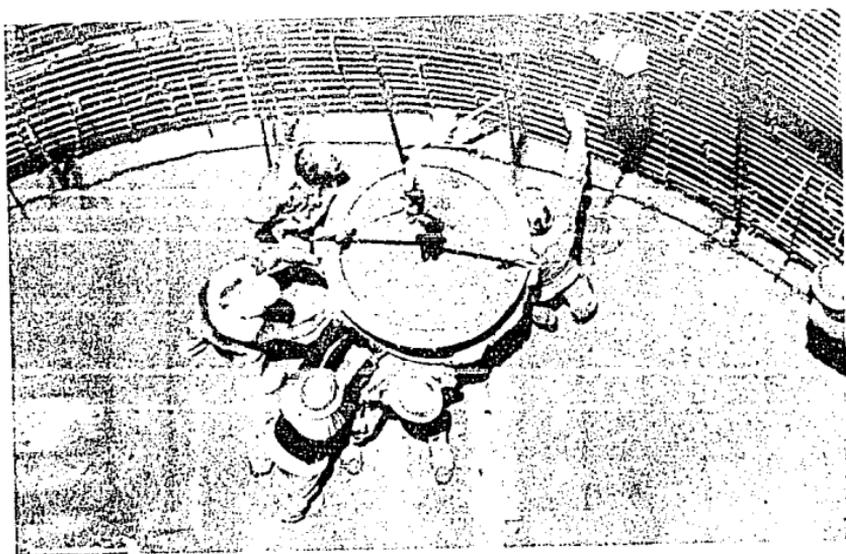


FIG. III.3.4.4 REVESTIMIENTO DEFINITIVO.

III.4 MAQUINARIA Y EQUIPO UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA LUMBRERA.

III.4.1 Introducción.

El equipo para ejecutar trabajo de construcción es una fuerza vital para la construcción pesada. La planeación de la producción para un proyecto dado se enfoca a menudo hacia la productividad del equipo misma que rige la cantidad de trabajo a entregar. Además la planeación financiera de una empresa constructora, siempre comienza a través de la inversión de un equipo que pueda hacer el trabajo al mínimo costo total. Hay otros factores significativos a considerar en la selección del equipo, que deben analizarse en cada selección y algunos de ellos son los siguientes:

1. Trabajo u operación específica a ejecutar.
2. Especificación de construcción.
3. Movilidad requerida por el equipo.
4. Tiempo programado para el trabajo.
5. Balanceo del equipo interdependiente.
6. Versatilidad y adaptabilidad del equipo a otros.
7. Efectividad del operador.

III.4.2 Descripción del equipo para la construcción de la lumbrera.

En la excavación, en la construcción de la plataforma y el brocal de la lumbrera se encontró que el material era muy suave por lo tanto la maquinaria que se utilizó para removerlo fue un tractor. El tractor es un vehículo con motor de gran tamaño y es una máquina que transforma la energía del motor a energía de tracción y esta diseñada principalmente para empujar o jalar. Este se encuentra montado sobre orugas para aprovechar la potencia del tractor en su mayor capacidad.

El equipo para la barrenación consta de perforadoras neumáticas de pierna y compresores. La elección del equipo de barrenación está determinado por:

- a) Características de la roca.

- b) Dimensiones de la sección de excavación.
- c) Longitud del túnel.
- d) Equipo disponible.
- e) Programa de construcción.
- f) Disponibilidad de mano de obra capacitada.
- g) Presión de aire.

Compresores: son máquinas destinadas a comprimir el aire o mezclas gaseosas a una presión superior a la atmosférica, son aparatos que absorben el aire de la atmósfera, para comprimirlo y enviarlo por mangueras a los diversos equipos y herramientas de perforación. El aspecto estructural que presentan estas máquinas, es el de una especie de caja redondeada en su parte superior que pueda ser parcial o completamente cerrada.

Perforadoras de pierna neumática: Estas son perforadoras neumáticas de barrenación, articuladas a un brazo o elemento auxiliar, que se diseña y acopla perfectamente a la pistola demoledora, para facilitar la perforación tanto en posición horizontal como vertical o inclinado hacia arriba. El elemento o brazo auxiliar consiste en un tubo alargado de acero, proporciona apoyo y avance automático a la perforadora, mediante una válvula de control que se dilata apropiadamente manteniendo en contacto a la broca con la superficie perforada.

CAPÍTULO IV

PROCESO CONSTRUCTIVO DEL ACUEDUCTO.

IV.1 PERFIL DEL EJE DE TRAZO.

Eje del trazo y perfil del eje del trazo: Para iniciar el trazo del eje se hace un levantamiento topográfico en la superficie, este consiste en una poligonal cerrada. Este trabajo se inicia partiendo de una base medida perfectamente y orientada por algún procedimiento astronómico con respecto al Norte Geográfico, esta base debe quedar bien definida por sus coordenadas absolutas. Para realizar la poligonal de apoyo se hace lo siguiente: Para determinar las elevaciones de cada uno de los vértices de la poligonal de apoyo, se realizó una nivelación diferencial, de un banco de nivel oficial a la zona y posteriormente obtener otra nivelación diferencial entre cada punto de poligonal establecido. El proceso para realizar la nivelación es el siguiente: se realiza una nivelación de ida con el primer vértice y posteriormente se hace la nivelación de cierre, esta nivelación de cierre se hace con el fin de comprobar que el desnivel que se obtuvo de ida esta dentro de la tolerancia.

Para verificar la tolerancia se utiliza la siguiente fórmula:

$$T= 0.005 (k)$$

donde

T: tolerancia en (m)

k: distancia entre bancos de nivel (km)

Para obtener la nivelación entre vértices, se utilizó la nivelación diferencial, con el mismo procedimiento antes mencionado, para el traslado de elevación a la zona donde están los puntos o vértices de la poligonal.

Cuando se efectuaron los levantamientos se tomaron como datos de campo los rumbos, azimutes, o ángulos de las líneas que conforman la poligonal, así como sus distancias correspondientes. De esta manera al dibujar la poligonal por medio de las coordenadas de cada uno de sus vértices se tendrá una mayor exactitud y precisión.

Para el cálculo de coordenadas se proyectan los lados de la poligonal sobre la línea meridiana magnética y el eje perpendicular a ella. Las coordenadas de un punto determinado son la suma algebraica de las proyecciones de los lados sobre los dos ejes hasta ese punto. En cualquier poligonal cerrada, la suma de proyecciones norte es igual a la suma de las proyecciones sur, y que la suma de las proyecciones oeste. En la poligonal cerrada la suma algebraica de las proyecciones sobre el eje Y debe ser igual a cero y la suma algebraica de las proyecciones sobre el eje X deber ser también igual a cero. Sin embargo, debido a los errores en las medidas de campo, en los ángulos y en las distancias, la poligonal no esta compensada. Cuando se ha determinado el error de cierre por medio de las proyecciones calculadas, se hacen las correcciones para que la poligonal forme una figura cerrada matemáticamente, las correcciones se aplican a las proyecciones sobre los ejes coordenados, de manera que su suma algebraica sea igual a cero.

Cuando se cuenta con la poligonal de apoyo, el trazo del eje del túnel se hace de la manera más conveniente, es decir buscando que la trayectoria del túnel sea lo más recta posible. Después de haber marcado el trazo del túnel en el plano y de haber realizado los cálculos necesarios para la ubicación del eje de proyecto, la información se manda a las brigadas de topografía para que los datos del trazo se marque en el campo, ubicando todos los componentes principales como son: P.I. (punto de inflexión),

P.C. (principio de curva), P.T. (principio de tangente), así como también el trazo de las cuerdas en las curvas. Al ir marcando los puntos del eje del túnel se hace simultáneamente el perfil del eje del túnel, el cual se hace con una nivelación de perfil, con la nivelación de perfil se unen los puntos marcados como: P.I., P.C., P.T., con ayuda de un tránsito y se marcan puntos a cada 20 metros entre cada P.I., P.C. Y P.T., los cuales servirán para iniciar la nivelación de perfil.

La nivelación de perfil es aquella en la cual es necesario ir determinando las cotas de los puntos intermedios cada determinada distancia, en este caso a cada 20 metros. Para poder realizar la nivelación de perfil se traza la línea del terreno cuyo perfil se desea determinar y sobre la línea se colocan estacas, las necesarias para ir realizando la nivelación. Cuando se tiene la información de la nivelación del perfil hecho por la brigada se manda a gabinete para realizar el plano del perfil con el cual se puede determinar el colchón que se desea tener sobre el túnel, es decir determina a que profundidad quedará el túnel, las cotas, la pendiente y la rasante hidráulica del túnel.

Ya determinadas las elevaciones del túnel, las cotas de todo el eje del túnel, las brigadas de topografía van al campo para que se comience el trazo interior del túnel y la excavación. Las brigadas de topografía apoyadas en los bancos de nivel y la poligonal obtienen por medio de una nivelación diferencial de ida y vuelta la cota a la cual se debe llegar para poder hacer el primer seccionamiento e iniciar con la excavación.

IV.2 CONTROL DE BANCOS DE TRABAJO.

Localización, nivelación y colocación de bancos: Se determinó como banco de partida el B.N. 16 localizado en el lado nororiente de la subestación eléctrica de San Nicolás Totolapan, Del. Magdalena Contreras. El banco de nivel no. 16 fue el apoyo para poder realizar los cálculos en gabinete de los bancos de nivel correspondientes a los números 16 al 31.

Nivelación preliminar: Primeramente se corrió una nivelación preliminar de ida y vuelta, casi paralela al acueducto, nivelándose solamente algunos tramos sobre el trazo debido a que se presentaron algunos obstáculos como bardas, construcciones, áreas con bastante vegetación y otros, que evitaron que la nivelación se hiciera por todo el eje del trazo. La equidistancia media a la que se colocaron los bancos es de 500 metros. En esta nivelación preliminar se colocaron 121 bancos auxiliares colocados en objetos fijos y con pintura de aceite, numerado cada uno de ellos en orden progresivo del 1 al 121. Esta actividad se realizó con la finalidad de colocar bancos auxiliares sobre una poligonal casi paralela a la línea del acueducto con localización muy próxima al sitio donde quedaría localizados los bancos definitivos.

En el banco de partida 16 localizado en la subestación eléctrica ubicada en el pueblo de San Nicolás Totolapan, iniciándose aquí el recorrido de la nivelación, el último punto de liga quedó a 100 metros aproximadamente del P.I. 8 localizado en la estación km 10+343.36. El regreso se realizó en sentido contrario por la misma ruta hasta llegar al banco de nivel inicial, desarrollando una longitud de 13 kilómetros.

Nivelación definitiva: Una vez aprobados los bancos auxiliares así como los puntos donde se alojaran los bancos de nivel definitivos, se corrió la nivelación final apoyada en dichos bancos. Ya con los bancos de nivel definitivos, periódicamente se verifican para estar seguros que no se han movido.

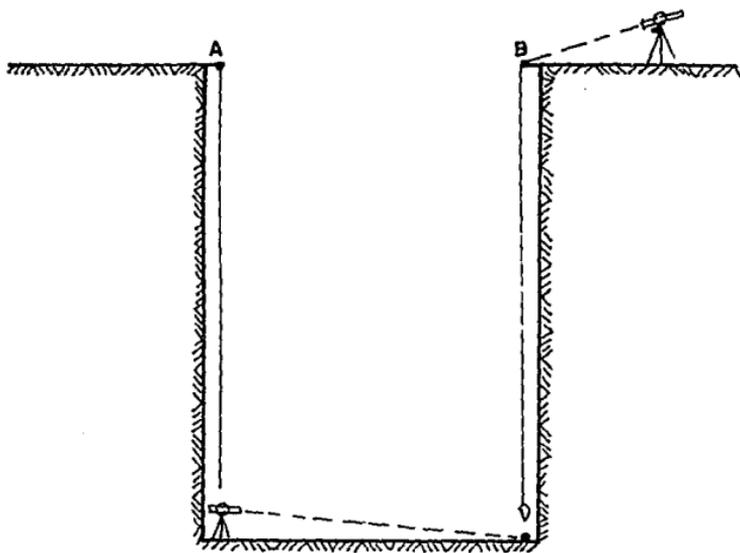
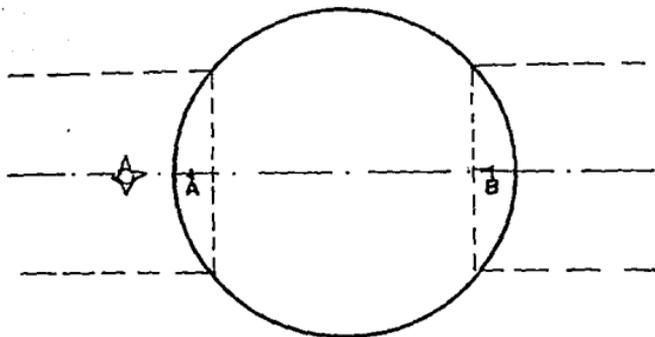
Para poder llevar la nivelación del túnel se apoyan en un banco de nivel cercano a la zona donde se comenzará el frene de trabajo. Del banco de nivel se debe conocer su elevación para que de ese punto se puedan apoyar las brigadas de topografía para poder obtener por medio de una nivelación diferencial la cota a la cual se debe iniciar el túnel según el proyecto. Con el banco de nivel conocido se comienza a hacer una nivelación diferencial la cual consiste en colocar el nivel en cualquier lugar de manera que se alcancen a ver los dos puntos que se desean nivelar, si la distancia o el desnivel es muy grande se tienen que hacer varias puestas del aparato e ir marcando puntos de liga y tomar lecturas atrás y adelante y la diferencia entre la suma de las lecturas atrás y la suma de las lecturas adelante es el desnivel, para verificar que la nivelación está bien hecha se hace otra nivelación hacia atrás. Ya que se tiene la cota de proyecto con la cual se debe iniciar el túnel se marca un banco de nivel, el cual servirá de apoyo para colocar mas bancos de nivel en el interior del túnel conforme se avanza en la excavación del mismo. Ya con los bancos de nivel localizados se lleva el control de niveles dentro del túnel, la pendiente y el seccionamiento; y de esta forma se lleva el control del trazo.

IV.3 BAJADA DEL TRAZO DEL EJE DEL TÚNEL.

El túnel cuatro que pertenece a la segunda etapa de construcción del acueducto periférico inicio su excavación por dos frentes uno el de la lumbrera dos y el otro el frente de ajusco.

Para iniciar el trazo interior del túnel en el frente ajusco, se hizo lo siguiente: Apoyados en un banco de nivel y un vértice de la poligonal en la cual también el eje superficial de túnel está apoyado se inició una nivelación diferencial desde el banco de nivel localizado en un punto alto hasta donde esta el portal de entrada buscando llegar con la cota que marca el proyecto para el frente ajusco. Para bajar el trazo del eje en el frente de la lumbrera fue de la siguiente manera: como ya se contaba con la línea superficial del eje de trazo se colocaron dos puntos fijos alineadas al eje, estos puntos sobresalían sobre la lumbrera. Se colocó el tránsito del lado del punto A y se visa ese punto y después el punto B para verificar la alineación de los dos puntos, enseguida se coloca el tránsito del lado opuesto y se lleva a cabo el mismo procedimiento. Enseguida se coloca una plomada en el extremo de cada punto para bajarlos hasta el fondo de la lumbrera y se marcan los dos puntos. Por último se baja el tránsito y se coloca cerca del punto B se visa el punto A y viceversa para verificar el alineamiento y con apoyo en la cota de la subrasante de proyecto se puede determinar el nivel al cual se pueda empezar el trazo del eje del túnel en el interior de la lumbrera y el primer seccionamiento para iniciar la excavación del túnel.

PLANTA



CORTE

FIG. IV.3.1 BAJADA DEL TRAZO

IV.4 CONTROL DEL TRAZO.

Cuando se hace la bajada del trazo se marca el punto de inicio del trazo interior del túnel en el cual se apoyan para marcar la primera sección y así comenzar con la excavación, al ir avanzando se comienzan a colocar los bancos de nivel, con los cuales se lleva el control de banco.

El control vertical es muy importante por que con él podemos conocer en cualquier momento la pendiente del túnel, su perfil y poder verificar que coinciden con el plano los P.T., P.I. y P.C.. Con un banco de nivel en el interior se corre la nivelación de ida y vuelta para asegurarse del cierre. A lo largo del túnel se establecen B.N. que se marcan con varillas a cada 50 metros. Para controlar la pendiente hidráulica se va haciendo la plantilla 25 centímetros abajo de la pendiente hidráulica.

Para llevar el control de la nivelación interior, es necesario contar con un plano único de referencia para toda la obra, se elige un banco de nivel que reúna las características deseadas y acotado con respecto al nivel medio del mar.

IV.5 VERIFICACIÓN DE LA SECCIÓN.

La sección se comienza a marcar desde que se inicia la excavación de cualquier frente de trabajo del túnel y después de cierta longitud se vuelve a verificar la sección lo cual se hace con una regla y el girasol. El método del girasol se basa en ubicar los puntos de la sección apoyándose en el principio de coordenadas polares y a partir del origen con la distancia y un ángulo determinado se ubican los puntos. Para poder realizar el seccionamiento es necesario hacer un disco de madera de uno a un metro y medio de diámetro, con una graduación a cada diez grados en la circunferencia. El disco se monta en un tripie especial que tiene un eje en la parte superior, sobre el que va adaptado el disco. Para llevar el control de la pendiente del túnel es necesario medir la altura del centro del disco. El girasol se centra por medio de una plomada cuyo eje pasa por el centro del sistema.

El equipo necesario para llevar el control de la sección es:

- Teodolito
- Cinta
- Plomada
- Regla
- Disco graduado

La manera como se realiza la verificación de la sección es: Se instala el girasol de manera que el centro del mismo coincidan con el eje del túnel. En seguida se señalan los puntos donde se desea hacer el seccionamiento, la distancia a la que se hace cada seccionamientos es de un metro. Es necesario que al iniciar el trabajo se ubiquen y señalen los puntos alineandolos con el tránsito.

Las medidas se obtienen de la siguiente manera: una vez alineado el girasol por medio de la regla se mide la distancia del centro del disco al perímetro del túnel, esto se hace a cada diez grados comenzando de sesenta grados hasta llegar a trescientos grados.

IV.6 ORIENTACIÓN INTERIOR DEL TRAZO.

Al bajar las líneas de la superficie a un túnel se tiene cierto grado de error, debido al procedimiento utilizado y a la dificultad al realizar el trabajo, para garantizar que el eje siga la dirección de proyecto o bien que el error que se cometa esté dentro de la tolerancia (se checa por algún procedimiento que el azimut transportado sea el correcto). Para verificar la orientación en el interior del túnel por medio de un instrumento llamado giróscopo, este aparato proporciona una precisión de veinte segundos.

La ventaja del giróscopo es que no se ve influenciado por los campos magnéticos. La orientación se puede realizar de noche, con poca visibilidad, con atracciones locales, etc. El giróscopo se puede adaptar a ciertos teodolitos.

Para orientar una línea se necesita partir de un azimut original, el cual se puede determinar con una brújula, con el azimut se efectuaran mediciones y cálculos obteniéndose el valor definitivo después de una serie de observaciones, continuándose así hasta que la corrección sea de veinte segundos. Para efectuar el trabajo correctamente no se deben realizar movimientos bruscos cerca de la zona de trabajo, pues debido al principio de funcionamiento del giróscopo este se ve afectado.

IV.7 EXCAVACIÓN.

El ciclo de excavación es un ordenamiento lógico de las actividades que integran un proceso constructivo, las cuales varían de acuerdo al método empleado para realizar la excavación. Este método se determina de acuerdo a los levantamientos geológicos cuyos resultados se muestran en el perfil geológico. Una vez establecida la planeación del proyecto y decidido el procedimiento constructivo se analiza que actividades se pueden realizar en secuencia simultanea y elegir la de mayor duración para establecer el tiempo de duración del ciclo.

Los sistemas de excavación se resumen a continuación: El primero es el sistema de excavación a media sección el cual consiste en excavar la sección media superior hasta una longitud tal que permita la colocación de la parte superior de un primer marco metálico, procediendo a colocar el revestimiento primario. Concluida esta primera etapa se continua con ciclos de excavación a media sección, con avances máximos de cincuenta centímetros llevando un banco con una longitud mínima de tres metros y medio. Una vez descubierta la sección media superior del túnel y antes de colocar la parte superior del primer marco metálico, se excavan dos coyoterías de un metro de longitud mínima en los extremos de sección intermedia con el objeto de alojar e incar dos rastras metálicas de dos metros y medio de largo, las cuales servirán de base a la parte superior de los marcos debiendo quedar apoyadas longitudinalmente sobre el banco. Concluida la colocación de las rastras se procede a lanzar una capa de concreto de cinco centímetros de espesor, enseguida se coloca la parte superior del primer marco debiendo quedar adecuadamente acuñado contra la capa de concreto mediante retajes de madera apoyados sobre las rastras intermedias. Realizado lo anterior se procede a lanzar una segunda capa de concreto de cinco centímetros de espesor. Simultáneamente y sin que se tenga una longitud de banco menor de tres metros y medio, se debe excavar la sección media inferior de longitud máxima de avance procediendo a la colocación del revestimiento primario de manera similar a lo descrito anteriormente, debiendo quedar adecuadamente apoyada la sección

inferior de los marcos sobre tablonés de dos pulgadas de espesor y unida con las rastras metálicas intermedias.

El segundo es el sistema de excavación de sección completa por el método convencional el cual comprende las actividades siguientes:

- a) trazo,
- b) barrenación,
- c) limpieza de barrenación,
- d) carga y conexión,
- e) retiro de equipo y personal,
- f) voladura,
- g) ventilación,
- h) rezaga,
- i) amacice,
- j) colocación del ademe o soporte primario,
- k) colocación de tubería de aire,
- l) colocación de líneas eléctricas,
- m) entrada de equipo.

- **Trazo:** consiste en proporcionar línea y nivel para la próxima voladura. Se inicia a partir del momento en que el topógrafo coloca su aparato y se apoya en las referencias que previamente ha dejado y da línea y nivel. Teniendo el punto por donde pasa el eje del túnel y su cota, se procede a trazar la sección de excavación.

- **Barrenación:** Se llama barrenación a la actividad que consiste en realizar unos agujeros o barrenos en el frente del túnel para posteriormente cargarlos con explosivos. La barrenación se inicia desde el momento en que se empieza a perforar el primer barreno hasta el momento que se termina el último. Para realizar la barrenación en este caso particular se usaron perforadoras de pierna neumáticas alimentadas con aire comprimido el cual llega a través de una tubería metálica al frente de trabajo.

- **Limpieza de la barrenación:** consiste en sopletear los barrenos una vez terminados con el fin de que no queden recortes intermedios y agua principalmente, los cuales resten eficiencia al cargado del explosivo y a la voladura.
- **Carga y conexión:** Esta actividad comprende la colocación del explosivo en los barrenos como la conexión entre barreno y barreno del elemento de ignición o encendido el cual es un sistema no eléctrico, una vez dentro del barreno los bombillos, se retacan los barrenos con un elemento confinante (en este caso mexamón) para evitar la disipación de la energía hacia el exterior del barreno.
- **Retiro de equipo y personal:** consiste en alejar al personal y el equipo de trabajo para ponerlos en un lugar seguro lejos del frente de trabajo.
- **Voladura:** consiste en encender la mecha o el sistema que dará inicio a la detonación.
- **Ventilación:** Consiste en la introducción de aire fresco por medio de ventiladores para desalojar los gases y el polvo producto de la voladura, esto se hace durante 10 o 15 minutos.
- **Rezaga:** la rezaga es la operación consistente en extraer del túnel el material producto de la voladura.
- **Amacice del frente:** este consiste en quitar el material que queda suelto en las paredes y en la clave del túnel para seguridad del personal.
- **Colocación del ademe o soporte primario:** consiste en la colocación de marcos metálicos y/o concreto lanzado dependiendo del tipo de material que se encuentre en el frente, en algunos tipos de material no se requiere colocar ademe o soporte primario.

- **Colocación de tubería de aire y ventilación, para poder tener una buena ventilación en el frente de trabajo en todo momento es necesario llevar la tubería de ventilación hasta 50 metros antes del frente esta se va colocando a medida que se avanza en la excavación, de igual forma la tubería de aire comprimido debe irse colocando a medida que se avanza en la excavación.**
- **Colocación de líneas eléctricas: Para seguridad del personal es necesario tener una iluminación adecuada en el frente de trabajo y a lo largo de todo el túnel por eso a medida que se avanza en el túnel se va colocando la línea eléctrica.**
- **Entrada de equipo: consiste en llevar el equipo necesario hasta el frente de trabajo para así iniciar nuevamente un nuevo ciclo de excavación.**

IV.8 USO DE EXPLOSIVOS.

Un explosivo es un compuesto o mezcla de compuestos químicos que al contacto con el calor la fricción o el impacto experimentan una violenta descomposición que produce calor y gases, cuando sucede esta descomposición recibe el nombre de detonación y los explosivos que estallan así reciben el nombre de explosivos detonantes, como es el caso de las dinamitas y los nitratos de amonio. Detonación indica una reacción muy rápida o casi instantánea.

Cuando se detona un explosivo colocado en un barreno, los gases de alta presión que produce la explosión hacen impacto con las paredes del barreno, los esfuerzos rebasan la resistencia de la roca, lo que ocasionará una ruptura y trituración de la misma, los esfuerzos que produce la explosión disminuyen rápidamente en relación con la distancia del barreno.

Cada explosivo tiene características específicas definidas por sus propiedades, el conocimiento de estas propiedades es un factor importante para el buen diseño de voladuras.

ALGUNAS PROPIEDADES DE LOS EXPLOSIVOS.

- **Potencia.** Es la capacidad de un explosivo para hacer trabajo útil.
- **Velocidad de detonación.** Es la velocidad a la cual la onda de detonación viaja a través de una columna del explosivo.
- **Densidad.** Es el peso por unidad de volumen o gravedad específica.
- **Sensibilidad.** Es la medida de la facilidad de propagación de un explosivo.
- **Resistencia al agua.** Es la capacidad de un explosivo para soportar la penetración del agua. La resistencia al agua es el número de horas que el explosivo puede hallarse cargado en agua y aún ser detonado.

CARACTERÍSTICAS DE LOS EXPLOSIVOS USADOS EN ESTA CONSTRUCCIÓN.

Hidrogeles: Los hidrogeles consisten en sales oxidantes, combustibles, y sensibilizadores disueltos o dispersos en una fase líquida continua. La mezcla es inmediatamente espesada y hecha resistente al agua mediante la adición de gelatinizadores. Las sales oxidantes son usualmente seleccionadas del nitrato de amonio, nitrato de sodio, o nitrato de calcio. El aluminio y el aceite se usan frecuentemente como combustibles. La energía disponible de los hidrogeles varía de 700 a 1400 cal/gr. En este caso se utilizan productos de marca DU-PONT, se utilizan varios tipos de empaque para formar los cartuchos tovox. La elección del empaque y de su grosor para productos individuales esta basada en las condiciones de carga que el producto encontrará en la aplicación en campo. El tovox 100 es usado en formaciones de roca media a dura. Su resistencia al agua es superior a la de las dinamitas, gelatinas y semigelatinas estándar. Se empaqa en cartuchos blancos. El tovox 300 es un explosivo encartuchado diseñado para uso en obras subterráneas, es muy versátil tanto en corte como en voladura de sólidos. Se empaqa en un cartucho azul.

Mexamon: La producción de los granulados de nitrato de amonio se inicia con gas natural y aire. El punto final de este proceso implica el rociar una solución de NA (nitrato de amonio) concentrado desde la parte superior de la torre del granulado. Durante la caída desde 30 a 60 metros las gotitas de NA se solidifican en partículas esféricas, estos gránulos son enfriados secados y revestidos con agentes aglutinantes. Empacados en sacos de 25 kg.

Dispositivos de iniciación: Estos dispositivos son de 2 tipos dependiendo de su fuente de energía primaria. Estos son eléctrica y no eléctrica.

Sistema nonel: Nonel es un sistema de transmisión de señal no eléctrica y no disruptivo que inicia con seguridad un fulminante en forma instantánea o con el tiempo de retardo seleccionado. Este sistema puede

ser iniciado mediante un detonador de impacto, cordón detonante o por un fulminante ordinario. Componentes principales:

1) Tubo nonei: es un tubo de plástico laminado que contiene sobre su superficie interna una pequeña capa de material reactivo. La detonación es conducida por una cantidad tan pequeña de material reactivo, que la superficie exterior del tubo permanece intacta durante y después del funcionamiento. El extremo libre del tubo contiene un sello ultrasónico que evita la entrada de humedad del ambiente al interior del tubo.

2) Detonador con retardo no eléctrico: los detonadores no eléctricos con retardo son iniciados por la onda que viaja a través del tubo nonei.

3) Gancho J: es un gancho de plástico totalmente inerte, que facilita la conexión del tubo nonei con la línea troncal del cordón detonante primacord.

4) Etiqueta: El último componente del sistema es una etiqueta con un código de colores, la cual indica: el tipo de retardo, el número de período de retardo, así como el tiempo nominal de disparo.

Iniciadores	LP						
Periodo	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0
Retardo (ms)	0.1	0.4	0.6	1.0	1.4	1.8	2.4

Fulminante y mecha: El método de iniciación de fulminante y mecha es usado principalmente para disparar voladuras de barrenos múltiples en obras donde el encendido rotacional es necesario y la electricidad externa pueden hacer que el encendido eléctrico sea peligroso.

Fulminantes: Los fulminantes consisten en casquillos de aluminio conteniendo tres cargas (1) una carga base de explosivo de alta velocidad en el fondo del casco. (2) una carga primaria en medio y (3) una carga de pólvora de ignición en la parte superior. La pólvora de ignición asegura la captación de la flama proveniente de la mecha.

Mecha de seguridad: Es el medio a través del cual la flama es conducida en una proporción relativamente uniforme para la ignición del fulminante. El corazón de la mecha es un núcleo de pólvora negra, fuertemente envuelta por cubierta de materiales a prueba de agua, cinta de aislar,

textiles, asfalto y plásticos. Las funciones de estas cubiertas son (1) para proteger el núcleo de pólvora del agua; (2) proteger el corazón de la abrasión de otros tratos rudos; (3) para minimizar la posibilidad de que inicie la carga de explosivos por chispas provenientes de un lado de la mecha; (4) prevenir la intercomunicación del encendido entre los enlaces adyacentes de la mecha.

PROD DE DU-PONT	DIAMETRO (PULG)	DENSIDAD (GR/CM ³)	VELOCIDAD (M/S)	RESIST AL AGUA	SENSIB. AL FULMINANTE
TOVEX 100	1 A 1 ¼	1.10	4,500	EXCELENTE	SI
TOVEX 300	1 A 1 ½	1.02	3,400	BUENA	SI
MEXAMON	--	1.4-1.5	4,750	NO	NO

DIAGRAMA DE BARRENACIÓN.

El diagrama de barrenación consiste en alrededor de 68 barrenos (este número varia de acuerdo con el tipo de material que se encuentra en la longitud por excavar) distribuidos en toda la sección del túnel de la siguiente forma: seis barrenos de cuña, diez barrenos ayudantes, veintiocho barrenos de contorno, diez y siete barrenos de radio y seis barrenos levantadores.

Barrenos de cuña: consiste en pares de barrenos perforados desde dos puntos en la cara para encontrarse en el fondo de los barrenos todos los barrenos en V deberán ser disparados al mismo tiempo. Los barrenos de cuña producen una abertura a todo lo largo de avance previsto, creando así un espacio vacío que permite la expansión y fragmentación de la roca removida por sucesivas etapas de la voladura.

Barrenos ayudantes: ayudan a los barrenos de cuña para desalojar el material del centro de la sección.

Barrenos de contorno: fragmentan y desalojan la mayor parte de material de la sección de excavación.

Barrenos de radio: Estos barrenos delimitan la sección, es decir dan la forma y el diámetro que se marca en la sección de proyecto.

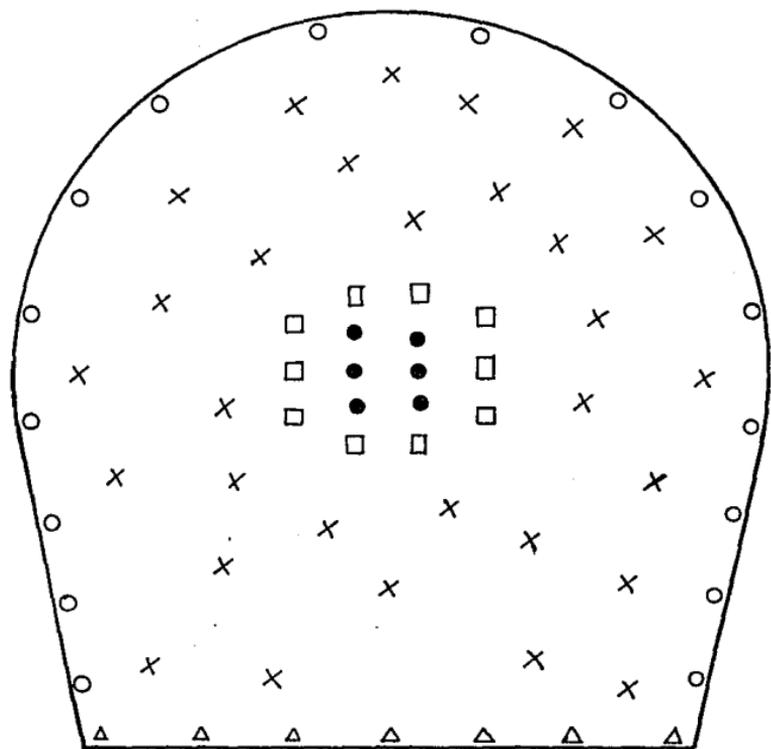
Barrenos levantadores: Desalojan el material de la parte de la plantilla de la sección de excavación.

CARGA DE LOS BARRENOS.

Como mencionamos anteriormente algunos explosivos no son resistentes al agua, por lo tanto antes de poder cargar los barrenos con los explosivos hay que dejar su interior libre de agua, para lo anterior se sopletean los barrenos con aire comprimido. La carga y longitud de los barrenos depende de el tipo de material que se encuentre en el frente de trabajo. Durante ésta excavación se utilizan lo hidrogeles tovox 100, tovox 300 y godyne, en algunas ocasiones se mezclan los dos dependiendo de el material con que se cuente en los momentos de estar cargando, el numero de bombillos utilizado para cada barreno depende del tipo de material a excavar. La longitud de barrenación y de avance depende también de el tipo de material que se encuentra en el frente de trabajo.

A continuación se indica la carga de los barrenos:

TIPO BARRENO	NO BARRENOS	CARGA/BARRENO	NO ESTOPIN
● Cuña	5 o 6	6 bomb. tovox 300	1
□ Ayudantes	10	6 bomb. tovox 300	2
x Contorno	30	4 bomb. tovox 300	3 o 4
○ Radio	18	4 bomb. tovox 300	7
Δ Levantadores	7	4 bomb. tovox 300	7



- B. CUÑA
- B. AYUDANTES
- X B. CONTORNO
- B. RADIO
- △ B. LEVANTADORES

FIG. IV 9.1. DIAGRAMA DE BARRENACION

RETAQUE.

Una vez cargado el barreno se retaca con mexamón para lograr el confinamiento para evitar que se libere la energía hacia el exterior del barreno.

CONEXIÓN.

Por último se hace la conexión de todos los barrenos iniciando por el número menor de estopín, se comienza con los barrenos de cuña que son los que tienen los estopines del número uno siguiendo con los barrenos ayudantes que tienen estopines del número dos y así sucesivamente hasta llegar a los estopines del número siete que son los levantadores y los de radio.

DETONACIÓN.

Enseguida se hace la detonación . Para lo cual es necesario hacer un movimiento de equipo para despejar el área y evitar que el equipo se dañe con la explosión.

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

IV.9 REZAGADO.

Sacar el material producto de la voladura del túnel se denomina rezagado. Esta operación puede hacerse a mano, con palas mecánicas, con máquinas escombradoras o cargadores de tractor. Conforme se avanza en la excavación se deberá desalojar el material producto de la misma, para poder continuar con la siguiente barrenación, o en caso de ser necesario hacer la colocación del soporte primario; ya sean marcos metálicos, concreto lanzado o ambos.

El proceso de rezagado depende de las condiciones del área de trabajo, se busca que esta actividad lleve el menor tiempo posible para no retrasar las siguientes actividades del ciclo. El procedimiento que se siguió en el frente de lumbreira requirió además del cargador y de los camiones de volteo equipo para sacar el material producto de la rezaga, como fue una tolva para recibir el material del cargador, un bote o skip, un malacate y la torre de manto. Y fue necesario construir dentro libraderos a ciertas distancias del frente para agilizar los trabajos de rezaga.

El rezagado se hizo de la siguiente manera: Después de ventilado el frente entra el cargador a retirar el material del frente, y lo deposita en los libraderos, al terminar de rezagar y dejar completamente libre el frente de trabajo se continúa con el ciclo de excavación, mientras tanto el cargador frontal comienza a retirar el material de los libraderos para llevarlo a la tolva de donde se sacado para llevarlo a los tiraderos y aquí comienza otro proceso el cual inicia desde el momento en que el cargador lleva el material a la tolva de donde pasa directamente el skip el cual se sube con un malacate a través de la torre de manto, cuando el bote ya se encuentra fuera de la lumbreira es vaciado en un área la cual fue designada para almacenar la rezaga, de donde se llevará por medio de camiones de volteo a los lugares que se han designado para el tiro. También aquí los camiones son llenados por un cargador.

El proceso de rezagado en el frente de portal fue más sencillo, el material de rezaga se coloca directamente, del frente de excavación a los camiones de volteo por medio del cargador frontal. Para esta actividad se requiere de varios camiones los cuales después de ser llenados van directamente del frente a los sitios de tiro. En este caso los libradores solo se utilizaron para que los camiones pudieran realizar las maniobras necesarias dentro del túnel de una manera más eficientemente posible.

IV.10 VENTILACIÓN.

Con el objeto de mantener una atmósfera adecuada de trabajo en el frente de excavación en todo momento, el contenido de oxígeno en el aire debe ser superior al 20% así como un contenido máximo de 0.9% de bióxido de carbono y de 0.02 de monóxido de carbono. La ventilación se lleva a cabo haciendo circular aire desde el portal hasta el área de trabajo a través de conductos a los que se acoplan uno o mas abanicos eléctricos. El aire se mueve en el conducto de ventilación de afuera hacia el frente de trabajo, este método se llama ventilación de entrada.

La selección del método de ventilación apropiado depende principalmente del flujo de aire requerido y de la distancia del frente de trabajo al portal. Para realizar el cálculo del volumen necesario para la ventilación de un túnel se deberá conocer el número de obreros la frecuencia de las detonaciones y la cantidad de máquinas de combustión interna trabajando en el interior del mismo.

Una primera aproximación del volumen de aire nos la proporcionan los siguientes datos:

- Por cada hombre en el túnel se debe proporcionar 200 PCM.
- Por cada HP de motor 50 PCM.
- Por cada perforadora en buenas condiciones 1,200 PCM.

Con estos datos y conociendo el número de personas que laboran en el túnel la cantidad de maquinaria que circule por el túnel y el número de perforadoras, se obtendrá una primera aproximación de la cantidad de aire requerida. Esta primera aproximación se revisa con los gases producidos por la voladura, para lo cual se calcula de acuerdo a la información del fabricante de explosivos la cantidad de monóxido de carbono, bióxido de nitrógeno y bióxido de azufre que puede aportar un explosivo de acuerdo a la cantidad cargada.

Una vez establecido el gasto de inyección de aire fresco, se determina el tamaño y la cantidad de los ventiladores. El ventilador adecuado será

aquel que logre vencer la carga estática mínima, obtenida a partir de la fórmula siguiente:

$$H = (0.017QL) / (D)$$

Donde

H: carga a vencer (in)

Q: gasto necesario (pcm)

L: longitud entre ventiladores (m)

D: diámetro de la tubería de ventilación (in²)

Con la carga estática obtenida se acude a las gráficas del fabricante de ventiladores.

Para tener una buena ventilación se requiere inyectar aire hasta el frente de excavación a razón de 60 metros cúbicos por minuto mas lo correspondiente a la ventilación para eliminar los gases producidos por los explosivos de tal forma que se renueve el aire de el frente en un máximo de diez minutos, a este deberá incrementarse también el volumen de aire necesario para eliminar del túnel los gases producidos por los motores diesel en combustión dentro del túnel.

Para cumplir con los requisitos anteriores se cuenta con un ventilador de dos motores en la lumbrera y un ventilador con tres motores, dos en el portal de entrada y uno a quinientos metros del portal en el frente de ajusco, cada motor con una capacidad de 22,000 pcm. En cada entrada del túnel se cuenta con una tubería de treinta y seis pulgadas de diámetro de metal en los primeros metros y polivinilo en los siguientes hasta llegar 50 metros antes del frente de trabajo.

IV.11 SOPORTE PRIMARIO.

La selección y diseño del tipo de soporte de un túnel en primera instancia se basa en la teoría, que es modificada al observar como se comporta el material al ejecutar físicamente la obra. En la elección y diseño del tipo de soporte es muy importante la experiencia. También para el diseño del soporte es importante conocer las características y propiedades del medio geológico y el procedimiento de excavación y es muy importante también la interacción suelo-estructura.

El sistema de soporte de túneles puede ser un ademe o revestimiento en contacto más o menos continuo con la superficie interior de la cavidad. Existen dos tipos de soporte, el soporte temporal o revestimiento primario y el soporte definitivo o revestimiento definitivo. El soporte temporal se coloca durante la etapa de excavación. El revestimiento definitivo, es el que queda en el túnel terminado para condiciones de operación.

Los sistemas de soporte temporal más utilizados son los segmentos prefabricados de concreto o acero, los marcos metálicos con o sin retaque de madera, anclas a base de varillas, concreto lanzado, concreto lanzado con malla electrosoldada en combinación con anclas.

Los sistemas de soporte permanente más usuales son las dovelas, concreto lanzado reforzado con malla o varilla corrugada y concreto hidráulico colado in situ, simple o reforzado. Durante la vida útil del túnel, el soporte permanente debe cumplir con lo siguiente: garantizar la integridad estructural, impermeabilidad, y las tolerancias de deformación, evitar el asentamiento excesivo en la superficie, prever los efectos negativos de futuras excavaciones en superficie, considerar las discontinuidades geométricas comprendidas en el trazo del túnel, como son cambios de sección, intersección con lumbreras. También debe cumplir con requisitos relacionados con la operación del túnel como la conducción hidráulica, transporte y el mantenimiento.

El soporte temporal debe cumplir con los siguientes requisitos: tomar en cuenta las características del medio geológico y el proceso de excavación, el soporte debe satisfacer la necesidad de confinamiento de las paredes de frente del túnel que esta en construcción, drenaje de las filtraciones, transportación , manejo y colocación de los elementos utilizados como ademe. Inicialmente las dimensiones del soporte se fija en base a medidas mínimas compatibles con el procedimiento constructivo. Por ejemplo el revestimiento de colado in situ que depende del espacio necesario para pasar la tubería de bombeo de concreto al interior de la cimbra.

La información que se requiere para caracterizar el medio geológico son los reportes geológicos geofísicos, estudios de mecánica de suelos y de mecánica de rocas, los reportes deben tener una interpretación de los parámetros más importante en cuanto al proceso de tuneleo, como es la información geotécnica que debe contener las propiedades carga deformación del medio, ya que con esta información para incluir su participación en el modelo de comportamiento. También es muy importante considerar como se comportará el suelo o roca al ser excavado.

Las arcillas blandas tienen que soportarse lo antes posible en todo el perímetro del túnel, las rocas de dureza intermedia tienen un tiempo de auto soporte, en donde el soporte se puede colocar inmediatamente o después de tener cierto avance en el frente.

Los soportes de túneles excavados con explosivos, en los que se utilizan marcos metálicos y ademe se diseñan con cargas recomendadas por Terzaghi cuando no se tiene información cuantitativa respecto a las juntas existentes en la roca, las cargas verticales y laterales se calculan para diferentes valores de altura , dependiendo del tipo de roca.

Marcos metálicos: se utilizan cuando el método de excavación es el convencional, la excavación puede efectuarse con herramienta manual o con equipo o maquinaria de excavación. Las secciones que mas se

utilizan son las de herradura o portal, o circulares cuando se requieren. Los perfiles estructurales más usados son los de sección I, en algunos casos los de sección H. Los marcos se fabrican por segmentos que se ensamblan en el interior del túnel por medio de conexiones atornilladas. El número de segmentos depende de la dimensión de la sección del túnel de las etapas de excavación y de la manejabilidad de los elementos. En los marcos con forma de herradura o portal, es común que se le de una terminación en punta en la clave para permitir mayor espacio.

Cuando la excavación se efectúa a media sección y banqueo inferior, para apoyar la parte de la clave del marco se colocan elementos longitudinales que se apoyan en un extremo en el banco y en el otro se conectan generalmente con soldadura a los marcos de atrás ya soportados por los elementos verticales.

En las zonas donde se presentan empujes laterales fuertes, se utilizan elementos en el piso que evitan el cierre; se denominan tornapuntas.

El marco metálico está compuesto por los siguientes elementos:

1. Arco, parte superior del marco.
2. Postes o patas, parte inferior del marco
3. Rastra, Apoyo del arco en excavación a media sección y banqueo.
4. Tornapuntas, elementos de cierre inferior.
5. Tensores, redondo de acero roscado en sus extremos.
6. Separadores, polín de madera.
7. Retaques de madera y deben ser en forma de cuña.
8. Forro de madera.

La figura IV.11.1 muestra las partes que constituyen un marco metálico.

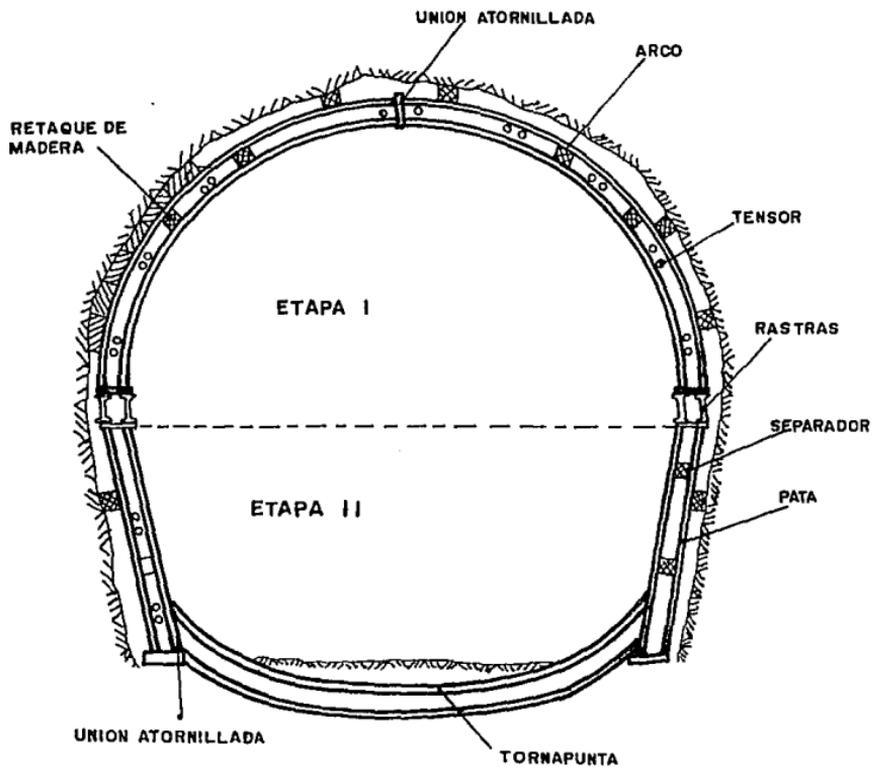


FIG. IV.II.1 MARCOS METALICOS CON RASTRAS

Concreto lanzado: Se utiliza para proteger la superficie de los efectos del intemperismo en los casos en que la excavación es autosoportable, o cuando la estabilidad la proporcionan los marcos metálicos. La combinación del concreto lanzado con el uso de anclajes proporciona una estructura combinada con el suelo, que permite soportar la redistribución de las cargas mediante espesores pequeños de concreto. El concreto lanzado es un concreto transportado a través de una manguera y proyectado neumáticamente a alta velocidad sobre una superficie. La mezcla de concreto puede ser húmeda o seca. Cuando la mezcla es seca el agua se añade mediante un anillo repartidor situado antes de la boquilla de lanzado, al final de la manguera. En el caso de mezcla húmeda esta se transporta a través de la manguera contiene ya el agua de acuerdo a la dosificación prescrita.

El lanzador cuando se trata de mezcla seca, regula la cantidad de agua de acuerdo a las condiciones de humedad, estabilidad de la superficie y del material, las condiciones de uniformidad, polvo y rebaje del chorro que sale de la boquilla y se impacta sobre la superficie.

Las características del concreto lanzado son la alta compacidad debido a la alta velocidad de impacto y por el martilleo que producen en la mezcla recién colocadas las partículas gruesas. Baja relación agua-cemento, alto contenido de cemento. Estas características hacen que el concreto tenga resistencia y durabilidad ante voladuras. Es compatible con el proceso de auto-soporte que desarrolla el terreno que limita y rodea.

En este caso particular la selección del sistema de soporte para la estabilización del túnel depende de las propiedades del suelo así como de la geometría de la sección. La información detallada de las propiedades se determinaron de acuerdo a los estudios geofísicos y de exploración directa. Los datos que se requieren son:

- Resistencia a la compresión.
- Módulo de elasticidad.
- R.Q.D.
- Peso volumétrico.

- Permeabilidad.
- Angulos de fricción.
- Fallas plegamientos y fracturas.
- Se determinaron las diferentes unidades de roca y verificar hasta que punto de seguridad son autosoportables.

Los criterios utilizados para el análisis del revestimiento para túneles, que se han sugerido de experiencias en túneles construidos bajo diversas condiciones hidráulicas, geológicas, constructivas, criterios únicos debido a que son muchos los factores diferentes que se presentan en cada problema.

Generalmente cuando un túnel está localizado en roca sana y alta resistencia, no necesita revestimiento reforzado, pudiendo la roca resistir las cargas externas se pueden reducir o anular por completo por medio de inyecciones a presión. Cuando el túnel esté construido en suelo bastante estable y se le coloca revestimiento para tener una superficie lisa al flujo, se puede colocar acero de refuerzo para absorber los esfuerzos ocasionados por cambio de temperatura. Las zonas de portales deberán reforzarse en forma especial. Es de recomendarse que el revestimiento de un túnel se haga tan pronto las operaciones constructivas lo permitan, evitando con ello posibles derrumbes, estabilizaciones más rápidas de la roca adyacente dando además con ello una seguridad por posibles caídos.

En este caso el tipo de revestimiento primario que se utilizó para la estabilización del terreno fue el siguiente: Donde la roca era muy sana no se colocaba soporte primario, si la roca tiene pequeñas fracturas se coloca concreto lanzado para homogeneizar, si la roca está muy fracturada y se forman bloques que puedan deslizarse se colocan marcos y concreto lanzado. En las zonas donde se encontraban con arcillas y/o escorias se colocan marcos y concreto lanzado.

De acuerdo a los datos obtenidos de la instrumentación si el material era muy inestable y el revestimiento primario no era suficiente para la

estabilización, lo que se hizo para reforzar y lograr la estabilización del terreno fue colocar tornapuntas, estas consisten en vigas de acero colocadas en la parte inferior del marco para evitar que este se cierre e impedir las deformaciones.

IV.12 INSTRUMENTACIÓN.

IV.12.1 Objetivos de la instrumentación.

Los objetivos de la instrumentación son a corto plazo, a mediano plazo y a largo plazo:

1.- A corto plazo: Nos proporciona los elementos que permitan analizar las condiciones del terreno y de esta manera poder garantizar la seguridad tanto de la excavación como de las estructuras aledañas en la superficie. Nos ayuda a la toma de decisiones con respecto al diseño, clase y resistencia del tipo de soporte temporal del túnel, así como la inclinación y altura de los portales de entrada y salida del mismo.

2.- A mediano plazo: Su objetivo es conocer la naturaleza del terreno y así definir parámetros de deformabilidad y saber como se comportarán el suelo y el revestimiento primario en conjunto. Obtener bases para saber si el revestimiento primario que se propuso en el proyecto es el conveniente o es necesario cambiarlo debido a que el comportamiento del material es diferente a como se había previsto.

3.- A largo plazo: Comparar las predicciones teóricas con el comportamiento real de las estructuras de soporte y del revestimiento definitivo.

IV.12.2 Mediciones en el interior del túnel durante la excavación.

Durante la excavación del túnel se lleva un control de la geología, esto se hace colocando en la secciones mas sobresalientes la instrumentación por medio de anclas, en estas anclas se coloca el cable para medir las deformaciones que tiene el material después de la excavación y verificar si la solución respecto al soporte primario que se debe de colocar fue correcto o si es necesario reforzar el soporte.

Como ya se menciona la instrumentación de las secciones se hace con el fin de saber si hay algún movimiento del terreno; con el cable se miden

las deformaciones y de acuerdo a las especificaciones, si estas son mayores de 3 mm, se propone reforzar el revestimiento primario. Conocer como se deforman los materiales es muy importante para saber que tipo de revestimiento primario se debe colocar en los siguientes avances para tener mayor seguridad en el túnel y así evitar algún caído.

El método que se utiliza para determinar las deformaciones es el de convergencias, la medición de convergencias en un túnel consiste en observar la velocidad y magnitud del alejamiento o acercamiento de los puntos instalados sobre las paredes del mismo. Es muy importante que las mediciones se hagan utilizando instrumentos con graduación de 0.01 mm. en todo el intervalo de medición el cual no será menor de 150 mm. y con un grado de aproximación efectivo (desviación estándar) de 0.02 a 0.03, para distancias menores de 10.0 m.

Los instrumentos deben ser de operación mecánica, sin partes eléctricas que puedan ser dañadas por la humedad que normalmente prevalece en las obras de túneles.

Las convergencias son los desplazamientos o corrimientos de puntos en la superficie expuesta en el túnel hacia el interior del mismo. Los desplazamientos se deben al efecto de la descompresión en la periferia del túnel al removerse el núcleo de la roca a suelo durante las operaciones de excavación. Antes de retirar el material hay una presión no uniforme y al hacer el orificio y extraer el núcleo, todos los esfuerzos en dirección radial en la periferia se hacen nulos y los esfuerzos normales de dirección tangencial crecen, este cambio provoca deformaciones instantáneas (elásticas) y graduales (elasto-plásticas), si se exceden los límites de resistencia de la roca o suelo.

Las deformaciones elasto-plásticas normalmente ocurren a lo largo de un cierto tiempo durante el cual se desarrolla una pérdida gradual de las características de resistencia del terreno producidas por efecto de una alteración gradual de la superficie expuesta como consecuencia del intemperismo. En algunos suelos y roca blanda se presenta un

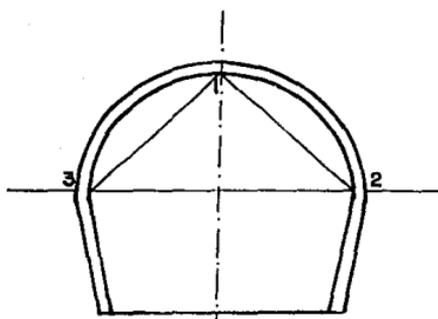
comportamiento viscoso, esto ocasiona deformaciones lentas a lo largo del tiempo y que solo se pueden evitar colocando un soporte primario. Es muy importante iniciar la medición de las deformaciones de convergencia una vez que se ha despejado el frente de los equipos de perforación (barrenación, voladuras y rezaga, etc.). Es necesario instalar los dispositivos de medición e iniciar la toma de lecturas.

Las deformaciones de convergencia que en algunos casos llegan a alcanzar valores de varios centímetros, pero por lo general son de pequeña magnitud y se desarrollan en el transcurso de varios días semanas o meses.

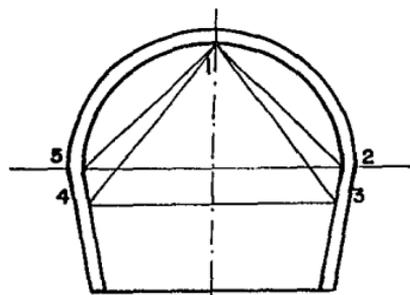
De acuerdo a la experiencia en la medición de túneles se ha propuesto que para considerar confiables las medidas es necesario que la precisión no sea mayor de 3 centésimas de mm. para lo cual los dispositivos de medición requieren ser de una centésima de mm. Los dispositivos se ambientan antes de llevar a cabo las mediciones y se calibran antes y después de éstas. La medición de las deformaciones de convergencia durante la construcción del túnel es muy importante para la toma de decisiones. La determinación de las deformaciones proporciona un panorama del comportamiento del terreno debido a las deformaciones.

Distribución de trayectos de medición: La disposición de los trayectos de medición de convergencias tiene presente el comportamiento esperado de la excavación, el procedimiento constructivo, así como los sistemas de soporte que se utilizarán.

Localización de las secciones: De acuerdo a la información geológica y geotécnica de las condiciones del material al nivel del túnel, las secciones de convergencia se deberán instalar con el objeto de poder medir las deformaciones del túnel durante su excavación y poder determinar su tiempo de estabilización, se deberán instalar y medir los puntos de referencia de las secciones de convergencia indicadas en la fig. IV.12.2.1 inmediatamente después de que la excavación pase por el cadenamiento señalado para ubicación de cada una de estas.



SEC. SENCILLA



SEC. DOBLE

FIG IV.12.2.1 SEC. DE MEDICION DE CONVERGENCIAS

Los elementos que definen los puntos de referencia para medición de convergencias (pernos, argollas u otros) deberán estar firmemente anclados y deberán ser capaces de soportar la tensión bajo la cual se harán las mediciones. Las técnicas de sujeción de estos elementos varían de acuerdo con la consistencia y la naturaleza del terreno, sin embargo, la longitud de penetración del mismo no será mayor en ningún caso de 50 cm., ni menor de 15 cm.

Secuencia de mediciones: Las mediciones se realizarán con la siguiente prioridad. Se tomará una lectura diaria a partir de su instalación hasta que se tenga un avance en la excavación de 10 m., medidos a partir de la sección en cuestión; posteriormente, se tomará una lectura cada tercer día cuando el frente de excavación haya avanzado 10 metros más, debiendo continuar con una lectura cada semana hasta que se observe la estabilización de la sección. Esto se realizará siempre y cuando no se observen signos de inestabilidad en las mediciones, esto es, velocidades de deformación iguales o mayores a 0.4 mm./día o deformaciones superiores a los 2.5 mm. en cuyo caso las lecturas se tomarán directamente así como se deberá reforzar el revestimiento primario.

Durante la excavación del túnel se lleva un control de la geología, esto se hace colocando en las secciones más sobresalientes la instrumentación, por medio de anclas, las cuales se monitorean con extensómetro cada determinado tiempo. La instrumentación de las secciones se hace con el fin de saber si hay algún movimiento del terreno, con el extensómetro se miden las deformaciones, si estas son mayores de 3 mm se propone reforzar el revestimiento primario.

Conocer como se deforman los materiales es muy importante para saber que tipo de revestimiento primario colocar en los siguientes avances de excavación para mayor seguridad del personal y evitar algún caída.

A continuación se describirá la instrumentación que se realizó en algunas de las secciones del túnel 4. A lo largo de la excavación se ha encontrado material de origen volcánico el cual fue clasificado litológicamente como

colada lávica y toba arenosa, ambas de composición andesítica. La roca que se encontraba era dura, sana pero estaba afectada por discontinuidades, que se presentan como fracturamiento. Otro de los materiales que se encontró fue la toba limo arcillosa de consistencia semicompacta, plástica, suave, masiva y moderadamente alterada.

El revestimiento primario: Con base en las características litológicas y geotécnicas de las unidades se determina el tipo de revestimiento adecuado para esa zona. Por ejemplo, donde se encontró el macizo rocoso y la calidad geomecánica del terreno fue buena, no se requirió soporte primario, además al hacer la instrumentación en esta zona se observó que las deformaciones eran insignificantes, lo que se pidió es que se hiciera un amacize adecuado en la zona de clave, en la zona donde hay fracturamiento se presentan bloques en la zona de clave, por lo cual fue necesario colocar concreto lanzado de 5 y 10 cm de espesor para homogeneizar y estabilizar. Después de hacer la instalación de la instrumentación se comienzan a medir las deformaciones, estas deformaciones al principio aumentan, pero con el tiempo y cuando se aleja esa zona del frente de trabajo comienza a estabilizarse, pero si no es así, es necesario reforzar el revestimiento primario.

De cada monitoreo se van tomando las medidas en cada uno de los puntos de la sección con estos valores se hacen tablas de los desplazamientos medidos cuando se comienza a estabilizar y se hacen también las gráficas de tiempo-deformación.

Geofísica: Se hizo un estudio sísmico con el método de Hup-Hole, que es una variante de los métodos sísmicos que se utilizan con barrenos como el de Cross-Hole y el Down-Hole, este método se utiliza para determinar con mayor precisión las velocidades de propagación sísmica de onda longitudinal y transversal de las diferentes capas que constituyen el macizo rocoso. Para la aplicación de esta técnica es necesario contar con 3 barrenos con profundidad de dos metros. La onda sísmica que se analiza es la compresional y las ondas transversales; las ondas eléctricas que se generan con estopin eléctrico se crean como fuentes de energía

sísmica artificial y a lo largo de la tabla (pared) izquierda del túnel se colocaron de 10 a 12 geófonos o sismodetectores con los cuales se logra tener un mayor número de trayectorias sísmicas, con esto una mayor caracterización de los materiales, obteniendo en cada trayectoria las velocidades de onda longitudinal (P) y transversal (S) en un registro llamado sismograma.

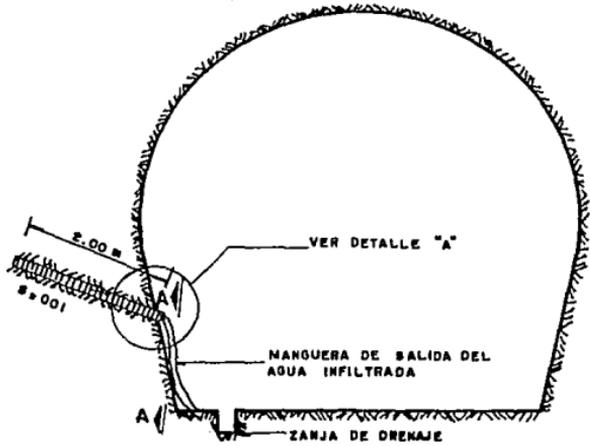
La finalidad del estudio sísmico es obtener parámetros de deformabilidad de la unidad litológica que cruza la excavación. Los resultados en algunas de las pruebas son los siguientes: Las velocidades son bajas, $V_p = 848$ m/s y $V_s = 413$ m/s lo que define una roca semicompacta, una relación de Poisson que varía de 0.32 a 0.36, lo que se interpreta como un material muy deformable, su módulo de Young es igual a 9.00 ton/cm^2 tiene baja capacidad de carga, así mismo su módulo de corte es igual a 3 ton/cm^2 lo que representa una unidad con baja resistencia a esfuerzos cortantes.

Comparando las características litológicas y geotécnicas que presentan las tobas y sus parámetros definidos por sísmica, se considera a esta unidad de regular calidad geomecánica.

IV.13 DRENAJE.

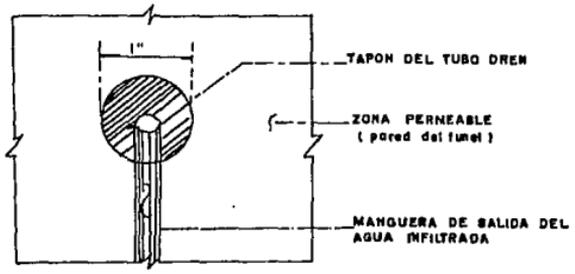
Si durante la excavación del túnel se presentan filtraciones, estas deberán canalizarse al interior del mismo mediante un dren como el que se muestra en la figura IV.13.1, constituido por un tubo de poliducto ranurado, de 1" de diámetro y 2.00 m de profundidad, envueltos en una malla metálica para evitar la tubificación en el terreno y sellado en su boca mediante un tapón del mismo material o similar con un orificio concéntrico donde se insertará una pequeña manguera que conducirá el agua infiltrada hasta unas pequeñas zanjas para su extracción. Para lograr lo anterior, deberá sellarse el espacio comprendido entre la perforación y el tubo dren con una mezcla de fraguado instantáneo constituida por cemento portland, un aditivo acelerante de fraguado y agua. La elaboración y colocación del sello consistirá inicialmente en mezclar el aditivo con el cemento en proporciones iguales por volumen hasta lograr una masa de consistencia semejante a la del masique, logrado lo anterior se le adicionarán unas gotas de agua y se seguirá mezclando hasta que la masa comience a calentarse pero sin que pierda su consistencia, que indicará que se ha iniciado el proceso de fraguado. La mezcla se coloca en la boquilla del barreno para formar un tapón en una longitud máxima de 10 cm y con el tubo en el centro del barreno, el tapón formado se presiona durante algunos minutos.

En caso de que las filtraciones se presenten en un tramo considerable los drenes se colocarán a cada 30 m en el sentido de la excavación, procediendo a la extracción de estos, de la manera siguiente: Si el frente de excavación avanza en contrapendiente de la plantilla, el control se realizará mediante zanjas de 0.20 m de altura por 0.20 m de ancho construidas en la parte inferior de la sección, por los cuales escurrirá el agua por gravedad hasta el portal del túnel. Si el frente de excavación avanza en la dirección de la pendiente del túnel, se deberán construir además de las zanjas, carcamos de 0.4 m de profundidad por 0.20 y de ancho a cada 500 m los cuales no deberán estar comunicados a las zanjas con pendiente hacia el frente y que servirán para traspalear el agua hacia el portal por medio de bombas.

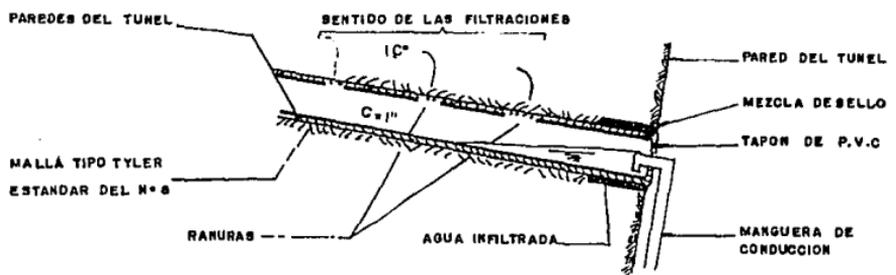


DISPOSICION Y CARACTERISTICAS DEL DREN

FIG. IV. 13 . 1.
DRENAJE



CORTE A-A



DETALLE "A"

IV.14 REVESTIMIENTO DEFINITIVO.

Cuando se tiene roca sana o un soporte primario que impida desplazamientos en el material hasta que este terminada la excavación del túnel, se puede comenzar con el revestimiento definitivo, esto evitará que haya congestiones y se estorben durante las actividades de rezagado colado. Por lo tanto al hacer el revestimiento de la forma antes mencionada da como resultado una mayor eficiencia.

El revestimiento definitivo se calcula para que pueda soportar los empujes del material que lo rodea y no sufra deformaciones por lo que es muy importante determinar adecuadamente el tipo de soporte definitivo. Otro aspecto importante que determina el tipo de soporte definitivo es el uso que tendrá el túnel, en este caso, el conducto transportará agua, por lo tanto un revestimiento de concreto lanzado no sería el más eficiente debido a la rugosidad que aumentaría la fricción y disminuiría el gasto que pasa por el conducto, en este caso es muy útil colocar concreto hidráulico, ya que tiene menor rugosidad y da una sección continua en toda la longitud del túnel.

Ciclo de revestimiento: Las actividades necesarias para llevar a cabo el revestimiento cumplen con un ciclo, el cual esta conformado por las siguientes actividades:

- Habilitado
- Cimbrado
- Colado
- Vibrado

Después de terminado el colado y el vibrado se espera a que el concreto frague mientras tanto se continua con el armado, cuando el concreto ya ha fraguado, se puede comenzar con el movimiento de cimbra y de esta manera se continua con el ciclo de revestimiento. Previo a iniciar el ciclo de revestimiento fue necesario colocar las instalaciones y equipo para poder ejecutar el revestimiento.

Durante la excavación y cuando faltaban pocos metros para que se conectarán los dos frentes de excavación se comenzó a hacer la cimentación para colocar la planta de concreto, se comenzaron a acondicionar los silos y todas las partes que conforman la planta de concreto, se comenzó a armar la cimbra y el habilitado del acero; el acero transversal se corto en longitudes de 4.6 m. y 5.6 m. y para el acero longitudinal se utilizó la varilla completa, la cual es de 12 m. de longitud.

Armado: El acero de refuerzo del túnel esta conformado por un acero transversal y otro longitudinal. El acero transversal tiene la función de dar estabilidad al túnel. El acero longitudinal es un armado por temperatura que evita que el concreto se agriete al comenzar el proceso de fraguado, y producirse la contracción del mismo.

El acero de refuerzo transversal tiene diferentes armados, este está dado por proyecto, ya que cuando el material es más estable se requiere de un área menor de acero de refuerzo. Los diferentes tipos de armado que se utilizaron para el acero de refuerzo transversal son los siguientes: Un solo lecho con varilla de 1/2" a cada 15 cm. Para zonas donde la roca esta muy sana y no necesito revestimiento primario, dos lechos con varilla de 1/2" a cada 30 cm. En zona de marcos, un solo lecho de varilla de 3/4" a cada 15 cm. Donde el revestimiento es concreto lanzado, dos lechos de varilla de 1/2" a cada 15 cm. En zona de marcos y concreto lanzado, dos lechos de varilla de 3/4" a cada 20 cm en zona de marcos.

El armado longitudinal debe ser de 15 cm de separación en un solo lecho, la varilla que se utilizó fue de 1/2", pero en las zonas donde el refuerzo transversal estaba compuesto por dos lechos el acero longitudinal se coloca también en dos lechos.

El armado del túnel después del primer colado se comenzó a hacer simultáneo con las otras actividades que componen el ciclo de revestimiento.

IV.15 MÉTODO PARA EL COLADO.

Después de colocar el acero de refuerzo en el túnel se coloca la cimbra para poder comenzar con los colados. Para realizar el cimbrado se utilizó una cimbra telescópica deslizante. Después de que se coloca la cimbra en el sitio donde se hará el primer colado lo que se hace es troquelarla, además con la ayuda de un topógrafo la cimbra se nivela para asegurar que tenga la pendiente requerida.

La cubeta (la parte media inferior de la cimbra) de cada uno de los anillos se apoya sobre dos patas, estas patas son de sección circular con 1/2" de diámetro y tienen como función mantener fija la cimbra y evitar que durante el colado, debido a la presión de el concreto, la cimbra se mueva. Las patas cuentan con orificios a cada 15 cm. donde se coloca un pasador para aumentar la longitud de las patas, esta extensión se utiliza cuando el terreno no es uniforme, y con ellas se logra que la cimbra quede nivelada.

La cimbra cuenta con troqueles, dos horizontales (perpendiculares al eje de la cimbra) y se apoya en la parte lateral del túnel, uno vertical, este se coloca al centro de la clave del túnel y se colocan otros dos adicionales para tener mayor seguridad de que esta bien troquelada la cimbra, los troqueles adicionales se hacen de tubería galvanizada de 2", los troqueles forman 45 grados con respecto a los troqueles horizontales. Después de haberse terminado la colocación de la cimbra se vuelve a checar que este nivelada y en seguida se procede a colocar el tapón de la cimbra.

El tapón de la cimbra consiste en hacer que la cimbra quede bien sellada alrededor en las partes extremas de la cimbra para evitar que el concreto salga de la zona confinada durante el colado. El tapón que se coloca cada vez que se hace un colado es de madera, la madera que se utiliza es de 2" de espesor, la madera se corta en forma de cuña para que se pueda ajustar a la curvatura. Posteriormente, para lograr que los anillos queden bien reforzados se colocan varillas insertadas en barrenos que

previamente se perforan en la cubeta, en las paredes y en la clave del túnel.

Para los casos donde el túnel tiene curvatura es necesario hacer que la cimbra se ajuste a la curvatura. Como los módulos de la cimbra son de acero es necesario lograr que la curvatura se de, dejando libre un lado de la cimbra y para lograr que quede continua, se coloca una lamina entre el espacio que deja cada módulo. La lámina es de 3 mm de espesor a la cual se soldaron placas de 1/4" de 6 x 6 cm. a cada 40 cm. para colocar los pernos con los que se sujetará el cinturón.

Colado: Después de haberse terminado el cimbrado el siguiente paso es iniciar con el colado. El colado consiste en llenar el espacio que queda entre la cimbra y el terreno natural y de esta manera queda la estructura que forma el revestimiento definitivo. Para el colado se requiere un volumen muy grande de concreto y en poco tiempo, para lo cual fue necesario colocar una planta de concreto, para lograr que el colado sea lo más continuo y eficiente posible. La planta de concreto que se colocó tiene una capacidad de 0.5 m^3 en un ciclo de un minuto, los camiones de volteo que transportan el concreto tienen una capacidad de 3 m^3 .

La mezcla de concreto debe ser una mezcla bombeable, pero la mezcla no debe rebasar de 370 kg de cemento por m^3 de concreto por lo cual se busco una relación agua-cemento al menor costo, de acuerdo al laboratorio esto se lograría con el siguiente intervalo de la relación agua-cemento 0.5 a 0.55 a/c. Si a/c es menor que 0.5 hay problemas de bombeo. Si a/c es mayor que 0.55 hay problemas en cuanto a resistencia. Para lograr la relación agua-cemento más adecuada se buscó la cantidad de agua necesaria, $a = 0.55 \times c$, además de que se tomó en cuenta el uso de un aditivo fluidizante. De acuerdo a lo anterior se diseñó la mezcla por cada m^3 de concreto:

- 370 kg. cemento
- 800 kg. grava
- 600 kg. arena
- 203 lt. agua

- 3.7 lt. de aditivo.

La resistencia del concreto por especificaciones debe ser de 250 kg/cm^2 y su peso volumétrico de 2000 kg/m^3 .

El colado se realiza de la siguiente manera: El concreto se hace en la planta, como ya se menciona la planta realiza medio metro cúbico por minuto, el cual lo deposita en una tolva y la elaboración del concreto se va realizando de acuerdo a la rapidez con que los camiones de volteo lleven el concreto al frente de trabajo. Los camiones de volteo se colocan bajo la tolva, de esta manera empuja la palanca que abre la compuerta de la tolva, automáticamente se llena el camión. El camión de volteo lleva el concreto a otra tolva de 3 m^3 de donde el concreto pasa a través de una banda transportadora de 5 m. de longitud a otra tolva de 3 m^3 , para llegar a una bomba la cual colocará el concreto, a través de una tubería rígida, a la que en el extremo se le adapta una tubería flexible, que se introduce dentro del espacio que queda entre la cimbra y el terreno, para comenzar con el colado. La cimbra tienen dos ventanas por cada módulo, la función de las ventanas, es que por medio de ellas se pueda verificar que el colado se esta haciendo de la forma correcta y que este bien distribuido, cuando se llega al nivel de las ventanas estas se cierran, para continuar con el colado, se retira la tubería flexible y la tubería rígida es colocada en la clave del túnel y por ahí se continua colando, la tubería se comienza a retirar de acuerdo a como se van llenando el espacio con el concreto. Para lograr que el concreto se expulse con fuerza dentro del espacio confinado al final de la tubería se coloca un compresor, con el cual se inyecta aire a una presión de 7 kg/cm^2 durante el bombeo del concreto, esto es con el fin de hacer una mejor distribución del concreto.

Vibrado: Durante el colado es necesario compactar el concreto, esto se hace mediante un vibrado que le permita expulsar el aire y acomodarse totalmente. La ventaja del vibrado es que si el concreto esta bien compactado y no quedan oquedades habrá mayor continuidad en la transmisión de esfuerzos. Se debe evitar un exceso de vibrado, debido a

que si se vibra demasiado el concreto se segrega. Al vibrar se debe evitar que el vibrador se recargue en el acero de refuerzo.

Para la parte media inferior del túnel se utilizan vibradores de pared y de inmersión, por las ventanas con las que cuenta la cimbra se introduce el vibrador y conforme se va llenando se va vibrando, cuando se llega al nivel de la ventana esta se cierra y se inicia el colado por la clave del túnel.

La parte media superior del túnel se vibra con vibradores de pared. Como no es posible observar si el vibrado se esta realizando adecuadamente, dependerá de la experiencia del personal que realiza esta actividad el buen vibrado del concreto.

Después de 10 horas a partir de que se terminó el colado se puede comenzar con el movimiento de la cimbra. Durante el movimiento de la cimbra se le aplica un aditivo a la cimbra, este es un aditivo que evita la adherencia entre el concreto y la cimbra, además proporciona el curado al concreto para mantener la humedad.

IV.16 INYECCIÓN DE CONTACTO.

La inyección de contacto consiste en rellenar los vacíos existentes entre el revestimiento primario o el terreno natural y el revestimiento definitivo construido con concreto hidráulico. Para efectuar el proceso de inyección en el túnel se utilizarán 2 tipos de secciones, unas llamadas "impares" que constan de 3 barrenos en la parte media superior del túnel y otras llamadas pares que constan de solo dos barrenos en la misma zona, y dos barrenos en la parte media inferior, según se muestra en la figura IV.16.1.

Para el procedimiento de inyección se deberán realizar las barrenaciones necesarias desde el revestimiento definitivo. Cada perforación deberá penetrar 5.0 cm. en el revestimiento primario con el objeto de detectar la presencia del mismo.

La inyección de contacto se efectúa en dos etapas.

I. Primera etapa. Esta etapa se realiza cuando el concreto del revestimiento definitivo ha alcanzado la resistencia de proyecto y se utiliza en esta primera etapa el tipo de sección llamada impar. El orden de inyección de la sección impar inicia en el barreno # 1, al llenarse ese se sigue con el barreno # 2 y se termina la inyección del barreno # 3 localizado en la clave. La inyección se realiza por tramos de 80 mts. como mínimo, por lo cual se deben tener perforados como mínimo 11 secciones "impares", ya que estas secciones están a cada 8.0 mts. Si al estar inyectando una sección impar, se presenta una comunicación de la lechada con los barrenos posteriores, estos se deberán obturar y continuar con la inyección, si la comunicación se hiciera entre los barrenos de la misma sección "impar", estos se perforaran nuevamente para efectuar la inyección. Una vez concluida la inyección de las 11 secciones "impares" como mínimo se procede a inyectar las secciones "pares".

II. Segunda etapa. Este proceso se realiza cuando la inyección tenga tres días de edad. En esta segunda etapa se utiliza el tipo de sección llamada

"par". Se deben perforar un mínimo de 10 secciones "pares". es decir una menos que el número de secciones impares ya inyectadas. La secuencia de inyección de una sección "par", es empezar por el barreno # 1 y terminar la sección con el barreno # 2, la siguiente sección par se iniciará por el barreno # 2 y se terminará por el barreno # 1 y así sucesivamente. La sección media inferior se inyecta cuando la inyección de la segunda etapa tenga cuando menos tres días de edad. La secuencia de inyección deberá empezar por el barreno # 3 y terminar la sección con el barreno # 4; la siguiente sección par se empezará por el barreno # 4 y se terminará por el barreno # 3 y así sucesivamente.

Para la barrenación el equipo utilizado fue, barrenadoras neumáticas de piema.

Mezcla para la inyección: El tipo de mezcla a utilizar para efectuar la inyección de contacto en cada sección será una lechada de agua-cemento en proporción 3:1 en peso. Los materiales que se emplearon para la mezcla deben cumplir con los siguientes requisitos:

- Agua: estar libre de sedimentos y de materia orgánica.
- Cemento: tipo 1.
- Bentonita: relación bentonita-agua 3% en peso.

Esta mezcla se preparará en superficie, en dos agitadores, en los agitadores se mezclan los materiales por medio de motores eléctricos. La mezcla de inyección se conduce hasta el frente de trabajo por medio de una bomba tipo moyno a través de una tubería de 2" de diámetro. Al llegar la mezcla al frente de trabajo se deposita en otro agitador, de ahí la mezcla se conduce a presión a través de una manguera que se conecta a las válvulas de inyección.

La presión de inyección no deberá sobrepasar en ningún caso el valor de 1.5 kg/cm².

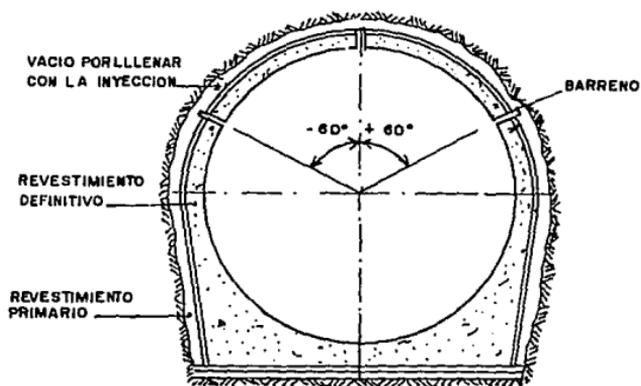
Un barreno se considera sellado cuando se presenten cualquiera de las siguientes condiciones:

- a) Cuando se haya inyectado en cada sección un volumen total de 3.5 m^3 o se haya levantado una presión de 1.2 kg/cm^2 ., lo que ocurra primero.
- b) Cuando no exista absorción con cualquier tipo de mezcla a una presión de 1.5 kg/cm^2 ., en un lapso de un minuto.

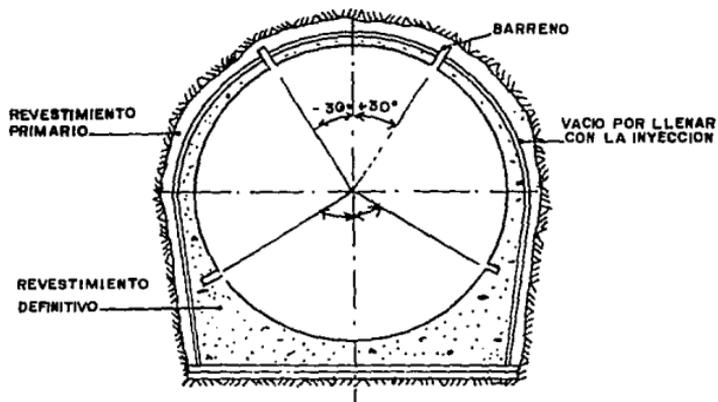
Los volúmenes de inyección son los siguientes:

- Sección impar: 1.0 m^3 en cada barreno.
- Sección par: 1.5 m^3 en cada barreno.

Si después de haber inyectado el volumen antes citado en cada uno de los barrenos de una determinada sección, esta aún no se ha sellado, se le deberá cambiar la proporción de lechada agua-cemento a una relación 2:1, si después de haber inyectado un volumen adicional de 0.25 m^3 de esta última lechada en cada uno de los barrenos, la sección aún permanece sin sellar, deberá cambiarse la lechada por un mortero agua-cemento-arena con bentonita; a esta mezcla se le deberá agregar algún fluidizante propio para mortero.



SECCION IMPAR



SECCION PAR

FIG. N. 16.1 SECCIONES DE INYECCION

IV.17 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO UTILIZADO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL.

- Equipo para la barrenación: En el túnel se utilizaron barrenadoras de pierna neumática las cuales fueron descritas en el capítulo anterior.

- Equipo de rezaga. Los equipos para la ejecución de la rezaga se pueden dividir en: de carga y acarreo. Los factores que influyen en la elección del equipo de acarreo son: área de la sección, excavación y geometría; longitud del túnel y tipo de roca. En el caso de la lumbreira se trata de un túnel vertical, por lo cual para la carga y desalojo de la rezaga se utilizó una draga de arrastre con cucharón de almeja. La draga es un equipo que consta de una larga y ligera pluma de grúa, que lleva en su extremo superior una polea de operación y un cucharón que se une a la máquina solamente por cables. La pluma está constituida por selosías o ángulos de acero y formada por los menos de dos secciones. Para la carga de la rezaga se utilizaron cargadores frontales sobre llantas. Los cargadores son máquinas exclusivas para la carga y descarga del material. Básicamente consiste en un cucharón adaptado en la parte delantera de cualquier tractor. El cucharón es una caja de construcción simple con una cuchilla de acero templado y una hilera de dientes que sirven para las excavaciones en roca. Su control y movimiento es a base de un sistema hidráulico. Para el acarreo se usaron camiones de volteo con capacidad de 8 m³. Volteos: equipo utilizado para el transporte y acarreo del material extraído, diseñado para circular dentro de las carreteras. Constan principalmente de una caja metálica o volteo, de una cabina de control, de un chasis y de varias llantas y neumáticos para desplazarse. La caja o volteo, es de accionamiento hidráulico y descarga trasera. La cabina es el lugar donde se encuentran todos los controles para el funcionamiento del camión como de su caja.

- Equipo para la colocación de soporte primario (concreto lanzado): Se utiliza para su dosificación un carro tolva este es un carro transportador mezclador que cuenta con dos tolvas una contiene cemento y la otra mezcla dosificada de arena y grava. La mezcla seca se lleva a cabo por

medio de un gusano que pasa por debajo de las tolvas, en este momento se le agrega el aditivo en forma manual. La descarga del gusano se hace directamente a una lanzadora del tipo de tambor rotatorio. La mezcla es expulsada hacia la manguera de salida por un sistema de inyección de aire comprimido que la conduce hasta la boquilla.

Equipo para revestimiento definitivo: Para el revestimiento definitivo se utiliza una cimbra telescópica. La cimbra funciona de la siguiente manera: Es una cimbra autosoportable, el movimiento de esta se lleva a cabo por módulos. Cada módulo consta de dos partes: la clave (parte superior) y la cubeta (parte inferior). La parte de la cubeta lleva integrados unos rieles por los cuales se desliza el jumbo, que es el encargado de desmontar la clave.

La maniobra se lleva a cabo de la siguiente manera:

- 1) El jumbo, apoyado en la cubeta del primer módulo, desmonta la clave del mismo.
- 2) Posteriormente, el jumbo avanza al segundo módulo y ahí se detiene. Entonces la viga de izaje se recorre para levantar la cubeta del primer módulo y colocarla enseguida del tercer módulo.
- 3) Una vez colocada la parte de la cubeta el jumbo coloca sobre esta la clave.

La operación se repite de la misma manera para colocar los otros dos módulos.

Para la producción del concreto se utiliza una planta Elba, esta planta consta de 2 depósitos en los cuales se almacena arena y grava a granel, un cilo para almacenar cemento, un sistema de basculas para pesar los agregados el agua y el cemento, una grua de cucharón de almeja para recoger los agregados, un bote en el cual se depositan los agregados una vez pesados, un bote mezclador donde se depositan todos los

componentes y una tolva donde se deposita el concreto, el concreto pasa directamente de la tolva a los camiones de volteo.

El concreto se transporta hasta el lugar de colado en camiones de volteo. Al llegar al frente el concreto se deposita en una tolva la cual vacía el concreto en una banda transportadora, esta banda lo transporta hasta una bomba que lo colocará dentro de la cimbra.

Para la producción del concreto del revestimiento definitivo de la lumbrera se uso una planta de concreto temporal. Una planta de concreto es un conjunto de estructuras o elementos mecánicos que accionados mediante corriente eléctrica trabajan en forma automática para realizar o elaborar concreto. Básicamente los equipos que incluyen estas plantas para el manejo y almacenamiento del material, están formados generalmente por elementos como tolvas de agregados y de cemento, plantas dosificadoras y básculas para cemento.

El proceso para la elaboración del concreto, comienza cuando los agregados son enviados por medio de un elevador y a través de una tolva hasta la planta dosificadora, en donde se le agrega agua y aditivos necesarios, así como el cemento que ha sido previamente pesado en la balanza, para que ya todos los elementos juntos, se combinen y se mezclen posteriormente en revolvedoras.

Para la colocación del concreto se utilizó una bacha de concreto. Consta de una bote de gran capacidad, con una compuerta inferior para la descarga; van articuladas en el extremo superior de una pluma.

Para el acomodo del concreto en el lugar donde se contruirá la estructura de revestimiento se utilizan vibradores de inmersión eléctricos. Este equipo consta principalmente de un cabezal o aguja tubular vibratoria que se sumerge completamente en el concreto, son accionados por medio de un motor eléctrico. La potencia del motor se transmite al cabezal a través de una manguera y de un eje flexible llamado chicote.

CAPÍTULO V

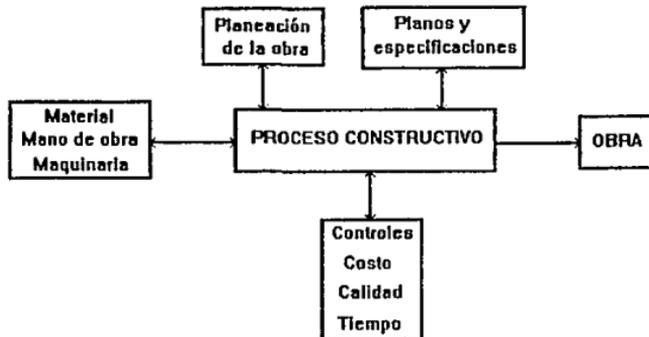
PROGRAMA DE OBRA.

V.1 PROGRAMA Y RUTA CRÍTICA:

Proceso constructivo: es el conjunto de trabajos que es necesario efectuar para producir una obra. Un proceso constructivo funciona como una caja negra cuyas entradas son los recursos y queda gobernada por:

- Planeación.
- Planos y especificaciones.
- Controles del proceso.

De esta forma se podrá producir la obra, tal como se estableció en el proyecto de la calidad, costo y tiempo deseados.



Tiempo de ejecución: Planear en que tiempo habrá de concluir la obra es de hecho programarla y al mismo tiempo establecer los elementos para el control del programa. En la ejecución de una obra deben de tenerse en cuenta tres puntos: Planeación, ejecución y control. Durante la ejecución de la obra, el seguimiento del programa es una de las actividades que requieren del constructor una atención constante. Es en sí una agenda de actividades a cumplir, prácticamente, a diario incluye suministros oportunos de materiales, llegadas y salidas de equipo y de personal y un aspecto fundamental para el logro exitoso de la obra, desde el punto de vista económico, que los tiempos se cumplan sin reducciones al rendimiento previamente adoptado en los precios unitarios.

Para quien controla el proceso, el programa es el documento que le permite observar si ocurren desviaciones. Del juicio que resulte se tomarán decisiones importantes que retroalimentan al proceso y que pueden modificar algunos parámetros usados para planear, y quizá llegar hasta la necesidad de adaptar procedimientos de construcción, proyectos, etc. en algunos casos las reducciones en duración, para recuperar atrasos, pretendiendo conservar la fecha de terminación no llevan a tales rendimientos requeridos, que puede modificar el costo de la mano de obra.

Programas de obra:

1. Actividades en un proceso constructivo son los trabajos que constituye al proceso.
2. Planeación de un proceso constructivo: es el conjunto de decisiones que deben adoptarse para realizar en el futuro, a fin de obtener el resultado deseado de la manera mas eficiente posible.
3. Programación de un proceso constructivo: es el ordenamiento de las actividades del proceso tomando en cuenta la naturaleza misma del proceso y sus restricciones.

Para poder realizar un programa de obra es necesario llevar un control de los tiempos de ciclo de las principales actividades. Una vez identificadas las principales actividades y determinado el tiempo de duración de cada ciclo se procede a la construcción de un diagrama de flechas el cual debe contestar 3 preguntas básicas sobre cada actividad:

- a) ¿Qué actividad precede inmediatamente a la ejecución de esta?
- b) ¿Qué actividades deben llevarse a cabo inmediatamente después de realizar esta?
- c) ¿Qué actividades pueden realizarse al mismo tiempo que esta?

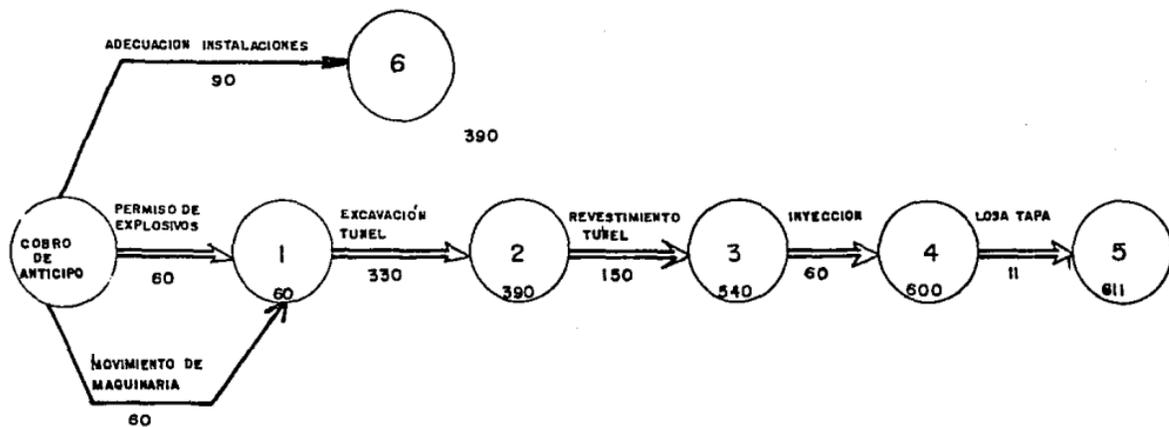
Para determinar la ruta crítica o el camino crítico la estimación de la duración se basa en las siguientes variables:

- Procedimiento de construcción.
- Recursos disponibles.
- Volúmenes de obra.
- Calidad, rendimiento, etc.

Una vez determinado lo anterior y construido el diagrama de flechas y la ruta crítica se está en posibilidades de determinar el tiempo de duración de la obra.

A continuación se muestra el diagrama de flechas y la ruta crítica de esta obra.

RUTA CRITICA →



Para controlar la duración de las actividades que forman un ciclo y corregir las desviaciones que se presentan hay varias actividades a seguir, las cuales se mencionan a continuación:

- **Reporte diario de campo:** El ingeniero de frente de acuerdo con su ciclo teórico de excavación debe preparar su programa de avance diario desde el inicio del turno hasta su terminación en forma gráfica y luego durante el transcurso del turno ir vaciando la información de campo sobre una forma para que siempre tenga conocimiento de los problemas que se presentan y pueda resolverlos en la medida de lo posible. Asimismo debe preparar el diagrama de la voladura indicando las cantidades de explosivos y artificios. En el programa diario de avance al vaciar la situación real se deberán colocar las demoras que haya sufrido cada actividad, para su corrección posterior.

La tabla V.1.1 muestra un formato del reporte de diario de obra. La tabla V.1.2 muestra un formato de la cantidad de explosivos usados diariamente y la duración de las actividades. Además deberá elaborarse para cada ciclo, un reporte geológico con los principales rasgos de la zona excavada el cual se muestra en la tabla V.1.3.

- **Hoja analítica de reportes:** consiste en una hoja en la que aparecen los días del mes y sus 24 horas, indicando el avance de excavación, el número de m³ de concreto lanzado y una columna para observaciones.

- **Informe semanal:** A partir de la hoja analítica, de la bitácora interna de la obra, de los reportes diarios de avance y de los reportes de chequeadores de actividades se prepara el informe semanal, el cual deberá contener:

- cadenamamiento inicial y final y su diferencia (km).
- consumo promedio de artificios por m³ (estopín, primacord, etc.).
- número de marcos colocados.
- concreto lanzado.
- volumen de excavación.
- sobrexcaación obtenida en el período.

- informe comparativo en cuanto a las condiciones geológicas encontradas y las esperadas.

EXCAVACION:

FECHA:		FRENTE:		
CONCEPTOS	ACUM. ANT.	AVANCE PARCIAL	ACUM. ACTUAL	CADENAM.
EXCAVACION				
PLANTILLA				
MARCOS MET.				
CONCRETO L.				

REVESTIMIENTO:

FECHA:		FRENTE:		
CONCEPTOS	ACUM. ANT.	AVANCE ACUMULADO	CADENAMIENTO.	
REV. DEF.				
COLADO #				
FALTA POR REVESTIR.				

FIG. V.1.1 REPORTE DIARIO DE OBRA

ACTIVIDAD	TIEMPOS				OBSERVACIONES	DIAGRAMA DE BARRERACION
	INICIA	TERMINA	SUB-TOTAL	ACUMULADO		
TRAZO						
BARRERACION						
CARGA						
MOVIMIENTO DE EQUIPO						
TORNADA Y VENTILACION						
AMACIAS Y RESACA						
OTROS: MONTEO						
REVEST. [COCC. LANIADO]						
PRIMARIO [COLOC. MARCOS]						
TIEMPO TOTAL DEL CICLO						

CADRAMIENTO: _____

CONSUMO DE EXPLOSIVO

CANT. TOTAL DE BARREROS	ELEMENTO	SYMBOLO	Nº DE BARREROS	Nº DE BOMBILLOS POR BARRERO	EXPLOSIVO DENSO TOTAL (KG)	EXPLOSIVO LIGERO MEXICANO (KG)
	BARREROS DE CUBA					
	BARREROS AYUDANTES					
	BARREROS D CONTORNO					
CANT. TOTAL DE ESTOPINES	BARREROS DE RADIO					
LONG. EMPLEADA PRIMACORD	BARREROS LIVANTADOR					
PULMINANTES EMPLEADOS	TOTALES					

COMENTARIOS: _____

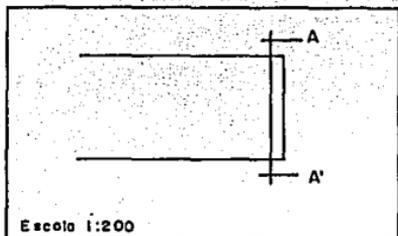
REVISO ING. DE TURCO

LONG. DE AVANCE _____ MTS.

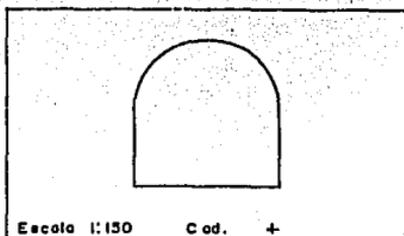
FIG. V.1.2. USO DE EXPLOSIVOS

TUNEL: _____
LEVANTADO POR: _____
CONSTRUCTOR: _____

FRENTE: _____
FECHA: _____
HOJA: _____



PLANTA DEL TUNEL



SECCION TRANSVERSAL DEL TUNEL
A - A'

DESCRIPCION

TIPO DE ROCA: _____

INTEMPERISMO: _____

AGUA: _____

DISCONTINUIDADES: _____

CALIDAD DE ROCA: _____

PROBLEMAS GEOTECNICOS: _____

TIPO DE SOPORTE: _____

OBSERVACIONES: _____

FIG. V.1.3 REPORTE GEOLOGICO.

V.2 CONTROL DE CALIDAD.

La calidad es junto con el costo y el tiempo uno de los tres parámetros de control de todo proyecto. Durante el proceso constructivo es necesario conocer la calidad de los materiales que se están empleando así como de los elementos que se están produciendo, para poder inducir como se comportará el sistema en su conjunto y en caso de ser necesario, hacer las medidas correctivas a tiempo.

El control de calidad es una actividad que se realiza a la par del proceso constructivo, y los resultados que se obtengan de este control deben retroalimentar al proceso en su conjunto.

Por calidad debe entenderse un conjunto de cualidades que debe de tener un determinado producto. En construcción este conjunto de cualidades serán por ejemplo, resistencia, deformabilidad, agrietamiento, permeabilidad, etc. Para realizar el control de calidad se establecen índices de calidad, dichos índices nos sirven para hacer comparaciones entre los diversos materiales. Así por ejemplo el índice de calidad mas característico del concreto es su resistencia a la compresión. mientras que en el acero, será su resistencia a la tensión. Para verificar si un material cumple con los índices estándares establecidos es necesario hacer pruebas a la estructura en su conjunto o bien a los materiales que la conforman. Al respecto tenemos diferentes tipos de pruebas:

- 1.- Pruebas no destructivas.
- 2.- Pruebas destructivas.
- 3.- Pruebas semidestructivas.
- 4.- Pruebas directas.
- 5.- Pruebas indirectas.

Control: es el proceso de verificación de que ocurre o no lo planeado para tomar decisiones oportunamente.

Calidad: es el parámetro de aceptación constituido por factores cuantificables (resistencia, deformación, etc.) y otros factores no cuantificables como la apariencia estética, etc. Para poder asignar una calificación de calidad a un producto, debemos compararlo con otros. Al prototipo se le llama especificación y un producto es aceptable o no si cumple con la especificación.

Estructura metálica: Los electrodos que se utilicen para la soldadura serán de marca reconocida y su calidad deberá estar avalada por el fabricante. Todas las soldaduras ejecutadas en taller, deberán hacerse en posición horizontal y por arriba, y los espesores deberán verificarse con calibrador.

La D.G.C.O.H. a través de la persona que designe, revisará, aprobará o rechazará los trabajos efectuados, tomando como base, los planos estructurales, así como las especificaciones contenidas en el reglamento de construcciones vigente en el Distrito Federal. La calidad del material antes de su uso deberá estar justificada por reportes de prueba realizados por el proveedor que ampare las diferentes entregas. En caso de que no se tengan dichos reportes, se deberán efectuar ensayos de laboratorio para constar que el material cumple con las especificaciones correspondientes. El fabricante, deberá justificar la soldadura que efectúa mediante pruebas periódicas. Dichas pruebas consistirán en obtener radiografías a través de un laboratorio oficial aprobado por la D.G.C.O.H. En caso de que existan dudas en la calidad de la soldadura, la D.G.C.O.H., podrá solicitar radiografías adicionales, las cuales serán cargadas al fabricante si los resultados no cumplen con las especificaciones.

Concreto lanzado: Los materiales que formen el concreto lanzado serán: una mezcla de cemento portland, arena, grava de tamaño no mayor de 3/4", agua y un aditivo acelerante especial para elaborar concreto lanzado. El procedimiento de mezclado del concreto lanzado será el de mezcla seca, el cual consiste en mezclar perfectamente el cemento los agregados y el aditivo, para introducir la mezcla resultante en un

recipiente y de este conducirla neumáticamente a través de una manguera hasta la boquilla de expulsión, añadiendo en la boquilla misma el agua de hidratación antes de lanzarla.

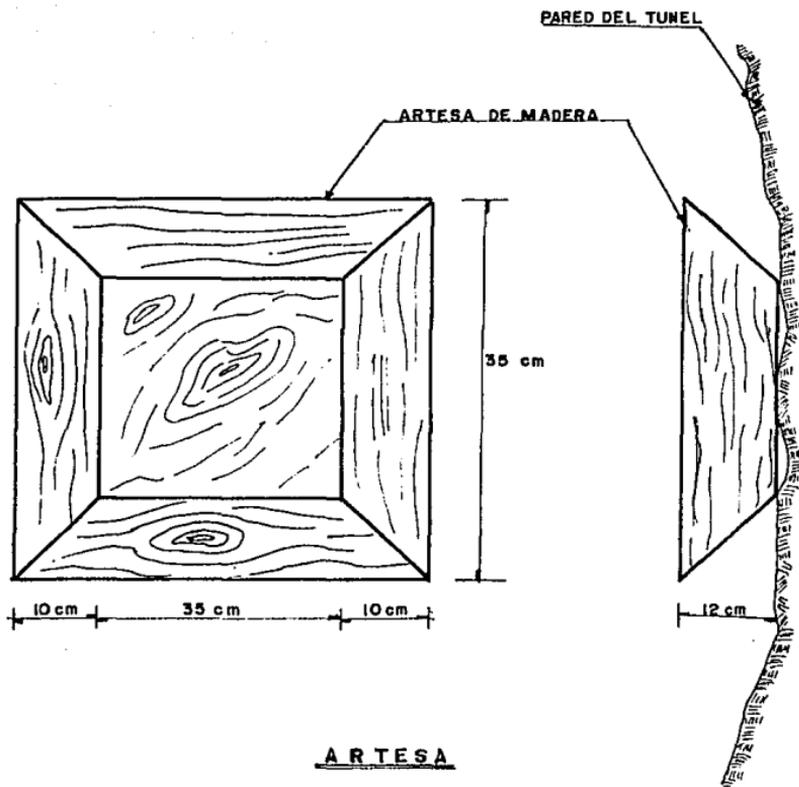
La relación agua-cemento deberá ser tal que se logre en el material colocado una consistencia estable lo mas húmeda posible.

El equipo que se empleé para el lanzado deberá tener un recipiente para hacer el mezclado del cemento, agregados y un aditivo en seco, la presión del aire a la salida de la máquina lanzadora se mantendrá constante y no será menor de 3.5 kg/cm^2 . La presión a la salida del agua no debe ser menor de 4.0 kg/cm^2 y nunca deberá ser menor que la presión de lanzado.

Para la aplicación del concreto lanzado, la superficie deberá estar húmeda para facilitar la adhesión del concreto y no deberá lanzarse concreto sobre superficies secas o polvosas.

El concreto lanzado ya colocado, deberá alcanzar la resistencia a la compresión especificada en el proyecto, que es de 200 kg/cm^2 a los 28 días de edad.

Para cada 50 m^3 de concreto lanzado que se aplique en la superficie excavada deberá extraerse una muestra por medio de una artesa de madera con las dimensiones que se muestran en la figura V.2.1. La artesa la formará el lanzado produciendo por entero las condiciones de lanzado que efectúa normalmente. La artesa se mantendrá firmemente sujeta a una de las paredes de la excavación de manera que al lanzar sobre ella el concreto no se mueva o caiga. La artesa no se moverá antes de 12 horas de haberse lanzado. A una edad mínima de 70 horas se extraerán 2 especímenes de 3" de diámetro y se ensayarán a compresión simple a la edad del concreto de 72 horas. El resto de la muestra deberá guardarse en un cuarto húmedo o curarse en agua hasta alcanzar 28 días de edad aproximadamente en este momento se extraerán 3 corazones para su ensaye a compresión simple a 28 días de edad del concreto. El



ARTESA

ESTAS ARTESAS SERAN DE MADERA DE 19mm DE ESPESOR

FIG. V.2.1 ARTESAS DE MADERA.

concreto lanzado se considerará adecuado en resistencia si el promedio de 3 corazones ensayados a una edad de 28 días es por lo menos igual a 85% de la resistencia especificada y ningún corazón tenga una resistencia menor de 75% de dicha resistencia.

De los agregados que se utilizarán en la construcción se obtendrán muestras, una cada 500 m³ y/o una muestra por semana como mínimo.

Concreto: La resistencia del concreto solicitada en los distintos elementos de la estructura, se indica en planos y se refiere a la edad de 28 días cuando se utiliza cemento de los tipos I o puzolánico y a 14 días cuando se use cemento del tipo III o se apliquen aditivos acelerantes. La toma de muestras cilíndricas para la verificación de resistencia, se hará en moldes estándar con diámetro de 15 cm y altura de 30 cm.

Revestimientos: Tomando en consideración que el transporte de las mezclas de concreto para el revestimiento del túnel se hará por bombeo, las características de fluidez medidas con la prueba de revenimiento, será de 16 ± 2 cm, medido en el punto más cercano a su colocación. La supervisión podrá aceptar que dos mezclas consecutivas como máximo, excedan del revenimiento estipulado, para que se haga el ajuste necesario, pero no se aceptarán los posteriores a las dos muestras previamente indicadas. La contratista no podrá modificar las condiciones de fluidez de una mezcla que no cumpla con el revenimiento especificado mediante la adición de agua o materiales. El peso volumétrico medido en concreto fresco estará comprendido entre 2,000 y 2,400 kg/m³.

La temperatura de las mezclas de concreto quedará comprendida entre un mínimo de 7 °C y máximo de 32 °C; fuera de estos márgenes se tomarán las medidas necesarias. La temperatura del cemento en el momento de su dosificación, conviene que no exceda de 60 °C.

El grado de calidad del concreto que se utilice será el designado como "A" que corresponde a estructuras diseñadas por método de esfuerzos de trabajo. Para la aceptación del concreto, se especifica lo siguiente:

- No más de 20% de las pruebas de resistencia alcanzarán valores menores al f_c especificado.
- El promedio de cualquier grupo de 7 pruebas consecutivas, deberá ser igual o mayor a la resistencia especificada (f_c).
- No más de 1% de las pruebas de resistencia puede ser menor a f_c en 50 kg/cm².
- Cuando el número total de pruebas es de 7 o menor, el promedio de las mismas será igual o mayor al que se indica en el cuadro siguiente:

No de pruebas.	Resistencia promedio de pruebas consecutivas, con relación a f_c calidad "A".
1	$f_c - 50$
2	$f_c - 28$
3	$f_c - 17$
4	$f_c - 11$
5	$f_c - 7$
6	$f_c - 4$

A juicio de la residencia y de la supervisión, podrá solicitarse concreto grado "B" y en su caso se aplicarán los requisitos correspondientes. El tamaño máximo del agregado será de 20 mm (3/4") para concreto bombeado y hasta 40 mm (1 1/2") en mezclas que no se bombean.

Producción del concreto: El concreto que se elabore para la obra será producido en la planta central. Los ingredientes se dosificarán por peso excepto el agua y aditivos, que podrán medirse volumétricamente. El sistema de pesado y recipientes volumétricos autorizados, se verificará cuando menos una vez por semana, utilizando de preferencia taras calibradas. La verificación de pesos para cada báscula deberá alcanzar por lo menos el 80% de la cantidad por dosificar. Las lecturas en las barras o carátulas no deben acusar diferencias mayores al 1% para el cemento y el agua y el 2% en los agregados.

El equipo de mezclado deberá contar con el tipo de agitación adecuado, aspas o paletas que garanticen la incorporación uniforme entre ingredientes.

Frecuencia de muestreo: Por cada día de colado y tipo de concreto, se deberá obtener cuando menos una muestra (dos cilindros) para su ensaye a la edad final especificada. Cada muestra representará un volumen de concreto de 40 m³ o fracción. La prueba de revenimiento se determinará con la frecuencia de un ensaye por cada 5 m³ producidos. La porción de muestra que se tome para la elaboración de cilindros, revenimiento y peso volumétrico, deberá obtenerse después de que se haya descargado cuando menos una quinta parte del volumen entregado; así mismo se descartará para efectos de muestreo la parte final del mismo.

Transporte y colocación: El transporte de las mezclas al frente de colado, se hará principalmente por bombeo; de requerirse acarreo intermedios de la planta premezcladora al sitio de descarga se utilizarán mezcladoras de tránsito, sin embargo en los acarreo internos se podrán utilizar bandas y/o camiones de volteo, canalones que tengan deflectores en los extremos de descarga, que eviten la segregación. La descarga del concreto en las formas se hará lo mas cerca de su posición final, sin que se permita el traspaleo ni el uso del vibrador para transportarlo. Todas las operaciones que impliquen la dosificación de materiales, mezclado, transporte y colocación hasta la posición final del concreto, deberán efectuarse en un máximo de 90 minutos cuando no se utilicen aditivos retardadores.

Para la comprobación de las actividades mencionadas, la supervisión llevará un registro de tiempos de salida del concreto en planta, hasta su colocación final y tendrá facultades para rechazar mezclas que hayan rebasado el tiempo especificado.

La colocación del concreto a la cimbra metálica monolítica del tipo deslizante de sección circular será únicamente con bomba para bombear

concreto y tubería lisa ced. 40 de 6" de diámetro por la parte superior de la cimbra.

El contratista deberá utilizar como mínimo 8 vibradores de contacto y 4 de inmersión, contando con dos de repuesto para cada tipo para garantizar la buena colocación del concreto dentro de la cimbra.

Curado: Las áreas de las estructuras colocadas que no estén cubiertas por cimbra, deberán mantenerse constantemente húmedas durante un mínimo de 7 días consecutivos si el cemento que se utilizo es del tipo I puzolánico o 3 días si fue del tipo III.

Resistencias insuficientes: Cuando los resultados de resistencia en cilindros estén fuera de las tolerancia establecidas, podrán hacerse verificaciones adicionales; para esto se tomarán de las zonas en duda tres corazones por cada 40 m³ colados o fracción. El concreto representado por los corazones será aceptable si el promedio de las tres muestras es igual o mayor al 80% de f_c y ningún valor individual es menor al 70% de f_c.

Requisitos de calidad de los componentes:

- **Agregados**: Los agregados estarán exentos de impurezas y contaminaciones. Se harán muestreos periódicos de los agregados con la siguiente frecuencia, para cada tipo de material.

- Pruebas de
 - Densidad
 - Absorción
 - Partículas menores que la malla No. 200
 - Materia orgánica (arena)
 - Granulometría

cada 1000 m³.

- Pruebas de
Partículas suaves
Sanidad en sulfato de Sodio
Abrasión los angeles

cada 5000 m³.

- Agua: Se utilizará agua limpia, potable, exenta de acidos, sales, aceites, materia orgánica y no procederá de ninguna fuente que reciba desperdicios industriales.

- Cemento: Se podrá utilizar cemento de los tipos I, III, puzolánico u otros que apruebe la supervisión.

Inyección de contacto: El tipo de mezcla a utilizar para efectuar la inyección de contacto en cada sección será una lechada de agua-cemento en proporción 3:1 en peso. Los materiales que se emplearán para la mezcla deberán cumplir con los requisitos siguientes:

- AGUA. Deberá estar libre de sedimentos, materia orgánica o impurezas que resulten nocivas a la mezcla.

- CEMENTO. Se deberá utilizar cemento tipo I o a falta de éste se podrá utilizar tipo V.

- BENTONITA. Esta deberá prepararse con una relación bentonita-agua que no exceda del 3% en peso, considerando una relación agua-cemento 1:1 con un tiempo mínimo de 8 horas de hidratación.

- ARENA. Deberá estar constituida por partículas redondeadas de preferencia de río, con dimensiones máximas de las partículas inferiores a 1.5 mm.

Los límites granulométricos serán los siguientes.

Malla No.	(% que pasa por la malla)
10	85-100
30	50- 85
50	20- 50
150	10- 30

La presión de inyección no deberá sobrepasar en ningún caso el valor de 1.5 kg/cm^2 .

V.3 SEGURIDAD DENTRO DE LA OBRA.

El contratista será responsable para el total cumplimiento de todas las leyes, reglamentos y ordenanzas federales y estatales relacionadas con la seguridad y sanidad. Todas las actividades desarrolladas por el contratista estarán de acuerdo con las mejores prácticas de seguridad para construir. Para llevar el control de la seguridad el contratista debe tener a su servicio un ingeniero de seguridad de tiempo completo y contratará personal para el mantenimiento de un programa de seguridad, el que incluirá inspección local de escaleras, equipos extinguidores de incendio, métodos de construcción y condiciones de sanidad. El contratista deberá tener siempre dispuestas las facilidades para transportar en cualquier momento casos de emergencia. El contratista deberá mantener medidas de seguridad en todos los caminos dentro del sitio de la obra.

La ventilación: Es muy importante ya que mantiene una atmósfera adecuada en el frente de excavación, para ello se requerirá inyectar aire hasta el frente de excavación para eliminar los gases producidos por los explosivos de tal forma que renueve el aire en el frente en un máximo de 10 minutos. Otro de los fines de la ventilación es eliminar del túnel los gases producidos por motores diesel en combustión dentro del túnel. Es muy importante que no se permita el uso de motores de combustión directa accionados por gasolina.

Iluminación: La iluminación será permanente y con la intensidad suficiente para circulación de personas con seguridad absoluta dentro del túnel, los conductores eléctricos para este tipo de iluminación deberán ser de tipo aislado: se requerirá un mínimo de 100 luxes en las zonas de circulación del túnel y 300 luxes en el frente de trabajo. Para dar el nivel de iluminación que se requiere en el túnel se podrán utilizar lámparas fluorescentes de 2 x 74 watts tipo slim-line o similar cada 10.0 metros y para el frente del túnel se podrán utilizar reflectores de vapor de mercurio con aditivos metálicos que den el nivel de iluminación especificada, en la

zona del portal o de la lumbrera, el nivel de iluminación no será menor de 300 luxes.

Explosivos: El contratista deberá cumplir con los reglamentos y disposiciones en vigor de la secretaría de la Defensa Nacional para la compra, transporte, almacenamiento y consumo de pólvora, explosivos y artificios. La cantidad de explosivos utilizada y los métodos de tronada, deberán evitar la fracturación de las superficies de excavación y los daños de trabajo adyacentes a los límites de excavación. Conforme la excavación se aproxime a los límites finales la profundidad de los barrenos, la cantidad de explosivo en cada barreno deberá disminuirse en forma progresiva para preservar en buena condición la roca permanente. No se permitirá la perforación de barrenos más allá de las líneas de excavación. Cuando se requiera obtener los materiales dentro de ciertas dimensiones, el contratista controlará las explosiones para tal fin. Las explosiones se ejecutaran después de tomar las precauciones debidas para el personal y la propiedad.

Bebidas alcohólicas: Deberá hacerse constar expresamente que el consumo comprobado de bebidas alcohólicas en lugares donde la obra se esté llevando a cabo por alguna persona empleada por el contratista, dará lugar inmediatamente a su despido, cualquiera que sea la clase o cantidad de bebida alcohólica ingerida. El contratista deberá colocar en lugares apropiados letreros visibles, para advertir a todas las personas y dar a conocer debidamente la mencionada prohibición.

Limpieza en el lugar de la obra: El contratista deberá establecer y mantener un servicio eficiente de limpieza y recolección de basura y durante todo el tiempo que duren los trabajos, el contratista dispondrá lo necesario para mantener libres de sobras de material, de desperdicios y de basura, todo el lugar de la obra y sus alrededores y al terminar la obra deberá limpiar y deshacerse de todos los materiales sobrantes, basura y obras temporales de cualquier naturaleza y tipo.

CONCLUSIONES

Cualquier zona habitada requiere de servicios para tener un nivel de vida aceptable uno de estos servicios es el abastecimiento de agua potable, para poder brindar este servicio a la población es necesario contar con alguna fuente cercana para la obtención de este recurso, cuando esto no es posible se necesita buscar algunas fuentes lejanas lo que requiere de la construcción de grandes obras para el manejo y transporte del recurso, como son tanques de almacenamiento, conductos, etc.

La ingeniería civil así como otras disciplinas y otras ramas de la ingeniería relacionadas entre sí juegan un papel muy importante en la realización de estas obras.

Durante la realización de este trabajo pudimos observar los métodos y técnicas de construcción utilizados, cuidando a la vez que el trabajo realizado cumpla con las especificaciones y calidad establecidas en el proyecto de la obra, resolviendo además problemas que se presentan en la obra y que no estaban contemplados en el proyecto.

Para la construcción de esta obra no fue necesario emplear maquinaria ni métodos de construcción sofisticados, por el contrario se utilizaron métodos rústicos en los cuales un recurso muy importante es la mano de obra calificada y personal con la suficiente experiencia para resolver los problemas que se presentan, además de mantener en buen estado la maquinaria y equipo necesarios para cumplir con el tiempo, costo y calidad previstos al inicio de la obra.

Otro aspecto muy importante observado dentro de la obra es que no se cuenta con personal especializado para auxiliar al personal en cuanto a la seguridad en la obra, y observar que se cumpla con las normas fijadas en las especificaciones, el costo que esto implica debería incluirse dentro del costo total de la obra ya que es un concepto muy importante para la realización de esta.

Un concepto que va muy ligado a la seguridad en la obra es la limpieza, ya que de esta depende el bienestar y un buen desempeño del personal que ahí labora.

REFERENCIAS

- Especificaciones de la DGCOH para la construcción del acuífero.
- Manual para el uso de explosivos.
Du Pont.
México D.F., 1991.
- Curso Victor Hardy 1992.
Túneles y excavaciones subterráneas.
Tomo 1 y 2.
México 1992.
Asociación Mexicana de Ingeniería de túneles.
- Túneles planeación, diseño y construcción.
T.M. Megaw
México.
Limusa.
- Breve descripción del equipo usual de construcción.
Facultad de Ingeniería.
DICTyG.
Departamento de construcción.