

19
2 eje.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"ACATLAN"

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL
TUNEL PARA EL LIBRAMIENTO
DE PUERTO VALLARTA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :

EDUARDO PARRA SAAVEDRA



Acatlán, Edo. de México

1994



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

A MIS PADRES:

**EDUARDO PARRA MEZA
ELIA SAAVEDRA TEJADA**

**QUE CON SU SACRIFICIO Y APOYO SE HIZO POSIBLE LA
REALIZACION DE MI CARRERA.**

A MIS HERMANOS:

**GERMAN
SANDRA
JULIO
MARTIN
SALVADOR
NIDIA**

PARA EL INGENIERO:

AGUSTIN SANTANA MORENO

**POR SU INCONDICIONAL APOYO PARA LA TERMINACION DE
MI CARRERA Y DESENVOLVIMIENTO PROFESIONAL.**

**A LA DIRECCION GENERAL DE
CARRTERAS FEDERALES.**

A MI NOVIA LUZ MARIA:

**POR SU AYUDA EN LA REDACCION DE
MI TESIS PROFESIONAL.**



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN"
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

P.I.C.-026/94

SR. EDUARDO PARRA SAAVEDRA
ALUMNO DE LA CARRERA DE
INGENIERIA CIVIL.
P R E S E N T E .

De acuerdo a su solicitud presentada con fecha 8 de enero de 1990, se complace notificarle que esta Jefatura del Programa tuvo a bien asignarle el siguiente tema de tesis: "PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE EL TUNEL PARA EL LIBRAMIENTO DE PUERTO VALLARTA".

INTRODUCCION

- I.-FACTORES DE ANALISIS PARA LA CONSTRUCCION DE UN TUNEL CARRETERO.
 - II.-FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA SELECCION DE EL METODO CONSTRUCTIVO.
 - III.-PRINCIPALES METODOS CONSTRUCTIVOS.
 - IV.-ESTUDIOS GEOTECNICOS.
 - V.-TOPOGRAFIA.
 - VI.-PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.
- CONCLUSIONES.
BIBLIOGRAFIA.

Así mismo fue designado como asesor de la tesis el ING.FERNANDO FAVELA LO ZOYA. Pido 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 exámen 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.

Sin más por el momento, aprovecho la oportunidad de enviarle un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E .
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
ACATLAN, EDO. DE MEX., A 23 DE FEBRERO DE 1994

ING. CARLOS ROSALES AGUILAR
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

ENEP-ACATLAN
JEFATURA DEL
PROGRAMA DE INGENIERIA

TEMA : PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL TUNEL PARA EL LIBRAMIENTO DE PUERTO VALLARTA.

OBJETIVO: Describir los factores de análisis en la construcción de un túnel, elegir el método adecuado para su construcción de acuerdo a las diferentes condiciones que se presenten, señalar los estudios geotécnicos correspondientes y describir el procedimiento constructivo del mismo.

I N D I C E

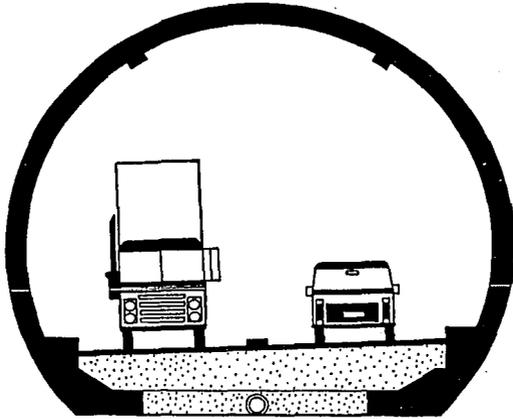
	Pág.
INTRODUCCION.	1
CAPITULO I.	
FACTORES DE ANALISIS PARA LA CONSTRUCCION DE UN TUNEL CARRETERO.	5
I.1.- Tránsito.	6
I.2.- Economía del transporte.	6
I.3.- Túnel ó corte.	11
CAPITULO II.	
FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA SELECCION DEL METODO CONSTRUCTIVO.	19
II.1.- Condiciones del subsuelo.	19
II.2.- Presencia de agua.	19
II.3.- Frentes mixtos.	20
II.4.- Geometría del túnel.	21
II.5.- Profundidad del túnel.	22
II.6.- Programa de construcción.	23
II.7.- Personal, equipo y materiales disponibles.	23

CAPITULO III.		
	PRINCIPALES METODOS CONSTRUCTIVOS.	Pág. 24
III.1.-	Clasificación de suelos.	26
III.2.-	Comportamiento de suelos.	27
CAPITULO IV.		
	ESTUDIOS GEOTECNICOS.	30
IV.1.-	Geología.	30
IV.1.1.-	Fisiografía y geología regional.	30
IV.1.2.-	Tectónica y sismicidad.	31
IV.2.-	Geofísica.	32
IV.2.1.-	Método eléctrico resistivo.	32
IV.2.2.-	Método sísmico de refracción.	33
IV.3.-	Geotécnica.	34
IV.3.1.-	Exploraciones directas.	34
CAPITULO V.		
	TOPOGRAFIA.	36
V.1.-	Estudios topográficos.	36
V.2.-	Referencias del trazo definitivo.	38
V.3.-	Nivelación.	38
V.4.-	Anteproyecto de trazo y perfil.	39
V.5.-	Proyecto de trazo.	40
V.6.-	Secciones para túneles carreteros.	41
V.7.-	Alineamiento horizontal y vertical.	42

CAPITULO VI.		Pág.
	PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO	46
VI.1.-	Enportalamiento	46
VI.1.1.-	Introducción	46
VI.1.2.-	Localización de los portales	47
VI.1.3.-	Encapillado	49
VI.2.-	Excavación	54
VI.3.-	Revestimiento primario	60
VI.3.1.-	Marcos metálicos	60
VI.3.2.-	Concreto lanzado	65
VI.3.2.1.-	Generalidades	65
VI.3.2.2.-	Diferentes procedimientos de elaboración	65
VI.3.2.3.-	Funciones del concreto lanzado	67
VI.3.2.4.-	Materiales y mezclas	68
VI.3.2.5.-	Características del concreto lanzado	72
VI.3.2.6.-	Verificación de calidad	73
VI.3.2.7.-	Cuadrillas de lanzado	74
VI.3.2.8.-	Procedimiento de lanzado	75
VI.3.2.9.-	Dosificación	76
VI.4.-	Anclas	77
VI.5.-	Drenes	79
VI.6.-	Zapatas	81
VI.6.1.-	Dimensiones y refuerzo	81
VI.6.2.-	Dosificación	82

VI.7.-	Revestimiento definitivo.	Pág. 83
VI.7.1.-	Propiedades del concreto en revestimiento definitivo.	83
VI.7.2.-	Acero de refuerzo.	87
VI.7.3.-	Cimbra.	88
VI.7.4.-	Procedimiento de colado.	89
VI.7.5.-	Características del concreto transportado por tubería.	92
VI.8.-	Obras de drenaje.	95
VI.9.-	Piso del túnel.	97
	CONCLUSIONES.	99
	BIBLIOGRAFIA.	102

TUNEL PUERTO VALLARTA



INTRODUCCION:

Desde 1964, año en que se proyectó la carretera costera del pacífico - en el tramo Tepic-Barra de Navidad, se contempló la necesidad de librar la población de Puerto Vallarta, Jal., para evitar el congestionamiento de tránsito dado lo estrecho de sus calles, así como por existir únicamente una de entrada y una de salida con superficie de rodamiento a base de empedrado, sin embargo, al llevarse a efecto la construcción de la mencionada carretera, quedó pendiente la construcción del libramiento de referencia.

Para el año de 1979, el fuerte incremento turístico de esta población-- ocasionó un rápido y elevado crecimiento del volumen de tránsito vehi-- cular, por lo que la realización del libramiento se hizo imperiosa.

Desafortunadamente, en los terrenos en los que se había alojado el proyecto original ya habían sido ocupados por construcciones en varios tramos, especialmente en el correspondiente a una nariz topográfica (saliente, prolongación ó terminación de sierra en la población), localizada a espaldas de la ciudad y que prácticamente la estrangula al acercarse mucho a la línea de costa.

Para evitar las afectaciones que se hubieran producido al construir el libramiento en base al proyecto original, se inició el estudio de una alternativa que evitara el rodeo sobre la nariz topográfica mencionada y disminuyera al mínimo las afectaciones. Por otra parte y en forma simultánea, el Fideicomiso Puerto Vallarta, proyectaba regenerar la zona

urbana localizada en las proximidades del libramiento, de esta manera se propuso una primera alternativa, cruzando por el puerto que une la nariz topográfica con el resto de la sierra. Esta alternativa requería de un corte, cuya altura rebasaba los cien metros, por lo que se inició un estudio geotécnico de detalle.

Realizados los estudios de factibilidad correspondientes, cuyos resultados fueron positivos se procedió a elaborar el proyecto, iniciándose así una nueva etapa para los túneles carreteros en México.

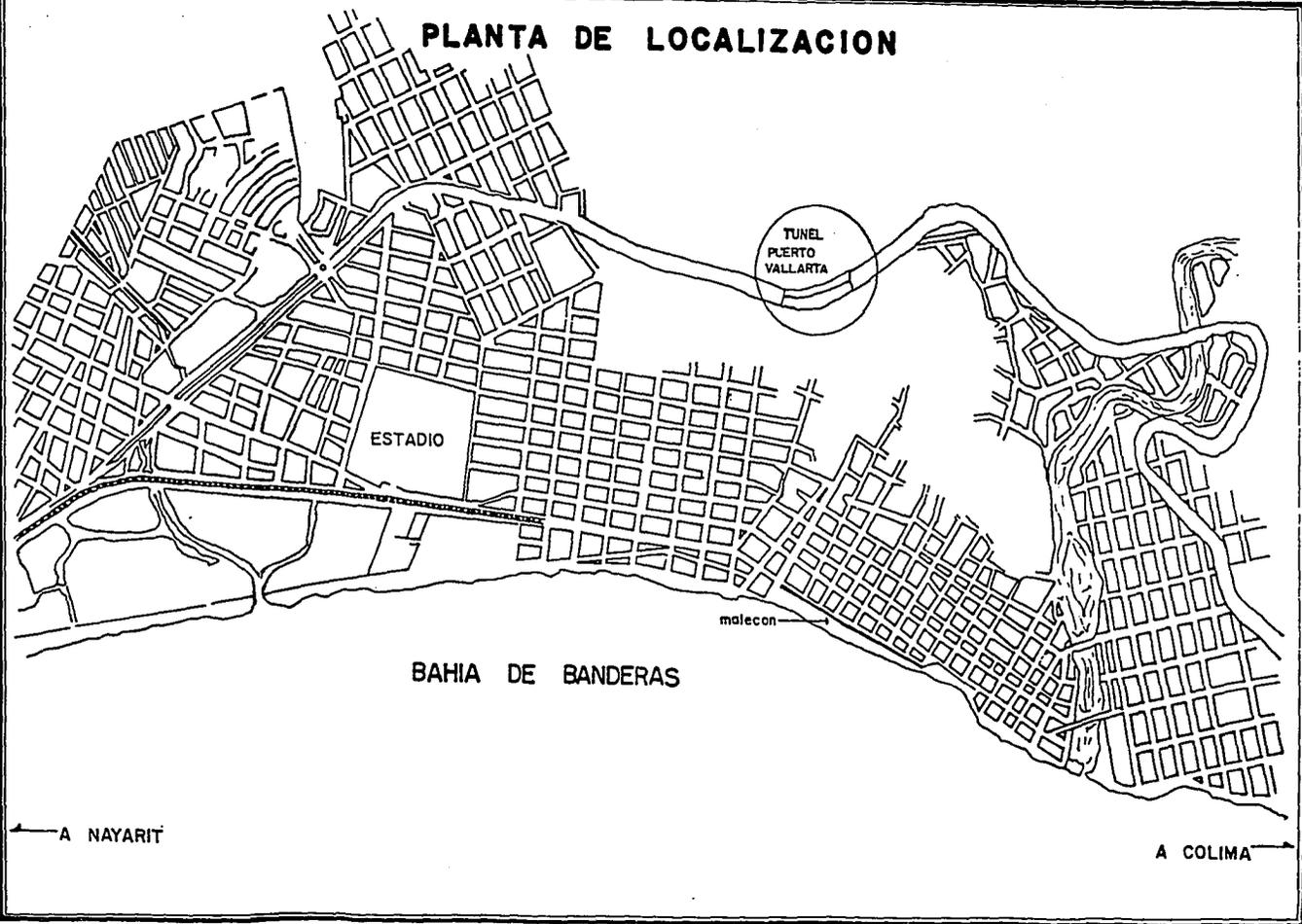
LOCALIZACION:

Las costas de Puerto Vallarta se caracterizan por tener abruptos acantilados, Playas localizadas en mar abierto y pequeñas bahías situadas en las desembocaduras de los ríos.

El área de estudio se localiza a 1.5 km. al Este de la ciudad de Puerto Vallarta, y se encuentra dentro de la denominada zona montañosa de la costa del Suroeste, la cual junto con la de Guerrero y Oaxaca constituye lo que se conoce también como Sierra Madre del Sur y se extiende desde el Puerto de San Blas, Nayarit, hasta el Puerto de Acapulco, Guerrero.

Obsérvese croquis de localización en la siguiente hoja.

PLANTA DE LOCALIZACION



PROYECTO:

El proyecto contempla la construcción de dos túneles paralelos en sección semicircular, separados 20 m. de centro a centro, en cada uno de ellos se alojarán dos carriles de circulación.

Originalmente, para la construcción de los túneles se tenían contemplados dos tipos de sección, pero conforme fué avanzando la obra, se optó únicamente por la sección tipo I (a base de zapatas en sus extremos),- que es a la que nos enfocaremos.

CARACTERISTICAS GEOMETRICAS:

A continuación se enumeran las características geométricas generales:

Longitud Total	404 m.
Radio de Excavación	5.3 m.
Area de Excavación	90 m ² .
Pendiente Longitudinal	3.5 %
Ancho de Calzada	7.5 m.
Gálibo Interior	5.1 m. mínimo.
Grado Máximo de Curvatura	4°
Techo Máximo (Cobertura)	120 m.

La pendiente longitudinal descrita es ascendente en el sentido del cadenamiento.

CAPITULO I

FACTORES DE ANALISIS PARA LA CONSTRUCCION DE UN TUNEL CARRETERO:

En vista del considerable aumento de tránsito, de las condiciones -- topográficas y uso del suelo en diversas zonas del País, es necesario considerar en el proyecto de carreteras nuevas, así como de modificaciones, la conveniencia de utilizar elementos de paso directo -- como viaductos y túneles para disminuir distancias, pendientes, costos sociales, costos de transporte, derecho de vía y daños a la ecología.

Los viaductos y túneles han sido usados en México desde hace mucho tiempo en acueductos, drenaje y ferrocarriles. En carreteras los viaductos se construyen desde hace aproximadamente 50 años; no así los túneles, tal vez por la relativa complicación que presenta la iluminación, ventilación y la vigilancia de los mismos.

Los factores de hoy en día para decidir la construcción de éstas obras deben ser, la economía del transporte, el mínimo costo social y la protección del medio ambiente.

Como es de saberse, el proyecto de una carretera debe desarrollarse en tres etapas, selección de ruta, anteproyecto y proyecto detallado. En cada fase de este proceso se analizan varias alternativas de la que se escoge la mejor, la cual por lo tanto sirve para apoyarse para la siguiente etapa.

La necesidad del túnel debe definirse en las fases de selección -- de ruta y anteproyecto. Su localización y alineamientos preliminares dependen de los requerimientos del tránsito, las condiciones topográficas y del uso del suelo en el área del proyecto. La ubicación final depende de las condiciones geotécnicas e hidrológicas particulares del lugar.

I.1.- **TRANSITO.**-- Los volúmenes de tránsito, su composición, su distribución direccional, sus variaciones diarias, semanal y estacional, sus tasas de crecimiento histórico y previsible, las estadísticas de accidente, costos básicos de operación con las pendientes y -- curvaturas usuales, son elementos que intervienen fundamentalmente durante el proyecto en análisis de capacidad y costos de operación.

I.2.- **ECONOMIA DEL TRANSPORTE.**-- El costo anual de transporte es primordialmente la base para la comparación de alternativas de ruta, e involucra una serie de conceptos que a continuación se enlistan:

- 1.- Velocidad del proyecto.
- 2.- Costo del proyecto.
- 3.- Costo de derecho de vía.
- 4.- Costo de construcción.
- 5.- Costo de operación.
- 6.- Costo de conservación.

VELOCIDAD DEL PROYECTO.- Es función del tipo del terreno en -- cuanto al relieve topográfico y el volúmen de tránsito por -- servir y es un indicador de la rapidez, seguridad y eficiencia esperada en el transporte.

Dado que un túnel es un elemento donde no es facil modificar -- la sección transversal, o los alineamientos horizontal y verti-- cal, desde un principio la velocidad de proyecto y la geome-- tría correspondiente deben determinarse, para que tengan una -- vigencia amplia.

COSTO DEL PROYECTO.- Por lo general el costo del proyecto va-- ría entre 1 y 3% del costo de construcción, en tramos de carre-- tera que incluyen túnel, el costo del proyecto puede subir a -- un 5 ó 7% considerando el mayor detalle y precisión con que de-- ben realizarse los estudios geotécnicos, de drenaje, ventila-- ción, iluminación y seguridad necesarios en la zona del túnel.

COSTO DE DERECHO DE VIA.- Es uno de los conceptos que más inci-- den en el costo de los proyectos carreteros a cielo abierto, -- debido a que los propietarios presentan dificultades legales y de otro tipo para la obtención de los terrenos necesarios, lo-- que produce retrasos y encarecimientos de las obras. Ante esta situación, el túnel carretero es una solución para reducir los altos costos financieros que motivan los retrasos de obra en -- México.

El costo de derecho de vía se divide en costo de la tierra en si y en el costo de los llamados bienes ajenos a la tierra, -- que incluyen cercas, cultivos, canales, edificaciones, etc.

COSTO DE CONSTRUCCION.-- El costo de construcción de una carretera comprende principalmente los conceptos terracerías, drenajes, puentes, viaductos, túneles, intersecciones, pavimento y señalamiento. Para el estudio de alternativas de ruta, se requiere de levantamientos topográficos suficientemente amplios y precisos, preferentemente con el uso de fotogrametría para determinar las líneas topográficas posibles. Sobre éstas hay que efectuar exploraciones geotécnicas suficientes que nos permitan hacer anteproyectos y presupuestos confiables, para que nos permitan escoger la mejor alternativa.

COSTO DE OPERACION.-- Aquí se incluyen el costo de recorrido -- y el costo del tiempo, tanto de operadores como de pasajeros, -- tal costo puede calcularse a partir del volúmen de tránsito -- inicial, su composición, su variación con el tiempo, costos básicos en tangente y a nivel para cada tipo de vehículo y su variación con la geometría horizontal, vertical y transversal de cada alternativa. Para cada año del período de cálculo se obtiene tanto el costo de operación para todos los vehículos que previsiblemente circularan, como la velocidad media de circulación.

COSTO DE CONSERVACION.- Para fines de estudio de rutas, el costo de --
conservación de camino abierto se tomó anualmente como de 1 a 1.5% del
costo total de construcción.

La suma de costos actualizados (de proyecto, derecho de vía, construc-
ción, operación y conservación) para el período de amortización consi-
derado, dividido entre el número de vehículos que en el mismo período-
transitarán por el tramo en estudio, nos da un índice de costo de ----
transporte que puede servir de base de comparación entre alternativas.

FACTORES SOCIALES.- Los factores sociales que debemos tomar en cuenta-
en la comparación de alternativas, son las siguientes:

- 1.- Costo del transporte.
- 2.- Menor daño a terrenos agrícolas.
- 3.- Menor desalojo de habitantes.
- 4.- Menor riesgo para el público.
- 5.- Nuevos habitantes por servir.
- 6.- Plusvalía de terrenos vecinos.
- 7.- Preservación de sitios culturales.
- 8.- Impulso a la actividad económica.

FACTORES ECOLOGICOS.— Los principales factores ecológicos a considerar en la evaluación de alternativas de ruta en el proyecto de una carretera son:

- 1.— Menor daño a bosques, lagos y parques.
- 2.— Menor contaminación ambiental.

En estos casos, la solución túnel tiene sus ventajas sobre la carretera a cielo abierto, pues reduce al mínimo el daño al medio ambiente en cuanto a ruido, humos, vibraciones y alteración del paisaje, lo cual es muy importante en zonas urbanas, sub-urbanas o rurales de interés recreativo o cultural.

I.3.- TUNEL O CORTE:

La idea generalizada de que solo se justifica la construcción de túneles carreteros cuando la obra dará paso a grandes volúmenes de tránsito, puede no ser válida, pues dependiendo de la sección transversal de la carretera y de las características topográficas y geológicas de la zona, podrán resultar más convenientes túneles cortos que no necesiten iluminación y ventilación especial, ni revestimiento generalizado.

Así en carreteras de bajo tránsito, el túnel corto puede ser muy competitivo si reduce longitudes, pendientes, curvaturas y daños al medio ambiente.

En nuestro caso, como se comenta en la introducción, al desplazar el proyecto del libramiento original, dado el crecimiento de la población, se presentaron los inconvenientes de efectuar infinidad de cortes, curvas, terraplenes y la desviación del tráfico, muy retirada de la población.

Teniendo el trazo por donde se construiría el libramiento se plantearon dos alternativas en un tramo del mismo; una era la de hacer un grandísimo corte para librar un cerro, el cual tiene 120 m. de techo aproximadamente y la otra alternativa era la de hacer dos túneles gemelos.

La determinación de los elementos geométricos operativos, de costos de construcción y de mantenimiento, que en base a los estudios preliminares se caracterizaron, permitió hacer un análisis de alternativas que finalmente favoreció a los túneles gemelos, los cuales tendrían una longitud de 404 m.

El factor mas importante que determinó la construcción de los túneles gemelos según proyecto original, fué la relativa facilidad del método de excavación y el volumen de material a desalojar, ya que para realizar la excavación en corte tendría ser por medios mecánicos, pues no se podían utilizar explosivos dada la naturaleza del terreno y la proximidad de casas aledañas a la zona de trabajo.

Para entender mejor estas alternativas, ilustraremos el caso:

El cerro en cuestión cuenta con 120 m. de techo aproximadamente y el talud para estabilizar el corte sería de $\frac{1}{2}:1$ ($\frac{1}{2}$ horizontal, y 1 vertical) para presentar seguridad a los vehículos, ésto arrojaría una enorme cantidad de material con su consecuente acarreo.

Según las características geométricas del terreno para efectuar el corte con seguridad, serían las siguientes:

En lo que sería la rasante de la carretera tendríamos un ancho de corte de 21 m. (incluyendo camellon central, cunetas y sus respectivos acotamientos) y en la parte superior al ---

llegar al techo del cerro, tendríamos un ancho de corte de -
aproximadamente y en promedio de 141 m., debido al talud por
mantener a lo largo de todo el corte. La altura promedio a -
considerar, sería tomando el techo máximo de 120 m., y el m_i
nimo de 45 m. que es donde inicia la excavación en corte, --
así el volumen de material de corte nos da lo siguiente:

VOLUMEN DE MATERIAL EN CORTE:

$$A-1 = 21 \text{ m.}$$

$$A-2 = 141 \text{ m.}$$

$$A_p = \frac{A-1 + A-2}{2} = \frac{21 + 141}{2} = 81$$

$$A_p = 81 \text{ m.}$$

$$H-1 = 45 \text{ m.}$$

$$H-2 = 120 \text{ m.}$$

$$H_p = \frac{H-1 + H-2}{2} = \frac{45 + 120}{2} = 82.5$$

$$H_p = 82.5 \text{ m.}$$

$$\text{Longitud} = 404 \text{ m.}$$

$$V_t = A_p \times H_p \times L$$

$$V_t = 81 \times 82.5 \times 404 = 2'699,730 \text{ m}^3.$$

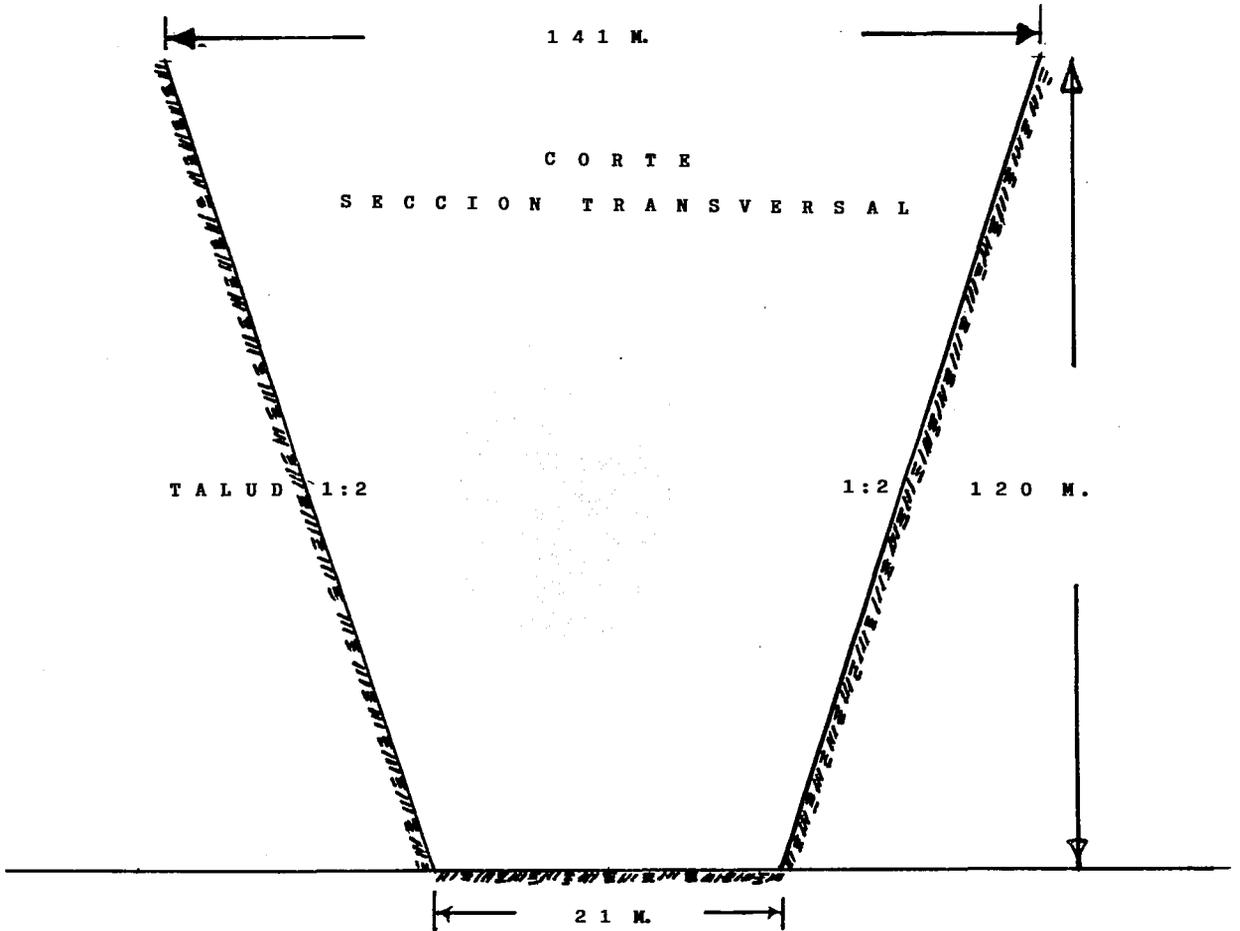
1 4 1 M.

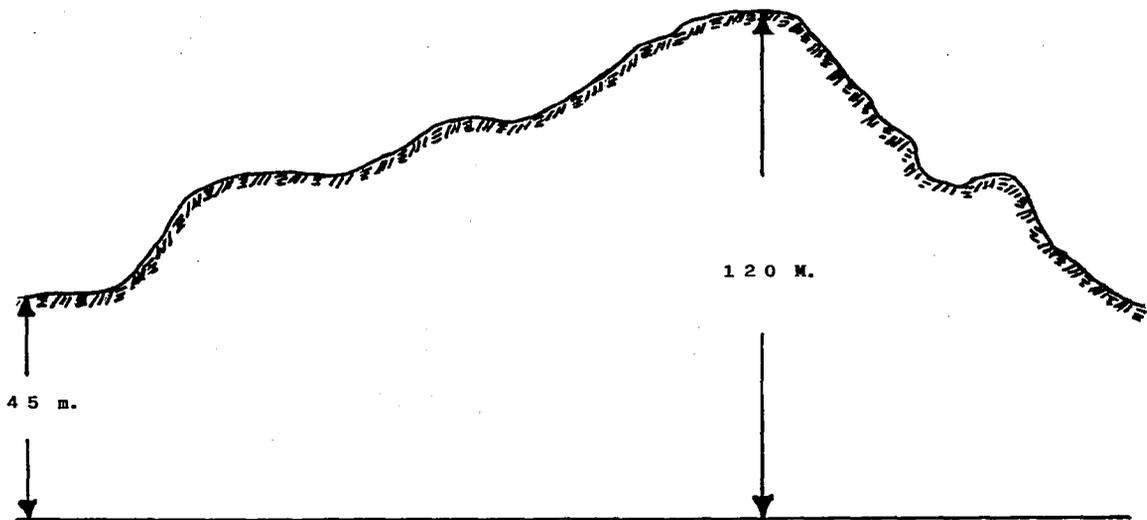
C O R T E
S E C C I O N T R A N S V E R S A L

T A L U D 1 : 2

1 : 2 1 2 0 M.

2 1 M.





V I S T A L O N G I T U D I N A L

Siendo:

A-1 = Ancho de la base.

A-2 = Ancho a la altura del techo máximo.

Ap = Ancho promedio.

H-1 = Altura de corte al inicio de lo que sería el túnel.

H-2 = Altura máxima.

Hp = Altura promedio.

L = Longitud de corte en lo que sería túnel.

Vt = Volumen total de material en corte.

VOLUMEN DE MATERIAL EN TUNELES:

Area promedio de la sección = 90 m².

Vt = Ap x L

Vt = 90 x 404 = 36,360 m³/túnel

En 2 túneles:

Vt = 2 x 36,360 m³. = 72,720 m³.

Siendo: Vt = 72,720 m³.

Donde:

Vt = Volumen total por túnel.

Ap = Area promedio de la sección por tunel.

L = Longitud por tunel.

COSTOS DE CONSTRUCCION:

Conocidos los volúmenes de ambas alternativas, se procede a determinar el costo de construcción de cada una de ellas, para saber cual resulta mas económica.

Los siguientes precios unitarios son para conceptos pagados por unidad de obra terminada, según concurso número S.C.T. CF-84-11-01 de la obra túnel, libramiento de Puerto Vallarta, Jal.

Excavación (considerando extracción y carga)----- \$ 375.45/m3.
Acarreos para el primer kilómetro----- \$ 113.15/m3.
Acarreos para kilómetros subsecuentes----- \$ 56.55/m3-km.

COSTO DE CORTE:

Excavación = Vt x P.U. = 2'699,730 m3.x \$ 375.45/m3.
= \$ 1,013'613,629.0

Acarreo primer km.= Vt x P.U. = 2'699,730 m3. x \$ 113.15/m3.
= \$ 305'474,449.5

Acarreo kms. subs. = Vt x P.U.

Donde: Vt = volumen de corte x distancia de acarreo

Vt = 2'699,730 m3. x 15 km.(sin incluir 1ºkm.)

Vt = 40'495,950 m3-km.

Por lo tanto: Vt x P.U. = 40'495,950 m3-km.x \$ 56.55/m3-km.
= \$ 2,290'045,973.0

Costo total = \$ 1,013'613,629.0 + \$ 305'474,449.5

\$ 2,290'045,973.0 = \$ 3,609'134,052.5

COSTO DE TUNELES:

Considerando los conceptos mas sobresalientes que realmente impactan en volumen y costo, con su respectivo precio unitario - (del concurso ya mencionado, y por unidad de obra terminada) - tenemos:

CONCEPTO	VOLUMEN	PRECIO UNITARIO
Acero para ademe	300,000 kg.	\$ 215.45/kg.
Excavación	36,360 m3.	\$ 3217.65/m3.
Acero de refuerzo	293,230 kg.	\$ 140.85/kg.
Concreto lanzado	1,500 m3.	\$ 27,742.0/m3.
Concreto f'c = 250 kg./m3.		
Revestimiento definitivo	3,800 m3.	\$ 21,795.5/m3.
Zapatas	2,300 m3.	\$ 14,012.65/m3.
Piso	1,240 m3.	\$ 10,209.20/m3.

Acero en ademe:

Vt x P.U. = 300,000 kg. x 215.45/kg. = \$ 64'635,000.0

Excavación:

Vt x P.U. = 2 x 36,360 m3. x 3217.65/m3. = \$ 233'987,508.0

Acero de refuerzo:

Vt x P.U. = 293,230 kg. x 140.85/kg. = \$ 41'301,445.5

Concreto lanzado:

Vt x P.U. = 1,506 m3. x 27,742.0/m3. = \$ 41'779,452.0

Revestimiento definitivo:

Vt x P.U. = 3,800 m3. x 21,795.5/m3. = \$ 82'822,900.0

Zapatas:

Vt x P.U. = 2,300 m3. x 14,012.65/m3. = \$ 32'229,095.0

Piso:

Vt x P.U. = 1,240 m3. x 10,209.20/m3. = \$ 12'659,408.0

Costo total = \$ 64'635,000.0 + \$ 233'987,508.0 + \$ 41'-
301,445.5 + \$ 41'779,452.0 + \$ 82'822,900.
+ \$ 32'229,095.0 + \$ 12'659,408.0 ---
= \$ 509'414,808.5

Como se ha podido observar, de acuerdo a lo anterior existe una gran diferencia entre el volúmen de material excavado - producto del corte, contra el volúmen de material de excavación de los túneles. Esta enorme diferencia de material implica mayor volúmen de material de excavación, mayor volúmen de material de acarreo y mayor tiempo de ejecución del trabajo.

En cuanto al costo, se puede observar que el corte tiene un incremento de hasta un 600%, con respecto a los túneles.

Por lo que la decision en la construcción de los túneles estuvo fundamentada.

En forma secundaria mencionamos a continuación otras características que nos ayudaron a determinar cual de las dos alternativas era la mas adecuada:

- 1.- Se aprovechó la dirección del viento con una corriente que venía directamente del mar, dándonos así una buena ventilación ocasionándonos un ahorro por este concepto.

2.- Como serían relativamente cortos, se eliminaría el equipo -
de operación correspondiente a:
vigilancia, limpieza, etc.

3.- Si se hubiera realizado el corte, se hubiera dañado la eco-
logía ambiental de esa región.

CAPITULO II

FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA SELECCION DEL METODO CONSTRUCTIVO

II.1.- CONDICIONES DEL SUBSUELO:

Sin lugar a dudas las condiciones del subsuelo son determinantes para seleccionar el método constructivo. La exploración geológica, tan importante en todas las obras de ingeniería, constituyen en las obras subterráneas la columna vertebral que soportará la ingeniería necesaria para diseñar el procedimiento constructivo. Este punto es quizá la fase mas importante de los estudios iniciales, ya que ello condicionará como ya se mencionó anteriormente el procedimiento a seguir y el avance esperado del túnel, y permitirá estimar las cargas que intervendrán en el diseño de su revestimiento, temporal y definitivo.

Entre mas precisos sean los conocimientos de las condiciones en que se encuentra el subsuelo de la zona en estudio, se tendrán planos mas confiables para la construcción del túnel, mejores avances, y menos variaciones del presupuesto original.

II.2.- PRESENCIA DE AGUA:

El agua es un gran enemigo de las excavaciones subterráneas, cuando aparece la resistencia de los suelos baja, los avances disminuyen, en casos extremos puede hacer inestable el frente o las paredes de los túneles en suelos granulares, y en otros casos impide la aplicación del concreto lanzado. Es muy importante detectar la presencia del agua antes de iniciar el túnel, ya que puede diseñarse un sistema de construcción y eventualmente de --

tratamientos especiales o bombeos, acordes con las situaciones -- acotadas en la exploración geológica.

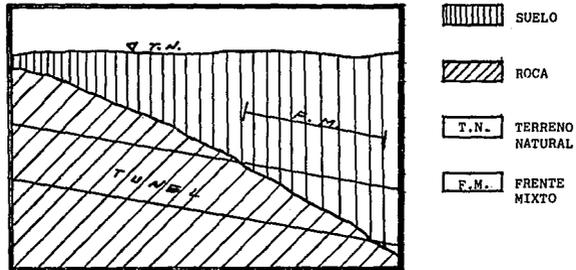
Es una práctica común cuando se detecta la presencia de agua en un tramo determinado de un túnel, llegar por el túnel perforando se hacia aguas arriba, para manejar con más facilidad el agua en drenes y tuberías; cuando el frente del túnel se aproxima a la zona con agua, se acostumbra ejecutar barrenos horizontales los fines de semana (se indica el fin de semana, debido a que es cuando disminuyen o se suspenden momentaneamente las actividades, y con motivo de no entorpecer los avances de excavación), para detectar ya sea un gran caudal o presión de agua.

II.3.- FRENTE MIXTO:

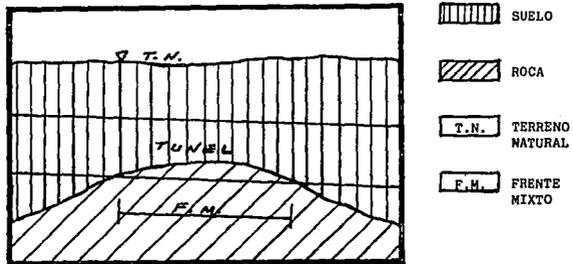
Es bastante frecuente encontrar a lo largo de un túnel la presencia de contactos entre formaciones rocosas y suelos; el frente -- que presenta esta característica es llamado frente mixto, su comportamiento no es el de un túnel en roca, ni el de un túnel en -- suelo, su ataque requiere de mucha más experiencia dado que las -- proporciones o situaciones de las diferentes formaciones cambian metro a metro y pueden aún complicarse, si aparecen filtraciones de agua.

Las situaciones mas comunes se presentan en las figuras de la siguiente hoja.

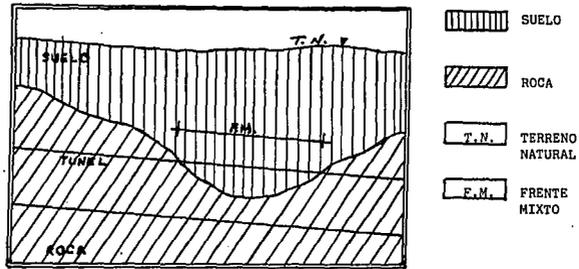
Partiendo de un túnel, excavando en roca se presenta el contacto con el suelo, con un echado que puede ser para ambos lados. Según la figura siguiente.



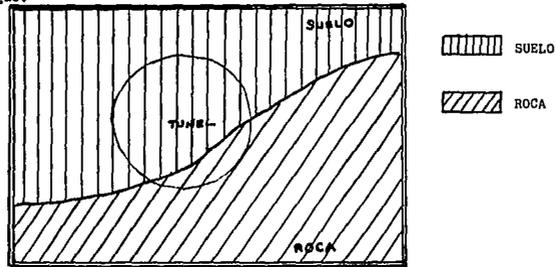
Excavando un túnel en suelos, se presenta en el piso un contacto con la roca (según figura siguiente).



Excavando un túnel en roca, el techo se va perdiendo y se presenta un contacto con el suelo.



En el sentido transversal se pueden presentar los contactos como sigue.



II.4.- GEOMETRIA DEL TUNEL.

La forma y tamaño de la sección son determinantes al estudiar el procedimiento de construcción a seguir, ya que entre más grande es un túnel las cargas que actúan sobre los ademes son mayores y su influencia en la vecindad también se incrementa. Las condiciones del subsuelo juntamente con el tamaño del túnel determinarán el método de excavación y la clase y características de los sistemas de soporte, así entre mayor sea un túnel se requerirán más etapas de excavación y el empleo de ademes más robustos.

En los últimos años, muchos túneles carreteros han sido construidos usando el método austriaco; la forma de la sección representa una parte muy importante del procedimiento, ya que las formas son ovaladas, evitando las esquinas y/o cambios bruscos de dirección que provocan concentraciones de esfuerzos.

La pendiente y las curvas pueden tener gran significación para la elección de los equipos de construcción.

En muchos casos la longitud del túnel puede ser definitiva para la selección del procedimiento constructivo; entre más corto sea es más conveniente usar métodos constructivos que no requieran grandes inversiones de equipo, es decir, se tenderá a usar procedimientos simples que no requieran equipos sofisticados, sino el empleo de procedimientos manuales, de instalaciones provisionales y de equipos de colado seccionales y sencillos.

Entre mas largo es un túnel, más complicada será la logística -- para determinar el número de frentes de ataque y la selección de los equipos de construcción y sus respectivos rendimientos.

En un túnel largo lo importante es terminar la construcción de - los tramos de acuerdo a un programa que haga rentable las inversiones en instalaciones y equipo, de nada servirá terminar casi- todo el túnel si se tiene una zona problema que establezca un ta pon. Aquí es donde se muestra la importancia de la exploración - geológica, la planeación de todos los frentes y la experiencia - de los ingenieros y de los obreros.

II.5.- PROFUNDIDAD DEL TUNEL:

Entre mas profundo sea un túnel, las cargas que deberá soportar- se incrementan y se tendrán más problemas en la construcción; si además se encuentra bajo el nivel freático, el grado de dificul tad crece con la profundidad. Las lumbreras (en caso de utilizar se), acceso de los túneles, también se complican y todas las o- peraciones constructivas, tales como rezaga, bajada de personal- y materiales, bombeo, etc., se hacen más difíciles y su costo se eleva casi de manera geométrica con la profundidad.

II.6.- PROGRAMA DE CONSTRUCCION:

El factor tiempo, en algunos casos puede ser decisivo para la selección de un procedimiento en particular, por ejemplo, si se requieren muy altos rendimientos se puede pensar en abrir muchos - más mas frentes de ataque de los que racionalmente podría convenir o no se tendría tiempo para fabricar un topo o un escudo, en general se puede decir que entre menos tiempo se disponga mayor será el costo, ya que las instalaciones y equipos tienen que ser amortizados en pocos metros.

II.7.- PERSONAL, EQUIPO Y MATERIALES DISPONIBLES:

La disponibilidad de personal especializado puede cargar la balanza por un método constructivo en especial; generalmente el ataque de túneles con frentes mixtos o en suelos, requieren de -- personal muy especializado, al igual que los trabajos de concreto lanzado en los túneles en roca. La disponibilidad de equipo -- puede fijar la conveniencia de un procedimiento constructivo; -- así mismo los materiales disponibles pueden determinar el tipo -- de sistema de soporte a usar, por ejemplo, en nuestro país el -- uso de anillos de dovelas metálicas es prohibitivo (económicamen -- te), siendo el concreto el material disponible más económico.

CAPITULO III.

PRINCIPALES METODOS CONSTRUCTIVOS:

De una manera muy general podemos decir que existen dos grandes grupos de métodos constructivos; aquellos en los que el frente y las paredes del terreno no tienen problemas de estabilidad en el corto plazo, y aquellos cuyos terrenos presentan problemas de estabilidad en el frente, empuje en las paredes, o simplemente son inestables.

Dentro del primer grupo están casi todos los túneles excavados en roca sana y algo fracturada, y los túneles excavados en suelos duros, firmes y de granso lento. El procedimiento constructivo más común es el método llamado convencional, en el cual se excava ya sea la sección completa, o la media sección superior, utilizando explosivos, colocando un sistema de soporte que puede variar de acuerdo con las características de resistencia y con las discontinuidades de los materiales, desde no poner nada, o colocar anclas, marcos de acero y retaque de madera o concreto lanzado.

Existe otro método muy eficiente, consistente en la colocación de concreto lanzado y anclas, llamado método austriaco, que en la actualidad tiene mucha demanda, por su gran eficacia a las grandes formaciones de rocas y suelos, frentes mixtos, etc. que pueden ser atacados, además la inversión en equipo es moderada.

El segundo grupo corresponde a los túneles excavados en rocas fracturadas y en suelos con graneado rápido, expansivos, extrusivos, muy blandos y fluentes. Estos túneles normalmente tienen filtraciones importantes y con mucha frecuencia se presentan frentes mixtos, este grupo de túneles son los más difíciles de excavar, requieren de una exploración geológica más precisa, de amplia experiencia y de mayor inversión en mano de obra, equipo y materiales.

Los procedimientos más comunes para este tipo de túneles varían de acuerdo al grado de inestabilidad del frente y de las paredes.

Con el fin de tener una idea más clara del comportamiento de suelo que se está excavando, se presenta a continuación (en la siguiente hoja) la "Clasificación de suelos del Tunelero", la cual presenta las categorías para clasificación de material excavado, ordenadas de la menor a la mayor posibilidad de dificultades que pueden surgir al excavar un túnel.

Es necesario hacer notar que dicha clasificación es empírica, pues se basa en el comportamiento que se presenta mientras se excava.

III.1.- CLASIFICACION DE SUELOS

De acuerdo con la clasificación empírica del tunelero, los materiales excavados pueden enlistarse como sigue, atendiendo a su creciente grado de dificultad.

Nº	Clasificación	Suelo
1	Duro	Arcilla firme a muy dura Grava con arcilla cementante Arena con arcilla cementante Grava y arena cementadas
2	Firme	Loess Arcilla firme a dura Grava con arcilla cementante Arena con arcilla cementante Grava y arena cementadas
3	Graneo lento	Arcilla firme Grava con arcilla cementante Arena con arcilla cementante
4	Graneo rápido	Grava con arcilla cementante Arena con arcilla cementante
5	Extrusión lenta	Arcilla blanda a media
6	Expansivo	Arcilla firme a dura, en contacto con agua

7	Corrida cohesiva	Arena húmeda Limo Grava con limo cementante Arena con limo cementante
8	Corrida	Grava y boleos Arena
9	Extrusión rápida	Limo muy blando Arcilla muy blanda Suelos altamente orgánicos
10	Fluyente	Arena Limo Grava con limo cementante Arena con limo cementante (Bajo el nivel freático)

III.2.- COMPORTAMIENTO DE SUELOS:

El comportamiento de los suelos, para cada una de las categorías anteriores (de acuerdo con la clasificación de suelos del tunelero) es el siguiente:

Nº. 1 DURO

En este tipo de material, el frente del túnel puede avanzar sin requerir soporte alguno en la clave o en las paredes.

Nº. 2 FIRME

El frente del túnel puede avanzar sin soporte temporal en la clave, el soporte final puede colocarse antes de que el material

empieze a moverse.

Nº. 3 GRANEO LENTO

Empiezan a caer del techo y paredes, terrones y hojuelas de material, algún tiempo después que el material ha sido excavado.

Nº. 4 GRANEO RAPIDO

El proceso de desprendimiento de terrones y hojuelas se inicia - en pocos minutos después que el material ha sido excavado.

Nº. 5 EXTRUSION LENTA

El terreno avanza lentamente hacia el túnel, sin fracturarse y - sin aumento perceptible de agua. Puede provocar hundimientos en la superficie.

Nº. 6 EXPANSIVO

Aquí también el terreno avanza lentamente hacia el túnel, pero - existe un notable incremento de volúmen en el material vecino a la frontera excavada asociado a la presencia de agua.

Nº. 7 CORRIDA COHESIVA

Después de un breve período de graneo, el material "corre" colina abajo como si fuese azúcar granulada hasta que el talud se estabiliza en la relación 2:1 aproximadamente (dos horizontal por uno vertical).

Nº. 8 CORRIDA

La remoción del soporte lateral o confinamiento en cualquier superficie con inclinación más escarpada que 2:1 provoca un "corrimiento" del material similar al ocurrido en un reloj de arena, - hasta que se estabiliza en un talud 2:1 o similar.

Nº. 9 EXTRUSION RAPIDA

El terreno avanza rápidamente hacia el hueco excavado en forma de flujo plástico o pseudo plástico donde fragmentos del material conservan su consistencia original.

Nº. 10 FLUYENTE

El terreno se mueve como líquido viscoso pudiendo invadir todo el hueco excavado incluyendo paredes y techo del túnel llegando a salir hasta los portales en algunos casos.

CAPITULO IV.

ESTUDIOS GEOTECNICOS:

Siendo que un túnel es una obra de ingeniería con un elevado -- porcentaje en costo y en riesgo, se puede afirmar que dentro de los estudios geotécnicos, no existe obra civil que requiera tan to de las investigaciones geológicas, geofísicas y geotécnicas-- como lo es el mismo túnel, ya que el apoyo que brinda dicha investigación es fundamental para una mejor y mas económica ejecución de la obra.

IV.1.- GEOLOGIA:

El objetivo de la geología, es la de conocer la estratigrafía -- del terreno de una zona en estudio en todas sus dimensiones, -- con el fin de determinar el comportamiento de dicho terreno tan to en el presente como en lo futuro, y estar en posibilidad de-- construir una obra con seguridad.

La construcción de un túnel necesita de la geología, ya que esta brinda apoyo fundamental, y está vinculada en las etapas de-- anteproyecto, proyecto, en la construcción, e incluso durante -- la operación.

IV.1.1.- FISIOGRAFIA Y GEOLOGIA REGIONAL:

El sitio de interés se aloja en la provincia fisiográfica conocida como zona montañosa de la costa del suroeste, parte inte-- grante de la Sierra Madre del Sur y se caracteriza por tener -- una planicie muy estrecha, desapareciendo frecuentemente en a-- quellos lugares en los que la sierra cae directamente al mar.

En general esta provincia está constituida por esquistos paleozoicos, intrusiones graníticas, materiales piroclásticos y derrames basálticos y andesíticos del terciario.

También se encuentran algunos sedimentos calcáreos del mezozoico, en un estado avanzado de erosión, el material del reciente forma depósitos de terrazas y de talud.

IV.1.2.-- TECTONICA Y SISMICIDAD:

Los temblores de tierra, son causados por el paso de vibraciones a través de las rocas, y constituyen los mas terribles de todos los fenómenos naturales.

Realmente todos los terremotos significativos son de origen tectónico o estructural, debido a movimientos dentro de la tierra sólida y especialmente al fallamiento asociado con la construcción de montañas.

Las rocas estudiadas de la región muestran claras señales de una intensa actividad tectónica, que ha dado lugar a escalones de falla, fracturas y diaclasas en los macizos rocosos.

Es evidente que debe existir una gran cantidad de pequeñas fallas, muchas de las cuales se encuentran cubiertas por suelo residual, por lo que son difícilmente observables.

La región en la que quedará alojado el túnel se encuentra en el límite entre la zona sísmica (sismos frecuentes) y la zona pensilvaniana (sismos poco frecuentes), y en las inmediaciones de fa-

llas como la prolongación de la San Andrés (a 60 kms. aproximadamente al oeste del sitio), y la falla Clarión (aproximadamente a 50 kms. al sur).

También es importante la detección de focos sísmicos en una distancia variable entre 40 y 95 km. del sitio y que han registrado movimientos de magnitud variable entre 5 y 7.7 grados en la escala de Richter.

IV.2.- GEOFISICA:

El objetivo de los estudios geofísicos consiste en conocer la posición relativa de las unidades litológicas que integran el macizo rocoso, y estar en posibilidad de zonificar el túnel, -- para esto se utilizan dos métodos:

IV.2.1.- Método eléctrico resistivo:

Este método se basa en el hecho de que los suelos dependiendo de su naturaleza, presentan una mayor o menor resistividad eléctrica cuando una corriente es inducida a través de dicho suelo. Los resultados de este primer estudio indicaron la posición aproximada de los contactos entre conglomerado y arenisca brechoide, así como entre ésta última y lo que se estima deben ser las coladas lávicas de basalto y andesita.

El proceso de interpretación ha diferenciado cuatro grupos de materiales entre los que se hayan:

Un material superficial suelto con resistividades variables entre 28 y 160 ohm-m; uno granular poco compacto con variaciones

entre 15 y 35 ohm-m; otro granular compacto con resistividad - variable entre 50 y 150 ohm-m y por último un posible fondo rocoso con resistividades entre 135 y 150 ohm-m.

IV.2.2.- Metodo sísmico de refracción:

Este método consiste esencialmente en provocar una explosión - en un punto determinado del área a explorar usando una pequeña carga de explosivos, y midiendo la velocidad de propagación de las ondas vibratorias de tipo sísmico a través de los diferentes medios materiales, se podrá determinar o definir el tipo - de materiales del macizo rocoso.

El resultado de este método, permitió zonificar velocidades -- distintas, poniendo en evidencia cambios en la naturaleza de - los materiales y estratificaciones.

Así se halló que los tres primeros grupos diferenciados por el estudio geoelectrico, se correlacionaban con velocidades sísmicas de 500 m/s, 1500-2300 m/s., y 3000-5200 m/s., respectivamente. Tales velocidades corresponden, desde el punto de vista de medios de excavación, a materiales con opción de empleo de - rezadoras y con muy poca probabilidad, el uso de explosivos.

IV.3.- GEOTECNIA:

El estudio geotécnico, es la integración de los estudios geológicos, geofísicos antes descritos, complementados con exploraciones directas (perforaciones y muestreos).

IV.3.1.- EXPLORACIONES DIRECTAS:

En base a los resultados anteriormente descritos, se programaron y ejecutaron tres sondeos mecánicos de verificación.

Las características geomecánicas de las rocas impidieron una recuperación satisfactoria durante la perforación de los sondeos.- La parte correspondiente a la arenisca fué practicamente imposible de muestrear, habiéndose obtenido únicamente una arena cuarzosa. Sin embargo, la velocidad de avance con broca de diamante fué sumamente lenta y difícil, a la vez que al realizarse pruebas de penetración estándar, éstas rindieron resultados del orden de 7 cm. de penetración para 50 golpes, lo que corresponde con un suelo muy compacto, o con una roca muy alterada, como es el caso. De acuerdo con estos resultados, se estima que la roca mostrará una elevada cohesión lítica (o sea permanente) al ser solicitada por esfuerzos cortantes.

Con el propósito de definir los parámetros de comportamiento mecánico, se intentó obtener una muestra inalterada de la arenisca, la que fué imposible de labrar por la propia dureza del material y por la presencia de discontinuidades litológicas cerca o muy -

próximas una de otra.

Cabe aclarar que las perforaciones no detectaron nivel de aguas freáticas, pero todo parece indicar la existencia de mantos colgados precisamente en aquella familia de fallas a la que se hacía referencia en uno de los puntos correspondientes a geología local de la zona en estudio

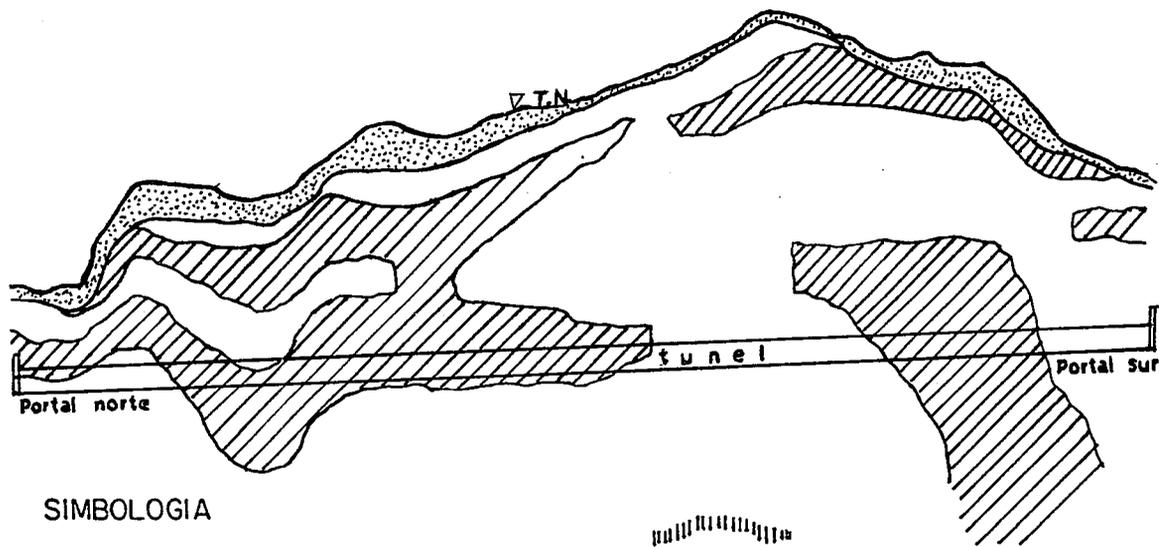
De acuerdo a los resultados obtenidos de todos los estudios degcritos anteriormente se resume lo siguiente:

La disposición litológica del cerro, en forma descendente, partiendo de la superficie de terreno natural es la siguiente: depósito de talud; conglomerado medianamente litificado, permeable con baja cohesión probable; conglomerado bien litificado, poco permeable y roca basáltica y probablemente andesítica.

Tal estratigrafía conlleva a que el túnel quede alojado mayor mente dentro del conglomerado que presenta mejor grado de litificación, siendo que, por otra parte, cruzará una zona de longitud intermedia donde el perfil geológico presenta discontinuidad entre los conglomerados.

En la siguiente hoja, se presenta el croquis del perfil geológico mencionado en el párrafo anterior.

PERFIL GEOLOGICO



SIMBOLOGIA

-  MATERIAL SUPERFICIAL SUELTO COMPUESTO POR ARENA.
-  MATERIAL GRANULAR PURO COMPACTO Y PERMEABLE.
-  MATERIAL GRANULAR COMPACTO Y DURO PERMEABLE.
-  FONDO ROCOSO.

CAPITULO V.

TOPOGRAFIA:

La topografía es el factor más importante para el proyecto y -- construcción de un túnel, ya que es de vital importancia la ubi cación más conveniente de esta obra de infraestructura, de modo que resulte lo más económicamente posible su construcción.

Cuando se construyen carreteras en terrenos montañosos la topo grafía es un factor muy importante, dadas las especificaciones- de curvatura y pendiente.

V.1.- ESTUDIOS TOPOGRAFICOS:

Estos estudios son la base fundamental de cualquier obra civil- que se vaya a realizar. Para nuestro caso, se hace el trazo pre liminar de la línea, y además un levantamiento topográfico gene ral del lugar donde se va a construir el túnel.

Una vez hecho el reconocimiento en el cual se fijaron los pun-- tos obligados y los intermedios que se requieran, entonces, se-- lleva a cabo el trazo preliminar, que es una poligonal abierta, partiendo de un punto fijo se van clavando estacas a cada 20 m. ó en aquellos lugares accidentados y puntos que lo ameriten ha ga llegar al vértice que le sigue, continuando así a todo lo -- largo de la línea.

Este trazo preliminar es la base para elegir el trazo definiti-- vo, y nos arroja datos que nos servirán para hacer los presu-- puestos preliminares para la obra. Debido a ésto, el trazo se -

debe hacer de la mejor manera posible, recalcando todos los de talles que pudieran afectar el trazo definitivo.

La secuela para el trazo preliminar es la siguiente:

- 1.- Se debe de marcar el punto de inicio. Para ésto se recomienda un lugar fácil de identificar y que esté bien referenciado.
- 2.- Se determina la cota del punto de partida. Esto es importante, ya que de aquí va a correr la nivelación a lo largo de todo el trazo. Por tal motivo se escoge un cruce por los bancos de nivel cercanos.
- 3.- Se establece un kilometraje.

Recomendaciones para el trazo de vía:

- 1.- Evitar ó disminuir al mínimo el daño a sembradíos, árboles frutales ó a construcciones que obstaculizen el trazo.
- 2.- Colocar mojoneras para los P.I.
- 3.- Para seguridad del trazo hacer lecturas repetitivas de los ángulos del P.I.; anotando el ángulo simple y el doble del mismo.
- 4.- Todas las anotaciones de campo deben de estar bien legibles y con observaciones para evitar las confusiones.
- 5.- Anotar las distancias a corrientes de agua, cercas, caminos, - cruces de carreteras, etc.
- 6.- Una vez que se tiene el trazo definido, se efectúa la nivelación, aquí se deben de obtener todas las cotas de las estacas del trazo. Además se toman cotas de los detalles intermedios -

como son arroyos, barrancas, etc. para que posteriormente aparezcan en el perfil de la línea. Además se tienen que colocar bancos de nivel a distancias no mayores de 500 m., estos bancos deben chequearse dos veces al milímetro, habiendo una tolerancia de 5 mm. al chequearlo con respecto al banco anterior. Cada banco debe de estar bien chequeado, ya que éstos servirán para la etapa de construcción. El banco de nivel deberá estar numerado por el kilómetro en que se encuentre y el número de orden que le corresponde en ese kilómetro.

V.2.- REFERENCIAS DEL TRAZO DEFINITIVO:

El objetivo de referenciar el trazo definitivo, es el de tener puntos de apoyo con los obtenidos en el trazo preliminar, debido a que los puntos importantes desaparecen durante el despalme del camino de vía, de tal manera que con éstas referencias se vuelve a trazar.

Para referenciar los puntos importantes del trazo, se usan distancias de ángulos medidos con exactitud, procurando que las referencias queden fuera del derecho de vía.

V.3.- NIVELACION:

La nivelación es la operación por la cual se diferencia el nivel entre dos o más puntos del trazo.

Teniendo el trazo y sus referencias, se hace la nivelación de la línea, para obtener las secciones transversales, secciones de construcción y el perfil del terreno y así poder proyectar la subrasante.

V.4.- ANTEPROYECTO DE TRAZO Y PERFIL:

TRAZO:

El anteproyecto del trazo lo constituyen varias alternativas gráficas, realizadas sobre planimetría a escala 1:2,000 y en fotografías aéreas que nos servirán para conocer con más detalle la localización de las construcciones a lo largo del trazo. Este trazo preliminar nos permite conocer:

- 1.- Las zonas conflictivas, para estudiarse con más detalle.
- 2.- Factibilidad geométrica, conociéndose los radios de curvatura aproximados.
- 3.- Obras inducidas por interferencia con instalaciones municipales.
- 4.- Afectaciones; la realización de una línea depende desde el principio de la factibilidad técnica y del costo de la misma, siendo factores muy importantes el de las afectaciones, que deberán de localizarse, clasificarse y evaluarse, como son:
 - Afectaciones a propiedades particulares.
 - Afectaciones a monumentos coloniales.

PERFIL:

El anteproyecto de perfil, basado en los estudios preliminares del suelo, proporciona la información respecto a la elevación de la subrasante, entradas del túnel, profundidades de las lumbreras, estaciones y las interferencias con otras construcciones subterráneas.

V.5.- PROYECTO DE TRAZO:

Una vez que el análisis de alternativas definió un anteproyecto de trazo y perfil, determinando la ruta del túnel y ejecutando el levantamiento topográfico de la zona, se elabora el planteamiento gráfico del eje de trazo sobre planos a escala 1:500 estableciendo tangentes lo más grande posibles, referidas por medio de puntos obligados con distancias a parámetros y previniendo la localización de las estaciones en tangente.- Esta información es ubicada en campo obteniéndose la información topográfica para elaborar los cálculos con las siguientes especificaciones:

- 1.- la unión entre dos tangentes consecutivas se realiza por medio de una curva circular compuesta, y que está constituida por una curva circular simple y dos curvas de transición denominadas "Clotoides".
- 2.- En toda curva horizontal de radio menor a 2500 m. se aplica una sobre-elevación.
- 3.- Entre dos curvas consecutivas se establece una tangente mínima de 12 m.
- 4.- Se usa el menor número posible de curvas.
- 5.- En las curvas horizontales, la longitud mínima de la curva circular será de 12 m.

Posteriormente al cómputo de distancias entre "puntos de inflexión" (P.I.) y el cálculo de curvas horizontales, se determinan los cadenamientos de los puntos principales del eje del trazo, centros de lumbreras, y en general todos los accidentes constructivos de la obra. La necesidad de ubicación de este eje en el campo, así como sus replanteos posteriores, — hace necesaria la referenciación de los puntos de control de trazo y de los puntos principales de las curvas.

V.6.- SECCIONES PARA TUNELES CARRETEROS:

Para definir la geometría de un túnel vehicular, deberán de considerarse los siguientes puntos:

- 1.- Gálibo vertical libre de 4.50 m. a 5.00 m. mínimo
- 2.- Arroyo de 7.50 m. (calzada) mínimo.
- 3.- Banquetas de seguridad de 0.50 m. como mínimo a cada lado para paso de un hombre.
- 4.- En túneles de gran longitud deberá de considerarse un ladero que consiste en un carril adicional de 3.00 m. para estacionamiento.

También deberán considerarse:

- 5.- El revestimiento primario y el definitivo.
- 6.- El procedimiento de construcción.
- 7.- Las características del terreno.

V.7.- ALINEAMIENTOS HORIZONTAL Y VERTICAL DE EL TUNEL:

Enfocandonos exclusivamente al tramo que ocupará el túnel, y de acuerdo al proyecto siguiendo el cadenamiento tenemos:

Iniciando en el portal norte; con una tangente de longitud -- aproximada de 160 m. de estación 0+616 a estación 0+775.88, - siguiendo con una curva espiral (de transición) con longitud- de 38.00 m. de estación 0+775.88 a estación 0+813.88, y a par- tir de esta estación empieza una curva circular con una longi- tud de 206.00 m. aproximadamente y que va de estación - - - 0+813.88 a estación 1+020.

Para el cálculo de dicha curva espiral ó de transición se --- cuenta con los siguientes datos:

- Le = 38.00 m. (longitud de espiral)
Oe = 3° 48' 00" (ángulo central de espiral)
Gc = 4° 00' 00" (grado de curvatura circular simple)

Fórmulas:

$$Oe = \frac{Le \cdot Gc}{40}$$

Donde:

$$C = \frac{Oe \cdot 1/3}{Le^2}$$

C = constante de deflexión.

$$D = C \cdot X^2$$

X = distancia a la cual se quie-
re saber la deflexión.

De los datos y fórmulas de la hoja anterior, se puede calcular la deflexión en cualquier estación requerida de la curva espiral.

Ejemplo:

Calculando la deflexión para la estación 0+800 a partir del inicio de la espiral, tenemos una distancia de 24.12 m., por lo que tenemos:

Datos:

$$L_e = 38 \text{ m.}$$

$$\theta_e = 3^\circ 48' 00'' = 3.8^\circ$$

$$X = 24.12 \text{ m.}$$

$$D = ?$$

Fórmulas:

$$C = \frac{1/3 \theta_e}{L_e^2}$$

$$D = C X^2$$

Aplicando las fórmulas tenemos:

$$C = \frac{1/3 \theta_e}{L_e^2} = \frac{1/3 (3.8)}{(38)^2} = 0.000877$$

$$D = C X^2 = (0.000877) (24.12)^2 = 0.5102^\circ$$

$$D = 0.5102^\circ \delta = 0^\circ 30' 36''$$

A continuación se enlistan las deflexiones para diferentes estaciones de la curva:

$$TE = 0+775.88 \text{ (inicio de espiral)} \quad D = 0^\circ 00' 00''$$

$$0+780.00 \quad D = 0^\circ 00' 53''$$

$$0+800.00 \quad D = 0^\circ 30' 36''$$

$$EC = 0+813.88 \text{ (termina espiral)} \quad D = 1^\circ 15' 59''$$

Para el cálculo de la curva circular simple tenemos los siguientes datos:

Datos:

$$P.I. = +946.424$$

$$Dc = 48^{\circ} 07' 30''$$

$$Gc = 4^{\circ} 00' 00''$$

$$Rc = 286.480 \text{ m.}$$

$$Ste = 170.552 \text{ m.}$$

$$Lc = 240.625 \text{ m.}$$

Donde:

P.I. = Punto de Inflexión

Dc = Deflexión de la cuerda

Gc = Grado de curvatura

Rc = Radio de la curva

Ste = Subtangente

Lc = Longitud de curva

Fórmulas:

$$Lc = \frac{20 Dc}{Gc}$$

$$D = \frac{Dc/2}{Lc}$$

Donde:

Lc = Longitud de curva

D = Deflexión por metro

De los datos y fórmulas anteriores se puede calcular la deflexión por metro, y así poder trazar la curva.

Ejemplo:

Calculando la deflexión por metro tenemos:

Datos:

$$Lc = 240.625 \text{ m.}$$

$$Dc = 48^{\circ} 07' 30'' = 48.125^{\circ}$$

$$D = ?$$

Fórmula:

$$D = \frac{Dc/2}{Lc}$$

Aplicando la fórmula tenemos:

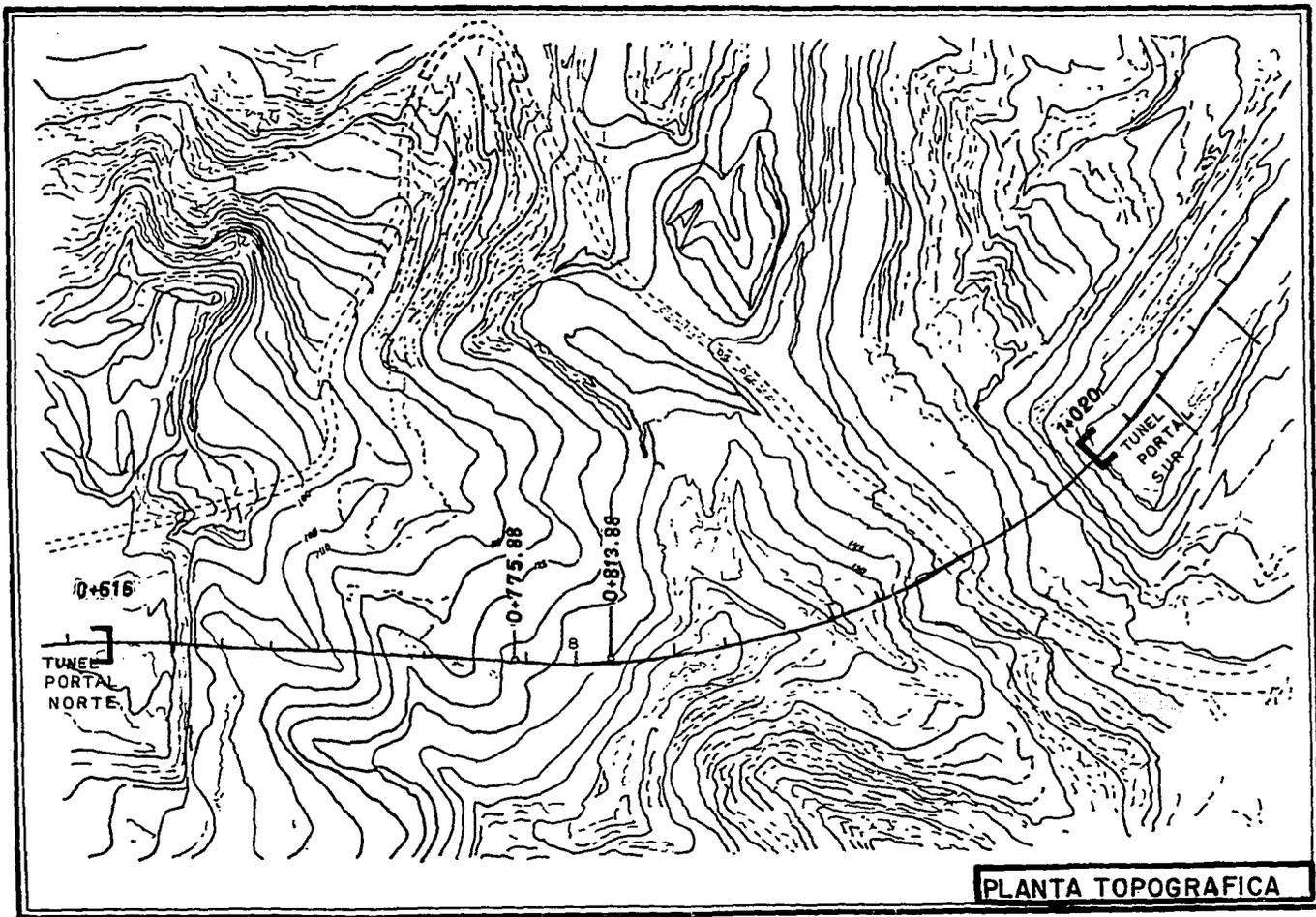
$$D = \frac{Dc/2}{Lc} = \frac{(48.125)/2}{240.625} = 0.1^{\circ}/\text{m.}$$

A continuación se enlistan las deflexiones para diferentes-
estaciones de la curva:

EC = 0+813.88. (inicio de la curva)	D = 00° 00' 00"
0+820.00	D = 00° 36' 43"
0+840.00	D = 02° 36' 43"
0+860.00	D = 04° 36' 43"
0+880.00	D = 06° 36' 43"
0+900.00	D = 08° 36' 43"
0+920.00	D = 10° 36' 43"
0+940.00	D = 12° 36' 43"
0+960.00	D = 14° 36' 43"
0+980.00	D = 16° 36' 43"
1+000.00	D = 18° 36' 43"
1+020.00	D = 20° 36' 43"

En cuanto al alineamiento vertical, la pendiente está conformada en forma general por un 3.5% en forma ascendente y conforme al cadenamamiento.

En la siguiente hoja, puede observarse el croquis que muestra en forma general el alineamiento horizontal, con los puntos mencionados en párrafos anteriores.



PLANTA TOPOGRAFICA

CAPITULO VI

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO:

Una vez definido el trazo en el cuál queda ubicado el túnel, se procede a determinar el mejor método a seguir.

El metodo constructivo utilizado para la construcción del túnel para el libramiento de Puerto Vallarta, es el llamado --- "Nuevo método Austriaco", el cuál en términos generales consiste en hacer que el terreno trabaje a su máxima capacidad dentro de los rangos seguros y el exceso de carga más allá de esos rangos, sea absorbido por algún refuerzo adicional.

VI.1.- EMPORTALAMIENTO:

VI.1.1.- INTRODUCCION.

El éxito de la construcción de un túnel depende directamente del buen emportalamiento que se logre en sus accesos.

Un buen emportalamiento desde el punto de vista constructivo es necesario para que todo el personal y toda la maquinaria involucradas en el proyecto se encuentren en óptimas condiciones de seguridad, además evita y prevee muchos de los problemas a los que hay que enfrentarse durante su desarrollo.

Desde el punto de vista operacional es importante brindarle al usuario una obra segura y además, una impresión agradable del túnel al que se introduce, haciendolo olvidar el temor --

que generalmente se le atribuye a este tipo de obras.

Un buen emportalamiento es el único medio para obtener éstos-
resultados, ya que por lo general lo único que el usuario ob-
serva es la fachada, a través de la cuál se juzgará todo el -
proyecto.

Las funciones primordiales que un portal realiza son:

- A).- Proteger y soportar las galerías, salidas y accesos bajo las-
masas de tierra.
- B).- Conducir y drenar el agua superficial que descarga de la lad~~e~~
ra frontal, evitando que ésta se introduzca al interior del -
túnel.

VI.1.2.- LOCALIZACION DE LOS PORTALES:

La ubicación de los portales está dada desde el trazo definitiu
vo del proyecto. Preferentemente y cuando sea posible se debe-
rán ubicar en lugares de fácil acceso para el equipo de excavau
ción, ya que de otra manera se dificultarán las maniobras para
hacer llegar el equipo así como los materiales que se requie-
ran a lo largo de la excavación del túnel.

Cuando un portal queda inaccesible, el túnel se deberá atacar-
forzosamente por el otro extremo; en los túneles cortos ésto -
no representa problemas, pero en túneles largos todo se vuelve
más difícil.

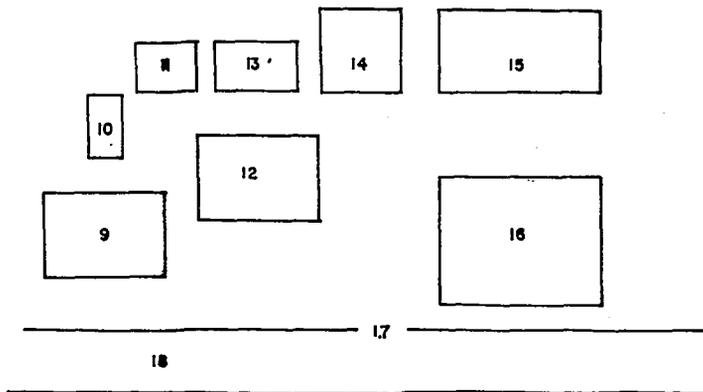
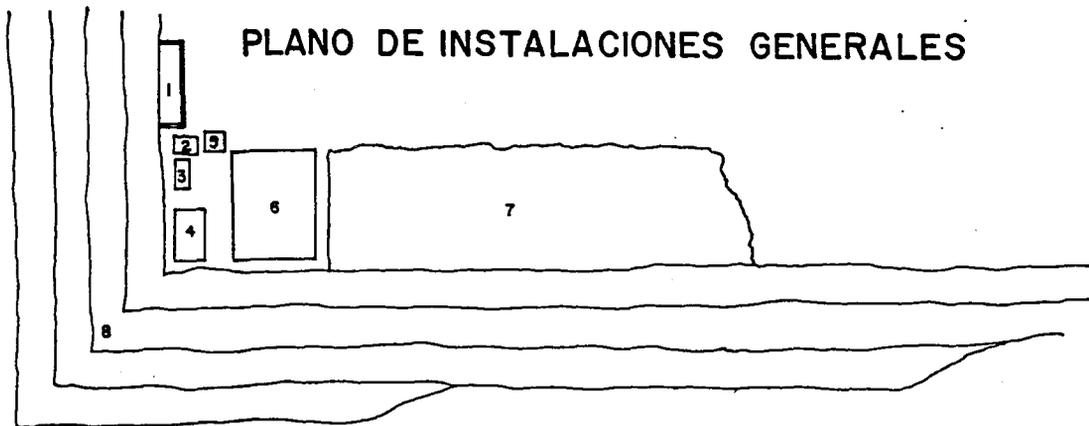
Por mucho tiempo el criterio que prevaleció para localizar -- los portales consistía exclusivamente en ubicar la sección -- transversal, en donde el terreno natural quedara a 20 m. sobre la clave del túnel como máximo y un diámetro del túnel como techo mínimo. La tecnología moderna ha permitido últimamente que se localizen los portales atendiendo a otras necesidades prioritarias, como son factores ecológicos, socioeconómicos ó culturales. De tal manera se han desarrollado proyectos de portales tan complicados que en ocasiones la sección del túnel no cabe dentro de la sección del terreno natural.

Cuando se cuenta con buenos estudios geológicos del lugar se logra una mejor ubicación de los portales.

Lógicamente se buscan los lugares donde el suelo se halle libre de fallas o fisuras, o donde no existan alteraciones físicas o químicas, o donde no haya contactos geológicos que puedan ser posibles planos de falla.

Por otro lado, se tiene que contar con espacio suficiente para poder instalar equipo y materiales, para realizar manobras, movimiento de maquinaria, extracción de rezaga, etc., -- ya que de otra forma aunque también puede realizarse la excavación suele ser con costos más elevados.

PLANO DE INSTALACIONES GENERALES



1-ENTRADA AL TUNEL PORTAL SUR
2-CARCAMO DE BOMBEO

3-PLANTA DE LUZ

4-CASETA DE SCT

5-COMPRESOR

6-TALLER Y ALMACEN DE CARPINTERIA

7-REZAGA

8-BERMAS

9-CAMPAMENTO DE TRABAJADORES

10-BAÑOS

11-ALMACEN DE COMBUSTIBLE

12-ALMACEN GRAL.

13-CASETA PYASA

14-TALLER MECANICO

15-ROLADORA

16-ALMACEN DE VIGUETAS Y VARILLA

17-ENTRADA A INSTALACIONES

18-CANINO DE ACCESO AL PORTAL SUR Y NORTE

Para nuestro caso, afortunadamente contamos con suficiente espacio en ambos portales del túnel, esto fué debido a que como el camino se hizo para cuatro carriles y se habían proyectados túneles, pero por problemas económicos solo se empezó a -- construir un túnel de dos carriles, por lo tanto, el espacio -- donde iría alojado el otro túnel nos sirvió para hacer nues-- tros movimientos de maquinaria, para guardar rezaga y para co-- locar las máquinas.

VI.1.3.- ENCAPILLADO:

La palabra encapillado está referida a un tramo de túnel falso que fluctúa entre 5 m. como mínimo hasta 20 m., el encapillado es por lo general un capuchon de la misma sección del túnel -- construído con concreto armado, pero un poco mas ancho que la sección de proyecto, con el fin de que el revestimiento defini-- tivo dentro del túnel se pueda prolongar hasta cubrir totalmen-- te el encapillado inicial y así su acabado sea de primera cali-- dad y tenga continuidad de un extremo a otro.

El encapillado es una parte integral del túnel, una vez que ég te se ha determinado, además protege su entrada de posibles -- desprendimientos de material que pudieran caer desde lo alto -- del corte.

Al construirse estos encapillados antes de iniciar la excavación, sirven para que el terreno al inicio de la excavación -- tenga donde apoyarse y que la entrada del túnel se lleve a -- cabo con mayor seguridad.

Su procedimiento constructivo es el siguiente:

Una vez concluido el corte del portal a piso, según proyecto, se procede a fijar el nivel y ubicar el eje del túnel, posteriormente se procedió a marcar la sección de proyecto en el -- talud.

Definida la línea y el nivel, se procedió a trazar el eje del túnel sobre la superficie del cerro a perforar, ésto para garantizar que ambos portales quedaran bién ubicados y como referencia para el trazo del túnel dentro de su excavación.

Ya que el talud frontal donde quedan alojados los portales es de 1/4:1 (1/4 horizontal por 1 vertical), fué necesario efectuar excavaciones para que la base de los marcos utilizados-- (estos marcos son viguetas I.P.R. rolados, de los cuales más adelante se habla con más detalle) para el encapillado se empotraran al terreno, permitiendo así que éstos quedaran a plomo y que la clave de los mismos quedara totalmente pegada al talud.

Desplantados los marcos en las excavaciones, se procedió a mantenerlos fijos, para luego colar zapatas de concreto ciclópeo, dejándolos ahogados a una altura aproximada de 1 m. a partir -- del desplante de los mismos, sirviendo el colado como cimenta-- ción del mismo encapillado.

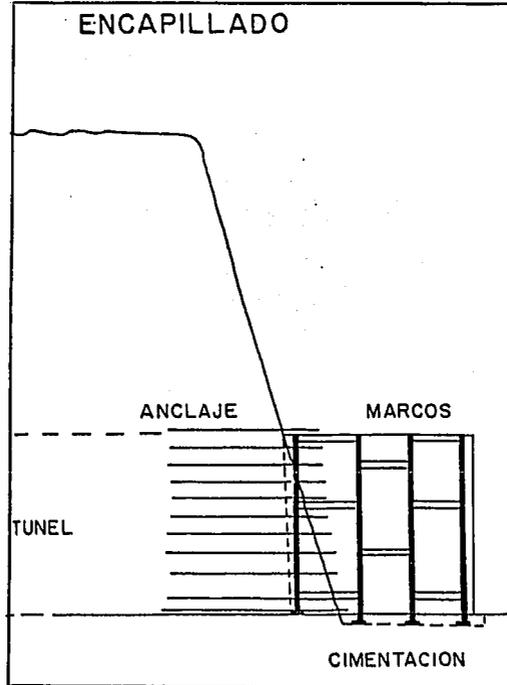
Ademas se reforzaron con travesaños de acero de sección I, (4"x 4") colocadas horizontalmente y paralelas al eje del túnel, las cuales van soldadas a cada uno de los marcos, ligándolos entre sí y empotradas en el terreno del talud por excavar.

Para que el encapillado pudiera lograr su objetivo de brindarle apoyo al terreno en el inicio de la excavación del túnel, se -- practicó en todo el perímetro de la sección unos barrenos con -- pistolas de pierna a profundidades de 4.5 m.l. por 1" de diáme-- tro, con una separación entre ellos de 30 cm. para formar lo -- que comunmente se conoce como "jaula de ardilla", una véz te-- niendo los barrenos se procedió a colocar las anclas a base de varillas de 1", con una longitud de 6 m. para que dicha ancla -- pudiera sobresalir 1.5 m. del terreno y así poder soldarla a -- los marcos.

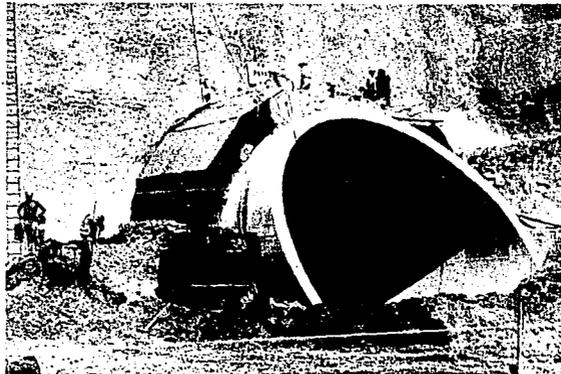
Una vez instaladas se procede a sellarlas con mortero, en pro-- porción 1:4 (mortero cemento-arena).

La siguiente etapa consiste en colocar la cimbra para poder e-- fectuar un colado de concreto hidráulico de $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$.

En el siguiente croquis puede ilustrarse el procedimiento -
constructivo del encapillado:



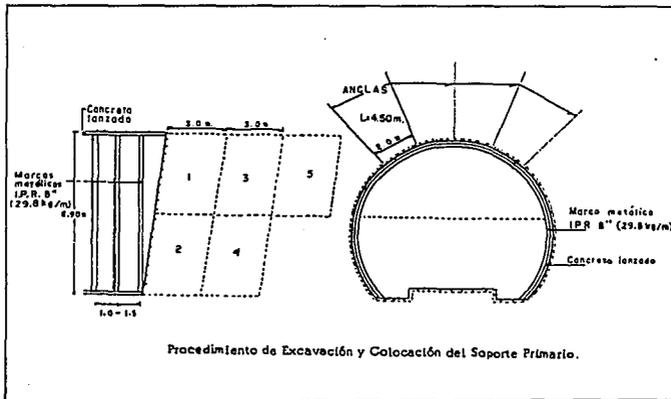
En la siguiente fotografía se ilustra la prolongación del revestimiento definitivo como encapillado final, y a la vez -- puede observarse la demolición del encapillado inicial.



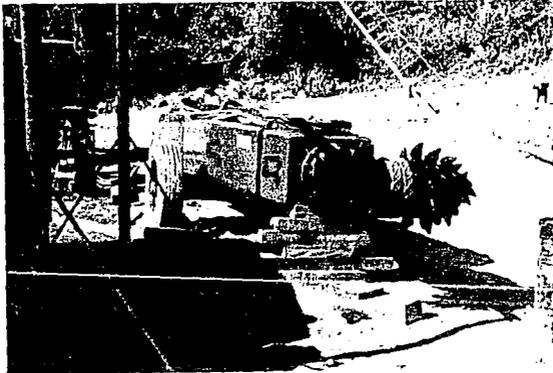
Encapillado final.- efectuado con concreto hidráulico con -- una resistencia de $f'c = 250 \text{ kg./cm}^2$.

VI.2.- EXCAVACION:

La excavación del túnel fué llevada a cabo por medios mecánicos, pudiendo excavar a sección completa, con avances en tramos de hasta 3.0 m. sin la colocación del revestimiento primario, de acuerdo a la figura que se ilustra a continuación:



Dicha excavación se realizó mediante una máquina que consiste en un brazo fresador con cabeza rotatoria cilíndrica y --
puntas intercambiables según el desgaste, acopladas a la cabeza.



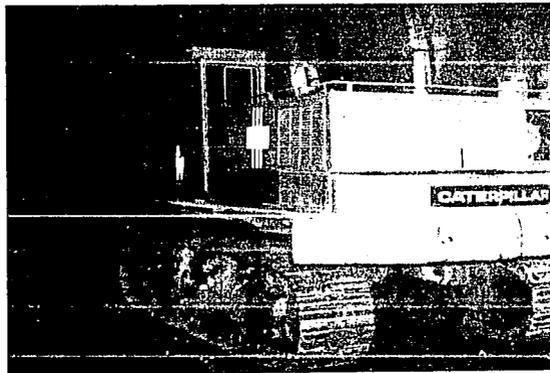
Brazo fresador con cabeza rotatoria cilíndrica.

El motor es eléctrico de 165 H.P. lo que evita viciar el --
aire por este concepto.

El efecto de todo el sistema con la cabeza, es desvistar el material en el frente de ataque.

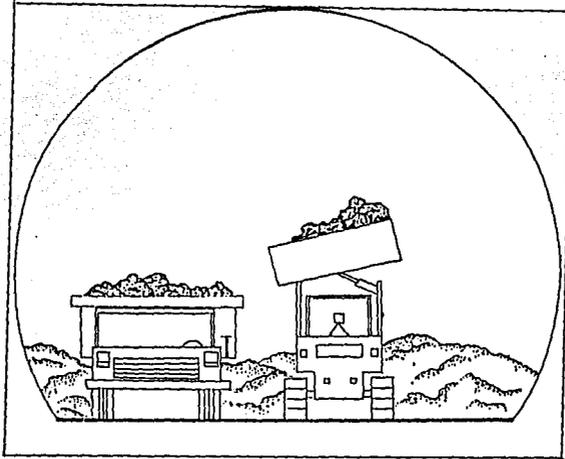
Esta máquina muestra versatilidad para realizar su trabajo, ya que los estudios arrojaron una baja resistencia del material a la compresión.

La máquina sobre la que fué montado el brazo fresador consistió en una retroexcavadora Caterpillar 235 sobre orugas, de acuerdo a la siguiente fotografía.



Retroexcavadora Caterpillar 235 sobre orugas.

Realizada la excavación de un pequeño tramo en el túnel, se procede a extraer la rezaga (material producto de la excavación), para lo cual se utiliza un traxcavo caterpillar 955 - (lateral) y dos camiones de volteo de 6 m^3 , el primero se encarga de recoger el material, vaciándolo a los camiones, y éstos a su vez se encargan de retirarlos hacia el exterior.



Extracción de rezaga del interior del túnel.

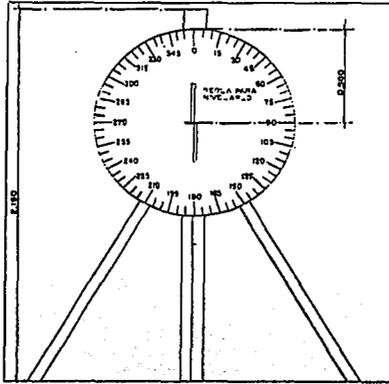
Concluida la rezaga, se procede a perforar drenes de penetración, únicamente en aquellos sitios donde el agua se manifieste tanto en la clave como en las paredes del túnel, con el objeto de mantener la superficie expuesta lo menos húmeda posible, y, que exista la suficiente adherencia en el momento de lanzar el concreto. Estos drenes de penetración se perforaron utilizando una pistola de pierna que trabaja a base de aire comprimido.

Es necesario hacer notar en ésta etapa, en la cual se tiene el tramo del túnel excavado limpio de rezaga, que durante la excavación se mantuvo estricto control en el radio de excavación, siguiendo el trazo a partir de la media sección, con una dimensión de 5.30 m. (véase en el siguiente croquis de hoja posterior el proyecto estructural).

VERIFICACION DE LA SECCION EXCAVADA:

Con el proceso de excavación y rezaga realizados de un tramo de túnel, es necesario verificar la sección transversal excavada, que permita asegurar que se tendrá el espacio suficiente para la colocación del ademe primario y posteriormente el revestimiento definitivo, ésta medición se realiza mediante mediciones radiales a los puntos principales de la sección, apoyados en el eje del trazo y los niveles de subrasante ubicados en el túnel.

Dichas mediciones radiales, se efectúan a través de un disco graduado, por lo regular de madera llamado girasol.



Disco girasol, graduado.

VI.3.- REVESTIMIENTO PRIMARIO.

El revestimiento primario consiste en:

Marcos de acero, retaque de madera, concreto lanzado simple o en combinación con marcos y anclas.

VI.3.1.- MARCOS METALICOS:

En el inicio de la colocación del ademe primario, el cuál - consiste en montar primeramente los marcos metálicos de los cuales se trata a continuación.

De las estructuras temporales que son más comunes para utilizar por su facilidad de colocación y versatilidad, son -- los marcos metálicos o de madera, éstos últimos son un poco más inconvenientes debido a que son muy caros, menos manio- rables y requieren de personal especializado.

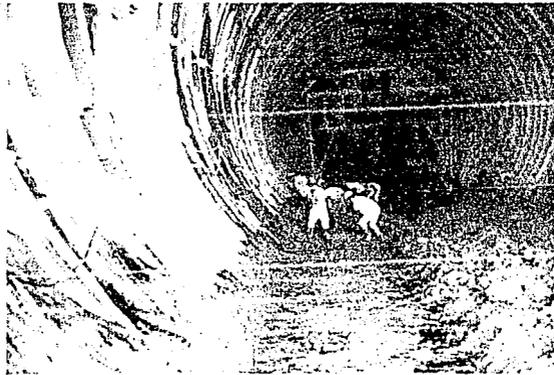
Siendo más conveniente el marco de acero, el cuál fué nues- tro caso.

A continuación se mencionan algunas ventajas del marco de-- acero:

- Ocupa menor espacio en el túnel.
- Requiere menor volumen de concreto.
- Más ligero.
- Más económico.
- Su colocación es más rápida.

- Requiere menor sección de excavación.
- Refuerza la sección de concreto ahogándolo.
- Es más versátil para darle la forma requerida.
- Requiere menos personal para su montaje.

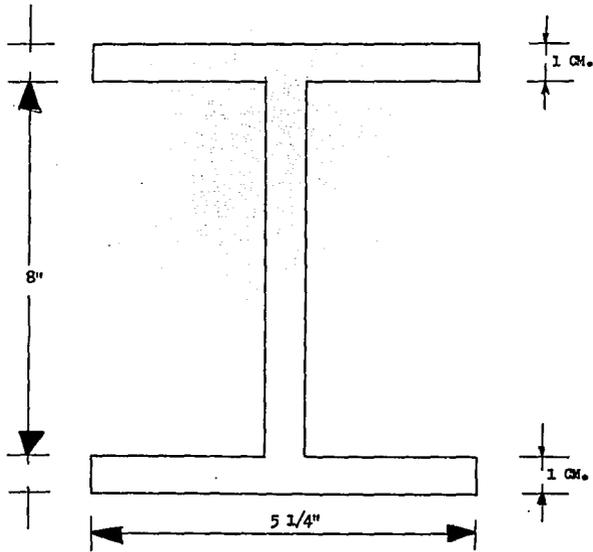
Los marcos metálicos usados en el túnel Puerto Vallarta, -- Jal., están compuestos por perfiles I.P.R. de 8" y su peso es de 29.8 kg/m. (obsérvese la figura siguiente).



Marcos metálicos rolados y colocados en el túnel.

En la siguiente hoja, obsérvese croquis del perfil.

SECCION DE MARCO METALICO UTILIZADO PARA ADEME
IPR 8" Y 29.8 KU/H.L.



A estos marcos se les daba la forma de la sección del túnel en una roladora, la cuál es una estructura metálica,-- ahogada en concreto, en la cuál se coloca el marco sostenido por personas y es jalado por un malacate por medio de estrobos de 3/4" o 1" de espesor.



Roladora.- observese el marco sostenido por personas para su rolado.

La roladora fué diseñada conforme a las dimensiones del túnel y del tipo de vigueta utilizado.

Por lo que a la separación de los marcos respecta, se contempló entre 1 y 1.5 m., de acuerdo a los requerimientos del terreno. El nivel de desplante de los mismos, se mantuvo con cuidado (3.58 m.), por abajo de la media sección.

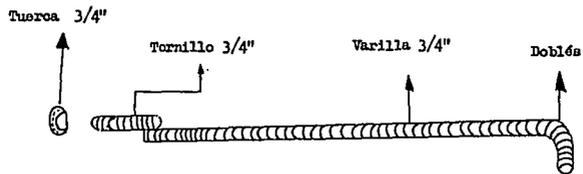
Con el fin de darle más estabilidad a los marcos y que éstos no sufran movimiento alguno entre sí, se han colocado separadores a base de polines de 4" x 4" y tensores, consistentes en una varilla de 3/4", con un dobléz en un extremo y por el otro extremo lleva soldado un tornillo de 3/4" que es ajustado con una tuerca del mismo diámetro.

Los marcos deben colocarse a línea y a nivel, de acuerdo al proyecto.

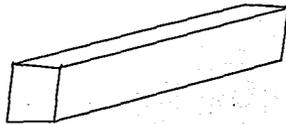
Es necesario hacer notar que para el montaje de los marcos como para la colocación de otros elementos en la parte superior de la sección excavada (clave), se tuvo la necesidad de contar con la ayuda de una plataforma auxiliar denominada jumbo.

En los croquis de las hojas siguientes pueden observarse los polines de madera de 4" x 4" y los tensores en detalle, su posición al colocarlos en los marcos y el jumbo metálico respectivamente.

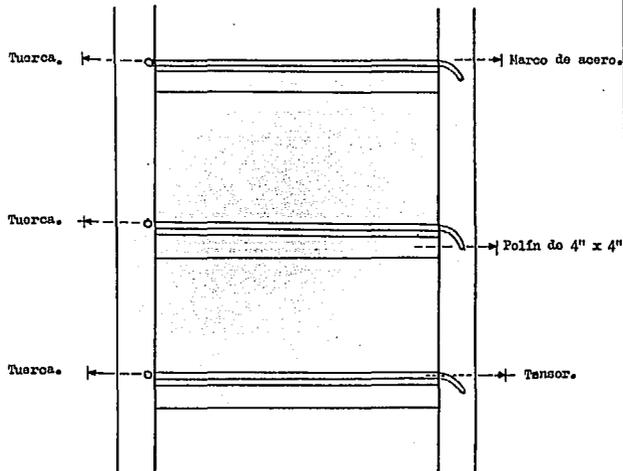
T E N S O R
De longitud variable (según separación de marcos).



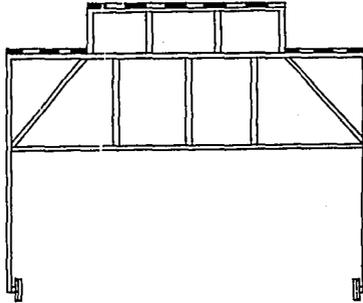
S E P A R A D O R
Polín de sección 4" x 4" y longitud variable
(según separación de marcos).



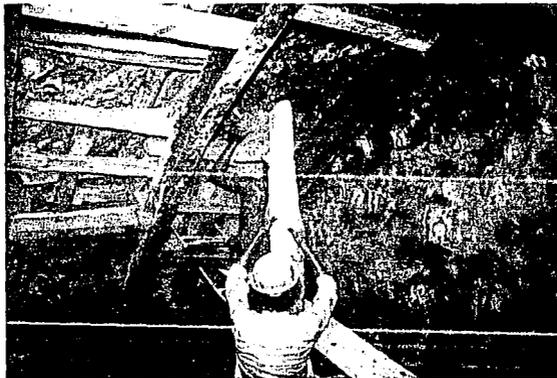
DETALLE DE COLOCACION DE TENSOR
Y SEPARADOR EN MARCOS METALICOS



JUMBO METALICO



Cabe hacer notar que en algunos tramos de excavación, al colocar los marcos, quedaban espacios entre la superficie de terreno excavado y el marco, ya fuera en la clave del túnel o lateralmente y con el fin de evitar una mayor sobreexcavación, se colocó madera de retaque (observese la siguiente figura).



Colocación de retaque de madera, para evitar sobreexcavación.

Esto sucedía cuando el material se encontraba muy saturado y al tratar de aliviar la presión hidrostática con los drenes de penetración, resultaba insuficiente y se venían desprendimientos considerables en determinadas ocasiones.

VI.3.2.- CONCRETO LANZADO:

VI.3.2.1.- GENERALIDADES:

El concreto conducido a través de una tubería y proyectado-neumáticamente a gran velocidad sobre una superficie, se denomina concreto lanzado. La fuerza con la cuál el chorro es impulsado sobre la superficie, compacta la mezcla de tal manera que puede soportarse por sí sola sin separarse, aún sobre una superficie vertical o una superficie "sobre-cabeza".

VI.3.2.2.- DIFERENTES PROCEDIMIENTOS DE ELABORACION:

Actualmente se utilizan dos procedimientos diferentes para la elaboración del concreto lanzado.

A).- El proceso seco.

B).- El proceso húmedo.

El primero, que es prácticamente el único que se utiliza en túneles y es el que fué utilizado en la construcción del túnel de Puerto Vallarta, el cemento y el agregado parcialmente húmedo, son mezclados íntimamente e introducidos a un alimentador mecánico (máquina de tambor rotatorio la cuál consta de una tolva de carga, un tambor horizontal (con varios compartimientos abiertos en sus extremos) que gira entre la base y la placa superior, las cuales son fijas y la tubería de descarga).

De aquí, la mezcla es transferida a una tubería flexible -- por la cuál circula una corriente de aire comprimido que -- conduce los materiales mezclados hasta la boquilla lanzadora, la boquilla tiene adaptada una tubería con varias perforaciones a través de la cuál se introduce agua a presión.

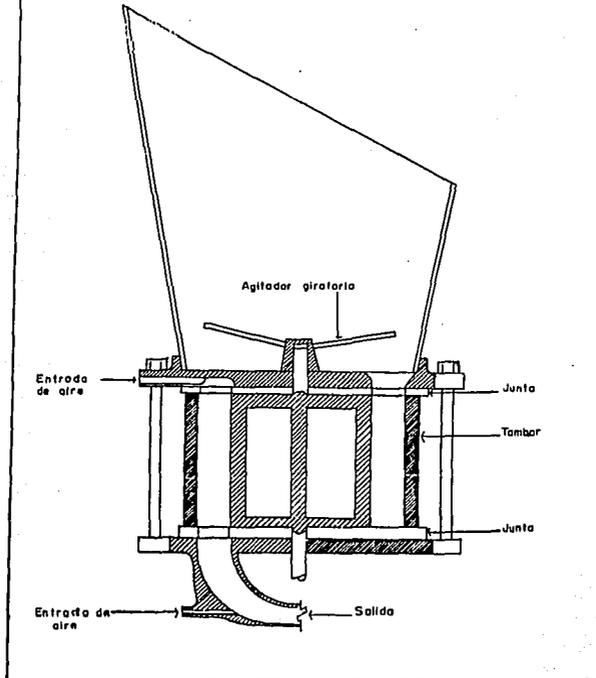
Al pasar la mezcla de agregado-cemento por la boquilla, se combina con el agua y el concreto es lanzado a alta velocidad contra la superficie.

La presión usual es de 1 kg/cm² para el agua, mayor que la presión del aire en la tubería flexible, a la altura de la boquilla.

No todo el concreto que es lanzado por la boquilla se adhiere a la superficie, aquella parte de la mezcla que se cae al chocar con cualquier obstrucción (roca, acero de refuerzo, agregados ya adheridos, etc.), se denomina "rebote".

En el croquis de la siguiente hoja, puede observarse las -- partes componentes de una máquina lanzadora de concreto.

MAQUINA LANZADORA DE CONCRETO



VI.3.2.3.- FUNCIONES DEL CONCRETO LANZADO:

Las funciones del concreto lanzado son las siguientes:

- Estabilizar la superficie expuesta de la excavación.
- Proporcionar una estructura de soporte temporal.
- Cubrir las superficies expuestas por la excavación para protegerlas del intemperismo.

El éxito del concreto lanzado reside en aplicarlo lo más --- pronto posible después de la excavación, para evitar movi--- mientos de aflojamiento del terreno.

Su espesor puede variar dentro de los siguientes rangos:

- Un mínimo de 2" ayuda a fijar pequeños bloques y rocas y protege contra la intemperización.
- Un espesor mínimo de 4" da una protección a rocas fracturadas en bloques, sustituyendo el ademe de marcos metálicos.
- Un espesor mínimo de 6" es adecuado para todo tipo de suelos difíciles, excepto en suelos blandos y arcillas.

VI.3.2.4.- MATERIALES Y MEZCLAS:

Los materiales y mezclas que se utilizan para producir concreto lanzado son prácticamente los mismos que los que se emplean para fabricar concreto convencional, quizá las principales diferencias se encuentran en las granulometrías requeridas para los agregados y en el uso de aditivos y acelerantes.

CEMENTO.- La decisión sobre el tipo de cemento está relacionada con el lugar donde se localiza la estructura, con la velocidad deseada de desarrollo de fraguado y de resistencia y con la economía, pueden emplearse cementos portland tipos I, II y III, portland puzolana, etc. en nuestro caso el cemento utilizado fué el cemento portland tipo I, ya que fué el requerido por especificaciones.

AGUA.- Los requisitos que debe cumplir el agua para ser empleada para concreto lanzado son los mismos que para el concreto convencional, o sea, que debe de ser clara y libre de sustancias que inhiban la hidratación del cemento, o materiales que produzcan un efecto detrimetral en la resistencia del concreto.

AGREGADOS.- La calidad y granulometría de los agregados, tanto finos como gruesos, deben cumplir con las siguientes especificaciones:

1.- CARACTERISTICAS GENERALES.- Los agregados deben de consistir de partículas duras, resistentes y durables, debe de ser una grava natural de cantos rodados (no debe tener aristas puntiagudas, debido a que éstas cortan los empaques de la máquina lanzadora y también las mangueras conductoras de la mezcla).

2.- TAMAÑOS.- Los agregados se clasifican por su tamaño como sigue:

Gruesos, los que pasan la malla de 3/4" y quedan retenidos en la malla número 4.

Finos, los que pasan la malla número 4 y quedan retenidos en la malla número 200.

3.- GRANULOMETRIA.- Los agregados deberán tener la graduación granulométrica comprendida en los rangos que a continuación se especifican:

Tamaño	% que pasa
3/4"	100
1/2"	75-100
3/8"	65-90
Núm. 4	50-70
Núm. 8	35-55
Núm. 16	20-40
Núm. 30	10-25
Núm. 50	5-15
Núm. 100	2-10
Núm. 200	0-5

NOTA: En nuestro caso particular, se suprimió la grava de canto -- rodado, ya que en la región es muy difícil de conseguir, por otro lado se observó que la arena de la región tenía mucha -- gravilla, la cuál podía compensar la falta de grava de canto rodado, por lo tanto se hicieron muestreos de resistencia, -- obteniendo resultados satisfactorios.

ADITIVOS.- Puede decirse que para el concreto lanzado en túneles, sólo se utilizan aditivos acelerantes, que deben tener las siguientes propiedades:

- Debe producir las resistencias tempranas especificadas con la mezcla de cemento y agregados correspondientes.
 - Debe de ser capaz de producir un fraguado inicial casi instantáneo (menos de un minuto) con la mezcla de cemento y agregados correspondientes, cuando se esté ante la presencia de filtraciones importantes de agua.
 - Debe garantizar la uniformidad del producto final.
- Podrán utilizarse tanto aditivos en polvo como aditivos líquidos, para nuestro caso se utilizaron en polvo, debido a que se elaboraba la mezcla en seco.

VI.3.2.5.- CARACTERISTICAS DEL CONCRETO LANZADO:

La resistencia de proyecto normalmente se fija entre 200 y 400 kg/cm², el concreto lanzado deberá alcanzar las resistencias tempranas en especímenes cilíndricos de 2" O más de diámetro, probados a compresión simple, de acuerdo a especificaciones requeridas.

Las siguientes resistencias son para un concreto de f'c= 250 kg/cm².

A las 8 horas	43 kg/cm ² .
A los 3 días	106 kg/cm ² .
A los 6 días	180 kg/cm ² .

Para alcanzar éstas resistencias tempranas, el concreto deberá contener una cantidad importante de aditivo acelerante del fraguado y de la resistencia (siempre y cuando se dosifique adecuadamente).

VI.3.2.6.- VERIFICACION DE CALIDAD:

Para poder ensayar el concreto lanzado, es necesario reproducir las condiciones de su colocación en el túnel, para esto se usan artesas de madera en forma de pirámide truncada (40 x 40 cm. de base menor y 60 x 60 cm. de base mayor).

La muestra deberá de formarla el lanzador de la misma manera que se hizo en el túnel. La artesa no deberá moverse antes de 2 horas de haberse lanzado, a partir de este tiempo se podrá trasladar a un lugar seguro.

A la edad aproximada de 20 hrs. se extraen tres especímenes de 2" o 3" de diámetro, para probarse a compresión simple. El resto de la muestra se guarda para ir sacando especímenes y checar su resistencia.

Todas estas verificaciones de calidad son de suma importancia, para que con acciones correctivas poder mejorar la calidad del concreto.

VI.3.2.7.- CUADRILLAS DE LANZADO:

Una cuadrilla normalmente está constituida por:

Un lanzador, un operador de chiflón, un operador de lanzadora (alimentador mecánico), un sobrestante y peones que ayudan en maniobras diversas como son: traslado de materiales y accesorios, mezclado, instalación del equipo, etc.

Cada miembro de la cuadrilla debe de ser adiestrado para que desempeñe adecuadamente sus funciones, como medida de seguridad es conveniente proveer al personal que está en contacto con el polvo y el rebote, de equipo protector adecuado, se puede mencionar como necesario: casco, anteojos, respirador, guantes y traje impermeable.



Cuadrilla de lanzado en operación.

VI.3.2.8.- PROCEDIMIENTO DE LANZADO:

El procedimiento de lanzado de concreto se realiza una vez que se ha terminado de colocar la madera y se comienza lanzando por la parte superior (clave), donde se encuentra la madera de retaque, ésto para darle una rápida y mejor estabilidad al terreno y no presente derrumbe alguno, posteriormente se continúa el lanzado hacia la parte baja del terreno excavado en ambos extremos.

El lanzado se debe efectuar perpendicularmente a la superficie y desde una distancia que varíe de 90 a 110 cm.

El espesor de la capa de concreto lanzado se colocará de 15 cm. promedio de proyecto, con una resistencia a la compresión de 200 kg/cm².

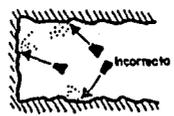
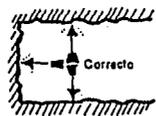
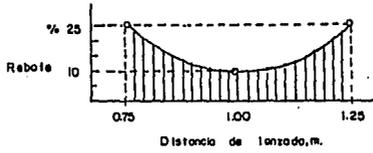
En el croquis de la hoja siguiente se ilustra la posición adecuada de lanzado, así como la distancia correcta para evitar desperdicios.

INFLUENCIA DE LA DISTANCIA Y EL
ANGULO DE LANZADO

MUY CERCA

CORRECTO

MUY LEJOS



VI.3.2.9.- DOSIFICACION:

La relación agua/cemento empleada es de 0.48; la dosificación se da a continuación:

Para un concreto lanzado de $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$.

revenimiento = 5 cm.

DOSIFICACION PARA 1 M3. DE CONCRETO.

Cemento = 371.7 kg.

Agua = 178.2 kg.

Arena = 1147.2 kg.

Grava = 636.7 kg.

VI.4.- ANCLAS:

Otra ayuda en la estabilidad para la excavación del túnel, es la colocación de anclas, las cuales para el caso del túnel de puerto vallarta, están formadas por varillas corrugadas de 1" de diámetro y 4.50 m. de longitud.

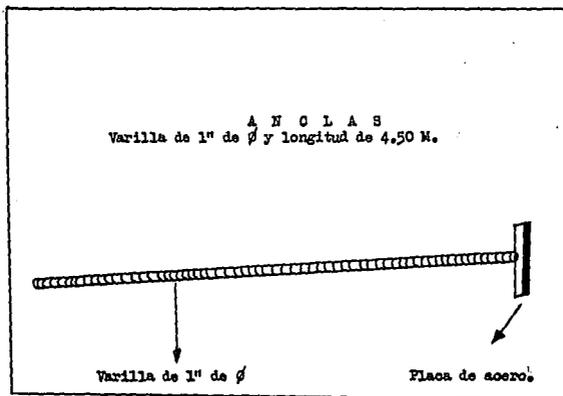
Previo a su colocación se efectuaron los barrenos, se introduce la varilla centrandola en el barreno y se ahoga en mortero. Estas anclas son básicamente del tipo de trabajo a fricción.

Es admitido generalmente que la roca misma o el material duro es el elemento principal para el soporte de las excavaciones subterráneas y la finalidad o función de las anclas, es la de reforzar y uniformizar el comportamiento de la roca o el material duro, trabajando conjuntamente con las anclas.

Se pensó en una distribución inicial para dichas anclas, según croquis de proyecto de la siguiente hoja.

Pero se contempló la posibilidad de reubicación, ya que el comportamiento del material a través del cual se excava el túnel, en ocasiones se podría considerar como suelo más que como roca.

A continuación puede observarse una ancla con su placa en un extremo, con el fin de lograr una mayor presión en la superficie de terreno en que son colocadas.



VI.5.- DRENS:

Conjuntamente con la operación de las anclas se pueden realizar los trabajos para la canalización y conexión de drenes de penetración de 25.4 mm. de diámetro y 1.0 m. de longitud, y drenes de 25.4 mm. de diámetro y 4.0 m. de longitud.

Los drenes de 4.0 m. de longitud tienen un área de influencia mucho mayor.

El número y distribución de los drenes es determinado en el lugar, ya que se realizaron únicamente en aquellos sitios donde el agua se manifieste tanto en la clave como en las paredes del túnel, pues la finalidad de los drenes es la de evitar cualquier presión hidrostática.

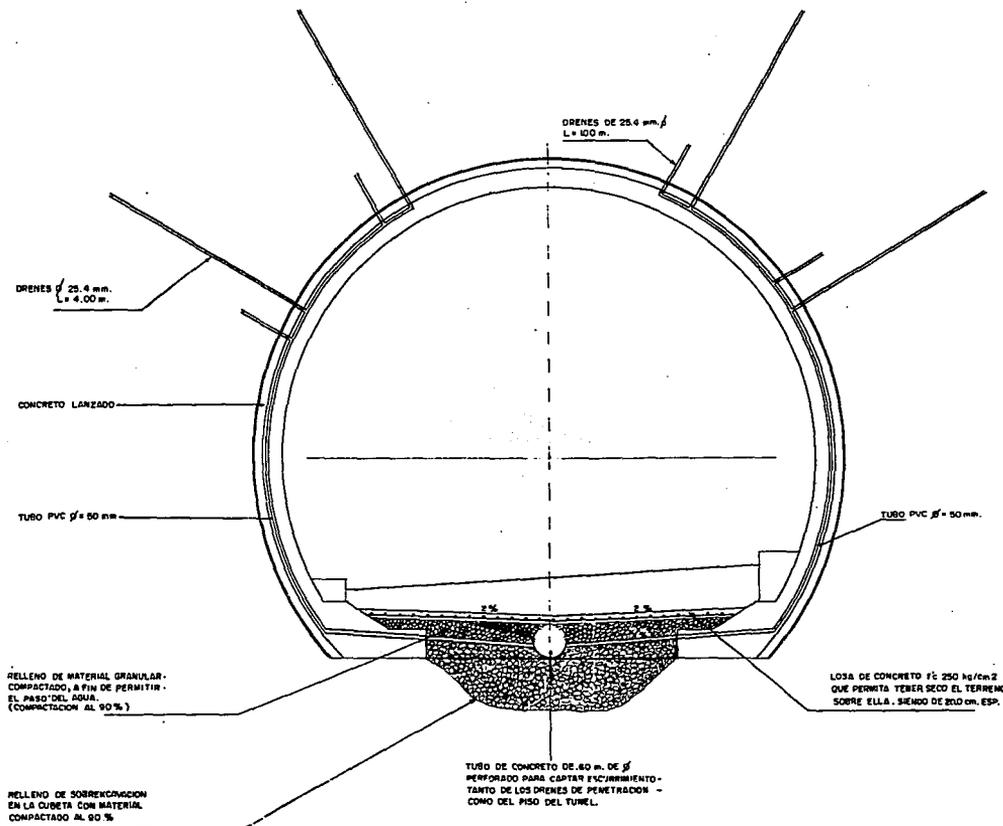
Una vez instalados los drenes, se puede realizar su conexión a través de tubería de PVC flexible de 50 mm. de diámetro que estará adosada al concreto lanzado para descargar posteriormente al dren principal previsto.

La instalación de los drenes fué realizada con poliducto de 1" de diámetro.

En el croquis de la hoja siguiente se puede ver la forma de instalación y conexión de los drenes, así como la proposición para el drenaje definitivo, del cual más adelante se trata.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

PROPOSICION PARA EL INTERIOR DEL TUNEL



SECCION TIPO 1

Cabe hacer la aclaración de que los drenes se deben colocar radiales a la sección.

Durante la etapa de construcción las filtraciones y el agua de lluvia, fueron controladas a través de cunetas y cárcamos de donde fueron bombeados al exterior, ya que por circunstancias ajenas, el túnel se excavó en parte con pendiente negativa.

Con éste concepto quedan englobados los elementos participantes en el revestimiento primario de un túnel, los cuales en conjunto forman un sistema que ayuda a absorber el esfuerzo adicional al soportante por el terreno excavado.

VI.6.- ZAPATAS:

Una de las características de la sección tipo I es la de llevar zapatas en ambos extremos de la sección del túnel.

VI.6.1.- DIMENSIONES Y REFUERZO:

Dichas zapatas tienen las dimensiones de 1.60 m. de ancho en su base, iniciando a 2.275 m. del eje longitudinal del túnel hacia la pared de excavación.

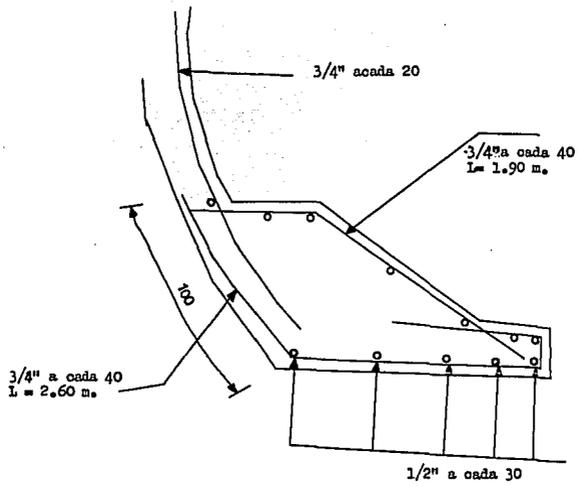
Al igual que los marcos, el nivel de desplante de las zapatas es de 1.44 m. abajo del nivel de proyecto de la rasante.

El acero de refuerzo de las zapatas está formado por varillas de 3/4" de diámetro, las cuales están distribuidas a cada 40 cm. y transversalmente a la misma.

Así también lleva varillas de 1/2" de diámetro a cada 30 cm. y están distribuidas longitudinalmente a la zapata.

En la hoja siguiente se ilustra el croquis de la zapata.

ACERO DE REFUERZO EN ZAPATAS



Se colocó concreto hidráulico con una resistencia de 250 ---
kg/cm²., cabe hacer notar que al colarse las zapatas, la par
te inferior de los marcos queda ahogada en concreto.

VI.6.2.- DOSIFICACION:

La dosificación empleada en el colado de las zapatas es la -
siguiente:

Concreto f'c = 250 kg/cm².

Tamaño máximo de agregado 1".

Revenimiento = 10 cm.

Relación agua/cemento = 0.42

DOSIFICACION PARA 1 m³. DE CONCRETO:

Cemento = 416.0 kg.

Agua = 175.0 kg.

Arena = 695.7 kg.

Grava = 1077.7 kg.

VI.7.- REVESTIMIENTO DEFINITIVO:

VI.7.1.- PROPIEDADES DEL CONCRETO EN REVESTIMIENTO DEFINITIVO:

El concreto que se emplea para revestir túneles, suele verse sometido a acciones de muy variada índole, que guardan relación con las causas que obligan a revestirlos, el tipo de servicio que prestan y las condiciones en que operan para cumplir su función bajo estas diversas condiciones y circunstancias, el revestimiento de concreto debe poseer dos atributos básicos: Resistencia y durabilidad, esto significa asimismo, que eventualmente debe poseer buenas características y propiedades en los siguientes aspectos:

- Resistencia mecánica.
- Resistencia a la abrasión.
- Impermeabilidad.
- Resistencia al ataque químico de substancias en el agua.

RESISTENCIA MECANICA:

Aún cuando una elevada resistencia mecánica suele ser índice de buena calidad en el concreto, esta relación no puede considerarse como una regla de carácter general, porque hay

ciertos aspectos, tales como la resistencia a la abrasión y al ataque químico, que más bien dependen de otros factores. La obtención de una alta resistencia mecánica, requiere del uso de una baja relación agua/cemento, sin embargo, ésta -- conclusión no siempre es suficiente por que con una determinada relación agua/cemento, el mejor concreto es el que contiene menos agua, es decir, el que se elabora con la consistencia más seca, siempre y cuando se le pueda compactar (vibrar) eficientemente.

En el caso particular del revestimiento de túneles, suelen existir determinadas condiciones de colocación impuestas -- por limitaciones de espacio entre la cimbra y el terreno y por restricciones de acceso, que impiden el uso de mezclas de concreto de consistencia seca.

Debido a éstas restricciones y limitaciones, es frecuente -- la tendencia a emplear muestras relativamente fluidas, pero a condición de que sean cohesivas y poco segregables.

Como consecuencia, los consumos de cemento requeridos para el logro de una misma resistencia especificada, suelen ser un poco más altos en el concreto para revestimiento de túneles, que en otras aplicaciones donde es posible trabajar con mezclas de consistencia más seca.

RESISTENCIA A LA ABRASION:

Este punto requiere particular atención en el caso de túneles para obras hidráulicas.

IMPERMEABILIDAD:

La impermeabilidad del concreto suele depender de la homogeneidad y compacidad que se consigue al colocarlo y de la ausencia de fisuras en la estructura terminada.

La impermeabilidad es una característica necesaria en el revestimiento de concreto para túneles, no tanto por sí misma cuanto por lo que significa para su durabilidad, en relación con los efectos perjudiciales que el agua que se filtra puede ocasionar en el concreto.

RESISTENCIA AL ATAQUE QUIMICO:

Existen diversas sustancias, que en el caso de hallarse -- presentes en el agua en cantidades significativas, pueden -- provocar ataque químico sobre el concreto de revestimiento de un túnel y acortar su vida de servicio útil.

El tipo de sustancias que pueden presentarse dependen de -- la procedencia del caudal, ya sea que se trate de agua proveniente de fuentes naturales ó de desechos domésticos e in dustriales.

En términos generales, la protección del revestimiento contra el ataque químico del agua, puede suministrarse por dos procedimientos básicos:

- a).- Promoviendo mayor resistencia intrínseca en el concreto.
- b).- Aplicando un recubrimiento superficial al revestimiento.

Para promover buena resistencia intrínseca en el concreto -- contra el ataque químico, una primera medida lógica consiste en restringir la penetración de los agentes agresivos, -- produciendo un concreto que sea impermeable mediante las -- prácticas recomendadas en párrafos anteriores.

La aplicación de recubrimientos superficiales no es una -- práctica común en el caso del revestimiento de túneles.

VI.7.2.- ACERO DE REFUERZO:

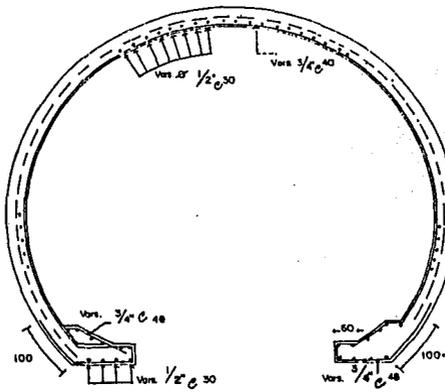
El acero de refuerzo empleado para el revestimiento definitivo está formado por varillas de 3/4" de diámetro y varillas de 1/2" de diámetro, las primeras están repartidas a cada 20 cm., provienen de las zapatas, tienen una longitud de 4.50 m. y están ahogadas en una longitud de 1.0 m. y sirven de traslape para las varillas de revestimiento definitivo, las cuales tienen una separación de 40 cm. cada una y en la misma posición que las anteriores.

Las varillas de 1/2" de diámetro, están colocadas longitudinalmente y a cada 30 cm. de separación.

Es necesario hacer notar que la colocación del acero de refuerzo, fué auxiliado con el yumbo (plataforma ó estructura metálica).

En la siguiente hoja puede ilustrarse el croquis que indica el armado de la forma anteriormente dicha.

ARMADO DEL TUNEL



Anotaciones en Cm.

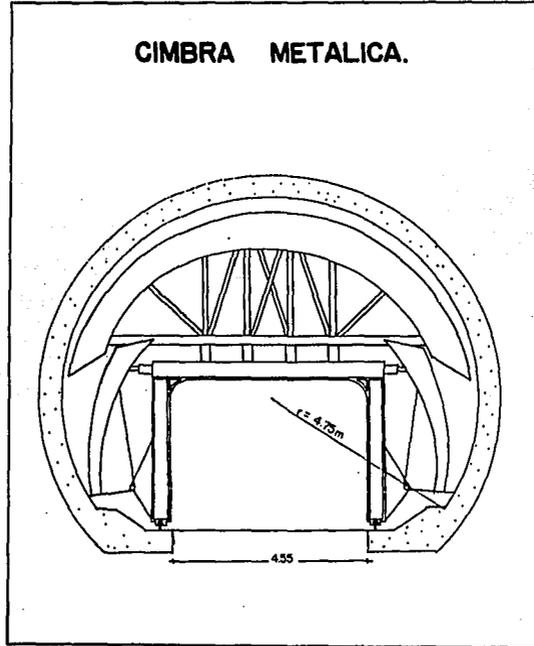
VI.7.3.- CIMBRA:

El colado del revestimiento definitivo se efectuó a sección-completa, a través de una cimbra metálica deslizante de fabricación especial y fué utilizada de éste tipo por ser más-económica, fácil de armar, de manejar y además porque de ella se obtiene un buen acabado del concreto.

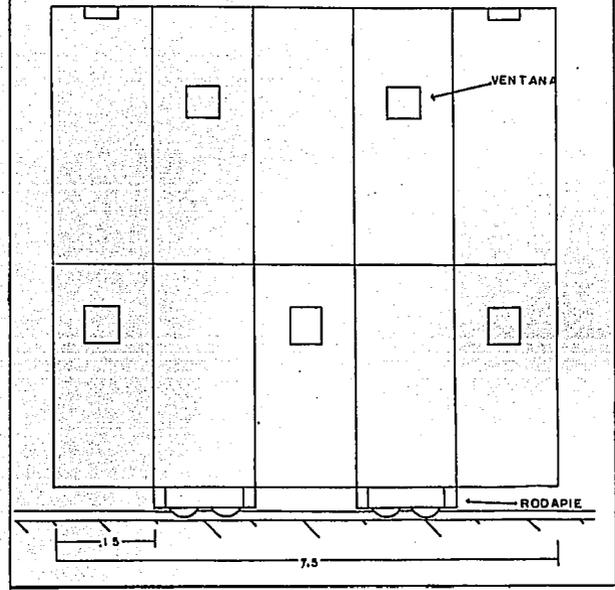
La cimbra fué diseñada para las dimensiones geométricas del-túnel, teniendo una longitud de 7.50 m. y 5 aleros por cada-lado, los cuales son impulsados por gatos hidráulicos, que -sirven para darle el nivel necesario de la media sección ---hacia arriba y para darle la alineación necesaria de la me-dia sección hacia abajo, pues en éste caso los aleros del --mismo, se pueden abrir o cerrar a la distancia necesaria a -partir del eje., considerando el radio de 4.75 m. a partir -de la media sección.

Los croquis de las siguientes hojas ilustran la cimbra metá-lica tanto de frente como en corte.

CIMBRA METALICA.



CORTE DE CIMBRA METALICA

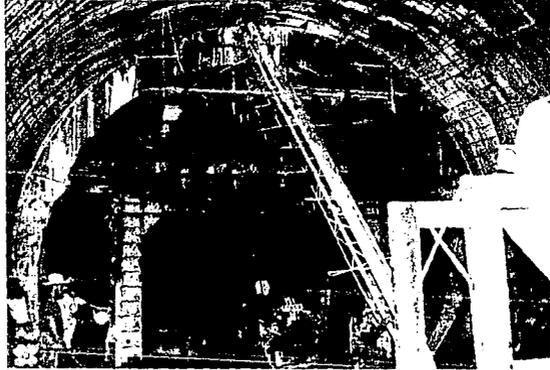


VI.7.4.- PROCEDIMIENTO DE COLADO:

Nivelada y alineada la cimbra se procede a troquelar los alrgros, a colocar los tapones a base de madera y calafateandola (cubriendo partes huecas ó por donde pueda salirse el concreto) con carton, dejando al descubierto en la parte superior-- de la cimbra un tramo para poder colocar la tubería (de 6" - de diámetro) que conducirá el concreto hidráulico hasta el-- interior del mismo y colocando al final de la tubería una --manguera flexible.

El concreto es bombeado a través de una bomba de concreto hi-- dráulico.

El procedimiento de colocación es por partes, es decir prime-- ro se coloca concreto de un lado aproximadamente 12 m3. y se cambia la manguera flexible conectada al final de la tubería hacia el otro extremo, ésto con el fin de que el empuje de - dicho concreto sea igual de ambos lados, éste proceso se re-- pite durante todo el tiempo de colado, pués una vez llegado-- en el extremo opuesto a la misma cantidad de 12 m3. aproxima-- damente, se regresa a el lado inicial.



Procedimiento de colado, obsérvese la cimbra metálica con los tapones a base de madera, la tubería de 6" de ϕ para transportarlo y la bomba para concreto hidráulico.

Una vez colocado el concreto, se procede a vibrar para lo cual existen ventanillas laterales en la cimbra, tanto en los aleros como en la parte superior de los mismos, pero - cabe mencionar que en la parte superior de la clave no es posible vibrar, por lo que al acercarse el concreto a este nivel se procede a taponear y calafatear el tramo faltante incluyendo el de la tubería con la madera para posteriormente empezar a cañonearlo, es decir acomodarlo con aire a presión.

Para ésto, se quita el tramo de tubería flexible (manguera) y se acopla una boquilla, la cuál es la que conduce el aire y se soltado por intervalos de tiempo para lograr un buen acomodo de concreto, ésto se efectúa hasta que dicho concreto llegue a su nivel máximo en la parte de la clave

En las juntas de tramos de colado, se coloca una membrana ahulada, cuya finalidad es la de evitar posibles filtraciones de agua que afecten al concreto.

Una véz efectuado el colado, al cabo de 24 horas se procede a descimbrar para repetir nuevamente el proceso, para efectuado dicho descimbrado, se baja la presión de los gatos y se procede a correr la cimbra sobre las zapatas ya coladas, ésto auxiliado con máquinas montadas sobre orugas.

VI.7.5.- CARACTERISTICAS DEL CONCRETO TRANSPORTADO POR TUBERIA:

La mezcla deberá de ser plástica y homogénea poco propensa a la segregación, revenimiento un poco alto (10 a 12 cm.) y además que la granulometría esté bien definida.

CEMENTO.- se debe seleccionar un cemento que sea apropiado a las condiciones particulares de exposición y servicio que se contemplen.

Para el caso del túnel se utilizó preconcreto (concreto ya elaborado en planta) utilizando cemento portland tipo II.

AGREGADO GRUESO.- el tamaño máximo del agregado no conviene que sea mayor de $1/4$ del diámetro interior de la tubería, por otro lado, se deben tomar precauciones tales como la colocación de mallas en la tolva de la bomba. La cantidad de agregado grueso debe de reducirse a medida que el tamaño máximo sea más pequeño.

ARENA.- las características de la arena son más importantes que las del agregado grueso, ya que ésta junto con el cemento y el agua, proporcionan el mortero que conduce las partículas de agregado grueso dentro de la tubería.

Cuando se usan tuberías con diámetro menor de 6", entre un 15 - y un 30% del peso de la arena debe pasar por la malla número 50 y del 5 al 10% la malla número 100, esto con el fin de que el - concreto pueda ser bombeado.

Con el objeto de evitar segregación en el agregado grueso, es - recomendable que éste se dosifique en fracciones de acuerdo a - los diferentes tamaños.

MEZCLADO.- El equipo de mezclado debe de ser eficiente, para lo - gar que la mezcla resulte homogénea y cohesiva. debe verificar - se que el equipo de mezclado sea apropiado para producir revol- - turas homogéneas dentro de los tiempos de operación estableci- - dos.

DOSIFICACION:

La dosificación empleada en el revestimiento definitivo es la - siguiente:

Concreto $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$.

Tamaño máximo de agregado 1"

Revenimiento = 10 cm.

Relación agua/cemento = 0.42

DOSIFICACION PARA 1 M3. DE CONCRETO.

Cemento = 416.0 kg.

Agua = 175.0 kg.

Arena = 695.7 kg.

Grava = 1077.7 kg.

VI.8.- OBRAS DE DRENAJE:

Para el drenaje en el interior del túnel, se efectuó de acuerdo a la proposición que en la siguiente hoja se observa.

Primeramente se procedió a efectuar la limpieza de piso, ya que por el nivel freático existente, se hizo intransitable el paso por el interior del túnel debido a la gran cantidad de lodo.

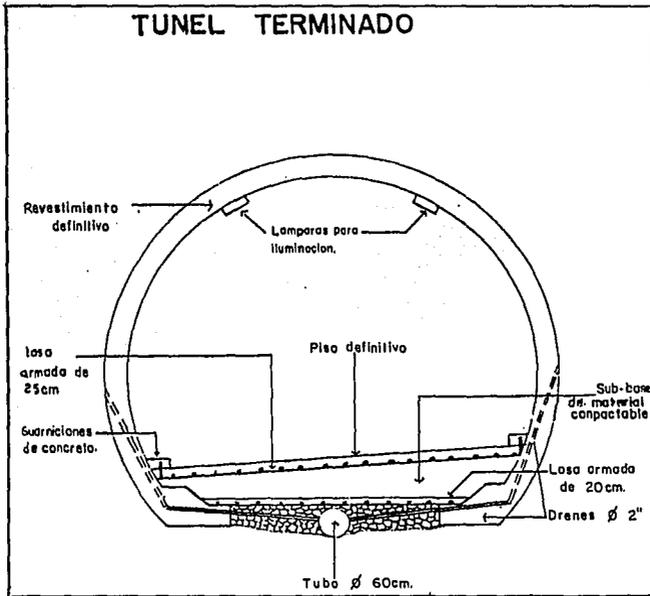
Dicha limpieza se efectuó con la ayuda de un traxcavo, que a su vez lo vaciaba en un camión volteó para ser retirado posteriormente.

Efectuada la limpieza de piso, se procede a colocar la tubería de concreto reforzado de 60 cm. de diámetro perforado y es la encargada de recolectar el agua que proviene de los drenes de penetración y ser transportada por toda la longitud del túnel hacia el exterior.

Dicha tubería es colocada una tras otra, pegados con mortero de arena-cemento, el cuál sirve para sellarlos y así evitar posibles fugas de agua.

Por otro lado, a cada 50 m. sobre el mismo eje del túnel, se hacían pozos de concreto (registros) para poder efectuar la limpieza de la tubería cuando fuera necesario.

Posteriormente, se coloca el material de filtro (piedra), el cual tiene como fin el poder drenar ó filtrar el agua que aflora del piso y evitar que ascienda a la superficie y que pueda tener salida por gravedad y conforme a la pendiente.



VI.9.- PISO DEL TUNEL:

Sobre el material de filtro se coloca el armado para la losa de concreto reforzado, el cuál consta de varillas longitudinales de 1/2" de diámetro, repartidas a cada 30 cm. y varillas transversales de 3/4" de diámetro, repartidas a cada 20 cm.

Una vez colocado el armado se procede a colar la losa de concreto cuyas dimensiones son de 6.0 m. de ancho, la longitud depende del tramo a colar y el espesor es de 20 cm. la resistencia de la losa es de un $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$. (ilustración en croquis de hoja anterior, para losa de 20 cm.).

Concluida la losa anterior, se coloca sobre ella el material que serviría para la base del piso, dicho material fué el producto de la excavación del túnel, para que al mezclarlo con arena diera la compactación requerida.

Una vez colocado el material en el interior del túnel, se procede a bandearlo y compactarlo en capas de 10 cm. aproximadamente de espesor, para lo cuál se utilizó una motoconformadora, un duopactor y una pipa de agua.

Concluida la compactación debida, con su respectivo bombeo y pendiente a nivel de base, se procede a colocar sobre él un-

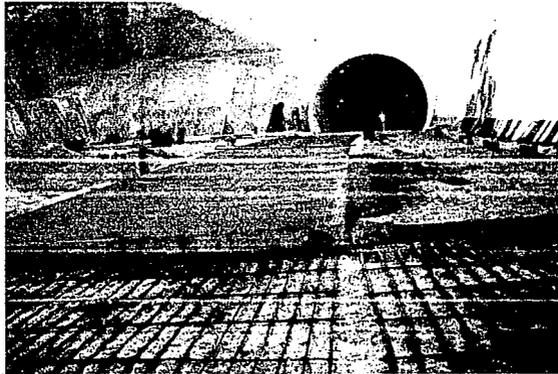
nuevo armado, de las mismas características que el anterior—
pero quedando de la siguiente manera:

Varillas de 3/4" de diámetro colocadas longitudinalmente, con
una separación centro a centro de 20 cm.

Varillas de 1/2" de diámetro colocadas transversalmente, con
una separación centro a centro de 30 cm.

Una vez teniendo armado un tramo, se procede a colarlo quedando
como losa definitiva del piso del túnel.

Esta losa fué prolongada con las mismas características 50 m.
a ambos extremos más allá del túnel, según indica la siguiente
fotografía.



Colado de losa definitiva.

CONCLUSIONES:

El grado de desarrollo económico de un país, se mide por la eficiencia de su sistema carretero y en México, las carreteras constituyen una parte importante de tal sistema.

En la actualidad para poder realizar un túnel o cualquier otra obra subterránea, se cuenta con gran variedad de equipo que va desde las sencillas tradicionales perforadoras neumáticas manuales, hasta las grandes máquinas totalmente automatizadas y protegidas dentro de un escudo.

Los túneles que se perforan en roca ya no se limitan a los métodos tradicionales de barrenación y voladura, pues ya existen equipos mecánicos capaces de excavar la roca sin el uso de explosivos.

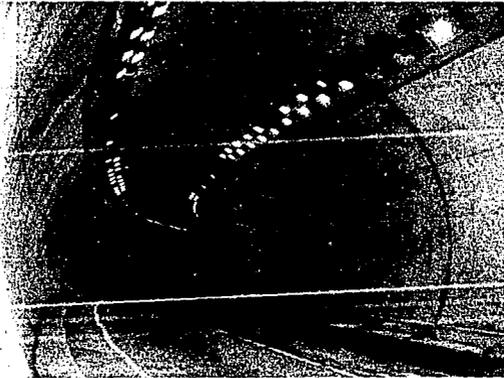
Así mismo existen métodos sofisticados de inyección y congelación para que un terreno blando se torne estable; de tal manera que con tantas opciones, el problema principal para construir un túnel, radica precisamente en una buena selección tanto de equipo, como del método constructivo.

Es muy importante enfatizar en estas conclusiones, que para evitar un mayor número de imprevistos, todo el personal que intervenga en la construcción de un túnel (proyectista, supervisor y constructor) deben hablar el mismo idioma, es decir, deben entender y aceptar las normas de trabajo establecidas en el proyecto y posteriormente reorientadas durante la construcción, para lo cual es muy conveniente tener juntas periódicas, cuando menos mensuales, donde se analice lo proyectado contra la realidad, los rendimientos reales contra los supuestos, y se haga el pronóstico de las condiciones a encontrar en corto y mediano plazo. En muchas ocasiones conviene empezar por tener una capacitación a todos los niveles, principiando con el lenguaje, para que se entiendan entre sí el proyectista, cliente y contratista. Lo importante será formar un equipo que trabaje hacia el mismo fin: perforar el túnel de acuerdo a especificaciones, haciendolo lo mas rápidamente posible (con altos rendimientos) y con la calidad requerida.

La final realización del primer túnel carretero (túnel para el libramiento de Puerto Vallarta) para la dirección general de carreteras federales, ha sido el resultado del esfuerzo, dedicación y sobre todo de una buena planeación para poder ejecutar un proyecto adecuado a infinidad de necesidades de

tráfico y desarrollo que imperaban en el lugar de construc---
ción.

Esperando que con ésta tesis se tenga una idea más clara de -
las ventajas y funcionalidad que se tiene al construir un tú-
nel carretero, y así mismo tenerlo en cuenta en la selección-
de la obra a ejecutar cuando se presenten situaciones pareci-
das.



Túnel para el Libramiento de Puerto Vallarta, vista interior
y puesto en operación.

BIBLIOGRAFIA.

- I.- Los Túneles Carreteros.
Reunión Conjunta.
Septiembre de 1985.
- II.- Túneles y Excavaciones Subterráneas. (1)
Curso Víctor Hardi 85.
Febrero de 1985.
- III.- Diseño y construcción de Túneles.
División de Educación Continua.
Facultad de Ingeniería UNAM.
Septiembre de 1984.
- IV.- Estudio Geotécnico y Diseño Estructural.
Túnel Vial I, Libramiento Puerto Vallarta, Jal.
Serti, S.A.
Octubre de 1981.
- V.- Apuntes de Revestimiento de Túneles.
Ing. Víctor Manuel Mena Ferrer.
Septiembre de 1984.