

*Universidad Nacional Autónoma de México*  
FACULTAD DE INGENIERIA

**"CONSTRUCCION DEL TUNEL SAN BENITO  
DE LA VIA FERREA CORONDIRO  
LAZARO CARDENAS"**

**T E S I S**

Que para obtener el Título de  
**INGENIERO CIVIL**  
P r e s e n t a

**PEDRO LUIS GERARDO BAZAN RODRIGUEZ**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA

FACULTAD DE INGENIERIA  
EXAMENES PROFESIONALES  
60-1-308.-

Al Pasante señor PEDRO LUIS GERARDO BAZAN RODRIGUEZ  
Presente.

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a -  
continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Pro-  
fesor Enrique Lavín Higuera, para que lo desarrolle como tesis en su -  
Exámen Profesional de Ingeniero Civil.

"CONSTRUCCION DEL TUNEL SAN BENITO DE LA VIA FERREA -  
CORONDIRO LAZARO CARDENAS"

- I.- Introducción
- II.- Localización y estudios preliminares
- III.- Procedimiento de construcción
- IV.- Método de excavación
- V.- Ademe y concreto lanzado
- VI.- Revestimiento
- VII.- Costo unitario de excavación, ademe y revestimiento
- VIII.- Comentarios

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento de lo  
especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social  
durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable -  
para sustentar Exámen Profesional; así como de la disposición de la Di-  
rección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima  
en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo  
realizado.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, 27 de octubre de 1978.  
EL DIRECTOR

  
ING. JAVIER JIMENEZ ESPRIU

JJE/OBLH/mdr.-

A MIS PADRES:

PEDRO LUIS BAZAN DUARTE

MA. ALICIA RODRIGUEZ DE BAZAN

Por su ilimitado Cariño y Confianza

A MI ABUELA:

MARIA MARTIN DEL CAMPO VDA. DE

RODRIGUEZ

Por su Integridad y Amor.

A MIS HERMANOS:

ROGELIO EDUARDO BAZAN RODRIGUEZ

GRISSEL DORA BAZAN RODRIGUEZ

Por su Estimulo y Afecto.

**A LOS INGENIEROS:**

**ARTURO MATEOS LOPEZ**

**ENRIQUE LAVIN HIGUERA**

**Por las oportunidades y enseñanzas.**

**A TODO QUIEN EN ALGUNA  
FORMA ESTIMULA MI VIDA.**

**A MIS ESCUELAS Y  
PROFESORES.**

Esforzarse por alcanzar una meta

Logrando vencer todo lo que haga falta

Buen camino se debe seguir

Antes de llegar al objetivo

Imposible nada ha de ser

Siempre que se desee

Estímulos y motivaciones no faltaran

Lego nunca debes ser

Así nada será difícil en la vida

Bazán

21-Sep.-79

# I N D I C E

<b>I</b>	<b>INTRODUCCION</b>	
	Generalidades	I
	Datos Generales	2
	Características de la Línea	3
	Datos de la Línea	4
	Datos de Proyecto	7
<b>II</b>	<b>LOCALIZACION Y ESTUDIOS PRELIMINARES</b>	
	Localización	8
	Estudios Preliminares	9
	Resumen de Métodos Geofísicos de Prospección a Profundidad.	II
	Método de Refracción Sísmica	II2
	Método Eléctrico resistivo	II3
	Resultado del Estudio Geológico	II4
	Conclusiones del Estudio Geoló- gico.	II7
<b>III</b>	<b>PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION.</b>	
	Introducción	III8
	Métodos Convencionales en la Excavación de túneles.	III21
	Método de Sección Completa	III21
	Método de Galería y bancoo ó media sección.	III22
	Método de Galería con el Túnel Piloto.	III23
	Método del túnel explorador	III24
	Emportalamiento	III25
	Barrenación de costura	III25
	Precorte	III26
	Coyoteras	III27
	Tipo Herradura	III28

#### IV METODO DE EXCAVACION

Elección del Método	31
Trazo	31
Barrenación	32
Cufias	37
Carga y Tronada	41
Ventilación	43
Riego	45
Diseño de Voladura	46
Principio Básico de la Distribución de carga en el barreno	46
Cálculo práctico de la carga	48
Voladuras Subterráneas (Túneles o Lumbres)	49
Cálculo de carga	50
Diagrama de Barrenación	55
Aspectos principales de la supervisión para la construcción de un túnel	62

#### V ADEME Y CONCRETO LANZADO

Introducción	65
Método de Terzaghi	66
Ademe para excavaciones en roca	68
Anclas	71
Concreto Lanzado	74
Funciones	75
Mezclas	76
Rebote	77
Colocación	78
Soportes	78
Conclusión	78

#### VI REVESTIMIENTO

Introducción	79
Propiedades del concreto convencional	79



Fabricación del concreto	80
Componentes del concreto	80
Aditivos	81
Características de las mezclas	81
Concreto transportado por tubería	82
Concreto transportado por banda	82
Dosificación y mezclado	83
Transporte del concreto	83
Colocación del concreto	85
Cimbras	86
Método Bernold	86
Revestimiento para el túnel "San Benito"	87

## VII COSTO UNITARIO DE EXCAVACION, ADEME Y REVESTIMIENTO

Introducción	89
Tabulador de Salarios	90
Costos básicos de materiales	91
Costos Horarios de máquinas	92
Análisis de costo unitario por unidad de obra terminada	94
Excavación sin Ademe	94
Excavación con Ademe	99
Marcos de acero estructural	101
Anclas de acero	103
Madera de rataque	104
Concreto hidráulico para recubrimientos	105
Cuantificación del precio para el túnel "San Benito"	110

VIII CONCEPTOS	III
BIBLIOGRAFIA	113

I

Introducción

GENERALIDADES

La construcción de túneles se remonta hasta los tiempos prehistóricos, cuando el hombre primitivo, buscando abrigo y protección contra sus enemigos excavó cuevas o bien agrandó algunas - existentes.

El túnel más antiguo es quizá el construido en la antigua Babilonia hace más o menos 4,000 años, por la Reina Semiramis o Nabucodonozor; el túnel comunica el palacio real con el templo Júpiter, pasando por debajo del río Eufrates, su longitud era de 1 Km. y de sección 3.6 x 4.5 mts.

Entre los constructores de túneles de la antigüedad se sabe que en Jerusalén construían hace 2,700 años, túneles para conducir agua con sección de 0.7 x 0.7 mts.; lo mismo que los griegos en la Isla de Sanos un túnel de 1,500 mts. con sección de 1.8 x 1.8 mts.. Los Romanos emplearon numerosos túneles en sus acueductos y caminos.

La habilidad de los romanos llega a México a través de los españoles y se refleja en la explotación de minas de época de la colonia.

Un ejemplo notable es la construcción del desagüe de la Ciudad de México en Nochistongo. Una parte se hizo por un túnel de 3.5 x 3.5 mts. y 6,600 mts. de longitud. El Virrey Don Luis de Velasco inició los trabajos el 30 de Noviembre de 1607, la obra encomendada a Enrico Martínez fue terminada el 17 de Septiembre de 1608. Se excavaron un gran número de lumbreras y según testimonios se emplearon más de 400,000 indios en su construcción.

En épocas más recientes y el arranque de la era tecnológica la aparición del ferrocarril, con sus limitaciones de pendiente y grado de curvatura, incrementó la construcción de túneles.

El primer túnel para un ferrocarril de tracción animal fué

construido en Francia para la Línea Ruan Andressieux en 1826 y en 1829 en la Línea Liverpool-Manchester fué construido el primer túnel para un ferrocarril con tracción de vapor.

La necesidad de grandes túneles exigió el desarrollo de nuevas técnicas, herramientas y así durante la construcción del túnel de Mont Cenis, entre Francia e Italia en 1857, el taladro hidráulico fué introducido y fué seguido por la pistola neumática, perfeccionada por Sommeiller. Por otra parte la dinamita fué inventada por Novel en 1864 y como resultado de todo lo anterior el nuevo túnel fué abierto al tránsito de trenes en 1871.

La construcción de grandes túneles alpinos; Gataro, Simplon y Lotschberg en Suiza, Semmenog, Tavern en Austria; Renco, Cal-Di-Tende en Italia, etc., promovió el diseño de equipos y técnicas de construcción más eficientes y así mismo el desarrollo de nuevas teorías sobre el comportamiento de rocas, análisis estructural y dimensionamiento del recubrimiento de túneles.

En el último cuarto de siglo se han mejorado las técnicas de perforación de túneles con un perfeccionamiento de los equipos usados en el método convencional como la aplicación de escudos y topes.

Los túneles pueden ser definidos como "Estructuras subterráneas dedicadas al transporte de personas o bienes y construidas generalmente, sin afectar la superficie.

Dependiendo de su finalidad los túneles pueden clasificarse como túneles para tránsito y túneles para conducción.

#### DETOS GENERALES

Siendo el ferrocarril uno de los medios de transportación terrestre más económico en el mundo; y considerando el creciente desarrollo y operación que se tendrá en la planta siderúrgica Lázaro Cárdenas(Sicarsa), se determinó la necesidad de construir un ferrocarril para la transportación de Insumos (carbón, produc

construido en Francia para la Línea Ruan Andressieux en 1826 y en 1829 en la Línea Liverpool-Manchester fué construido el primer túnel para un ferrocarril con tracción de vapor.

La necesidad de grandes túneles exigió el desarrollo de nuevas técnicas, herramientas y así durante la construcción del túnel de Mont Genis, entre Francia e Italia en 1857, el taladro hidráulico fué introducido y fué seguido por la pistola neumática, perfeccionada por Sommelier. Por otra parte la dinamita fué inventada por Novel en 1864 y como resultado de todo lo anterior el nuevo túnel fué abierto al tránsito de trenes en 1871.

La construcción de grandes túneles alpinos; Gataro, Simplon y Lotschberg en Suiza, Semmenog, Tavern en Austria; Renco, Cal-Di-Tenda en Italia, etc., propició el diseño de equipos y técnicas de construcción más eficientes y así mismo el desarrollo de nuevas teorías sobre el comportamiento de rocas, análisis estructural y dimensionamiento del recubrimiento de túneles.

En el último cuarto de siglo se han mejorado las técnicas de perforación de túneles con un perfeccionamiento de los equipos usados en el método convencional como la aplicación de escudos y topes.

Los túneles pueden ser definidos como "Estructuras subterráneas dedicadas al transporte de personas o bienes y construidas generalmente, sin afectar la superficie.

Dependiendo de su finalidad los túneles pueden clasificarse como túneles para tránsito y túneles para conducción.

#### DATOS GENERALES

Siendo el ferrocarril uno de los medios de transportación terrestre más económico en el mundo; y considerando el creciente desarrollo y operación que se tendrá en la planta siderúrgica Lázaro Cárdenas (Sicarsa), se determinó la necesidad de construir un ferrocarril para la transportación de Insumos (carbón, produc

harta la cota 400, posteriormente baja con pendiente de 1.3 % al arroyo del Chivo en el Km. 88+100 al que cruza con 160 mts. de elevación, sube con 1% al puerto de Los Cruces Km. 104+200 en la cota 300 y bajando con 1.3% a la cota 60 apoyándose en la margen derecha del río Balsas, llegando a Lázaro Cárdenas con pendientes y contrapendientes del 1%.

La curvatura máxima es de 6°, la vía proyectada es elástica con riel de 115 lb/yd sobre durmiente mixto, tipo R.S., siendo la longitud de la línea de 200 Km.

El terreno por ser muy accidentado y las características existentes hacen necesario la construcción de siete pasos superiores, dieciocho puentes y la excavación de 40 túneles.

Entre los túneles del proyecto se encuentra el túnel San Benito, motivo principal del presente trabajo.

**DATOS:**

Pendiente Gobernadora	1.3%
Grado de Curvatura Máximo	6°
Tipo de Vía	B (Vel. Media)

**DATOS DE LA LINEA**

Paso Superior - Apatzingán	Km. 3+578.00	
- El Letrero	Km. 7+034	
- Gambara	Km. 10+570	
Puente - Tepacaltepec	Km. 23+700	
Túnel 1.- Lourdes	Km. 25+108	Long. 62 mts.
Túnel 2.- Rosalba	Km. 25+480	Long. 260 mts.
Túnel 3.- Silvia	Km. 25+928	Long. 227 mts.
Paso Superior - San Pedro	Km. 35+804	
Túnel 4.- María	Km. 54+448	Long. 146 mts.
Túnel 5.- Yolanda	Km. 55+136	Long. 456 mts.
Túnel 6.- Anatolia	Km. 60+600	Long. 155 mts.
Túnel 7.- Edwiges	Km. 60+820	Long. 180 mts.

Paso Superior - Las Cañas	Km. 63+562	
Túnel 8.- Luz María	Km. 80+760	Long. 180 mts.
Túnel 9.- Bertha	Km. 85+280	Long. 340 mts.
Túnel 10.- Alicia	Km. 87+460	Long. 140 mts.
Puente - Los Chivos	Km. 88+100	
Túnel 11.- Huinduri	Km. 91+410	Long. 710 mts.
Túnel 12.- Jenitzio	Km. 95+500	Long. 190 mts.
Túnel 13.- Pintzandaran I	Km. 99+420	Long. 120 mts.
Túnel 14.- Pintzandaran II	Km. 99+650	Long. 110 mts.
Túnel 15.- Yunuen	Km. 101+400	Long. 260 mts.
Túnel 16.- Las Cruces	Km. 103+780	Long. 890 mts.
Puente - El Robalo	Km. 109+870	
Túnel 17.- Yori	Km. 110+900	Long. 160 mts.
Túnel 18.- Serahui	Km. 111+680	Long. 180 mts.
Puente - Infiernillo	Km. 112+100	
<u>Túnel 19.- San Benito</u>	Km. 112+520	Long. 360 mts.
Túnel 20.- Coricochi	Km. 114+020	Long. 260 mts.
Túnel 21.- Tacuarín	Km. 116+040	Long. 140 mts.
Puente - La Cañada	Km. 116+270	
Túnel 22.- Tarasco	Km. 124+032	Long. 41 mts.
Túnel 23.- El Yaqui	Km. 127+040	Long. 220 mts.
Túnel 24.- El Tarahumara	Km. 128+092	Long. 120 mts.
Túnel 25.- Los Cuervos	Km. 128+521	Long. 601 mts.
Puente - La Goleta	Km. 133+400	
Puente - Rincoñ Viejo	Km. 134+010	
Puente - Sansaniles	Km. 135+300	
Puente - El Atravesado	Km. 136+500	
Puente - El Sapo	Km. 137+500	
Túnel 26.- El Chamula	Km. 138+992	Long. 276 mts.
Puente - El Cobanito	Km. 139+500	
Puente - El Salvador	Km. 139+980	
Túnel 27.- El Huichol	Km. 141+011	Long. 81 mts.
Puente - La Camichina	Km. 141+200	
Túnel 28.- El Iacandón	Km. 142+480	Long. 134 mts.

Puente - Zapiate	Km.141+300	
Túnel 29.- El Cacachi	Km.143+460	Long. 100 mts.
Puente - Atuto	Km.143+650	
Túnel 30.- La Laja	Km.144+620	Long.1288 mts.
Puente - La Laja	Km.150+100	
Túnel 31.- El Lagarto	Km.150+960	Long. 228 mts.
Túnel 34.- La Tortuga	Km.159+436	Long. 136 mts.
Túnel 32.- El Pelón	Km.160+100	Long. 216 mts.
Puente - Los Papayos	Km.160+600	
Túnel 35.- Las Ranas	Km.160+700	Long. 236 mts.
Túnel 36.- La Culebra	Km.162+068	Long. 125 mts.
Túnel 33.- El Infarto	Km.162+264	Long. 76 mts.
Túnel 37.- El Tejón	Km.169+310	Long. 184 mts.
Túnel 38.- El Mapachón	Km.173+460	Long. 368 mts.
Túnel 39.- El Cavulín	Km.174+304	Long. 104 mts.
Puente - Guacamayas	Km.174+450	
Puente - El Bedén	Km.177+060	
Túnel 40.- El Bedén	Km.176+076	Long. 156 mts.
Paso Superior - Los Mangos	Km.182+970	
Paso Superior - La Lira	Km.185+365.	



DATOS DE PROYECTO

Los túneles de ferrocarril pueden ser de dos tipos de sección: Sección tangente y Sección curva.

Esta división es por el área de excavación, ya que la tangente necesita menor área por no llevar sobreelevación. Ver secciones tipo anexas.

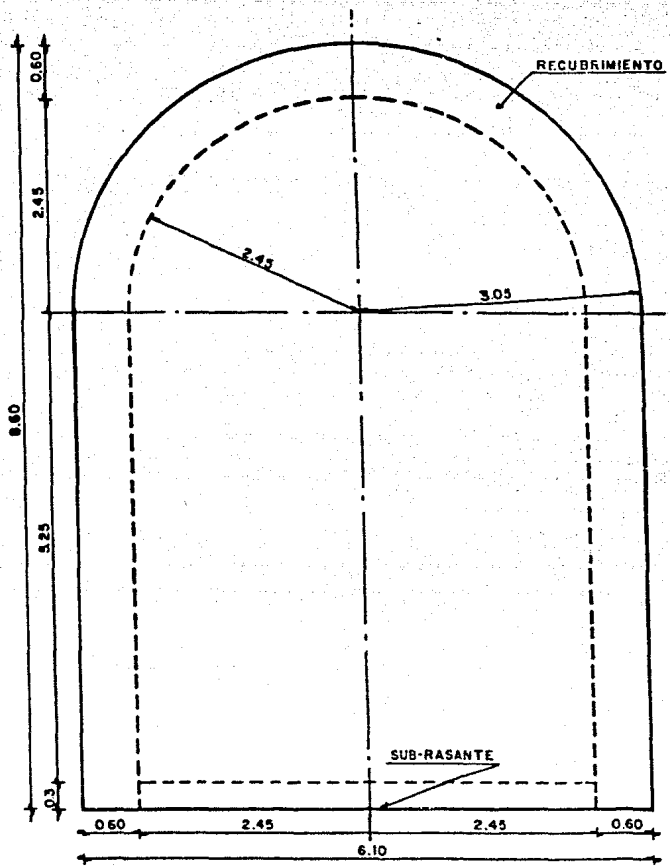
El túnel San Benito es en su totalidad de sección tangente, teniendo una pendiente del 1.3% descendiendo en el sentido del adelantamiento, las líneas de paso o donde empieza el corte para empujamiento son: de la estación Km. II2+492 a II2+520 en la entrada y del Km. II2+880 al II2+960 en la salida. Con un volumen de corte de 4,770 m<sup>3</sup>. en la entrada y 29,976 m<sup>3</sup>. en la salida.

Los portales según proyecto se localizan en las estaciones II2+520 y II2+880 dando una longitud de 360 m. de excavación.

La elevación en la entrada será de 128.83 MSNM y en la salida de 123.61 MSNM éste es a nivel de la sub-razante. Ver perfil y planta anexo.

Por ser un túnel en tangente el área de excavación es de 48.47 m<sup>2</sup>., con un ancho de 6.10 m., una altura al denominado punto medio de 5.55 m., un radio de curva en la clave o bóveda de 3.05 m., llevará un recubrimiento de concreto de 60 cm. y 30 cm. de sub-balasto a partir de la sub-razante.

A lo largo del túnel deberá llevar refugios a cada 30 mts. alternados, los cuales son de 0.30 x 1.20 mts. de sección, éstos es para que en el funcionamiento del ferrocarril sirvan de protección a los transeuntes y personal de mantenimiento.

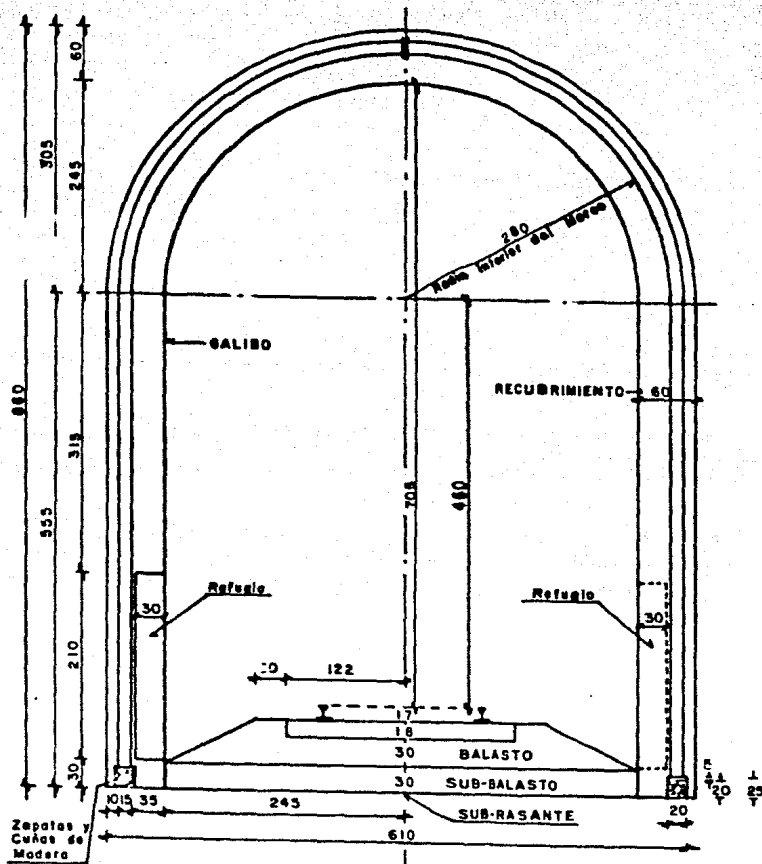


**UNAM** FACULTAD DE INGENIERIA  
INGENIERIA CIVIL

CONSTRUCCION DEL TUNEL  
"SAN BENITO"

SECCION TIPO  
TUNEL EN TANGENTE

TESIS PROFESIONAL  
Pedro Luis Gerardo Bazán Rodríguez  
N° Cto 7000239-5 | MEXICO DF. OCT. 1979



NOTA: Para el recubrimiento se empleará concreto simple de  $f_c = 150 \text{ kg/cm}^2$ . El espesor mínimo en las paredes será de 60 cm. Los refugios tendrán un ancho de 120 cm. y se espaciarán a 60 cm. en ambos lados alternados.

AREA DE EXCAVACION =  $48.47 \text{ M}^2$   
 AREA DE CONCRETO =  $11.84 \text{ M}^2$

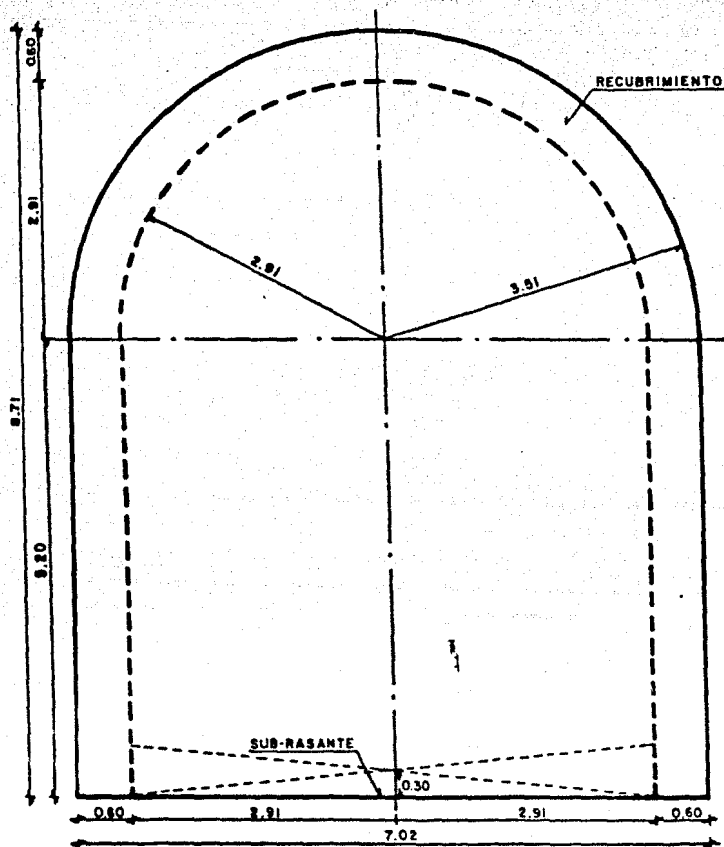
Ese. 1:50

**UNAM** FACULTAD DE INGENIERIA  
 INGENIERIA CIVIL

CONSTRUCCION DEL TUNEL  
 "SAN BENITO"

SECCION TIPO  
 TUNEL EN TANGENTE

TESIS PROFESIONAL  
 Pedro Luis Gerardo Beza Rodríguez.  
 N° Cta. 7000239-5 | MEXICO D.F. OCT. 1979.



UNAM FACULTAD DE INGENIERIA  
INGENIERIA CIVIL

CONSTRUCCION DEL TUNEL  
SAN BENITO

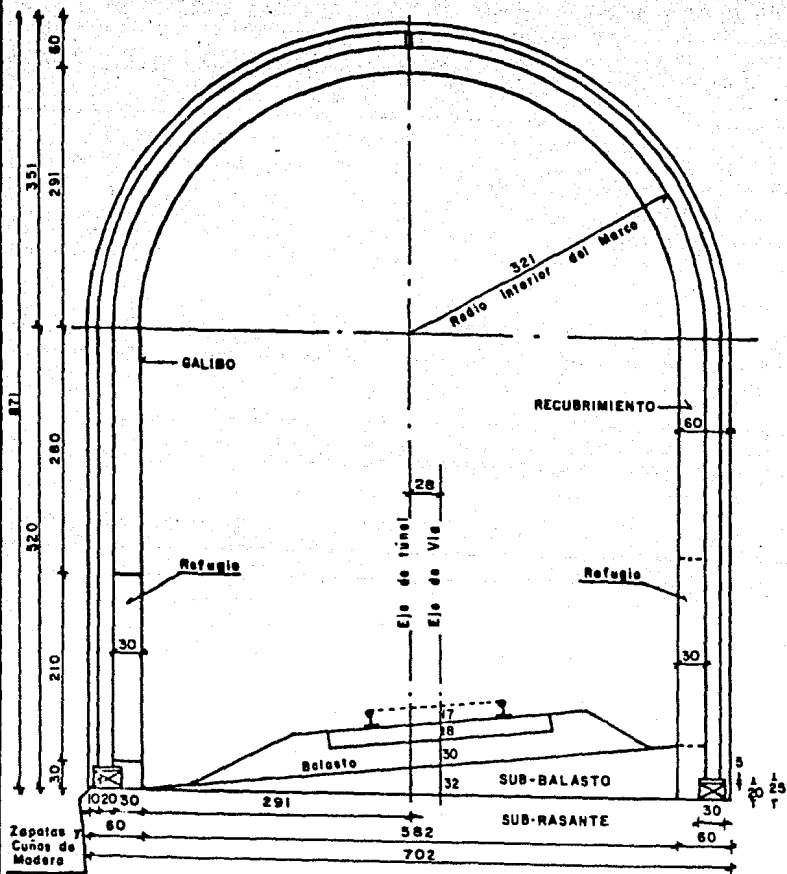
SECCION TIPO

TUNEL EN CURVA DE 6°

TESIS PROFESIONAL

Pedro Luis Gerardo Bazán Rodríguez

N° Cta. 7000259-5 MEXICO DF. OCT. 1979

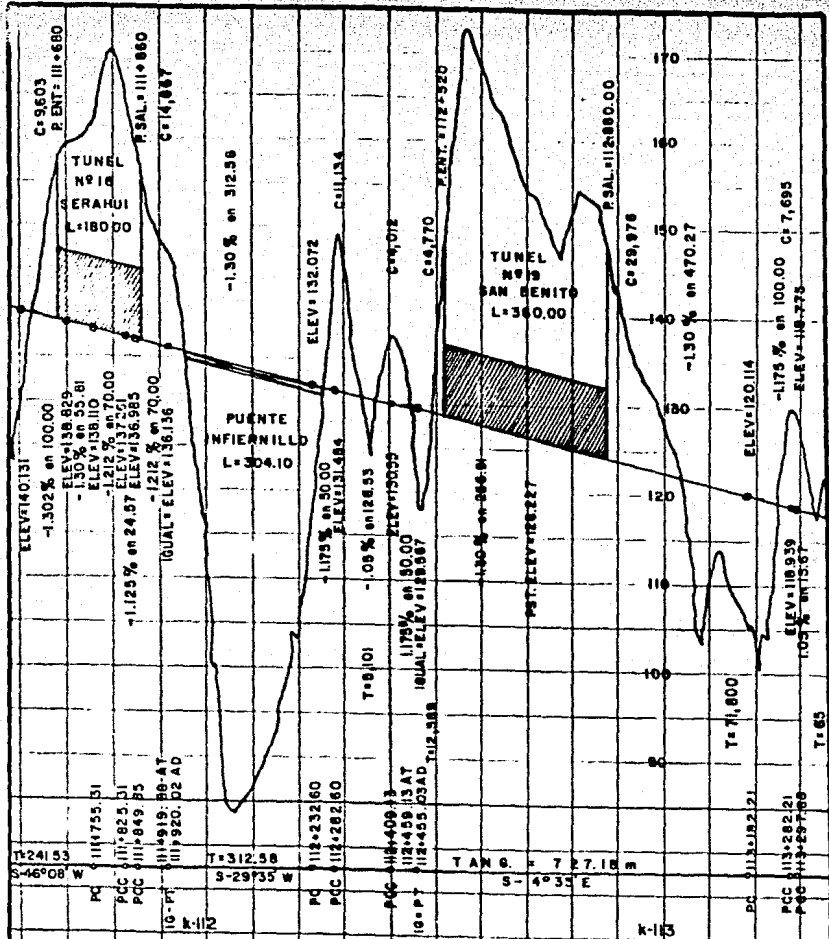


NOTA - Para el recubrimiento se empleará concreto simple de  $f'c=150 \text{ kg/cm}^2$ . El espesor mínimo en las paredes será de 60 cm. Los refugios tendrán un ancho de 120 cm. y se espaciarán a 60 cm. en ambos lados alternados.

AREA DE EXCAVACION = 58.85 M<sup>2</sup>  
 AREA DE CONCRETO = 12.29 M<sup>2</sup>

Esc 1:50

UNAM FACULTAD DE INGENIERIA	
INGENIERIA CIVIL	
CONSTRUCCION DEL TUNEL "SAN BENITO"	
SECCION TIPO	
TUNEL EN CURVA DE 6°	
TESIS PROFESIONAL	
Pedro Luis Garardo Bazán Rodríguez	
Nº Cta. 7000239-5	MEXICO D.F. OCT. 1978

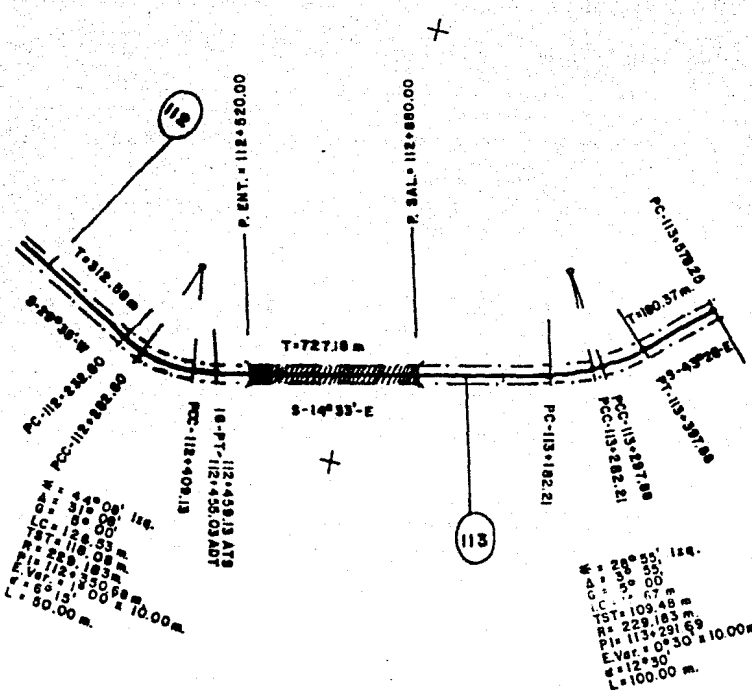


**UNAM** FACULTAD DE INGENIERIA  
INGENIERIA CIVIL

CONSTRUCCION DEL TUNEL  
SAN BENITO

P E R F I L

TESIS PROFESIONAL  
Pedro Luis Garza Bazán Rodríguez  
N° Cl. 7000239-5 MEXICO D.F. OCT. 1978



<b>UNAM</b> FACULTAD DE INGENIERIA	
INGENIERIA CIVIL	
CONSTRUCCION DEL TUNEL "SAN BENITO"	
PLANTA DE ALINEAMIENTO	
TESIS	PROFESIONAL
Pedro Luis Gerardo Bardon Rodriguez	
Nº Cta 7000239-5	MEXICO DF. OCT. 1979.

## II

Localización y Estudios Preliminares



### LOCALIZACION.

El túnel San Benito se localiza en la línea Coronado-Lázaro Cárdenas en el Km. 112+520 al 112+880 de la misma.

Encontrándose en la Sierra Madre del Sur, al sur del estado de Michoacán; en las proximidades del poblado de Infiernillo, donde se encuentra la presa del mismo nombre.

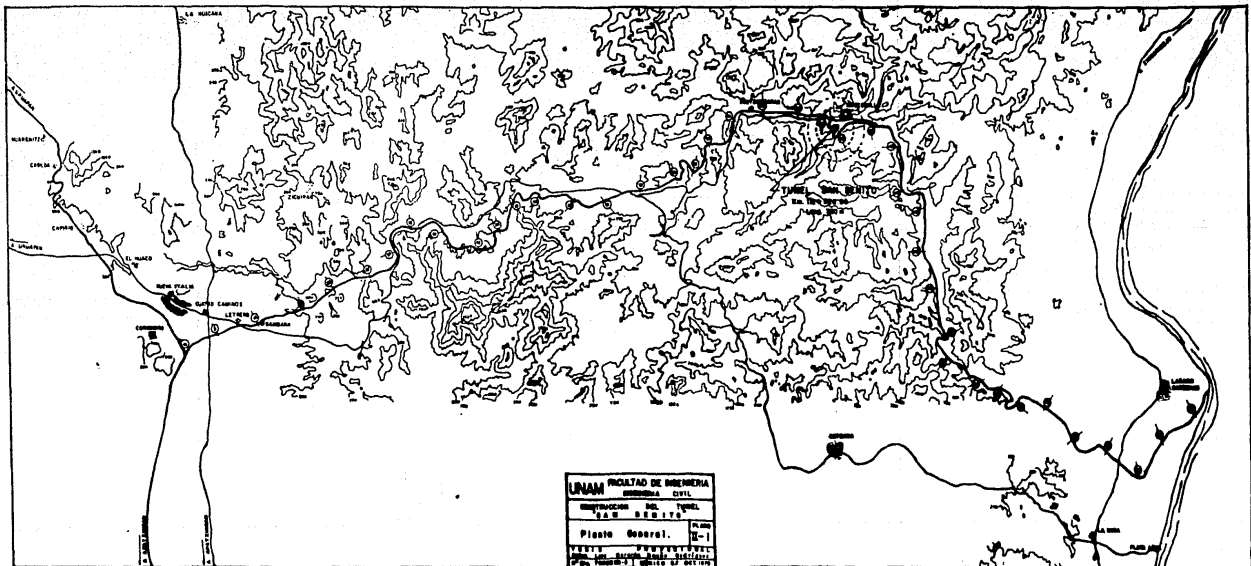
Situándose la zona entre los  $18^{\circ} 15''$  a  $18^{\circ} 30''$  latitud norte y  $101^{\circ} 15''$  a  $102^{\circ} 00''$  latitud oeste.

El clima de la región es caluroso y seco, con lluvias una vez al año; de Mayo a Octubre; las cuales son cortas y de poca duración, con ésto se tienen corrientes efímeras y muy pocas perennes en los arroyos, a excepción del río Balsas.

La vegetación es de tipo semidesértico muy variado, constituida en gran parte por arbustos espinosos y árboles de escaso follaje.

Geológicamente la región está constituida por rocas ígneas de tipo andesítico, con incrustaciones de diques silíceos de poca importancia.

Por su proximidad a la presa Infiernillo se localiza en una zona con gran experiencia tunelera, ya que en la construcción de la misma se llevó a cabo la excavación de varios túneles, los cuales nos pueden servir de base a la construcción de los túneles localizados en la proximidad de la misma como son: los túneles Yori Serahui, San Benito, Coricochi y el Tacuarín.



## ESTUDIOS PRELIMINARES

La exploración previa a la construcción debe ir encaminada a obtener información de aquellos aspectos geológicos que habrán de afectar la operación de tunelero.

El primer paso es establecer un marco geológico general del área hechando mano de toda la información disponible: Mapas, aerofotografías e información sobre experiencia previa de tunelero en la zona. Debiéndose llevar a cabo un reconocimiento geológico general, lo que se llama vulgarmente "caminar la geología".

Así pueden quedar establecidos un rango probable de tipos de rocas, estructuras (geológicas), regímenes de agua subterránea, grado de fracturación y de intemperación.

Especial atención deberá ponerse, desde los primeros estudios a identificar y evaluar los riesgos potenciales, rasgos geológicos críticos, que en un momento dado pueden causar retrasos o paros de la obra, pudiendo originar problemas de seguridad o de estabilidad, o que pueden requerir medidas especiales para poder continuar las operaciones de tunelero.

El estudio geológico previo a la construcción y el diseño de un túnel, debe prestar más esmerada atención a todos los rasgos geológicos, (tanto los más evidentes como los menos conspicuos y de más detalle) que puedan influir en la velocidad de avance y en los costos de construcción, cualquiera que sea el método de tunelero que se emplee.

El estudio geológico del área donde se pretende localizar un túnel, por lo general se lleva a cabo en tres etapas: En la etapa inicial, se efectúa un reconocimiento general, utilizando los mapas geológicos y topográficos y las fotografías aéreas disponibles del área, posiblemente imágenes de radar o de fotografía infrarroja. Se pretende obtener una primera impresión por gruesa o

sea, de las condiciones geológicas aparentes y planear las investigaciones y etapas subsecuentes.

La segunda etapa requiere una investigación más detallada, porque está enfocada a determinar la viabilidad o factibilidad de un trazo en particular. A este nivel se consideran las diversas alternativas de línea, basándose en la comparación de las condiciones geológicas dentro de la ubicación general de la ruta de túnel propuesta. La práctica recomienda sondeos con obtención de muestras (corazones de roca), prospecciones geofísicas y pruebas de laboratorio en ésta etapa.

Una vez elegido el trazo del túnel, se prosigue con la tercera etapa, que comprende investigaciones adicionales, especiales y más detalladas, cuyos datos habrán de ayudar al diseño final y a la estimación de costos del túnel.

Las prospecciones geofísicas proporcionan una valiosa ayuda en la determinación de las condiciones geológicas que existen bajo la superficie.

Las principales técnicas de prospección geofísica pueden clasificarse generalmente en éstas categorías:

- 1.- Medición de las variaciones de los campos magnéticos y gravitacional de la tierra.
- 2.- Medición de las diferencias de reacción de los materiales de la tierra y campos de fuerza artificialmente inducidos por impulsos eléctricos o sísmicos que se introducen a las masas de roca en la superficie terrestre o cerca de ella.
- 3.- Medición de corrientes eléctricas generadas espontáneamente por cuerpos geológicos.

La tabla siguiente es un resumen de los métodos geofísicos empleados en el estudio geológico.

## RESUMEN DE METODOS GEOFISICOS DE PROSPECCION A PROFUNDIDAD.

I.- Métodos Sísmicos que utilizan temblores artificialmente inducidos, por lo general por medio de explosivos o de impactos de masas pesadas.

A.- Método de refracción.

B.- Método de reflexión. (Grandes profundidades; Exploración petrolera).

II.- Métodos de Gravimetría que miden variaciones en el campo gravitacional terrestre relacionadas con la estructura geológica subterránea.

III.- Métodos de Magnometría que miden variaciones o contrastes en la susceptibilidad magnética de las rocas.

IV.- Métodos Eléctricos.

A.- Métodos que miden potenciales naturales o espontáneos.

B.- Métodos que miden caída de potencial en la corriente transmitida entre electrodos.

C.- Métodos que miden distorsiones o anomalías en campos eléctricos o magnéticos naturales o inducidos.

V.- Métodos basados en la medición de la radioactividad de las rocas.

VI.- Métodos que registran anomalías en la recepción de ondas electromagnéticas (ondas de radio). Transmitidas desde fuentes emisoras introducidas en barrenos.

En el túnel San Benito se efectuó el estudio geológico aplicando los métodos sísmicos de refracción y eléctricos resistivos:

El macizo rocoso en el cual se aloja el túnel en estudio, está constituido por formaciones ígneas de tipo andesítico, atravesadas a veces por diques silíceos de poca importancia. El sistema de fracturación es muy variable, sin presentar orientaciones

definidas.

En los diferentes lomeríos encontrados, se presentan zonas muy alteradas en áreas muy locales. Fuera de ellas, la roca se presenta sana aunque fracturada. Se pudo observar que, según los sitios, la composición mineralógica de la roca no es constante, el contenido de feldespatos y silicatos es variable, enseñando un facies diferente, pero dentro de la misma época geológica.

### Método de Refracción Sísmica.

El método de investigación por refracción sísmica se basa en el análisis de las oscilaciones producidas por un impacto instantáneo.

En la teoría de la elasticidad, se estudia el problema de las oscilaciones elásticas, considerando un medio homogéneo, isótropo y de dimensiones indefinidas, deduciéndose que la velocidad de propagación de las ondas elásticas es función del módulo de elasticidad, del coeficiente de Poisson y de la densidad de medio.

La propagación de las ondas elásticas sigue las leyes de propagación óptica y por tanto se rige con el principio de Snell que relaciona ángulos de refracción y celeridades.

En el caso de una capa de celeridad  $V_1$  sobre otra de celeridad  $V_2$ , mayor que  $V_1$ , se observará que el tiempo de propagación de la onda decrecerá a partir de una cierta distancia al transmitirse las vibraciones por la capa de fondo de celeridad  $V_2$ .

La profundidad hasta la capa de celeridad  $V_2$  puede ser calculada por las ecuaciones de la refracción.

De este modo, las mediciones geofísicas de espesores por el método de refracción sísmica, en esencia pueden limitarse a la medición de los tiempos que las ondas de compresión emplean para recorrer una distancia conocida, lo cual permite calcular las cele-

ridades respectivas y las profundidades de las diferentes capas si se adoptan dispositivos de mediciones adecuados.

### Método Eléctrico Resistivo .

El método eléctrico resistivo se basa en el estudio de la distribución del campo eléctrico potencial creado por una corriente de intensidad conocida.

La resistividad se determina mediante un simple dispositivo tetrapolar, clavado en la superficie; dos electrodos se alimentan con una fuente de energía cuya intensidad es conocida y otros dos electrodos de tensión miden la diferencia de potencial creada por la corriente inyectada.

La teoría matemática simplificada es sencilla. Si se considera un elemento de volumen ds a una distancia s en el semi-volumen ocupado por el dispositivo de medición, la resistividad absoluta de este elemento ds es:

$$\rho_s = \frac{C_s \cdot ds}{s}$$

Donde:

$\rho_s$  = Resistividad absoluta del elemento.

$C_s$  = Constante dependiendo del espacio considerado.

En el caso del estudio del túnel San Benito, el reconocimiento geofísico, por procedimientos eléctricos resistivos, se realizó por el método Wenner. Este consiste en la equidistancia entre los cuatro electrodos y la medición de resistividad es obtenida por:

$$\rho_a = 2\pi \cdot a \cdot \frac{V}{I}$$

Donde:

a es la distancia que separa dos electrodos consecutivos.

RESULTADO DEL ESTUDIO GEOLOGICO.

El área, donde se aloja el túnel San Benito, se encuentra - predominado por rocas ígneas extrusivas de composición andesítica. La exploración topográfica de estas rocas es de forma de montañas de gran altura, fuertes pendientes, aspecto semi-redondeado. Esto se debe a los efectos de una intensa erosión y un marcado intemperismo.

En ambas laderas (entrada y salida) se observan depósitos de talud. La parte superior del túnel está cubierta parcialmente por un suelo residual limo arenoso.

El fracturamiento va de moderado a intenso en superficie, su orientación es irregular y tiende a dividir la roca en fragmentos de dimensiones variables.

Hace falta notar, hacia la estación II2+750, la presencia de 2 diques que atraviesan la estructura.

Análisis de los Resultados.

Los 550 metros que interesan tanto del túnel como los cortes de entrada y salida, pueden dividirse en 5 zonas, tal como lo indica el plano No. II-3

## Zona I - Corte hasta el portal de entrada (II2+520)

La ladera en donde se va a abrir el corte se presenta muy escarpado y con un material muy intemperizado. Los tres primeros metros tienen una resistividad de 175 Ohmios-metro y una velocidad sísmica de 300 m/s. El material que corresponde a este estrato se clasifica OO-30-20 y los taludes podrán cortarse con una pendiente de 1/2:1.

El estrato inferior se prolonga hasta el nivel de la razante proyectada. Tiene una resistividad de 50 Ohmios-metro y una velocidad sísmica de 180 m/s. Se trata probablemente de una roca fracturada y alterada con clasificación OO-60-40.



Los taludes del corte podrán tener una pendiente de 1/4:1, a condición de sanear los bloques inestables. Es en este material que va a ubicarse el portal de entrada. Debido a la fuerte pendiente de la ladera, es indispensable emportalar cuanto antes para evitar una gran excavación de material poco estable a cielo abierto, aunque se presentará un problema de sostenimiento del techo del túnel hasta la estación II2+535.

Zona 2 - Desde la estación II2+520 hasta la II2+725.

Como se vió en el párrafo anterior, el portal de entrada va a ubicarse en un material descomprimido, hasta la estación II2+535. Se necesitará de un sostenimiento para no tener desprendimiento del techo.

A partir de la estación II2+535 hasta la II2+630, la excavación se efectuará en una roca buena, poco fracturada. Este material tiene una alta resistividad (600 Ohmios/metro) y una buena velocidad sísmica (4,500 a 5,000 m/s). No se necesitará de ademe.

A partir de la estación II2+630, la roca sana se sustituye gradualmente por otra de menor calidad hasta la estación II2+690. Este nuevo estrato tiene una resistividad de 120 a 140 Ohmios-metro y una velocidad sísmica de 3,400 m/s. Como se trata de la misma roca andesítica, la disminución de valor de las características geofísicas se deben a una mayor fracturación de la roca y seguramente, a una descompresión de ella.

La presencia del límite, en forma oblicua, provoca un debilitamiento del techo. Es posible que se necesite de un sostenimiento entre las estaciones II2+630 y II2+675. Si el programa de empleo de explosivos es adecuado, el ademe será mínimo. En caso contrario, un exceso de carga explosiva va a aumentar la descompresión y desorganizar el sistema de fracturación que pueden provocar hundimiento del techo. La excavación del túnel hasta la estación II2+725 se hará en el mismo material fracturado y encontrará los mismos problemas que el tramo comprendido entre las estaciones II2+630 y II2+675.

Zona 3 - Desde la estación II2+725 hasta la II2+760.

Este tramo de 35 m. se limita por dos zonas de transición que pueden coincidir con unos diques observados en superficie. A nivel del túnel la resistividad es de 200 Ohmios-metro y la velocidad sísmica de 3,900 a 4,000 m/s. La roca que se excavará es sana. El único problema será el sistema de fracturación que en un exceso de explosivos puede desorganizar. Bien excavado, este tramo necesitará de un ademado muy reducido.

Zona 4 - Desde la estación II2+760 hasta la II2+900 (portal de salida)

Esta zona es prácticamente una repetición de la zona 2. En solera, el material tiene una velocidad sísmica de 5,100 m/s y una resistividad alta (superior generalmente a 500 Ohmios-metro). La roca es de buena calidad y el sistema de fracturación deberá ser de poca importancia. En cambio la roca que se encontrará en el techo tiene solamente 100 Ohmios-metro de resistividad y 3,200 m/s como velocidad sísmica.

Aquí la roca puede ser algo decomprimida y permitir la apertura de las fisuras. Un exceso de explosivos es peligroso por la estabilidad de la roca en la clave.

Las recomendaciones expuestas en la zona 2 son válidas para ésta.

En cuanto a la ubicación del portal de salida, el proyecto la localizó en la estación II2+880. Los resultados expuestos en el plano No. III-3 indican la posibilidad de un desplazamiento en el sentido del adelantamiento (alargar el túnel) hasta la estación II2+900.

Zona 5 - Desde el portal de salida (II2+900) y corte de salida.

Prácticamente el corte de salida se va a excavar en un material bastante homogéneo. Tiene una velocidad sísmica de 3,800 m/s que permite dar una clasificación de 00-00-100.

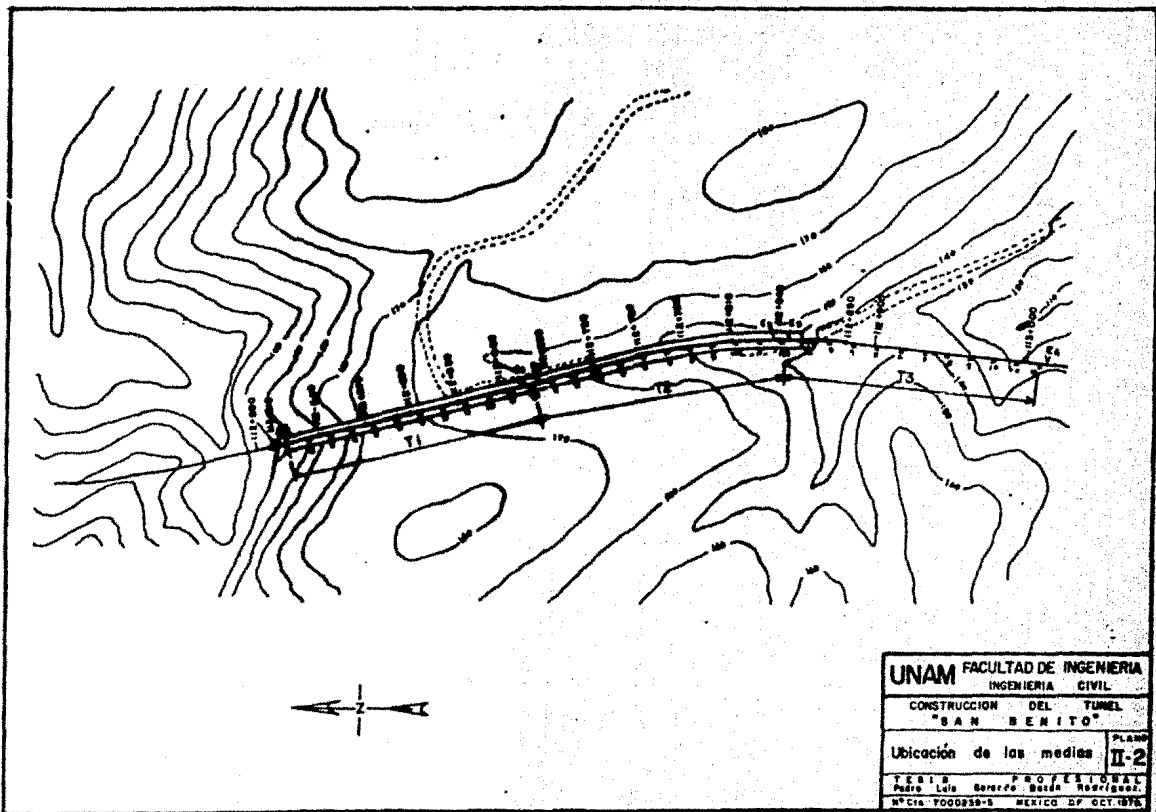
Se podrán tener los taludes con una pendiente de 1/4:1. Solamente en superficie, la roca tiene una velocidad sísmica de 500 m/s. La clasificación correspondiente es de 00-00-20 y los taludes necesitarán tenderse con una pendiente de 1/2:1. El espesor de éste estrato superior varía de 3 a 5 m. de espesor según el punto considerado.

#### Conclusiones del Estudio Geológico.

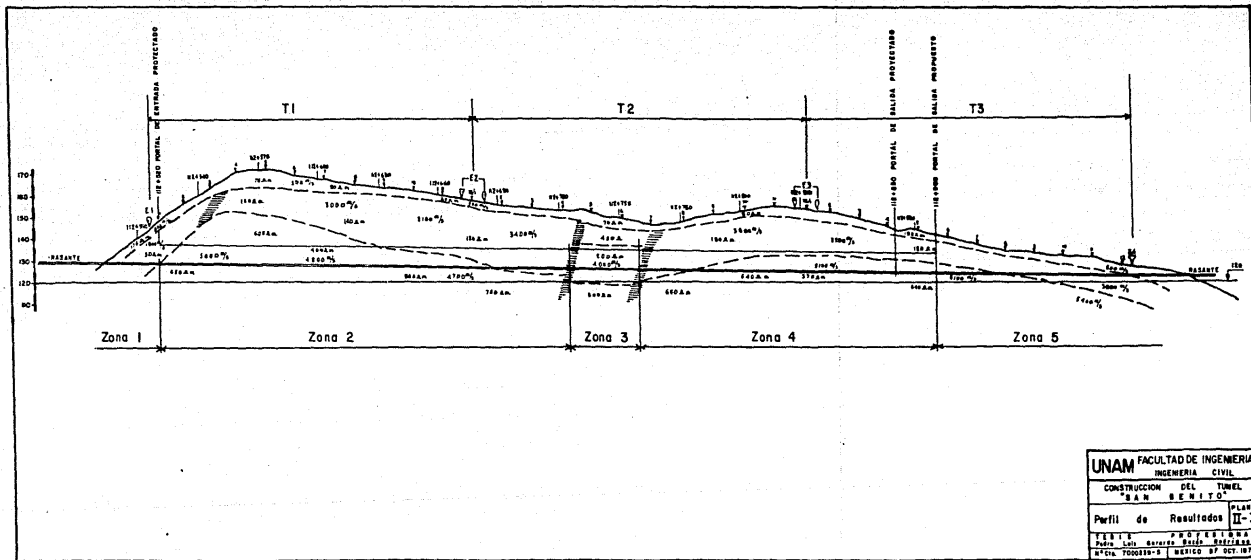
La excavación de este túnel no debería presentar problemas especiales. A lo largo de él, se va a encontrar una roca sana, más fracturada en clave que en solera. Esto se debe a que los límites coinciden en gran parte con el techo de la futura obra.

Salvo los portales de entrada y salida, éste túnel no debería necesitar de mucho ademe.

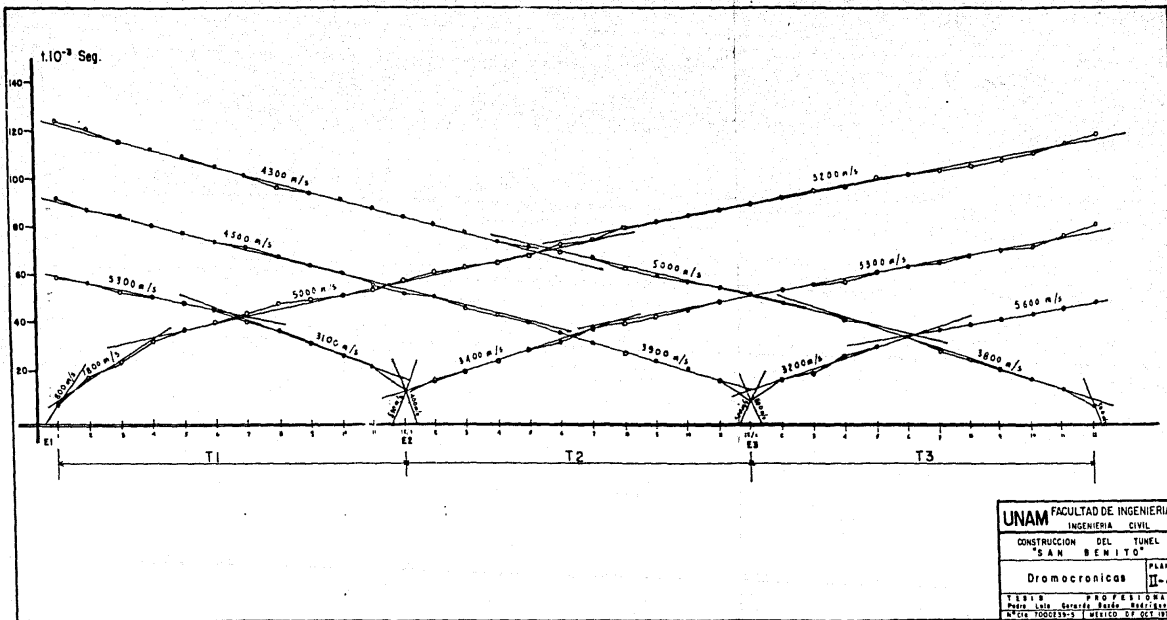
Es importante insistir, una vez más, sobre el empleo del explosivo. Este tipo de estructura no admite mucha cantidad por metro cúbico y por unidad de tiempo. Si se sobrepasa la cantidad necesaria, los bordes de las figuras y fracturas se desplazan y se abren, provocando una descompresión alrededor de la excavación. Esto trae como consecuencia una colocación de una cantidad mayor de marcos de sostenimiento para evitar derrumbes tanto en techo como en hastiales y encarece la obra.

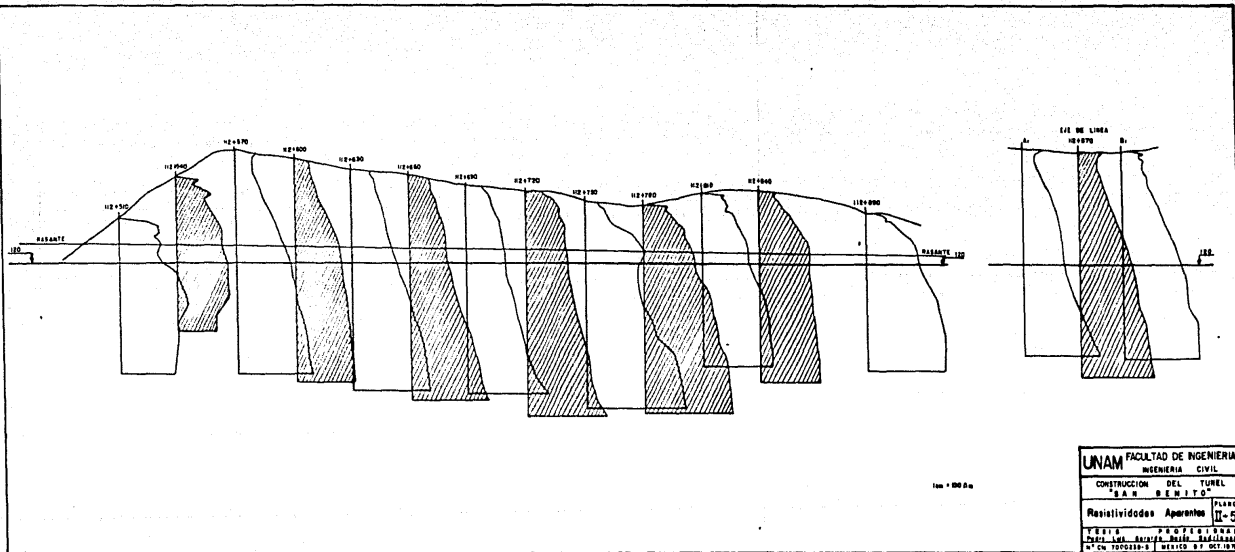


UNAM FACULTAD DE INGENIERIA	
INGENIERIA CIVIL	
CONSTRUCCION DEL TUNEL	
"SAN BENITO"	
Ubicación de las medias	PLANO II-2
T. B. S. PROFESIONAL Pedro Luis Sanchez Borda Rodríguez. N.º C. 1.º 700229-3 MEXICO DF OCT. 1976.	

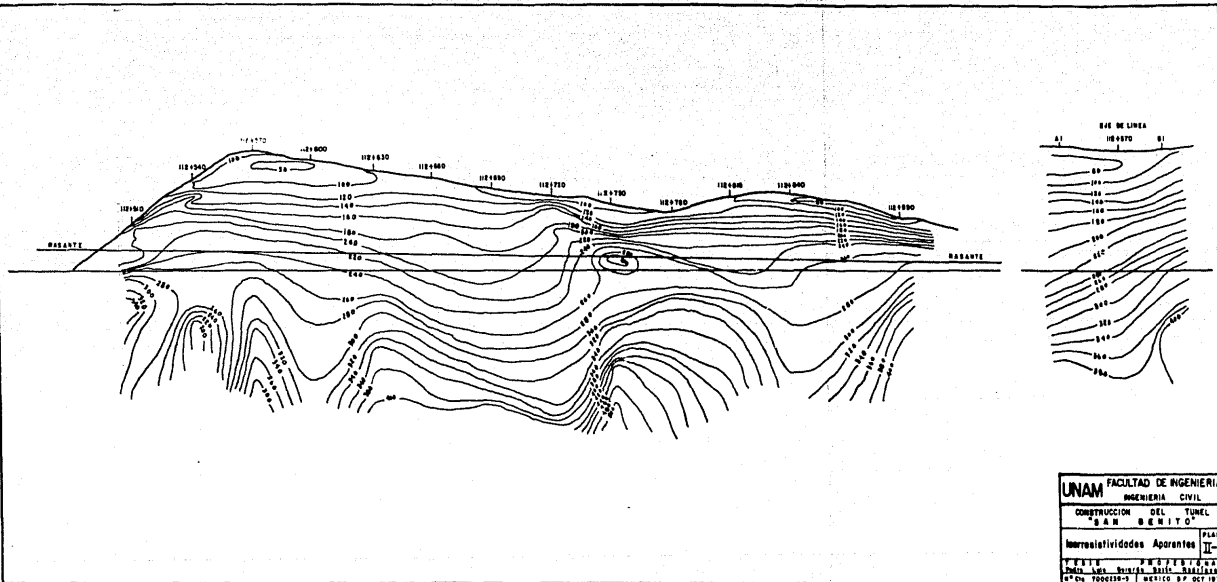


UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA	PLANO
	INGENIERIA CIVIL	
CONSTRUCCION DEL TUNEL		II-3
"SAN SEBASTIAN"		
Perfil de Resultados		
FECHA PROFESIONAL		
Punto San Sebastian, Estado Veracruz		
MEXICO, D.F. 1958		





<b>UNAM</b> FACULTAD DE INGENIERIA	
INGENIERIA CIVIL	
CONSTRUCCION DEL TUNEL	
"SAN BENITO"	
Resistividades Aparentes	PLANO
	II-5
HECHO EN MEXICO D.F.	
DISEÑADO POR: [Illegible]	
M.C. TORRES	



<b>UNAM</b>	FACULTAD DE INGENIERIA	PLANO
	INGENIERIA CIVIL	
CONSTRUCCION DEL TUNEL		II-6
"SAN BENITO"		
Inventarividades Aparentes		
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL CENTRO DE INVESTIGACIONES Y ESTUDIOS CIENTÍFICOS CARR. TOLUCA-1 MEXICO D.F. 04510		



### III

Procedimiento de Construcción

Procedimiento de Construcción.

Cuando a un Ingeniero se le presente el problema de ¿Cómo va a atacar? ¿Qué equipo se va a usar? ¿Cómo se va a organizar? etc., para la ejecución de un túnel, si no tiene un orden en sus ideas y conceptos, es muy probable que en su planeación, se enfrente a un problema mayor que la misma ejecución de la obra.

Dentro de la ejecución de las obras de Ingeniería, puede decirse que las excavaciones subterráneas presentan problemas complejos, básicamente por las sorpresas que puede dar la naturaleza, en la estructura interna del suelo.

Si nos proponemos representar esquemáticamente las informaciones que se requieren sean alimentadas a la planeación de la ejecución de una excavación subterránea tentativamente quedaría: Ver figura No. III-I

Dentro de la planeación, se realiza un proceso de combinaciones con los recursos básicos:

- a) Mano de Obra.
- b) Materiales.
- c) Equipo.

Y los datos de información que pueden variar desde cero hasta casi infinito, obteniendo un número de alternativas que también pueden llegar a ser infinitas.

¿Cómo ha sido resuelto el problema en realidad?  
A través de la experiencia y de la información.

Esto nos indica la importancia de los bancos de información y la comunicación de las mismas.

En las excavaciones subterráneas podemos decir que el avance tecnológico ha sido y será:

RECURSO	PRESENTE	FUTURO
<u>Equipos</u> a) Barrenación.  b) Rezaga	Se ha desarrollado bastante.  Se ha quedado atrás	Se tiene información. Se desarrollará aún más.
<u>Materiales.</u> a) Explosivos.  b) Artificios  c) Cargas de Explosivos.	Se ha desarrollado bastante.  Se ha desarrollado bastante.  Se ha desarrollado bastante.	Se tiene información. Se desarrollará aún más.  Se tiene información. Se desarrollará aún más.  Se tiene información. Se desarrollará aún más.
<u>Procedimientos Constructivos.</u> a) Técnicas de Voladuras.  b) Métodos de Rotura.	Se ha desarrollado bastante.  Se ha desarrollado bastante	Se tiene información. Se desarrollará aún más.  Se tiene información. Se desarrollará aún más.

Los adelantos técnicos en las excavaciones subterráneas, han abarcado todas aquellas actividades que están relacionadas con el ciclo de dichas excavaciones.

En los trabajos de excavación subterránea, las operaciones que se realizan son sucesivas, aunque en algunos casos puede haber traslape de las mismas pero en muchas ocasiones éstos traslapes de operaciones para reducir tiempo, resulta contraproducente pues las operaciones hechas de ésta manera crean cierto grado de interferencia que se traduce en bajo rendimiento por ciclo.

Así las operaciones del ciclo son:

- 1.- Trazo.
- 2.- Barrenación y limpieza de la misma.
- 3.- Carga de explosivos y conexos.
- 4.- Retiro de equipo y voladora.
- 5.- Ventilación.
- 6.- Rezaga (Remoción de escombros).
- 7.- Movimiento de Equipo, maniobras varias y Trazo Topográfico.
- 8.- Ademe y Soporte temporal (Cuando se requiera).
- 9.- Bombeo (Cuando se requiera).

Pueden existir otras actividades adicionales, dependiendo de factores previstos ó imprevistos, como Ademe, Bombeo, Amacices Anclaje, Concreto lanzado, etc.

Cada actividad durante el proceso, estará ligada a un tiempo de ejecución y todas las actividades en términos generales, siguen la secuencia mencionada.

En el capítulo siguiente se describirá cada una de las actividades del ciclo de Excavación.

## Métodos Convencionales en la Excavación de Túneles .

Hace algunos años las dimensiones de un túnel que se iba a perforar y el tipo de material através del cual se iba a abrir, influían en la selección del método de perforación; sin embargo recientemente, el tipo del equipo disponible con el que se va a efectuar la perforación, ha venido a constituir el factor de mayor importancia cuando se trata de determinar el método de perforación.

A continuación se describen los cuatro tipos de perforación que se emplean con más frecuencia en la perforación de túneles.

### Método de Sección Completa.

Este método es el más usado en la actualidad. Como su nombre lo indica se emplea una barrenación para sacar de una sola vez el área total del frente. Es usual en túneles con áreas menores de 100 m<sup>2</sup>, por este procedimiento. Sin embargo, desde la aparición y perfeccionamiento de las perforadoras hidráulicas montadas "Jumbo" y las máquinas rascadoras verdaderamente eficientes, este sistema ha sido adoptado para túneles de todas medidas con limitación de sección y terreno.

En este método la operación de sacar la rebara debe terminarse antes de comenzar la siguiente perforación, de lo cual se deduce la importancia de la misma.

Otra actividad importante, de este método es la perforación ya que de el resultado de ella dependen las demás actividades, lo mismo que el avance.

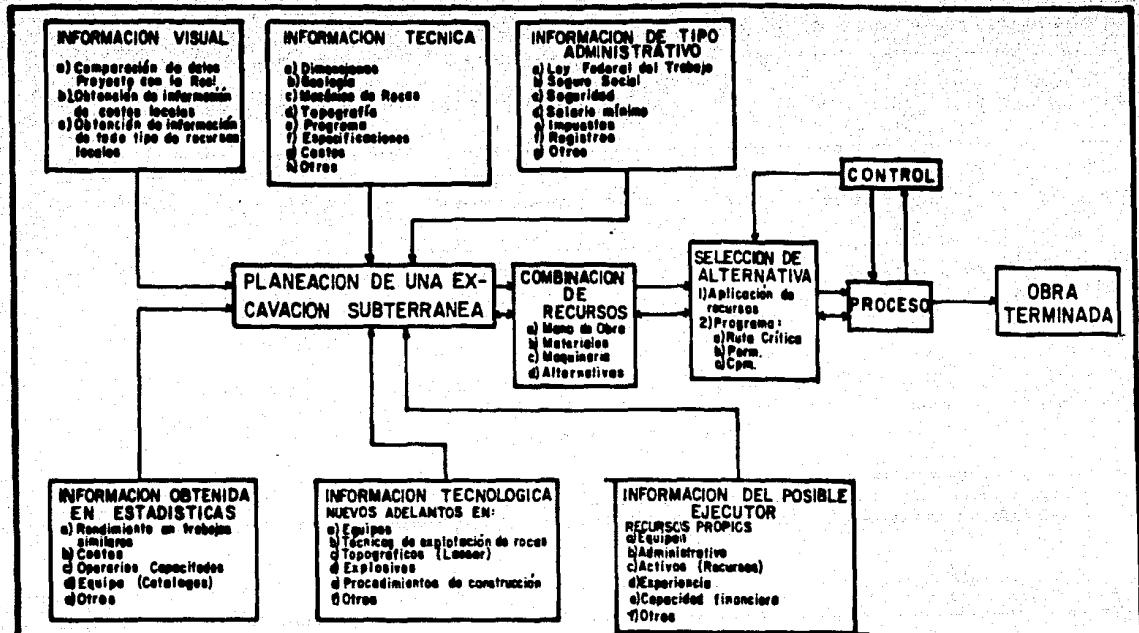
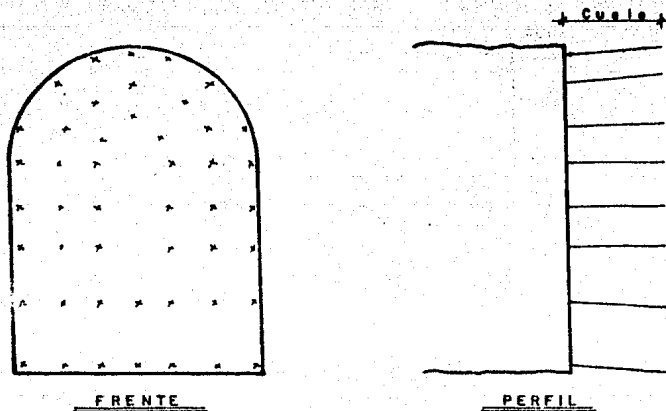


Fig. No III-1 Planeación de una Excavación Subterránea

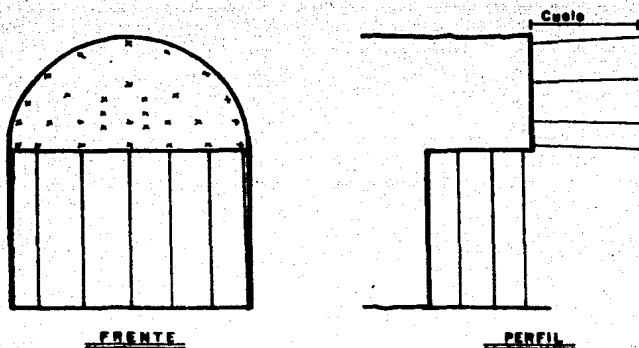


En la figura se ve un frente de sección completa.

Método de Galería y Banco, o Media Sección.

Este método se ha venido utilizando durante muchos años en material suelto. Consiste en perforar una galería en la parte superior del túnel de 2.50 Mtrs., aproximadamente de alto y tan ancha como vaya a ser el túnel. La parte baja o restante se saca de uno ó más excalones. El banco queda generalmente una barrenación atrás del frente de la galería superior.

La barrenación de la galería superior es típica de socavación ó galería (Depende el nombre del tipo de cuña); la barrenación del banco puede ser vertical u horizontal según convenga para la rezaga.



En la figura se ve una barrenación típica de galería superior y bancos empleando barrenos verticales en el banco.

#### Método de Galería Central Túnel Piloto.

Este método se ha venido usando en la perforación de muchos grandes túneles. Se abre una galería de 2.44 por 2.44 Mtrs ó de 3.05 por 3.05 Mtrs. en el centro del túnel proyectado, de acuerdo con los sistemas usuales.

Como regla general, esta galería se abre atravesando de lado a lado el túnel en proyecto antes de iniciar el ensanchamiento, aunque éste último no es absolutamente indispensable si se dispone de algún medio para sacar al mismo tiempo el material tanto del túnel piloto como del ensanchamiento.

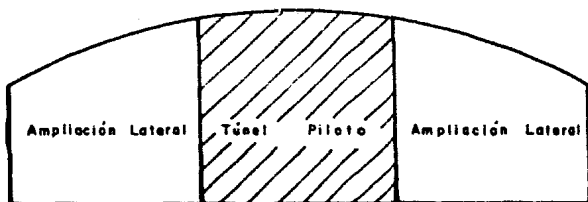


Figura: Sección típica por túnel Piloto.



Las dimensiones del túnel piloto las delimita el equipo disponible y el proyecto del túnel mismo. Este túnel piloto sirve a su vez de túnel explorador.

### Método del Túnel Explorador.

En los grandes túneles ferrocarrileros se ha usado este método, combinándose frecuentemente con el método el túnel piloto que acaba de describirse.

Se perfora una pequeña galería de 2.50 x 2.50 paralelo al túnel principal y como a 15 ó 25 Mtrs. de distancia del mismo; ésta galería es llamada "Túnel de Exploración".

Generalmente su excavación se adelanta considerablemente a la del túnel principal teniéndose de esta manera aviso oportuno de cualquier cambio de importancia en la formación de la roca; para así poder alterar a tiempo el método empleado en el túnel principal. Además a intervalos de más o menos 500 Mtrs. se abren cruces en su parte del túnel explorador hasta la línea que lleva al túnel principal ofreciéndose así dos frentes más desde los cuales puede perforarse el frente del túnel piloto o el frente total - principal.

El túnel de exploración no solamente sirve para abrir un gran número de frentes en el túnel principal y así permitir una perforación más rápida, sino que ofrece también un camino para desalojar la roca y un medio para mejorar la ventilación en los diversos frentes.

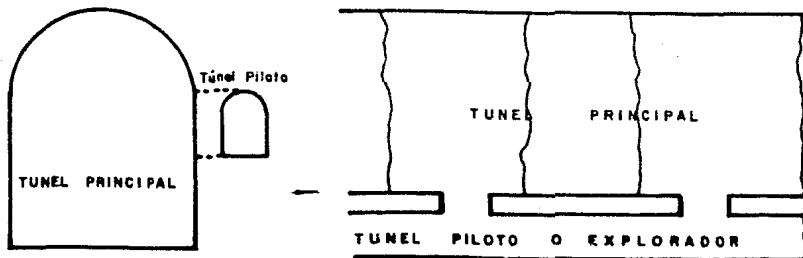


Figura: Sección Túnel Explorador.

EMPORTALAMIENTO

Los primeros trabajos para el emportalamiento de un túnel - son los cortes del tajo donde se alojara el mismo. Dichos trabajos se efectúan con los métodos tradicionales de corte en terrazas; usando Track Drill, Tractores y Cargadores, etc.

Quedando después del corte un tajo con un frente que puede ser el portal de Entrada o Salida, para el túnel San Benito dichos cortes tienen los siguientes volúmenes:

Tajo Portal Entrada = 4,770 M<sup>3</sup>

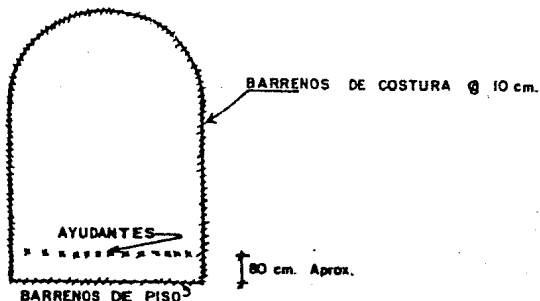
Tajo Portal Salida = 29,976 M<sup>3</sup>

Es de suma importancia la estabilidad del talud donde se alojara el portal ya que del mismo depende la seguridad del túnel.

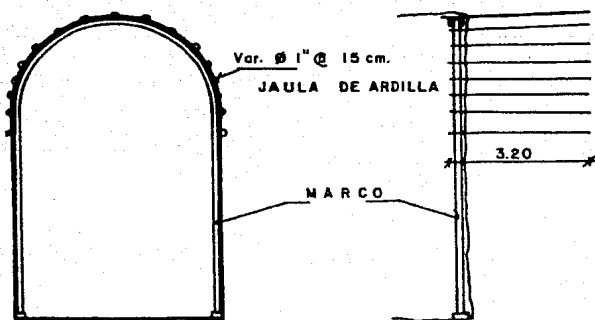
Una vez hecho el corte, amacizado el frente se continúa por el emportalamiento propiamente dicho el cual se puede hacer por varios métodos, dependiendo del tipo de terreno con que se cuenta. Mencionaremos unos métodos los cuales pueden tener las variaciones convenientes para un terreno determinado.

1er. Método.- Barrenación de costura.

Se barrena costurando toda la sección a 10 cm. con profundidad de 2.40 Ml. se cargan solamente los barrenos de piso y una serie de ayudantes superiores tronándolos.



Se rezaga y colocamos un marco de apoyo pegado al frente en donde se mete una jaula de ardilla de 3.20 ml. de longitud con una separación de 15 cm. de media sección hacia arriba.



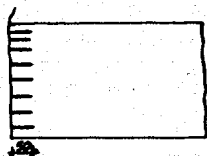
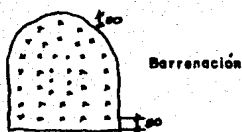
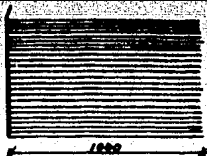
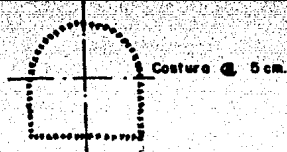
Después de colocada la jaula de ardilla se barren a media sección inferior y se truen; viendo que cae de la costura - que tenemos para poner un marco a 50 cm. del primero que tenemos; colocando los que quepan a cada 50 cm.. Se continúa así hasta llegar a los 2.40 de la costura y se procede a poner otra jaula de ardilla para poder truen a sección completa.

Se siguen poniendo marcos a cada 50 cm. hasta encontrar material consistente.

Este método se ocupa en cualquier material; se recomienda en materiales tejados o fracturados, arenas compactadas (Tupururuy). No es aplicable en arcillas o suelos.

#### 2o. Método.- Precorte.

En este método se costura a cada 5 cm. con una profundidad de 10 cms., los cuales se cargan con primocort, lo cual garantiza el precorte, al truen. Se barren toda la sección a 50 cm. de profundidad y a 50 cm. de retiro de la costura.



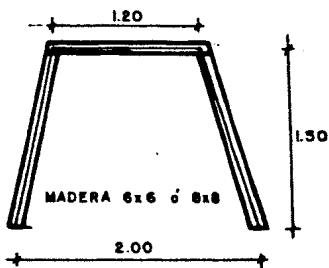
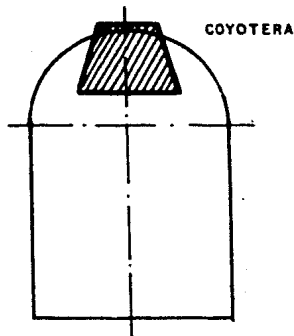
Se limpia el frente y se pone el Ier. marco a 50 cm. y se continúa así hasta encontrar terreno firme.

Si se acaba el Ier. precorte y aún no se encuentra terreno firme se efectúa otro de la misma manera hasta que se crea conveniente. Este método se usa en terreno muy fracturado pero siempre roca.

### 3er. Método.- Coyoterías.

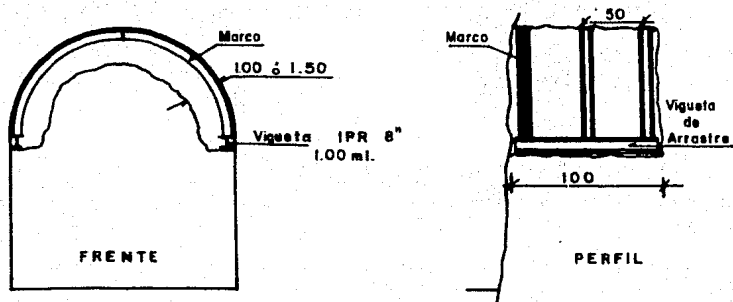
Se hacen coyoterías de 2 m. x 1.50 x 1.20 ML. a 20 cm. arriba de la clave del túnel, con las cuales se excavan 10 Mtrs. Permi-  
tiendo así conocer el terreno que se va a encontrar y proceder a tronar media sección o sección completa.

En la coyotera se colocan marcos de madera a cada 50 cm.

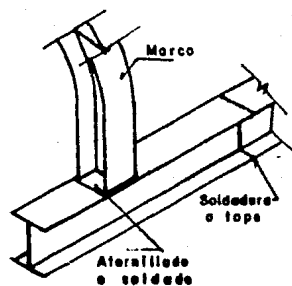
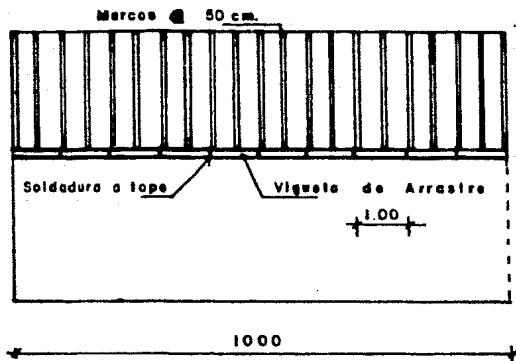


3. Método.- Tipo Herradura.

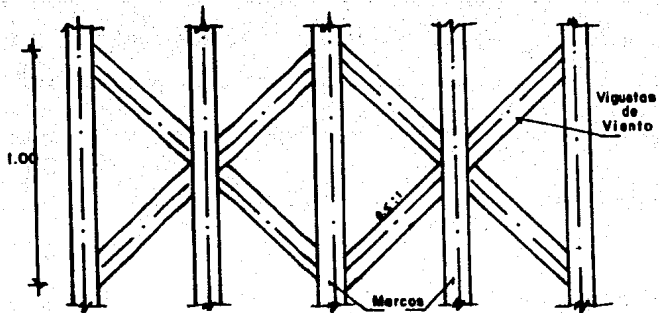
Se hacen 1/2 sección con un tipo herradura de 1.00 a 1.50 m. de ancho y aproximadamente 1 ml. de profundidad en la cual se coloca una viga I P R de 8" de I. H. de long. para arrastre donde se colocan marcos a cada 50 cm. con la sección herradura; la excavación se hace a puro martillo neumático.



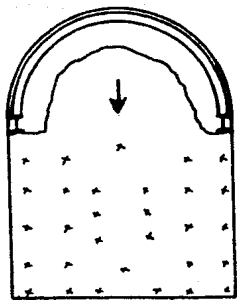
Se continúa así mismo hasta alcanzar una profundidad de 10' - 12'. Los marcos de herradura se soldan o se atornillan a la viga de arrastre la cual va soldada a tope en tramos de 1 ml.



A continuación se procede a soldar unos vientos entre marco y marco para formar una armadura.

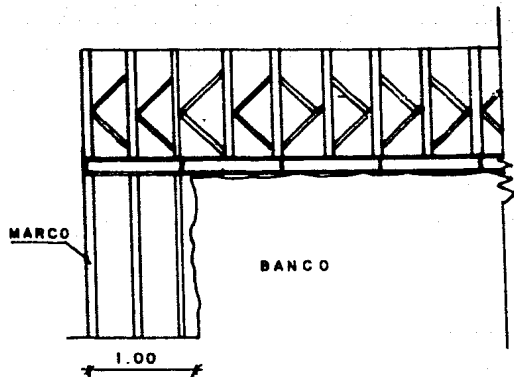


Los vientos le dan rigidez a la serie de marcos; permitiendo tronar el banco a un metro de profundidad. Una vez rezagado se completan los marcos de la sección herradura, los cuales se soldan o atornillan.



BARRENACION a 1.0 ml

FRENTE



BANCO

PERFIL

Así se continúa bancueando hasta los 10 El. Después se excava según se vea el terreno ya sea por el mismo método: a media - sección o sección completa, etc.

Este método se usa en material muy flojo, muy triturado, saturado de agua, lodos, arcillas, etc.

Estos son los métodos para emportalar un túnel, es conveniente mencionar que no son los únicos y que se pueden seguir otras recomendaciones como anclar el talud del frente; lanzarlo de concreto, etc. Para dar mayor seguridad a los trabajos de emportalamiento.

# IV

Método de Excavación



METODO DE EXCAVACION.Elección del Método.

Para una buena elección del método para excavar un túnel es necesario, como ya se ha visto, poseer una serie de información que nos permita tener varias alternativas; entre esta información está el estudio geológico, la maquinaria disponible, el personal capacitado, los datos de proyecto etc..

En el túnel San Benito, por sus características, se ve la necesidad de atacarlo por el método de Sección Completa, ya que las recomendaciones de los datos geológicos y las dimensiones del proyecto así lo permiten.

Como ya se mencionó en el capítulo anterior, el método consiste en atacar, de una sola vez, todo el frente por lo que el ciclo básico de trabajo queda:

Trazo  
 Barrenación  
 Carga y Tronada  
 Ventilación  
 Jezaga  
 Ademe (Cuando sea necesario)

Por lo cual describiremos brevemente cada una de las actividades correspondientes.

Trazo.

Se entiende por trazo, la marcación física de la sección en el terreno mismo.

Esta actividad la ejecuta el Dep. Topográfico, el cual marca el centro, radio y nivel del túnel; si es necesario marca cada uno de los barrenos en posición para así poder barrenar con precisión.

El tiempo de esta actividad es aproximadamente de 20 minutos. Es de suma importancia llevar bien controlada la línea y nivel de un túnel, para lo cual se referencian puntos en el transcurso de la excavación dentro del mismo, para así evitar errores que podrían ser sumamente contraproducentes.

### Barrenación.

Las barrenaciones normalmente se nombran por el tipo de cuña que se utiliza para abrirlas.

El tipo de cuña empleada, la longitud de barrenación y el número de barrenación por disparo, dependen del tamaño del frente que se esté trabajando y de la dureza del material que se debe romper además del equipo disponible para el trabajo.

Al planear una excavación con el uso de explosivos, debe de finirse en primer término el coeficiente de barrenación, la resistencia del material que se va a remover y la longitud de barrenación.

Estos datos, hay que recalcar, resultan básicos para preparar correctamente los diagramas de barrenación.

En una excavación subterránea, el 30% del costo de la operación total está en la barrenación y por lo tanto, su influencia en el costo es muy fuerte.

Por otra parte, de la barrenación que se realice, depende la selección del equipo. La cantidad de barrenos necesarios para voladura depende del diámetro de los mismos, de la resistencia del material, del tipo de cuña que se elija y de la fragmentación deseada.

Las Figuras IV-1 y IV-2 nos ayudan con el número de barrenos por voladura, el coeficiente de barrenación en valores promedio relacionados con la sección neta del frente, los que se han

obtenido a base de la experiencia.

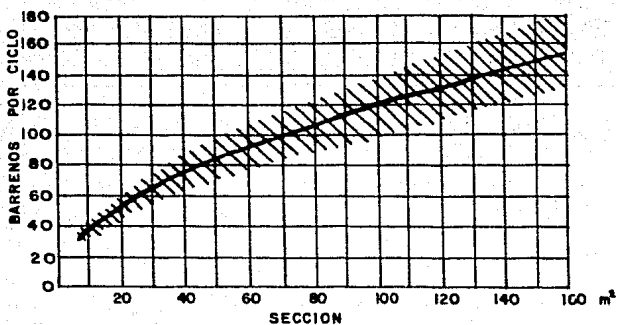


Fig. IV-1 Número de barrenos en función de la sección

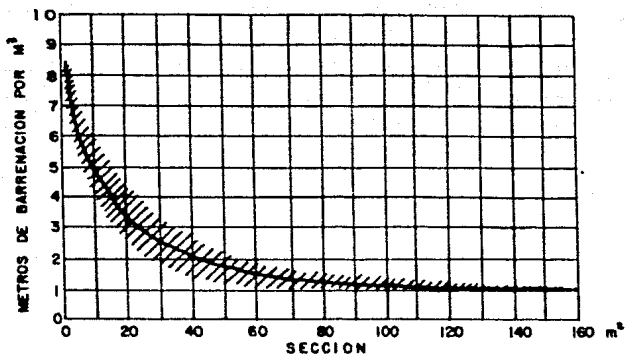


Fig. IV-2 Longitud de barrenación por m³ en función de la Sección

Con éstos datos se puede seleccionar el diagrama de barrenación deseado y el tipo de cuña más adecuado.

Hay que destacar que la barrenación teórica no es siempre la solución económica, ya que si se incrementa el coeficiente de barrenación o la cantidad específica de explosivos, puede obtenerse mayor avance y balancear el volumen de rezaga con la capaci-

dad de equipo disponible para removerla.

Para obtener la cantidad de explosivos, la Figura IV-3 muestra valores prácticos como una función del área neta excavada. Esta gráfica nos proporciona una manera rápida y muy acertada de la forma de calcular la cantidad de explosivos por tronada. De otra manera se puede calcular esta cantidad, considerando la carga de fondo con densidad  $d^2$ /gr/l. y definiendo como fondo del barrenos una longitud de aproximadamente 1.3 V, la cuña debe cargarse con 40% a 100% de dicha densidad y debe dejarse de 0.5 a 1.0 m. para teco.

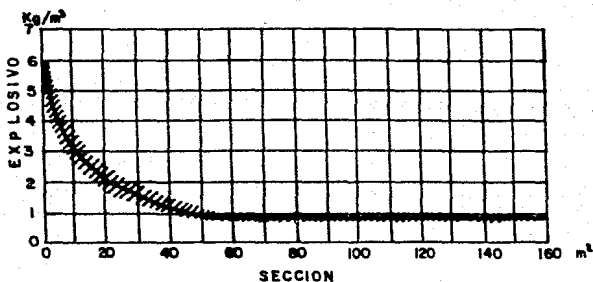


Fig. IV-3 Cantidad de explosivos en función de la Sección

Si este cálculo se puede realizar, debe compararse con el valor obtenido por la gráfica y hacer las correcciones necesarias.

Para estimar el número de perforistas debe considerarse que su rendimiento depende de la longitud de barrenación por ciclo, para sección y velocidad de perforación dadas, puesto que hay tiempos que se requieren entre detonaciones, sin embargo existen tablas que nos ayudan, con una aproximación, a determinar el número de perforistas normal por ciclo de ocho horas variando con la sección neta.

Ver gráficas IV-4 , IV-5, etc.

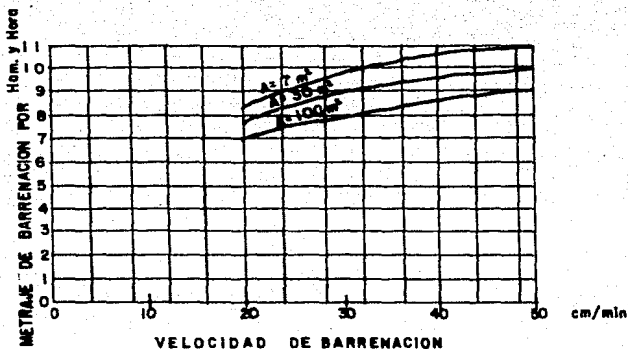


Fig. IX-4 Metroje de barrenación por hombre y hora

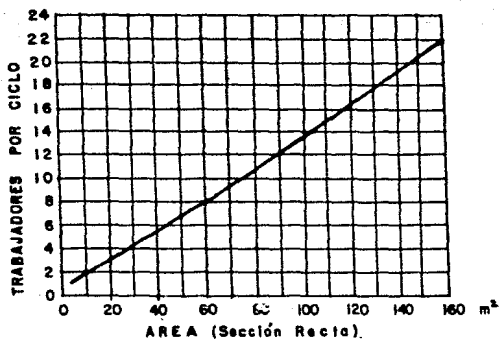


Fig. IX-5 Trabajadores por ciclo

En frentes muy pequeños, la barrenación puede consistir únicamente de la cuña, un par de ayudantes y los barrenos de tabla; en tanto que, en frentes grandes, la barrenación puede incluir la cuña, varios juegos de ayudantes y varias líneas de se

gundos ayudantes.

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

Cuando se emplea fulminante y mecha para iniciar las barrenaciones, es imposible asegurar que dos barrenos disparen simultáneamente, a menos que se junten o casi lo hagan, pueden dispararse a la vez por propagación. Puesto que en la práctica es difícil que se realice lo anterior, todos los barrenos cargados deben cebarse por separado; y en barrenaciones con cuñas en ángulo debe hacerse cualquier esfuerzo para que algunas parejas de barrenos disparen en el mismo instante, la experiencia indica que solo de este modo puede obtenerse la máxima eficiencia en voladura, especialmente en roca dura.

La forma de asegurar que dos o más barrenos disparen prácticamente al mismo tiempo, es utilizando estopines eléctricos de retardo.

También a menudo es deseable emplear retardos en cuñas en V colocadas para proporcionar una secuencia de disparo de pequeños intervalos en los diferentes pares de barrenos. Este método usualmente mejorará la fragmentación y reducirá el lanzamiento de materiales de la cuña.

Después de haber disparado la cuña, el resto de la barrenación romió hacia la abertura proporcionada; para la obtención de los mejores tiempos, el método de disparo eléctrico es el recomendado para retardar la barrenación.

Los tiempos de disparo en la cuña son los menores, después pueden cebarse con el mismo período de retardos, grupos de barrenación que no interfieran entre sí.

### Cuñas

Ya en los pútreos anteriores se ha estado mencionando continuamente una abertura en el terreno sólido, generalmente en el centro de la cara, que se necesita para poder avanzar en cualquier frente. A esta abertura se le llama "Cuña" y es importante en cualquier perforación de túneles, ya que sin una buena cuña los barrenos no se pueden romper con efectividad. Por tal motivo haremos una referencia especial a esta abertura en los párrafos siguientes:

Existen en general, tres tipos de cuñas:

- a) La cuña en ángulo, dentro de las que destacan la cuña triangular, la de cónico y la cuña piramidal.
- b) La cuña succionada o fragmentada.
- c) Combinaciones de las otras dos.

Las cuñas en ángulo se basan en que los barrenos se hacen formando un ángulo con lo frente para proporcionar la mayor libertad de movimiento que sea posible para la roca quebrada.

Este tipo de cuña utilizan menos barrenos por disparo y usualmente su consumo de explosivos es menor por metro de avance.

Una desventaja es que la V de roca formada por la cuña puede salir lanzada desde lo frente en piezas grandes que pudieran dañar al trabajador.

El uso de cuñas en lugar de mandrines ha reducido esta objeción a las cuñas en ángulo en muchas operaciones.

En donde sea necesario reducir el lanzamiento de roca grande y evitar a romper una cuña en ángulo profundo, pueden emplearse pequeñas cuñas en V.

Cada cuña en V consiste en dos barrenos hechos a partir de dos puntos tan retirados como sea posible, sobre lo frente para sentarse o casi hacerlo en los fondos de los barrenos, como se

ve en la figura siguiente:

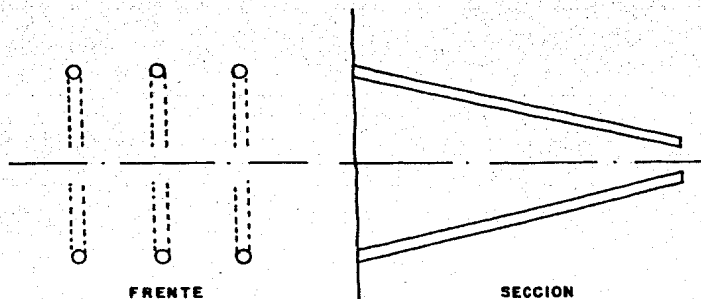


Fig. IX-6 Cuña en V

La cuña puede consistir en una V ó en varias V, perforadas paralelamente una a la otra. Las cuñas en V en los cañones pueden hacerse horizontales o verticales, dependiendo de cual posición permite el mayor ángulo entre barrenos de la estructura o estratificación de la roca, sobre el tipo de equipo disponible.

En barrenaciones más profundas ó en rocas muy difíciles de romper, las cuñas pueden ser W, conociéndose como doble V.

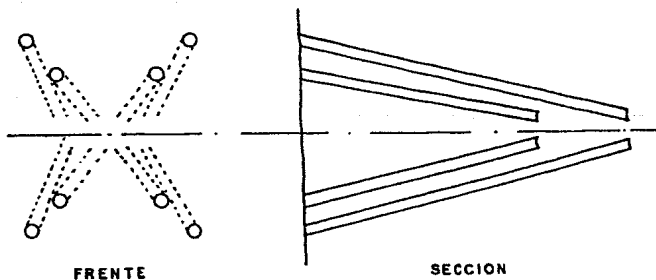


Fig. IX-7 Cuña en doble V



Una modificación de la cuña en V, es la conocida como cuña martillo.

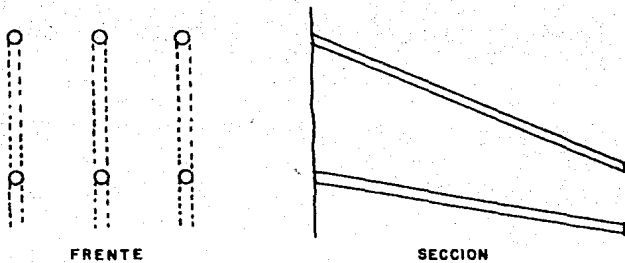


Fig. IX-8 Cuña Martillo

Es particularmente útil en pequeños frentes, donde la barrenación se efectúa con frecuencia con pistola montada en piernas y donde debido a la falta de espacio, es difícil perforar una cuña en el centro de la cara.

Las cuñas cuemadas o fragmentadoras, consisten en hacer varios barrenos muy próximos entre sí y perpendiculares al frente, y en la que solamente algunos de ellos se diseñan para romper hacia el espacio abierto proporcionado por los barrenos vacíos.

Las cuñas cuemadas, por lo general, necesitan más barrenos por disparo, y un factor de voladura más elevado; sin embargo, al aumentar el avance por disparo, proporcionan mayores economías, ya que se puede tomar ventaja de la profundidad óptima de barrenación acomodándose así al ciclo más económico de barrenación, voladura y rezo.

Es de lo más importante que los barrenos de una cuña cuemada se hacen exactamente paralelos y a la distancia adecuada.

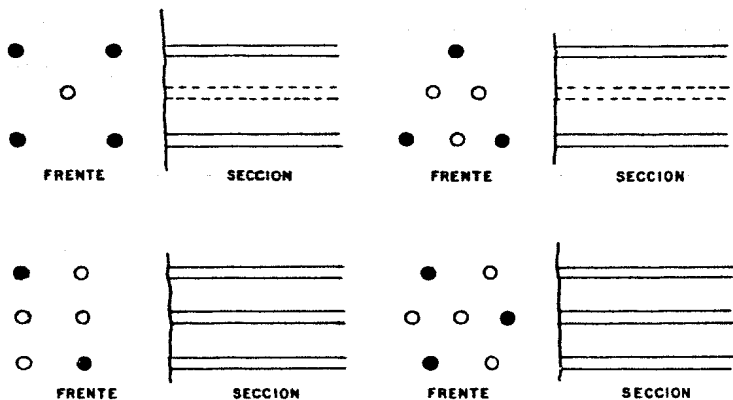
También la cuña cuemada debe perforarse de 15 a 30 cm. - aproximadamente más larga que los otros barrenos de voladura.

Las cuñas cuemadas pueden perforarse en cualquier parte del frente con los barrenos apuntando según se desea, pero siempre paralelos uno con respecto del otro. Así, la poca cuemada que sale de la cuña puede dirigirse hacia el punto donde produzca el menor daño al poderamen.

Normalmente, la cuña se perfora perpendicular a la cara y algo al centro de ella; por razones de seguridad, la perforación debe variar de dirección o diámetro para evitar la necesidad de barrenar la siguiente cuña en el fondo de la cuña anterior.

Fundamentalmente, todas las variaciones de la cuña cuemada utilizan el mismo principio, a diferencia de las cuñas en ángulo, que están diseñadas para romper una pirámide o un cono de material; las cuñas cuemadas se diseñan para romper o pulverizar la roca, rompiéndola en pequeños fragmentos que suelen ser llevados por la explosión para dejar una abertura más o menos en línea.

Las siguientes figuras muestran varios de los patrones más comunes.



○ - Barrenos que no deben cargarse

● - Barrenos cargados



Fig. IV-9 Cuñas Paralelas

La práctica usual, es dejar uno o más barrenos descargados para proporcionar espacio abierto hacia el cual puedan romper los barrenos que sí tienen carga.

El espaciamiento más recomendable en este tipo de cuñas que maderas, es como máximo, 3 veces el diámetro del barreno.

Para concluir el tema de barrenación diremos que en el túnel San Benito, con un área de 48.47 M<sup>2</sup>, se necesitan aproximadamente 60 barrenos dependiendo de la cuña usada, y un número de 8 perforistas por ciclo, dando una barrenación en promedio de 3.5 hrs., estos datos son obtenidos con máquinas montadas sobre pierna.

#### Carga y Tronada.

Esta actividad se puede ejecutar casi al final de la barrenación, dependiendo de la sección del túnel. Consiste en soplear los barrenos para evitar así que estén tapados o con exceso de agua, de ahí se mete la expoleta o cebo, después se meten las bombillas, por lo regular, de tres en tres y se retocan con un fainero para dar la densidad de carga necesaria.

La carga puede ser también a carril o con otra serie de aparatos para la aplicación de los diversos tipos de dinamita.

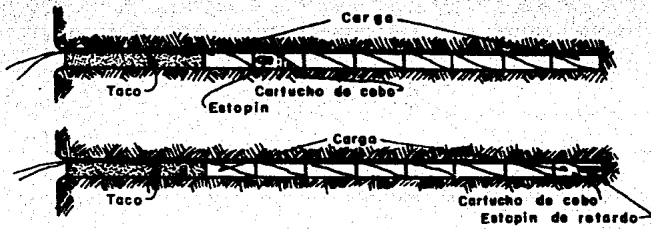


Fig. IX-10 Barranos cargados con estopin

En la figura se ve un diagrama cargado con sus diversos elementos.

Una vez cargados todos los barranos, se procede a conectar y se van revisando cada uno de las uniones con un galvanómetro hasta checar la última conexión; de ahí se procede a retirar todo el equipo y se revisa la línea para proceder a tronar.

La actividad de carga es, aproximadamente, efectuada en 1.5 hrs. dependiendo del terreno. Este tiempo es para 82 barranos aproximadamente.



Fig. IX-11 Amarre en cebo

### Ventilación.

El propósito de la ventilación es mantener el aire fresco en el interior de túneles, especialmente cerca del frente de trabajo, evitando así la contaminación por gases tóxicos, polvo, calor, etc.

La ventilación se obtiene generalmente por la circulación de aire desde el portal de entrada del túnel, hacia el lugar de trabajo por medio de ductos que transportan el aire que es arrojado por ventiladores. Este sistema de ventilación de aire, comúnmente se le llama ventilación por el método de "Soplo". Cuando el aire se extrae del interior del túnel hacia afuera se le denomina "ventilación de escape". Cabe hacer la aclaración que la ventilación se puede efectuar también por un sistema combinado de soplo y escape simultáneamente, utilizando para este efecto dos ductos separados, es decir, uno para soplar y el otro para el escape.

La selección de un sistema de ventilación se puede basar en las siguientes consideraciones:

1o.- Determinación de los factores relativos a la ventilación en el área de trabajo, siendo los más importantes:

- a) El tipo de ventilación.
- b) La cantidad de aire requerida.
- c) La distancia desde el portal de entrada hasta el frente de trabajo.

2o.- Selección del ventilador y el tipo de ducto para proporcionar la cantidad de aire requerida en el área de trabajo.

### Factores que determinan la ventilación en el área de trabajo

I.- Causas de Contaminación en el Aire.

a).- Gases producidos por Explosiones.- Después de cada tronada, una cierta parte del túnel es cargado con gas y el humo que se forma, debido a la desintegración de los explosivos. Estos gases contienen monóxido de carbono y vapores nítricos que son tóxicos en concentraciones.

b).- Formación de Polvo.- La explosión en un túnel produce un alto contenido de polvo, y no solamente durante esta operación, sino durante la barrenación misma.

c).- Formación de gases debido a los Motores de Combustión Interna.

Estos gases contienen una cierta cantidad de gases tóxicos que contienen especialmente monóxido de carbono. Es necesario mantener el aire fresco del túnel bajo ciertos límites permisibles, como son: 0.06-0.1% para el monóxido de carbono.

d).- Calor producido por las rocas.- Cuando la temperatura de la roca es alta, la ventilación también es requerida para mantener temperaturas máximas de 35° sobre todo en el área de trabajo.

## 2.- Remoción de la Carga Explosiva

Esto se debe principalmente a problemas ocasionados por un mal sistema de ventilación, destacando: la circulación de la ventilación, cortina de humo, excesiva ventilación. Para todos estos casos existen tablas y fórmulas para valuar o corregir la cantidad de aire y se encuentran asentados en el Manual de voladura de roca editado por la Compañía Atlas Copco.

### Determinación de la cantidad de aire requerido.

Una vez descritas las causas que dan origen a una ventilación adecuada en un túnel, es necesario determinar el gasto o cantidad de aire requerida para mantener el túnel en condiciones de trabajo.

Para ello utilizamos una regla muy simple pero que en la práctica ha dado buenos resultados: El volumen de aire que debe circular en un túnel debe ser igual a  $V=2N M^3/M$  donde N es el total de la fuerza expresada en caballos de fuerza del total de vehículos de combustión interna que trabajan en el interior del túnel.

Después de aplicar esta regla empírica, el contenido de monóxido de carbono contenido en los gases puede ser determinado directamente tomado de los gases de escape de los vehículos. Así si este contenido de monóxido de carbono se representa por  $C_I$ , y si  $V$  es el volumen de los gases de escape dado por un vehículo en  $M^3/Seg.$ , el volumen requerido para disipar el contenido de monóxido de carbono en el túnel y 0.01% (1/10 000) debe ser:

$$Q = 10,000 V \cdot C_I$$

Para aplicar ésta fórmula es necesario lógicamente conocer V. Cualquiera que sea el tipo de ventilación adoptada, como una regla práctica, la velocidad del aire debe fluctuar entre 0.5 a 1 Km/Hr, La ventilación debe durar aproximadamente 20 minutos.

#### Rezaga.

La rezaga depende del volumen promedio que salga en cada voladura. En túneles de F.C., considerando un avance por tornada de 2.10 Ml., más resultaría un promedio de 101.78  $M^3$ , para lo cual se necesita tener un cargador adecuado. Para rezagar existen cargadores de orugas de descarga lateral, cargadores neumáticos, máquinas neumáticas sobre ruedas o vías.

En el túnel San Benito, se ve la necesidad de utilizar un traxcavo lateral sobre orugas por el ancho de 6.10 Ml. y dos camiones para rezagar.

El tiempo de rezaga en un túnel de F.C. debe durar aproximadamente 3 Hrs.

### Diseño de Voladura.

En el diseño de una voladura de túneles intervienen varios factores basados en la voladura de rocas. Por lo cual explicaremos ligeramente algunos principios, para después ser aplicados a túneles.

#### Principio Básico de la distribución de carga en el Barreno

La carga tiene dos partes, la carga de fondo y la carga de columna. Existe una parte arriba sin carga, que generalmente se rellena con un material no explosivo; a esta parte se le llama T<sub>co</sub>.

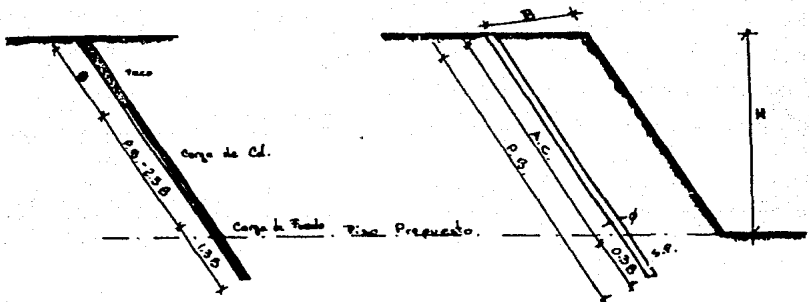


Fig. IV-12 Distribución del explosivo

La carga de fondo tiene que romper no solamente las paredes laterales sino que también el fondo del borde. La resistencia en el fondo es mucho más grande, es necesario de principio cortar la roca y después superar la fricción entre el piso y la roca arrancada. Por eso la carga de fondo debe ser concentrada al fondo del barreno.

Pero no es posible concentrar la carga en un solo punto, - hay que dar cierta extensión para poder poner la cantidad necesaria de explosivo.

Se ha demostrado que se puede utilizar el explosivo al máximo si la carga de fondo tiene una extensión igual al borde B, -



arriba del piso del banco, y 0.3 B, abajo de este piso.

Entonces la carga de fondo tiene una longitud de 1.3 B. Por la diferencia entre la carga teórica puntual y esta carga extendida, bajo la eficiencia de la C.F. y la potencia corresponde solamente a 0.9 B, es decir, que se pierde el 40% de la potencia.

Normalmente una voladura a cielo abierto tiene dos caras libres, la superficie arriba y el frente. Pero como la carga de fondo tiene la capacidad de arrancar esta parte, se puede considerar que la columna también tiene una cara libre en el fondo. Entonces el trabajo para la carga de columna es muy leve. Según Langerfors, la carga de columna es el 40% de la carga de fondo, calculado por metro lineal. En la práctica ésta cifra varía entre 40 y 70% por las requisiciones de fragmentación.

En una voladura, son factores importantes:

- a) Constante de roca,  $C=0.4 K_E/K^3$ .
- b) Proyección.
- c) Lanzamiento.
- d) Hinchamiento.
- e) Fragmentación.

Tal vez, en una voladura, lo que más nos interesa es la fragmentación, ya que, si logramos lo que deseamos, podemos así mejorar tiempos de carga, material para lo que se necesite etc..

Variables de las cuales depende la fragmentación.

- Las propiedades de la roca (frecuencia y tamaño de las fisuras, etc.).
- La carga específica ( $K_E/K^3$ ).
- El tipo de explosivo.
- Distribución de carga.
- Longitud del taco.
- La barrenación específica ( $m/m^3$ ).
- Bordo.
- Espaciamiento.

- Desviación de la barrenación.
- Secuencia de ignición.
- Intervalos entre los estorninos.
- Altura del banco.
- Número de hileras en la tronada.
- Condiciones en los límites de la tronada.

#### Cálculo práctico de la carga.

Antes de llegar al cálculo práctico nos falta definir el espaciamiento entre los barrenos en una hilera, con el símbolo E.

Existe un límite teórico bastante acertado de 1.25 en la relación E/B, y arriba de este límite trabajan los barrenos independientemente, mejorando la fragmentación.

Para el cálculo práctico, primero se calcula el bordo máximo teórico y ya que se ha definido, la concentración normal de la carga; el bordo es únicamente función del diámetro nominal de la broca como medida del barreno, aunque sabemos que hay algunas variaciones por brocas gastadas, etc.

$B_{max} = 45 \times d$ , donde  $d$  es el diámetro del barreno.

Por errores en el arranque y dirección del barreno no se puede usar el bordo  $B_{max}$ , sino un bordo B y la diferencia es la desviación probable en el fondo del barreno. Los errores se calculan normalmente como sigue:

Desviación del arranque = 5 cm.

Error en la dirección = 3 cm/m barreno.

$B_{prac} = B_{max} - (\text{Desv.} + \text{Error en la dirección})$

Existe una regla práctica para bancos de alturas normales, la cual es,  $B_{prac}$  en metros es igual al diámetro del barreno en pulgadas.

Ejemplo: -----  $\phi = 1 \frac{1}{4}$        $B_{prac} = 1.25$  m.

Se trabaja solamente para evitar los errores de desviación

en el fondo de los barrenos, ya que con esto se mejorarían las voladuras.

Para la concentración de carga de fondo existe otra fórmula bastante simple:

$$C.F. = \frac{d^2}{1000} \text{ Kg/m.}$$

La altura de la carga de fondo es 1.3 B.

La carga de columna debe ser 0.4 a 0.5 de la carga de fondo y con el taco = B, aproximadamente, tenemos ya todo el barreno cargado, y si no hemos olvidado el Estopin podemos tronar y ver los resultados.

De lo anterior, ya tenemos nociones básicas de lo que es un barreno y como está constituido, pasemos ahora propiamente a lo que es una voladura subterránea.

### Voladuras Subterráneas (Túneles o Lumbres).

La diferencia principal entre voladuras de túneles y voladuras de banco es que en el túnel hay solamente una cara libre, — comparado con mínimo dos, en un banco. Esta cara es perpendicular al avance del frente. Por esto, se necesita crear una apertura en todo lo largo del avance previsto y después volar la roca sucesivamente hacia la apertura.

En la ampliación de la apertura se aplica el método de voladuras de banco. Pero la carga específica es mucho más alta por las siguientes razones:

- a) Barrenos desviados (el ambiente subterráneo con oscuridad, humo, agua, alto nivel de ruido, etc. dificulta el trabajo).
- b) Espacio reducido para el hinchariento de la roca, (el hinchariento es al rededor del 50%).
- c) Barrenos sin inclinación.
- d) No cooperan barrenos adyacentes.

- e) El efecto de la gravedad en los barrenos que tienen salida por arriba.

La apertura inicial se hace por medio de la cuña, la cual se explicó anteriormente.

### Cálculo de Carga.

Para poder aplicar el cálculo de carga de banco es necesario tener una apertura suficientemente grande para que los barrenos tengan salida libre. En el diagrama se puede ver que para una barrenación de 30 mm. de apertura debe ser de 1.4 x 1.4 m., mientras que para una barrenación de 40 mm., la apertura sube hasta 2.0 x 2.0 m. Se puede también usar el diagrama para calcular los ayudantes para ampliar la cuña hasta la apertura antes mencionada.

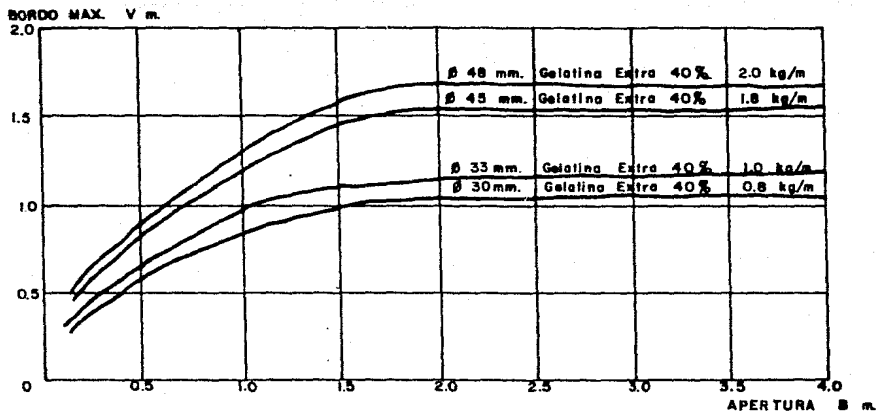
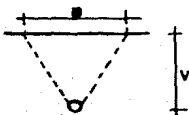


Fig IX-13 Relación entre apertura (B), concentración de carga y borde máximo (V).

Es necesario de picar todos los barrenos del contorno (techo, paredes y piso) para mantener el área deseada.

El ángulo de desviación depende del espacio que requiere el equipo de barrenación.

Cálculo de Barrenos con salida por arriba u horizontal.

La carga de fondo es la tercera parte del barreno.

Bordo max. =  $\frac{\text{Prol. de barreno} - 0.4 \text{ m.}}{2}$

Espaciamiento =  $1.1 \times \text{bordo}$ .

Concentración de carga de columna =  $0.5 \times \text{carga de fondo}$ .

Taco =  $0.5 \times \text{bordo}$ .

Distribución de los barrenos.

Diámetro del barreno mm.	Área/barreno m <sup>2</sup> .	Bordo m.	Espaciamiento m.
32	0.91	0.90	1.00
35	1.00	0.95	1.05
38	1.15	1.00	1.15
45	1.44	1.15	1.25
48	1.57	1.20	1.30
51	1.71	1.25	1.35

Este espaciamiento se alcanza solamente en túneles grandes. En túneles menores se distribuyen los espaciamientos uniformemente.

Datos para barrenos con salida por arriba u horizontal.

Diámetro del Barreno.	Profundidad del Barreno	Bordo	Espaciamiento.	Carga de Fondo		Carga de Columna		Taco
				Kg.	Kg/m.	Kg.	Kg/m.	
mm	m	m	m					m.
33	1.6	0.60	0.70	0.60	0.10	0.30	1.40	0.30
32	2.4	0.90	1.00	0.70	1.00	0.55	0.50	0.45
31	3.2	0.90	1.95	1.00	0.95	0.25	0.50	0.45
30	2.4	1.00	1.10	1.15	1.44	0.20	0.70	0.50
37	3.2	1.00	1.10	1.50	1.36	1.15	0.70	0.50
45	3.2	1.15	1.25	2.25	2.03	1.50	1.00	0.55
48	3.2	1.20	1.30	2.50	2.30	1.70	1.15	0.60
42	4.0	1.20	1.30	3.00	2.30	2.45	1.15	0.60
51	3.2	1.25	1.35	2.50	2.60	1.95	1.30	0.60
51	4.0	1.25	1.35	3.40	2.60	2.70	1.20	0.60

Los datos de arriba son prácticos e incluyen compensación - por errores normales de barrenación.

Cálculo de los barrenos de nico.

Bordo y espaciamiento de los barrenos de nico se calculan como los barrenos de arriba, pero es necesario tomar en cuenta la desviación por abajo de los barrenos. Si la desviación es 0.20 m. en el fondo, y el bordo 1.00 m., hay que embocullar la primera hilera de los barrenos  $100 - 0.20 = 0.80$  m., arriba del arranque de los barrenos de nico.

El taco se pone  $0.20 \times$  bordo. La carga de columna se cuenta  $\times 0.70 \times$  carga de fondo.

Datos para barrenos de piso.

Diámetro del Barreno.	Profundidad del Barreno	Bordo	Espaciamento.	Carga de fondo		Carga de Columna		Taco
				Kg./m <sup>2</sup> .	Kg./m <sup>2</sup> .	Kg./m <sup>2</sup> .	Kg./m <sup>2</sup> .	
mm	m	m	m					m
33	1.6	0.60	0.70	0.60	1.10	0.70	0.75	0.10
32	2.4	0.30	1.00	0.50	1.00	1.00	0.70	0.20
31	3.2	0.30	0.95	1.00	0.95	1.30	0.65	0.20
38	2.4	1.00	1.10	1.15	1.14	1.40	1.00	0.10
37	3.2	1.00	1.10	1.50	1.36	1.80	0.95	0.20
45	3.2	1.35	1.35	2.25	2.03	2.60	1.40	0.25
48	3.2	1.20	1.10	2.50	2.30	3.00	1.60	0.25
43	4.0	1.20	1.30	3.00	2.30	4.25	1.60	0.25
51	3.2	1.25	1.35	2.70	2.60	3.20	1.50	0.25
51	4.0	1.25	1.35	3.40	2.30	4.75	1.10	0.25

Cálculo de barrenos con salida hacia abajo.

Estos barrenos necesitan menor carga específica porque trabajan con la gravedad. El espaciamento se puede aumentar a 1.2 x bordo.

Datos para barrenos con salida hacia abajo.

Diámetro del Barreno.	Profundidad del Barreno	Bordo	Espaciamento.	Carga de fondo		Carga de Columna		Taco
				Kg./m <sup>2</sup> .	Kg./m <sup>2</sup> .	Kg./m <sup>2</sup> .	Kg./m <sup>2</sup> .	
mm	m	m	m					m
33	1.6	0.30	0.70	0.30	1.10	0.30	0.40	0.30
32	2.4	0.30	1.10	0.0	1.00	0.15	0.50	0.25
31	3.2	0.35	1.10	1.00	0.95	0.75	0.50	0.45
38	2.4	1.00	1.20	1.15	1.44	0.30	0.70	0.50
37	3.2	1.00	1.20	1.50	1.36	1.15	0.70	0.50
45	3.2	1.15	1.40	2.25	1.03	1.30	1.45	0.55
48	3.2	1.20	1.45	2.50	2.30	1.10	1.15	0.60
43	4.0	1.20	1.45	3.00	2.30	1.45	1.15	0.60
51	3.2	1.25	1.50	2.5	2.0	1.15	1.10	0.60
51	4.0	1.25	1.50	3.40	1.60	1.70	1.10	0.60

En túneles mayores de  $70 \text{ m}^2$ , es posible de aumentar bordo y espaciamiento hasta los datos para banqueo.

Cálculo de barrenos de pared:

El cálculo presentado aquí es sin postcorte. Bordo más desviación de la barrenación es  $0.9 \times$  bordo para barrenos con salida hacia abajo. El espaciamiento es  $1.2 \times$  bordo.

La carga de fondo ocupa no solamente una sexta parte del barrenos. Taco =  $0.5 \times$  bordo.

La concentración de carga de columna se reduce a  $0.40 \times$  carga de fondo.

Datos para barrenos de pared.

Diámetro del barrenos.	Profundidad del barrenos	Bordo	Espaciamiento	Carga de fondo.		Carga de Columna		Taco
				Kg.	Kg/M.	Kg.	Kg/M.	
mm	m	m	m					m
33	1.6	0.35	0.65	0.30	1.10	0.45	0.45	0.30
32	2.4	0.60	0.95	0.40	1.00	0.65	0.40	0.40
31	3.2	0.60	0.95	0.50	0.95	0.90	0.40	0.40
38	2.4	0.90	1.10	0.60	1.44	0.85	0.60	0.45
37	3.2	0.90	1.10	0.75	1.36	1.20	0.55	0.45
45	3.2	1.00	1.20	1.10	2.03	1.80	0.80	0.50
48	3.2	1.10	1.30	1.20	2.30	2.00	0.90	0.55
48	4.0	1.10	1.30	1.50	2.30	2.50	0.90	0.55
51	3.2	1.15	1.40	1.40	2.60	2.10	1.00	0.60
51	4.0	1.15	1.40	1.70	2.60	2.70	1.00	0.60

Cálculo para los barrenos de techo sin postcorte.

Distribución de los barrenos como para barrenos de pared.

La concentración de la carga de columna se reduce a  $0.3 \times$  carga de fondo.



Datos para barrenos de techo.

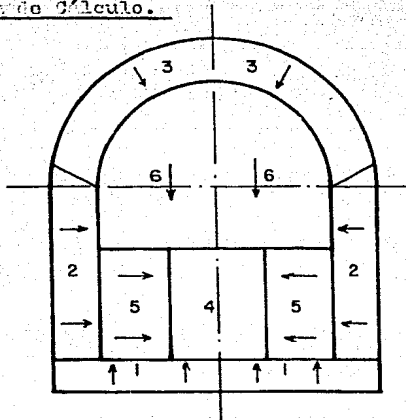
Diámetro del barreno.	Profundidad del barreno	Bordo	Espaciamiento.	Carga de fondo.		Carga de Columna		Taco
				Kg	Kg/M.	Kg.	Kg/M.	
mm	m	m	m					m
33	1.6	0.55	0.65	0.30	1.10	0.35	0.35	0.50
32	2.4	0.80	0.95	0.40	1.00	0.50	0.30	0.40
31	3.2	0.80	0.95	0.50	0.95	0.70	0.30	0.40
38	2.4	0.90	1.10	0.60	1.44	0.70	0.45	0.45
37	3.2	0.90	1.10	0.75	1.36	0.90	0.40	0.45
45	3.2	1.00	1.20	1.10	2.03	1.30	0.60	0.50
48	3.2	1.10	1.30	1.20	2.30	1.45	0.70	0.55
48	4.0	1.10	1.30	1.50	2.30	1.95	0.90	0.55
51	3.2	1.15	1.40	1.40	2.60	1.70	0.80	0.60
51	4.0	1.15	1.40	1.70	2.60	2.25	0.80	0.60

Diagrama de Barrenación:

Para el diseño del diagrama de barrenación se usan las tablas de la parte anterior, adaptando bordos y espaciamientos a las condiciones geométricas del túnel. El procedimiento se muestra más fácil en un ejemplo:

El túnel que vamos a calcular tiene los siguientes datos:

- Cuña cilíndrica con dos barrenos vacíos con  $\varnothing$  76 mm.
- Diámetro de Barrenación  $\varnothing$  31 mm.
- Profundidad de Barrenación 2.40 ml.
- Explosivo Gelatina Extra 40%.
- Postcorte no requerido.
- Ancho 6.10 ml.
- Altura 3.60 ml.
- Área 48.47 m<sup>2</sup>.
- Avance previsto 90% = 2.16 ml.

Secuencia de Cálculo.

1.- Barreno de piso.

2.- Barreno de pared.

3.- Barreno de techo.

4.- Cúñes y mordentes.

5.- Barreno con solita horizontal.

6.- Barreno con solita hacia abajo.

1.- Barreno de Piso.

Ver tabla correspondiente.

La desviación es 0.10 a la máquina de sierra.

Banco - Desviación = 0.90 - 0.10 = 0.80 ML.

Espesamiento, según tabla = 1.00 ML.

Distancia a lo ancho del túnel =  $\frac{0.10}{1.00} = 0.10$

Espesamiento extremos  $2 \times 1.05 = 2.10$

$4 \times 1.00 = \frac{4.00}{0.10}$

Carga de fondo --- 0.20 Mg.

Carga de columna - 1.00 Mg.

Taco = 20 ML.

2.- Barreno de Pared.

Bordo - Desviación = 0.70 - 0.10 = 0.70 m.

Espaciamiento = 0.95, que se distribuye en la altura de la pared - Zona de piso = 4.50 .

Espaciamientos =  $\frac{4.50}{0.95} = 4.73 \approx 5$ Espaciamiento real  $\frac{4.5}{5} = 0.90$  m.Carga de fondo = 0.40 kg/m<sup>2</sup> = 1.00 kg/m.Carga de columna = 0.65 kg/m<sup>2</sup> = 0.40 kg/m.

Taco = 0.40 m.

3.- Barreno de Techo.

Bordo - Desviación = 0.70 - 0.10 = 0.60

Espaciamiento = 0.90, que se distribuye en el arco del techo.  
= 3.57 m.  $\frac{3.57}{0.90} = 10.63 \approx 11$ Espaciamiento =  $\frac{3.57}{11} = 0.37$ .Carga de fondo = 0.40 kg/m<sup>2</sup> = 1.00 kg/m.Carga de Columna = 0.50 kg/m<sup>2</sup> = 0.30 kg/m.

Taco = 0.40.

4.- Cuña y sus ayudantes.

En los 3 barrenos de la cuña se pone una carga de fondo de 0.1 kg y una carga de columna de 0.75 kg con una concentración de 0.25 kg/m.

Los ayudantes tendrán la siguiente carga:

Bordo m.	Carga de Fondo Kg.	Concentración de Carga de Columna Kg/m.			
0.20	0.25	31	38	45	47
0.30	0.40	0.30	0.45	0.60	0.75
0.40	0.50	0.55	0.50	0.70	0.90
0.50	0.65	0.50	0.70	1.00	1.15
0.60	0.80	0.50	0.70	1.00	1.15
0.70	0.90	0.50	0.70	1.00	1.15

Taco = 0.5 m bordo.



Espaciamiento = 1.10 Ml.

Se colocan los barrenos espaciadamente en el espacio restan

to

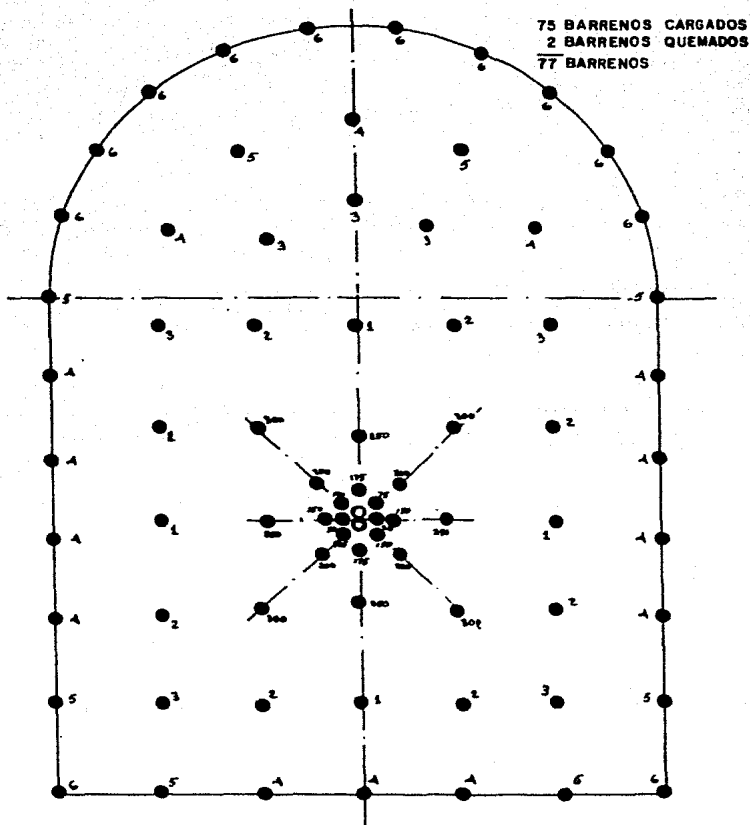


Fig. IV-15 Diagrama de Barrenación

Barrero	Tipo de Barrero	Profundidad	No. de Barreros	Carga Fondo	Carga Col.	Kg/m	Carga Barrero Kg.	Carga Total
Inst. MS 25-125.	Cuña	2.40	6	0.10	0.75	0.25	0.35	5.10
MS 150-175	Ayudantes.	2.40	4	0.25	0.35	0.30	1.10	4.40
MS 200	Ayudantes.	2.40	4	0.45	0.90	0.35	1.35	5.40
MS 250	Ayudantes.	2.40	4	0.75	1.00	0.50	1.75	7.00
MS 300	Ayudantes.	2.40	4	0.80	0.55	0.50	1.35	5.40
MS I al 5	Interiores.	2.40	24	0.60	0.55	0.50	1.35	32.40
AC 4 al 5	Paredes	2.40	12	0.40	0.65	0.40	1.05	12.60
AC 6	Techo	2.40	10	0.40	0.50	0.30	0.90	9.00
AC 4-6	Piso	2.40	7	0.80	1.00	0.70	1.00	12.60

100 mb 75 Barr.

93.90

$$\text{Vol. por tronada} = 2.16 \times 40.47 \text{ m}^2 = 104.69 \text{ m}^3.$$

$$\text{Carga Especifica} = \frac{93.90}{104.69} = 0.90 \text{ Kg/m}^3.$$

$$\text{Barr. Especifica} = \frac{100}{104.69} = 1.28 \text{ mb/m}^3.$$

En el diseño de voladuras, existen diferentes criterios, la mencionada anteriormente se considera representativa para el túnel San Benito, de usar otro tipo de cuña, se sigue un procedimiento semejante basándose en los mismos principios.

Los datos de la tabla de abajo sirven como guía para el cálculo de barrenación y carga de cuñas en V con el ángulo de 60°.

Diámetro de Barrero mm	Altura de Cuña	Bordo m	Concentración de Carga de Fondo Kg/m.	Número de hilos horizontales.
30	1.5	1.0	0.9	3
38	1.5	1.2	1.4	3
45	1.5	1.5	2.0	3
48	1.5	1.6	2.3	3
51	2.0	2.0	2.6	3

La carga de fondo debe ocupar mínimo, la tercera parte del barreno, .Concentración de carga de columna =  $0.5 \times C.F.$  Taco =  $0.3 B$ .

Durante la fase inicial de una obra, es preferible aumentar la carga de fondo a la mitad del barreno.

Por otro lado, en túneles es necesario experimentar físicamente varios tipos de diagrama de barrenación hasta obtener uno que satisfaga las necesidades, tanto de avance como económicas.

La sección de un túnel de F.C., para poder ser barrenada con máquinas de bierna, es necesario un tarango de barrenación que satisfaga los requerimientos de los diagramas. Para el túnel San Benito se usará uno con el diseño según la figura.

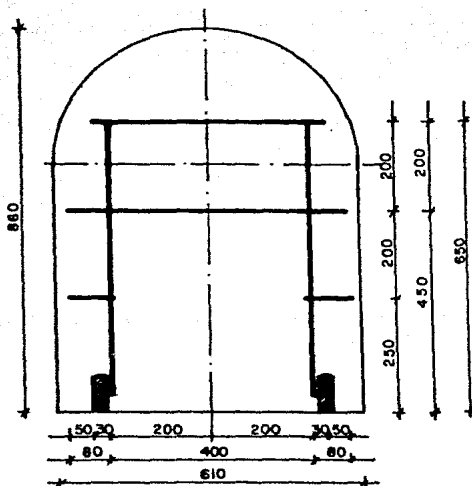


Fig. IV-16 Tarango de barrenación

## ASPECTOS PRINCIPALES DE LA SUPERVISION PARA LA CONSTRUCCION DE UN TUNEL.

Ya descritos los procedimientos más usuales que se utilizan para la construcción de un túnel, es necesario dar recomendaciones sobre los aspectos más importantes para la supervisión de la construcción de un túnel.

Las indicaciones u órdenes deben ser explícitas y concisas, acompañándolas cuando el caso lo requiera un croquis acotado. Estas indicaciones así como los hechos más importantes sucedidos durante la ejecución de la obra, así como las indicaciones dadas por los superiores, deben anotarse en la bitácora de la obra.

Para las excavaciones de un túnel por los procedimientos ya descritos, es necesario el cálculo y el diseño de un diagrama de barrenación.

Es muy importante, que el Supervisor de la obra revise minuciosamente la disposición de los barrenos, la carga de los explosivos y la secuencia de tiempos de detonación asimismo es importante revisar el tipo de barreno, profundidad de los mismos, número de barrenos, carga de fondo y carga de la columna, carga total por barreno y la carga total por el número de barreno. Conociendo el volumen que se va a romper con la tronada, la longitud de barrenación y la carga total, se calculan los coeficientes de barrenación ( $m/m^3$ ) que es el que nos indica la cantidad de explosivo por metro cúbico de tronada. Estos dos coeficientes son de suma importancia para el Supervisor y requiere no solo conocerlos, sino controlarlos durante la ejecución de los trabajos.

Aspecto muy importante que requiere especial atención del Supervisor es la abertura del túnel que generalmente se realiza en el centro de la cara, comúnmente llamada "Cuña". La cuña es la parte más importante de la voladura, ya que el resto de los barrenos no pueden romper con efectividad a menos que la cuña salga totalmente.



Unos cuantos minutos adicionales, empleados en perforar adecuadamente una cufia, puede significar la diferencia entre tener un avance completo o solamente una parte de él.

Cuando el terreno en el cual se excava el túnel no es muy resistente, se tendrá que usar el procedimiento de soporte provisional, bien sea por medio de marcos metálicos o bien por concreto lanzado.

Un aspecto que no debe descuidar y que el Supervisor debe tener ingerencia es el referente al manejo y almacenamiento de explosivos:

Estos agentes explosivos y accesorios, pasan a través de muchas manos; se transportan por ferrocarril y camiones, se transfieren a los polvorines de almacenamiento de los consumidores, a los polvorines de distribución y, finalmente, al punto donde se van a utilizar el manejo y almacenamiento de los explosivos, agentes explosivos y accesorios, y en todas las etapas de su existencia, requieren procedimientos y métodos adecuados que cumplan con la Ley, atención a la protección y preservación de éstos materiales perecederos, y consideración de la naturaleza peligrosa de estos productos.

El factor humano es vital para la realización de estas obras. Por ello se requiere que cuenten con el equipo de trabajo adecuado, y condiciones de salud óptimas. Dentro del túnel se requieren señalamientos, ventilación adecuada, iluminación sobre todo en el frente de trabajo, etc.

Todo lo anterior y demás condiciones de higiene y seguridad requieren de una vigilancia continua por parte del Supervisor.

Debido a las condiciones especiales en un túnel, y la gran cantidad de gases que se producen no solo durante la explosión, sino también debido a los gases de los motores de combustión interna, y que una descompostura de éstos o que trabajen en malas condiciones, es decir con fallas mecánicas, hacen que el Supervi

por se preocupe por la cantidad de aire sano existente dentro del túnel y por otra parte del buen estado en que se encuentren los equipos que trabajan dentro del túnel. Finalmente el Supervisor debe llevar un buen sistema de control tanto de costos como de obra, con objeto de que lo realizado, sea lo mismo que lo planeado.

Entre los sistemas de control de costos y obra se pueden mencionar los más usuales para este tipo de trabajo.

- I.- Gráfica de avance proyecto (programa).
- II.- Reporte de actividades y consumos.
- III.- Gráfica de actividades por mes.
- IV.- Gráficas de avance por semana.
- V.- Diagrama de horrenación para avance y marcos.
- VI.- Reportes de consumo de materiales y horas máquina.
- VII.- Bitácoras de máquinas.
- VIII.- Secciones a cada 2 Kl.

Un buen sistema de control depende del Jefe de Obra, pues existen múltiples formas de controlar las actividades y los costos.

Los mencionados anteriormente, son los que se usarán para la construcción del túnel "San Jacinto". No siendo los únicos.

V

Ademe y Concreto Lanzado

ADEME Y CONCRETO LANZADO

El soporte temporal en el ciclo de excavación de una galería es probablemente, la etapa que más contribuye a la denominación "frecuente de que el "tunelero", es más un arte que una ciencia, en efecto: El ademe más adecuado depende de las propiedades mecánicas de la roca que circunda la superficie expuesta, de los procedimientos constructivos y de la rapidez de su colocación.

Debido a que el soporte temporal cubre una parte muy importante del costo total de las excavaciones subterráneas, y considerando el desarrollo que han tenido en los últimos 25 años y el que tendrán en los próximos años; y consecuentemente, las grandes inversiones que deberán realizarse en obras de Ingeniería Civil y de la Minería, es necesario aprovechar con mayor eficiencia las experiencias y conocimientos ya existentes y cubrir con técnica constructiva más consistente, más precisa y más segura, esta actividad tan determinante del ciclo de excavación de una cavidad.

## Cargas sobre sistema de soporte.

La carga de roca sobre una cavidad excavada para una obra subterránea, depende de la naturaleza de la misma, del grado de alteración, del fracturamiento, del relleno de las fracturas, etc.

Si la roca es sana, la excavación puede autoconportarse, entanto si hay agrietamientos, se requieren soportes temporales desde los más ligeros hasta los más pesados.

Una excavación subterránea modifica los estados de esfuerzo del macizo rocoso y las condiciones de la roca misma provocadas por las explosiones que dan lugar a fracturamientos adicionales al rededor del túnel, reduciendo la resistencia de la roca. Con el fin de lograr el equilibrio necesario, el soporte temporal actúa sobre el estado de esfuerzos creado por la excavación, integrándose al sistema de fuerzas, reaccionando contra la roca que lo rodea y produciendo una presión interior estabilizadora.

El estado de esfuerzor alrededor de una cavidad, depende de muchos factores, entre los cuales destacan:

- a) Forma y tamaño de la cavidad.
- b) Estado de esfuerzos antes de excavar la cavidad.
- c) Características de la roca afectada.
- d) Tiempo transcurrido después de excavar la cavidad.
- e) Condiciones de trabajo de la obra.

#### Método de Terzaghi.

Supone un mecanismo de transmisión de carga de la roca a los soportes y define, como carga de roca que gravita sobre el techo del túnel que es el que tiende a desprenderse del techo y que debe ser soportada por el ademe.

Si la carga de roca existe, y el túnel carece de ademe, la masa del material en contacto con el techo tiende a penetrar en el túnel. Si la roca está sana o moderadamente agrietada, el techo puede autosoportarse o requerir un soporte relativamente débil; en tanto si hay alteraciones importantes y grietas, se puede tener empujes muy grandes y necesitarse por tanto, ademes muy pesados.

Frecuentemente, en un túnel se encuentran condiciones de carga muy diversas originadas por las diferentes características de las masas de roca y por la presencia de agua, por tanto, se requiere siempre estar preparados y tener todos los elementos necesarios disuertos para modificar cualquier diseño preconcebido de acuerdo a las condiciones que se vayan encontrando en el desarrollo de la excavación.

El valor de la carga de roca varía entre límites cuya frontera no puede muy bien definirse y depende de la clase de roca.

La tabla I resume las condiciones de Terzaghi para determinar las cargas de diseño de las estructuras de soporte; en donde B es el ancho del túnel, y H es la altura de la carga sobre el techo.

TABLA I

ESTADO DE LA ROCA	CARGA Hp (m)	OBSERVACIONES
Roca sana e intacta	Cero	Ademe ligero, si hay roca explosiva.
Roca sana estratificada	0 a 0.5 B	Cuando sea necesario ademe ligero.
Roca moderadamente fisurada.	0 a 0.25 B	Ademe ligero, si hay roca explosiva.
Roca moderadamente fragmentada.	0.25 B a 0.35(B+Ht)	Ademe en techo, raro en paredes, nunca en piso.
Roca muy fracturada	0.35(B+Ht) a 1.10(B+Ht)	Ademe en el techo y en las paredes.
Roca triturada y cuñicamente intacta.	1.10(B+Ht)	Recomendable ademe circular.
Roca que influye plásticamente (roca prof.)	1.10(B+Ht) a 2.10(B+Ht)	Conviene el ademe circular.
Roca que influye plásticamente (gran prof.)	2.10(B+Ht) a 4.50 (B+Ht)	Ademe circular.
Roca expansiva	Hasta 70 m. independiente del (B+Ht)	Indispensable el ademe circular.

Ademe para Excavaciones en Roca.

Podemos decir genéricamente que, el ademe en una cavidad subterránea, es la estructura que debe colocarse para proteger la excavación inmediatamente después de la tronada, llevando y no este soporte lo más cercano posible al frente de ataque; debe planearse para trabajar temporalmente hasta en tanto, no sea colocado el revestimiento definitivo, y debe también diseñarse con una estimación de cargas que depende de las características de la roca que imperan en la vecindad de la galería, y de las dimensiones de la sección. Dentro de las estructuras de carácter temporal, destacan por su facilidad de colocación y por su versatilidad, los marcos que pueden ser metálicos o de madera; la elección en caso de duda depende básicamente del punto de vista económico, sabiendo de antemano que para selecciones medianas o grandes conviene el marco de acero.

En la figura No. V-I, destacan las siguientes ventajas del marco metálico sobre el de madera:

- a) Más ligero, colocación rápida, mayor economía.
- b) Menor sección de excavación.
- c) Requiere menor volumen de concreto.
- d) Refuerza la sección de concreto, ahogándolo.
- e) Ocupa menor espacio en el túnel.

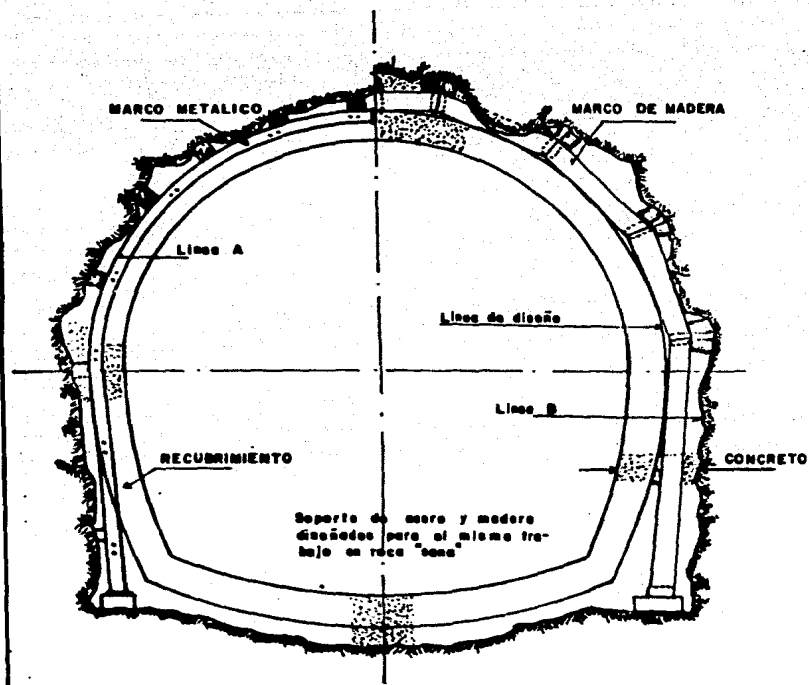


Fig. X-1 Comparación Marcos de Madera y Metalicos.



Para secciones pequeñas puede, en algunos casos, ser más económica la protección con marcos de madera.

Los marcos de madera deberán quedar fuera de la sección teórica de revestimiento ya que sus características de resistencia y duración son más desfavorables que las del concreto; en cambio el marco de acero debe quedar integrado a la sección teórica del revestimiento definitivo, esto queda previsto al diseñar el espesor del concreto; se preserva así el marco metálico contra la corrosión y aumenta con esta combinación el factor de seguridad de la protección definitiva, considerando que el adorno, de por sí, soporta la carga.

Otra ventaja favorable del marco metálico es que requiere de menos cantidad de personal para el montaje; el marco de madera se coloca con gente muy especializada que cada vez es más difícil de conseguir; el marco metálico se coloca casi armado, con mucha rapidez y requiere de personal que se habilita fácilmente.

Los marcos deben colocarse en línea y nivel, de acuerdo al proyecto, al terminar la limpia de la resaca, antes de iniciar la barrenación siguiente; el espacio entre la pared interior del marco y el terreno natural, se retaca con madera formando "huacales" que transmiten las cargas al marco y que son fijadas firmemente con cuñas de madera. Este retaque nunca se fija con clavos.

Los segmentos de los marcos de madera se ligan entre sí con clavos, así como los separadores; en el caso de los marcos metálicos, se ligan con tornillos y soldadura.

El período de acción de puente tp. afecta la secuencia de las operaciones; en efecto, si el período de acción de puente es muy corto y no permite la rezaga con seguridad, es necesario cambiar la secuencia de las operaciones y soportar el techo del túnel antes de rezagar.

La elección del sistema de ademe metálico depende del método de ataque elegido, y éste depende de las características de la roca y de las dimensiones de la sección de excavación.

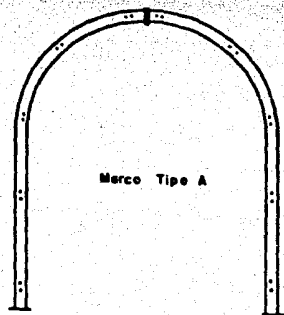
Existen varios tipos de marco para adaptarse a cualquier tipo de método de excavación. Entre los principales tenemos los mostrados en la figura V-2.

- a) Marcos continuos ensamblados en la clave A.
- b) Marcos ensamblados en la clave y apoyos B.
- c) Marcos ensamblados en la clave con rastras de apoyo C.
- d) Marco tipo "C" con portes D.
- e) Marcos circulares con ensamble en tres puntos E.
- f) Marcos continuos tipo "A" con rastra (Tornapunta) F.

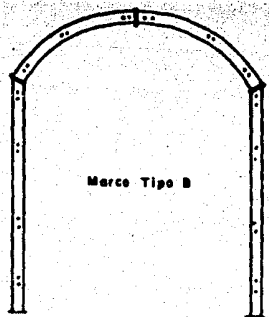
En el túnel San Benito, por el tipo de terreno, se usarán marcos continuos ensamblados en la clave, éstos deben ponerse en donde sea necesario.

Marco de diseño para túnel de F.S., ver figura V-3 y V-4 en donde se muestran los marcos tipo para túneles en tangente y curva.

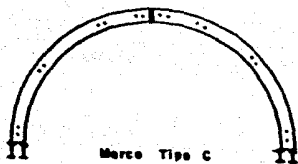
Estos marcos se pueden rolar en campo con un diseño marcado que satisfaga las necesidades del mismo o mandarlos fabricar en casos especializados.



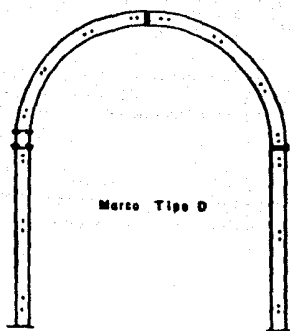
Marco Tipo A



Marco Tipo B

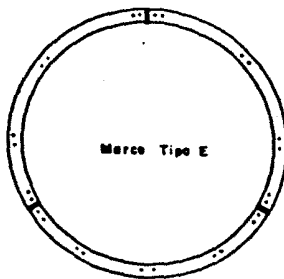


Marco Tipo C

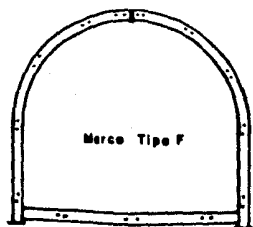


Marco Tipo D

Fig. X-2 Tipos de Marcos



Marco Tipo E



Marco Tipo F

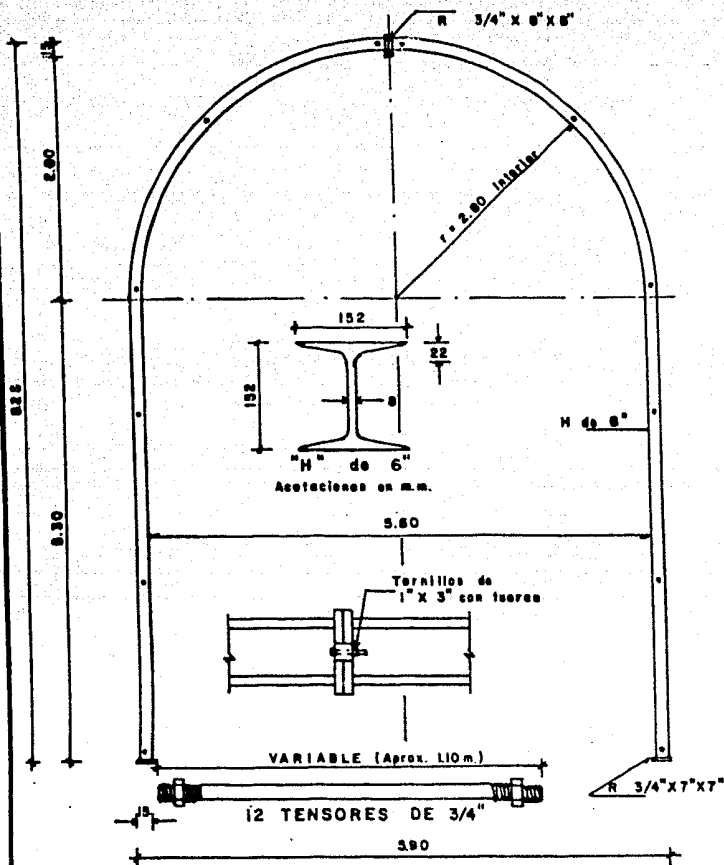


Fig. X-3 Marco Metálico

Ese. 1-80

UNAM FACULTAD DE INGENIERIA  
INGENIERIA CIVIL

CONSTRUCCION DEL TUNEL  
SAN BENITO

MARCO TIPO  
TUNEL EN TANGENTE

TESIS PROFESIONAL  
Pedro Luis Gerardo Ruiz Rodríguez  
N° Cto. 7000239-5 MEXICO D.F. OCT 1975



### Anclas.

Las anclas o pernos de soporte empezaron a popularizarse a partir de 1948 en las minas de carbón de Estados Unidos, es por tanto un soporte temporal relativamente nuevo y no del todo conocido, que consiste en colocar los pernos del tipo y de la longitud adecuadas ligadas o no, entre sí, con canales de fierro siguiendo un patrón previamente establecido, comprimiendo la roca antes de que empiece a sufrir deformaciones con el fin de que el sistema roca-pernos sea capaz de autosoportarse y soportar fragmentos sueltos. Será condición necesaria que los sistemas de anclaje se coloquen inmediatamente después de abrir las excavaciones y que la roca sea competente, para lo cual deben hacerse pruebas previas de la capacidad de la roca.

No hay un procedimiento generalizado para calcular un sistema de anclaje, por lo que para cada caso se analiza el mecanismo de falla de la roca y se determina el número de anclas necesario de acuerdo al patrón de barrenación más conveniente en función de la capacidad de los pernos.

Los detalles del refuerzo con pernos deben basarse en la información geológica sobre la localización de fallas, grietas, juntas, sismos, propiedades físicas de la roca, etc. Un espaciado basado en las condiciones de la superficie de la excavación, puede tener consecuencias graves.

El perno de anclaje o perno de roca consiste en una varilla de fierro liso o corrugado que se hace trabajar a tensión, quedando fijo un extremo dentro de la masa de roca en un barreno perforado previamente, de diámetro y longitud adecuados, el otro extremo generalmente concuerda, fuera de la roca, actuando pasivamente, es decir, la roca se afloja antes que el perno pueda ejercer compresión alrededor de la excavación.

La resistencia de un perno de roca está definida por su longitud de anclaje y se considera competente si la tensión -

aplicada puede llegar al límite elástico del acero; en la práctica, la tensión que se aplica a los pernos es del orden de  $\frac{2}{3}$  del límite elástico.

Desde algún tiempo se han venido usando los pernos con mortero de cemento con el fin de que trabajen permanentemente, protegiéndolos contra la corrosión y contra posibles pérdidas de tensión originadas por sismos, voladuras, etc.; esta condición favorable que hace que la compresión efectiva de la roca no se pierda, ha difundido más la utilización de los pernos de anclaje.

Los pernos de anclaje se pueden dividir por otra parte en dos clases principales:

a) Pernos de expansión.- Son los que se pueden subdividir en pernos que se fabrican en la obra, los de cuña y en pernos de conchas de expansión que se fabrican en varios tipos.

b) Pernos de fricción o inyectados.- Pueden ser desde simples varillas de fierro corrugado de corta longitud introducidas en un barreno que previamente ha sido llenado con mortero fresco y los pernos de expansión de cuña o de concha con inyección de mortero posterior al tensado.

En las figuras V-5 y V-6 se aprecian el mecanismo de soporte y los principales tipos de pernos.

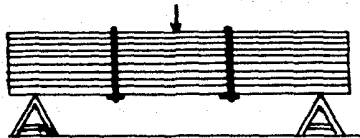
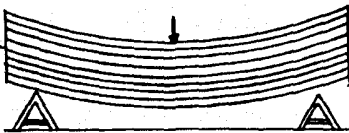
Los anclas soportan la roca de las excavaciones subterráneas mediante las suposiciones siguientes:

a) Por suspensión.- Cuando se colocan aisladamente para soportar fragmentos de roca que puedan desprenderse.

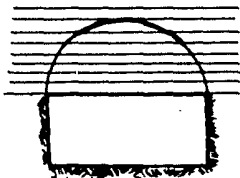
b) Formando vigas o losas.- Este concepto se ha utilizado con buenos resultados en rocas sedimentarias aunque es válido para cualquier tipo de roca de buena calidad, en los techos planos de las excavaciones, en donde se utilizan para completar el

concepto de trabe compuesta, tirantes o canales para absorber las tensiones. Las anclas unen entre sí a los estratos que no tienen adherencia, formando la viga autosoportante, capaz de soportar la correspondiente carga de roca.

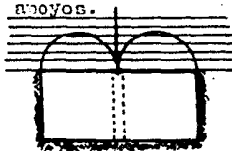
c) Formando arcos.- Los arcos de la sección de las galerías se refuerzan igualmente, formando una sección capaz de resistir la carga de roca; la tensión de los pernos, forma una zona de compresión alrededor de la excavación.



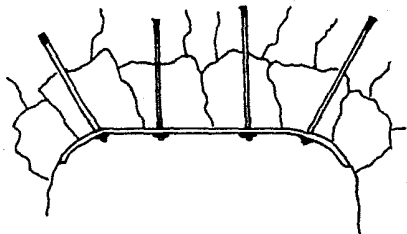
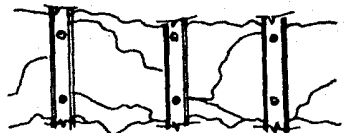
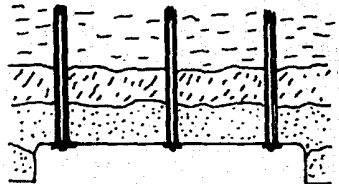
Los estratos apernados trabajan de conjunto co. o una sola viga.



Un arco limita la carga sobre 2 apoyos.



Dos arcos limitan la carga sobre 3 apoyos.



Pernos de anclaje en el techo del túnel.

Fig. Y-5 Anclos como soporte



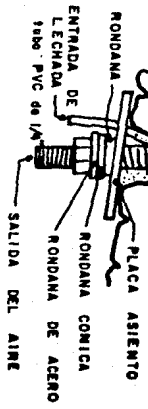
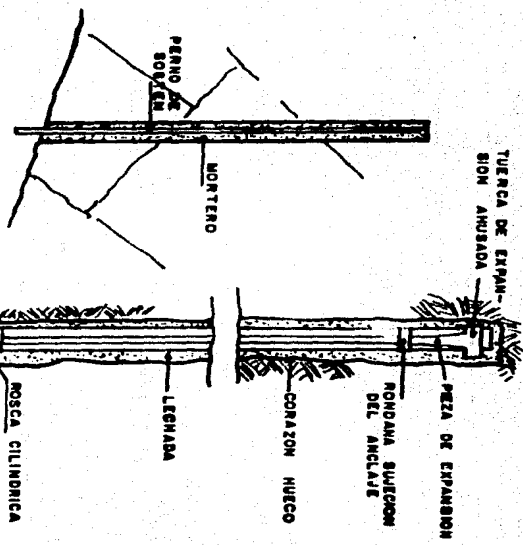
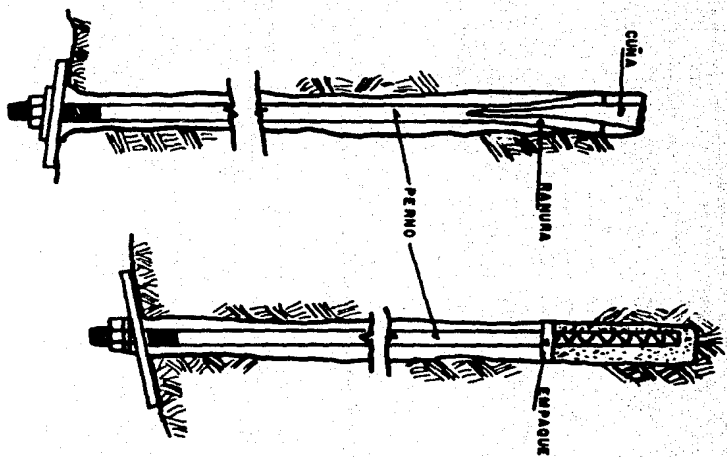


Fig. X - 6 Tipos de Anclas

CONCRETO LANZADO

El concreto lanzado, ha venido a revolucionar la técnica de la excavación de túneles en determinados tipos de rocas; consiste en conducir y proyectar hidráulicamente a través de una manguera de alta presión y resistente al desgaste una mezcla convenientemente dosificada de concreto.

El procedimiento de mezcla húmeda, consiste en mezclar agregados y cemento con el agua previamente y empujar el producto por una boquilla en el extremo de la manguera; tiene la ventaja del control rígido de la relación agua-cemento considerando la resistencia buscada; desde el punto de vista de la colocación, es menos flexible que la mezcla seca por ésta misma condición; tiene la desventaja de no poder mezclar correctamente los aditivos acelerantes ya que, por su acción rápida deben añadirse necesariamente en la boquilla no siendo posible hacer una buena mezcla entre el acelerante y el concreto fresco antes de la expulsión.

La mezcla seca consiste en dosificar en seco y pasar la mezcla a la lanzadora; el agua se añade en la boquilla y la regula el operador de lanzado, los aditivos se añaden en la lanzadora si son polvos, si son líquidos se mezclan con el agua antes de llegar a la boquilla.

Puede usarse como soporte temporal haciendo las veces de andamio pesado trabajando monolíticamente con la roca, con la condición de que se coloque inmediatamente después de la excavación y de que la mezcla con el aditivo produzca un fraguado muy rápido y una buena resistencia temprana.

Es aceptado que al permitir un desplazamiento o flujo plástico disminuye la carga de roca sobre los túneles; si el concreto lanzado se coloca sobre la superficie de la excavación recién expuesta con la condición anterior, parece ser que se adapta a la masa de roca, fluyendo plásticamente, sin perder su capacidad de

tructural, junto con la roca vecina.

El concreto lanzado y la roca colaboran convenientemente, desarrollando una función más completa que la simple de soportar presiones de aflojamiento. Muller dice que la estabilidad de un túnel se garantiza cumpliendo los siguientes requisitos:

- a) Evítese lo más posible el aflojamiento.
- b) Aprovechese lo más posible el tiempo que la roca requiere para deformarse.
- c) Provéase de soporte lateral a la roca, mediante fuerzas aplicadas oportunamente, para evitar esfuerzos uniaxiales.

Los esfuerzos en un sistema de concreto lanzado son el resultado de un flujo plástico de la roca, desarrollado a medida que la roca y el concreto adherido a ella, se ajustan a un estado de equilibrio, en otras palabras, el concreto lanzado mantiene el equilibrio de la roca alrededor del túnel, reforzando su capacidad de autosostenerse en lugar de sustituir la capacidad de soporte de la roca que se removió.

#### Funciones.

El concreto lanzado cumple sus funciones como soporte temporal y de protección de una excavación subterránea según C. Alberts (1963-1965), de la técnica sueca, como sigue:

1) El concreto lanzado es esforzado para entrar en las fracturas abiertas, en figuras y en las irregularidades de la superficie de la roca, cumpliendo la misma función de liga que la del mortero en un muro de mampostería.

2) El concreto lanzado, trabajando al esfuerzo cortante y colocado oportunamente, impide la caída de bloques sueltos del techo de un túnel.

3) El concreto lanzado impide el drenaje del agua a través de las juntas, evitando la socavación de los materiales de relleno

no, y la intemperización de la roca.

4) Una capa de concreto lanzado de 15 a 20 cm. de espesor constituye un soporte estructural semejante a un anillo o a un arco.

#### Mezclas.

La calidad del concreto lanzado depende de la calidad de los materiales de granulometría de los agregados, de la relación agua-cemento y del grado de compactación; un agregado bien graduado, nos dá buena compactación y densidad, impermeabilidad, resistencia y mínimo rebote. Un contenido de cemento exagerado, buscando máxima resistencia da lugar a contracciones y agrietamientos; 400 a 450 Kg/m<sup>3</sup>, da buenas características.

El concreto ya aplicado contiene más cemento que la mezcla seca y una relación agua-cemento menor que la considerada ya que el rebote se forma por grava y en menor grado por arena y lechada.

Los aditivos acelerantes del fraguado, dan al concreto lanzado sus características más apreciadas, debe dosificarse entre 2 y 6 % del peso del cemento y debe ser compatible con el cemento. Las resistencias reales a los 28 días andan por el orden de 150 a 300 Kg/cm<sup>2</sup>.

Los agregados deben tener humedades antes de mezclar en seco de 3 a 6 %; y deben dosificarse en peso.

Hay diversos procedimientos para preparar las mezclas y transportarlas al frente de excavación.

Las máquinas de descarga continua como la BSM 603 de doble compartimiento requieren de una hábil y cuidadosa operación, es una máquina muy robusta, de fácil mantenimiento y muy competente. Las máquinas intermitentes como la Aliva de Suiza o la Reed Ame

ricana, con de tipo revólver, el mantenimiento debe ser muy -' cuidadoso, la operación es más simple que la de la BSM.

La aplicación del concreto lanzado sobre la superficie ro cosa, requiere de la habilidad de los operadores de lanzadora' y de chiflón, se debe entrenar a los operadores, de ésto depen de la calidad de la colocación: un concreto bien colocado tie- ne poco rebote; en el techo de los túneles se tiene el máximo' desperdicio, nunca debe exceder en más del 50% y en las pare- des debe ser de 15 ó 20 %.

La aplicación debe desarrollarse en capas sucesivas de 2' cm., hasta completar el espesor de proyecto; para controlar el espesor es necesario colocar testigos apropiados y medirlos -' constantemente. El aire y el agua deben mantenerse a presiones constantes de 3.5 a 4.0 K/cm<sup>2</sup> y de 1.0 K/c<sup>2</sup>, respectivamente. La presión del aire debe aumentarse 0.3 k/c<sup>2</sup>, por cada 15.0 m. de manguera, que se añade a los primeros 30.0 m.

En la figura V-7 vemos una instalación típica para concre to lanzado en un túnel con lumbrera de acceso.

El lanzador debe estar siempre en posición de colocar el' concreto en dirección normal a la superficie a una distancia ' de 1.0 a 1.2 m.; es por tanto necesario tener una buena super- ficie de apoyo.

La superficie que se va a proteger debe quedar limpia de' rebote, de polvo o de cualquier otra materia extraña, debe tam bién quedar humedecida.

#### Rebote.

Las superficies húmedas y el agua de filtración aumenta ' con segregación con las presiones variables del agua y del ai- re, descarga irregular, etc. Entre un buen trabajo de lanzado' y otro malo, puede fácilmente haber una diferencia de 20%, sola mente en rebote. En la figura V-8 se analizan las indicaciones comentadas.

Colocación.

Como hemos comentado la aplicación debe ser inmediatamente después de la excavación para evitar el aflojamiento de la roca expuesta; es necesario realizar esta operación dentro del tiempo puente en que la roca se autosoporta. Debe protegerse primeramente, la bóveda o arco, apoyándose en la plataforma con piso deslizante para librar la rezaga. Se puede diseñar un Jumbo de barrenación para resagar y lanzar simultáneamente, acortando el ciclo de excavación.

El concreto lanzado debe soportar la voladura siguiente - ' sin desprenderse, con dos horas de edad, o poco más; protegida la clave del túnel, las paredes pueden protegerse después, pero siempre antes de 24 Hrs., y cuando las condiciones de la roca lo permitan; en todo caso, es mejor completar cuanto antes toda la sección, teniendo especial cuidado con los apoyos del arco.

Soportes.

Conviene usar pernos de adherencia de cualquier tipo, cuando la roca no es competente, donde se pueden presentar movimientos por relajación de esfuerzos al abrir la excavación; donde la roca es competente, pero se presentan bloques que pudieran desprenderse, conviene usar pernos tensados inyectados o no, - combinados íntimamente con el concreto lanzado. En general, no conviene usar malla de alambre.

Los marcos metálicos se usan a veces en combinación con el concreto lanzado y anclas, el resultado es de un ademe sumamente rígido.

Conclusión.

Podemos decir que las ventajas sobre cualquier otro ademe son las siguientes:

- a) Disminuye el tiempo del ciclo (mayor avance).
- b) Puede ser aplicado rápidamente.
- c) El equipo utilizado es ligero y fácil de maniobrar.
- d) Disminuye el tamaño de la sección de excavación.
- e) Presenta enormes ventajas para recibir y controlar caídas.

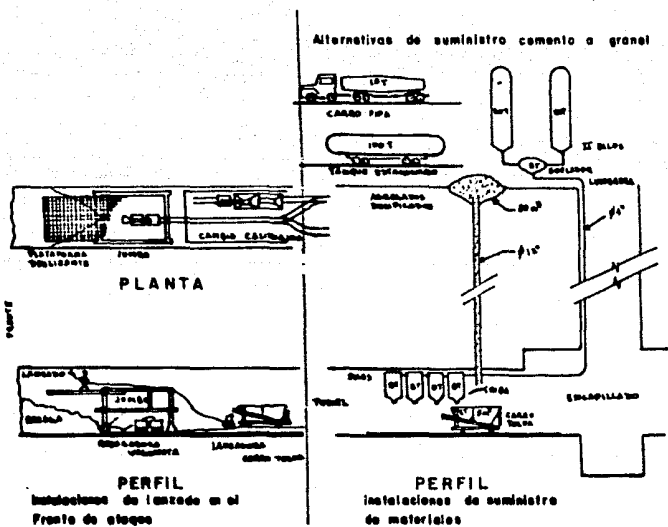
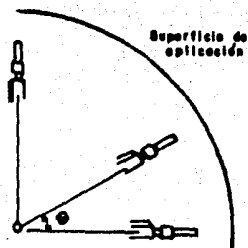
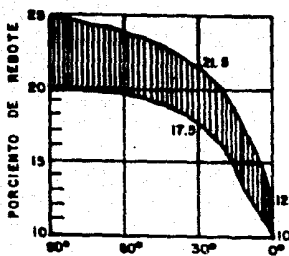


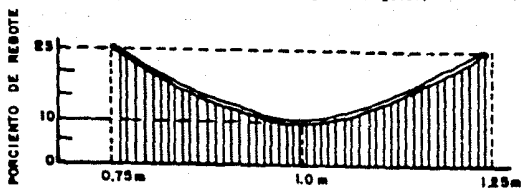
Fig X-7 Instalación para concreto lanzado

Fig. X-8 Influencia que tienen en la cantidad de rebote el ángulo y la distancia de lanzado.

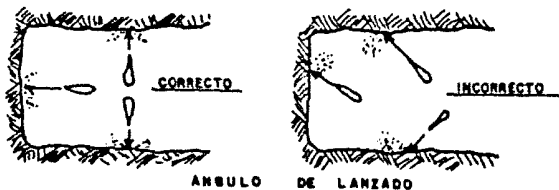


ÁNGULO  $\theta$  DE LA BOQUILLA CON LA HORIZONTAL EN GRADOS

Efecto de la dirección del lanzado en el porcentaje de rebote. Nótese que la boquilla se mantiene ortogonal a la superficie mientras que el ángulo con la horizontal varía (según Dragster)



DISTANCIA DE LA BOQUILLA A LA SUPERFICIE DE APLICACION





VI

Revestimiento

REVESTIMIENTO.

Es necesario tener presente que existen razones y propósitos para revestir un túnel, que pueden ser de índole diversa a las consideraciones puramente estructurales. De ahí que no siempre sea la resistencia mecánica la propiedad que en forma predominante deba especificarse para este concreto. No obstante, ya que existe relación entre la resistencia mecánica y otras características requeridas, la búsqueda de estos últimos suele conducir paralelamente a la obtención de un concreto de alta resistencia mecánica.

Existen dos procedimientos básicos para revestir un túnel de concreto:

- 1.- Revestimiento de concreto convencional que consiste en el empleo de mezclas comunes, de consistencia entre plástica y fluida que se colocan mediante el apoyo de cimbras.
- 2.- Revestimiento de concreto lanzado que consiste en el uso de mezclas de consistencia relativamente seca, que se proyecta directamente sobre la superficie de excavación y que no requieren del apoyo de cimbras.

El concreto convencional es el más utilizado y adaptable a las necesidades que son frecuentes para revestimientos definitivos de túneles. El concreto lanzado ofrece ventajas como soporte temporal y como revestimiento definitivo de túneles en donde se permitan mayores tolerancias geométricas y no existen requisitos especiales de acabado.

Propiedades del Concreto Convencional.

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

to 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 sustancias en el agua.

Además debe ser protegido adecuadamente contra dos posibles causas adicionales de deterioro:

- La acción disolvente de las aguas muy puras.
- La reacción entre los álcalis del cemento y ciertos agregados.

#### Fabricación del Concreto.

Las prácticas que son recomendables para fabricar el concreto para revestimiento de túneles, no difieren substancialmente de las que se aplican en otras obras en donde existen requisitos de calidad y especificaciones de producción bien definidas y relativamente estrictas.

En lo que sigue se hace una breve revisión de los aspectos fundamentales que deben observarse con motivo de la fabricación del concreto.

#### Componentes del Concreto.

**Cemento.**- Debe seleccionarse un cemento que sea apropiado a las condiciones particulares de exposición y servicio que se contemplen.

**Árregados.**- Tomando en cuenta la necesidad de trabajar con masillas de concreto que sean manejables, y de acuerdo con las condiciones de operación y servicio del túnel.

La selección de los árregados también depende del método que se vaya a emplear para la colocación del concreto.

Aditivos.- Existen numerosas sustancias que se emplean como aditivos para concreto, para cuyas aplicaciones específicas es recomendable consultar a los diversos proveedores.

Para el caso del concreto de revestimiento de túneles, los aditivos que suelen emplearse con alguna frecuencia son: Reductores de agua, Retardante de fraguado, Incluidoras de agua, Acelerantes del fraguado, Fluidizantes y Plastificantes.

#### Características de las Mezclas.

Debido a las dificultades que se presentan durante el revestimiento de túneles, ocasionadas principalmente por las restricciones de espacio en las zonas de colado, el equipo que se puede emplear para la colocación del concreto es limitado. Los equipos más usados son las bombas, los cañones y las bandas transportadoras, éstas últimas en aquellos casos en los cuales la cubeta y las garniciones se vuelan en forma independiente de la bóveda o arco.

Lo anterior no significa que necesariamente, las características del concreto deben ser adaptadas a los métodos de transporte y colocación propuestos o disponibles. Sin querer decir tampoco que no debieran hacerse algunas adaptaciones al diseño de las mezclas para facilitar su transporte y colocación.

El concreto que se emplea para el revestimiento de túneles tiene básicamente los mismos ingredientes que un concreto convencional; sin embargo, por sus condiciones de colocación normalmente requiere la implantación de métodos y sistemas de control de calidad aún más estrictos que los necesarios en otras estructuras.

El movimiento del concreto para su colocación final dentro de las formas de revestimiento normalmente se lleva a cabo por medio de tuberías y en ocasiones mediante el uso de bandas transportadoras. En cada caso, las características del concreto fresco deben ser apropiadas al procedimiento que se utilice.

El concreto del revestimiento de túneles en casos justificados puede colocarse en otros métodos más sencillos, como son las carretillas o bogues, especialmente en la cubeta, losa de piso o guarnición de túneles pequeños

#### Concreto transportado por tubería.

Tanto la bomba como el cañón utilizan tubería para la conducción del concreto hasta el punto de descarga. Para el objeto la mezcla debería ser plástica y homogénea, poco propensa a la segregación y al sangrado y por lo general, de revestimiento un poco alto (10 a 12 cm.). Probablemente, los factores que más afectan en movimiento del concreto dentro de la tubería, son la granulometría y la forma de los agregados.

Para este caso se requiere, más que en otros, que los agregados cumplan ciertos requisitos de granulometría y que se acerquen lo más posible a los valores promedio, especialmente en los finos.

El tamaño máximo del agregado grueso, si es anguloso, no conviene que sea mayor de un cuarto del diámetro interior de la tubería. Para agregados redondeados, el tamaño máximo puede ser hasta de un tercio del diámetro del conducto.

Las características de la arena son mucho más importantes en el proporcionamiento de las mezclas que las del agregado grueso, ya que la arena junto con el concreto y el agua proporcionan el marterero o fluido que conduce las partículas de agregado grueso dentro de la tubería.

#### Concreto transportado por banda.

Al igual que el concreto que se coloca con bomba, las mezclas deben ser plásticas, homogéneas y poco segregables, aún cuando es posible y recomendable trabajar con revestimientos relativamente bajos (5 a 10 cm.). El tamaño máximo del agregado

no es crítico como no lo es la granulometría de los agregados ni la figura de la arena, si la mezcla de concreto resulta homogénea y manejable.

#### Dosificación y Mezclado.

El concreto debe dosificarse y mezclarse en una planta central o varias, si la obra lo justifica. La capacidad de la planta deberá ser en función de los volúmenes de concreto requeridos y de las características de los equipos de transporte y colocación.

Es conveniente localizar la planta en una zona de fácil acceso, para permitir el suministro de materiales, además debe ser lo más cerca posible del sitio donde se va a introducir el concreto al túnel, evitando largos acarreos que propician pérdidas de revenimiento y la segregación del concreto.

La dosificación de los ingredientes del concreto deben hacerse de preferencia en peso, porque así se tiene más control del concreto que se produce. El agua se dosifica en volumen lo mismo que algunos aditivos.

El equipo de mezclado debe ser eficiente, de acuerdo a las características de los concretos empleados, para lograr que la mezcla resulte homogénea y cohesiva. Si debido a circunstancias inevitables durante el transporte del concreto, ocurre segregación o pérdida de consistencia y trabajabilidad, debe establecerse un remezclado del concreto en el sitio de la recepción, inmediatamente antes de su colocación.

#### Transporte del Concreto.

Siendo el transporte uno de los aspectos que ocasionan mayores problemas en el concreto que se emplea en el revestimiento de túneles, la selección de los sistemas y del equipo debe efectuarse en forma cuidadosa, tomando en cuenta básicamente los siguientes factores:

- 1.- Distancia de acarreo.
  - a) En superficie.
  - b) Dentro del túnel.
  - c) Vertical por lumbreras o pozos.
- 2.- Dimensiones del túnel.
- 3.- Volúmen por transportar.

Los sistemas de transporte más empleados son los siguientes:

**Bogues.**- Capacidad pequeña, empleado en túneles chicos y distancias cortas, estando al mismo nivel. Pueden ser manuales o motorizados.

**Camiones de volteo.**-Empleado en túneles donde permita su acceso y al mismo nivel de la planta productora; limitaciones por segregación.

**Camiones revolvedoras.**-Al igual que los volteos solo que tienen la ventaja de evitar segregación y unidad de remezclado.

**Vagonetas.**-En túneles con sistemas de vías, tiene el inconveniente de propiciar segregación del concreto en revenimientos altos. Existen trenes con carros agitadores.

**Bandas transportadoras.**-Permite el movimiento de grandes volúmenes y puede ser complementario del sitio de descarga de camiones, bogues o carros agitadores a la tolva del sistema de colocación usado en distancias cortas (30 a 50 Mtrs.) y permite la transportación horizontal o hacia arriba con un ángulo de  $20^{\circ}$  (aproximadamente).

**Bombas.**-Es el método más empleado en túneles para transportar y colocar el concreto. Las bombas modernas permiten mover volúmenes de hasta  $80 \text{ M}^3/\text{Hr.}$ , a distancias hasta de 600 M. horizontales y hasta 150 M., verticales (hacia arriba).

**Cubos.**-Un sistema económico, para transportar el concreto -'

desde la superficie hacia el túnel que se encuentra a un nivel inferior, es el empuje de cubos con compuerta en la parte inferior, movidos por medio de malacates.

**Tubos de caída libre.**—Se conduce el concreto desde la superficie hasta el túnel por una tubería de 15 a 20 cm. de diámetro al final de la cual se instala un tanque amortiguador, que recibe el impacto de la caída libre. Del tanque se transporta horizontalmente hasta su procedimiento de colocación final.

### Colocación del Concreto.

La selección adecuada del método para la colocación final del concreto para revestimiento de túneles, es un factor muy importante y depende principalmente del avance de la excavación, respecto al colado, de los problemas de estabilidad, de los esfuerzos y volúmenes por colar, del uso que vaya a tener el túnel, de la sección del mismo, de la disponibilidad de espacio para maniobrar, etc.

Existen varios sistemas de colocación de concreto para el revestimiento de túneles. Los más conocidos son los siguientes:

- a) Colado contra formas.
- b) Sistema Bernold.
- c) Concreto lanzado.

El sistema Bernold constituye un caso particular del concreto colado contra formas, mientras que el sistema de concreto lanzado se describió anteriormente, ya que se utiliza más bien como sistema de revestimiento temporal. Otro sistema que suele utilizarse es el de dovelas de concreto prefabricadas.

**Colado contra formas (Sistema convencional).** Normalmente consiste en el colado del concreto mediante apoyo de formas que pueden ser metálicas o de madera. En este método que es el más empleado, la colocación final del concreto se efectúa con diferentes equipos; los más usados son bombas, cañones y bandas trans-



portadoras.

### Cimbras.

La selección del método de colado y por consiguiente el tipo de cimbra, depende fundamentalmente de los avances de la excavación y de las dificultades que de ahí presentan; básicamente existen dos tipos de cimbras para el colado de túneles.

- a) Cimbra Seccionada.
- b) Cimbra de Sección completa.

La cimbra seccionada, se emplea principalmente en aquellos casos en los que es necesario colar y excavar simultáneamente. Generalmente se lleva a cabo en tres etapas con el siguiente orden:

- 1.- Guarniciones.
- 2.- Cubetas o Moros.
- 3.- Arco o bóveda.

La cimbra de sección completa no permite el tráfico a través de ella y se emplea en túneles en los que ya se ha terminado la excavación, por lo menos en un determinado tramo. Estas cimbras se pueden a su vez clasificar en dos tipos:

- a) Cimbra estacionaria; que se emplea en túneles relativamente cortos en los cuales el avance en colocación de concreto puede ser lento.
- b) Cimbra telescópica; para cuando los colados se efectúan en forma continua, con un avance que en algunos casos llega a ser de longitud considerable.

### Método Bernard.

Este método se emplea únicamente en aquellos casos en los que, debido a la inestabilidad del terreno, es necesario el empleo de un gran número de anclas. Este método emplea al acero de soporte temporal como acero de refuerzo, eliminando la necesidad de anclas y consiste en que inmediatamente después de la excavación se cuelga un caccarón de concreto armado. Lo novedoso

de éste método, es que se trata de concreto bombeado colocado detrás de placas perforadas de acero de forma especial, las cuales sirven al mismo tiempo como parte del cascarón y como armadura.

#### Concreto Lanzado.

Este tema se vio en el capítulo de ademe y concreto lanzado.

#### Revestimiento para el túnel "San Benito".

En el túnel "San Benito", se usará el revestimiento de concreto convencional apoyado en una cimbra de sección completa, que será estacionaria como se muestra en la figura VI-1, por lo cual ya debe de estar totalmente excavado para poderlo revestir se escoge este tipo de cimbra por su versatilidad en túneles de las dimensiones del "San Benito", se tiene planeado el uso de una bomba de concreto para su colocación final y para su transporte el uso de volteos; ya que se encuentra al mismo nivel de la planta productora: es necesario una tolva receptora en el interior del túnel, de la cual se suministra el concreto a la bomba, donde por tubería llega a la clave y de ahí por gravedad hasta cerrar la sección. Se utilizan vibradores de inversión por capas aproximadamente de 40 cm. Para que el concreto no pierda fluidez es necesario un aditivo, la resistencia proyectada es de  $f'c=150 \text{ Kg/cm}^2$ , con una dosificación aproximada:

Cemento	0.300	Ton/m <sup>3</sup> .
Arena	0.514	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> .
Grava	0.670	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> .
Agua	0.300	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> .
Aditivo	0.560	Lts/m <sup>3</sup> .

La dosificación y mezclado se hará en una planta de concreto, ya que el volumen por colar es considerable; no solo se colará el túnel "San Benito", además el túnel "Coricochi" y "Sarghi", que están en la misma zona de influencia, por lo que la planta es óptimo ponerla a la entrada del túnel "Coricochi".

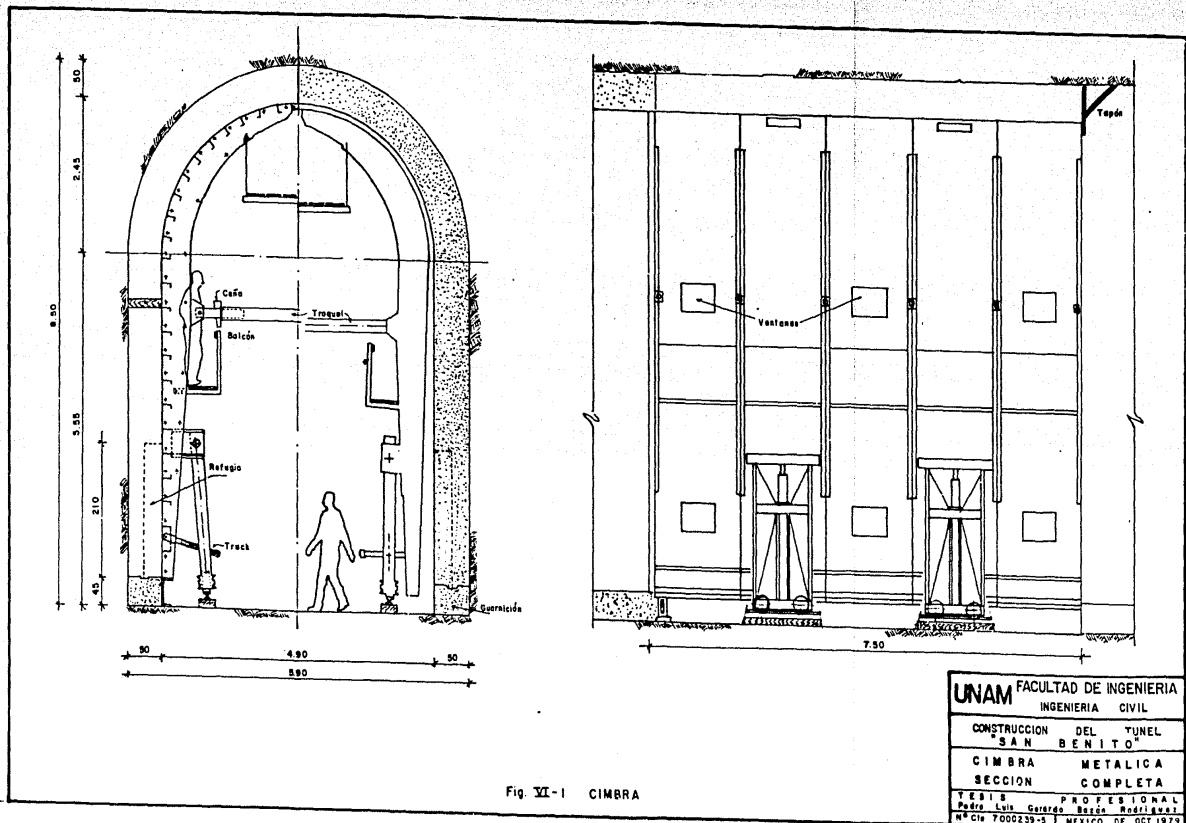


Fig. VI-1 CIMBRA

Los portales pueden ser de mampostería o concreto, según lo requiera el proyecto según la figura VI-2

El número de colados es de 48 aproximadamente con un volumen de 11.34 x 7.50 Ml., cada uno, según proyecto se deben situar refugios alternados a cada 30 Mtrs., alternados según muestra la figura VI-3, para el mantenimiento de vía y los transeúntes.

Al finalizar el revestimiento del túnel, queda listo para la colocación del sub-balastro y el tendido de vía.

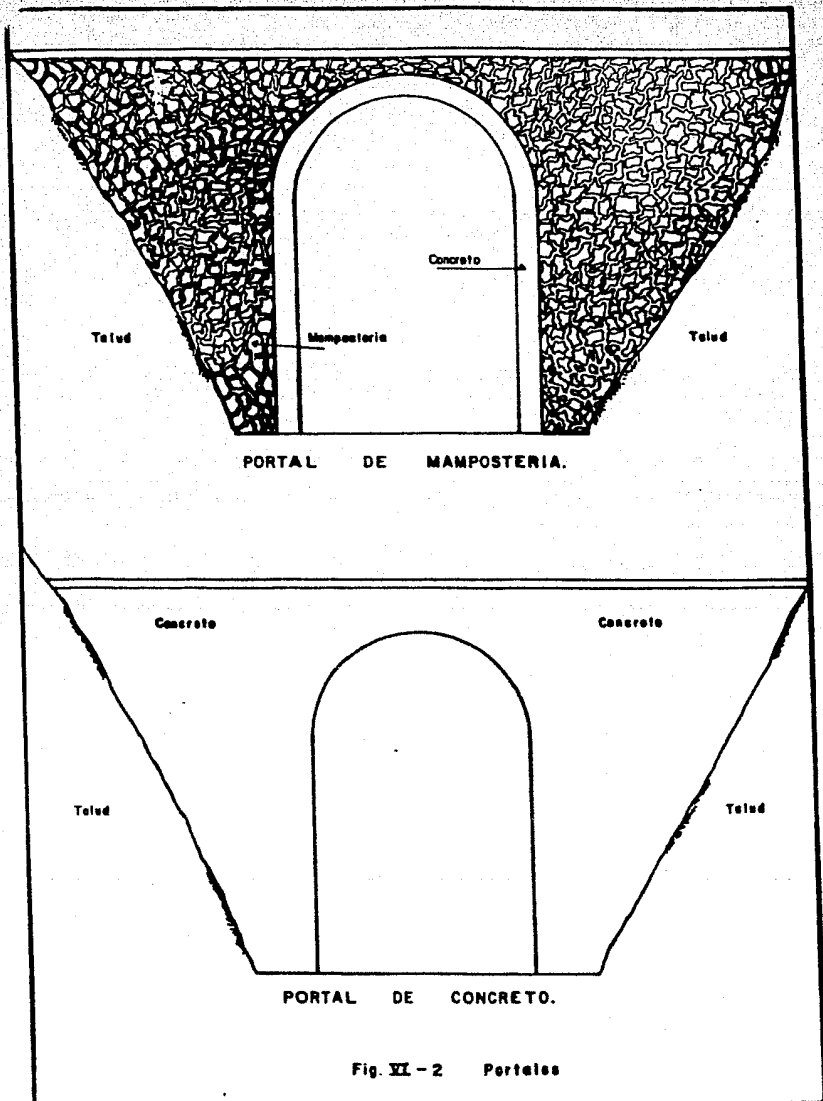
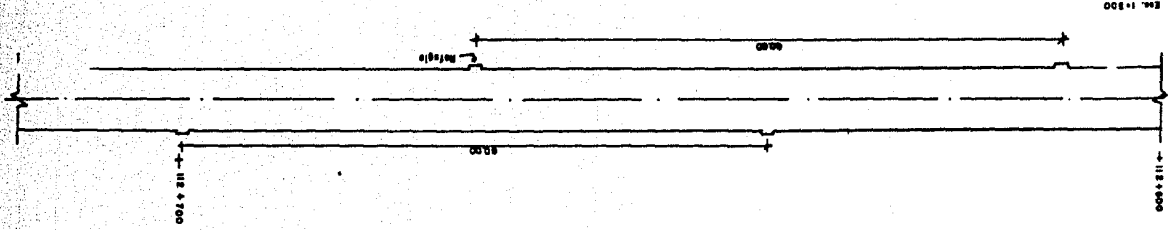


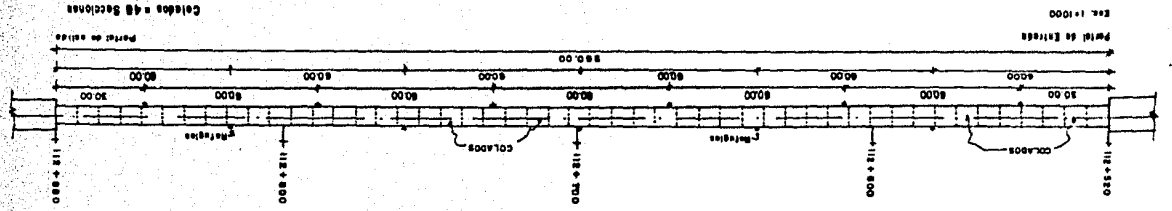
Fig. XI - 2 Portales

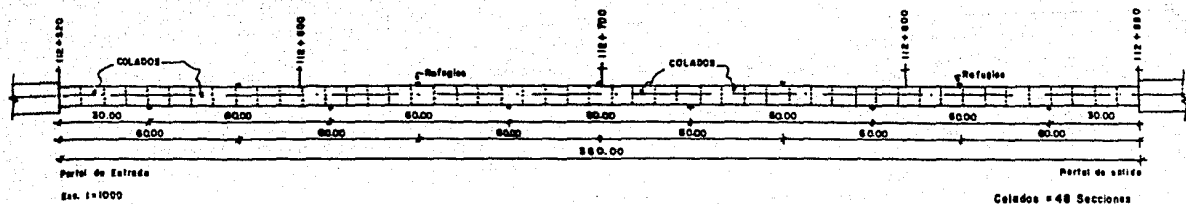
Fig. XI-3 Coladas y Refugios

Alternación de Refugios

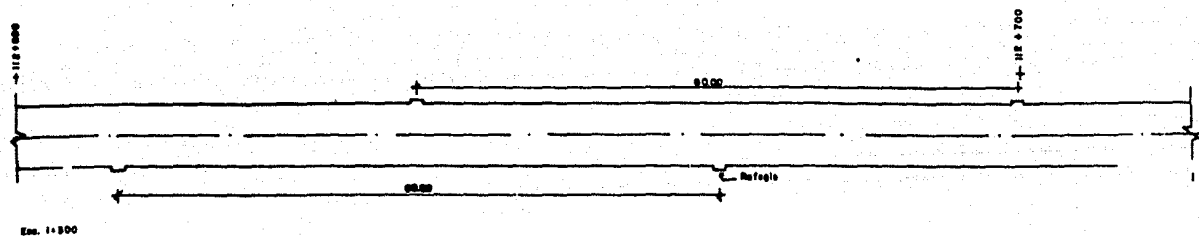


Relación de Coladas y Posición de Refugios





Relación de Colados y Posición de Refugios



Alternación de Refugios

Fig. XI-3 Colados y Refugios

VII

Costo Unitario de Excavación ,  
Ademe y Revestimiento.



COSTO UNITARIO DE EXCAVACION, ADEME Y REVESTIMIENTO.

El análisis de costo de cualquier precio unitario se calcula en principio a costo directo el cual es afectado por un factor -' llamado de Indirectos.

En el cual se incluyen todos los gastos relacionados para el tipo de trabajo, lo mismo que la utilidad de Empresa o persona -' según el caso.

Para el túnel "San Benito" supondremos un factor de Indirectos del 43% en el resumen de precios para cuantificar el precio -' total del túnel.

La secuencia de cálculo es la siguiente:

- a) Cálculo.- Tabulador de Salarios por turno.
- b) Cálculo.- Costos básicos de materiales.
- c) Cálculo.- Costos horarios de maquinaria.
- d) Análisis de costos unitarios por unidad de obra terminada.
- e) Cuantificación de la obra según proyecto.

En el presente estudio solo presentaremos un enlistado de -' los primeros tres incisos que son básicos para el precio unitario.

90  
Infiernillo Mich.

TABULADOR DE SALARIOS (turno 12 horas).

CATEGORIA	SALARIO BASE	TIEMPO EXTRA	FACTOR RIO	SALA BASE.	FACTOR RIO	SALA PERCEP. REAL.	SALARIO REAL
Albañil	190.00	234.54	54.97	34.08			513.59
Ayte. Perforista	150.00	185.16	43.40	26.90			405.46
Ayte. General	135.00	166.64	39.20	24.20			364.90
Bombero	170.00	209.85	49.18	30.49			459.52
Cabo de Peones	200.00	246.88	57.86	35.86			540.60
Cabo de Terracerías	340.00	419.70	98.36	60.96			919.02
Cadenero	150.00	185.16	43.40	26.89			405.45
Carpintero	225.00	277.74	65.09	40.34			608.17
Compresorista	190.00	234.54	54.97	34.06			513.59
Chofer	260.00	320.94	75.22	46.62			701.84
Electricista "C"	200.00	246.88	57.86	35.86			540.60
Pierrero	190.00	234.54	54.97	34.06			513.59
Jefe de Mecánicos	560.00	691.26	162.01	100.41			1513.68
Jefe de Turno	450.00	555.48	130.19	80.68			1216.35
Maniobrista	260.00	320.94	75.22	46.62			702.78
Mec. Aire	340.00	419.70	98.36	60.96			919.02
Mec. Electricidad "A"	450.00	555.48	130.19	86.68			1222.35
Mec. Diesel "A"	400.00	493.76	115.72	71.72			1081.20
Mec. Gasolina	340.00	419.70	98.36	60.98			919.04
Op. Bomba Concreto	260.00	320.94	75.22	46.62			702.78
Op. Lanzadora	260.00	320.94	75.22	46.62			702.78
Op. Malacata	190.00	234.54	54.97	34.07			513.58
Op. Motoconformadora	400.00	493.76	115.72	71.70			1081.18
Op. Planta de Concreto.	260.00	320.94	75.22	46.62			702.78
Op. Track Drill	260.00	320.94	75.22	46.62			702.78
Op. Tractor	400.00	493.76	115.72	71.72			1081.18
Op. Tractor Agrícola	260.00	320.94	75.22	46.62			702.78
Op. Traxcavo	400.00	493.76	115.72	71.72			1081.18
Peón	103.00	127.14	29.80	22.34			282.28
Perforista	260.00	320.94	75.22	46.62			702.78
Poblador	260.00	320.94	75.22	46.62			702.78
Sobrestante	500.00	617.20	144.65	89.65			1351.50
Soldador "B"	370.00	456.73	107.04	66.34			1000.11
Topógrafo	400.00	493.76	115.72	71.72			1081.20
Tubero	190.00	234.54	54.97	34.07			513.58
Vibradorista	200.00	246.00	57.86	35.86			539.72

En este caso los diferentes factores obtenidos según las prestaciones de ley son:

Factor tiempo extra	= 1.2344	SB
Factor sobre salario base	= 0.2893	SB
Factor sobre percepción total salario mínimo.	= 21.6875	✗
Factor sobre percepción total salario superior al mínimo.	= 17.9375	✗

COSTOS BASICOS DE MATERIALES

Infiernillo, Mich.

<u>M A T E R I A L E S</u>	<u>UNIDAD</u>	<u>COSTO</u>
Acero de Barrenación 800mm x 7/8" ø	Pza.	2,022.45
Acero de Barrenación 1600mm x 7/8" ø	Pza.	2,253.01
Acero de Barrenación 2400mm x 7/8" ø	Pza.	2,680.69
Acero de Barrenación 3200mm x 7/8" ø	Pza.	3,150.22
Acero de Extensión I 1/2" x 10"	Pza.	7,140.28
Acetite	Lt.	15.00
Acetileno	Kg.	98.28
Agua	M <sup>3</sup> .	20.82
Alambre T W 20	Ml.	0.98
Alambre recocido	Kg.	17.00
Arena	M <sup>3</sup> .	150.00
Broca 3" Tipo x con rueda Tope	Pza.	5,740.00
Cemento	Ton.	1,100.00
Clavo	Kg.	16.00
CLK	Lt.	18.58
Cople	Pza.	1,027.52
Curacreto	Lt.	7.78
Dinamita Gelatina Extra 40%	Kg.	28.63
Dinamita Gelatina Extra 60%	Kg.	29.94
Dinamita Gelatina Extra 75%	Kg.	30.70
Dinamita Gelamex No. 2	Kg.	25.48
Estopines "Mark" V.	Pza.	23.89
Fierro Estructural I.P.R.	Kg.	10.00
Fulminante No. 6	Pza.	2.17
Gasolina Nova	Lt.	3.03
Grava	M <sup>3</sup> .	200.00
Madera	P.T.	7.50
Malla de Refuerzo	M <sup>2</sup> .	17.90
Mecha Clover	Ml.	2.72
Oxigeno	M <sup>3</sup> .	70.72
Piedra de Mamosteria	M <sup>3</sup> .	100.28
Primacord E-Cord.	Ml.	3.92
Soldadura	Kg.	30.43
Super-Mexamón "D"	Kg.	6.58
Tornillos 1" x 3"	Pza.	38.00
Tovex Extra	Kg.	18.93
Tovex 700	Kg.	23.89
Tubería C-40 4" ø	Ml.	244.58
Tubería C-40 6" ø	Ml.	561.84
Tubería Galvanizada 2" ø	Ml.	113.00
Varilla	Kg.	8.20
Zancos	Pza.	3,661.84

A continuación se dá como ejemplo el Análisis Básico de la Dinamita Gelatina Extra 60%.

DINAMITA GELATINA EXTRA 60%.

Dinamita Gelatina Extra 60%	Kg.	694.00:25.00	27.76	\$ 27.76
Impuesto Sobre Ingresos Mex cantiles.	%	4.00	27.76	I.II
Flete Especializado	Kg.	1.00	0.78	0.78
Desperdicios y Maniobras de descarga	%	1.00	28.87	0.29
COSTO DIRECTO (kg)				\$ 29.94

COSTOS HORARIOS DE MAQUINAS.

Tramo-Infiernillo Mich.

M A Q U I N A	HMD. ACTIVO	HMD. INACTIVO
Bomba Autocebante 2" Ø Gasolina	\$ 56.87/hr.	
Bomba Autocebante 3" Ø Gasolina	57.18	
Bomba de Agua 4" Ø Gasolina	66.17	
Bomba de Agua 6" Ø Gasolina	108.29	
Bomba de Agua 2" Ø Gasolina	50.94	
Bomba Sumergible eléctrica	50.27	
Bomba de Lodos	58.25	
Bomba de Concreto P-40	380.41	171.67
Bomba de Concreto P-60	515.30	210.30
Gamioneta Pick-Up F-100	133.87	
Gami6n de Redilas F-600	201.92	94.69
Gami6n Pipa F-600 de 10,000 Lts.	220.76	122.39
Gami6n de Volteo F-600	193.47	93.35
Gami6n Tipo Roca	277.73	107.77
Gami6n Volteo pesado p/roca Cat- 769.	1,632.17	

MAQUINA	HMD. ACTIVO	HMD. INACTIVO
Cargador Frontal Cat-977-L	746.22	
Cargador Frontal Cat-955-L	529.29	235.56
Cargador Frontal Cat-988	1,811.83	
Carro de Agregados	99.68	
Compresor 325 PCM	235.42	
Compresor 600 PCM	317.24	116.92
Compresor 750 PCM	368.98	131.68
Conjunto de Trituración Primaria con alimentador de cadena pioneer 24" x 36"	1,228.92	
Conjunto de Trituración Secund.	1,137.10	
Conjunto de Cribado	507.26	
Jumbo de barrenación	56.79	11.60
Lanzadora Aliva	264.51	
Malacate de Gasolina 3,000 Kg.	96.76	
Martillo rompedor	78.60	
Mezclador Gemix I75	23.06	
Motoconformadora Cat-I20-B	502.47	
Perforadora de Piso S-58-D	81.57	
Perforadora de Piedra FL-83-54	91.76	71.84
Planta de Concreto Elba EMM-I5	328.53	168.54
Planta de Luz de 30 Kw.	110.25	76.87
Planta de Luz de 60 Kw.	187.65	96.00
Planta de Luz de 75 Kw.	214.35	
Planta de Luz de 150 Kw.	258.13	
Revolvedora 6 S	62.50	
Revolvedora II S	105.54	
Revolvedora I6 S	118.25	
Rodillo Vibratorio R-52-L	124.30	
Roladora de Marcos	40.30	
Soldadora de Gasolina	134.40	95.48
Tractor Agrícola F-6,600	142.06	
Track Drill ATD-3100	417.22	
Tractor D-7	819.44	

M A Q U I N A	HMD ACTIVO.	HMD INACTIVO.
Tractor D-8	I,122.42	
Tractor D-9	I,540.60	
Ventilador Axial PHMD-I-600	10.86	
Vibrador de Gasolina	56.03	46.93
Vibrador MV-150 eléctrico	54.70	47.50

ANALISIS DE COSTO UNITARIO POR UNIDAD DE OBRA TERMINADA.

Excavación por unidad de obra terminada en túnel en tangente.

Quando no se necesite Ademe.

DATOS DE PROYECTO

Area de Excavación	48.47 m <sup>2</sup> .
Profundidad de Barrenación	2.40 ml.
Acarreo dentro del Túnel	1.80 ml.
Plantilla de Barrenación	80.00 Barrenos
Avance Efectivo (cuele) 0.9x2.40	2.16
Volumen por tronada 48.47 x 2.16	104.70 m <sup>3</sup> .

Ciclo de Trabajo.

Instalación de Jumbo	0.25 Hr.
Trazo de Plantilla de Barrenación	0.50 Hr.
Perforación	3.50 Hr.
Carga y Poblado	0.50 Hr.
Tronada y Retiro del Jumbo	0.25 Hr.
Ventilación	0.25 Hr.
Amacice y meter equipo de rezaga	0.50 Hr.
Rezaga	3.00 Hr.
Retiro del equipo de Rezaga	0.25 Hr.
	<u>9.00 Hr.</u>

I - Maquinaria.

DESCRIPCION	NO.	TIEMPOS		COSTOS		
		activo	Inactivo	Activo	Inactivo	Importe
Compresor 600 P.C.M.	2	4	5	317.24	116.92	\$3,707.00
Perforadora de Pierna	8	3.5	5.5	91.76	71.84	5,730.24
Ventilador	I	9.0		10.86		97.74
Planta de Luz 30 Kw.	I	9.0		110.25		992.25

Maquinaria		Tiempos		Costos		Importe	
Descripción	No. Activo	Inactivo	Activo	Inactivo			
Jumbo de Barrenación	1	5.0	4.0	56.79	11.60	\$ 330.20	
Cargador	9.55	1	3.50	5.50	529.29	235.56	3,148.95
Camiones Volteo	2	3.50	5.50	277.72	107.72	3,128.96	

\$17,135.34

Costo por m<sup>3</sup>. \$17,135.34 ÷ 104.70 = \$163.66/m<sup>3</sup>.

## II Materiales --

Dinamita	1.00 KG/m <sup>3</sup>	x 29.94	\$ 29.94/m <sup>3</sup>
Estopines	(80 ÷ 104.70)	0.76 Pza/m <sup>3</sup> x 23.89	13.87/m <sup>3</sup>
Alambre	<u>80 m x 1.25</u>	0.96 x 0.98	0.90/m <sup>3</sup>
	104.70		
Equipo de Seguridad	30 operarios x 1 Jgo. x 2 turnos x 350.00/Jgo.		= 1.20/m <sup>3</sup>

### Acero de Barrenación Integral Serie II

Barra	1600 mm	\$ 2,253.01
	2400 mm	2,680.69
	3200 mm	3,150.22
		8,083.92
Afilado 5%		404.20
		\$ 8,488.12

Duración 400 ml.

Costo por ml.	\$ 8,488.12 ÷ 400 =	\$ 21.22/ml.
Coefficiente de Barrenación	<u>80 x 2.40</u>	\$ 1.83 ml./m <sup>3</sup>
	104.70	
Costo por m <sup>3</sup> .	1.83 x 21.22 =	\$ 38.83/m <sup>3</sup>
Agua para Barrenación	<u>3.66 m<sup>3</sup> x \$20.82/m<sup>3</sup></u>	= \$ 0.73/m <sup>3</sup>
	104.70	

Total de Materiales = \$ 85.40/m<sup>3</sup>

**III Instalaciones .**

Descripción	Cantidad	Costo	Depreciación	Importe
<b>a) Aire Comprimido</b>				
Tubería 4" Ø	420 m	431.65	0.10	18,129.30
Válvula 4" Ø	3	15,000.00	0.25	11,250.00
Tanque de Aire a Presión.	1	40,000.00	0.10	4,000.00
Repartidor	2	5,000.00	0.50	12,194.00
Abrazadora	70	348.40	0.50	12,194.00
Empaque de Hule	70	34.60	1.0	2,422.00
Manguera de 3/4" Ø	16	2,976.55	0.5	23,812.40
Manguera de 2" Ø	1	12,000.00	0.5	6,000.00
				<u>\$82,807.70</u>
<b>b) Agua</b>				
Tanque	1.0	3,500.00	0.10	\$ 3,500.00
Tubería de 2" Ø	380	113.00	0.10	4,294.00
Válvula de 2" Ø	4	1,000.00	0.5	2,000.00
Repartidor	2	2,500.00	0.5	2,500.00
Manguera 2" Ø	16	2,218.94	0.5	17,751.52
				<u>\$30,045.52</u>
<b>c) Ventilación</b>				
Tubería de Lámina cal 22 x 22" Ø	60 Pza.	350.00	1.0	\$21,000.00
				<u>\$21,000.00</u>
<b>d) Electricidad.</b>				
Cable No. 2	1,000 mts.	38.10	0.20	3,810.00
Cable No. 10	600 mts.	8.15	1.00	4,890.00
Interruptor	8	7,000	0.10	5,600.00
Arrancadores	8	2,500	0.40	8,000.00
Focos 150 w/220 V	80	35.00	1.00	2,800.00
Cable No. 8	300	13.68	0.20	820.80
Sockets	40	25.00	1.00	1,000.00



Descripción	Cantidad	Costo	Depreciación	Importe
Lámpara de Cuarzo	3	1000.00	1.00	\$3,000.00
Bastidores	80	50.00	1.00	4,000.00
• Instalación Exterior (cable No. 10)	300	8.15	1.00	<u>2,445.00</u>
				\$36,365.80

Total Materiales \$ 170,219.08

de Obra Instalaciones (Instalaciones y Recobro)

0.30 x 170,219.08 = \$ 51,065.72

Instalación Total \$221,284.80

Costo por m<sup>3</sup>.  $\frac{\$221,284.80}{360 \times 48.47} = \$ 12.68/\text{m}^3$ .

Mano de Obra Adicional .

I.- Jefe de Turno	684.45
I Tubero	258.51
I Ayudante de Tubero	205.34
8 Ayudantes de Perf. 288.15	1,825.20
I Electricista	304.20
2 Ayudantes Generales	
205.34	
	<u>410.68</u>
	<u>3,688.44</u>

Costo por m<sup>3</sup>.  $\frac{\$3,688.44 \times 9}{8 \times 104.70} = 39.63/\text{m}^3$ .

Mano de Obra para Instalación de Compresores y emportalamiento.

I Jefe de Turno	684.45
8 Perforistas \$ 395.46	3,163.68
8 Ayudantes de Perforista 288.15	1,825.20
I Soldador	536.72
I Carpintero	342.23
I Electricista	304.20

4 Ayudantes Generales 205.34  
 I Tubero

821.57  
258.57  
 \$7,936.41

Costo por m<sup>3</sup>.  $\frac{\$7,936.41 \times 18 \text{ turnos}}{360 \times 48.47}$  \$ 8.19/m<sup>3</sup>.

Resumen de Cargos por M<sup>3</sup>

Maquinaria	\$ 163.66
Materiales	\$ 85.40
Instalaciones	\$ 12.68
Mano de Obra Adicional	\$ 39.63
Mano de Obra para Instalación de compresores y emportalamientos.	\$ 8.19
	<u>\$ 309.56/m<sup>3</sup></u>

Costo por Ml. de Túnel  
 309.56 x 48.47 = \$15,004.37/ml.

Costo Directo	\$15,004.37/ml.
Indirectos 43%	<u>6,451.88/ml.</u>
Precio Unitario	\$21,456.25/ml.

Excavación por Unidad de obra terminada, en túnel con Ademe en  
Tangente.

DATOS DE PROYECTO.

Area de Excavación	48.47 m <sup>2</sup> .
Profundidad de Excavación	2.40 Ml.
Acarreo dentro del túnel (Excavación por un solo portal).	180.00 Mts.
Plantilla de Barrenación	80 Barrenos
Avance Efectivo 2.40 x 0.90	2.16 M.
Volúmen por Tronada	104.70 m <sup>3</sup> .

CICLO DE TRABAJO.

Instalación del Jumbo	0.25 Hr.
Trazo de la Plantilla de Barrenación	0.50 Hr.
Perforación	3.50 Hr.
Carga y Poblado	0.50 Hr.
Tronada y Retiro del Jumbo	0.25 Hr.
Ventilación	0.25 Hr.
Amacice y meter equipo rezaga	0.50 Hr.
Rezaga	3.00 Hr.
Ademe	3.00 Hr.
Retiro de Equipo de Rezaga	<u>0.25 Hr.</u>
	12.00 Hr.

I.- MAQUINARIA

Descripción	No.	TIEMPOS		COSTOS		Importe
		Activo	Inactivo	Activo	Inactivo	
Compresor 600 P.C.M.	2	4.00	8.00	317.24	116.92	\$4,408.64
Perforadora Pierna	8	3.50	8.50	91.76	71.84	7,454.40
Ventilador	1	12.00		10.86		130.32
Planta de Luz 30 kw.	1	12.00		110.25		1,323.00
Jumbo	1	8.00	4.00	56.76	11.60	500.72
Cargador 955	1	4.50	7.50	529.29	235.56	4,148.50
Camiones	2	4.50	7.50	277.72	107.72	4,115.28

\$22,080.86

Costo por m<sup>3</sup>. \$22,080.86 ÷ 104.70 m<sup>3</sup>. \$ 210.90/m<sup>3</sup>

## II MATERIALES.

Igual al precio de Excavación sin Ademe \$ 85.40/m<sup>3</sup>.

## III INSTALACIONES.

Igual al precio de Excavación sin Ademe \$ 12.68/m<sup>3</sup>.

## IV MANO DE OBRA ADICIONAL

Del precio de Excavación sin Ademe \$ 3,688.44

Ademador 395.46

\$ 4,083.90

Costo por m<sup>3</sup>  $\frac{\$ 4,083.90 \times 12}{104.70 \times 8} =$  \$ 58.51/m<sup>3</sup>.

## V MANO DE OBRA PARA INSTALACION DE COMPRESORES Y EMPORTALAMIENTO

Del precio de Excavación sin Ademe \$ 8.19/m<sup>3</sup>.

## RESUMEN / .

I- Maquinaria	\$ 210.90/m <sup>3</sup> .
II- Materiales	\$ 85.40/m <sup>3</sup> .
III Instalaciones	\$ 12.68/m <sup>3</sup> .
IV- Mano de Obra Adicional	\$ 58.51/m <sup>3</sup> .
V - Mano de Obra para Instalación y emportalamiento.	\$ 8.19/m <sup>3</sup> .
	<u>\$ 375.68/m<sup>3</sup>.</u>

Costo por Ml. \$ 375.68 x 48.47 = \$ 18,209.21

Costo Directo \$ 18,209.21

Indirectos 43% \$ 7,829.96

Precio Unitario \$ 26,039.17/ml.

Marcos de Acero Estructural, por unidad de obra terminada para Ademe de Túnel.

ANALISIS.

Se estudia un marco en tangente y se divide entre su peso en Kg.

M A T E R I A L E S .

Vigueta I P R 6"x4"	469.81 Kg x 1.10 desp. x 10.00	\$567.91/marco
Placas	16.02 Kg x 13.50	216.27/marco
Tensores	31.78 Kg x 8.20 x 1.1 desp.	286.66/marco
Birlos	12 Pza. x 15.00	180.00/marco
Tuercas Tensores	12 Pza. x 8.00	96.00/marco
Tornillos 1" x 3"	2 Pza. x 38.00	76.00/marco
Soldadura 5 Kg.	5 Kg x 30.43	152.15/marco
Oxígeno	3 M <sup>3</sup> . x 70.72	212.16/marco
Acetileno	0.8 M <sup>3</sup> . x 98.28	<u>78.62/marco</u>
		<b>\$6,465.77/marco</b>

MANO DE OBRA.

a) Fabricación del Marco en la Obra.

Rolado	684.45
1 Jefe de Turno	
2 Maniobristas	
395.46	790.92
7 Peones 161.61	<u>1,131.27</u>
	<b>\$2,606.64</b>

Costo por Marco \$ 2,606.64 ÷ 6 marcos = \$434.44/marco

b) Soldadura de Placas, separadores y orificios de vigueta.

2 Ayudantes	\$205.34	=	410.68
Por marco	\$410.68 ÷ 2 marcos		<u>\$205.34/marco</u>

**\$639.78/marco**

III. EQUIPO.

a) Fabricación de Marcos.

Roladora de Marcos	\$19.74/Hr.
Malacate	<u>\$96.76/Hr.</u>
	<b>\$116.50/Hr.</b>

\$116.50/Hr. x 8 Hrs. = \$ 955.33/marco.  
6 Marcos

Soldadura de 300 Amp.

$$\frac{\$134.40/\text{Hr.} \times 8 \text{ Hrs.}}{4} = \$ 268.80/\text{marco}$$

\$424.13/marco

b) Transporte.

Transporte en la Obra Camión Volteo.

$$\text{Activo } \frac{180 \text{ Min.} \times \$277.62/\text{Hr.}}{60 \text{ Min./Hr} \times 4 \text{ marcos}} = \$208.22/\text{Marco.}$$

$$\text{Inactivo } \frac{90 \text{ Min.} \times 107.66/\text{Hr.}}{60 \text{ Min./Hr.} \times 4 \text{ Marcos}} = \$ 40.37/\text{Marco.}$$

Mano de Obra en Transporte.

I Maniobrista 395.46

I Peón 161.61**\$557.07**

$$\text{Costo Por Marco } \frac{210 \text{ Min.} \times 557.07}{60 \text{ Min./Hr.} \times 8 \text{ Hr.} \times 4 \text{ Marcos}} = \$ 60.93/\text{Marco}$$

\$309.52/Marco

Costo por Marco \$7,839.20/Marco.

$$\text{Costo por Kg. } \frac{7,839.20}{519.01} = \$15.10 \text{ Kg. } \quad \$15.10/\text{Kg.}$$

Costo Directo \$15.10/Kg.

Indirectos y Utilidad 43% \$ 6.49/Kg.

Precio Unitario \$21.59/Kg.

de Acero por Unidad de Obra Terminada de 2.54 cm. de Diámetro y de 1 a 3 m. de longitud.

## M A T E R I A L E S .

Varilla	3.975 x \$ 8.20/kg.	\$ 32.59 /M.
Desmerdicio	5% x 32.59	\$ 1.63 /M.

## E Q U I P O .

2 Perforadoras de Pierna	\$91.76	\$183.52
1 Compresor 600 P.C.M.		\$317.24
1 Jumbo		\$ 56.79
		<u>557.55</u>

Rendimiento 20 m./Hr.

Costo \$557.55 ÷ 20 \$ 27.88 /M.

## M A N O D E O B R A .

## Habilidad

1 Soldador	\$536.72
1 Ayudante	<u>\$205.34</u>
	<u>\$742.06</u>

Rendimiento 30 m./Turno

Costo por M. \$742.06 ÷ 30 \$ 24.74/M.

## Colocación y Retague

1/10 Jefe de Turno	\$ 68.45
2 Maniobristas	\$790.92
2 Peones	161.61
	<u>\$1,182.59</u>

Rendimiento 50 M.

Costo \$ 1,182.59 ÷ 50 \$ 23.65/M.

Total de Mano de Obra \$ 48.39/M.

## Herramienta

0.03 x 48.39

\$ 1.45/M.

COSTO DIRECTO	\$111.94/M.
INDIRECTOS Y UTILIDAD 43%	\$ 48.13/M.
PRECIO UNITARIO	<u>\$160.07/M.</u>

Madera Colocada por Unidad de Obra Terminada para Ademe.

Costo de Madera puesta en Obra.

423 p.t. x \$7.50/p.t. x 1.05 desp.

\$ 3,331.13/M<sup>3</sup>.

Corte.

1 Carpintero \$342.23

2 Peones 161.61 \$323.22

\$665.45

Rendimiento 4 m<sup>3</sup>.

Costo \$665.45 ÷ 4

\$ 166.36/M<sup>3</sup>.COSTO DIRECTO \$ 3,497.49/M<sup>3</sup>.INDIRECTOS Y UTILI  
DAD 43% 3 1,503.92/M<sup>3</sup>.PRECIO UNITARIO \$ 5,001.41/M<sup>3</sup>.



Concreto Hidráulico, por Unidad de Obra Terminada de f'c = 150  
kg/cm<sup>2</sup>. en Recubrimiento de Túneles en Tangente.

M A T E R I A L E S.

Cemento	0.300 Ton.	x	1,100.00	=	\$	330.00
Arena	0.514 m <sup>3</sup> .	x	150.00	=		77.10
Grava	0.670 m <sup>3</sup> .	x	200.00	=		134.00
Agua	0.300 m <sup>3</sup> .	x	20.82	=		6.25
Aditivo C.L.K.	0.560 Lts	x	18.58	=		<u>10.40</u>
					\$	557.75
	Desperdicios 3%	x	557.75	=	\$	<u>16.73</u>

\$ 574.48/M<sup>3</sup>.

FABRICACION DE CONCRETO.

n) Mano de Obra, I turno de 12 Hrs.

I Cabo \$ 540.60

10 Peones \$282.28 \$282.80

\$3363.40/Turno

Efectuando un colado de 7.45 mts. x 11.84 m<sup>3</sup>/Ml. = 88.21 m<sup>3</sup>. cada  
 2 días se tiene.

44.105 m<sup>3</sup>/Turno de 12 Hrs.

\$ 3,363.40 x 2 días = \$ 76.26/M<sup>3</sup>.  
 88.21

b) Equipo.	Tiempo		Costo		Importe
	Activo	Inactivo	Activo	Inactivo	
I Planta Elba 15	12	12	328.53	168.54	5,964.84
I Cargador 955	6	6	529.29	235.56	4,589.10
I Planta de Luz 75 Kw.		12	214.35	150.40	<u>4,377.00</u>

\$14,930.94

Costo por M<sup>3</sup>. 14,930.94 ÷ 88.21 = \$ 169.27/M<sup>3</sup>.

Acarreo de Concreto, movimiento de cimbra, rezaga de limpieza para  
 desplante de concreto.

Equipo.

	Tiempo Activo	Costo	
2 Camión de Volteo	24	193.51	\$ 9,288.48

Equipo.	Tiempo Activo	Costo	
I planta de Luz 30 Kw.	24	110.25	<u>2,646.00</u>
			<u>\$11,934.48</u>

Costo por M<sup>3</sup>.  $11,934.48 \div 88.21 = \$135.29/\text{M}^3$ .

Colocación de Concreto, movimiento de cimbra. Excavación para Limpieza y desplante.

a) Mano de Obra (I turno 12 H rs.)

1 Jefe de Turno		1,216.35	
2 Maniobristas	762.78	1,405.56	
2 Ayudantes	364.90	729.80	
2 Carpinteros	608.17	1,216.34	
6 Peones	282.28	1,693.68	
1 Electricista		540.60	
		<u>\$6,802.33</u>	/Turno

Costo por M<sup>3</sup>.  $\frac{\$6,802.33 \times 2 \text{ días}}{88.21} = \$154.23/\text{M}^3$ .

b) Equipo.

	Tiempos		Costos		Importe
	Activo	Inactivo	Activo	Inactivo	
I Bomba de Concreto	12	12	320.32	151.61	\$5,663.16
2 Vibradores	5	19	54.70	47.50	1,859.70
I Planta de Luz 30 Kw.	12	12	110.25	76.87	<u>2,245.44</u>
					\$ 9,768.30

Costo por M<sup>3</sup>.  $\$9,768.30 \div 88.21 = \$110.74/\text{M}^3$ .

## Instalaciones y Accesorios .

## a) Fabricación de Concreto.

Descripción	Cant.	Costo	Depreciación	Importe
Estructura y Tolva para concreto con gomera, cap. 3 m <sup>3</sup> .	I	25,000.00	0.25	6,250.00
Tanque Metálico para Agua Cap. 10,000 Lts.	2	25,000.00	0.10	5,000.00
Válvula de Globo 2" Ø	I	2,500.00	0.50	1,250.00
Tubería de 2" Ø	100	113.00	0.10	1,130.00
Caseta Cemento	I	25,000.00	0.25	6,250.00
Material Eléctrico Varios	I	10,000.00	0.25	<u>2,500.00</u>
				\$ 22,380.00

## b) Colocación de Concreto.

Estructura, tolva para concreto, Cap. 3M <sup>3</sup> .	I	25,000.00	0.10	2,500.00
Tanque Metálico para Agua 10,000 Lts.	I	25,000.00	0.10	2,500.00
Válvula de Globo 2" Ø	I	25,000.00	0.50	1,250.00
Tubería de 2" Ø	500	113.00	0.10	5,650.00
Material Eléctrico Varios	I	20,000.00	0.25	5,000.00
Rampa Metálica para Camiones	I	85,000.00	0.10	8,500.00
Madera para Rampa	1500	7.50	0.50	3,900.00
Varilla de 3/4" Ø para rampa.	500	8.20	0.5	<u>2,050.00</u>
				\$ 31,350.00

Suma de Instalaciones 22,380.00 + 31,350.00 = 53,730.00

Volumen Proyecto 380 x 11.64 = 4,499.20

Costo por M<sup>3</sup>. 53,730.00 ÷ 4,499.20 = \$ 11.94/M<sup>3</sup>.

Mano de Obra para Instalaciones Plantes (turno 12 Hrs.)

1 Jefe de Turno	1,216.35	\$1,216.35
2 Maniobristas	702.78	1,405.56

IOB

2 Carrinteros	608.17	1,216.34
2 Ayudantes de Manio bristas.	364.90	729.80
1 Electricista	540.60	540.60
2 Peones	282.28	564.56
1 Op. Bomba de Con- creto	702.78	702.78
1 Ayudante de Op. de bomba.	364.90	364.90
2 Planta de Luz	513.59	1,027.18
1 Op. Planta Elba	702.78	702.78
2 Peones Agua	282.28	564.56
1 Peón Aditivo	282.28	282.28
1 Cabo	540.60	540.60
6 Peones Cemento	282.28	1,693.68
1 Op. Cargador 955 L.	1,081.18	1,081.18
1 Soldador	1,000.11	1,000.11
1 Ayudante	364.90	364.90
1 Mecánico Diesel	1,081.20	1,081.20

Instalación y Desmantelamiento: 35 días.

$$\text{Costo por M}^3. \frac{1 \times 15,083.38 \times 35}{4,499.20} = 117.34/\text{m}^3.$$

Equipo para Instalación de Planta.

1 Tractor D 8-K	40	1,122.42	44,896.80
1 Unión Volteo	350	193.51	<u>67,728.50</u>
			112,625.30

$$\text{Costo por M}^3 : 112,625.30 \div 4,499.20 = 25.03/\text{m}^3.$$

Cimbra.

$$\text{Cimbra Metálica } 1,000,000 \times 0.10 \text{ Depre.} = 100,000.00$$

$$\text{Costo por M}^3 : 100,000 \div 4499.20 = 22.23/\text{m}^3.$$

Metopius.

$$\text{Volte Metálico } \frac{33,000/\text{Pza.} \times 1 \text{ Pza.}}{4,499.20} = 7.067/\text{m}^3$$

$$\text{Ladera } \frac{4.0 \text{ m.t.} \times 7.50}{15 \text{ m.} \times 11.84 \text{ m/m.}} = 3.017/\text{m}^3$$

Armar y Desarmar Cimbra: 1 semana c/uno.  
 I Traxcavo 977 cat.      Tiempo Act. Costo Act.

Importe  
\$ 5,969.76

\$ 5,969.76

Costo por M<sup>3</sup>.  $\frac{\$ 5,969.76 \times 2 \times 6 \text{ días}}{4499.20} = \$15.92/\text{M}^3$

Mano de Obra: Ya considerada en instalación y desmantelamiento de planta de concreto.

Tapones para Colado

Madera 101.59 P.t. x 7.50 = \$761.92

Metal Desplegado 26 mts. x 15.00 = 390.00

1,151.92

Costo por Metro<sup>3</sup> =  $1,151.92 \div 177.60 \text{ m}^3 = \$6.49/\text{m}^3$ .

Mano de Obra en colocación de Tapones: Ya considerada en colocación de concreto.

COSTO DIRECTO \$ 1,410.06

INDIRECTOS 43% 606.33

PRECIO UNITARIO \$ 2,016.39

Quantificación del Precio para el túnel "San Benito"

NO.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD DE OBRA	PRECIO UNITARIO	IMPORTE
1	Excavación por unidad de Obra terminada en túnel cuando no se ne- cesite Ademe.	Ml.	290	21,456.35	6'222,312.50
2	Excavación por unidad de Obra terminada en túnel cuando se nece- site Ademe.	Ml.	70	26,039.17	1'822,741.90
3	Marcos de Acero Es- tructural, por unidad de obra terminada pa- ra ademe de túnel.	Kg.	46,710	21.59	1'008,468.90
4	Anclas de Acero por unidad de Obra termi- nada de 2.54 cm. de diámetro y de 1 a 3 m de longitud.	L.	800	160.07	128,056.00
5	Madera colocada por unidad de Obra termi- nada para ademe.	M <sup>3</sup> .	225	5,001.41	1'125,317.20
6	Concreto Hidráulico por Unidad de Obra - terminada de f'c=150' Kg/cm <sup>2</sup> . en portales.	M <sup>3</sup> .	500	2,016.39	1'008,195.00
7	Concreto Hidráulico por Unidad de Obra - terminada de f'c=150' Kg/cm <sup>2</sup> . en recubri- miento de túnel.	M <sup>3</sup> .	4,490.20	2,016.39	9'072,141.00
PRECIO TOTAL					20'357,232.00

Este precio es válido en el momento de su estudio y está sujeto a cambios en el costo de Mano de Obra, Materiales y Equipo; que lo afectan según el incremento de precios.

VIII

Comentarios

### III

#### COMENTARIOS

En los temas anteriores se trató de dar una nueva visión de lo que es la construcción de un túnel. Siendo el tema tan extenso y un poco desconocido por lo estrófico del mismo.

Cada día se ocupa más este tipo de trabajos, ya que la creciente infraestructura así lo requiere.

Por lo cual se necesita conocer los diversos elementos de la construcción de los túneles, como fué mencionado someramente; ya que cada uno de los temas tiene una amplia gama para la investigación y estudio.

Cada día se perfecciona la maquinaria de construcción e inventan equipos para dar soluciones a problemas específicos.

En el caso de la construcción de túneles existen equipos de perforación tales como los topes, (en rocas aproximadamente sanas); Escudos (en suelos blandos), Máquinas mineras (cortador tipo fresa y cortador desgarrador), etc.

Para cada una de las actividades de la construcción se debe tener una idea preestablecida en cuanto a la planificación de la obra para que salga lo más económico posible, y evitar los riesgos.

La Ingeniería de Seguridad en la construcción de túneles es tan amplia ya que en algunos casos se utiliza Aire comprimido en toda la sección; por lo cual se debe capacitar gente adecuadamente. Y así evitar al mínimo las posibles consecuencias de accidentes.

Los métodos de tajeo son tan amplios como lo es el tipo de suelo que se vaya encontrando, ya que no se puede predecir.

En relación con los costos se tiene un sin fin de posibili



tales como cambios en ese aspecto se suscitan.

Controlar cada una de las acciones en cualquier tipo de actividad, es siempre satisfactorio ya que nos permite tener medidas de corrección oportunas y así evitar contratiempos.

Al desarrollar cualquier tipo de trabajo técnico, el interesado se debe capacitar adecuadamente y proseguir desarrollando conforme avanza la ciencia.

BIBLIOGRAFIA

Datos del Proyecto Corondiro-Lázaro Cárdenas.  
S.C.T. Dirección General de Vías Férreas.  
Director General Ing. José Rubén Parra Torres.

Estudio Geológico de la Zona.  
Investigaciones Técnicas del Subsuelo S.A.

Apuntes Construcción de Túneles.  
Centro de Educación Continua.  
Cordinador Ing. Andrés Moreno Fernández.

Manual para el Uso de Explosivos.  
Du Pont.

Construcciones en Roca.  
Colegio de Ingenieros Civiles de México.

Métodos, Planeamiento y Equipos de Construcción  
R.L. Peurifoy.

Tecnología de la Construcción.  
T. Baud.  
Diana.

Ferrocarriles  
Ing. Francisco M. Tognio.  
Representaciones y Servicios de Ingeniería S.A.

Voladuras de Rocas  
URMO Lungefors -Kihlstrom.

Concreto Lanzado  
Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C.  
F.F. Ryan.

Sistemas de Soporte (cuaderno 2)

I.C.A.

Andrés Moreno Fernández.

Mecánica de Suelos.

Juarez Badillo y Rico.

Apuntes de Excavaciones Subterráneas.

Víctor M. Hardy.

Apuntes sobre el uso de Explosivos.

Ing. José Guerrero Arcoccha.

Supervisor Técnico.

Du Pont. S.A. de C.V.

Colocación del concreto por métodos de Bombao.

Comite ACI-304

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.

Voladura de Rocas.

Ing. Fernando Favela L.

Centro de Educación Continua.

Apuntes de las materias de construcción

Diferentes cursos.

F3 DE ERRATAS.

PAGINA.	DICE.	DEBE DEJIR.
13	Superficie	Superficie
14	Extracto	Estrato
21	através	a través
70	éte	éste
75	desformarse	deformarse
111	estrínco	intrínco