



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
" A R A G O N "

— DISEÑO Y CONSTRUCCION DE
TUNELES —

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A
ALFREDO ROMERO RODRIGUEZ

DIRECTOR DE TESIS: ING. JOSE P. MEJORADA MOTA

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

SAN JUAN DE ARAGON, EDO. DE MEXICO

1992



4/1
20/



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

P R O L O G O

En este trabajo se informan los principios y métodos de diseño y construcción de túneles y se demuestra la importancia de los mismos en la solución de algunos de los problemas que enfrenta el hombre, ya que su creciente número y actividades congestionan la superficie terrestre y hacen necesaria una mejor comunicación.

Esta obra se ha escrito con la esperanza de que sea útil, no solamente para quienes intervienen en la construcción de túneles, sino también a los Ingenieros y a otras personas que esten relacionadas con el proyecto de túneles.

Existen tres aspectos a considerar: Forma, Función y Método de construcción.

a) Por su forma, es característicamente una cavidad -- subterránea, de gran longitud en relación con su sección transversal, y por su alineamiento, es más horizontal que vertical.

b) Típicamente, la función del túnel es permitir el paso y transporte de personas y materiales por debajo del terreno.

c) Se podría restringir el método de construcción, en una definición limitada, a una perforación con excavación - y revestimientos hechos desde el interior. En sentido más amplio, la construcción o montaje de una estructura dentro de una zanja, bajo el terreno o bajo el agua, produce realmente un túnel, y aún cuando se pueda o no llamar "TUNEL" a dicha construcción, los medios y fines se describen en este trabajo.

Una descripción formar de un túnel podría ser: un pasaje construido por debajo del terreno o del agua, de forma esencialmente cilíndrico y cuya alineación axial no difiera mucho de la horizontal, con dimensiones suficientes para remitir el paso de personas, y excavado y revestido desde - el interior o por otros medios.

C A P I T U L O U N O

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

Desde tiempos remotos los túneles han sido utilizados por el hombre, así el hombre primitivo usó las cavernas naturales que le ofrecían protección, a medida que -- fué teniendo mejores herramientas los construyó dándoles diferentes usos como acceso a minas, túneles de asalto a fortificaciones, pasajes secretos, etc.

Las estructuras subterráneas las podemos clasificar en cuatro categorías:

- 1.- Las más antiguas construídas para ser utilizadas en la industria minera, cuyo objetivo principal es el de prospectar, explotar yacimientos minerales y obtener rendimientos económicos favorables.
- 2.- La segunda categoría constituída por los túneles los cuales serán descritos con más detalle.
- 3.- Estas estructuras comprenden los refugios aéreos, almacenes, plantas, etc., cuyo objetivo es el de resguardar o proteger la vida por un tiempo limitado. La seguridad es la única condición para seleccionar la profundidad de estas estructuras.
- 4.- Estacionamientos subterráneos, que debido al incremento de las Ciudades y a su tráfico intenso han venido a resolver problemas de las grandes metrópolis.

PROPOSITOS Y CLASIFICACION DE LOS TUNELES.

El propósito de los túneles es asegurar la transportación

directa de pasajeros o conducción buena de fluidos a través de algunos obstáculos, de acuerdo a ello los podemos dividir en dos grupos:

- a).- Túneles para tráfico.
- b).- Túneles de conducción.

Siendo los túneles de conducción los que con más frecuencia usará el Ingeniero Especialista en Obras Hidráulicas, son estos los que se tratarán en especial, dándose algunos criterios para su diseño estructural.

Los túneles de conducción los podemos subdividir en:

Túneles para plantas hidroeléctricas.- El agua de un depósito elevado es conducida por medio de un túnel hasta la planta hidroeléctrica para su utilización. Las secciones más comunes para estos túneles son la circular y de herradura. Estos túneles deberán ser construídos en roca sólida inmóvil, sin fallas, grietas, que tiendan a deslizarse o sujeto a movimientos tectónicos.

Túneles para abastecimiento de agua.- Varían con respecto a los del párrafo anterior en su función, que es la de conducir agua para servicios domésticos.

Túneles de utilidad pública.- Construídos generalmente en las Ciudades para colocar en ellos líneas telefónicas de corriente eléctrica, gas, etc., estos túneles deberán tener un continuo mantenimiento.

Túneles para alcantarillado.- Construídos para desalojar las aguas negras o pluviales de Ciudades, su revestimiento debe ser resistente a la acción química de los líquidos que transportan.

ESTUDIOS PRELIMINARES Y CONSIDERACIONES GENERALES DE DISEÑO

La planeación de un túnel deberá estar precedida de diferentes estudios que servirán para su diseño y construcción, los cuales se indican a continuación:

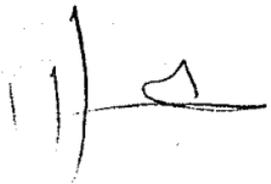
- Estudio económico.
- Estudio topográfico.
- Estudios geológicos.
- Estudios de mecánica de rocas.

Aunque todos los estudios anteriores se deben hacer en la planeación de un túnel, es sin lugar a dudas, el estudio geológico el que influye más en su localización, diseño y construcción, por ello el Ingeniero conciente de su responsabilidad deberá consultar a un Geólogo con experiencia respecto a los datos geológicos que se tengan dependiendo de lo completo y cuidadoso de este estudio, la más rápida elección de construcción, economía y diseño.

Los propósitos del estudio geológico son:

- 1.- Determinación del origen y condiciones actuales de la roca.
- 2.- Recopilación de datos hidrológicos, temperaturas y gases del suelo.

No Hwy Regina



- 3.- Determinación de las propiedades físicas, mecánicas y esfuerzos de la roca a lo largo del túnel.
- 4.- Determinación de las principales características geológicas que incluirán en la presión de la roca.

El resultado final del estudio geológico, realizado con levantamiento superficial del terreno, en obras subterráneas, pozos y socavones y perforaciones, será la elaboración de un plano, secciones transversales y perfiles geológicos que nos den una idea lo más precisa posible de la geología del terreno que atravesará el túnel.

Actualmente para la construcción de grandes obras de Ingeniería Civil, entre las cuales se encuentran los túneles, se está haciendo común el hacer estudios de mecánica de rocas, cuyos trabajos nos permitirán conocer el comportamiento estructural de los macizos rocosos aportándonos datos para el diseño y construcción de las estructuras. La geología y mecánica de rocas tienen una dependencia mutua y para que esta tenga buenos resultados deberá tenerse una buena interpretación geológica estructural y petrográfica.

Con los estudios de la mecánica de rocas se puede determinar diferentes características de un macizo rocoso como son:

Determinación de módulo elástico de la roca.

Determinación de esfuerzos en la roca.

Prueba de corte directo en rocas estratificadas.

LOCALIZACION DEL TUNEL.

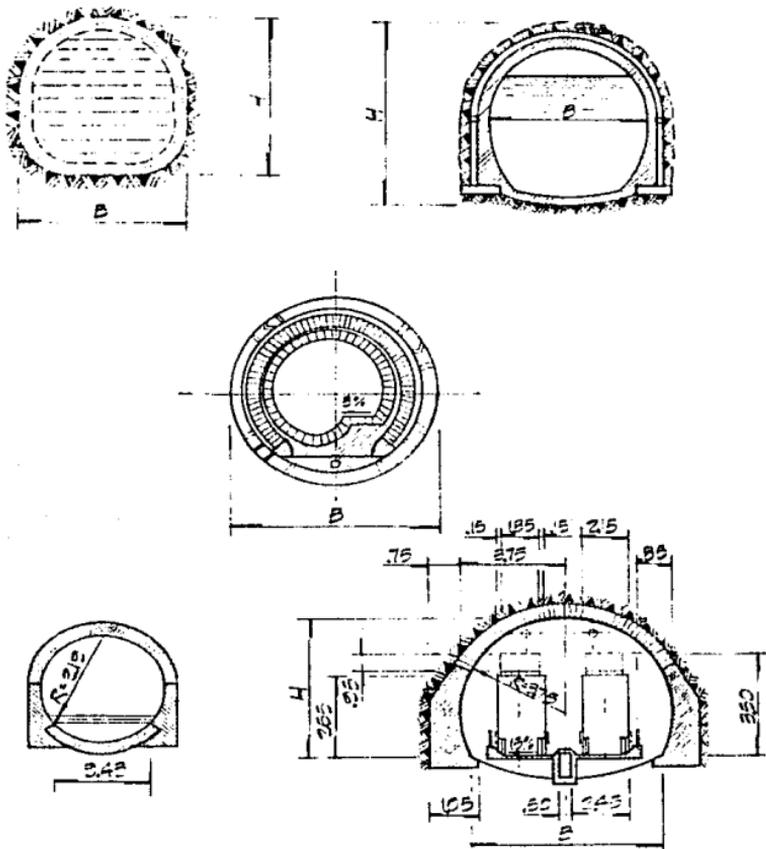
La localización de un túnel dependerá en general de la geología, topografía, uso; el trazo en elevación dependerá de las condiciones constructivas, uso, geología.

DETERMINACION DE LA SECCION TRANSVERSAL.

Para la selección de la sección transversal de un túnel deberá tenerse en cuenta lo siguiente:

- a). Los claros especificados de acuerdo a los vehículos - en movimiento.
- b). El tipo, esfuerzos, gasto y presiones del suelo.
- c). El método de construcción.
- d). Material y resistencia del revestimiento, así como - las cargas internas que actúan sobre él.
- e). La necesidad de uno o más carriles o vías.

A continuación se muestran secciones de túneles más usuales:



SECCIONES MAS USUALES PARA TUNELES.

C A P I T U L O D O S

G E N E R A L I D A D E S

- HISTORIA DE LOS TUNELES:
- 1) OPERACIONES FUNDAMENTALES.
- 2) RELACION CON LA MINERIA.
- 3) MINA Y TUNELES ANTIGUOS.
 - 3.a).- MINERIA PREHISTORICA.
 - 3.b).- TUNELES EN LA HISTORIA.
- 4) CANALES.
- 5) EL TUNEL DE BRUNEL BAJO EL TAMESIS.
- 6) FERROCARRILES.
 - 6.a).- TUNELES DEL MERSEY Y EL SEVERN PARA FERROCARRIL.
 - 6.b).- TUNELES EN LOS ALPES.
- 7) LAS TECNICAS DEL SIGLO XX.
 - 7.a).- OTROS TUNELES.
 - 7.b).- PROGRESO FUTURO.

HISTORIA DE LOS TUNELES

1) OPERACIONES FUNDAMENTALES

Las operaciones fundamentales en la construcción de túneles son:

- 1) LEVANTAMIENTO
- 2) EXCAVACION DEL TERRENO
- 3) ADEME PROVISIONAL DEL TERRENO
- 4) ADEME PERMANENTE DEL TERRENO
- 5) CONTROL DEL AGUA

Cuando todas las condiciones son favorables, la construcción resulta relativamente simple; pero la historia de la construcción de túneles muestra cuán a menudo condiciones físicas inesperadas han hecho imposible un proyecto tal como fue diseñado originalmente, y sólo se ha podido realizar después de años de grandes esfuerzos utilizando nuevos métodos.

2) RELACION CON LA MINERIA

La construcción de túneles y la minería tienen una

relación muy estrecha, pero hay que establecer diferencias importantes. El objetivo primordial de la minería es la extracción de minerales, después de que se hayan agotado éstos, los pasajes de acceso y otros espacios vacíos ya no tienen utilidad y, en este sentido, todo tipo de trabajo para la explotación minera resulta temporal. El objetivo fundamental de la construcción de túneles es el de adecuar un pasaje u otro espacio para su uso permanente y se le pueda seguir utilizando de manera segura con este fin por tiempo indefinido. Los túneles se han construido para almacenamiento, instalación de plantas y en el transcurso de los años, para el ataque y la defensa. Los túneles para tránsito deben ser tan amplios como éste lo requiera, mientras que las galerías de las minas raras veces serán mayores de 3 m. aproximadamente, siendo lo anterior una diferencia en tamaño.

La organización para la construcción es otro tipo de diferencias; mientras que para el túnel es temporal; no existe una comunidad establecida y no hay ninguna continuidad en la construcción. Se reúne un equipo de trabajadores, que cambia según avance en las fases de la construcción y finalmente, se dispersa. Al alcanzar el objetivo se llega al fin. Por lo contrario en la minería, se establece una comunidad permanente por todo el

tiempo de vida de la mina, la que puede extenderse por varias generaciones.

La mayor parte de la tecnología es igual para los túneles y las minas, pero las diferencias son importantes, mientras que en las minas se colocaban puntales sobre los cuales se apoyaba el peso del terreno, en los túneles la técnica consistía en utilizar cuñas a fin de soportar inmediatamente el peso máximo posible, y de esta manera, se disminuía el asentamiento y la alteración de los estratos.

En la construcción de túneles debe establecerse previamente y seguir exactamente la geometría y, en particular, la línea entre uno y otro portal; en tanto que en la mina se tiene que excavar toda el área del estrato, dejando solamente el apoyo para controlar el hundimiento. En todos los casos, es esencial un levantamiento cuidadoso.

3) MINAS Y TUNELES ANTIGUOS.

3a.- MINERIA PRESHISTORICA.

A pesar de los intentos de diferenciar entre túneles y minas, la historia más remota se debe seguir a través de las operaciones de minería, primero en la ampliación del trabajo sobre la superficie para obtener el pedernal y, más tarde, en la búsqueda de cobre y otros metales. Los primeros túneles, en el sentido más estricto, dejando fuera la minería, pueden haber sido para abastecer de agua las ciudades y las comunidades.

Las minas de pedernal, como las de Grimes, en Norfolk, se desarrollaron también en otros lugares, tales como: Bélgica, Norte de Francia y Portugal. Se utilizaban como herramientas de trabajo; picos hechos de astas de ciervos, hachas de pedernal y palas de hueso. Todo ésto a más allá de los 2000 a. de C.

Las minas de sal de Halstatt que son de 2500 a. de C. dichas minas proporcionaban su producto a comunidades -- muy prósperas de la edad de bronce y de principio de la edad de hierro. Como herramientas utilizaron; picos de bronce, mazos y palas de madera, pero luego se desarrolló el hierro.

En algún momento durante el cuarto milenio a.de.C. se excavaron galerías laterales en las faldas de las montañas con el fin de explotar los florecimientos de óxido, en Armenia, donde los sumerios obtenían un cobre por reducción de los óxidos.

Los Egipcios para obtener el cobre del Sinaí, usaban herramientas de piedras y cuñas de madera expandida con humedad para perforar hasta 50 metros en la roca.

Más tarde Egipto, obtenía cobre en Armenia y Chipre, y extraían el oro de tiros profundos utilizando la mano de obra de esclavos y prisioneros, principalmente en el desierto de Nubia.

El estaño era esencial para la producción de bronce, que es una aleación de cobre mucho más dura que el cobre natural, de manera que competía con el pedernal para la manufactura de herramientas y armas.

3.b-) TUNELES EN LA HISTORIA.

Los abastecimientos de agua proporcionan los primeros ejemplos de túneles, y quizá se pueda considerar que marcan el inicio de la construcción de túneles aparte de la minería. Los templos y las cámaras funerarias subte-

rráneas, que se excavaron en la roca en muchas partes -- del mundo, presentan ejemplos de métodos y usos de la ex cavación subterránea.

Uno de los primeros ejemplos, procedente de Grecia, de un túnel a través de una serranía, lo constituye la obra Eupalinos de Megara, en 687 a. de C., el túnel de -- aproximadamente 1000 metros de largo, estaba revestido, llevaba agua por tuberías de barro coladas en una zanja excavada al piso.

En Grecia y Roma son numerosos los túneles construídos en el período clásico, siendo en su mayoría para -- acueductos. Desde las fuentes de las colinas se abastecía de agua a Roma. Desde el período de 312 a. de C. -- hasta el inicio de esta era, se construyeron 52 acueductos con un total de 350 Km, la mayoría en forma de túneles, basados en el sistema de flujo por gravedad.

3.4) CANALES.

Excepto en las llanuras aluviales casi planas, los ingenieros especializados en canales tienen siempre que enfrentarse con dos problemas en los cuales es importante la construcción de túneles: cambios de nivel y sufi-

rráneas, que se excavaron en la roca en muchas partes -- del mundo, presentan ejemplos de métodos y usos de la ex cavación subterránea.

Uno de los primeros ejemplos, procedente de Grecia, de un túnel a través de una serranía, lo constituye la obra Eupalinos de Megara, en 687 a. de C., el túnel de - aproximadamente 1000 metros de largo, estaba revestido - llevaba agua por tuberías de barro coladas en una zanja excavada al piso.

En Grecia y Roma son numerosos los túneles constru idos en el período clásico, siendo en su mayoría para acue ductos. Desde las fuentes de las colinas se abastecía -- agua a Roma. Desde el período de 312 a. de C. hasta el - inicio de esta era, se construyeron 52 acueductos con un total de 350 km., la mayoría en forma de túneles, basados en el sistema de flujo por gravedad.

4) C A N A L E S .

Excepto en las llanuras aluviales casi planas, los ingenieros especializados en canales tienen siempre que - enfrentarse con dos problemas en los cuales es importante la construcción de túneles: cambios de nivel y sufi- - -

ciente abastecimiento de agua.

Las esclusas de los canales, por medio de las cuales los lanchones podían pasar de un nivel a otro, fue la solución común, aunque no la única para el primer problema.

Quando el canal tenga que pasar a través de un cerro de cierta elevación, es probable que el abastecimiento de agua sea escaso en la cima, mientras que necesita un tramo de esclusas a cada lado. Esta es una situación en que los túneles ofrezcan una solución, que al mismo tiempo, evita la construcción de esclusas con su demanda de agua y retraso en el transporte. Con la construcción de un túnel se hace fácil el suministro de agua, se podrá bajar el nivel de la cima hasta ponerlo al alcance de las corrientes de agua, y el propio canal podrá hacer contacto con corrientes subterráneas.

Es probable que el paso del túnel sea lento, pero con todo, habrá un ahorro de tiempo y agua comparado con el paso a través de graderías de esclusas.

Con el fin de unir el Atlántico con el Mediterráneo en los años de 1666 a 1681 se dió inicio a la era de los túneles en los canales. Consistía en una vasta em--

presa de más de 240 Km de canal, cien esclusas y un nivel de 200 m sobre el nivel del mar. El agua necesaria la proporcionan depósitos construídos a 20 Km de distancia, el túnel no estaba en el nivel superior, sino bajo de un cerro. El túnel de 6.5 m. x 8 m. x 157 m. de longitud. Se deja sin revestir hasta 1691. Se utilizó pólvora en su construcción.

Antes de la era de la pólvora, lo que más acercaba a los explosivos era el fuego. Se calentaba la roca -- quemando leña sobre la misma, para luego apagar el fuego con agua fría; así se formaban grietas y se partía en pedazos.

4.3) EL TUNEL DE BRUNEL BAJO EL TAMESIS.

Empezó la construcción del gran túnel de Brunel -- bajo el Támesis, entre la era de los canales y la era de los ferrocarriles, fue el primero en pasar por debajo de un río de marea y el primer túnel perforado con escudo.

Brunel describió los problemas fundamentales de excavación y ademe temporal en las especificaciones de su patente "Sentaré un precedente al observar que las principales dificultades que se habrán de vencer en la cons

trucción de túneles debajo del lecho de los grandes ríos estriban en la insuficiencia de los medios para realizar la excavación. Lo que se desea principalmente es hallar los medios eficaces para excavar el terreno de una manera tal que no desplacen más tierra que la necesaria para el cuerpo del túnel, y que el trabajo se realizará con - seguridad" "En la excavación de una galería bajo el lecho del río, será poca la atención que se dedique a - asegurar la excavación contra derrumbes

Propongo recurrir al uso de una caja o una celda que se empuje hacia adelante".

EL ESCUDO DE BRUNEL ESTA DISEÑADO PARA PROPORCIONAR

- I) Un forro que cubra el terreno por todos lados.
- II) Medios para soportar el frente y además de tener acceso a la excavación.
- III) Medios para mover el escudo hacia adelante dentro del espacio excavado y luego construir el revestimiento en la parte de atrás.

6) FERROCARRILES .

La construcción de los ferrocarriles modernos se inició con el Liverpool and Manchester Railway, inaugurado - en 1830, se tuvieron que construir túneles desde el mismo comienzo. El tiro de la locomotora terminaba en Edge Hill, en Liverpool, donde el ferrocarril le hacía frente a una - formidable barrera de terrenos elevados, desde dicho punto se perforaron dos túneles: 1) un túnel corto de 265 m. que se elevaba hasta Crown Street, desde aquí los coches de pa- sajeros se remolcaban con cuerdas hasta la superficie y 2) el largo túnel de Wapping para el tráfico de mercancías -- que descendía 1930 m. con un gradiente de 1 en 48 hasta -- los muelles. El túnel tenía una sección de 6.7 m. x 4.9m.

Otro de los primeros túneles de los ferrocarriles fue el de Woodheand (4 828 m.) a través de los montes pevinos en la parte superior de la línea de Manchester.

6.a) TUNELES DEL MERSEY Y EL SEVERN PARA FERROCARRIL.

El túnel Severn, se tardó en construir 13 años, de - 1873 a 1886.

El túnel Severn su principal objetivo era el de eli-

minar el transporte por barco de los pasajeros y acortar el viaje desde Londres a Newport. La obra se inició con perforación de tiros y frente piloto de 2 x 2 m. bajo el río.

El túnel Mersey atravesaba las areniscas Bunter del período triásico, bajo el río Mersey, que está sometido a la acción de las mareas. Se excavó desde tiros en cada lado, de 52 m. de profundidad y separados 1618 m.; esto permitía excavar frentes de drenaje con un gradiente ascendente hasta la mitad del río. Para la excavación se usó la máquina perforadora del Coronel Beaumont. Se usó en la mayor parte de los frentes. Esta máquina cortaba un agujero circular de 2.2 m. de diámetro, el túnel principal era de 8 m. x 7 m. revestido con albañilería de un espesor de 0.7 m. La ventilación forzada para la estación, era de un gasto de 109 m³/S, calculada para diluir 500 veces los gases producidos por las locomotoras. Fue necesario mucha agua operación que todavía se realiza.

6.b) TUNELES EN LOS ALPES.

Los principales túneles cuya construcción se inició en el Siglo XIX fueron los siguientes: El de Frejus. (Mont Cenis), St; Gotthard, Arlberg, Simplon. Seguido

en 1907 por el L6"tschberg.

Cada túnel podía ser de una de las dos formas siguientes: corto a un nivel elevado al que se llegaba por fuertes pendientes y curvas cerradas y, además, vulnerable a las nieves invernales; o un túnel mucho más largo a un nivel inferior.

Las ventajas de operación de los túneles inferiores de mayor longitud eran por lo general decisivas, por lo que se escogieron los túneles largos muy debajo de la montaña.

Estos túneles implicaban nuevos avances en los equipos de barrenado y explosivos, y los constructores tuvieron que hacer frente a problemas casi insolubles de ventilación de las obras, aumentados por las altas temperaturas de la roca y de las fuentes termales, que alcanzaron hasta 60°C.

7) LAS TECNICAS DEL SIGLO XX

A comienzos del Siglo XX, ya habian sido ideadas y probadas, a costa de un duro trabajo, las técnicas básicas para la perforación de túneles, de manera que era - posible construirlos en casi en cualquier terreno si -- los contratistas estaban dispuestos a pagar el precio. Un sistema de construcción ampliamente adoptado en años recientes ha sido el del túnel sumergido para el cruce - de los ríos; en este sistema se prefabrica el túnel en - un dique seco, luego se hace flotar en el río y se hunde en una zanja ya excavada, en la que se conectan los tramamos. El tratamiento del terreno mediante la inyección de una amplia variedad de lechadas químicas ha demostrado ser una valiosa técnica en terrenos difíciles, tanto para reducir la permeabilidad al agua como para mejorar su resistencia a la cohesión. El endurecimiento del suelo mediante frío, ya sea por la circulación de una sal--muera o utilizando nitrógeno líquido, puede proporcionar también cohesión e impermeabilidad temporales. En rocas la preservación de integridad de una masa rocosa por medio de anclas en la roca es un método que adquiere cada día mayor importancia. Las capas de concreto lanzado in

mediatamente después de que la roca queda expuesta pueden impedir el progresivo desprendimiento de la misma.

Para túneles pequeños y túneles prefabricados grandes, se puede considerar como la excavación de un túnel con escudo, en la que el propio revestimiento del túnel constituye el escudo.

7.a) OTROS TUNELES.

Son numerosos e importantes los túneles para conducir cables o tuberías, pero, generalmente, no han sido de dimensiones grandes o notables para su construcción.

A continuación proporciono algunos de ellos:

Túnel para cables de bajo del Sever. Un túnel similar se excavó a través de yeso bajo el Támesis. El Ferrocarril subterráneo de la Oficina de Correos de Londres corre por unos 11 Km. entre Paddigton y Liverpool Street y lleva el correo en trenes automáticos sin conductores.

Se han construido numerosos túneles para el almacenamiento de petróleo y otras substancias, así como túneles que sirven de refugio y para defensa.

Se han propuesto diversos métodos nuevos de excavación incluyendo la fusión de las rocas y los chorros hidráulicos, pero ninguno de ellos tiene los requisitos necesarios como para poder sustituir a algún tipo de herramienta excavadora para terreno blando, ni a las perforadoras y explosivos o a la excavación mecánica para roca dura; son apenas logros semejantes al pico primitivo de asta de ciervo o la aplicación del fuego.

7.b) PROGRESO FUTURO.

Quizá sea la conclusión más apropiada para este -- Capítulo hacer un resumen sobre los avances continuos a nivel internacional.

Se realizó en Washington en 1970 una conferencia - consultiva y a ella asistieron representantes de 19 países, los principales objetivos de la conferencia fueron:

- 1.- Evaluar las más importantes ventajas y desventajas de la tecnología para la construcción de túneles en la actualidad.
- 2.- Identificar las principales necesidades de mejoramiento.

- 3.- Recomendar procedimientos gubernamentales para la investigación, desarrollo y verificación -- con el fin de estimular el rápido progreso de la tecnología de los túneles.

La conferencia acordó 5 recomendaciones. Son demasiado largas para tratarlas detalladamente, pero su contenido se puede indicar como sigue:

- 1.- Que cada país deberá crear un plan de acción nacional que coordine y estimule el desarrollo.
- 2.- Que una sola oficina en cada área urbana de dicho plan de acción deberá conservar los registros y un plan maestro.
- 3.- Que al evaluar se deberán tener en cuenta los costos y beneficios tanto directos como indirectos.
- 4.- Que cada país deberá estimular la aplicación de los avances técnicos en la construcción de túneles.
- 5.- Que se deberán establecer enlaces de trabajo entre las oficinas del plan de acción, así como a través de una comisión internacional.

Desde la reunión de dicha conferencia, los aspectos profesionales de la construcción de túneles han progresado de un modo regular.

Se han realizado una gran cantidad de investigaciones sobre los túneles en las universidades y laboratorios. Se sustentan con regularidad conferencias sobre la construcción de túneles en muchos países.

Todas estas han contribuido a presentar el valor potencial de los túneles bajo la atención de los políticos y planificadores, y a pesar de que muchos proyectos se han retrasado recientemente debido a la extensa recesión parece evidente que los túneles serán muy importantes en el futuro.

C A P I T U L O T R E S :

TIPOS DE TUNELES.

- 1.-) TUNELES PARA AGUA.
- 2.-) TUNELES PARA ALCANTARILLADO Y DRENAJE.
- 3.-) TUNELES DE CORTE Y CUBIERTA.
 - a.-) MURO CALIFORNIA.
- 4.-) TUNELES EN ROCA.
- 5.-) GALERIAS DE AVANCE.
- 6.-) TUNELES HINCADOS.
 - a.-) HINCADO DE TUBERIAS.
 - b.-) TUNELES HINCADOS.
 - c.-) DIMENSIONES DEL TUNEL.
- 7.-) TUNELES EN ROCA.
 - a.-) REQUISITOS GENERALES.
 - b.-) ESFUERZOS.
 - c.-) CARACTERISTICAS DE LAS ROCAS.
 - d.-) EQUIPOS DE PERFORACION.

1.-) TUNELES PARA AGUA.- Pueden ser túneles de derivación o de toma para Plantas Hidroeléctricas, o para acueductos que traen el agua a los sistemas de distribución de las ciudades o municipios.

Los túneles de derivación desvían el agua alrededor - de la zona de construcción de la represa, se diseñan para que lleven el escurrimiento máximo que pueda esperarse durante este período de construcción. También pueden servir para descargar el exceso de agua después de que se haya llenado el embalse, o convertirlos en túneles de toma para -- una planta de fuerza situada en la ladera del valle, debajo de la presa. Si no se necesitaran después de terminado el proyecto, se cierran los túneles de derivación con tapones de concreto. También se han construído grandes túneles de derivación para recoger el agua de varias cuencas - colectoras con destino a una planta central de fuerza.

Los túneles de toma traen el agua desde los embalses a las turbinas o los cabezales de los conductores forzados. Los túneles son en su mayor parte de rocas y operan bajo una carga hidroestática positiva. En terreno permeable y con grietas se revisten de concreto armado; - en rocas firmes, puede ser adecuado un revestimiento.

de concreto aplicado con pulverizador para proporcionar una superficie lisa.

Se han construído muchos kilómetros de túneles para acueductos con destino a los sistemas de distribución de agua. Estos túneles se construyen, los más, en roca, pero también pueden tener tramos en terreno blando. Pueden estar sometidos a una alta presión hidrostática, como en el acueducto de la Ciudad de Nueva York, que cruza el Río Hudson a 183 mts. por debajo del nivel del mar.

Los túneles con poca o ninguna presión interior tienen, por lo general, una sección de herradura; los túneles a presión son circulares. El revestimiento es de concreto es de 15.24 a 91.44 cm. de espesor, esto depende del tamaño, la presión y la naturaleza de la roca. Los túneles a nivel del terreno se pueden recubrir con concreto simple, los túneles a presión con concreto armado. Los diámetros varían desde 2.13 m. para pequeños acueductos hasta 15.24 m. para los túneles de derivación.

Con rocas muy firmes se ha utilizado el revestimiento de concreto aplicado por aspersión. Partes del acueducto del Río Colorado están revestidas con cascos conti-

nuos de acero contra un apoyo de concreto, y el interior - está protegido con 5.08 cm. de concreto aplicado por aspersión.

Para acelerar la construcción los túneles largos se -- subdividen en varios frentes, por pozos o tiros ensanchados separados de 3.21 km. a 8.05 km.

2.-) TUNELES PARA ALCANTARILLADO Y DRENAJE.- Las - grandes ciudades requieren muchos kilómetros de túneles - para conducir el escurrimiento pluvial y las aguas negras a las plantas de tratamiento. Estos túneles se constru-- yen una gran diversidad de terrenos. Algunos se constru-- yen como alcantarillas de cajón. Por el método de corte y cubierta, pero los demás se excavan con escudos y aire comprimido.

El tamaño varía de 2.13 m. a 4.57 m. Los túneles de drenaje pluvial son generalmente más pequeños, ya que pue-- den descargar en el área de agua más cercana.

La sección transversal de las alcantarillas y túneles de drenaje tienen generalmente forma de herradura o circy-- lar, con revestimiento de concreto. La calidad del con-- creto reviste especial importancia, a fin de poder resis--

tir los efectos perjudiciales de las aguas negras. Generalmente son túneles sin presión, excepto los sifones bajo los ríos, que operan bajo presión. Una sección circular o uniforme mantiene la velocidad con un flujo bajo - para evitar el azolve excesivo.

El alineamiento se rige por la ubicación de las plantas de tratamiento, las condiciones del terreno y el trazo de las calles de la ciudad. Se deben mantener las pendientes continuas excepto en los sifones, se debe mantener una pendiente mínima para asegurar el flujo por gravedad.

3.-) TUNELES DE CORTE Y CUBIERTA.- Los túneles de poca profundidad, como las líneas de tránsito rápido por debajo de las calles de la ciudad, pasos inferiores, secciones en tierra de los túneles subacuáticos, o las secciones terminales de los túneles a través de colinas, se construyen por los métodos de corte y cubierta. La profundidad de la invertida en las líneas del tren subterráneo y pasos inferiores no sobrepasa generalmente 1.52 a 12.19 mt. Para las conexiones a los túneles subacuáticos se han utilizado cortes de hasta 22.86 mt. bajo cir-

cunstancias especiales, y profundidades de hasta 18.29 mt. con bastantes corrientes.

Donde el espacio y la profundidad de excavación lo permiten, se usan pendientes naturales cuando los materiales son suficientemente firmes. El nivel del agua del terreno se puede bajar, según sea necesario, por medio de hileras de puntas coladeras. En áreas confinadas, con materiales blandos, o con una mayor profundidad, la zanja debe protegerse con mamparas. Se pueden construir estas últimas de las formas siguientes:

Tablaestacado en acero, para profundidad de 9.14 a 12.19 mt., soportadas por cepos (MADEROS GRUESOS) arriostrados transversalmente, los muros mantienen al mínimo la pérdida de tierra.

Marcos de Tablaestacas, contruídos de vigas H de acero y forros de madera se utilizaban para mayores profundidades. El forro se debe apretar bien contra el terreno para controlar la pérdida de tierra.

Los marcos de tablaestacas se pueden cambiar con tablaestacas corrientes en lugar del forro de madera si se requieren mamparos estancos. Los cepos y el arrostroamien

to transversal soportan los muros.

Los muros de concreto, construidos dentro de las zanjas llenas de lechada de bentonita se han utilizado para impedir la pérdida de tierra o reducir la depresión del manto freático. Se excavan zanjas en secciones de unos 6.10 m. de largo y de 0.46 a 0.91 m. de ancho. Las zanjas se mantienen llenas de lechada de bentonita, luego se bajan jaulas de refuerzo dentro de las zanjas y posteriormente se vierte el concreto para llenar las zanjas y desplazar la lechada. Se forman secciones en los extremos de la zanja. Los muros forman parte de la estructura final o como mamparas impermeables.

a.-) EL MURO CALIFORNIA.- Es una combinación de -- los marcos de tablaestacado con el muro de lechado que se utilizó en algunas estaciones del Bay Area Rapid Transit System en San Francisco. Grandes vigas de ala ancha se incertan en huecos barrenados y llenos de lechada; se excava el espacio entre las vigas, por debajo de la lechada la excavación y los huecos se rellenan con concreto. Debe tenerse cuidado al excavar para que el concreto quede bien anclado en el espacio entre las alas, los pilotes -

de acero en el muro compuesto actúan como refuerzo y permiten la fácil fijación del arriostamiento inferior.

Los mamparos de las zanjas se diseñan de una manera parecida a la de las ataguías de las excavaciones de cimientos.

Las zanjas se pueden desaguar por medio de puntas - coladeras o pozos profundos, lo que dependerá de la profundidad, permeabilizado del terreno y cantidad de agua freática.

Cuando la pérdida de tierra, o la consolidación de los suelos sueltos y granulares puedan ser causa del asentamiento se debe hacer un cuidadoso estudio del recalce de estas estructuras.

Las estructuras para el tren subterráneo pueden ser, cajones de concreto armado o si no, columnas de acero y vigas con losas de pisos y muros de concreto armado, cappingas de concreto soportan las vías y columnas, otros tipos de túneles son de una construcción en forma de cajones de concreto armado, diseñados como armazones para altura mínima, o secciones en herradura si la altura lo permite. Las cargas de diseño comprenden el peso de la sobrecarga

la presión horizontal del terreno y las cargas hidroestáticas si se está por debajo del nivel del agua. El peso de las estructuras sumergidas debe ser adecuado para evitar la flotación.

Los túneles en terrenos secos no necesitan impermeabilización en la base y muros, pero las losas de techo deben tener cuando menos un mínimo de impermeabilización, los túneles por debajo del nivel freático deben impermeabilizarse completamente.

La impermeabilización por membranas consiste en capas de tela de algodón o de fibra de vidrio saturados de asfalto caliente y colocadas en éste. Se debe usar un mínimo de dos capas a profundidades de hasta 3.04 m. y un máximo de cuatro capas a profundidades de hasta 21.34 m. La tela se debe colocar en juntas traslapadas, desplazadas en cada capa. En los muros verticales, las membranas deben protegerse del sol en la estación cálida para evitar los desconchados. En la parte inferior, las membranas deben colocarse sobre una losa niveladora de concreto de 15.24 cm. de espesor. La impermeabilización debe protegerse del deterioro mecánico con un enconfrado de asfalto, ladrillos, o una capa de concreto.

Para ahorrar en el ancho de la excavación, la impermeabilización de los muros se aplica a los tablonos de la zanja y colar el concreto sobre ella.

Los ladrillos con mastique son más confiables pero -- son más costosos que la impermeabilización por membranas y se usa a menudo en los túneles para vehículos. Se inicia la construcción con una membrana de cuatro capas aplicada sobre la losa niveladora inferior. Se tiende una sola capa de ladrillos en mastique caliente. El mastique debe -- llenar todas las junta y cubrir los ladrillos, encima de -- todo se cuela la losa base de concreto.

Los muros se deben de cubrir con una membrana de dos capas. Se debe levantar un pretil de protección de con--creto, fabricado por vaciados para dejar espacio para dos hiladas de ladrillo, que se colocan con todas las llagas rellenas de mastique caliente. La altura de los colados se limita a 0.91 mt. Los techos se deben cubrir con una membrana de tres capas y una sola capa de ladrillos sobre mastique caliente.

El mastique debe estar constituido cuando menos de -- un tercio de asfalto y el resto arena limpia para concre-

to y polvo de cal, o si no arena y cemento, mezclados mecanicamente de una manera concienzuda a una temperatura - no mayor de 177 C los ladrillos deben estar secos y ca--- lientes, a una temperatura cuando menos de 43 C.

La impermeabilización con asfalto caliente se debe - realizar solamente en tiempo seco y en superficies secas.

La impermeabilización con membranas de múltiples capas usando asfalto emulsificado en frío, en lugar de as-- falto caliente, se ha utilizado con buenos resultados. No es necesario que la superficie de la estructura esté - seca, pero la temperatura debe estar encima del punto de la congelación.

Se pueden usar membranas de hule o, si no, hojas de un material sintético semejante al hule, las capas de com-- puestos Epoxy, mezcladas generalmente con alquitrán de - hulla, pueden resultar adecuadas como impermeabilizantes en ciertos casos, pero su uso se podrá ver limitado a -- causa de su costo relativamente alto.

4.-) TUNELES EN ROCA.- Para la excavación en roca las más importantes condiciones geológicas que se deben -

anticipar son las siguientes: La presencia de fallas, que generalmente involucran áreas de rocas muy fracturadas; - dirección y grado de estratificación, grietas y juntas; - la presencia de agua, que puede ser caliente o fría, o -- contener ingredientes corrosivos o irritantes; bolsones - de gases explosivos o tóxicos, deformaciones en la roca. La Petrografía tiene menor importancia a menos que la roca sea altamente abrasiva, y cause excesivo desgaste de las - barrenas.

Nunca podrá decirse que se le ha suministrado demasiada información a los ingenieros, a fin de que produzca un diseño realista y para que los contratistas preparen - licitaciones firmes. Aún en el mejor de los casos son de esperarse dificultades no previstas.

Además de los Estudios Geológicos y las perforaciones, los ingenieros pueden utilizar medidas eléctricoresistivas y la obsorsión de Rayos Gamma, para obtener información sobre la profundidad y características de las - formaciones rocosas. También podrá obtenerse información en el U.S. Geological Suruey, que ha ampliado su campo y sus estudios geofísicos más allá del campo de la minería. Donde las condiciones geológicas sean particularmente de

de evaluar, o sea, especialmente rigurosas, se pueden excavar túneles piloto exploratorios de 3.05 x 3.05 m., un poco desde cada extremo, o en toda longitud del tunel, antes de hacer el diseño final y anunciar la construcción. En estos túneles pilotos es posible medir los esfuerzos internos de la roca por medio de células de presión y de indicadores de deformación; estos dispositivos se insertan en barrenos transversales y, entonces, se puede inspeccionar la naturaleza de la roca, foliación, fractura en bloques y la presión de las fallas y del agua.

5.-) GALERIAS DE AVANCE.- Anteriormente, cuando al escombrar se hacia a mano cargándolo en vagonetas, y el equipo de perforación era pesado, se procedía a efectuar la excavación por galerías de avance o socavones. En rocas blandas, o para túneles muy anchos, todavía se utilizó este método. Se puede comonzar con una galería superior de avance. Esto permite la instalación de soportes para el coronamiento, si se necesita. El resto se excava por bancos, procediendo hacia abajo desde la galería superior. Estos niveles diferentes hacen inconveniente el transporte del material excavado. En túneles anchos se pueden hacer avanzar galerías laterales en las que se colocan, cuando sean necesarios, los pies derechos de los

marcos de acero, (soportes para los muros laterales y el techo). Estas galerías se continúan con galerías de avance superiores y el montaje de los soportes de los arcos - El bloque restante se puede atacar desde el frente o desde las galerías laterales.

En vez de lo anterior, se puede usar una galería inferior de avance o un túnel piloto. La ampliación se efectúa en varios lugares del frente de un modo simultáneo. El túnel piloto debe tener un ancho suficiente para permitir el tráfico de entrada y salida y debe ser forrado con madera para su protección.

En túneles muy largos, una galería paralela, separada 12.19 m. o más de eje del túnel, acelera la excavación al proveer acceso a varios frentes de trabajo por medio de galerías transversales. Desde este túnel piloto se excavan galerías transversales en diversos lugares, hasta llegar al eje principal del túnel, desde el cual la excavación del túnel puede continuar en ambas direcciones. La galería paralela se hace cargo del tránsito a los diferentes frentes y sirve, además de túnel de drenaje y ventilación.

También se puede usar una galería central en los tú-

neles grandes excavados en roca, se agranda esta galería, la sección hasta su tamaño final por medio de perforaciones radiales.

6.-) TUNELES HINCADOS:

a.-) En los últimos años, los métodos en que utilizan tubos hincados, han sido desarrollados y elaborados para su aplicación en los túneles. No se puede establecer una delimitación precisa, pero cuando un obrero puede trabajar dentro de la tubería, con un diámetro mayor de 1 m., se puede considerar como una forma de construcción de túneles.

La técnica es más adecuada para tramos rectos relativamente cortos y de pequeño diámetro excavados en terreno blando, pero las limitaciones impuestas por todos estos factores podrán superarse.

El empuje de tuberías procedimiento por el cual se desplaza el terreno y no se excava, es esencialmente un método para hacer pequeñas perforaciones con una tubería. En el hincado de tuberías, éstas se empujan con gatos hidráulicos hacia dentro del suelo, dicha tubería tiene un borde cortante o un escudo en el extremo de ataque y cuen

ta con medios para extraer el suelos desplazado a través del hueco del tubo.

Los tubos hincados han sido muy empleados como uso alternativo a las obras a cielo abierto o a los tramos - de frentes ademados, donde es difícil el acceso desde la superficie y donde se debe hacer un asentamiento mínimo en la misma.

El método se presenta para la construcción de drenaje, donde los pozos de inspección deviden la obra en tramos rectos relativamente cortos y se pueden utilizar como nuevos sucesivos de empuje.

Su costo directo es generalmente mayor que el de -- corte y relleno, pero la alteración en la superficie es menor en las zonas congestionadas y las zonas de trabajo no necesitan ser tan grandes.

Las características esenciales del hincado de tuberías son:

- Nicho de empuje.
- Gatos y anillo de empuje.
- Tubos.
- Cilindro cortador.

1.- El Nicho de empuje deberá estar a la profundidad del túnel y tener una longitud suficiente para acomodar los gatos, el anillo de empuje, y un tramo de tubería, -- con espacio para la inserción de las juntas y sus pormenores. Para tubos grandes y tramos largos, es posible que la carga llegue a tener un valor máximo de algunos cientos de toneladas, cuando la perforación llegue a su fin. En un nicho poco profundo o en terrenos blandos, puede -- que el muro posterior no ofrezca un soporte adecuado, y -- será necesario pilotear para lograr este fin, instalar ti rantes a través del terraplén, o anclas en el terreno.

2.- Gatos hidráulicos que operan a altas presiones -- para obtener compactación se instalan en el fondo del nicho. Dependiendo del diámetro del tubo será el número -- de gatos, uno dos o más. Se disponer simetricamente y -- actúan sobre la parte posterior de la tubería por medio -- de un anillo de empuje diseñado para trabajar seguro y -- uniformemente sobre el extremo del tubo.

Como todo el tramo de tubo está en contacto con el -- terreno, la resistencia o la fricción aumenta progresiva- mente. Es posible limitar la resistencia con la instala- ción de anillos intermedios de empuje, con lo cual el extre

mo frontal del tubo se empuja primero hacia adelante, y - la parte posterior se empuja después utilizando los gatos.

3.- Tubos. En muchas ocasiones, resultan apropiados los anillos de concreto reforzado y centrifugado, los cuales tienen un espesor mayor al de los tubos de drenaje -- con las juntas impermeables, pero que permiten cierta -- flexibilidad.

Se aconseja la inyección de cementantes no sólo para sellar cualquier fuga residual y llenar los huecos, sino para permitir la lubricación de la superficie deslizante durante la operación de los gatos, utilizando la lechada - de bentonita a cualquier otro fluido adecuado.

Se pueden emplear tramos largos de tubos de acero, - pero resulta difícil asegurar su protección externa que - sea satisfactoria contra la corrosión, debido a las rayaduras durante el empuje.

4.- Cilindro cortador. El implemento mínimo necesario es una cuchilla de corte, de forma circular, afilada y fuerte, que se fija en el tubo guía.

Se puede fabricar el escudo y darle las dimensiones, resistencia y complejidad de un escudo para túneles en material blando, con una campana llamada también "Cachucha", gatos de empuje, plataformas, gatos frontales y celdas de trabajo, anillos y diafragmas atiesadoras, cuando el hincado se utiliza a gran escala en los túneles.

b.-) TUNELES HINCADOS:

Este método como una operación para la construcción de túneles, se ha utilizado en excavaciones de hasta 4 m. de diámetro.

Se han construido algunos pasos y desnivel para hacer pasar carreteras entre los terraplenes del ferrocarril utilizando para ello las técnicas de hincado con ayuda de gatos.

Al comparar este tipo de túneles construidos mediante escudo se tienen las restricciones siguientes:

- 1.- Empuje.
- 2.- Tamaño y peso de las unidades.
- 3.- Control y alineamiento.

1.- El empuje necesario para las grandes perforaciones puede ser de 1000 ó 1500 Ton. puede ser menos si se tiene una superficie externa uniforme, sin rebordes en las juntas, y una lubricación con lechada de Bentonita o de otro tipo en la superficie deslizante. Este empuje se puede disminuir aún más al separar el escudo o la cuchilla de corte de la fricción sobre el revestimiento.

Otro problema en relación al empuje, especialmente en una sección con una cubierta somera, es el arrastre producido sobre el bloque de material inmediatamente por encima de la estructura.

2.- Los problemas de transporte y manejo en el fondo del pozo imponen normalmente un límite de peso para cada -- unidad, posiblemente hasta 25 Ton.

3.- Es muy difícil mantener el alineamiento dentro - de más o menos el 1% en el hincado simple, aun cuando la - tubería inicial se coloque con la mayor precisión.

La aplicación independiente de los gatos en la cabeza de corte, ejerce un control comparable al de una tunela

dora convencional y puede ser útil la aplicación de empuje intermedio con gatos.

Dentro del alcance de estas restricciones, el método puede ser competitivo, especialmente para los sistemas de alcantarillado con excavación del túnel por medio de escudos, en donde se tiene que colocar un revestimiento segmentado al cual se le debe de aplicar inyecciones de selladores, como parte de la secuencia de operaciones en el frente del trabajo.

El ademe del frente y manejo del agua presentan prácticamente los mismos problemas de las excavaciones convencionales de túneles con escudo, y tienen las mismas soluciones.

c.-) DIMENSIONES DEL TUNEL:

Es obvio que el tamaño de un túnel es fundamental para el control de los métodos de excavación. Al abrir un frente, la alteración del equilibrio existente de fuerzas y esfuerzos ocasiona inevitablemente el movimiento y redistribución de las fuerzas.

Entre las dificultades que aumentan con las dimensiones del frente, la mayoría en un grado fuera de proporción, se encuentran:

- 1) Volumen de material alterado y cantidad de movimiento.

En un frente pequeño, el volumen de terreno que se mueve y se aleja no será muy grande y, a menudo, se puede mantener de límites aceptables por medio de ademado relativamente simple u otro tipo de apoyo temporal.

En un frente grande, el efecto de la relajación de esfuerzos penetra más allá del mismo. Además, hay mayor volumen de material durante un período más largo.

Al aumentar el tamaño, puede dejar de ser práctica la excavación de toda la sección; tal vez, se requieran túneles piloto o una serie de frentes. Se tendrán que aplicar mucho más pronto estas limitaciones de tamaño en terrenos blandos que en roca o en arcilla compacta.

Se ha observado repetidas veces que utilizar el principio de la secuencia de pequeños frentes de fácil manejo,

a fin de superar condiciones que son muy difíciles para trabajar a frente completo, es el mejor procedimiento - hasta en roca.

2) Acceso a todas las partes del frente.

La necesidad de dimensiones de un acceso a todas - las partes del frente, para facilidad de operación y -- apoyo.

"El hombre es la medida de todas las cosas" y, por consiguiente, cuando se sobrepasa el alcance físico del mismo, es preciso utilizar andamios u otras plataformas o, si no, grúas mecánicas de plataforma, un escudo de - plataforma rodante o una tuneladora.

3) Apuntalamiento del frente expuesto.

El empuje total que debe resistir el apuntalamien- to del frente expuesto aumentará con el tamaño, no sólo en proporción al aumento del área sino también debido a - la pérdida del efecto de arco y al aumento de la profun- didad vertical sobre lo que actúa la presión. Además - las madrinan de soporte transfieren las cargas a través de los claros más largos y deberán ser proporcionalmente más rígidos.

Si la longitud de avance en cada ciclo de operación sigue siendo igual, el volumen de material que se tiene que excavar y transportar aumentará en proporción directa con el área del frente o con el cuadrado del diámetro.

El tiempo para excavación y extracción y los otros elementos en el ciclo total tienden a aumentar en los túneles mayores. Por consiguiente, el intervalo entre la apertura del terreno y la colocación de apoyo aumentará sustancialmente y es posible que se desarrollen cargas más pesadas en el terreno.

5) Diferencial de presión del agua entre la parte superior e inferior del frente.

En un terreno permeable y saturado, la presión estática a cualquier nivel será proporcional a la profundidad por debajo de la superficie libre.

En realidad debido al flujo, la presión estática no podrá aumentar a menos que el frente esté completamente cerrado pero los problemas ocasionados por el agua no aumentarán de manera desproporcionada en ningún momento.

6) Frente mixto. Está expuesto más de un tipo de terreno.

En un túnel de grandes dimensiones es más probable que los estratos encontrados no sean uniformes, sino que los tipos de terreno en que se localicen la parte superior y la inferior del frente serán diferentes.

Se presentaran determinadas dificultades en un túnel diseñado para ser excavado en terreno blando si se encuentran estratos acuíferos de gravas, arenas o limos, ya sea en la parte superior o la inferior del frente o si hay rocas para los que sea necesario utilizar explosivos.

7) Materiales que caen.

Los riesgos debido a la caída de materiales son obviamente mucho mayores en un túnel de grandes dimensiones a causa de la altura de la caída y a la necesidad de instalar andamios, desde donde se pueden caer los materiales.

Existe también un límite mínimo, según el tamaño del hombre en general para las dimensiones que debe tener el espacio en que trabaje sus herramientas y los maderos den-

tro del túnel a menos que el frente sea tan corto que se pueda construir llegando desde los extremos.

7.-) TUNELES EN ROCA.

a.-) REQUISITOS GENERALES.- Al comparar la roca - con el terreno blando como medio para la construcción de túneles destacan como contraste obvio, que la roca es mucho más difícil de romper, que por lo común requiere barrido y explosivos, y que los requisitos para el soporte - del terreno necesitan un enfoque diferente.

Si es posible llevar acabo la excavación y el ademe del terreno de manera que se desarrolle de un modo efectivo la acción del arco de los esfuerzos dentro de la roca, el efecto de revestimiento será meramente el de sellar y asegurar el patrón de esfuerzos, al mismo tiempo que proporcione resistencia adicional para absorber los cambios a largo plazo que resultan de la relajación de la roca y, por supuesto, para tener también un acabado interior adecuado.

La excavación de roca utilizando la perforación y - los explosivos constituye inevitablemente una operación -

cíclica y no continua. Es esencial establecer un balance entre el personal y el equipo en las diferentes fases, si es que se desea obtener un progreso eficaz.

El ciclo está formado por los siguientes elementos:

- Perforar el frente a un patrón y profundidad adecuados.
- Retirar el equipo perforador.
- Cargas con explosivos y retirar al personal.
- Detonar las cargas.
- Ventilar para eliminar el humo y los vapores.
- Remover los desechos de roca.
- Desprender con barreta la roca suelta; asegurar la excavación.
- Instalar el ademe provisional.

Cuando el túnel no se excava en todo frente sino sólo en la parte superior y en un banco, se tendrá un ciclo doble más complejo.

Un factor que tiene gran importancia en los túneles de roca es la fragmentación de ésta, la cual influye considerablemente sobre la manera adecuada para manejar la maquinaria.

b.-) ESFUERZOS.

El objetivo al excavar un túnel a través de la roca es lograr que los esfuerzos y deformaciones en el terreno y en los ademes temporales y permanentes se mantengan en todo momento dentro los límites seguros y aceptables.

Según proceda la operación, los esfuerzos se redistribuyen progresivamente en lo particular, el techo del túnel cerca del frente está soportado por lo común por la acción transversal del arco que se apoya sobre los lados y por la acción longitudinal que se apoya en los estratos de la cara y sobre el techo posterior, terminado y soportado.

El avance del frente retira el soporte frontal y -alarga el claro efectivo del arco longitudinal, imponiendo una carga adicional, como se muestra esquemáticamente en la siguiente figura.

La magnitud y patrón de la redistribución de los esfuerzos dependen de diversos factores, entre los que se encuentran:

- Tipo de roca.
- Resistencia y otras propiedades de la roca.

- Uniones y otras discontinuidades.
- Los esfuerzos que existen en la roca.
- Tamaño y forma de la sección del túnel.
- Revestimiento permanente.
- Métodos y procedimientos de construcción.

Los esfuerzos se pueden evaluar empíricamente o por medio de análisis matemáticos y de laboratorio, incluyendo el método de elementos finitos, realizados por computadoras.

No importa cuán cuidadosos y elaborados puedan ser cálculos, es absolutamente esencial disponer en la obra de juicios respaldados por la experiencia.

Ya en la construcción, tienen lugar ajustes progresivos de los esfuerzos cuando parte de la roca que rodea al túnel falla localmente o se mueve a lo largo de los planos de juntas, aliviando la concentración de los esfuerzos.

Se alcanza un equilibrio final cuando los esfuerzos máximos, no mayores que la resistencia de la roca confinada, se distribuye una vez más adentro de la masa cir--

cundante de rocas.

Pueden quedar en dichas áreas zonas en las que ha fallado la roca, en la línea de arranque y en la corona, pero que necesitarán soportes o retención locales de menor importancia.

c.-) CARACTERISTICAS DE LAS ROCAS.

El tipo de roca constituye un término muy general - que abarca una amplia variedad de factores que van desde la formación básica (Ígneas, Sedimentarias, Metamórficas y Geológicas) hasta las propiedades específicas como textura, composición mineralógica y química, edad y origen, tixotropía, grado de alteración y dureza.

La condición con que se encuentre puede indicar provechosamente el grupo aproximado de dichas propiedades, - como la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad, y se puede calificar adicionalmente describiéndola como "dura" "media" o "blanda" utilizando como un término relativo al tipo de roca.

La calidad de la roca se debe evaluar dentro del -

contexto de la perforación y el uso de explosivos. Muy pocas rocas son tan duras como para que no puedan ser horadadas con barrenos comunes con puntos de carburo de tungsteno; algunas rocas poco sólidas, con una estructura semejante a la arcilla, tienden a atascar los barrenos, se pueden desintegrar localmente y no dejan una perforación perfectamente circular.

La dureza de la roca controla la velocidad del barrenado, pero no es una magnitud bien definida y no se le debe igualar a la resistencia o la compresión o a la abrasividad.

Una característica importante de la excavación con barrenos y explosivos en el perfil producido; a pesar de que se elige el patrón de barrenos teniendo ésto en mente, las características geológicas son las dominantes.

d.-) EQUIPO DE PERFORACION.

Las perforaciones neumáticas de rocas constituyen el tipo de mayor uso en la minería, explotación de canchales e Ingeniería Civil en general. Se operan con aire a presión aproximadamente a 7 Bares 7.03 kg/cm^2 y pueden ser de percusión o giratorias, o una combinación de am--

bas acciones.

Se pueden utilizar mecanismos de alimentación en espiral o cadena para hacer avanzar la barrena dentro del agujero, este equipo está especialmente adaptado para perforar túneles grandes y largos, a través de rocas razonablemente uniforme, donde se tendrán que modificar considerablemente las técnicas.

Los sistemas hidráulicos de perforación se están - - aceptando nuevamente en algunas aplicaciones para la construcción de túneles. La energía eléctrica acciona un motor hidráulico interno. Entre las ventajas que se pretenden se encuentran un mayor rendimiento de la energía, peso más ligero, reducción del ruido, reducción de la neblina ausencia de líneas de aire comprimido.

Para túneles de menor importancia y tamaño se prefiere como herramienta el barreno de peso ligero, el cual puede ser alzado, manejado y operado por un solo hombre, y -- que se apoya por lo común sobre un "pie de aire".

C A P I T U L O C U A T R O :

REQUISITOS TECNICOS.

- 1.-) FILTRACIONES.
- 2.-) REQUISITOS TECNICOS PARA TUNELES EN MA
TERIALES FIRMES.
- 3.-) PATRONES DE BARRENACION.
- 4.-) E X P L O S I V O S .
- 5.-) D E T O N A D O R E S .
 - a.-) DETONADORES.
 - b.-) DISPOSICION DE ENCENDIDO.
- 6.-) V E N T I L A C I O N .
 - a.-) METANO.
 - b.-) ELIMINACION DE GASES.
- 7.-) DRENAJE Y BOMBEO.

1.-) FILTRACIONES.- Casi todos los túneles en roca experimentan problemas con el agua. Puede variar desde la transmisión a través de las grietas o fallas hasta un gran escurrimiento procedente de grandes bolsones de agua o de canales acuáticos a través de las formaciones fracturadas.

La transminación se puede controlar hasta cierto límite con el enlechado de cemento, pero es difícil detenerla completamente. El agua que se rechaza en un lugar -- busca a menudo camino hacia grietas anteriormente secas. Los colectores y el relleno seco en el arco es la mejor manera de desviar la filtración que no pudo impedir el enlechado, pero esto resulta costoso. A menudo es más económico sellar las grietas producidas por contracción en el revestimiento del concreto, que insertar unos canales de drenaje de cobre en ranuras a lo largo de las grietas.

Es más fácil colocar relleno seco detrás de los muros, y se puede llevar a cabo mecánicamente. El agua -- fluirá a través del relleno seco hasta líneas abiertas de drenaje instaladas en la parte más baja y conectadas al sistema de drenaje del túnel (Fig.). *

Si se presenta un fuerte flujo de agua en el hueco - de un bareno, ésto indicará una falla o junta acuífera. Se puede detener el flujo barrenando huecos adicionales e inyectando una lechada de cemento. Algunos de los huecos deben inclinarse para que lleguen más allá de la periferia. Si la presencia de arena densa o polvo de rocas en la falla impide la penetración apropiada del enlechado de cemento, puede ser que el enlechado químico produzca resultados satisfactorios. En casos especiales, posiblemente sea necesario barrenar un hueco piloto bastante adelante del frente del túnel para detectar condiciones difíciles del agua, especialmente cantidades considerables bajo fuerte presión. Esto debe hacerse en túneles en roca que esté debajo de profundas extensiones de agua.

2.-) REQUISITOS TECNICOS PARA TUNELES EN MATERIALES FIRMES.- Entre materiales, que no sean rocas, que se pueden encontrar al excavar un túnel, se encuentran las arenas de diversas densidades y tamaños de granos; arenas mezcladas con limo o arcilla; arcillas ya sean puras o conteniendo limo o arena, y que varían desde relativamente plásticas, con un alto contenido de agua hasta firmes y secas; y mezclas aluviales de arena y grava o materiales procedentes de una moreno glacial. Si no se hayan sometidos a pre

sión hidrostática del agua libre, es posible excavar estos materiales por procedimientos de minería. Las estibaciones con madera, o acero darán apoyo temporal a las galerías, cuyas dimensiones y cantidades dependerán de las condiciones locales.

Al excavar en todos estos tipos de materiales se requieren tablestaca, apoyadas en pies derechos o postes para sostener el techo. Según avance la excavación en frente tanto como lo permita el material, se clavarán -- aún más las tablestacas, con la parte de atrás sostenida por la armazón y la delantera por el terreno. Se coloca un nuevo apoyo debajo de la parte frontal de las tablestacas y se repite el proceso. Los lados de la galería se mantienen en su lugar por medio de tablonos apoyados en los postes, según se requieran. La figura ilustra el procedimiento básico para este tipo de excavación.

Se usan a menudo soportes de acero en lugar de la madera, particularmente para grandes galerías, se pueden usar, en lugar de tablestacas, agujas de acero hechas de pequeñas vigas de ala ancha con puntas en forma de cuña. Las agujas tienen la magnitud necesaria para estar apoyadas por dos armazones; se les hinca con gatos o martillos de aire del frente blando y a una distancia igual -

al espaciamiento de los apoyos.

En tierras sueltas o arenas movedizas, el frente se apuntala por medio de un tablazón de frente. Se excava una poza poco profunda, de unos 0.60 m. de profundidad y un ancho equivalente a dos listones de avance o tablestacas en la parte superior del frente, y se coloca inmediatamente un corto tablazón para sostener el frente y servir de apoyo a la parte frontal del listón. Después que se haya excavado esta poza en todo lo ancho de la galería y que se hayan colocado todos los tabloncillos verticales del frente, se instalará un cabezal apoyado por postes cortos. Se puede entonces excavar el resto del frente, procediendo hacia abajo y manteniendo en su lugar. Por medio de un tablazón de frente figura.

Las dimensiones de la galería de avance deben ser lo más grande que permitan las características del terreno, pero nunca menores de 1.52 m. de ancho y 2.13 m. de altura. Los dobleces de acero, conformados al arco del túnel son preferibles a los de madera, aunque más económicos, si se considera tanto el costo como la velocidad de operación. Los listones de avance pueden ser de madera o acero.

Las planchas de forro de acero se pueden obtener en diversas formas y tamaños, pueden usarse para soportar - el terreno suficiente para insertar las planchas de fo-- rro, comenzando en la parte superior del arco y procediendo hacia abajo. Se colocan los pernos a la pestaña de cada plancha que se ha montado previamente.

El túnel de menores dimensiones las planchas nervadas o corrugadas pueden ofrecer apoyos adecuados. En túneles mayores o bajo cargas más pesadas las planchas pueden apoyarse en costillas de acero, contra los que se calzan las planchas de forro sin pestañas pueden usarse como revestimientos o como listones de avance.

Para evitar el asentamiento o las cargas desequilibradas, deben rellenarse todos los huecos detrás de las planchas de revestimiento, inyectando confitillo o enlechado de cemento.

Los túneles de pequeñas dimensiones pueden tener una sola galería. Para los túneles de grandes dimensiones, se utilizan diversas combinaciones de galerías de avance. Algunas de ellas se le conoce, según el lugar de origen.

PATRONES DE BARRENACION.

El número, distribución y profundidad de la excavación, los pesos de las cargas y la secuencia de encendido se deciden para ajustarse al tamaño, forma y condiciones particulares del túnel, el equipo disponible y las características detonantes de la roca.

El patrón básico de barrenado consiste de:

- 1.- Barrenos de cuña.
- 2.- Barrenos repartidores de corte.
- 3.- Barrenos perimetrales.
- 4.- Barrenos de pisos.
- 5.- Barrenos de alivio.

En la siguiente figura se ilustran como ejemplo patrones de corte quemado y cortes en ángulo.

1.- Los barrenos de cuña: El patrón se desarrolla alrededor del corte escogido con el fin de asegurar una fragmentación adecuada a los equipos que levantan los desechos y los eliminan. La precisión del barrenado es extremadamente importante.

a) Cuñas quemadas.- Se prefieren para rocas duras, quebradizas y homogéneas, como las areniscas y las rocas ígneas. El corte típico comprende cuando menos cuatro agujeros de pequeño diámetro, fuertemente cargados y que rodean un agujero central sin carga. Dependiendo de la planta de barrenación de que se disponga se podrán incorporar agujeros adicionales cargados y sin cargar. (También se llaman barrenos paralelos de corte).

b) Corte en ángulo.- Cortan una cuña o pirámide en la cara, pero su barrenado a un ángulo adecuado depende de que haya suficiente espacio en el túnel como para que el extremo excavado sea costeable.

El ángulo incluido formado por la cuña podrá ser de 90° a 60° , pero mientras más grande sea el ángulo, más intensa será la carga requerida y puede necesitarse un barrenado de doble cuña.

En el corte en pirámide los agujeros se barrenan a lo largo de los lados y los ángulos de una pirámide, cargada en la punta.

Las cuñas quemadas se prefieren para un rápido avan

ce y perforaciones de alta velocidad. No están restringidas por el tamaño del túnel.

2.- Los barrenos repartidores del corte. Ocupan un lugar intermedio entre los barrenos de cuña y los barrenos perimetrales.

3.- Barrenos perimetrales. Delimitan el perfil requerido del túnel; se perforan por lo común con un pequeño ángulo hacia afuera para reducir la incidencia de los puntos ajustados.

4.- Barrenos de piso. Ocupan una o dos hileras inmediatamente sobre el nivel del piso, generalmente con un pequeño ángulo hacia abajo.

5.- Los barrenos sin carga, son barrenos adicionales para influir en la ruptura entre los barrenos cargados y se utilizan para limitar la sobreexcavación. (costureo ó precorte)

Al hacer la selección final, es necesario considerar los aspectos importantes; fragmentación, que debe estar en relación con la planta que recoge los desechos; -- control de la sobreexcavación, que es especialmente cuan-

do el revestimiento implica relleno; vibración y ruido, - que son cada vez más importantes y que tienen mayor importancia en las áreas urbanas.

4.-) E X P L O S I V O S .

Existen dos categorías principales de explosivos autorizados.

Los "explosivos permitidos", que se pueden utilizar - en condiciones en donde haya la posibilidad de que exista metano como en las formaciones carboníferas.

Los de uso general para utilizarse en situaciones donde no hay gases presentes. Estos se clasifican a su vez - como: explosivos gelatinosos, semigelatinosos y no gelatinosos y explosivos inyectados.

En los túneles, son los explosivos gelatinosos y semigelatinosos los que tienen mayor uso, ya que poseen una alta resistencia al agua y una alta densidad.

Es preciso usarlos en barrenos largos, de pequeño - diámetro y deberán, por consiguiente, ser suficientemente sensibles para que la detonación llegue sin fallar a

toda la longitud de la larga y estrecha columna.

5.-) D E T O N A C I O N E S .

Se usan por lo común detonadores retardados, eléctricamente activados. Existen discrepancias sobre los méritos relativos de los detonadores de medio segundo o de milisegundo (0.25 a 0.075 seg.). El retraso de medio segundo tiene la ventaja de que permite que la sucesiva "tracción" sobre la cara se desenrolle totalmente, a la vez que hace menor la desintegración en el perímetro, pero aumenta la posibilidad de que ocurra una detonación afín.

a.-) Detonadores.

La carga de la columna, después de haber limpiado totalmente el barreno, comprende la colocación de la carga --detonante, seguida de la colocación de las otras cargas de un extremo al otro del barreno hasta que se haya colocado la carga total requerida, dejando quizá sin cargar unos --300 milímetros en la parte superior.

Al atacar la parte superior con cartuchos de arcilla con el fin de confiar las cargas explosivas aumenta la efi

ciencia de la detonación pero debido al tiempo que se pierde y al costo no se práctica a menudo.

A veces se utiliza un producto llamado ANFO, que es una mezcla de nitrato de amonio y un aceite de hidrocarburos, pero no en áreas húmedas, como sucede con los explosivos de más baja densidad.

b.-) Disposición de encendido.

Entre las precauciones normales que se deberán de tomar antes de colocar las cargas en el frente se incluyen la desconexión de todo tipo de energía eléctrica del portamaquinas o de otra planta y el traslado de todos -- los cables de energía hasta una distancia de unos 70 m. del frente.

Se utilizan circuitos en serie o en paralelo, siendo los últimos los más comunes en las operaciones complejas en los túneles. Los circuitos en serie son más fáciles de probar; con un circuito en paralelo se deberá tener mayor cuidado con los detonadores.

Después de haber disparado una etapa, es esencial -

asegurarse primero que el aire quede libre de los vapores venenosos del óxido de nitrógeno y de que no quede ningún cartucho sin explotar. Es posible que la primera operación sea regar la pila de escombros, luego limpiar el piso y raspar las paredes y el techo para eliminar toda roca suelta que pudiera caer.

6.-) VENTILACION .

a.-) Metano.

Su presencia en un túnel constituye un riesgo debido a que forma una mezcla explosiva con el aire, o una disolución aproximadamente 20 veces su volumen.

El gas se origina por lo común en las rocas carbonáceas y, más especialmente, en los mantos carboníferos y - en los extractos productores de petróleo, pero también en la turba y otros depósitos orgánicos. Puede presentarse en un túnel como una infiltración constante o súbita cuando la barrena penetra en una cavidad.

Puede ser vital para la seguridad realizar muestreos y pruebas con el fin de detectar la presencia de metano -

cuando se tengan razones para sospechar que se puede encontrar en el túnel. Se requerirá un suministro adecuado para diluir y eliminar el metano.

Una concentración mayor del 1% se considera como altamente peligrosa y con una cuarta parte de dicho nivel es posible que sea esencial tomar medidas preventivas, especialmente contra la posible ignición con una flama, --- chispa o un punto caliente.

b.-) Eliminación de los gases.

Es necesario usar la ventilación forzada para eliminar los gases, el calor y el polvo en las áreas de trabajo. Se puede elegir entre sistemas que alimenten aire fresco en las cercanías del frente, desde donde el aire contaminado fluya de regreso por el túnel, y los sistemas que extraen el aire contaminado en el frente, haciendo -- pasar por lo tanto el aire fresco a lo largo del túnel.

El problema total de la ventilación tiene una gran importancia y se debe estudiar cuidadosamente de antemano. Además del metano, en el caso de que se encuentre, - y de la eliminación de los gases la ventilación tiene que tratar con los gases de escape de los vehículos y los --- equipos, el polvo de la perforación, el polvo de la deto-

nación, la generación de calor por las plantas y los equipos, el calor geotérmico y el calor corporal.

7.-) DRENAJE Y BOMBEO.

El volumen de agua que entra en un túnel en roca puede variar desde no más que la cantidad generada por el riego con manguera para aplacar el polvo hasta los volúmenes encontrados en los túneles subacuáticos que se acercan mucho; a una inundación catastrófica.

Cuando las entradas de agua son normales, los riesgos de socavación en roca serán mucho menores que en los túneles en terrenos blandos.

Si el túnel que se excava tiene una pendiente positiva, el agua que entra se puede drenar generalmente por gravedad hasta que salga por el portal, presentando pocos problemas. Con una pendiente negativa, como es lo obligado - en los túneles subacuáticos, toda el agua drenará por gravedad hasta el frente por lo que son necesarios cárcamos colectores y de bombeo.

Se instalarán tuberías maestras de bombeo para condu-

cir el agua a un cárcamo colector principal que esté situado cerca del portal o hasta un tiro de labores, de donde habrá que bombear el agua hasta la superficie para proceder a su descarga.

REQUISITOS TECNICOS - 4.1

- 1) PLANEACION.
- 2) TOPOGRAFIA.
- 3) INVESTIGACION.
- 4) GEOLOGIA.
- 5) INVESTIGACION DE CAMPO.
 - 5.a) METODOS DE PERFORACION.
 - 5.b) MUESTREO.
 - 5.c) PRUEBA EN EL LUGAR (IN SITU)
 - 5.d) EXCAVACIONES EXPLORATORIAS.
- 6) HIDROLOGIA.
 - 6.a) AGUA SUPERFICIAL.
 - 6.b) AGUA SUBTERRANEA.

INVESTIGACIONES PRELIMINARES.

1) PLANEACION.

Antes de que un túnel se pueda planear en forma general y diseñar en detalle, se deberá recolectar información sobre los aspectos físicos del proyecto, además de los estudios económicos, los cuales están relacionados - en forma directa.

Debido al tipo de construcción se hace necesaria - una detallada y extensa investigación, la construcción - de túneles es demasiado costosa, el ahorrar información constituye una falsa economía para poder hacer la mejor selección de la línea, nivel y métodos.

Aquí se indican los aspectos físicos que es preciso investigar antes y durante la construcción del túnel. Se tiene el aspecto económico, incluyendo estudios y pronósticos del tránsito en los túneles para transporte y - estudios generales de costo-beneficio sin dejar de tener en cuenta los aspectos ambientales y, en particular, bajo condiciones urbanas, los problemas de obstaculización mientras se construye.

La topografía del área en cuestión deberá de con-

tar con el más alto grado práctico, además con los antecedentes de cualquier alteración importante del terreno, así como los datos geológicos y geotécnicos. El grado y alcance de la investigación dependerá de la magnitud del proyecto y del conocimiento y experiencia que se tenga de las características del terreno, basándose en las excavaciones y trabajos previos.

En la medida en que se va utilizando cada pieza de información, aparecen nuevos y más detallados problemas, por lo que son necesarias investigaciones adicionales.

Al proyecto general de las posibles rutas y niveles basados en la topografía le sigue un examen detallado de las posibles alternativas hasta el punto en que se pueda seleccionar el alineamiento más favorable y evidente. Aún en una etapa muy posterior se puede cambiar considerablemente el nivel o alineamiento, por ejemplo, dónde se localiza una roca más conveniente o un terreno más adecuado para el equipo que se utiliza. En cualquier caso, la información adicional y más completa sobre la estructura del terreno por donde se tiene que perforar el túnel seguirá siendo un requisito continuo; es probable que se necesiten otras pruebas más adelante en el frente del túnel, cuando se tengan dudas sobre las variaciones del terreno.

2) TOPOGRAFIA.

El primer enfoque se refiere al enfoque de los mapas existentes a la mayor escala disponible, que incluyan curvas de nivel o cualquier otra información sobre los niveles. Es aconsejable una inspección del sitio en las primeras etapas y, después, tan a menudo como sea posible con el objeto de apreciar el significado de la topografía que aparece en el mapa y los diferentes detalles importantes del área. Desde las primeras rutas tentativas que se trazan en el mapa se hace evidente la necesidad de un levantamiento topográfico más detallado.

Estos levantamientos se enlazan generalmente con la retícula nacional o con cualquier otro sistema de referencia, e incluirán una red de triangulación o una poligonal cerrada para establecer un sistema de coordenadas para el túnel, junto con los detalles que establece el trazo preliminar forman parte del levantamiento básico - la nivelación precisa referida a los bancos de nivel nacional, y el establecimiento de otros bancos de nivel de referencia es fundamental la selección de puntos permanentes de referencia en lugares en los que no se vaya a construir durante toda la obra.*

Las especificaciones variarán considerablemente según sean los fines para los que se destina el túnel y el tipo de terreno.

Se puede realizar la obra en un espacio abierto, - montañoso o aluvial, en centro urbano grande con importantes edificios, en una área suburbana o en una zona industrial.

El levantamiento es necesario para tener la localización exacta de los túneles ya existentes, ya sea para evitar la transferencia o unirlos entre sí. Para la construcción de las estaciones del tren subterráneo, es de vital importancia, así como para los trabajos de alcantarillado.

Un levantamiento fotogramétrico tiene gran valor, tanto por la rapidez como por la exactitud en el registro de los talleres. Es bien sabido que el campo puede revelar a veces la presencia inesperada de obras antiguas.

La retícula del levantamiento puede utilizarse como base de un registro total y preciso de las construcciones, incluyendo especialmente las partes que permanecen ocultas hasta el final, como son los tiros y galerías

temporales o cualquier zona de excesiva excavación en el túnel o en excavaciones temporales que se hayan rellenado.

3) INVESTIGACION.

Con frecuencia, es importante en las zonas mineras e industriales que se conozcan los antecedentes del lugar. Se han abandonado con frecuencia las explotaciones mineras sin haber incorporado los detalles a los mapas, pero a veces existen registros en los archivos o en las escrituras relativas a la compra del terreno, de donde se podrá determinar o cuando menos sospechar la existencia de pozos abandonados. A menudo se encuentra que las canteras han sido rellenadas después de haberlas agotado, y es en un lugar como éste donde se encuentra que un túnel que se suponía excavado en roca se halla inesperadamente con un relleno blando. Los pozos constituyen también un riesgo, especialmente en algunas zonas urbanas - que están sobre acuíferos confiables. Aun en perforación anterior puede ser causa de problemas si no está adecuadamente sellada, ya que puede proporcionar un paso para el agua o para la salida de aire comprimido.

Otro peligro inusitado en los túneles de baja profundidad es la contaminación del suelo por desechos industriales cuando los contaminantes se han filtrado hasta los estratos subyacentes durante un largo período.

4) GEOLOGIA.

Los levantamientos geológicos y los estudios geotécnicos son fundamentales en el proyecto, diseño y construcción. La Estratigrafía, Petrología y Tectónica son importantes, pero los detalles de las estructuras y las variaciones son más necesarias en el caso de los túneles que los amplios estudios Geológicos. Los estudios de Mecánica de Suelos y de Rocas se apoyan en la Geología Básica para lograr los pronósticos del comportamiento mecánico del suelo durante la excavación y su interacción con el Ademe temporal y permanente.

La información geológica se puede obtener de los -- mapas y memorias publicadas, los cuales se complementan detalladamente con los registros no publicados, pero que están accesibles a los interesados. En los mapas se --

muestran los depósitos aluviales, terrenos de acarreos y tipos de rocas que se encuentran en la zona y su interrelación, pero la localización exacta de la interfase y -- los cambios de textura y resistencia son muy importantes en la construcción de túneles, por lo que se deben de hacer más exploraciones para establecer dichos puntos.

Cualquier registro de perforaciones anteriores es de gran valor. Casi siempre vale la pena la inspección de canteras, pozos, tiros y minas; y también de los acantilados y el lecho de las corrientes fluviales y cualquier otro tipo de excavación. Se deberán buscar los registros de los túneles anteriores, pozos y las cimentaciones profundas.

Entre los puntos importantes de la información requerida sobre la Geología y Geotécnica se incluyen:

- 1.- Descripción geológica con detalles de la Litología y la variabilidad.
- 2.- Ubicación y orientación de las discontinuidades y los planos de debilitamiento relativos a la excavación del túnel: planos de Estratigrafía, juntas, fallas, zonas de corte.

- 3.- Esfuerzos en el lugar.
- 4.- Propiedades Geomecánicas.
- 5.- Agua Subterránea.

5) INVESTIGACION DE CAMPO.

Para conocer más a fondo lo relacionado a un túnel en la actualidad contamos con las perforaciones, pozos - de tiro de prueba y frentes exploratorios. Todo con el fin de localizar e identificar con exactitud cada estrato importante para el túnel propuesto y así evaluar sus características y variaciones, y su comportamiento durante la excavación.

Para lograr la identificación de los estratos nos valdremos de sus características basadas en la inspección y pruebas realizadas tanto in situ como en laboratorio. Es necesario planear muy detalladamente el Programa Total de manera que se planteen cuidadosamente las preguntas y se obtengan de la manera más económica como sea posible las respuestas necesarias sin sobrecargar un proyecto -- con gran cantidad de pruebas y estudios inútiles. Esto subraya también las ventajas que se obtienen de tener un

programa progresivo de investigación en donde se reduzcan las áreas de incertidumbre.

Por ejemplo, se puede requerir una calzada que sea de descenso desde la superficie a través de un acceso de corte abierto a un túnel que pasa por debajo de obstáculos. Si la sección del túnel se pudiera situar de modo que estuviera totalmente o en su mayor parte dentro de un estrato uniforme de un considerable espesor entonces las perforaciones deben ser sólo las necesarias para comprobar dicha uniformidad y determinar las propiedades importantes y el comportamiento mecánico, siempre sujetos a la condición de que el espesor pueda ser menor de lo esperado y que las características varíen localmente. En cualquier lugar en que se tenga sospecha de que existe una anomalía, como un canal enterrado o una falla, se requerirá un estudio más detallado.

Ningún patrón de perforaciones podrá tener un espaciamiento tan pequeño como para identificar todas las anomalías, pero el número de perforaciones estará relacionada con la variabilidad que se esperaba o que se halló.

En la primer etapa de estudios realizados, deberá de haber un número suficiente de perforaciones para com-

probar la presencia y los niveles de los estratos supuestos y características principales. Algunos sondeos se tendrán que hacer a profundidades mayores del piso proyectado del túnel, para averiguar qué es lo que hay allá abajo y proporcionar información que ayude establecer un juicio con respecto al mejor nivel para el túnel. Estas perforaciones profundas pueden detectar la presencia de acuíferos a presión u otras características importantes.

Una vez terminada la etapa anterior es posible trazar decisiones tentativas sobre la ruta, del túnel y elegir métodos adecuados para su construcción; con una segunda serie de sondeos se tendrán secciones, razonable--mente completas a lo largo y a través del túnel, teniendo en cuenta que las condiciones entre agujeros no se -- pueden interpolar con absoluta confianza. Mientras sea mayor el número de sondeos y más cerca entre si, será -- más confiable la sección transversal.

En la tercera etapa de la investigación en el lugar, se comprueban los puntos críticos al terminarse el diseño y la geometría del túnel para reunir la información -- faltante y resolver las dudas. Un frente de exploración o un túnel piloto son útiles en dichas funciones.

Las perforaciones hacia abajo con los barrenos es con mucho el método de aplicación más utilizadas por razones de flexibilidad, rapidez y economía. La perforación puede ejecutarse con brocas manuales para profundidades de unos cuantos metros, y agujeros de aproximadamente 40 mm. de diámetro hasta pozos de 1 m. de diámetro. En el caso de los túneles los diámetros de los agujeros tendrán un rango de 10 a 40 mm. y profundidades menores de 10 m. pero pueden ser mayores si fueran necesario.

5.a) METODOS DE PERFORACION.

LOS DIVERSOS METODOS DE PERFORACION SON:

- 1.- Perforación manual con barreno helicoidal, para sondeos poco profundos en suelos.
- 2.- Percusión con cable ligero, adaptable a casi todos los terrenos menos para la excavación de sondeos profundos en roca pura.
- 3.- Perforación mecánica con barreno helicoidal en suelos compactos.
- 4.- Perforación rotatoria a cielo abierto o barrenado para obtener núcleos en roca.
- 5.- Perforación de sondeo con inyección de agua para arenas, limos o arcillas donde no sea importante el sondeo.

La perforación manual con barreno helicoidal es de uso muy limitado en la excavación de túneles. La profunda no puede ser mayor de unos 5 m. y el agujero va sin revestimiento.

La perforación por percusión con un cable ligero es el sistema más adaptable para el uso general. El equipo

incluye un trípode, un cabrestante, un cable ligero, barras de barrenado, herramientas para la excavación y herramientas para el muestreo. Para lograr la mayor utilización de los recursos es necesario una información confiable obtenida con muestras tomadas y preparadas en forma apropiada para efectuar las pruebas; es esencial tener una supervisión de mucha experiencia, pero se puede usar mano de obra no calificada para gran parte del trabajo en el lugar.

En todos estos métodos, los fragmentos excavados se extraen y se examinan en la superficie, conservándose -- las muestras adecuadamente. Dichas muestras permiten -- identificar y clasificar ampliamente el suelo a cada nivel.

En los suelos granulares no se pueden sacar muestras sin que exista alteración, especialmente cuando el tamaño de las partículas es grande en relación con el diámetro del agujero. Se pueden utilizar las pruebas "In Situ" del penetrómetro con punta cónica para tener información sobre el comportamiento del terreno.

Por lo general se pueden obtener muestras relativamente inalteradas de arcillas y, ocasionalmente, de limos por medio de tubos de muestreo adecuados o utilizados con habilidad.

Los barrenos helicoidales son generalmente equipos de tramo continuo, con un vástago hueco y diámetro exterior de 150 a 250 mm. y otro vástago igual a la mitad del anterior. Se utiliza en suelos compactos y como tienen un vástago hueco que se tapona para usos generales, se pueden utilizar para muestreo o para perforación de núcleo, en la roca bajo el suelo.

La perforación rotatoria se usa de preferencia en rocas, pero se puede utilizar también en suelos compactos.

5.b) MUESTREO.

Si se está perforando a ciclo abierto, los muestreos requeridos tendrán que tomarse por separado, interrumpiendo con este fin la operación. En cualquier estrato que afecta la construcción del túnel, se deben de obtener continuamente muestras por determinar la presencia de discontinuidades y el grado de fragmentación de la roca.

La perforación de sondeo con inyección de agua (sondeo de lavado) es relativamente barata, y es una manera fácil de penetrar las arenas, limos o arcillas, pero la

información sobre el tipo del suelo a cualquier nivel resulta mínima.

En los suelos granulares, el tamaño de la partícula y su granulometría, la densidad, el contenido de humedad y la permeabilidad constituyen los puntos principales sobre los que se desea obtener información.

Para los suelos compactos son válidos los mismos puntos además de las características de resistencia. Resistencia al corte y a la compresión, y también los límites de Atterberg que son una guía para los cambios en la plasticidad con la variación con el contenido de agua.

Con el fin de que la mayor parte de estas características se pueda determinar en laboratorio, es vital que las muestras estén lo menos maltratadas que sea posible y hayan sido soldadas con mucho cuidado inmediatamente después de su obtención para impedir cualquier cambio de contenido de humedad.

En todo tipo de muestreo, la determinación de las propiedades en las muestras del suelo o roca está subordinada a la evaluación de las propiedades en la masa como se encuentra realmente in situ cuando se excava el túnel.

5.c) PRUEBA IN SITU.

Como parte de un esquema de sondeos exploratorios - pueden ser valiosas las pruebas in situ del comportamiento del terreno. La Prueba de Penetración Estandar mide la resistencia local a la penetración de un cono o un muestreador en el fondo de un agujero utilizando la caída de un espejo.

En suelos compactos, con la prueba de la veleta para medir la resistencia a la rotación de una veleta se evalúa la resistencia local al corte.

La permeabilidad se puede evaluar con un agujero o en un tramo aislado de una perforación midiendo la aceptación del agua bajo una carga constante, bajo una carga decreciente, o por la descarga del agua.

Los métodos geofísicos incluyen la refracción sísmica, la resistividad eléctrica en la superficie de la tierra, los perfiles sísmicos y el sondeo marino del eco en las exploraciones submarinas.

Para que se puedan utilizar estos métodos en la construcción de túneles es necesario que se basen en un número suficiente de perforaciones totalmente muestreadas y que se relacionen cuidadosamente.

5.d) EXCAVACIONES EXPLORATORIAS.

En los pozos, excavados y revestidos desde la superficie, bajo una experta supervisión, se puede observar - de un modo preciso la naturaleza y sucesión de los estratos, se pueden obtener numerosas muestras de cualquier - tamaño con un mínimo de alteración de las mismas y efectúan in situ cualquier prueba apropiada.

Sus limitaciones son: primero, que se pueda disponer de un lugar; segundo, tiempo y costo de construcción, -- tercera la presencia del agua requiere bombeo con la siguiente alteración; cuarta, puede estar restringida la - profundidad.

Los tiros revestidos pueden formar parte del proyecto de la excavación del túnel, ya sea como acceso temporal o con una función permanente, pero esto se limitaría la sección del lugar y restringiría el campo de aplicación de las pruebas y muestras.

Un frente es probablemente el sistema exploratorio que de más información en la construcción de túneles. - Se puede excavar en una ladera como una galería transversal, o se puede excavar desde un tiro. Puede ser un túnel piloto perforado en la línea del túnel principal y -

pecialmente en las calizas. En relación al agua hay cuatro puntos importantes:

- 1.- Puede inundar un túnel, irrumpiendo por un - - frente expuesto, o como agua superficial que - entra desde un tiro o una galería.
- 2.- La presencia del agua en el terreno añade presión hidráulica o la carga ejercida sobre un - revestimiento impermeable.
- 3.- El agua de los poros modifica significativamente las propiedades plásticas y la resistencia de los suelos; el agua en las fisuras puede reducir la resistencia de la roca o lubricar las juntas.
- 4.- El agua que penetra en los techos de anhidrita u otros minerales puede reaccionar químicamente con los mismos causando hinchazón y ruptura.

6.a) AGUA SUPERFICIAL.

Quando ocurre precipitación por lo regular se levantan registros de los niveles de ríos, largos, los cuales son muy útiles. En la ausencia de esos registros son --

aconsejables las observaciones sistemáticas.

Si el túnel está cerca de una zona sometida a las aguas de las mareas, son indispensables las tablas de las mareas, las cuales registran del modo más completo posible la hora y la altura de la marea, junto con cualquier información disponible sobre el oleaje de las mareas que se pueden superponer sobre las mareas normales y, bajo condiciones de estuario, cualquier registro obtenible de las avenidas de los ríos.

Además de los problemas originados por las avenidas superficiales, los cambios en los niveles superficiales, por regla general afectarán consecuentemente los niveles del manto freático en el terreno y, por consiguiente, las presiones y gastos de agua de entrada en los túneles.

En las obras urbanas no se debe pasar por alto la posibilidad de que existan sobrecargas en el drenaje cercano, así como contracorrientes de agua a lo largo de las tuberías que han sido interceptadas, pero que no se han sellado de un modo adecuado.

6.b) AGUA SUBTERRANEA.

El manto freático representa el nivel significativo del agua subterránea. En cualquier estrato es el nivel que alcanzará el agua en un agujero abierto conectado solamente con dicho estrato.

Por ejemplo, el manto freático en los estratos me--nos profundos que descansan sobre arcilla impermeable -- pueden estar un poco por debajo de la superficie del terreno, pero la penetración en un estrato impermeable por debajo de la arcilla puede interceptar un acuífero arte--siano que tenga un nivel freático por encima de la super--ficie del terreno.

La determinación de los niveles freáticos constitu--yen una importante función de la investigación en el lu--gar por medio de sondeos requiere una cuidadosa observa--ción del nivel y flujo de agua en las perforaciones. Se deberán utilizar todas las oportunidades posibles para --obtener dichos registros.

La permeabilidad de los estratos acuíferos constitu--yen un importante factor en la determinación del flujo --de agua esperada y su influencia sobre el comportamiento del terreno.

C A P I T U L O C I N C O :

DISEÑO TUNEL TIERRA COLORADA

- 5.a) CRITERIOS Y PRACTICAS RECOMENDADAS
PARA SU CONSTRUCCION.

- 5.b) MEMORIA DE CALCULO.

- 5.c) ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES.

- 5.d) INFORME DE ESTUDIOS GEOLOGICOS Y GEO-
TECNICOS DEL TUNEL TIERRA COLORADA.

TUNEL TIERRA COLORADA

5.a) CRITERIOS Y PRACTICAS RECOMENDADAS PARA SU CONSTRUCCION.

A L C A N C E S :

El túnel "Tierra Colorada" de la Autopista México-Acapulco, se emplazará en un macizo rocoso constituido predominantemente por meta-tobas y meta-andesitas. La calidad del macizo rocoso mejora de la superficie hacia la parte profunda del túnel, por lo que los métodos de excavación recomendados han sido divididos por tramos de acuerdo con las características y el estado de la roca por excavar, de esta forma estando el túnel comprendido entre los puntos fijos localizados en las estaciones 38+136 y 38+410, su longitud será de 34 m. más de longitud que se definirá en la obra. Los tramos considerados para establecer criterios y bases para procedimientos constructivos, son los siguientes:

Túneles falsos 13.5 m. en Portal Chilpancingo y variable - de definirse en obras Portal Acapulco.

EMBOQUILLADO: 10 m. (5 m. de cada lado)

T R A M O S : 20 m. (10 m. de cada lado)

TRAMO CENTRAL 260.5 m.

Los túneles falsos, se construirán a cielo abierto con las longitudes indicadas en los planos después de haber cortado en tajo al terreno natural compuesto predominantemente por suelos de alteración sin posibilidad alguna de autosoporte en excavaciones subterráneas.

Los emboquillados y las transiciones se excavarán en roca fragmentada y fracturada y requerirán por lo tanto, de procedimientos de excavación y soporte cuidadosos siguiendo los lineamientos que más adelante se describen.

El tramo central se excavará en roca de medianamente sana a muy sana, por lo que el procedimiento constructivo deberá ajustarse y adecuarse a tal condición como se indica más adelante.

El túnel en cuestión, estará formado por dos cuerpos paralelos separados 19.00 m. centro a centro en la placa del Portal Chilpancingo y 18.90 m. en la placa del Portal Acapulco, la distancia de 19.00 centro a centro es constante hacia cerca de la salida del túnel del lado del Portal Acapulco. Solo en los últimos 20 m. cambia de 19.00 m. a 18.90 m. el ancho de la excavación de cada túnel es de 10.00 m. La altura de 8.97 m. por lo que el área excavada de cada uno será de aproximadamente 75 m².

Los túneles falsos tienen en su interior la misma geometría que la del túnel verdadero ya revestida la geometría de su entrada es más simple y el sistema de pisos diferentes.

TAJOS PARA ALOJAR LOS TUNELES FALSOS

Los túneles falsos se alojarán en los tajos que se abrirán en ambos accesos recortando el terreno natural con taludes 0.75 : 1. Estos cortes se prolongarán hasta -- las estaciones indicadas en los planos constructivos co rrespondientes y serán interceptados por otros cortes - transversales. Las características de los taludes de - estos cortes se indican en los planos constructivos res pectivos.

RELLENOS SOBRE LOS TUNELES FALSOS.

El espacio entre túneles falsos y entre éstos y los cor tes laterales, se rellenará con material producto de la rezaga del túnel que se compactará hasta alcanzar un -- grado de compactación como mínimo del 90% según la - - prueba Proctor estándar o se bandeará según el caso, si- guiendo la geometría (taludes y bermas) que se indica - en los planos correspondientes. Estos rellenos deberán hacerse después de colados y descimbrados los túneles falsos; es decir, antes o simultáneamente con la excava ción en túnel de los tramos de emboquillados.

Los rellenos que se llevarán gradualmente hasta las alturas indicadas, mientras avanza la excavación de los túneles, tiene como finalidad proporcionar estabilidad de las obras de acceso a los túneles. Por encima de los túneles falsos se prolongarán los rellenos antes mencionados, utilizando para ello equipo ligero de compactación o de bandeado apropiado, siempre que exista un colchón mayor de 2 m. por arriba de la clave de los túneles.

EXCAVACION EN ROCA EN TRAMO CENTRAL.

El tramo central en la roca podrá excavarse en dos etapas para cada túnel como se muestra en las figuras adjuntas y en los planos constructivos. Es muy probable que sólo se requiera de anclajes en una parte de la longitud de este tramo. El concreto lanzado con espesor de 7.5 cm. se utilizará principalmente en la bóveda y paredes; llegado el caso podrá aplicarse en fajas alternadas de 2.5 m. espaciadas 5 m. c.a.c. la secuencia de construcción recomendable para lograr la estabilización a corto plazo es como sigue:

- a) Excavación de media sección superior del primer cuerpo, método convencional de barrenación, carga, voladura y rezados (cueles de 3 a 4 m.)
- b) Banqueo del primer cuerpo.
- c) Excavación de media sección superior del segundo cuerpo.
- d) Banqueo del segundo cuerpo.

EXCAVACION DE TRAMOS DE EMBOQUILLADOS:

En los tramos de emboquillados que se encuentran en los contactos de suelos con la roca, podrá utilizarse para su excavación, llegado el caso, el mismo método de excavación de las transiciones, el cual se describe más adelante; sin embargo, el procedimiento recomendado sería el de excavación de la media sección superior del primer cuerpo en tres etapas con varias capas de concreto laminado, malla de acero y anclas de fricción; el primer túnel piloto se excavaría con martillo hidráulico montado en retro - excavadora o con martillos neumáticos manuales, picos y palas u otros métodos manuales, dependiendo de la dureza del terreno. El avance de este túnel piloto, sería hasta de 2 m. por día. El segundo túnel piloto de la media sección superior.

También avanzaría 2 m. por día con un defasamiento de 1 m. entre ellos, utilizando las mismas herramientas ya descritas. La remoción del pilar central entre túneles pilotos laterales, se haría con avances de 1 a 2 m. en caso de observarse alguna inestabilidad en este pilar, se colocará concreto lanzado de 5 cm. sin malla sobre la capa de frente.

EXCAVACION EN ROCA EN TRAMOS DE TRANSICION:

En la excavación de los tramos de transición podrán utilizarse procedimientos similares a aquellos del tramo central, solo que invariablemente se utilizará malla en el concreto lanzado y anclas de fricción y se tomarán las providencias necesarias para utilizar alguno de los procedimientos alternativos de excavación de la media sección superior del primer cuerpo como se indica en las figuras y planos: para las etapas subsecuentes, se aplicarán las mismas secuencias descritas.

MARCO DE CONCRETO LANZADO:

Para los emboquillados es probable que resulte conveniente utilización de marcos de concreto lanzado las características de los cuales están definidos en el plano de PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS. La secuencia es la siguiente: Exca

vación, Coloación de la malla, armado del marco y lanzamiento de concreto. La separación c.a.c. de los marcos podrá ser de hasta 2 m. y peralte de 35 cm. por lo que podría resultar conveniente; rellenar con una o dos capas de concreto lanzado el espacio entre ellos, a fines de revestimiento final.

MEDICIONES DE COMPORTAMIENTO.

En todos los tramos descritos deberán llevarse a cabo - un cuidadoso control de las deformaciones del túnel, -- principalmente las convergencias de acuerdo con un plan de mediciones que se elabore al respecto. Los resultados de las mediciones servirán para definir, durante la construcción, los avances convenientes y la necesidad - eventual de incrementar o reforzar los medios de estabilización.

PLACAS DE EMPORTALAMIENTO.

La posición de las placas de emportalamiento podrá variar de acuerdo a la longitud final de los tramos de túnel falso, por otra parte, deberán de requerirse tramos del túnel falso exterior en las dos entradas. Estos -- tramos tendrán la longitud indicada y se contruirán junto con las placas de emportalamiento.

REVESTIMIENTO.

El revestimiento del túnel en los dos cuerpos se hará de acuerdo con las indicaciones de espesores y armados que se indican en los planos estructurales. En primer término, se colocará la rastra o dala de cimentación para los arcos que incluyen las banquetas laterales. Esta cubeta servirá de apoyo para el colado monolítico del arco, con cimbra deslizante o seccionado. El orden en que se cuelen los dos cuerpos del túnel, así como el defasamiento en los colados, es intrascendente, si previamente se ha alcanzado la estabilización de las excavaciones.

Es posible que, desde un punto de vista puramente geotécnico estructural, resulte práctico no revestir parte del tramo central del túnel (unos 100 a 150 m.); ya que no es posible ni conveniente, el dejarlo sin concreto lanzado con un espesor de al menos, 10 cm.

PAVIMENTO

El pavimento estará constituido por: superficie de rodamiento de concreto asfáltico, con espesor de 5 cm., base de concreto hidráulico rodillado con módulo de ruptura (MR de 42 kg/cm.2 de 25 cm. de espesor y sub-base granular. Este pavimento se colocará sobre un relleno de concreto pobre, como se indica en el plano estructural correspondiente.

CARPETA	5 cm.
BASE DE CONCRETO HIDRAULICO	
RODILLADO	25 cm.
SUB-BASE GRANULAR	35 cm.
RELLENO DE CONCRETO POBRE	

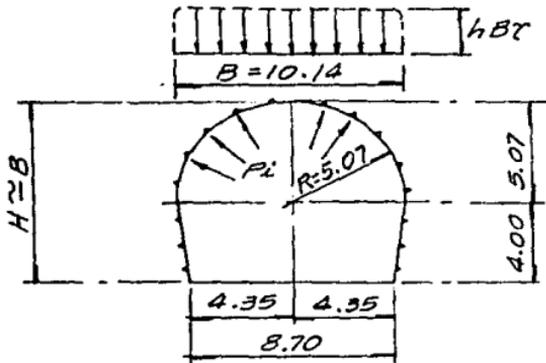
5.b) MEMORIA DE CALCULO

P A R T E I

CRITERIOS Y PRACTICAS DE CONSTRUCCION

TUNEL TIERRA COLORADA

AUTOPISTA MEXICO-ACAPULCO



SECCION DEL TUNEL

1.- PORTAL ACAPULCO. Zona de emboquillado y transición

Long. = 22 m.

a).- Estimación de la presión inducida en función del

R.Q.D. (RQD = Índice de calidad de la Roca).

20% = R.Q.D. = 25%

$\gamma = 2.6 \text{ ton./m}^3$

Calidad muy pobre

Factor de roca $n = \frac{P_i}{B\gamma}$

Para RQD = 20% 0.75 B = 10.14 m.

$$= 0.75$$

Pi = Presión inducida: Pi = NB

$$Pi = 0.75 \times 10.14 \times 2.6 = 19.8 \text{ ton./m}^2$$

$$Pi = 19.8 \text{ ton./m}^2$$

a) DIMENSIONAMIENTO DEL SOPORTE.

1.1.- Presión de ancla Pa = 60% Pi = 0.60 (19.8 =
11.9 ton./m² Pa = 11.9 ton./m².

Cap. de trabajo anclas Ø1" Acero Grado 42

Resistencia de ruptura = 38 ton.

Factor de seguridad a la falla: F.S. = 1.5

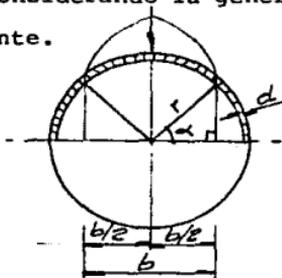
Cap. trabajo anclas. Ø 1" = 25 ton.

Area de influencia por ancla = $\frac{25 \text{ ton.}}{11.9 \text{ ton./m}^2} = 2.1 \text{ m}^2$.

= Plantilla 1.45 x 1.45 m.

Se propone una plantilla de anclaje de 1.5 m. x 1.5 m.

Dimensionamiento considerando la generación de una cuña de falla por cortante.



Se propone un espesor = 10 cm. de concreto lanzado.

2.- PORTAL MEXICO. ZONA DE EMBOQUILLADO Y TRANSICION
LONG. = 24 m.

a).- Estimación de la presión inducida en función del
R.Q.D.

30% = RQD = 100% Calidad regular.

Considerando un valor de RQD promedio = 50%; resulta
ta $\frac{77}{100} = 0.45$

Pi = 77 B

Pi = 0.45 x 10.14 x 2.6 = 11.9 ton./m²

b).- Dimensionamiento del soporte.

b.1.- Anclas \emptyset 1" grado 42; Cap. trabajo = 25 ton.

$$Pa = (60\%) Pi$$

Presión de anclaje $Pa = 0.6 \times 11.9 = 7.14 \text{ ton./m}^2$

$$\text{Area} = \frac{\text{CAP. DE TRABAJO}}{\text{PRE. DE ANCLAJE}}$$

$$\text{Area de influencia por ancla} = \frac{25}{7.14} = 3.50 \text{ m}^2$$

$$= 1.87 \text{ m, x } 1.87 \text{ m.}$$

Se propone una plantilla de anclaje de 1.80m. x 1.80m.

b.2.- Concreto lanzado.

La presión que debe tomar el concreto lanzado será

$$= \underline{0.4}$$

$$Ps = 0.4 \times 11.9 = 4.76 \text{ ton./m}^2$$

Dimensionamiento como cilindro de pared delgada
con $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$

$$t = \frac{P.r}{500}; \quad t = \frac{4.76 \times 5}{500} = 0.05 \text{ m.}$$

5 cm. de concreto lanzado.

Dimensionamiento por cortante

$$d = P_s \frac{\text{Sen } (b/2)}{100} = d = \frac{4.76 \times 0.342 \times 4.7}{100} = 0.077 \text{ m.}$$

$$= 0.077 \text{ m.} = 8 \text{ cm.}$$

Se propone un espesor de 7.5 cm. (Promedio)

3.- ZONA CENTRAL.

a).- Estimación de la presión inducida en función del R.Q.D.

50% = RQD = 75% = Calidad regular a buena. Considerando un valor promedio para el RQD = 60% = $n = 0.35$

Resulta una presión inducida $P_i = 0.35 B$

$$P_i = 0.35 \times 10.14 \times 2.6 = 9.2 \text{ ton./m}^2$$

b).- Dimensionamiento del soporte.

b.1) Anclas $\emptyset 1"$ grado 42; cap. trabajo = 25 ton.
utilizando una presión de anclaje $p_a = 60\%$ Pi
se tiene: $P_a = 0.6 \times 9.2 = 5.52 \text{ ton/m}^2$

$$\text{Area de influencia por ancla} = \frac{25}{5.52} = 4.53 \text{ m}^2$$

2.13 m. x 2.13 m. Sección.

Se propone una plantilla de 2 m. x 2.50 m.

b.2) Concreto lanzado.

La presión que debemos tomar con el concreto lanzado será $P_s = 40\% (P_i)$.

$$P_s = 0.4 \times 0.4 \times 9.2 = 3.7 \text{ ton./m}^2$$

Dimensionando como cilindro de pared delgada con $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$

$$t = p.r ; t = \frac{3.7 \times 5}{500} = 0.4 \quad m = 5 \text{ cm. de}$$

concreto lanzado.

Dimensionando por cortante.

$$t = \frac{P_s \text{ send. } (b/2)}{C_s} = t = \frac{3.7 \times 0.342 \times 4.7}{100} = 0.06 \text{ cm.}$$

Se propone 7.5 cm. de espesor (Homogeneidad con portal México).

DONDE:

R.Q.D.

P = B

Pa = 0.6 P

B

Ps = 0.40 P

r.

t - d

T = 0.25 tc.

$$= \frac{fc'}{10}$$

$$Ps = \frac{d \cdot x}{\text{SEN} \quad (b/2)}$$

- INDICE DE CALIDAD DE LA ROCA.
- FACTOR DE ROCA. EN FUNCION DEL R.Q.D.
- PRESION INDUCIDA.
- PESO ESPECIFICO DE TERRENO TON./m³
- PRESION DE ANCLAS.
- ANCHO SECCION DE TUNEL.
- PRESION QUE TOMA EL CONCRETO.
- RADIO.
- ESPESOR.
- ESFUERZO A LA COMPRESION DEL CONCRETO CILINDRO PARED DELGA DA.
- ESFUERZO CORTANTE CONCRETO LANZADO.

TUNEL TIERRA COLORADA

AUTOPISTA MEXICO - ACAPULCO

ALTERNATIVA I

PROCEDIMIENTO DE EXCAVACION EN PORTALES.

METODO DE TUNELES PILOTO LATERALES.

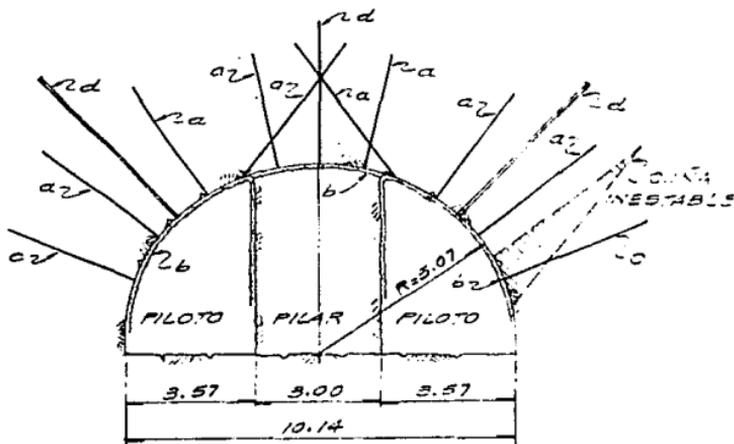


FIGURA A-1 SECCION CIRCULAR PROCEDIMIENTO DE EXCAVACION EN PORTALES.

S E C C I O N S U P E R I O R

- a) Anclas de fricción de varilla corrugada \emptyset 1" grado 42 de 4 m. ahogadas en perforaciones \emptyset 2" con mortero $f'c = 400 \text{ kg/cm}^2$.
- b) Concreto lanzado $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$ con malla 6-6-10-10.
- c) Ancla de fricción sobre pared para sujección de cuñas inestables. Pueden ser hasta de \emptyset 1 1/2"
- d) Drenes \emptyset 2 1/2 de 5 m. de longitud.

ZONA DE EMBOQUILLADO Y TRANSICION		ANCLAS Ø 1" x 4 m.	CONCRETO LANZADO.	DRENES Ø 2 1/2" 5m.	LONG.
PORTAL ACAPULCO	Pilotos Laterales	3 anclas a/c 1.5 m. Ancla tipo C=10% a	10 cm.	1 a/c 6 m. por túnel	22 m.
	Pilar	2 y 3 anclas a/c -	10 cm.	1 a/c 6 m.	
PORTAL MEXICO	Pilotos Laterales	3 anclas a/c 1.8 m. Ancla tipo C=10% a	7.5 cm.	1 a/c 6 m. por túnel	24 m.
	Pilar	2 y 3 anclas a/c - 1.8 m.	7.5 cm.	1 a/c 6 m.	

TABLA A-1.1.- REFUERZO PARA ALTERNATIVA 1.

PROCEDIMIENTOS DE EXCAVACION CON EXPLOSIVOS

- a) Túneles pilotos.- Método de post-corte perimetral (Smooth-blasting) con avance de cuele 3 m. El soporte no debe ir a más de 3 m. del frente.
- b) Pilar central.- Método de pos-corte perimetral - (Smooth-blasting) con avance de cueles, Variable, empezando con 80 cm. si se observaron buenas -- condiciones de estabilidad se ampliará primero a 16 m.

TUNEL TIERRA COLORADA

AUTOPISTA MEXICO-ACAPULCO
 PROCEDIMIENTO DE EXCAVACION
 EN PORTALES

ALTERNATIVA 2
 SECCION Y AMPLIACION
 LATERAL.

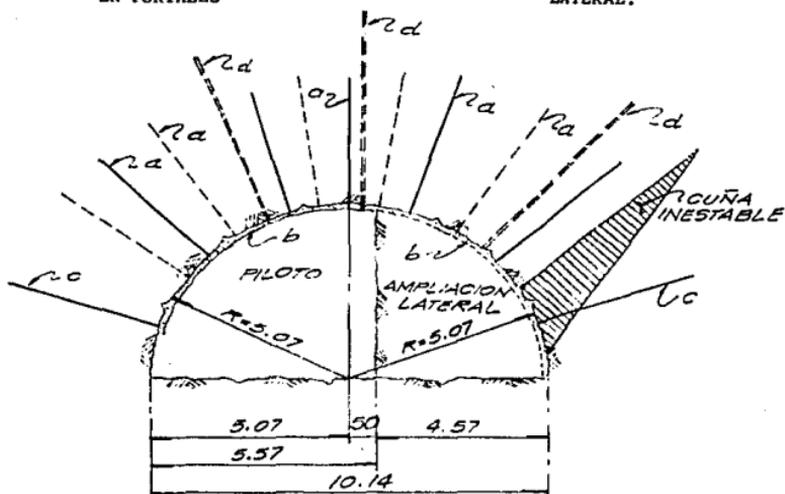


FIGURA A-2 SECCION SUPERIOR PROCEDIMIENTO DE EXCAVACION.

SECCION SUPERIOR

- a) Anclas de fricción de varilla corrugada $\phi 1"$
42, de 4m. ahogadas en mortero de $f'c = 400 \text{ kg/cm}^2$.
dentro de perforaciones $\phi 2"$.
- b) Concreto lanzado $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$, con malla
6-6-10-10.
- c) Ancla de fricción sobre pared para sujeción
de cuñas inestables. Pueden ser hasta de ϕ
1 1/2".
- d) Drenes $\phi 2 1/2"$ x 5 m. de longitud.

ZONA DE EMBO QUILLADO Y - TRANSICION		ANCLAS Ø 1"x4m.	CONCRE TO LAN ZADO	DRENES Ø 2 1/2" x 6 m.	LONG.
PORTAL	Túnel Piloto	3 anclas a/c 1.5 m. Anclas tipo C:10% a	10 cm. -	2 a/c 6 m. -	22 m.
	ACAPULCO	Amplia- ción La teral	2 Anclas a/c 1.5 m.	1 a/c 6 m.	
PORTAL	Túnel Piloto	3 anclas a/c 1.8 m. ancla tipo C:10% a	7.5 cm. -	2 a/c 6 m. -	24 m.
		Amplia ción La teral	2 anclas a/c 1.8 m.	1 a/c 6 m.	

TABLA A - 21 REFUERZO PARA ALTERNATIVA DOS

PROCEDIMIENTO DE EXCAVACION CON EXPLOSIVOS.

a) Túnel piloto: Método de post-corte perimetral --
(Smooth-blasting) con avance de --
cuele de 3 m.
El soporte no deberá ir más de 6 m.
de frente.

(Dependiendo de las condiciones de estabilidad que
se presenten).

b) Ampliación Método de post-corte perimetral --
Lateral: (Smooth-blasting) con avance de --
cuele de 3 m.

El soporte no deberá ir a más de -
6 m. del frente.

(Dependiendo de las condiciones de estabilidad --
que se presenten).

TUNEL TIERRA COLORADA

AUTOPISTA MEXICO-ACAPULCO
 PROCEDIMIENTO DE EXCAVACION
 ZONA CENTRAL.

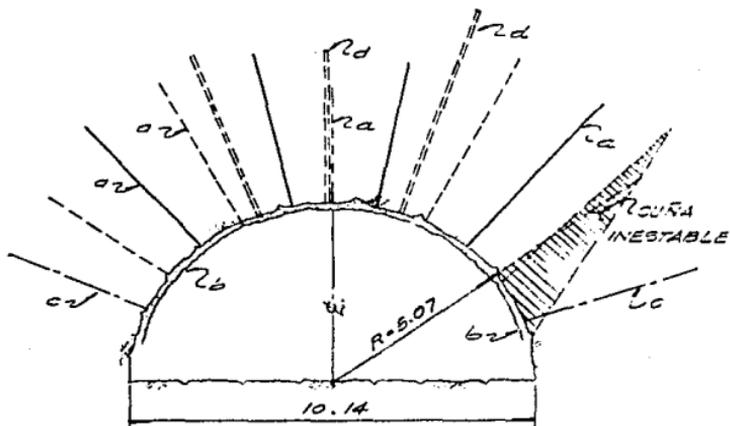


FIGURA 3
 DE EXCAVACION.

SECCION SUPERIOR

PROCEDIMIENTO

	ANCLAS ϕ 1" x 4 m	CONCRETO LANZADO	DRENES ϕ 2½" x 5m	LONGITUD
ZONA CENTRAL	4 y 5 anclas a/c 2.5 m, (Sistemáticas) Ancla tipo C= 10% de a.	7.5cm.	2 y 3 a/c 6 m.	

TABLA 3.1

SISTEMA DE SOPORTES

EN ZONA CENTRAL

- a.- Anclas de fricción de varilla corrugada ϕ 1" grado 42, de 4 m ahogadas en mortero f'c = 400 Kg/cm² -- dentro de perforaciones ϕ 2".

- b.- Concreto lanzado f'c = 200 Kg/cm², con malla 6-6-10-10.

- c.- Ancla de fricción sobre pared para sujeción de cuñ--
ñas inestables, que pueden ser hasta de ϕ 1 1/2".

- d.- Drenes ϕ 2 1/2" de 6 m de longitud.

PROCEDIMIENTO DE EXCAVACION CON EXPLOSIVOS

Se excavará la media sección superior completa con el método de post-corte perimetral (Smooth-blasting) con avance de cueles de 3 m.

El soporte de anclas y concreto lanzado no deberá ir a una distancia del frente mayor de 6 m.

TUNEL TIERRA COLORADA

AUTOPISTA MEXICO-ACAPULCO
 PROCEDIMIENTO DE EXCAVACION
 EN BANQUEO

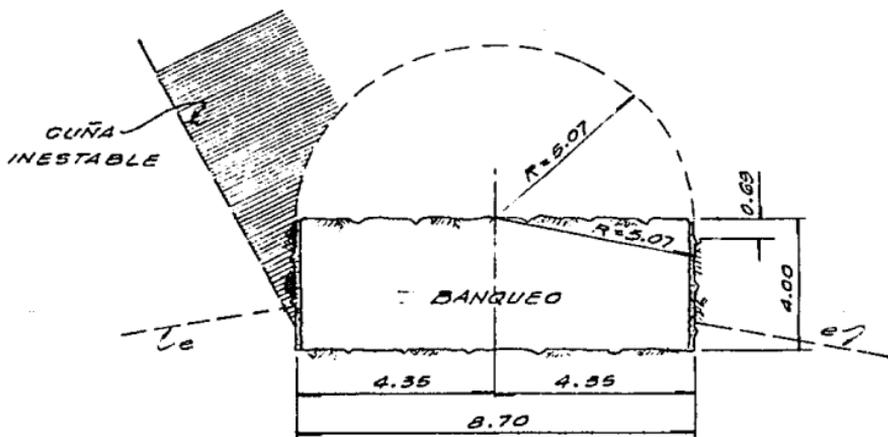


FIGURA 4 SECCION TRANSVERSAL

EN EXCAVACION EN BANQUEO.

PROCEDIMIENTO.

SOPORTE: Es probable se requiera algún soporte lateral para sujeción de cuñas inestables, mediante anclas de fricción \varnothing 1" x 6 m.

Para fines de presupuesto, considerar 8 anclas a/c 50 m.

- b). Concreto lanzado 7.5 cm de espesor con malla 6-6-10-10, sólo en la zona de emboquillado y transición.

PROCEDIMIENTO DE EXCAVACION CON EXPLOSIVOS.

Se excavará la media sección inferior completa con el método de post-corte perimetral (Smooth-blasting) con -- avance de cueles de 3 m. en sentido horizontal.

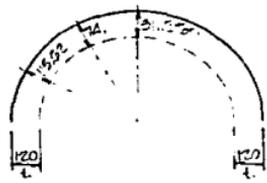
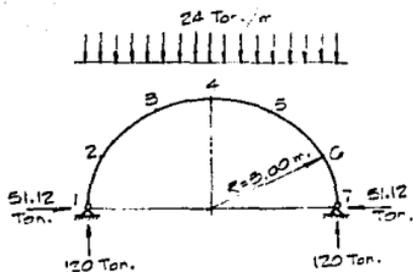
P A R T E I I

DISEÑO DE MARCOS DE CONCRETO

SEPARACION ENTRE MARCOS
 $s = 2.00 \text{ m.}$

CARGA UNIFORME $W = 12 \text{ Ton./m}^2$

131



NORMAL

$$M_2 = 120 \times 1.34 \times 5 - 51.12 \times 5 \times 5 - 24 \times \frac{1.34 \times 5^2}{2}$$

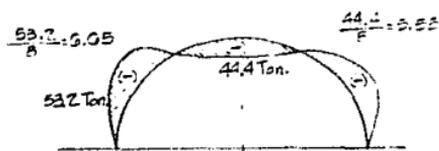
$$= 80.4 - 127.8 - 93868 = -55.1868$$

$$M_3 = 120 \times 5 \times 5 - 51.12 \times 8.66 \times 5 - 24 \times \frac{5 \times 5^2}{2}$$

$$= 300 - 221.3496 - 75.00 = +3.65$$

$$M_4 = 120 \times 5 - 51.12 \times 5 - 24 \times \frac{5^2}{2}$$

$$= 600 - 255.6 - 300 = +44.4 \text{ Ton.}$$



MOMENTO

PUNTO 2

$$120 \cos 30^\circ + 51.12 \operatorname{sen} 30^\circ - 24 \times 1.34 \times 5 \cos 30^\circ$$

$$= 103.92 + 25.56 - 13.93 = 115.55$$

PUNTO 3

$$120 \operatorname{sen} 30^\circ + 51.12 \cos 30^\circ - 24 \times 5 \times 5 \operatorname{sen} 30^\circ$$

$$= 60 - 44.27 - 30 = -14.27$$

PARA EL PUNTO Z

132

$$N = 110 \text{ Ton.}$$

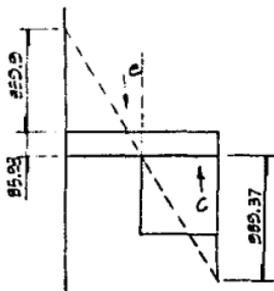
$$M = -53 \text{ Ton. - m}$$

$$e = \frac{M}{N} = \frac{53}{110} = 0.486 \text{ cm}$$

$$\frac{P}{A} = \frac{110000}{1530} = 85.93 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\frac{Mx}{Ix} = \frac{5300000}{80365} \times 13.33 = 818.03$$

$$= \frac{5300000}{80365} \times 16.67 = 1022$$

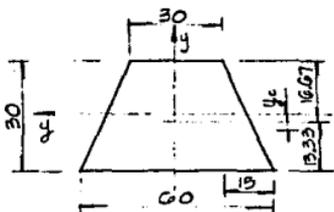


UTILIZANDO SOLO EL M

$$d = \sqrt{\frac{M}{R_b}} = \sqrt{\frac{2300000}{15 \times 45}}$$

$$d = 88.61 \text{ cm} = 92 \text{ cm}$$

$$Q_s = \frac{5300000}{2000 \times 85 \times 25} = 124 \text{ cm}^2/s = 24 f$$



$$y = \frac{30^2 \times 15 + 2 \times \frac{15 \times 30 \times 10}{2}}{30^2 + \frac{15 \times 30}{2} \times 2} = 13.33 \text{ cm}$$

$$I_c = \frac{30^4}{12} + 900 \times 1.66^2 = 70.118 \text{ cm}^4$$

$$I_c = \frac{15 \times 30^3}{30} - \frac{15 \times 30 \times 2 \times 1.33^2}{2} = 12046$$

$$82.164 \text{ cm}^4$$

$$+ 180 \times (16.67 - 5) = 2101$$

$$+ 360 \times (13.33 - 5) = 2989$$

$$2n = 18$$

$$87263$$

$$2 \times 5 \text{ cm}^2 \times 18 = 180$$

$$4 \times 5 \text{ cm}^2 \times 18 = 360$$

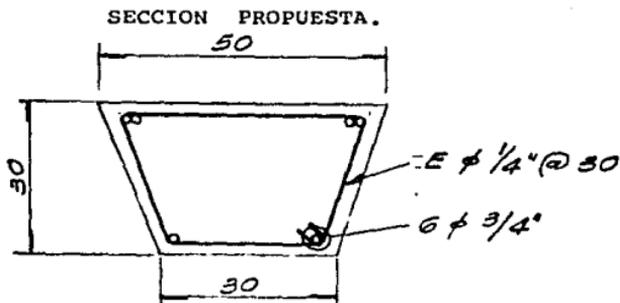
$$\text{PARA } M = 6 \text{ Ton-m } d = \sqrt{\frac{600000}{15 \times 45}}$$

$$= 29.81 \text{ cm} + 5 = 34 \text{ cm.}$$

PARA EL PUNTO 1.

$$N = 120 \text{ Ton.}$$

$$M = 0 \text{ Ton. m.}$$



Revisión en compresión como Columna Corta.

$$P = 0.225 f'c Ag + 0.8 asfs.$$

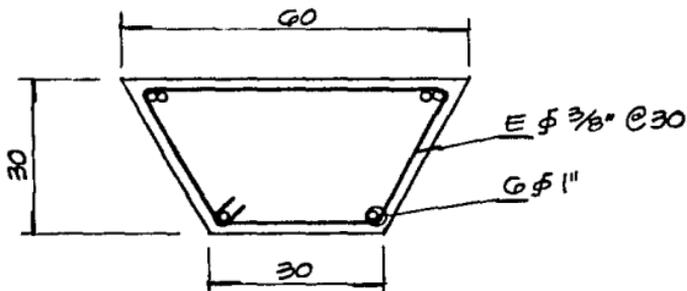
$$P = 0.225 \times 200 \times 1200 + 0.8 \times 6 \times 2.84 \times 2000$$

$$P = 54\ 000 + 27264 = 81264 \text{ 120 000} = \text{NO PASA}$$

Utilizando 6 ϕ 7/8".

$$P = 0.225 \times 200 \times 1200 + 0.8 \times 6 \times 3.87 \times 2000$$

$$= 54\ 000 + 37152 = 91152 \text{ kg. 120 000}$$

Probando otra sección

$$P = 0.225 \times 200 \times 1350 + 0.8 \times 6 \times 5.04 \times 2000$$

$$P = 60750 + 48384 = 109,134 = 120000$$

Tomando en cuenta la colaboración del terreno en forma aproximada, los momentos se reducen en 8 veces. (La fuerza normal debe aumentar un poco).

Para $N = 120$ Ton.

$$M = 6 \text{ Ton.-m.}$$

$$= \frac{6}{120} = 0.005 \text{ m.} = \underline{5 \text{ cm.}}$$

$$e = 120$$

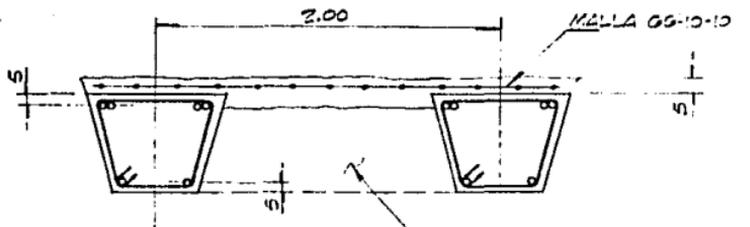
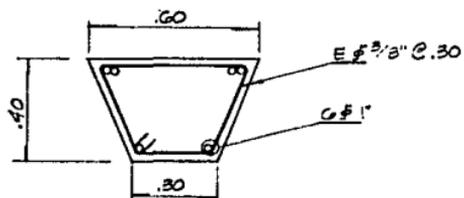
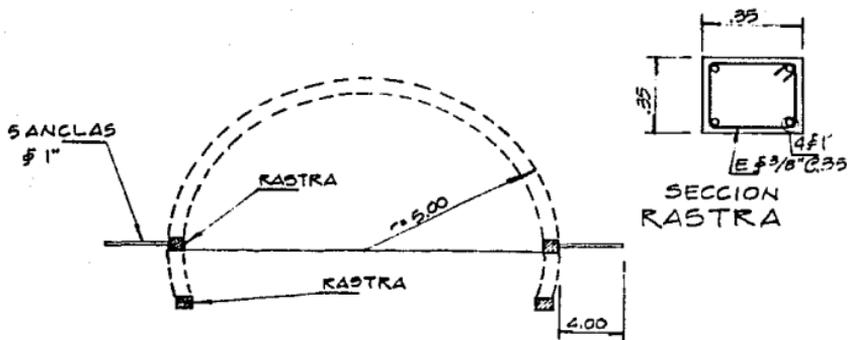
$$= \frac{P}{A} + \frac{Mx}{Ix} y$$

$$\frac{120\ 000}{13\ 50} + \frac{600\ 000}{86\ 365} y$$

$$= 88.9 - 92.604 = -3.704$$

$$= 88.9 + 115.786 = 104.686$$

200 = $f'c$ Concreto Lanzado PASA EN COMPRESION,
NO REQUIERE REFUERZO ADIC. POR FLEXION.



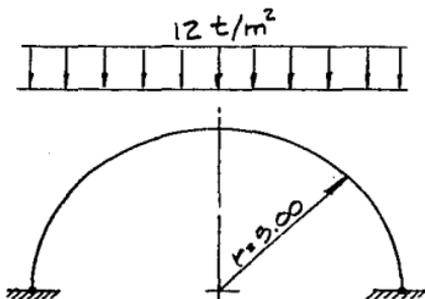
RELLENAR CON CONCRETO
CICLOPEO EN 16 CAPAS
CON MALLAS COMO REVES-
TIMIENTO FINAL.

DONDE:

MR:	-	MOMENTO RESISTENTE.
N:	-	FUERZA NORMAL.
$e = \frac{M}{N}$	-	EXCENTRICIDAD.
P.	-	CARGA VERTICAL.
A.	-	A R E A .
Mx	-	MOMENTO EN LA DIRECCION X.
Ix	-	INERCIA EN LA DIRECCION X.
d =	-	P E R A L T E .
as	-	AREA DE ACERO.
Ic.	-	MOMENTO DE INERCIA CENTROIDAL.
fc =	-	FUERZA DE COMPRESION DEL CONCRETO.
Ag =	-	AREA NETO CONCRETO.
As	-	AREA DE ACERO.
fb-	-	ESFUERZO DE FLUENCIA DEL ACERO.
T	-	ESFUERZO MAXIMO O MINIMO.

ARCO DE CONCRETO

Diseño de un arco de concreto que interacciona con el suelo.



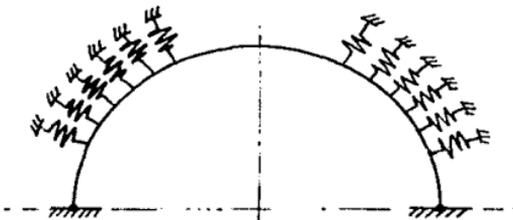
Distancia entre arcos
2 m.

E roca = 50 000 Kg/m²

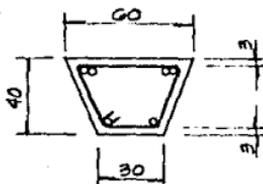
V = 0.28

Se analiza el modelo con un programa que considera el empuje pasivo de la roca.

Modelo teórico



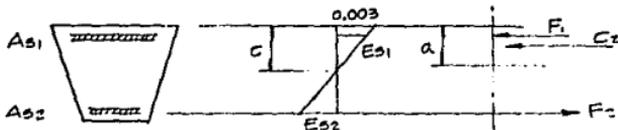
Se aplica la carga de roca al arco que se apoya sobre resortes que trabajan sólo a compresión.



139

Excentricidad:

$$e = \frac{Mu}{Pu} + 0.05 b = \frac{7.48 \times 10^5}{140 \times 10^3} + 0.05 (30) = 6.8 \text{ cm.}$$



Suponemos $C=30 \text{ cm}$ $A_{s1} = 9.66 \text{ cm}^2$; $A_{s2} = 5.7 \text{ cm}^2$

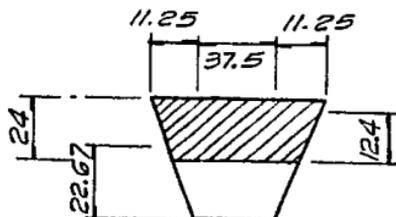
$$E_{s1} = \frac{0.003(27)}{30} = 0.0027 \quad E_y = 0.002 \quad f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E_{s2} = \frac{0.003(7)}{30} = 0.0007 \quad E_y = f_{s2} = 1470 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{Así: } F_1 = A_{s1} f_y = 9.66 (4200) = 40572 \text{ Kg}$$

$$F_2 = A_{s2} f_{s2} = 5.7 (1470) = 8379 \text{ Kg}$$

Para el concreto: $a = 0.8C = 24 \text{ cm.}$



$$C_c = f'_c A_c = 136 ((37.5) (24) + 24 (1.25))$$

$$C_c = 159\,120 \text{ kg.}$$

Zona de compresión

$$\text{Así } P = f_s_1 + C_c - F_s_2 = \underline{191\,313 \text{ kg.}}$$

$$M_{\text{centroide}} = 40572 (14.33) + 8379(19.67) + 159\,120(6.23) + 1737530 \text{ kg.-cm.}$$

$$\text{Excentricidad: } e = \frac{M}{P} = \frac{1737530}{191313} = 9.1 \text{ cm. } 6.8 \text{ cm.}$$

Se acepta

Así:

$$M_r = F_r M = 12.16 \text{ Ton. m.} \quad M_u = 7.48 \text{ Ton. m.}$$

$$P_r = F_r P = 133.9 \text{ Ton.} \quad P_u = 140 \text{ Ton.}$$

Revisión por flexión:

$$\text{Momento positivo: } M_u = 7.48 \text{ Ton. m. (se supone } b = 30, d = 37), F_r = 0.9$$

$$\frac{M}{FRbd^2} = \frac{7.48 \times 10^5}{0.9(30)(37)^2} = 20.2 \quad p = 0.0059$$

$$As = 6.55 \text{ cm}^2$$

Del diseño a flexocompresión tenemos 9.66 cm² pasa!

Momento negativo MU = 1.4 (3.02 Ton.m.) = 4.23 Ton. m.

$$\frac{M}{FRbd^2} = \frac{4.23 \times 10^5}{0.9(30)(37)^2} = 11.4 \quad p = 0.0032$$

$$As \text{ nec.} = 3.55 \text{ cm}^2$$

Del diseño a flexocompresión tenemos 5.7 cm², pasa!

Revisión por cortante Vmax = 4.73 Ton. Vu = 1.4 (4.73)
= 6.62 Ton.

$$Fr = 0.8$$

Vu 2.5 Frbd f'c = 2.5(0.8) (30) (37) 160 = 28080 kg.

Vcr = 0.5 Frbd f'c = 5616 kg.

Si estribos vs # 3.

$$S = \frac{Fr Av f_{yd}}{Vu - Vcr} = \frac{0.8(1.42) (4200) (37)}{6620 - 5616} = 175.8 \text{ cm.}$$

$$S_{max} = \frac{F_r A_v f_y}{3.5b} = \frac{0.8 (1.42)(4200)}{3.5 (30)} = 45.4 \text{ cm}$$

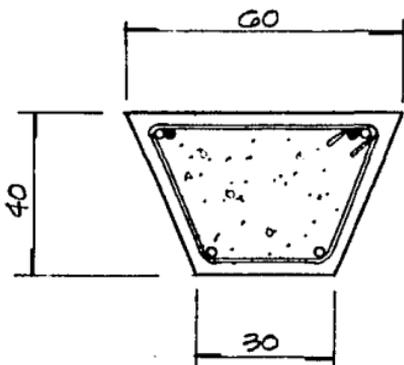
$$S_{max} = 0.5d = 18.5 \text{ cm}$$

Si estribos # 2

$$S = \frac{0.8 (0.64)(4200)(37)}{6620-5616} = 79 \text{ cm}$$

se pueden colocar estribos # 2 (a 20 cm).

Finalmente:



$$0.4 v_s = 6$$

$$0.2 v_s = 5$$

$$\text{Est. } v_s = 3 \text{ a/c } 20 \text{ cm.}$$

DONDE:

- E.** - MODULO DE ELASTICIDAD LA
ROCA.
- COEFICIENTE DE FRICCION.
- MIN.** - PORCENTAJE DE MINIMO DE ACERO.
- S** - ESFUERZOS DE COMPRESION QUE
TOMA EL CONCRETO.
- Cc** - CAREA O COMPRESION.
- Vu** - CORTANTE ULTIMO.
- V** - CORTANTE RESISTENTE QUE TOMA
EL CONCRETO.
- S** - SEPARACION.

P A R T E I I I

5 c) A N A L I S I S D E E S T A B I L I D A D D E T A L U D E S

ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

PORTAL CHILPANCINGU

DOVELA	PESO	ANGULO θ	N	T
1	44.62	73	13.04	42.67
2	75.6	63	34.32	67.36
3	81.9	56	45.8	67.9
4	86.1	51	54.18	66.92
5	86.1	44	61.93	59.81
6	81.9	40	62.74	52.64
7	73.5	35	60.21	42.16
8	61.95	31	53.10	31.91
9	49.35	26	44.36	21.63
10	35.7	22	33.10	13.37

= 462.78 466.37
= 462.8

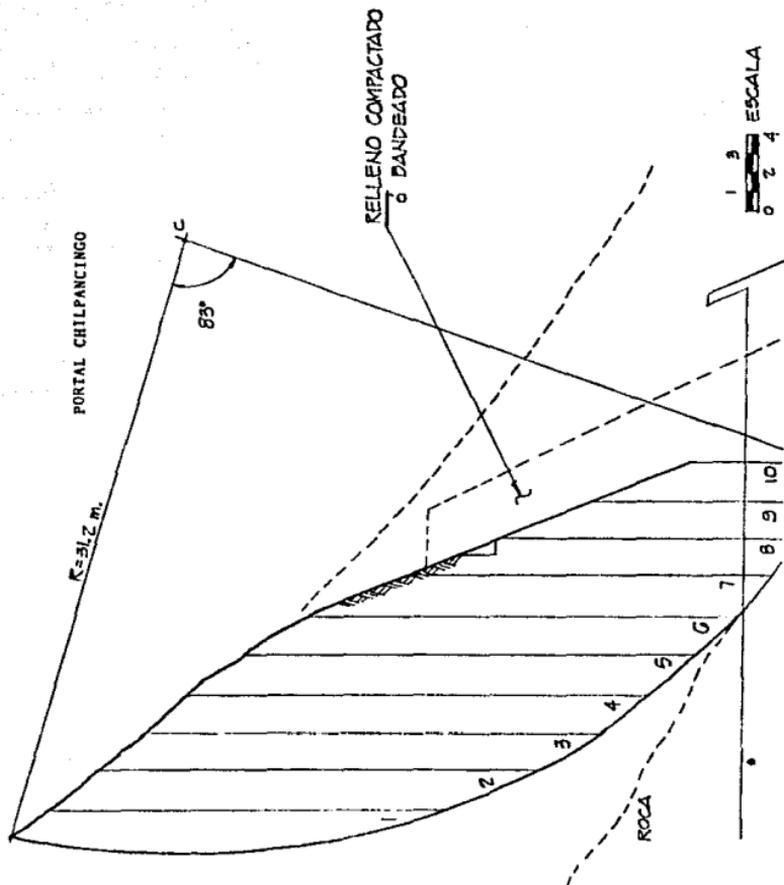
Factor de Seguridad

$$FS = \frac{CL + N \text{ TANG. } \phi}{T}$$

SI $\phi = 25^\circ$
C = 8 Ton/m²
FS = 1.24

SI $\phi = 25^\circ$
C = 10 Ton/m²
FS = 1.43

Se considera que el materia
puede tener $\phi = 25^\circ$ y
C = 10 Ton/m².



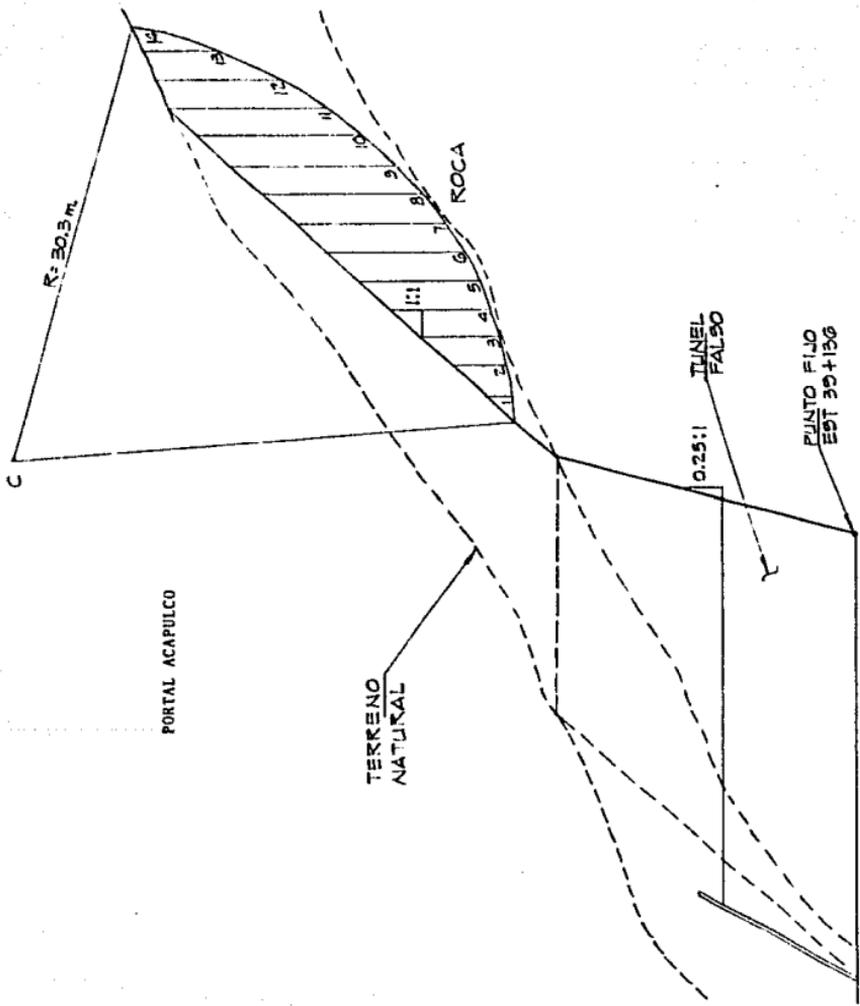
ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

PORTAL ACAPULCO

DOVELA	PESO	ANGULO θ	N	T
1	2.55	5.5	2.54	0.24
2	9.72	9.5	9.59	1.60
3	15.48	13.0	15.08	3.48
4	20.52	17.0	19.62	6.00
5	25.74	21.0	24.03	9.22
6	30.06	25.0	27.24	12.70
7	32.94	29.5	28.67	16.22
8	34.64	34.0	29.55	19.93
9	37.98	38.5	29.72	23.64
10	38.52	43.5	27.74	26.52
11	36.54	49.0	23.97	27.58
12	30.96	55.0	17.76	25.36
13	21.24	63.0	9.64	18.92
14	3.37	71.5	1.07	3.20
			266.42	194.61

$$F. S. = \frac{cL + N \tan \phi}{T}$$

F.S.	ϕ
1.3	4
1.5	2
2.0	30



**5 d).- INFORME DE ESTUDIOS GEOLOGICOS Y GEOTECNICOS
DEL TUNEL "TIERRA COLORADA"**

C O N T E N I D O

- 1.- INFORME DE ESTUDIOS GEOLOGICOS.**
- 2.- INTEGRACION DE RESULTADOS DE SONDEOS
Y OTROS ESTUDIOS DE CAMPO.**
- 3.- CARACTERISTICAS GEOTECNICAS.**

FIGURAS .

ANEXOS .

TUNEL "TIERRA COLORADA"

INFORME DE ESTUDIOS GEOLOGICOS

GENERALIDADES

LOCALIZACION

El sitio donde se ubica el trazo del túnel Tierra Colorada, está localizado en la porción Centro-Sur del Estado de Guerrero al Suroeste de la población del mismo -- nombre. La vía de acceso al sitio es la carretera federal 55 México - Acapulco que pasa precisamente por Tierra Colorada. De esta población sale una carretera pavimentada hacia el sur, llegando a la ranchería "Venta Vieja"; a partir de ahí se caminan aproximadamente 800 m al oeste para llegar al trazo del túnel. A un costado de "Venta Vieja", sobre el río Papagayo, se localiza la presa que lleva el nombre de "La Venta", la cual fué construida por la C.F.E., este camino se bifurca con la dirección sureste rumbo al poblado de La Palma.

CLIMA-

De acuerdo con la clasificación de climas, según Koopen tomada del Atlas Nacional del Medio Físico de la S.P.P. (1981), el clima predominante de la zona en estudio - - corresponde al tipo cálido subhúmedo, con lluvias en ve rano AW2(W) y AW(W). La temperatura media anual es 24 a 26 grados centígrados. La precipitación total - - anual es de 1200 a 1500 mm y en algunos lugares de abu ndante vegetación y mayor altura es de 1500 a 2000 mm.

VEGETACION Y FAUNA .

La vegetación característica está constituida por aguacate, cedro blanco, encino, guamuchil, madroño, maguey, nogal, ocote, palo morado y pino. La fauna más sobresa liente está representada por armadillo, conejo, iguana, tigrillo, venado y zorrillo.

GEOLOGIA GENERAL .

FISIOGRAFIA .

Fisiográficamente la zona en estudio se ubica en la sub provincia vertiente del sur, dentro de la provincia - -

Sierra Madre del Sur de acuerdo a Erwin Raisz, 1959. La corriente superficial de mayor importancia dentro de la zona, es el río Papagayo.

ESTRATIGRAFIA.

Las rocas que se encuentran presentes en la zona de estudio son de origen metamórfico y sedimentario principalmente, a continuación se describen de las más antiguas a las más recientes.

COMPLEJO XOLAPA.

Se encuentra constituido por oneis, esquisto y cuarcita de alto grado de metamorfismo, en facie de anfibolita, esta subyaciendo a la formación Chapolapa en forma discordante, su edad corresponde al Paleozoico Inferior (Cámbrico-Devónico 370-350 m.a.).

FORMACION CHAPOLAPA.

Esta unidad se encuentra constituida por una secuencia de rocas metamórficas consistente de 800 m. de metatolita.

bas, metaareniscas, filitas y metaconglomerados que -- evidencian un metamorfismo regional de bajo grado, -- aflora al poniente, oriente y alrededores de la ranche ría Venta Vieja (ver figura 2) sobreyace discordante-- mente al complejo Xolapa, y a al complejo Acatlán (este último fuera de area) su edad corresponde, según de Oserna, al Mesozoico Inferios (Triásico Tardio-Jurásico Temprano 225-187 m. a.).

FORMACION MORELOS.

Esta unidad se encuentra constituida por caliza y dolomita como miembro carbonatado superior y otro inferior de anhidrita, aflora a al N y E del poblado Venta Vieja (ver figura 2) y se encuentra sobreyaciendõ de manera discordante a la formación Chapolapa y al complejo Xolapa, el contacto superior frecuentemente es con el grupo Balsas en forma discordante, su edad se asigna al Cretásico Inferior-Medio (Albiano-Cene-Andiano 113-91 m. a.).

GRUPO BALSAS .

Se encuentra constituido por yeso, caliza, lacustre, -- conglomerados calcareos y vulcánicos, arenisca tobacea limolita tobacea, arcilla, brecha, toba volcánica y algunos derrames lávicos interestratificados. Aflora al NW del poblado Venta Vieja (ver figura 2) y sobreyace discordantemente a la formación Morelos. Su edad corresponde al Cenozoico Inferior (Eoceno-Oligoceno 57.8 - 23.7 m. a.).

DEPOSITOS ALUVIALES

Finalmente, cubriendo a las unidades anteriores y rellenando las partes más bajas topográficamente se encuentran materiales aluviales constituidos por arena y limo principalmente y en ocasiones gravas y arcillas de menor subordinada. La edad de estos depósitos corresponde al reciente (Holoceno 0.01-0.0 m.a.).

GEOHIDROLOGIA

Desde el punto de vista geohidrológico se considerarán las rocas de la formación Chapolapa, así como las del complejo Xolapa como impermeables por las característi-

cas inherentes a su origen por el tipo de fracturamiento que presentan.

Como es sabido, el tipo de rocas que constituyen las unidades resultan ser impermeables, a menos que tengan cierto fracturamiento que les de características de premeabilidad secundaria (o por fracturamiento). En el caso de estas unidades, presentan fracturamiento, pero este está solamente marcado, es decir, no tienen aberturas por las cuales pudiera circular el agua. Además no existen manifestaciones de agua subterránea, sino hasta una elevación menor (240-250 m.s.n.m.) por lo cual se considera que en la zona de trazo no existirán problemas de infiltraciones de agua subterránea.

Con los datos estructurales obtenidos del macizo rocoso se realizó el diagrama de frecuencia de polos obtenidos así dos familias de discontinuidades siendo la segunda de poca persistencia.

También se elaboró su proyección estereográfica correspondiente, en promedio el rumbo de la familia No. 1 es de NE 65, SW - 55, NW y la familia No. 2 con rumbo -- NW 25 SE - 80 SW. En la figura 6 se observa más obje

tivamente el comportamiento de las discontinuidades en el túnel.

Por los echados de la familia NO. 1 puede ocurrir inestabilidad en el macizo rocoso, sin embargo como el rumbo de las discontinuidades atraviesa oblicuamente el -- trazo túnel, esta inestabilidad se reduce. Para la familia NO. 2 los valores de los echados son muy elevados, lo cual también origina inestabilidad del macizo rocoso como el rumbo también es oblicuo al trazo del túnel y - esta familia de discontinuidades es secundaria, no es - de gran consideración. Pero se pueden presentar deformaciones en el macizo rocoso, un tiempo después de comenzar las obras del túnel por la liberación de las presiones.

El nivel freático en el área de estudio se encuentra a una elevación promedio de 240 m.s.n.m. lo cual no afecta la construcción del túnel, la época la lluvias se - presenta en los meses de junio a septiembre con precipitaciones que varían de 1500 a 2000 mm. Hidráulica-- mente el macizo rocoso es impermeable, más no se debe descartar la presencia de agua vadosa principalmente en

portales, debido a los espesores de material alterado - (suelo) y roca fracturada, o durante la construcción del túnel en época de lluvias.

TUNEL "TIERRA COLORADA"

INTEGRACION DE RESULTADOS DE SONDEOS Y OTROS ESTUDIOS
DE CAMPO.

Con la petrografía de las muestras de superficie se determinó la presencia de la Formación Chapolapa construída por meta-andesitas y meta-tobas del Triásico Inferior.

De acuerdo con los resultados del levantamiento geosísmico se apreciaron espesores de 9.0 m aproximadamente - (velocidades de 2 a 5 m/seg.) de material suelto equivalente a un paquete de suelos (material cortado por el sondeo No. 3). Inmediatamente abajo se determinó una capa de 15 m. de espesor aproximadamente que corresponde a roca de sana a fracturada (velocidades de 860 a 1000 m/seg.): finalmente se aprecia un comportamiento de roca compacta poco fracturada (velocidades de 2300 a - 4300 m/seg.).

El sondeo No. 3 ubicado en el cadenamiento 39+347 a una elevación aproximada de 405.0 m. llegó a una profundidad total de 22.2 m., en general, el sondeo se perforó en -

material suelto residual, suave constituido principalmente por limos, fragmentos de meta-andesitas erosionadas, algunos cantos rodados de cuarzo y en ocasiones arcilla. Originada probablemente por la alteración de los felões patos debido a la lixiviación de la metaandesita. En la descripción del sondeo, se observa que la recuperación es muy baja, obteniendo valores de 5 a 15% de ésta, mientras que el R.Q.D. es de cero. Por lo que el paquete de material intemperizado es de muy mala calidad.

TUNEL "TIERRA COLORADA"

CARACTERISTICAS GEOTECNICAS

Tomando como base los resultados obtenidos en los trabajos de campo y con el apoyo de los ensayos de laboratorio, se procedió a determinar las características geotécnicas que servirán para el diseño y construcción del túnel "Tierra Colorada".

Como parte de los trabajos de campo se llevaron a cabo tres sondeos de exploración con broca de diamante, localizados sobre el eje del túnel, y cercanos a la ubicación de los portales; estos sondeos alcanzaron profundidades desde 22 hasta 42 m.

Los resultados arrojados por estos sondeos determinaron la presencia de un depósito de suelos residuales con un espesor de 7 a 24 m., siendo en la zona del portal Chilpancingo donde se encuentran los espesores mayores. Se hicieron algunos pozos superficiales que permiten clasificarlos como arenas arcillosas medianamente compactas a compactas de color café rojizo.

Subyaciendo a los depósitos anteriores se detectó la -- existencia de la roca perteneciente a la formación Chapalapa, la cual se encuentra constituida por meta-andesitas y meta-tobas de color gris verdoso con fracturas lisas y onduladas rellenas de sílice.

Los porcentajes de recuperación de muestras en los sondeos 1 y 3 así como los índices de calidad de roca fueron variables desde bajos hasta regulares: los valores del R.Q.D. varían de 0 a 50% teniendo un promedio entre 25 y 30%.

En algunas muestras recuperadas en los sondeos con broca de diamante se llevaron a cabo ensayos de resistencia a la compresión no confinada,; obteniéndose resistencias que variaron entre 204 y 574 kg/cm², siendo en promedio de 373.7 kg/cm²; además se obtuvo un peso volumétrico de 2.667 ton/m².

Con objeto de tener una idea aproximada del comportamiento del macizo rocoso, se determinó la calidad del mismo empleando para ello el criterio propuesto por -- Bieniawski, contemplando los siguientes aspectos:

- Los datos disponibles para proceder con el método, corresponden básicamente a las características de la roca cercana a los portales.
- Muy probablemente los valores que arroje esta clasificación serían mayores si se contara con información apropiada de la roca que se encuentra en el tramo central del túnel.

Criterio de Bieniawski.

Parámetro de Clasificación.	Valor o descripción	Valua- ción.
1.- Resistencia de la roca.	373.71 kg/cm ²	4
2.- R.Q.D.	30%	8
3.- Especiamiento de las fisuras.	15 cm.	10
4.- Estado de las fisuras.	Superficie plana separación 5 cm. relleno areno <u>li</u> moso.	6
5.- Agua subterránea.	Baja presión de agua.	<u>4</u>

S U M A

32

Corrección debido al efecto del

rumbo y echado de las fisuras	Favorable	<u>- 2</u>
	TOTAL	30

De acuerdo con este valor se tiene que la roca se clasifica como mala correspondiente al Tipo IV. Con estos resultados se puede determinar un tiempo de un día para un avance de 2 m sin ademe. Por otra parte se puede -- asignar un valor de 30 a 35 grados del ángulo de fric-- ción y de 10 a 15 kg/cm² de cohesión.

Con objeto de comparar los resultados anteriores, tam-- bién se aplicó el criterio de Barton desarrollado en el Norwegian Geotechnical Institute, definido por la si-- guiente expresión:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

Donde:

RQD, es el índice de calidad de la roca.

J_n, es el número de familias de discontinuidades

J_r, es el número de rugosidad de las fisuras.

J_a, es el número de alteración de las fisuras.

J_w , es el factor de reducción por agua en las fisuras.

SRF, es el factor de reducción por esfuerzos.

De acuerdo con la información disponible se tiene:

CONCEPTO	DESCRIPCION	VALOR
1. Calidad de la roca	mala	$RQD=30\%$
2. Sistema de discontinuidades	dos familias	$J_n=4$
3. Rugosidad de las fisuras.	Lisas y planas	$J_r=1$
4. Alteración y relleno de juntas	Poca abertura 5 cm con relleno areno limoso	$J_a=3$
5. Condición de flujo de agua.	Flujo o presión ligera.	$J_w=0.66$
6. Condición de esfuerzo.	Zonas de corte con roca suelta.	$SRF=7.5$

De aquí que el índice de calidad del macizo rocoso (Q) sea igual a:

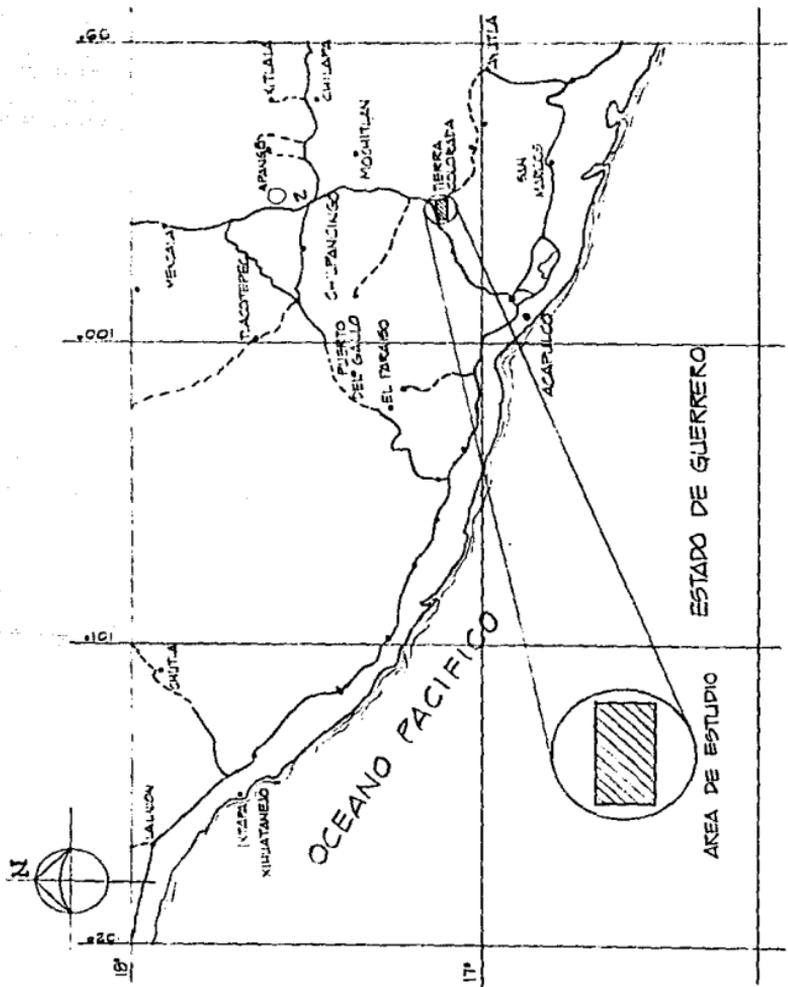
$$Q = 0.22$$

Para este caso consideraremos el ancho o diámetro de la excavación igual a 10 m; la relación de soporte de la excavación (ESR) será igual a 1. La dimensión equivalente (D_e) que queda definida como la relación entre el diámetro o ancho de la excavación, entre la relación de soporte de la excavación (ESR), tiene como valor 10.

Considerando estos resultados se puede concluir que la calidad del macizo rocoso en la zona de transición entre los portales y el tramo central del túnel es mala; la categoría de soporte que le corresponde es la número 31, para la cual se recomienda que el soporte conste de anclaje sistemático con la tensión (inyección después del tensado) a cada 1.5 m con concreto lanzado en espesores de 10 a 40 cm con malla de refuerzo.

Cabe reiterar que los valores obtenidos anteriormente corresponden a las zonas cercanas a los portales, que de acuerdo con los estudios geofísicos realizados corresponden a roca fracturada por lo que en la zona del tramo central del túnel, que de acuerdo con lo reportado por los mismos estudios geofísicos corresponde a roca compacta a poco fracturada, se pueden esperar valo--

res más altos del RQD como de los demás parámetros, lo cual influirá en el avance de la excavación como también en el tipo de soporte a emplear.



ESTADO DE GUERRERO

AREA DE ESTUDIO

PLANO DE LOCALIZACION

C A P I T U L O S E I S

- PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.

1) METODOS CONSTRUCTIVOS.

a.-) METODO NORTEAMERICANO.

b.-) SISTEMA AUSTRIACO.

c.-) METODO BELGA.

d.-) METODO INGLES.

e.-) METODO ALEMAN.

f.-) METODO ITALIANO.

2) EXCAVACION DE TUNELES POR EL METODO DE ESCUDO AL AIRE LIBRE.

a.-) AVANCE DEL ESCUDO.

3) REVESTIMIENTO DE LOS TUNELES.

a.-) REVESTIMIENTO PARA TUNELES EN ROCA Y EN TERRENO
 FIRME.

b.-) DISEÑO DEL REVESTIMIENTO DE LOS TUNELES.

4) RELLENO.

5) TUNELES EXCAVADOS CON AIRE COMPRIMIDO.

a.-) PRESION DEL AIRE.

b.-) PREVENION DE ESCAPES SUBITOS.

c.-) MAMPARAS.

d.-) ESCLUSAS DE AIRE.

e.-) SEGURIDAD Y SANIDAD.

6) EXCAVACION DE TUNELES SIN ESCUDO.

7) EXCAVACION A MAQUINA DE LOS TUNELES.

a.-) MAQUINAS PERFORADAS EN ROCA.

b.-) MAQUINAS PERFORADAS EN TERRENO BLANDO.

c.-) MAQUINAS PARA TERRENO MOVEDIZO.

8) EXCAVACION DE TUNELES EN SUELO BLANDO.

a.-) OBJETIVOS.

b.-) MANEJO DE LOS DESECHOS.

c.-) PATRON DE LOS ESFUERZOS EN EL TERRENO.

9) EXCAVACION EN TERRENO BLANDO.

a.-) SUELOS GRANULARES.

b.-) LIMO.

c.-) SUELOS ORGANICOS.

d.-) ARCILLAS.

e.-) HERRAMIENTAS.

10) EXCAVACION DE TUNELES EN TODO FRENTE.

a.-) LIMITES DE EXCAVACION.

b.-) VOLADURA.

c.-) SOPORTE TEMPORALES.

METODOS CONSTRUCTIVOS.

a.-) METODO NORTEAMERICO.- La excavación se inicia con una galería superior en el coronamiento del túnel, que se apoya en listones de avance, postes y cabezales. A continuación se amplía la excavación entre dos pórticos y se colocan los segmentos del arco superior adyacentes al coronamiento y apoyados por postes y puntales extras. Se forman bancos de excavación a lo largo de los lados y se coloca otro segmento de las costillas a cada lado. Se unen con pernos las costillas a la parte superior y se soportan con una solera temporalmente. - Se repite este proceso hasta llegar a la solera de la invertida. Finalmente, se excava el banco hasta alcanzar la sección total. El terreno entre costillas se mantiene en su lugar por medio de planchas de revestimiento y se rellenan las oquedades. Este método resulta apropiado en terrenos razonablemente firmes.

b.-) SISTEMA AUSTRIACO.- Se inicia una galería central a toda la altura del túnel puede comenzar con una galería superior y se corta hacia abajo en pequeñas secciones, hasta llegar a la invertida, o si no se inician dos galerías, una superior y otra inferior.

En este último caso el núcleo entre las dos galerías se excavan en pequeños tramos y los postes cortos se sustituyen por postes largos. La sección del arco se amplía poco a poco. Se mantiene en su lugar con costillas de arco se apoyan en puntales desde el almacén del corte central en el arranque. El resto de la excavación se hace avanzar por pequeños incrementos y se colocan los postes para soportar las soleras, este método es apropiado para un terreno razonablemente estable.

c.-) METODO BELGA.- En terreno firme se excava la mitad superior del túnel, comenzando con una galería central desde el coronamiento hasta el arranque del arco. Esto se amplía en ambos lados, y el terreno se mantiene en su lugar con estacas transversales. Estas últimas se apoyan en maderas longitudinales, apoyadas a su vez por puntales que se extienden en forma de abanico desde un soporte o durmiente en la galería central. A continuación se excava un corte central hasta la invertida, dejando bancos sobre los que se apoye el arco de revestimiento del túnel. Se practican pozos a intervalos, para apelar los arcos. El resto del banco se retira a continuación para completar los muros laterales, después de lo cual se cuela el concreto de la invertida.

Es posible avanzar con la excavación a una distancia -- considerable antes de continuar con el revestimiento.

d.-) METODO INGLES.- Se excava un pequeño tramo en todo el frente, que generalmente es de 6.10 mt. por delante del revestimiento permanente del túnel. La excavación se inicia con una galería superior. Se coloca en ella de dos maderos de techo 'o barras de coronamiento, con el extremo de cada uno apoyado por el revestimiento terminado del túnel y el extremo frontal que descansa en postes, se clavan estacas transversales sobre las barras de coronamiento. Después el corte hasta llegar al extremo de las estacas. A continuación se colocan tablones de madera por debajo de las estacas y a través de todo el frente, mantenidos en su lugar por maderos adicionales. Después de esta operación se colocan barras y estacas laterales para permitir ampliar la excavación. Se repite esta secuencia hasta que se llegue a la invertida, el frente queda en su lugar por medio de tablones de frente que descansan en puntales que se apoyan a su vez en el revestimiento terminado. Este último se extiende luego hasta el extremo de la excavación y se repite el ciclo. Para controlar la alineación y ayudar el drenaje se construye un primer túnel

piloto a nivel de la invertida. Esto también permite -
la excavación total en varios frentes.

e.-) METODO ALEMAN.- Se hacen avanzar dos galerías inferiores, una en cada muro lateral. En estas galerías se construyen los muros hasta llegar al techo de las mismas. Sobre éstas, se excavan otras dos galerías y se continúa la construcción de los muros. Se añade una galería central superior que se ensancha hasta alcanzar las galerías laterales; el terreno sobre el arco queda apuntalada por maderos longitudinales y estacas transversales. Después de terminado el revestimiento del arco remueve el resto del terreno.

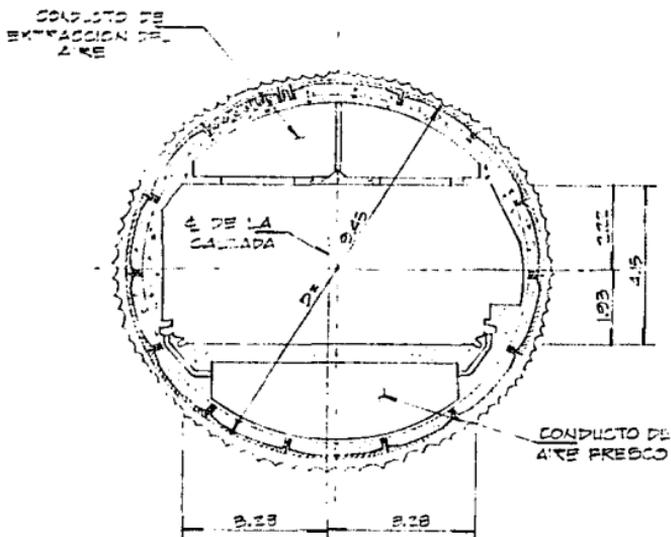
f.-) METODO ITALIANO.- Se desarrolló para terrenos muy blandos en los que se excavan solamente pequeñas -- áreas. Es muy costoso y ha sido suplantado por el método del escudo, que es el que se usa exclusivamente en este tipo de terrenos.

2.-) EXCAVACION DE TUNELES POR EL METODO DE ESCUDO AL AIRE LIBRE.- La excavación de túneles por el método de escudo se usa generalmente, en la actualidad, en terrenos blandos, no cohesivos, compuestos de arena - - suelta, grava o limo y todo tipo de arcilla, o en mezcla de cualesquiera de ellos. Es indispensable para excavación de túneles en estos materiales debajo del manto freático.

El primer escudo para la construcción de túneles se diseñó y patentó en 1818 por el Ingeniero Inglés - - Marc Isambard Brunel. Contenía la mayor parte de los escudos de hoy en día, pero no usaba entonces el aire comprimido. Esta última idea la patentó Lord Cochrane en 1839, aunque nunca la llegó a utilizar.

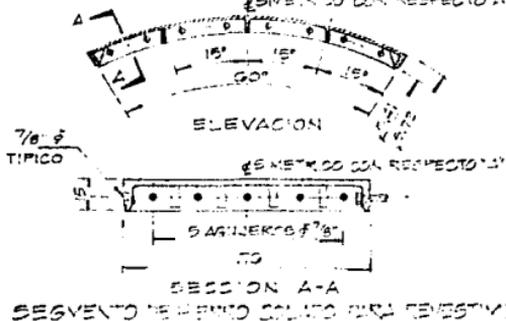
El escudo es un cilindro formado por planchas de - - acero soldadas entre sí (Fig.6.1). Tienen un diámetro ligeramente mayor que el exterior del revestimiento del túnel. La plancha se atiesa por medio de dos vigas interiores en forma de anillo; la primera de ellas se instala a poca distancia detrás del borde de corte, dependiendo del diámetro y de las cargas, las vigas se apuntalan con riostras horizontales y verticales, el borde de corte se bisela y se refuerza con placas de acero soldadas hasta un espesor de 8 a 10 cm. En terreno suelto

FIGURA G.1



LA SECCION MUESTRA EL REVESTIMIENTO SEGMENTAL TÍPICO DE HIERRO COLADO PARA UN TUNEL (LINCOLN - TUNEL).

§ SIMETRICO CON RESPECTO A'



SECCION A-A
SEGMENTO DE HIERRO COLADO PARA REVESTIMIENTO

la mitad superior del escudo se extiende hacia adelante de 30 a 45 cm. para formar una viciera protectora.

La cola del escudo traslapa ligeramente el extremo del revestimiento y, en túneles subacuáticos, tiene generalmente suficiente longitud para acomodar dos anillos, el interior de la cola el revestimiento cerca de 2.54 - cm. todo alrededor. Para el trabajo en arcilla blanda el frente del escudo se puede cerrar con un mamparo de acero con aberturas cerradas por compuertas, a través - de los que se puede excavar el material, la arcilla - - blanda se puede extruir a través de las aberturas mientras avanza el escudo.

Sobre el arriostramiento del escudo se montan plataformas de trabajo que se pueden hacer avanzar y retroceder por medio de gatos hidráulicos. Proporciona acceso a todas las partes del frente y, al mantenerse en -- contacto con ella, la soportan mientras se empuja en caso de sea necesario, además, si fuera necesario soportar lo ampliamente se pueden montar en el arriostramiento - gatos adicionales para mantener la tablazón contra el - frente de excavación.

a.-) AVANCE DEL ESCUDO.- Se colocan gatos hidráulicos para el avance del escudo sobre el alma de las vigas anulares, cerca de la periferia del escudo. Los gatos se espacian uniformemente alrededor del perímetro y ejercen presión contra la viga frontal de anillo, la que se atiesa por ménsulas soldadas al forro en el borde de corte. Los émbolos de los gatos están equipados con calzas que se apoyan contra el revestimiento del túnel, la carrera de los gatos es ligeramente mayor que el ancho de un anillo de revestimiento.

Se monta un erector de brazo rotativo dentro de la cola para tomar y colocar los segmentos del revestimiento Fig. 6.2 . Las bombas hidráulicas montadas detrás del escudo suministran una presión de 352 a 422 kg/cm², a los gatos, motor del brazo rector, y otros equipos operados hidráulicamente. Las válvulas de control de estos dispositivos están montadas en un panel en el escudo.

Los métodos de operación, excavación y velocidad de avance varían grandemente de acuerdo con el tipo de terreno. En arena y grava, el frente se mantiene en su lugar por medio de tablones y que están arriostradas por puntales telescópicos, gatos, o las plataformas de trabajo.

Es posible que haya que llevar los tablonos hasta la invertida del frente de la excavación, lo que se excava hasta llegar al borde de corte de la visera, si se usa aire comprimido puede llevarse el tablero una distancia en donde la presión del aire equilibra la carga hidrostática, mientras la parte inferior del frente de excavación toma su pendiente natural. Cuando se trabaja con materiales firmes, arena con limo, o arcilla dura, se puede excavar todo el frente sin poner tablonos de excavación. El progreso promedio con 9.45 m. de diámetro en esos materiales era de 2.10 ó 2.43 m. en 24 horas.

Los escudos no se adaptan bien a los túneles en roca, pero podrán encontrarse frentes de roca o mezclados, parte roca y parte tierra, en parte con terreno blando. Si la roca estuviera lo suficientemente alta se podrá excavar una galería inferior más allá del escudo y colocar una cuna de concreto con rieles de acero empotrados con la alineación y pendientes exactas para servir de apoyo al escudo según avance, se puede usar una galería inferior semejante, en el frente todo de roca, si no es posible excavar toda la sección transversal. Para permitir el avance del escudo a continuación se puede vo--

lar la roca en la periferia del resto del borde cortante. El progreso en frentes mezclados promedio es de -- (0.9 a 1.22 m.) en 24 horas.

El mejor progreso, se puede efectuar en un material plástico a través del cual es posible empujar el escudo ciego, esto es, sin dejar entrar ninguna tierra dentro del equipo, donde se desplaza el volumen por compresión o alzamiento del material circundante. Para contrarrestar la tendencia del túnel o alzarse detrás del escudo debido a la flotación, se puede admitir suficiente material a través de pequeñas aberturas en el mamparo del frente y dejarlo sobre la invertida para equilibrar -- fuerzas hasta que se coloque el revestimiento interior. Este método se conoce como medio ciego. Si el desplazamiento o el alzamiento del terreno puede ser causa de -- molestias en las estructuras adyacentes, como son los -- edificios, se deben ajustar las aberturas para recibir casi todo el material desplazado.

La excavación con escudos se inicia generalmente a partir de pozos excavados hasta el nivel de la invertida. Estos pozos pueden construirse únicamente con este fin o, más tarde, pueden formar parte de un edificio de ventilación. Se proveé una abertura en el muro del pozo para ajustar el escudo y que se cierra con un mamparo --

de madera durante las excavaciones, el escudo se monta en una cuna de concreto, en la base del pozo. El muro opuesto del pozo forma el empotramiento de las fuerzas de empuje del gato, se montan unos cuantos anillos detrás del escudo, que avanza a través de la abertura después de la remoción del mamparo.

Se dirige el escudo, variando la presión de los gatos de empuje, en la periferia. En túneles grandes la fuerza total de empuje de los gatos puede variar de - - 3000 a 5000 Ton. Si el escudo tiene tendencia a subir se aplica mayor presión arriba que abajo. Para otras - direcciones se procede de manera semejante.

Si el terreno es relativamente suelto se excava en el frente con herramientas de mano. En arenas endurecidas o en arcilla muy dura se utilizan palas de aire. - La arcilla relativamente blanda se puede cortar con excavadoras de arcillas. El escombro se palea a mano sobre una conductora corta dentro del escudo. De aquí, - se descarga sobre una correa conductora de carga, situada detrás del escudo. La correa conductora lo vacía en las vagonetas que tienen generalmente una capacidad de 3.02 m³. para los túneles grandes, los trenes de escom-

bros ruedan hasta un pozo de acceso, atravesando el túnel. Los carros individuales se izan por el pozo de -- acceso y se descargan en tolvas para su carga en camiones.

3.-) REVESTIMIENTO DE LOS TUNELES.- Excepto en sue los muy duros, o compactos, se utilizan revestimientos segmentados de anillo. Pueden ser de hierro colado, -- acero, o concreto prefabricado. Se traen los segmentos en las vagonetas, se descargan por malacates montados - en el carro conductor y se depositan al alcance del bra zo erector. Es un brazo telescópico contrapesado, pivo teado en la línea del centro del túnel por medio de un motor hidráulico a fin de obtener rotación total. Un agarre colocado en su extremo mete las orejas o barras en los segmentos y los coloca en su lugar, comenzando - por abajo.

En suelos duros se pueden usar como revestimiento primario costillas de acero, generalmente vigar H de - 10.16 cm., junto con revestimiento de madera, las costi llas se espacian generalmente a 1.22 m. c. a. c. y -- se arman en la cola del escudo. El revestimiento de ma dera, precortado y cepillado se coloca sólidamente alre dedor de la circunferencia entre las alas de las costi-

b.-) DISEÑO DEL REVESTIMIENTO DE LOS TUNELES.- Un anillo de forro es estaticamente indeterminado, el esfuerzo se pueden calcular por el método que se indicará más adelante. Después que se haya convertido el anillo en uno estáticamente determinado, cortándolo en la parte superior y fijando el otro extremo (Fig. 6.7).

$$M_C = R_T C - \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} M d\phi$$

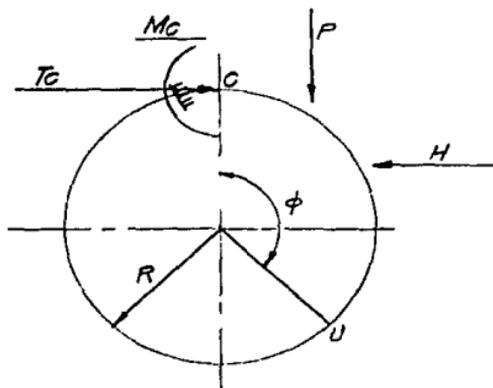


Fig. 6.7 En anillo de revestimiento se puede analizar si se supone el coronamiento C)

.-) REVESTIMIENTO PARA TUNELES EN ROCA Y EN TERRENO FIRME.- Los túneles en rocas muy sólidas que no se ven afectadas por el aire, la humedad, o la congelación, y donde la apariencia no importa, se dejan sin revestir, este es el caso de muchos túneles de ferrocarril.

Donde la roca sea estructuralmente sólida pero pueda deteriorarse por contacto con las condiciones atmosféricas, se puede proteger con una capa de concreto rociado o no, con malla de alambre. Este tipo de revestimiento se puede usar en túneles para conducción de agua, en roca sólida, para lograr una superficie lisa que reduzca el factor de fricción y la turbulencia.

La mayor parte de los túneles en roca, y todos los túneles en terrenos más blandos, requieren un revestimiento sólido. Los túneles de carretera de cierta importancia siempre se revisten por la apariencia y por mejores condiciones de iluminación. Se ha usado en gran cantidad de mampostería de piedra o ladrillo en otros tiempos, pero en la actualidad se prefiere el concreto. El espesor del revestimiento permanente de concreto se determina por las dimensiones del túnel, las condiciones de carga, y el mínimo requerido para empotrar las costillas de acero del revestimiento primario.

Para un Anillo Circular de Sección constante y cargado simétricamente, el empuje en el coronamiento C es

$$T_c = \frac{2}{\pi R} \int_0^{\pi} M \cos \phi \, d\phi$$

El Cortante Vertical en el coronamiento es cero y el momento es

$$M_C = -R T_c - \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} M d\phi$$

DONDE:

R = Radio de Anillo

M = Momento Flector en cualquier punto U debido a las cargas sobre CU.

ϕ = Angulo entre el coronamiento

Conocidos el empuje y el momento en el coronamiento se pueden calcular los esfuerzos en cualquier parte del anillo, como lo puede ser para un Arco.

Donde el revestimiento del concreto solamente esté expuesto a esfuerzos de compresión, puede que no necesite refuerzo. En casi todas las cosas se requerirá acero de refuerzo de tensión y flexión.

El revestimiento se coloca en secciones de 6.09 a 9.14 mts. de largo, las formas segmentales de acero se usan universalmente, se deben arriostrar correctamente para soportar el peso del concreto fresco. Generalmente se cuelan primero los muros, hasta el arranque del arco. A continuación se cuelan los Arcos, es importante que el espacio entre las formas y la superficie de la roca o del terreno queden completamente rellenas. Se deben insertar tuberías de enlechado en el concreto del arco para permitir el relleno de cualesquieras - - oquedades que se presenten, utilizando enlechado de arena y cemento.

El concreto se vierte a través de aberturas en el revestimiento de acero, o si no se bombea por una tubería introducida en el coronamiento, lo que se llama una línea de deslizamiento. Se coloca al principio en la parte posterior del colado y se retira lentamente la tubería. Se puede usar una combinación de ambos métodos, se bombea el concreto o se inyecta por golpes de aire -

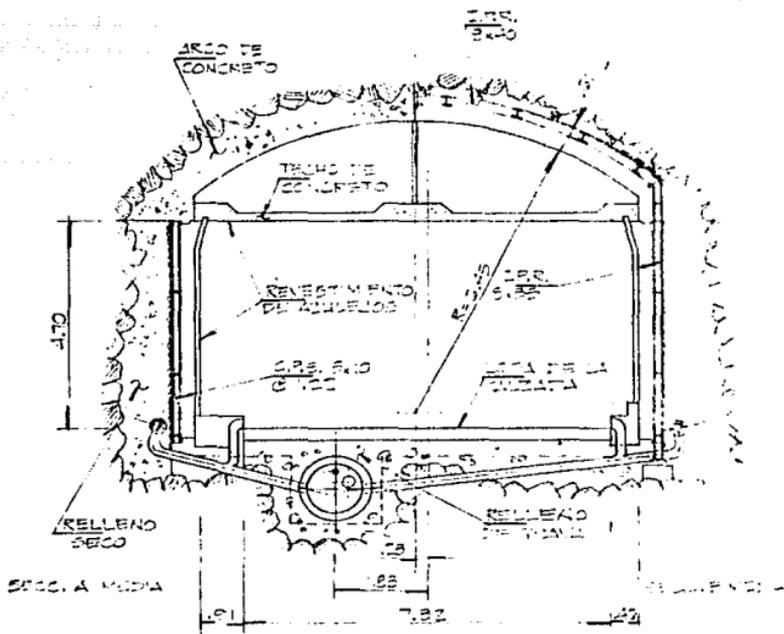
comprimido, se añaden aditivos para obtener una mezcla de fácil colocación, con bajo contenido de agua y para reducir la contracción. Si hubiera contenido de agua - que se presenta generalmente en las grietas por contracción, se pueden sellar con un compuesto plástico. O si no, el agua se puede eliminar por medio de canales de - drenaje de cobre, instaladas en ranuras cortadas en el concreto.

Las cimentaciones de los muros laterales en los túneles en roca se cortan en dicha roca por debajo de la rasante. Proporciona estabilidad suficiente a menos -- que se encuentre material descompuesto, en cuyo caso se le cuela un revestimiento de concreto en la invertida.

En terreno blando se cuela una losa de concreto para que sirva de pavimento en los túneles de carretera. Si existen fuertes preciones laterales tal vez haya que darle mayor peso a la losa a fin de evitar el pandeo.

El revestimiento primario en los túneles excavados con escudo son generalmente del tipo segmental para facilidad de montaje (Fig. 6.3). Sin embargo, se ha intentado desarrollar un método para colocar un revesti-- miento continuo de concreto después de que avance la máquina excavadora. Los segmentos se hacen generalmente

FIGURA G.3



SECCION TRANSVERSAL DE LA DEL TUNEL EN LA
 MANO IZQUIERDA DEL TUNEL EN LA SECCION A MEDIA
 MUESTRA EL REVESTIMIENTO DE ACIARLOS Y EL
 LLENADO DE TIERRA EN LA SECCION B MEDIA Y EL REVESTIMIENTO DE
 CONCRETO.

de hierro colado, acero soldado, acero prensado, o concreto prefabricado.

El hierro colado se ha usado extensivamente desde los primeros días de los túneles excavados con escudo. Los segmentos se construyen tan largas como lo permita su manejo conveniente, generalmente de 1.83 a 2.13 m. El ancho de los anillos depende de la distancia hasta donde se pueda excavar con seguridad por delante del escudo, el peso que se ha de manejar y las prácticas de la fundición. Mientras más anchos sean los anillos, -- más larga será la cola del escudo y por tanto será más difícil maniobrar el escudo, los primeros túneles tenían anillos con un ancho de 45.72 cm. En los túneles recientes se ha llegado hasta 76.20 ó 81.28 cm.

Los segmentos de hierro colado tienen alas torneadas en todos los lados (Fig.6.4). Se conectan entre sí por pernos de alta resistencia, las juntas longitudinales se desplazan en los anillos sucesivos.

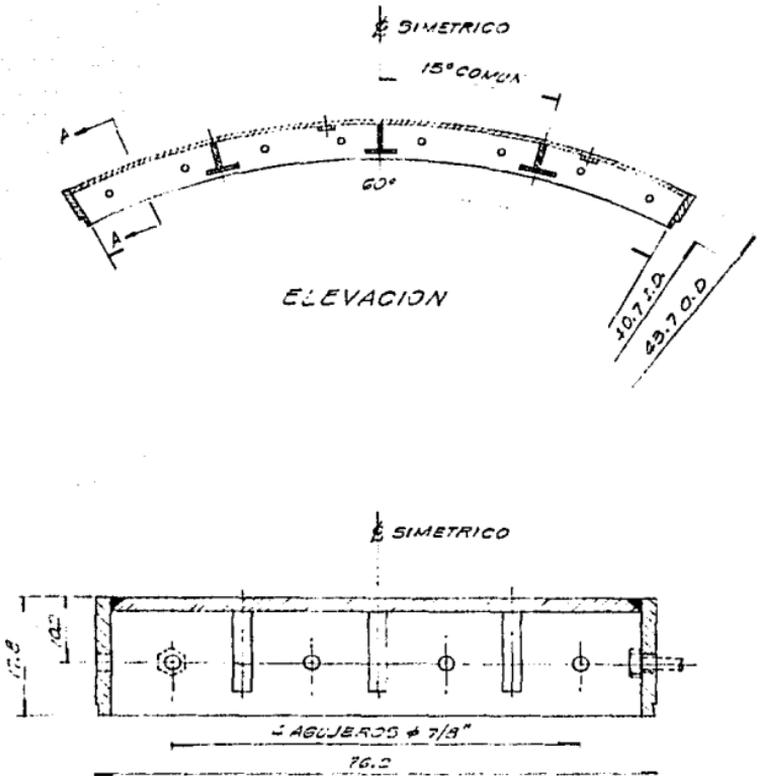
Las alas tienen rebajos a lo largo de los bordes parejadas para el talafateo. Estas ranuras se rellenan con plomo o con tiras de asbesto impregnado preparadas para el talafateo, y recalçadas manualmente. Se han ensayado selladores sintéticos, tales como el hule sili-

cón y los polisulfuros, que se pueden inyectar con pistolas de calafateo. Estos compuestos se adhieren al metal lo suficiente para formar un sello efectivo con las presiones generalmente encontradas en los túneles subacuáticos.

Cada segmento de hierro colado está provisto de un tapón de enlechado para la inyección del confitillo y enlechado en el espacio entre el revestimiento y el terreno. Los agujeros de los pernos se sellan con arandelas de tela impregnada o de plástico, estos últimos son particularmente efectivos. Los pernos se aprietan con llaves hidráulicas o neumáticas cuando sea posible; de otro modo con llaves manuales.

Los segmentos soldados de acero, de una similar a los segmentos de hierro colado, se han usado por razones económicas en algunos túneles subacuáticos. Se soldaron sobre Gálivos con tan poca tolerancia como fue posible; pero no se fresaron las cajas o alas ni se dejaron ranuras para el calafateo. Se tuvieron dificultades para conseguir que fueran estacas por medio de Juntas de sello. Un diseño mejorado comprende ranuras de calafateo y tolerancias en la fabricación semejante a las de hierro colado (Fig.6.5).

FIGURA G.5



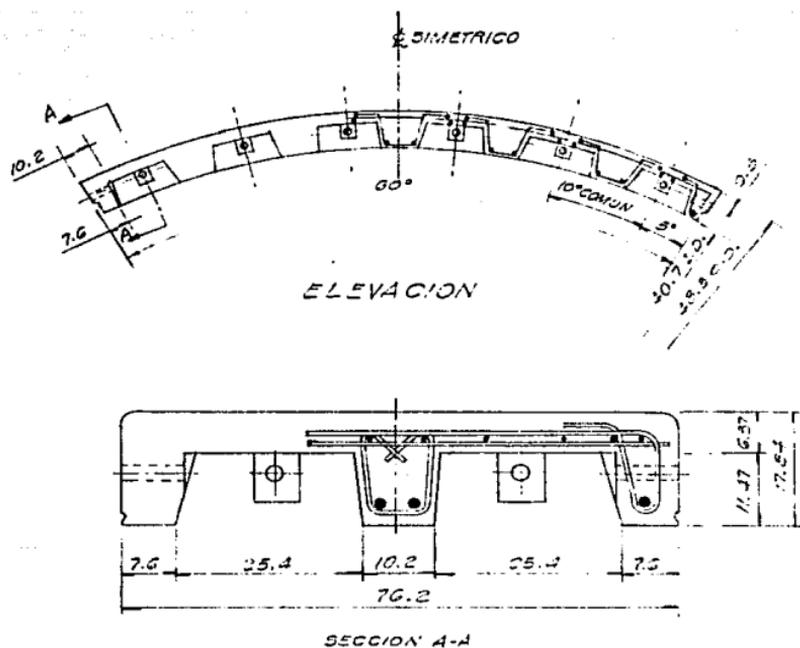
2) SEGMENTO PREFABRICADO DE ACERO PARA REVESTIMIENTO.

Los segmentos de concreto prefabricado provistos de cajas se han propuesto para túneles por debajo del monto freático (Fig.6.6). Su forma es similar a la de los segmentos de hierro colado y se cuelan en moldes de acero. El esmerilado de las cajas y la formación de ranuras para el calafateo los haría adecuados para la construcción estanca. Todavía no se han hecho instalaciones con estos segmentos, pero se ensayaron anillos prototipo en el nivel superior del tren subterráneo de San Francisco.

Se han usado con éxito bloques pesados de concreto, interconectados, en terrenos relativamente secos o impermeables. Presentan dificultades cuando se exponen debida a filtraciones.

Excepto que se usan anillos de acero y revestimiento, o bloques de concreto como forro primario, no se usa un revestimiento secundario, a menos que lo requiera la apariencia y el acabado interior de los túneles de carretera en este caso se coloca un forro de concreto del espesor mínimo practicable. Cuando el túnel se ha de revestir con azulejos, se debe proveer acabado adecuado para su fijación. (para facilitar el mantenimiento y mejorar la iluminación, los muros y los techos

FIGURA G.4



(G) SEGMENTO DE CONCRETO PREFABRICADO PARA REVESTIMIENTO.

de túneles de carretera se terminan por lo general con azulejos de cerámica). Para proveer una buena adhesión de la capa de base se pueden soldar longitudinalmente - alambres de rayado a los moldes de acero para proporcionar una capa rugosa en el concreto. El revestimiento - de la superficie lisa de concreto con compuestos Epoxy puede dar por resultados acabados satisfactorios, con me nos costo.

Las cargas sobre el revestimiento incluyen su peso propio y las cargas internas, el peso del terreno por encima del túnel (terreno sumergido para túneles debajo del manto freático), la reacción debida a las cargas verticales, la presión horizontal uniforme debida al terreno y el agua por encima del coronamiento y la presión triangular debida al terreno y el agua por debajo del coronamiento.

Debido a la flexibilidad los anillos de revestimiento del túnel sólo ofrecen una limitada resistencia a la flexión producida para las fuerzas verticales y horizontales no equilibradas. El revestimiento y el terreno se deformarán juntamente hasta alcanzar un estado de equilibrio. Por tanto puede que sea necesario arristrar el forro con tirantes, desde que sale del Escudo hasta que se desarrollen las condiciones finales de carga y las presiones pasivas. En algunos materiales blandos, cuando se forzaban los escudos ciegos (sin excavar material). Las presiones horizontales iniciales sobrepasan las cargas verticales, de manera que el diámetro vertical se alargaba temporalmente. En último término, la sección volvía aproximadamente a su configuración circular inicial.

La magnitud de las cargas sobre los revestimientos de los túneles depende del tipo de terreno, profundidad debajo de la superficie, cargas de los edificios adyacentes, y cargas de superficie. Todos estos valores requerirán un cuidadoso análisis, en los que serán de mucha ayuda las observaciones hechas en túneles anteriores y terrenos de naturaleza semejante.

llas. Este revestimiento transfiere también la fuerza de los gatos al forro del túnel. Se ha usado también - con éxito revestimiento de concreto prefabricado.

4.-) RELLENO.- Como el escudo tiene un diámetro mayor que el forro, existe un vacío alrededor de los anillos del forro. Esto puede ser causa de un derrumbe y producir asentamientos, la práctica corriente cuando se usan segmentos de revestimiento es lo de inyectar confitillo en este vacío a través de huecos para enlechado - en los forros, inmediatamente de que haya avanzado el - escudo, después se inyecta a la gravilla enlechado de - cemento para sodificarla, en una sección de la línea -- victoria del metro de Londres, en arcilla profunda y muy dura, se instaló un forro articulado de hierro colado; después se expansionó contra la arcilla que estaba de-- trás del escudo. Los anillos adyacentes se presionaron hasta hacer contacto por la fuerza de los gatos, pero - no se empernaron, se ha usado también la expansión de - costillas de acero junta con revestimiento de madera para obtener un ajuste exacto contra el terreno.

5.-) TUNELES EXCAVADOS CON AIRE COMPRIMIDO.- Después de unos 40 años de uso para mantener los cajones - libres de agua se aplicó por primera vez aire comprimido a la construcción de túneles en 1879. En aquel entonces para hacer un túnel de ferrocarril se hizo avanzar una galería de (5.5. x 4.8 m.) desde un pozo en Nueva Jersey, bajo el Río Hudson. Aunque parezca raro, no se usó un escudo. Después de 3 años y fuertes inundaciones, se suspendió el proyecto. Se reanudó, utilizando escudo en 1889. Después de interrupciones debidas a problemas económicos se terminó en 1905.

Aunque los escudos para túneles en aire no comprimido son efectivos en suelos naturalmente secos o en terrenos que se pueden desecar, se necesita aire comprimido cuando se excava por debajo del manto freático, particularmente en túneles subacuáticos. La presión del aire contraresta la carga hidroestática. La presión también reduce en el frente el contenido de agua del suelo, lo que lo hace más estable y seguro de excavar.

PRESION DEL AIRE.- Teóricamente la presión del aire necesaria para equilibrar la carga hidroestática es de 0.03 Kg/cm² para el agua dulce y de 0.031 para - -

el agua de mar, por 0.30 m. de profundidad en realidad, la presión depende de las propiedades del terreno así - como del método de excavación. En materiales abiertos, como la arena gruesa y la grava permeables, se necesita ría la presión total del aire mientras que en terrenos impermeables, como la arcilla dura, puede ser que no se requiera presión alguna. Se necesita hacer un cuidadoso análisis del terreno a intervalos regulares a lo lar go de la alineación para poder estimar la máxima presión del aire y las cantidades de aire que se requiera. Los escudos cerrados para túneles en el limo del Río -- Hudson trabajan con presiones tan bajas como 1.12 Kg/cm² a profundidades que llegaban hasta 30.5 mts. En la arena y grava del East River en Nueva York la Carga Hidrostática se equilibraba para cerca de un cuarto a un tercio del diámetro por encima de la invertida. Para - reducir la pérdida de aire en la parte superior del - - frente de excavación fue preciso sellar con arcilla la tablazón de frente.

b.-) PREVENCIÓN DE ESCAPES SUBITOS.- Cuando la presión del aire equilibra la carga inferior del frente de excavación hay un exceso de presión en la parte superior. Si el peso de la cubierta sobre el túnel no es - suficiente para mantener el exceso de presión del aire

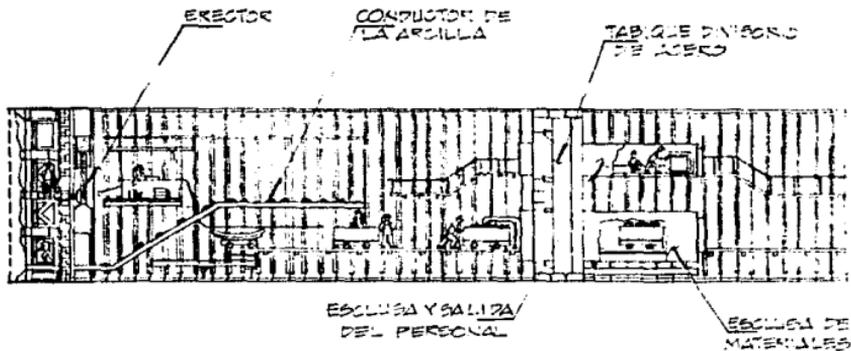
dentro de límites seguros. Se puede colocar un pesado colchón de arcilla en el fondo del río sobre la galería del túnel para evitar un escape súbito del aire en la parte superior del frente de excavación. Si la presión del aire iguala la presión de agua en la invertida, el exceso de presión en la parte más alta de un frente de 9.14 mts. de diámetro sería de 2.10 Kg/cm^2 en agua de mar, o sea 9158 Kg/cm^2 . Para una cubierta natural de 3.0 m. con un material de 800 Kg/m^3 , el colchón tendría que compensar la diferencia de $21,945 \text{ Kg/m}^3$ con un peso sumergido de 961 Kg/m^3 y se requerirán 7.0 m^3 de arcilla. Los requisitos de Navegación probablemente hagan necesario quitar el colchón después de la terminación del túnel. La arcilla para este colchón debe ser relativamente suave para que se una fácilmente y forme una capa impermeable.

c.-) MAMPARAS.- Cuando se inicia la excavación con escudo a partir de un pozo se construye una plataforma hermética al aire por encima del túnel para mantener la presión hasta que el escudo haya avanzado hasta cierta distancia. A continuación se construye un mamparo hermético al aire, una cierta distancia por detrás del escudo para proveer espacio para el conductor de carga y

unas cuantas vagonetas. Para mantener el volumen lleno de aire comprimido dentro de los límites razonables, y para cumplir con las regulaciones de seguridad. Se construyen nuevos mamparos según avanza el túnel y se remueven los viejos. Por lo general las regulaciones permiten una distancia máxima de 305 mts. entre el frente de excavación y el mamparo; este último se puede construir de acero o de concreto.

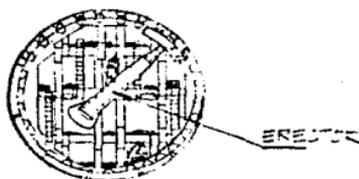
d.-) ESCLUSAS DE AIRE.- Las esclusas para los trabajadores y los materiales se construyen dentro del mamparo hermético. Las esclusas son cámaras cilíndricas - herméticas con puertas con empaquetaduras (Fig. 6.8). Se admite el aire comprimido a la esclusa desde el lado de alta presión o desde la línea de aire comprimido y se extrae por medio de una conexión con el exterior. - Las válvulas de esas conexiones se controlan desde adentro en las cámaras de operarios y generalmente desde -- afuera en las de materiales. La puerta en el lado de - alta presión se abre desde la cámara hasta el túnel; la puerta que se comunica con el aire libre se abre dentro de la cámara de la esclusa las puertas se mantienen herméticamente cerradas por la presión de aire y no se pueden abrir hasta que se equilibren las presiones en am--

FIGURA 6.8



SECCION LONGITUDINAL

FIGURA 6.2



ELEVACION-BORTE CONTINTE

SECCION DE UN EDIFICIO CONVENCIONAL, ELIZABETH EN 1980 EN EL
DETROIT-WINDSOR, CANADA TUNNEL.

bos lados se proveen manómetros en las cámaras así como en el túnel.

La cámara de materiales está al nivel de la vía de vagonetas. Esta cámara debe ser lo suficientemente grande para acomodar varias vagonetas.

La cámara de los operarios está a un nivel más alto y tiene de 1.5 a 2.1 mts. de diámetro. Esta cámara está equipada con bancos para que se sienten los operarios. En los túneles mayores, se pueden tener dos juegos de esclusas para acelerar las operaciones, si existe el peligro de una rápida inundación se puede situar una esclusa extra para los operarios, tan alto como sea posible; un pasillo colgante de seguridad se extenderá a ese mismo nivel desde la esclusa hasta el escudo. -- Una pantalla de seguridad, colocada en la parte superior del túnel cerca de la galería atrapará el aire por encima de este pasillo colgante en caso de inundación, y -- permitirá a los operarios escapar. Algunas regulaciones de seguridad requieren la instalación de dos esclusas para los operarios.

g.-) SEGURIDAD Y SANIDAD.- En toda obra donde se utilice aire comprimido se requiere una estación de primeros auxilios bien equipada y una cámara de descompresión, atendidas en todo momento por asistentes debida--

mente entrenados. Se debe tener un médico en estado de alerta para los casos de emergencia.

La mayor parte de los Estados y países tienen leyes que regulan las horas de trabajo y la estancia en las cámaras de descompresión para las obras en que se instale aire comprimido, las Leyes del Estado de Nueva York, resumidas en la Tabla I , se aceptan generalmente como normas en muchas partes de los Estados Unidos, pero se debe verificar los reglamentos locales, sin embargo las restricciones que se establecen en los contratos con las uniones sindicales son a veces más severas que los requisitos legales.

La cantidad de aire requerida para las excavaciones de túneles con aire comprimido depende de tantos factores que se pueden establecer reglas exactas. Para determinar el tamaño de la planta de compresores para una obra determinada se requiere de un sentido común por parte del Ingeniero basada en las experiencias pasadas. Se instalan máquinas de baja presión para el aire en el túnel y unidad de alta presión para las herramientas neumáticas. Se debe proveer una capacidad adecuada de reserva utilizando un cierto número de compresores, el aire de alta presión puede utilizarse como suministro

tro de emergencia en el túnel por la interconexión de válvulas de reducción.

6.-) EXCAVACION DE TUNELES SIN ESCUDO.- Se han construido algunos túneles en terrenos que contienen agua usando aire comprimido conjuntamente con planchas de revestimiento y sin usar escudo. Usando este método se han construido en Nueva York longitudes considerables de alcantarillas interceptoras, con diámetros de 2.13 a 3.66 mts. Usando aire comprimido se construyeron en Chicago unas cuantas millas de líneas del Tren Subterráneo, en arcilla blanda con costillas y planchas de revestimiento de acero.

TABLA Regulaciones del Estado de Nueva York para las presiones, horas de trabajo y tiempo de descompresión en trabajos sometidos al aire comprimido.

PRESION MAXIMA de Trabajos 3.51 Kg/cm² (se puede sobrepasar en emergencias). No más de dos turnos de trabajo en 24 horas con un intervalo al aire libre.

RAZON MANOMETRICA Kg/cm ²	HORAS DE TRABAJO		
	Primer Turno	Intervalos Mínimos	Segundo Turno
0 - 1.3	4	1/2	4
1.3 - 1.8	3	1	3
1.8 - 2.3	2	2	2
2.3 - 2.7	1 1/2	3	1 1/2
2.7 - 3.0	1	4	1
3.0 - 3.4	3/4	5	3/4
3.4 - 3.5	1/2	6	1/2

T A B L A I

DESCOMPRESION: Disminuir a la mitad de la máxima presión manométrica con un ritmo de 0.35 Kg/cm² por minuto pasando este tiempo, completar la descompresión - con ritmo uniforme, de tal manera que el tiempo total - no sea menor que la presión máxima multiplicada por las tasas que se dan más abajo

D E S C O M P R E S I O N

PRESION MANOMETRICA lb/pulg. TASA lb/pulg.2 Mín.

0 - 15	3
15 - 20	2
20 - 30	1 1/2
30 ó más	1

7.-) EXCAVACION A MAQUINA DE LOS TUNELES.- Para reducir costos y acelerar la cantidad cada vez mayor de construcción de túneles se han desarrollado unos cuantos tipos de máquinas para la perforación de túneles. Se han construido máquinas para suelos no cohesivos, pero hasta ahora no han tenido mucho éxito. Las máquinas universales para terracerías mezcladas, de roca y de materiales blandos todavía no se han desarrollado hasta un grado satisfactorio

a.-) MAQUINAS PERFORADORAS EN ROCA.- Las máquinas de perforación en roca consisten de una cabeza rotativa, ya sea sólida o con rayos, en los que se montan herramientas de corte adecuadas al tipo de roca, las máquinas se montan en grandes armazones que comprenden la maquinaria de operación y sus auxiliares, se incluyen una serie de gatos hidráulicos que ejercerán fuerte presión contra el frente de excavación. Los cortadores en forma de cincel sirven para roca blanda, los cortadores de discos para rocas más duras por acción de cuña y cortadoras dentadas de rodillo con insertos de carburo y tungsteno cortan las rocas más duras. El límite superior para las herramientas actuales es la roca con una resistencia a compresión de unas 2461 Kg/cm², aunque algunos

fabricantes pretenden haber tenido éxito con granitos - de hasta 3164 Kg/cm².

Un factor crítico al igualar la producción es la - cantidad de tiempo dedicado a mantenimiento y reemplazo de cuchillas y su costo.

Unos cuantos fabricantes han construido máquinas - perforadoras en roca que han tenido éxito.

Robbins Company, Seattle, Wash. Diseñó la primera máquina de gran tamaño para los túneles de 9.14 m de -- diámetro, el material era pizarra relativamente blanda. El avance era de 2.59 a 3.66 m por hora del tiempo real de trabajo. Hasta ahora esta compañía ha construido la mayor parte de las máquinas, siendo la mayor de 11.17 m.

Jarva Inc. California, Ha construido máquinas para túneles con un diámetro de 2.43 a 6.4 mts., en tipos -- apropiados a condiciones que varían desde materiales -- blandos hasta roca dura.

La Lawrance División De La Ingersoll-Rand, Oregón, produce una máquina que utiliza un hueco piloto perforado unos 3.35 m. por delante del frente de la excavación, en la que se extiende un anclaje expansible y que tira hacia adelante la máquina. Algunas de estas máquinas -

se han usado en roca dura.

Hugues Tool Company ha fabricado varias máquinas, algunas en colaboración con Mitsubishi para su utilización en Japón.

Wirth Company, Alemania, ha fabricado unas cuantas máquinas, una de ella una unidad Tandem que engancha un túnel piloto inicia una unidad de 3.35 m., en dos etapas, hasta 6.7 y 10.4 m.

Atlas Copco construye una máquina con varias ruedas dentadas montadas en una cabeza cortadora con sus ejes ligeramente inclinados. La cabeza y la rueda rotan independientemente. Una variante perfora túneles de menor tamaño y cuya sección no es circular.

El Grupo Mc. Alpin-Greeseide, fabrica máquinas adaptables a diversos diámetros y donde el 85% de la unidad no sufre cambios.

b.-) MAQUINAS PERFORADORAS EN TERRENO BLANDO.- Las máquinas perforadoras de túneles operan por lo general una cabeza cortadora rotativa, montada en un escudo. - En suelos muy firmes que no se desmoronan, sin embargo es más efectiva una de tipo retroexcavador. Cuando el frente necesario soporte se utiliza una cabez cortadora

sólida en la que se montan escuplas o cuchillas de - -
arrastre.

Un cierto número de máquinas perforadoras se han -
usado en túneles para alcantarillado de hasta 7.01 m. -
de diámetro en las arcillas duras del subsuelo de Chica
go y Detroit. Estas máquinas tienen cabezas de corte -
con un centro ligeramente cónico, desde el que se ex--
tienden rayos hasta una llanta cilíndrica. Las cuchi--
llas cortadoras se fijan en el centro y en los rayos.
En arcilla muy firme las máquinas han trabajado sin es-
cudos, de otra manera trabajan dentro de un escudo con-
vencional.

Calweld, California, fabrica una máquina tipo tam-
bor con cuchillas en una rueda con rayos, dividida en -
cuatro segmentos que oscilan independientemente en una
amplitud de 30

Las excavadoras de tambor que se utilizaron para -
la Línea Victoria del Tren Subterráneo de Londres, con-
sistía en un escudo de 4.27 m. de diámetro, dentro del
cual giraba un tambor de 2.28 m. de diámetro que lleva-
ba seis brazos, cada uno de ellos con ocho cuchillas --
reemplazables.

K. M. Tundeling Machines Ltd., fabrica máquinas para terrenos blandos y cohesivos, que van desde la arcilla a la pizarra y arenisca. Dentro de un escudo convencional gira un cilindro con una cabez cortadora a la que se fijan cuchillas, generalmente del tipo de pico y arrastre.

TERRENO MOVEDIZO.- Se ha tratado de construir una máquina perforadora con un espacio cerrado delante de una cabeza sólida cortadora, y presurizada con aire o con un fluido, para soportar el frente de excavación. Hasta ahora, la única que ha tenido éxito fue la que se utilizó en el limo suave y arena 10.06 m. por debajo de la Bahía de Tokio, donde se utilizó el agua de mar para presurizar el frente. La máquina avanzaba un promedio de 3.96 m. por día para el túnel de 7.01 m. de diámetro.

8.- EXCAVACION DE TUNELES EN SUELO BLANDO.

a.-) OBJETIVOS.

La construcción de un túnel es una operación compleja que sólo es eficaz en el grado en que sus diversos elementos estén integrados satisfactoriamente dentro de dicho proceso. Aquí lo importante es el trabajo en el frente de la excavación del túnel, cuya esencia es la excavación desde adentro y desde abajo. Hay tres aspectos fundamentales a considerar: excavación, ademe provisional y manejo del agua, los cuales interactúan en forma tan estrecha en los terrenos blandos que no es posible tratarlos independientemente.

De la integración del diseño y construcción se ha desarrollado un proceso industrial unificado conocido como "Ingeniería de Sistemas". Muchos de los problemas son de cálculo y estrategias para lograr los mejores métodos de eliminación de los desechos de excavación y para el acarreo de los materiales para el revestimiento, así como para la instalación de servicios esenciales, iluminación y energía, bombeo y abastecimiento de agua, ventilación, etc., y la prolongación continua hacia adelante de dichos servicios según avanza el túnel.

La diferencia fundamental entre la construcción de túneles en roca y la construcción en terreno blando, radica en las propiedades elásticas y la resistencia de la roca intacta, las cuales no se modifican considerablemente por la presencia del agua y permiten que una cavidad siga siendo autosoportante, en contraste con la resistencia más baja del terreno blando, cuyas propiedades dependen de la presencia y movimiento del agua en los poros y de los patrones de presión.

El geólogo utiliza el término "roca" en un amplio sentido que abarca todos los depósitos con los que está relacionado; lo que él denomina "sedimentos no consolidados" corresponden al terreno blando de los excavadores de túneles, que son típicamente los depósitos de arcillas, limos, arenas y gravas, estos materiales comunes para la construcción de las ciudades y, por consiguiente, muchos de los túneles urbanos, que son generalmente someros, se hayan en terrenos blandos.

b.-) MANEJO DE LOS DESECHOS

La importancia económica del manejo y eliminación eficiente de los desechos es considerable en un túnel - de gran longitud, ya sea en terreno blando o en roca. Los problemas son de estrategia más bien que estructura les.

Se deberán seleccionar para cada túnel los métodos adecuados en base al volumen estimado, la velocidad de producción fijada por el ciclo de excavación, el espacio subterráneo y superficial de trabajo, la maquinaria y equipo disponibles y las instalaciones y requisitos - para la eliminación de los desechos.

En general, cuando el trabajo se origina en un tiro, hay cuatro fases a considerar: carga en el frente, transporte hasta el tiro, elevación y eliminación final. En cada una de las etapas, la naturaleza del material, cantidad, fragmentación y tamaño de las partículas, y - el contenido de agua, afectan notablemente la selección de la punta y de su capacidad necesaria. La selección del medio de transporte, vagonetas de ferrocarril, - - transportadores, vehículos de carretera o el bombeo de lechada, constituyen la clave para todas las otras fa- ses.

C.-) PATRON DE LOS ESFUERZOS EN EL TERRENO.

En terrenos alterados ya sean rocosos o blandos, - existe un estado de esfuerzos que aumenta con la profundidad.

La componente mayor es normalmente de compresión - vertical y proporcional al peso del material que se encuentra encima, y está acompañado generalmente por una compresión horizontal.

La magnitud del esfuerzo horizontal es por lo común de casi un cuarto del esfuerzo vertical, aunque las condiciones pueden ser muy diferentes en los lugares -- donde hayan operado fuerzas geológicas, recientes o antiguas, y donde la estructura de la roca no es uniforme.

La presencia de una cavidad dentro de la masa del terreno cambia inevitablemente el patrón del esfuerzo.

Se consideran tres casos:

$$H = 0, \quad H = P, \quad H = 1/4 P.$$

El segundo caso representa un patrón hidráulico de presión y, el tercer caso es más típico de las consideraciones naturales.

Los esfuerzos que tienen un particular interés son los esfuerzos circunferenciales en la corona del túnel (A) y al nivel del eje (B). En el primer caso con carga vertical solamente, se desarrolla un esfuerzo de la tensión P en A y un esfuerzo de la compresión de $3P$ en B, pero se sigue hacia afuera en una distancia de un ra dio a lo largo de los radios verticales y horizontales respectivamente, ambos regresan hasta los esfuerzos generales que son respectivamente cero y P .

En el segundo caso, tiene lugar un esfuerzo en la - compresión de $2P$, tanto en A como en B, disminuyendo -- también hacia afuera hasta el esfuerzo general P a una distancia de un radio.

En el tercer caso se experimenta un pequeño esfuerzo a la tensión en A y un esfuerzo a la compresión de aproximadamente $2.7 P$ en B.

En todos los casos, los esfuerzos radiales son necesariamente como en la superficie del corte. Aumentan hacia afuera hasta sus valores generales. Se podrán usar pernos de anclaje a las rocas para incrementarlas.

Las suposiciones del comportamiento uniforme y elástico raras veces se presenta en la práctica, pero la indicación de los esfuerzos del terreno dentro de los límites $-P$ a $+3P$ es útil cuando se correlaciona con la resistencia a la compresión del terreno, como una guía para determinar la necesidad de un soporte estructural.

En las montañas, donde han ocurrido muchos plegamientos y fallas, los esfuerzos en el terreno pueden ser altos e irregulares. Las fuerzas geológicas residuales pueden ser enormes, y cuando actúan sobre rocas que tengan plasticidad, las presiones de compresión muy grandes obligan a utilizar los métodos de excavación en terrenos blandos.

La señal de una posible tensión indica la necesidad de ademar terrenos blandos que tienen roca o ninguna resistencia a la tensión.

La magnitud y sincronización de los soportes comprenden gran parte de la habilidad para construir túneles en terrenos blandos.

9.-) EXCAVACION EN TERRENO BLANDO.

Para la excavación de túneles el terreno blando es tá considerado en general: las gravas, limos, arcillas y depósitos aluviales. Terzaghi, basándose en el comportamiento de dichos terrenos los clasificó en las categorías siguientes: compacto, desmoronado, deslizante, no compacto con roca alterada y esponjoso. Las propiedades y comportamiento dependerán del contenido y movimiento del agua.

En terrenos blandos, con cualquier categoría que no sea el compacto, siempre será necesario alguna forma de soporte inmediato, mediante ademado, escudos, revestimientos permanentes o una combinación de ellos.

a.-) SUELOS GRANULARES.

La grava o la arena, a menos que estén naturalmente cementadas o que se les haya inyectado algún producto, tenderán a resbalar en cualquier frente expuesto -- hasta alcanzar su ángulo de reposo; es probable que -- cualquier flujo de agua arrastre la arena fina, esta -- clase de movimiento no es conveniente en cualquier esca

la que no sea la más pequeña, y es necesario en el -- frente para impedir su inicio.

Un ademe ajustado del frente, con maderas angostas horizontales que se colocan una por una desde arriba -- hasta abajo, mantiene a un mínimo el riesgo de deslizamiento del terreno expuesto.

Algunas veces es necesario abatir el nivel de agua en el frente con desagüe subterráneo tan cerca del piso como sea posible. Para realizar lo anterior se puede -- utilizar un pozo filtrante en el piso, excavar desde la superficie fuera del túnel o un drenaje de alivio en la sección revestida del túnel donde ya está asegurado el terreno.

b.-) LIMO.

El limo tiene el grano más fino y exige todavía mayor cuidado especialmente en presencia de agua. Sus -- propiedades son muy sensibles al contenido de agua. Si se dejan secar los limos se vuelven frágiles y se desmo -- ronan con facilidad, si se humedecen, se vuelven rápidamente fluidas. Su permeabilidad es más baja que las --

arenas, pero suficientemente elevada para que el agua - se absorva o se descargue con mucha facilidad.

Es esencial que el ademado quede bien ajustado, a menos que las condiciones sean especialmente favorables. Por lo general, la inyección de cementantes no es satisfactoria en los limos debido a la incapacidad de penetrar a través de la fina estructura de los poros, a menos que se utilicen lechadas de productos químicos muy costosos y con baja viscosidad.

c.-) SUELOS ORGANICOS.

Se deben de mencionar también los limos y arcillas orgánicas, en las cuales la materia vegetal descompuesta es un constituyente típico. Las propiedades físicas difieren apreciablemente de las de los suelos inorgánicos, su permeabilidad es baja y comprensibilidad alta. El contenido orgánico origina gases frecuentemente nocivos, por lo que recomienda durante la construcción de túnel una ventilación adecuada y suficiente.

d.-) ARCILLA.

La arcilla posee propiedades cohesivas y plásticas muy valiosas que pueden proporcionar un excelente medio para la construcción de un túnel, excepto cuando es demasiado blando o esté muy agrietado.

Su permeabilidad es baja y, excepto cuando está -- agrietada, presenta un sello contra la entrada del agua. No obstante, puede expandirse lentamente cuando está ex puesta en una excavación y ejercer una creciente presión activa sobre cualquier soporte o revestimiento.

Bajo un cambio de carga la arcilla tendiese a deformarse debido a la plasticidad y deslizarse por el -- frente, lentamente en la arcilla compacta y aún más len to en la arcilla blanda.

El agua que entra a lo largo de las grietas puede arrastrar el material y ampliar el paso de agua; también puede reblandecer la arcilla. Por lo tanto se deberá considerar cualquier mancha de humedad presente en la arcilla del frente como señal de filtraciones.

La expansión de las arcillas es atribuible general mente a que el agua de los poros se desplaza al espacio

donde se ha relajado el esfuerzo, debido a la excavación que existía previamente.

e.-) HERRAMIENTAS.

Las herramientas básicas para la excavación cuando no se utilicen explosivos son el pico y la pala, pero con equipo mecánico auxiliar. En la excavación en arcilla, la pala para arcilla operada neumáticamente junto con el pico son las herramientas más utilizadas en las excavaciones para romper y perfilar el frente.

Si las dimensiones lo permiten y condiciones, la operación se puede mecanizar a un más utilizando una máquina del tipo que va sobre rieles.

La excavación continua se puede llevar a cabo por medio de una excavadora de tambor o por una máquina con cabeza giratoria de sección completa o por cabezas cortadoras oscilantes.

T I P O S D E T U N E L E S

10.-) EXCAVACION DEL TUNEL EN TODO EL FRENTE.-

Cuando es posible para ahorrar tiempo y trabajo y para lograr una eficiente mecanización de las operaciones, - se utiliza la excavación en todo el frente de roca, los carros de perforadoras, montadas en vía de ferrocarril o sobre ruedas de hule, lleven las barrenas de alta velocidad. El escombrar se lleva a cabo por medio de cargadores mecánicos. Donde es posible, el escombro se -- lleva en camiones de Diesel, o en trenes de grandes vagonetas tiradas por locomotoras accionadas por baterías si las Leyes prohíben motores de combustión interna.

a.-) LIMITES DE LA EXCAVACION.- Los planos para el concreto prescriben, los perfiles de la excavación. -- Una Línea Interior A representa la sección teórica mínima que se ha de excavar; a ésto se añade una tolerancia, generalmente de 15.24 cm. hasta la Línea B o Línea De - Pago. Cualquier cantidad que sobrepase esta línea co-- rrerá por cuenta del Contratista y se rellenará a sus - expensas.

b.-) VOLADURAS.- Las plantillas de perforación y - las cargas para la voladura se determinan por las carg

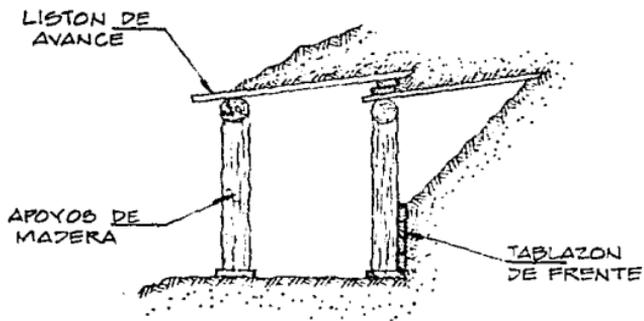
terísticas de la roca, la fragmentación que se desea para facilitar el escombrar y las condiciones externas, - como la cercanía de estructuras sensibles. El procedimiento lo debe efectuar un experto con experiencia en voladuras y es posible que haya que modificarlo en el transcurso de la construcción, el grupo central de huecos, que es el que se vuela primero, se barrena convergentemente, de manera que se obtiene una sección cónica en la voladura. Se procede con la voladura hacia la periferia, con una pequeña demora entre cada etapa. Un centro de 15.24 cm. a 20.32 cm. de diámetro, o hueco "de encender", sin carga, funcionando como una aventura de desahogo, lo que mejora el efecto de la voladura. Los juegos de barrenos tienen generalmente 3.05 m. de profundidad, pero pueden tener más o menos de acuerdo con el tipo de roca. Cuando se desea una sección tan lisa como sea posible, se usó una perforación de límite y un anillo de huecos alrededor de la periferia, bastante próximos entre sí.

c.-) SOPORTES TEMPORALES.- Prácticamente todos los túneles en roca necesitan algunos soportes temporales. Se puede usar madera en túneles piloto y pequeñas galerías de avance. Para secciones transversales mayores, los marcos de acero son más económicos debido a su re-

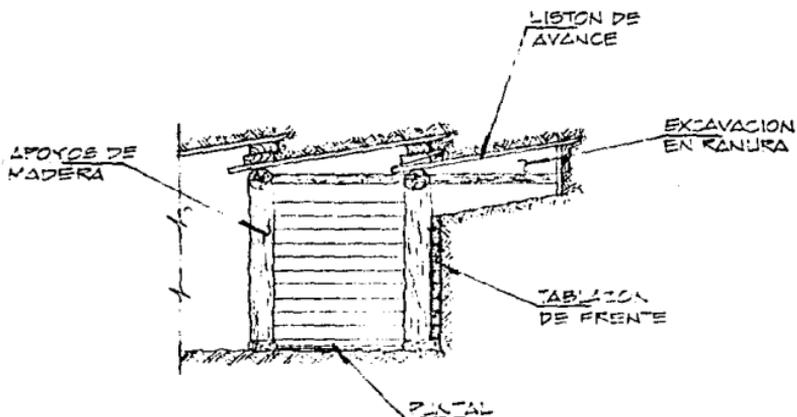
sistencia y facilidad de instalación. Se construye de vigas I laminadas en frío para darles forma. En túneles de pequeñas dimensiones con arcos circulares, los marcos pueden estar formados por armazones continuas. En túneles mayores o arcos adintelados, los marcos consisten en postes y arcos separados (Fig.6.9) donde sólo sean necesarios apoyos para el techo, los arcos pueden apoyarse en planchas que descansen en rocas fijas. Las secciones de acero son generalmente uniformes para toda la longitud del túnel, y el espaciamiento normal es de 1.22 m., pero se puede reducir a 0.61 m. o aumentarlos hasta 1.83 m. Se deben montar los marcos tan pronto como se haya retirado toda la roca suelta. Inmediatamente después se debe calzar el entramado entre el acero y la superficie de la roca a intervalos que varían de -- 0.91 m. a 1.52 m. para evitar que se inicien movimientos en las rocas. Los armados de acero deben dejar espacio libre en el coronamiento entre patín inferior y la superficie del concreto para el paso de la tubería que deposita el concreto.

Es preciso colocar un revestimiento de madera o -- acero entre marco y marco, la cantidad de revestimiento dependerá de las condiciones de la roca. El revesti-

FIGURA 6.9 FIG. No 69



LOS PORTICOS DE MADERA MANTIENEN LOS LISTONES DE AVANCE EN LA EXCAVACION EN EL TERRENO.



LA EXCAVACION EN TERRENO MOVIEDO REQUIERE TABLAZON DE FRENTE.

miento puede ser prácticamente continuo, o puede haber espacio sin revestimientos entre las láminas, según lo requieran las circunstancias. La presencia de roca muy fragmentada puede requerir colectores entre los marcos si el agua está presente. Los colectores se construyen de canales enlazados entre sí el espacio entre los colectores y la roca debe rellenarse con material seco para permitir que el agua corra hasta el sistema de drenaje.

Las cargas concentradas sobre los marcos y en los puntos de estibación produce momentos flectores en los entramados. La tabla II presenta fórmulas para las cargas sobre los soportes de los túneles en la roca.

Son preferibles las secciones circulares y los soportes de anillo en los túneles, en rocas con muchas fallas o en áreas de presión, particularmente en áreas sísmicas (Fig. 6.10).

Se deben utilizar pernos de techo para sostener rocas en capas horizontales, impedir que la roca sometida a esfuerzos intensos "estalle", o asegurar roca sólida pero con algunos bloques. Los pernos tienen por lo general 2.54 cm. de diámetro y 2.44 m. de largo. Se pueden empalmar para obtener mayores longitudes. Esta lon

gitud debe ser suficiente para proveer agarre en la roca sólida más allá de la probable línea de fractura para el anclaje en la roca sólida, el extremo de cada perno puede hundirse e insertar una cuña. La cuña abre -- "la cola de pescado" cuando se clava en el perno, a fin de que el extremo tenga agarre en la roca. Un anclaje más efectivo puede lograr con uno o más magnetos de -- conexión de forma cónica, que se expande al enroscar el perno. Se pueden usar, a veces, varillas corrugadas de acero de refuerzo, insertadas dentro de los huecos de los barrenos. Proporcionan fuerza adecuada de anclaje. Sin embargo, con cualquier método se deben de probar -- los pernos para resistir la fuerza de extracción. Para mantener la roca en su lugar se desliza una placa cuadrada sobre la parte roscada y expuesta y se aprieta -- bien una tuerca contra la placa.

Otro tipo de perno tiene un manguito perforado y se coloca el barreno en la roca y se lleva de enlechado a través de las perforaciones en contacto con la roca. La adherencia entre el perno, el enlechado y la roca -- proporciona la fuerza de anclaje.

La utilización de cemento rociado como un soporte preliminar para los túneles en roca, se desarrolló en Europa y ha tenido también éxito en Norteamérica. Tan pronto como sea posible después de la voladura, mientras se lleva a cabo el escombrar, se rocía una capa de concreto en el techo. El concreto se hace con un agregado bien graduado, de un tamaño de hasta 3/4 de pulg. que se mezcla en seco con cemento y un agente acelerador, se hace salir la mezcla por una boquilla a presión, por medio de bombas especiales. El agua de la mezcla se añade en la boquilla; el fraguado inicial tiene lugar en unos 30 a 120 seg., el fraguado final en 12 minutos.

El espesor de la capa inicial puede variar de 5.08 cm. a 10.16 cm. lo que dependerá de las condiciones de la roca. Se pueden rociar capas adicionales según se necesiten.

La boquilla la puede manejar directamente un operador, o puede fijarse a una pluma operada por un obrero emplazado bajo el techo protector del jumbo. Se ha tenido éxito con la aplicación automática en túnel barrenado a máquina.

El concreto lanzado se rocía sobre las paredes después que se termine de escombrar. Es preciso interceptar y drenar cualquier fuerte influjo de agua por escombrar.

Es preciso interceptar y drenar cualquier fuerte influjo de agua por medio de insertos de concreto colado. Son ejecutados con operadores bien adiestrados y una cuidadosa supervisión para obtener buenos resultados. Bien ejecutado, el método se puede utilizar con éxito en roca fracturada.

La resistencia del concreto en el lugar alcanza de 14.06 a 17.58 Kg/cm² en 2 horas y de 98.43 a 105.46 -- Kg/cm² en 12 horas.

La resistencia última a compresión de 100.72 a -- 152.24 Kg/cm³ es como un 15% menor que el mismo concreto acelerador.

T A B L A II

TABLA CARGA Hp EN METROS DE ROCA SOPORTADA
POR EL TUNEL*

CONDICIONES DE LA ROCA	Hp, METROS	OBSERVACIONES
1.- DURA E INTACTA	CERO	REVESTIMIENTO LIGERO O PERNOS EN LA ROCA, SOLAMENTE SI HAY AS TILLADO O DESCONCHADO.
2.- DURA, ESTRATIFICADA O ESQUISTOSA	0 A 0.5B	SOPORTES LIGEROS, - LA CARGA PUEDE CAMBIAR ERRATICAMENTE DE UN PUNTO A OTRO.
2.- MACIZO, MODERADAMENTE AGRIETADA	0 A 0.25B	
4.- MODERADAMENTE, EN BLOQUES Y AGRIETADA**	0.35(B+Ht) a 1.10(B+Ht)	NO HAY PRESION LATERAL.
5.- MUY FRACTURADA EN BLOQUES Y	0.35(B+Ht)A 1.10(B+Ht)	POCA O NINGUNA PRESION LATERAL.
6.- COMPLETAMENTE TRITURADO QUIMICAMENTE INTACTA.	1.10(B+Ht)	CONSIDERABLE PRESION LATERAL. REQUIERE UN SOPORTE CONTINUO EN LOS EXTREMOS INFERIORES DEL CASTILLO, O SI NO CASTILLOS CIRCULARES.

- 7.- ROCA DESCOMPUESTA 1.10(B+Ht)A FUERTE PRESION LATE
A PROFUNDIDAD MO- 2.10(B+Ht) RAL SE REQUIEREN --
DERADA. PUNTALES INDESTIDOS.
SE RECOMIENDAN CAS-
TILLOS CIRCULARES.
- 8.- ROCA DESCOMPUESTA 2.10(B+Ht)A IGUAL QUE PARA EL -
A GRAN PROFUNDI- 4.50(B+Ht) TIPO SIETE.DAD.
- 9.- ROCA HINCHADA HASTA 76.20m. CASTILLOS CIRCULA--
NO IMPORTA - RES. EN CASOS EX--
EL VALOR DE EL VALOR DE TREMOS, USAR APOYOS
(B+Ht). AJUSTABLES.

* Si la profundidad de la roca es mayor de (1.4 B+ Ht) donde B es el Ancho y Ht la Altura del Túnel.

Si el Techo del Túnel está permanentemente por encima del nivel freático, los valores para los tipos 4, pueden reducirse en un 50%.

C A P I T U L O S I E T E

- RECOMENDACIONES.

Como ya se vio, para ser un diseño adecuado de un túnel, es necesario desarrollar una secuencia de investigación lo más detallada posible, para así tomar el trazo más conveniente y económico para la construcción del túnel.

Herramientas valiosas y necesarias con la que contamos son: Planificación, topografía, investigación, - geología, investigación de campo, métodos de perforación, muestreo, pruebas IN SITU, excavaciones exploratorias, etc.

Una vez hecho, los diferentes trazos y elegir el mejor, considerando las características del terreno, se busca un procedimiento de construcción, el cual nos de un buen avance de obra, sin olvidar desde luego la capacidad técnica para su elaboración.

PRINCIPALES CUALIDADES DE IMPORTANCIA PARA LA EXCAVACION DE TUNELES EN SUELOS BLANDOS.

a) OBJETIVOS: Todos los avances recientes se han enfocado a la integración del diseño y la construcción -

como un proceso industrial unificado, conocido como "INGENIERIA DE SISTEMAS" muchos de los problemas son de -- cálculo y estrategias para lograr los mejores métodos - de eliminación de los desechos de excavación y para el acarreo de los materiales para el revestimiento, así co mo para la instalación de servicios esenciales, ilumina ción y energía, bombeo y abastecimiento de agua, venti lación, etc., y la prolongación continúa hacia delante de dichos servicios según avanza el túnel.

El objetivo es concentrarse en el trabajo básico en el del túnel, es decir la excavación y soporte del te rreno y el manejo del agua subterráneo.

ESFUERZOS EN EL TERRENO.- Es de mucha importancia la observación de los estados de esfuerzos, ya que en - terrenos no alterados ya sean blandos o rocosos, este -- aumenta con la profundidad.

Las fuerzas geológicas residuales pueden ser enor mes, y cuando actúan sobre rocas que tengan plasticidad las presiones de comprensión muy grandes obligan a uti lizar los métodos de excavación de terrenos blandos.

EXCAVACION EN TERRENO BLANDO.- En el sentido apli cado a la excavación de túneles en terreno blando compren

de en general las gravas, arenas, limos, arcillas y depósitos aluviales basándose en el aspecto de su comportamiento.

Las propiedades y comportamiento dependerán de un alto grado del contenido y el movimiento del agua, cuyo manejo constituye un aspecto vital de una operación segura y eficiente. El manejo del agua se puede llevar a cabo de diversas maneras: bombeo, abatiendo el agua del suelo, congelación, inyección de selladores y aire de presión.

FRENTE ADEMADOS.- Las características fundamentales de la excavación en terrenos blandos se tratarán mejor explicando algunos ejemplos:

Frente en arcilla.- Se pueden utilizar frentes de este tipo para preparar el acceso de una excavación ascendente en un túnel mayor, tender una tubería de drenaje ó de otro tipo, o construir muros preliminares a la excavación y el tacheado de un pasaje o cámara.

REVESTIMIENTOS.- En el caso de un túnel con revestimiento por segmentos excavado en terreno blando sin -

utilizar escudo, se requiere un ademado en la parte superior y en el frente.

La resistencia estructural y los espaciamentos entre las maderas del ademe se determinarán por la naturaleza del terreno, el tiempo durante el cual sea necesaria el soporte y la importancia de proteger la capa superpuesta del terreno contra todo asentamiento.

DIMENSIONES DEL TUNEL.- Entre las dificultades que aumentan con las dimensiones del frente, la mayoría en un grado fuera de proporción y a los cuales hay que poner -- particular interes, se encuentran:

Volumen del material alterado y cantidad de movimiento.

Acceso a todas las partes del frente.

Apuntalamiento del frente expuesto.

etc.

CONTROL DE AGUA.- El control de agua es algo más -- que un mero problema de impermeabilizantes y bombas; el agua, como un problema de construcción de un túnel debe estudiarse desde tres puntos de vista.

- 1.- La hidrología del terreno.
- 2.- La mecánica de suelos.
- 3.- Cálculo para la cantidad y la colocación de bombas.

EL ARTE DE EXCAVAR TUNELES.- Los problemas de excavación en los túneles tienen una naturaleza más tridimensional que cualquier otro tipo de excavación. Son hasta cuadrimensionales en el sentido de que el tiempo representa un factor importante, debido a que los esfuerzos del terreno, que ha sido abierto experimentan cambios continuos - y el tiempo que tome instalar el soporte puede llegar a ser determinante.

Al excavar túneles en suelos blandos existe a veces la probabilidad y siempre la posibilidad de que se descubran condiciones inesperadas que, según avance el frente del túnel, pueden ser algunos veces peligrosas sin importar cuán detallados y elaborados sean las investigaciones y estudios.

OPERACIONES CON AIRE A PRESION.

USOS Y LIMITACIONES.- Se utiliza el aire a presión en la excavación de túneles con el fin de hacer posible

la construcción de los pasos abajo de un cuerpo de agua - en condiciones que, de otra manera, serían sumamente riesgosas o imposibles. Los obreros pueden trabajar con aire a presión, pero existen limitaciones y riesgos fisiológicos que hacen necesario el cumplimiento de ciertas precauciones especialmente a presiones elevadas.

SUMINISTRO DE AIRE.- Los primeros puntos que se deben resolver al utilizar el aire a presión en la construcción de túneles serán:

- 1.- Cuál será la máxima presión de aire preveçible.
- 2.- Cuál será la presión adecuada de trabajo.
- 3.- Qué volumen de aire habra que suministrar.

TUNELES EN ROCA.

Requisitos generales.-

La excavación de túneles en roca utilizando la perforación y los explosivos constituye inevitablemente una -- operación cíclica y no continúa. El ciclo esta formado -- por los siguientes elementos.

Perforar el frente a un patrón y profundidad adecuada.

Retirar el equipo perforador.

Cargar con explosivos y retirar personal.

Detonar las cargas. etc.

ESFUERZOS.- El objetivo al excavar un túnel a través de la roca es lograr que los esfuerzos y deformaciones en el terreno y en los ademes temporales y permanentes se mantengan en todo momento dentro de los límites seguros -- aceptables.

Cuando el trabajo avanza con rapidez y los soportes se localizan cerca del frente, tal vez todo vaya bien; pero cualquier retraso puede generar un retraso puede generar un notable aumento en la carga y alteración de la estructura de la roca e iniciar un sobreesfuerzo ó derrumbe.

La magnitud y patrón de la redistribución de los es fuerzos depende de diversos factores, entre los que se en cuentra:

- Tipo de roca.
- Resistencia y otra propiedad de la roca.
- Uniones y discontinuidades.

Los es fuerzos se pueden evaluar empíricamente ó -- por medio de análisis matemáticos y de laboratorio, in--- cluyendo el uso de elementos finitos, rebizados por compu tadoras.

CARACTERISTICAS DE LAS ROCAS.

La calidad de la roca se debe evaluar dentro del contexto de la perforación y el uso de explosivos. Muy pocos son tan duras como para que no puedan ser con barrenos comunes con puntos de Carburo de Tugstegno; algunas rocas poco sólidas, con una estructura semejante a la arcilla, tienden a atascar los barrenos, se pueden desintegrar localmente y no dejan una perforación perfectamente circular.

PATRONES DE BARRENACION.

El número, distribución y profundidad de la excavación, los pesos de las cargas y la secuencia de encendido se deciden para ajustarse al tamaño, forma y condiciones particulares del túnel, el equipo disponibles y las características detonantes de la roca.

EXPLOSIVOS.

El manejo, almacenamiento y uso de los explosivos requiere especial cuidado. Cada etapa del proceso, desde la entrega en el lugar hasta su utilidad final, deberá ser regulada estrictamente y debe estar en todo momento bajo el control de personas responsables y conocidos.

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

- 1.- "FIELD INSTRUMENTACION IN GEOTECHENICAL ENGINEERING".
T.H. HANNA
TRANS TECH PUBLICATIONS (1995)
- 2.- "TUNELES EN SUELOS BLANDOS Y FIRMES".
SOCIEDAD MEXICANA DE MECANICA DE SUELOS, A.C. (1981)
- 3.- "INSTRUMENTACION Y MEDICION EN TUNELES".
SOCIEDAD MEXICANA DE MECANICA DE SUELOS, A.C. (1981)
- 4.- "MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES; GEOTECNIA; INSTRUMENTA
CION EN SUELOS".
COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD (1983)
- 5.- "RESISTENCIA DE MATERIALES I y II".
S. TIMOSHENKO
MC. GRAW HILL
- 6.- "THEORY ELASTICITY".
S. TIMOSHENKO
MC. GRAW HILL
- 7.- "EXCAVACIONES SUBTERRANEAS EN ROJO".
E HOEK R E.T. BROWN
MC. GRAW HILL (1980)
- 8.- "TUNELES, PLANEACION, DISEÑO Y CONSTRUCCION".
VOLUMEN 1 y 2
T.M. MEGAW - J.V. BARTLETT.
- 9.- "THEORETICAL SOIL MECHANICA LIMUSA (1990)".
TERZAGHIK
J. WILEY (1943)