

17  
29.



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

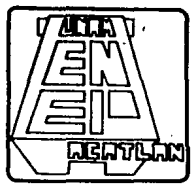
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
"ACATLAN"

COORDINACION DEL PROGRAMA DE INGENIERIA

CONSTRUCCION DE UN TUNEL CARRETERO EN EL CAMINO  
MEXICO - TOLUCA, TRAMO LA MARQUESA - LA VENTA



T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO CIVIL  
P R E S E N T A  
ALFONSO MEDRANO ASAD





## **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  
AUTÓNOMA

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLÁN"  
COORDINACIÓN DEL PROGRAMA DE INGENIERÍA

CI/121/1987.

SR. ALFONSO MEDRANO ASAD  
Alumno de la carrera de Ingeniería  
Civil.  
Presente.

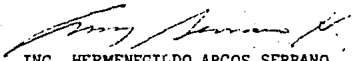
De acuerdo a su solicitud presentada con fecha 8 de octubre de 1985, me complace notificarle que esta Coordinación tuvo a bien asignarle el siguiente tema de tesis: "Construcción de un Túnel Carretero en el Camino México-Toluca, Tramo La Marquesa-La Venta", el cual se desarrollará como sigue:

- Introducción.
- I.- Generalidades.
- II.- Nociones sobre el Diseño de Túneles.
- III.- Estudios Técnicos.
- IV.- Proceso Constructivo.
- V.- Programación y Análisis de Costos de la Obra.
  - Anexos.
  - Conclusión.
  - Bibliografía.

Asimismo fue designado como Asesor de Tesis el señor Ing. Raúl Ibarra Ruiz, profesor de esta Escuela.

Ruego a usted tomar nota que en cumplimiento de lo especificado en la Ley de Profesiones, deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito básico para sustentar examen profesional, así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título de trabajo realizado. Esta comunicación deberá imprimirse en el interior de la tesis.

A t e n t a m e n t e,  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Acatlán, Edo. de Méx., a 3 de julio de 1987.

  
ING. HERMENEGILDO ARCOS SERRANO  
Coordinador del Programa de  
Ingeniería.

## I N D I C E .

|   |        |
|---|--------|
| INTRODUCCION.....   | pág. 3 |
| <b>I.-GENERALIDADES.</b>  |        |
| I.1 Antecedentes históricos.....  | 5      |
| I.2 Clasificación de los túneles.....   | 8      |
| I.3 Justificación del túnel carretero.....  | 10     |
| I.4 Estudio geológico.....  | 14     |
| I.5 Principales métodos usados para el control<br>del comportamiento del macizo roccso..... | 18     |
| <b>II.-NOCIONES SOBRE EL DISEÑO DE TUNELES.</b>   |        |
| II.1 Tipos y causas de las cargas producidas por<br>la excavación.....                      | 22     |
| II.2 Factores que influyen en la estabilidad de<br>los túneles.....                         | 23     |
| II.3 Tipos de soporte.....  | 24     |
| II.4 Métodos para estimar la necesidad de ad-<br>mado y tiempo de colocación.....           | 26     |
| <b>III.-ESTUDIOS TECNICOS.</b>  |        |
| III.1 Localización.....   | 33     |
| III.2 Estudio geológico del túnel La Venta.....   | 34     |

|  |     |
|--|-----|
| III.2.1 Fisiografía y geología regional.....               | 35  |
| III.2.2 Geología local.....                                | 36  |
| III.2.3 Exploración indirecta.....                         | 36  |
| III.2.4 Exploración directa.....                           | 39  |
| III.2.5 Convergencia y extensometría.....                  | 41  |
| <br>   |     |
| IV.-PROCESO CONSTRUCTIVO.                                  |     |
| IV.1 Antecedentes.....                                     | 47  |
| IV.2 Anportalamiento lado Este.....                        | 48  |
| IV.3 Anportalamiento lado Oeste.....                       | 57  |
| IV.4 Excavación y revestimiento primario.....              | 60  |
| IV.5 Revestimiento definitivo.....                         | 82  |
| IV.6 Galería de comunicación.....                          | 85  |
| IV.7 Terracería, pavimentación y drenaje del<br>túnel..... | 88  |
| IV.8 Seguridad en el trabajo subterráneo.....              | 92  |
| <br>   |     |
| V.-PROGRAMACION Y ANALISIS DE COSTOS DE LA OBRA.           |     |
| V.1 Programación del túnel La Venta.....                   | 94  |
| V.2 Análisis de costos de la obra.....                     | 101 |
| <br>   |     |
| ANEXOS.....  | 129 |
| <br>   |     |
| CONCLUSION.....  | 130 |
| <br>   |     |
| BIBLIOGRAFIA.....  | 133 |

## I N T R O D U C C I O N .

El crecimiento de las ciudades de México y Toluca, y por consiguiente de los requerimientos de tránsito que ello implica, ha obligado a la modernización de la actual carretera México-Toluca ; y haciendo referencia al tramo La Venta-La Marquesa, que es la parte que actualmente se encuentra en construcción, se puede decir que constará de 6 carriles - (tres en cada sentido), de un túnel y de un viaducto, ambos - constituidos por dos cuerpos gemelos.

Con la construcción de esta vía, el transporte carretero entre estas dos ciudades será más fluido y rápido, gracias a la reducción de curvas y pendientes, y al incremento de 4 a 6 carriles, que permitirá a los conductores una velocidad crucero de entre 90 y 110 kilómetros por hora, reduciendo de esta forma el tiempo de recorrido de México a Toluca a 25 o 30 minutos, además de brindar mayor seguridad al usuario.

El objeto de esta tesis, es el de describir los estudios técnicos y el proceso constructivo para la realización del túnel carretero denominado La Venta, y que actualmente - es único en su tipo en América Latina. Para lograr esto, se

pensó prudente hacer primero un bosquejo histórico de lo que han sido los túneles, en que se basa la justificación para la construcción de un túnel carretero, cuales son los estudios que se requieren para recabar la información relativa a los datos geológicos, y algunos aspectos que se tienen que considerar para su diseño.

Teniendo ya una idea preliminar de lo que son los túneles, se hace mención a los estudios realizados para la obtención de la información geológica del lugar, antes y durante la construcción del túnel La Venta ; del método de excavación, del tipo de revestimiento (primario y definitivo), y de los detalles constructivos.

Por último, se presenta el programa de obra ; el análisis de uno de los conceptos más importantes para la realización del túnel ; y el presupuesto aprobado en el mes de Agosto de 1985 para su construcción.

## CAPITULO I. GENERALIDADES.

### I.1 ANTECEDENTES HISTORICOS.

Los túneles han sido construidos por el hombre desde la antigüedad, esto se lograba gracias al conocimiento empírico que se había adquirido en base a la experiencia de generaciones anteriores, y sólo hasta principios del siglo XX con el nacimiento de la mecánica de suelos y la mecánica de rocas, ese conocimiento empírico pudo extenderse a uno más científico, de tal forma, que ya en la actualidad la construcción de túneles se realiza sobre bases más sólidas. Es importante señalar que a pesar de los avances logrados, el éxito de un buen tuneleo depende en gran medida de la experiencia y del sentimiento que tenga el ingeniero, o lo que muchos autores llaman "el arte de tunelear".

A continuación se pretende esbozar la evolución que ha tenido el tuneleo en el mundo.

Según se sabe el túnel más antiguo fué el construido en Babilonia por la reina Semiramis hace 4,000 años aproximadamente, y cuya finalidad era la de comunicar al palacio -



con el templo de uno de sus dioses. Lo que resulta interesante de esta obra de ingeniería es que tenía una longitud de 1 kilómetro, una sección de 3.6 m. X 4.5 m. (16.20 m<sup>2</sup>) y que además pasaba por debajo del río Éufrates, todo esto iba a complicar la construcción del túnel. La solución que se tuvo fue la de desviar el cauce del río temporalmente para realizar la excavación, y para su revestimiento, se utilizaron paredes de ladrillo pegados con mortero bituminoso y un techo en forma de bóveda.

Otro dato que se tiene es el túnel construido en Jerusalén hace aproximadamente 2,700 años, y cuya finalidad era la de conducir agua a la población, las dimensiones de esta obra eran de 200 m. de longitud y 0.70 m. X 0.70 m. de sección.

Los griegos también construyeron túneles para la conducción de agua, como lo muestra uno de éstos en la isla de Samos, las dimensiones de esta obra fueron de 1.5 Km. de longitud y una sección de 1.8 m. X 1.8 m.

Los romanos continuaron con la construcción de túneles para la conducción de agua, y es de especial mención el construido hace 1,800 años (por órdenes del emperador Adriano), el cual después de ser reparado hacia el año de 1925 todavía cumple con su función.

En América, especialmente lo que era la Nueva España, el tuncleo aparece como una necesidad en la explotación minera.

Más tarde en la ciudad de México también aparece como una - necesidad, que era la de un desagüe apropiado, por lo que fué mandado construir un túnel por ordenes del virrey Don Luis De Velasco el 30 de Noviembre de 1607, el cual se terminó el 17 de Septiembre de 1608, las dimensiones de este túnel fueron de 6.6 Km. de longitud y una sección de 3.5 m. X 3.5 m., desgraciadamente éste falló por falta de un revestimiento.

Tiempo después con el surgimiento de la revolución industrial, a finales del siglo XVIII y principios del XIX, - aparecen los ferrocarriles con sus grandes limitaciones en cuanto a las pendientes, por lo tanto tienen que construir - tantos túneles como fuera necesario, notándose un gran incremento del tuncleo en el mundo y prueba de ello es que para mediados del siglo XX se calculaba que el número de éstos - ascendía a 5,000, figurando entre los de mayor longitud los de Mont Genis, San Gotardo, Simplón y Lotchberg en los Alpes, y los de Moffat y Cascada en los Estados Unidos de Norteamérica. Es digno de mención el túnel llamado Simplón, que se - encuentra situado entre Suiza e Italia, debido a que tiene - una longitud de 19.5 Km. y cuya distancia vertical en algunos puntos llega a ser de 2,800 m., medidos desde la superficie de la montaña hasta el piso del túnel.

Finalmente, de los túneles de mayor importancia debido a su magnitud y que se están llevando a cabo en esta década de los ochentas son: el de Japón, que tiene la finalidad de - comunicar o unir dos de sus islas principales; y el túnel - que se pretende construir en el canal de la Mancha y que -

uniría a Gran Bretaña con Francia, este último se encuentra todavía a nivel proyecto.

## I.2 CLASIFICACION DE LOS TUNELES.

Antes de que se exponga una clasificación resulta conveniente definir lo que es un túnel. Es una perforación subterránea sin afectar la superficie (al menos es lo que siempre se busca), que permite comunicar directamente dos lugares separados por obstáculos naturales o artificiales, por ejemplo, ríos, montañas, edificios, ... etc.

Ahora bien, se tiene una clasificación de las perforaciones o excavaciones subterráneas, y dentro de uno de estos incisos, se tiene la de los túneles.

- A) Las excavaciones subterráneas empleadas en la industria minera, que comprende accesos de comunicación - más o menos permanentes, que sirven como redes de transporte para los minerales extraídos. El sistema de soporte empleado es provisional, debido, a que los accesos van cambiando conforme se agotan las vetas.
- B) Aquellas excavaciones subterráneas empleadas para tránsito y conducción, que son propiamente los túneles y de los cuales más adelante se dará la clasificación.

C) Las excavaciones subterráneas destinadas a proporcionar protección contra ataques aéreos, alojar instalaciones (como es el caso de máquinas en los sistemas hidroeléctricos),...etc.

D) Aquellas excavaciones que brindan diferentes servicios dentro de las ciudades, como son, los estacionamientos, bodegas,...etc.

Después de ésta clasificación, tal vez surga la duda en cuanto a, ¿ qué diferencia hay entre un túnel y una excavación subterránea? , a lo que se puede contestar como sigue. La diferencia consiste en que, en el túnel dos de sus dimensiones son relativamente pequeñas con respecto a su longitud, mientras que para una excavación subterránea cualquiera no existe relación entre las dimensiones (resultan aproximadamente del mismo orden las magnitudes de éstas).

A continuación se expone la clasificación de túneles - según su propósito:

a) Túneles para tránsito, que se dividen en:

- 1) Túneles para ferrocarril.
- 2) Túneles para caminos o túneles carreteros, que es el caso en el que se clasifica al túnel "La Ven-  
ta", objeto de este trabajo.
- 3) Túneles para peatones.
- 4) Túneles para el sistema de transporte colectivo -  
"Metro".

- b) Túneles para conducción, que se dividen en:
- 1) Túneles de presión para centrales hidroeléctricas.
  - 2) Túneles para abastecimiento de agua.
  - 3) Túneles para drenaje.
  - 4) Túneles para alojar instalaciones diversas, y finalmente.
  - 5) Túneles para transporte de mercancías y materiales en ciudades y plantas industriales.

### I.3 JUSTIFICACION DEL TUNEL CARRETERO.

Las carreteras son el sistema de transporte que en México constituye uno de los elementos de mayor importancia, en cuanto a desarrollo económico se refiere, ya que permiten el flujo de mercancías y de personas hacia las poblaciones del país, o de éstas al exterior de manera rápida, ayudando de esta forma a que exista un mercado más dinámico.

En la actualidad el construir o modernizar una carretera en México, implica un análisis más cuidadoso en cuanto a los requerimientos de tránsito, condiciones topográficas y uso del suelo, de ahí que se opte en muchos casos el utilizar elementos de paso directo como son los túneles, con el objeto de disminuir distancias, pendientes, costos de transporte, derecho de vía, costos sociales y daños a la ecología. Por lo tanto la justificación del túnel carretero debe efectuarse dentro del marco general que es la carretera.

El proyecto de una carretera se desarrolla en tres etapas que son:

- A) Selección de ruta; esta tiene por objeto fijar los puntos obligados, dentro de la ruta del camino.
- B) Anteproyecto; en esta fase se trata de verificar que una de las soluciones que se tienen dentro de la selección de la ruta es rentable (beneficio/costo), además de ser técnicamente posible.
- C) Proyecto; esta última fase consiste en el desarrollo ya en forma detallada de la solución que resulte más conveniente.

La necesidad del túnel carretero se determina en las fases A y B; su ubicación final dependerá de las condiciones geológicas del lugar.

Desarrollando un poco más los puntos que van a normar la construcción o modernización de una carretera, y en consecuencia la posible ubicación de un paso directo como son los túneles, tenemos lo siguiente;

- 1) Economía del transporte. Es el punto primordial que nos va a guiar en la comparación de alternativas, y se encuentra constituida por los siguientes conceptos:
  - 1.1) Velocidad de proyecto. Es función del tipo de te

rreno en cuanto al relieve topográfico y al volumen de tránsito esperado, en México ésta oscila de entre 30 y 110 KPH. Es recomendable que la velocidad de proyecto en el túnel (antes y después) en una longitud equivalente a 30 segundos sea la misma, para evitar posibles accidentes.

- 1.2) Costo del proyecto. En tramos de carretera que incluyan túnel el costo de proyecto varía de 5 a 7% del costo de construcción.
- 1.3) Costo del derecho de vía. Es uno de los conceptos que más elevan el costo de construcción en carreteras a cielo abierto, no sólo cuando cruzan terrenos de alto valor comercial, sino porque los propietarios de los mismos se oponen muchas veces a cederlos a pesar de que se les indemnice, repercutiendo esto en un retraso de tiempo y por lo tanto en el presupuesto en perjuicio de la obra. Ante este problema el túnel carretero presenta una atractiva solución.
- 1.4) Costo de construcción. Es uno de los conceptos que más ayudan en el estudio de alternativas, y que en una carretera se deben de tomar en cuenta los siguientes; las terracerías, drenajes, puentes, túneles, intersecciones, pavimento y señalamiento.
- 1.5) Costo de operación. Al igual que en el punto anterior este es de fundamental importancia para el estudio de alternativas de ruta; este costo se puede calcular a partir del volumen de trán-

sito, su composición, su variación con el tiempo, los costos básicos en pendiente y a nivel para cada tipo de vehículo, ...etc.

El proyectista debe buscar un punto de equilibrio entre el costo de construcción y el de operación.

- 1.6) Costo de conservación. Para fines de estudio de rutas, el costo de conservación de camino abierto se toma anualmente entre el 1 y 1.5% del costo total de construcción. Los tramos de túnel requieren gastos adicionales que varían de acuerdo a las características de éste.

2) Mínimo costo social. Este punto va a considerar los siguientes factores:

- 2.1) Menor daño a terrenos agrícolas.
- 2.2) Menor desalojo de habitantes.
- 2.3) Menor riesgo para el público.
- 2.4) Nuevos habitantes que requieren servicios.
- 2.5) Plusvalía de terrenos vecinos.
- 2.6) Preservación de sitios culturales, y
- 2.7) Impulso a la actividad económica.

Finalmente tenemos el concepto que considera los factores ecológicos que se deben tomar en cuenta.

3) Protección del medio ambiente. Y que se dividen en dos puntos principalmente que son:

- 3.1) Menor daños a bosques, lagos y parques.



### 3.2) Menor contaminación ambiental.

En este último concepto la solución túnel resulta ventajosa sobre la carretera a cielo abierto, pues reduce al mínimo el daño al medio ambiente y a la contaminación.

## I.4 ESTUDIO GEOLOGICO.

En este subcapítulo se pretende enumerar los puntos que se deben cubrir en un estudio geológico completo.

El objeto principal que se debe cumplir en el diseño de un túnel es el de utilizar a la misma formación geológica como elemento estructural principal, para que así, de esta forma, se pueda economizar en cuanto al adame y revestimiento definitivo.

Lo anterior va a depender directamente de las condiciones geológicas existentes, de aquí que la fase más importante en el proyecto de túneles sea el de estudio geológico y no sólo porque nos represente al final de la obra un ahorro considerable en el presupuesto, sino que además nos va a brindar un apoyo importante en cuanto a lo que a seguridad se refiere, tanto durante la construcción del mismo, como durante su funcionamiento.

El estudio geológico del área donde se pretenda construir el túnel, está constituido por tres etapas.

En la primera etapa o inicial, se tiene que hacer un reconocimiento general, para esto se tiene que recurrir a los mapas geológicos y topográficos; a los estudios bibliográficos y estadísticos correspondientes a la morfología, petrografía, estratigrafía e hidrología del lugar; además se tiene que complementar toda ésta información con los reconocimientos de campo que haga el o los ingenieros acompañados siempre de un geólogo, para tratar de identificar y ubicar (en lo posible) tipos de formaciones rocosas, fallas, estructuras geológicas, ... etc. La información que así se obtenga (en esta etapa inicial) será de gran ayuda para poder planear un programa de exploración, que constituirá la segunda etapa, más detallada que la anterior.

En esta segunda etapa se pretende determinar el trazo más conveniente que se debe seguir, para lo cual se apoyará en exploraciones geofísicas (métodos geoelectricos y/o métodos geosísmicos) y en exploraciones de tipo directo (barrrenaciones, estudios en galerías y pruebas de laboratorio). Al finalizar esta etapa se deben tener ya definidos: la ubicación de los estratos, plegamientos, fallas y juntas; el espaciamiento entre las fisuras; abertura y textura de las mismas; grado de alteración de las juntas y características del material de relleno, además de la localización del flujo de agua subterránea.

La tercera y última etapa, consiste en investigaciones adicionales más detalladas aún, que se realizan durante la excavación, cuya finalidad es verificar los datos del diseño

y poder saber si el proceso constructivo es el correcto o requiere ser modificado.

Es importante que la información obtenida de las etapas anteriores, y previo a la construcción del túnel se presente en forma tal, que contenga los siguientes datos.

- 1) Introducción.
  - a) Alcance.
  - b) Descripción del área y del proyecto.
- 2) Rasgos geológicos de importancia ingenieril.
  - a) Marco geológico general, tipo de rocas, estructura, breve historia geológica.
  - b) Descripción de la calidad de la masa de roca (RQD y grado de fracturación).
  - c) Grado de intemperización o alteración.
  - d) Juntas, fracturas por cortante y zonas de cortante.
    - d.1) Sistemas de diaclasas, orientación y características de las familias de diaclasas, foliación y planos de estratificación.
    - d.2) Orientación y características de las fallas y zonas de cortante.
    - d.3) Localización de las principales fallas y zonas de cortante.
  - e) Cubierta de roca, contornos de la roca basal y propiedades significativas de los suelos, si tendrán que encontrarse condiciones de frentes mixtos, si tendrán que excavarse lumbreras en estos materiales o si se preve la consolidación y asentamiento

- consiguiente de los suelos que se encuentran sobre el túnel.
- f) Resumen del material de baja calidad a lo largo del túnel.
- g) Propiedades significativas de la roca intacta.
- g.1) Resistencia a la compresión.
  - g.2) Dureza.
  - g.3) Flujo plástico.
  - g.4) Tenacidad a desintegrarse.
  - g.5) Capacidad de expansión.
  - g.6) Propiedades del material de relleno de juntas y fracturas.
    - g.6.1) Flujo plástico.
    - g.6.2) Expansibilidad.
    - g.6.3) Plasticidad.
    - g.6.4) Granulometría.
    - g.6.5) Resistencia al corte.
    - g.6.6) Estados de esfuerzos in situ.
    - g.6.7) Condiciones de agua subterránea.
    - g.6.8) Interpretación de resultados.
- 3) Historia de construcciones anteriores en el área de proyecto.
- 4) Condiciones probables del terreno al nivel del túnel.
- a) Clasificación del terreno al nivel del túnel (calidad de roca, porcentajes esperados de diferentes tipos y calidades de materiales).
  - b) Naturaleza y extensión de movimientos potenciales de roca y de sobre-excavación para el trazo dado.

- b.1) Efecto de las diaclasas, las fallas y zonas de cortante.
- b.2) Efecto de los esfuerzos in situ.
- b.3) Efecto del agua subterránea.
- c) Infiltraciones de agua estimada.
  - c.1) Máxima infiltración en el frente.
  - c.2) Máximas infiltraciones a lo largo del túnel.
  - c.3) Presión de agua.
- d) Riesgos en el túneles.

Los puntos arriba señalados van a constituir la información que debe llevar el estudio geológico, con el cual se puede pasar, a los métodos de diseño y proceso constructivo; también va a marcar la pauta en cuanto a la instrumentación de control y observaciones que deben registrarse a lo largo del tiempo.

#### I.5 PRINCIPALES METODOS USADOS PARA EL CONTROL DEL COMPORTAMIENTO DEL MACIZO ROCOSO.

Estos métodos implican la utilización de ciertos instrumentos o dispositivos cuya variedad es tan extensa que cae fuera del objetivo de este trabajo, por lo que sólo se mencionaran el tipo y aplicación de dichos métodos. La utilización de éstos para la obtención de datos in situ en túneles se debe efectuar antes, durante y en ocasiones después de su construcción.

- A) Antes de la construcción: para recabar la información que sea complementaria para el diseño del túnel. Se pretende obtener el módulo de deformación, la resistencia de la roca in situ y el estado de los esfuerzos in situ.
- B) Durante la construcción: para recabar información que nos indique si el diseño utilizado y el mismo proceso constructivo son los adecuados o no, y de esta manera poder hacer los cambios necesarios a tiempo. En esta etapa lo que se busca es medir los desplazamientos que ocurran durante la excavación.
- C) Después de la construcción: para controlar el comportamiento general de la excavación durante la operación.

En cuanto al primer punto se tienen:

- a.1) Técnicas de fractura hidráulica; en estas se provocan fracturas en la roca por medio de la aplicación de presión hidráulica sobre las paredes internas de un barreno; la forma de estimar los esfuerzos in situ es en base a la presión que se necesitó para poder fracturar la roca y por la dirección de las fracturas.
- a.2) Medición de los esfuerzos con gato hidráulico; este es uno de los más usados, su funcionamiento está basado en la medición de los esfuerzos

por medio de presiones.

- a.3) Medición de los esfuerzos por barrenos; es uno de los métodos que en la actualidad se está utilizando bastante para medir los esfuerzos, y consiste básicamente en perforar un barreno de gran dimensión (aproximadamente de 15 cm.) hasta la profundidad donde se desean medir los esfuerzos, a continuación se hace otra perforación de diámetro pequeño (según el instrumento utilizado) a una distancia de aproximadamente 50 cm. más allá del final del barreno grande, y se introduce el instrumento de control con el cual se procede a tomar las lecturas.

Las mediciones que se efectúan durante la construcción generalmente son para saber cuales han sido los desplazamientos que ha sufrido la excavación, ya que este es el termómetro más confiable para poder evaluar el estado en que se encuentra la obra en ejecución. Los métodos para lograr lo anterior se resumen en:

- b.1) Topografía óptica; si el lugar lo permite (cuando las mediciones pueden referirse a un punto estable y alejado del lugar) pueden utilizarse técnicas de topografía como son la triangulación y la nivelación, para poder determinar el desplazamiento de testigos colocados en la superficie ya excavada.
- b.2) Mediciones de convergencia; estas se llevan a ca

bo con un extensómetro de varillas entre testigos fijados en las paredes y clave del túnel. - Este es uno de los métodos más usados en la actualidad para el control de excavaciones subterráneas (es utilizado en el túnel La Venta).

- b.3) Extensómetro de barrenos; se utiliza para medir el desplazamiento del macizo rocoso que rodea a la excavación (es utilizado en el túnel La Venta).

En cuanto a los métodos que se usan para el control en la etapa de operación de la excavación subterránea, se tiene que son iguales a los utilizados en la etapa de construcción.



CAPITULO II.  
NOCIONES SOBRE EL DISEÑO  
DE TUNELES.

II.1 TIPOS Y CAUSAS DE LAS CARGAS PRODUCIDAS POR LA EXCA--  
VACION.

Resulta de gran importancia el conocer y comprender - los tipos de cargas que van a incidir sobre la excavación - subterránea y su relación con la geología del lugar (estu--  
dio geológico), ya que del análisis correcto de éstos se va a determinar la necesidad del tipo de ademe, del revestimiento definitivo (si es que lo necesita), y el tiempo para la - colocación de éstos, todo lo dicho, se tiene que conjugar con el tipo de procedimiento constructivo que sea factible rea-  
lizar en el sitio donde se ubique el futuro túnel.

En la naturaleza, las masas de roca y/o suelo se encuentran sometidas a un estado de esfuerzos producidos por el - peso de las mismas y el de las sobreyacientes, además de los esfuerzos producidos por los plegamientos ocasionados por - la tectónica de placas; al encontrarse confinadas estas ma-  
sas no se permite que exista un desplazamiento o movimiento entre las partículas, por lo que tales esfuerzos se acu--

mular o almacenan en el material hasta que de alguna manera pueda moverse, como es el caso cuando ocurre la excavación - para construir un túnel, entonces ocurrirán las deformaciones correspondientes a los esfuerzos producidos, pudiendo en algunos casos llegar al flujo plástico o a la roca explosiva, a lo que el ingeniero deberá poner solución mediante un adecuado sistema de ademe y/o revestimiento definitivo.

De lo anterior se pueden ver ya algunas de las causas que van a producir "presión" sobre el ademe del túnel, y que son: el aflojamiento de las masas de roca o suelo firme, el peso de masas sobreyacentes, las fuerzas tectónicas, además se puede añadir la presión que producen ciertos materiales al aumentar de volumen en presencia de agua, como son los diferentes minerales de arcilla, y finalmente la presión generada por condiciones hidráulicas, ya sean estáticas o dinámicas.

## II.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ESTABILIDAD DE LOS TUNEL-- LES.

Como ya se mencionó en el subcapítulo anterior el diseñar un túnel implica consideraciones tanto geológicas como del tipo de ademe que económicamente más convenga a la empresa, por lo tanto, se considera importante citar los factores que siempre se deben tener presentes, para poder lograr un tuneleo lo suficientemente estable durante su construcción, y su operación.

- 1) El tamaño y forma del túnel.
- 2) El método empleado para la excavación.
- 3) El tipo de soporte provisional y revestimiento definitivo.
- 4) La orientación del túnel con relación al rumbo de la falla o familia de fallas.
- 5) El ancho de la zona de falla.
- 6) La frecuencia, orientación y carácter del sistema de juntas o fallas.
- 7) La competencia de la roca.
- 8) El material que rellena las grietas o fallas.
- 9) El tiempo que dure el túnel sin el soporte provisional.
- 10) El estado de esfuerzos in situ de la roca.
- 11) El flujo de agua y permeabilidad de la roca.

En el subcapítulo II.4 se muestra un método empírico, que ayuda a obtener el diseño preliminar para soportes en túneles.

### II.3 TIPOS DE SOPORTE.

Los sistemas de soporte se pueden clasificar de acuerdo a su función en provisionales y en definitivos, también se puede dentro de éstos hacer una distinción adicional, esta es, en soportes externos e internos.

- A) Soporte provisional: se define así a los elementos -

cuyas características ayudan al macizo rocoso a lograr una estabilidad que brinde la suficiente seguridad para poder llevar a cabo el proceso constructivo en cuanto a la excavación efectuada, mientras - no se construya la estructura definitiva.

A continuación se mencionan los soportes de este tipo.

- a.1) Ademe de madera.
- a.2) Marcos de acero.
- a.3) Anclaje con pernos de tensión o fricción.
- a.4) Recubrimiento de concreto lanzado y anclaje con pernos de fricción.
- a.5) Dovelas precoladas con relleno granular contra el suelo e inyección de contacto posterior.

De estos soportes se consideran de tipo interno, el anclaje y el concreto lanzado con anclas; el resto se considera de tipo externo.

- B) Soporte definitivo: se definen así a los elementos estructurales capaces de brindar una estabilidad a la excavación subterránea durante su vida útil, y - que además deben cumplir con el requisito de acabado final dentro de ésta, según el uso que se le vaya a dar, ya sea para conducción o para tránsito. Cuando el material en el que se excava es de buena calidad el soporte definitivo es el mismo soporte provisional.

Los soportes de tipo definitivo se pueden dividir en:

- b.1) Concreto lanzado y anclaje.
- b.2) Dovelas de concreto precoladas.
- b.3) Concreto armado.

Una diferencia importante del soporte definitivo con respecto al provisional consiste en que; en el primero, las cargas actuantes se deben considerar que van a ir incrementándose con respecto al tiempo, además de tomar en cuenta la contribución del provisional, esto es en cuanto al diseño.

Finalmente, es importante resaltar las características que debe tener un sistema de soporte, y estas son: la compatibilidad con el método de construcción y, tener la flexibilidad y resistencia adecuada.

#### II.4 METODOS PARA ESTIMAR LA NECESIDAD DE ADEMADO Y TIEMPO DE COLOCACION.

Existen diversos métodos para determinar si una excavación va a requerir de ademado o no, y éstos pueden ser tanto empíricos como teóricos, pero de nada valen sin el criterio y la experiencia práctica del Ingeniero encargado del diseño, por tal motivo no se cree necesario extenderse demasiado en este punto, dando únicamente uno de los principales métodos empíricos más utilizados en la actualidad.

### Clasificación geomecánica de Bieniawski.

En este método son cinco los parámetros básicos que se toman en cuenta para el diseño preliminar.

- 1) Resistencia de la roca inalterada. Este se puede conocer por medio de la prueba de compresión uniaxial de la roca.
- 2) RQD que es el índice de la calidad de la roca. Se obtiene en base al muestreo hecho con una perforadora de diámetro  $d$  doble barril.

$$RQD (\%) = \frac{\text{longitud de los núcleos mayores de 100 mm}}{\text{largo del barrenó}}$$

- 3) El espaciamiento de las fisuras.
- 4) El estado de las fisuras, el cual toma en cuenta la abertura de éstas, la rugosidad de su superficie, la presencia del relleno en las fisuras, ...etc.
- 5) Condiciones del agua subterránea.

En este método lo que se pretende es dar una clasificación a cada parámetro citado, con el cual poder obtener una evaluación del macizo rocoso, al que se harán los ajustes necesarios por concepto de orientación de las fisuras o discontinuidades.

Las tablas que ayudan a cumplir la finalidad de evaluación se presentan en seguida.

TABLA.1.

CLASIFICACION DE LOS PARAMETROS Y SU EVALUACION.

| PARAMETRO. |                                    | ESCALAS DE VALORES.  |   |  |  |   |   |          |         |
|------------|------------------------------------|--|---|--|--|---|---|----------|---------|
| 1          | RESISTENCIA DE LA ROCA INALTERADA. | INDICE DE LA CARGA DE PUNTA.                                 | > 8 MPa   | 4-8 MPa  | 2-4 MPa  | 1-2 MPa   | ESCALAS MAS BAJAS SE RECOMIENDA LA PRUEBA DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION UNIAXIAL. |          |         |
|            |                                    | RESISTENCIA A LA COMPRESION UNIAXIAL.                        | >200 MPa  | 100-200 MPa  | 50-100 MPa   | 25-50 MPa   | 10-25 MPa   | 3-10 MPa | 1-3 MPa |
|            | EVALUACION                         |  | 15  | 12   | 7  | 4   | 2   | 1        | 0       |
| 2          | CALIDAD DE LOS CORAZONES,RQD       |  | 90% - 100%  | 75% - 90%  | 50% - 75%  | 25% - 50%   | < 25%   |          |         |
|            | EVALUACION                         |  | 20  | 17   | 13   | 8   | 3   |          |         |
| 3          | ESPACIAMIENTO DE JUNTAS.           |  | > 3m.   | 1 - 3m.  | 0.3 - 1m.  | 50 - 300mm.   | < 50mm.   |          |         |
|            | EVALUACION                         |  | 30  | 25   | 20   | 10  | 5   |          |         |
| 4          | ESTADO DE LAS FISURAS.             |  | SUP. MUY RUGOSA, SIN CONTINUIDAD, SIN SEPARACION, PAREDES DE ROCA DURA. | SUP. ALGO RUGOSA, SEPARACION < 1mm., PAREDES DE ROCA DURA. | SUP. ALGO RUGOSA, SEPARACION < 1mm., PAREDES DE ROCA SUAVE | SUP. PULIDAS O RELLENO, SEPARACION < 3mm., ESPACIAMIENTO O FISURAS ABIERTAS 1-5 mm., FISURAS CONTINUAS. | RELLENO BLANDO < 5 mm., O FISURAS ABIERTAS < 5 mm., FISURAS CONTINUAS.                |          |         |
|            | EVALUACION                         |  | 25  | 20   | 12   | 6   | 0   |          |         |
| 5          | AGUAS SUBTERRANEAS                 | CANTIDAD DE INFILTRACION.                                    | NINGUNA.  |  | < 25 li/min.   | 25-125 li/min.  | > 125 li/min.   |          |         |
|            |                                    | RELACION* PRESION DE AGUA O EN LA FISURA/ESFUERZO PRINCIPAL. | CERO.   |  | 0.0 - 0.2  | 0.2 - 0.5   | > 0.5   |          |         |
|            |                                    | SITUACION GENERAL.   | TOTALMENTE SECO.  |  | SOLO HUMEDO.   | LIGERA PRESION DE AGUA  | SERIOS PROBLEMAS DE AGUA.   |          |         |
| EVALUACION |                                    | 10   |   | 7  | 4  | 0   |   |          |         |

TABLA.2. AJUSTE EN LA EVALUACION POR ORIENTACION DE FISURAS

| RUMBO PERPENDICULAR AL EJE DEL TUNEL.       |                |                               |                | RUMBO PARALELO AL EJE DEL TUNEL. |                | ECHADO DE 0° - 20° INDEPENDIENTE DEL RUMBO |
|---|----------------|-------------------------------|----------------|----------------------------------|----------------|--|
| PENETRACION, EN EL SENTIDO DEL RUMBO.       |                | PENETRACION, CONTRA EL RUMBO. |                | ECHADO                           | ECHADO         |  |
| ECHADO 45°-90°                              | ECHADO 20°-45° | ECHADO 45°-90°                | ECHADO 20°-45° | ECHADO 45°-90°                   | ECHADO 20°-45° |  |
| MUY FAVORABLE.                              | FAVORABLE.     | REGULAR.                      | DESAVORABLE.   | MUY DESFAVORABLE.                | REGULAR.       | DESAVORABLE.                               |
|   |                |                               |                |                                  |                |  |
| ORIENTACION DE RBO. Y ECHADO DE LAS FISURAS |                | MUY FAVORABLE.                | FAVORABLE.     | REGULAR.                         | DESAVORABLE.   | MUY DESFAVORABLE.                          |
| EVALUACION.                                 | TUNELES.       | 0                             | -2             | -5                               | -10            | -12  |
|   | CIMENTACIONES. | 0                             | -2             | -7                               | -15            | -25  |
|   | TALUDES.       | 0                             | -5             | -25                              | -50            | -60  |

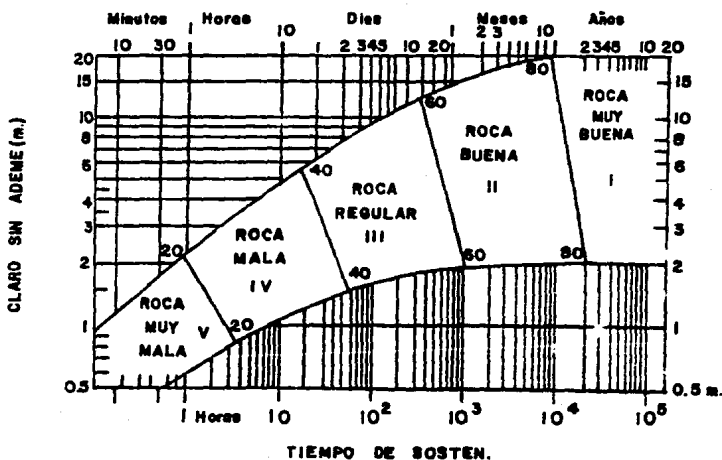
TABLA.3. CLASIFICACION DE ROCAS SEGUN EL TOTAL DE EVALUACION

| EVALUACION.       | 100 - 81       | 80 - 61    | 60 - 41      | 40 - 21   | <20           |
|-------------------|----------------|------------|--------------|-----------|---------------|
| CLASIFICACION No. | I              | II         | III          | IV        | V             |
| DESCRIPCION.      | ROCA MUY BUENA | ROCA BUENA | ROCA REGULAR | ROCA MALA | ROCA MUY MALA |



En la figura siguiente se muestra una de las aplicaciones de este método; tal aplicación es la de evaluar el tiempo que puede permanecer una excavación subterránea sin ademe, o visto de otra forma, como el tiempo que se puede tardar el ingeniero en colocar el ademado.

FIGURA I. Relación entre el tiempo de sostén de un claro de una excavación subterránea sin ademe y la clasificación geomecánica de Bieniawski.



La clasificación geomecánica hecha por Bieniawski propone también una guía para la elección del tipo de ademe para las excavaciones subterráneas, la cual se presenta a continuación.

TABLA. 4.

## GUIA PARA LA SELECCION DEL ADEME

(SE CONSIDERA QUE EL ANCHO ES APROXIMADAMENTE DE 10 m., UN ESFUERZO VERTICAL  $\leq 25$  MPa, Y SISTEMA CONSTRUCTIVO DE BARRENACION Y VOLADURA.)

| CLASE DE MACIZO ROCOSO. | EXCAVACION .  | A D E M E  |  |  |
|-------------------------|---|--|--|--|
|                         |   | ANCLAS, 20 mm. $\varnothing$ ADHESION TOTAL  | CONCRETO LANZADO.  | MARCOS DE ACERO.   |
| ROCA MUY BUENA. I       | SECCION COMPLETA , PROGRESIONES DE 3 m.   | GENERALMENTE NO SE NECESITA ADEME EXCEPTO ALGUNAS ANCLAS COMO REFUERZO LOCAL .   |  |  |
| ROCA BUENA. II          | SECCION COMPLETA , PROGRESIONES DE 1.0-1.5 m., REFUERZO TOTAL A 20m. DEL FRENTE.  | ANCLAS LOCALES EN LA CLAVE, 3 m. DE LARGO Y ESPACIAMIENTO DE 2.5 m. CON MALLA OCASIONAL .                                      | 50mm. EN LA CLAVE DONDE FUERA NECESARIO.                               | NO   |
| ROCA REGULAR. III       | MEDIA SECCION Y BANQUEO, PROGRESIONES DE 1.5-3.0 m., EN LA MEDIA SECCION. ALGUNOS REFUERZOS DESPUES DE CADA VOLADURA, REFUERZOS COMPLETOS A 10 m. DEL FRENTE.               | ANCLAS SISTEMATICAS DE 4m DE LARGO, ESPACIAMIENTO 1.5-2.0 m. EN LA CLAVE Y PAREDES, CON MALLA EN LA CLAVE.                     | 50-100 mm. EN LA CLAVE, 30 mm. EN LAS PAREDES.                         | NO   |
| ROCA MALA IV            | MEDIA SECCION Y BANQUEO, PROGRESIONES DE 1.0-1.5 m. EN LA MEDIA SECCION. HAY QUE INSTALAR LOS REFUERZOS CONFORME EL AVANCE, A 10m. DEL FRENTE.                              | ANCLAS SISTEMATICAS DE 4 A 5m. DE LARGO, ESPACIAMIENTO 1.0-1.5 m. EN LA CLAVE Y EN LAS PAREDES, CON MALLA.                     | 100-150 mm. EN LA CLAVE Y 100 mm. EN LAS PAREDES.                      | MARCOS LIGEROS, SEPARADOS 1.5 m., DONDE HAGAN FALTA.                   |
| ROCA MUY MALA. V        | ETAPAS MULTIPLES. AVANCES DE 0.1-1.5 m EN LA MEDIA SECCION. INSTALACION DE LOS REFUERZOS CONFORME AL AVANCE. CONCRETO LANZADO A LA MAYOR BREVEDAD DESPUES DE LAS VOLADURAS. | ANCLAS SISTEMATICAS DE 5 A 6m. DE LARGO, ESPACIAMIENTO DE 1.0-1.5 m EN LA CLAVE Y EN LAS PAREDES CON MALLA, ANCLAS EN EL PISO. | 150-200 mm. EN LA CLAVE, 150 mm. EN LAS PAREDES Y 50 mm EN EL FRENTE . | MARCOS MEDIANOS A PESADOS, ESPACIAMIENTO DE 0.75 m. DONDE HAGAN FALTA. |

Es importante recordar que el método aquí expuesto sólo dará una idea preliminar del diseño definitivo, debido a que deben tomarse en cuenta además de la mecánica de la roca, el campo de los esfuerzos in situ, la forma en que las cargas actuarán sobre el macizo rocoso y, también de la disponibilidad y el costo de los diferentes tipos de ademe.

### CAPITULO III. ESTUDIOS TECNICOS.

#### III.1 LOCALIZACION.

Como se vió en el subcapítulo I.3 referente a la justificación del túnel carretero, ésta se logra mediante el análisis de tres puntos básicos que son: la economía del transporte, el mínimo costo social y la protección del medio ambiente, todo esto enmarcado en lo que es la carretera. Lo anterior implicará la localización del sitio idóneo para el túnel carretero, sin olvidar que la ubicación final dependerá de las condiciones geológicas del lugar.

En el anexo 1 se puede ver la localización del túnel La Venta dentro de lo que es el trazo de la nueva carretera México-Toluca.

Con la localización geográfica del sitio donde se realizará la construcción del túnel La Venta, se investigaron las características ambientales que prevalecen en dicha zona, para lo cual se recurrió a la estación hidrológica más próxima, ubicada en la Marquesa, y cuyos datos obtenidos son los siguientes:

- 1) Precipitaciones medias anuales = 1362 mm. (1961-

1982).

- 2) Temperaturas medias anuales =  $10.05^{\circ}\text{C}$ .
- 3) Los meses con menor precipitación se encuentran comprendidos entre Noviembre Y Marzo.
- 4) Las temperaturas inferiores a  $10^{\circ}\text{C}$ . se encuentran comprendidas entre Octubre y Febrero.

Con lo que se puede clasificar al clima como super - húmedo y semifrío.

Esto es importante ya que ayudará en la elaboración del programa de obra y a prever obras auxiliares de drenaje.

### III.2 ESTUDIO GEOLOGICO DEL TUNEL LA VENTA.

De las obras de ingeniería civil, el túnel es una de las que mayor grado de incertidumbre presenta, debido a que tiene que atravesar una serie de materiales que se encuentran actuando bajo condiciones bastante heterogéneas, por lo que es imprescindible un adecuado estudio geológico.

El estudio que se presenta a continuación se puede considerar como preliminar, ya que éste se irá ampliando y/o modificando según se realicen exploraciones más detalladas, como es el caso de las galerías de reconocimiento.

Datos técnicos relativos al túnel La Venta:

- Longitud del túnel = 2 cuerpos paralelos de 350.00 m. cada uno.
- Sección transversal de excavación = 134.00 - 148.00 m<sup>2</sup>.
- Pendiente = 3.0% del cuerpo derecho.  
3.5% del cuerpo izquierdo.
- Grado de curvatura = 3°15'.

### III.2.1 Fisiografía y geología regional.

El sitio en estudio queda ubicado dentro de la provincia fisiográfica conocida como "Zona Neovolcánica", la cual atraviesa a la República Mexicana de Oeste a Este. En dicha zona se encontraron tres formaciones geológicas, las conocidas por los nombres de: "Las Cruces", "Tarango" y "Tacubaya".

La formación Las Cruces consiste en rocas del tipo andesítica, estas son rocas ígneas de grano fino, de composición intermedia entre el granito y el basalto, la andesita está formada principalmente por feldespatos en un 75% y en ferromagnesios en un 25%.

La formación Tarango consiste en depósitos clásticos continentales, los cuales se encuentran constituidos por conglomerados con matriz arenosa, arenas y tobas arenosas; tal formación se encuentra sobreyacente a la formación Las Cruces.

La formación Tacubaya consiste en depósitos limo-arc-

1982).

- 2) Temperaturas medias anuales =  $10.05^{\circ}\text{C}$ .
- 3) Los meses con menor precipitación se encuentran comprendidos entre Noviembre Y Marzo.
- 4) Las temperaturas inferiores a  $10^{\circ}\text{C}$ . se encuentran comprendidas entre Octubre y Febrero.

Con lo que se puede clasificar al clima como super - húmedo y semifrío.

Esto es importante ya que ayudará en la elaboración del programa de obra y a prever obras auxiliares de drenaje.

### III.2 ESTUDIO GEOLOGICO DEL TUNEL LA VENTA.

De las obras de ingeniería civil, el túnel es una de las que mayor grado de incertidumbre presenta, debido a que tiene que atravesar una serie de materiales que se encuentran actuando bajo condiciones bastante heterogéneas, por lo que es imprescindible un adecuado estudio geológico.

El estudio que se presenta a continuación se puede considerar como preliminar, ya que éste se irá ampliando y/o modificando según se realicen exploraciones más detalladas, como es el caso de las galerías de reconocimiento.

Datos técnicos relativos al túnel La Venta:

- Longitud del túnel = 2 cuerpos paralelos de 350.00 m. cada uno.
- Sección transversal de excavación = 134.00 - 148.00 m<sup>2</sup>.
- Pendiente = 3.0% del cuerpo derecho.  
3.5% del cuerpo izquierdo.
- Grado de curvatura = 3°15'.

### III.2.1 Fisiografía y geología regional.

El sitio en estudio queda ubicado dentro de la provincia fisiográfica conocida como "Zona Neovolcánica", la cual atraviesa a la República Mexicana de Oeste a Este. En dicha zona se encontraron tres formaciones geológicas, las conocidas por los nombres de: "Las Cruces", "Tarango" y "Tacubaya".

La formación Las Cruces consiste en rocas del tipo andesítica, estas son rocas ígneas de grano fino, de composición intermedia entre el granito y el basalto, la andesita está formada principalmente por feldespatos en un 75% y en ferromagnesianos en un 25%.

La formación Tarango consiste en depósitos clásticos continentales, los cuales se encuentran constituidos por conglomerados con matriz arenosa, arenas y tobas arenosas; tal formación se encuentra sobreyacente a la formación Las Cruces.

La formación Tacubaya consiste en depósitos limo-arcí-



llosos, estos son café-rojizos y, probablemente deben su origen a los feldespatos que constituyen la andesita, la cual al intemperizarse químicamente produce algún tipo de mineral de arcilla; en cuanto al color rojizo, puede ser debido a la contribución de los ferromagnesianos en la producción de la arcilla.

### III.2.2 Geología local.

En base a la exploración superficial (visita de campo), indirecta (geofísica), y directa (sondeos de muestreo - directo) se determinó la geología local del cerro que será atravesado por los dos cuerpos del túnel La Venta.

La disposición litológica en forma descendente a partir de la superficie es la siguiente:

- Estrato de poco espesor de material limo-arcilloso.
- Brecha andesítica muy intemperizada.
- Al mismo nivel aproximadamente se encuentran dos materiales: brecha andesítica intemperizada con gravas y fragmentos de andesita, y andesita poco alterada y fracturada.
- No se detectó el N.A.F. (aunque por ser un clima super húmedo, el agua proveniente de la infiltración podrá alcanzar los niveles de excavación del túnel).

### III.2.3 Exploración indirecta.

Con el objeto de estimar las posibles fronteras, entre los diversos estratos que constituyen el cerro que habrá de atravesar para los túneles gemelos, se realizaron 18 sondeos eléctricos verticales (SEV) entre los cadenamientos 7 + 585 al 7 + 940 del tramo La Marquesa-La Venta por el método de resistividad eléctrica, y cuyos resultados se presentan a continuación:

a) Interpretación geoelectrica del cuerpo izquierdo.

- Como primera capa geoelectrica se ha detectado a la  $U_1$  formada por suelos con espesores de hasta 6.00 m. con resistividades que van de 90 a 570 ohm-m.
- La siguiente capa geoelectrica se encuentra formada por la  $U_2$  constituida por tobas con resistividades que oscilan entre 42 ohm-m a 160 ohm-m., con espesores de hasta 40.00 m.
- Entre los SEV 18I y 15I se detecta la  $U_3$  formado por bloques empaquetados en tobas con espesores supuestos, hasta de 50.00 m. ya que en esta sección no fué posible detectar la base de esta unidad; las resistividades de este paquete geoelectrico van de 210 a 290 ohm-m.
- Subyaciendo a las tobas, entre los SEV 15I a 13I se detectó la  $U_4$  con resistividades entre 8 y 88 ohm-m. formado por andesita fracturada y alterada con un alto contenido arcilloso, en contacto lateral con una andesita fracturada y alterada  $U_4$  con valores de resistividad entre 180 y 300 ohm-m. y un espesor máximo de 50.00 m.
- Subyaciendo a la  $U_3$  se detectó a la  $U_4$  bajo los SEV 18I y

14I con una resistividad detectada de 480 ohm-m.

- El basamento geoelectrico está formado por la  $U_5$  compues-  
to por andesita sana y alterada con resistividades calcula-  
dadas hasta de 1250 ohm-m.

b) Interpretación geoelectrica del cuerpo derecho.

- La  $U_1$  formada por suelos presenta resistividades entre -  
85 y 840 ohm-m con un espesor promedio de 8.00 m.
- Las tobas de la  $U_2$  tienen un espesor máximo de 50.00 m. -  
con resistividades entre 48 y 120 ohm-m. Entre los SEV 9D  
y 7D se detecta la  $U_3$  formada por los boleos grandes con  
resistividades entre 150 y 200 ohm-m. La  $U_4$  en esta sec-  
ción presenta resistividades que van de 200 a 480 ohm-m -  
con un espesor máximo de 70.00 m., detectados bajo el SEV  
9D. Entre los SEV 5D y 4D se detecta, bajo las tobas  $U_2$ , a  
la  $U'_4$  formada por la andesita alterada y fracturada con -  
un alto contenido de arcillas y resistividades de 53 a -  
70 ohm-m.
- El basamento geoelectrico se forma por la andesita sana -  
y fracturada con resistividades calculadas de 1000 ohm-m.

Como es imprescindible ampliar la información obtenida por medio de la exploración superficial y geofísica, el siguiente paso es el de realizar una exploración de tipo directa con el objeto de corregir y/o detallar la geología, construyendo de esta forma un perfil sobre el eje de cada cuerpo.

### III.2.4 Exploración directa.

Consistió en tres sondeos de muestreo directo que se - llevaron a cabo con una perforadora de tipo hidráulico, y - como muestreadores un barril tipo DENISON en los materiales limo-arcillosos y gravas, y un barril tipo NXI de diamante - en boleos, brechas y rocas andesíticas.

Los sondeos se localizaron en los siguientes puntos:

| SONDEO. | PROFUNDIDAD. | LOCALIZACION. | CUERPO.    |
|---------|--------------|---------------|------------|
| 1       | 46.00 m.     | 7 + 680.00    | Derecho.   |
| 2       | 55.00 m.     | 7 + 780.00    | Izquierdo. |
| 3       | 25.00 m.     | 7 + 940.00    | Izquierdo. |

Los resultados obtenidos en los sondeos en cuanto a la litología son los siguientes:

SONDEO No.1.-

PROFUNDIDAD. (m.)

LITOLOGIA.

0.00 - 4.40

Limo arcilloso. Color café amarillento.

4.40 - 30.60

Brecha andesítica intemperizada. Fragmentos de roca en matriz, limosa y arenosa. Coloración café rojiza.

30.60 - 34.40

Andesita. Se observan fracturas a 32.90 m., 33.50 m., y 34.00 m. La coloración varía entre gris

34.40 - 46.00 y café rojizo.  
Brecha andesítica, la matriz es arenosa y limosa. Color café - rojizo.

SONDEO No.2.-

PROFUNDIDAD. (m.)

LITOLOGIA.

0.00 - 2.80

Limo arcilloso. Color café rojizo.

2.80 - 31.60

Rocas andesíticas muy intemperizadas (lavas, brechas, arcilla limo, arena, y fragmentos de roca).

31.60 - 55.00

Brecha andesítica intemperizada.

SONDEO No.3.-

PROFUNDIDAD. (m.)

LITOLOGIA.

0.00 - 4.60

Limo arcilloso. Color café rojizo.

4.60 - 18.10

Roca andesítica muy intemperizada. Color gris.

18.10 - 25.00

Andesita intemperizada. Color café rojizo. Fracturas entre 22.40 m. y 22.60 m.

Con los datos recabados de la exploración superficial, indirecta, y directa, se elaboró un perfil geológico de cada eje de los cuerpos, que se presenta en el anexo 2, en el -

cual se indican los puntos donde se realizaron los sondeos eléctricos verticales, y de muestreo directo.

Con las muestras obtenidas se efectuaron pruebas de - compresión simple e índice de absorción.

| SONDEO. | COMPRESION SIMPLE        |                         | INDICE DE ABSORCION. |
|---------|--------------------------|-------------------------|----------------------|
|         | MAXIMO                   | MINIMO                  |                      |
| 1       | 904 Kg/cm <sup>2</sup>   | 29.9 Kg/cm <sup>2</sup> | 6-7 %                |
| 2       | 144.7 Kg/cm <sup>2</sup> | 7.0 Kg/cm <sup>2</sup>  | 5-21 %               |
| 3       | 487 Kg/cm <sup>2</sup>   | 18.3 Kg/cm <sup>2</sup> | 4-9 %                |

También se obtuvo el RQD que para los sondeos 1, 2 y 3 resultaron ser de 68%, 60%, y 74% respectivamente.

Con las curvas esfuerzo-deformación proporcionadas - por las pruebas de compresión simple, se estimó en forma - aproximada el módulo de elasticidad propio del material, y que para éste caso resultó de 1,000 Kg/cm<sup>2</sup>.

Es importante añadir que se extraerán muestras de las paredes o clave del túnel durante la etapa de excavación, - que irán ampliando el conocimiento de las características del macizo rocoso, ayudando de ésta forma a la toma de decisiones en cuanto a posibles cambios en el diseño y por consiguiente en el proceso constructivo.

### III.2.5 Convergencia y extensometría.

Finalmente, se tiene programado un estudio de convergen-  
cia y extensometría, y como ya se ha mencionado anteriormen-  
te éste tiene por objeto medir los desplazamientos del ma-  
cizo rocoso; comparando éstos con los calculados en la etapa  
de diseño es factible determinar:

- Seguridad en la excavación.
- Cambios o ajustes en el diseño.
- Cambios o ajustes en el proceso constructivo.

El estudio de convergencia estará en coordinación con  
el método de excavación, y como se tienen dos formas de rea-  
lizar esta actividad, que son:

- Sección tipo 1 y 3.- Excavación en tres etapas con cuatro frentes de ataque.
- Sección tipo 2.- Excavación en dos etapas, media sección y banqueo.

Se tienen por lo tanto dos disposiciones diferentes en cuan-  
to a pernos (testigos en la superficie del túnel) y arreglo  
para realizar las mediciones. A continuación se citan los -  
cadenamientos correspondientes a cada tipo de sección.

| CUERPO.    | SECCION TIPO 1. | SECCION TIPO 2. | SECCION TIPO 3. |
|------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Izquierdo. | 7+640 - 7+680   | 7+680 - 7+710   | 7+591 - 7+640   |
|            | 7+710 - 7+810   | 7+810 - 7+900   |                 |
|            | 7+900 - 7+930   |                 |                 |
| Derecho.   | 7+660 - 7+720   | 7+640 - 7+660   | 7+596 - 7+640   |
|            | 7+750 - 7+830   | 7+720 - 7+750   |                 |
|            | 7+880 - 7+940   | 7+830 - 7+880   |                 |

Las estaciones de medición y los dos tipos de arreglo para la convergencia se muestran en la figura No.2.

Los períodos de medición se harán de acuerdo a lo indicado en la tabla No.5., y que se presenta a continuación.

TABLA.5. PERIODOS DE MEDICION.

|   |           |            |             |              |               |
|---|-----------|------------|-------------|--------------|---------------|
| Distancia del frente respectivo con relación a la estación de que se trate. | 0 a 30 m. | 30 a 70 m. | 70 a 130 m. | 130 a 210 m. | más de 210 m. |
| Período.  | 1 Día     | 2 Días     | 4 Días      | 8 Días       | 16 Días       |

En cuanto a la extensometría, se puede decir que se registrarán con extensómetros múltiples de 4, 8 y 12 m., anexos a las estaciones de convergencia que se encuentran en los siguientes cadenzamientos, y que corresponden a las secciones tipo 1 y 3.

- Cuerpo izquierdo. 7+760 y 7+640
- Cuerpo derecho. 7+800 y 7+640

En la figura No.3 se muestra la ubicación que deben tener los extensómetros para el registro de los desplazamientos.



# ESTACIONES DE MEDICION

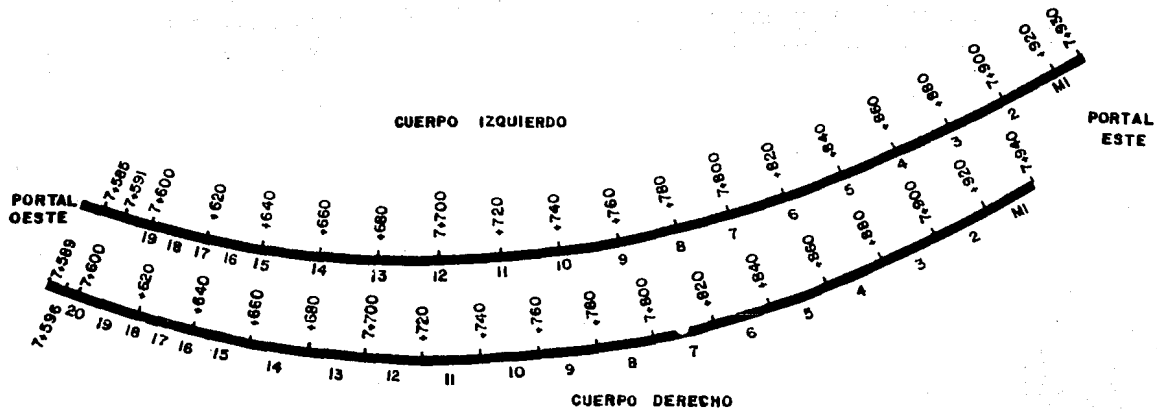
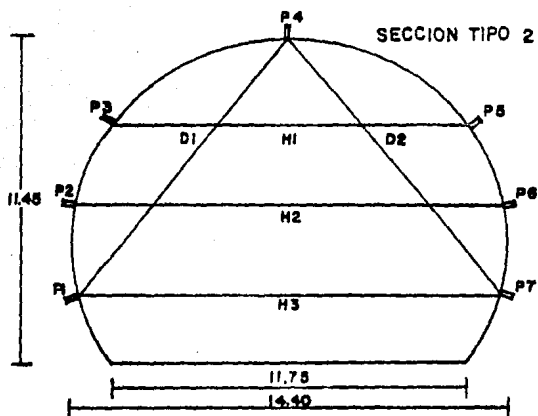
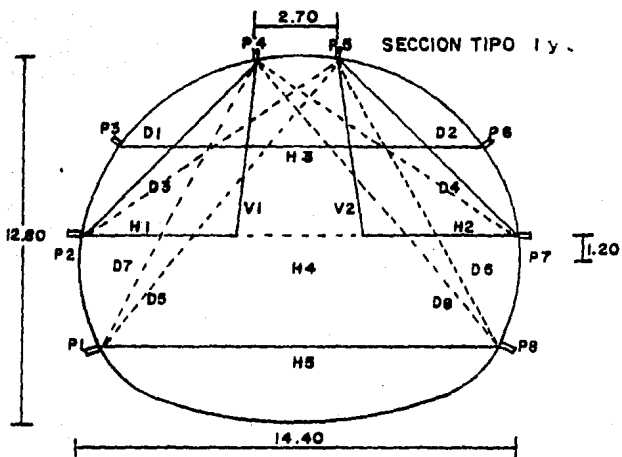


FIGURA . 2 .

## MEDICIONES REGULARES



## CONVERGENCIA

FIGURA. 2.  
(Continuación).

Acotación: m.

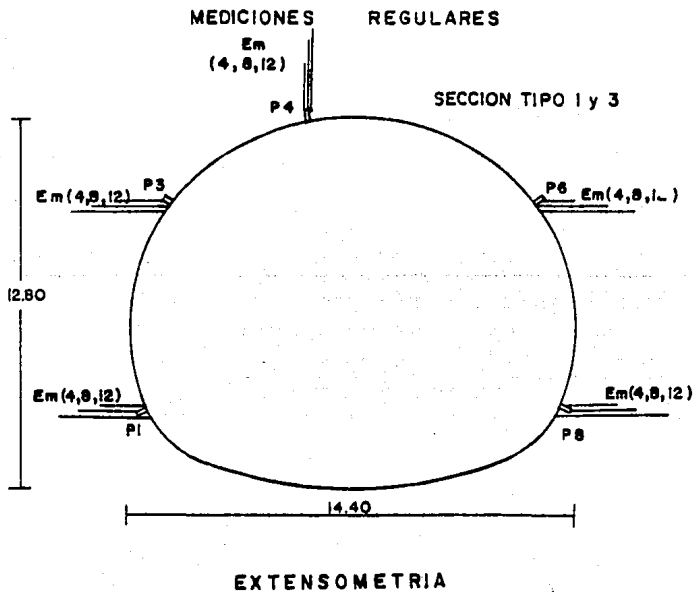


FIGURA. 3 .

Acotación: m.

CAPITULO IV.  
PROCESO CONSTRUCTIVO.

IV.1 ANTECEDENTES.

En este subcapítulo se mencionarán las características más importantes que constituyen la construcción del túnel - La Venta, y que se desarrollarán posteriormente.

La localización del túnel se encuentra aproximadamente sobre el Km 26 (ver anexo 1) de la actual carretera México-Toluca.

Constará de dos cuerpos de sección circular en su parte superior y ovoides en su parte media inferior, con una longitud de 350 m cada uno, los cuales tendrán una curvatura de  $3^{\circ} 15'$ , y que se comunicarán por medio de una galería ubicada aproximadamente a la mitad de éstos.

Se utilizarán los métodos tradicionales para su excavación, a base de equipo mecánico, y explosivos cuando el caso así lo requiera.

El revestimiento primario estará constituido por an--

clas de tensión y fricción; malla electrosoldada y concreto lanzado; marcos metálicos y de concreto lanzado.

El revestimiento definitivo será de concreto hidráulico armado, de 0.60 m y de 0.80 m de espesor.

Contarán además con instalaciones de drenaje, alcantarillado, banquetas para peatones, y en cuanto al pavimento será del tipo flexible con un cuerpo de terraplen, una capa de transición, subrasante, sub-base hidráulica, base hidráulica y una carpeta de concreto asfáltico.

Por último, con respecto a los portales, se tiene que los ubicados en el lado Este (México) estarán formados por un par de taludes con una berma entre ellos; dichos taludes en su parte próxima al túnel serán estabilizados con anclas, malla electrosoldada y concreto lanzado. Los portales del lado Oeste (Toluca) constarán de un corte y la construcción de un túnel falso cubierto de material seleccionado y compactado según especificaciones.

#### IV.2 EMPORTALAMIENTO LADO ESTE.

En el proceso de construcción de un túnel, el emportalamiento es uno de los puntos en el cual pueden presentarse problemas en cuanto a estabilidad, debido a que se encuentra cerca de la superficie y por lo tanto estará más intemperizada que el resto del macizo conjunto de materiales, ade-

más al efectuar el corte en talud se producirá un relajamiento del terreno que puede llevar a la falla del mismo, - por todo lo anterior deben tomarse las medidas necesarias - para que el trabajo pueda realizarse satisfactoriamente, que para éste caso resultaron ser, taludes de  $3/4 : 1$  y  $1/4 : 1$  para un mismo corte, separados éstos por medio de una berma de 3 m de ancho con contrapendiente del 3% hacia las contracunetas revestidas en las paredes correspondientes a uno de los taludes, y estabilización adicional mediante anclas, malla y concreto lanzado para la zona cercana a la entrada del túnel.

Debido a que esta obra se encuentra localizada en una zona semiurbana, con gran afluencia vehicular se ideó la forma de rezagar el producto de la excavación a cielo abierto, así como el desplazamiento del equipo pesado de manera segura, mediante la construcción de un túnel provisional ubicado debajo de la actual carretera México-Toluca, ver figura No. 4.

El túnel provisional debe ser excavado básicamente con equipo mecánico y ocasionalmente con explosivos, utilizando el método de media sección y banqueo. El revestimiento debe consistir en concreto lanzado de  $f'c = 200 \text{ Kg/cm}^2$  reforzado con malla metálica electrosoldada de 4.2 mm X 10 cm X 10 cm, costillas o marcos de concreto lanzado de  $f'c = 200 \text{ Kg/cm}^2$  colocados a 1.20 m, el armado debe estar constituido por varillas de  $3/4"$  y  $3/8"$  para los estribos. Además deben colocarse drenes de  $\phi 25$  mm de fierro galvanizado ranurado a -

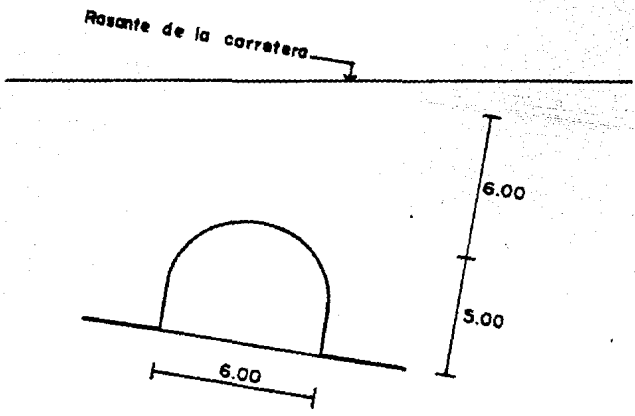
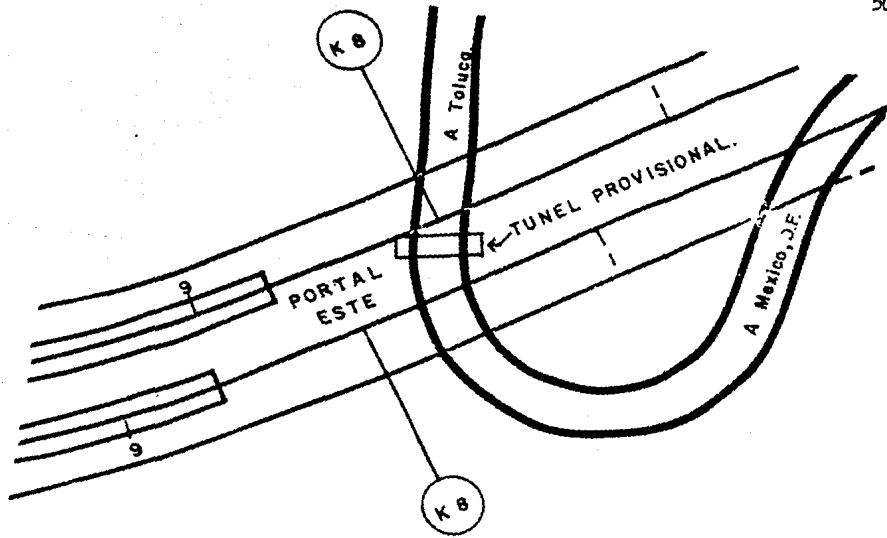


FIGURA . 4 .

Acotación: m.

una profundidad de 1.00 m ,y anclas de fricción de  $\phi$  1" - (ver fig. No. 13 ,subcapítulo IV.4) hasta una profundidad de 2.40 m con su respectiva placa de sujeción de 15 cm X 15 cm y 5/16" de espesor.

Los portales deben ser estabilizados por medio de concreto lanzado.

Una vez terminado el acceso que proporciona el túnel - provisional se procede a la excavación a cielo abierto para los portales, esto se puede lograr principalmente con la - ayuda del siguiente equipo:

- Tractor CAT D-8.
- Cargador 977 CAT.
- Cargador 955 CAT.
- Retroexcavadora Poclain LC-80.
- Camión Chasis F-600.
- Diversos aditamentos para el equipo.

La forma de realizar este trabajo es; con el tractor - D-8 se empuja el material hacia el espacio comprendido entre la carretera y lo que será el portal, de tal forma que - es como si estuvieran rebanando una parte del cerro hasta - alcanzar la cota deseada, primero a la media sección del túnel, y después cuando esa etapa constructiva haya terminado será hasta el piso del mismo; el material producto de esta - excavación podrá ser utilizado en las terracerías de la nueva carretera si es que cumple con lo que marque la S.C.T., de lo contrario será depositado en los tiraderos que desig-



ne la misma Secretaría sin causar perjuicio a los vecinos - del lugar.

Cuando se encuentren materiales más duros, puede utilizarse la retroexcavadora acondicionada con un martillo de tipo hidráulico para romperlos y poderlos extraer. Si son - boleas grandes se hará uso de los explosivos, con las respectivas medidas de seguridad.

Con objeto de ampliar la explicación, en la fig. No. 5 se muestra como debe quedar el área de portales del lado - Este.

En cuanto al tratamiento del frente ya se mencionó - que debe ser por medio de anclas, concreto lanzado y malla electrosoldada, y cuyas características se determinan a continuación:

- Anclas de fricción de  $\phi$  1" de 2.40 m (ver fig. No. 13 sub capítulo IV.4).
- Malla electrosoldada 4.2 mm X 10 cm X 10 cm y concreto lanzado de  $f'c = 200 \text{ Kg/cm}^2$ , cuyo espesor debe ser de 10 cm (ver fig. No.6).

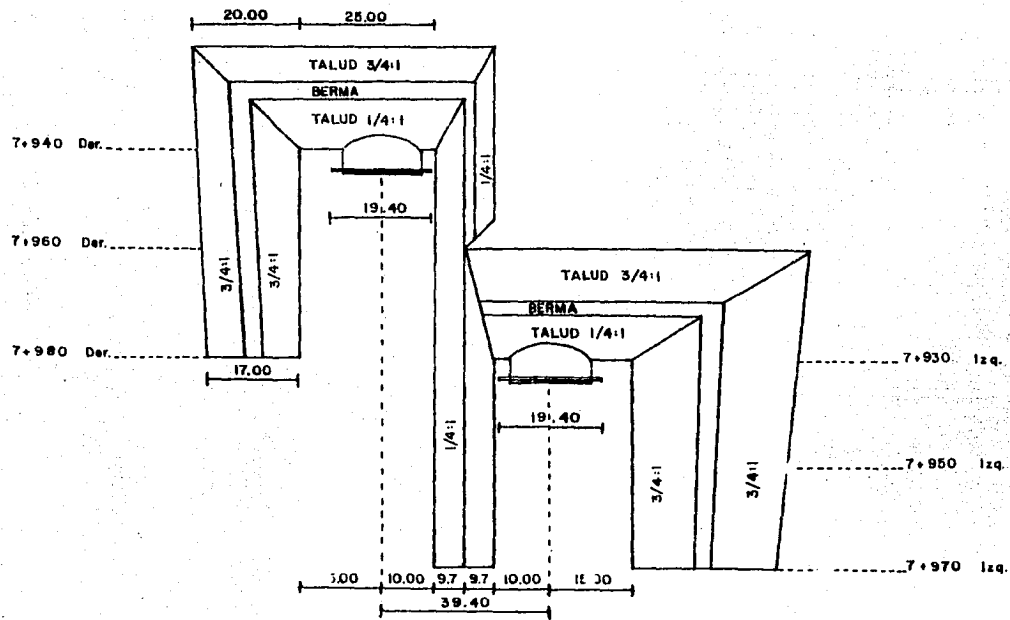


FIGURA 5 .

AREA DE PORTALES LADO ESTE .

Anotación: m.

ANCLAS 1" DE 2.40 m.

10.0 cm DE CONCRETO LANZADO  
CON MALLA.

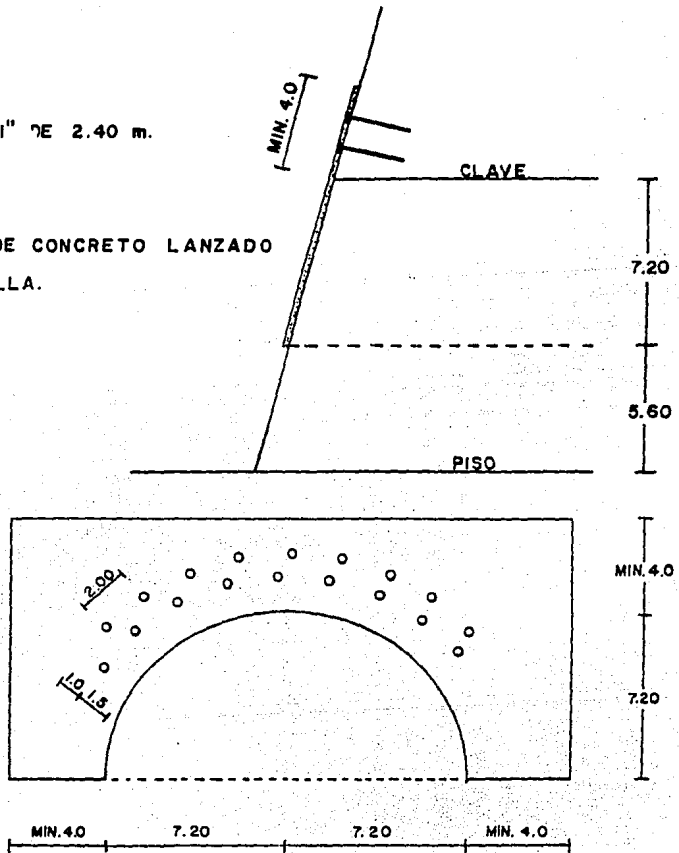


FIGURA. 6 .

Acotación: m.

Para los primeros avances del túnel se deben seguir - las siguientes observaciones:

- a) Si el material tiene un comportamiento lo suficientemente estable como para abrir el frente completo (excavación en dos etapas), éste deberá tener avances comprendidos entre 0.50 m y 1.00 m ,doblando la malla hacia adentro y aplicando inmediatamente concreto lanzado de  $f'c = 200 \text{ Kg/cm}^2$  y 15 cm de espesor. Después de llevar un avance de 1.50 m se deberá colocar un abarico de anclas de fricción de  $\phi 1"$  y 2.40 m de largo, en la clave del túnel, que se repetirá a los 3.00 m (ver fig. No 7 ).

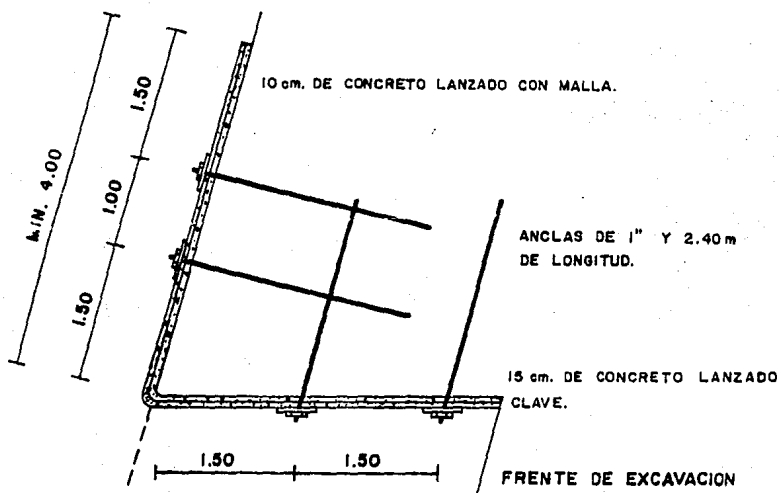


FIGURA 7.

Acotación: m.

Después de una longitud de 15.00 m (que es equivalente a un diámetro del túnel aproximadamente) se puede considerar a la excavación ya en pleno túnel. Durante esos 15.00 m tanto en el cuerpo derecho - como izquierdo se tiene pensado instalar marcos metálicos a cada 0.80 m medidos de centro a centro y cuyas características se mencionarán ampliamente en el subcapítulo de revestimiento primario (IV.4).

CUERPO DERECHO.

CUERPO IZQUIERDO.

Est. 7+925 a 7+940

Est. 7+915 a 7+930

- b) Si el material es menos estable en el frente, puede optarse por la excavación en tres etapas que consisten en dos laterales superiores, una central superior y el banqueo, con el revestimiento primario descrito en los párrafos anteriores. Otra opción es la de hacer primero una excavación en forma de ranura a lo largo del perímetro, lanzar concreto y anclar, para después sacar la sección completa correspondiente a la media sección superior del túnel.

Es importante señalar que los procedimientos en la excavación y en el tipo de revestimiento pueden resultar diferentes a los de proyecto, ya que debido al grado de incertidumbre que se presenta en este tipo de obras, resulta imprescindible un adecuado programa de instrumentación como el descrito en el capítulo III, y que dará la pauta en cuanto a los cambios que sean necesarios realizar en beneficio de la seguridad y economía de la obra.

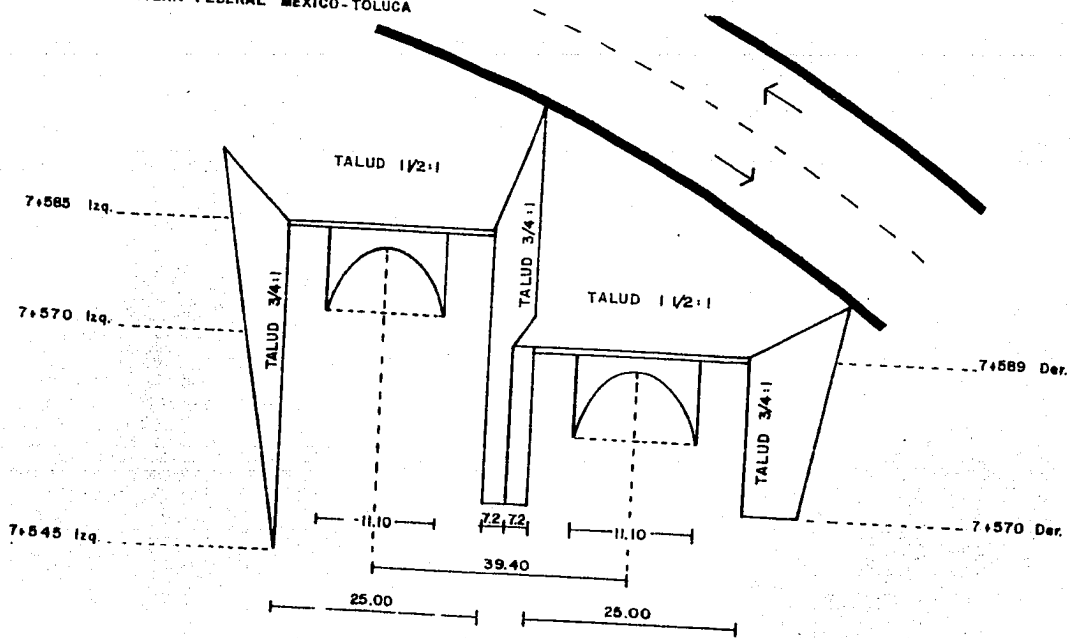
#### IV.3 EMPORTALAMIENTO LADO OESTE.

Como se mencionó en el subcapítulo anterior el emportalado es un punto en el que debe tenerse especial cuidado, más aún, cuando como en este caso, la distancia de la clave del túnel a la superficie del terreno es menor que un diámetro de éste. Por lo que se optó por el túnel falso, como medida de seguridad contra posibles derrumbes que pudiesen presentarse en la etapa de operación, las características de dicho túnel falso se expondrán cuando se toque el punto de revestimiento definitivo (IV.5). En la fig. No. 8 se muestra el área de portales del lado Oeste.

Ahora bien, en cuanto a la forma de atacar el túnel, se tiene pensado hacer un corte provisional con un talud de  $1/4 : 1$  con el mismo método que se describió en el de portales lado Este, terminado el talud se tendrán que hacer los avances por medio del método del túnel piloto, que consistirá en abrir primero una galería de reconocimiento, y después ampliaciones laterales y banqueo, ver fig. No. 9. Este método se debe llevar a cabo hasta una distancia tal que libre la actual carretera México-Toluca, lo que implicaría abarcar de la estación 7+596 a la 7+640 aproximadamente, y que coincidiría con la sección tipo 3 que se verá en la parte correspondiente al revestimiento definitivo (IV.5).

La ventaja que tiene este método, es que el túnel piloto resulta ser un excelente sondeo, ayudando a prever cualquier anomalía que pudiera presentarse cuando se excavé la

CARRETERA FEDERAL MEXICO-TOLUCA



AREA DE PORTALES LADO OESTE .

FIGURA 8 .

Acotación : m.

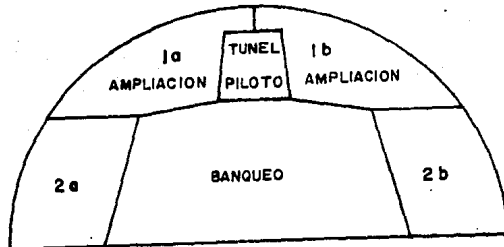
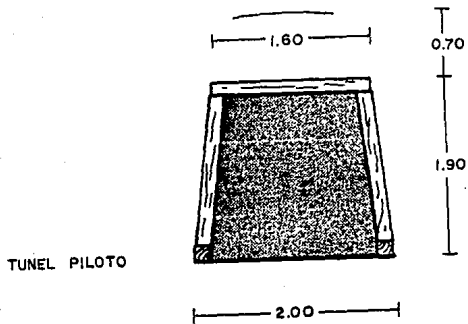
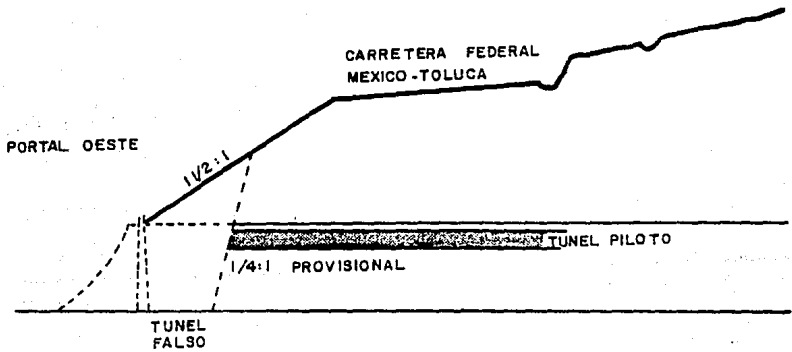


FIGURA. 9 .

Anotación: m.



media sección, como es el caso de materiales con un comportamiento diferente al esperado o la presencia de agua debida a la alta precipitación del lugar.

Las características del túnel piloto son las siguientes: forma trapezoidal de 2.00 m en la base mayor, 1.60 m en la base menor y 1.90 m de altura; deja un espacio de 0.70 m entre la clave del túnel piloto y la del túnel definitivo; tendrá un revestimiento primario con marcos de madera de 6" X 6" colocados a 1.00 m medidos de centro a centro (ver fig. No.9 ).

En los primeros avances del túnel definitivo deberá ejecutarse la excavación conforme al croquis que aparece en la fig. No. 9 ; en cada ampliación que se logre deberá lanzarse concreto de  $f'c = 200 \text{ Kg/cm}^2$ ; completandose la ramura que formarán las ampliaciones, se colocará un marco de concreto lanzado y se procederá a banquear la parte que resta con el fin de completar la media sección y seguir avanzando, este método tiene la ventaja de dejar transcurrir el mínimo de tiempo entre la excavación y la colocación del revestimiento primario. Si se observan cambios positivos en el comportamiento del medio en el que se está excavando, podrá optarse por un ataque menos elaborado que el aquí mostrado.

#### IV.4 EXCAVACION Y REVESTIMIENTO PRIMARIO.

Como ya se mencionó al principio de este capítulo, el -

método que se determinó para realizar la excavación, implicará el uso de explosivos y medios mecánicos. Los factores - que influyen en forma general para determinar el sistema - constructivo en cualquier tipo de excavación subterránea - son:

- a) Condiciones de la geología del lugar.
- b) Presencia de agua.
- c) Presencia de frentes mixtos (suelo y roca).
- d) Geometría del túnel.
- e) Profundidad del túnel.
- f) Las condiciones en accesos o portales.
- g) El tiempo de entrega.
- h) Diversas restricciones, como son ruido, vibraciones, contaminación ambiental, estructuras vecinas, ... etc.
- i) Disponibilidad de personal, equipo y materiales.

Desgraciadamente en la construcción de túneles no puede permanecer sin cambios el diseño de proyecto, por el contrario, en cada ciclo que se logra se va observando el comportamiento del medio, para poder estimar la necesidad de modificaciones en el método de excavación, en el revestimiento primario y revestimiento definitivo; por lo tanto, el sistema que se presenta a continuación y que pertenece al del proyecto original, irá teniendo sus modificaciones conforme avance la obra, pero que no aparecerán en su totalidad en este trabajo debido a que se elaboró en las primeras fases de la construcción del túnel La Venta.

Se tiene pensado atacar el túnel por medio de la excavación en dos y tres etapas, las estaciones en las que se aplicarán son:

| CUERPO DERECHO. | No. ETAPAS.  |
|-----------------|--|
| 7+596 - 7+640   | 3. (Se substituyó por el método del túnel piloto visto en el subcapítulo IV.3 ). |
| 7+640 - 7+720   | 3.   |
| 7+720 - 7+750   | 2.   |
| 7+750 - 7+830   | 3.   |
| 7+830 - 7+880   | 2.   |
| 7+880 - 7+940   | 3.   |

| CUERPO IZQUIERDO. | No. ETAPAS.  |
|-------------------|--|
| 7+591 - 7+640     | 3. (Se substituyó por el método del túnel piloto visto en el subcapítulo IV.3 ). |
| 7+640 - 7+680     | 3.   |
| 7+680 - 7+710     | 2.   |
| 7+710 - 7+810     | 3.   |
| 7+810 - 7+900     | 2.   |
| 7+900 - 7+930     | 3.   |

Método de tres etapas:

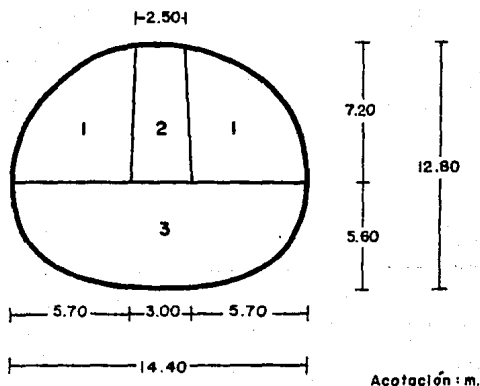


FIGURA. 10.

Las etapas laterales se excavarán simultáneamente dejando un defasamiento de 2.00 a 4.00 m con respecto a la etapa 2; la etapa 3 o banqueo se llevará a cabo hasta que se termine la excavación y revestimiento primario de la media sección, esto con el objeto de evitar pérdidas de tiempo en la construcción de rampas para acceso.

Además, debido a la cercanía de los dos cuerpos del túnel, habrá que considerar un defasamiento entre la excavación de uno de los cuerpos con respecto al otro; ésto es como medida de seguridad, ya que según se ha visto, la influencia de la cavidad en los esfuerzos en la roca, disminuye hasta tender a cero cuando la distancia del centro de la excavación practicada a cualquier punto del macizo rocoso es de 3 a 4 veces el radio de la misma; es decir, para que una cavidad no influya sobre la otra deben estar separadas por lo menos 6 veces el radio de las mismas, medidas de cen-

tro a centro.

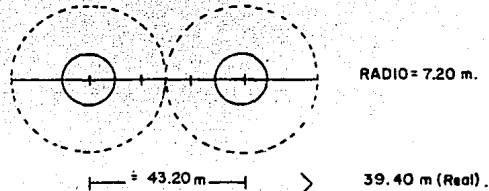


FIGURA . II .

Como se ha venido mencionando la excavación se hará por medios mecánicos y explosivos; según los datos de proyecto un 74% de ésta será efectuada por medios mecánicos y un 26% por medio de explosivos, esto es sin considerar la excavación para los cortes en la construcción de los portales, en los cuales se tiene pensado utilizar medios mecánicos casi en su totalidad, de aquí la importancia que ha tenido la adecuada selección del equipo, y que en forma general se menciona a continuación:

- Tractor sobre orugas Caterpillar D8-K.
- Traxcavo sobre orugas Caterpillar 977-L.
- Traxcavo sobre orugas Caterpillar 955-L.
- Retroexcavadora Poclain LC-80.
- Compresor de 600 p.c.m.
- Herramienta diversa, como son las rompedoras.
- Accesorios diversos, como es el escarificador y el martillo rompedor con sistema hidráulico.

Refiriéndose a los medios mecánicos, la etapa 1 debe atacarse con la retroexcavadora Poclain LC-80 desde el ni-

vel de piso de la media sección, esto se puede lograr con el bota excavador, o adaptándole un diente escarificador, o un martillo rompedor de tipo hidráulico, dependiendo de la dureza del material que se encuentre, el material producto de la excavación se rezagará con los traxcavos hacia los camiones. Logrado ésto, se procede a la aplicación de una primera capa de concreto lanzado de  $f'c = 200 \text{ Kg/cm}^2$  de 0.03 m de espesor, mediante el método de mezcla seca por medio de una lanzadora de concreto Aliva mod. 250 ; este método consiste en una revoltura de agregados cuya humedad debe estar comprendida entre un 3% y 6% del peso de éstos ya dosificados, y cemento ; el mezclado debe mantenerse aproximadamente durante un tiempo de 2 minutos antes de ser introducidos a la máquina lanzadora, de la cual se envía hasta la boquilla de expulsión con ayuda de un chorro de aire, cuya presión debe oscilar entre  $3.5 \text{ Kg/cm}^2$  y  $4.0 \text{ Kg/cm}^2$ , el agua de hidratación se añade en la boquilla misma con una presión de  $4.5 \text{ Kg/cm}^2$  o  $5.0 \text{ Kg/cm}^2$ , tanto la presión del aire como la del agua deben mantenerse constantes durante todo el tiempo de aplicación.

En cuanto al aditivo, será de tipo sólido con una dosificación comprendida entre un 2% y 6% del peso del cemento.

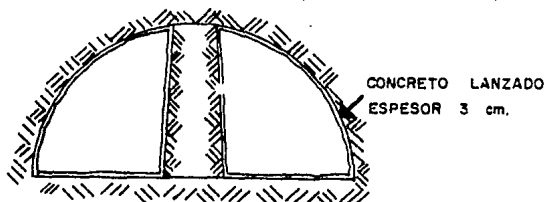


FIGURA . 12 .

El objeto de la primera aplicación del concreto lanzado es proteger las actividades a desarrollar posteriormente, que en este caso es la rezaga y colocación de anclas. La protección lograda se debe a cinco propiedades que son las siguientes:

- a) Se introduce con fuerza en las juntas abiertas, las fisuras y las irregularidades de la superficie de la roca, haciendo el mismo efecto de liga que produce el mortero en la mampostería.
- b) Impide la filtración del agua a través de las juntas y de las fisuras en la roca, evitando la erosión que produce ésta, además protege a la superficie del intemperismo.
- c) La adhesión que logra a la superficie de la roca, y su propia resistencia al esfuerzo cortante, impiden la caída de fragmentos de roca desde el techo del túnel.
- d) Una capa continua de concreto lanzado cuyo espesor oscile entre 0.15 m y 0.20 m constituirá un soporte estructural, ya sea en forma de anillo cerrado o de un elemento fijo en forma de arco.
- e) Permite en forma controlada el desplazamiento o flujo plástico del macizo, logrando con esto una disminución de la carga de roca sobre los revestimientos y por consiguiente un túnel más económico

Sin embargo, el concreto lanzado puede llegar a fallar si se aplica sólo y el medio no es lo suficientemente auto-

soportable. Para que no suceda esto debe incluirse un adecuado programa de anclaje, que para éste caso estará constituido por anclas de tensión y fricción de  $\phi$  1", distribuidas a cada 2.00 m en la clave del túnel principalmente, y en las paredes si los resultados de las mediciones geomecánicas - así lo sugieren, ver fig. No. 13 y No. 14 .

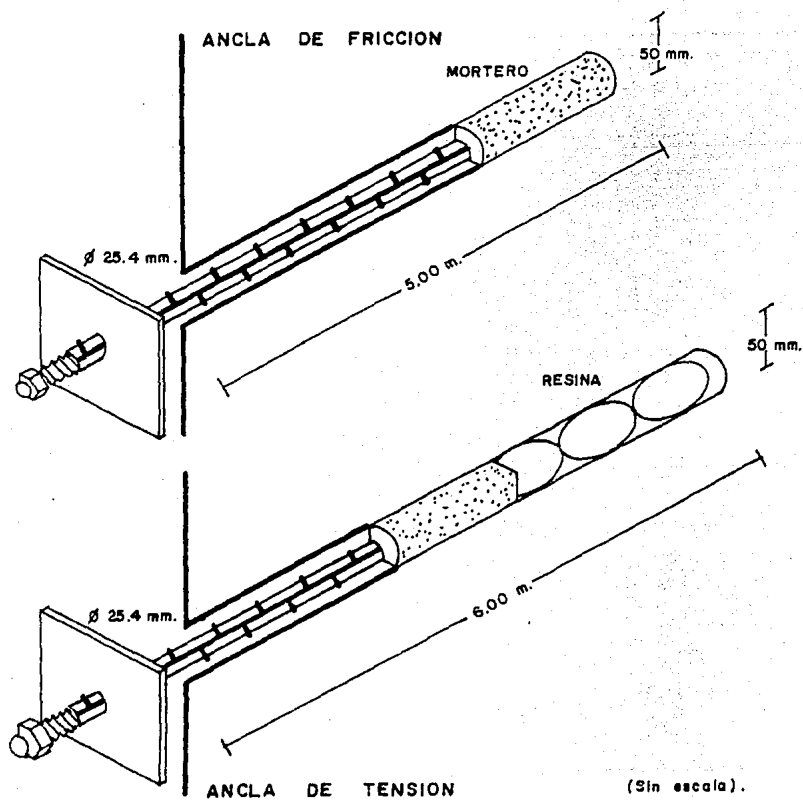


FIGURA . 13 .



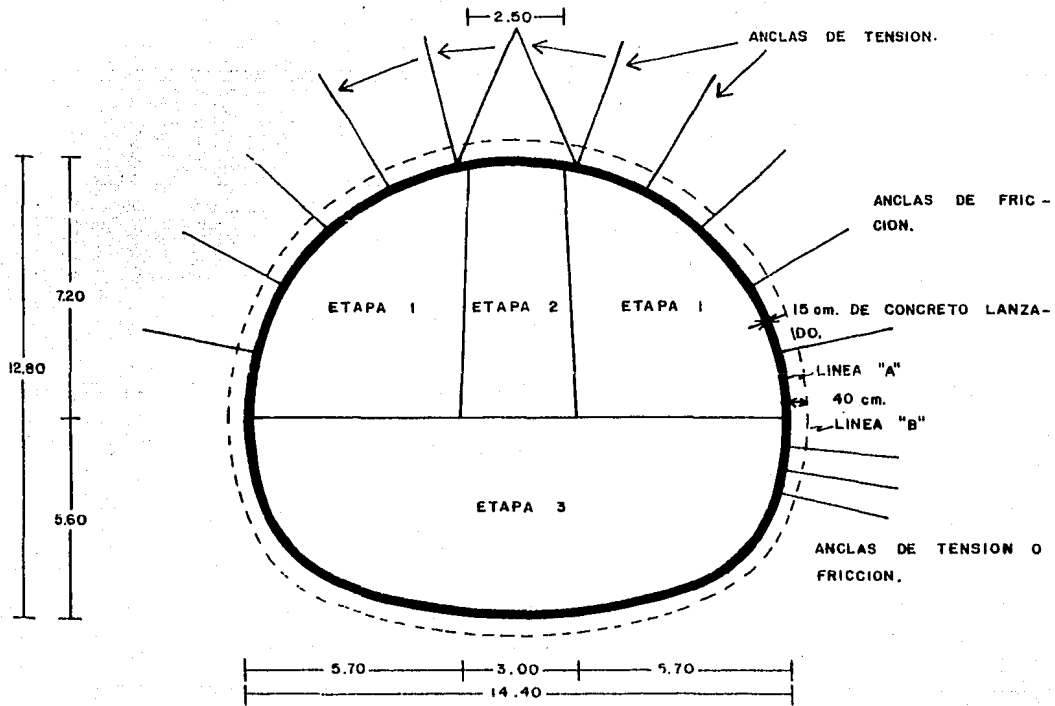


FIGURA . 14 .

Anotación : m.

La instalación de las anclas puede realizarse con ayuda de la retroexcavadora, montando en el brazo de ésta el mecanismo de un track-drill o el de una perforadora de un jumbo e instalando una canastilla para personal, anexa a la pluma de la perforadora. En caso de que no convenga utilizar la retroexcavadora en esta operación, otra forma de realizar la instalación es con ayuda del jumbo de dos brazos Atlas-Copco adaptándole a éste una canastilla para personal en un brazo telescópico.

Las anclas de fricción se instalan haciendo la perforación hasta la profundidad deseada, después se introduce un mortero cuya proporción puede ser:

Cemento Portland tipo III. 100 partes por peso.

Arena, angular limpia con tamaño máximo de aprox.

2 mm. 100 partes por peso.

Agente de fluidez y expansión tal como el "Interplast C" o equivalente.

1.4 partes por peso.

Agua: Una relación agua-cemento de 0.3 por peso.

Logrado esto, se introduce el perno (varilla), se coloca una placa de retén y se asegura con una tuerca. Las ventajas de este sistema de anclaje es que resulta sencillo de instalar y económico; su principal desventaja es que como no se puede tensar tienen que ser instaladas antes de que se presenten deformaciones importantes en la roca, es decir, la varilla de un ancla de fricción sólo puede aceptar cargas cuando se tensan por la deformación de la roca circundante, pero

si ésta se coloca con demasiado retraso a gran distancia del frente de trabajo, gran parte de la deformación a corto plazo de la roca se habrá efectuado y por lo tanto las varillas ya no podrán trabajar.

Las anclas de tensión se instalan haciendo una perforación, y para este caso, se introducen salchichas que contienen resinas sintéticas con diferente tiempo de fraguado; las de fraguado rápido estarán colocadas en la parte más profunda del barreno y las de fraguado lento en el resto de éste, logrado lo anterior se introduce el perno (varilla) por rotación con ayuda de la perforadora; la rotación hará que los productos químicos se mezclen y fraguen; como la salchicha de fraguado rápido se encuentra en el fondo del barreno, esto servirá de anclaje para el perno, el cual podrá entonces tensarse haciendo girar la tuerca localizada en la parte exterior de la placa de retén, con ayuda de una llave de torsión o con un aparato hidráulico para tensar, ya tensado el perno, la resina de fraguado lento terminará de endurecer y el proceso habrá terminado. Este sistema tiene las ventajas de ser fácil y rápido de usar, y lograr anclas de muy alta resistencia en rocas de mala calidad. Las desventajas que tiene es que posee un tiempo de almacenamiento limitado, y ser costoso.

Terminada la colocación de anclas se procede a la excavación de la etapa 2, con la correspondiente demolición de la capa de concreto lanzado adherida a sus paredes, con lo que se alcanza la media sección del túnel, al igual que en -

la etapa 1 se aplica una primera capa de concreto lanzado - de 0.03 m de espesor con lo que se completa el arco de la clave; podrán entonces efectuarse las perforaciones necesarias para la colocación de drenes, que para este caso se consideran de  $\phi$  25 mm con una longitud de 1.00 m y  $\phi$  50 mm - con una longitud de 4.00 m, los drenes estarán constituidos por tubos de fierro galvanizado ramurado; la distribución y detalles pueden verse en el anexo 9.

También deberán perforarse barrenos de  $\phi$  3" y de 1.00 m de longitud, para efectuar inyecciones de lechada, esto - sólo si las condiciones del medio lo ameritan, ver fig. No. 15.

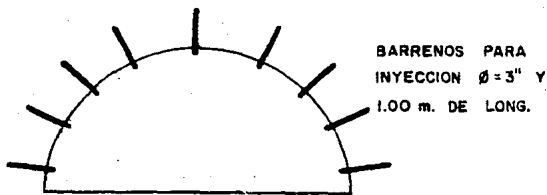


FIGURA. 15.

La proporción de la lechada podrá ser:

|            | Proporción en peso. |        |       |
|------------|---------------------|--------|-------|
|            | Cemento.            | Arena. | Agua. |
| - Inicial. | 1                   | 0      | 6     |
| - Final.   | 1                   | 1      | 4     |

La presión de inyección será inferior a 4 Kg/cm<sup>2</sup>.

Hecho lo anterior, el siguiente paso es la colocación de la malla electrosoldada de 4,2 mm X 10 cm X 10 cm, fijandola con ayuda de las anclas ya instaladas, esto se logra - colocando una segunda placa de retén con su respectiva tuerca, ver fig. No. 16.

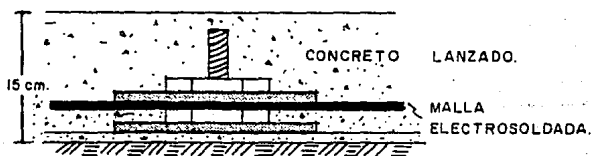


FIGURA .16 .

La colocación se podrá realizar con ayuda de la retroexcavadora, adaptandole una canastilla para personal, desde la cual se harán las maniobras para la sujeción de la malla a la ancla instalada y el lanzado final de concreto, cuyo espesor deberá completar los 0.15 m de diseño.

Habiendo terminado el lanzado de concreto, se instalarán marcos metálicos y marcos de concreto lanzado, las estaciones donde se utilizarán aparecen a continuación:

**MARCOS METALICOS:**

**Cuerpo Izquierdo.**

7+640 a 7+655 @ 0.80 m.

7+710 a 7+810 @ 0.70 m.

7+915 a 7+930 @ 0.80 m.

**Cuerpo Derecho.**

7+640 a 7+655 @ 0.80 m.

7+665 a 7+695 @ 1.00 m.

7+770 a 7+810 @ 1.00 m.

7+925 a 7+940 @ 0.80 m.

### MARCOS DE CONCRETO LANZADO:

#### Cuerpo Izquierdo.

7+591 a 7+640 @ 1.20 m.  
 7+655 a 7+710 @ 1.20 m.  
 7+810 a 7+915 @ 1.20 m.

#### Cuerpo Derecho.

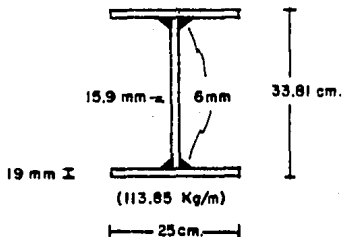
7+596 a 7+640 @ 1.20 m.  
 7+655 a 7+665 @ 1.20 m.  
 7+695 a 7+770 @ 1.20 m.  
 7+810 a 7+925 @ 1.20 m.

Con el objeto de que resulte más clara la explicación sobre los marcos, tipos de secciones y métodos de excavación, se presentan en los anexos 3 y 4, un perfil donde aparecen éstos con sus respectivas estaciones, y las características principales de las secciones tipo.

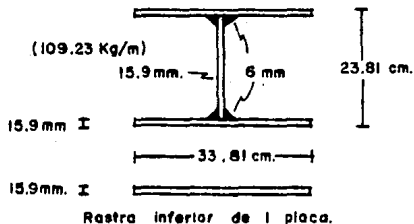
A cuanto a la colocación de marcos metálicos, se hará con ayuda de una plataforma acondicionada sobre un camión y un cargador frontal; los marcos serán colocados por partes, primero en la media sección, y luego cuando se efectúe el banqueo se colocará la parte media inferior.

Las dimensiones de los componentes de este revestimiento metálico son:

Marco metálico formado por 3 placas.



Rastra formada por 3 placas.



Rastra inferior de 1 placa.

FIGURA. 17.

La forma de colocar los marcos es la siguiente; primero se fijan las rastras en el piso de la media sección, en seguida se levanta con el traxeavo uno de los medios arcos el cual se descansa sobre la plataforma del camión, se repite la maniobra con el otro medio arco y se unen desde la plataforma por medio de remaches o soldadura, logrado lo anterior se procede a plomear y alinear el marco para su fijación en el perímetro del túnel por medio del retaque de madera; la unión del marco metálico con las rastras se logra soldando o remachando a éstas con las placas soldadas que contienen los medios arcos en sus extremos, ver fig. No. 18 .

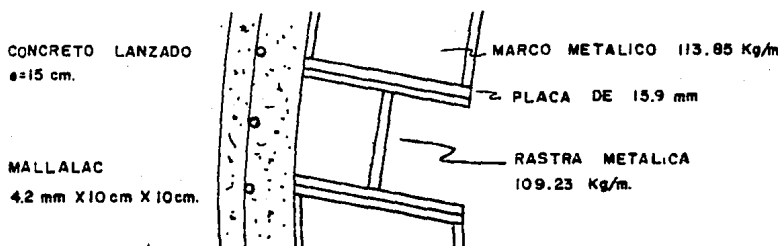


FIGURA . 18 .

Podrá llevar en la clave del túnel travesaños de  $\phi$  1" y de 2.20 m de longitud, si el comportamiento del medio así lo amerita, ver fig. No. 19 .

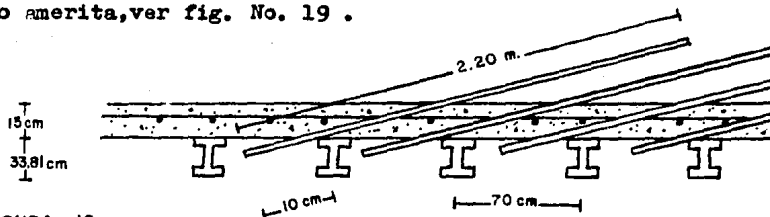


FIGURA . 19 .

Cuando llegue el momento del banqueo, la rastra permitirá la colocación del resto del marco, que para el caso del método con tres etapas llevará tornapuntas en la cubeta del túnel, ver fig. No. 14 y el detalle presentado en la fig. - No. 20 que corresponde a la unión del marco metálico con la tornapunta.

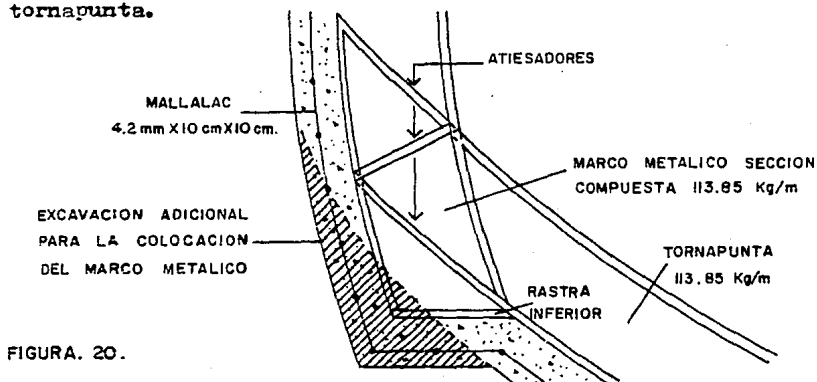


FIGURA. 20.

En cuanto a los marcos de concreto lanzado, éstos serán de forma trapezoidal e incluirán acero de refuerzo de  $f_y = 4,200 \text{ Kg/cm}^2$  (alta resistencia), constituido por 6 varillas de  $\phi 1"$  y como estribos varillas de  $3/8"$  a cada 0.50 m alternados los de forma trapezoidal con los de forma cuadrada, ver fig. No. 21 (detalle donde se une el marco con la rastra).

Estos marcos se armarán in situ, y se fijarán por medio de varillas dobladas al contorno de la excavación después de lo cual, se procederá a lanzar el concreto desde una canastilla acondicionada a la retroexcavadora, el lanzado se hará de manera uniforme sobre la armadura del marco hasta



alcanzar el espesor especificado.

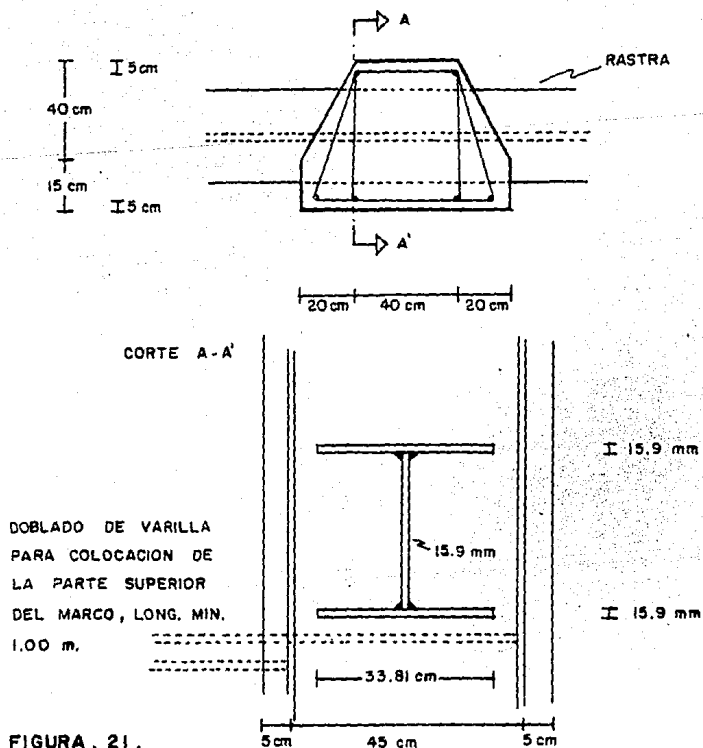


FIGURA. 21.

Hasta ahora, sólo se ha hecho referencia al método de tres etapas, en la explicación del procedimiento para la excavación y colocación del revestimiento primario. Lo anterior se debe a que el método de dos etapas resulta una simplificación del otro, ya que la media sección se excava en -

forma completa, no necesita contrabóveda, y el anclaje está constituido por elementos de fricción únicamente, ver fig. - No. 22. Es importante recordar que el programa de anclaje, al igual que el resto del revestimiento, estará sujeto a cambios según lo indiquen las mediciones geomecánicas obtenidas por los métodos de convergencia y extensometría.

Cuando llegue el momento del banqueo, éste podrá ejecutarse por medios mecánicos o explosivos. En el primero, éste se realiza con la ayuda de un ripper acoplado a la parte trasera de los tractores D8-K, trackcavos 977-L y 955-L; o por medio de un martillo hidráulico acoplado a la retroexcavadora Poclain LC-80, dependiendo de la dureza del material encontrado. En el segundo caso, que es el de explosivos, éste se puede realizar barrenando verticalmente con un track-drill, y colocando la cantidad de explosivos de acuerdo a las condiciones del material. La cantidad y distribución de los explosivos debe presentarse en un diagrama de barrenación, el cual debe estar constituido por la siguiente información:

- a) Una sección en donde se muestre la distribución de los barrenos con su respectiva secuencia de tiempo.
- b) Una sección en donde se muestre la zonificación de las cargas de explosivos, es decir, no todos los barrenos con el mismo tiempo se deben llenar con la misma carga y viceversa.
- c) Una planta en donde se muestre un corte horizontal del -

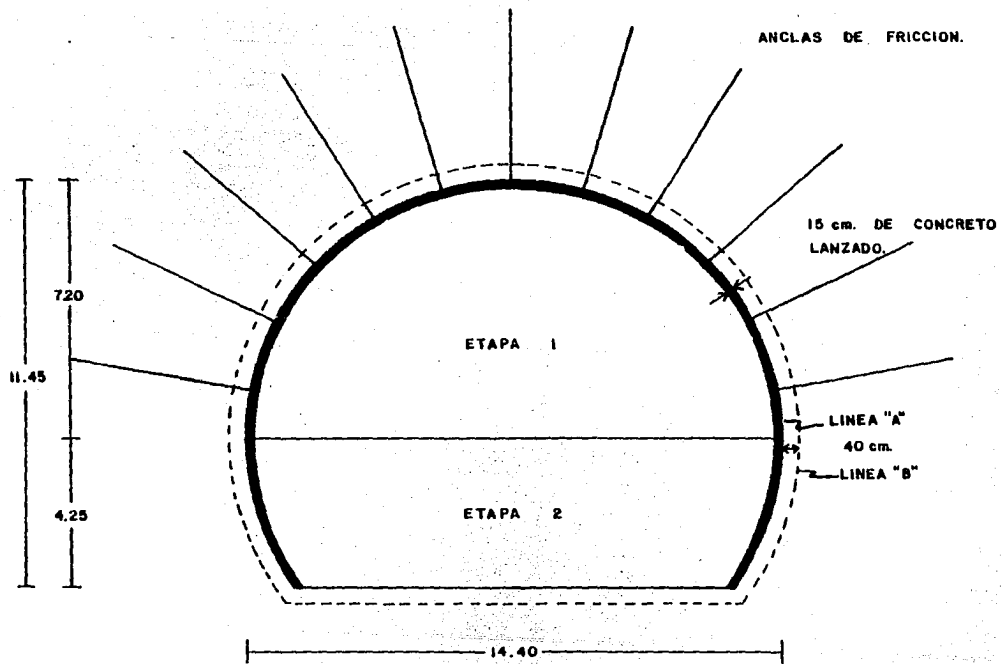


FIGURA. 22 .

Acotación 1/10.

tipo de cuña, indicando la distribución de la carga explosiva.

- d) Una sección en donde se muestre el diagrama de conexión eléctrica (series en paralelo).
- e) Diversos datos numéricos que se refieran al consumo de explosivos resultante en  $\text{Kg}/\text{m}^3$ ; consumo de estopines en  $\text{pieza}/\text{m}^3$ ; coeficiente de barrenación  $\text{ml}/\text{m}^3$ , ...etc.

Los diagramas de barrenación siempre serán tentativos y deberán corregirse de acuerdo a los resultados que se obtengan.

A lo largo de este subcapítulo se ha venido exponiendo el método de excavación y el tipo de revestimiento primario que se utilizará, a continuación se expone la separación máxima de éste con respecto al frente de ataque:

**ANCLAS:**

|  |  |
|--|--|
| Excavación.                              | Distancia máxima, m.   |
| Etapas 1. Procedimiento con dos etapas.  | 6  |
| Etapas 2. Procedimiento con dos etapas.  | Variable según necesidades.<br>Depende de mediciones geomecánicas. |
| Etapas 1. Procedimiento con tres etapas. | 6  |
| Etapas 2. Procedimiento con tres etapas. | 2  |
| Etapas 3. Procedimiento con              |  |

tres etapas.

Variable según necesidades.  
Depende de mediciones geo-  
mecánicas.

**CONCRETO LANZADO:**

Excavación.

Distancia máxima, m.

Etapa 1. Procedimiento con  
dos etapas.

2

Etapa 2. Procedimiento con  
dos etapas.

5

Etapa 1. Procedimiento con  
tres etapas.

3

Etapa 2. Procedimiento con  
tres etapas.

3

Etapa 3. Procedimiento con  
tres etapas.

5

**MARCOS METALICOS:**

Excavación.

Distancia máxima.

Etapa 1 y 2. Procedimiento  
con tres etapas.

dos espacios.

Etapa 3. Procedimiento con  
tres etapas.

cinco espacios.

**MARCOS DE CONCRETO LANZADO:**

Excavación.

Distancia máxima.

Etapa 1. Procedimiento con  
dos etapas.

un espacio.

Etapa 2. Procedimiento con

|  |               |
|--|---------------|
| dos etapas.                                | dos espacios. |
| Etapa 1 y 2.Procedimiento con tres etapas. | un espacio.   |
| Etapa 3.Procedimiento con tres etapas.     | dos espacios. |

Existe un punto que hasta ahora no se ha mencionado, pero que está íntimamente ligado con los procedimientos de excavación, tanto por medios mecánicos como por explosivos, y éste es el de ventilación.

El propósito de la ventilación es mantener el aire fresco a lo largo del túnel, pero principalmente en el frente de trabajo. Según las especificaciones de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (S.C.T.) el volumen de aire que se inyecte no deberá ser menor de:

- a) Dos (2) metros cúbicos por minuto por cada caballo de fuerza cuando se utilicen motores diesel dentro del túnel.
- b) Doce (12) metros cúbicos por minuto por cada metro cuadrado de sección del túnel, cuando no se utilicen motores diesel dentro de éste.

No es el propósito de este trabajo extenderse tanto en lo relativo a ventilación; por lo que únicamente se mencionarán los factores que determinan la ventilación en el área de trabajo, y que son:

- a) Gases producidos por explosivos.
- b) Formación de polvos (por explosiones y por barrenación).
- c) Gases debido a los motores de combustión interna.
- d) Calor producido por maquinaria, personal e instalaciones (alumbrado).

Se considera un 10% de pérdidas por fugas y malas conexiones.

#### IV.5 REVESTIMIENTO DEFINITIVO.

El revestimiento definitivo es aquel que deberá soportar las cargas durante todo el período de operación que tenga el túnel, además de dar un acabado final a la superficie de éste.

Para el túnel La Venta se tiene pensado un revestimiento de concreto reforzado de  $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$  cuyo espesor deberá ser de 0.60 m para las secciones tipo 1,2 y túnel falso, y de 0.30 m para la sección tipo 3 (ver anexo 4.); - el acero de refuerzo será de  $f_y = 4,200 \text{ Kg/cm}^2$  utilizando varillas de 1/2", 3/4" y 1" para las secciones antes mencionadas. La distribución y espaciamiento del refuerzo aparecen en el anexo 5.

En cuanto al colado se puede decir que se hará en dos partes. La primera será sobre la cubeta del túnel o zapatas dependiendo del tipo de sección, esta primera etapa de cola-

do no tendrá ningún problema, ya que el concreto se podrá colocar en el lugar mediante "ollas" de concreto premezclado cuyo revenimiento será bajo, con lo que se evita el sangrado y la segregación. La segunda etapa tendrá más complicaciones, debido a la selección del tipo de cimbra y a la colocación del concreto por bombeo.

La cimbra que se tiene pensado utilizar es del tipo metálica deslizando sobre rieles, de 9.14 m de longitud.

La unión de la primera etapa de colado con la segunda se logrará mediante una junta de construcción de cemento plástico, ver fig. No. 23 en donde se aprecian además, los detalles de las banquetas.

Como ya se mencionó, uno de los problemas que se tendrá al colar la clave y paredes del túnel es que se tendrá que realizar mediante bombeo, y el problema radica en que se debe ejercer un estricto control de calidad, aún mayor que para los colados de concreto no bombeado, esto se debe a que por su necesidad de ser más fluido se provoque el sangrado y la segregación del concreto, afectando su resistencia final de manera perjudicial. Para evitar lo anterior deberá seleccionarse el agregado adecuado, además de ciertos aditivos como son los agentes inclusores de aire y reductores de agua, el tipo de cemento recomendable para este caso será el Portland tipo II por su moderado calor de hidratación y una moderada resistencia a los sulfatos, lo que se traduce en menor agrietamiento y más durabilidad. Por último, como todo



IZQUIERDA.

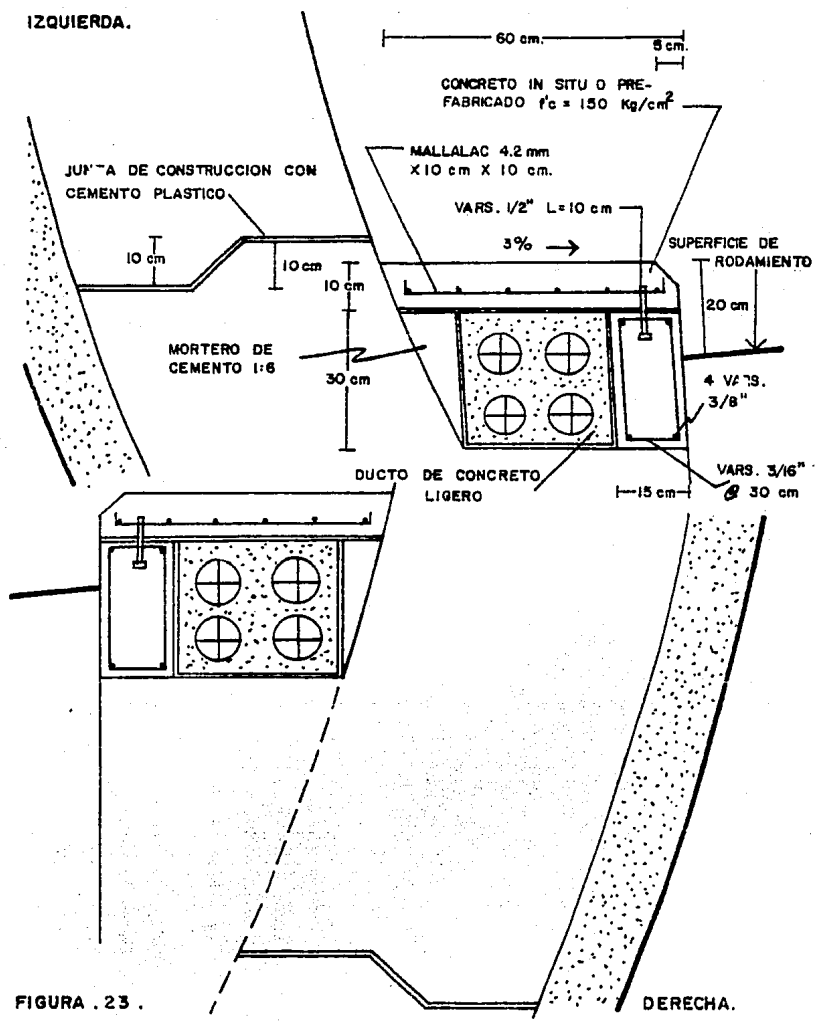


FIGURA . 23 .

concreto bien fabricado, éste deberá ser curado adecuadamente.

En cuanto al armado de los portales lado Este y Oeste aparecen en los anexos 6 y 7 respectivamente. En el anexo 7 se incluye además el material de relleno para el túnel falso.

Terminado el revestimiento definitivo se procederá a la instalación para la iluminación del túnel para el período de operación; dicha iluminación deberá variar su intensidad a lo largo del túnel de mayor a menor desde la entrada hasta la salida, creando tres zonas conocidas como de umbral, transición y general.

Con respecto a la instalación para la ventilación del túnel en el período de operación, se tiene pensado llevarla a cabo cuando los niveles de contaminantes así lo marquen, y que se estima será pasando los dos primeros años de su funcionamiento.

#### IV.6 GALERIA DE COMUNICACION.

La galería de comunicación se localizará en la estación 7+780 del cuerpo derecho y la estación 7+750 del cuerpo izquierdo, ve. fig. No. 24 .

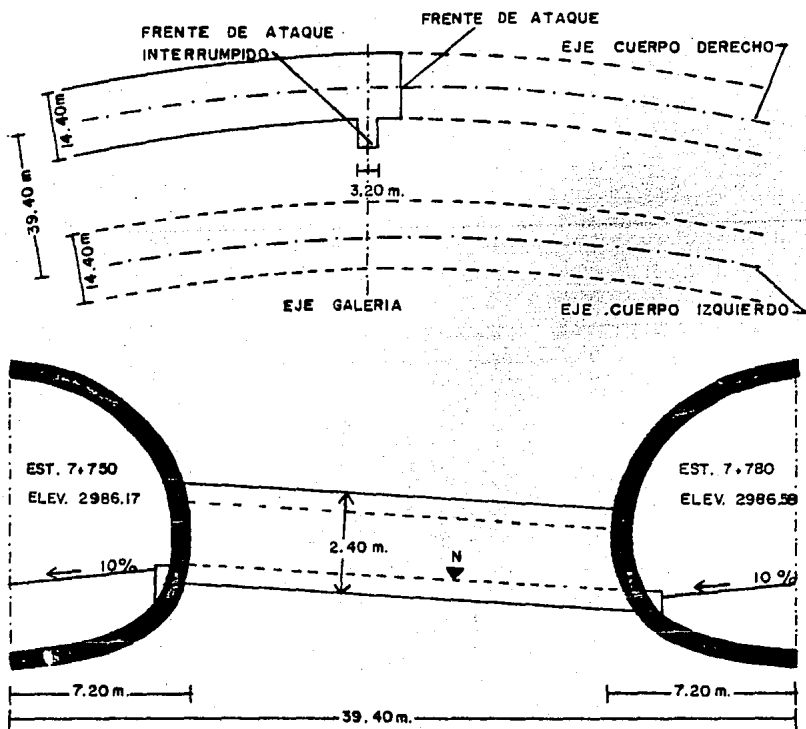


FIGURA. 24.

Como se puede apreciar en la fig. No. 24 la excavación de la galería de comunicación se iniciará desde el cuerpo derecho una vez alcanzada la estación 7+780 ; cuando se logre un avance de la mitad aproximadamente se interrumpirá el ataque, ya que el resto se ejecutará desde la estación - 7+750 del cuerpo izquierdo.

La excavación podrá efectuarse a sección completa debido a lo pequeño de ésta, mediante medios mecánicos o por explosivos, dependiendo de la dureza del material encontrado.

El revestimiento primario de esta galería constará solamente de marcos metálicos IPR de 0.20 m y 29.8 Kg/m, que estarán constituidos por dos medios arcos continuos y toronapunta, ver fig. No. 25.

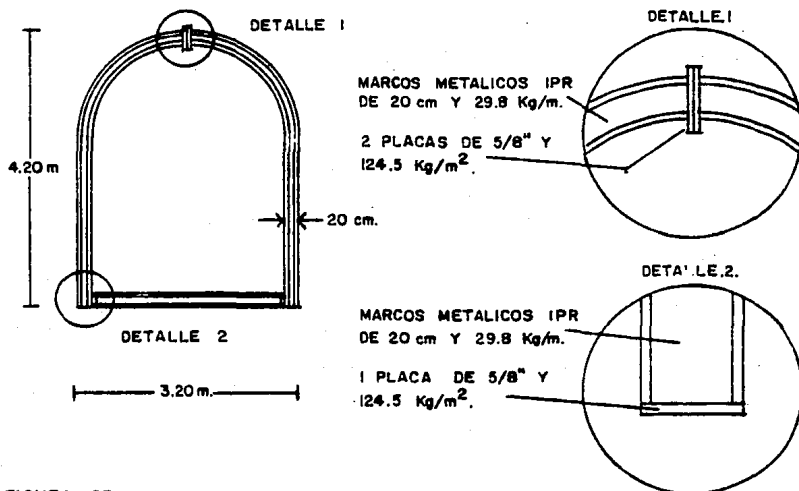


FIGURA . 25.

La separación de dichos marcos oscilará entre 1.00 m y 1.50 m dependiendo de los resultados obtenidos de las mediciones geomecánicas.

El revestimiento definitivo será de concreto hidráulico.

co de  $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$  con un espesor de 0.60 m , reforzado con acero de  $f_y = 4,200 \text{ Kg/cm}^2$  en varillas de  $1/2''$  y  $3/4''$ , cuyo armado se puede apreciar en la fig. No. 26.

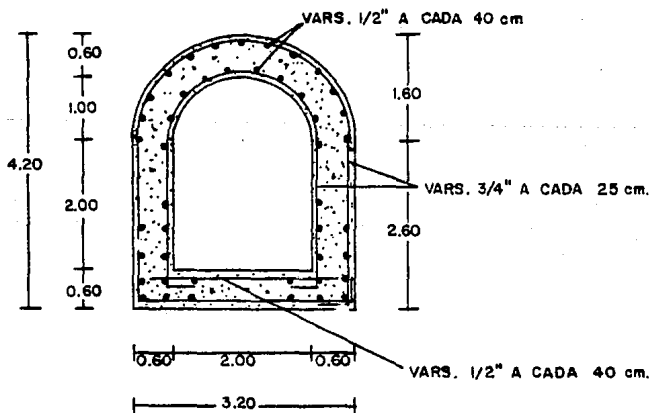


FIGURA. 26.

Acotación: m.

Por último, las varillas longitudinales deberán anclarse 1.30 m en el revestimiento definitivo de los dos cuerpos del túnel.

#### IV.7 TERRACERIA, PAVIMENTACION Y DRENAJE DEL TUNEL.

Ya que se trata de un túnel carretero, esta es la última etapa en lo que a construcción se refiere.

Como ya se mencionó, parte del material producto de la excavación del túnel podrá utilizarse para la construcción

de las terracerías, siempre y cuando cumplan con las especificaciones que marque la S.C.T. (Secretaría de Comunicaciones y Transportes), de lo contrario tendrán que buscarse los bancos de material aceptable.

Las secciones tipo 1, 2 y 3 con la estructura proyectada para la pavimentación aparecen en el anexo 8, en el cual se pueden apreciar los espesores de cada capa. Las capas constituyentes del pavimento serán: cuerpo de terraplén, transición, subrasante, sub-base hidráulica, base hidráulica y carpeta de concreto asfáltico.

La forma de proceder para la construcción de las secciones tipo será la siguiente:

a) Secciones tipo 1 y 3.-

Terminada la construcción de la contrabóveda o cubeta, se procederá a colocar material de tipo limoso o arenoso, evitando la incorporación de gravas o fragmentos de roca hasta alcanzar un espesor del orden de 0.40 m y compactándolo al 90% de su peso volumétrico seco máximo (PVSM) de la prueba Proctor.

Colocado el cuerpo del terraplén, se prosigue con la capa de transición, que ya incluirá materiales del tipo gránular hasta de 1" con una compactación que deberá alcanzar el 95% de su PVSM de la prueba Porter, el espesor será de 0.20 m cuando las terracerías tengan una altura menor de -

0.80 m ,y de 0.50 m cuando dicha altura sea mayor.

La siguiente capa será la denominada subrasante, la - cual tendrá el mismo tipo de material que la anterior pero en ésta se alcanzará un 100% de su PVSM de la prueba Porter en la compactación, el espesor deberá ser de 0.30 m.

Las obras de drenaje para la operación del túnel, como son los colectores, subdrenes, registros y pozos de visita se podrán construir antes o al mismo tiempo que las terracerías, en los anexos 9 y 10 se pueden observar todas las características que deben cumplir, así como su distribución a lo largo de los dos cuerpos que constituyen el túnel La Venta.

Habiendo terminado con lo que se puede considerar como terracerías, se procede a la construcción de la sub-base de 0.25 m de espesor con un material pétreo de tamaño máximo de 1 1/2" compactándolo al 100% de su PVSM de la prueba Porter.

La construcción de la base es el siguiente paso, ésta - consistirá en un capa de 0.20 m de espesor con un material cuyo tamaño máximo será de 1 1/2" compactándolo al 100% de su PVSM de la prueba Porter, pero que deberá tener una mejor calidad que el que constituye a la sub-base, debido a que es la capa que resiste los niveles de esfuerzos más altos producidos por el tránsito.

Finalmente se construye la carpeta asfáltica, para lo cual se aplicará primero un riego de impregnación sobre la base hidráulica, éste será un producto asfáltico del tipo FM-1 (fraguado medio) a razón de  $1.4 \text{ lt/m}^2$  aproximadamente. En seguida se aplica un riego de liga sobre la base impregnada con un roducto asfáltico del tipo WR-1 (fraguado rápido) en proporción de  $0.5 \text{ lt/m}^2$ . Concluido lo anterior se procederá a colocar la carpeta de concreto asfáltico que será del tipo elaborada en planta y aplicada en caliente, ésta consistirá de material pétreo de  $3/4"$  y cemento asfáltico del número 6, con una dosificación de  $100 \text{ Kg/m}^3$  de material pétreo seco y suelto; la compactación de la carpeta deberá ser del 95% de su peso volumétrico de la prueba Marshall. Por último deberá aplicarse un riego de sello con un producto asfáltico del tipo FR-3 a razón de  $1.2 \text{ lt/m}^2$  que será cubierto en seguida con material pétreo (3-2) de acuerdo a especificación de la S.C.T.

#### b) Sección tipo 2.-

En esta sección el cuerpo del terraplén se construirá con el material producto de la excavación, con un espesor de 0.30 m compactado al 90% de su FVSM de la prueba Porter. En cuanto a las obras de drenaje para la operación del túnel, también se podrán construir antes o al mismo tiempo que las terracerías (ver anexos 9 y 10), el resto de las capas que constituyen el pavimento tendrán las mismas características que las ya descritas en los párrafos anteriores.



#### IV.8 SEGURIDAD EN EL TRABAJO SUBTERRANEO.

Para terminar este capítulo, se ha pensado en tocar - aunque sea de manera somera, el aspecto de seguridad en el - trabajo subterráneo, debido a que este tipo de obras tienen el índice más alto de accidentes dentro de la industria de la construcción; muchos de los cuales pueden evitarse si se conocen las condiciones del medio bajo las cuales trabaja--ran las brigadas, esto únicamente es posible con la ayuda de un buen estudio geológico del lugar, que además indicará los métodos más convenientes para realizar la excavación y el - tiempo máximo que debe transcurrir entre ésta y la colocación del revestimiento primario.

No menos importante es la correcta dirección de dichos trabajos por los ingenieros o personal técnico encargado de la obra, y la creación de un reglamento de seguridad en función del proceso constructivo, que para el caso del túnel La Venta observará los siguientes puntos:

- Creación de un comité ejecutivo de seguridad.
- Instrucción sobre seguridad a trabajadores para la preven--ción de accidentes.
- Disposiciones generales en cuanto a la forma de actuar y comportarse en los frentes de trabajo.
- Normas con respecto al equipo de protección
- Condiciones que deben mantenerse dentro de las instala--ciones.
- Condiciones en que debe mantenerse la maquinaria en gene--

ral.

- Condiciones de ventilación que deben mantenerse a lo largo del túnel.
- Condiciones en que debe mantenerse la iluminación dentro del túnel.
- Equipo contra incendio.
- Disposiciones en cuanto al uso, transporte y almacenamiento de los explosivos.
- Finalmente, las disposiciones concernientes a los servicios médicos.

**CAPITULO V.**  
**PROGRAMACION Y ANALISIS DE**  
**COSTOS DE LA OBRA.**

**V.1 PROGRAMACION DEL TUNEL LA VENTA.**

Se podría decir que hasta finales de la década de los 50's, el único medio del que se disponía para la planeación, programación y control de los procesos productivos era el diagrama de barras o Gantt, pero que desgraciadamente tiene ciertos inconvenientes que se pueden resumir en:

- a) No poder determinar las actividades críticas.
  - b) Mezclar la etapa de planeación con la de programación.
- Pero, que debido a su utilidad como representación de una forma objetiva de los programas obtenidos por los métodos de la ruta crítica (CPM) y PERT se sigue haciendo uso de ella en la actualidad. Dichos métodos tienen las siguientes características:
- a) Consideración separada de la planeación y programación.
  - b) Descomposición de la planeación en dos fases, que son: - actividades componentes y secuencia de ejecución de las actividades componentes.
  - c) Representación de un plan mediante una gráfica de flechas.

- d) Para el método PERT, consideración de la duración de una actividad como variable aleatoria, y estimación de tres duraciones para cada actividad: optimista, más probable y pesimista.
- e) Análisis de la forma en como aumenta el costo de una actividad al reducir su duración.
- f) Análisis de los recursos requeridos para cada duración posible de cada actividad.
- g) Uso de los métodos de programación lineal.
- h) Para el método PERT, uso de métodos estadísticos.

Pero para poder realizar un buen programa de un proceso productivo no es suficiente con el conocer y manejar el CPM o el PERT, máxime como en éste caso que es la construcción de un túnel carretero, en el que se pueden presentar condiciones imprevistas en la geología del lugar que obligan a una reprogramación constante de las actividades, para lo cual es importante la experiencia y amplios conocimientos en cada una de las fases en cuestión; conocer los métodos posibles para realizar el proceso de acuerdo con los recursos disponibles; tener en cuenta el tiempo exigido para la terminación del proceso; y las condiciones ambientales en que va a realizarse el proceso.

Las principales ventajas que se obtienen de un programa bien realizado son las siguientes:

- a) Conocer las actividades críticas, y por lo tanto, la duración total del proceso en cuestión.

- b) Conocer las holguras del resto de las actividades.
- c) Conocer las fechas de inicio y terminación de todas las actividades, con la consecuente programación de los recursos requeridos.
- d) Permite conocer la fecha de terminación más probable de la obra.
- e) Es un punto de comparación en forma continua de la ejecución de lo real contra lo teórico, permitiendo de esta forma tomar las medidas de corrección.
- f) Puede servir como información estadísticas para futuras referencias o para ajustes del mismo programa.

Pero como no es el objeto de este trabajo extenderse - tanto en lo referente a programación debido a la amplitud - de este tema, únicamente se mencionarán los pasos que se deben seguir para el GPM que es el de más uso en la programación para la construcción de túneles.

El primer paso es elaborar una lista de todas las actividades que constituyen el proceso, en seguida se construye una tabla de secuencias que será de utilidad para la creación de un plan, el cual se representará por medio del diagrama de flechas que indicará el orden en que se ejecutarán las actividades.

A continuación se determina la duración de cada actividad y se analiza la variación del costo al modificar - ésta, estimando además los recursos que se requieren para - cada una de las actividades en todo el proceso.

Por último, se resuelve el diagrama de flechas con sus respectivas duraciones, en la forma que indica el CPM, obteniendo con esto la programación de las actividades del proceso, es conveniente elaborar varios programas con diferentes duraciones, principalmente con la límite y la normal, - hasta obtener el costo mínimo para una duración también mínima.

Como ya se mencionó, el programa obtenido tendrá que ir sufriendo modificaciones en la etapa de ejecución, debido a una serie de variables aleatorias que resultaría poco práctico tratar de estimar, como son las entregas atrasadas de cierto recurso, ...etc.

Tomando en cuenta el largo proceso que implica la realización de un buen programa, y los ajustes que recuerrá - (y como herramienta de control de todo el proceso) hacen aconsejable que su realización, con las ventajas económicas que ello implica, sea auxiliada con el uso de las computadoras.

En la fig. No.27 se muestra ya vaciado en un diagrama de barras, el resultado obtenido de la programación por el método CPM que realizó la Compañía constructora DEIN, S.A. - DE C.V. que es la encargada de la obra, y en el cual se pueden apreciar las actividades de primer orden, el importe<sup>(+)</sup>

(+) El importe presentado ya ha sido ajustado por medio de las escalatorias correspondientes. (De Agosto de '85 a Abril de '86 y que resultó de 48.25%).

que implica su elaboración y su duración ya ajustado a un calendario.

En la fig. No. 28 aparece otra forma de representar el programa de obra que es muy utilizado en túneles, en el que se muestra la variación del avance de las actividades más importantes del proceso en el transcurso del tiempo, y de los cadenamientos en los cuerpos izquierdo y derecho del túnel La Venta.

PROGRAMA DE OBRA.

| CONCEPTO                                | IMPORTE.<br>(MILES) | 1985          |               |               |               |               |                |                |                |                |                |                |                | 1987           |               |                |                |                |                |  |
|---|---------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
|   |                     | NOV.          | DIC.          | ENE.          | FEB.          | MAR.          | ABR.           | MAY.           | JUN.           | JUL.           | AGO.           | SEP.           | OCT.           | NOV.           | DIC.          | ENE.           | FEB.           | MAR.           | ABR.           |  |
| CONSTRUCCION TUNEL PROVISIONAL          | 25'000              |               |               |               |               |               |                |                |                |                |                |                |                |                |               |                |                |                |                |  |
| ENC. PORTAL ESTE (MEXCO)                | 150'000             |               |               |               |               |               |                |                |                |                |                |                |                |                |               |                |                |                |                |  |
| ENC. PORTAL OESTE (TOLUCA)              | 20'000              |               |               |               |               |               |                |                |                |                |                |                |                |                |               |                |                |                |                |  |
| TUNEL FALSO CPO. DER. OESTE             | 10'000              |               |               |               |               |               |                |                |                |                |                |                |                |                |               |                |                |                |                |  |
| TUNEL FALSO CPO. DER. OESTE             | 10'000              |               |               |               |               |               |                |                |                |                |                |                |                |                |               |                |                |                |                |  |
| PORTAL CPO. DER. ESTE                   | 10'000              |               |               |               |               |               |                |                |                |                |                |                |                |                |               |                |                |                |                |  |
| PORTAL CPO. IZD. ESTE                   | 10'000              |               |               |               |               |               |                |                |                |                |                |                |                |                |               |                |                |                |                |  |
| ENC. CPO. DER. E. ISO. SECCION SUPERIOR | 800'000             |               |               |               |               |               |                |                |                |                |                |                |                |                |               |                |                |                |                |  |
| BARRIDO                                 | 400'000             |               |               |               |               |               |                |                |                |                |                |                |                |                |               |                |                |                |                |  |
| ADENE PRIMARIO CONCRETO LANZADO         | 1,400'000           |               |               |               |               |               |                |                |                |                |                |                |                |                |               |                |                |                |                |  |
| DRINAJES                                | 70'000              |               |               |               |               |               |                |                |                |                |                |                |                |                |               |                |                |                |                |  |
| COLADO ZAPATAS Y TORNOPIUNTAS           | 24'500              |               |               |               |               |               |                |                |                |                |                |                |                |                |               |                |                |                |                |  |
| COLADO REVESTIMIENTO DEFINITIVO         | 1,030'000           |               |               |               |               |               |                |                |                |                |                |                |                |                |               |                |                |                |                |  |
| ORDENAJE DEFINITIVO TUNEL               | 70'000              |               |               |               |               |               |                |                |                |                |                |                |                |                |               |                |                |                |                |  |
| ORDENAJE EXTERIOR (ACCESOS)             | 6'000               |               |               |               |               |               |                |                |                |                |                |                |                |                |               |                |                |                |                |  |
| TERRACERIAS                             | 10'000              |               |               |               |               |               |                |                |                |                |                |                |                |                |               |                |                |                |                |  |
| BARRIJETAS Y MANABOMBAS                 | 17'000              |               |               |               |               |               |                |                |                |                |                |                |                |                |               |                |                |                |                |  |
| REVESTIMIENTO                           | 40'000              |               |               |               |               |               |                |                |                |                |                |                |                |                |               |                |                |                |                |  |
| ENC. EN SALIDA                          | 10'000              |               |               |               |               |               |                |                |                |                |                |                |                |                |               |                |                |                |                |  |
| ADENE PRIMARIO                          | 17'000              |               |               |               |               |               |                |                |                |                |                |                |                |                |               |                |                |                |                |  |
| ADENE DEFINITIVO                        | 10'000              |               |               |               |               |               |                |                |                |                |                |                |                |                |               |                |                |                |                |  |
| ILUMINACION                             | 100'000             |               |               |               |               |               |                |                |                |                |                |                |                |                |               |                |                |                |                |  |
| <b>TOTALS</b>                           | <b>8,048'000</b>    | <b>18'000</b> | <b>20'000</b> | <b>25'000</b> | <b>25'000</b> | <b>25'000</b> | <b>140'000</b> | <b>300'000</b> | <b>300'000</b> | <b>310'000</b> | <b>370'000</b> | <b>340'000</b> | <b>120'000</b> | <b>120'000</b> | <b>41'000</b> | <b>240'000</b> | <b>240'000</b> | <b>240'000</b> | <b>240'000</b> |  |

FIGURA. 27.



PROGRAMA DE OBRA.

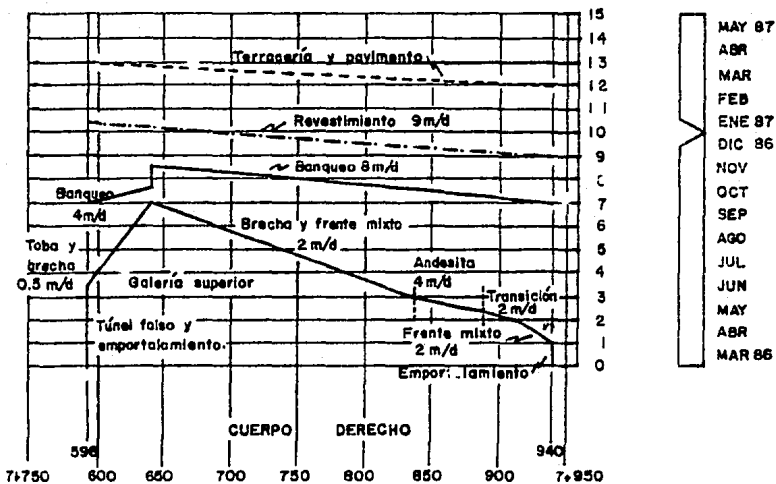
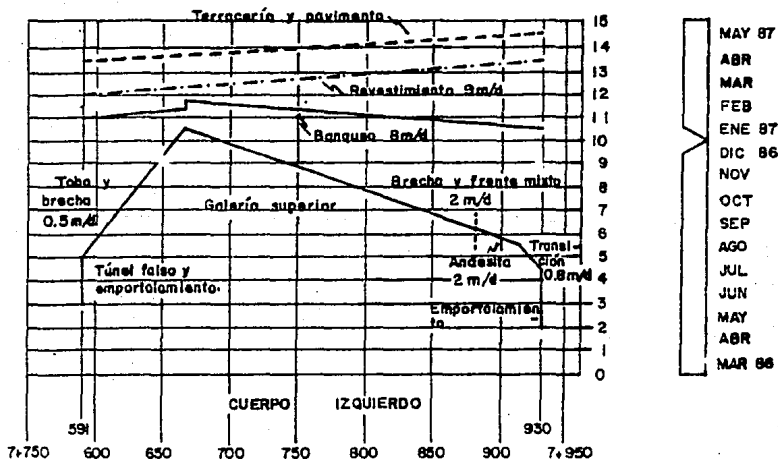


FIGURA. 28.

## V.2 ANALISIS DE COSTOS DE LA OBRA.

En la actualidad se está trabajando por el método de precios unitarios por ser el más completo, racional y el que reúne las condiciones más favorables tanto para la parte contratista como para el contratante.

El precio unitario se puede definir como el medio por el cual el contratista cobra al contratante el valor del trabajo realizado, en el cual se recuperan los gastos y se obtiene la utilidad correspondiente.

De lo dicho en el párrafo anterior se deduce que son tres los elementos que componen al precio unitario.

- Los gastos directos.                      Gastos.
- Los gastos indirectos.
- La utilidad.

Ahora bien, para el túnel La Venta se analizaron setenta y siete conceptos, cuyos precios unitarios y cantidad estimada se presentan al final de este subcapítulo, y que corresponden a los efectuados en el mes de Agosto de 1985 para la participación al concurso que llevó a cabo la SCT; y que por la extensión tan amplia que abarcaría el desarrollarlos en el presente trabajo, sólo se tocará uno a manera de ejemplo, y que es el siguiente:

Excavación en la sección media superior con empleo de explosivos.-

La selección de tal concepto, se debe a las diversas actividades que intervienen en su realización.

Como ya se mencionó, el análisis de costos se debe efectuar en la etapa de programación, cuando se busca la duración óptima para la actividad en cuestión.

Otro punto que es importante tener presente es que el análisis a desarrollar será únicamente el de costos directos ya que los costos indirectos y la utilidad dependen de las condiciones en las que trabaja la empresa (organización, dirección técnica, administración, ... etc).

Por último, se quiere aclarar que el análisis aquí elaborado probablemente difiera un poco con el presentado en el concurso, debido a que la estimación en los rendimientos (y por lo tanto en las duraciones) son diferentes, como resultado también de los factores de eficiencia asignados en cada caso.

El diagrama de barrenación definitivo tiene que determinarse en el frente de trabajo de acuerdo a las condiciones que éste presente, pero para estimar el precio unitario de la excavación con empleo de explosivos, es necesario apoyarse en experiencias que se encuentran ya graficadas, como se podrá ver en el desarrollo del análisis.



AREA DE LA SECCION = 81.43 m<sup>2</sup>.

14.40 m

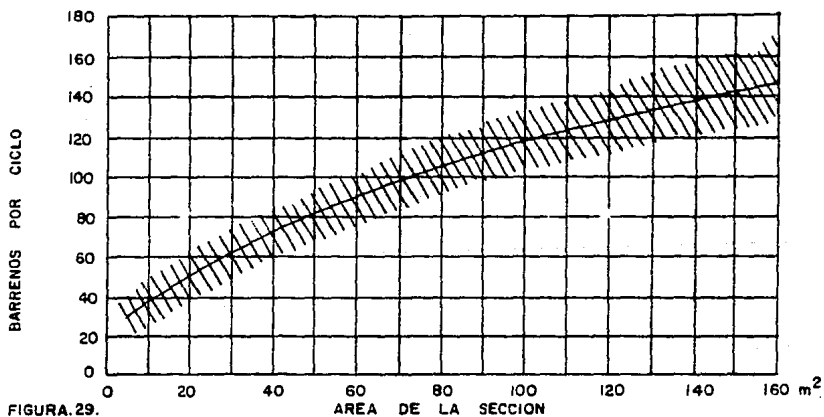


FIGURA.29.

Lo que arroja un resultado de 108 barrenos para un área de 81.43 m<sup>2</sup>.

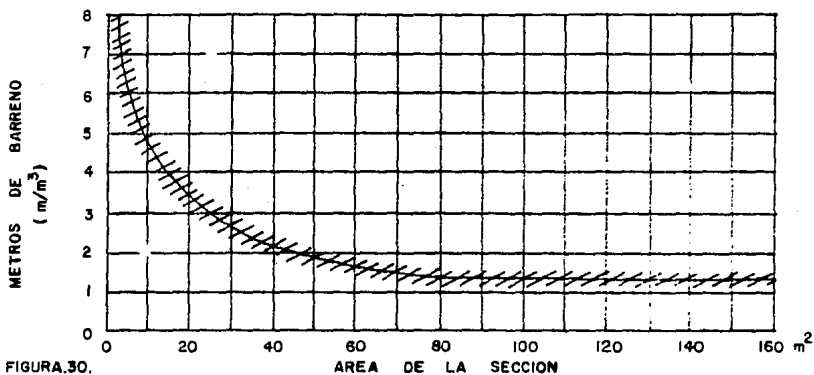


FIGURA.30.

Con la fig. No. 30 se obtiene en forma aproximada el coeficiente de barrenación que para este caso resultó de 1.3 m/m<sup>3</sup>.

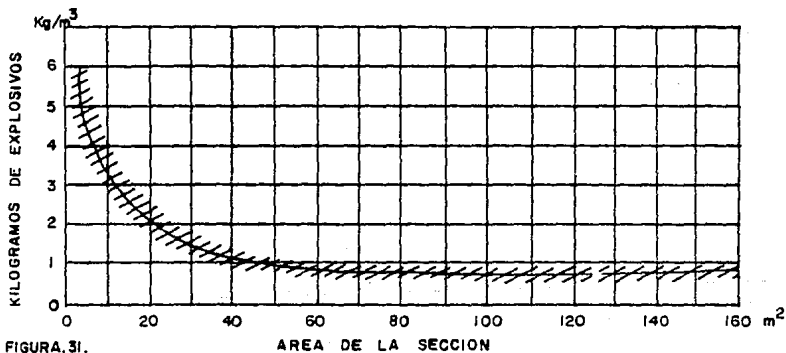


FIGURA. 31.

Por medio de la fig. No. 31 se obtiene un consumo aproximado de  $0.300 \text{ Kg/m}^3$ .

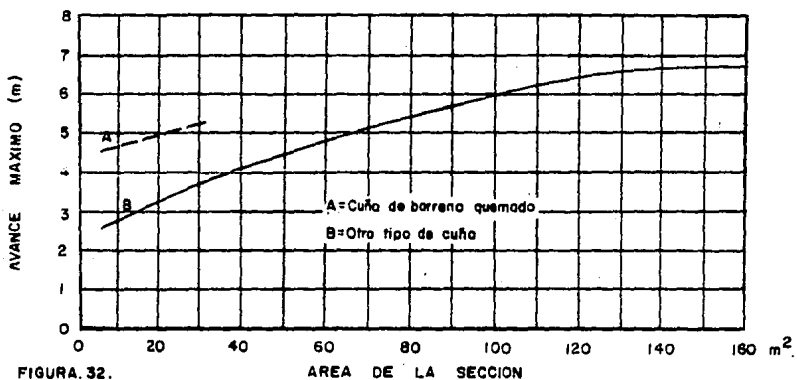


FIGURA. 32.

Optando por una cuña en "V" se puede tener un avance de 5.50 m, esto es sólo si el material excavado lo permite.

De lo anterior y tomando un avance efectivo del 90% -

se tiene que el volumen excavado será:

$$\text{Vol} = 5.50 \text{ m} \times 0.90 \times 81.43 \text{ m}^2 = 403 \text{ m}^3/\text{ciclo}.$$

Resumen de datos:

Area de la mitad de la sección =  $81.43 \text{ m}^2$ .

Número de barrenos = 108.

Coefficiente de barrenación =  $1.30 \text{ m/m}^3$ .

Coefficiente de explosivos =  $0.800 \text{ Kg/m}^3$ .

Profundidad de barrenación = 5.50 m.

Avance medio por ciclo = 4.95 m.

Volumen excavado por ciclo =  $403 \text{ m}^3$ .

Obtención del ciclo de trabajo:

$$T = 1.25((G/b)(0.16 + 0.08 G/N) + G (0.69 + 0.01 G/N) + 20 + 4.01 N + GX100/Bv + t_2 + t_3).$$

$$t = t_3 + G (0.44 + 0.01 G/N) + 24 + 1.55 N.$$

Donde:

T = tiempo total de barrenación, carga y tronada, en minutos.

G = longitud total barrenada, en metros.

b = longitud de las barras del equipo de barrenación, en metros.

N = número total de barrenos en el frente.

Bv = velocidad de penetración de las brocas, lo que equivale a considerar rendimientos de perforación, en cm/min.

$t_2$  = tiempo empleado en la instalación y retiro del equipo

de barrenación, en minutos.

$t_3$  = tiempo empleado en la instalación y retiro del equipo antes y después de la carga de explosivos, en minutos.

$t$  = tiempo de la carga y tronado del frente, en minutos.

Determinación de las variables:

$G = 5.50 \text{ m} \times 108 \text{ barrenos} = 594 \text{ m.}$

$b = 1.60 \text{ m.}$

$N = 108 \text{ barrenos.}$

$B_v = 30 \text{ cm/min.}$

$t_2 = 450 \text{ min.}$

(ver fig. No. 33 ).

$t_3 = 175 \text{ min.}$

(ver fig. No. 34 ).

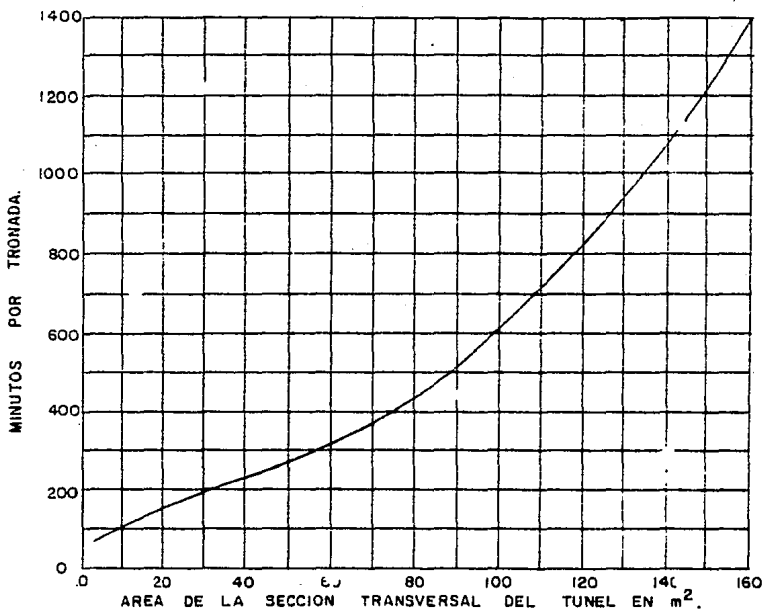


FIGURA.33.

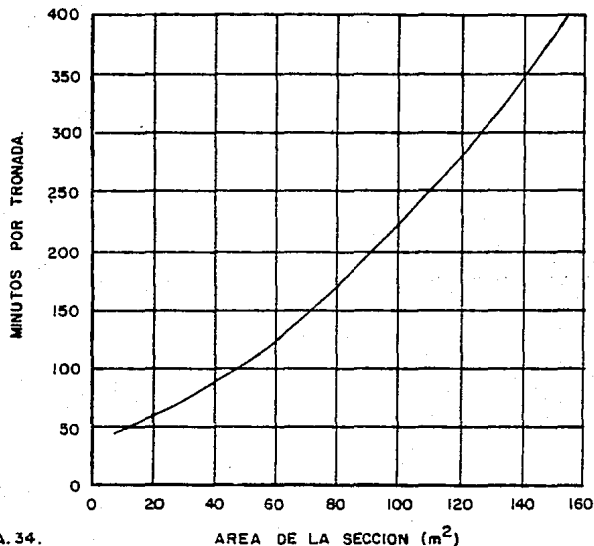


FIGURA. 34.

$$T = 1.25 \left( (594/1.60)(0.16 + 0.08(594/108)) + 594 (0.69 + 0.01(594/108)) + 20 + 4.01(108) + 594 \times 100/30 + 450 + 175 \right).$$

$$T = 1.25 ( 223 + 443 + 20 + 433.08 + 1980 + 450 + 175 ).$$

$$T = 3,724 \text{ min-hombre.}$$

$$t = 175 + 594 (0.44 + 0.01(594/108)) + 24 + 1.55(108).$$

$$t = 175 + 294 + 24 + 167 .$$

$$t = 660 \text{ min-hombre.}$$

Apoyándose en le fig. No. 35 se puede estimar la fuerza de trabajo en función del área de la sección por excavar.



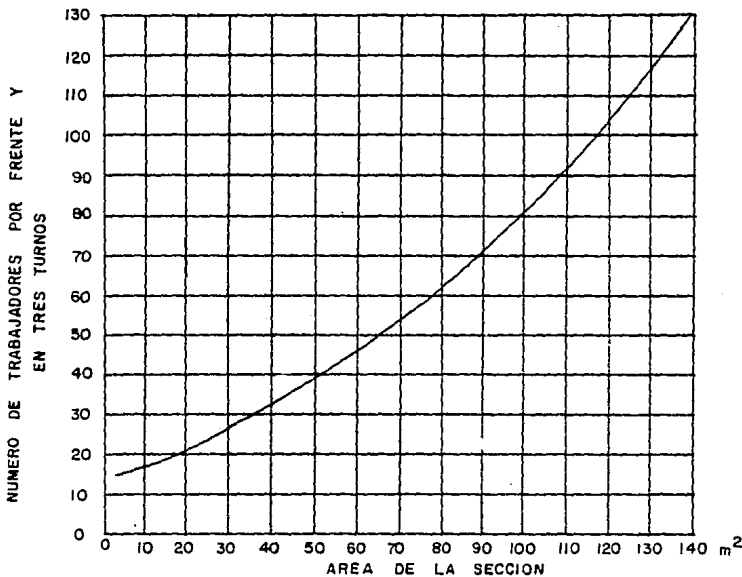


FIGURA.35. Fuerza total de trabajadores por frente en 3 turnos de 8 hrs.

Lo que resulta 20 trabajadores para un turno de 8 hrs.

tiempo de barrenación =  $3,724 - 660 = 3,064$  min-hombre.

$$t_b = \frac{3,064 \text{ min-hombre}}{60 \text{ min/hr.}} = 51.07 \text{ hr-hombre.}$$

Considerando que pueden trabajar 8 perforistas y un -  
(1) Jumbo de barrenación de 2 brazos.

$$t_b = \frac{51.07 \text{ hr-hombre}}{10} = 5.10 \text{ hr.}$$

Cuadrilla de trabajo:

- Peón = 2.
- Ayudante = 4.
- Poblador = 3.
- Cabo = 1.
- Sobrestante = 1.
- Perforistas = 3.
- Op. de Jumbo de barrenación = 1.
- Compresorista = 2.
- Op. de traxcavo = 1.

Con lo que se puede determinar t.

$$t = \frac{660 \text{ min-hombre}}{3} = 220 \text{ min.}$$

$$t = 3.67 \text{ hr.}$$

Considerando una eficiencia de 80%, tenemos:

$$t_b = \frac{5.10 \text{ hr}}{0.80} = 6.38 \text{ hr.}$$

$$t = \frac{3.67 \text{ hr}}{0.80} = 4.60 \text{ hr.}$$

Con lo que se puede determinar el ciclo de trabajo:

|                   |           |
|-------------------|-----------|
| - Trazo y acomodo | = 0.20 hr |
| - Barrenación     | = 6.38 hr |
| - Sopleteo        | = 0.20 hr |
| - Carga y tronado | = 4.60 hr |
| - Ventilación     | = 0.50 hr |

- Rezaga (ver a continuación) = 3.26 hr
- TOTAL = 15.14 hr.

Lo que equivale a 2 ciclos de 8 hr.

Estimación del tiempo de rezaga:

Equipo:

- 1 cargador 977-L CAT.
- Camiones F-600.

Datos:

- Capacidad del cargador =  $3 \text{ yd}^3$ .
- Capacidad del camión =  $6 \text{ m}^3$ .
- Volumen en banco =  $403 \text{ m}^3$ .
- Factor de abundamiento = 1.67
- Volumen suelto =  $403 \text{ m}^3 \times 1.67 = 673 \text{ m}^3$ .

Ciclo del cargador :

- Tiempo de carga = 0.20 min
- Tiempo de maniobra = 0.22 min
- Tiempo de viaje = 0.10 min
- Tiempo de descarga = 0.07 min
- TOTAL = 0.59 min

que se puede aproximar a 0.60 min.

Considerando un 83% de eficiencia, se afecta el volumen del cucharón por 0.90 .

$$\text{Volumen del cucharón} = 3.0 \text{ yd}^3 \times 0.9 = 2.7 \text{ yd}^3.$$

$$\text{Volumen del cucharón} = 2.7 \text{ yd}^3 \times 0.7645 = 2.06 \text{ m}^3.$$

$$\text{No. de ciclos del cargador} = \frac{6.0 \text{ m}^3}{2.06 \text{ m}^3} = 2.91 \approx 3 \text{ ciclos.}$$

$$\text{Tiempo de llenado del camión} = 0.60 \text{ min} \times 3 \text{ ciclos} = 1.8 \text{ min}$$

$$\text{Tiempo de rezaga} = \frac{673 \text{ m}^3}{6.18 \text{ m}^3} \times 1.8 \text{ min} = 196 \text{ min.}$$

$$\text{Tiempo de rezaga} = 3.26 \text{ hr.}$$

Con lo anterior se completa el tiempo para el ciclo de trabajo, con el cual se podrá calcular el costo de la mano de obra y de la maquinaria, pero antes se estimará el de acarreo al 1<sup>o</sup> Km y Kms subsecuentes.

Acarreo a 1 Km de distancia:

$$\text{Tiempo de carga} = 1.8 \text{ min.}$$

$$\text{Tiempo de descarga} = 0.2 \text{ min.}$$

$$\text{Maniobras} = 1.0 \text{ min.}$$

$$\text{Tiempo de recorrido} = \underline{5 \text{ min.}}$$

$$\text{TOTAL} = 8 \text{ min.}$$

$$\text{Cargado} = \frac{1 \text{ Km}}{20 \text{ Km/hr}} = 0.050 \text{ hr} = 3 \text{ min.}$$

$$\text{Vacío} = \frac{1 \text{ Km}}{30 \text{ Km/hr}} = 0.033 \text{ hr} = 2 \text{ min.}$$

Costo por m<sup>3</sup> a 1 Km de distancia.

$$\text{Costo horario del camión F-600} = \$ 3,682.84 \text{ H-M.}$$

$$\frac{\$ 3,682.84 \times 8 \text{ min}}{6 \text{ m}^3 \times 60 \text{ min}} = \$ 81.43/\text{m}^3/1^{\circ} \text{ Km.}$$

Acarreo Kms subsecuentes:

$$\text{Cargado} = \frac{5 \text{ Km}}{20 \text{ Km/hr}} = 0.25 \text{ hr} = 15 \text{ min.}$$

$$\text{Vacío} = \frac{5 \text{ Km}}{30 \text{ Km/hr}} = 0.16 \text{ hr} = 10 \text{ min.}$$

Tiempo de carga = 1.8 min.

Tiempo de descarga = 0.2 min.

Maniobras = 1 min.

Tiempo de recorrido = 25 min.

TOTAL = 28 min.

Costo por m<sup>3</sup> para Kms subsecuentes.

$$\frac{\$ 3,682.84 \times 28 \text{ min}}{6 \text{ m}^3 \times 60 \text{ min}} = \$ 286.44/\text{m}^3$$

$$\frac{\$ 286.44/\text{m}^3 - \$ 81.43/\text{m}^3}{4 \text{ Km}} = \$ 51.25/\text{m}^3/\text{Kms subsecuentes.}$$

Con todos los datos ya recabados, se procede al cálculo de materiales, mano de obra, equipo y herramienta que constituyen el costo directo.

MATERIALES:

$$\text{Dinamita} = 0.800 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$\text{Estopin} = \frac{108 \text{ barrenos.}}{403 \text{ m}^3} = 0.268/\text{m}^3$$

$$\text{Primacord} = \frac{4.95 \text{ m} \times 108 \text{ barrenos} \times 1.03 \text{ (desperdicio)}}{403 \text{ m}^3}$$

Primacord =  $1.36 \text{ ml/m}^3$ .

Alambre conductor =  $0.3 \times 1.36 \text{ ml/m}^3 = 0.409 \text{ ml/m}^3$ .

El equipo de barrenación utilizará el material que a continuación se presenta con la respectiva vida útil que se espera brinden en el material encontrado, que para este caso es andesita.

- Zanco =  $750 \text{ m}^3$  de vida útil.

- Cople =  $500 \text{ m}^3$  de vida útil.

- Barra de extensión  $10' \times 1 \frac{1}{4}" = 1500 \text{ m}^3$  de vida útil.

- Broca de  $\phi 2" = 180 \text{ m}^3$  de vida útil.

Por lo tanto la cantidad por  $\text{m}^3$  equivale a :

- Zanco =  $1/750 = 0.00133$

- Cople =  $1/500 = 0.00200$

- Barra de extensión =  $1/1500 = 0.00066$

- Broca de  $\phi 2" = 1/180 = 0.00555$

Resumen:

| Material.          | Unidad. | Cantidad. | Costo.      | Importe.         |
|--------------------|---------|-----------|-------------|------------------|
| Dinamita           | Kg      | 0.800     | \$ 550.00   | \$ 440.00        |
| Estopin            | pza     | 0.268     | \$ 370.00   | \$ 99.16         |
| Primacord          | ml      | 1.36      | \$ 98.50    | \$ 133.96        |
| Alambre #18        | ml      | 0.409     | \$ 28.00    | \$ 11.45         |
| Zanco              | pza     | 0.00133   | \$36,500.00 | \$ 48.50         |
| Cople              | pza     | 0.00200   | \$11,500.00 | \$ 23.00         |
| Barra de ext.      | pza     | 0.00066   | \$64,600.00 | \$ 42.64         |
| Broca de $\phi 2"$ | pza     | 0.00555   | \$47,000.00 | \$ <u>258.50</u> |

\$1,057.30

Inst. permanentes durante la construcción 4%

\$ 42.30

Total = \$1,099.60/m<sup>3</sup>

## MANO DE OBRA :

Según se vió anteriormente resultaron ser 2 ciclos de 8 hr.

|   |                    |
|---|--------------------|
| - Peón = 2 X \$1,962.00 X 2 ciclos =          | \$ 7,848.00        |
| - Ayudante = 4 X \$2,295.00 X 2 ciclos =      | \$ 18,360.00       |
| - Poblador = 3 X \$3,825.00 X 2 ciclos =      | \$ 22,950.00       |
| - Cabo = 1 X \$3,060.00 X 2 ciclos =          | \$ 6,120.00        |
| - Sobrestante = 1 X \$3,825.00 X 2 ciclos =   | \$ 7,650.00        |
| - Perforistas = 8 X \$2,754.00 X 2 ciclos =   | \$ 44,064.00       |
| - Op. Jumbo = 1 X \$4,895.00 X 2 ciclos =     | \$ 9,790.00        |
| - Compresorista = 2 X \$2,295.00 X 2 ciclos = | \$ 9,180.00        |
| - Op. traxeavo = 1 X \$3,825.00 X 2 ciclos =  | <u>\$ 7,650.00</u> |
|   | \$133,612.00       |

$$\frac{\$133,612.00}{403 \text{ m}^3} = \$ 331.54/\text{m}^3$$

Inst. permanentes durante la construcción 4% \$ 13.26

Lo que da un total = \$ 344.80/m<sup>3</sup>.

## MAQUINARIA :

Maquinaria activa.-

|  |              |
|--|--------------|
| - Perforadora neumática manual.                |              |
| 6.38 hr X 8 X \$249.96/hr =                    | \$ 12,758.00 |
| - Jumbo de barrenación Atlas Copco (2 brazos). |              |
| 6.38 hr X 1 X \$15,441.91/hr =                 | \$ 98,519.38 |
| - Compresor de 600 p.c.m.                      |              |
| 6.58 hr X 2 X \$5,008.41/hr =                  | \$ 65,910.86 |
| - Cargador 977-L CAT.                          |              |
| 3.26 hr X 1 X \$9,061.02/hr =                  | \$ 29,538.93 |

## Maquinaria inactiva.-

|  |                     |
|--|---------------------|
| - Perforadora neumática manual. (++)           |                     |
| 9.62 hr X 8 X \$249.96/hr =                    | \$ 19,236.93        |
| - Jumbo de barrenación Atlas Copco (2 brazos). |                     |
| 9.62 hr X 1 X \$14,999.97/hr =                 | \$144,300.00        |
| - Compresor de 600 p.c.m.                      |                     |
| 9.42 hr X 2 X \$3,449.97/hr =                  | \$ 64,997.44        |
| - Cargador 977-L CAT.                          |                     |
| 12.72 hr X 1 X \$7,699.97/hr =                 | <u>\$ 98,097.62</u> |
|  | \$533,358.78        |

$$\frac{\$533,358.78}{403 \text{ m}^3} = \$1,323.47/\text{m}^3.$$

## Acarreos.-

$$1^{\circ} \text{ Km} = \$ 81.43/\text{m}^3.$$

$$\text{Kms subsecuentes} = \$ 51.25/\text{m}^3 \times 4 \text{ Km} = \underline{\$ 205.00/\text{m}^3}$$

$$\$ 286.43/\text{m}^3$$

$$\text{Maquinaria} = \$1,323.47/\text{m}^3 + \$286.43/\text{m}^3 = \$ 1,609.90/\text{m}^3$$

$$\text{Inst. permanentes durante la construcción 4\%} \quad \underline{\$ 64.40/\text{m}^3}$$

$$\text{Total} = \$ 1,674.30/\text{m}^3$$

(++) El costo horario inactivo de la perforadora neumática manual se considera igual que el costo horario activo en este caso, debido a que los cargos por operación se incluye en la parte correspondiente a mano de obra, y los cargos por consumo que serían las brocas, coples, ... etc., se han considerado ya en la parte correspondiente a materiales.

En este tipo de obras en que son pocos los frentes de ataque se tiene mucha maquinaria inactiva, por lo que el costo de operación tiene que incluirse en la mano de obra del ciclo analizado para la actividad "x".



**HERRAMIENTA :**

|  |                                |
|--|--------------------------------|
| 3% de mano de obra =                         | \$ 10.34/m <sup>3</sup> .      |
| Inst. permanentes durante la construcción 4% | \$ <u>0.41/m<sup>3</sup></u> . |
| Total =                                      | \$ 10.75/m <sup>3</sup> .      |

|                       |                                    |
|-----------------------|------------------------------------|
| COSTO DIRECTO TOTAL   | \$ 3,129.45/m <sup>3</sup>         |
| INDIRECTOS 28.35%     | \$ 887.20/m <sup>3</sup>           |
| SUMA                  | \$ 4,016.65/m <sup>3</sup>         |
| UTILIDAD 8%           | \$ 321.33/m <sup>3</sup>           |
| CARGOS ADICIONALES 1% | \$ <u>40.16/m<sup>3</sup></u>      |
| PRECIO UNITARIO       | \$ <u>4,378 14/m<sup>3</sup></u> . |

A continuación se presenta el presupuesto de la obra - con los precios unitarios analizados en el mes de Agosto de 1985, y que deberán irse actualizando por medio de la escalatoria correspondiente a la fecha en que se realicen las - diversas actividades.

## P R E S U P U E S T O .

| No. | CONCEPTO.  |
|-----|--|
|     | <b>TUNELAS:</b>  |
| 01  | excavación en sección media superior empleando medios mecánicos.         |
| 02  | excavación en sección media superior empleando explosivos.               |
| 03  | excavación en sección lateral superior empleando medios mecánicos.       |
| 04  | excavación en sección lateral superior empleando explosivos.             |
| 05  | excavación en sección media central superior empleando medios mecánicos. |
| 06  | excavación en sección media central superior empleando explosivos.       |
| 07  | excavación por banqueo (sec. 1 y 3 ) empleando medios mecánicos.         |
| 08  | excavación por banqueo (sec. 1 y 3 ) empleando explosivos.               |
| 09  | excavación por banqueo (sec. 2 ) empleando medios mecánicos.             |
| 10  | excavación por banqueo (sec. 2 ) empleando explosivos.                   |
| 11  | excavación en galería de comunicación empleando medios mecánicos.        |
| 12  | excavación en galería de comunicación empleando explosivos.              |
| 13  | excavación a cielo abierto para túnel falso portal Oeste.                |

## P R E S U P U E S T O .

| No. | UNIDAD.        | CANTIDAD. | P. U.       | IMPORTE.         |
|-----|----------------|-----------|-------------|------------------|
|     | TUNELES:       |           |             |                  |
| 01  | m <sup>3</sup> | 16,140.00 | \$ 4,116.91 | \$ 66'446,927.40 |
| 02  | m <sup>3</sup> | 6,920.00  | \$ 4,474.07 | \$ 30'960,564.40 |
| 03  | m <sup>3</sup> | 21,810.00 | \$ 9,283.12 | \$202'464,847.00 |
| 04  | m <sup>3</sup> | 9,350.00  | \$ 5,194.02 | \$ 48'564,087.00 |
| 05  | m <sup>3</sup> | 1,599.00  | \$10,281.08 | \$ 16'439,446.92 |
| 06  | m <sup>3</sup> | 4,020.00  | \$ 5,225.88 | \$ 21'008,037.60 |
| 07  | m <sup>3</sup> | 20,030.00 | \$ 4,936.73 | \$ 98'882,701.90 |
| 08  | m <sup>3</sup> | 8,580.00  | \$ 2,771.72 | \$ 23'781,357.60 |
| 09  | m <sup>3</sup> | 17,170.00 | \$ 4,931.12 | \$ 84'667,330.40 |
| 10  | m <sup>3</sup> | 7,360.00  | \$ 2,829.56 | \$ 20'825,561.60 |
| 11  | m <sup>3</sup> | 210.00    | \$12,140.00 | \$ 2'549,404.20  |
| 12  | m <sup>3</sup> | 90.00     | \$14,014.00 | \$ 1'261,343.70  |
| 13  | m <sup>3</sup> | 18,720.00 | \$ 830.75   | \$ 15'551,640.00 |

- | No. | CONCEPTO.  |
|-----|--|
| 14  | Excavación a cielo abierto en portal Este.   |
| 15  | Excavación en remoción de derrumbes ocurridos por causas no imputables al contratista.                                   |
| 16  | Relleno de cúpulas o domos existentes o que se producen durante la construcción por causas no imputables al contratista. |
| 17  | Relleno con material compactable en el túnel falso, - 100% de compactación.  |
| 18  | Relleno con material compactable en el túnel falso, - 95% de compactación.   |
| 19  | Anclas de fricción de 25 mm (1") y 5 m de longitud.  |
| 20  | Anclas de tensión de 25 mm (1") y 6 m de longitud.   |
| 21  | Travesaños de acero de 1" $\phi$ y 2.20 m de longitud.   |
| 22  | Perforación con barrenos de 76 mm (3").  |
| 23  | Inyección del material con lechada de cemento, arena y agua en proporciones variables según proyecto.                    |
| 24  | Concreto hidráulico de f'c = 250 Kg/cm <sup>2</sup> en revestimiento de bóveda para túnel falso.                         |
| 25  | Concreto hidráulico de f'c = 250 Kg/cm <sup>2</sup> en zapatas de sección tipo 2.  |
| 26  | Concreto hidráulico de f'c = 250 Kg/cm <sup>2</sup> en zapatas del túnel falso.  |
| 27  | Concreto hidráulico de f'c = 250 Kg/cm <sup>2</sup> en portales según proyecto.  |
| 28  | Concreto hidráulico de f'c = 150 Kg/cm <sup>2</sup> en banquetas y guarniciones.   |

| No. | UNIDAD.        | CANTIDAD.  | P. U.       | IMPORTE.         |
|-----|----------------|------------|-------------|------------------|
| 14  | m <sup>3</sup> | 120,270.00 | \$ 830.75   | \$ 99'914,302.50 |
| 15  | m <sup>3</sup> | 1,500.00   | \$ 5,649.01 | \$ 8'473,515.00  |
| 16  | m <sup>3</sup> | 1,800.00   | \$17,950.86 | \$ 32'311,548.00 |
| 17  | m <sup>3</sup> | 2,750.00   | \$ 2,260.17 | \$ 6'215,467.80  |
| 18  | m <sup>3</sup> | 590.00     | \$ 2,122.96 | \$ 1'252,546.40  |
| 19  | pza            | 6,220.00   | \$13,489.11 | \$ 83'902,264.20 |
| 20  | pza            | 6,800.00   | \$15,265.17 | \$103'803,156.00 |
| 21  | pza            | 23,180.00  | \$ 1,321.02 | \$ 30'621,243.60 |
| 22  | m <sup>1</sup> | 6,370.00   | \$ 2,632.24 | \$ 16'767,368.80 |
| 23  | m <sup>3</sup> | 3,570.00   | \$17,295.17 | \$ 61'743,756.90 |
| 24  | m <sup>3</sup> | 200.00     | \$44,029.37 | \$ 8'805,874.00  |
| 25  | m <sup>3</sup> | 1,890.00   | \$22,236.58 | \$ 42'027,136.20 |
| 26  | m <sup>3</sup> | 80.00      | \$31,746.07 | \$ 2'539,685.60  |
| 27  | m <sup>3</sup> | 950.00     | \$31,013.78 | \$ 29'463,091.00 |
| 28  | m <sup>3</sup> | 1,030.00   | \$19,778.38 | \$ 20'371,731.40 |

- | No. | CONCEPTO.   |
|-----|---|
| 29  | Concreto hidráulico lanzado de $f'c = 200 \text{ Kg/cm}^2$ en ademe.                                      |
| 30  | Concreto hidráulico lanzado de $f'c = 200 \text{ Kg/cm}^2$ en costillas.                                  |
| 31  | Concreto hidráulico de $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$ en revestimiento de clave y paredes.                   |
| 32  | Concreto hidráulico de $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$ en contrabóveda (secciones 1 y 3).                     |
| 33  | Concreto hidráulico de $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$ en revestimiento de galería de comunicación.           |
| 34  | Varilla corrugada $f_y = 4,200 \text{ Kg/cm}^2$ número 3 para concreto lanzado.                           |
| 35  | Varilla corrugada $f_y = 4,200 \text{ Kg/cm}^2$ número 3 para concreto lanzado como estribos (costillas). |
| 36  | Varilla corrugada $f_y = 4,200 \text{ Kg/cm}^2$ número 5 (costillas).                                     |
| 37  | Varilla corrugada $f_y = 4,200 \text{ Kg/cm}^2$ número 4 (costillas).                                     |
| 38  | Varilla corrugada $f_y = 4,200 \text{ Kg/cm}^2$ número 8 para portales y túnel falso.                     |
| 39  | Varilla corrugada $f_y = 4,200 \text{ Kg/cm}^2$ número 6 para portales y túnel falso.                     |
| 40  | Varilla corrugada $f_y = 4,200 \text{ Kg/cm}^2$ número 4 para portales y túnel falso.                     |
| 41  | Malla metálica electrosoldada de 4.2 mm X 10 cm X 10 cm.  |

| No. | UNIDAD.        | CANTIDAD.  | P. U.       | IMPORTE.         |
|-----|----------------|------------|-------------|------------------|
| 29  | m <sup>3</sup> | 4,930.00   | \$47,466.89 | \$234'011,767.70 |
| 30  | m <sup>3</sup> | 2,960.00   | \$47,466.89 | \$140'501,994.40 |
| 31  | m <sup>3</sup> | 13,291.00  | \$27,259.08 | \$362'300,432.28 |
| 32  | m <sup>3</sup> | 5,040.00   | \$22,517.67 | \$113'489,056.80 |
| 33  | m <sup>3</sup> | 190.00     | \$40,802.64 | \$ 7'752,501.60  |
| 34  | Kg             | 294,510.00 | \$ 175.90   | \$ 51'804,309.00 |
| 35  | Kg             | 45,260.00  | \$ 194.31   | \$ 8'794,470.60  |
| 36  | Kg             | 594,200.00 | \$ 178.78   | \$106'231,076.00 |
| 37  | Kg             | 104,170.00 | \$ 182.48   | \$ 19'008,941.60 |
| 38  | Kg             | 3,670.00   | \$ 484.26   | \$ 1'777,234.20  |
| 39  | Kg             | 33,210.00  | \$ 350.71   | \$ 11'647,079.10 |
| 40  | Kg             | 7,770.00   | \$ 475.02   | \$ 3'690,905.40  |
| 41  | m <sup>2</sup> | 33,200.00  | \$ 701.07   | \$ 23'275,524.00 |

| No.                       | CONCEPTO.   |
|---------------------------|---|
| 42                        | Marcos metálicos de 113.85 Kg/m para ademe en media -<br>sección superior.  |
| 43                        | Marcos metálicos de 113.85 Kg/m para ademe en banco.  |
| 44                        | Tornapunta de acero de 113.85 Kg/m según proyecto.  |
| 45                        | Rastra metálica de 109.24 Kg/m según proyecto.  |
| 46                        | Rastra inferior l placa de 18.70 Kg/m según proyecto.   |
| 47                        | Marcos metálicos IPR de 29.8 Kg/m para ademe en gale-<br>ría de comunicación, según proyecto.                         |
| 48                        | Drenes de penetración de fierro galvanizado ramurado -<br>de 50 mm de $\phi$ y 4.40 m de longitud en clave y paredes. |
| 49                        | Drenes de penetración de fierro galvanizado ramurado -<br>de 25 mm de $\phi$ y 1.00 m de longitud en clave y paredes. |
| 50                        | Tubería de PVC flexible de 50 mm de $\phi$ incluyendo co-<br>naxiones y accesorios.                                   |
| 51                        | Tubería de PVC flexible de 100 mm de $\phi$ incluyendo co-<br>naxiones y accesorios.                                  |
| <b>TOTAL DE TUNELLS =</b> |   |

**TERRACERIAS:**

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| 52                            | Formación y compactación de terraplenes al 90% según -<br>proyecto. |
| 53                            | Formación y compactación de terraplenes al 95% según -<br>proyecto. |
| 54                            | Formación y compactación de terraplenes al 100% según<br>proyecto.  |
| <b>TOTAL DE TERRACERIAS =</b> |   |



| No. | UNIDAD.        | CANTIDAD.    | P. U.       | IMPORTE.               |
|-----|----------------|--------------|-------------|------------------------|
| 42  | Kg             | 1'043,280.00 | \$ 224.83   | \$234'560,642.40       |
| 43  | Kg             | 430,130.00   | \$ 224.83   | \$ 96'706,127.90       |
| 44  | Kg             | 449,070.00   | \$ 224.83   | \$100'964,408.10       |
| 45  | Kg             | 52,430.00    | \$ 224.83   | \$ 11'787,836.90       |
| 46  | Kg             | 10,770.00    | \$ 224.83   | \$ 2'421,419.10        |
| 47  | Kg             | 10,080.00    | \$ 439.27   | \$ 4'427,841.60        |
| 48  | ml             | 4,090.00     | \$ 6,190.84 | \$ 25'320,535.60       |
| 49  | ml             | 1,110.00     | \$ 6,109.24 | \$ 6'781,256.40        |
| 50  | ml             | 6,290.00     | \$ 2,127.64 | \$ 13'382,855.60       |
| 51  | ml             | 90.00        | \$ 9,935.76 | \$ <u>894,218.40</u>   |
|     |                |              |             | \$2,845'245,770.00     |
| 52  | m <sup>3</sup> | 9,580.00     | \$ 853.34   | \$ 8'174,997.20        |
| 53  | m <sup>3</sup> | 1,730.00     | \$ 859.54   | \$ 1'487,004.20        |
| 54  | m <sup>3</sup> | 2,600.00     | * 943.79    | \$ <u>2'453,854.00</u> |
|     |                |              |             | \$ 12'115,855.40       |



| No.      | UNIDAD.        | CANTIDAD. | P. U.          | IMPORTE.             |
|----------|----------------|-----------|----------------|----------------------|
| DRENAJE: |                |           |                |                      |
| 55       | m <sup>3</sup> | 1,200.00  | \$ 2,617.87    | \$ 3'141,444.00      |
| 56       | m <sup>3</sup> | 40.00     | \$22,450.00    | \$ 898,000.00        |
| 57       | ml             | 960.00    | \$11,133.71    | \$ 10'688,361.60     |
| 58       | ml             | 340.00    | \$12,513.91    | \$ 4'254,729.40      |
| 59       | pza            | 20.00     | \$99,222.26    | \$ 1'984,445.20      |
| 60       | pza            | 22.00     | \$290,339.08   | \$ 6'387,459.76      |
| 61       | pza            | 2.00      | \$2'735,316.00 | \$ 5'470,632.00      |
| 62       | m <sup>3</sup> | 2,800.00  | \$ 2,480.91    | \$ 6'946,548.00      |
| 63       | m <sup>3</sup> | 2,500.00  | \$ 3,436.89    | \$ 8'592,225.00      |
| 64       | ml             | 700.00    | \$ 6,454.02    | \$ 4'517,814.00      |
| 65       | m <sup>3</sup> | 5.00      | \$38,156.02    | \$ <u>190,780.10</u> |
|          |                |           |                | \$ 53'072,475.00     |
| 66       | m <sup>3</sup> | 2,290.00  | \$ 2,823.13    | \$ 6'464,967.70      |
| 67       | m <sup>3</sup> | 1,830.00  | \$ 2,823.13    | \$ 5'179,137.90      |
| 68       | lt             | 12,900.00 | \$ 44.31       | \$ 571,599.00        |

| No.                      | CONCEPTO.  |
|--------------------------|--|
| 69                       | Asfalto PR-3 en riego de liga.   |
| 70                       | Asfalto PR-3 en riego de sello.  |
| 71                       | Cemento asfáltico No. 6.   |
| 72                       | Barrido de la superficie (riego de impregnación).  |
| 73                       | Carpeta de concreto compactado al 95% ,del banco mín. 2 ubicado a 3,000 m a la derecha de Km 19+000 de la - carretera (actual) México-Toluca.  |
| 74                       | Riego de sello utilizando material 3-E del banco mín. 1 ubicado a 5,200 m a la derecha del Km 19+000 de la actual carretera México-Toluca.   |
| 75                       | Acarreo de materiales pétreos para pavimentación de - acuerdo a las especificaciones de la S.C.T. (para ba- se y sub-base).  |
| 76                       | Acarreo de material pétreo para pavimentación de acuer- do a las especificaciones de la S.C.T. (para riego de sello).  |
| 77                       | Acarreo de concreto asfáltico elaborado en planta es- tacionaria, cuando el volumen se determine en la capa - construida, partiendo del volumen compactado resultante del espesor y las secciones transversales de proyecto. |
| TOTAL DE PAVIMENTACION = |  |
| SUMA =                   |  |
| IVA 15% =                |  |
| TOTAL DEL PRESUIJESTO =  |  |

| No. | UNIDAD.            | CANTIDAD.  | P. U.       | IMPORTE.             |
|-----|--------------------|------------|-------------|----------------------|
| 69  | lt                 | 4,600.00   | \$ 44.31    | \$ 203,826.00        |
| 70  | lt                 | 11,000.00  | \$ 44.31    | \$ 487,410.00        |
| 71  | Kg                 | 115,000.00 | \$ 36.02    | \$ 4,142,300.00      |
| 72  | Ha                 | 2.00       | \$46,453.44 | \$ 92,906.88         |
| 73  | m <sup>3</sup>     | 920.00     | \$ 8,019.00 | \$ 7,378,252.80      |
| 74  | m <sup>3</sup>     | 90.00      | \$ 5,327.63 | \$ 479,486.70        |
| 75  | m <sup>3</sup> -Km | 54,000.00  | \$ 64.49    | \$ 3,482,460.00      |
| 76  | m <sup>3</sup> -Km | 2,400.00   | \$ 55.75    | \$ 133,800.00        |
| 77  | m <sup>3</sup> -Km | 10,000.00  | \$ 67.21    | \$ <u>672,100.00</u> |

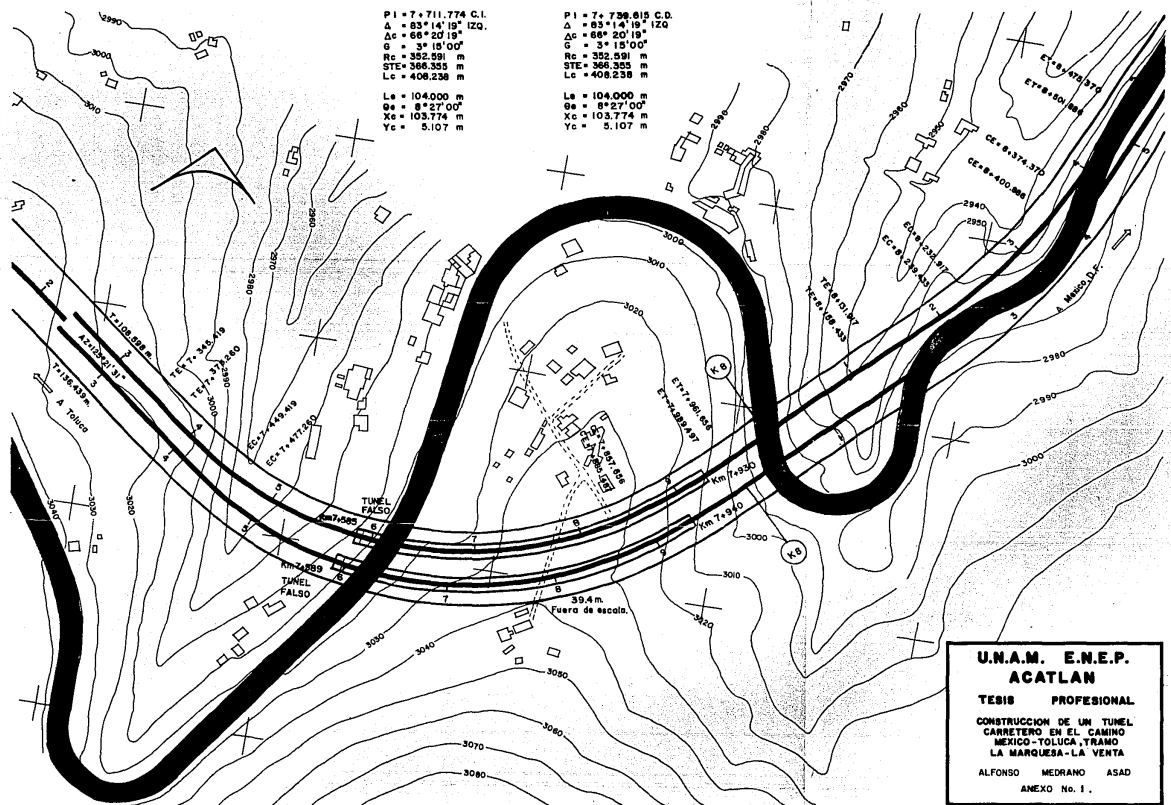
\$ 29,275,436.00

\$2,939,709,538.00

\$ 440,956,430.00

\$3,380,665,969.00

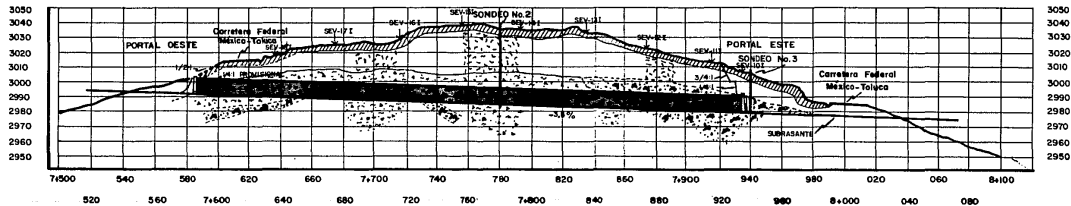
ANEXOS.



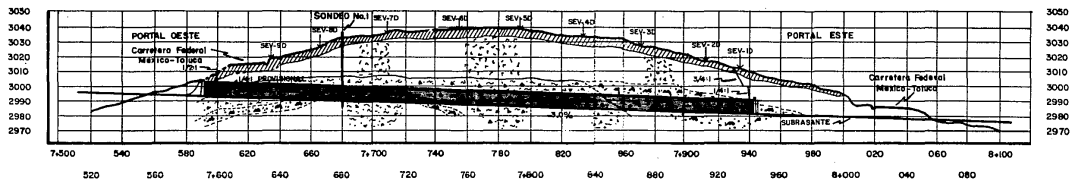
PI = 7.711.774 C.I.  
 $\Delta = 83^{\circ}14'19''$  IZO.  
 $\Delta c = 66^{\circ}20'19''$   
 $G = 3^{\circ}18'00''$   
 $Rc = 352.591$  m  
 $STE = 366.355$  m  
 $LC = 408.238$  m  
 $Ls = 104.000$  m  
 $Gs = 8^{\circ}27'00''$   
 $Xc = 103.774$  m  
 $Yc = 5.107$  m

PI = 7.736.615 C.D.  
 $\Delta = 83^{\circ}14'19''$  IZO.  
 $\Delta c = 68^{\circ}20'19''$   
 $G = 3^{\circ}18'00''$   
 $Rc = 352.591$  m  
 $STE = 366.355$  m  
 $LC = 408.238$  m  
 $Ls = 104.000$  m  
 $Gs = 8^{\circ}27'00''$   
 $Xc = 103.774$  m  
 $Yc = 5.107$  m

**U.N.A.M. E.N.E.P.**  
**ACATLAN**  
**TESIS PROFESIONAL**  
**CONSTRUCCION DE UN TUNEL**  
**CARRETERO EN EL CAMINO**  
**MEXICO-TOLUCA, TRAMO**  
**LA MARQUESA-LA VENTA**  
 ALFONSO MEDRANO ASAD  
 ANEXO No. 1.



CUERPO IZQUIERDO



CUERPO DERECHO


SIMBOLOGIA :

 LIMO ARCILLOSO.

 BRECHA ANDESITICA INTemperizada CON GRAVAS Y FRAGMENTOS DE ANDESITA.

 BRECHA ANDESITICA MUY INTemperizada CON FRAGMENTOS Y BLOQUES AISLADOS DE ANDESITA EMPACADOS EN ARENA LIMOSA.

 ANDESITA POCO ALTERADA Y FRACTURADA.

CONTACTO LITOLOGICO = 

CONTACTO GEOLOGICO = 

SONDEO ELECTRICO VERTICAL = SEV

**U.N.A.M. E.N.E.P.  
ACATLAN**

**TESIS PROFESIONAL**

**CONSTRUCCION DE UN TUNEL  
CARRETERO EN EL CAMINO  
MEXICO-TOLUCA, TRAMO  
LA MARQUESA-LA VENTA**

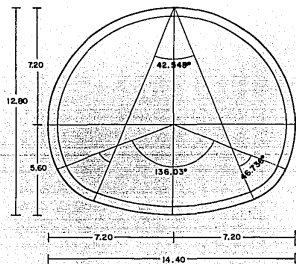
ALFONSO MEDRANO ASAD

ANEXO No. 2

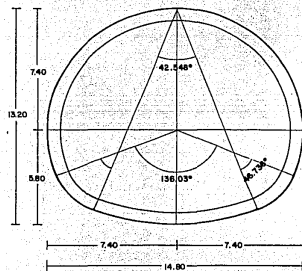




**SECCION TIPO 1**



**SECCION TIPO 3**

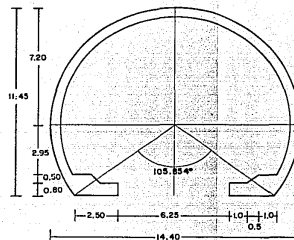


**SECCION PROPUESTA 1**

|                  |                  |         |
|------------------|------------------|---------|
| CUERPO IZQUIERDO | 7+640 - 7+680    | 40.0m.  |
|                  | 7+710 - 7+810    | 100.0m. |
|                  | 7+900 - 7+930    | 30.0m.  |
| CUERPO DERECHO   | 7+660 - 7+720    | 60.0m.  |
|                  | 7+750 - 7+830    | 80.0m.  |
|                  | 7+880 - 7+940    | 60.0m.  |
| <b>TOTAL</b>     | <b>L= 370.0m</b> |         |

|                                   |                      |
|-----------------------------------|----------------------|
| AREA TOTAL (EXC.)                 | 148.8 m <sup>2</sup> |
| ESPEJOR CONCRETO LANZADO          | 0.15 m.              |
| PERIMETRO EXTERIOR                | 43.32 m.             |
| PERIMETRO INTERIOR (ESP. 0.75 m.) | 34.71 m.             |
| ESPEJOR CONCRETO COLADO IN SITU   | 0.80 m.              |
| VARILLA No.4 (1/2") POR ml        | 204 Kg.              |
| VARILLA No.6 (3/4") POR ml        | 593 Kg.              |

**SECCION TIPO 2**



**TUNEL FALSO**

**SECCION PROPUESTA 2**

|                  |                   |        |
|------------------|-------------------|--------|
| CUERPO IZQUIERDO | 7+680 - 7+710     | 30.0m. |
|                  | 7+810 - 7+900     | 40.0m. |
| CUERPO DERECHO   | 7+640 - 7+660     | 20.0m. |
|                  | 7+720 - 7+750     | 30.0m. |
|                  | 7+830 - 7+880     | 50.0m. |
| <b>TOTAL</b>     | <b>L = 220.0m</b> |        |

|                                 |                       |
|---------------------------------|-----------------------|
| AREA TOTAL (EXC.)               | 139.73 m <sup>2</sup> |
| PERIMETRO EXTERIOR (CURVA)      | 31.94 m.              |
| ESPEJOR CONCRETO LANZADO        | 0.15 m.               |
| ESPEJOR CONCRETO COLADO IN SITU | 0.60 m.               |
| VARILLA No. 3 (3/8") POR ml     | 10 Kg.                |
| VARILLA No. 4 (1/2") POR ml     | 184 Kg.               |
| VARILLA No. 6 (3/4") POR ml     | 535 Kg.               |

**SECCION PROPUESTA 3**

|                  |                  |        |
|------------------|------------------|--------|
| CUERPO IZQUIERDO | 7+591 - 7+640    | 49.0m. |
| CUERPO DERECHO   | 7+596 - 7+640    | 44.0m. |
| <b>TOTAL</b>     | <b>L = 93.0m</b> |        |

|                                   |                       |
|-----------------------------------|-----------------------|
| AREA TOTAL (EXC.)                 | 158.97 m <sup>2</sup> |
| PERIMETRO EXTERIOR                | 44.94 m.              |
| PERIMETRO INTERIOR (ESP. 0.95 m.) | 34.71 m.              |
| ESPEJOR CONCRETO LANZADO          | 0.15 m.               |
| ESPEJOR CONCRETO COLADO IN SITU   | 0.80 m.               |
| VARILLA No.4 (1/2") POR ml        | 104 Kg.               |
| VARILLA No.6 (3/4") POR ml        | 234 Kg.               |
| VARILLA No.8 (1") POR ml          | 239 Kg.               |

**SECCION PROPUESTA 4**

|                  |                  |       |
|------------------|------------------|-------|
| CUERPO IZQUIERDO | 7+585 - 7+591    | 6.0m. |
| CUERPO DERECHO   | 7+589 - 7+596    | 7.0m. |
| <b>TOTAL</b>     | <b>L = 13.0m</b> |       |

|                                  |                       |
|----------------------------------|-----------------------|
| AREA TOTAL (EXC.)                | 142.63 m <sup>2</sup> |
| PERIMETRO EXTERIOR (SIN ZAPATAS) | 31.12 m.              |
| ESPEJOR CONCRETO COLADO IN SITU  | 0.60 m.               |
| VARILLA No. 4 (1/2") POR ml      | 181 Kg.               |
| VARILLA No. 6 (3/4") POR ml      | 444 Kg.               |
| VARILLA No. 8 (1") POR ml        | 219 Kg.               |

ACOTACION \* m.

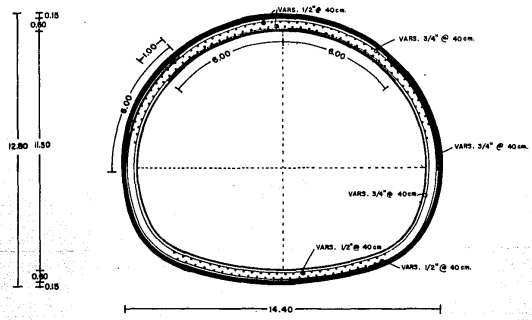
**U.N.A.M. E.N.E.P.  
ACATLAN**

**TESIS PROFESIONAL**

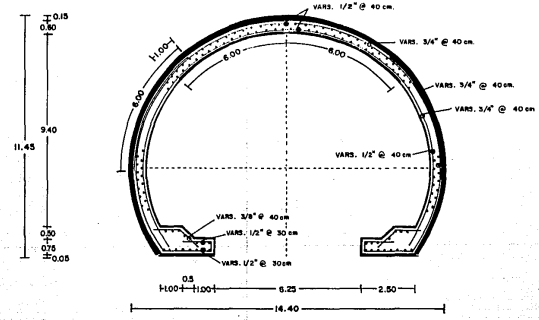
**CONSTRUCCION DE UN TUNEL  
CARRETERO EN EL CAMINO  
MEXICO - TOLUCA, TRAMO  
LA MARQUESA - LA VENTA**

ALFONSO MEDRANO ASAD

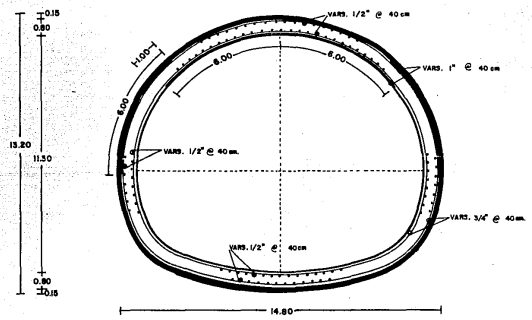
ANEXO No. 4.



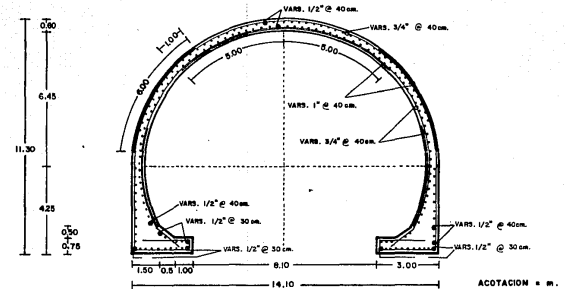
SECCION TIPO 1



SECCION TIPO 2



SECCION TIPO 3

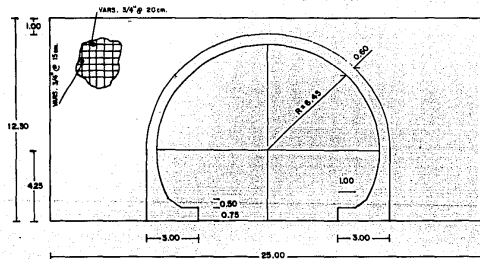


ACOTACION = m.

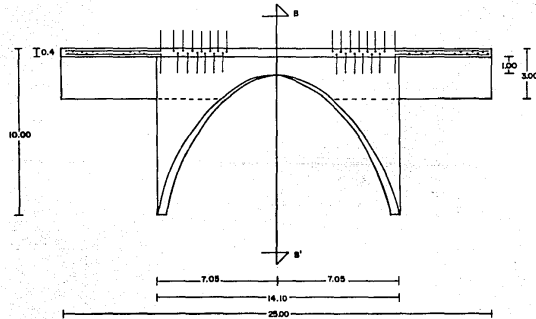
TUNEL FALSO

**U.N.A.M. E.N.E.P.**  
**ACATLAN**  
**TESIS PROFESIONAL**  
**CONSTRUCCION DE UN TUNEL**  
**CARRTERO EN EL CAMINO**  
**MEXICO-TOLUCA, TRAMO**  
**LA MARQUESA - LA VENTA**  
**ALFONSO MEDRANO ASAD**  
**ANEXO No. 5.**

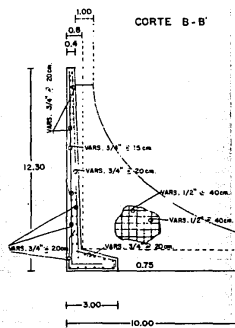




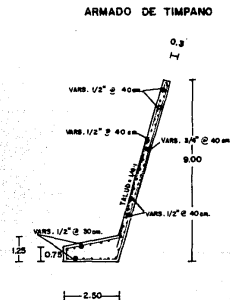
TUNEL FALSO  
MURO PORTAL OESTE



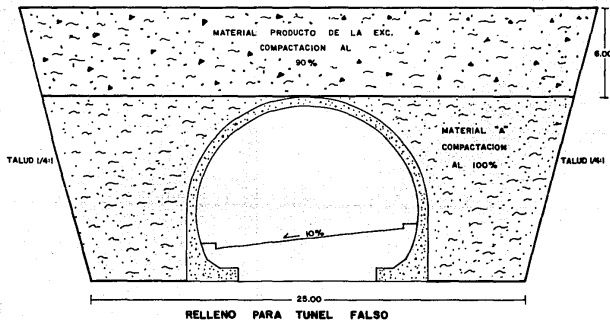
PLANTA  
PORTAL OESTE



CORTE B - B'



ARMADO DE TIMPANO



RELLENO PARA TUNEL FALSO

ACOTACION = m.

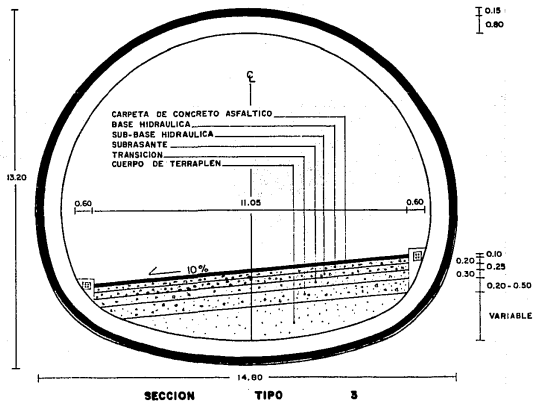
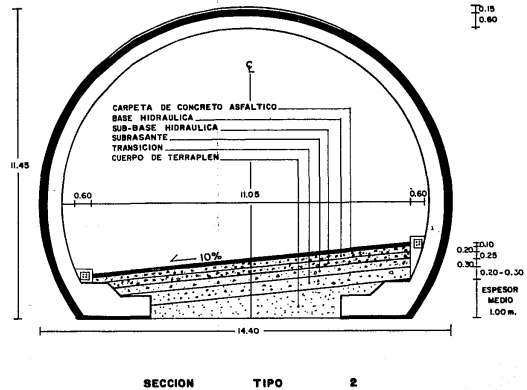
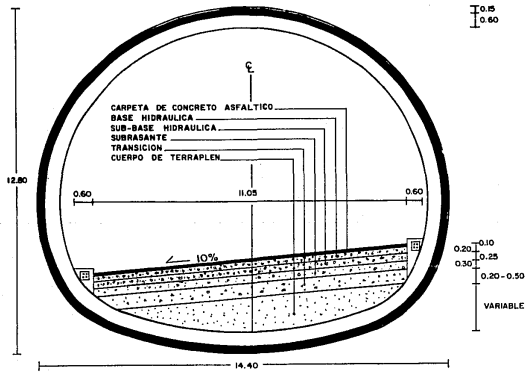
**U.N.A.M. E.N.E.P.**  
**ACATLAN**

**TESIS PROFESIONAL**

CONSTRUCCION DE UN TUNEL  
CARRETERO EN EL CAMINO  
MEXICO-TOLUCA, TRAMO  
LA MARQUESA-LA VENTA

ALFONSO MEDRANO ASAD

ANEXO No. 7.



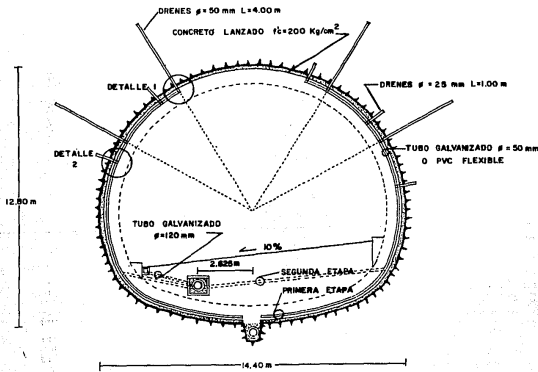
ACOTACION = m.

**U.N.A.M. E.N.E.P.  
ACATLAN**

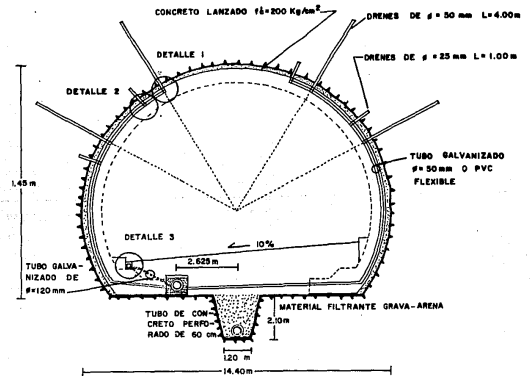
**TESIS PROFESIONAL**

CONSTRUCCION DE UN TUNEL  
CARRETERO EN EL CAMINO  
MEXICO-TOLUCA-TRAMO  
LA MARQUESA-LA VENTA

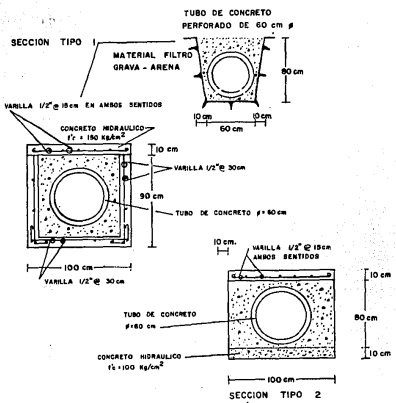
ALFONSO MEDRANO ASAD  
ANEXO No. 8.



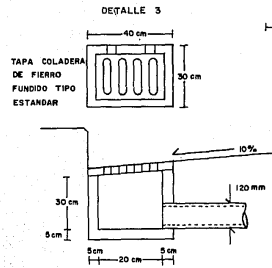
SECCION TIPO 1



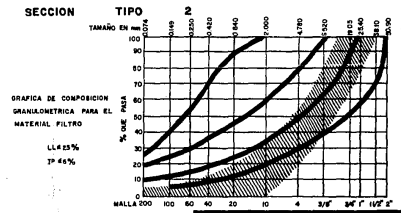
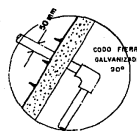
SECCION TIPO 2



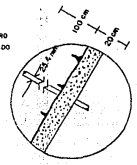
SECCION TIPO 2



DETALLE 1



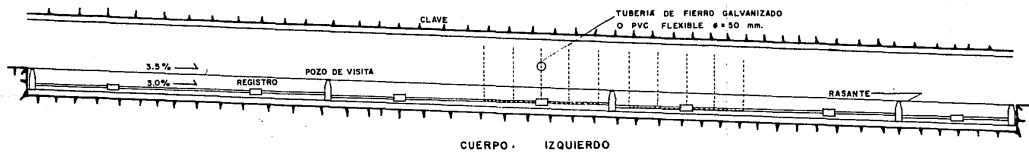
GRAFICA DE COMPOSICION  
SIEVESOMETROS PARA EL  
MATERIAL FILTRO



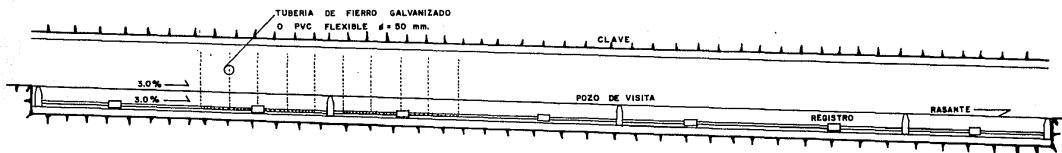
DETALLE 2

**U.N.A.M. E.N.E.P.  
ACATLAN**  
TESIS PROFESIONAL  
CONSTRUCCION DE UN TUNEL  
CARRETERO EN EL CAMINO  
MEXICO-TOLUCA, TRAMO  
LA MARQUEBA-LA VENTA  
ALFONSO MEDRANO ASAD  
ANEXO NO. 9.

|                  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ESTACION         | 7-555 | 7-600 | 7-650 | 7-700 | 7-750 | 7-800 | 7-850 | 7-900 | 7-950 |
| OBRAS DE DRENAJE | 7-595 | 7-630 | 7-665 | 7-700 | 7-735 | 7-770 | 7-805 | 7-840 | 7-875 |

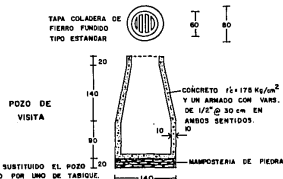


CUERPO IZQUIERDO

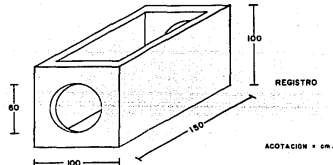


CUERPO DERECHO

|                  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ESTACION         | 7-985 | 7-600 | 7-850 | 7-700 | 7-750 | 7-800 | 7-850 | 7-900 | 7-950 |
| OBRAS DE DRENAJE | 7-920 | 7-630 | 7-665 | 7-680 | 7-715 | 7-750 | 7-785 | 7-820 | 7-855 |



NOTA: PODRA SER SUSTITUIDO EL POZO DE VISITA DE CONCRETO POR UNO DE TUBERIA.



**U.N.A.M. E.N.P.**  
**ACATLAN**

TESIS PROFESIONAL

CONSTRUCCION DE UN TUNEL  
CARRTERO EN EL CAMINO  
MEXICO-TOLUCA, TRAMO  
LA MARQUESA-LA VENTA

ALFONSO MEDRANO ASAD

ANEXO No. 10.



## C O N C L U S I O N .

La construcción de los túneles carreteros ya se ha empezado a realizar en México ( el túnel La Venta es el segundo en su tipo en La República Mexicana ; el primero se encuentra en Puerto Vallarta ) , tal hecho, es debido al cambio que se ha venido gestando en la forma de analizar la economía de un proyecto carretero, que en el pasado se llevaba a cabo tomando en cuenta principalmente que el costo de construcción fuera bajo, sin considerar a fondo el costo por conservación y por operación a largo plazo, lo cual era, y es justificable, sólo cuando el volumen de tránsito es pequeño y una poblados de poca importancia ; pero en la actualidad existen carreteras como la México-Toluca, México-Puebla, o México-Guernavaca ( por mencionar solo algunas ) que ya rebasan los 20,000 vehículos diarios de promedio anual, además de unir ciudades de gran importancia para la vida económica del país. Lo anterior conduce a la necesidad de considerar el costo por conservación y operación a largo plazo, además de la creación de puentes y túneles para disminuir distancias, pendientes, curvaturas, y aumentar la velocidad de operación y seguridad del camino ; aunque para ello se tenga que hacer una inversión mayor en la etapa de construcción, caso en el que cae el nuevo trazo del camino

México-Toluca, tramo La Marquesa-La Venta, en el que surge la necesidad, debido a la topografía del lugar principalmente, el atravesar un cerro por medio de un par de túneles gemelos ( cuyo costo por metro lineal en 1985 fué aproximadamente de \$ 5'000,000.00 ) , con el objeto de alcanzar el nivel de rasante y curvatura óptimos determinados en el proyecto ; además de los beneficios que aporta al disminuir - costos sociales y daños a la ecología.

Por otro lado, debe tenerse en cuenta que si se optara por efectuar un corte en vez de un túnel, se tendrían grandes gastos por excavación y movimiento de materiales, habría interrupción en la afluencia vehicular ( con todos los problemas que ello implica ) , y se tendrían que estabilizar - taludes de hasta 50 metros de altura en algunos puntos.

También resulta importante mencionar, que la construcción de un túnel es siempre un problema complejo, pues su - realización se lleva a cabo en un "medio" en el que la variación de sus características ocurren en el tiempo y en el espacio, creando una interdependencia dinámica entre el diseño, construcción y geología del lugar, obligando por consiguiente a no prediseñar en forma rígida una obra de magnitud considerable como es el caso del túnel La Venta.

Finalmente, se puede agregar que los principales aspectos que deben tenerse en cuenta en este tipo de obras, son los que se resumen a continuación:

- La selección del programa de exploración.

- La evaluación de las condiciones del medio en el que se piensa realizar la excavación.
- El diseño del túnel, el cual debe ser congruente con los recursos disponibles.
- Compatibilidad entre el revestimiento y el método de excavación elegido.
- La programación de las actividades a realizar.

## B I B L I O G R A F I A .

- 1.- Construcción de túneles, centro de educación continua, México, D.F., 1978.
- 2.- E. Hoek, E. T. Brown ; "Excavaciones subterráneas en roca". Primera edición, México, Mc. Graw-Hill, 1985, P.P. 634.
- 3.- Excavación y revestimiento de túneles, centro de educación continua, México, D.F., 1977.
- 4.- Juárez Badillo Eulalio, Rico Rodríguez Alfonso ; "Mecánica de suelos". Segunda edición, México, Limusa, 1983, volumen II, P.P. 703.
- 5.- Julián Name Maccise ; "Costos y procedimientos de construcción en las vías terrestres". México, D.F., SAHOP, P.P. 156.
- 6.- Leopoldo Espinosa Graham ; "Manual de diseño de obras civiles, B.3.7. procedimientos de excavación". México, C.F.E. , 1982, P.P. 108.
- 7.- Suárez Salazar Carlos ; "Costo y tiempo en edificación". Tercera edición, México, Limusa, 1980, P.P. 451.
- 8.- Tesis Profesional : Islas Coca Nicolas, Sánchez Torres Gerardo ; "Estabilidad en túneles", ENEP ACATELAN UNAM, México, 1979.

- 9.- Documentación elaborada por la Compañía DEIN, S.A. DE C.V. (concurso) , México, D.F. , 1985.
- 10.-Información técnica sobre el túnel La Venta (procedimientos constructivos y planos), por la Compañía DEIN, S.A. DE C.V. y la Secretaría de Comunicaciones y Transportes ( S.C.T. ) , México, D.F., 1985.
- 11.-Varios autores ; "Los túneles carreteros". Comité organizador de la reunión conjunta los túneles carreteros, S.C.T. , México, D.F., Septiembre, 1985.