



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

---

---

***FACULTAD DE INGENIERIA***

**“PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL TÚNEL  
SINALOENSE”**

**CARRETERA DURANGO – MAZATLAN**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**INGENIERO CIVIL**

**PRESENTA**

**JOSÉ TRINIDAD VEGA MORALES**

**DIRECTOR DE TESIS**

**ING. MARCOS TREJO HERNÁNDEZ**



**MEXICO, D.F.**

**2015**



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA  
COMITÉ DE TITULACIÓN  
FING/DICyG/SEAC/UTIT/42/2014

Señor  
**JOSE TRINIDAD VEGA MORALES**  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. MARCOS TREJO HERNÁNDEZ que aprobó este Comité, para que lo desarrolle usted conforme a la opción I. "Titulación mediante tesis o tesina y examen profesional", para obtener su título en INGENIERÍA CIVIL

**"PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL TUNEL SINALOENSE"**

**INTRODUCCIÓN**

- I. ANTECEDENTES**
- II. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CARRETERA DURANGO - MAZATLÁN**
- III. DESCRIPCIÓN DEL TÚNEL SINALOENSE**
- IV. ESTUDIOS REALIZADOS**
- V. PROYECTO EJECUTIVO**
- VI. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO**
- VII. PROGRAMACIÓN Y COSTOS**
- VIII. CONCLUSIONES**
- BIBLIOGRAFÍA**

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

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

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"  
Cd. Universitaria a 15 de Agosto de 2014

**EL PRESIDENTE DEL COMITÉ**

**M. EN I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ**

JLTS/MTM

**Dedico esta tesis a:**

**Mis Padres**

**Carmen Morales Garcia**

**J. Trinidad Vega Morales (q.e.p.d.)**

**Por el cariño y apoyo que siempre me brindaron**

**Mis hermanos.**

**Por el apoyo tanto moral y económico que cada uno de ellos  
contribuyo a mis estudios profesionales.**

**Sobre todo por ser mis hermanos.**

**A mi esposa e hijos**

**Por el apoyo y comprensión que siempre me han tenido.**

**Muchas gracias a todos**

# PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL TÚNEL SINALOENSE

## ÍNDICE

	Págs.
Introducción	6
I. Antecedentes	8
II. Descripción General de la Carretera Durango-Mazatlán	10
II.1. Ubicación del proyecto carretero	10
II.2. Ubicación del Túnel Sinaloense	11
II.3. Beneficios	14
III. Descripción del Túnel Sinaloense	17
IV. Estudios realizados	23
IV.1. Estudios previos	25
IV.2. Estudios Geológicos	25
IV.3. Estudios Geofísicos	28
IV.4. Estudios Geotécnicos	32
IV.5. Integración de Resultados	35
IV.6. Condiciones Geotécnicas básicas para diseño	36
IV.7. Proyecto Geométrico	38
IV.8. Análisis y Diseño de Túneles	44
V. Proyecto ejecutivo	47
VI. Procedimiento constructivo	57

<b>VI.1.</b>	<b>Levantamiento topográfico</b>	<b>57</b>
<b>VI.2.</b>	<b>Portales de entrada y salida</b>	<b>58</b>
<b>VI.3.</b>	<b>Enfilajes</b>	<b>70</b>
<b>VI.4.</b>	<b>Excavación con equipo mecánico en entrada al túnel</b>	<b>76</b>
<b>VI.5.</b>	<b>Excavación por medio de voladura (Bóveda)</b>	<b>79</b>
<b>VI.6.</b>	<b>Excavación por medio de voladura (Banqueo)</b>	<b>107</b>
<b>VI.7.</b>	<b>Excavación por secciones (Túnel Piloto)</b>	<b>112</b>
<b>VI.8.</b>	<b>Tratamiento de caídos</b>	<b>121</b>
<b>VI.9.</b>	<b>Tipos de suspensión</b>	<b>130</b>
<b>VI.9.1.</b>	<b>Concreto lanzado</b>	<b>131</b>
<b>VI.9.2.</b>	<b>Impermeabilización</b>	<b>136</b>
<b>VI.9.3.</b>	<b>Recubrimiento final</b>	<b>138</b>
<b>VI.9.4.</b>	<b>Pavimentos</b>	<b>141</b>
<b>VI.9.5.</b>	<b>Instalaciones hidráulicas</b>	<b>144</b>
<b>VI.9.6.</b>	<b>Instalaciones eléctricas</b>	<b>146</b>
<b>VI.9.7.</b>	<b>Instalaciones de Ventilación, Contraincendio, Comunicación, Señalización</b>	<b>150</b>
<b>VI.9.8.</b>	<b>Construcción de túnel falso</b>	<b>161</b>
<b>VII.</b>	<b>Programación y Costos</b>	<b>165</b>
<b>VIII.</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>191</b>
	<b>Bibliografía</b>	<b>193</b>

## Introducción

En 1941 se hizo la carretera Federal Durango – Mazatlán con una longitud de 330 km. Esta carretera es libre de peaje y la cual cuenta con 1,338 curvas de 60° **(Fig. No. 1)** lo que hace que el transporte sea muy complicado, los camiones de carga tenían que invadir el otro carril y grado de inseguridad era bastante alto. Se estima además que el tiempo de transporte de un camión de carga podía ser hasta de 10 hrs. sin embargo siempre se pensó en realizar una modificación con la finalidad de reducir el tiempo y brindar mayor seguridad al usuario.



Fig. No. 1 Topografía del original Espinazo del Diablo

Con la construcción de esta nueva autopista se reduce a 4 hrs. de camino para camiones de carga y en 2 hrs. y media en lugar de 6 hrs. para automóviles, lo que se traduce en ahorro de tiempo, gasolina y dinero.

En forma Adicional resulta una mayor competitividad con los puertos, se incrementará la conectividad en el eje Golfo – Pacífico, y de igual forma se podrá

cruzar el país en la parte norte, en menos de 24 hrs. de Mazatlán al Puerto de Matamoros por tráiler.

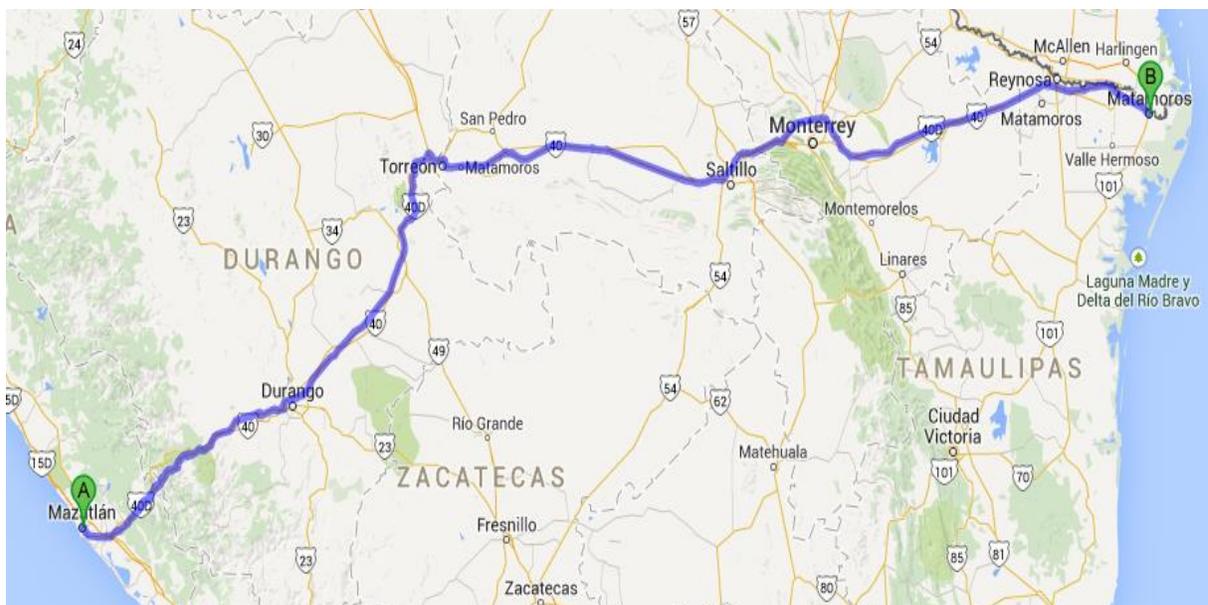
La carretera Durango – Mazatlán es un complemento muy importante con el Corredor Económico Interoceánico y conectará los mercados de Asia, a través del Puerto de Mazatlán, con los mercados de la Zona del Tratado de Libre Comercio de América del Norte, a través de la frontera Tamaulipeca y del importante Puerto de Altamira, Tamaulipas, este corredor abrirá atractivas oportunidades de desarrollo económico, que antes no se tenía.

## I. Antecedentes

La infraestructura del transporte fue y es un elemento indispensable para el crecimiento económico, la competitividad y la integración social de nuestro país, la carretera es un ejemplo de esto, ya que en la medida en que se amplía la cobertura mejora su estado físico, los tiempos de recorrido se disminuyen, la seguridad y comodidad aumentan y en consecuencia, se generan ahorros substanciales y benéficos para la población usuaria, lo que deriva en efectos favorables para la economía y el bienestar social.

Lo anterior para estar en las posibilidades de continuar con el mejoramiento de la infraestructura existente a través de la construcción, modernización y ampliación de carreteras en todas las regiones del país.

Para aplicar este esfuerzo, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes definió un sistema de corredores carreteros transversales como el de “Mazatlán – Matamoros”, que integra a Mazatlán, Durango, Torreón - Gómez Palacio, Saltillo, Monterrey, Reynosa y Matamoros (**Fig. No. 2**) que corresponde al proyecto de la Carretera Durango – Mazatlán.



**Fig. No. 2 Ubicación del corredor Mazatlán – Matamoros**

Paralelamente, tanto el Gobierno Federal como de los Estados de Durango y Sinaloa, actuaron impulsando la construcción de carreteras no troncales con obras, que revisten importancia para el desarrollo local y regional, que incluye su modernización, construcción de accesos urbanos, caminos interurbanos y suburbanos, libramientos y ampliaciones de vías cuya capacidad ha sido rebasada por el tránsito de proyectos carreteros asociados a desarrollos turísticos y nuevas vías que comuniquen comunidades apartadas y permitan satisfacer los requerimientos del crecimiento económico local, regional y nacional.

## II. Descripción general de la autopista Durango – Mazatlán.

La Autopista Durango – Mazatlán tiene una longitud de 230 km. con un ancho de corona de 12 m. la velocidad de diseño es de 110 km/h y está integrada por cortes a cielo abierto con volúmenes aproximados a 46,000,000 m<sup>3</sup> además se cuentan con 115 puentes, viaductos y pasos a desnivel, 61 túneles incluyendo las más importantes obras de este tramo carretero.

### II.1. Ubicación del proyecto carretero

La construcción de la carretera Durango-Mazatlán (**Fig. No. 3**) es solo una pequeña parte de todo el corredor Mazatlán - Matamoros, el cual tiene una longitud de 1,241 km y el tramo de Durango - Mazatlán es el último eslabón de la cadena.

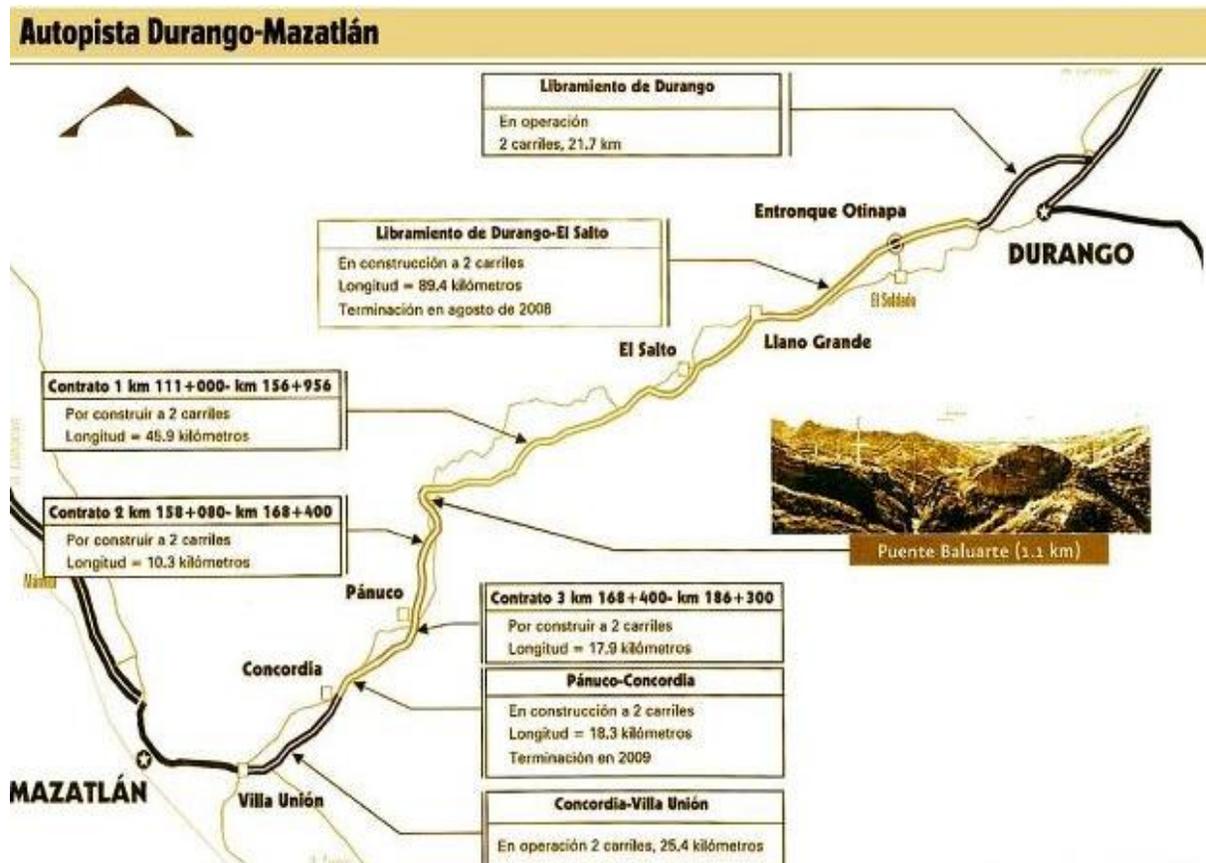


Fig. No. 3 Ubicación de la Autopista Durango - Mazatlan

La Autopista Durango - Mazatlán cuenta con 61 túneles que tiene una equivalencia a 19,402 metros lineales y más de 115 estructuras entre puentes y viaductos igual a 10,735 metros lineales, un trabajo de la ingeniería mexicana y por supuesto algunas asesorías extranjeras”

Dentro de las estructuras más importantes en la construcción de esta autopista está el Puente Baluarte (**Fig. No. 4**) que es el atirantado más alto del mundo con una longitud de 1,124 m. y un claro principal de 520 m. salvando una barranca de más de 402 metros de altura.



**Fig. No. 4 Puente el Baluarte. Autopista Durango - Mazatlán**

## **II.2. Ubicación del Túnel Sinaloense**

Otra de las estructuras importantes es el Túnel Sinaloense (**Fig. No. 5**) ubicado en el km 668+445 y concluye en el km 671+200 con una long. de 2,755 m.



Fig. No. 5 Ubicación del túnel el Sinaloense en la Autopista Durango - Mazatlán

Los 61 túneles van a estar iluminados y algunos serán inteligentes (9, los de más de 400 metros de longitud), tendrán sistemas de voz, datos, circuito cerrado y monitoreo.

La carretera Durango – Mazatlán es un proyecto de gran envergadura, podríamos decir que la construcción de la obra civil ya está terminada desde el mes de abril de 2013.

La autopista está construida de 12 m. de ancho: 2 carriles de 3.5 m más 2 acotamientos laterales de 2.5 m. **(Fig. No. 6 y 7)** aportando el ancho suficiente para transitar con confort y seguridad.

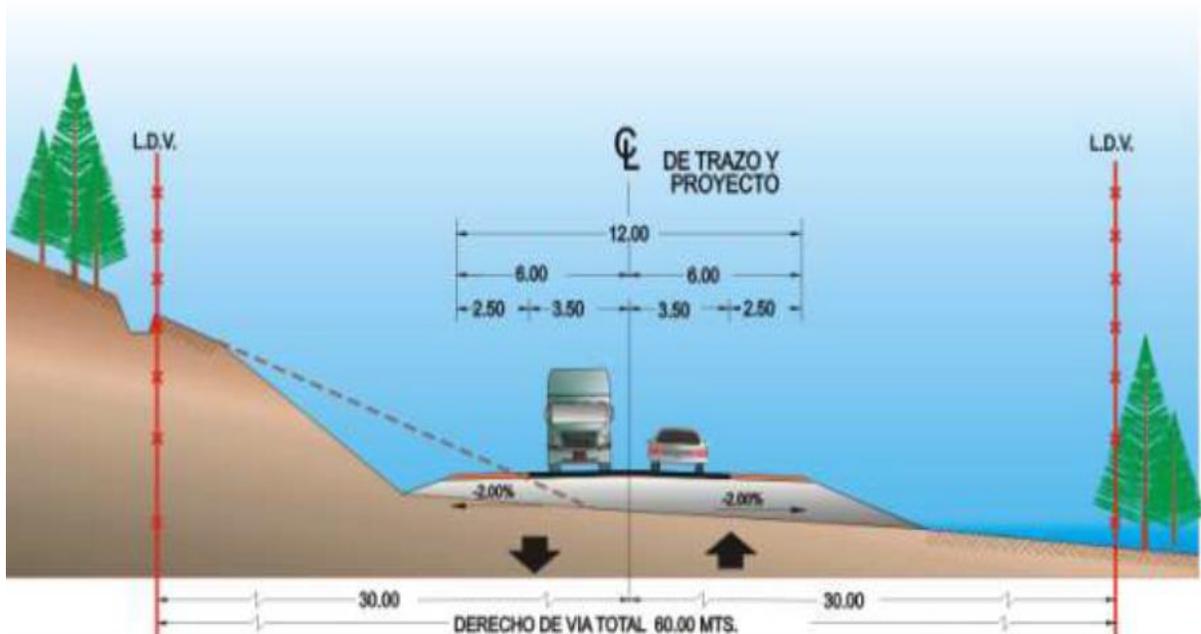


Fig. No. 6 Sección típica de la Autopista Durango - Mazatlán

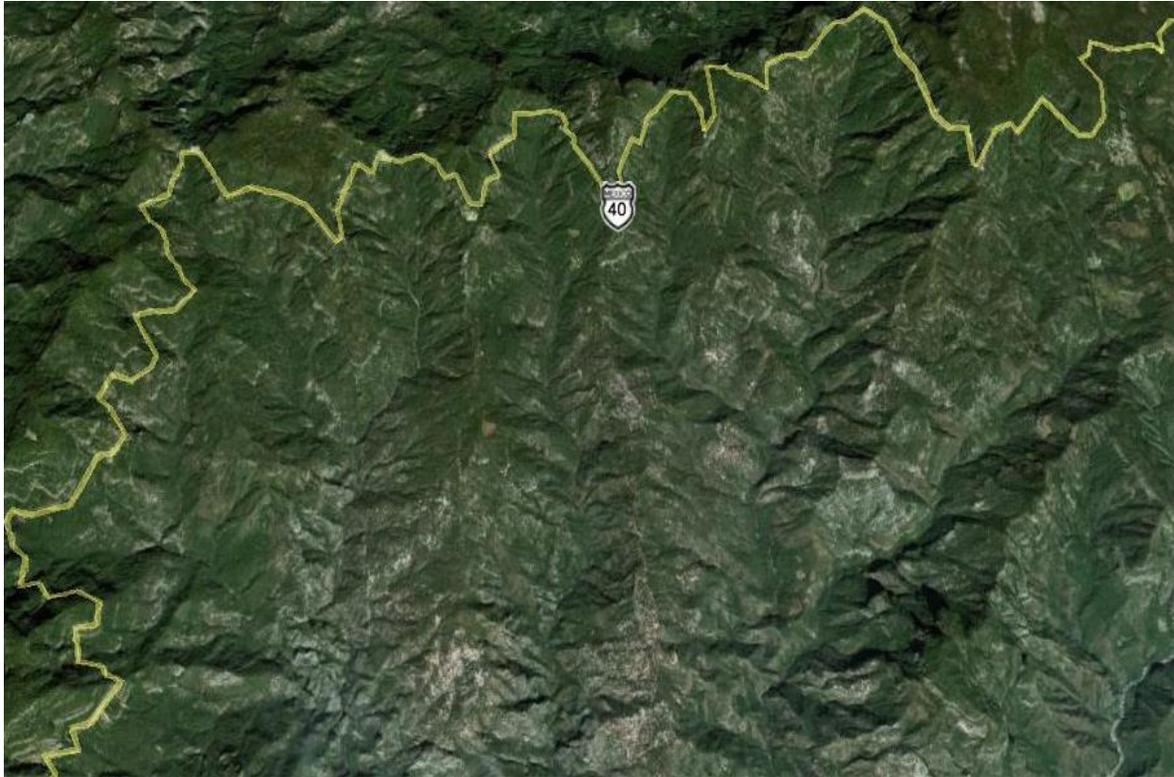
Para nadie es un secreto que las obras realizadas en el corredor Mazatlán - Matamoros constituyen un legado histórico para el norte del país y le brinda un sinnúmero de oportunidades en términos de desarrollo económico, social y turístico.



Fig. No. 7 Sección típica de la Autopista Durango – Mazatlán

### II.3. Beneficios

La carretera libre de peaje tiene una long. de 330 km tiene 1,338 curvas de 60° (**Fig. No. 8 y 9**) lo que hace que el transporte sea mucho más complicado, los camiones de carga tenían que invadir el otro carril y el grado de inseguridad era bastante alto. Se estima además que el tiempo de transporte de un camión de carga podía ser hasta de 10 horas, con esta nueva autopista se reduce a 4 horas de camino, y en 2 horas y media en vez de 6 horas para automóviles, lo que se traduce no sólo en ahorro de tiempo sino de gasolina y dinero.



**Fig. No. 8 Curvas Típicas de la Carretera No. 4 (Durango – Mazatlán)**



**Fig. No. 9 Curvas Típicas de la Carretera No. 4 (Durango – Mazatlán)**

Además resulta una mayor competitividad con los puertos, se incrementará la conectividad en el eje Golfo – Pacífico, y de igual forma se podrá cruzar el país en la parte norte, en menos de 24 horas de Mazatlán al Puerto de Matamoros.

Por otra parte, con la apertura de la carretera Mazatlán - Durango para el primer semestre del año 2014, se espera el mejor verano en número de visitantes para Mazatlán en muchos años.

Según un estudio de la SCT, el aforo por la supercarretera será de 4 mil 500 vehículos al día, lo que significaría más de 1.5 millones de autos circulando por Mazatlán al año.

De igual forma con esta autopista se incrementa de manera significativa la afluencia a Mazatlán, lo que lo convertirá en el centro turístico más importante del Pacífico norte, se mejora la conectividad entre la zona comercial e industrial del norte del país con el Pacífico mexicano. Asimismo, hace posible la comunicación entre los Estados del Golfo de México con los Estados de la Costa del Pacífico y conecta los Municipios de Concordia y Mazatlán en Sinaloa con Pueblo Nuevo, El Salto y Otinapa en Durango, beneficiando a más de un millón de personas asentadas en esas localidades, con esta obra se han creado aproximadamente 3,500 empleos directos y 12,000 indirectos y finalmente podemos mencionar que se minimizó el impacto ambiental, ya que se proyectaron numerosos túneles, puentes y viaductos reduciendo en gran medida el daño al ecosistema.

Sin lugar a dudas la autopista Durango – Mazatlán además de ser un desafío para la Ingeniería y la construcción en México, es una obra que crea un precedente en lo que se refiere a la construcción de carreteras en Latinoamérica y es un ejemplo a seguir para futuras obras.

### III. Descripción del Túnel Sinaloense

El Túnel Sinaloense ubicado entre el kilómetro 668+445 y 671+200 (**fig. No. 10 y 11**) forma parte del conjunto de 61 túneles que integra la autopista Mazatlán-Durango.



Fig. No. 10 Ubicación del Túnel Sinaloense



**Fig. No. 11 Portal de entrada del Túnel Sinaloense**

Este túnel inteligente es el segundo más largo del país con 2.755 kilómetros, sólo por detrás del Maxi túnel de Acapulco, que tiene 170 metros más de longitud.

Su construcción ha llevado cuatro años ante la dificultad que representa desarrollar un proyecto carretero dentro de la abrupta Sierra Madre Occidental, que cruza los Estados de Durango y Sinaloa.

El Sinaloense además de ser el segundo túnel más largo, es el que cuenta con el mayor equipo tecnológico en el país (**fig. No. 12**).

El túnel está iluminado y señalizado con letreros led, además en ambos lados hay luces de tráfico.



**Fig. No. 12 Iluminación y señalización del Túnel Sinaloense**

A lo largo de su longitud hay extintores y zonas de descanso, así como accesos al túnel auxiliar para emergencias.

Sobre el techo del túnel están los extractores (**fig. No. 13**) que se activarían en caso de un incendio evitando la acumulación de humo y pongan en peligro a las personas.



**Fig. No. 13** Equipo de ventilación del Túnel Sinaloense

El Sinaloense cuenta con un túnel “**Galería de emergencia**” alternativo que se utilizará para emergencias (**Fig. No. 14**). Este túnel alternativo tiene las dimensiones para que entre una ambulancia o se desvíe el tránsito en un sentido en caso de alguna contingencia.



**Fig. No. 14 Ubicación del Túnel Sinaloense y Galería de Emergencia**

El sistema de inteligencia, presente en el túnel central y el auxiliar, incluye:

- Sistema de alumbrado.
- Sistema de comunicación (teléfono SOS, megáfonos, cámaras de circuito cerrado de televisión).
- Sistema de ventilación (ventiladores reversibles, detectores de gases, cable sensor de temperatura).
- Sistema contraincendios (hidrantes, extintores, sistemas de bombeo).
- Sistema de señalización (pizarra electrónica, semáforos, salida de emergencia, vialetas).
- Control de sistemas (a través de fibra óptica).

Así como comunicación con los usuarios. El túnel tiene en la entrada un cuarto de control en el que están las computadoras, adicionalmente en el túnel hay cámaras de video y siempre va a haber una persona viendo lo que sucede en interior del túnel.

La inteligencia de este túnel, se enfoca en ahorrar dinero, reducir tiempos de traslado y salvar vidas.

La carretera Mazatlán - Durango, es la más compleja del mundo contará con dos centros de control macro, uno en cada extremo de la carretera, que van a monitorear los 61 túneles, 9 de ellos son inteligentes los restante solo estarán iluminados.

"El Sinaloense" representa el: 1.16 % del total del tramo III y el 44,16 % de longitud de los túneles.

#### **IV. Estudios realizados.**

Esta carretera fue concebida como una autopista de tipo A4, aunque en una primera etapa se planteó una sección de tipo A2, que sería ampliada posteriormente.

En la primera fase la vía cuenta con 12.0 m de ancho de corona, dos carriles de circulación de 3.5 m cada uno y acotamientos laterales de 2.5 m. No obstante se planteó que un tramo de 8 km, se construyera en su inicio con una sección de tipo A4, de cuatro carriles de 3.5 m de ancho cada uno y 21 m de ancho de corona.

Esa sección se definió en relación con la zona más accidentada del tramo donde se encuentran los puentes especiales Baluarte y Carrizo que, por su importancia y condiciones propias de diseño, se proyectaron para una sección de cuatro carriles y así evitar una ampliación de la autopista en la zona más accidentada del proyecto.

Dentro del desarrollo del proyecto se realizaron diferentes estudios como levantamientos topográficos, estudios geológicos, geofísicos y geotécnicos para conocer el tipo de terreno sobre el cual se construiría la carretera.

De los estudios geotécnicos, se obtuvieron sondeos, los cuales permitieron obtener muestras que fueron llevados a los laboratorios para determinar a su vez las propiedades mecánicas e hidráulicas de los suelos y rocas, con las que se obtuvo un modelo geotécnico, que permitió efectuar el diseño adecuado con el que se trabajó y así proyectar la obra.

Posteriormente se planteó el proceso constructivo más adecuado para cada proyecto de acuerdo con los estudios y análisis previos, se llevó a cabo la ejecución de la obra así como la supervisión y seguimiento técnico durante la construcción.

Dentro del proyecto geométrico, se analizó varias opciones de trazo (**fig. No. 15**), para la toma de decisiones y finalmente seleccionar la solución más adecuada

desde el punto de vista económico, técnico y funcional afín de realizar el proyecto ejecutivo.



**Fig. No. 15 Selección de la Ruta**

Entre las ventajas detectadas para esa opción de diseño destacan la mejora en el nivel de seguridad, en la comodidad, así como en la disminución del tiempo de recorrido y el bajo costo de inversión. La opción elegida y la que se consideró como la mejor en todos los aspectos, fue la construcción de una nueva autopista de altas especificaciones entre Durango y Mazatlán.

Partiendo de la consideración primordial para seleccionar la ruta de esta magna obra, fue el conceptualizar una carretera de altas especificaciones, para proporcionar a los usuarios seguridad y confort, con el mejor alineamiento tanto horizontal como vertical, hubo la necesidad de adoptar criterios dependiendo de las características de los suelos y rocas, para decidir las alturas máximas de cortes y terraplenes, para tomar en cuenta dentro del proyecto y la ejecución de túnel o de viaductos, con el objeto de lograr una vía lo más recta posible.

En las vías terrestres es aplicable el dicho popular de que la distancia más corta entre dos puntos es la línea recta. En regiones con condiciones orográficas difíciles, la aplicación en estricto sentido de esa regla llevaría a construir numerosos túneles,

en el pasado las dificultades técnicas encontradas y el correspondiente alto costo limitaron la construcción de ese tipo de obras, excepto en el caso de las vías de ferrocarril. Esa situación ha cambiado debido a las estrictas especificaciones aplicables al diseño de las carreteras modernas, las restricciones en materia de afectación al impacto ambiental así como los avances considerables que se han presentado en el arte de construir túneles.

Lo anterior coadyuvó en gran medida en el cuidado del medio ambiente, ya que se evitó modificar la superficie original del terreno en todos estos tramos donde se construyeron viaductos y túneles, y con ello se aseguró mantener intacto los corredores biológicos que utiliza la fauna propia del lugar y por supuesto se mitigaron los efectos ambientales que pudieran haber causado movimientos de material producidos por los cortes y terraplenes. En la ejecución de los túneles se trabajó simultáneamente, el procedimiento a emplear fue el método austriaco, ya que presentaba un mayor beneficio a la construcción que utilizar una maquina tuneladora, el proceso por medio de tuneladora es muy costoso y tendríamos que colocar una en cada acceso del tramo, por lo que se decidió trabajar con un método que nos permitiera realizar el proceso constructivo de manera eficiente y ajustándose a las necesidades de la construcción.

#### **IV.1. Estudios Previos**

Para establecer el marco geológico estructural y determinar las características de resistencia y calidad de la roca por excavar en cada uno de los 61 túneles de la autopista Durango - Mazatlán se realizaron estudios geológicos, geofísicos y geotécnicos apoyados con levantamientos topográficos en los distintos sitios.

#### **IV.2. Estudios Geológicos**

Se realizó un levantamiento fotogeológico regional básicamente orientado a la identificación de las principales discontinuidades (fracturas, pseudoestratificaciones e

hidrología del sitio, entre otros). A partir de ese estudio, se detectaron las estructuras geológicas mayores, tales como mega fallas y sistemas de fracturas regionales.

Se realizó entonces el acopio de la información de todos los túneles, la cual se organizó, sintetizó y estructuró para poder visualizarla e interpretarla. Se procuró uniformar los términos y simbologías aplicables a las unidades litológicas identificadas en cada túnel, para lograr una correlación litoestratigráfica y geotécnica coherente **(Fig. No. 16)**.

Se anexan los planos donde se reflejan los resultados de los estudios geológicos realizados en el túnel Sinaloense donde se identifica el tipo de material existente en el proyecto en cuestión.

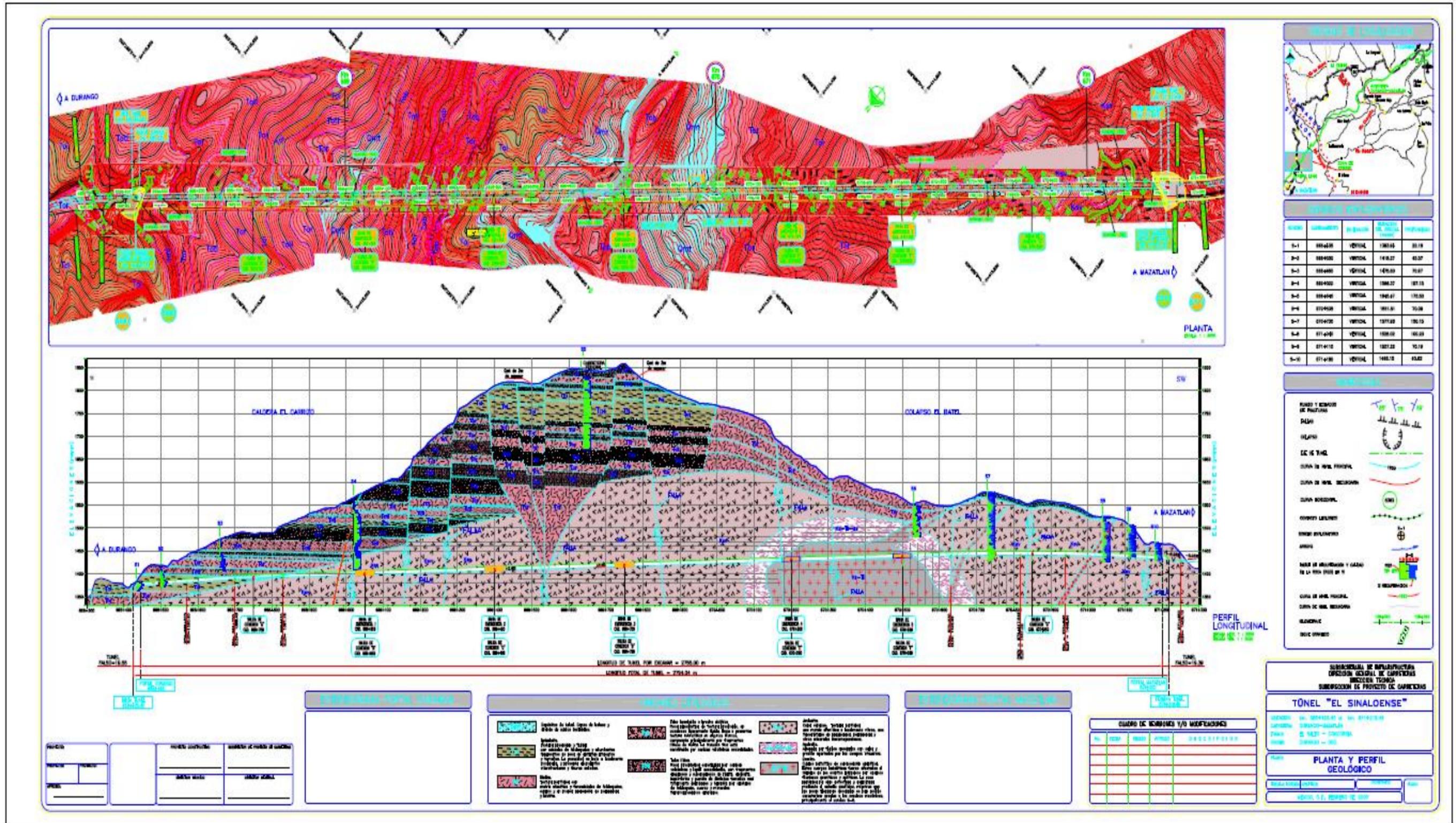


Fig. No. 16 Planta y perfil geológico

### IV.3. Estudios Geofísicos

El estudio geofísico con enfoque geotécnico (**Fig. No. 17**) se realizó con el propósito de conocer de manera indirecta las características del subsuelo mediante la aplicación de métodos geofísicos de resistividad en su modalidad de sondeo eléctrico vertical (SEV).

La aplicación del método de prospección eléctrica permite evaluar la variación de la resistividad con la profundidad asociada, por una parte, con respecto al contenido de agua que se aloja entre los poros y fracturas internas de la roca y a la presencia de minerales formadores de rocas (conductores o resistivos).

Con estos estudios, se correlacionó la información geofísica de las unidades estratigráficas de superficie, para establecer un modelo geológico conceptual, determinando la calidad de roca de los horizontes detectados. Previamente a la modelación de los datos geofísicos de campo, se revisaron los cálculos de la resistividad aparente y la coherencia de las curvas obtenidas.



Fig. No. 17 Equipo sondeo eléctrico vertical

Posteriormente, se proporcionaron valores suavizados al software Resix Plus, para obtener un modelo estratificado de cada uno de los sondeos. Los valores de resistividad y de espesor verdaderos se correlacionaron con la geología de superficie para definir las unidades u horizontes geoeléctricos.

Con esa información, se llevó a cabo sondeos exploratorios directos en sitios necesarios, con la finalidad de obtener muestras de los materiales de las zonas a construir los túneles. Para esos sondeos se emplearon diversos equipos rotatorios, como el **Winkie GW- 15” (Fig. No. 18)**.

Para el muestreo continuo, en cada uno de los sondeos se emplearon barriles IAW, con diámetro interior de 35 mm. El motivo por el que se empleó equipo ligero para la ejecución de los trabajos fue la inaccesibilidad a los sitios donde se llevó a cabo las perforaciones, así como por las condiciones climatológicas existentes en el área.

Una vez realizados todos los trabajos de campo, las muestras obtenidas de los sondeos geotécnicos se llevaron al laboratorio con el fin de realizar los ensayos correspondientes y posteriormente la clasificación geomecánica.



**Fig. No. 18 Estudio Geotécnico.**

Se anexan planos del estudio y exploración geofísica del Túnel Sinaloense donde se puede apreciar los resultados obtenidos del estudio geotécnico ver la **(Fig. No. 19)**.

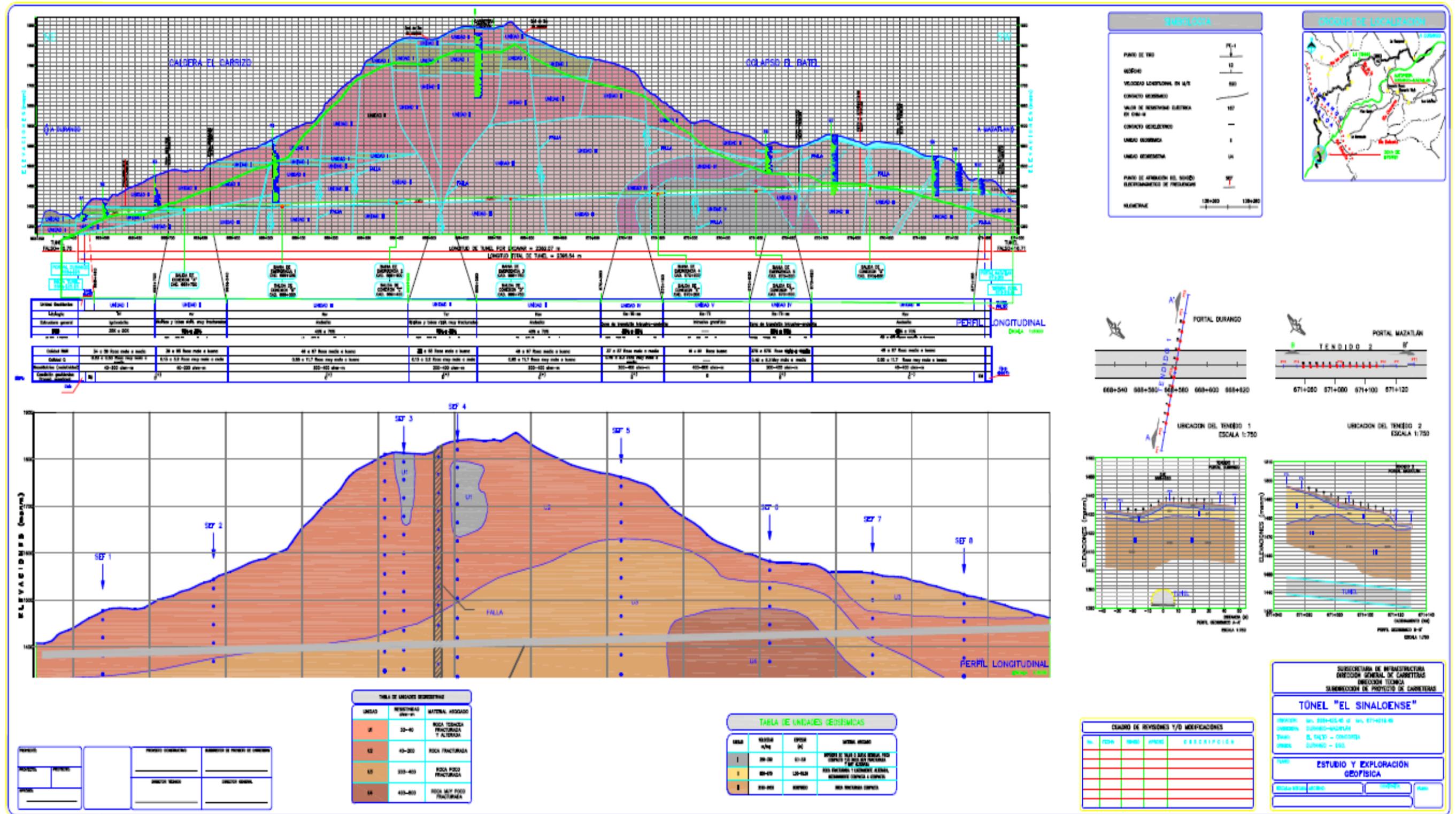


Fig. No. 19 Estudio y explotación geofísica

#### **IV.4. Estudios Geotécnicos**

Los ensayos geotécnicos consistieron en pruebas índice y mecánicas. En las primeras se obtuvo el peso y módulo volumétrico de la roca. En la segunda, su resistencia a la compresión simple y en pruebas triaxiales se determinaron los parámetros de resistencia y deformabilidad de la roca intacta; así mismo se efectuaron ensayos de resistencia por compresión diametral (prueba brasileña) y se determinó el índice de calidad de la roca (RQD, por sus siglas en inglés).

Las pruebas de resistencia a la compresión simple se realizaron con carga controlada, con capacidad de hasta 500 ton. de carga.

Se ensayaron muestras con un diámetro medio de 34.9 mm y una relación de esbeltez media de 2.61. Los ensayos de tensión brasileña se realizaron sobre discos de 3.5 cm de diámetro y 2.0 cm de espesor, aproximadamente. Los ensayos triaxiales se realizaron para presiones de confinamiento de  $S_3 = 7.5, 15$  y  $30$  MPa, aumentando la presión axial  $S_1$  hasta la falla. Ese proceso se repitió con tres probetas similares para las distintas probetas o muestras obtenidas en los sondeos realizados.

Se anexan los planos (**Fig. No. 20 y 21**) donde se reflejan los resultados de dichas pruebas e indican las diferentes condiciones geotécnicas en toda la longitud del Túnel.

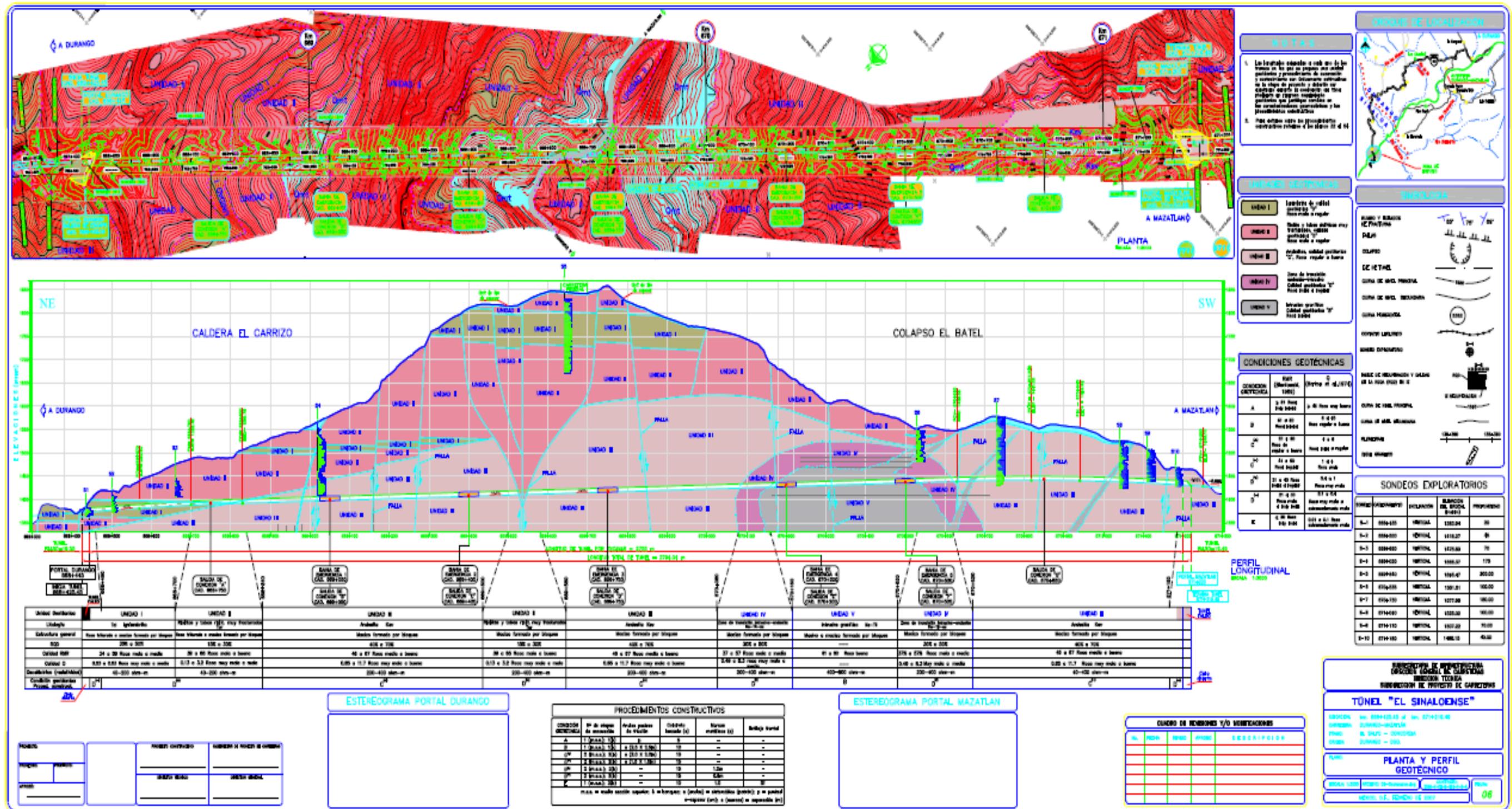


Fig. No. 20 Planta y perfil geotécnico

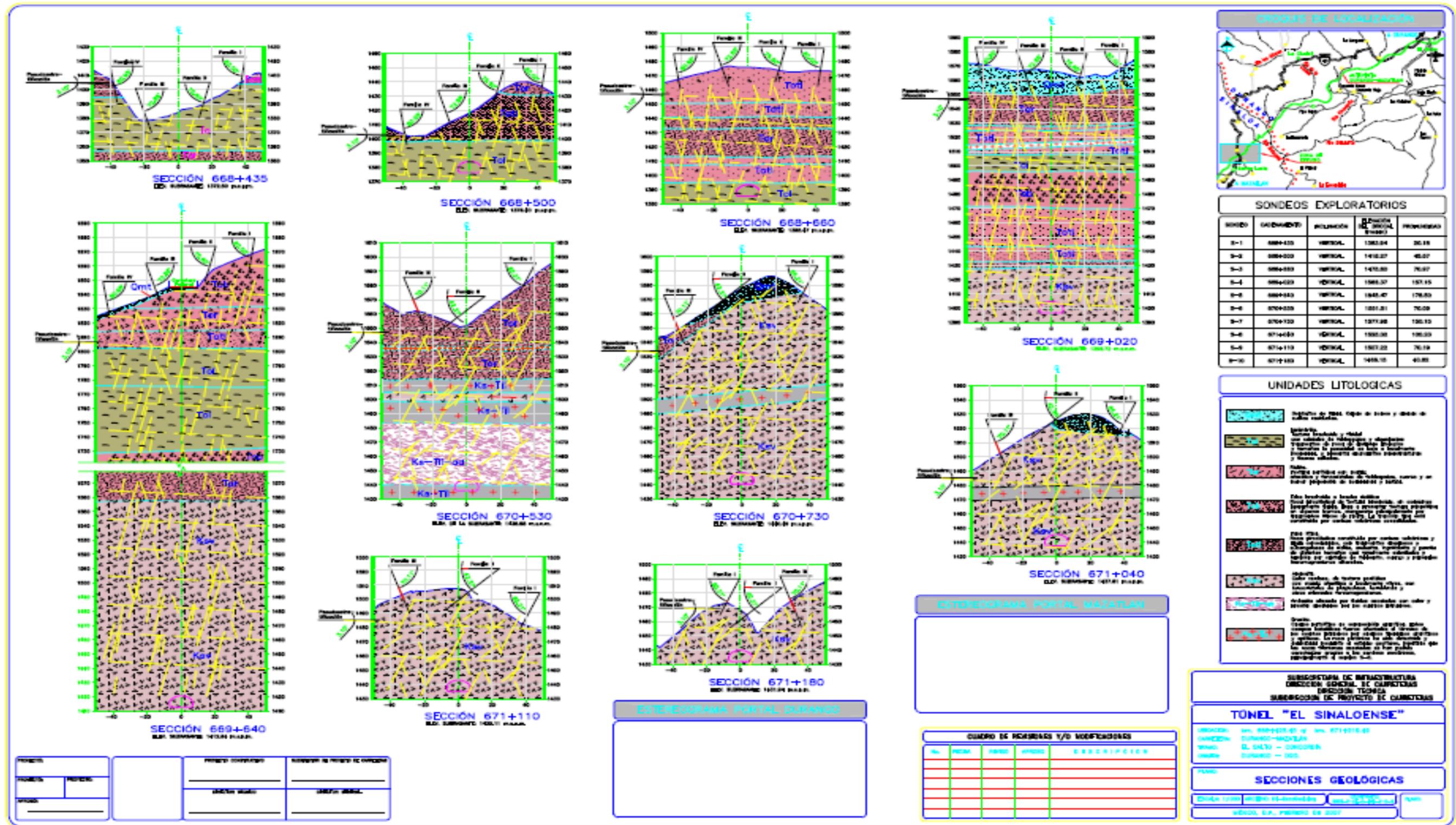


Fig. No. 21 Secciones geológicas

#### IV.5. Integración de Resultados

Para integrar los estudios, se tomaron en cuenta los resultados obtenidos de los levantamientos topográficos, los estudios geológicos y geofísicos y las pruebas de laboratorio y la integración geotécnica (**Fig. No. 22**) de este modo, se llegó a un prediseño adecuado de la excavación y de los sistemas de soporte y estabilización del terreno que aloja a cada uno de los túneles.

Una vez recabada y procesada la información de campo y laboratorio, y con base en la litología definida para cada uno de los túneles, se caracterizaron las unidades en términos cualitativos y cuantitativos. Las unidades de roca por excavar en cada uno de los túneles se denominaron, según convino de acuerdo con alguno de los sistemas más usuales de clasificación de masas rocosas para túneleo.



Fig. No. 22 Clasificación de rocas obtenidas en sitio

Las caracterizaciones geomecánicas utilizadas en los proyectos de todos los túneles son **Rock Mass Rating (RMR)** de Z.T. Bieniawski y la del Instituto Geotécnico Noruego, o sistema Q, desarrollada por Barton, Lien y Lunde. Ambas clasificaciones se basan en los datos de recuperación de núcleos, número de familias de discontinuidades, rugosidad y estado general de las juntas, presencia de agua y, adicionalmente, pueden considerar la resistencia de la roca matriz, la orientación de las discontinuidades respecto a la excavación y el tipo de obra.

De dicha clasificación se desprendieron las recomendaciones preliminares para el soporte de la excavación, tiempos de autosoporte y tamaño máximo del claro que no lo requiere. Se elaboró un perfil geotécnico integrado que muestra la distribución de las unidades geotécnicas e indican las clasificaciones geomecánicas a lo largo del eje de cada uno de los túneles. Los resultados de esos estudios permitieron determinar que, en la mayor parte de los túneles de la carretera, se excavaría en macizos rocosos duros y rígidos con distintos grados de fracturamiento.

Por otro lado, la profundidad de los túneles es menor a los 200 m, salvo el túnel El Sinaloense que tiene una cobertura máxima de 400 m aproximadamente.

#### **IV.6. Condiciones Geotécnicas básicas para diseño.**

La mayoría de las condiciones geotécnicas que atraviesan los túneles corresponden, por tanto, al caso en el que las solicitaciones de carga sobre los elementos de soporte temporal son del tipo de presión de aflojamiento, con bloques o cuñas potencialmente inestables y zonas de material degradado sobre la zona de clave y/o hastiales. Es así que se propusieron apriori siete condiciones geotécnicas básicas para fines de diseño (**Tabla No.1**); de acuerdo con las escalas de calidad propuestas respectivamente por Bieniawski y por Barton.

En la **(Tabla No.1)**, las condiciones geotécnicas **A y B** se caracterizan por macizos rocosos compuestos por una roca matriz maciza compacta y resistente, donde prácticamente no existen discontinuidades. Algunos ejemplos de ese tipo de macizos son las formaciones de andesitas e ignimbritas poco alteradas.

En el caso de la condición geotécnica **C**, se encuentra en macizos rocosos compuestos por una roca matriz regular, con espaciamiento entre discontinuidades pequeño y/o estratos muy delgados. Las juntas de las discontinuidades son lisas y se encuentran abiertas, alteradas y en ocasiones rellenas de arcilla con contenidos de humedad altos.

Además, cuando la roca matriz presenta poca resistencia, existe una mayor tendencia a generarse zonas de material plastificado o en estado de rotura de mayor extensión. En estas rocas, prácticamente no hay trabazón entre bloques. Ejemplos de rocas de ese tipo de macizos son las formaciones de riolitas, andesitas y tobas que se encuentran muy alteradas y/o fracturadas.

Las condiciones geotécnicas **D y E** corresponden a las peores condiciones geotécnicas previsibles y, además, a los primeros 15 m de excavación en aquellos túneles en los que la calidad del macizo en la zona de portales es muy mala. Se trata de macizos de roca completamente descompuesta o alterada, en los cuales el material se puede comportar más como un suelo que como una roca. También incluye zonas de depósitos de talud con matriz arenosa o limosa que contienen boleos o bloques angulosos de distintas dimensiones.

**(Tabla No. 1)**  
**Clasificación Geotécnica para túneles.**

<b>Condición Geomecánica (Geomechanical Condition)</b>	<b>Calidad de la roca (RMR) Rock Quality (RQD)</b>	<b>Calidad del macizo (Quality of the rock mass)</b>
<b>A</b>	<b>Mayor o igual a 81</b>	<b>Muy Buena/Very Good</b>
<b>B</b>	<b>61 a 80</b>	<b>Buena/Good</b>
<b>C<sup>(+)</sup></b>	<b>51 a 60</b>	<b>Buena a regular/Good to Regular</b>
<b>C<sup>(-)</sup></b>	<b>41 a 50</b>	<b>Regular/Regular</b>
<b>D<sup>(+)</sup></b>	<b>31 a 40</b>	<b>Mala a regular/ Bad to Regular</b>
<b>D<sup>(-)</sup></b>	<b>21 a 30</b>	<b>Mala a muy mala/Bad to very Bad</b>
<b>E</b>	<b>Menor o igual a 20</b>	<b>Muy mala/Very Bad</b>

La clasificación Geomecánica para cada túnel se estableció al definir unidades que tuvieran propiedades de deformabilidad y resistencia similares, creando un modelo con el que se prepararon las bases para los análisis teóricos y numéricos del comportamiento tenso - deformacional de la excavación en sus distintas etapas, y de la interacción con los elementos estructurales que se emplazan dentro de los túneles.

Con base en esos trabajos se definieron las ubicaciones más convenientes de los portales, las propiedades mecánicas de las distintas unidades geológicas, el estado tensión al inicial (geostático y/o tectónico), los diferentes modelos geomecánicos a lo largo de cada uno de los túneles y los modelos de análisis.

#### **IV.7. Proyecto Geométrico.**

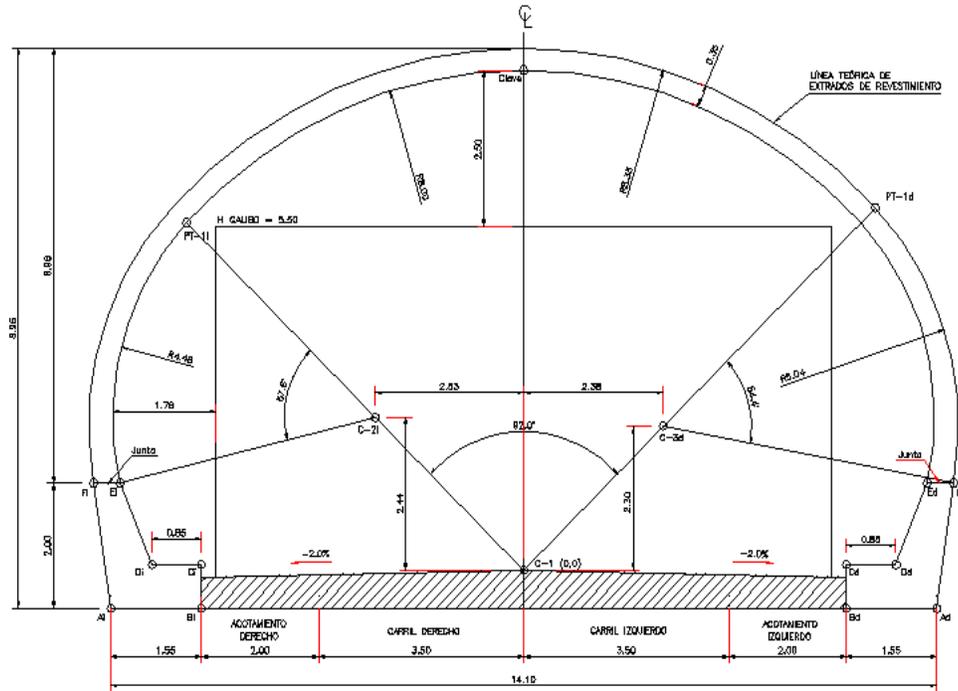
Uno de los aspectos más importantes en el diseño y construcción de un túnel es su geometría. Su definición requiere la coordinación de todas las especialidades que intervienen en el diseño y de los requerimientos marcados por cada una de ellas. Básicamente, el proyecto geométrico del túnel define la sección en función del uso al que estará destinado, es decir que las características geométricas de los túneles dependen de las especificaciones particulares de necesidades impuestas por el trazo de la autopista, así como del procedimiento constructivo por utilizar.

Algunos de los principales aspectos considerados fueron las propiedades geomecánicas de la roca, las condiciones hidráulicas y la estabilidad durante el proceso de excavación, así como el procedimiento constructivo del revestimiento definitivo.

El espacio requerido para el tránsito está definido por el ancho de los carriles y la máxima altura de vehículos de carga considerados en el proyecto. Los túneles tienen una sección geométrica simétrica en toda la parte superior, hasta la junta de colado en las zapatas.

El gálibo de diseño para todos los túneles es de 5.5 m, para lo cual es necesario mantener constantes los arcos de la bóveda y las paredes en los tramos de tangente y curva (**Fig. No. 23**).

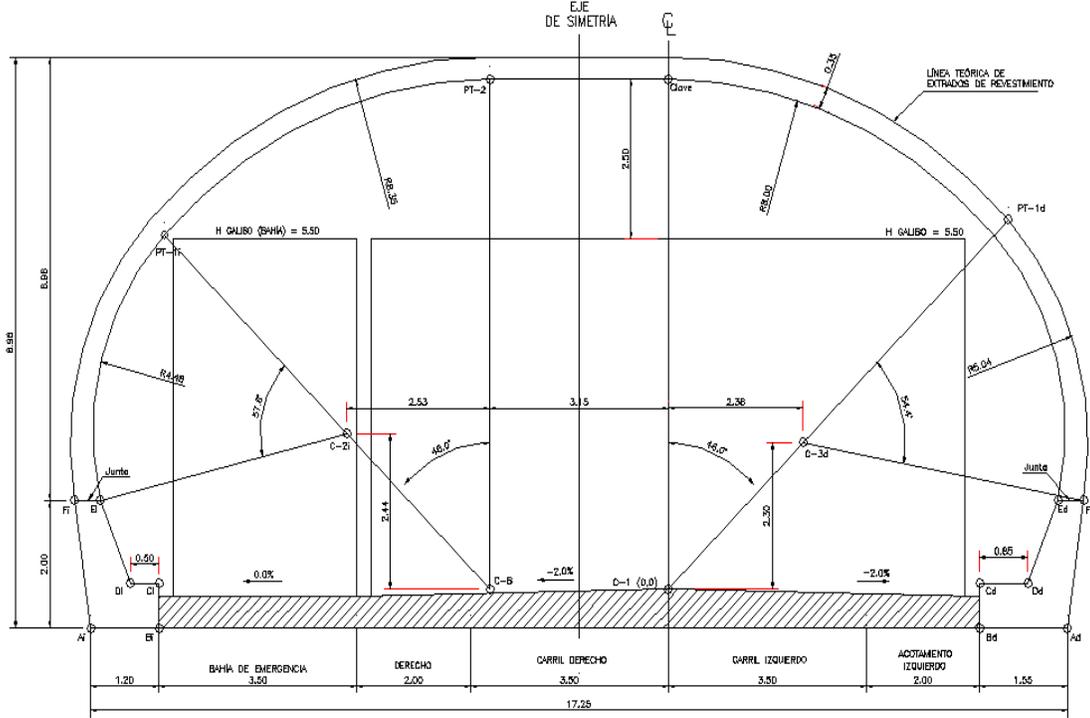
Los ajustes correspondientes a la sobreelevación se hacen al variar la altura de las zapatas, hasta alcanzar la pendiente requerida. De esa forma, tanto el ancho de corona, como el gálibo se mantienen constantes.



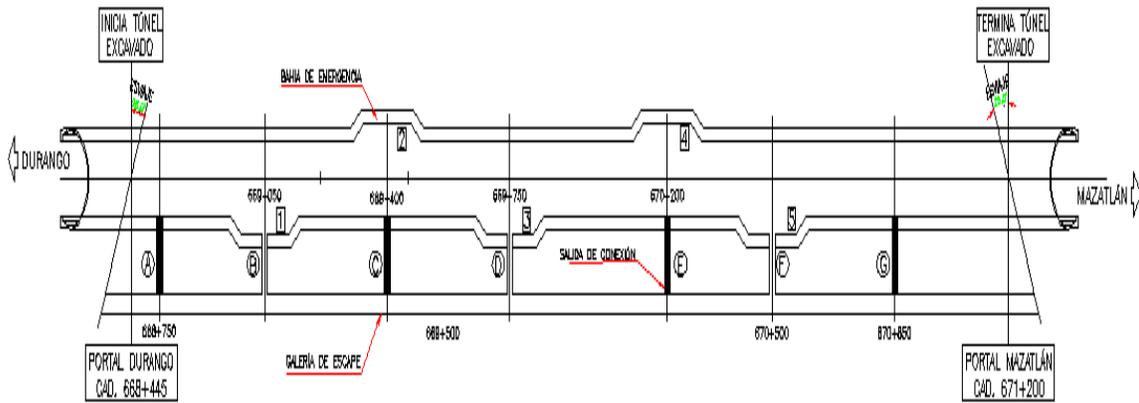
(Fig. 23) Sección del túnel de 2 carriles

La sección transversal para los túneles de dos carriles, en su línea de extradós, está compuesta por tres arcos, y la línea de intradós, por un arco central. Las zapatas tienen un ancho constante de 1.2 m, un peralte de 0.7 m y una altura variable formada por dos rectas inclinadas, donde se localiza la junta constructiva.

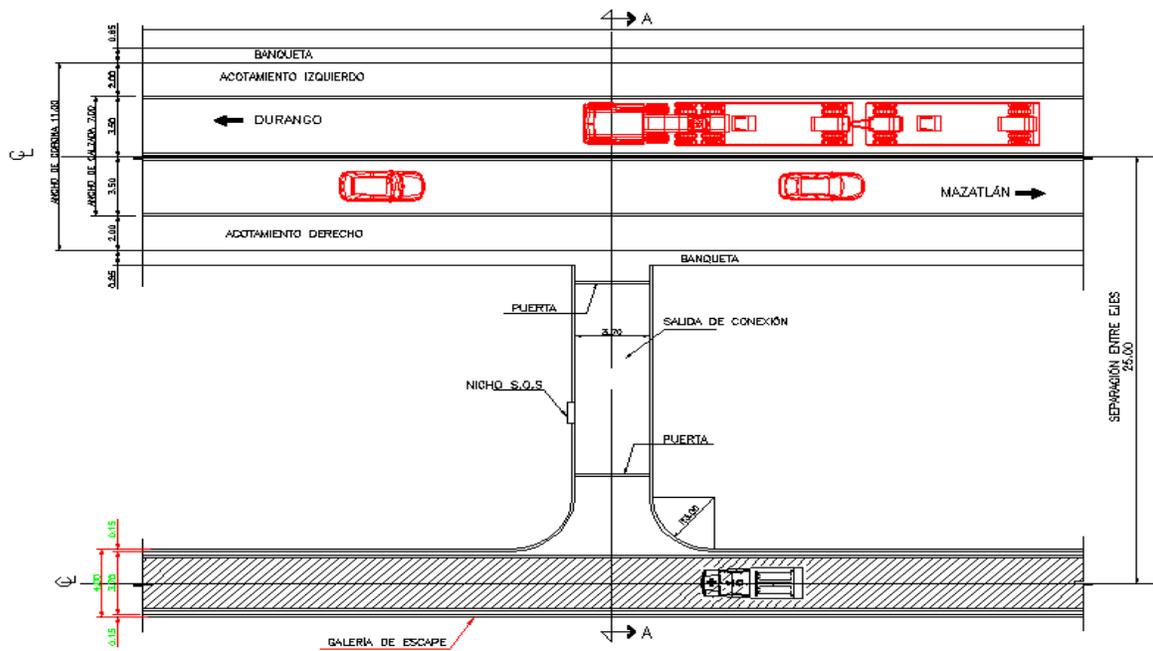
En lo que se refiere al alineamiento vertical, algunos de los túneles se ubicaron en tangente-vertical, como Tortuga Nuevo y Carrizo II, mientras que otros, como Papayito III, tienen una curva vertical en el interior del túnel. El alineamiento horizontal de los túneles varía según el caso. Algunos se encuentran en curva, otros con un tramo en curva y otros en tangente, mientras ciertos túneles se encuentran en su totalidad en tangente, como El Sinaloense que presentan secciones típicas de acuerdo a su trayectoria (Fig. No. 23, 24, 25, 26, 27 y 28).



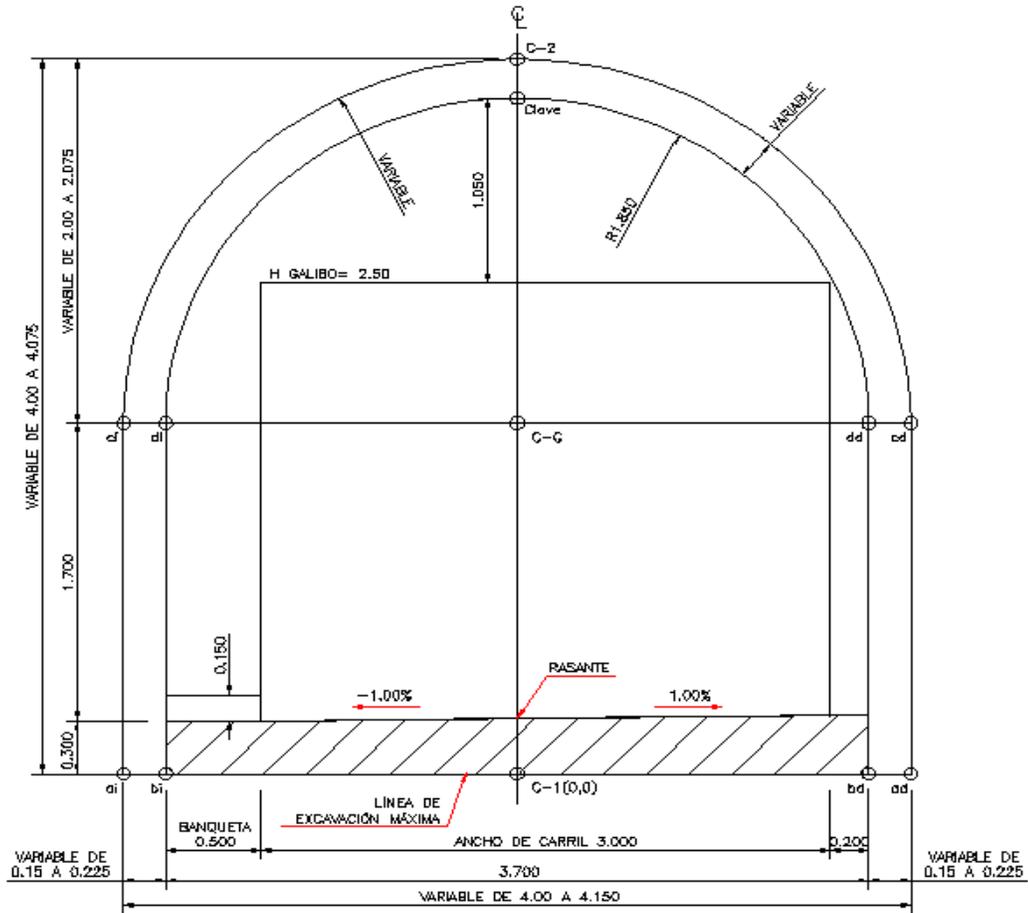
(Fig. 24) Sección del túnel de 2 carriles con bahía de emergencia



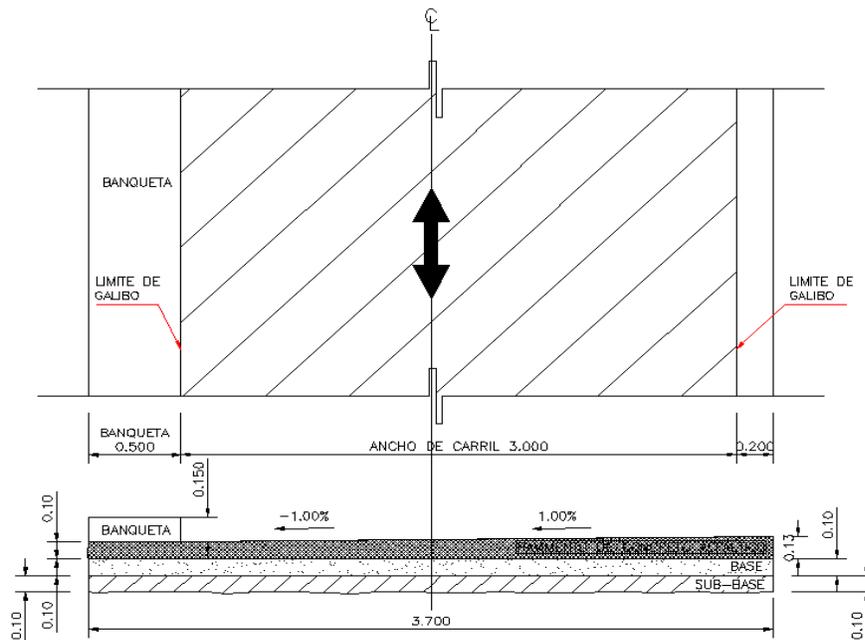
(Fig. 25) Planta del Túnel Sinaloense y Galería de emergencia así como las bahías y acotamientos



(Fig. 26) Detalle de conexión entre el Túnel y Galería de emergencia



(Fig. 27) Sección de la Galería de emergencia



(Fig. 28) Planta de la galería

#### IV.8. Análisis y Diseño de Túneles

El diseño de todos los túneles proyectados obedeció las necesidades impuestas por el trazado, el tipo de carretera y la velocidad de proyecto, entre otros. Y lógicamente, a los aspectos geotécnico - estructurales propios de cada situación particular. Fue necesario aplicar el método de elemento finito (MEF) para el método de análisis estructural aproximado (**Fig. No. 29**). Éste permitió analizar las deformaciones y los esfuerzos en el medio y el revestimiento para las diferentes etapas de excavación.



Fig. No. 29 Método de elementos finitos

En el proceso de análisis y diseño es importante considerar innumerables aspectos, resaltando entre ellos: geometría y longitud de túnel, perfil geológico, contactos y fallas, propiedades de los suelos o de las rocas, buzamientos, estratificaciones y fracturación, nivel freático y flujos subterráneos y localización de la obra.

Para establecer las etapas de excavación de cada túnel, fue necesario evaluar la estabilidad del mecanismo de falla del frente de la excavación, estableciendo la relación entre las fuerzas actuantes y resistentes que se desarrollan en dicho frente.

El factor de seguridad se expresa como la relación entre la suma de momentos de las fuerzas resistentes y la de momentos de las fuerzas actuantes, tomados respecto de un eje horizontal que pasa por un punto en la clave del frente de excavación y es perpendicular al eje del túnel. Los túneles de esta autopista se diseñaron con un factor de seguridad mayor o igual a dos. Las variables que intervienen en el análisis de estabilidad son la altura de la clave, las dimensiones de la sección, la longitud de

avance sin apoyo temporal, el peso volumétrico y los parámetros de resistencia. El análisis estructural y geotécnico de un túnel se enfoca a la solución del problema de interacción suelo - soporte y a la definición del estado de esfuerzos inducido por la excavación.

En los análisis, para el concreto lanzado con un espesor de 0.05 m se consideraron dos módulos, uno de Poisson de 0.15 y uno de elasticidad de 221,000 kg/ cm<sup>2</sup>. Para la roca, los parámetros se determinaron a partir de los resultados de las pruebas de laboratorio y se evaluaron de acuerdo con los sistemas de fracturas. En cuanto al módulo de elasticidad de la roca, éste depende del tipo de roca y de su sistema de fracturas. Para determinarlo fue necesario realizar ensayos de corte directo en escalas que permitieron tomar en cuenta la rugosidad, relleno y características del sistema de fracturas o bien recurrir a correlaciones empíricas. Para el proyecto estructural de los túneles se usaron programas como Phase2 y Plaxis, que fueron calibrados mediante la fórmula de Einstein y Schwartz.

Para estimar el peso de la cuña de roca que se pudiera deslizar hacia el interior del túnel y que debió ser soportada por el revestimiento, se aplicaron las fórmulas de Terzaghi y de Protodyakonov.

La primera considera, como parámetros para el cálculo de la carga de roca en la clave, el ancho del túnel, el peso volumétrico de la roca, la cohesión en el sistema de fracturas inmediato superior a la clave del túnel, la relación de esfuerzos horizontales a verticales, la profundidad del túnel y el ángulo de fricción en la parte inmediata superior de la clave del túnel.

La segunda está en función del peso volumétrico de la roca y del ancho del túnel. El soporte temporal estará destinado a resistir las cuñas inestables que el sistema de fracturas desarrolla. Para establecer el soporte necesario en los diferentes túneles de la autopista, se tomaron en cuenta las experiencias publicadas y confiables en otros túneles.

Al igual que el análisis de la excavación de los túneles, el cálculo estructural del revestimiento definitivo consistió en obtener la solución de un problema de interacción suelo - soporte y el estado de esfuerzos inducido por la excavación.

El revestimiento está sujeto principalmente a esfuerzos de flexo - compresión, por lo cual se propusieron secciones formadas de concreto con una resistencia  $f'_c = 250 \text{ kg/cm}^2$ , con espesores entre 0.35 y 0.60 m, armado en dos lechos de varillas de diferentes calibres. Se analizó la resistencia de una sección de 1.0 m de ancho y se calculó el diagrama de interacción a flexo - compresión, determinando la máxima resistencia de la sección a compresión pura, el momento y la fuerza normal en la sección balanceada, el momento máximo que puede soportar la sección, así como otras combinaciones.

## **V. Proyecto ejecutivo.**

De acuerdo a la información obtenida en los estudios realizados así como las conclusiones establecidas tomando como base las Normas para Autopista de alta especificación se determinó el proyecto ejecutivo a realizarse a continuación se indican algunos los planos de dicho proyecto.

### **Planos del proyecto ejecutivo:**

1. Planta topográfica y perfil longitudinal del túnel. **(Fig. No. 30)**
2. Obras del tajo del portal Durango. **(Fig. No. 31)**
3. Sección tipo en el interior del túnel y túneles falsos. **(Fig. No. 32)**
4. Planos estructurales del revestimiento del túnel y túnel falso. **(Fig. No. 33)**
5. Planos estructurales del revestimiento en bahías de emergencia. **(Fig. No. 34)**
6. Marcos metálicos en túnel. **(Fig. No. 35)**
7. Drenaje y desagüe pluvial por el portal Durango. **(Fig. No. 36)**
8. Drenaje y desagüe pluvial en el interior del túnel. **(Fig. No. 37)**
9. Pavimento hidráulico en túnel. **(Fig. No. 38)**









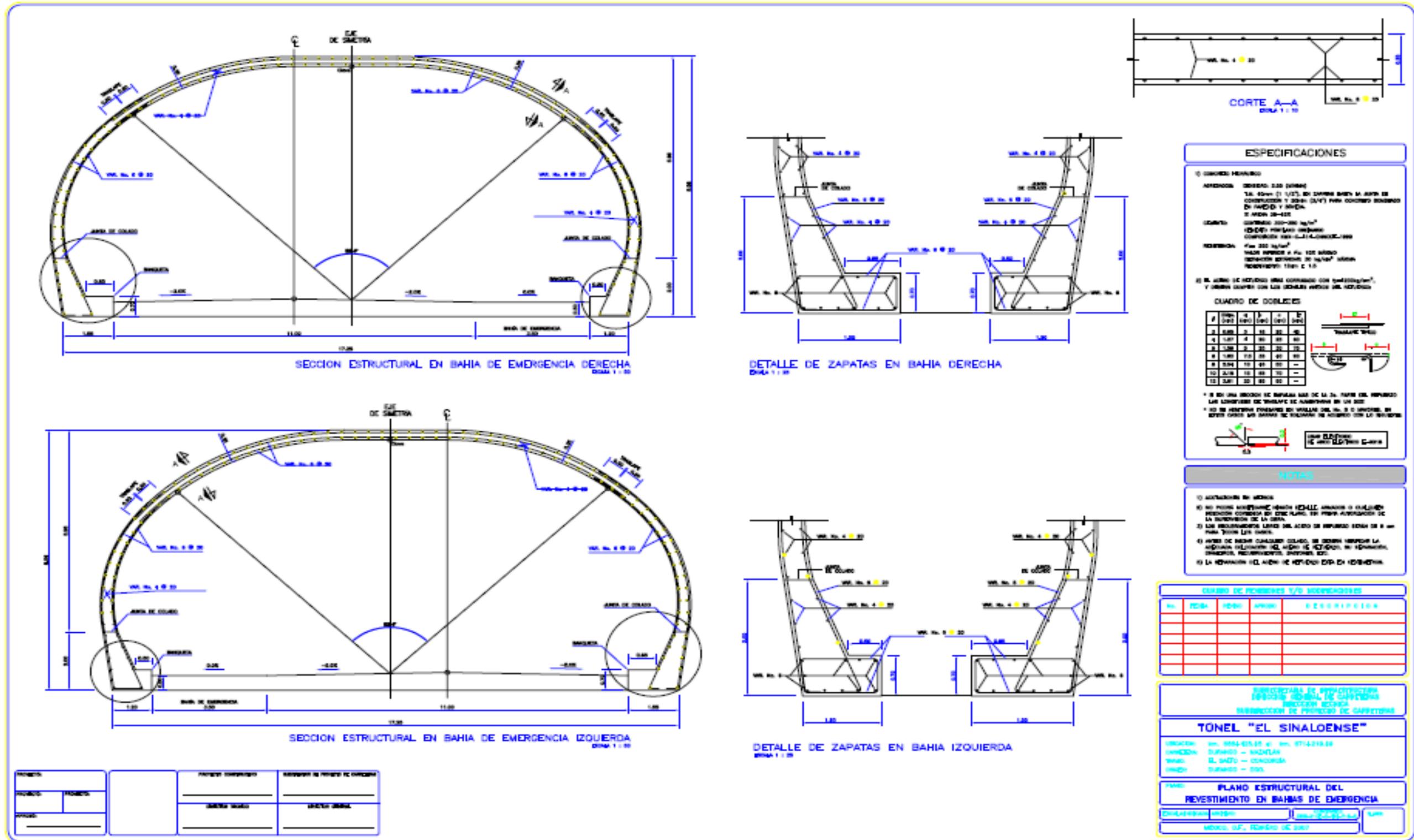


Fig. No. 34 Revestimiento en Bahías del Túnel Sinaloense

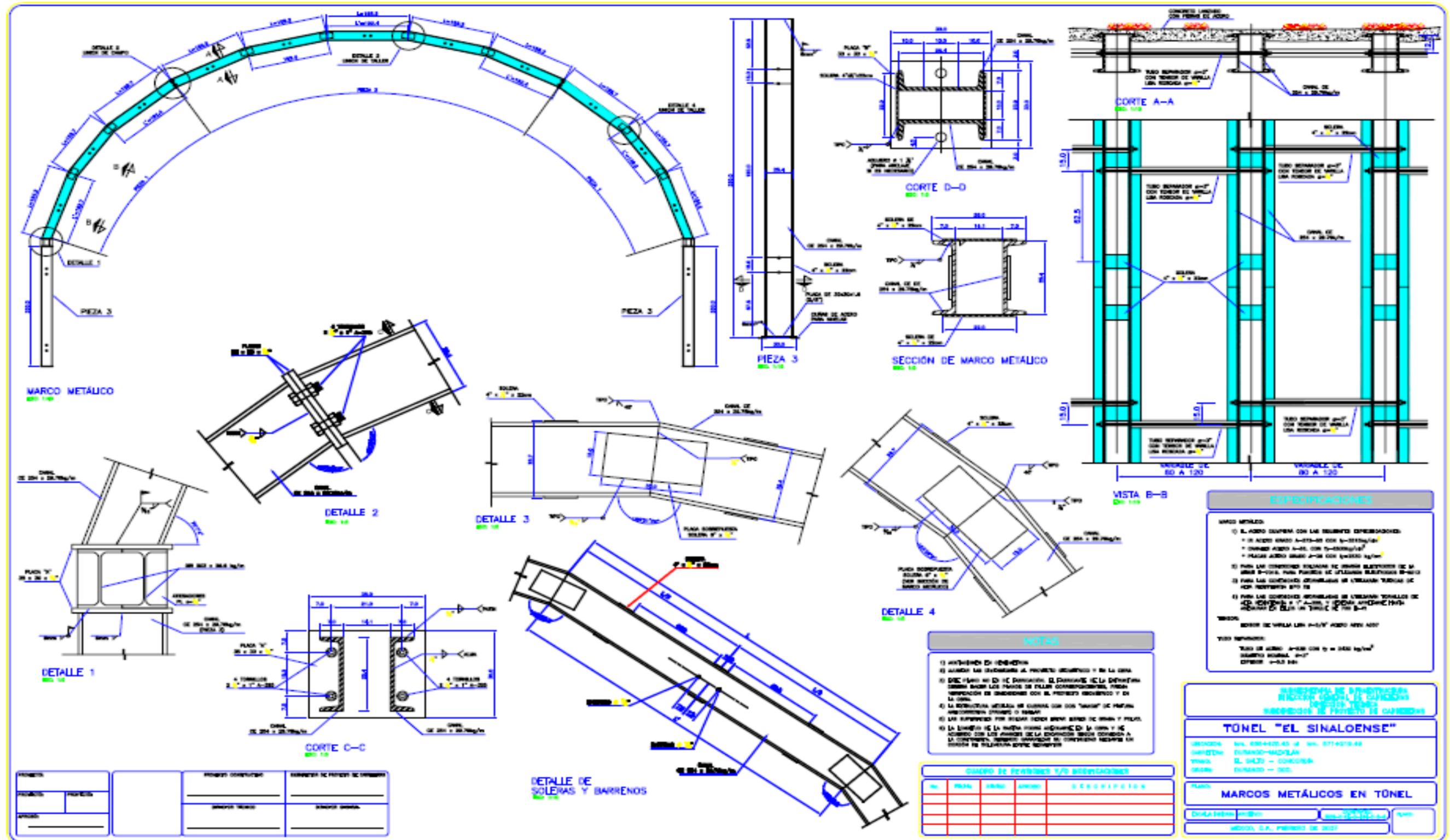


Fig. No. 35 Planos estructurales del Sostentamiento metálico del Túnel Sinaloense

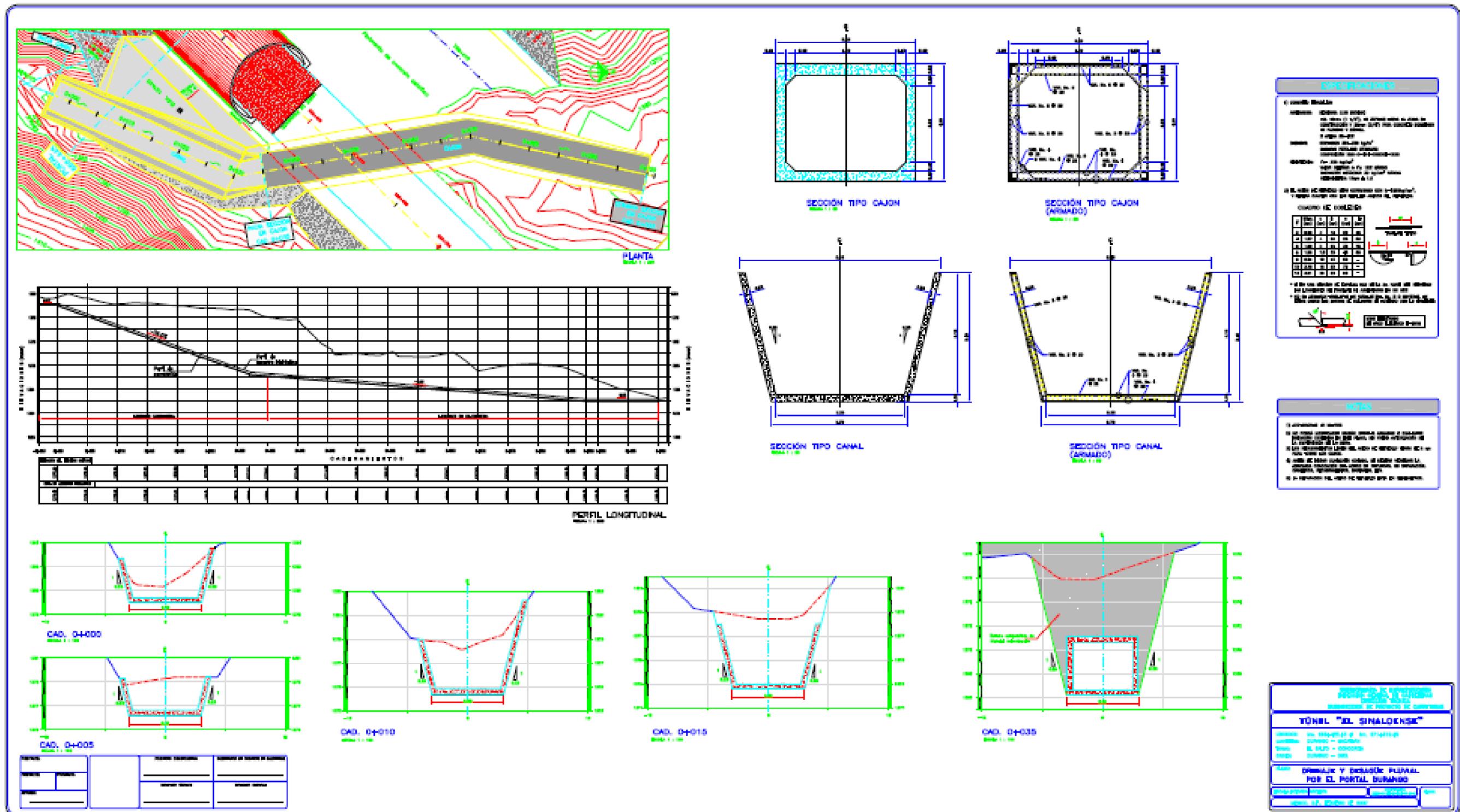


Fig. No. 36 Planos del Drenaje en portales del Túnel Sinaloense





## **VI. Procedimiento constructivo**

### **VI.1. Levantamiento topográfico**

Los túneles son un medio de comunicación entre dos puentes separados por un suelo o roca su objetivo es la de permitir el paso de personas, ferrocarriles, vehiculos, etc. Los levantamientos topográficos se realizan con el fin de determinar la configuración del terreno y la posición sobre la superficie de la tierra, en un levantamiento topográfico se toman los datos necesarios para la representación gráfica o elaboración del mapa del área del proyecto a ejecutar.

Los trabajos topográficos realizados en el exterior tuvieron por finalidad proporcionar toda la infraestructura topográfica necesaria para la verificación del proyecto del túnel proporcionado por la Dependencia así como para el replanteo de las labores del interior. Especial importancia tiene el enlace topográfico entre los distintos puntos de ataque de la obra.

- Plano topográfico de base
- Enlace planimétrico entre bocas
- Perfil de la montera
- Nivelación entre bocas
- Replanteo del eje del túnel
- Medición de secciones transversales.

En muchos ocasiones no se cuenta con el plano topográfico base, en este caso se realizó un levantamiento de la zona, los vértices que se marcaron y midieron para este levantamiento sirvieron como apoyo en los trabajos topográficos de precisión necesarios para realizar el enlace entre las dos bocas (portales).

La situación de los puntos de ataque de la obra deben de marcarse en el terreno y medirse con la máxima precisión disponible (bancos de nivel) evitando la acumulación de errores en el replanteo (**Fig. No. 39**), una vez que se realizó los

trabajos de enlace entre la bocas y el paso por montera y antes de comenzar la excavación se marca siguiendo la alineación del eje del túnel, un mínimo de tres puntos en cada uno de los extremos, esta referencias se eligen de forma que no se vean afectadas por los trabajos de excavación y se señalan de forma permanente.

Estacionando un instrumento topográfico en el punto central y visando al siguiente tendremos materializada la alineación inicial del túnel y podremos comenzar el replanteo del eje, el tercer punto nos sirve como comprobación.

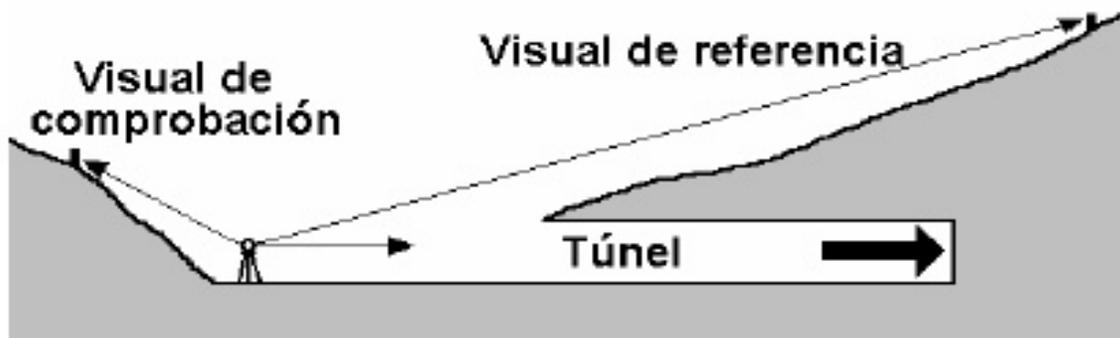


Fig. No. 39 Bancos de referencia

De esta manera tendremos las herramientas necesarias para dar inicio con la excavación del túnel.

## VI.2. Portales de entrada y salida

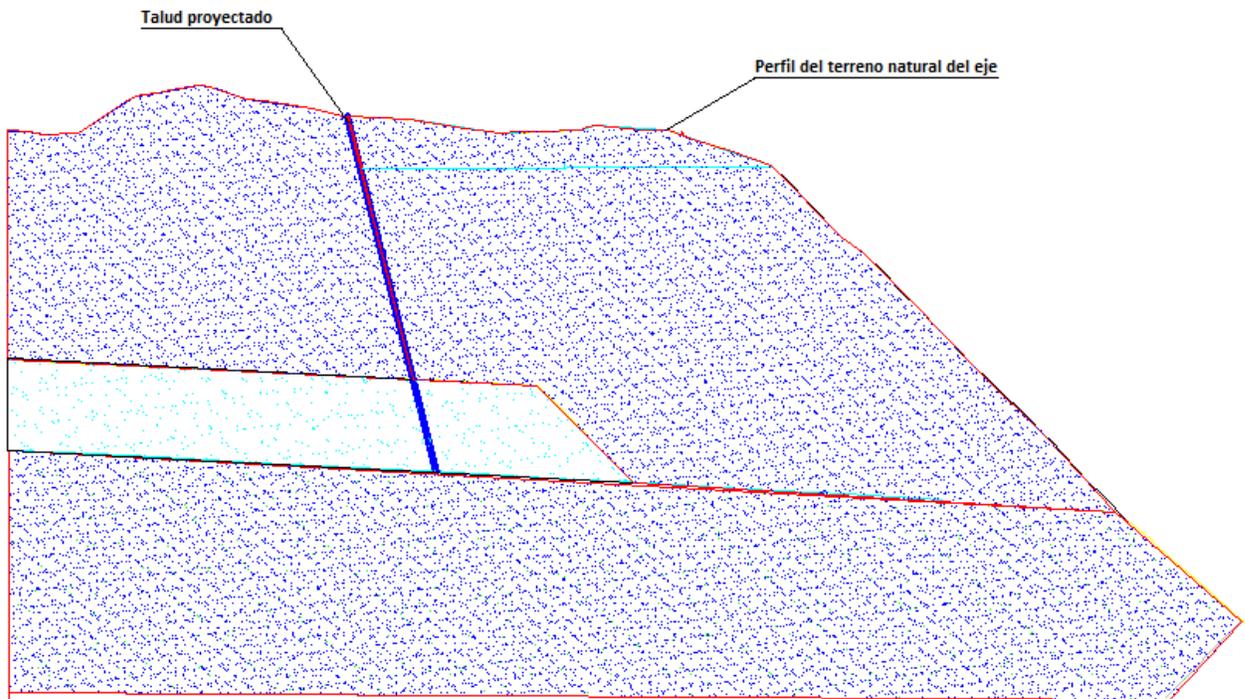
Los emportalamientos es la actividad inicial en la construcción de un túnel, consiste en hacer un corte en tajo del terreno natural a fin de obtener el "portal" es decir un talud frontal homogéneo donde se inicie la perforación del túnel.

Antes de iniciar con los trabados en los portales se realizaron los caminos de acceso para cada portal, posteriormente se realizó la remoción de la vegetación existente en área de los portales (**Fig. No. 40 y 41**) así como de las áreas auxiliares (almacén, patio de maquinaria, polvorines, planta de concreto, etc.) que sirvieron como apoyo para llevar a cabo la construcción del túnel.



Fig. No. 40 Desmonte del portal Durango

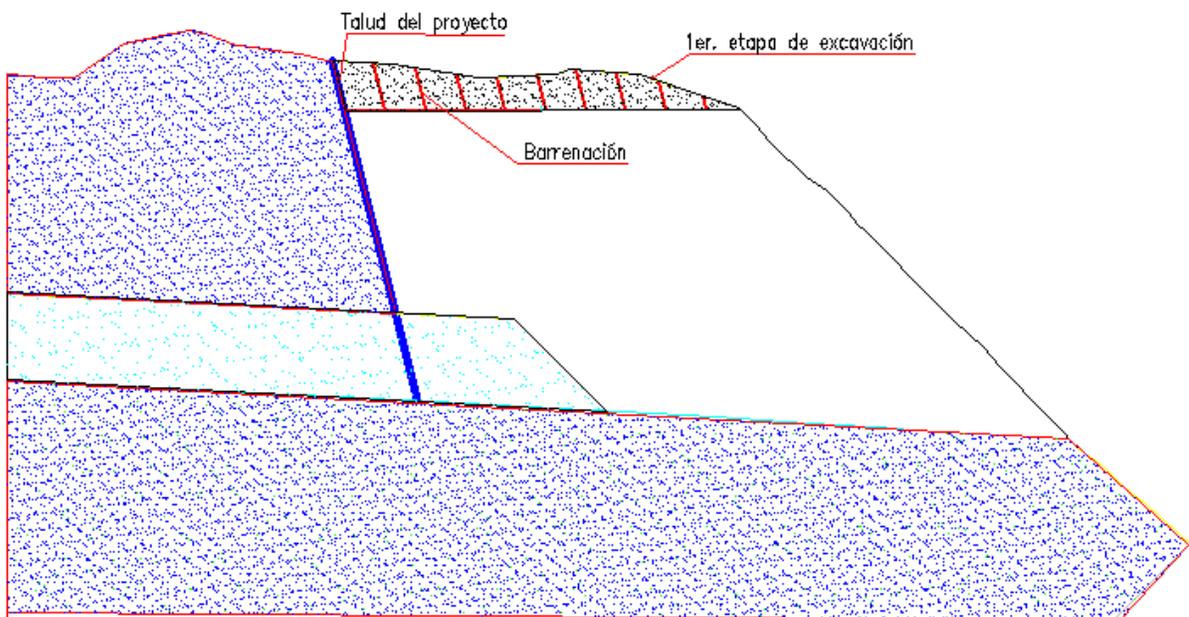
Todo el material producto de desmonte se trituro para su disposición final de acuerdo al resolutivo del Manifiesto de Impacto ambiental.



(Fig. No. 41) Perfil longitudinal del portal

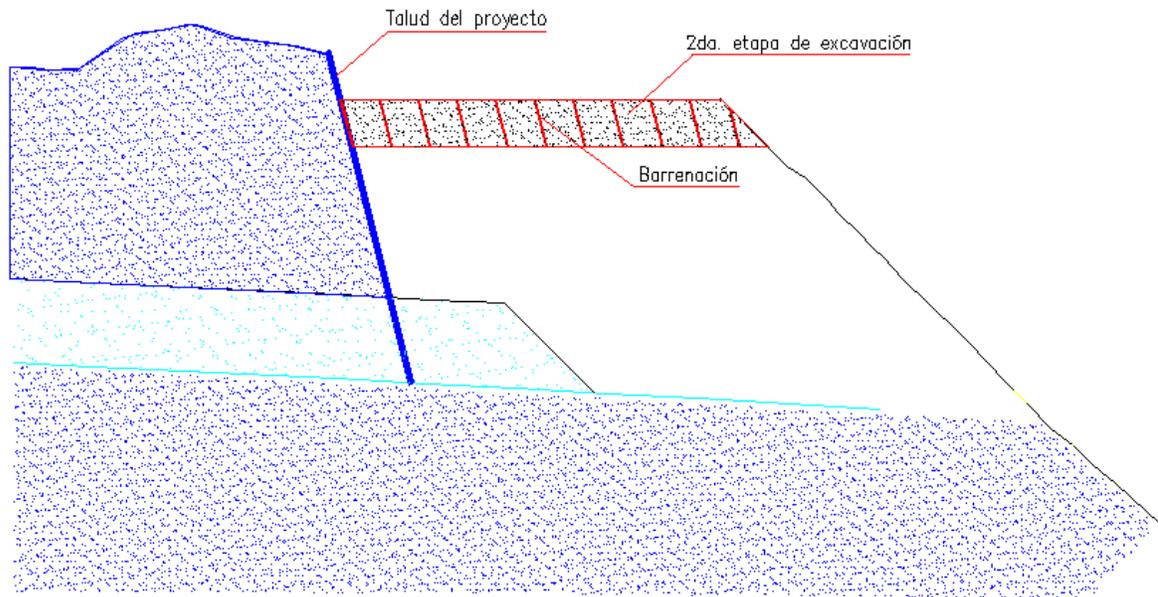
**Los conceptos de trabajo que se realizan en los portales son:**

- **Trazo.-** Se realizó para determinar los límites especificados en el proyecto, así como los volúmenes de material a mover en cada etapa de avance en la construcción del portal.
- **Excavación mecánica.-** Cuando se ha retirado todo el material producto de desmonte y despalme (material vegetal) se inicia con la excavación la cual es por etapa (**Fig. No. 42**), esta actividad se realizará en forma sincronizada con otras actividades que mencionaremos posteriormente y que son requeridas en el proyecto y de acuerdo con las necesidades reales del mismo.



(Fig. No. 42) 1er. Etapa de excavación

El material que se encontró es una Ignimbrita de calidad Geotécnica “D<sup>(-)</sup>” roca de mala a regular, según la clasificación indicada en el proyecto. El cual está muy intemperizada el corte del talud fue realizado por medio de explosivos, para el retiro de la rezaga se realizó con un tractor D8 y excavadoras 330 para carga a vehículos y traslado del material al lugar de disposición final (banco de desperdicio)



(Fig. No. 43) 2da. Etapa de excavación

La siguiente etapa de excavación (**Fig. No. 44**) se continuo con el uso del explosivo tratando de evitar el rompimiento o sobreexcavación de las voladuras así como por razones de seguridad, y económica e inconveniente cuando la excavación excede la línea de pago (implica concreto extra y los taludes fracturados requieren un mantenimiento costoso) por lo tanto se utilizó voladuras controladas.

En un principio se realizó la barrenación en línea, indica una sola hilera de barrenos de diámetro pequeño poco espaciados sin carga a lo largo de la línea frontal del talud, esto provoca un plano de menor resistencia que la voladura primaria pueda romper con mayor facilidad. Las perforaciones en línea generalmente son de 1 ¼" a 3" de Ø y se separan de 2 a 4 veces su diámetro a lo largo de la línea de excavación, la profundidad de los barrenos depende de su buena alineación es recomendable que los barrenos queden en el mismo plano.

En ningún caso se realizó fisuración suplementaria en la roca remanente, la inclinación de las pegas se realizaron preferentemente con detonadores de micro retardo en secuencia de encendido que beneficie al menor confinamiento posible de

todos y cada uno de los barrenos. La profundidad de cada barreno no rebaso los 15 m. de profundidad.

Para determinar si el proceso de voladura fue el adecuado se verifico que el talud no presentara zonas trituradas atribuibles a la voladura, una vez que se ha realizado la voladura y retirado la rezaga se procederá a retirar el material que quedo suelo en el talud esto es para garantizar que no tendremos ningún caído que pudieran afectar las etapas subsecuentes.

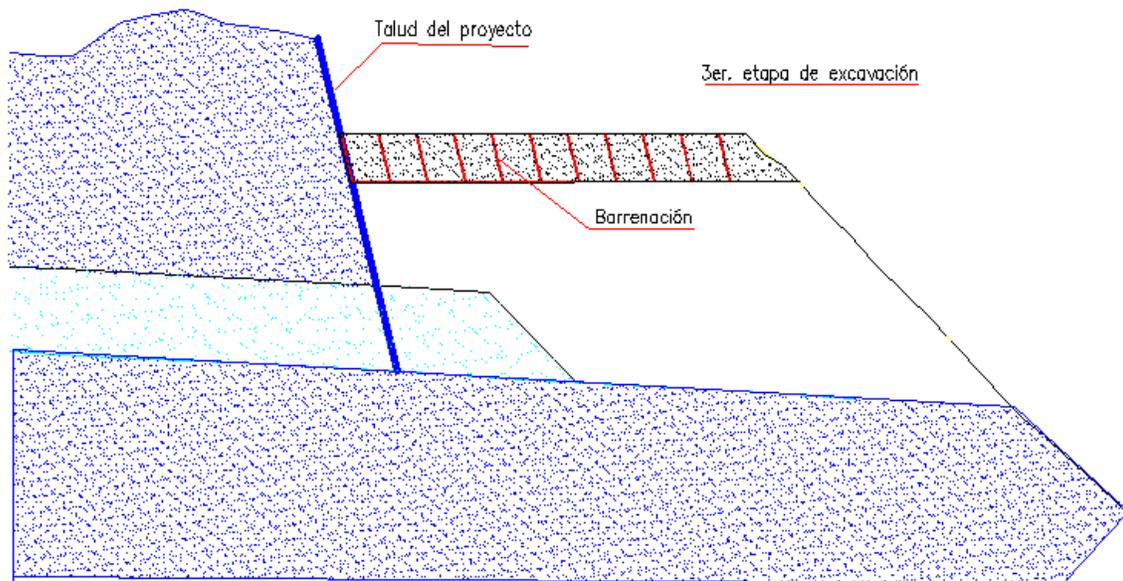


**Fig. No. 44 Equipo realizando barrenación en línea**



(Fig. No. 45) Equipo de barrenación y rezaga.

El proceso de excavación fue repetitivo para las siguientes etapas (Fig. No. 45, 46 y 47) Barrenación, voladura, retiro de rezaga, recubrimiento de talud, colocación de anclas y colocación de drenes como se indica en los croquis siguientes.



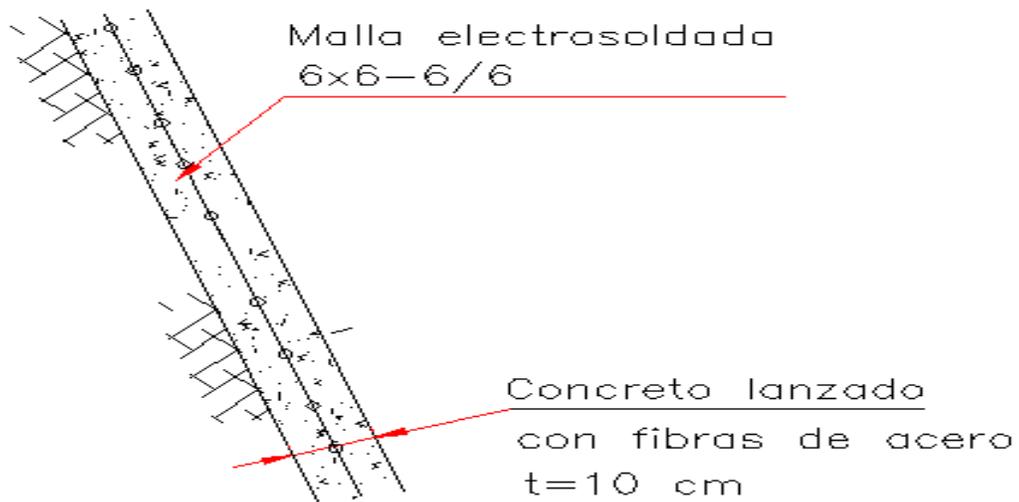
(Fig. 46) Proceso de excavación por etapas.



Fig. No. 47 Equipo utilizado para retiro de rezaga.

- **Estabilidad de los Portales.** Para poder garantizar la estabilidad de los taludes se realizaron varios tratamientos los cuales dependieron de la calidad geotécnica del macizo, este tratamiento está formado por alguno o varios de los siguientes componentes: Concreto lanzado, Anclajes (de fricción y tensión), y drenajes, etc.
- **Concreto lanzado.-** Cuando se ha concluido con una etapa de excavación se inicia con la actividad de protección el talud (**Fig. No. 48, 49**), para lo cual se utiliza malla electrosoldada 6-6/6-6 como lo indica el proyecto, posteriormente se lanza el concreto vía húmeda, este proceso se realiza por etapas hasta llegar al espesor indicado en el proyecto, la protección al talud es con la finalidad de evitar que haya desprendimientos y que ponga en peligro la estabilidad del talud. El ciclo de excavación y protección de talud se va realizando en forma secuencial hasta llegar al nivel donde se inicia con la excavación del túnel.

## CONCRETO LANZADO EN TALUDES



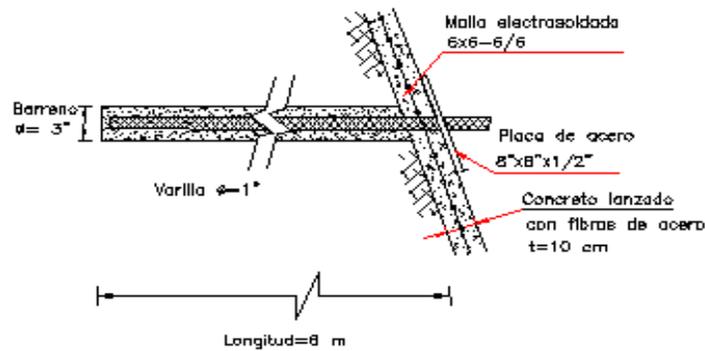
(Fig. No. 48) Concreto lanzado según proyecto



(Fig. No. 49) Secuencia constructiva de excavación y protección de talud con concreto lanzado

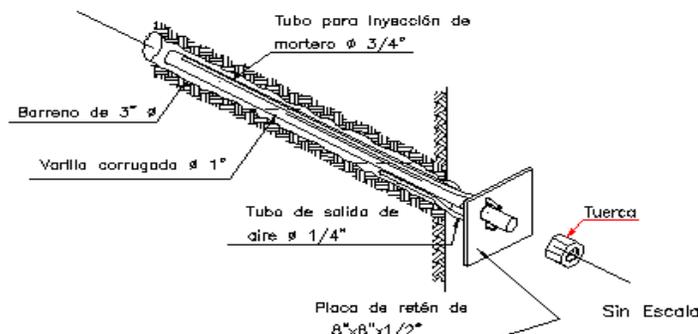
**Anclas.-** Cuando se ha concluido la con el recubrimiento del talud (por etapas) se inicia con la colocación de las anclas de fricción (**Fig. No. 50, 51 y 52**) para lo cual se realizan perforaciones de 3" de Ø. y longitudes de 6.00 m. en dichas perforaciones de introduce una varilla corrugada de 1" la cual tiene una preparación en uno de sus extremos (rosca) para la colocación de una tuerca, cuando se ha introducido el ancla se le inyecta mortero en una cantidad suficiente para asegurar que todos los vacíos han sido llenados, se deja que el mortero adquiera cierta resistencia y posteriormente se le aplica la presión misma que es transmitida al talud.

### Anclas de fricción



(Fig. No. 50) Anclas de fricción

### Esquema de anclaje



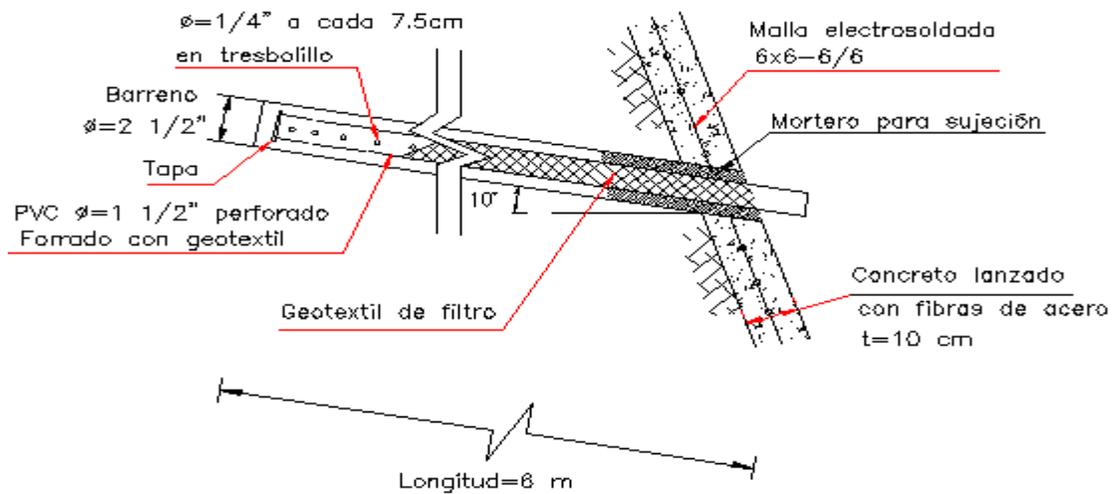
(Fig. No. 51) Anclas de fricción



(Fig. No. 52) Equipo de izado y colocación de anclas

- **Drenajes.-** La finalidad de colocar drenes en el talud (**Fig. No. 53, 54, 55 y 56**) es inducir los escurrimientos debido a las filtraciones o cuerpos de agua atrapados en el talud, disminuyendo con estas medidas considerablemente las fallas que se pudieran presentar.

Los drenajes están formados por barrenos de 2 ½" de Ø y una profundidad de 6.00 m. con una separación entre drenes de 3.00 x 3.00 m. cuando se hayan realizado las perforaciones se introduce la tubería de pvc de 1 ½" de Ø la tubería contiene perforaciones de ¼" de Ø, adicionalmente está recubierta con una malla de geotextil para evitar que material solidos se introduzcan y formen un tapón evitando el buen funcionamiento del drenaje.

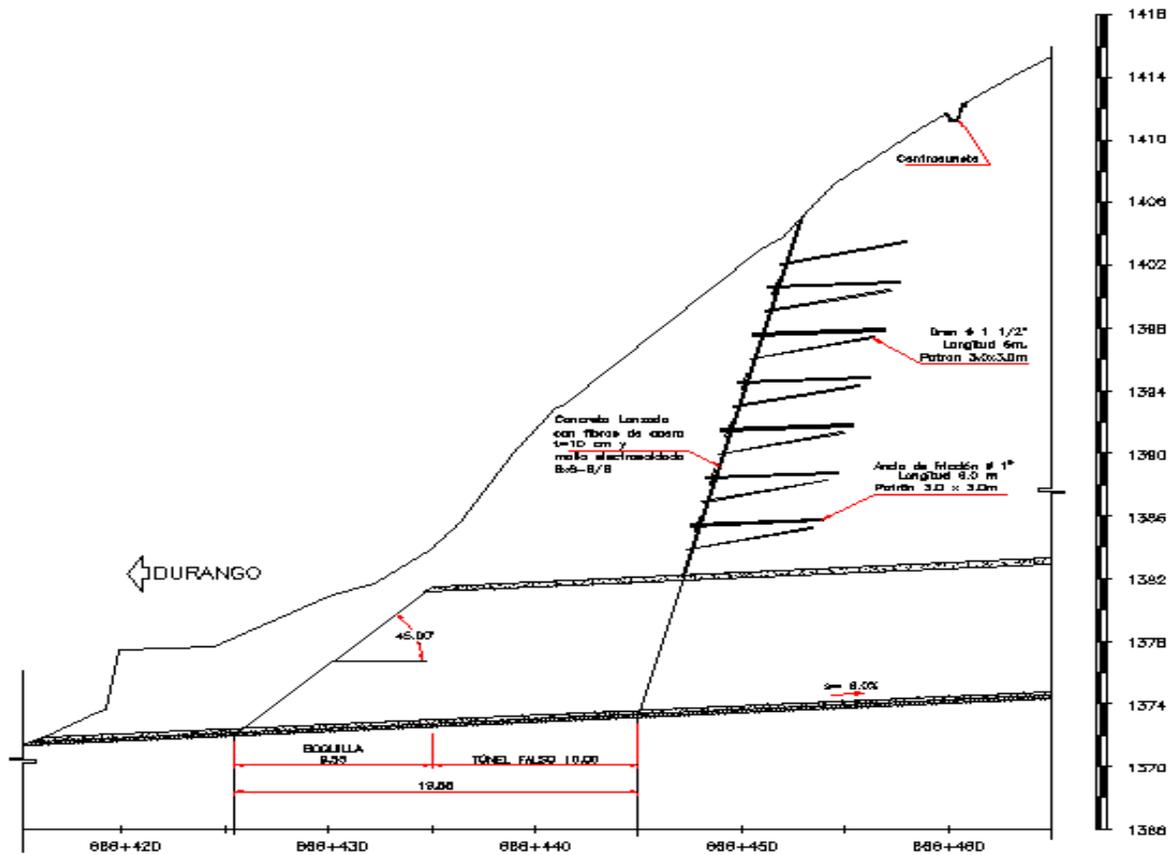


(Fig. No. 54) Dren en talud

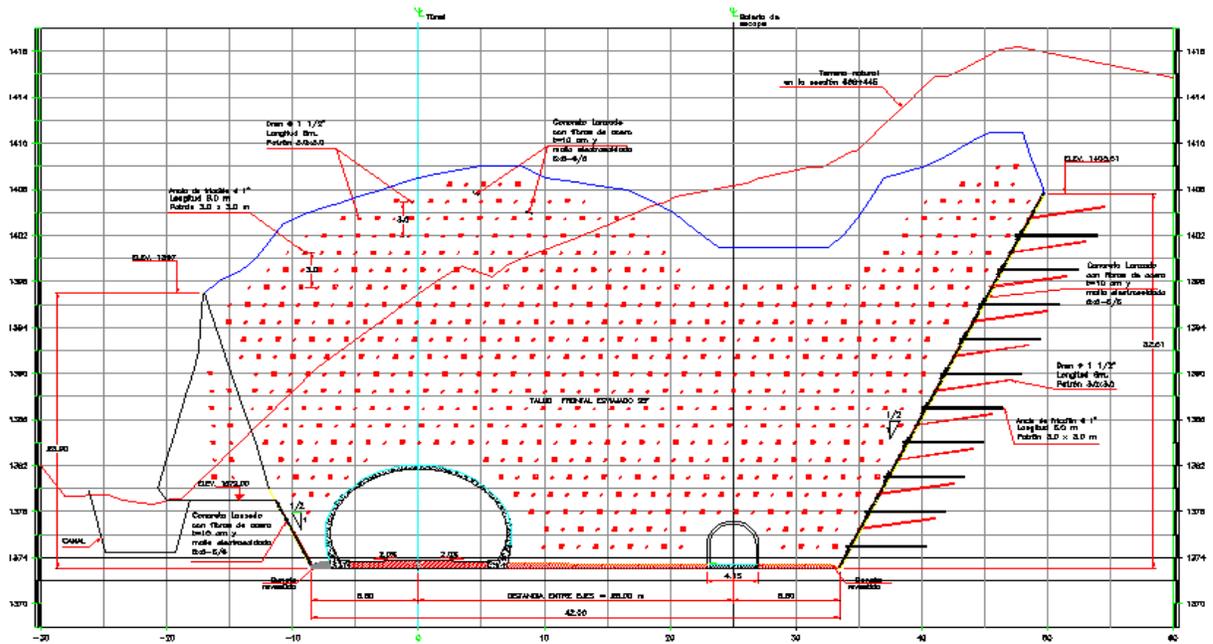
Todas estas actividades de sostenimiento del talud se van realizando en forma sincronizada durante las etapas de excavaci3n evitando tener dobles alturas que dificulten realizar dichas actividades.



(Fig. No. 55) Drenes y anclas de fricci3n



(Fig. No. 56) Perfil del talud donde se ubica el sostenimiento del portal

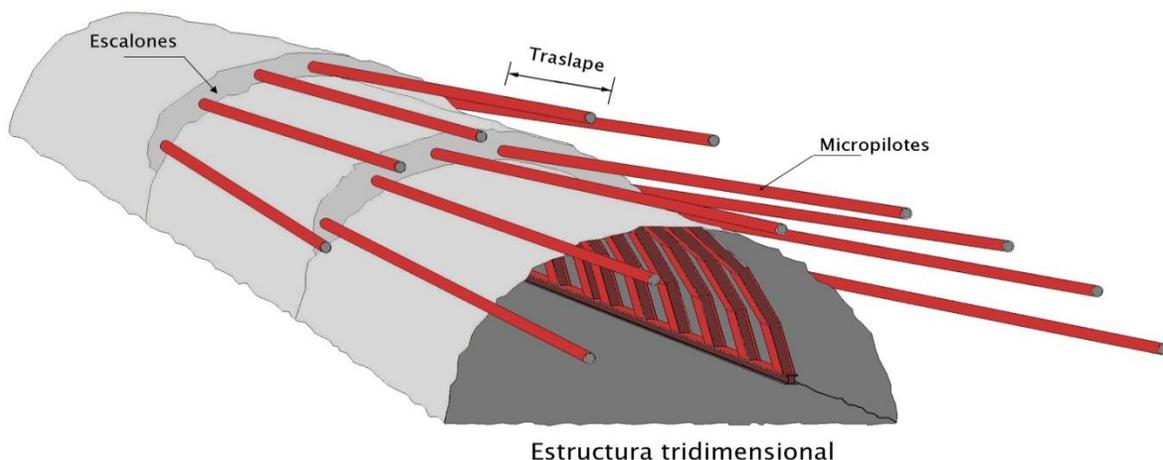


(Fig. No. 57) Vista frontal del portal

### VI.3. Enfilajes

Algunos de los túneles de la carretera Durango-Mazatlán debido a la mala o pésima calidad geotécnica del terreno, requieren de un procedimiento constructivo especial. De acuerdo con las tendencias actuales de construcción de túneles carreteros en Europa, se propone la aplicación de un sistema de protección o presostenimiento, mediante enfilaje frontal o “paraguas de micropilotes”. Los detalles constructivos de este sistema se especifican en la **(Fig. No. 58)** correspondiente a este proceso constructivo. A continuación se describe brevemente este sistema, así como algunos de sus componentes más importantes y las técnicas constructivas más usuales en su implementación.

**Definición.-** Un paraguas de micropilotes es un sistema de presostenimiento primario provisional, ideado para la fase de excavación del túnel. Se trata de un conjunto de elementos estructurales lineales subhorizontales perforados en el terreno e inyectados con un mortero, y que a su vez se encuentran apoyados sobre los marcos de soporte. Estos constituyen una pre-bóveda formada por material resistente cuya misión es proporcionar el auto-sostenimiento primario al terreno situado en la parte superior del túnel, siguiendo la geometría de este; así mismo también se utiliza para soportar las deformaciones del terreno en algunos casos



(Fig. No. 58) Esquema tridimensional de un paraguas de micropilotes.

El proceso de ejecución.- Es como sigue: replanteo, perforación, introducción de la armadura e inyección.

El replanteo es una parte fundamental para la correcta ejecución de un paraguas. Un mal replanteo puede desembocar en el cruce entre las armaduras o la introducción de las mismas en la línea teórica de excavación. Para llevar a cabo un correcto replanteo se deben seguir los siguientes pasos:

- Se marca un punto en el frente para cada tubo. Con este punto se fija el primer punto para la perforación.
- Se marcan dos puntos más para cada tubo sobre la plataforma de trabajo. Estos puntos representan la proyección de cada tubo (**Fig. No. 59**). La perforadora queda fijada en la dirección, quedando tan sólo la variable de la inclinación.



Fig. No. 59 Replanteo para las barrenaciones de enfilaje

- Se fija la inclinación del mástil de la perforadora mediante un medidor de ángulos.

La perforación depende del tipo de terreno (**Fig. No. 60**). En material duro y competente se usa el método de la roto - percusión con martillo de fondo, mientras que en materiales blandos es preferible el método de rotación con trialeta. En este último depende el tipo de terreno, si existe riesgo de colapso de la perforación, se introduce una tubería de revestimiento recuperable.



**Fig. No. 60** Equipo perforando para colocar los tubos de enfilaje

Después de la introducción del tubo, directamente en la perforación o por el interior de la tubería de revestimiento, según el caso, se procede a la inyección del espacio anular. Esta inyección puede ser de dos tipos:

- **Inyección sin presión:** Se inyecta el espacio anular por el interior del tubo. Se obtura la boca del taladro, dejando dos conductos, uno para la inyección y otro de purga y control de llenado.
- **Inyección a presión:** el tubo en este caso tiene válvulas insertas cada 0.3 – 0.5 metros (**Fig. No. 61 y 62**). La inyección se realiza mediante un obturador simple o doble y seleccionando cada válvula (Inyección Repetitiva Selectiva o IRS). Esta inyección queda traslapada con la siguiente, por lo que se forma una superficie resistente más continua.



(Fig. No. 61) Armadura con válvulas tipo manguito para inyección a presión.



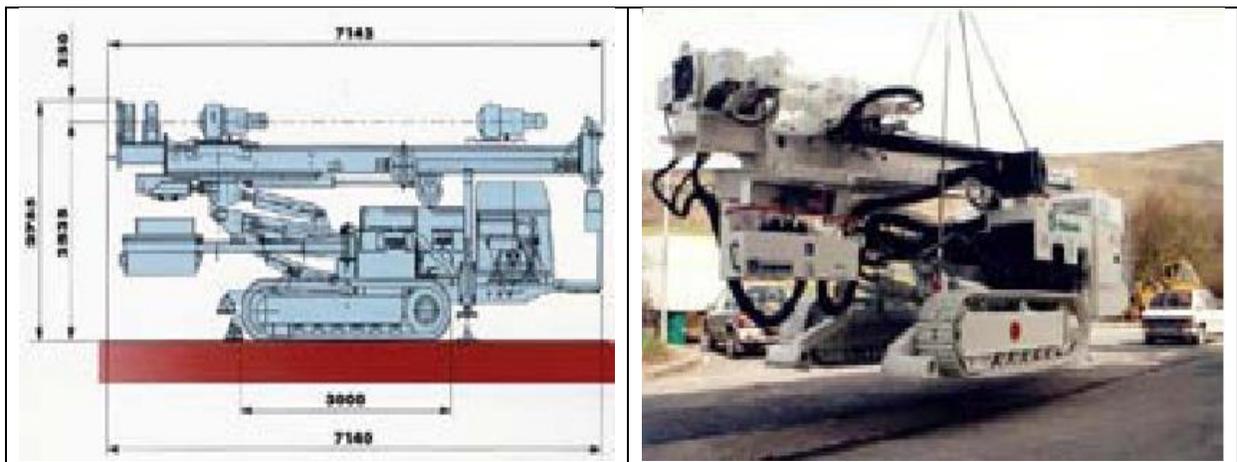
Fig. No. 62 Equipo realizando inyección de lechada

Las armaduras más comúnmente utilizadas son las tubulares, principalmente por su fácil unión, la cual no requiere soldadura (poco recomendable en obra).

**Equipo.-** Los paraguas de micropilotes pueden ser llevados a cabo mediante equipos convencionales de perforación (**ECP**) (**Fig. No. 63**) o equipos específicos de perforación sub-horizontal (**EEPS**) (**Fig. No. 64 y 65**). A continuación se describen las características de ambos:

**a) ECP**

- Tiene un solo apoyo del mástil, lo que lo hace susceptible de balanceo durante la perforación.
- Peso aproximado: 12,000 kg
- Distancia aproximada entre gatos de apoyo: long. 3.20 – 4.30 m.; trans. 1.60 m
- Longitud aproximada de varillaje: 2 – 3 m.
- Longitud aproximada del mástil: 7 m.
- Altura aproximada de alcance vertical: 2.5 m.
- La manipulación de las varillas de perforación y de las armaduras es manual.

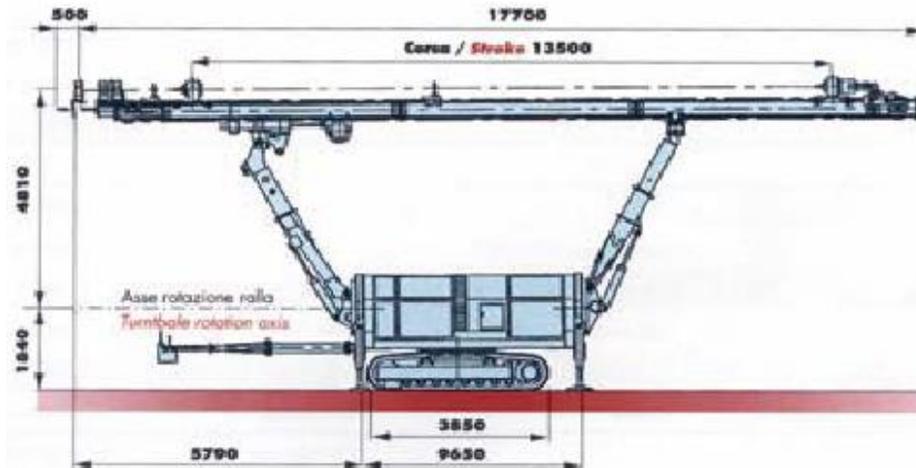


(Fig. No. 63) Esquema y fotografía de un ECP.

**EEPS**

- Tiene un mástil con dos apoyos, por lo que la perforación no produce balanceo.
- Peso aproximado: 33,000 kg

- Distancia aproximada entre gatos de apoyo: long. 4.60 m; transversal 3.50 – 4.00 m
- Longitud aproximada de varillaje: 11 m.
- Longitud aproximada del mástil: 18 m.
- Altura aproximada de alcance vertical: 6.5 m.
- La manipulación de las varillas de perforación y de las armaduras es automática.



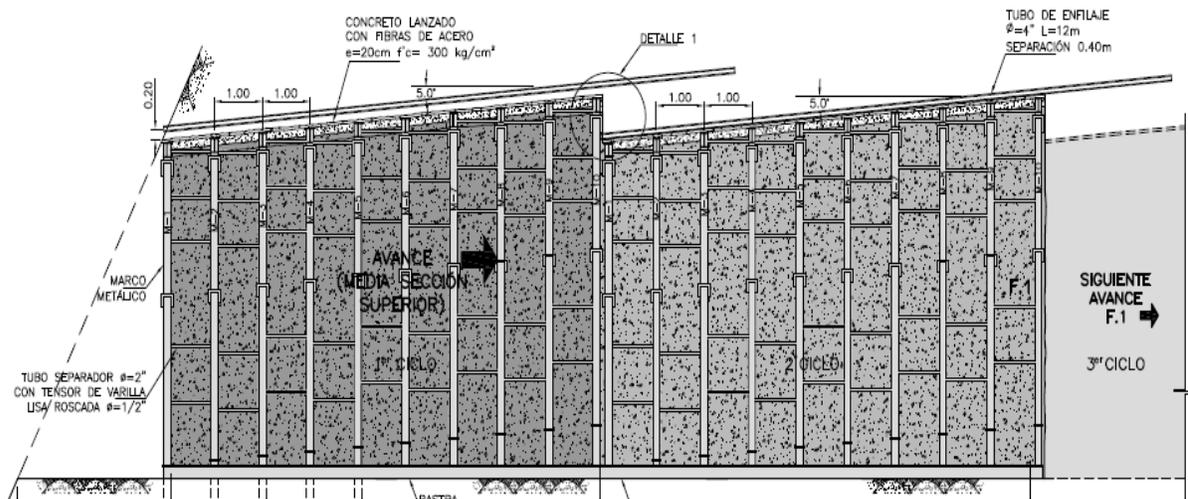
(Fig. No. 64) Esquema y fotografía de un EEPS.



(Fig. No. 65) Esquema y fotografía de un EEPS.

Por lo expuesto anteriormente, es claro que los equipos EEPS son más convenientes para la ejecución de paraguas de micropilotes tanto por su mejor calidad de ejecución como por su mayor productividad en obra.

En el caso del túnel sinaloense el equipo para realizar las barrenaciones fue el EEPS, el enfilaje fue realizado con barrenaciones de 6" de  $\varnothing$  y 12.00 m. de long. en su interior se colocan tubo de 4" de  $\varnothing$  ced. 40 ranurados y finalmente se le inyecta con mortero cemento – arena y aditivos (**Fig. No. 66**).



(Fig. No. 66) Corte longitudinal del Túnel donde se puede apreciar el enfilaje

#### VI.4. Excavación con equipo mecánico en entrada al túnel

Antes de iniciar la excavación del túnel se colocaron los micropilotes (enfilaje) para dar soporte y seguridad en la realización de los trabajos, las condiciones geotécnicas son del tipo "D<sup>(-)</sup>" la separación entre micropilotes es de aproximadamente 40 cm. y la cantidad instalada son 37 tubos partiendo de la clave del túnel, la separación que hay de la línea de pago hasta el enfilaje es de 20 cm. y la inclinación es en forma ascendente con un ángulo de 5° según proyecto.

El equipo que se utilizó fue con excavadora 330 y martillo neumático como se puede apreciar en la (**Fig. No. 67**)



(Fig. No. 67) Inicio de la Excavación del túnel.

Cuando se tenga un avance de aproximadamente 2.00 m. se inició con la 1er. etapa de concreto lanzado, a continuación se procederá a colocar los perfiles de acero que fueron diseñados como el sostenimiento definitivo, la separación que existe entre la excavación y los marcos se coloca madera para que las cargas que transmita el terreno sean tomadas por el perfil metálico, cuando se han fijados los perfiles metálicos tanto longitudinal y transversal se aplicara la 2da. Etapa de concreto lanzado la cual debe de ser de 15 cm. de espesor, esta actividad debe ser realizada antes de iniciar con la siguiente etapa de excavación por medios mecánicos **(Fig. No. 68 y 69)**.



Fig. No. 68 Colocación de sostenimiento por medio de marcos metálicos

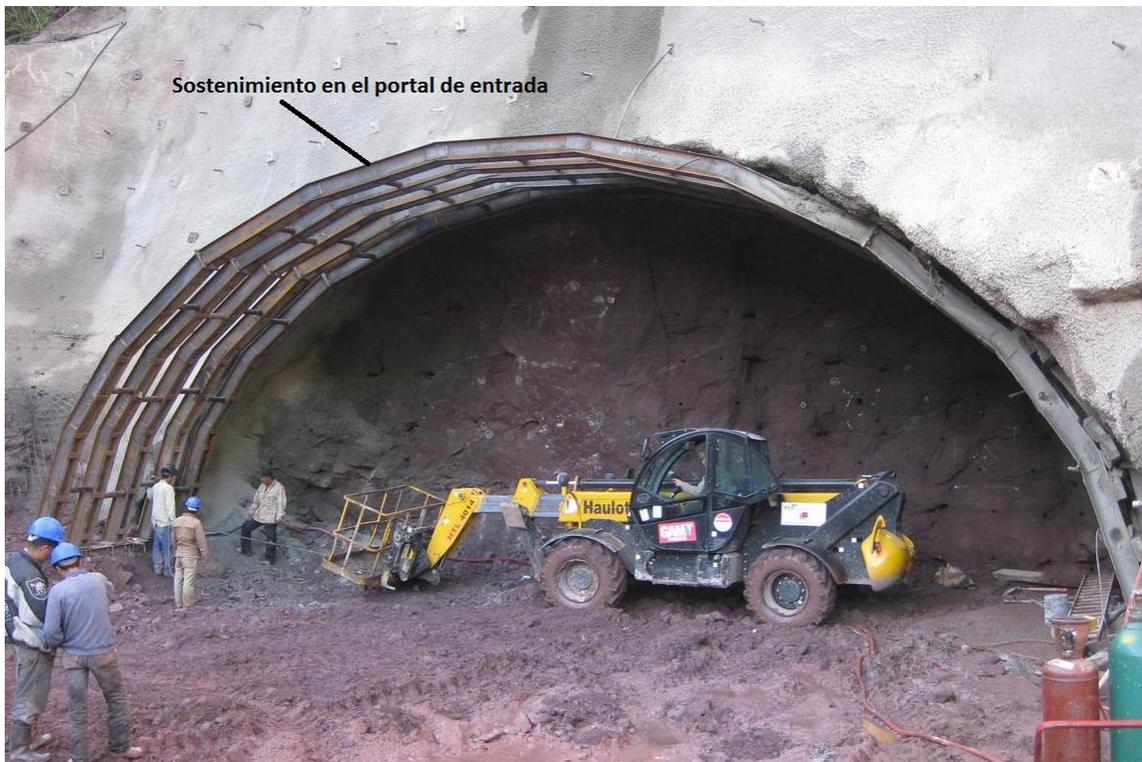


Fig. No. 69 Sección completa con sostenimiento

## VI.5. Excavación por medio de voladura (Bóveda)

A diferencia del emportalamiento que consiste en la excavación a cielo abierto en tajo, la realización de la excavación del túnel es mucho más especializada ya que el frente está limitado a un espacio muy reducido en el cual se debe de cuidar en todo momento los posibles bloques sueltos que pudieran desprenderse así como la medición constante de la topografía.

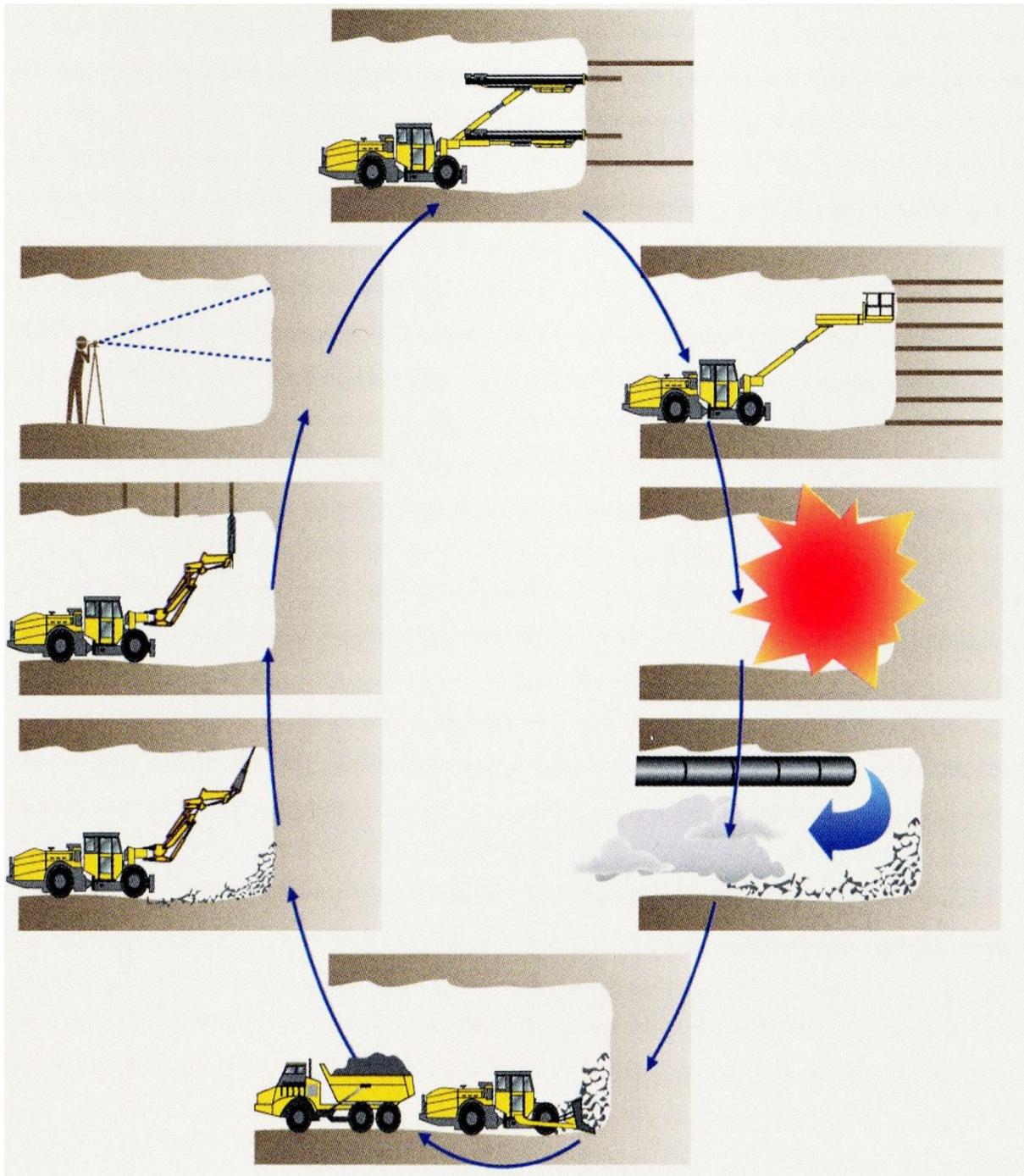
Para lo cual existen diferentes métodos de excavación que van de acuerdo a las condiciones de geotécnica que los estudios realizados a lo largo de todo el túnel, dichas condiciones establecerán el procedimiento constructivo a realizar, como se puede observar en la **(Tabla No. 2)** indica por kilometraje los diferentes tipos de condiciones Geológicas que van de roca extremadamente mala a roca buena, esto indica el posible procedimiento a utilizar en la excavación.

**(Tabla No. 2) Condición Geologica**

Cadenamiento	Condición Geológica	Observaciones
668+445 – 668+460	D <sup>(-)</sup>	Roca muy mala a extremadamente mala
668+460 – 668+840	D <sup>(+)</sup>	Roca muy mala
668+840 – 669+500	C <sup>(+)</sup>	Roca mala a regular
669+500 – 669+580	D <sup>(+)</sup>	Roca muy mala
669+580 – 670+080	C <sup>(+)</sup>	Roca mala a regular
670+080 – 670+160	D <sup>(+)</sup>	Roca muy mala
670+160 – 670+530	B	Roca regular a buena
670+530 – 670+620	D <sup>(+)</sup>	Roca muy mala
670+620 – 671+185	C <sup>(-)</sup>	Roca mala
670+185 – 671+200	D <sup>(-)</sup>	Roca muy mala a extremadamente mala

Como primer paso se debe establecer los diferentes procedimientos de excavación a utilizar debido a las condiciones geológicas.

## Ciclo de excavación en túnel



(Fig. No. 70) Ciclo de Excavación en Túnel

## Etapas del procedimiento de la excavación en Túnel.

- Plantilla de barrenación
- Barrenación
- Carga de explosivos
- Detonación
- Ventilación
- Retiro de rezaga
- Retiro de material suelto
- Colocación de anclas
- Verificación del trazo

### Procedimiento de excavación para Condición Geotécnica “B” Roca Regular a Buena

#### Fases de la excavación en Bóveda lado derecho e izquierdo ver la (Fig. No. 71)

- Barrenación, carga, Pega y retiro de rezaga.
- Concreto lanzado.
- Colocación de anclas.
- El lado izquierdo se realiza en forma idéntica al lado derecho

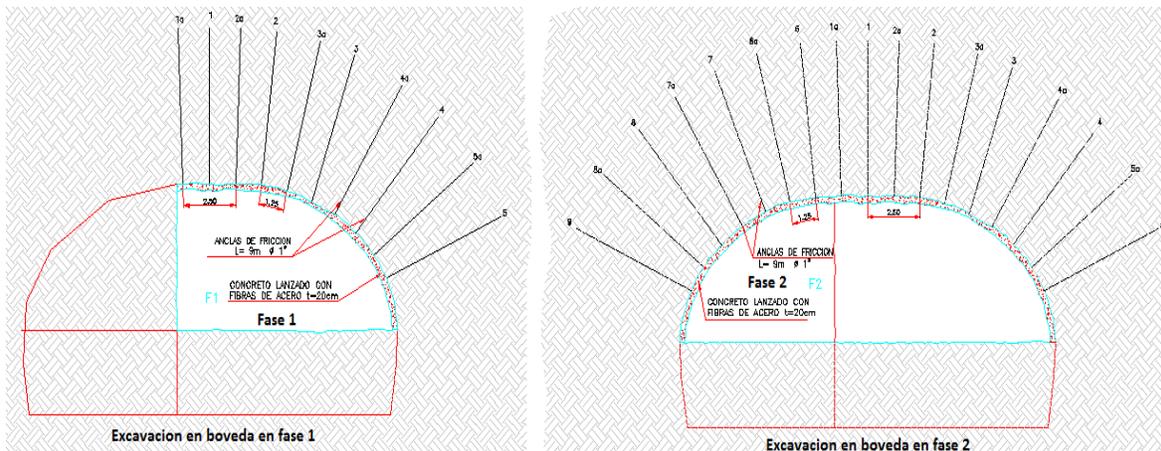
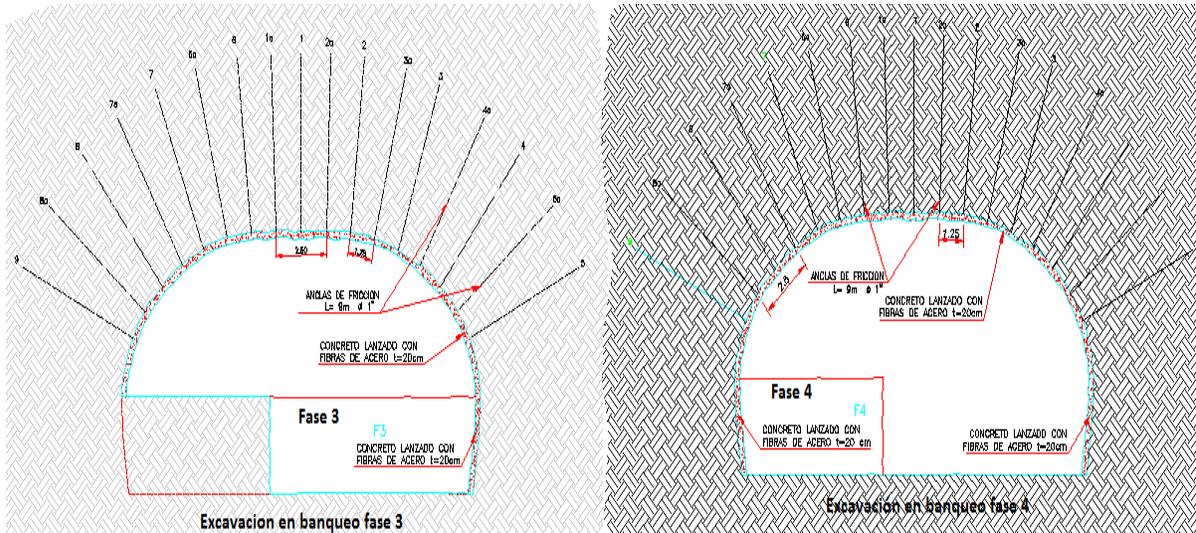


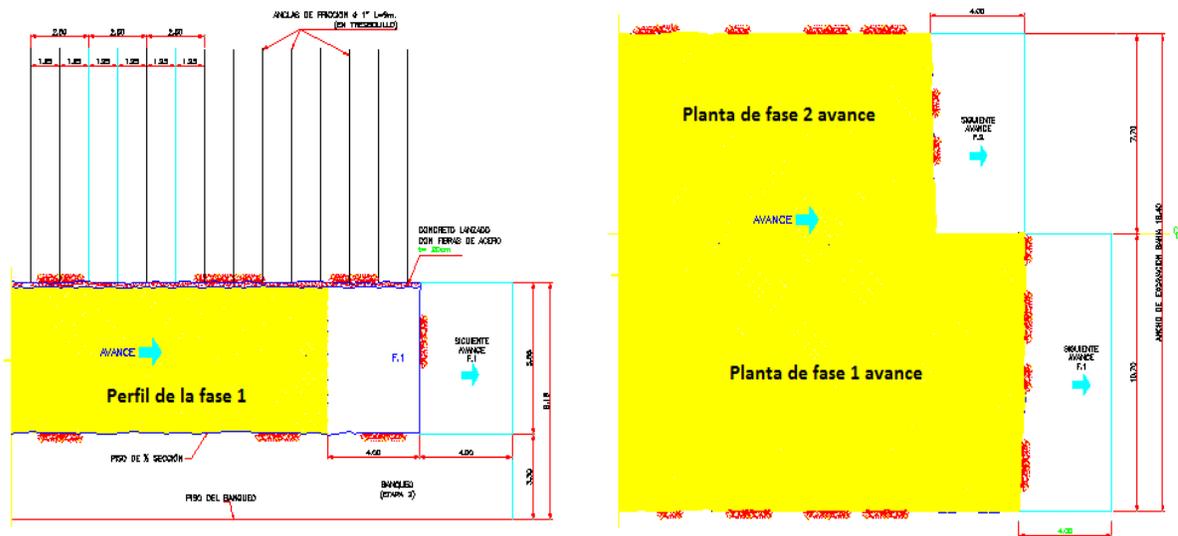
Fig. No. 71 Condición Geotécnica B excavación en bóveda bahía de emergencia

**Fases de la excavación en Banqueo lado derecho e izquierdo ver las (Fig. No. 72, 73, 74 y 75)**

- Barrenación, carga, Pega y retiro de rezaga.
- Concreto lanzado.
- El lado izquierdo se realiza en forma idéntica al lado derecho



**Fig. No. 72 Condición Geotécnica (B) excavación en banqueo bahía de emergencia**



**Fig. No. 73 Perfil y planta del avance de la excavación en Condición Geotécnica B**

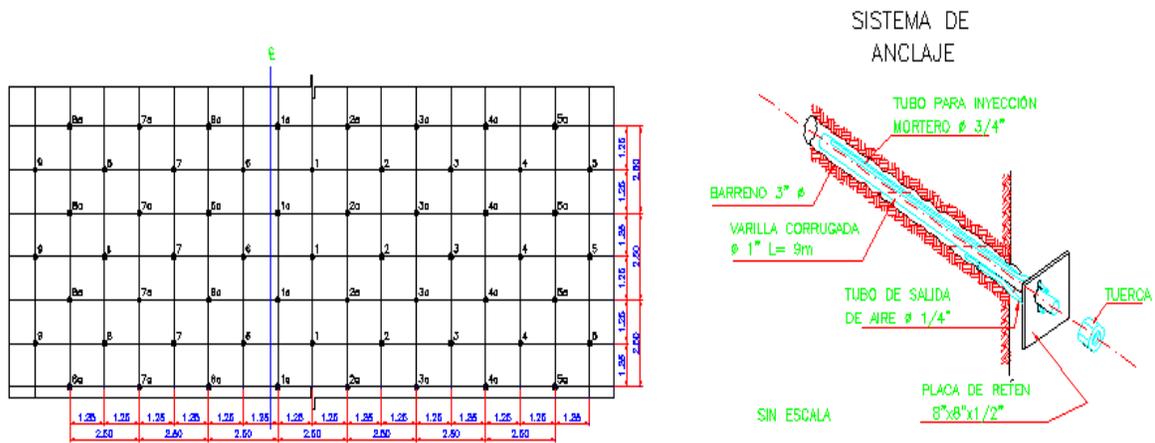


Fig. No. 74 Distribución de anclas de fricción y sistema de anclaje

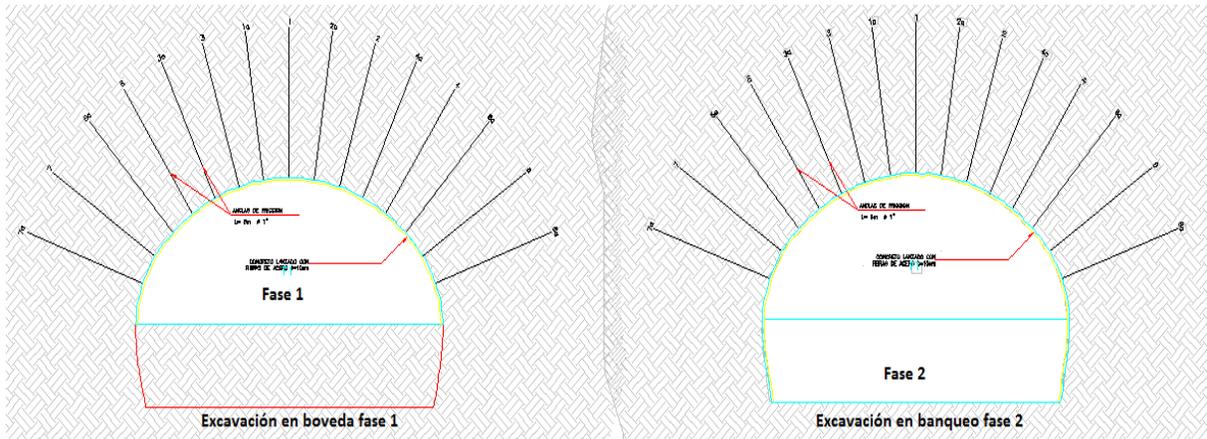


Fig. No. 75 Condición Geotécnica B en tramo sin bahía de emergencia

## Procedimiento de excavación para Condiciones Geotécnica “C(+)”

### Roca mala a regular

#### Fases de la excavación en Bóveda lado derecho e izquierdo (Fig. No. 76)

- Barrenación, carga, Pega y retiro de rezaga.
- Concreto lanzado.
- Colocación de anclas

El lado izquierdo se realiza en forma idéntica al lado derecho

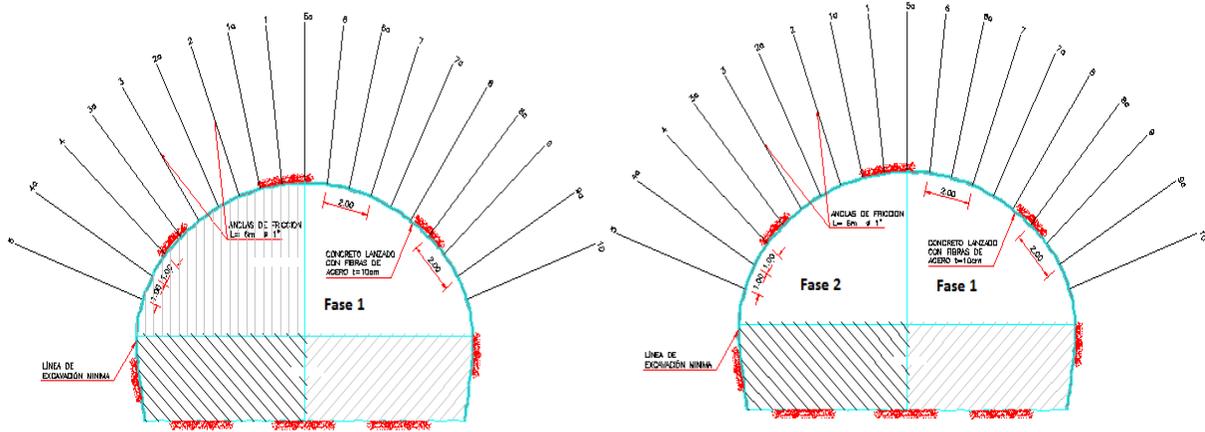


Fig. No. 76 Condición Geotécnica “C<sup>(+)</sup>”

**Fases de la excavación en Banqueo lado derecho e izquierdo (Fig. No. 77, 78 y 79)**

- Barrenación, carga, Pega y retiro de rezaga.
- Concreto lanzado.

El lado izquierdo se realiza en forma idéntica al lado derecho

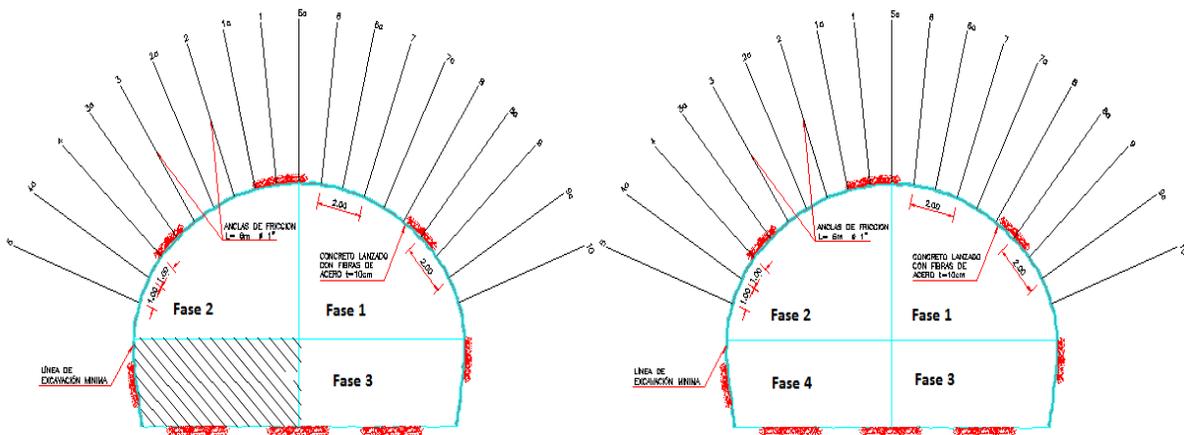


Fig. No. 77 Excavaciones por fases banqueo “C<sup>(+)</sup>”

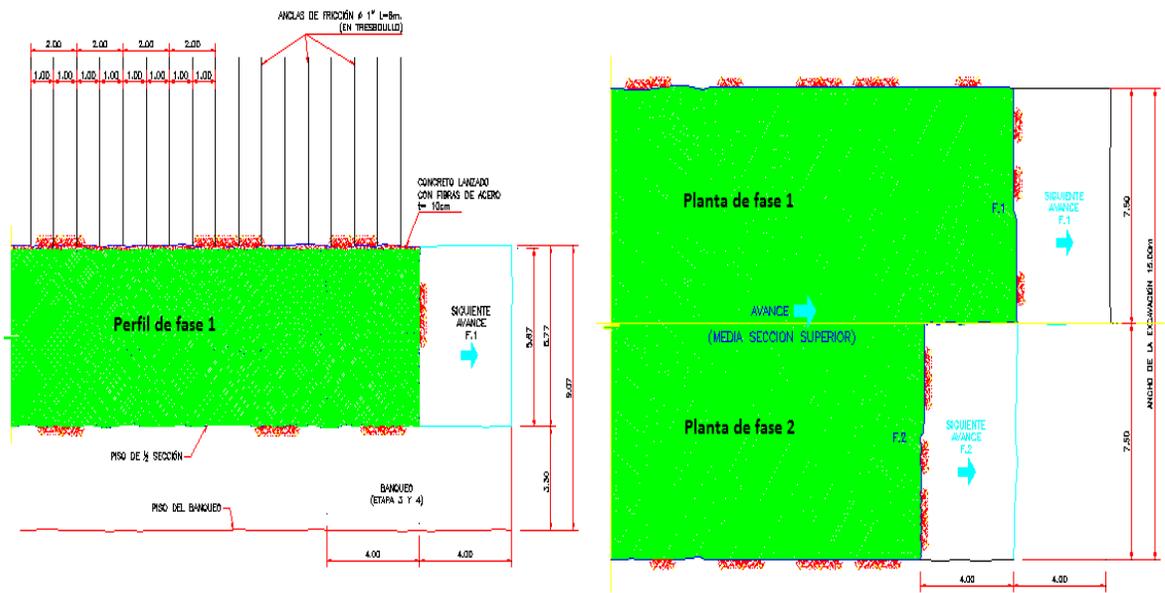


Fig. No. 78 Perfil y planta del avance de la excavación en Condición Geotécnica “C(+)”

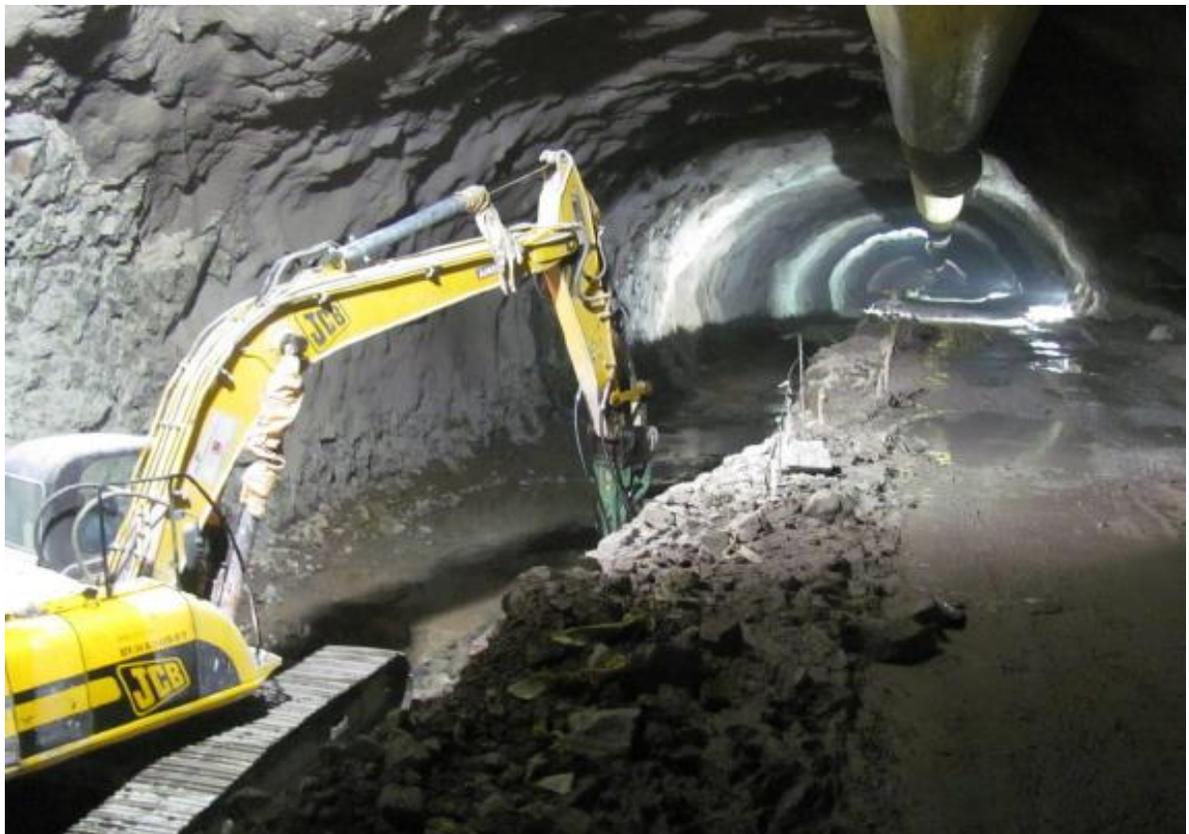


Fig. No. 79 Excavación del banquito “C(+)”

## Procedimiento de excavación para Condición Geotécnica “C<sup>(-)</sup>” Roca mala

Fases de la excavación en Banqueo lado derecho (fase 1), izquierdo (fase 2) y central (fase 3) (**Fig. No. 80, 82 y 83**), el avance debe ser cuando mucho de 2.00 m. La fase 1 no debe de realizarse en forma simultánea con la fase 2, debe ser primero uno y una vez concluido hasta la colocación de anclas entonces da inicio la siguiente fase

- Barrenación, carga, Pega y retiro de rezaga.
- Concreto lanzado.
- Colocación de anclas

El lado izquierdo se realiza en forma idéntica al lado derecho, la parte central debe de realizarse cuando ya se hayan concluido las 2 fases anteriores y se realizan las mismas actividades antes descritas en las fases 1 y 2

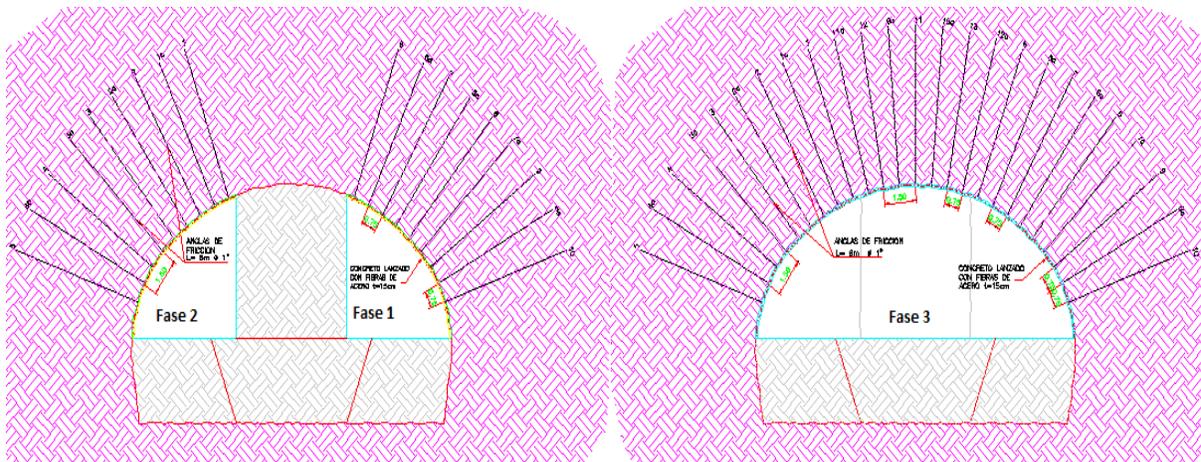


Fig. No. 80 Condición Geotécnica “C<sup>(-)</sup>” (Excavación en Bóveda)

Para la excavación del banqueo debe también realizarse por etapas y en primer lugar se debe de realizar la parte central fase 4 (**Fig. No. 81 y 82**) y cuando ya se tenga concluido esta etapa entonces se puede realizar en forma simultánea las etapas 5, las actividades que conforman esta última fase es:

- Barrenación, carga, Pega y retiro de rezaga.
- Lanzado de concreto
- Cuando las condiciones geotécnicas así lo requieran se debe de colocar los marcos metálicos
- 

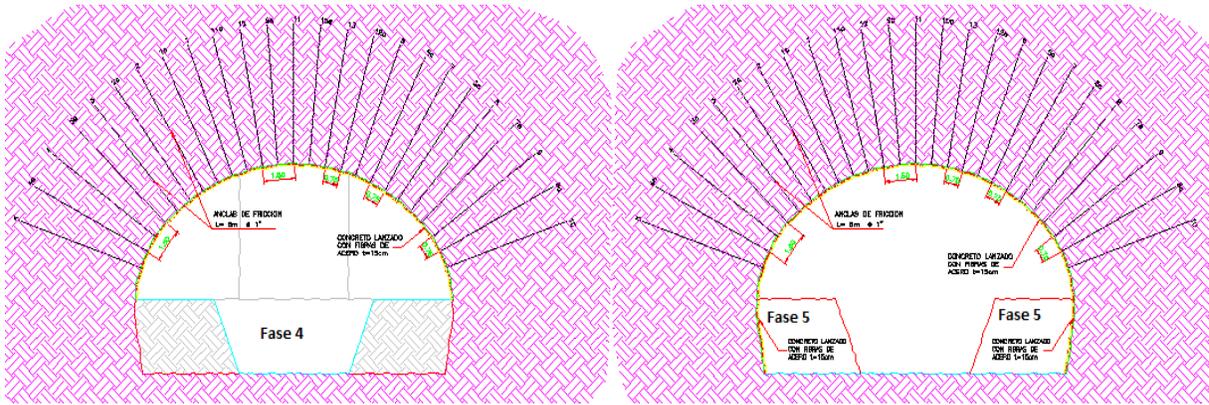


Fig. No. 81 Condición Geotécnica “C<sup>(-)</sup>” Excavación en Banqueo)

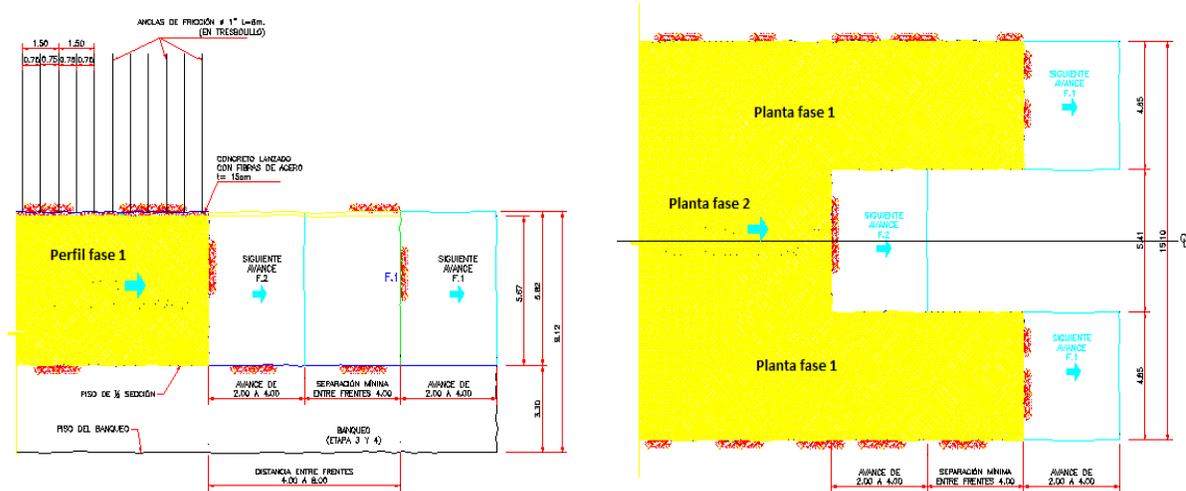
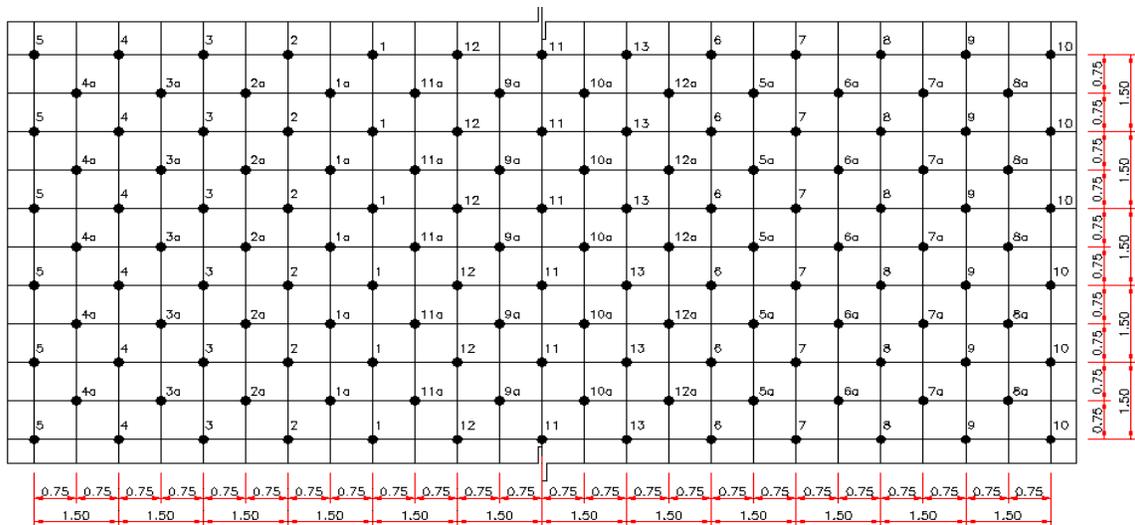


Fig. No. 82 Perfil y planta del avance de la excavación en Condición Geotécnica “C<sup>(-)</sup>”



**Fig. No. 83 Distribución de anclas de fricción para Condición Geotécnica “C(-)”**

### **Procedimiento de excavación para Condición Geotécnica “D(-)” Roca muy mala a extremadamente mala**

La condición Geotécnica “D(-)” fue la más desfavorable que se presentó en la excavación del Túnel Sinaloense estas condiciones de presentaron en los portales tanto de Durango como de Mazatlán, para poder iniciar con la actividad de la excavación se realizaron varias fases según la **(Fig. No. 84 y 85)**:

- Colocación de enfilaje
- Excavación con excavadora y martillo neumático
- Lanzado de concreto 1er. etapa
- Colocación de marcos metálicos
- Lanzado de concreto 2da. etapa

Cuando se ha avanzado una distancia de (2 – 3) m. se inicia con las siguientes etapas.

- Barrenación del lado derecho
- Carga de explosivos, pega, ventilación y retiro de rezaga
- Concreto lanzado 1er. etapa
- Colocación de marcos metálicos separación @ 80 cm.
- Concreto lanzado 2da, etapa

Cuando se ha concluido con las actividades del (túnel piloto Derecho) se inician con las actividades del túnel piloto izquierdo, las actividades son idénticas a las antes descritas.

Para concluir con los trabajos de la Bóveda se realizan las siguientes actividades en el pilar central.

- Barrenación
- Carga de explosivos, pega, ventilación y retiro de rezaga
- Concreto lanzado 1er. etapa
- Colocación de marcos metálicos separación @ 80 cm.
- Concreto lanzado 2da, etapa

Existió el caso de que los explosivos no se pudieron utilizar y entonces la excavación de realizo por medios mecánicos (excavadoras y martillos) teniendo por consecuencia un avance menor al programado.

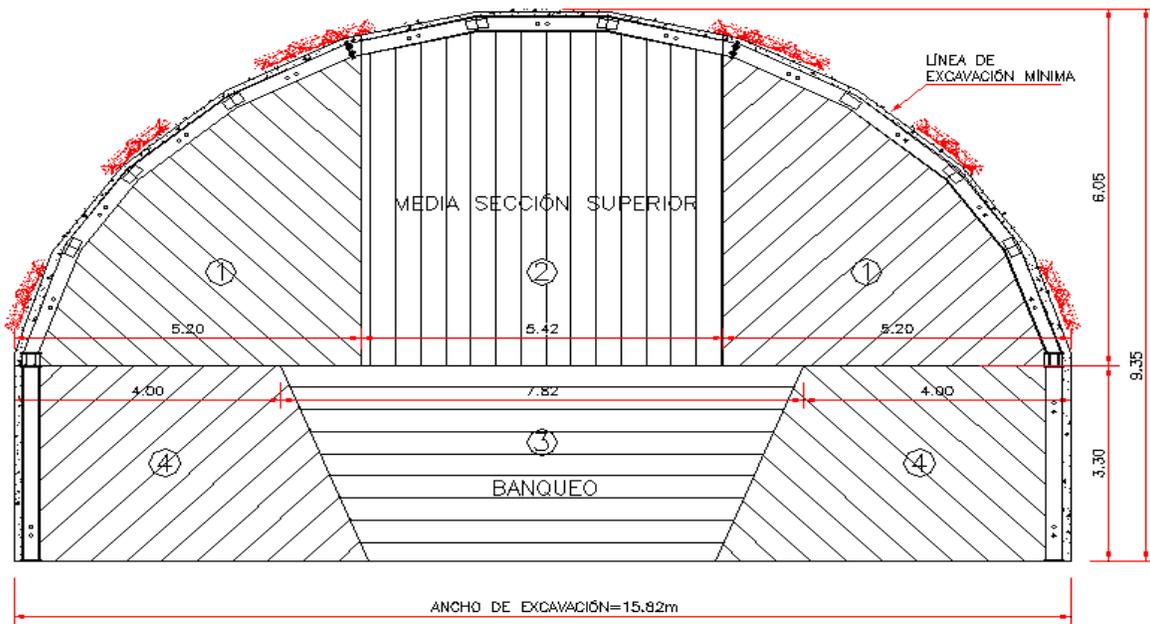
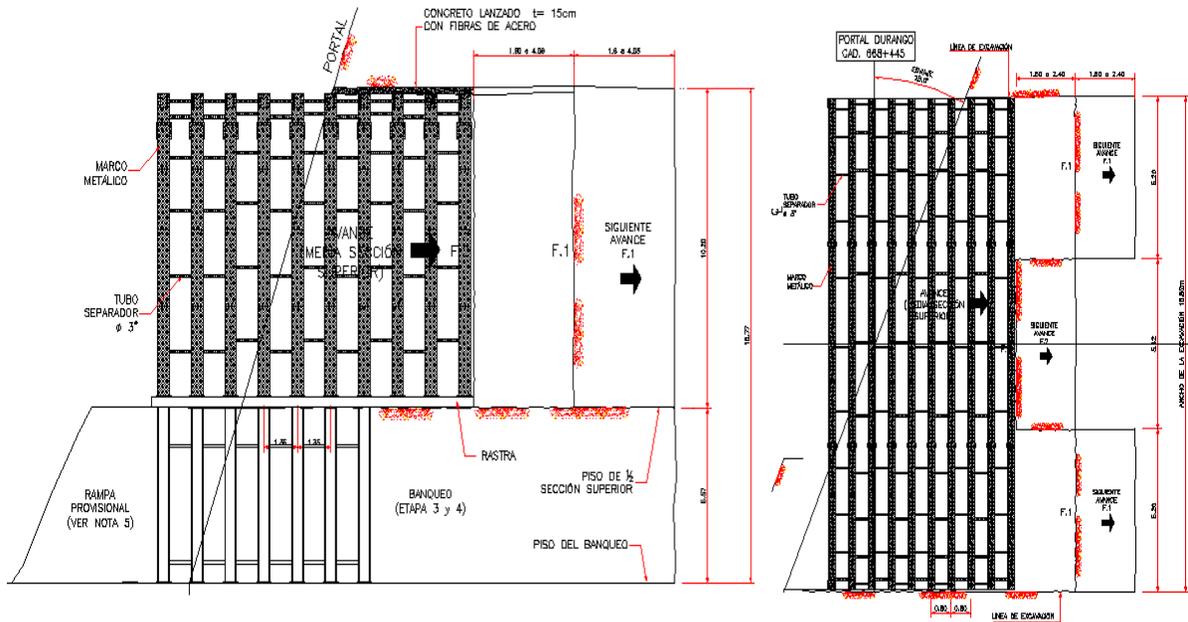


Fig. No. 84 Condición Geotécnica "D"<sup>(4)</sup>



**Fig. No. 85 Perfiles y plantas de excavación en Condición Geotécnica “D(-)”**

Para la excavación del banqueo esta se divide en etapas como primer volumen a retirar es la parte central (**Fig. No. 84 y 85**), una vez que fue hecha la excavación central se procede a excavar las zonas laterales, estas actividades pueden ser en forma simultánea, conforme se vaya avanzando se deben de colocar el complemento de los marcos.

### **Procedimiento de excavación para Condición Geotécnica “D(+)” Roca muy mala**

A diferencia de la condición **Geotécnica “D(+)”** en esta no hubo la necesidad de colocar enfilajes solo se procedió a realizar la excavación por secciones como lo indican las (**Fig. No. 86, 87 y 88**), el tratamiento para el sostenimiento fue el lanzamiento de concreto, colocación de marcos metálicos y lanzamiento de segunda capa de concreto, en esta condición **Geotécnica “D(+)”** en todas las fases se utilizó el explosivo para la excavación.

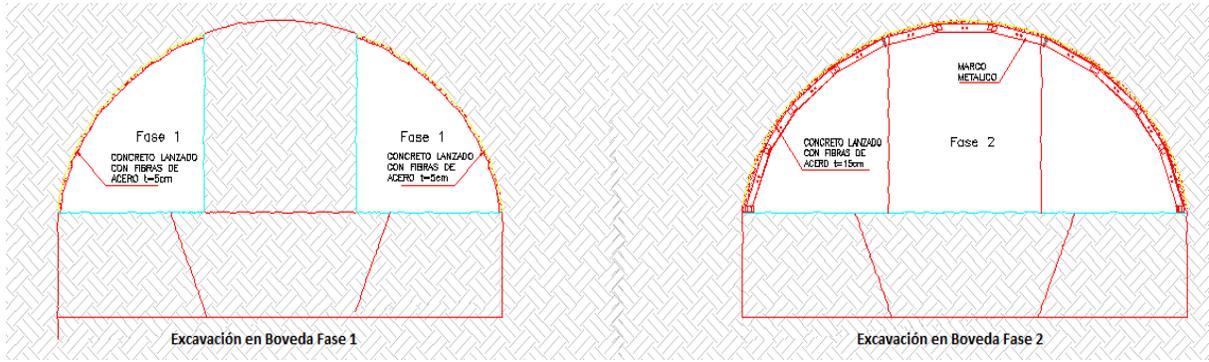


Fig. No. 86 Excavación de bóveda en fase 1 y 2 en Condición Geotécnica "D(+)"



Fig. No. 87 Excavación del banqueo fase 3 y 4 en Condición Geotécnica "D(+)"

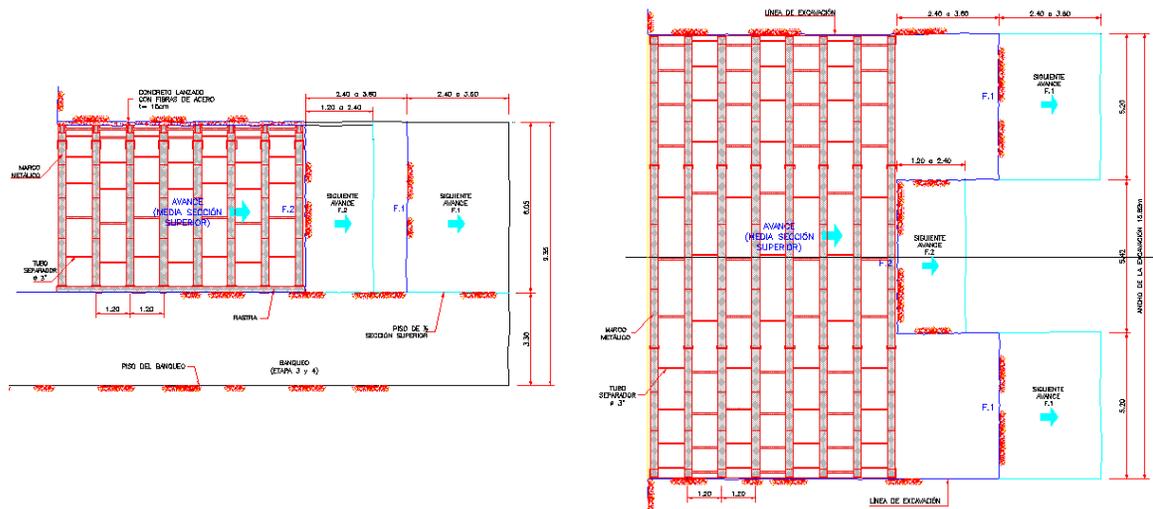


Fig. No. 88 Perfiles y plantas de excavación en Condición Geotécnica "D(+)"

Tabla No. 3 Procedimientos de excavación

CLASE DE ROCA	CONDICIÓN GEOTÉCNICA	RMR	Q	EXCAVACIÓN	SOSTENIMIENTO
CLASE I ROCA DE MUY BUENA CALIDAD	A	≥ 81 Roca muy buena	≥ 45 Roca muy buena	Media sección superior Avances de 4.00 m.	<b>Anclaje:</b> Local <b>Concreto lanzado f'c=200 kg/cm<sup>2</sup>:</b> Reforzado con fibra de acero a razón de 40 kg/m <sup>3</sup> , t=10 cm.
CLASE II ROCA DE BUENA CALIDAD	B	61 – 80 Roca buena	6 – 45 Roca regular a buena	Media sección superior Avances de 4.00 m.	<b>Concreto lanzado f'c=200 kg/cm<sup>2</sup>:</b> Reforzado con fibra de acero a razón de 40 kg/m <sup>3</sup> , t=10 cm. <b>Anclaje:</b> Radial de fricción de 1" Ø L = 6.00 m. Aureolas de 7 y 8 a 2.5 x 2.5 m. en tresbolillo
CLASE III ROCA DE MEDIA CALIDAD	C <sup>(+)</sup>	51 – 60 Roca Regular a Buena	4 – 6 Roca mala a Regular	Cuarto de sección Avances de 4.00 m.	<b>Concreto lanzado f'c=200 kg/cm<sup>2</sup>:</b> Reforzado con fibra de acero a razón de 40 kg/m <sup>3</sup> , t=15 cm. (7.5 y 7.5 cm.) <b>Anclaje:</b> Radial de fricción de 1" Ø L = 6.00 m. Aureolas de 9 y 10 a 2.00 x 2.00 m. en tresbolillo
	C <sup>(-)</sup>	41 – 50 Roca Regular	1 – 4 Roca mala	Tercio de media Sección superior Avances de 2 – 4 m.	<b>Concreto lanzado f'c=200 kg/cm<sup>2</sup>:</b> Reforzado con fibra de acero a razón de 40 kg/m <sup>3</sup> , t=15 cm. (7.5 y 7.5 cm.) <b>Anclaje:</b> Radial de fricción de 1" Ø L = 6.00 m. Aureolas de 12 y 13 a 1.5 x 1.5 m. en tresbolillo
CLASE IV ROCA DE MALA CALIDAD	D <sup>(+)</sup>	31 – 40 Roca mala a regular	0.4 – 1 Roca muy mala	Tercio de media sección superior Avances laterales de 2.40 – 3.60 m. Avance pilar central de 1.20 – 1.40 m.	<b>Concreto lanzado f'c=200 kg/cm<sup>2</sup>:</b> Reforzado con fibra de acero a razón de 40 kg/m <sup>3</sup> , t=15 cm. (5 y 10 cm.) <b>Marcos metálicos:</b> @ 1.20 m.
	D <sup>(-)</sup>	21 – 30 Roca mala a muy mala	0.1– 0.40 Roca muy mala a extremadamente mala	Tercio de media sección superior Avances laterales de y pilar central de 1.60 – 2.40 m.	<b>Concreto lanzado f'c=200 kg/cm<sup>2</sup>:</b> Reforzado con fibra de acero a razón de 40 kg/m <sup>3</sup> , t=15 cm. (5 y 10 cm.) <b>Marcos metálicos:</b> @ 0.80 m.
CLASE V ROCA DE MUY MALA CALIDAD	E	≤ 20 Roca muy mala	0.01– 0.10 Roca muy mala a extremadamente mala	Media sección superior Avances de 5.5 m.	<b>Concreto lanzado f'c=200 kg/cm<sup>2</sup>:</b> Reforzado con fibra de acero a razón de 40 kg/m <sup>3</sup> , t=15 cm. (5 y 10 cm.) <b>Marcos metálicos:</b> @ 0.80 m. <b>Enfilaje:</b> Tubos ranurados de 4" Ø Separación de 40 cm. Θ=10°

## Ejemplo del ciclo utilizado en la excavación en banqueo Condición Geotécnica "B".

Cuando se ha establecido el tipo de procedimiento a utilizar (**Fig. No. 89**), como punto de partida se debe de realizar una plantilla de perforación teórica misma que podrá variar ya en campo debido a las condiciones reales que se presenten. El avance de la barrenación en la fase 1 (**Fig. No. 90**) de la media sección superior es hasta de 4.00 m. como punto de partida se inicia con los barrenos del recorte, la separación entre barrenos es de aproximadamente 40 cm. Continuando con la barrenación del Cuelle (**Fig. No. 91**) (Sección Central), continuando con franqueo en esta sección la separación entre barrenos es variable y finalmente se realizan los barrenos de la zapatera, la separación puede ser desde 0.60 – 0.80 m.

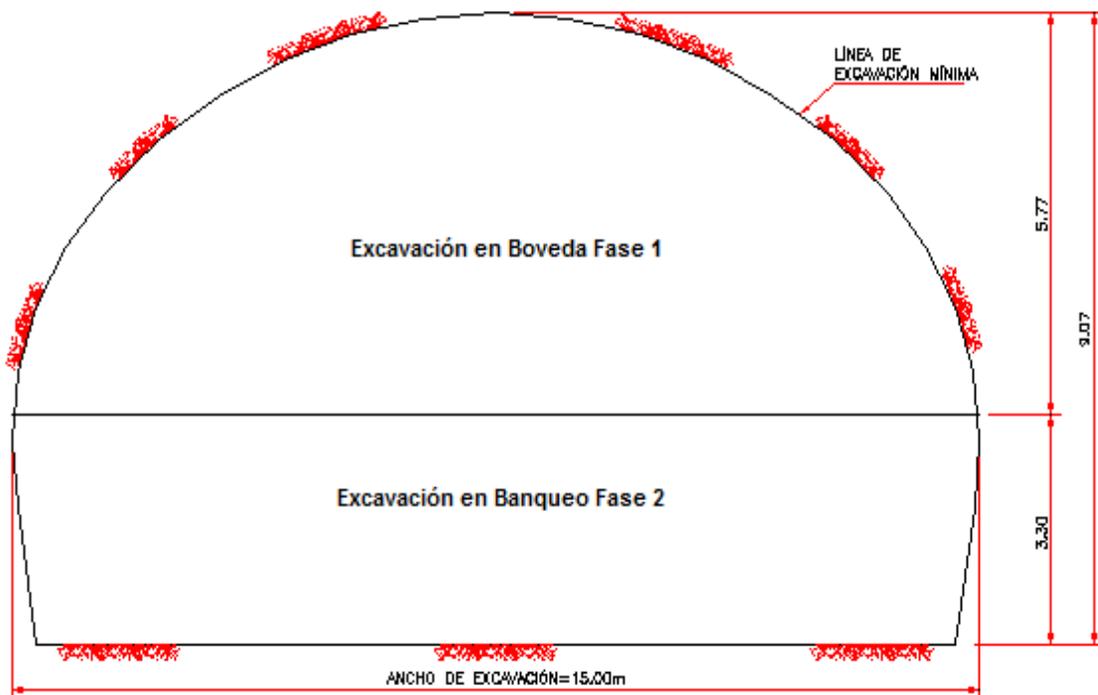


Fig. No. 90 Condición Geotécnica "B"

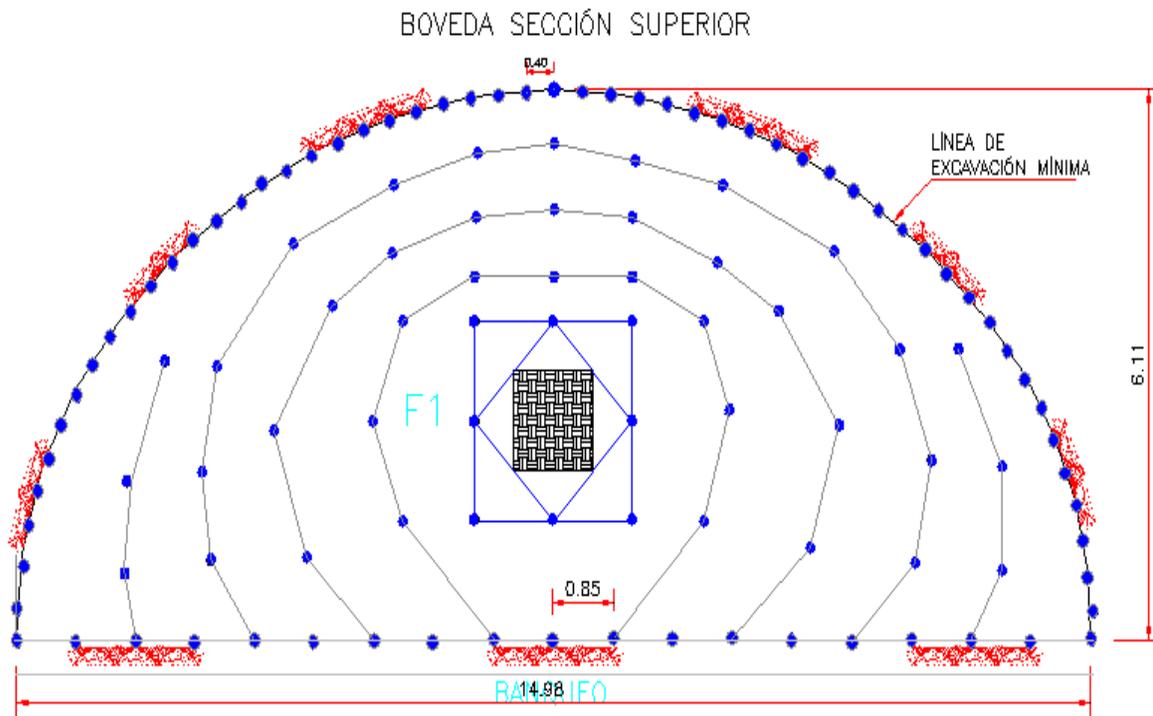


Fig. No. 91 Plantilla de barrenación

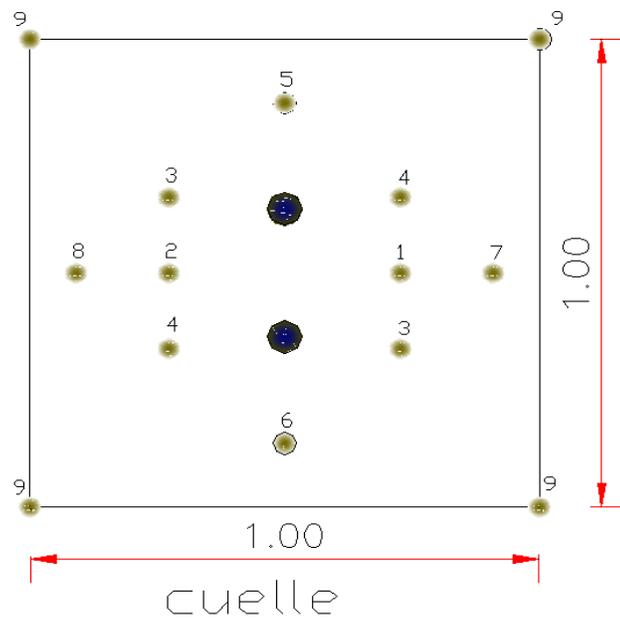


Fig. No. 92 Plantilla de barrenación del cuello

Resumen de barrenos y carga de los explosivos			
Tipo de barreno	Carga kg	No. de barrenos	Total kg
Recorte	1.00	53.00	53.00
Cuelle	2.80	14.00	39.20
Vacíos		2.00	
Franqueo	3.50	39.00	136.50
Zapateras	3.80	19.00	72.20
Pega Compl.		2+125	300.90

Obtención de perforación específica y Densidad de carga mismos		
No. de retardo	Retardo m.s.	Intervalo m.s.
1 - 10	30 - 270	30
10 - 20	270 - 340	30
Sección excavada		70.71 m <sup>2</sup>
Diámetro de cuello		137 mm
Diámetro de barrenos		45 mm
Numero de barrenos		2+125
Longitud del barreno		3.20 m
Perforación Total		406.4 m
Avance estimado		3.00 m
Volumen arrancado		212.13 m <sup>3</sup>
Perforación específica		1.92 m/m <sup>3</sup>
Carga de explosivo		300.90 kg
Densidad de carga		1.42 kg/m <sup>3</sup>

### Calculo del ciclo de excavación en Bóveda

#### Datos:

Condición Geológica "B" del km 670+160 al km 670+530 long. aproximada 370 m.

#### Excavación – Sostenimiento Bóveda.

Bóveda	6.11 m
Exc. Teórica	70.71 m <sup>3</sup>
Avance	3.00 m
Vol. Excavado	212.13 m <sup>3</sup>
Perímetro	21.30 m
Zapatera	14.98 m

#### Obtención de los tiempos del ciclo.

1.- Replanteo		= 0.50 hrs.
2.- Barrenación con Jumbo de 3 brazos		
Descripción	No. de barrenos	Long. Barreno
• Perímetro @ 40 cm.	53.00 x	3.20 m.
• Cuelle	16.00 x	3.20 m.
• Zapatera @ 85 cm.	19.00 x	3.20 m.
• Franqueo	39.00 x	3.20 m.
Total	127.00	
		Long. Total
		= 169.60 m.
		= 51.20 m.
		= 60.80 m.
		= 124.80 m.
		= 406.40 m.
Tiempo de perforación	406.40 x 1.00 ml/min. x 1.20 Coef. Simult.	= 487.68 min/avance
Jumbo de 3 brazos	487.68 / 3 brazos = 162.56 min. / 60.00 min.	= 2.71 hr.
Carga explosivo	212.13 m <sup>3</sup> x 1.42 kg/ m <sup>3</sup> = 301.22 kg de explosivo/avance	
	301.22 kg / 0.50 kg/min. / 6 personas = 100.41 min.	
	100.41 min. / 60 min.	= 1.67 hr
3.- Disparo y Ventilación		= 0.50 hr.

#### 4.-Retiro de rezaga.

$$212.13 \text{ m}^3 \times 1.50 \text{ factor abundamiento} = 318.20 \text{ m}^3 \text{ sueltos}$$

$$318.20 \text{ m}^3 / 12.00 \text{ m}^3 \text{./camión} = 26.52 \text{ ciclos} = 27 \text{ ciclos}$$

#### Carga a camión con cargador

Ciclo	cap. cargador	=	Cap. camión	No. Ciclos	Tiempo/ciclo.
0.25 min	$0.90 \text{ m}^3$	=	$12.00 \text{ m}^3$	= 13.33	= 3.33 min/camión.
27.00 ciclos	$\times 3.33 \text{ min/camión}$	=	90.00 min.	/ 60 min.	= 1.50 hr

#### Distancia promedio de acarreo

- Distancia del portal al frente      1,735.00 m.       $\times 2.00$       = 3,470.00 m.
- Distancia promedio en el frente      185.00 m.       $\times 2.00$       = 370.00 m.
- Distancia promedio fuera del túnel      1,000.00 m.       $\times 2.00$       = 2,000.00 m.
- Total      = 5,840.00 m.
  
- Velocidad promedio      20.00 km/hr.      = 333.33 m/min
- $5,840.00 \text{ m.} / 333.33 \text{ m/min}$       = 17.52 min.
- $27.00 \text{ ciclos} \times 17.52 \text{ min.}$       = 473.04 min.
- = 90.00 min
- $563.04 \text{ min.} / 60.00 \text{ min.}$       = 9.38 hr.
- $9.38 \text{ hr.} \times 1.20 \text{ Coef. Simult.}$       = 11.26 hr.

#### 5.- Concreto lanzado y marcos metálicos

	Avance	Perímetro	Esp. Conc.	Factor rechazo	
Concreto 1er. etapa	3.00 m x	21.30 m. x	.05 m. x	1.20	= $3.83 \text{ m}^3$
		$3.83 \text{ m}^3$	$\times 6.00 \text{ m}^3 \text{/hr.}$		= 0.64 hr.

Marcos metálicos      3.00 pza x 21.30 ml. x 44.80 kg/ml = 2,862.72 kg/avance de 3 m.

Velocidad de colocación  $2,862.72 / 2 \text{ equipos} = 1,431.36 \text{ kg/equipo}$       = 4.00 hr.

Concreto 2da. Etapa	3.00 m. x	21.30 m. x	0.15 m. x	1.20	= $11.50 \text{ m}^3$
		$11.50 \text{ m}^3$	$/ 6.00 \text{ m}^3 \text{/hr.}$		= 1.92 hr.

Total      0.64 hr + 4.00 hr + 1.92 hr      = 6.56 hr.

6.56 hr x 0.50 coeficiente de simultaneidad      = 3.28 hr.

#### Resumen.

1.- Replanteo	=	0.50 hr.
2.- Barrenación y carga	=	4.38 hr.
3.- Disparo y Ventilación	=	0.50 hr.
4.- Desescombro y acarreo	=	11.26 hr.
5.- Sostenimiento	=	3.28 hr.
Total	=	19.92 hr.
Factor de imprevistos = 10%	=	1.99 hr.
Total	=	21.91 hr.

Ejecución de Bóveda	3.00 ml. / 21.91 hr.	= 0.137 ml/hr.
(3 turnos de 8 hr.)	24.00 hr. x 0.137 ml/hr	= 3.29 ml
Duración de la excavación "B"	370.00 ml / 3.29	= 112.46 días

- **Términos y equipos para la excavación del túnel**

**Jumbo.-** La máquina habitual de perforación es el jumbo, como se muestra en la (Fig. No. 93 y 94). Consta de una carrocería dotada de dos o tres brazos articulados, según los modelos. En cada brazo puede montarse un martillo de perforación (perforadora) o una cesta donde pueden alojarse uno o dos operarios y que permite el acceso a cualquier parte del frente. El funcionamiento de los jumbos es eléctrico cuando están estacionados en situación de trabajo y pueden disponer también de un motor diésel para el desplazamiento. Los martillos funcionan a rotopercusión, es decir, la barrena gira continuamente ejerciendo simultáneamente un impacto sobre el fondo del taladro. El accionamiento es hidráulico, con lo que se consiguen potencias mucho más elevadas que con el sistema neumático.

Los rendimientos de perforación que se consiguen en los jumbos hidráulicos modernos, pueden superar los 3.5 m/min de velocidad de perforación. Los jumbos actuales tienen sistemas electrónicos para controlar la dirección de los taladros, el impacto y la velocidad de rotación de los martillos e incluso pueden memorizar el esquema de tiro y perforar todos los taladros automáticamente. En este caso un único maquinista puede perforar una pega completa en unas pocas horas.



**Fig. No. 93 Equipo de Barrenación (Jumbo de 3 brazos)**



**Fig. No. 94 Barrenación en Sección Bóveda**

**El Cuelle.-** Es la fase de la voladura que dispara en primer lugar. Su finalidad es crear una primera abertura en la roca que ofrezca al resto de las fases una superficie libre hacia la que puede escapar la roca con lo cual se posibilita y facilita su arranque. El cuele es sin duda la más importante de todas las fases de la voladura de un túnel en relación con el avance de la voladura.

Existen distintos tipos de cuele, los cueles en V y en abanico, que facilitan la salida de la roca hacia el exterior, pero tienen el inconveniente de que los taladros forman un ángulo con respecto al eje del túnel, por lo que su correcta perforación tiene una mayor dificultad y exige variar el esquema de perforación para cada longitud de avance. En túneles de secciones de excavación reducidas estos cueles no permiten grandes avances por voladura.

El cuele más usado por su simplicidad es el cuele paralelo. Consiste en un taladro vacío (barreno de expansión), sin explosivos, de mayor diámetro que el resto (de 75 a 102 mm) y, a su alrededor, tres o cuatro secciones de taladros cargados que explotan sucesivamente siguiendo una secuencia preestablecida. La misión del barreno de expansión es la de ofrecer una superficie libre que evite el confinamiento de la roca de modo que facilite su arranque. Su diámetro varía entre 100 y 300 milímetros. En ocasiones puede sustituirse por dos taladros vacíos de diámetro menor (2 x 75 mm).

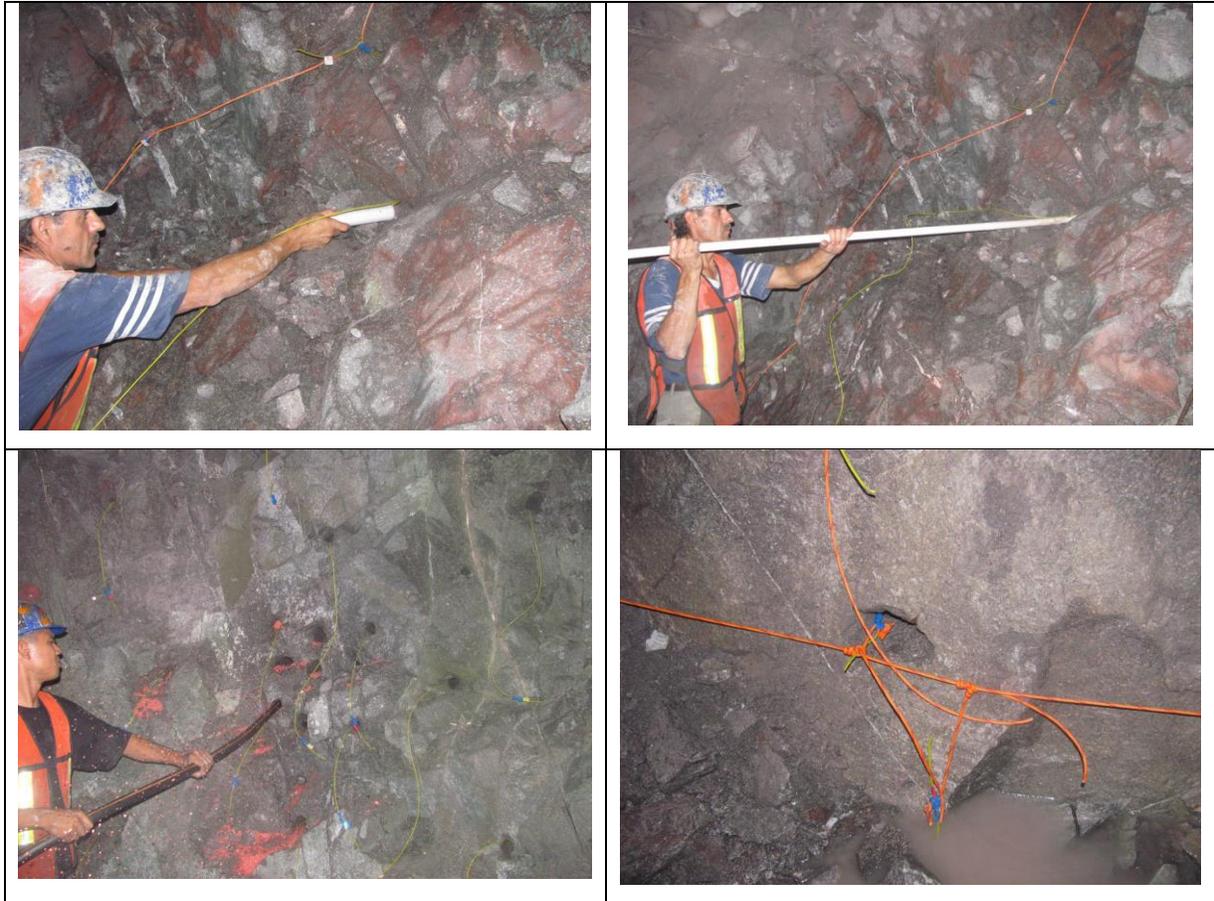
**Franqueo o Destroza.** La destroza es la parte central y más amplia de la voladura, cuya eficacia depende fundamentalmente del éxito de la zona del cuele y contracuele, que es la zona crítica de la voladura.

**Zapateras.** La zapatera es la zona de la voladura situada en la base del frente, a ras del suelo. Los taladros extremos suelen ir un poco abiertos “pinchados” hacia fuera con objeto de dejar sitio suficiente para la perforación del siguiente avance. Los barrenos de las zapateras son los que más carga explosiva contienen ya que, aparte de romper la roca han de levantar ésta hacia arriba. Para evitar repiés, van ligeramente “pinchados” hacia abajo y son disparados en último lugar.

**Contorno o Recorte.**- Los taladros perimetrales o de contorno son importantes pues de ellos dependerá la forma perimetral de la excavación resultante. Lo ideal es que la forma real del perímetro del túnel sea lo más parecida posible a la teórica, aunque las irregularidades y discontinuidades de la roca dificultan dicho objetivo.

Existen dos técnicas de efectuar los tiros perimetrales: el recorte y el precorte. El recorte, que es la técnica más empleada, consiste en perforar un número importante de taladros paralelos al eje del túnel en el contorno, a la distancia conveniente (entre 45 cm y 100 cm) y con una concentración de explosivo pequeña o incluso nula. En la secuencia de encendido son los últimos barrenos en detonar. Por otro lado, la técnica del precorte se perfora un mayor número de taladros perimetrales y paralelos entre sí unas distancias entre 25 cm y 50 cm, con una concentración de carga explosiva **entre 0,1 y 0,3 kg/m**. Esta técnica exige una perforación muy precisa que asegure un buen paralelismo y una homogénea separación entre los taladros. En la secuencia de encendido, son los primeros en detonar, con lo que se crea una fisura perimetral que aísla y protege la roca de las vibraciones del resto de la voladura. La técnica del precorte, por su esmerada ejecución y costo elevado, es de uso poco frecuente en túneles, excepto en casos muy especiales.

Cuando se han realizado la totalidad de los barrenos y el retiro del equipo de perforación se procede a colocar los explosivos (**Fig. No. 95**), la importancia que tiene esta actividad es fundamental ya que la cantidad de explosivo a utilizar nos proporcionara el tipo de rezaga que se obtendrá, de igual manera la cantidad de explosivo utilizado en el recorte, cuelle, franqueo y zapatera debe ser muy específico para no tener un fracturamiento que ponga en peligro la estabilidad de túnel, el personal que realiza la preparación así como el traslado y colocación del explosivo debe tener una constante capacitación en el manejo de dicho material. El manejo de entradas y salidas del polvorín es controlado por la SEDENA, el explosivo que sale de dicha zona y no puede regresar al polvorín este debe ser destruido.



**Fig. No. 95 Personal colocando el explosivo**

Cuando se ha colocado todo el explosivo se verifica que cada uno estén conectados entre sí, posteriormente todo el personal se retira hasta una distancia prudente o si es mejor hasta el portal del túnel, se desconecta la ventilación para evitar que la tubería sufra algún daño debido a la explosión, cuando se ha verificado que todo se haya cumplido con las normas de seguridad se procese a activar la detonación.

Una vez que se ha realizado la detonación se reinicia la ventilación para inyectar aire fresco en el frente de la excavación, posteriormente el personal de seguridad ingresa a la zona de la detonación para asegurar que todo el explosivo haya detonado (**Fig. No. 96**), si es necesario toda la rezaga se impregna de agua para asegurar que no existe peligro del explosivo no detonado.

El personal especializado en seguridad deberá de cerciorarse que todo el explosivo haya sido detonado, así como la ventilación es la adecuado para la realizara el retiro de rezaga y colocación del sostenimiento del túnel.



**Fig. No. 96 Personal verificando que todo el explosivo haya detonado.**

Cuando las condiciones de seguridad sean las adecuadas entrara una brigada para retirar de la clave todo el material que se encuentre en peligro de caerse (Amacice del área) esta actividad es realizada por 2 personas (**Fig. No. 97**), una manipula la herramienta para retirar el material suelto y la otra está observando que no existan bloques que pudieran poner en peligro la seguridad del personal para realizar las siguientes actividades.



Fig. No. 97 Personal que realice el amacice del frente

La siguiente actividad es el retiro de la rezaga, el equipo que se utilizó fue cargadores frontales (**Fig. No. 98**) y camiones del sindicato de fleteros de la región.

El cargador debe de adecuar el frente de trabajo para que el equipo de lanzamiento de concreto, sostenimiento estructural y drenaje transversal pueda realizar las actividades de sostenimiento.



Fig. No. 98 Cargador frontal adecuando el acceso

Antes de iniciar con la siguiente etapa de barrenación se deberá de asegurar la sección excavada según las condiciones geológicas que se trate, las cuales pueden ser por medio de anclas de fricción, marcos de acero, drenaje transversal etc.

Cuando se haya concluido con el sostenimiento se procederá con la siguiente etapa de barrenación, esta actividad se realizara en forma secuencial hasta concluir la excavación del túnel.

En cada avance de la sección excavada se debe de verificar la sección y dirección del túnel (**Fig. No. 99**), con esta actividad se corregirá cualquier desviación que se tenga en cada avance.



**Fig. No. 99** Cuadrilla de topografía verificando que no haya desviaciones

En el frente de ataque del túnel se utilizó un sistema de ventilación (**Fig. No. 100, 101 y 102**) el cual suministro aire fresco y limpio, la tubería de ventilación es flexible de esta manera cuando se realiza la explosión, se deja de suministrar el aire esto es con la finalidad de que la tubería no se dañe en este evento. La tubería está a una distancia aproximadamente de 15 m. antes del frente de barrenación y hasta fuera de la boca del túnel, la altura aproximada de 5 m del nivel de la excavación de la primera fase. Está parte del equipo debe de tener un constante manteniendo para que se encuentre en condiciones aceptables y el personal labore en el interior del túnel en condiciones seguras.



**Fig. No. 100** Equipo de ventilación en el Túnel



Fig. No. 101 Equipo de ventilación en el Túnel



(Fig. No. 102) Tubería de ventilación en el frente de excavación

Este sistema de ventilación también se utilizó para la construcción de la galería de emergencia (**Fig. No. 103**).



**Fig. No. 103** Equipo de ventilación en la Galería

#### **VI.6. Excavación por medio de voladura (Banqueo)**

La excavación del banqueo se determinó de acuerdo a las condiciones geotécnicas encontradas durante el avance de la sección superior. El banqueo se iniciara cuando se tenga un avance aproximadamente de 100 a 120 m. o menos si las deformaciones medidas indican una franca tendencia a la estabilización de la media sección superior.

Con dicha información que se ha obtenido en la excavación de la bóveda se determinó la plantilla de barrenación (**Fig. No. 104**) así como la carga de explosivos a utilizar, los avances que se obtienen en esta etapa es de 4.00 m.

Al igual que en la sección superior se utilizaron varias etapas de excavación según las condiciones geotécnicas encontradas en la longitud del túnel.

**Ejemplo del ciclo utilizado en la excavación en banqueo  
Condición Geotécnica "B".**

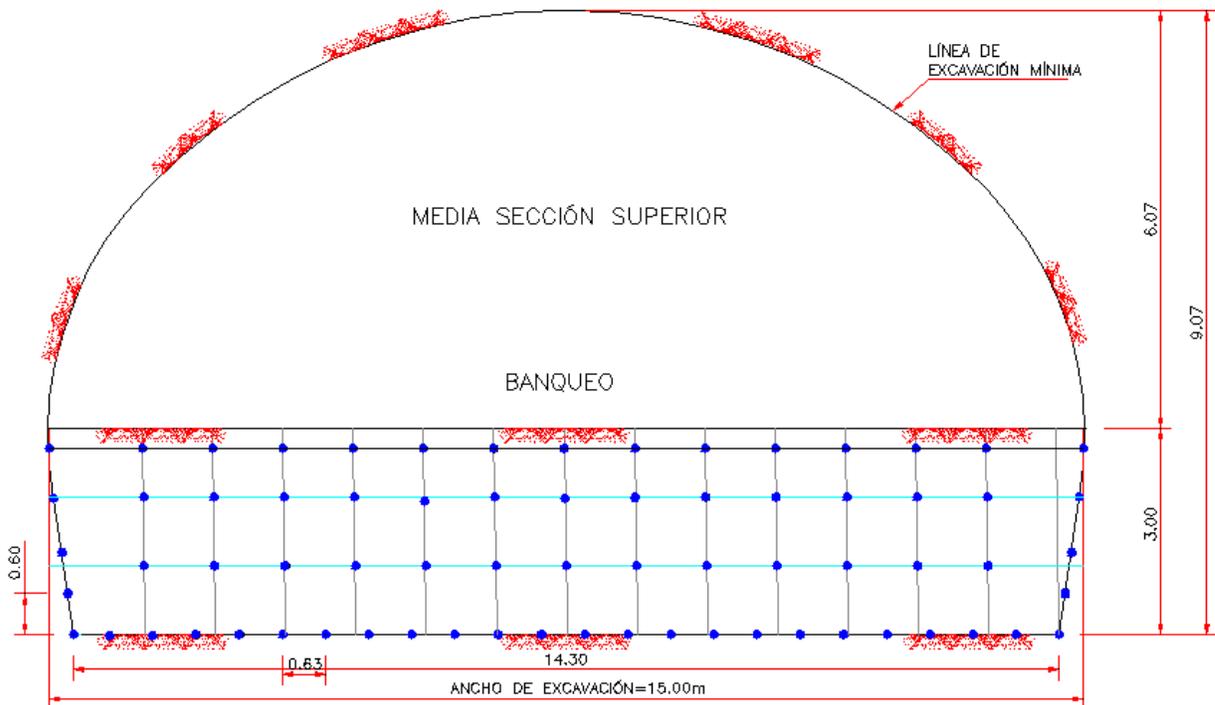


Fig. No. 104 Plantilla de perforación en banqueo.

Resumen de barrenos y carga de los explosivos			
Tipo de barreno	Carga kg	No. de barrenos	Total kg
Recorte	1.00	8.00	8.00
Franqueo	2.80	39.00	109.20
Zapateras	3.80	24.00	91.20
Pega Compl.		73.00	208.40

Obtención de perforación específica y Densidad de carga mismos		
No. de retardo	Retardo m.s.	Intervalo m.s.
1 - 10	30 - 270	30
10 - 20	270 - 340	30
Sección excavada		44.09 m <sup>2</sup>
Diámetro del barreno		45 mm
Numero de barrenos		73.00
Longitud del barreno		4.20 m
Perforación Total		306.60 m
Avance estimado		4.00 m
Volumen arrancado		176.36 m <sup>3</sup>
Perforación específica		1.74 m/m <sup>3</sup>
Carga de explosivo		208.40 kg
Densidad de carga		1.18 kg/m <sup>3</sup>

## Calculo del ciclo de excavación en Banqueo

Banqueo	3.00 m
Zapatera Teórica	15.00 m
Excavación Teórica	45.00 m <sup>3</sup> /m
Avance	4.00 m
Vol. Excavado	180.00 m <sup>3</sup>
Perímetro	6.00 m

1.- Replanteo = 0.30 hrs.

### 2.- Perforación con jumbo de 3 brazos

•	Perímetro	@ 63 cm.	10 barrenos x 4.20 m. long.	= 42.00 m
•	Zapatera	@ 60 cm.	24 barrenos x 4.20 m. long.	= 100.80 m
•	Franqueo		39 barrenos x 4.20 m. long.	= 163.80 m
	<b>Total</b>		<b>73 barrenos</b>	<b>= 306.60 m</b>

#### • Velocidad de barrenación

$$306.60 \text{ m} \times 1.00 \text{ m/min.} \times 1.30 \text{ Coef. Simult.} = 398.58 \text{ min.}$$

$$398.58 \text{ min.} / 3 \text{ brazos} = 132.86 \text{ min.} / 60 \text{ min.} = 2.21 \text{ hr.}$$

#### • Carga de explosivo

$$180.00 \text{ m}^3 \times 1.19 \text{ kg/ m}^3 = 214.20 \text{ kg.}$$

$$214.20 \text{ kg} / 0.75 \text{ kg/min.} / 6 \text{ personas} = 47.6 \text{ min} / 60 = 0.79 \text{ hr.}$$

3.- Disparo – Ventilación = 0.30 hr.

Total = 3.60 hr.

### 4.-Retiro de Rezaga.

$$180.00 \text{ m}^3 \times 1.50 \text{ factor abundamiento} = 270.00 \text{ m}^3\text{-suelos}$$

$$270.00 \text{ m}^3 / 12.00 \text{ m}^3\text{/camión} = 22.50 \text{ ciclos} = 23 \text{ ciclos}$$

### Carga a camión con cargador

Ciclo	cap. cargador	=	Cap. camión	No. Ciclos	Tiempo/ciclo.
0.25 min	x 0.90 m <sup>3</sup>	=	12.00 m <sup>3</sup>	= 13.33	= 3.33 min/camión.
23.00 ciclos	x 3.33 min/camión	=	76.59 min.	/ 60 min.	= 1.27 hr.

### Distancia promedio de acarreo

•	Distancia del portal al frente	698.50 m	x 2.00	= 1,397.00 m
•	Distancia promedio fuera del túnel	1,000.00 m	x 2.00	= 2,000.00 m
			<b>Total</b>	<b>= 3,397.00 m</b>
•	Velocidad promedio	20.00 km/hr.		= 333.33 m/min
		3,397.00 m /	333.33 m/min	= 10.19 min.
		23.00 ciclos x	10.19 min.	= 234.37 min.
		234.37 min. /	60.00 min.	= 3.91 hr.

**5.- Concreto lanzado y marcos metálicos (sostenimiento)**

Concreto 1er. Etapa	Avance 4.00 m x	Perímetro 6.44 m	Esp. Conc. 0.05 m	Factor rechazo 1.20	= 1.55 m <sup>3</sup> = 0.26 hr.
		1.55 m <sup>3</sup> / 6.00 m <sup>3</sup> /hr			

**Marcos Metálicos**

Velocidad de colocación	4.00 pzas x 6.44 m x 44.80 kg/m	= 1,154.05 kg/avance de 4 m.	= 4.00 hr.
-------------------------	---------------------------------	------------------------------	------------

Concreto 2da. Etapa	4.00 m.	x 6.44 m	x	0.15 m. x 1.20 F.R.	= 4.64 m <sup>3</sup> = 0.77 hr.
				4.64 m <sup>3</sup> / 6.00 m <sup>3</sup> /hr	

5.03 x 0.50 Coeficiente de simultaneidad = 2.52 hr.

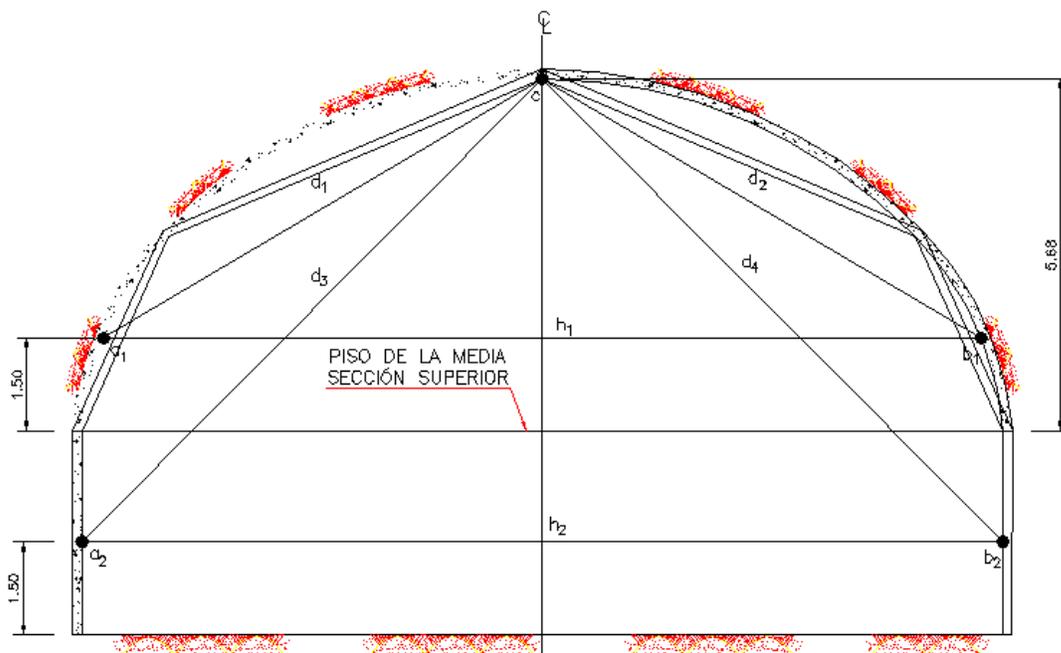
**Resumen.**

1.- Replanteo	= 0.30 hr
2.- Barrenación y carga	= 3.00 hr.
3.- Disparo y Ventilación	= 0.30 hr.
4.- Retiro de rezaga y acarreo	= 3.91 hr.
5.- Sostenimiento	= 2.52 hr.
<b>Total</b>	<b>= 10.03 hr.</b>
Imprevistos 15%	= 1.50 hr.
<b>Total</b>	<b>= 11.53 hr.</b>

Ejecución de Bóveda	4.00 m	/ 11.53 hr.	= 0.35 m/hr.
(3 turnos de 8 hr.)	24.00 hr.	x 0.35 m/hr.	= 8.40 m
Duración de la excavación "B"	370.00 ml	/8.40	= 44.04 días

- **Estaciones de medición de convergencia**

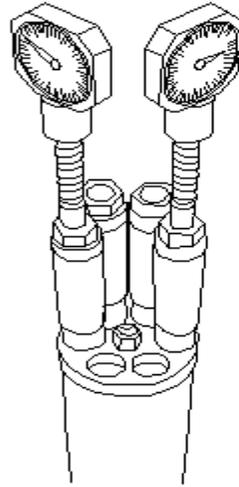
Para verificar que no existan deformaciones en el túnel se instalaron 168 estaciones de medición de convergencia con 6 líneas ( $d_1$ ,  $d_2$ ,  $h_1$ ,  $d_3$ ,  $d_4$  y  $h_2$ ) según la **(Fig. No. 105)**, El espaciamiento entre estaciones será variable en toda la longitud del túnel la estación se colocara de acuerdo a las condiciones geotécnicas del terreno durante la excavación, se realizaran las mediciones  $d_1$ ,  $d_2$   $h_1$  después de la excavación de la media sección superior. Una vez excavado el banqueo, se realizaran todas las mediciones ( $d_1$ ,  $d_2$ ,  $h_1$ ,  $d_3$ ,  $d_4$ , y  $h_2$ ).



**Fig. No. 105** Sección tipo para medición de convergencias

La estación de medición está integrado con extensómetros **(Fig. No. 106)** los cuales tendrán una resolución de 0.01 mm. de precisión con una tolerancia de (+/-) 0.03 mm.

LECTURA ANALÓGICA



LECTURA ELECTRÓNICA

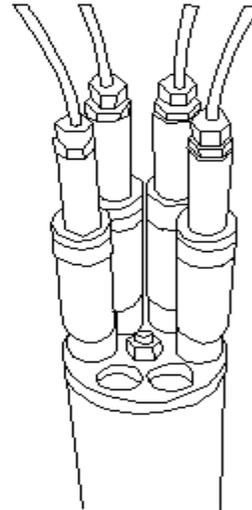


Fig. No. 106 Detalle del sistema de lectura del extensómetro

Las referencias fijas en la roca se protegerán de tal forma que las lecturas de convergencia puedan continuarse a través del concreto lanzado.

Las lecturas de convergencia y extensometría se realizarán diariamente durante la primera semana y se irán espaciando conforme se aprecien señales de estabilización; es decir, conforme las velocidades de los desplazamientos sean marcadamente decrecientes hasta alcanzar valores despreciables.

La SCT ha dado mucha importancia a la instrumentación de los túneles. El objetivo es observar el comportamiento del medio en el que se excavan los túneles, así como verificar la validez de los análisis realizados y detectar a tiempo una posible situación de riesgo

### **VI.7. Excavación por secciones (Túnel Piloto)**

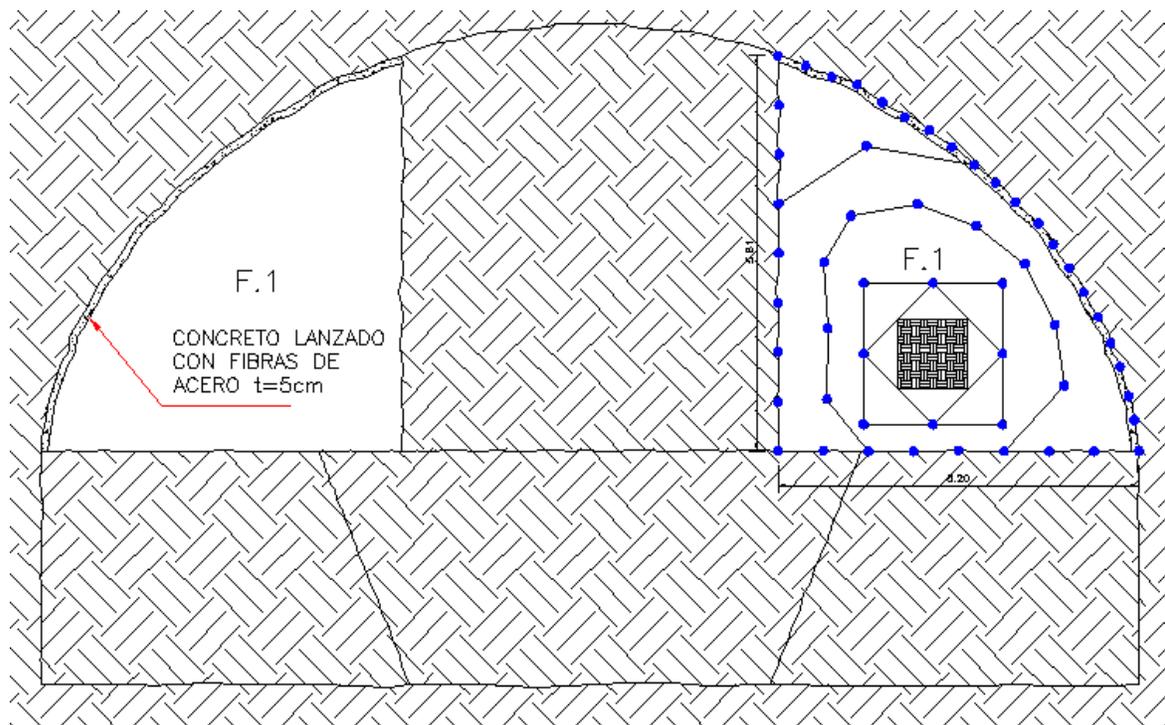
Debido a la mala o pésima calidad geotécnica de los materiales del terreno, algunos de los túneles requirieron de un procedimiento constructivo especial. De acuerdo con las tendencias actuales de construcción de túneles carreteros en Europa, una opción

atractiva es la aplicación de un sistema de protección o presostenimiento, mediante enfilaje frontal o paraguas de micropilotes, que es un sistema de presostenimiento primario provisional utilizado para la fase de excavación del túnel.

Cuando las condiciones geológicas indicaron inestabilidad para realizar un avance a sección completa se determinó emplear el avance por secciones (**Túnel piloto**) el cual puede ser ya se el derecho o izquierdo pero nunca pueden ser simultáneos (**Fig. No. 107 y 108**), el avance establecido es de 3.00 m. aproximadamente.

Como primer paso se debe de establecer una plantilla de barrenación que al igual a la plantilla de sección completa cuenta con Cuelle, Zapatera, Franqueo y Contorno.

La finalidad al emplear este procedimiento es que el pilar central haga la función de sostenimiento principal, evitando con esto una posible falla del terreno.



(Fig. No. 107) Plantilla Por secciones

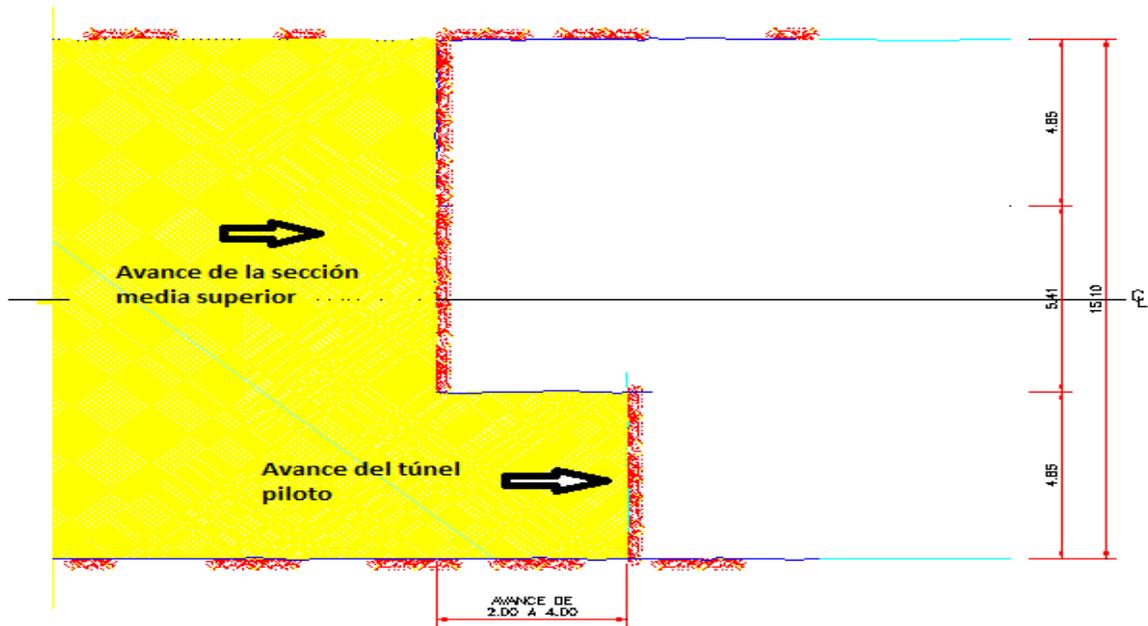


Fig. No. 108 Avance por medio del Túnel piloto derecho

Cuando se ha concluido con el retiro de la rezaga se procede a realizar el recubrimiento con concreto lanzado reforzado con fibra de acero, la siguientes actividad es la barrenación del túnel piloto izquierdo el procedimiento de excavación es idéntico al túnel piloto derecho (Fig. 109, 110 y 111) secuencia del avance por frentes.

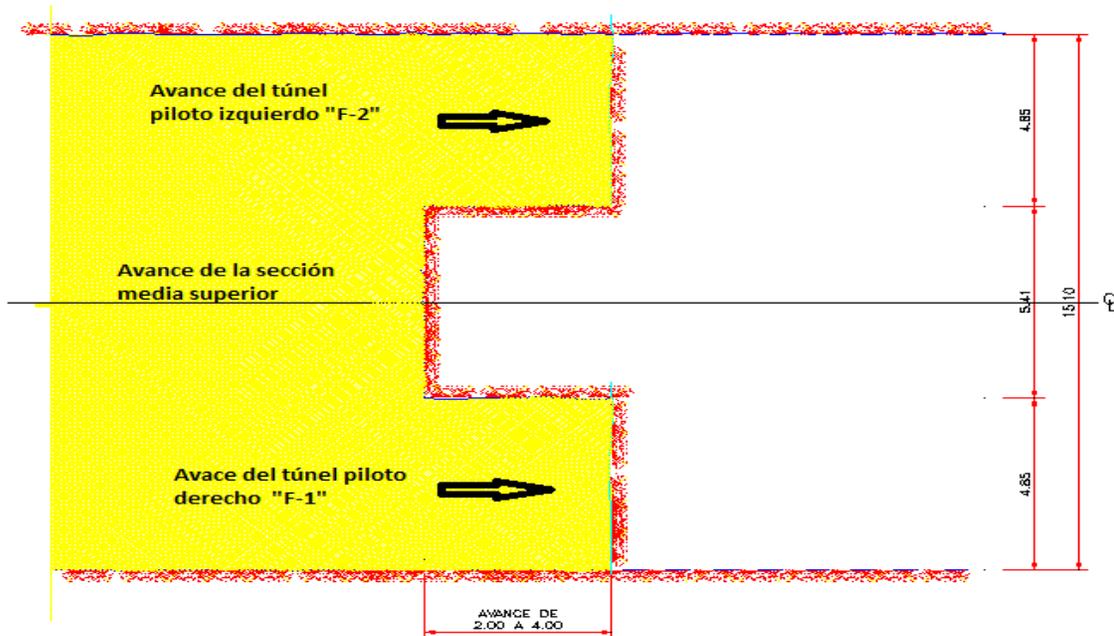


Fig. No. 109 Avance por medio del Túnel piloto izquierdo



**Fig. No. 110 Avance por medio de túnel piloto**



**Fig. No. 111 Recubrimiento del avance a base de concreto lanzado**

Cuando se ha concluido con los dos frentes de excavación (izquierdo y derecho) se procede a excavar el pilar central, en esta etapa es la más crítica de acuerdo a las condiciones geotécnicas del túnel, ya que es donde se pueden presentar problemas de inestabilidad y puede provocar caídos por lo tanto el avance es mucho muy lento prácticamente de 1.5 a 2.00 m.

Para realizar esta actividad se utilizó en algunos casos equipo de perforación y voladura y en otro equipo mecánico (Excavadoras y martillo), cuando se tiene un avance de 1.50 m. se recubre toda la superficie con concreto lanzado 1er. capa la cual tiene un espesor de 5 cm. continuando con la perforación y colocación de anclas de fricción, finalizando con la colocación del sostenimiento definitivo (marcos metálicos).

Según las condiciones Geotécnicas para dar la seguridad en la continuación de los trabajos se colocaron anclas de fricción en forma de paraguas con una longitud aproximada de 6.00 m. (Fig. No. 112, 113, 114 y 115).

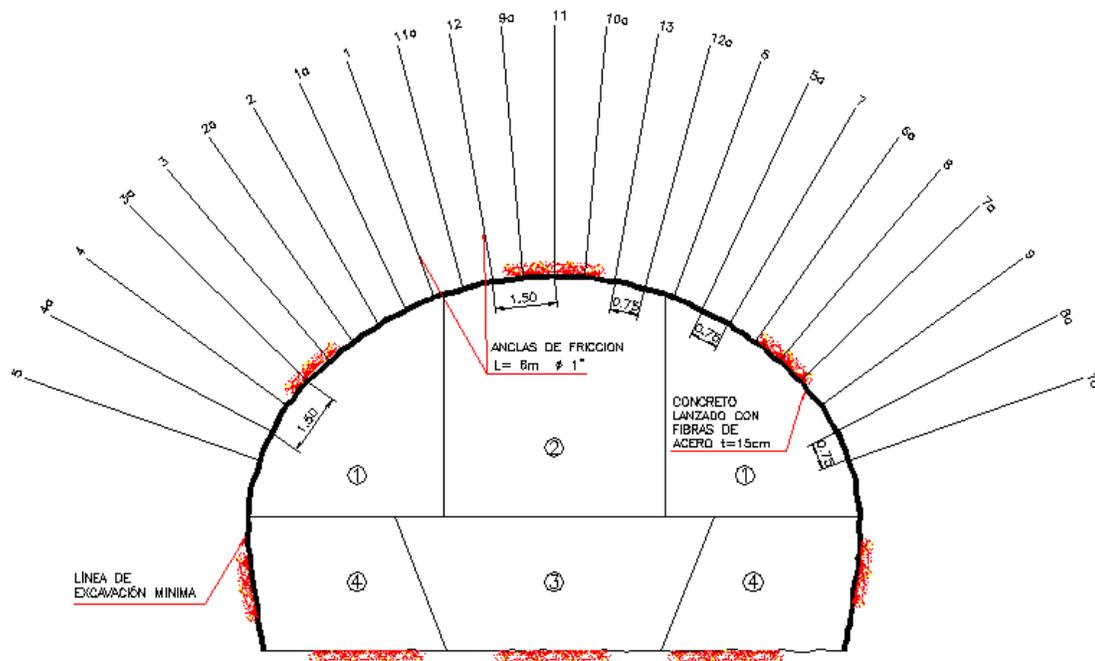


Fig. No. 112 Perfil de la sección (Anclas de fricción)



**Fig. No. 113 Perforación para colocación de anclas de fricción**



**Fig. No. 114 Colocación de anclas de fricción**



Fig. No. 115 Inyección de lechada en las anclas

La siguiente actividad es la colocación de los marcos metálicos (**Fig. No. 116**) y entre los espacios que existan entre el límite de excavación y los perfiles metálicos se retaco de madera con la finalidad de transmitir las cargas del suelo a los marcos metálicos (**Fig. No. 117**).

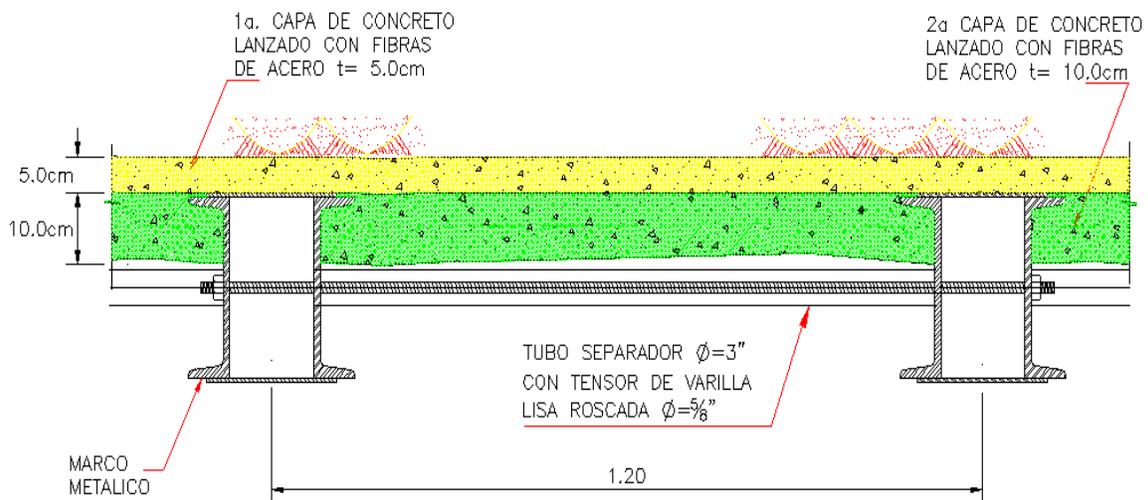


Fig. No. 116 Perfil del recubrimiento y marcos metálicos



Fig. no. 117 Retaque de madera entre el marco metálico y recubrimiento de concreto.

Cuando se ha concluido con la colocación de marcos metálicos (sostenimiento definitivo) se realiza la colocación de la 2da. Capa de concreto lanzado esta última capa es de aproximadamente de 15 cm. (Fig. No. 118, 119 y 120)

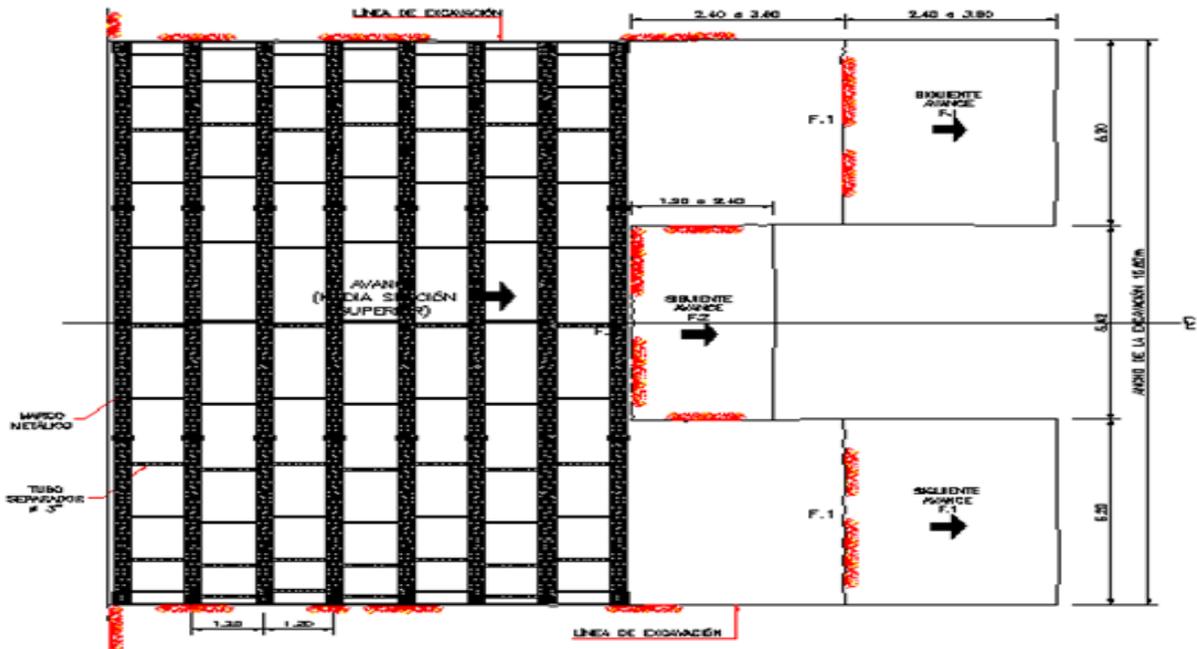


Fig. No. 118 Planta del túnel donde indica las fases de avance de excavación

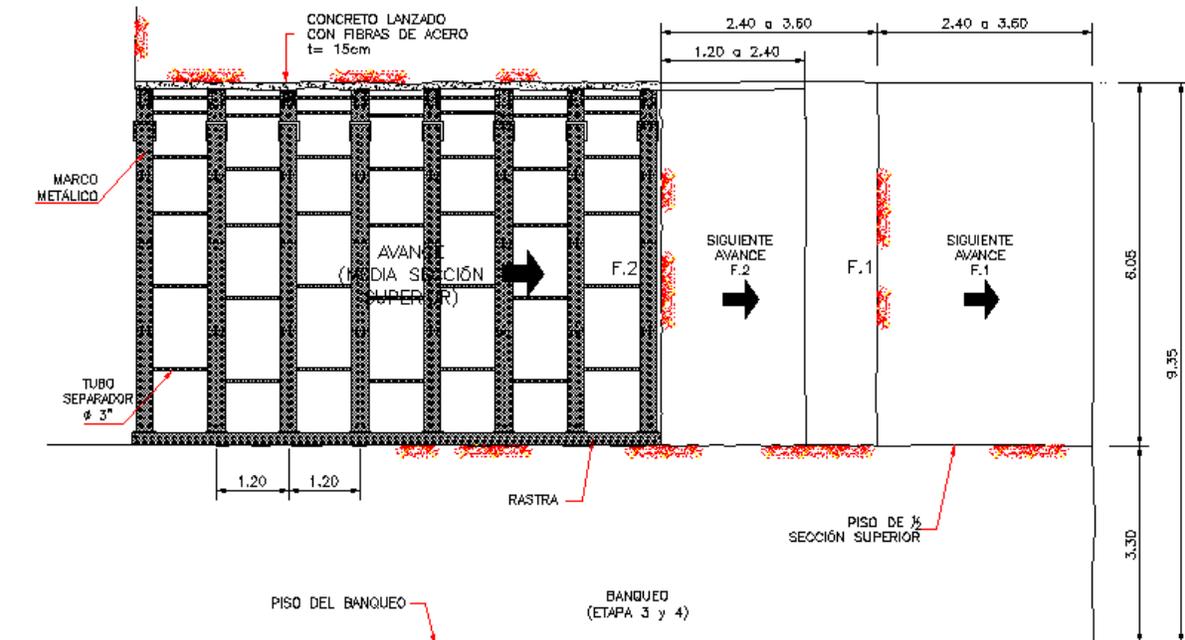


Fig. No. 119 Perfil del túnel donde se indican las fases de excavación.



Fig. No. 120 Colocación del sostenimiento definitivo

## VI.8. Tratamiento de caídos

En la construcción del túnel se tuvieron 3 eventos. Un caído en el km 671+153, km 668+799 y en el km 668+803

- **Caído en el km 671+153 (Fig. No. 121)**

Para estabilizar la zona de caído en primer lugar se verifico hasta donde afecto los soportes de marcos metálicos, el retiro del material caído se realizó con extrema precaución debido a la incertidumbre de la estabilidad de la zona fallada.

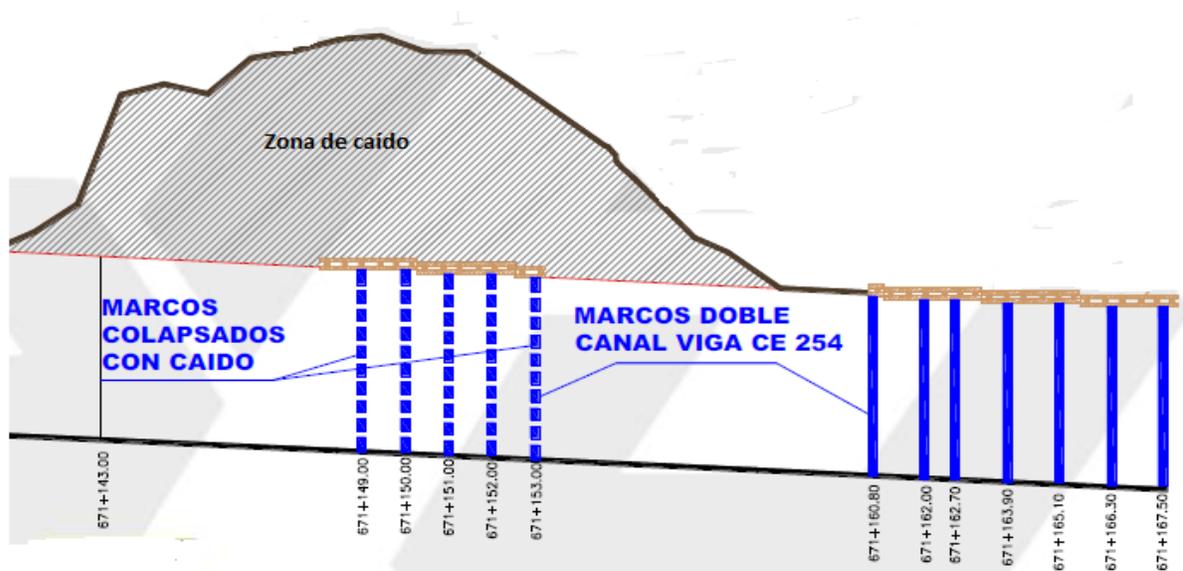
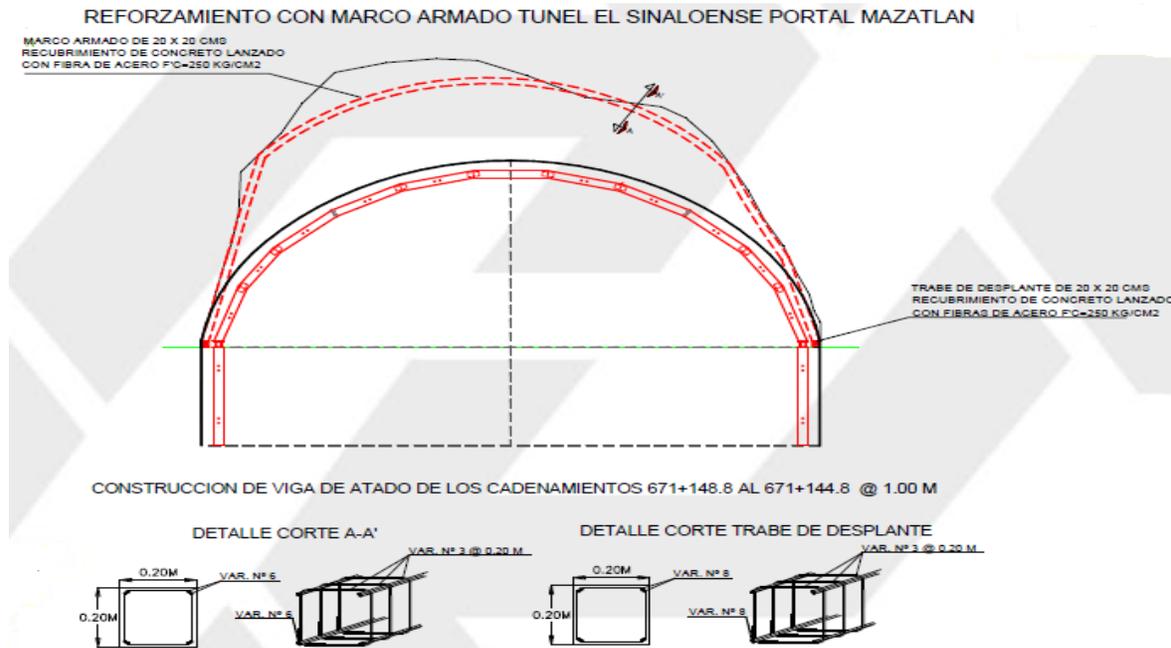


Fig. No. 121 Caído en el km 671+153

Los marcos metálicos se colocaron a la mitad de la distancia indicada en el proyecto, conforme se avanzaba se colocaba cimbra de madera en la clave del túnel, con esto evitamos el desprendimiento de material que pudiera causar daños al personal o equipo que están trabajando en la zona siniestrada.

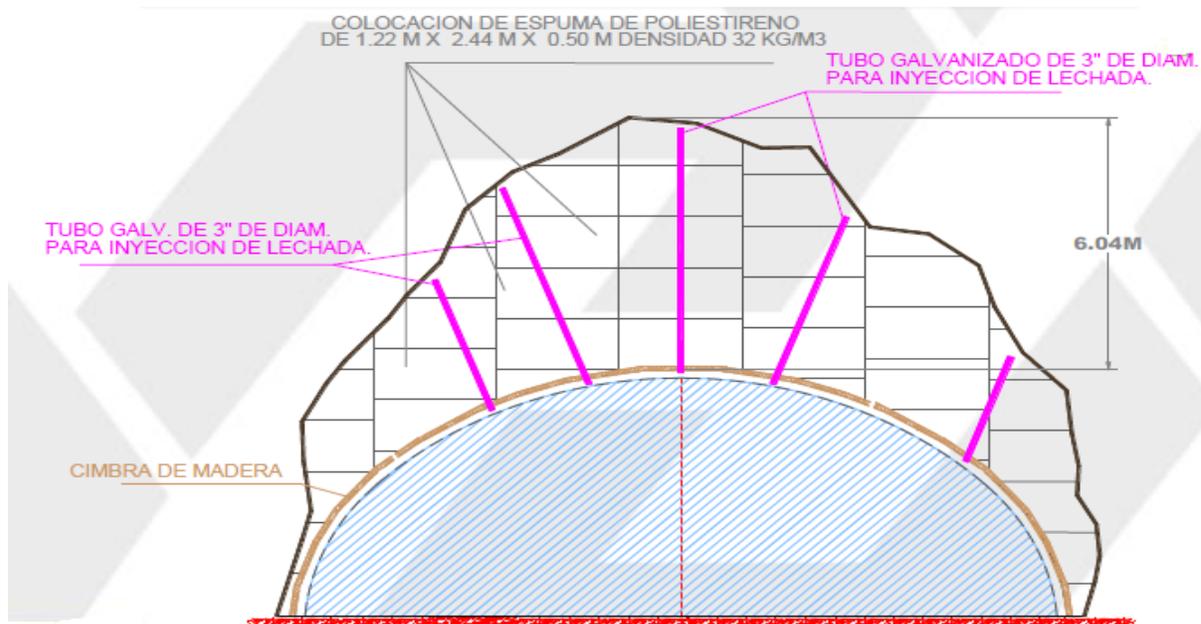
Cuando se retiró todo el material, se procedió a colocar marcos de concreto lanzado dichos marcos son armados con acero corrugado de 20 x 20 cm. (Fig. No. 122) recubiertos con concreto reforzado con fibra metálica, la forma en si misma del

marco es la que trabaja para dotar de soporte al túnel, el espesor del marco está en función del proyecto y de la circunstancia geotécnica del túnel.



**Fig. No. 122 Marcos de acero de refuerzo y concreto lanzado**

Cuando se ha concluido con el lanzado de concreto se procedió a colocar placas de poliestireno de 1.22 x 2.44 x 0.50 m. de espesor, **(Fig. No. 123)** dejando tubos de pvc para que posteriormente se realice la inyección de lechada.



**Fig. No. 123 Colocación de poliestireno en caído**

En la zona de inicio y terminación del caído se retaco con madera, está a la vez quedo embebida en la lechada de concreto.

A continuación presentaremos varios esquemas donde se explica el tratamiento que se le dio para la solución del caído (Fig. No. 124, 125 y 126).

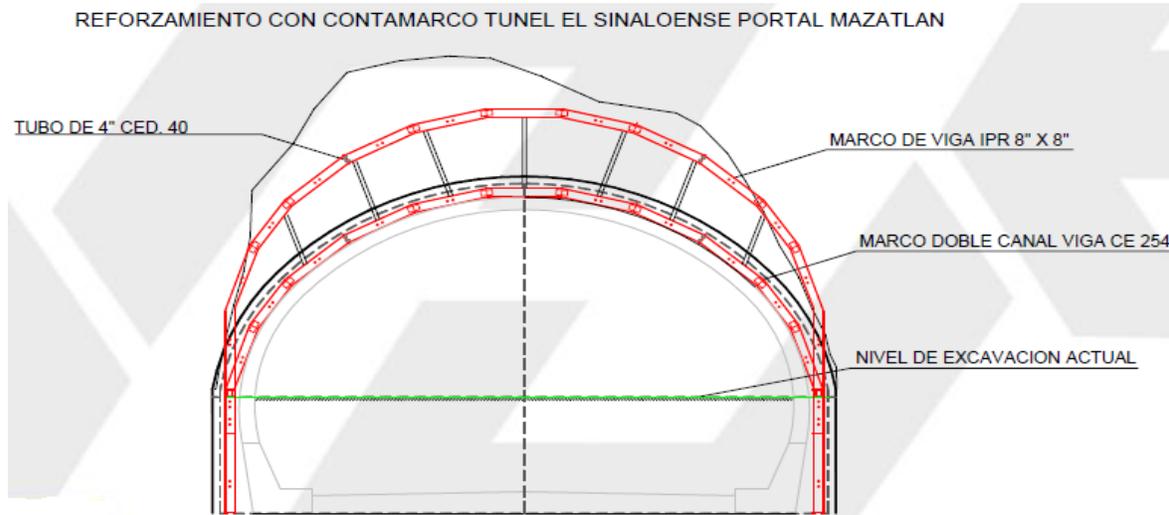


Fig. No. 124 Colocación de contramarco en el caído @ 1.00 m.

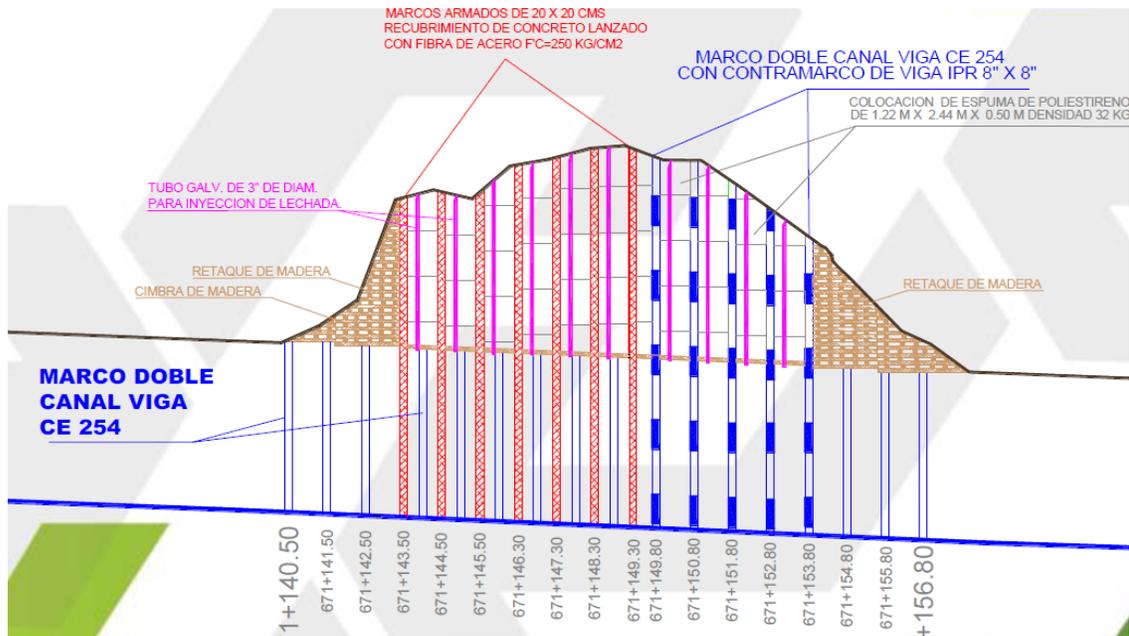


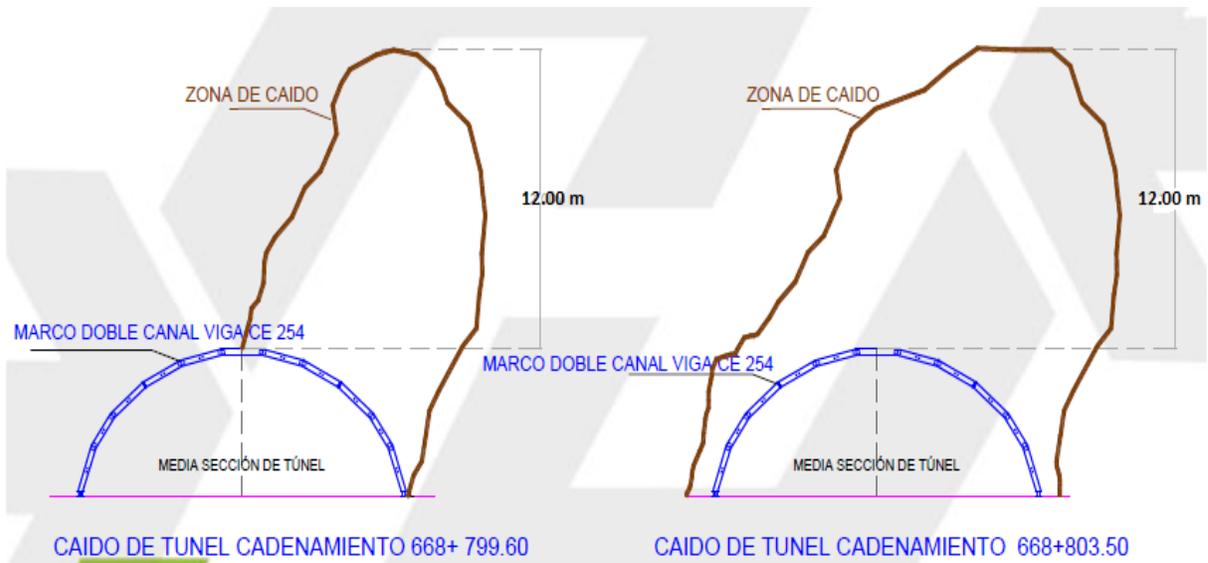
Fig. No. 125 Tratamiento del Caído en el km 671+153



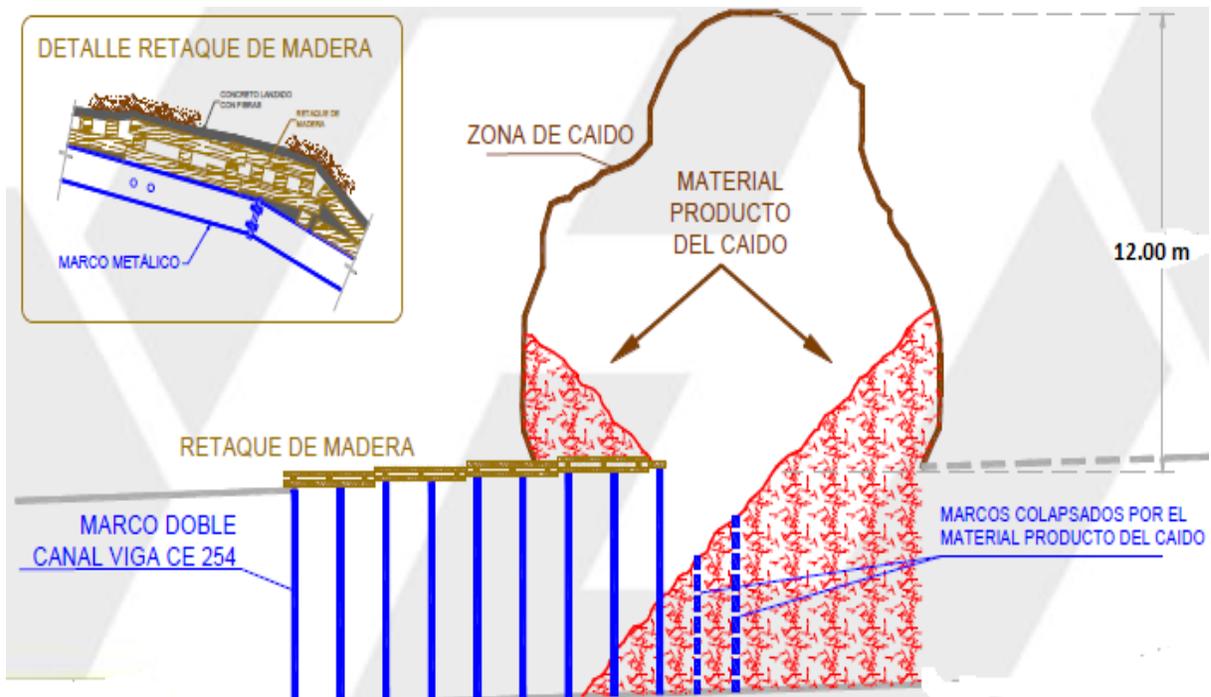
Fig. No. 126 Conclusión de la reparación del caído

- **Caído en el km 668+801**

En esta zona la falla se presentó debido a la presencia de un cuerpo de agua la cual provocó la inestabilidad del frente (**Fig. No. 127, 128 y 129**), adicionalmente el macizo rocoso refleja una calidad de roca mala (RMR = 26) por lo que se recomendó que la continuación de la excavación se realizaría siempre y cuando se coloque los marcos metálicos @ 1.00 m. de separación por un tramo indefinido hasta que las condiciones geotécnicas permitan retomar el diseño del sostenimiento de proyecto



**Fig. No. 127 Detalle del perfil colapsado**



**Fig. No. 128 Perfil de los diferentes caídos**

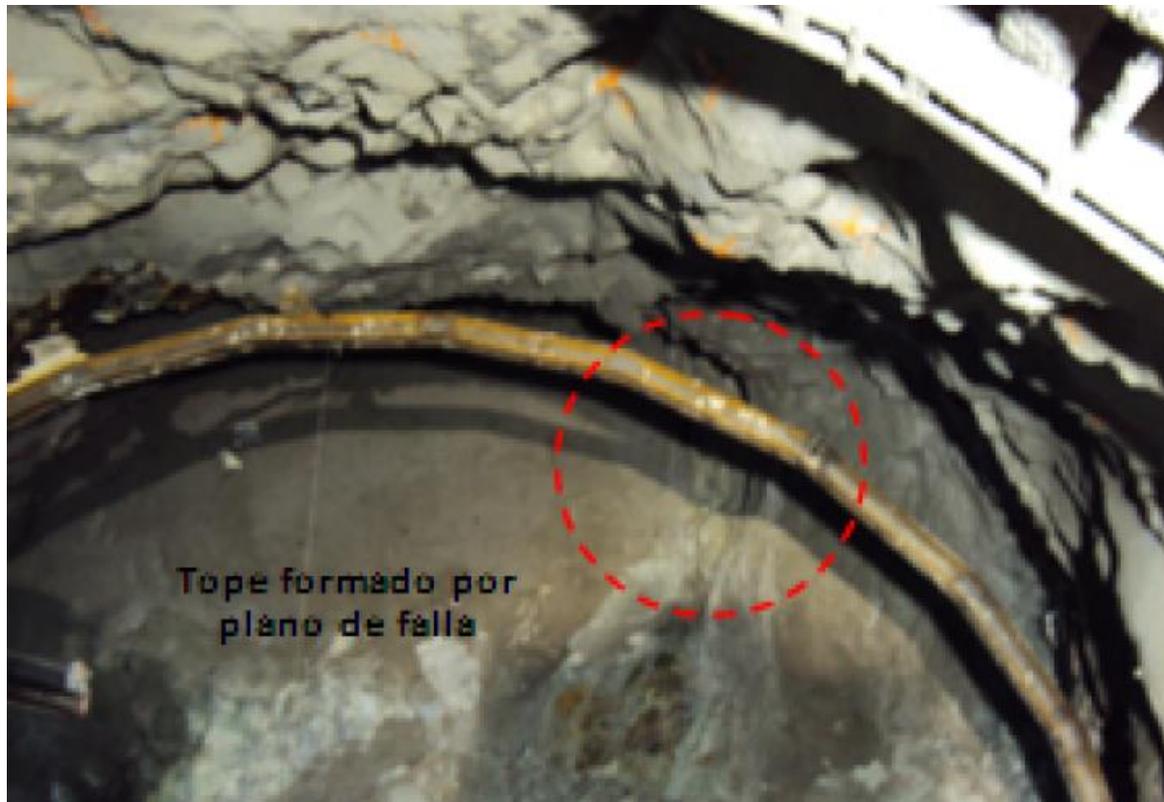


Fig. No. 129 presencia de agua en el frente

### Actividades que se realizaron para reparar el caído

- Asegurar la zona siniestrada colocando soportes metálicos como de madera adicionalmente lanzar concreto entre marcos metálicos del cadenamiento 668+790 a 668+799 con la finalidad de sellar espacios y evitar fugas en las diversas etapas de inyección.
- Colocar una mampara de madera (**Fig. No. 130**) en el cadenamiento 668+796 a lo ancho del túnel, altura de 3.00 m. y preparación para colocar tubería de 2" de diámetro a cada 2.00 m de separación.



**Fig. No. 130 Vista frontal de la mampara de madera**

- Hincar tubería de 2"  $\varnothing$  en el material producto del caído a fin de dar apoyo a las siguientes etapas del tratamiento.
- Inyección de lechada  $f'c=100 \text{ k/cm}^2$  con aditivos acelerante y fluidificante en la parte inferior de la media sección ( $h=3.00 \text{ m.}$ ) Con una presión de  $3.00 \text{ kg/cm}^2$ . (**Fig. No. 131**).

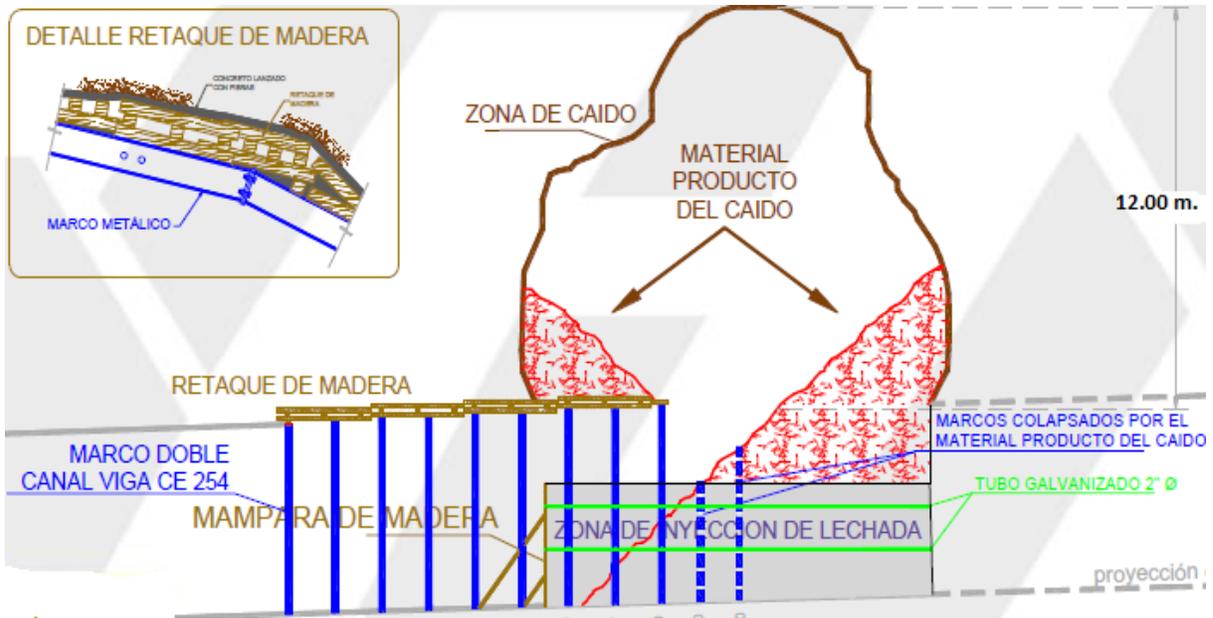


Fig. No. 131 Inyección de lechada sobre el material del caído

- Colocación de la segunda mampara en el cadenamiento 668+798 en los 3.00 m. superiores con preparación para tubería de inyección de suelo cemento liquido fraguante con aditivos acelerante y fluidizante, mismo que se inyectará hasta en nivel de la clave del túnel (**Fig. No. 132**).

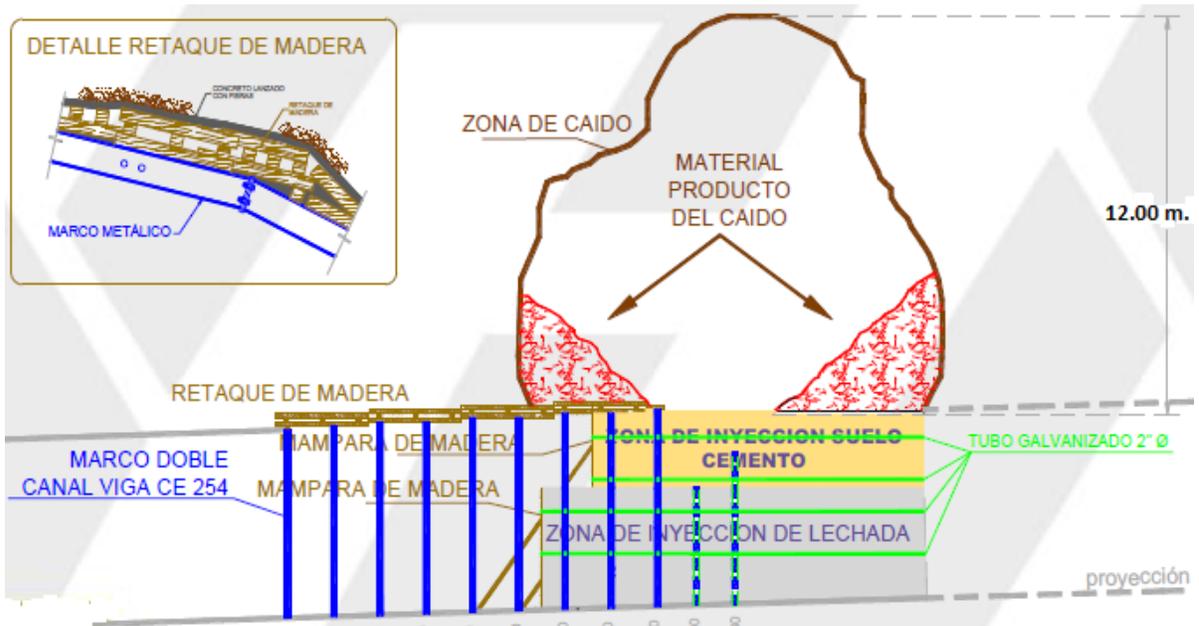
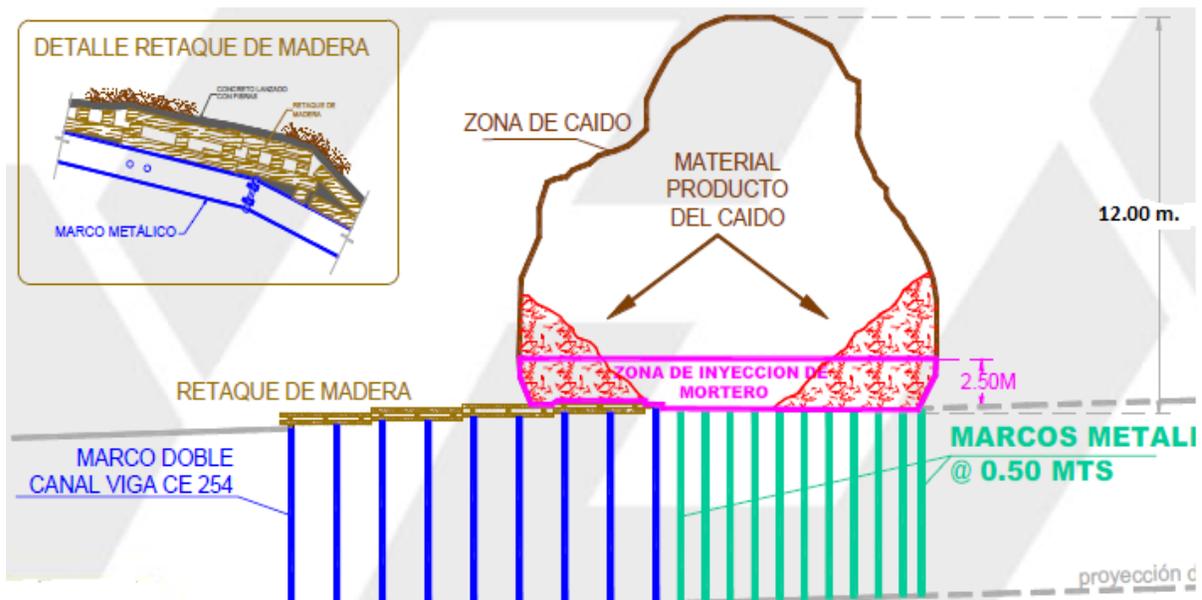


Fig. No. 132 Colocación de la segunda mampara e inyección de lechada

- Colocación de tubería de 3" Ø verticales o inclinadas sobre la clave del túnel
- Inyección de mortero  $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$  con aditivos acelerante y fluidizante para formar una losa de 2.50 m sobre el nivel de la clave del túnel (**Fig. No. 133**).
- Una vez que el mortero llegue a la resistencia proyecto se continuara con la excavación del túnel con medios mecánicos, evitando explosivos, colocando marcos metálicos a cada 50 cm. de separación debidamente retacado con madera y 15 cm de concreto lanzado y fibras metálicas esta secuencia de construcción se realizara hasta recuperar el frente de ataque.



**Fig. No. 133 Formación de losa de 2.50 m. de espesor**

- La siguiente actividad es la colocación de enfilajes a base de tubo de acero ranurado de 1 ½" y de Ø y 6.00 m. de longitud con una separación @ 0.40 m.

(Fig. No. 134) incluyendo la inyección de lechada para concluir con el sostenimiento de la zona afectada.



Fig. No. 134 Colocación de enfilajes

## VI.9. Tipos de suspensión

Los tipos de suspensión utilizados para la construcción del Túnel Sinaloense son los siguientes:

- **Enfilaje.-** Es el nuevo método Austriaco para Abertura de Túneles, La utilización del enfilajes (**Fig. No. 135**) necesario para mejorar las condiciones de sustentación, la colocación sistemática del anclaje permite la movilización de la capacidad portante del macizo, imponiendo que las tensiones confinantes alrededor de la abertura se mantenga en niveles compatibles previa a ser excavados, el enfilaje debe ser clavados e inyectados con lechada.

En el túnel Sinaloense se utilizó el enfilaje en los portales con la finalidad de solucionar el problema de los caídos. La cantidad y separación de los mismos se estableció de acuerdo a las necesidades de la obra.



Fig. No. 135 Enfilaje en el portal.

#### VI.9.1. Concreto lanzado

Después de la excavación se colocó una capa de concreto lanzado de 10 cm de espesor reforzado con fibras de acero (**Fig. No. 136**), La dosificación de concreto fue de 40 kilogramos por metro cúbico.



**Fig. No. 136** Equipo de lanzado de concreto

El concreto lanzado reforzado con fibras de acero (**Fig. No. 137**) es un mortero o concreto que contiene fibras de acero discontinuo, las cuales son proyectadas neumáticamente a altas velocidades a una superficie

El objetivo de un concreto lanzado es el de estabilizar las deformaciones requeridas derivadas del movimiento inherente a las fuerzas del terreno. Esto nos proporciona un refuerzo homogéneo de espesor uniforme.



**Fig. No. 137 Concreto reforzado con fibras de metálicas**

Las fibras de acero son incorporadas en el concreto para mejorar la ductilidad, la absorción de energía, la resistencia al agrietamiento y la resistencia al impacto.

La duración del tiempo de fraguado es considerablemente menor que al utilizar una malla electrosoldada. En cuanto a las fibras acero solo necesitan un recubrimiento de concreto de 1 a 2 mm en comparación con varilla de refuerzo normal y la malla **(Fig. No. 138)**.

En los análisis, para el concreto lanzado con un espesor de 0.05 m se consideraron dos módulos, uno de Poisson de 0.15 y uno de elasticidad de  $221,000 \text{ kg/cm}^2$ . Para la roca, los parámetros se determinaron a partir de los resultados de las pruebas de laboratorio y se evaluaron de acuerdo con los sistemas de fracturamiento. En cuanto al módulo de elasticidad de la roca, éste depende del tipo de roca y de su sistema de fracturamiento. Para determinarlo, fue necesario realizar ensayos de corte directo en escalas que permitieron tomar en cuenta la rugosidad, relleno y características del sistema de fracturamiento, o bien recurrir a correlaciones empíricas. Para el proyecto

estructural de los túneles se usaron programas como Phase2 y Plaxis, que fueron calibrados mediante la fórmula de Einstein y Schwartz.

Para estimar el peso de la cuña de roca que se pudiera deslizar hacia el interior del túnel y que debió ser soportada por el revestimiento, se aplicaron las fórmulas de Terzaghi y de Protodyakonov.

La primera considera, como parámetros para el cálculo de la carga de roca en la clave, el ancho del túnel, el peso volumétrico de la roca, la cohesión en el sistema de fracturas inmediato superior a la clave del túnel, la relación de esfuerzos horizontales a verticales, la profundidad del túnel y el ángulo de fricción en la parte inmediata superior de la clave del túnel.

La segunda está en función del peso volumétrico de la roca y del ancho del túnel. El soporte temporal estará destinado a resistir las cuñas inestables que el sistema de fracturamiento desarrolla. Para establecer el soporte necesario en los diferentes túneles de la autopista, se tomaron en cuenta las experiencias publicadas y confiables en otros túneles.

Al igual que el análisis de la excavación de los túneles, el cálculo estructural del revestimiento definitivo consistió en obtener la solución de un problema de interacción suelo - soporte y el estado de esfuerzos inducido por la excavación.

El revestimiento está sujeto principalmente a esfuerzos de flexo-compresión, por lo cual se propusieron secciones formadas de concreto con una resistencia  $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ , con espesores entre 0.35 y 0.60 m, armado en dos lechos de varillas de diferentes calibres. Se analizó la resistencia de una sección de 1.0 m de ancho y se calculó el diagrama de interacción a flexo-compresión, determinando la máxima resistencia de la sección a compresión pura, el momento y la fuerza normal en la sección balanceada, el momento máximo que puede soportar la sección, así como otras combinaciones.



(Fig. 138) Recubrimiento con concreto lanzado reforzado con fibra metálica

- **Anclas de fricción.-** Las Anclas de Terreno son sistemas de estabilización que consisten en la inserción por medios mecánicos de barras de acero de alta resistencia (tendón) al terreno que se está excavando; formándose a continuación un bulbo adherente situado en el extremo más profundo del taladro o barreno por medio de inyección de lechada de cemento u otros fluidos, o por medio de elementos mecánicos (conchas metálicas expandibles), que funciona como anclaje pasivo del tendón, al cual se le aplica una fuerza determinada en el extremo contrario al bulbo adherente, reaccionando contra el terreno, y después de fijarse dicha fuerza mecánicamente, se crea el mecanismo suelo-ancla estable. Los pernos auto perforantes son usados satisfactoriamente para trabajos de

sostenimiento en terrenos malos, cohesivos y no-cohesivos, y en caso de perforaciones inestables.

### **VI.9.2. Impermeabilización**

El proyecto de impermeabilización constó de 3 fases dentro de la etapa de análisis:

La fase Preliminar, trabajos provisionales de taponamiento o recogida y conducción de aguas, para permitir la ejecución de la intermedia y principal.

La fase intermedia, aplicación de concreto lanzado por mortero para sostenimiento provisional y regularización del soporte.

La fase principal o definitiva, compuesta de la instalación de un geotextil y una lámina sintética (geomembrana) impermeable de PVC-P VLDPE.

Y la fase posterior, trabajos complementarios a la impermeabilización principal.

La fase en la construcción de impermeabilización de los túneles de esta autopista que se considero fue la principal o definitiva que consistió en colocar una capa impermeable que protegiera a los túneles del agua. Para ello, primero se instaló un geotextil no tejido punzonado de fibra corta de poliéster (**Fig. No. 139**), el cual tiene una densidad de 500 g/m<sup>2</sup>. dicho geotextil sólo tiene la función de captar el agua proveniente del macizo y dirigirla al drenaje del túnel.



**Fig. No. 139** Instalación de geotextil

Posteriormente, se coloca una geomembrana impermeable (**Fig. No. 140**), que es una lámina de pvc flexible sin armadura, de 1.5 mm de espesor, que se fija con arandelas del mismo material y clavos de acero o taquetes de expansión. Esta geomembrana impermeable evita que el agua se infiltre en el túnel y dañe el concreto del revestimiento. Cada tira de la membrana se une a otras, vulcanizándola con una pistola de aire caliente que se calibró con anterioridad y las juntas de los paños son colocadas en sentido transversal. Previamente al inicio del proceso de soldadura, se hacen ajustes de los parámetros de velocidad y temperatura en función de las condiciones ambientales y del estado superficial de la membrana.

La geomembrana por su versatilidad y ligereza funcionó para hacer frente a condiciones adversas, como filtraciones de agua, bajas temperaturas y se adapta a las irregularidades del terreno o a cualquier obra independiente del sistema de excavación y revestimiento empleado.



Fig. No. 140 Instalación de Geomembrana

### VI.9.3. Recubrimiento final

La colocación del revestimiento definitivo, tuvo diversas funciones, entre las cuales se encuentra la parte estructural construida, a corto plazo, apoyado por el sostenimiento, lo anterior apporto un factor de seguridad adicional en cuanto a la estabilidad de la excavación.

A largo plazo, el revestimiento es capaz de absorber las deficiencias estructurales del sostenimiento, que es un elemento en contacto directo con el terreno y por tanto, debido a los altos contenidos de humedad puede presentar una degradación por corrosión. Otra función consistió en evitar labores de mantenimiento que serían crecientes con la edad del túnel, asociados a los costos altos de ejecución y que además interfieran con la explotación de la carretera al entorpecer el tránsito de

vehículos. Asimismo, la superficie interior lisa del anillo de concreto del revestimiento ayudaría en gran medida la circulación del aire a lo largo del túnel; por tanto, colaboró con los sistemas de ventilación aumentando de ese modo la seguridad funcional del túnel.

### Fases de revestimiento

La construcción del revestimiento de concreto constó de tres fases:

**Primer fase.-** Se construyó las zapatas laterales (**Fig. No. 141**) con concreto reforzado de  $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ , las cuales se diseñaron con alturas variables para dar las pendientes requeridas por la superficie de rodamiento en zonas de curvas.



Fig. No. 141 Construcción de zapatas

**Segunda fase.-** Se realizó el armado del acero de refuerzo donde se colocó la cimbra metálica conformada por moldes individuales de 6.00 m. de longitud, que se adaptaron a las dimensiones de las zapatas a lo largo del trazo del túnel.

**Tercer fase.-** Se colocó el armado de acero para el revestimiento superior del túnel. El colado de esta sección se realizó con una cimbra metálica especial deslizable y colapsable (**Fig. No. 142**), la cual se ajustó a las variaciones del peralte en curva de los túneles, permaneciendo sin cambios la forma del intradós en toda la longitud de los túneles.



**Fig. No. 142 Cimbra Deslizante**

**Revestimiento definitivo.-** Desde su diseño, se consideró para la cimbra la fabricación y el suministro de equipos especializados para el revestimiento definitivo mediante el uso de concreto hidráulico (**Fig. No. 143**); por lo tanto, no se trató de un equipo de línea o estándar. Cada cimbra constó de tres elementos: guarnición, transportadores electrohidráulicos y moldes de colado del túnel.

El ciclo de cimbrado, colado y descimbrado fue de un movimiento del molde por cada 24 hr. es decir el avance es 12.00 m por cada 24 hr.



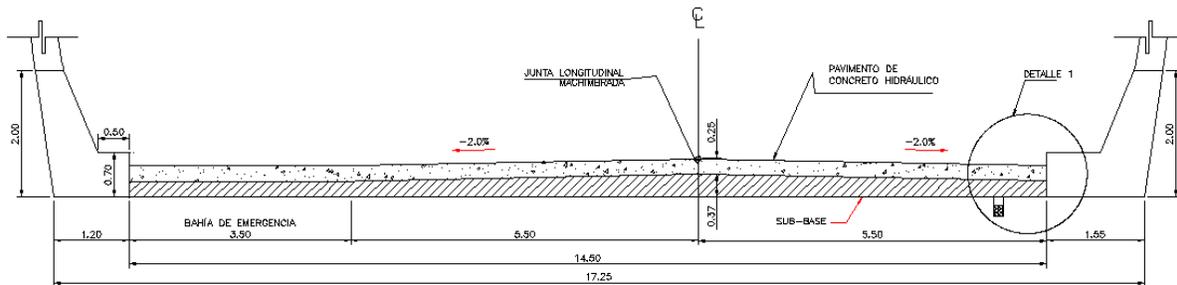
Fig. No. 143 Acabado de recubrimiento final

#### **VI.9.4. Pavimentos**

Para el diseño de pavimentos en los distintos túneles se aprovechó la capacidad de carga de la roca y su uniformidad desde el punto de vista del valor relativo de soporte, es decir, su capacidad para soportar cargas de tránsito.

Todo el desarrollo de la vialidad corresponde a los pavimentos desplantados prácticamente en la misma roca.

El pavimento en cada uno de los túneles está constituido por una capa de subbase de 22 cm de espesor y una de concreto hidráulico de  $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$  y con 28 cm de espesor (**Fig. No. 144**).



(Fig. 144) Sección transversal del pavimento

En la construcción del pavimento de concreto hidráulico se utilizó equipo como motoconformadora, compactador vibratorio, reglas vibratorias etc.

Las etapas que forman el pavimento son conformación y compactación del terreno natural, base hidráulica y pavimento de concreto (**Fig. No. 145**). La decisión de utilizar el concreto hidráulico en lugar de concreto asfáltico es debido a que permitirá un comportamiento eficiente de acuerdo con las cargas de tránsito de diseño. Su mantenimiento será mínimo y, por lo tanto, la relación costo - beneficio será mejor en comparación con otro tipo de material (concreto asfáltico).



Fig. No. 145 Colocación de la base hidráulica

Los criterios empleados en el diseño de los pavimentos (**Fig. No. 146**) se basaron en el método AASHTO para pavimentos rígidos. Se determinó el número de repeticiones de carga de un vehículo estándar de un peso nominal de 8.2 t, denominado carga axial equivalente única (ESAL, por sus siglas en inglés).



Fig. No.146 Colocación de concreto en pavimentos

### VI.9.5. Instalaciones hidráulicas

#### El Drenaje y Subdrenaje

El drenaje y subdrenaje en una obra vial, el agua juega un papel importante durante su fase de construcción, pero además, puede originar perjuicios a su estructura.

Por lo tanto, se debe contar con un buen drenaje en la construcción de una carretera, pero más aún dentro de un túnel (**Fig. No. 147**), donde deben preverse los elementos de drenaje necesarios.

Si el agua circula en cantidades excesivas por la vialidad, puede destruirla por erosión o reblandecimiento, lo que ocasiona deformaciones que inducen un mal comportamiento del tránsito que circula por la superficie de rodamiento y puede ser causa de accidentes. Es, por tanto, necesario disponer de un sistema de drenaje que conduzca las aguas hasta el exterior del túnel.



Fig. No. 147 Drenaje al interior del túnel el sinaloense

El agua tiene procedencias diversas como la que circula por las cunetas en el exterior del túnel, las filtraciones del terreno entre otras. Lo anterior pone de manifiesto la importancia de tener un buen drenaje en la construcción de los túneles, donde deben preverse los elementos necesarios para que, en su etapa operativa, no haya problemas inducidos por la presencia de agua.

Debido a que se transportarán mercancías peligrosas en el proyecto carretero, se ha determinado colocar alcantarillas de ranuras bien diseñadas, situadas dentro de las secciones transversales de los túneles, para el drenaje de líquidos tóxicos e inflamables.

Además, el sistema se diseñó para evitar que el fuego y los líquidos inflamables y tóxicos se propaguen dentro de los tubos de drenaje.

- **Partes del drenaje**

El drenaje exterior en cada túnel está constituido por las contra-cunetas, cunetas y lavaderos de los portales de entrada y salida, así como por una obra captadora, ubicada transversalmente, en la entrada o salida, según la pendiente de los mismos.

Este drenaje captará las aguas pluviales que escurran por los taludes y la superficie de rodamiento, dirigiéndola al subdrenaje del túnel o a alguna barranca cercana.

En el interior de los túneles, la protección impermeable (geomembrana) desvía cualquier filtración proveniente del macizo hacia los extremos de las zapatas laterales del revestimiento, en donde dos drenes laterales (uno en cada zapata) de pvc de 4" de  $\varnothing$  canalizan el agua hacia el subdrenaje, el cual está conformado por dos tuberías de concreto de 45 cm de  $\varnothing$  enterradas a un metro de profundidad, respecto de la rasante. En caso de que algún vehículo derrame líquidos en el interior del túnel, se han colocado en las banquetas bocas de tormenta distanciadas a cada

50 m y sobre el eje de las tuberías se han construido pozos de visita espaciados a cada 100 metros

#### **VI.9.6. Instalaciones eléctricas**

El objetivo del alumbrado en el túnel fue garantizar que los conductores de los vehículos puedan atravesar el túnel durante el día y la noche a una velocidad de 90 km/hr, con una máxima seguridad y confort.

Las características fotométricas del túnel son totalmente diferentes en el día a las características que se tienen en la noche.

Existen efectos visuales en túneles como, el de **agujero negro o efecto de inducción, (Fig. No. 148)** que consiste en que durante el día los ojos del conductor, específicamente la pupila junto con la retina, están adaptadas a una luminancia elevada que puede alcanzar hasta los 100,000 luxes, al acercarse al túnel se observa que la boca de entrada tiene una luminancia bastante menor, y da la apariencia de una agujero negro en el que no se ve ningún detalle, aunque el sistema visual del ojo se puede adaptar rápidamente a la reducción de los niveles de efecto del **agujero negro**, tal como ocurre cuando se pasa de la luz del día a la oscuridad de un túnel, estos ajustes no son instantáneos.

Este cambio extremo entre niveles altos y bajos de iluminación produce una ceguera momentánea que obviamente es muy peligrosa.

Otro efecto que se trató de combatir fue el de adaptación, es el tiempo que tarda la pupila y la retina en sensibilizarse al cambio en la distribución de luminancias. El proceso de adaptación del ojo requiere de cierto tiempo, dependiendo de la diferencia de luminosidad. A mayor diferencia, mayor tiempo de adaptación



Fig. No. 148 Efecto del agujero negro

La luminancia de velo, (**Fig. No. 149**) es el conjunto de luces parásitas en el conductor, y que son debidas a los reflejos del parabrisas, la luminancia atmosférica (polvo, contaminantes, humedad, etc.), que se combinan para formar un velo luminoso que reduce la visibilidad de los obstáculos a la entrada del túnel.



Fig. No.149 Efecto de la luminancia de velo

Por último el efecto Flicker esta sensación se tiene cuando manejamos a lo largo de un tramo del túnel en donde existen cambios de luminancia, debido a una separación de las luminarias mayor a la especificada. Este causa molestias que afectan al conductor, causándole en casos extremos dolor de cabeza y mareo, por convertirse en una luz estroboscópica. El grado de molestia causado por el efecto flicker depende de: el número de cambios de luminancia por segundo (frecuencia flicker), la diferencia de intensidad entre la parte iluminada y la oscura en cada período.

Estos tres primeros fenómenos: el de **inducción, adaptación y luminancia** de velo afectan la visibilidad del conductor para poder percibir los obstáculos que se le presentan al frente, ya sea un objeto, un animal o un vehículo.

Estos factores dependen de la velocidad del vehículo y de la separación de las luminarias y de las características fotométricas de éstas. La frecuencia flicker se puede calcular dividiendo la velocidad en metros/segundo, entre la separación de las luminarias medidas de centro a centro en metros.

Para contrarrestar estos efectos se colocaron los siguientes sistemas de alumbrado: Sistema simétrico es un sistema en el que las luminarias tienen una distribución de la intensidad luminosa que es simétrica en relación al plano C  $90^{\circ}/270^{\circ}$ , es decir, a un plano perpendicular al eje del túnel. **(Fig. No. 150)**

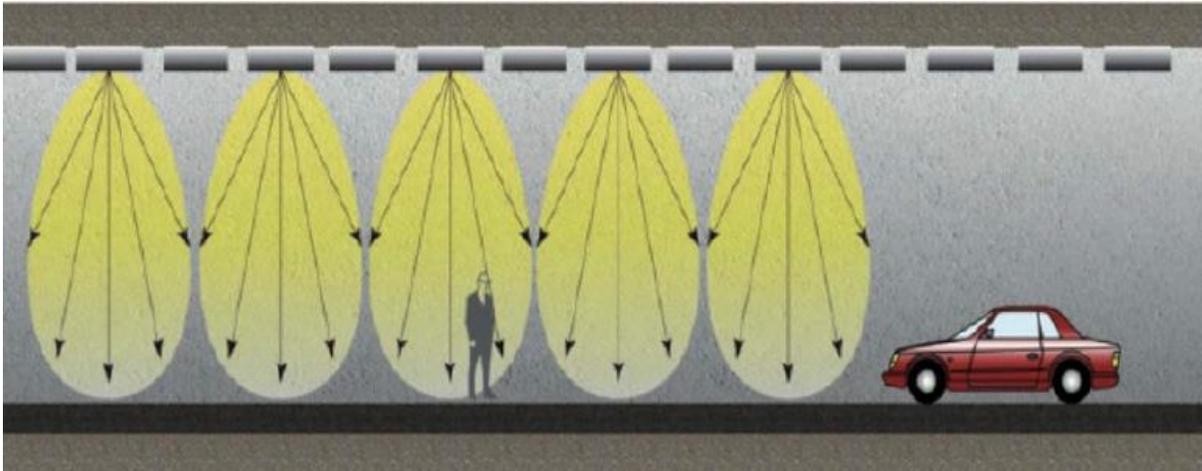


Fig. No. 150 Sistema simétrico

- **ITS (Sistema Inteligente de Transporte)**

Los sistemas ITS son una nueva tecnología que se está implementando y se encuentran presentes en los túneles carreteros largos (de más de 400 m), el factor de seguridad debe ser mayor, debido a que los peligros aumentan por la longitud. En el proyecto de la autopista Durango - Mazatlán se consideraron nueve túneles inteligentes que, por su gran longitud, se diseñaron con sistemas de alta tecnología que asegurarán la operación eficiente y segura de los usuarios de la carretera.

Los túneles cuentan con 5 sistemas inteligentes de iluminación, comunicación, ventilación, sistema contra incendios y señalización los cuales se controlan a través del Centro de Monitoreo, edificio adyacente a la boca de entrada del túnel, cercano a los servicios de la ciudad. Entre sus funciones principales del Centro de Monitoreo se encuentra el seguimiento de los túneles inteligentes a lo largo de la troncal de fibra óptica. Cuenta con dispositivos de nueva tecnología en túneles y esto permite tomar decisiones en situaciones de emergencia tanto de los túneles como de la carretera. Así como brinda una comunicación directa con autoridades estatales y federales.

- **Sistema de Iluminación en Túneles**

Otro de los nuevos sistemas empleados fue el de iluminación que proporciona un alumbrado diurno dotado de luminarias de vapor de sodio distribuido en las zonas de umbral, transición, central y salida (**Fig. No. 151**)

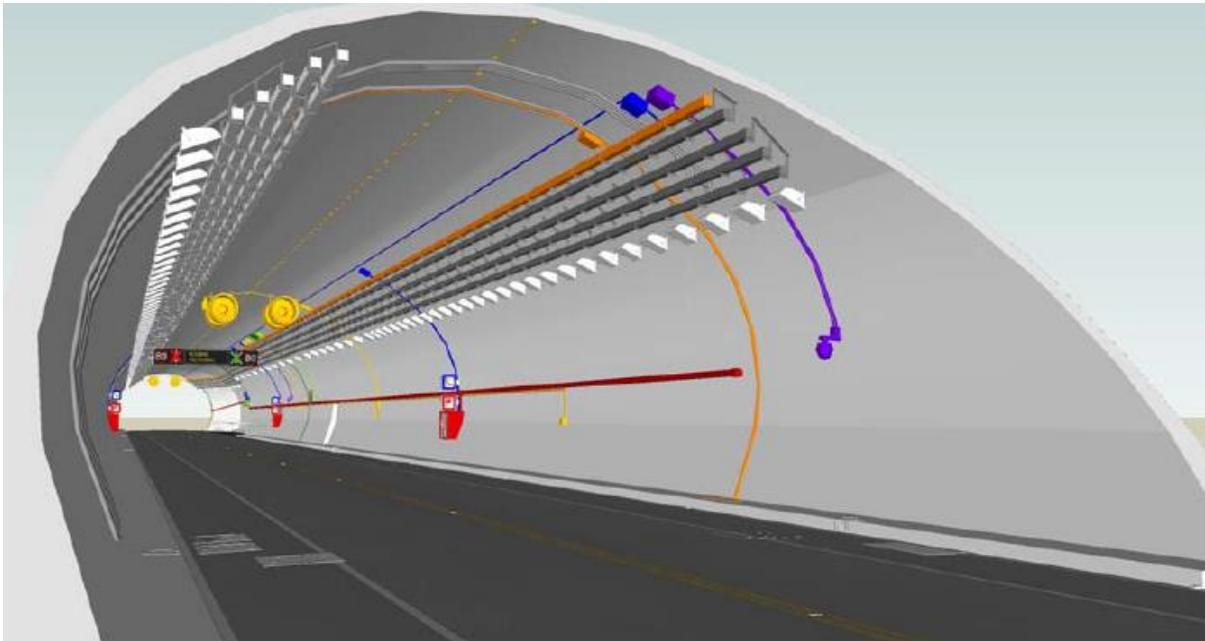


Fig. No. 151 Interior de túnel inteligente

### **VI.9.7. Instalaciones de Ventilación, Contraincendio, Comunicación y Señalización**

La ventilación en túneles carreteros es de suma importancia para la seguridad de los usuarios, ya que permite disminuir los niveles de gases tóxicos y limpiar partículas suspendidas que pudieran reducir la visibilidad en su interior. Los sistemas de ventilación se dividen en tres grandes tipos: la ventilación natural, la de efecto de pistón y la mecánica.

El primer tipo de ventilación ocurre como resultado de diferencia de presiones causadas por las condiciones climáticas y la diferencia de temperatura entre los extremos del túnel o diferencias de presión atmosférica del aire entre los extremos, generando un movimiento de la masa de aire que depende de la estación del año.

El segundo, se da cuando un vehículo se mueve a lo largo de un túnel con una velocidad diferente a la del aire en el interior, provocando una diferencia de presiones.

Dependiendo de si el túnel tiene tránsito en una o dos direcciones y de su densidad, puede producirse una ventilación cuyo efecto puede ser apreciable.

Por último, la ventilación mecánica está basada, principalmente en el uso de ventiladores de impulso controlado, de los cuales hay dos tipos: la ventilación longitudinal, en el que se colocan ventiladores en dirección del eje del túnel y la ventilación transversal, mediante lumbreras que inyectan aire desde la superficie.

El sistema mecánico más utilizado es el de ventilación longitudinal mediante un impulso controlado montado en el techo del túnel.

Cuando los gases expulsados por los motores de los vehículos permanecen dentro del túnel, es necesario determinar los límites superiores para concentraciones de monóxido de carbono (CO) y dióxido de nitrógeno (NO<sup>2</sup>). Asimismo, se encuentran presentes otros gases tóxicos que son riesgosos para la salud, cuando no se asegura una dilución suficiente de CO y NO<sup>2</sup>

Es necesario conocer las temperaturas medias del aire dentro del túnel para obtener los volúmenes de aire fresco necesarios para diluir el CO, así como asegurar la reducción de humo y polvo que permita mantener buenas condiciones de visibilidad dentro del túnel.

Para ganar eficiencia en el control de las corrientes de aire se requirió de un equipo para regular su volumen y dirección. El volumen de aire usualmente es controlado variando el número de ventiladores en operación. Los controles automáticos de los

ventiladores son generalmente equipados de instrumentos que miden las concentraciones de CO presentes en el túnel.

En la mayoría de los túneles de la autopista Durango - Mazatlán se adoptaron sistemas de ventilación natural, ya que sus longitudes son relativamente cortas. Para los túneles más largos como El Sinaloense, Carrizo III, Carrizo II, El Varal, Baluarte, Piedra Colorada, Tortuga Nuevo, Picachos I y Papayito III, se consideró necesaria la colocación de sistemas mecánicos longitudinales mediante la instalación de ventiladores reversibles.

Este sistema cuenta con ventiladores reversibles (VR) tipo longitudinal (**Fig. No. 152**), que brindan buena calidad del aire, y ofrecen una operación económica. Contiene Opacímetros (OP) que son los equipos de medición de partículas sólidas en suspensión que dificulta la visibilidad, este sistema garantiza la visibilidad y calidad del aire durante la fase de evacuación de usuario o posterior de algún suceso.

El detector de gases (DG), es el equipo de detección de Monóxido de Carbono y Óxido Nitroso, que permite detectar algún problema dentro de nuestro túnel.

El Cable sensor de temperatura (CS) es el responsable de la detección de temperatura lineal en toda la longitud del túnel.

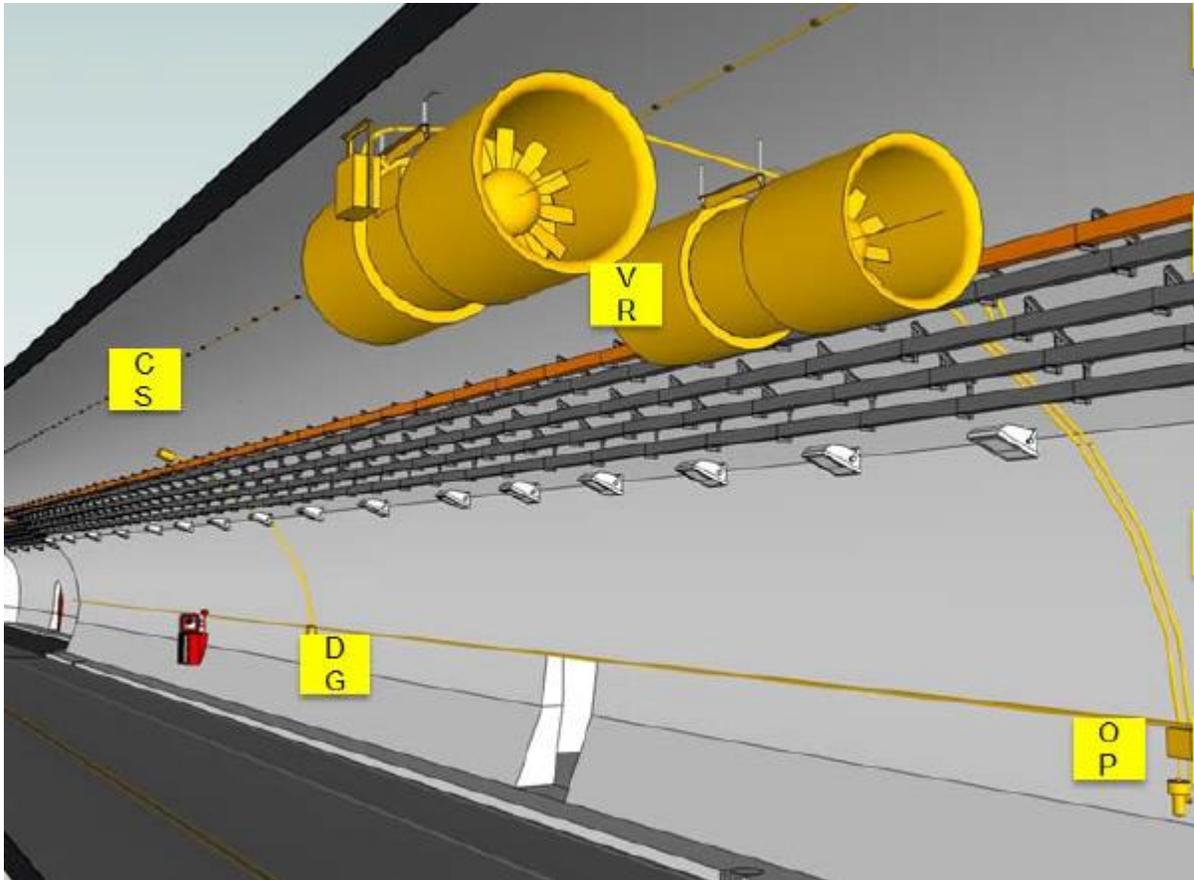


Fig. No. 152 Sistema de ventilación en túneles inteligentes

- **Sistemas de Control de Incendios (HI)**

Este sistema necesario en cualquier construcción, cuenta con Hidrantes y mangueras de 30 m de longitud, disponibles para los usuarios y centros de emergencias (**Fig. No. 153**). Extintores (EX) de polvo seco, ubicados estratégicamente para cubrir las zonas del túnel en caso de emergencias. Cuarto de Bombeo (CB) que brinda un suministro de agua para 120 minutos con un depósito de 120 m<sup>3</sup>, una Bomba Eléctrica de apoyo y una Bomba Sumergible de 1.5 hp, y Tubería (TB), de acero inoxidable, para resistir cualquier imprevisto. El alumbrado nocturno está constituido por luminarias distribuidas a todo el largo del túnel. Estos sistemas son controlados por su propio centro de control, que es el encargado del control de los niveles de iluminación en la zona de umbral.

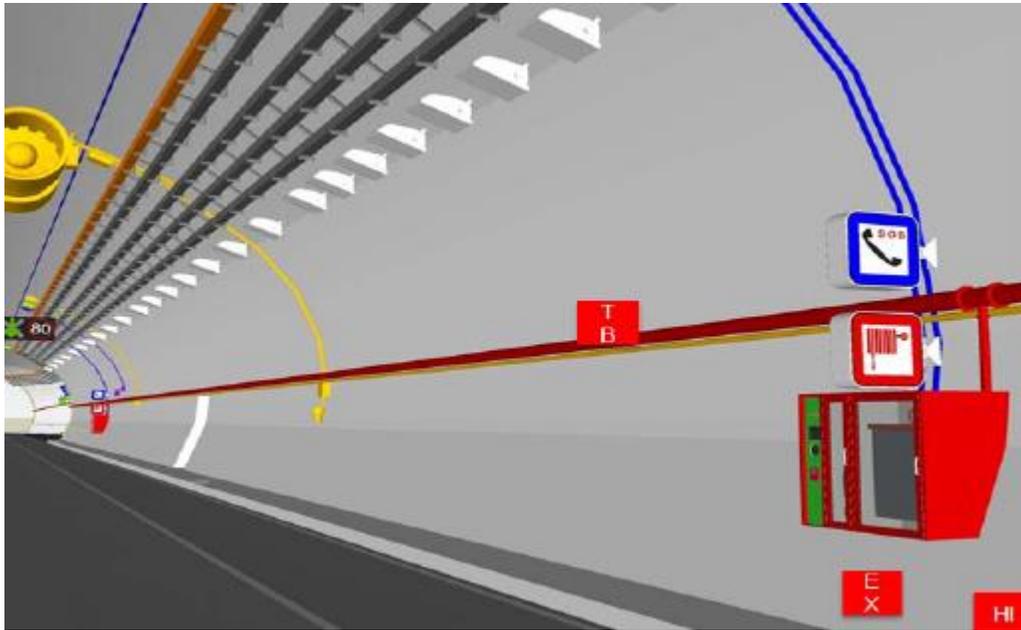


Fig. No. 153 Sistema de control de incendios de túneles inteligente

- **Sistema de Comunicación en Túneles.**

Dentro de los sistemas de comunicación se encuentra el de teléfonos (SOS) (**Fig. No. 154**), permite atender las necesidades de comunicación que se generen en el interior de los túneles entre el usuario y el Centro de Control. El operador decidirá comunicarse con sistemas de seguridad propios del túnel, bomberos, policía, y otros dependiendo del evento registrado.

Uno de los complementos del sistema son los Megáfonos (ME), permite la comunicación entre el personal de operaciones de la sala de control centralizado con los usuarios del túnel para instruir en evacuaciones, congestión, emergencias u otros. Sólo como apoyo y en combinación con otros sistemas, esto permite la sonorización de señales de aviso de emergencia.

El cable radiante (RA) es el emisor de estación de radio FM, que proporcionara comunicación a través de señal de Radio – Frecuencia, entre el centro de operaciones, servicios de carretera, unidades de seguridad y mantenimiento

proporcionando información del túnel como es el tránsito, emergencias, incidencias, etc. El usuario deberá sintonizar la frecuencia indicada para informarse.

En cuanto a las Cámaras (Circuito Cerrado de Televisión CT) supervisa a través de un puesto operador que permite la verificación de cualquier accidente o incidente producido dentro o fuera del túnel. Emplea tecnologías de procesamiento digital de la señal de video

“Detección de incidencias”, así como uso de cámaras de última tecnología y con protección adecuada para las zonas exteriores con humedad, lluvia o luminancias extremas.

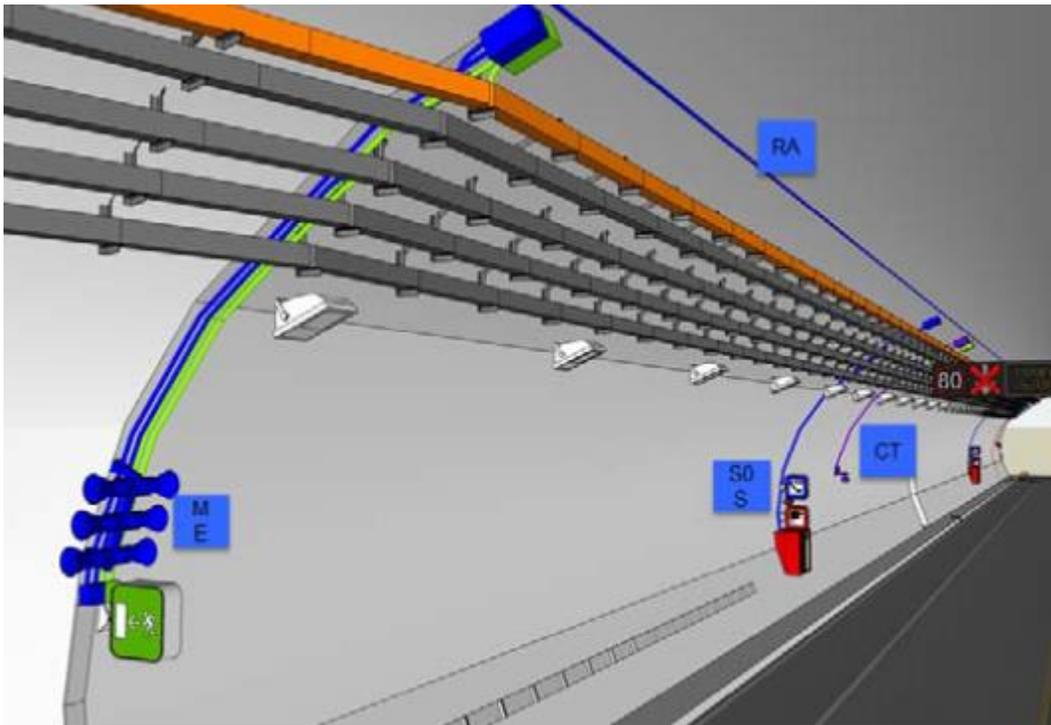


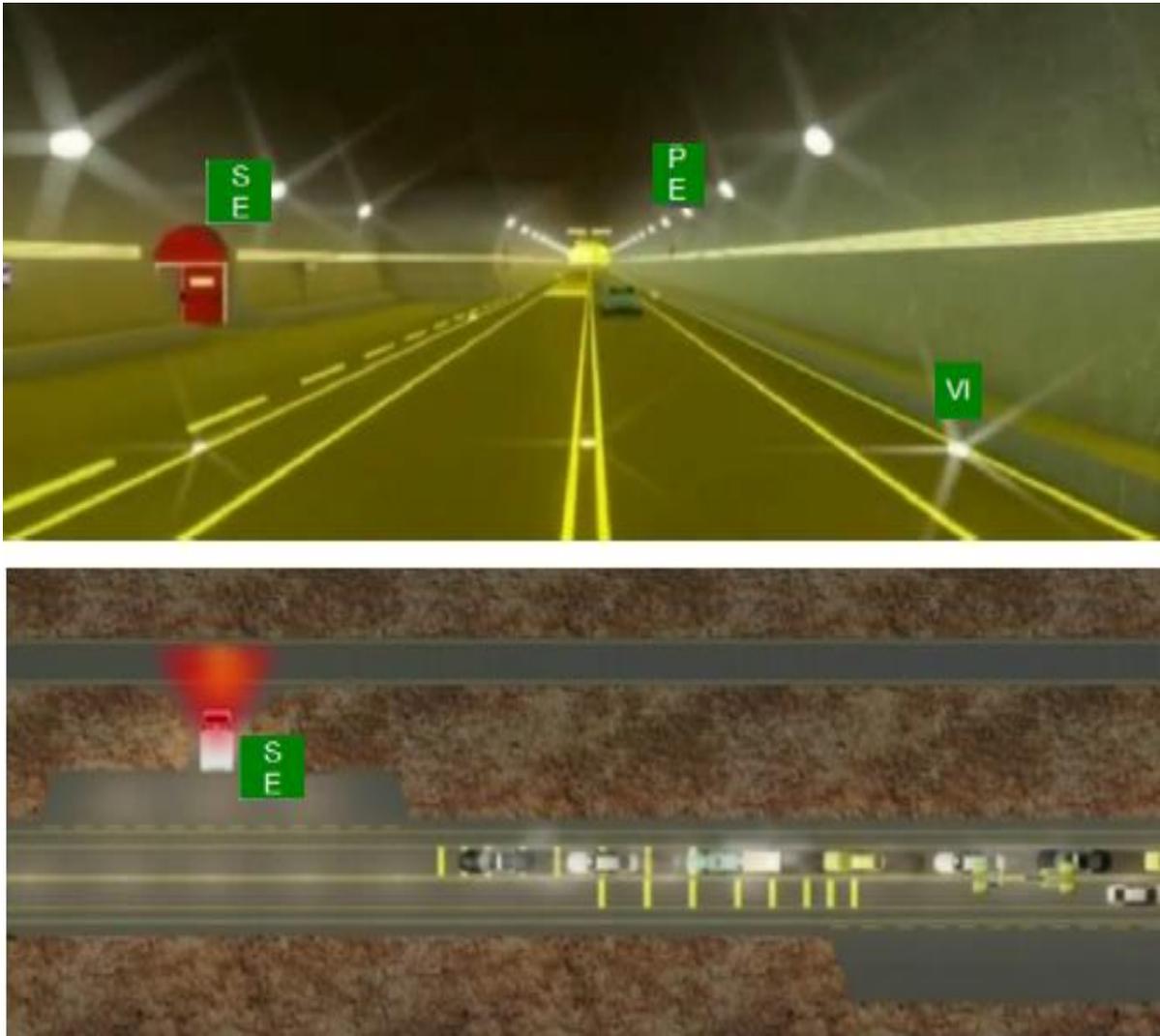
Fig. No. 154 Sistema de comunicación en túneles inteligentes

- **Sistema de Señalización**

Esto permite al operador gestionar la circulación e informar a los usuarios de las condiciones de uso del túnel a través de una Pizarra Electrónica (PE), formada por

un panel de LEDS con dos líneas de 12 caracteres y 20 cm de altura y Rótulos luminosos, así como Salidas de emergencia (SE) y Vías de evacuación en caso de emergencia (**Fig. No. 155**).

En cuanto al señalamiento horizontal para guía y control de tráfico. Contamos con *Violetas (VI)*, que sirven para separar los carriles de los túneles.



(Fig. 155) Sistemas de Señalización de Túneles inteligentes

Complementando estos sistemas se tienen otros como es el de Detección y Clasificación de Vehículos (**Fig. No. 156**), este permite conocer la intensidad, la

velocidad y la longitud de los vehículos que transitan por la autopista, así como la distancia medida entre vehículos, podremos conocer la congestión, y clasificara de los vehículos de acuerdo a sus dimensiones.



Fig. No. 156 Detección y Clasificación de Vehículos.

En cuanto a las Estaciones Meteorológicas (**Fig. No. 157**) nos permite conocer las condiciones medioambientales que permitan o posibilite la información a los usuarios de la existencia de condiciones adversas para que éstos puedan modificar su conducción de forma adecuada.

El sistema de Reconocimiento de placas es una forma de seguridad en la que la detección y clasificación de los automóviles detecta y clasifica el vehículo enviando una imagen con la placa al Centro de Control.



Fig. No. 157 Estación Meteorológica.

El control de Gálibo tiene como función evitar que aquellos vehículos con exceso de altura circulen por el interior de los túneles y puedan ocasionar daños en la infraestructura y/o instalaciones, además de causar una situación de riesgo para la seguridad vial.

El Sistema de Pesaje Dinámico determina las cargas del tráfico que soporta un firme de carretera **(Fig. No. 158)**. Calcula el factor de equivalencia de los vehículos en ejes tipo, así como la obtención de la silueta del tráfico pesado.

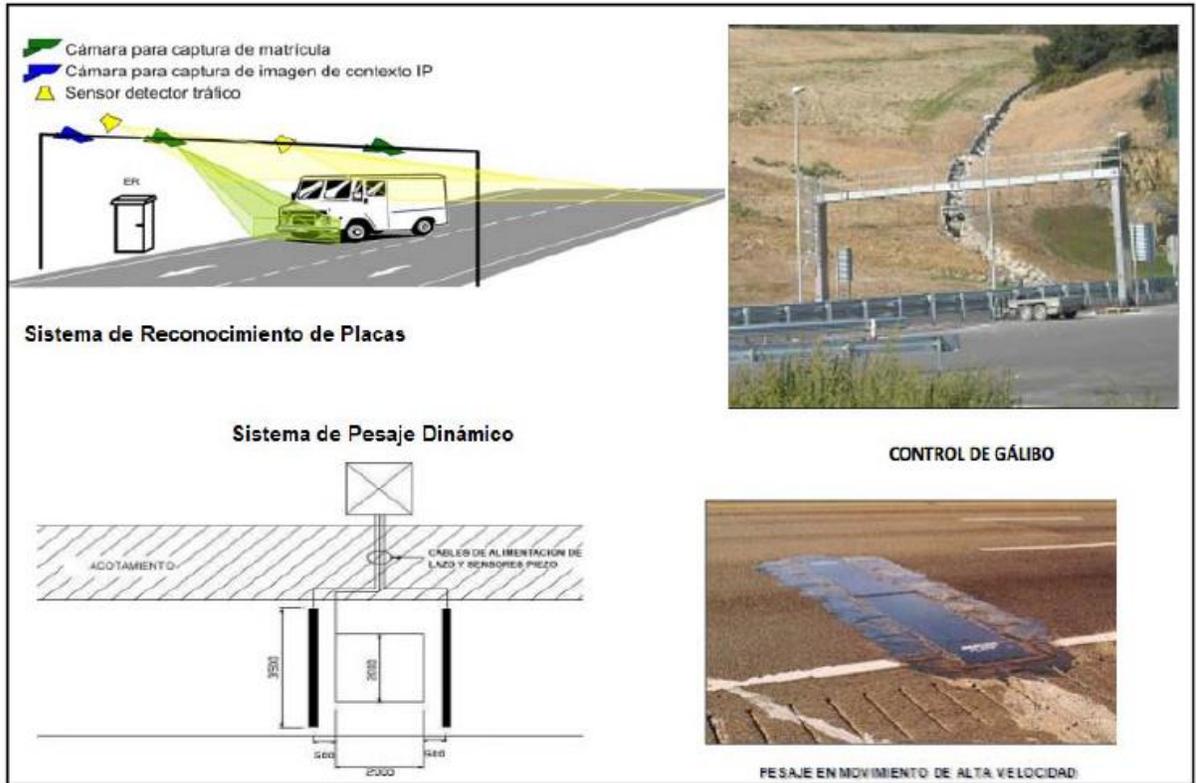


Fig. No. 158 Sistemas Complementarios

Los túneles que cuentan con sistemas ITS son: El Sinaloense, Carrizo II, Carrizo III, El Varal, Baluarte, Piedra Colorada, Tortuga Nuevo, Picachos I y Papayito III, que están conectados mediante una línea troncal de fibra óptica a su centro de control respectivo.

La señal es enviada a 2 centros de control desde donde se monitorean los túneles inteligentes a lo largo de la troncal de fibra óptica. Uno se ubica en Durango y otro en Mazatlán (**Fig. No. 159**).



**Fig. No. 159 Centro de Control**

Se instalaron 49 casas de máquinas colocadas estratégicamente, equipadas con un transformador, un sistema de energía ininterrumpida para emergencia y tableros de fuerza para los sistemas, Astronic, No Break que mantienen la corriente regulada sin cortes de energía, y un cuarto de servidores de cada sistema de control. Solo el Túnel Sinaloense cuenta con 2 casa de máquinas (**Fig. No. 160**), colocados a la entrada y salida de este para brindar mayor seguridad.



Fig. No. 160 Cuarto de Maquinas

### VI.9.8. Construcción de túnel falso

Por lo general, es conveniente realizar una transición de la plataforma de terracerías al inicio y final de cada túnel (**Fig. No. 161**), construyendo una estructura con la misma sección útil que el revestimiento definitivo como una medida de seguridad.

Esta estructura es la que se conoce como túnel falso y del cual se decidió diseñar y construir en cada uno de los 61 túneles de la autopista. La construcción de un túnel falso se realizó por módulos, de la misma longitud que la cimbra que se utilizó para su construcción. El carro de cimbrado es el mismo que se usó para la ejecución del revestimiento final del túnel, como el túnel falso es una estructura su construcción se

realizó como casi todas en dos fases. En la primera se construyeron las zapatas sobre las que se levanta la bóveda del túnel falso. Una vez construidas éstas, se coloca el carro de cimbrado entre ambas, posteriormente se coloca el acero de refuerzo y finalmente el concreto de la bóveda.



Fig. No. 161 Falso Túnel

Debido a las pésimas condiciones geotécnicas del túnel Sta. Lucia se construyó en su totalidad como túnel falso, las etapas para la realización de este túnel fue por etapas.

1er. etapa.- Excavación de toda la longitud del túnel

2da. Etapa consiste en la construcción de las zapatas **(Fig. No. 162 y 163)**

3er. Etapa colocación de la cimbra deslizante así como la colocación de acero de refuerzo dando por concluido la construcción de la bóveda (Fig. No. 164), para confinar la cara exterior del túnel se utiliza una cimbra la cual contiene ventanas por donde se va colocando el concreto.



Fig. No. 162 Fabricación de Zapatas para el túnel falso



Fig. No. 163 Panorámica del Túnel Santa Lucía I,



**Fig. No. 164** Habilitado de Cimbra en el Túnel falso

## **VII. Costos y Programación**

**VII.1. Costos.-** En todo el proceso para realizar una propuesta Técnica – Económica inicia con la publicación para ofertar el proyecto por lo cual todas las empresas interesadas se tienen que apegar a los requerimientos y especificaciones que establece las bases de licitación.

Como punto de partida es la realización de visita de obra al lugar donde se va a realizar el proyecto, en especial a este proyecto se tuvieron bastantes dificultades en los accesos que en su momento el Cliente había previsto consecuencia de la misma orografía del lugar y el peligro de tener un posible evento que pusiera en peligro a los licitantes. Es por ello que la visita se realizó a los sitios más cercanos a trayectoria de la Carretera, en estos lugares se explicó a detalle todas las dificultades de los accesos para llegar a la traza del proyecto.

En la visita de obra generalmente se recaba información de las condiciones del terreno posibles accesos, lugares donde se puede establecer campamentos, investigación de mercado de personal, convenio el Sindicato de Fleteros, etc.

Por otra parte en la Oficina Matriz, el personal técnico asignado a este proyecto realizó la revisión a detalle del proyecto entregado por el cliente, esto es con la finalidad de encontrar los puntos más importantes o dudas que se pudieran tener para ser enviadas a la Dependencia para su aclaración.

En forma paralela se está realizando un estudio de mercado más a detalle haciendo convenios con diferentes empresas especializadas en ciertos trabajos como son: Elementos Prefabricados, Empresas Concreteras, Proveedores de los principales insumos (acero de refuerzo, Acero estructural), Empresas de Maquinaria, etc. así como recabar toda la información del personal Técnico-Administrativo y curricular de la empresa que es solicita en las Bases de Licitación.

Debido a la complejidad del proyecto desde la etapa de licitación se estableció contacto con técnicos especialistas en este tipo de trabajos, ya que en México no se

cuenta con la cantidad del personal que cumpliera con este perfil se tuvo que echar mano del personal de empresas extranjeras.

El personal que tiene experiencia en este tipo de trabajo establece la directriz de cómo se debe de ejecutar los trabajos estableciendo los principales ciclos y rendimientos de las principales actividades los cuales deben de estar incluidos en el desglose de los precios unitarios, estos rendimientos son parte fundamental con la programación ya que establece el número de equipos o frentes de trabajos que son requeridos para llevar a buen término la ejecución de este proyecto.

Para establecer los costos directos se toman en cuenta Equipos de construcción, materiales, y mano de obra, con relación a la mano de obra se debe de considerar todas las prestaciones que establece la Ley Federal del Trabajo, La Ley del Seguro Social, condiciones climatológicas de la región así como las prestaciones que se tienen por costumbre, todos estos factores que están estipulados en dichas leyes son considerados para el cálculo del Factor de Salario Real (FSR).

Otro de los factores que se toman en cuenta es el sobrecosto (Indirectos) en el cual se debe de incluir los costos de Oficina matriz, costos del personal Técnico – Administrativo las prestaciones que pueden tener o ser consideradas para este tipo de proyecto, Campamentos, vehículos de transporte, viajes frecuentes a lugar de origen, Fianzas, etc.

La suma de todos estos costos representa el costo indirecto, el factor de sobrecosto se complementa con el porcentaje de utilidad, financiero y Sefupu, este último factor lo establece el Licitante es de un 0.50%.

El precio de venta se establece en un consenso donde participan los directivos de todas las áreas y establecen su punto de vista para tomar la decisión de cual pudiera ser la mejor oferta siempre y cuando haya una utilidad para la empresa.

Finalmente se establece el precio de venta el cual es firmado por todos los presentes y donde se determinan los riesgos y las áreas de oportunidad que pueden mejorarse con la finalidad de tener un resultado positivo al concluir la construcción del proyecto.

En seguida incluiremos unos ejemplo ilustrativos para obtener el desglose de los precios unitarios, indirectos, factor financiero utilidad y Sefupu. Estos ejemplos no corresponden a los establecidos a proyecto Túnel Sinaloense.

**DATOS BASICOS PARA EL ANALISIS DEL FACTOR DE SALARIO REAL**

Inicio: 25-jul-14

Terminacion: 12-ago-16

Duracion : 750 dias

DICAL	DIAS CALENDARIO	365.00
DIAGI	DIAS DE AGUINALDO	15.00
PIVAC	DIAS POR PRIMA VACACIONAL	1.50
	Prima dominical	
	Horas extras gravables en el SBC	
	Horas extras no gravables en el SBC	
<b>TP</b>	<b>TOTAL DE DIAS REALMENTE PAGADOS AL AÑO</b>	<b>SUMA: 381.50</b>
DIDOM	DIAS DOMINGO	52.00
DIVAC	DIAS DE VACACIONES	6.00
DILUN	DIAS LUNES	3.00
DIFEO	DIAS FESTIVOS POR LEY	4.00
DIPEC	DIAS PERDIDOS POR CONDICIONES DE CLIMA (LLUVIA Y OTROS)	5.00
DIPCO	DIAS POR COSTUMBRE	6.00
DIPEN	DIAS POR PERMISOS Y ENFERMEDAD NO PROFESIONAL	3.00
DISIN	DIAS POR SINDICATO (CONTRATO COLECTIVO)	
	Dias no Trabajados por Guardia	
<b>DINLA</b>	<b>DIAS NO LABORADOS AL AÑO</b>	<b>SUMA: 79.00</b>
<b>TI</b>	<b>TOTAL DE DIAS REALMENTE LABORADOS AL AÑO (DICAL)-(DINLA)</b>	<b>286.00</b>
<b>TP / TI</b>	<b>DIAS PAGADOS / DIAS LABORADOS</b>	<b>1.333916</b>
<b>(Tp - Te) / TI</b>	<b>(DIAS PAGADOS - TIEMPO EXTRA NO GRAVABLE)</b>	<b>1.333916</b>
<b>FSBC</b>	<b>FACTOR DE SALARIO BASE DE COTIZACION ( Tp-Te) / DICAL para cálculo de IMSS</b>	<b>1.045205</b>

TABLA DE SALARIOS REALES

SALARIO MINIMO D.F \$: 67.29

Otros cargos

CLAVE	CATEGORIAS	Salario Nominal \$	Tp / TI	Obligacion Obrero Patronal Ps= IMSS e INFONAVIT	Ps x (Tp-Te)/TI	Otros cargos	Fsr=[ Ps (Tp-Te) / TI ] + (Tp/TI)+G
A	B	C	D	E	F = E x D	G = 0%	H = D + F + G
MO-001	Ayudante General	228.57	1.333916	0.311637	0.415698		1.7496
MO-002	Ayudante para mantenimiento	499.89	1.333916	0.285403	0.380704		1.7146
MO-003	Ayudante General (Electricista)	464.87	1.333916	0.287067	0.382923		1.7168
MO-004	Auxiliar topografo	257.14	1.333916	0.306256	0.408522		1.7424
MO-005	Topografo	675.25	1.333916	0.279695	0.373090		1.7070
MO-006	Tornillero	257.14	1.333916	0.306256	0.408522		1.7424
MO-007	Cadenero	415.88	1.333916	0.289845	0.386629		1.7205
MO-008	Oficial Albañil	349.99	1.333916	0.294825	0.393272		1.7272
MO-009	Oficial Carpintero	407.14	1.333916	0.290454	0.387441		1.7214
MO-010	Oficial Mecanico	450.00	1.333916	0.287856	0.383976		1.7179
MO-011	Oficial Fierro	349.99	1.333916	0.294825	0.393272		1.7272
MO-012	Oficial Herrero	357.15	1.333916	0.294222	0.392467		1.7264
MO-013	Oficial Colocador	442.89	1.333916	0.288263	0.384519		1.7184
MO-014	Oficial Maniobrista	504.92	1.333916	0.285178	0.380403		1.7143
MO-015	Oficial para mantenimiento	1236.90	1.333916	0.272283	0.363203		1.6971
MO-016	Oficial Pintor	285.71	1.333916	0.301946	0.402771		1.7367
MO-017	Oficial Soldador (estructura)	642.85	1.333916	0.280544	0.374222		1.7081
MO-018	Chofer de Camion	264.29	1.333916	0.304988	0.406828		1.7407
MO-019	Oficial Poblador	300.00	1.333916	0.300134	0.400354		1.7343
MO-020	Oficial Cargador	300.00	1.333916	0.300134	0.400354		1.7343
MO-021	Oficial Electricista	442.86	1.333916	0.288260	0.384515		1.7184
MO-022	Oficial Electricista (Alta Tension)	765.87	1.333916	0.277755	0.370502		1.7044
MO-023	Oficial Jardinero	299.99	1.333916	0.300112	0.400324		1.7342
MO-024	Cabo de oficios	655.03	1.333916	0.280206	0.373771		1.7077
MO-025	Cabo de oficios (Alta Tension)	1360.00	1.333916	0.271485	0.362138		1.6961
MO-026	Operador Bomba de Agua	350.00	1.333916	0.294817	0.393261		1.7272
MO-027	Operador de Compactador	407.14	1.333916	0.290454	0.387441		1.7214
MO-028	Operador de Compresor	235.71	1.333916	0.310103	0.413651		1.7476
MO-029	Operador de Excavadora	442.86	1.333916	0.288260	0.384515		1.7184

**TABULADOR DE SALARIO BASE DE MANO DE OBRA E INTREGRACION DE SALARIOS**

Código	Concepto	Unidad	Salario Base	Factor Salario Real	Salario Real
MO-001	Ayudante General	tno.	\$228.57	1.749600	\$399.91
MO-002	Ayudante para mantenimiento	tno.	\$499.89	1.714620	\$857.12
MO-003	Ayudante General (Electricista)	tno.	\$464.87	1.716800	\$798.09
MO-004	Auxiliar topografo	tno.	\$257.14	1.742438	\$448.05
MO-005	Topografo	tno.	\$675.25	1.707006	\$1,152.66
MO-006	Tornillero	tno.	\$257.14	1.742438	\$448.05
MO-007	Cadenero	tno.	\$415.88	1.720545	\$715.54
MO-008	Oficial Albañil	tno.	\$349.99	1.727188	\$604.50
MO-009	Oficial Carpintero	tno.	\$407.14	1.721357	\$700.83
MO-010	Oficial Mecanico	tno.	\$450.00	1.717892	\$773.05
MO-011	Oficial Fierro	tno.	\$349.99	1.727188	\$604.50
MO-012	Oficial Herrero	tno.	\$357.15	1.726383	\$616.58
MO-013	Oficial Colocador	tno.	\$442.89	1.718400	\$761.06
MO-014	Oficial Maniobrista	tno.	\$504.92	1.714319	\$865.59
MO-015	Oficial para mantenimiento	tno.	\$1,236.90	1.697119	\$2,099.17
MO-016	Oficial Pintor	tno.	\$285.71	1.736687	\$496.19
MO-017	Oficial Soldador (estructura)	tno.	\$642.85	1.708138	\$1,098.08
MO-018	Chofer de Camion	tno.	\$264.29	1.740744	\$460.06
MO-019	Oficial Poblador	tno.	\$300.00	1.734270	\$520.28
MO-020	Oficial Cargador	tno.	\$300.00	1.734270	\$520.28
MO-021	Oficial Electricista	tno.	\$442.86	1.718400	\$761.01
MO-022	Oficial Electricista (Alta Tension)	tno.	\$765.87	1.704418	\$1,305.36
MO-023	Oficial Jardínero	tno.	\$299.99	1.734240	\$520.25
MO-024	Cabo de oficios	tno.	\$655.03	1.707700	\$1,118.59
MO-025	Cabo de oficios (Alta Tension)	tno.	\$1,360.00	1.696054	\$2,306.63
MO-026	Operador Bomba de Agua	tno.	\$350.00	1.727177	\$604.51
MO-027	Operador de Compactador	tno.	\$407.14	1.721357	\$700.83
MO-028	Operador de Compresor	tno.	\$235.71	1.747567	\$411.92
MO-029	Operador de Excavadora	tno.	\$442.86	1.718431	\$761.02

## GUIA INDICATIVA

## ANALISIS DE INTEGRACION DEL PRECIO UNITARIO

<b>COSTOS DIRECTOS</b>	
MANO DE OBRA (INCLUYENDO INFONAVIT Y SAR)	35.00
MATERIALES	55.00
MAQUINARIA	10.00
<b>A) SUBTOTAL</b>	<b>100.00</b>
<b>B) COSTOS INDIRECTOS OFICINAS CENTRALES (6%)</b>	<b>6.00</b>
<b>C) COSTOS INDIRECTOS DE CAMPO (9%)</b>	<b>9.00</b>
<b>D) SUBTOTAL (A+B+C)</b>	<b>115.00</b>
E) COSTO FINANCIERO 1.5% 0.015 * 115.00	1.73
<b>F) SUBTOTAL (D+E)</b>	<b>116.73</b>
G) UTILIDAD $\frac{\text{UTILIDAD NETA*F}}{1-(\text{ISR} + \text{PTU})} = \frac{0.06 * 116.73}{1-(0.34 + 0.10)}$	12.51
<b>H) SUBTOTAL (F+G)</b>	<b>129.24</b>
I) CARGOS ADICIONALES (SEFUPU, 5 AL MILLAR)	$\frac{129.24}{1 - 0.005} - 129.24 = 0.65$
<b>J) TOTAL DEL PRECIO UNITARIO (H+I)</b>	<b>129.89</b>

**NOTA: EN LOS CARGOS ADICIONALES UNICAMENTE SE INCLUIRAN LOS GASTOS DE INSPECCION Y SUPERVISIÓN DE LA SEFUPU, SALVO QUE EN LAS BASES DE LA CONVOCATORIA SE INDIQUEN OTROS, EN TERMINOS DE LO ESTABLECIDO EN EL ARTICULO 220 DEL REGLAMENTO DE LA LEY DE OBRAS PUBLICAS Y SERVICIOS RELACIONADOS CON LAS MISMAS.**



<b>SUMAS</b>	
ADMINISTRACIÓN CENTRAL	\$9,041,943.88
ADMINISTRACIÓN DE CAMPO	\$37,739,126.01
<b>TOTAL INDIRECTO</b>	<b>\$46,781,070.69</b>
COSTO DIRECTO DE OBRA	\$322,687,990.76
ADMINISTRACIÓN CENTRAL (A)	2.80%
ADMINIATRACIÓN DE CAMPO (B)	11.70%
<b>CARGO INDIRECTO = (A + B)</b>	<b>14.50%</b>

### EJEMPLO DEL CARGO POR UTILIDAD

<b>COSTO DIRECTO</b>	<b>\$322,687,990.76</b>	<b>100.00%</b>
<b>COSTO INDIRECTO</b>	<b>\$46,781,070.69</b>	<b>14.50%</b>
<b>SUMA</b>	<b>\$369,469,061.45</b>	
<b>COSTO FINANCIERO</b>	<b>\$2,380,240.40</b>	<b>0.64%</b>
<b>SUMA</b>	<b>\$371,849,301.80</b>	
<b>UTILIDAD</b>	<b>\$13,222,033.81</b>	<b>3.56%</b>
<b>CARGOS ADICIONALES</b>	<b>\$1,932,005.00</b>	<b>0.50%</b>
<b>SUMA TOTAL</b>	<b>\$387,003,340.66</b>	<b>119.93%</b>



## Presupuesto para la construcción del Túnel Sinaloense

No.	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Importe
<b>A</b>	<b>Portales</b>				
121.-	Excavación a cielo abierto en portales de entrada y salida, para la conformación de taludes, incluye desmonte, despalme y acarreo a cualquier distancia, al banco de desperdicios. P.U.O.T.	M3	91,159.15	\$71.33	\$6,716,372.17
122.-	Anclas de fricción de longitud y características según proyecto, en tajos de acceso, varilla N° 8 alojadas en barrenos de 3" de diámetro y con mortero f'c =180 kg/cm <sup>2</sup> P.U.O.T.	MI	7,007.59	\$515.68	\$3,613,674.01
123.-	Anclas de fricción de longitud y características según proyecto, en tajos de acceso, varilla N° 12 alojadas en barrenos de 3" de diámetro y con mortero f'c=180 kg/cm <sup>2</sup> P.U.O.T.	MI	913.43	\$653.54	\$596,963.04
124.-	Anclas de tensión de longitud y características según proyecto, en tajos de acceso, con cables de 1/2", alojadas en barrenos de 4" de diámetro y con mortero f'c= 180 kg/cm <sup>2</sup> P.U.O.T.	MI	215	\$1,157.58	\$248,879.70
125.-	Construcción de drenes de tubo de 1 1/2" de diam. y 6.00 m. de long. ranurado, forrado con geotextil y colocados en talud de los portales, P.U.O.T.	MI	6,627.99	\$228.32	\$1,513,302.68
126.-	Extracción de derrumbes en cualquier clase de material a cielo abierto, incluye acarreo a cualquier distancia al banco de desperdicio. P.U.O.T.	M3	1,049.43	\$45.04	\$47,266.33
127.-	Suministro y colocación de malla electrosoldada 6-6/6-6, incluye suministro, colocación, desperdicios, acarreo al banco de desperdicio P.U.O.T.	M3	2,117.48	\$3,213.81	\$6,805,178.40
			<b>Total de Portales</b>		<b>\$19,541,636.33</b>
<b>B</b>	<b>Excavación y Sostenimiento</b>				
128.-	Excavación en túnel incluye: acarreo a cualquier distancia, al banco de desperdicios que elija el contratista. (Tolerancia entre línea	M3	389,683.86	\$379.06	\$147,713,563.97

	A y B en roca de calidad mala 30 cm, roca de calidad regular 25 cm y roca de calidad buena P.U.O.T.				
129.-	Anclas de fricción y/o tensión, de longitud y características según proyecto, dentro del túnel, varilla N° 8 alojadas en barrenos de 3" , con inyección de mortero de f'c con aditivo espansor y fluidizante, según proyecto, P.U.O.T.	m	36,948.00	\$320.28	\$11,833,705.44
130.-	Concreto lanzado f'c=250 kg/cm <sup>2</sup> con fibras de acero y/o malla electrosoldada dentro del túnel, incluye suministro y colocación de maestras, suministro y colocación de fibras de acero y/o malla electrosoldada. P.U.O.T.	M3	17,807.01	\$3,538.21	\$63,004,940.85
131.-	Suministro y almacenaje de acero estructural para marco metálico, sección según proyecto; incluye: transporte, a la obra, según detalles de proyecto, placas de unión, rastra de acero, tensores, separadores, tornillos, soldadura P.U.O.T.	ton	1,228.85	\$19,443.61	\$23,893,280.15
132.-	Fabricación y montaje de marco metálico, sección según proyecto; incluye: transporte, arriostamiento según detalles de proyecto, placas de unión, rastra de acero, tensores, separadores, retaque de madera, tornillos, soldadura. P.U.O.T.	ton	1,228.85	\$11,974.34	\$14,714,667.71
133.-	Concreto simple para rellenos y reposición de caídos de f'c=150 kg/cm <sup>2</sup> , P.U.O.T.	M3	7,439.71	\$1,665.68	\$12,392,176.15
134.-	Anclas para construcción de soporte tipo "jaula de ardilla" con varilla No.8, longitud P.U.O.T.	M	1,536.00	\$372.97	\$572,881.92
135.-	Instalación de drenes locales en interior de túnel mediante tubo de PVC flexible de 1 1/2" de diámetro, alojados en barrenos de 2 1/2" de diámetro, incluye perforación, conexiones y reducciones P.U.O.T.	M	4,214.00	\$146.89	\$618,994.46
136.-	Tubos de enfijado de 4" ranurados cedula 40 con una longitud según proyecto, alojados en barreno de 5" de diámetro, incluye inyección, P.U.O.T.	M	10,587.00	\$1,090.81	\$11,548,405.47
			<b>Total Excavación y Sostenimiento</b>		<b>\$286,292,616.12</b>

<b>C</b>	<b>Revestimiento del Túnel y Túneles Falsos</b>				
137.-	Suministro y almacenaje en obra de varillas de límite elástico igual o mayor a $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ para revestimiento definitivo del túnel y túneles falsos, P.U.O.T.	kg	3,321,372.38	\$15.58	\$51,746,981.68
138.-	Habilitado y colocación de varillas de límite elástico igual o mayor a $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ para revestimiento definitivo del túnel y túneles falsos, P.U.O.T.	kg	3,321,372.38	\$3.82	\$12,687,642.49
139.-	Concreto hidráulico $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$ para revestimiento definitivo del túnel y túneles falsos, Incluye su colocación empleando cimbra metálica deslizante. P.U.O.T.	M3	17,135.49	\$1,821.26	\$31,208,182.52
140.-	Concreto hidráulico $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$ 2 para revestimiento definitivo del túnel y túneles falsos, Incluye su colocación empleando cimbra metálica deslizante. P.U.O.T.	M3	34,661.35	\$2,078.65	\$72,048,815.18
141.-	Perforación de 2" de diámetro en revestimiento definitivo para alojar las boquillas de inyección, P.U.O.T.	M	725.93	\$385.57	\$279,896.83
142.-	Suministro, habilitado y colocación de boquillas para inyección de contacto entre el revestimiento definitivo y el concreto lanzado, P.U.O.T.	PZA	1,095.00	\$129.05	\$141,309.75
143.-	Inyección de contacto entre revestimiento primario y definitivo del túnel, P.U.O.T.	M3	1,178.13	\$2,417.81	\$2,848,494.50
144.-	Relleno en zona de túnel falso con material compactado y características según proyecto, P.U.O.T.	M3	4,918.15	\$114.25	\$561,898.64
145.-	Secciones de instrumentación, que incluye: 3 armellas de 1/2" de diámetro y 50 cm de largo, ancladas al terreno después de haberse aplicado el recubrimiento primario P.U.O.T.	Est.	180	\$9850.86	\$1,773,154.80
146.-	Secciones de medición extensométrica, incluye todo lo necesario para su correcta ejecución P.U.O.T.	Est.	6	\$9,850.86	\$59,105.16
<b>Total de Revestimiento del Túnel y Túneles Falsos</b>					<b>\$173,355,481.55</b>

<b>D</b>	<b>Obras de Drenaje</b>				
147.-	Construcción de cuneta a base de concreto f'c=150 kg/cm <sup>2</sup> , de 10 cm de espesor P.U.O.T.	M	185.06	\$630.55	\$116,689.58
148.-	Construcción de contracunetas a base de concreto f'c =150 kg/cm <sup>2</sup> , de 10 cm de espesor P.U.O.T.	M	352.53	\$446.31	\$157,337.66
149.-	Construcción de canal para drenaje pluvial a base de concreto armado f'c=200 kg/cm <sup>2</sup> y características según proyecto, P.U.O.T.	M	175	\$23,690.03	\$4,145,755.25
150.-	Tubo de albañal de concreto de 10" de diámetro instalado según proyecto, P.U.O.T.	M	2,810.00	\$135.14	\$379,743.40
151.-	Excavación de zanjas para obras de drenaje, incluye acarreo del material producto de la excavación a cualquier distancia al banco de desperdicio P.U.O.T.	M3	1,358.50	\$182.13	\$247,423.61
152.-	Pozo de visita con tapa ciega FoFo y registros, según proyecto, P.U.O.T.	PZA	20.00	\$16,539.43	\$330,788.60
153.-	Boca de tormenta con tapa de Fo.Fo, según proyecto, P.U.O.T.	PZA	112	\$5,875.46	\$658,051.52
154.-	Colocación de Rejilla Irving IS-04 x 80 cm, según proyecto y EP, P.U.O.T.	M	21.30	\$5,538.09	\$117,961.32
155.-	Lavaderos de concreto f'c=150 kg/cm <sup>2</sup> según proyecto, de 10 cm. de espesor P.U.O.T.	M	20.38	\$574.55	\$11,709.33
156.-	Concreto hidráulico de f'c=200 kg/cm <sup>2</sup> , para losas de obras de drenaje. P.U.O.T.	M3	26.90	\$1,939.77	\$52,179.81
157.-	Concreto hidráulico simple de f'c=100 kg/cm <sup>2</sup> , para plantilla en obras de drenaje. . P.U.O.T.	M3	16.19	\$864.59	\$13,997.71
158.-	Varillas de límite elástico igual o mayor a f'y = 4200 kg/cm <sup>2</sup> para obras de drenaje. . P.U.O.T.	kg	973.57	\$19.12	\$16,702.66
159.-	Suministro y colocación de Geomembrana impermeabilizante según proyecto y EP, P.U.O.T.	M2	100,606.26	\$78.27	\$7,874,451.97
160.-	Suministro y colocación de Geotextil según proyecto y EP, P.U.O.T.	M2	100,606.26	\$27.49	\$2,765,666.09

161.-	Subdren con tubo strupac o PVC según proyecto, P.U.O.T.	M	5,920.00	\$119.62	\$708,150.40
			<b>Total de Obras de Drenaje</b>		<b>\$17,596,608.91</b>
<b>Pavimentos</b>					
162.-	Sub-base compactada al 100%, incluye acarreo a cualquier distancia del banco de préstamo que elija el contratista. P.U.O.T.	M3	11,611.20	\$170.71	\$1,982,147.95
163.-	Riego de Impregnación, P.U.O.T.	M2	38,453.19	\$5.49	\$211,108.01
164.-	Losa de concreto hidráulico de 28 cm de espesor, con MR = 48 kg/cm <sup>2</sup> determinado a los 28 días, incluye pasajuntas, juntas, corte y sellado de juntas, microtexturizado y curado P.U.O.T.	M3	8,267.60	\$2,277.67	\$18,830,864.49
165.-	Pavimento asfáltico incluye todo lo necesario para su correcta aplicación según especificaciones y características de proyecto P.U.O.T.	M3	1,632.08	\$1,699.84	\$2,774,274.87
			<b>Total de Pavimentos</b>		<b>\$23,798,395.32</b>
<b>Señalamiento</b>					
166.-	Señales preventivas, restrictivas, de información, etc., SP-25 86 X 86 cm con tablero adicional. P.U.O.T.	PZA	14.00	\$784.74	\$10,986.36
167	Señales preventivas, restrictivas, de información, etc., SR-18 Prohibido rebasar, de 86 X 86 cm. P.U.O.T.	PZA	16.00	\$784.74	\$12,555.84
168.-	Señales preventivas, restrictivas, de información, etc., SIR-5 dos renglones, 86 X 300 cm. P.U.O.T.	PZA	17.00	\$2,623.74	\$44,603.58
169.-	Señales preventivas, restrictivas, de información, etc., SIG-8 86 X 239 cm. P.U.O.T.	PZA	16.00	\$1,816.88	\$29,070.08
171.-	DH-1.10 vialetas color blanco en ambas caras. P.U.O.T.	PZA	262.00	\$23.56	\$6,172.72
172.-	DH-1.3 vialetas color amarillo en ambas caras. P.U.O.T.	PZA	202.00	\$23.56	\$4,759.12
173.-	DH-1.4 vialetas color rojo en ambas caras. P.U.O.T.	PZA	54.00	\$23.56	\$1,272.24
174.-	Recubrimiento M-1 Raya separadora de sentidos de circulación. M-1.3 Raya continua doble, de 15 cm de ancho, color amarillo retroreflejante. P.U.O.T.	M	4,512.00	\$7.06	\$31,854.72

175.-	Recubrimiento M-3.1 Raya en la orilla derecha continua, de 15 cm de ancho, color blanco retroreflejante. P.U.O.T.	M	10,078.00	\$3,71	\$37,389.38
176.-	Recubrimiento M-11 Símbolos para regular el uso de carriles: Flecha de sentido de tráfico color blanco retroreflejante. P.U.O.T.	PZA	25.00	\$103.94	\$2,598.50
177.-	Recubrimiento M-13 Marcas en obstáculos adyacentes a la superficie de rodamiento: Pintado de franjas retroreflejantes en entradas a túnel de 60 cm de ancho alternadas, P.U.O.T.	M2	112.00	\$103.94	\$11,641.28
			<b>Total de Señalamiento</b>		<b>\$192,903.82</b>
	<b>Obras Marginales</b>				
178.-	Poliducto para fibra óptica en la corona de carreteras, P.U.O.T.	HM	26.32	\$30,210.96	\$795,152.47
179.-	Registros para fibra óptica en la corona de carreteras, P.U.O.T.	PZA	15	\$4,305.53	\$64,582.95
			<b>Total de Obras Marginales</b>		<b>\$859,735.42</b>
<b>D</b>	<b>Instalaciones</b>				
180.-	Ventilación	Lote	1.00	\$15,794,786.95	\$15,794,786.95
181.-	Iluminación	Lote	1.00	\$104,866,629.24	\$104,866,629.24
182.-	Subestación	Lote	2.00	\$6,977,141.60	\$13,954,283.20
183.-	Voz y Datos	Lote	1.00	\$95,474,476.35	\$95,474,476.35
			<b>Total de Instalaciones</b>		<b>\$230,090,175.74</b>

## Resumen del Costo

<b>A.- Total Portales</b>	<b>\$19,541,636.33</b>
<b>B.- Total Excavación y Sostenimiento</b>	<b>\$286,292,616.12</b>
<b>C.- Total Revestimiento del Túnel y Túneles Falsos</b>	<b>\$173,355,481.55</b>
<b>D.- Total Obras de Drenaje</b>	<b>\$17,596,608.91</b>
<b>E.- Total Pavimentos</b>	<b>\$23,798,395.32</b>
<b>F.- Total Señalamiento</b>	<b>\$192,903.82</b>
<b>G.- Total Obras Marginales</b>	<b>\$859,735.42</b>
<b>H.- Total Instalaciones</b>	<b>\$230,090,175.74</b>
<b>Total del Presupuesto</b>	<b>\$751,727,553.21</b>

**VII.2. Programación.-** Para realizar la programación del Túnel Sinaloense se debe de considerar las condiciones como son: Lugar donde se va a realizar el proyecto, posibles accesos de los portales, Elección de campamentos, Traslado de los equipos al lugar del proyecto, Elegir el equipo de construcción idóneo para realizar este tipo de trabajo, Tipo de material a remover de acuerdo a la información establecida en el proyecto, Tipo de tratamiento a utilizar para estabilizar los portales etc.

Con toda esta información ya analizada se puede determinar el inicio de construcción del Túnel, los trabajos preliminares como son los accesos a los portales los cuales tienen cierta duración la cual no representan una actividad que sea reflejada en la ruta crítica ya que puede realizarse en forma simultánea con otras actividades la realización es con equipo convencional (Tractores, Motocomformadoras, Compactadores).

El inicio propio del túnel lo establece la construcción de los portales, para lo cual se debe de establecer la duración en cada una de las etapas, las actividades que se realizan en dichas etapas son Barrenación, Voladura, Retiro de la rezaga y

tratamiento del talud. Esta actividad se realiza en forma cíclica hasta llegar a la entrada del túnel, la duración de esta actividad debe tener cierta correspondencia con el tiempo que se requiere para la llegada del equipo de perforación (Jumbos, Equipo de enfilaje).

La 1er actividad en la entrada del túnel es la colocación del enfilaje para lo cual se utilizó el **equipo específico de perforación sub-horizontal (EEPS)**, la velocidad en la perforación de cada barreno es determinante para la colocación de los elementos de sostenimiento.

Existen actividades que afectan el rendimiento las cuales son el lavado de las perforaciones antes de introducir el tubo metálico, aunque esta actividad puede realizar con un desfase con relación a la perforación este último debe tener cuando menos con un avance del 50% para evitar interferencia con el equipo de lavado.

Cuando se ha concluido con el lavado de cada barreno se inicia con la colocación de la tubería y en forma inmediata la inyección del cementante (Lechada), el avance de cada barreno tiene una duración entre 3 a 4 hr.

### Enfilaje

No. de enfilaje  $37.00 \times 12.00 \text{ m.} = 444.00 \text{ m}$

Tiempo de perforación  $444.00 \times 3.00 \text{ min/ml} \times 1.25 \text{ Coef. de simul.}$   
 $= 1,665.00 \text{ min.}$

La equivalencia en días  $= (1,665 / 60 \text{ min.}) = 27.75 \text{ hr.}$

### Lavado y colocación de tubo

No. de tubos  $37.00 \text{ pza.} \times 10.00 \text{ min/pza.} \times 1.20 \text{ Coef. de simultaneidad.}$   
 $= 444.00 \text{ hr./60 min} = 7.40 \text{ hr.}$

### Inyección de lechada

No. de tubos  $37.00 \text{ pza.} \times 25.00 \text{ min/pza.} \times 1.20 \text{ Coef. de simultaneidad.}$   
 $= 1,110 \text{ min./60 min} = 18.50 \text{ hr.}$

Duración total de una etapa de enfilaje  $= 53.65 \text{ hr} / 8 \text{ hr.} = 6.71 \text{ días.}$

La 1er. etapa de la excavación del túnel es por medio mecánicos (excavadora y martillos hidráulicos) el avance que se tiene depende mucho de las Condiciones Geotécnicas, en este caso las condiciones antes mencionadas son del tipo “D<sup>(-)</sup>” que corresponde a roca triturada o macizo formado por bloques, por lo tanto el avance fue de 3.00 m. por turno de 24 hr., las actividades que se realizan en este periodo fueron, excavación, lanzamiento de concreto, colocación de sostenimiento, y 2da. Etapa de concreto lanzado.

### **Calculo de la excavación por medios mecánicos.**

Equipo a utilizar: (Excavadora, Martillo Hidráulico, Cargadores frontales lanzadora de concreto, manipuladores telescópicos y Camión de fleteros)

Volumen a excavar es de aproximadamente  $70.71 \text{ m}^3/\text{m} \times 3.00 \text{ m} = 212.13 \text{ m}^3$

Rendimiento de la excavadora =  $10.00 \text{ m}^3/\text{hr} \times 85\% \text{ factor eficiencia} = 8.5 \text{ m}^3/\text{hr}$

$$212.13 \text{ m}^3 / 8.50 \text{ m}^3/\text{hr} = \underline{24.95 \text{ hr.}}$$

$$\text{Equivalencia en tno.} = 24.95 / 24 = \underline{1.04 \text{ tnos.}}$$

### **Sostenimiento a base de lanzado de concreto y colocación de 4 marcos metálicos.**

Volumen del lanzado de concreto  $3.00 \text{ m. avance} \times 21.30 \text{ m. perímetro} = 63.9 \text{ m}^2$

$63.90 \text{ m}^3 \times 0.05 \text{ m esp.} \times 1.20 \text{ factor de rebote} = 3.834 \text{ m}^3 / 6 \text{ m}^3/\text{hr} = 0.64 \text{ hr.}$

Coloc. de marcos metálicos IR =  $44.8 \text{ kg/m.} \times 4.00 \times 21.30 \text{ m.} \times 44.80 \text{ kg/m} = 3,816.96 \text{ kg}$

El equipo de trabajo coloca 4 marcos en medio turno = 4.00 hr.

Total en turnos  $(0.64 \text{ hr} + 4.00 \text{ hr.}) / 24 \text{ hr.} = (0.19 \text{ tno.} + 1.04 \text{ tno.}) = 1.23 \text{ tno.}$

El acarreo no representa ninguna interferencia con otras actividades ya que el frente se encuentra en el portal del túnel.

La siguiente etapa es con la utilización de equipos de actividades propias del túnel (Jumbos, Cargadores, Camiones, Lanzadoras de concreto y equipos de izaje), en un principio se realiza la excavación de la bóveda según los cálculos anexos.

**Datos:**

Bóveda	=	6.11 m de altura
Exc. Teórica	=	70.71 m <sup>3</sup>
Avance	=	3.00 m.
Vol. Excavado	=	212.13 m <sup>3</sup> por ciclo.
Zapatera	=	14.98 m

**Obtención de los tiempos del ciclo.****1.- Replanteo****= 0.50 hr.****2.- Perforación con jumbo de 3 brazos**

	No. barreno		Lon. Barr.	Long. Total
Perímetro @ 40 cm.	53.00	x	3.20 m.	= 169.60 m.
Cuelle	16.00	x	3.20 m.	= 51.20 m.
Zapatera @ 85 cm.	19.00	x	3.20 m.	= 60.80 m.
Franqueo	39.00	x	3.20 m.	= 124.80 m.
<b>Total =</b>	<b>127.00</b>		<b>Total =</b>	<b>406.40 m.</b>

Tiempo de perforación 406.40 m. x 1.00 min/m x 1.20 Coef. Simul.  
 = 487.68 min. / 3 (Jumbo de 3 brazos) = 162.56 min. / 60 min. **= 2.71 hr.**

Carga del explosivo 212.13 m<sup>3</sup> x 1.42 kg/m<sup>3</sup> = 301.22 kg.

301.22 kg x 0.50 kg/min/hombre / 6.00 hombres = 100.41 min. /60 min.  
**= 1.67 hr**

**3.- Disparo – Ventilación Pega****= 0.50 hr.****4.- Desescombro**

Volumen de desescombro = 212.13 m<sup>3</sup> x 1.50 factor de abundamiento  
 = 318.20 m<sup>3</sup> de material suelto.

318.20 m<sup>3</sup> / 12.00 m<sup>3</sup>/camión = 26.52 ciclos = 27.00 ciclos para retirar 214.29 m<sup>3</sup>

Carga a camión	ciclo	Cap. Cucharón	Cap. camión	No. Ciclos
Cargador	0.25 min.	x 0.90 m <sup>3</sup>	x 12.00 m <sup>3</sup>	= 13.33

Tiempo p/un ciclo 3.33 min. / por camión. x 27.00 ciclos = 90.00 min./ 60 min.  
**= 1.5 hr.**

## 5.- Distancia promedio de acarreo

En esta etapa los acarreos no representan tiempo en el ciclo.

## 6.- Lanzado de concreto y colocación de marcos metálicos

	Avance	Perímetro	Esp. Lanzado	Factor rechazo
Concreto lanzado con fibra	3.00 m de avance	x 21.30 m	perímetro	= 63.90 m <sup>2</sup>
	63.90 x 0.05 m.	x 1.20 factor de rebote	= 3.834 m <sup>3</sup>	/ 6 m <sup>3</sup> /hr = 0.64 hr.

Marcos metálicos IR = 44.8 kg/m. (3.00 x 21.30 m. x 44.80 kg/m = 4,771.20 kg)

El equipo de trabajo coloca 3 marcos en un turno de 4 hr. = 4 hr.

### Total del ciclo.

1.- Replanteo	= 0.50 hr.
2.- Perforación con jumbo de 3 brazos	= 4.38 hr.
3.- Disparo – Ventilación Pega	= 0.50 hr.
4.- Desescombro	= 1.50 hr.
5.- Lanzado de concreto y colocación de marcos metálicos	= 4.64 hr.
<b>Total</b>	<b>= 11.52 hr.</b>

Total del ciclo de las Bóveda 11.52 hr. x 1.10 imprevistos = 12.67 hr.

Ejecución de bóveda 3.00 m avance / 12.67 hr. = 0.23 m/h

Para un turno de 24 h. x 0.23 m/h = 5.52 m/tno

Duración de la condición Geotécnica “D<sup>(-)</sup>” 12.00 m. / 5.52 m/tno = 2.17 días

Duración de excavación para la condición Geotécnica “D<sup>(-)</sup>”

Enfilaje	= 6.71 días
Excavación por medios mecánicos	= 1.23 días
Excavación con explosivos	= 2.17 días
<b>Total</b>	<b>=10.11 días</b>

Una vez que se ha iniciado con la excavación en el túnel los ciclos se repiten constantemente y las variaciones son debidas a las diferentes condiciones geotécnicas las cuales establecen el tiempo de duración en cada avance que afectan la programación.

Programa de ejecución del Tramo Carretero III  
del km 168+400 al 186+300  
"Túnel Sinaloense"

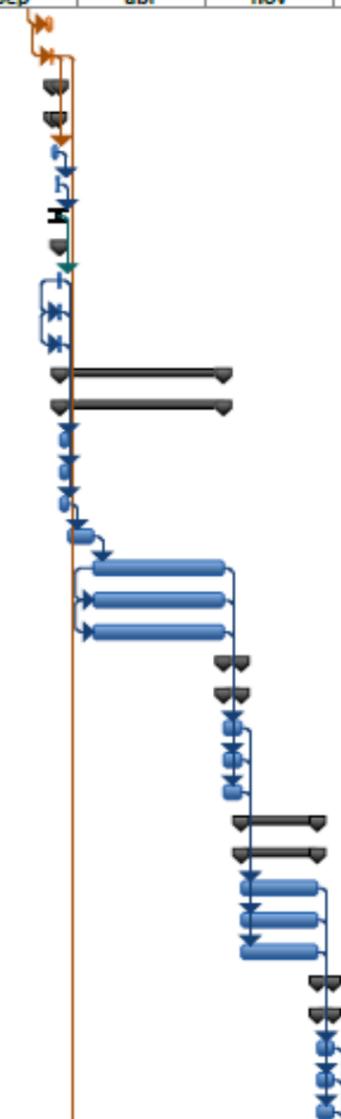
Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Trimestre											
						dic	1er trimestre	2º trimestre	3er trimestre	4º trimestre	1er trimestre						
						dic	jul	feb	sep	abr	nov	jun	ene	ago	mar	oct	
1		Inicio del proyecto	1611.99 días	vie 25/07/08	mar 17/09/13												
2		Impacto Ambiental	1550 días	vie 25/07/08	sáb 06/07/13												
3		Tramo regular y estructuras	1435 días	sáb 01/11/08	sáb 01/06/13												
9		Tuneles	1356.99 días	lun 05/01/09	lun 06/05/13												
10		Tropico de cancer km 171+450 - km 171+590 =140 m.	146 días	lun 05/01/09	mar 23/06/09												
17		Corte alto km 172+280 - km 172+445 = 165 m.	186 días	mar 10/03/09	lun 12/10/09												
24		La mina km 173+235 - km 173+390 = 155 m.	197 días	lun 15/06/09	vie 29/01/10												
31		Chirimollos km 173+460 - km 173+660 = 200 m.	207 días	jue 15/10/09	sáb 12/06/10												
38		Santa Lucía I km 179+780 - km 180+020 = 240 m.	283 días	vie 22/01/10	vie 17/12/10												
45		Santa Lucía II km 180+325 - km 180+420 = 95 m.	168 días	mié 14/07/10	mar 25/01/11												
52		Cerro la Reforma km 180+581 - km 180+695 = 114 m.	130 días	jue 25/11/10	lun 25/04/11												
59		Santa Lucía km 181+327 - km 181+450 = 123 m.	132 días	jue 03/02/11	mié 06/07/11												
66		Roblar de la Cueva km 181+675 - km 181+750 = 75 m.	109 días	vie 13/05/11	vie 16/09/11												
73		Las Mesas km 182+580 - km 182+744 = 164 m.	157 días	jue 28/07/11	jue 26/01/12												
80		El Nacaral km 183+273 - km 183+414 = 141 m.	128 días	jue 10/11/11	vie 06/04/12												
87		Túnel Las Palomas km 184+043 - km 184+225 = 182 m.	175 días	jue 23/02/12	jue 13/09/12												
94		Pánuco km 184+043 - km 184+225 = 182 m.	158 días	jue 07/06/12	vie 07/12/12												
101		Panuco II km 185+572 - km 185+634 = 62 m.	94 días	mar 02/10/12	vie 18/01/13												
108		Real de Pánuco km 185+910 - km 186+010 =100 m.	120 días	mar 11/12/12	lun 29/04/13												
115		Túnel Sinaloense km 668+425 - km 671+219	1053.99 días	jue 24/12/09	lun 06/05/13												
116		Excavación en túnel	1053.99 días	jue 24/12/09	lun 06/05/13												
117		Portal Mazatlan	50 días	jue 24/12/09	vie 19/02/10												
118		1er. Etapa	22 días	jue 24/12/09	lun 18/01/10												
119		Excavación	10 días	jue 24/12/09	lun 04/01/10												
120		lanzamiento de concreto	4 días	mar 05/01/10	vie 08/01/10												
121		Colocación de anclas	9 días	jue 07/01/10	sáb 16/01/10												
122		Colocación de drenaje	4 días	jue 14/01/10	lun 18/01/10												
123		2da. Etapa	22 días	sáb 09/01/10	mié 03/02/10												
124		Excavación	10 días	sáb 09/01/10	mié 20/01/10												
125		lanzamiento de concreto	4 días	jue 21/01/10	lun 25/01/10												
126		Colocación de anclas	9 días	sáb 23/01/10	mar 02/02/10												
127		Colocación de drenaje	4 días	sáb 30/01/10	mié 03/02/10												
128		3er. Etapa	22 días	mar 26/01/10	vie 19/02/10												
129		Excavación	10 días	mar 26/01/10	vie 05/02/10												
130		lanzamiento de concreto	4 días	sáb 06/02/10	mié 10/02/10												

Proyecto: Programa -02  
Fecha: vie 04/07/14

Tarea		Hito externo		Informe de resumen manual		División crítica	
División		Tarea inactiva		Resumen manual		Línea base	
Hito		Hito inactivo		Sólo el comienzo		Hito de línea base	
Resumen		Resumen inactivo		Sólo fin		Resumen de línea base	
Resumen del proyecto		Tarea manual		Fecha límite		Progreso	
Tareas externas		Sólo duración		Tareas críticas			

Programa de ejecución del Tramo Carretero III  
del km 168+400 al 186+300  
"Túnel Sinaloense"

Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Trimestre											
						1er trimestre			2º trimestre			3er trimestre			4º trimestre		
						dic	jul	feb	sep	abr	nov	jun	ene	ago	mar	oct	
131		Colocación de anclas	9 días	mar 09/02/10	jue 18/02/10												
132		Colocación de drenaje	4 días	mar 16/02/10	vie 19/02/10												
133		Condición Geotécnica D- km 671+200 - km 671+183 = 13 m.	10.14 días	sáb 20/02/10	jue 04/03/10												
134		Excavación de 1er. Etapa del portal	7.94 días	sáb 20/02/10	lun 01/03/10												
135		Enfleje	6.71 días	sáb 20/02/10	sáb 27/02/10												
136		Excavación p/medios mecánicos de bóveda	1.04 días	sáb 27/02/10	lun 01/03/10												
137		Sostentimiento	0.19 días	lun 01/03/10	lun 01/03/10												
138		Excavación con voladura	2.2 días	lun 01/03/10	jue 04/03/10												
139		Perforación y voladura	2.1 días	lun 01/03/10	jue 04/03/10												
140		Retiro de rezaga	2.1 días	mar 02/03/10	jue 04/03/10												
141		Recubrimiento de concreto	2 días	mar 02/03/10	jue 04/03/10												
142		Condición Geotécnica C- km 671+183 - 670+620 = 563 m.	233 días	jue 04/03/10	mié 01/12/10												
143		Excavación con voladura	233 días	jue 04/03/10	mié 01/12/10												
144		Perforación y voladura	12 días	jue 04/03/10	jue 18/03/10												
145		Retiro de rezaga	12 días	jue 04/03/10	jue 18/03/10												
146		Recubrimiento de concreto	12 días	jue 04/03/10	jue 18/03/10												
147		Caído en el km 671+153	35 días	jue 18/03/10	mié 28/04/10												
148		Perforación y voladura	186 días	mié 28/04/10	mié 01/12/10												
149		Retiro de rezaga	186 días	mié 28/04/10	mié 01/12/10												
150		Recubrimiento de concreto	186 días	mié 28/04/10	mié 01/12/10												
151		Condición Geotécnica D+ km 670+620 - km 670+530 = 90 m.	25.58 días	mié 01/12/10	jue 30/12/10												
152		Excavación con voladura	25.58 días	mié 01/12/10	jue 30/12/10												
153		Perforación y voladura	25.58 días	mié 01/12/10	jue 30/12/10												
154		Retiro de rezaga	25.58 días	mié 01/12/10	jue 30/12/10												
155		Recubrimiento de concreto	25.58 días	mié 01/12/10	jue 30/12/10												
156		Condición Geotécnica B km 670+530 - km 670+160 = 370 m.	108.64 días	jue 30/12/10	vie 06/05/11												
157		Excavación con voladura	108.64 días	jue 30/12/10	vie 06/05/11												
158		Perforación y voladura	108.64 días	jue 30/12/10	vie 06/05/11												
159		Retiro de rezaga	108.64 días	jue 30/12/10	vie 06/05/11												
160		Recubrimiento de concreto	108.64 días	jue 30/12/10	vie 06/05/11												
161		Condición Geotécnica D+ km 670+160 - km 670+080 = 80 m.	22.3 días	vie 06/05/11	mié 01/06/11												
162		Excavación con voladura	22.3 días	vie 06/05/11	mié 01/06/11												
163		Perforación y voladura	22.3 días	vie 06/05/11	mié 01/06/11												
164		Retiro de rezaga	22.3 días	vie 06/05/11	mié 01/06/11												
165		Recubrimiento de concreto	22.3 días	vie 06/05/11	mié 01/06/11												



Proyecto: Programa -02  
Fecha: vie 04/07/14

Tarea		Hito externo		Informe de resumen manual		División crítica	
División		Tarea inactiva		Resumen manual		Línea base	
Hito		Hito inactivo		Sólo el comienzo		Hito de línea base	
Resumen		Resumen inactivo		Sólo fin		Resumen de línea base	
Resumen del proyecto		Tarea manual		Fecha límite		Progreso	
Tareas externas		Sólo duración		Tareas críticas			



Finalmente es necesario dar un reconocimiento a todas las personas que arriesgaron sus vidas para la construcción de este gran proyecto “Carretera Durango – Mazatlán” y muy en particular a la construcción del Túnel Sinaloense dichas personas están para nosotros y la mayoría de los mexicanos en el anonimato, sin embargo ver el inicio y conclusión de este proyecto es un orgullo que lo llevaran por siempre.



**Personal que hizo posible la construcción del Túnel Sinaloense**

## **VII. Conclusiones**

Entre 1980 y 2006 se construyeron 16 túneles con una longitud de 6.4 km, por lo cual el desarrollo en México de esta especialidad durante ese tiempo quedó un tanto estancado.

Esto motivó a continuar con estos trabajos, ya que la ingeniería de túneles mexicana ha sido fundamental para dar soluciones seguras y oportunas a los retos de las diferentes obras de infraestructura de nuestro país y a las difíciles condiciones del subsuelo que se nos han planteado.

Otro factor importante en la creación de túneles es el aumento de los habitantes, congregados en su mayoría en mega ciudades, lo que nos plantea enormes desafíos en los años por venir, y nos da la posibilidad de crear nueva infraestructura, particularmente los túneles representan un opción que ofrece posibilidades de eficiencia, sustentabilidad y reducción importante del impacto al medio ambiente. Conocer a lo largo de un túnel, las características de las formaciones por atravesar y las condiciones de movimiento del flujo subterráneo del suelo. El principal reto geotécnico de un proyecto subterráneo, es conocer las condiciones geológicas regionales a lo largo del túnel.

Hacer realidad la construcción de túneles implica verificar cotidianamente las hipótesis consideradas en el proyecto para ratificarlas o rectificarlas. Y mantener medida de seguridad apegadas a proyecto en todo momento.

La implementación de nuevas tecnologías, como maquinaria material y procesos constructivos permitieron construir túneles en cualquier clase de suelo o rocas, dentro de este proyecto se utilizaron nuevas tecnologías de la construcción como fueron las anclas de fricción, bulones, el perfil omega y Th, la chapa bernold o poligonal el enfilaje y las membranas, por mencionar algunos. Al igual que los nuevos sistemas ITS, que se implementaron de los túneles inteligentes, Cada túnel

es diferente pero la constante es identificar las necesidades del momento para proveer condiciones de operación segura. (Túnel inteligente)

Dado que las condiciones climáticas del medio ambiente varían constantemente durante el día y durante el año, para la adecuada operación de un túnel es necesario modificar a cada momento las condiciones ambientales dentro del túnel.

Los constructores de esta autopista y de muchas obras que se hacen en México son hombres y mujeres comprometidos con su labor, construyen el país y son parte de la historia, gracias a ellos se pudo lograr la construcción de la autopista.

En los últimos años se ha desarrollado la necesidad de proyectar y construir Túneles de longitudes considerables. Durante este y los próximos cinco años se contempla la construcción de más túneles dentro de los proyectos carreteros.

En México, se apuesta por nueva infraestructura, con una gran inversión donde se contempla a los túneles.

La construcción de la nueva carretera Durango - Mazatlán, fue una detonación económica de la zona norte del país, generó empleos y está agilizando el flujo vehicular entre el Golfo y el Pacífico, la reducción de tiempo en recorridos es menor, esto permite que el tránsito se incremente por lo menos al doble, facilitando la transportación de todo tipo de artículos, mejorando la interconexión.

Fue una gran experiencia, un gran aprendizaje, ya que implicó un reto constructivo para todos aquellos que se involucraron en el proyecto.

“La autopista Durango-Mazatlán fue un reto, una enorme responsabilidad y un gran orgullo”.

## **Bibliografía:**

<b>Innovaciones en el Diseño y Construcción de Túneles.</b>	<b>Clemente Poon Hung.</b>
<b>Normativa para la Infraestructura del Transporte</b>	<b>SCT</b>
<b>Libro Blanco “Carretera Durango - Mazatlán”</b>	<b>SCT</b>
<b>Programa Carretero 2007-2012</b>	<b>SCT</b>
<b>Experiencia de campo</b>	<b>Construcción del túnel Sinaloense</b>

## **Referencias:**

<b>Comisión de Desarrollo Regional</b>	<b>Cuadernillo_Internuew</b>
<b>Enfilajes túneles</b>	<b><u><a href="http://www.solotrat.com.mx">www.solotrat.com.mx</a></u></b>
<b>Clasificación geomecanica de Bienawiski o (RMR)</b>	<b>WIKIPEDIA</b>