



UNIVERSIDAD MICHOACANA  
DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO  
*Cuna de héroes, crisol de pensadores*



## FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL TÚNEL 1 DEL  
RAMAL CAMELINAS DEL LIBRAMIENTO SUR DE MORELIA

TESIS PROFESIONAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO CIVIL**

PRESENTA:

**LUIS FERNANDO ACEVEDO PAZ**

ASESOR:

**DR. JORGE ALARCÓN IBARRA**

Morelia, Michoacán, febrero del 2018

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis asesores el Dr. Jorge Alarcón Ibarra dentro de la facultad y a mi asesor en obra el Ing. Omar Villanueva Maldonado.

A los Ingenieros Topógrafos Ramiro de los Ángeles Mateo y Jaime Alberto Cabrera Méndez.

Al Ing. Dagoberto Mares Tavera Superintendente General de la obra y al Ing. Gustavo Cano Treviño Superintendente Técnico, ambos por facilitarme el acceso a la obra y a toda la información referente del proyecto.

A los Ingenieros Pedro Eusebio Flores, Alejandro Lucero Bautista y José Alfonso Carmona Zavala jefes de frente del túnel.

Al Jefe de Seguridad y Primeros Auxilios Iván Francisco Avelar Casas.

A mi familia que siempre estuvo ahí para apoyarme en todo momento y a los cuales siempre les tendré agradecimiento infinito.

# ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS .....	2
ÍNDICE .....	3
RESUMEN .....	5
ABSTRAC.....	6
INTRODUCCIÓN .....	7
OBJETIVOS .....	8
CAPITULO I.- TÚNELES CARRETEROS.....	10
I.2.-Túneles en México .....	19
I.3.-CLASIFICACIÓN DE LOS TÚNELES .....	25
I.3.1.- Con Explosivos.....	25
I.3.2.- Sin Explosivos .....	27
I.3.3.- MÉTODOS ESPECIALES.....	33
I.3.4. TÚNELES SUMERGIBLES .....	35
I.4.-TÉCNICAS Y MÉTODOS DE EXCAVACIÓN .....	38
CAPITULO II.- DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO DEL TÚNEL I DEL RAMAL CAMELINAS LIBRAMIENTO SUR MORELIA. ....	41
II.1.-Secciones transversales al interior del túnel y túneles falsos. ....	54
CAPITULO III.- PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS UTILIZADOS EN EL TÚNEL I DEL RAMAL CAMELINAS DEL LIBRAMIENTO SUR DE MORELIA.....	57
III.1.-TAJOS DE ACCESO .....	57
III.1.1.- EXCAVACIÓN .....	60
III.1.2.-MALLA ELECTROSOLDADA .....	62
III.1.3.- APLICACIÓN DE CONCRETO LANZADO. ....	64
III.1.4.- ANCLAJE .....	66
III.1.5.- DRENES. ....	68
<b>III.1.6.- CONTRACUNETAS Y LAVADEROS.</b> .....	70
III.2.-EXCAVACIÓN DEL TUNEL .....	75
De acuerdo a lo establecido en el proyecto el método de excavación elegido por las condiciones de terreno fue el nuevo método austriaco el cual se describirá en cada etapa de la excavación.....	75
III.2.1.- CONDICION GEOTECNICA E.....	75

III.2.2.-CONDICIÓN GEOTÉCNICA D-.....	86
III.2.3.- CONDICIÓN GEOTECNICA D+ .....	96
III.2.4.- CONDICION C- .....	106
III.2.5.- Condición Geotécnica C+ .....	117
III.2.6.- LINEAS DE CONCERGENCIA .....	124
III.3.- DRENAJE Y DESAGUE PLUVIAL .....	125
III.3.1.COLOCACIÓN DE TUBERÍA. ....	125
III.3.2 POZOS DE VISITA Y CAJAS DE CAPTACIÓN. ....	129
III.3.3 BOCAS DE TORMENTA. ....	133
III.3.5 GEOMEMBRANA.....	136
III.4.- REVESTIMIENTO DEFINITIVO. ....	142
III.4.1.- ZAPATAS.....	142
III.4.2.- BOVEDA .....	148
III.5.-PAVIMENTO HIDRÁULICO.....	165
III.5.1.- SUBRASANTE .....	165
III.5.2.-BASE.....	166
III.5.3.- PAVIMENTO HIDRÁULICO .....	167
III.6.-SEÑALIZACIÓN. ....	177
III.7.-ILUMINACION Y VENTILACIÓN.....	181
III.7.1.-Iluminación al interior del túnel.....	181
III.7.2.-Iluminación al exterior del túnel. ....	184
III.7.3.- VENTILACIÓN.....	187
CONCLUSIONES.....	189
BIBLIOGRAFIA. ....	190

# RESUMEN

La presente Tesis se conforma de tres capítulos los cuales se describen a continuación.

Capítulo 1.- Túneles Carreteros: En este capítulo se describe la historia de los túneles carreteros desde sus inicios hasta la actualidad.

Capítulo 2.- Descripción del Proyecto del Túnel 1 del Ramal Camelinas Libramiento Sur Morelia: En este Capítulo se describe la historia de la ciudad de Morelia y la importancia de esta obra para la movilidad de la ciudad, además de la descripción precisa del proyecto de construcción del Túnel 1.

Capítulo 3.- Procedimientos constructivos utilizados en el Túnel 1 del Ramal Camelinas del Libramiento Sur de Morelia: En este apartado se describen los diferentes procedimientos de construcción de túneles que se utilizan en el mundo de acuerdo con el tipo de material por el cual transcurren. En este proyecto, debido a las características del material existente, se decidió utilizar el nuevo método austriaco de excavación en el Túnel 1 del Ramal Camelinas, en este Capítulo se detalla cada uno de los pasos que se siguieron para la construcción del Túnel.

Palabras clave: Proceso, Constructivo, Túnel 1, Morelia, Michoacán

# ABSTRAC

This Thesis consists of three chapters which are described below.

Chapter 1. - Road tunnels: This chapter describes the history of road tunnels from its beginnings to the present.

Chapter 2. - Description of the Project of Tunnel 1 of the Camelinas branch Library south Morelia: This Chapter describes the history of the city of Morelia and the importance of this work for the mobility of the city, besides the precise description of the project of construction of Tunnel 1.

Chapter 3. - Construction procedures used in Tunnel 1 of the Camelinas Branch of the South Library of Morelia: This section describes the different tunnel construction procedures that are used in the world according to the type of material through which they pass. In this project, due to the characteristics of the existing material, it was decided to use the new Austrian method of excavation in Tunnel 1 of the Camelinas Branch, in this Chapter each of the steps that were followed for the construction of the Tunnel is detailed.

# INTRODUCCIÓN

La movilidad es fundamental para el desarrollo social y económico, por lo tanto se han construido obras de infraestructura que permiten el traslado de personas y mercancías a lo largo de la historia, dentro de las obras más importantes en la Ingeniería Civil se encuentran los túneles que nos permiten, librar grandes obstáculos de una manera más ecológica al evitar la deforestación de importantes bosques en el medio rural y la demolición de construcciones en el urbano, sin necesidad de hacer obras de ingeniería como cortes muy pronunciado o trayectorias muy largas para poder llegar de un punto a otro.

En el caso de la ciudad de Morelia se cuenta con una gran problemática de movilidad debido a que las vías de comunicación entre la zona alta de la ciudad y la zona baja son insuficientes, dicha ciudad ha tenido un gran crecimiento poblacional hacia esa zona en particular, por lo tanto, esta situación genera, que de acuerdo al número de habitantes y negocios que se encuentran ahora en la zona, se saturen las vías de circulación vial en la ciudad. Por lo tanto, fue necesario generar un proyecto para comunicar dicha población el cual pasa por zonas de gran complejidad topográfica y se decidió llevar a cabo la construcción de dos túneles y un viaducto para poder librar dichas complicaciones.

Dentro de esta obra denominada Ramal Camelinas del Libramiento Sur de Morelia, se ubica el Túnel I, el cual tiene una longitud de 448 m y unas características muy particulares, en el presente trabajo se describirá todo el procedimiento constructivo de dicha obra de gran importancia para la ciudad de Morelia.

## OBJETIVOS

El objetivo general de la presente tesis, es describir el procedimiento constructivo del TÚNEL I DEL LIBRAMIENTO SUR DE MORELIA, TRAMO: RAMAL CAMELINAS, SUBTRAMO: KM. 1+380 AL KM. 1+820. INCLUYENDO SUS ACCESOS, EN EL ESTADO DE MICHOACÁN, MÉXICO.



Figura.-1. Ubicación del Túnel 1. Fuente (Proyecto Ejecutivo Túnel 1)

Para lograr el cumplimiento del Objetivo General del presente trabajo se tendrán que cumplir los siguientes Objetivos Específicos:

Describir la relevancia del túnel como una alternativa para el transporte terrestre y el proceso de su evolución a lo largo de la historia en el mundo, para posteriormente ser implementado en México.

Analizar el proyecto del Túnel I del Libramiento Sur de Morelia, tramo: Ramal Camelinas, subtramo: km. 1+380 al km. 1+820. Incluyendo sus accesos, en el estado de Michoacán, México, de manera general, para poder identificar lo que realmente implica la elaboración del mismo además de donde está ubicado y que beneficios se obtienen al desarrollarlo, así como las características del proyecto y como está conformado el mismo.

Desarrollar paso a paso todos los detalles del proceso constructivo mediante el cual se llevará a cabo la construcción del Proyecto, dentro de los cuales se definirá la cronología correcta y tal cual como se llevó la realización de dicha obra de acuerdo a cada una de las fases fundamentales que toda construcción de un túnel debe contener.

## CAPITULO I.- TÚNELES CARRETEROS

El túnel surge de la necesidad de superar un obstáculo natural, generalmente un macizo montañoso producto del relieve de la zona en construcción. Pero además de las montañas existen otras barreras que se pueden salvar mediante túneles como los cauces de agua, fluviales o marinos, y las zonas urbanas densamente edificadas en las que a menudo se incorporan túneles.

Entre los usos más frecuentes pueden enumerarse los túneles para vehículos, redes de ferrocarril urbano o Metros, uso peatonal, abastecimiento de agua, saneamiento, galerías de servicio y almacenamiento de residuos (A.G.P.).

Si bien el túnel en sentido estricto se caracteriza por su marcado carácter lineal, aquí se considerará, por extensión, el término túnel en un sentido amplio, no sólo como obra lineal sino como espacio subterráneo que incluye desde la caverna, la cueva natural hasta amplios recintos subterráneos transitables dentro de lo que podría englobarse como urbanismo y espacio subterráneo; en suma, el túnel como obra de tránsito y también como hábitat.

Los túneles son una manera muy práctica para poder reducir distancias y tiempo de traslado de un lugar a otro.

El arte de los túneles se funde en sus orígenes con el arte de la minería. La mina más antigua que se conoce en el mundo se localiza en el cerro de Bomvu, en Swazilandia, y data del año 40.000 A.C.; en ella el hombre de Neandertal minaba hematites, piedra de sangre, muy apreciada para ritos mortuorios; las herramientas no eran otras que piedras afiladas y sus manos desnudas.

El primer método de perforación de galerías mineras y, con posterioridad, de túneles es la técnica del fuego, consistente en provocar un incendio en el frente de ataque para luego sofocarlo bruscamente con agua fría produciendo un brusco gradiente térmico que da lugar al resquebrajamiento de la roca; pero esta técnica también provoca, como no es difícil imaginar, una atmósfera viciada, irrespirable, generando gases a menudo venenosos, convirtiendo el trabajo del minero en una trampa mortal a la que sólo unos pocos afortunados sobreviven.

El primer túnel de la historia, allá donde ésta se difumina con el territorio del mito, fue el que la leyenda dice mandara construir Semiramis bajo el Éufrates para comunicar el Palacio y el Templo de Belos en la Babilonia del 2200 A.C.

A este formidable trabajo se refieren entre otros los historiadores Diodoro de Sicilia, Herodoto y Estrabon. En realidad, se trataba de un falso túnel, por cuanto no se perforó en galería sino mediante zanja a cielo abierto y posteriormente recubierta, para lo cual se desviaron las aguas del Éufrates aprovechando el período de estiaje.

El siguiente túnel construido bajo el cauce de un río se perforó cuatro mil años después de aquel de Babilonia, obra de los Brunel padre e hijo quienes tras veinte años de lucha denodada y arrojo lograron dominar las furiosas aguas del río Támesis que se resistía a ver perforado su lecho.

A lo largo de la historia y en el seno de distintas culturas se han proyectado y construido túneles con distintos motivos. Así, tanto en el antiguo Egipto, como en las culturas orientales, el túnel ha tenido un marcado carácter religioso. Mientras que en zonas como las Tierras de Canaan (siglo X A.C.) el propósito no es místico o religioso sino ingenieril, hidráulico. Tenían como fin el abastecimiento a las ciudades y la captación de aguas. ¿Por qué bajo tierra? Por varios motivos.

El más poderoso de ellos, sin duda, evitar que un bien tan preciado como el agua (muy escaso por aquellas regiones) se evaporara como consecuencia de las altas temperaturas que se alcanzaban.

Pero siguiendo con los principales inicios de la historia de los túneles merece especial referencia el de la Isla de Samos, de un kilómetro de longitud y primero del que se tiene noticia del ingeniero que lo construyó, Eupalinos de Megara, hijo de Naustrofo. Esta obra construida hacia el 530 A.C., servía para el abastecimiento de agua a la capital de la isla. Estuvo en funcionamiento durante un milenio y fue considerada y fue considerada como una de las tres maravillas del Mundo Heleno.

También merece especial atención la época del Imperio Romano. Los romanos construyeron túneles con muy diversos propósitos: galerías mineras, túneles para abastecimiento de agua, para alcantarillado, para el drenaje de lagos volcánicos (emisario de Fucino con 5500 m de longitud), en las calzadas romanas (como el túnel de Pausilippo, cerca de Nápoles, con sus 1500 m de longitud), sin olvidar los túneles de propósito militar y las catacumbas. (Alfonso E, 2012).

En la Edad Media, los túneles pierden esa potencia como obras vigorosas de ingeniería civil y derivan en galerías y pasadizos en castillos y fortalezas, obras menores. Durante este período, la minería se robustece y consolida, fundamentalmente en Centroeuropa, surgiendo al filo del Renacimiento la obra maestra de la minería, *De Re Metallica* de Georgius Agrícola publicada en el S. XVI. Dicha obra recoge con minuciosidad en su texto y en sus grabados las prácticas y técnicas mineras, siendo un libro básico de consulta durante los dos siglos siguientes a su publicación.

El Renacimiento marca el resurgir del hombre así como el de los túneles tras el letargo de la época medieval. Leonardo da Vinci concibe niveles subterráneos en sus proyectos de ciudades y piensa en la posibilidad de perforar túneles allá donde los canales se encuentran con barreras montañosas. El primer túnel del Renacimiento es la Mina de Daroca en la provincia de Teruel. Cuenta con 600 m de longitud, 6 m de anchura y una altura variable entre los 7 y 8 m.

Fue construido entre 1555 y 1570 por Pierres Bedel para reconducir y desviar las aguas torrenciales que venían castigando la villa aragonesa.

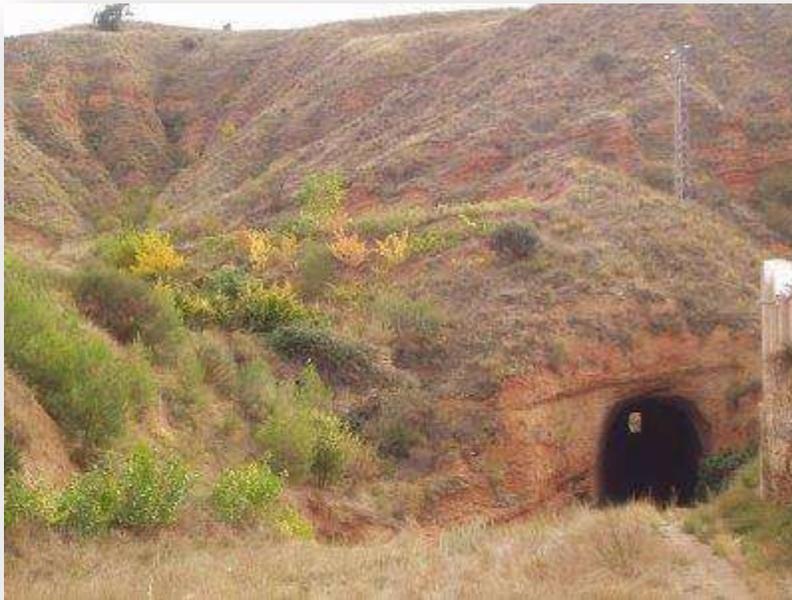


Figura 2.- Mina de Daroca. Fuente (Alfonso E, 2012.).

Pero es en el siglo XVIII cuando surge la Era de los Canales y dentro de ella los túneles comienzan a adquirir peso propio: el túnel de Malpas, cerca de Beziers en el Canal de Midi para la unión de los dos mares (Atlántico y Mediterráneo), obra portentosa que impulsa Colbert bajo el reinado del Rey Sol (Luis XIV) es el primer túnel para canal Este túnel, de 155 m de longitud, 6,5 m de altura y 8 de anchura, fue perforado por Pierre-Paul Riquet, empleando la pólvora por primera vez.

Así comienza la Era de los túneles para canales: tras él, muchos túneles se construirán en las siguientes décadas destacando los túneles ingleses para canal, muchos de ellos obra de ese prodigioso ingeniero que se llamó James Brindley.

La experiencia adquirida con la construcción de túneles para canal resultaría valiosísima en el período siguiente, ya superado en el corazón de Europa el umbral de la Revolución Industrial, la Era de los Ferrocarriles.

En la historia de los Ferrocarriles, que se desarrolla a partir del siglo XIX, los túneles tuvieron gran auge; en la historia de los túneles de ferrocarril se agolpan grandes hazañas en una gran lucha del hombre por dominar el arte de perforar la tierra; incorporando progresivamente maquinaria y procedimientos constructivos a partir de los cuales el esfuerzo manual va cediendo en pro de una incipiente mecanización. En el siglo XVI existía ya el transporte por carriles cuya infraestructura estaba construida de madera y se utilizaba para mover por ella vagones en las minas. Los avances técnicos del siglo XIX, que surgen gracias a la Revolución Industrial hacen que aparezcan los ferrocarriles. En 1803 se abrió el primer ferrocarril del mundo tirado por caballos en Surrey, Inglaterra.

Así, los rieles de hierro se extendieron al transporte de mercancías y viajeros. Con las primeras locomotoras de vapor el desarrollo del tren estaba decidido. En 1825 se inauguró el primer tren traccionado por una locomotora de vapor creada por Stephenson.

El primer túnel de ferrocarril fue el de Terre-Noir en Francia, de la línea Roanne-Andrezieux, camino de carriles traccionado por caballos, construido por caballos, construido en 1826, con 1476 m de longitud, 5 m de altura y cerca de 3 m de anchura. (Alfonso E, 2012).

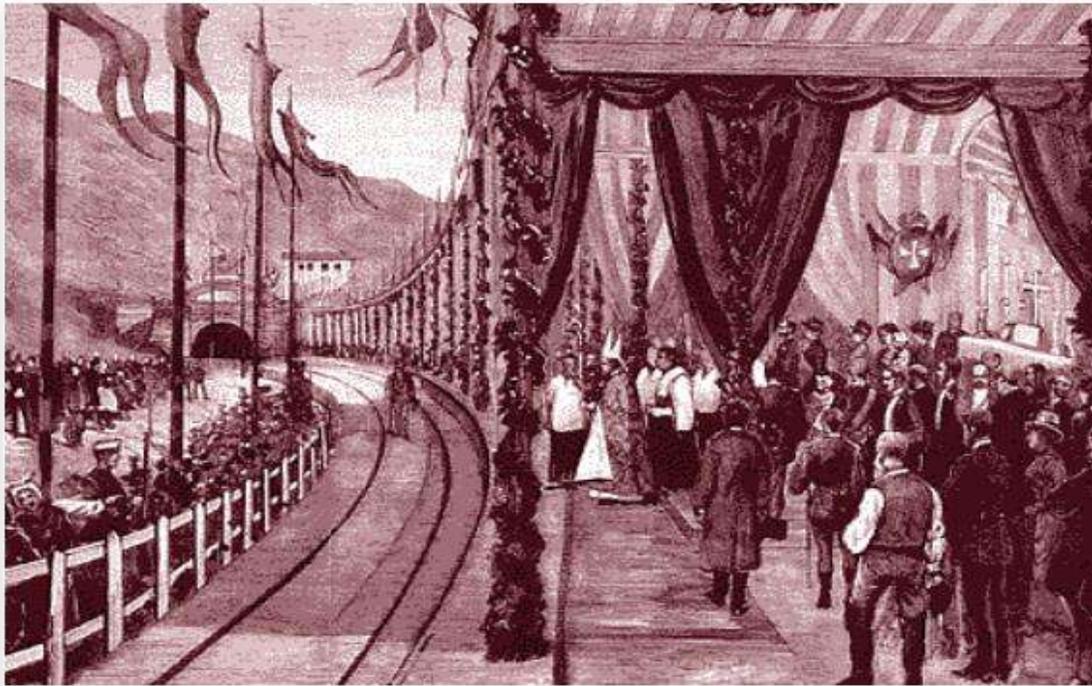


Figura 3.- Bendición de rieles de la vía del túnel Perreca en León (1884). Fuente (Alfonso E, 2012).

Los ferrocarriles de vapor, que comenzaron en Gran Bretaña, se multiplicaron de forma importante entre los años 1830 y 1845. El ferrocarril de Liverpool a Manchester, obra de Isambard Kingdom Brunel fue el primero; dicha línea atravesaba la montaña por dos túneles, uno de 4.8 km y otro de 1.6 km.

Durante este período también tiene lugar la gesta de la perforación del primer túnel bajo el Támesis entre Rotherhithe y Wapping, el primero que se construye en terreno blando y con enorme presencia de agua y en el que por primera vez se aplica la técnica del escudo que patentase Marc Brunel. (Alfonso E, 2012).

Cuando la Reina Victoria inaugura el túnel en marzo de 1843 han transcurrido casi veinte años de brutal lucha contra las inundaciones del Támesis (en cinco ocasiones), contra la quiebra financiera, contra ese gran agujero del que casi todos recelaban pero que los Brunel superaron enfrentándose a todas las dificultades con arrojo y valentía sin límites.

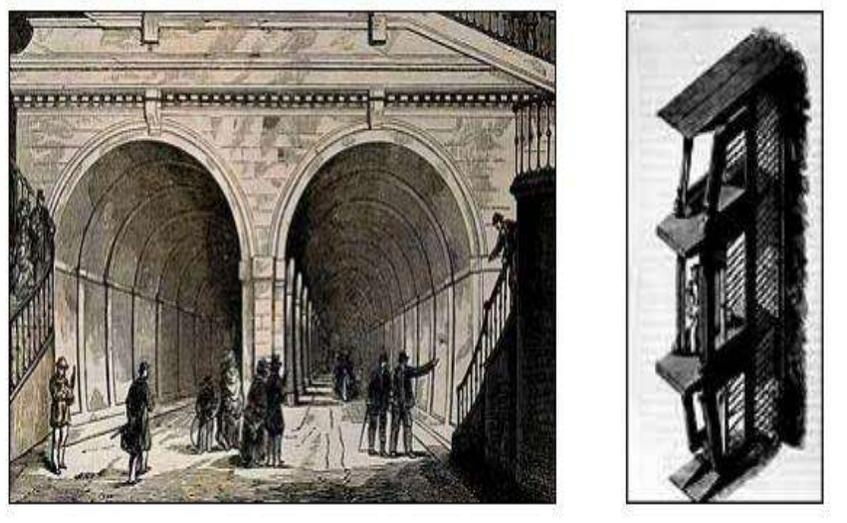


Figura 4.- A la izquierda figura del túnel construido bajo las aguas del río Támesis. Y la derecha el escudo con el cual se elaboró. Fuente (Alfonso E, 2012).

En un principio, la construcción de un ferrocarril era considerada como empresa de colosos, pero conforme los progresos se iban consolidando, los ferrocarriles se construían con relativa facilidad y economía, desarrollándose en todo el mundo como un gran modo de transporte terrestre. Ello llevó a una revolución en el transporte en todo el mundo y a un cambio trascendental en el estilo de vida.

Ya en la segunda mitad del siglo XIX se produce un avance impresionante con la construcción de los grandes túneles alpinos de ferrocarril. Los nombres de Mont Cenis, San Gotardo y Simplón constituyen la triada en la titánica lucha por perforar los Alpes y que marca el punto de mayor tensión en la historia de los túneles: baste recordar que la longitud respectiva de estas galerías es de 12.6 km, 15.2 km y 19.7 km.

Los medios disponibles eran todavía modestos, si bien la incorporación de máquinas taladradoras accionadas por aire comprimido, obra de Sommeiller, marca un salto cualitativo en los rendimientos alcanzados.

En aquellas décadas la temeridad y audacia de los ingenieros no tenía límites y tal vez por ello ninguno de los que emprendieron los tres grandes túneles alpinos de ferrocarril pudieron ver su obra terminada. Probablemente, en ocasiones, también a causa de una ambición desmedida, las condiciones de trabajo resultaban inhumanas, destacando la negra historia de Louis Favre y el túnel de San Gotardo. El compromiso de un plazo de ejecución imposible de cumplir con duras penalizaciones por cada día de retraso condujo a Favre primero a la ruina, luego a la muerte y a sus trabajadores a unas condiciones laborales y sanitarias infernales, estimándose en cerca de doscientos el número de muertos durante las obras; un precio muy elevado.

También en Estados Unidos se van imponiendo los túneles en la segunda parte del siglo XIX. Cabe recordar dos túneles bajo el río de Chicago abiertos en 1869 y 1871, que sirvieron como la única vía de escape para los habitantes de la ciudad durante el feroz incendio que redujo la ciudad a cenizas en octubre de 1871, sólo cuatro meses después de inaugurarse el túnel de la calle La Salle. (Alfonso E, 2012).

El túnel Hoosac marca también sin duda un hito a nivel de avances tecnológicos, como el de la utilización por primera vez de la nitroglicerina en este tipo de obras, y el túnel de Saint Clair construido a finales del XIX bajo el río que le da nombre entre EE.UU y Canadá mediante un escudo de 6.45 m de diámetro.

Como hemos visto el resurgimiento de los túneles como consecuencia de la Revolución Industrial, la máquina de vapor y los ferrocarriles marcó un hito importante en el diseño y construcción de los mismos. Los siguientes avances fueron debidos a diversas causas. Así, la electricidad y la potencia eléctrica propició la aparición de los ferrocarriles subterráneos, el metro. Por otra parte, las centrales de energía dieron lugar a los túneles para enfriamiento de agua y para conducción de cables.

La máquina de combustión interna, no sólo extendió la potencia de la ingeniería sino que dio lugar al motor de explosión, lo que condujo al desarrollo de las carreteras y por tanto a la demanda de un número creciente de túneles para vehículos a motor, no sólo perforados bajo montañas sino también bajo colinas menores o incluso bajo los cauces de los ríos.

Son innumerables los túneles construidos desde entonces hasta la actualidad, así como las mejoras en las técnicas y elementos constructivos que poco a poco han alcanzado un grado de eficacia inimaginable. (Asociación Española de Túneles y Obras Subterráneas). Todos estos hallazgos y conocimientos ingenieriles motivó a México a innovar en la construcción de estas alternativas con la necesidad de agilizar el flujo vehicular. (Alfonso E, 2012).

## I.2.-Túneles en México

En México se han construido hasta la fecha una cantidad importante de túneles carreteros (Tabla 1.), pero también cabe mencionar que también se han construido gran cantidad de túneles para otros usos como Ferroviarios, para agua potable, alcantarillados entre otros.

Tabla 1.- Túneles en México Centro 1980 - 2006.

<b>Obra</b>	<b>Año</b>	<b>Nombre</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Numero de Túneles</b>
Libramiento de Puerto Vallarta	1980-1990	Sin Nombre	416	1
Cuernavaca-Acapulco	1990-2000			5
		Agua de Obispo	395	
		Tierra Colorada	274	
		Los Querendes	88	
		Túnel Falso	60	
		Las Cruces	3000	
México-Toluca	1990-2000			2
		La Venta	360	
		Arteaga y Salazar	60	
Esperanza-Ciudad Mendoza	1990-2000			4
		Km 7+500	289	
		Km 8+200	220	
		Km 9+120	90	
		Km 10+500	160	
San Luis Potosí - Los Chorros	2002-2006	Los Chorros	160	1
Pátzcuaro-Uruapan-Lázaro Cárdenas	2002-2006	El Tigre	420	1
Arriaga-Ocozocuaula	2002-2006			2
		El Cerro	60	
		La Mica	320	

Tabla 2.- Túneles en México Centro 2002 – 2012.

<b>Obra</b>	<b>Año</b>	<b>Nombre</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Numero de Túneles</b>
Av. Luis Donaldo Colosio, Puerto Vallarta	2002-2012		490	1
Mitla-Tehuantepec II	2002-2012			13
			110	
			320	
			270	
			120	
			110	
			80	
			90	
			120	
			110	
			220	
			170	
			140	
			180	
México-Tuxpan	2002-2012			6
		Huachinango	104	
		Necaxa	988	
		Xicotepec 1	343	
		Xicotepec 2	856	
		El Zoquita	1340	
		Las Pilas	350	

Tabla 3.- Túneles en México Centro Sur 2002 -2012.

<b>Obra</b>	<b>Año</b>	<b>Nombre</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Numero de Túneles</b>
Amozoc - Perote	2002-2012		420	1
Acceso al Puerto de Salina Cruz	2002-2012	Salina Cruz	424	1
Libramiento Xalapa	2002-2012		270	1
Barranca Larga - Ventanilla	2002-2012		120	3
			140	
			150	
Arriaga - Tuxtla Gutiérrez	2002-2012	El Cerro	60	2
		La Mica	246	
Atizapán - Atlacomulco	2002-2012		360	1
Jala -Puerto Vallarta	2002-2012		404	1
Oaxaca- Istmo de Tehuantepec	2002-2012		110	13
			320	
			270	
			120	
			110	
			80	
			90	
			120	
			110	
			220	
			170	
			140	
			180	

Tabla 4.- Túneles en México Zona Norte 1 (2002-2012).

<b>Obra</b>	<b>Año</b>	<b>Nombre</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Numero de Túneles</b>
Durango - Mazatlán	2002-2012	El Guineo	206	13
		El Varal	778	
		Otates	108	
		Guamúchil	280	
		Los Morrillos	390	
		Carrizo I	149	
		Carrizo II	439	
		Carrizo III	425	
		La Piedra	290	
		La Quemada	126	
		La Quemada II	143	
		La Laguna I	222	
		La Laguna II	255	
		La Laguna III	360	
		Las Labores	319	
		El Sinaloense	2787	
		Trópico de Cáncer	182	
		Corte Alto	215	
		La Mina	193	
		Chirimollos	228	
		Santa Lucia I	203	
		Santa Lucia II	131	
		Cerro de la Reforma	149	
		Santa Lucia	141	
		Roblar de la Curva	99	
		Centro de las Mesas	210	
		El Nacaral	217	
		Las Palomas	320	
		Pánuco I	160	
		Pánuco II	94	
		Real Pánuco	126	

Tabla 5.- Túneles en México Zona Norte 2 (2002-2012).

<b>Obra</b>	<b>Año</b>	<b>Nombre</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Numero de Túneles</b>
Durango - Mazatlán		El Cantil	245	
		Las Charcas	222	
		Palomas	295	
		Cópala I	230	
		Cópala II	80	
		Cópala III	140	
		Cerro Lambedero	209	
		Chavarría Nuevo I	111	
		Chavarría Nuevo II	170	
		Leonera I	110	
		Leonera II	170	
		Los Alacranes	110	
		Chavarría Nuevo III	138	
		Chavarría	296	
		El Magueyal	229	
		Pino Gordo	158	
		Los Fresnos	160	
		Piedra Colorada	486	
		Tortuga Nuevo	829	
		Frijolar Nuevo	310	
		Picachos I	428	
		Picachos II	265	
		Papayito I	388	
	Papayito II	265		
	Papayito III	816		
	Los Picachos	349		
	Cerro de los Becerros	354		
	Las Mesitas	314		
	La Salitrera	147		
	Baluarte	575		
Acapulco - Autopista del Sol		Maxi túnel de Acapulco	2953	1

Fuente (Andrés A. Moreno, et al)

En Michoacán solo se cuenta con 4 túneles carreteros: El Tigre en la carretera Morelia-Lázaro Cárdenas, Túnel Las Cascadas en la carretera Cuitzeo-Pátzcuaro y los que están en construcción que son el Túnel I y Túnel II, ambos ubicados en el Nuevo Libramiento Sur de Morelia “Ramal Camelinas”.



Imagen. 5.- Túnel el Tigre. Fuente ([www.panoramio.com/photo/21494663](http://www.panoramio.com/photo/21494663))



Imagen.6.- Túnel Las Cascadas. Fuente (Cemex México 2017).

## I.3.-CLASIFICACIÓN DE LOS TÚNELES

Los túneles se pueden clasificar básicamente en tres tipos diferentes que son los que se construyen con y sin explosivos, además de los acuáticos. Los cuáles serán descritos a continuación.

### I.3.1.- Con Explosivos

Los métodos de excavación de túneles mediante explosivos dependen fundamentalmente del tipo de terreno a atravesar. Este modo está dirigido en la excavación de túneles en roca.

Las partes o trabajos elementales de que consta el ciclo de trabajo característico de las excavaciones mediante explosivos son las siguientes:

- Replanteo en el frente del esquema de tiro.
- Perforación de los taladros.
- Carga de los taladros con explosivo (barrenos).
- Voladura y ventilación.
- Retirada la rezaga y saneo del frente, bóveda y hastiales.

El esquema de tiro es la disposición de los taladros a perforar en el frente del túnel, junto con los explosivos y el orden en el que detonar las diferentes cargas. La longitud de la explosión debe ser entre un 5 y un 10 % mayor que el avance.

Los taladros del esquema de tiro no se detonan a la vez; existe un pequeño retardo entre ellos y por eso es necesario ordenarlos en el esquema. Este desfase de tiempo hace más efectiva la voladura. (Hernández, 2014).

Se distinguen cuatro zonas en el esquema de tiro (que varían en función de la densidad de perforación, carga específica de explosivo y secuencia de encendido):

- Cuele y contracuele: Es la fase más importante y provoca la primera abertura en el frente, lo que facilita posteriormente el arranque de otras zonas.
- Destroza: parte central y más amplia. El éxito de esta depende en gran medida de la zona de cuele y contracuele.
- Zapateras: Es una zona de voladura situado a ras del suelo.
- Contorno: Con el contorno se aproxima a la superficie teórica. A veces no son utilizados por su elevado coste.

Dentro de la maquinaria utilizada para la perforación podemos encontrar los martillos normales o manuales y los jumbos. Los primeros son de aire comprimido y su funcionamiento se basa en la percusión. El detritus sobrante sale junto con el agua utilizada en la refrigeración. Se requiere mucha mano de obra.

Los jumbos, sin embargo, son máquinas con motor eléctrico que llevan incorporados varios martillos de perforación. Estos funcionan a rotopercusión con accionamiento hidráulico. Existen modelos de este tipo de máquinas tienen la posibilidad de memorizar el esquema de tiro. Los rendimientos son superiores a los de los martillos normales o manuales, pudiendo superar los 3,5 metros por minuto. (Hernández, 2014).

### I.3.2.- Sin Explosivos

De acuerdo a las características del terreno donde se hace la excavación se determina qué tipo de procedimiento o método se utilizará y que varían dependiendo si se construirá en un suelo blando o una roca.

#### I.3.2.1.- Método Convencional

Los métodos convencionales para tunelear usados en un principio se originaron a partir de la experiencia obtenida en minería y se basaban en el principio que el conjunto de rocas siempre debe ser considerado como una carga pasiva que actúa sobre el sostenimiento; los sistemas de excavación y los trabajos de sostenimiento que prevalecían en ese entonces, el uso de madera, cerchas de acero, juntamente con el gran número de etapas de excavación, parecen justificar este concepto, porque estos sistemas de estabilización son propensos a producir el aflojamiento del conjunto de rocas.

Esta teoría aún se utiliza en muchos casos a pesar de que es obsoleta y no permite comprender claramente los verdaderos procesos mecánicos que sufren las rocas alrededor de una cavidad.

Sin embargo, en las primeras épocas también existieron conceptos acertados, tales como la determinación de la relación entre la presión ejercida por la roca y la deformación de los sostenimientos de madera, lo que dio lugar al comienzo del principio fundamental del NATM puede explicarse como el concepto de transformar a las rocas que rodean el perfil de un túnel, de un elemento que ejerce carga a un elemento capaz de resistir carga (arco de sustentación). (Hernández, 2014).

### I.3.2.2.- Máquinas o Sección Completa

En la actualidad, los grandes túneles en construcción de todo el mundo se proyectan en base a la utilización de estos grandes equipos mecanizados. Casi todos los grandes túneles ejecutados en la última década están siendo construidos en su mayor parte por medio de máquinas integrales (Tunnellig Boring Machines) utilizando sistemas de excavación mecanizada a sección completa.

La excavación con este tipo de máquinas, básicamente se realiza mediante un equipo de avance dotado fundamentalmente de una cabeza giratoria con elementos de corte que funcionan mediante motores hidráulicos alimentados con energía eléctrica, y que se desplaza mediante el empuje producido por un sistema de gatos perimetrales que se apoyan en el revestimiento o por zapatas móviles (grippers) que empujan contra la pared del túnel.

Este equipo arrastra tras él una serie de plataformas, que además de permitir la colocación inmediata del sostenimiento, alberga otros equipos secundarios (ventilación, evacuación del material excavado, guiado de la máquina, depósitos de mortero, colocación de vía para el acceso a la máquina, etc.), y al que se denomina Back-up.

La limitación primordial de utilización de este tipo de máquinas la impone la longitud del túnel a construir, tal que permita asumir la inversión elevada que amortice el precio de la máquina.

En cuanto a la geometría del túnel, el uso de estas máquinas requiere que la sección transversal sea normalmente circular (existen modelos en minería que realizan secciones cuadradas y también hay grandes máquinas que son la combinación de dos o tres tuneladoras produciendo unas secciones curiosas que se aproximan a una sección rectangular con los hastiales curvos), que en el trazado en planta el radio de curvatura mínimo no sea inferior a 300 m, o que en el trazado en alzado, las pendientes máximas no superen el 4%.

Las características de la roca que limitan el funcionamiento de estas máquinas son, como límite superior, la resistencia a Compresión simple y el contenido de cuarzo, y como límite inferior, la sostenibilidad del terreno durante la excavación y su resistencia para que los grippers se puedan apoyar.

Estas máquinas, se dividen en dos grandes grupos, según el tipo de roca o suelo a excavar, así como de las necesidades de sostenimiento o revestimiento que requiera cada tipo de terreno.

Por un lado se tienen los Topos, que se diseñan principalmente para poder excavar rocas duras y medias, y por otro los Escudos, que se utilizan en su mayor parte en la excavación de rocas blandas y en suelos, frecuentemente inestables y en ocasiones por debajo del nivel freático en terrenos saturados de agua que necesitan la colocación inmediata del revestimiento definitivo del túnel. (Hernández, 2014).

### I.3.2.3.- Ataque Mecánico Por Partes

Si la roca a perforar es buena, podemos avanzar a sección completa en una sola operación (gran frente abierto), ya sea con explosivos, rozadoras, martillos, etc. Pero cuando las condiciones de la roca se complican, tendremos que atacar el frente en sección partida (reducimos el frente abierto), esto nos proporcionara una mayor estabilidad.

Existen diversos métodos para avanzar en sección partida que se diferencian entre ellos fundamentalmente por la secuencia de excavación. Hay un elemento en común en la utilización de estos sistemas que es el sostenimiento, basado en la aplicación de soluciones flexibles (bulones, cerchas y hormigón proyectado), o soluciones provisionales con escudo (trabajando al amparo de una coraza o escudo que facilita el sostenimiento provisional).

Los problemas básicos que encontramos al perforar roca que está en malas condiciones son: soportar el techo, hastiales y frente de ataque en el periodo de tiempo comprendido entre la excavación y el revestimiento, y llevar a cabo las diversas operaciones (excavación, entibación, extracción de materiales y revestimiento) en el reducido espacio de trabajo disponible que nos permiten este tipo de métodos en sección partida.

Dentro de esto métodos se encuentran: Método Inglés, Belga, Alemán, Italiano, Austriaco. El Nuevo Método Austriaco de Túneles N.M.A (New Austrian Tunnelling Method NATM):

Es uno de los métodos más utilizados. Consiste en excavar grandes secciones de túnel (en algunos casos, la sección completa) permitiendo que el terreno se auto-sustente, es decir, que el terreno forme un anillo de descarga en el perímetro de la excavación, permitiendo su deformación hasta un punto de equilibrio. Inmediatamente después, se coloca un revestimiento con el objeto de proteger la superficie excavada y controlar dicha deformación.

Este método exige una detallada auscultación de las tensiones y de las deformaciones del terreno, a partir de las cuales, se aplica el revestimiento más adecuado. (Hernández, 2014).

#### I.3.2.4.- Formaciones Duras o Blandas

##### Máquinas Rozadoras

Dentro de la amplia gama de la maquinaria de excavación que se utiliza en el avance de túneles y galerías se encuentran las rozadoras, que son también conocidas por otros nombres como minadores, máquinas de ataque puntual, etc.

La primera aplicación de las rozadoras tuvo lugar a finales de los años 40 en la preparación y explotación de minas de carbón. Aquellas máquinas eran de poco peso y potencia y, por consiguiente, de uso limitado.

La necesidad de encontrar respuesta a diferentes requerimientos como: alcanzar producciones o rendimientos instantáneos de corte elevados, arrancar económicamente rocas duras, realizar distintos tipos secciones (abovedadas, circulares, etc.) que permitieran avanzar galerías y túneles en zonas con grandes presiones o malas condiciones de techo llevó a nuevas concepciones, tanto en lo referente al principio de corte de las rocas como al diseño del propio minador, dando lugar a la aparición y rápida evolución de nuevos equipos, que han extendido su empleo tanto a la minería como a la obra pública.

Hoy en día la excavación de túneles con rozadoras o minadores se realiza generalmente en terrenos de resistencia media-blanda y obras de longitudes pequeñas, inferiores a los dos kilómetros, donde no son rentables los sistemas de sección completa por la reducida dimensión de los proyectos, y en zonas de rocas medias-duras, en competencia con la perforación y voladura, cuando existen restricciones ambientales que impiden la aplicación de ese método.

En ocasiones, constituye un complemento adecuado a las máquinas de sección total, para conseguir secciones finales de determinadas obras, por ejemplo una caverna, imposibles de conseguir a sección completa por razones de coste. (Hernández, 2014).



Figura 7.- Rozadora. . Fuente (Hernández, 2014).

Las rozadoras son máquinas excavadoras que tienen un diseño modular, como consecuencia de que en muchos casos es preciso su montaje o reparación en espacios cerrados de dimensiones reducidas.

Básicamente, realizan su trabajo mediante una cabeza giratoria, provista de herramientas de corte que inciden sobre la roca, y que va montada sobre un brazo mono bloque o articulado.

Además cuenta con un sistema de recogida y transporte de material que lo evacua desde el frente de arranque hacia la parte trasera de la máquina. Todo el conjunto va montado sobre un chasis móvil de orugas. (Hernández, 2014).

### I.3.3.- MÉTODOS ESPECIALES

Los métodos especiales son los utilizados en casos muy específicos y por dos diferentes causas que son para optimizar en los tiempos de construcción y cuando se somete a condiciones muy adversas como lo son las condiciones climáticas o en el caso de los túneles subacuáticos.

#### I.2.3.-1. Escudos especiales

Los escudos de frente Multi-Circular (Multi-Circular Face) se caracterizan por tener dos, tres o más cabezas cortadoras solapadas, pero los más utilizados son: escudos de cabeza doble y los escudos de cabeza triple. El tipo de estabilización del frente y sistema de extracción del terreno excavado que utilizan puede ser bien de tipo EPB o del tipo escudo slurry.

Los motivos por los que se desarrolla este tipo de escudos en Japón fueron los siguiente: la necesidad de ajustar a la sección excavada a la sección útil; poder mantener una distancia apropiada a las estructuras subterráneas aproximadas y la mejora en la seguridad y rapidez; y conseguir una buena estabilidad del frente en secciones donde hay poca profundidad.

Primero se desarrollaron los escudos de dos cabezas y, a partir de estos, los escudos de tres cabezas. (Hernández, 2014).

## Hidroescudos o escudos de bentonita (slurry Shield)

Los Hidroescudos o escudos de bentonita utilizan la propiedad tixotrópica de los lodos bentoníticos para conseguir la estabilización del frente del túnel.

Son máquinas adecuadas para trabajar en terrenos difíciles, constituidos principalmente por arenas y gravas u otros materiales blandos y fracturados bajo presión de agua, en los que la inyección de lodos, además de contribuir a la estabilidad del terreno, ayuda al transporte mediante bombeo de los productos de excavación, Su campo de aplicación óptimo se relaciona con granulometrías comprendidas entre 0.1 y 60 mm, que conjuguen una eficaz recuperación de la bentonita con la facilidad del transporte hidráulico.

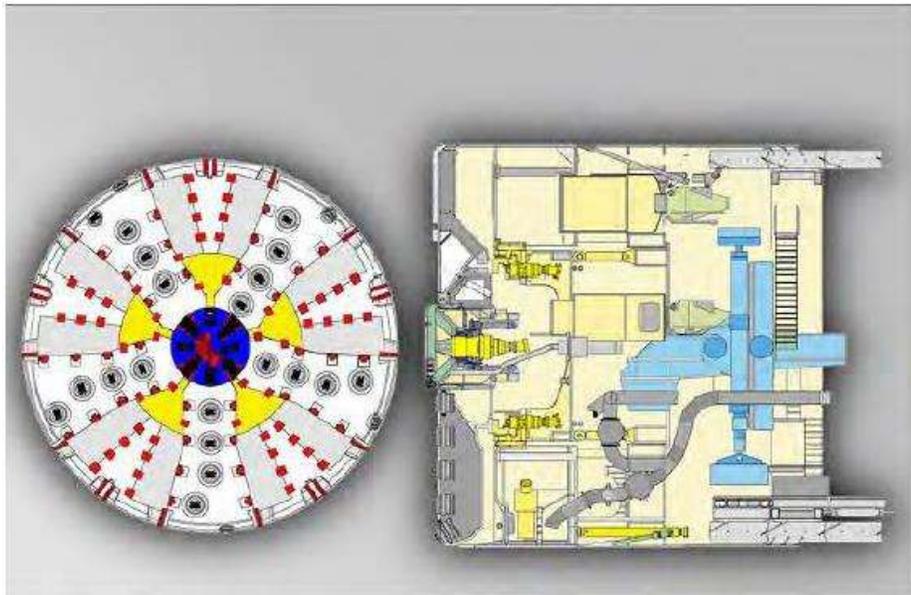


Figura 8.-Hidroescudo. . Fuente (Hernández, 2014).

## Hinca vertical con aire comprimido de elementos pre-fabricados

También es posible construir el túnel, si no es muy profundo por elementos que se hincan verticalmente a través del terreno hasta el nivel conveniente y que unen después.

Se hincan cajones metálicos en los que se ha dejado el galibo de la línea futura. Estos cajones comprenden una cámara de trabajo con aire comprimido y la hincas se realiza por los procedimientos usuales. (Hernández, 2014).

### I.3.4. TÚNELES SUMERGIBLES

#### I.3.4.1.-Subacuáticos

Es un nuevo proceso de construcción de túneles sumergidos. Está basado en una máquina diseñada para colocar al fondo de una vía navegable o de un canal marítimo anillos sucesivos formados por dovelas prefabricadas de hormigón pretensado. Este proceso es más barato y reduce el impacto medioambiental de la construcción porque no necesita drenarse y no interrumpe el tráfico de buques.

El método tradicional de construcción de túneles sumergidos impone condiciones técnicas exigentes, entre las cuales se encuentran la necesidad de una dársena (terminal marítima de dos bocas) seca; mucho espacio de almacenamiento para los grandes cajones de hormigón prefabricados y perturbaciones a la circulación fluvial o marítima cuando los cajones se transportan por flotación e inmergen en su ubicación final. Mediante este método se puede cruzar un río o canal marítimo de un lado a otro, sin intervención marina después de la terminación de la zanja.

Es un método de construcción que es menos dependiente del dragado y otros trabajos marinos requeridos para la construcción del túnel, pero el dragado y la nivelación del suelo son semejantes al método clásico de construcción de túneles sumergidos. La máquina prepara la plataforma del túnel en gravas finamente niveladas, que se puede reforzar si es necesario. (Hernández, 2014).

El revestimiento del túnel sumergido se compone de dovelas de hormigón prefabricadas que forman anillos. La máquina está equipada para instalar este revestimiento y lo utiliza como apoyo para progresar.

Se obtiene la estanqueidad de los anillos de dovelas en condiciones semejantes a un túnel natural clásico bajo el nivel freático en suelo permeable. No obstante, dos barreras de juntas compresibles elastoméricas (polímero) compartimentadas se incluyen en el diseño para evitar venidas de agua.

Un pretensado longitudinal temporario se instala durante el proceso de colocación del revestimiento. Sigue después un pretensado transversal permanente, para aguantar los momentos flectores en el revestimiento y aminorar las tensiones en las dovelas. Es posible aplicar un pretensado longitudinal permanente más amplio si es necesario para algún proyecto con carga específica.

La máquina submarina TIMBY consiste en una máquina de doble cabeza circular comparable a un escudo. Hay un equipo separado para cada lado de túnel, que consiste en el erector de dovelas y el sistema back-up con los accesorios de potencia y suministros logísticos. Después del dragado de la zanja y el inicio de la construcción de la ataguía, se procede al montaje de la máquina. La ataguía entonces se inunda y se abre para que la máquina pueda avanzar hacia el pozo de llegada en el lado opuesto del río o del canal marítimo, movimiento tras movimiento. A continuación, se instala y pretensa un anillo de dovelas después del otro. El doble escudo tiene dos brazos rozadores que nivelan la grava previamente colocada, por medio de una barcaza, en el fondo de la zanja para formar un lecho apropiado para el avance de la TBM. Se retira o desplaza hacia los lados cualquier grava en exceso. Pero la máquina no excava. Los anillos se instalan según una secuencia predefinida.

Primero, el erector derecho coloca la dovela y en la contra bóveda. Luego, se instalan las siguientes dovelas, y así se termina la primera mitad del anillo.

El erector izquierdo instala después las dovelas en la otra mitad de la misma manera. Después de la instalación de la dovela Y superior, se pone la pared vertical de separación. Es entonces en aquel momento que el sistema transversal de pretensado de cuatro cables se puede instalar.

Para equilibrar la fuerza de flotabilidad, el túnel se tiene que rellenar. Cada tres anillos, una piedra L transversal prefabricada se instala para formar un muro de contención para el relleno posterior. Se alimenta en material la parte trasera del back-up por camión, lo que permita alimentar la cinta transportadora transversal que rellena el espacio entre las piedras L. A continuación, la grúa de transbordo superior dentro del túnel puede instalar nuevas vías y el sistema back-up puede avanzar hacia adelante sobre una distancia de tres anillos más. Ahora, se ha completado un ciclo de trabajo. Este procedimiento se repite hasta que TIMBY alcance el pozo de llegada. Finalmente, la zanja está rellena para cubrir el túnel. (Hernández, 2014).

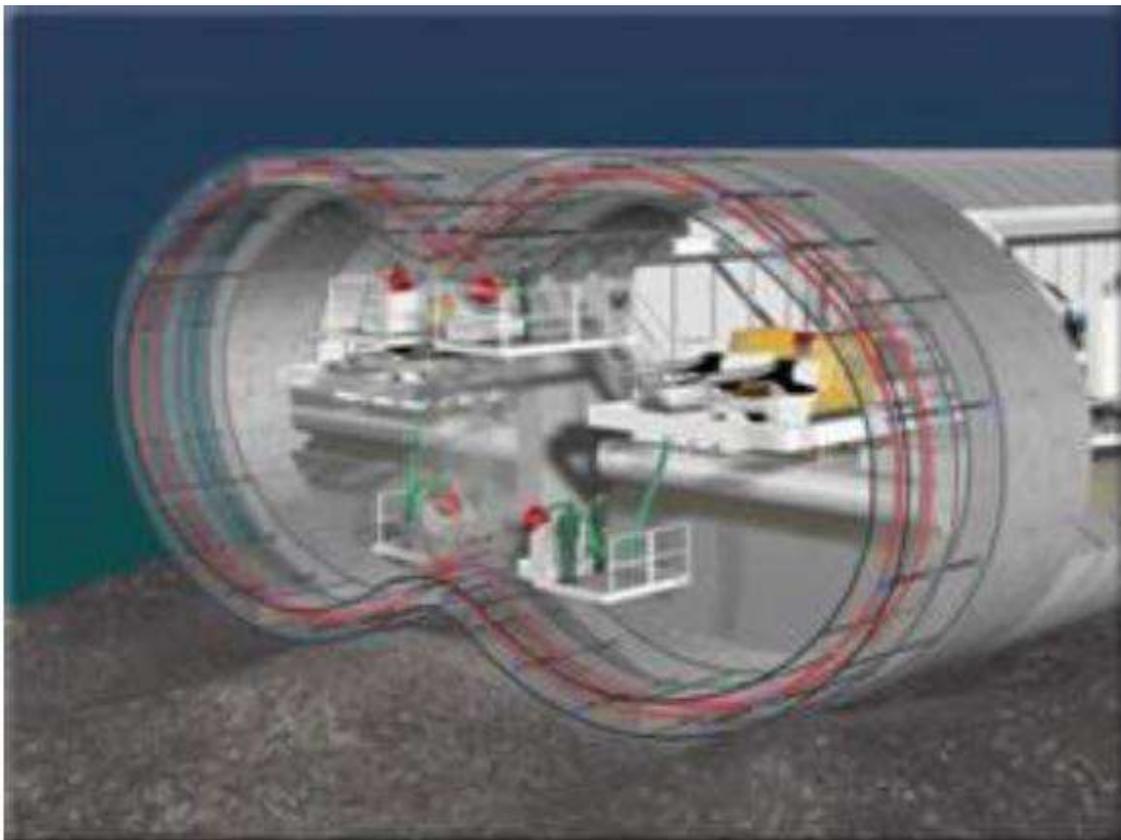


Figura 9.- Túnel subacuático o submarino. Fuente (Hernández, 2014).

## I.4.-TÉCNICAS Y MÉTODOS DE EXCAVACIÓN

Los Métodos de excavación cronológicamente se centran principalmente en las diferentes secuencias de excavación.

**El Método Inglés:** recibe su nombre por haber sido aplicado en túneles a través del tipo de terreno que usualmente se localiza en Inglaterra, como son las arcillas y areniscas. Siguiendo el ejemplo establecido en la construcción del primer túnel bajo el Támesis, su principal característica es proceder el avance de la perforación a sección completa del túnel, en una sola operación.

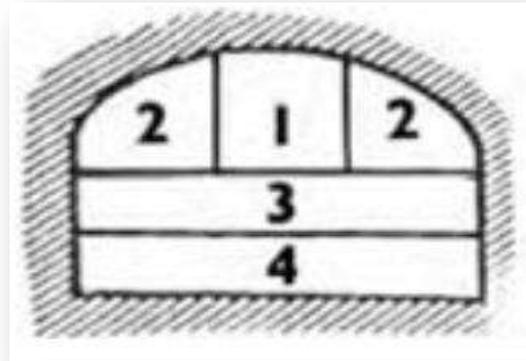


Figura 10.- Método Ingles. Fuente (Hernández, 2014).

**El Método Alemán:** este sistema fue utilizado por primera vez en 1803 para construir el túnel en el Canal de San Quintín, y desarrollado por Wiebeking en 1814, siguiendo el sistema de núcleo central, también empleado en la construcción de las amplias bóvedas de cerveza de Baviera. (Hernández, 2014).

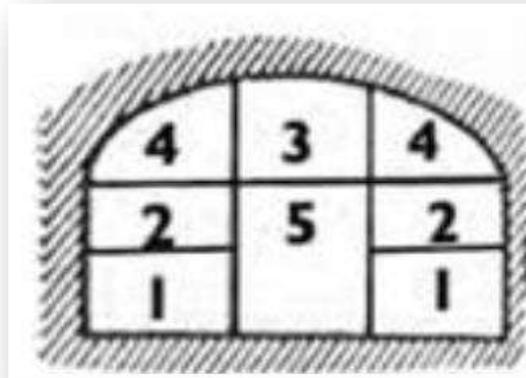


Figura 11- Método Alemán. Fuente (Hernandez,2014).

**El Método Alemán Modificado:** se aplica en el caso en que durante la operación de perforación del túnel, a través de un terreno bastante firme, surja la aparición de agua, lo que origina una alteración en el Método Clásico Alemán en cuanto a las etapas sucesivas de ataque del frente.

**El Método Belga:** se basa en los principios que permitieron la construcción, en 1828 del túnel de Charleroi en el Canal que enlaza Bruselas y Charleroi.

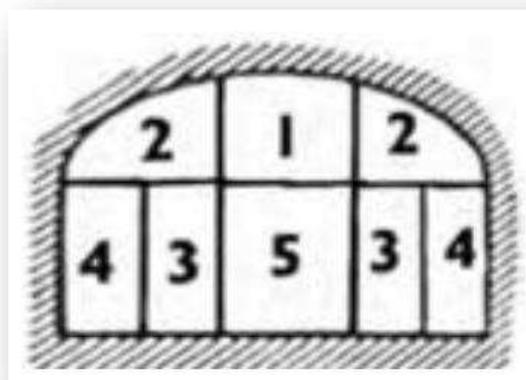


Figura 12.- Método Belga. Fuente (Hernández, 2014).

**El Método Austriaco:** los austriacos desarrollaron un plan de trabajo basado en la utilización de puntales de madera formando un sistema de entibación, procedimiento aplicado en las minas de Friburgo y que fue aplicado por primera vez por Meisner en la construcción del túnel de Oberau, en el ferrocarril entre Leipzig y Dresden, en Sajonia en el año 1837. En 1839 Keissler lo empleó en el túnel de Gumpoldskirch, cerca de Viena-Neustadt. (Hernández, 2014).

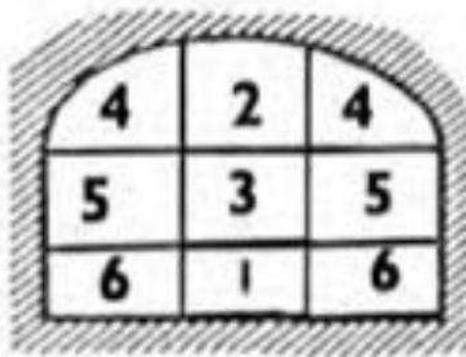


Figura 13.- Método Austriaco. Fuente (Hernández, 2014).

## CAPITULO II.- DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO DEL TÚNEL I DEL RAMAL CAMELINAS LIBRAMIENTO SUR MORELIA.

Morelia fue fundada el 18 de mayo de 1541 por Juan de Alvarado, Juan de Villaseñor y Luis de León Romano, por mandato del primer virrey de la Nueva España, Antonio de Mendoza y Pacheco.

Su nombre en la época prehispánica fue Guayangareo, en la época colonial española primeramente recibió el nombre de Ciudad de Mechuacán, que cambió en 1545 por ciudad de Valladolid en honor a la ciudad homónima en España. En 1828 cambió de nombre por Morelia en honor al héroe de la independencia de México José María Morelos y Pavón, quien nació en esta ciudad. El gentilicio de su población es moreliano. (<http://valladolid-morelia.blogspot.mx/2012/10/generalidades-de-morelia.html>).



Figura 1.- Antigua Valladolid. Fuente (<http://valladolid-morelia.blogspot.mx/2012/10/generalidades-de-morelia.html>).

La ciudad se encuentra situada en un amplio valle antiguamente llamado Valle de Guayangareo, en el centro-norte del municipio, el cual se encuentra rodeado de lomas y colinas entre las que destacan al este el cerro del Punhuato, al oeste el pico del Quinceo, al sur las lomas de Santa María y el pico de El Águila.

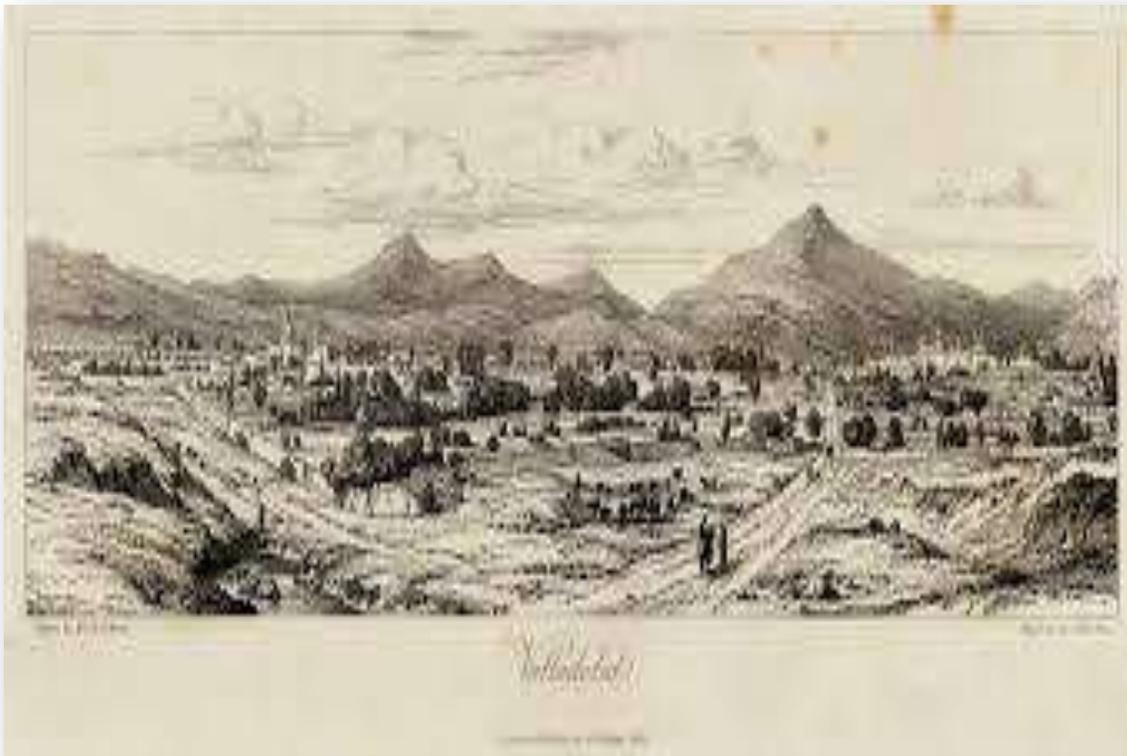


Figura.- 2. Antigua Valladolid y bosque. Fuente (<http://www.espejel.com/?p=1820>).

Morelia colinda en la parte norte con los municipios de Tarímbaro, Chucándiro y Huaniqueo; al este con Charo y Tzitzio; al sur con Villa Madero y Acuitzio; y al oeste con Lagunillas, Coeneo, Tzintzuntzan y Quiroga. Así mismo Morelia se encuentra físicamente en medio del trayecto de las ciudades más importantes del país Guadalajara Jalisco y México, D. F.

Morelia es la ciudad más poblada y extensa del estado de Michoacán con una población de 729,279 en el año 2010 (608,049 habitantes en el 2005). Es la tercera ciudad más poblada de la Región Bajío, superada sólo por León de los Aldama y Santiago de Querétaro. El área conurbada incluye otras 18 localidades de los municipios de Morelia y Tarímbaro y contaba en 2005 con 642,314 habitantes.

Por otro lado, la Zona Metropolitana de Morelia, conformada por los municipios de Morelia y Tarímbaro, tenía en el 2010 un total de 806,822 habitantes (735,624 en 2005), de los cuales 729,757 hab. Correspondían al municipio de Morelia y 77,065 al de Tarímbaro.

Morelia es una de las más importantes ciudades en el país desde el punto de vista cultural e histórico. Es sede de varios festivales internacionales como el de música "Miguel Bernal Jiménez" y el festival internacional de cine de Morelia, entre otros. El festival de cine ha ido adquiriendo importancia a nivel internacional. (<http://valladolid-morelia.blogspot.mx/2012/10/generalidades-de-morelia.html>).



Figura 3.- Morelia Actualmente. (Valladolid-morelia.blogspot).

Y por ser una ciudad de gran turismo genera que la mayor parte del año haya un flujo vehicular excesivo para las vías de comunicación existentes, por la gran cantidad de visitantes y por el aumento de poblacional año con año. Y por ese motivo se decidió construir, un camino extra para poder desalojar de mejor manera el flujo vehicular entre la zona baja y la zona alta de la ciudad, el cual consiste en tramos carreteros, un viaducto y dos tuneles, el denominado Túnel 2 y el Túnel 1 el cual se describirá a continuación.

El Túnel I de acuerdo al proyecto cuenta con una longitud de 448.77 m ubicados en el cadenamiento 1+371 al 1+819.77 y dos túneles. Falsos de 43.77 m, 19 m en el portal de entrada y 24.77 m en el portal de salida con dos portales de acceso que son el portal de entrada ``Jesús del Monte`` y portal de salida ``Morelia``.

Las obras del tajo en el portal de entrada (Jesús del Monte) inician en el cadenamiento 1+340 y termina en el 1+390, con una boquilla de 9 m, seguida de un túnel falso que inicia en el cadenamiento 1+380 al 1+390 con una longitud de 10m. De acuerdo con el proyecto el portal Jesús del Monte se ubica en el cadenamiento 1+390.

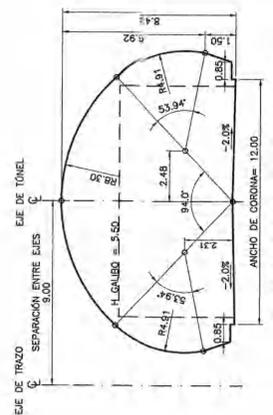
Las obras de tajo del portal de salida (Portal Morelia) inician en el cadenamiento 1+795 y termina en el 1+839.3 con una boquilla de 9.77 m, continuando con el túnel falso del cadenamiento 1+795 al 1+810 con una longitud de 15 m, respetando lo establecido en el proyecto el portal Morelia se ubica en el cadenamiento 1+795.

De acuerdo al proyecto el túnel fue construido en una montaña de 2130m de altura aproximadamente, el túnel falso Jesús del Monte se encuentra con una elevación de 2079m de altura sobre el nivel de mar en la zona de mayor elevación y en la menor de 2071.5m y el Morelia se encuentra a 2059.56m de altura en la zona alta y 2049.4m en la zona inferior.

Figura.4.- Planta General. Fuente (Proyecto Ejecutivo).

Figura.5.- Perfil longitudinal (Eje de trazo). Fuente (Proyecto Ejecutivo).

De acuerdo al levantamiento topográfico realizado en campo y al proyecto geométrico se obtuvo la siguiente planta Topográfica.



SECCIÓN TIPO EN TANGENTE  
Esc. 1:150

**SIMBOLOGÍA**

EJE DE TRAZO	—+—+—+—	1:400
EJE DE TUNEL DE PROYECTO	—+—+—+—	1:400
CURVA DE NIVEL PRINCIPAL	—+—+—+—	1:400
CURVA DE NIVEL SECUNDARIA	—+—+—+—	2:115

**NOTAS**

- 1.- LA EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS DE NIVEL ES DE 1m.
- 2.- LAS ADOTACIONES ESTÁN EN METROS
- 3.- LAS ELEVACIONES ESTÁN EN METROS (m.n.m.)
- 4.- EL EJE DEL TUNEL ESTÁ UBICADO NUEVE METROS A LA DERECHA DEL EJE DE TRAZO.

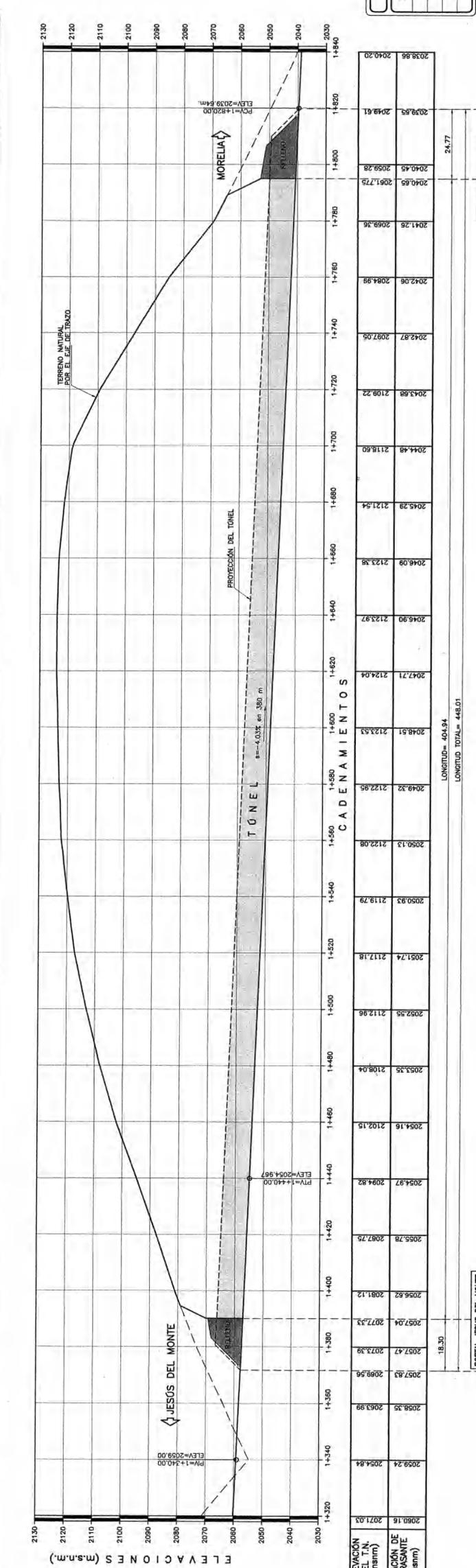
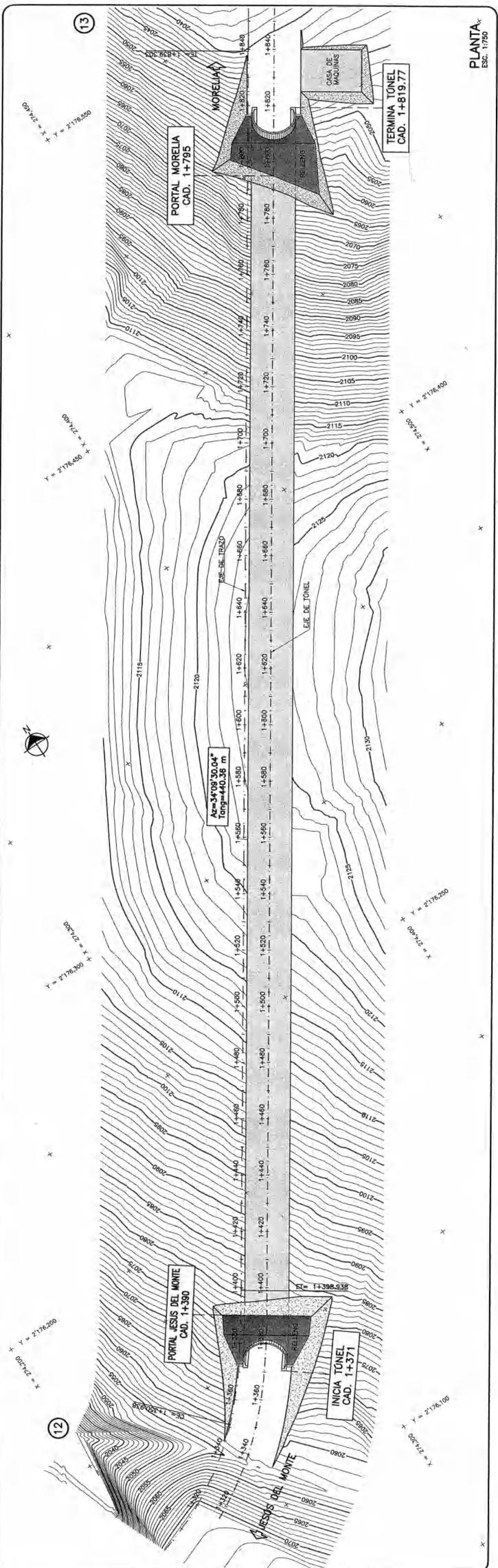
**CUADRO DE REVISIONES Y/O MODIFICACIONES**

REV.	FECHA	REVISO	APROBADO	DESCRIPCION

**SCT**  
SUBSECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA  
DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS  
SUBDIRECCION DE PROYECTO DE CARRETERAS

**TUNEL I "LIBRAMIENTO SUR MORELIA"**  
UBICACION: Km. 1+371.76 al Km. 1+819.77 (EJE DE TRAZO)  
CARRETERA: LIBRAMIENTO SUR MORELIA  
TRAMO: JESUS DEL MONTE - MORELIA  
ORIGEN: JESUS DEL MONTE, MPIO. DE MORELIA, MICH.

**PLANTA GENERAL Y PERFIL LONGITUDINAL (EJE DE TRAZO)**  
ESCALA INDICADA ARCHIVO: PlanGeneral.dwg  
CONTRATO: 2011-1-2-1-405-1-3-11  
PLANO: 01  
MEXICO D.F., JULIO DE 2011



**GEOMETRIA DEL ALINEAMIENTO HORIZONTAL EJE DE TRAZO**

CURVA	P	Q	R	S	T	E	G	CE	PI	g	PSY	CE	Y	CE	FT	g	ET	
12	1198.45	1128.45	2744.67	27812.50	27408.67	27696.89	27424.86	27814.56	1128.37	1128.37	1128.37	1128.37	1128.37	1128.37	1128.37	1128.37	1128.37	1128.37
13	1459.32	1459.32	1459.32	1459.32	1459.32	1459.32	1459.32	1459.32	1459.32	1459.32	1459.32	1459.32	1459.32	1459.32	1459.32	1459.32	1459.32	1459.32
14	881.07	832.07	1100.07	104.174	105.528	112.484	137.000	48.000	47.145	3.874	3.874	3.874	3.874	3.874	3.874	3.874	3.874	3.874
15	700.457	432.457	1100.007	104.174	97.631	71.368	137.000	48.000	47.745	3.874	3.874	3.874	3.874	3.874	3.874	3.874	3.874	3.874

**CADENAMIENTOS**

ELEVACION DEL T.N. (m.n.m.)	ELEVACION DE SUPERFACIE (m.n.m.)	ESTACION
2071.03	2071.03	1+320
2080.16	2080.16	1+320
2058.24	2058.24	1+340
2057.94	2057.94	1+380
2057.47	2057.47	1+380
2057.82	2057.82	1+400
2055.78	2055.78	1+420
2054.97	2054.97	1+440
2054.16	2054.16	1+460
2053.35	2053.35	1+480
2052.55	2052.55	1+500
2051.74	2051.74	1+520
2050.93	2050.93	1+540
2049.32	2049.32	1+580
2048.51	2048.51	1+600
2047.71	2047.71	1+620
2046.90	2046.90	1+640
2046.09	2046.09	1+660
2045.28	2045.28	1+680
2044.48	2044.48	1+700
2043.68	2043.68	1+720
2042.87	2042.87	1+740
2042.06	2042.06	1+760
2041.26	2041.26	1+780
2040.45	2040.45	1+800
2039.65	2039.65	1+820
2038.86	2038.86	1+840
2038.06	2038.06	1+860
2037.26	2037.26	1+880
2036.46	2036.46	1+900

LONGITUD = 448.01  
LONGITUD TOTAL = 448.01

**INICIA TUNEL CAD. 1+371.76**  
**PORTAL JESUS DEL MONTE CAD. 1+380.06**  
**TERMINA TUNEL CAD. 1+819.77**

**PROYECTO**  
CONSEJO NACIONAL DE INGENIEROS Y ARQUITECTOS

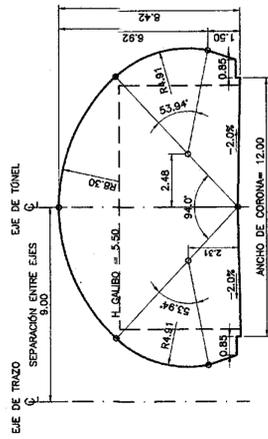
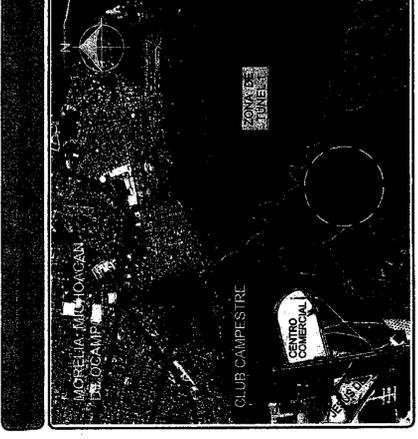
**SCT**  
SUBSECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA  
DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS

**DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS**  
M. en I. INGENIERO CIVIL  
ING. FERRER ALBERTO REYES

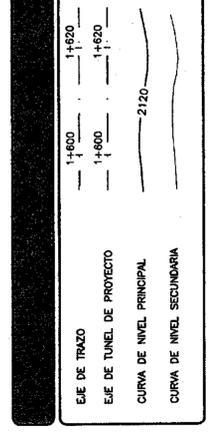
**DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS DE PROYECTOS**  
ING. LUIS ALBERTO LEAL ORTIZ  
DIRECTOR TECNICO

**SUBSECRETARIA DE PROYECTOS DE CARRETERAS PROPRIAS**  
ING. AUGUSTO BELLO VARGAS  
DIRECTOR GENERAL ADJUNTO DE PROYECTOS

**ING. JOSE MARIA SANCHEZ CASTILLO**



SECCIÓN TIPO EN TANGENTE  
ESC. 1:150



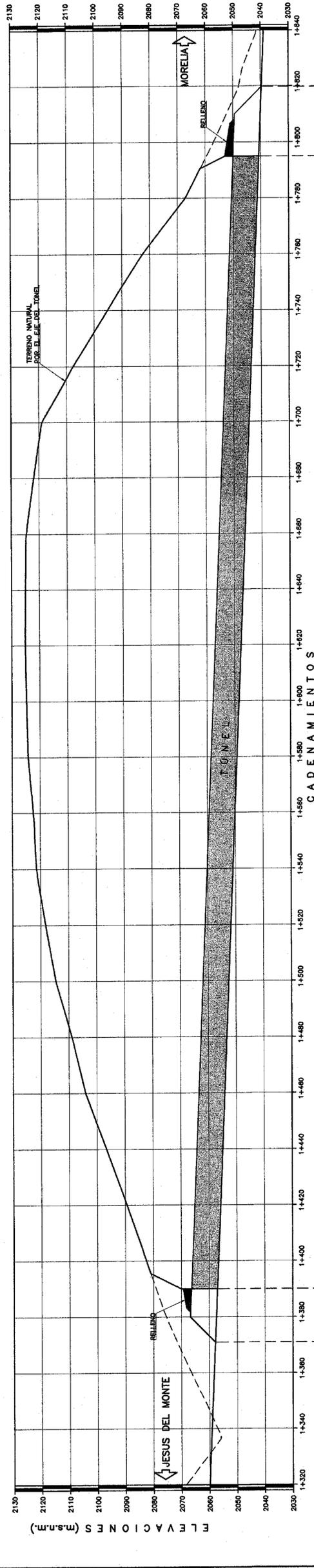
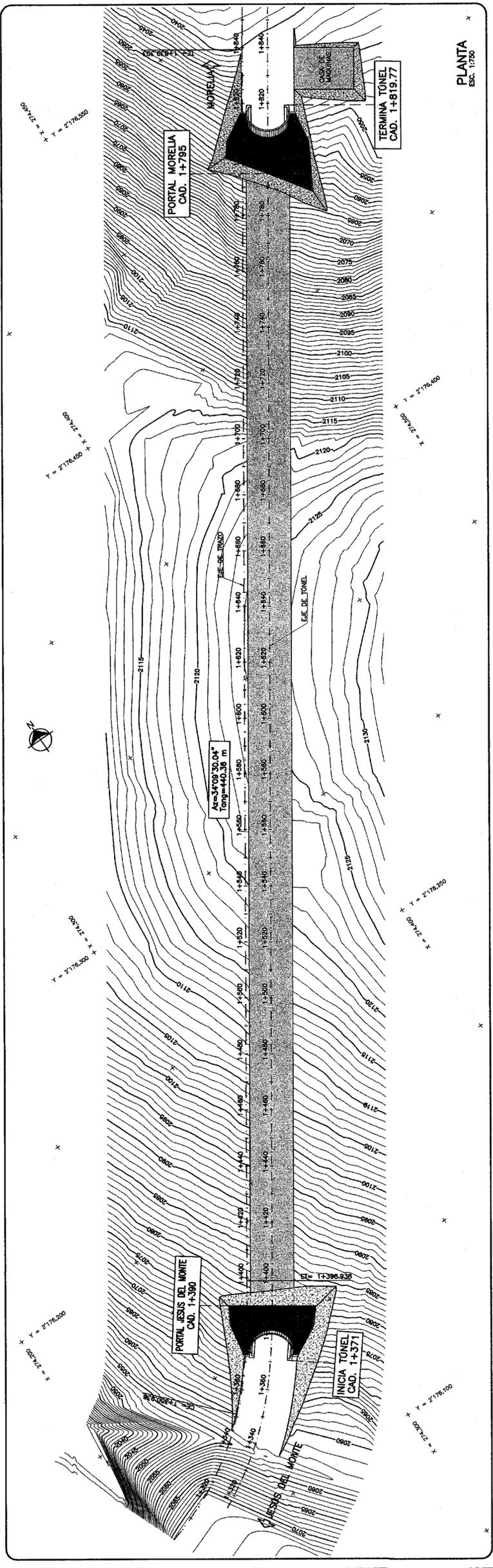
- 1.- LA EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS DE NIVEL ES DE 1m.
- 2.- LAS ACOTACIONES ESTÁN EN METROS
- 3.- LAS ELEVACIONES ESTÁN EN METROS (m.s.n.m.)
- 4.- EL EJE DEL TÚNEL ESTA REFERENCIADO NUEVE METROS A LA DERECHA DEL DEL DE TRAZO.

CUADRO DE REVISIONES Y/O MODIFICACIONES	
REV.	DESCRIPCIÓN

SCT  
SUBSECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA  
DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS  
SUBDIRECCIÓN DE PROYECTO DE CARRETERAS

TÚNEL I "LIBRAMIENTO SUR MORELIA"  
UBICACIÓN: Km. 1+371.76 al Km. 1+819.77  
CARRETERA: LIBRAMIENTO SUR MORELIA  
TRAMO: JESUS DEL MONTE - MORELIA  
ORIGEN: JESUS DEL MONTE, MPO. DE MORELIA, MICH.

PLANO: PLANTA TOPOGRÁFICA Y PERFIL LONGITUDINAL (EJE DE TÚNEL)  
ESCALA: INDICADA ARCHIVO: 06-Topo.pdf  
CONTRATO: 2011-P-02-A-03-3-1-U  
PLANO: 02  
MEXICO D.F., JULIO DE 2011



ELEVACION DEL T.N. (mm)	ELEVACION DE SUBRASANTE (mm)	1+320	1+340	1+360	1+380	1+400	1+420	1+440	1+460	1+480	1+500	1+520	1+540	1+560	1+580	1+600	1+620	1+640	1+660	1+680	1+700	1+720	1+740	1+760	1+780	1+800	1+820	1+840																								
2099.95	2098.43	2099.11	2097.11	2098.30	2096.46	2097.83	2071.48	2097.46	2076.41	2097.04	2079.02	2096.92	2092.49	2095.78	2099.34	2094.97	2096.62	2094.16	2104.07	2093.35	2109.92	2092.55	2114.98	2091.24	2118.20	2090.93	2121.40	2090.13	2122.49	2049.32	2124.21	2048.51	2124.76	2045.29	2121.90	2044.48	2118.88	2043.67	2107.62	2042.06	2082.54	2041.25	2087.18	2040.45	2087.01	2039.64	2072.92	2038.83	2072.92	2038.02	2072.92	2041.43

LONGITUD DE TUNEL EXCAVADO= 405.00  
LONGITUD TOTAL DE TUNEL= 448.77

INICIA TUNEL CAD. 1+371.00  
PORTAL JESUS DEL MONTE CAD. 1+380.00  
TUNEL FALSO 19.00  
TUNEL FALSO 25.77  
PORTAL MORELIA CAD. 1+795.00  
TERMINA TUNEL CAD. 1+819.77

PERFIL LONGITUDINAL (EJE DE TUNEL)  
ESC. 1:1750

PROYECTO: **Consulto** Ingenieros Asociados, S.C.  
M. en I. **FRANCISCO SUAREZ PINO** ESE-215742  
ING. PER. 205870

DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS DE PROYECTOS  
ING. **ALBERTO LEAL ORTIZ** DIRECTOR TECNICO  
ING. **ALBERTO CORTES ARNAS** ING. ALBERTO CORTES ARNAS

DEPARTAMENTO DE PROYECTOS DE CARRETERAS FEDERALES  
ING. **ALBERTO LEAL ORTIZ** DIRECTOR GENERAL ADJUNTO DE PROYECTOS  
ING. **JOSE MARIA FUERTES CASTILLO** ING. JOSE MARIA FUERTES CASTILLO

SCT  
SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES  
DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS

Figura 6.- Planta Topográfica. Fuente (Proyecto Ejecutivo).

Conforme a los estudios geológicos realizados en la zona donde se realizó el proyecto se encontraron tres tipos de rocas, las cuales se describen a continuación.

Tbv: Brecha Andesítica sana y poco fracturada, de color gris con tonalidades oscuras al fresco y ocre claro a la intemperie. Presenta lentes irregulares de andesita de color gris oscuro.



Figura 7.- Andesita. Fuente (<http://bioabderapauanglau.blogspot.mx>).

Tig: Ignimbrita de composición vítrea, textura eutaxítica y bien litificada con pseudoestratificación. La roca es de color gris claro en estado sano y pardo claro a la intemperie casi masiva pero fracturada.



Figura 8.-Ignimbrita Vítre. Fuente (<http://amigosdelosvolcanes.blogspot.mx>).

Qmt: Depósito de talud constituido por bloques angulosos de diversos tamaños cubiertos por materiales aluviales arcillo-arenosos.



Figura 9 .- Depósito de Talud. Fuente (<http://blogsaboreandoelpaisaje.blogspot.mx>)

Conforme al levantamiento geológico en sitio se verificaron los diferentes tipos de rocas encontradas en el lugar y se representó con la siguiente planta Geológica.

Figura. 10.-Planta Geológica en el Túnel 1. Fuente (Proyecto Ejecutivo).

Figura. 11 - Perfil Geológico y Sondeos en el túnel. Fuente  
(Proyecto Ejecutivo).

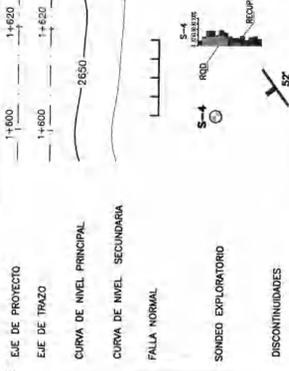
Se

elaboraron 5 sondeos para determinar los tipos de suelos y rocas que se encontraron en el sitio y determinar el tipo de sostenimiento necesario.

**CROQUIS DE LOCALIZACIÓN**



**SIMBOLOGIA**



**LITOLOGIA**

Deposito de talud constituido por bloques angulosos de arcilla-arenosos.  
 Tfg  
 Brecha andesitica zona y poco fracturada, de color gris con tonalidades oscuras al fresco y zona clara a la intemperie casi mancha pero fracturada.  
 Tbv  
 Brecha andesitica zona y poco fracturada, de color gris con tonalidades oscuras al fresco y zona clara a la intemperie casi mancha pero fracturada.

**SONDEOS EXPLORATORIOS**

SONDEO	CADERNAMENTO	INCLINACION	PROFUNDIDAD (m)
S-1	1+420	VERTICAL	35.0
S-2	1+480	VERTICAL	60.0
S-3	1+680	VERTICAL	70.0
S-4	1+740	VERTICAL	22.5
S-5	1+780	VERTICAL	30.0

**NOTAS**

- Las fricciones estriográficas del perfil del túnel se establecieron a partir de la exploración de sondas y se indicaron en el perfil (Tendidos de sonda de refracción y sondas eléctricas verticales).
- Las bases de datos de sondas representadas en el perfil, son de muy poca potencia por lo que no se ilustran en la planta.

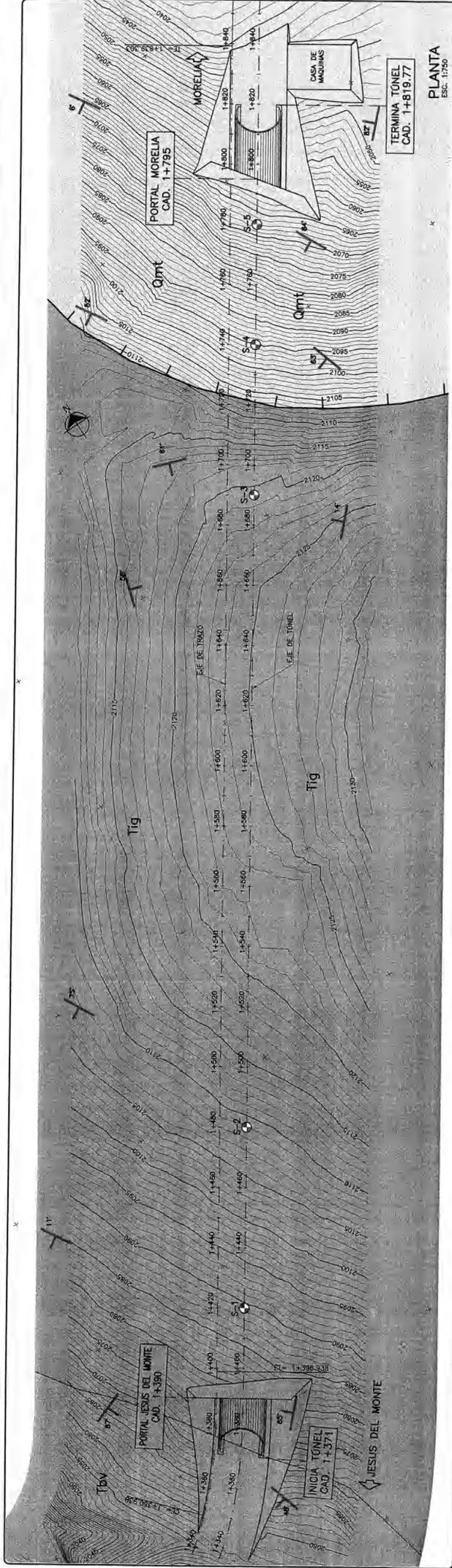
SCT  
 SUBSECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA  
 DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS  
 DIRECCION TECNICA  
 SUBDIRECCION DE PROYECTO DE CARRETERAS

**TUNEL I "LIBRAMIENTO SUR MORELIA"**

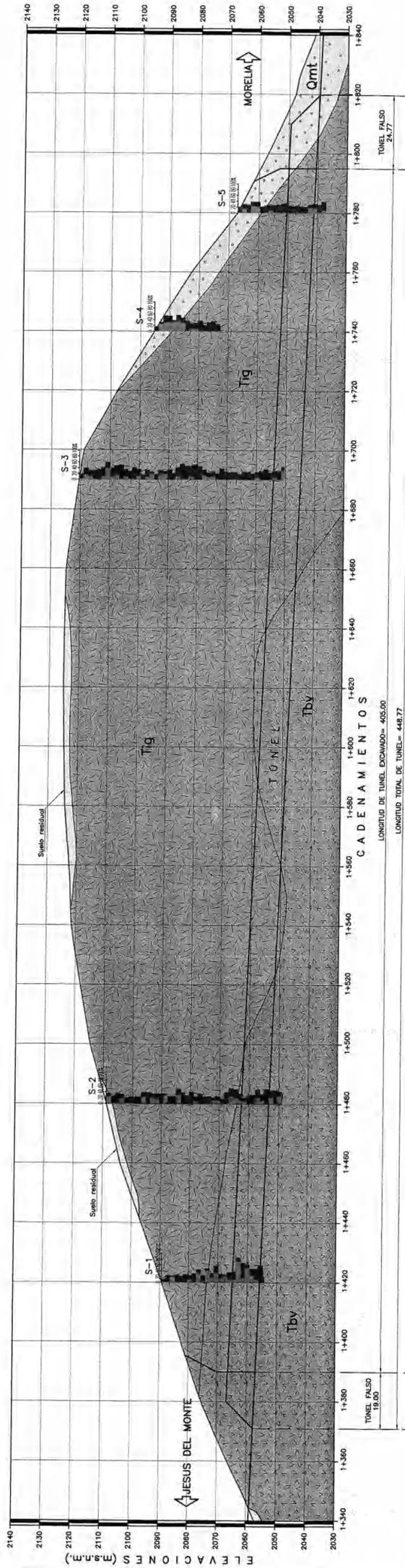
UBICACION: Km. 1+371.76 al Km. 1+819.77  
 CARRETERA: LIBRAMIENTO SUR MORELIA  
 TRAMO: JESUS DEL MONTE - MORELIA  
 ORIGEN: JESUS DEL MONTE, MPIO. DE MORELIA, MICH.

PLANO:  
 ESCALA: 1:750 ARCHIVO: 04-geologia.dwg  
 PROYECTO: 2011-SC-463-0-11

MEXICO D.F., JULIO DE 2011  
 PLANO: 04

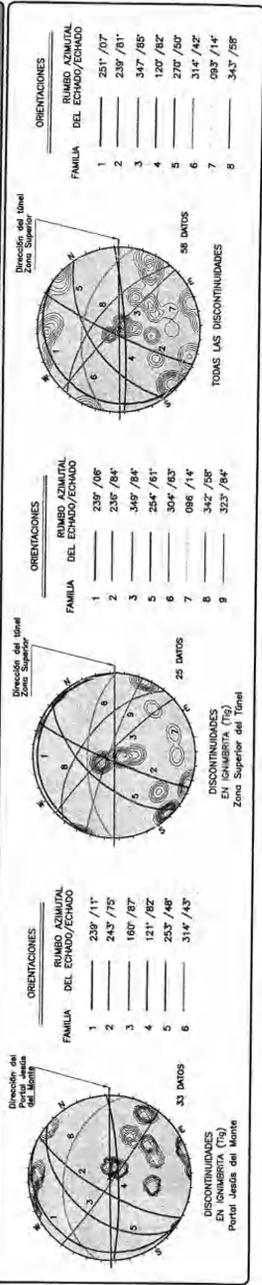


**PLANTA**  
 ESC. 1:750



**PERFIL LONGITUDINAL**  
 ESC. 1:750

**ESTEREOGRAMAS**



**CUADRO DE REVISIONES Y/O MODIFICACIONES**

REV.	FECHA	REVISO	APROBO	DESCRIPCION

PROYECTO  
**Consultec**  
 INGENIERIA ASOCIADA S.C.  
 M. en I. J. FRANCISCO SUAREZ RINO  
 CEB-215762

DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS  
 ING. FERRAN A. SANCHEZ REYES  
 CEB-2058570

DIRECCION TECNICA  
 ING. LUIS ALBERTO LICAL ORTIZ  
 CEB-215762

SUBDIRECCION DE PROYECTO DE CARRETERAS FEDERALES  
 ING. ANDRÉS BELLO VARGAS  
 CEB-215762

SCT  
 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES  
 DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS  
 ING. JOSE LUIS FERRER CASTILLO

Tabla.1 - Profundidad en Sondeos. Fuente (Proyecto Ejecutivo).

SONDEOS EXPLORATORIOS			
SONDEO	CADENAMIENTO	INCLINACIÓN	PROFUNDIDAD (m)
S-1	1+420	VERTICAL	35.0
S-2	1+480	VERTICAL	60.0
S-3	1+690	VERTICAL	70.0
S-4	1+740	VERTICAL	22.5
S-5	1+780	VERTICAL	30.0

### CLASIFICACIÓN GEOTÉCNICA DE LAS ROCAS.

El índice RQD fue desarrollado en 1964 por D. U. Deere\*. Se determina midiendo el porcentaje de recuperación de testigo en testigos que miden más de 100 mm de longitud. Los testigos que no estén duros o firmes no deben contarse aunque midan más de 100 mm de longitud. El índice RQD fue introducido para usarse con diámetros de testigo de 54,7 mm (testigo de tamaño NX). Se trata de uno de los principales indicadores para las zonas de roca de baja calidad. En la actualidad, el índice RQD se utiliza como parámetro estándar en el registro de testigos de perforación y es un elemento básico de los principales sistemas de clasificación de masa: el sistema de clasificación geomecánica de Bienawiski (RMR) y el sistema Q\*\*.

A partir del índice RQD, podemos clasificar la masa de la roca:  
calidad de masa de la roca RQD

<25% muy mala

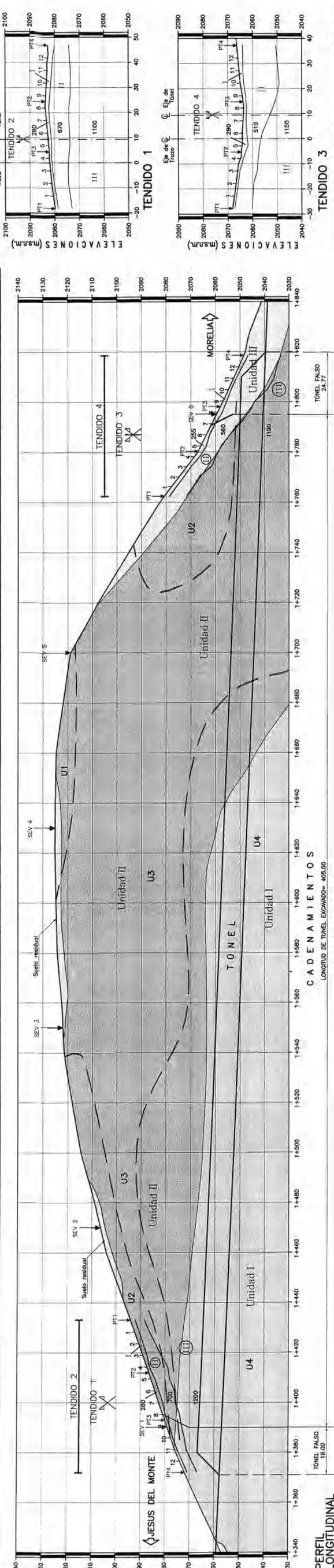
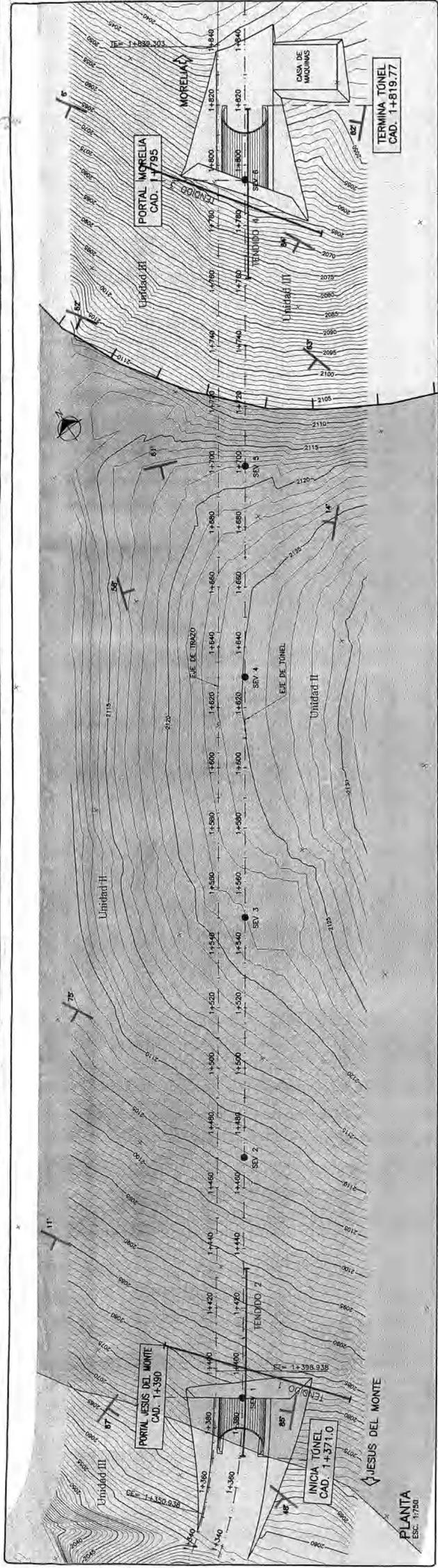
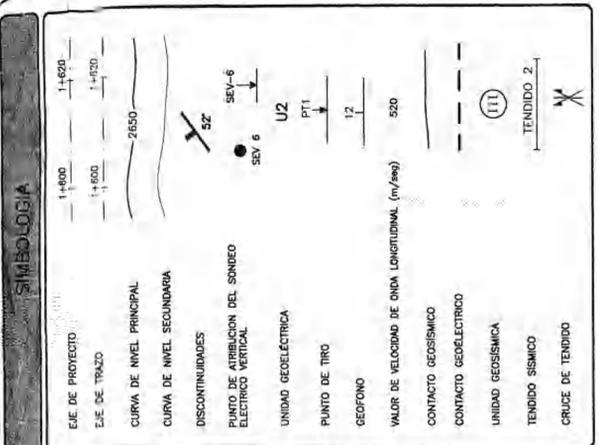
25-50% mala

50-75% normal

75-90% buena

90-100% excelente

Tabla 2.-. Clasificación Geotécnica de las rocas de acuerdo al RQD. Fuente (Proyecto Ejecutivo).



**UNIDADES GEOTÉCNICAS**

Unidad I: Brecha andalítica poco fracturada, incluye el contacto con la ignimbrita y un tramo de esta en la zona central del túnel.

Unidad II: Ignimbrita de composición vítrea, textura eutáctica y bien litificada con pseudotafización.

Unidad III: Depósito de talud constituido por ligeros conglomerados de tambores subtruncados por intercalaciones arcillo-arenosas.

**NOTAS**

- Las longitudes asignadas a cada uno de los tramos de tendidos y unidades geotécnicas, se refieren a la excavación del túnel mediante el equipamiento geotécnico que justifique cambios en los procedimientos constructivos.
- Antes de iniciar la excavación de los tajos de acceso y el túnel deberán efectuarse 3 sondeos exploratorios directos con objeto de definir el tipo y la calidad del macizo rocoso.
- Para detalles sobre los procedimientos constructivos referirse a los planos 20 a 31.

Unidad Geotécnica	Unidad I		Unidad II		Unidad III	
	Longitud (m)	Velocidad (m/s)	Longitud (m)	Velocidad (m/s)	Longitud (m)	Velocidad (m/s)
Litología	Brecha andalítica constituida por fragmentos angulosos y subredondeados de composición anesítica. Se presenta poco fracturada.					
Estructura general	Masiva, poco fracturada					
RQD	0 a 40%	1100 a 1200 m/s	0 a 20%	80 a 200 ohm-m	0 a 20%	510 a 700 m/s
Calidad RMR	0.07 a 0.15 Roca muy mala a extremadamente mala	0.07 a 0.15 Roca muy mala a extremadamente mala	4 a 5 Roca mala a regular	0.05 a 0.09 Roca muy mala a extremadamente mala	4 a 5 Roca mala a regular	0.05 a 0.09 Roca muy mala a extremadamente mala
Geosísmica	20 a 25 Roca mala a muy mala	20 a 25 Roca mala a muy mala	51 a 54 Roca regular a buena	51 a 54 Roca regular a buena	20 a 23 Roca mala a muy mala	20 a 23 Roca mala a muy mala
Geoelectrónica	< 80 ohm-m	< 80 ohm-m	41 a 43 Roca regular	41 a 43 Roca regular	80 a 200 ohm-m	80 a 200 ohm-m
Condición Geotécnica	D <sup>(-)</sup>	D <sup>(-)</sup>	C <sup>(-)</sup>	C <sup>(-)</sup>	D <sup>(-)</sup>	E
	Emporramiento	Emporramiento	Emporramiento	Emporramiento	Emporramiento	Emporramiento
	19.00	30.00	40.00	45.00	21.00	24.77
	14371.0	14390	14850	14880	14795	14819.77

**CONDICIONES GEOTÉCNICAS**

(Barton et al., 1974)

A: > 81 Roca muy buena

B: 61 a 80 Roca buena

C<sup>(+)</sup>: 51 a 60 Roca regular a buena

C<sup>(-)</sup>: 41 a 50 Roca regular a regular

D<sup>(+)</sup>: 31 a 40 Roca regular a regular

D<sup>(-)</sup>: 21 a 30 Roca mala a muy mala

E: < 20 Roca muy mala (emporramiento)

**CONDICIONES GEOTÉCNICAS**

(Barton et al., 1974)

A: Ancho puntual de fractura  $a \leq 1$  y  $L$  en  $\text{cm}$  y concreto lanzado con fibras de acero  $e = 5\text{cm}$  de  $f_c = 300\text{kg/cm}^2$  (ocasional)

B: Ancho puntual de fractura  $a = 1$  y  $L$  en  $\text{cm}$  y concreto lanzado con fibras de acero  $e = 5\text{cm}$  de  $f_c = 300\text{kg/cm}^2$

C<sup>(+)</sup>: Ancho de fractura  $a = 1$  y  $L$  en  $\text{cm}$  en patrón 2.5x2.5m al trabajar y concreto lanzado con fibras de acero  $e = 10\text{cm}$  de  $f_c = 300\text{kg/cm}^2$  y concreto lanzado con fibras de acero  $e = 10\text{cm}$  de  $f_c = 300\text{kg/cm}^2$

C<sup>(-)</sup>: Marcas metálicas  $\phi 1.5\text{m}$  con concreto lanzado con fibras de acero  $e = 15\text{cm}$  de  $f_c = 300\text{kg/cm}^2$

D<sup>(+)</sup>: Marcas metálicas  $\phi 1.0\text{m}$  con concreto lanzado con fibras de acero  $e = 20\text{cm}$  de  $f_c = 300\text{kg/cm}^2$

D<sup>(-)</sup>: Enfilaje con tubo de acero  $\phi 4"$  y  $L = 12.0\text{m}$ , a cada 0.4m.

E: Concreto lanzado con fibras  $e = 20\text{cm}$   $f_c = 500\text{kg/cm}^2$

**TABLA DE UNIDADES GEOELÉCTRICAS**

UNIDAD	RESISTENCIA (ohm-m)	ESESOR (m)	MATERIAL ASOCIADO
U1	< 80	2.0-5.1	Cobertura superficial de suelo
U2	> 200	1.0-8.5	Brecha andalítica, ignimbrita o material de talud suelto
U3	80-200	4.2-10.6	Ignimbrita
U4	< 80	Indefinido	Brecha andalítica

**TABLA DE UNIDADES GEOSÍSMICAS**

UNIDAD	VELOCIDAD (m/s)	ESESOR (m)	MATERIAL ASOCIADO
I	250-300	0.7-2.9	Suelo y/o material de talud muy suelto
II	510-700	3.6-15.8	Brecha andalítica o material de talud suelto
III	1100-1200	Indefinido	Brecha andalítica o ignimbrita compacta

**CUADRO DE REVISIONES Y/O MODIFICACIONES**

REV.	FECHA	REVISÓ	APROBÓ	DESCRIPCIÓN

**PROYECTO** **CONSTRUCION DE CARRETERAS**

**SECRETARIA DE ECONOMIA**

**SCT**

**SUBSECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA**

**DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS**

**SUBDIRECCION DE PROYECTO DE CARRETERAS**

**TUNEL I "LIBRAMIENTO SUR MORELIA"**

UBICACION: Km. 1+371.76 al Km. 1+819.77

CARRERA: LIBRAMIENTO SUR MORELIA

TRAMO: JESUS DEL MONTE - MORELIA

ORIGEN: JESUS DEL MONTE, MPIO. DE MORELIA, MICH.

PLANO: PLANTA Y PERFIL GEOTECNICO

ESCALA: 1:750

ARCHIVO: 06-06-06-06-06

CONTRATO: 2011-1-35-A-03-1-0-11

MEXICO D.F., JULIO DE 2011

PLANO 06

**PROYECTO DE ESTUDIOS Y PROYECTOS**

**DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS Y PROYECTOS**

**ING. LUIS ALBERTO UZÁ GÓMEZ**  
DIRECTOR REGIONAL DE PROYECTOS

**ING. JOSÉ MARÍA FERRERES CASTILLO**  
ING. JOSÉ MARÍA FERRERES CASTILLO

**ING. FERRERES CASTILLO**

## II.1.-Secciones transversales al interior del túnel y túneles falsos.

La sección transversal en tangente del Portal Jesús del Monte en el interior del Túnel. Está compuesta por 12 m de ancho de corona, dividida en 3 carriles de 3.5 m dos de manera ascendente y uno descendente con acotamientos de 0.75 m en los extremos, con un bombeo de 2 %, y zapatas de 1.60 m de longitud en cada extremo.

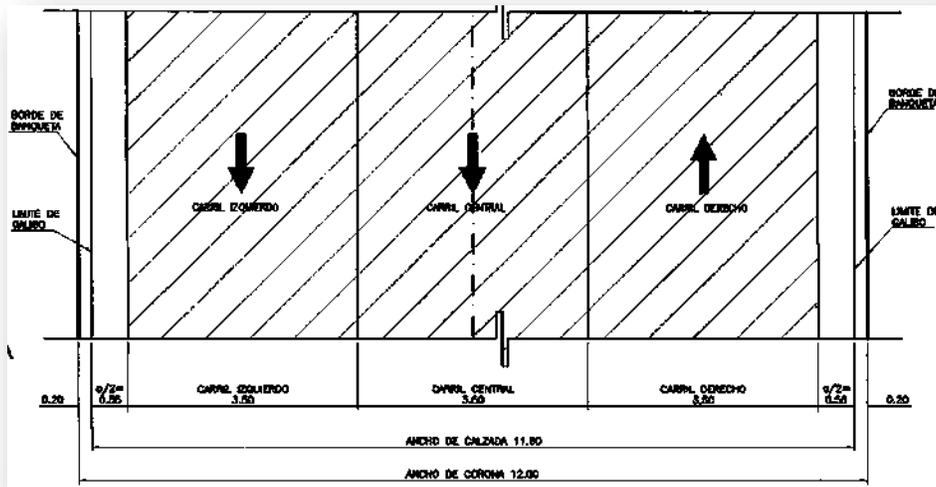


Figura 12.- .Planta de Distribución de Corona. Fuente (Proyecto Ejecutivo).

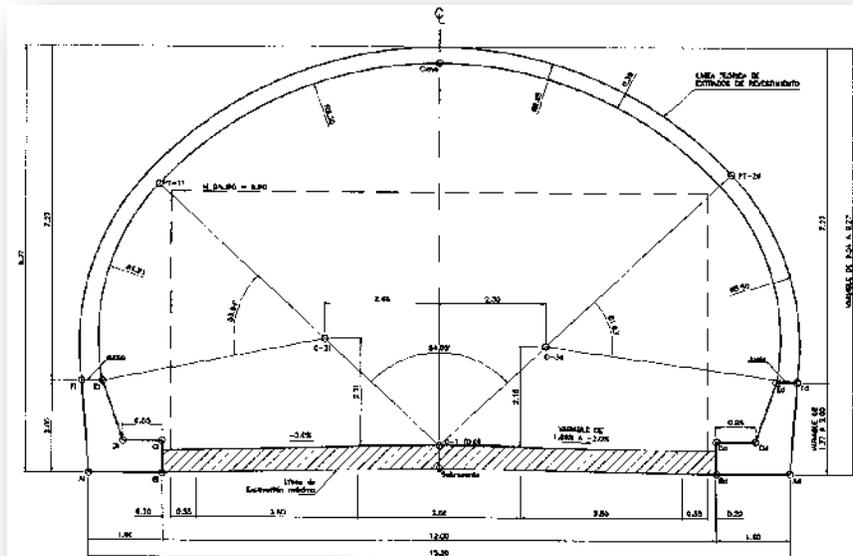


Figura.13.- .Sección Transversal del Interior del Túnel. Fuente (Proyecto Ejecutivo).

La sección transversal en los túneles falsos cuenta con un ancho de corona igual al del interior del túnel.

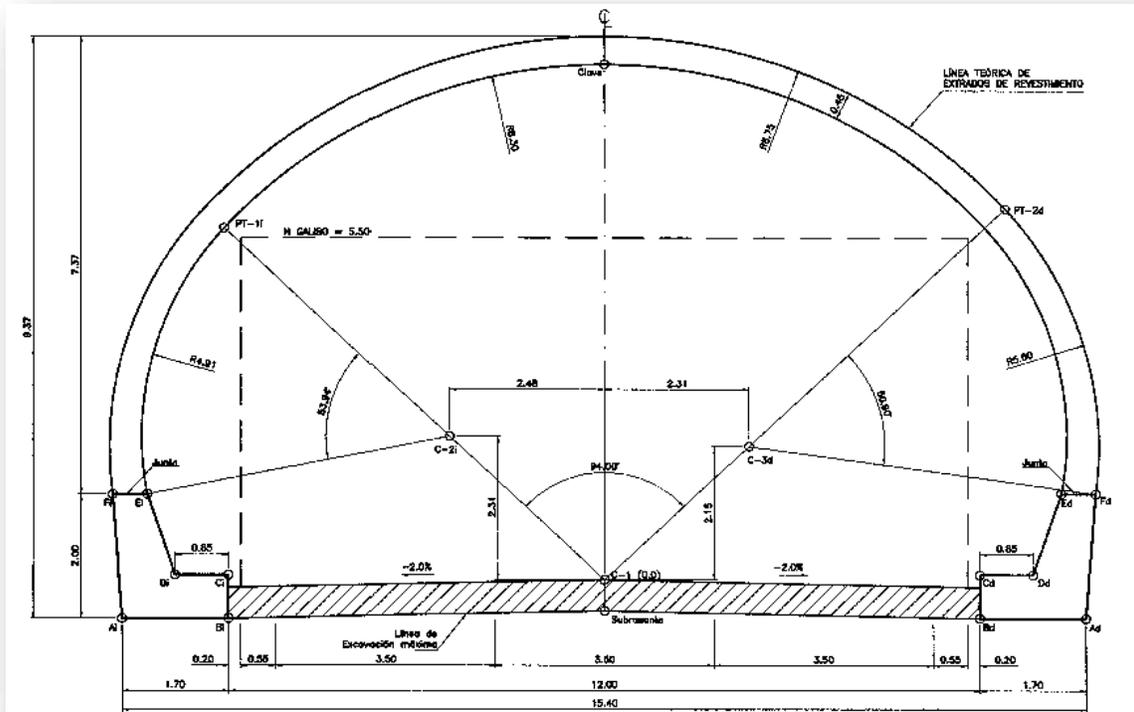


Figura 14.- Sección Transversal Túnel Falso. Fuente (Proyecto Ejecutivo).

Como lo establece el proyecto las Zapatas interiores miden 1.60 m de base y 1.88 m de altura.

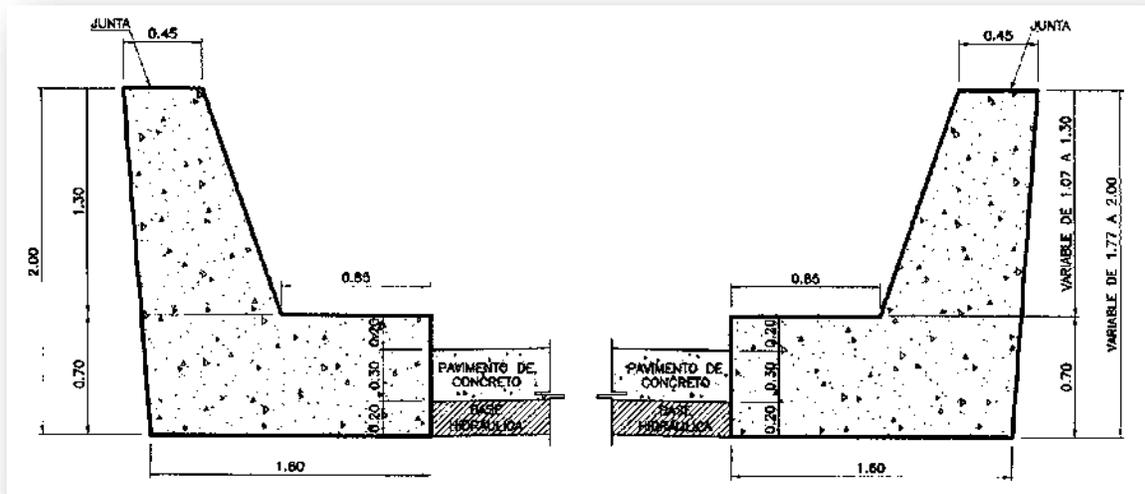


Figura 15.- Zapata Interior de Túnel. Fuente (Proyecto Ejecutivo).

Como lo indica el proyecto las zapatas del túnel falso miden 1.70 m de base y 1.88 m de altura.

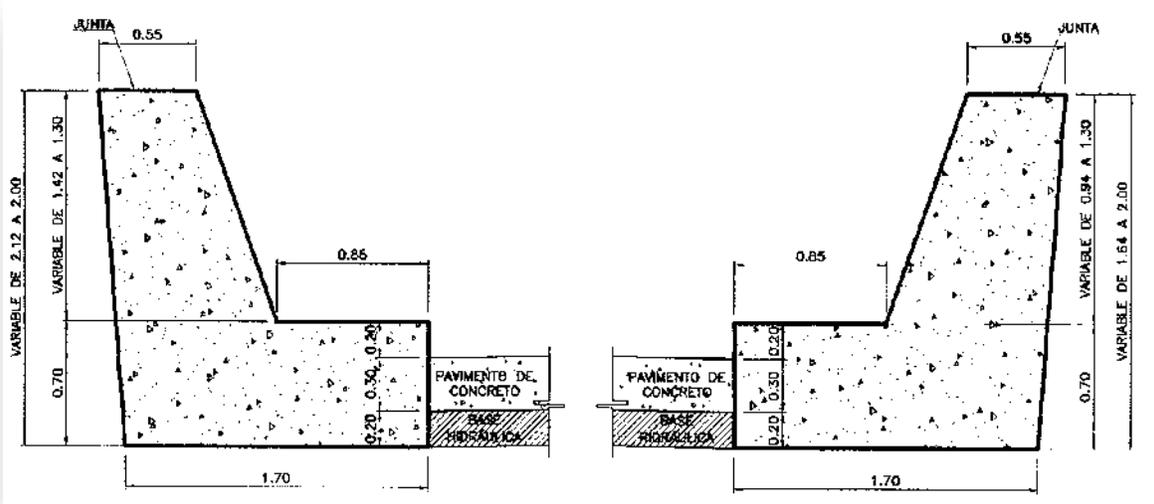


Figura 16.- Zapata en Túnel Falso. Fuente (Proyecto Ejecutivo).

# CAPITULO III.- PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS UTILIZADOS EN EL TÚNEL I DEL RAMAL CAMELINAS DEL LIBRAMINETO SUR DE MORELIA.

## III.1.-TAJOS DE ACCESO

Los tajos de acceso, son los cortes de taludes frontales y laterales que permiten llegar hasta el punto donde se dará inicio a la excavación, conformados por sus diferentes etapas de estabilización de acuerdo a lo establecido en el proyecto ejecutivo.

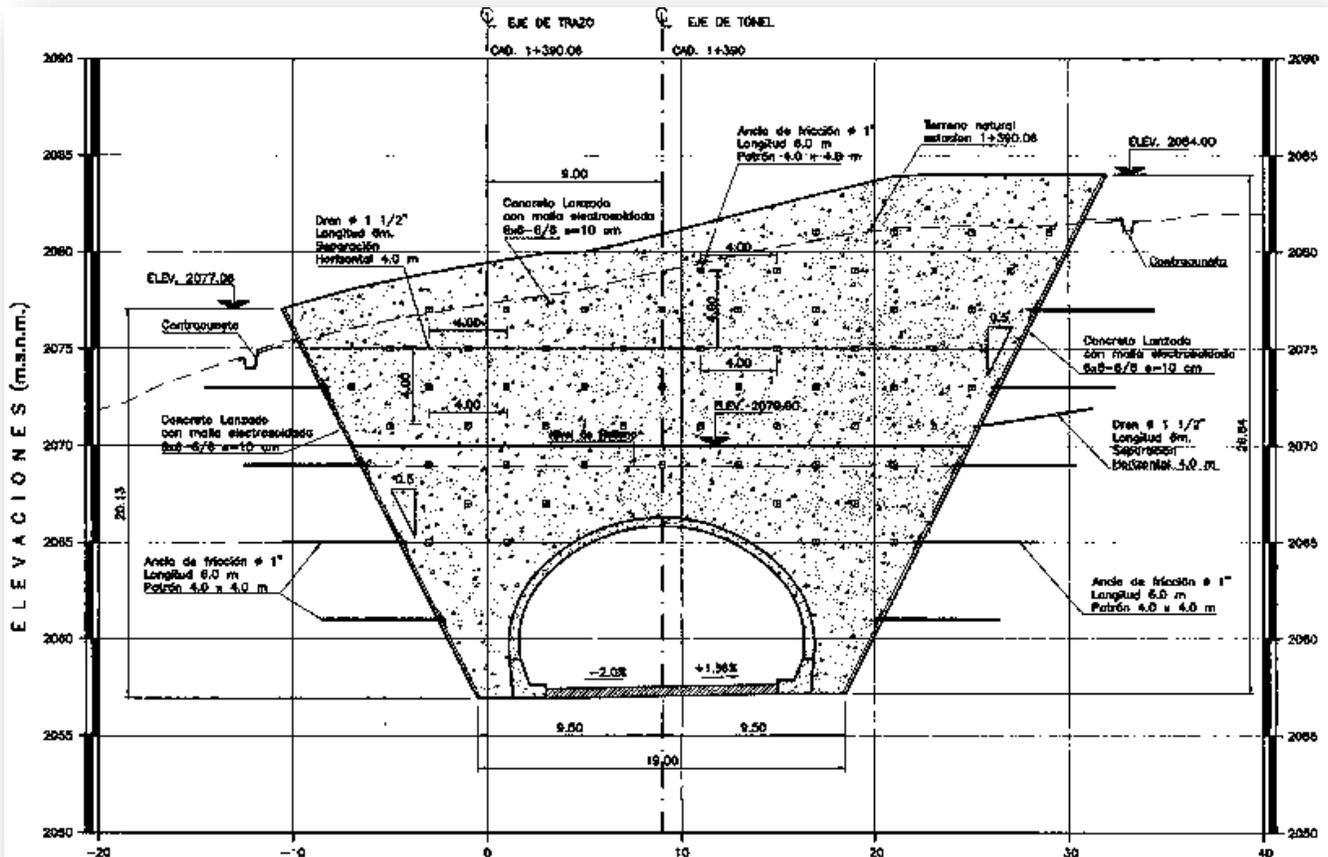


Figura 1.- Esquema de Portal Jesús Del Monte. Fuente (Proyecto Ejecutivo).



Figura 2.- Portal Jesús de Monte terminado.

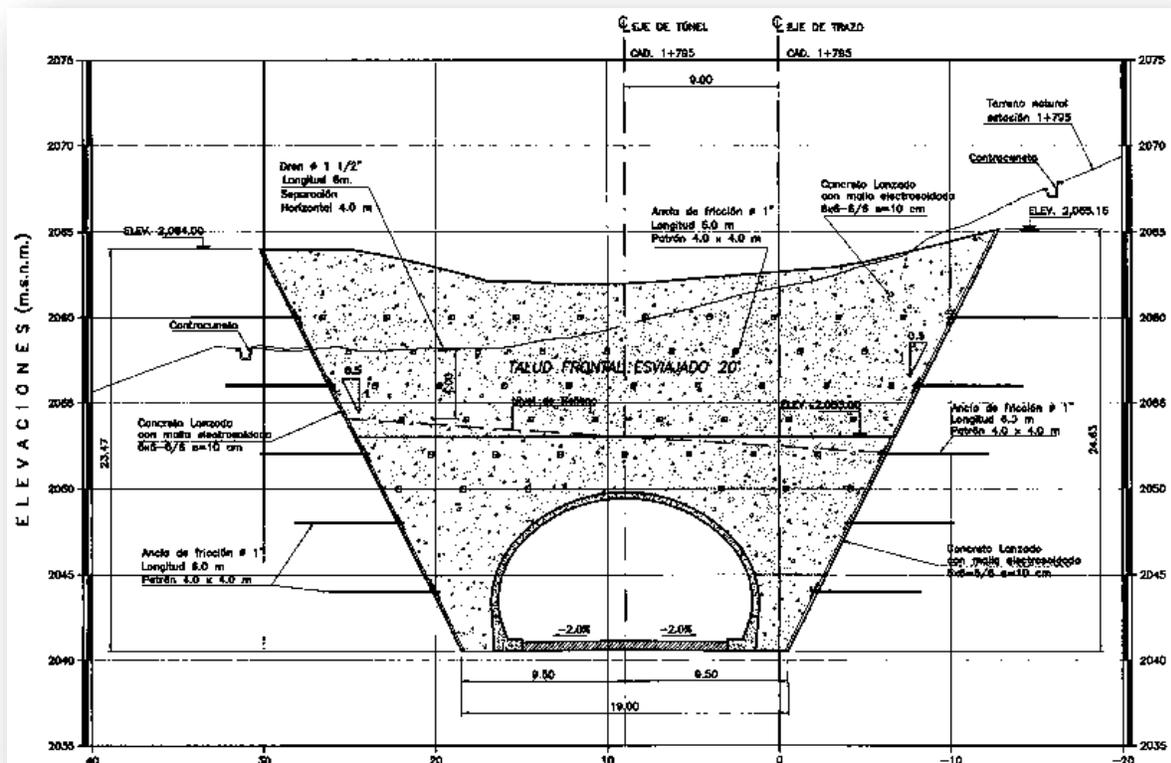


Figura 3.- Esquema de Portal Morelia. Fuente (Proyecto Ejecutivo).



Figura 4.- Portal Morelia terminado.

### III.1.1.- EXCAVACIÓN

La excavación se llevó a cabo de acuerdo al siguiente orden:

- 1.- Conforme a lo establecido en el proyecto se obtienen dos puntos de referencia tomados de los planos topográficos, los cuales se introducen en la estación total, un punto fue ubicado cerca del Office Depot y el segundo sobre la montaña donde se construyó el túnel.
- 2.- Se corren puntos auxiliares donde se inicia el corte del talud (ceros de corte), y otros puntos donde termina el corte (donde patea el talud).
- 3.- Desde los puntos establecidos en el paso no.2 se inicia la excavación utilizando una máquina excavadora con un talud de 0.5: 1.
- 4.- Se indica donde se inicia a bajar el talud en de 5 m en promedio, al término de cada corte topografía verifica que se hayan respetado correctamente las dimensiones establecidas.

Tabla 1.- Equipo de Seguridad.

EQUIPO DE SEGURIDAD
EQUIPO
Casco
Botas
Chaleco
Arnés
Cuerda de Vida

Tabla 2.- Equipo Topográfico.

EQUIPO TOPOGRÁFICO	
EQUIPO	MARCA O MODELO
Estación Total	Leica TS02
Tripie	Leica
Prisma	Leica

Tabla 3.- Maquinaria.

MAQUINARIA	
EQUIPO	MODELO O MARCA
Excavadora Hyundai	210 LC-7
Camiones Volteo	Mercedes Benz

Tabla 4.- Mano de Obra.

MANO DE OBRA
CATEGORIA
Topógrafo
Ayudante de Topógrafo
Operador de Excavadora
Operador de Camión Volteo
Cabo



Figura 5.- Inicio de taludes de corte.

### III.1.2.-MALLA ELECTROSOLDADA

Posteriormente a cada corte se procede a colocar la malla electrosoldada de 6x6 6/6, la cual se colocó mediante el siguiente procedimiento:

- 1.- Lanzado primario de concreto  $f'c$  200  $kg/cm^2$  de 3 cm de espesor.
- 2.- Colocación de varillas de 1 pulgada, en la parte superior del talud separadas a 1 m de distancia, enterradas a 50 cm.
- 3.- Tendido de malla desde la parte superior hasta la parte inferior, con un traslape de 40 cm, el rollo de malla mide 2.40 m de ancho por 30 de longitud, generando un avance de 4 m por tendido.
- 4.- Tensado de malla mediante crucetas colocadas a 1 m de altura por un metro de desplazamiento (tres bolillo), clavadas a una profundidad de 40 cm del talud quedando con un escantillón de 10 cm.

Tabla 5. Equipo de Seguridad.

EQUIPO DE SEGURIDAD
EQUIPO
Casco
Botas
Chaleco
Arnés
Cuerda de Vida

Tabla 6.- Materiales.

MATERIALES	
MATERIAL	ESPECIFICACIÓN
Malla Eléctrosoldada	6x6 6/6, e 10 mm
Concreto	$f'c$ 200
Varilla Corrugada	1 y 3/8 de pulgada

Tabla 7. Mano de Obra.

MANO DE OBRA
CATEGORIA
Cabo
Ayudantes



Figura 6.- Tendido y colocación de malla electrosoldada.

### III.1.3.- APLICACIÓN DE CONCRETO LANZADO.

Una vez colocada la malla se le lanza concreto con un  $f'c$  de 200 Kg/cm<sup>2</sup> para estabilizar dicho talud, de acuerdo al siguiente procedimiento:

- 1.- Instalación de sistema de lanzado Putzmeister o La Cifa.
- 2.- Verificación de cumplimiento con el revenimiento establecido.
- 3.- Vaciado de concreto de la olla al sistema de lanzado el cual trabaja entre 1200 y 1800 rpm.
- 4.- Lanzado de concreto en dos capas de 5 cm hasta cubrir los 10 cm de espesor limitados por el escantillón e indicados por el proyecto.

Tabla 8.-Equipo de Seguridad.

EQUIPO DE SEGURIDAD
EQUIPO
Casco
Botas
Chaleco

Tabla 9.- Maquinaria.

MAQUINARIA	
EQUIPO	MODELO O MARCA
Lanzadora de Concreto	Cifa Putzmeister
Excavadora Hyundai	210 LC-7

Tabla 10.- Mano de Obra.

MANO DE OBRA
CATEGORIA
Operador de Cifa
Operador de Excavadora
Operador de Putzmeister
Cabo
Ayudantes

Tabla 11.- Materiales.

MATERIALES	
MATERIAL	ESPECIFICACIÓN
Concreto	$f'c$ 200
Varilla Corrugada	3/8 de pulgada



Figura 7.- Concreto lanzado aplicado manualmente.



Figura 8.- Concreto lanzado aplicado con Cifa.

### III.1.4.- ANCLAJE

El procedimiento de la colocación de anclas se hizo de conforme a las siguientes actividades:

- 1.- Marcaje de ubicación de anclas por parte de la topografía.
- 2.- Sujeción mediante alambre recocido del tubo de inyección a la varilla de 1 pulgada.
- 3.- Se suelda en un extremo un pedazo de varilla roscada de 10 cm.
- 4.- Barrenación de 3" con jumbo DT 820.
- 5.- Inyección con un mortero compuesto por 600 gr de Disperpak, un bulto de cemento, 12 kg de arena, 26 litros de agua.
- 6.- Colado del dado donde se colocará la placa.
- 7.- Colocación de placa metálica de 8" x 8" x 1/2".
- 8.- Fijación del ancla con rondana y tuerca.

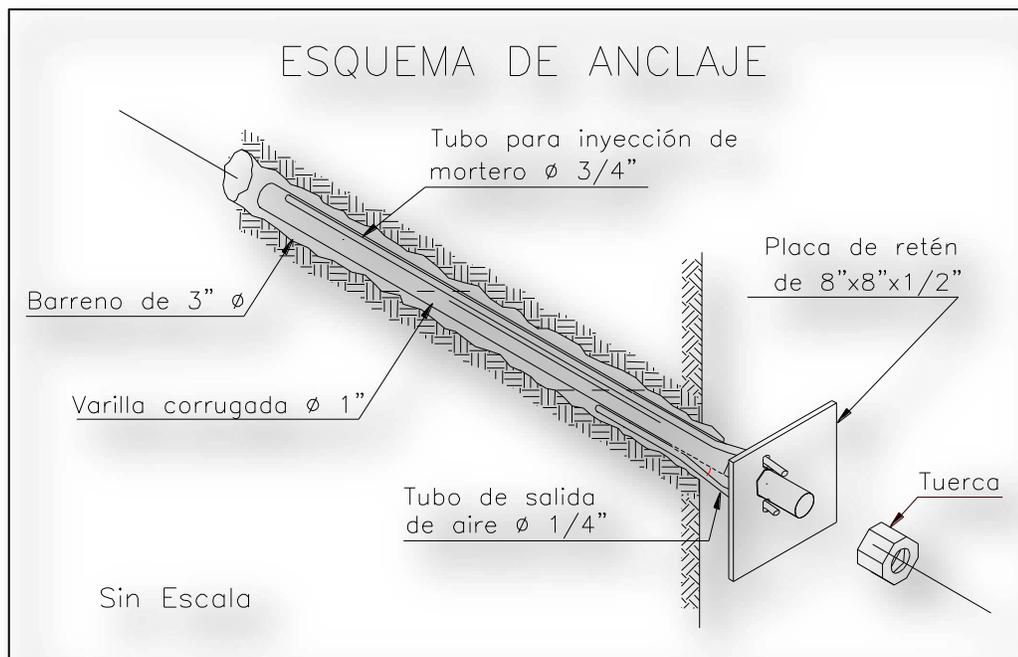


Figura 9.- Esquema de anclaje. Fuente (proyecto ejecutivo).



Figura.-10 Colocación de anclas de fricción.

Tabla 12.- Equipo de Seguridad.

EQUIPO DE SEGURIDAD	
EQUIPO	
Casco	
Botas	
Chaleco	

Tabla 13.- Equipo Topográfico.

EQUIPO TOPOGRÁFICO	
EQUIPO	MARCA O MODELO
Estación Total	Leica TSO2
Tripie	Leica
Prisma	Leica

Tabla 15.- Mano de Obra.

MANO DE OBRA	
CATEGORIA	
Operador de Manipulador	
Operador de Jumbo de Barrenación	
Operador de Hany	
Topógrafo	
Ayudante de Topógrafo	
Cabo	
Albañil	
Ayudantes	

Tabla 14.- Maquinaria.

MAQUINARIA	
EQUIPO	MODELO O MARCA
Manipulador	TL 943
Jumbo de Barrenación	Sandvick DT 820
Hany	ZMP 700/120

Tabla 16.-Materiales.

MATERIALES	
MATERIAL	ESPECIFICACIÓN
Alambre	Recocido no. 20
Varilla roscada	1 1/8 de pulgada
Tubo de Inyección	Polietileno
Disperpak	en polvo
Cemento	Gris
Arena	Fina
Soldadura	e-7018
Madera	3 ra
Rondana	Plana
Tuercas	1 1/8 de pulgada

### III.1.5.- DRENES.

- 1.- Marcaje donde se ubicará el dren por parte de Topografía.
- 2.- Perforación del tubo de PVC de 1 1/2" a cada 7.5 cm.
- 3.- Se enrolla en geotextil.
- 4.- Barrenación con jumbo DT 820.
- 5.- Colocación de dren con manipulador.
- 6.- Calafateo de dren o fijado de dren.

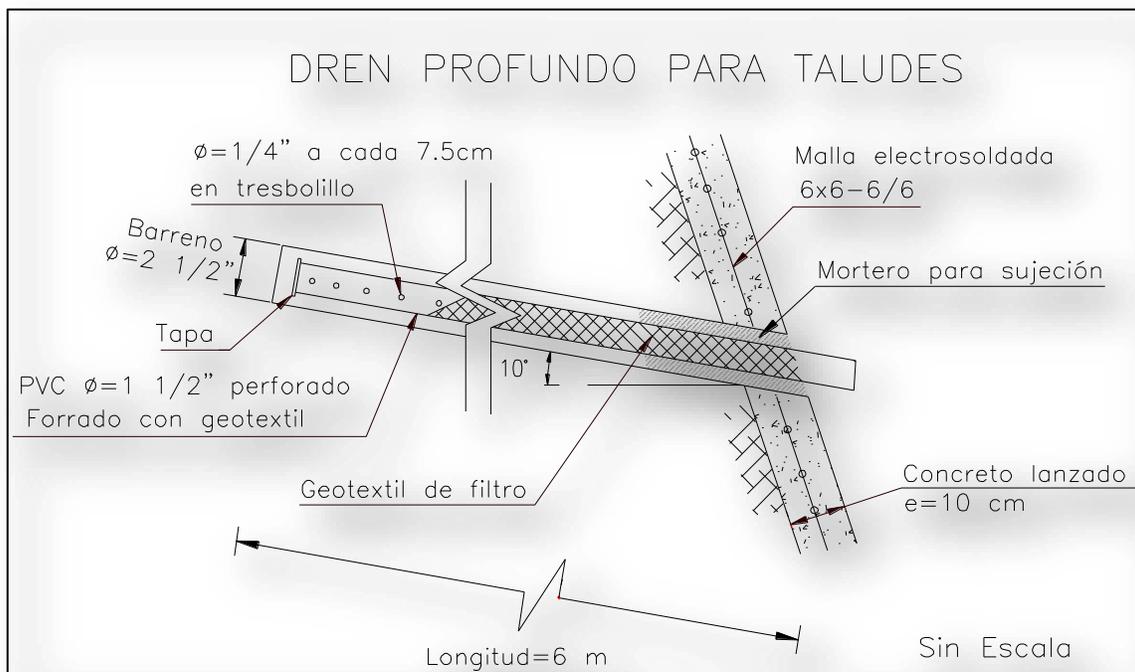


Figura 11.- Esquema de drenes. Fuente (Proyecto Ejecutivo).



Figura 12.- Colocación de dren.

Tabla 17.- Equipo de Seguridad.

EQUIPO DE SEGURIDAD	
EQUIPO	
Casco	
Botas	
Chaleco	

Tabla 18. Equipo Topográfico.

EQUIPO TOPOGRÁFICO	
EQUIPO	MARCA O MODELO
Estación Total	Leica TS02
Tripie	Leica
Prisma	Leica

Tabla 19.- Mano de Obra.

MANO DE OBRA	
CATEGORIA	
Operador de Manipulador	
Operador de Jumbo de Barrenación	
Topógrafo	
Ayudante de Topógrafo	
Cabo	
Ayudantes	

Tabla 20.- Maquinaria.

MAQUINARIA	
MATERIAL	MARCA
Cuchara	Truper

Tabla 21.- Materiales.

MATERIALES	
MATERIAL	CANTIDAD
Alambre	Recocido no. 20
Cemento	Gris
Arena	Fina
Mortero	Plana
Varilla Corrugada	1 1/8 de pulgada

### III.1.6.- CONTRACUNETAS Y LAVADEROS.

#### CONTRACUNETA

- 1.- Topografía ubica los ceros de corte una vez bajados los taludes e indica a que distancia de los hombros del talud se excavará.
- 2.- Se excavan 80 cm en la parte superior y en la parte inferior 60 cm, debido a que se debe dejar 10 cm a los costados para el armado. El dimensionamiento de la contracuneta terminada es 60x40 cm
- 3.- Armado con varilla de 3/8".
- 4.- Cimbra con madera.
- 5.- Colado con concreto  $f'c$  200 kg/cm<sup>2</sup>.

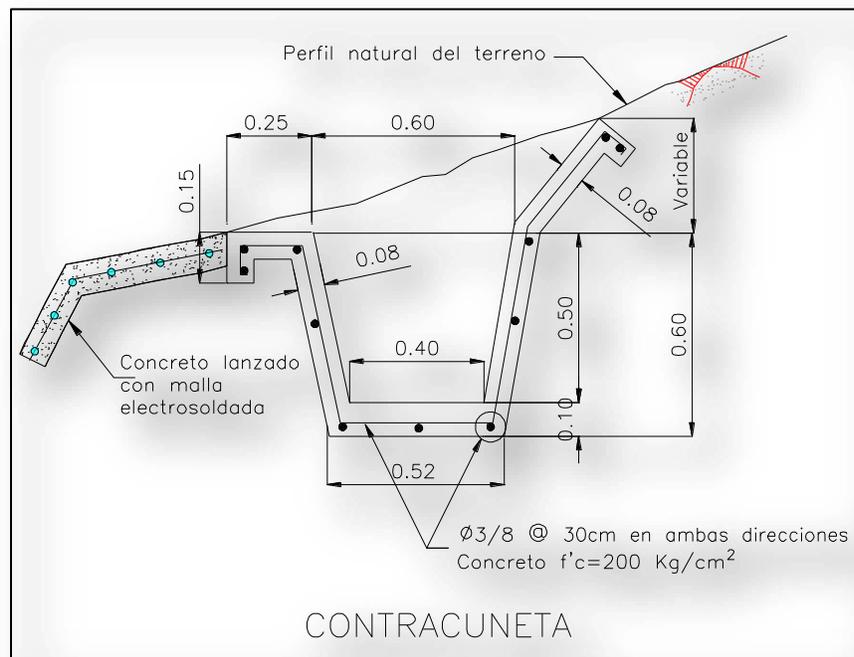


Figura 13.-Esquema de Contracuneta. . Fuente (Proyecto Ejecutivo).



Figura 14.- Armado de Contracuneta



Figura 15.- Contracuneta Terminada.



Figura 16.- Armado, cimbra y colado de Contracuneta.

Tabla 22.- Equipo de Seguridad. .

EQUIPO DE SEGURIDAD	
EQUIPO	
Casco	
Botas	
Chaleco	

Tabla 23.- Equipo Topográfico.

EQUIPO TOPOGRÁFICO	
EQUIPO	MARCA O MODELO
Estación Total	Leica TS02
Tripie	Leica
Prisma	Leica

Tabla 24.- Maquinaria.

MAQUINARIA	
EQUIPO	MODELO O MARCA
Lanzadora de Concreto	Cifa Putzmeister

Tabla 25.- Mano de Obra.

MANO DE OBRA
CATEGORIA
Topógrafo
Ayudante de Topógrafo
Operador de Putzmeister
Cabo
Albañil
Peones

Tabla 26.-Materiales.

MATERIALES	
MATERIAL	ESPECIFICACIÓN
Alambre	Recocido no. 20
Varilla Corrugada	3/8 de pulgada
Madera	3 ra
Concreto	f'c 200 kg/cm <sup>2</sup>
Clavos	2 pulgadas

## LAVADEROS

Para la elaboración de los lavaderos se siguieron las siguientes actividades:

1.- Se excavaron 60 cm en la parte donde termina la contracuneta y en la parte de salida del lavadero 1.30 cm, debido a que se debe dejar 10 cm a los costados para la cimbra. El dimensionamiento del lavadero terminado es 40 cm x 1.10 m.

2.- Cimbra con madera.

2.- Colado con concreto con un  $f'c$  de 150 kg/cm<sup>2</sup>.

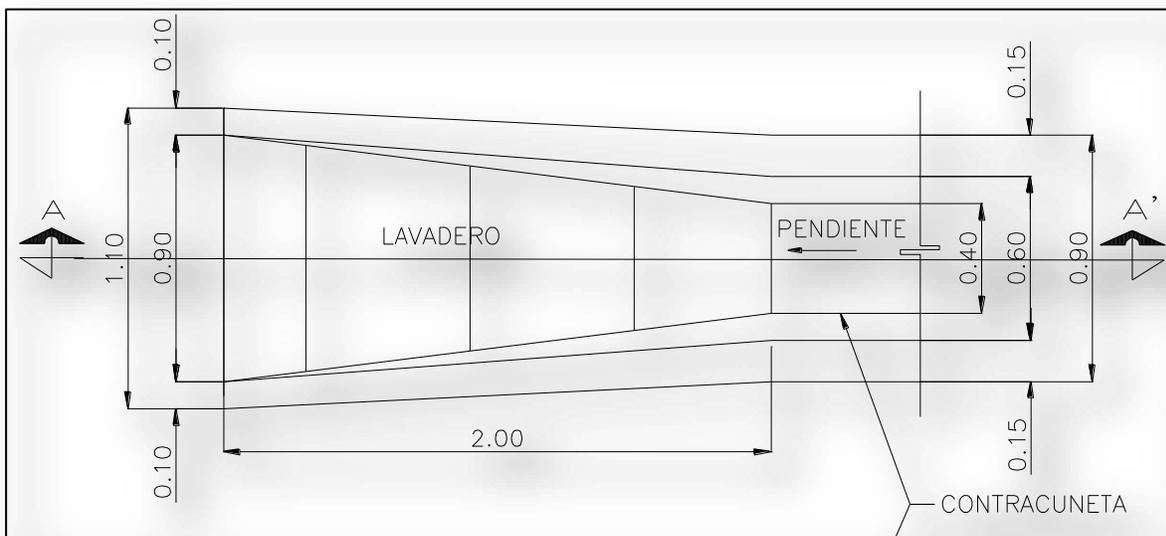


Figura 17.- Lavadero de Contracuneta. . Fuente (Proyecto Ejecutivo).



Figura 18.- Lavadero Terminado.

Tabla 27.- Equipo de Seguridad.

EQUIPO DE SEGURIDAD
EQUIPO
Casco
Botas
Chaleco

Tabla 28.- Equipo Topográfico.

EQUIPO TOPOGRÁFICO	
EQUIPO	MARCA O MODELO
Estación Total	Leica TS02
Tripie	Leica
Prisma	Leica

Tabla 29.- Mano de Obra.

MANO DE OBRA
CATEGORIA
Topógrafo
Ayudante de Topógrafo
Operador de Putzmeister
Cabo
Albañil
Peones

Tabla 30.- Materiales.

MATERIALES	
MATERIAL	CANTIDAD
Alambre	Recocido no. 20
Madera	3 ra
Concreto	150 kg/cm <sup>2</sup>
Clavos	2 pulgadas

Tabla 31.- Maquinaria.

MAQUINARIA	
EQUIPO	MODELO O MARCA
Lanzadora de Concreto	. Putzmeister

## III.2.-EXCAVACIÓN DEL TUNEL

De acuerdo a lo establecido en el proyecto el método de excavación elegido por las condiciones de terreno fue el nuevo método austriaco el cual se describirá en cada etapa de la excavación.

### III.2.1.- CONDICION GEOTECNICA E

De acuerdo al proyecto se determinaron dos líneas lo que son la A y B, la línea A es en donde se inicia la excavación y la línea B donde termina cada etapa del sostenimiento primario de acuerdo a la condición Geotécnica E. En esta condición Geotécnica E los tubos de enfilaje van a 40 cm uno del otro, además de un ancho de excavación de 16.22 m.

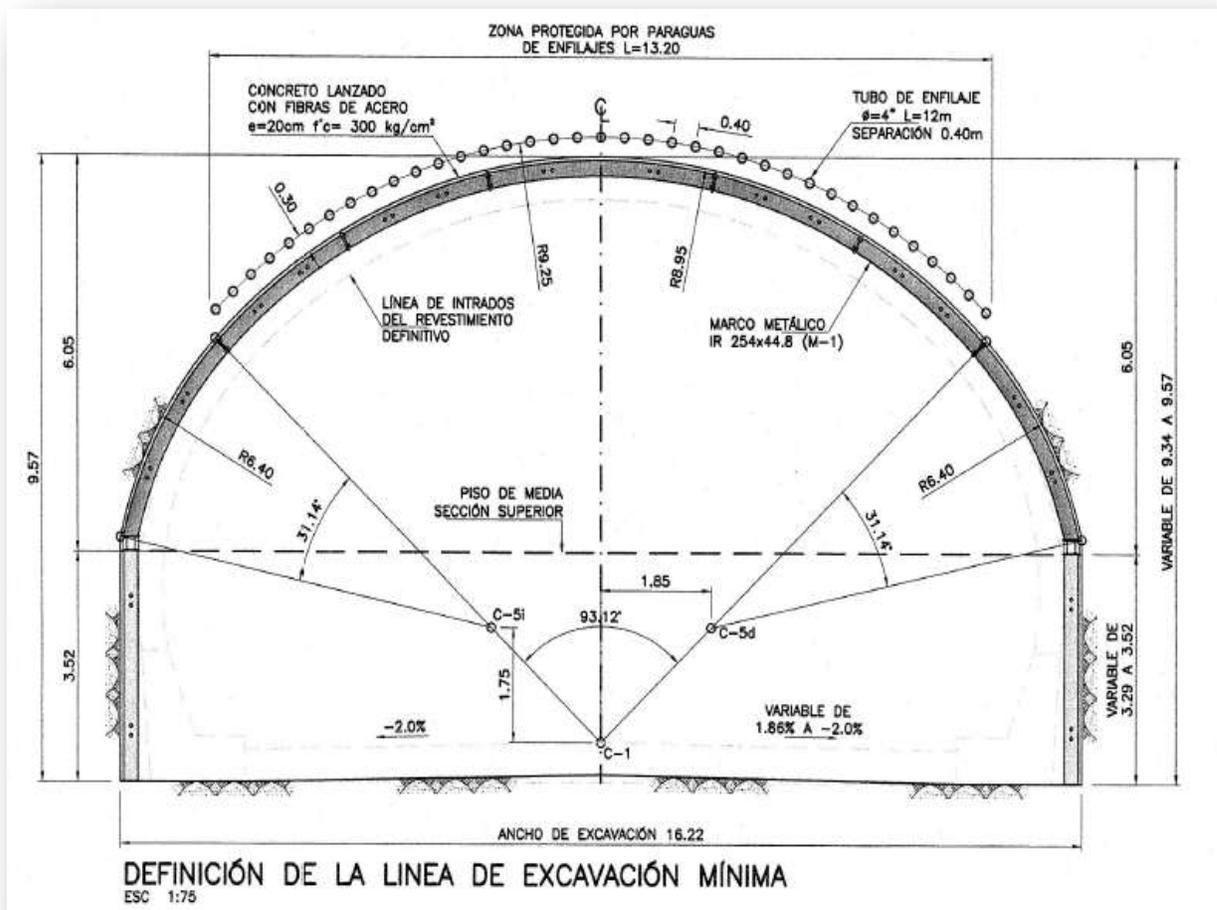


Figura 1.- Línea de excavación. Fuente (Proyecto Ejecutivo).

## PRIMER ETAPA.

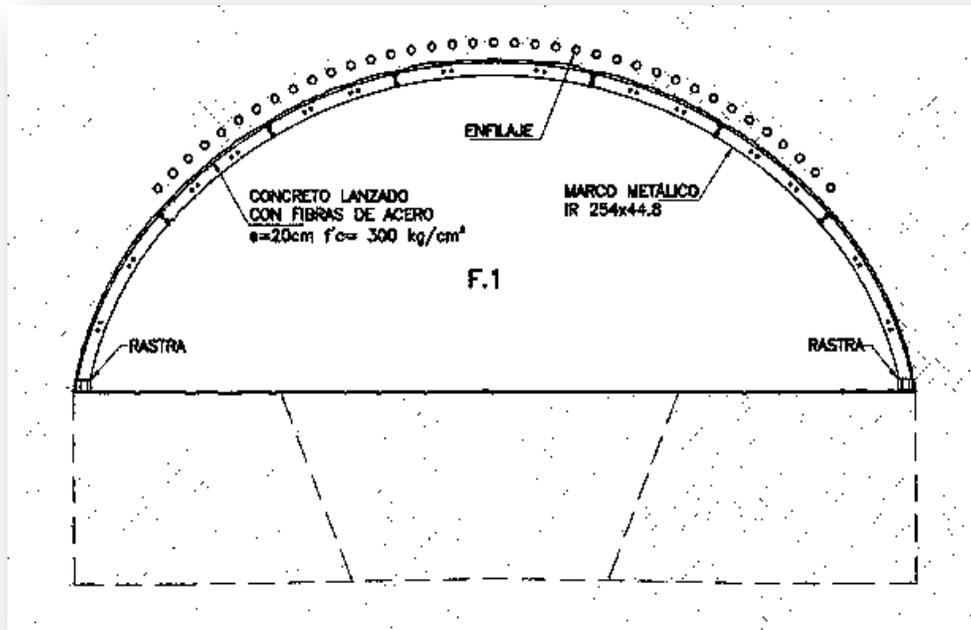


Figura 2.- Colocación de tubos de enfilaje. Fuente (Proyecto Ejecutivo).

### 1.-Colocación e inyectado de 37 tubos de enfilaje.



Figura 3.- Colocación de tubo de enfilaje.

2.- Avance de 2.0m de la media sección superior completa.

3.- Amacice de la roca en el tramo de avance.

4.- Colocación de una capa de 5 cm de concreto lanzado con fibras de acero en la superficie.



Figura 4.- Amacice de roca y colocación de capa de 5 cm de concreto lanzado y excavación completa en media sección superior.

5.-Fijación de rastras y de los segmentos de los marcos metálicos a 1 m.

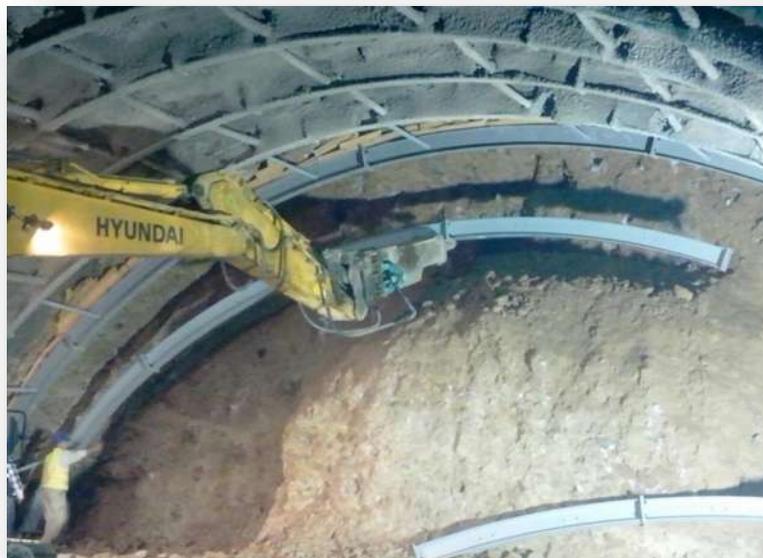


Figura 5.- Colocación de marcos metálicos.

6.- Colocación y ajuste de tubos separadores y tensores de varilla.

7.-Colocación de 15 cm de concreto lanzado con fibra de acero  $f'c=300 \text{ kg/cm}^2$  en toda la bóveda cubriendo parte del marco.

8.- Repetir el procedimiento a partir del paso no.2 hasta completar el ciclo de enfilaje de 9.0 m cada ciclo contempla 10 marcos metálicos a cada 1.0 m (M-1 al M-10) La longitud de los tubos de enfilaje es de 12 m, Por lo que se tendrá un traslape de 3.0 m con el siguiente ciclo de enfilaje.

9.- Relleno con 10 cm de espesor de concreto lanzado  $f'c=200 \text{ kg/cm}^2$  sin fibras, cubriendo completamente los marcos metálicos y el espacio entre ellos (ver detalle de colocación de concreto).



Figura 6.- Rellenado completo de concreto lanzado media Sección Superior.

## SEGUNDA ETAPA BANQUEO DEL NÚCLEO CENTRAL.

1.- Excavación del núcleo central del banqueo fase 2, (hasta 20 m atrás del frente 1, o menos si las deformaciones medidas en la media sección superior indican una clara tendencia a la estabilización).

2.- Si así conviene al contratista, el banqueo podrá iniciarse hasta concluir la excavación de la media sección superior a lo largo de todo el túnel.

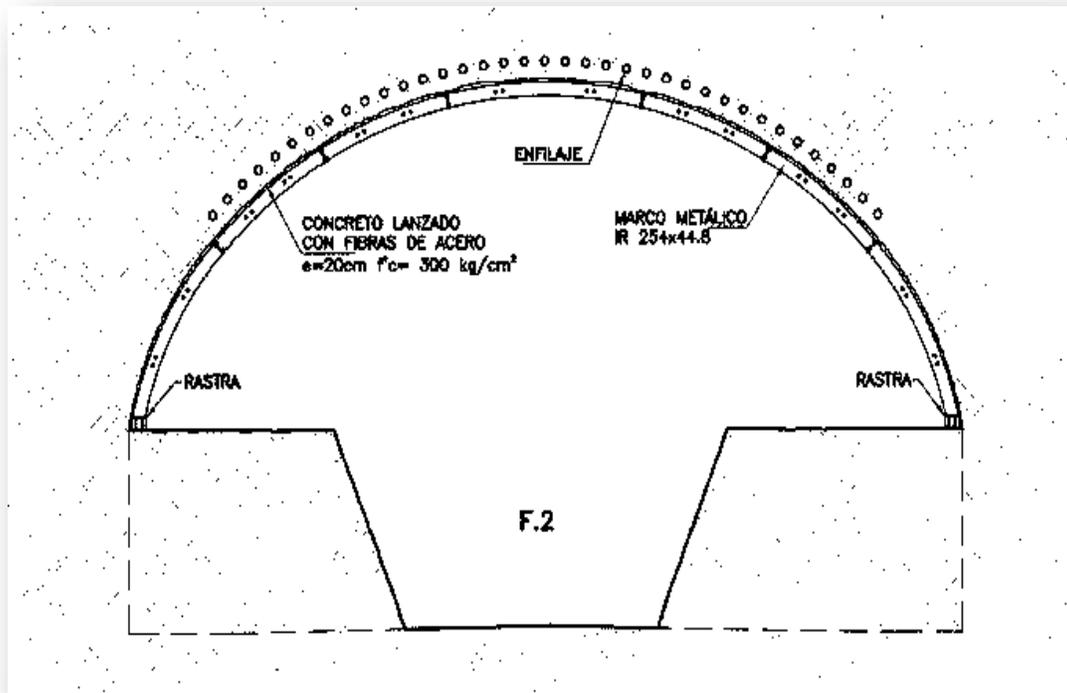


Figura 7.- Banqueo Central. Fuente (Proyecto Ejecutivo).



Figura 8.- Banqueo Central.

## TERCERA ETAPA BANQUEO DE LOS NÚCLEOS LATERALES

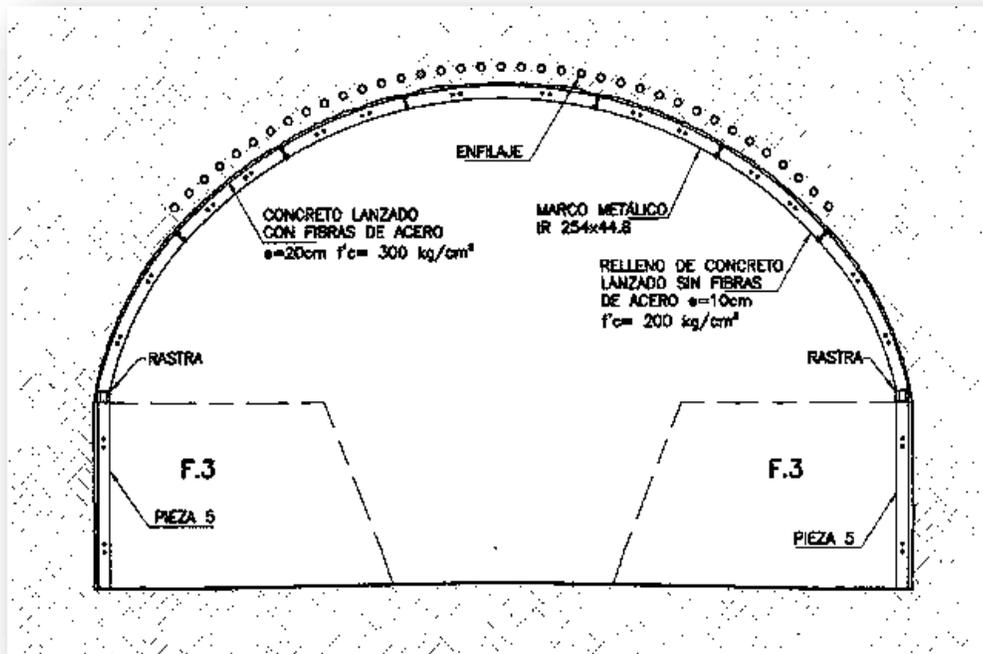


Figura 9.- Excavación de núcleos laterales Fuente (Proyecto Ejecutivo).

1.- Excavación de los núcleos izquierdo y derecho, la cual se efectuará de manera simultánea.



Figura 10.- Excavación de núcleos laterales

2.- Colocación de 5 cm. De concreto lanzado con fibras de acero  $f'c=300 \text{ kg/cm}^2$  en la zona expuesta de los hastiales.

3.- Colocación y fijación de la pieza 5 del marco (patas).



Figura 11.- Colocación de patas.

4.- Colocación de tubos separadores y tensores de varilla entre segmentos de marcos.

5.- Colocación de 15 cm. De concreto lanzado con fibras de acero  $f'c=300 \text{ kg/cm}^2$  cubriendo parte de la pieza 5 (patas).



Figura 12.- Lanzado de concreto en patas.

6.- Relleno con 10 cm de concreto lanzado  $f'c=200 \text{ kg/cm}^2$  sin fibras, cubriendo completamente los marcos metálicos y el espacio entre ellos.



Figura 13.- Relleno completo de concreto lanzado en marcos y patas metálicas..

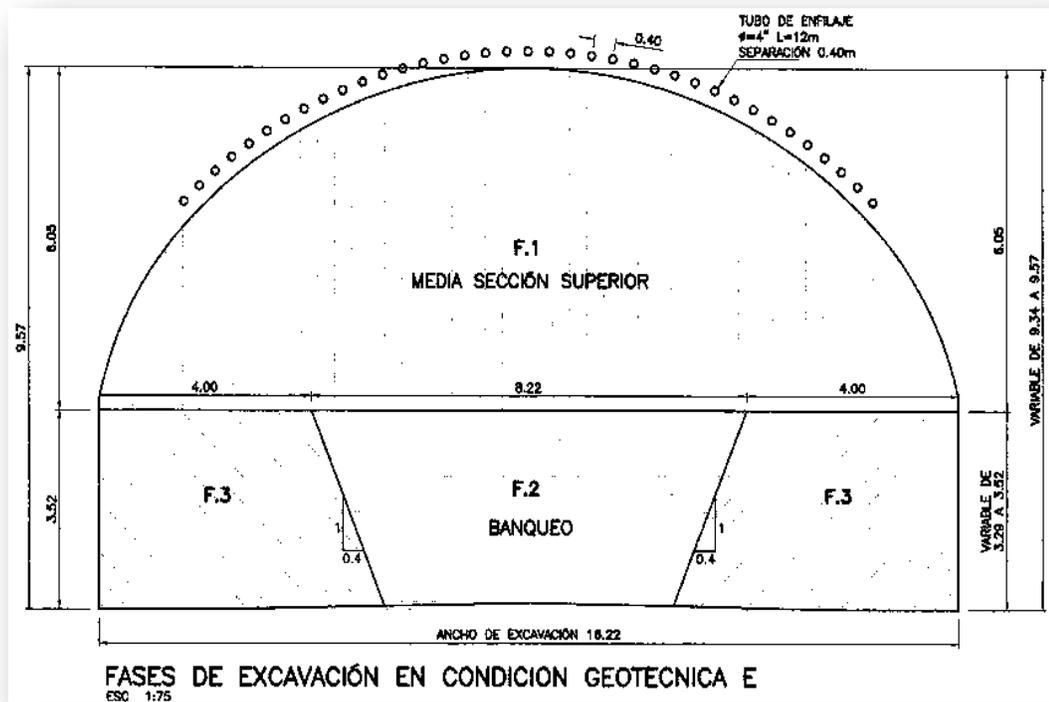


Imagen14.- Fases de la excavación. Fuente (Proyecto Ejecutivo).



Figura 15.- Condición geotécnica E completamente terminada.

Tabla 32.- Equipo de Seguridad.

EQUIPO DE SEGURIDAD
EQUIPO
Casco
Botas
Chaleco
Arnés
Cuerda de Vida
Careta
Guantes
Lentes
Tapones para Ruido

Tabla 33.- Mano de Obra.

MANO DE OBRA
CATEGORIA
Topógrafo
Ayudante de Topógrafo
Sobrestante
Oficial Maniobro
Cabo
Electricista
Operador de Excavadora
Operador de Camión Volteo
Operador de Manipulador
Operador de Jumbo de Barrenación
Operador de Cargador Frontal
Operador de Hormigonera
Oficial Inyectista
Orquestero
Soldador
Albañil
Carpintero
peón

Tabla 34.- Equipo Topográfico.

EQUIPO TOPOGRÁFICO	
EQUIPO	MARCA O MODELO
Estación Total	Leica TS02
Tripie	Leica
Prisma	Leica

Tabla 35.- Maquinaria.

MAQUINARIA	
EQUIPO	MODELO O MARCA
Lanzadora de Concreto	Cifa Putzmeister
Excavadora Hyundai	210 LC-7
Cargador frontal	Cat 950 F
Camion Volteo	Mercedes Benz
Jumbo de Barrenación	Sandvick DT 820
Auto Hormigonera	Pitzini
Hany	ZMP 700/120
Manipulador	TL 943
Planta de Soldar	Lincoln Electric Vontage
Compresor	300 Sullar
Generador de Energia	Be solutions 100 kw

## ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES

### MARCO METÁLICO

1.- El acero cumplirá con las siguientes especificaciones:

- Acero grado a-572-50 con  $f_y=3515\text{kg/cm}^2$ .
- Placas de acero grado a-36 con  $f_y=2530\text{ kg/cm}^2$

2.- Para las conexiones soldadas se usarán electrodos de la serie e-7018 para fondeos se utilizarán electrodos e-6013.

3.- Para las conexiones atornilladas se utilizarán tuercas de alta resistencia tipo 2h.

4.- Para las conexiones atornilladas se utilizarán tornillos de alta resistencia  $\emptyset 1"$  a-325, y deberán apretarse hasta asegurar en ellos un torque de 700 lb-ft.

### TENSORES

- Tensor de varilla lisa  $\emptyset=5/8"$  acero a-36
- $f_y= 2530\text{ kg/cm}^2$ .

### TUBO SEPARADOR

- Tubo de acero a-53b con  $f_y = 2430\text{ kg/cm}^2$
- Diámetro nominal  $\emptyset=2"$
- Espesor  $e=5.5\text{ mm}$

### TUBO DE ENFILAJE

- Tubo de acero calidad n-80 o técnicamente equivalente
- Diámetro nominal  $\emptyset=101.6\text{mm}$  (4") espesor de pared 7mm
- Límite elástico  $> 5,500\text{ kg/cm}^2$
- Resistencia a la rotura  $> 6,900\text{ kg/cm}^2$
- Mortero de inyección para tubos de enfijaje,  $f'c =200\text{ kg/cm}^2$

### **CONCRETO LANZADO CON FIBRAS DE ACERO:**

- $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$  t.m.= 16mm
- Cemento = 450-500  $\text{kg/m}^2$  (mínimo)

### **FIBRAS DE ACERO**

- Fibra de acero tipo i, resistencia a la tensión del acero no menor a 1,200 n/mm
- Longitud de la fibra no menor a 35 mm y diámetro no mayor a 0.55mm con tolerancia + 5%
- Dosificación no menor de 30  $\text{kg/m}^3$  ; índice de absorción de energía no menor de 1,000 joules
- La fibra de acero, debe estar dentro de los parámetros citados en el aci 506 para concreto lanzado

### **RELLENO DE CONCRETO LANZADO SIN FIBRAS DE ACERO:**

- $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$  t.m.= 16mm
- Cemento = 350-400  $\text{kg/m}^2$  (mínimo)
- Mortero para sujeción para drenes:
- $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$

### III.2.2.-CONDICIÓN GEOTÉCNICA D-

De acuerdo al proyecto se determinaron dos líneas que son la A y B, la línea A es la en donde se inicia la excavación y la línea B donde termina cada etapa del sostenimiento primario de acuerdo a la condición Geotécnica D-. Con un ancho de excavación de 16.22 m.

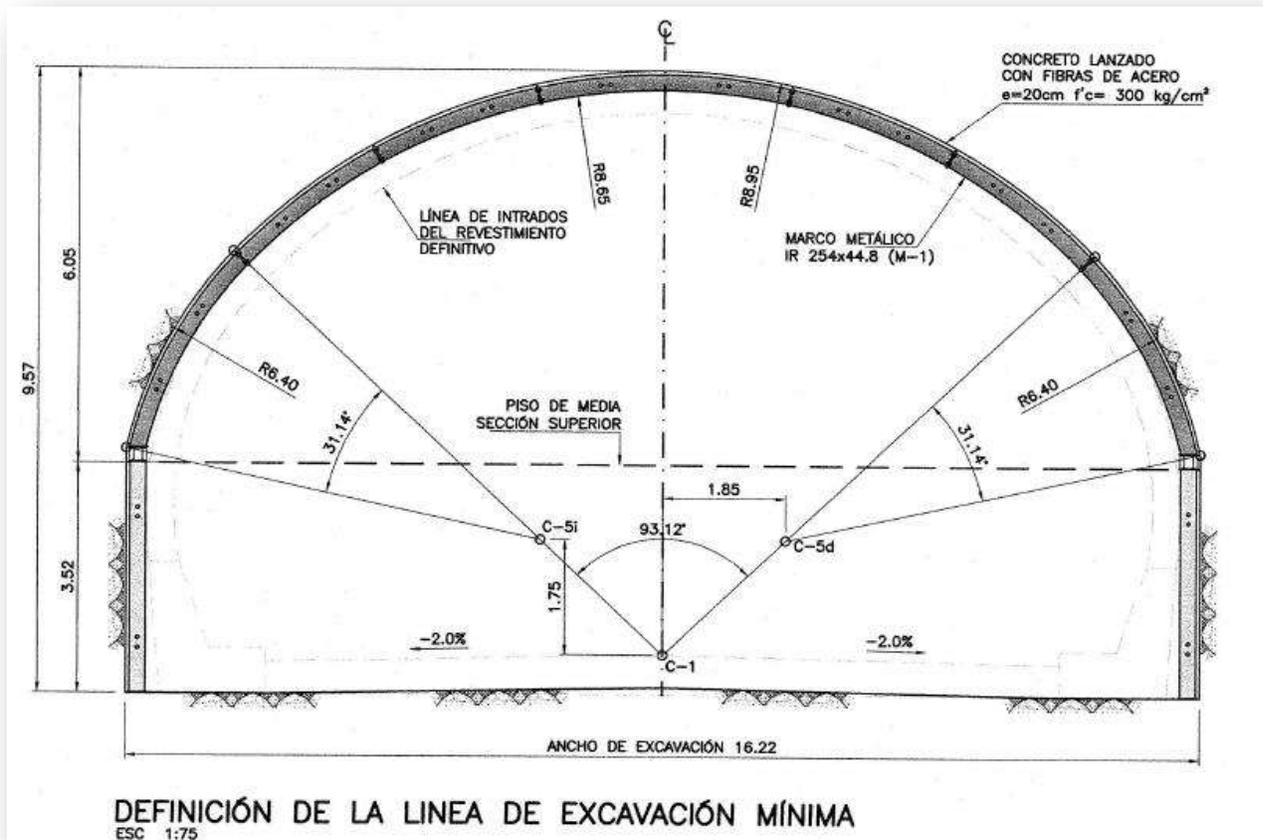


Figura 16.- Línea de excavación. Fuente (Proyecto Ejecutivo).

## PRIMER ETAPA

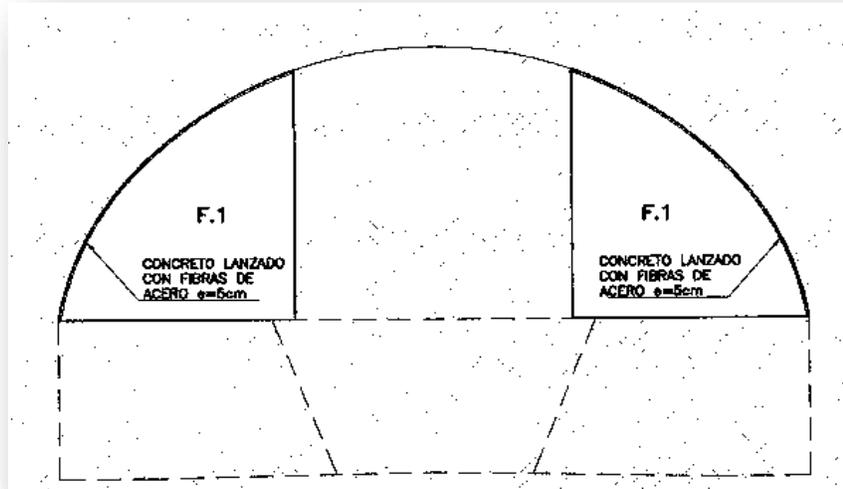


Figura 17.- Excavación del núcleo laterales I. Fuente (Proyecto Ejecutivo).

Secciones laterales de la media sección superior.

- 1.- Avance de 2.0 m de las fases laterales de la media sección superior
- 2.- Amacice de la roca en el tramo avanzado.
- 3.- Colocación en la superficie expuesta de la bóveda de una capa de 5 cm de concreto lanzado con fibra de acero.



Figura 18.- Excavación y amacice de terreno. Fuente (Proyecto Ejecutivo).

## SEGUNDA ETAPA.

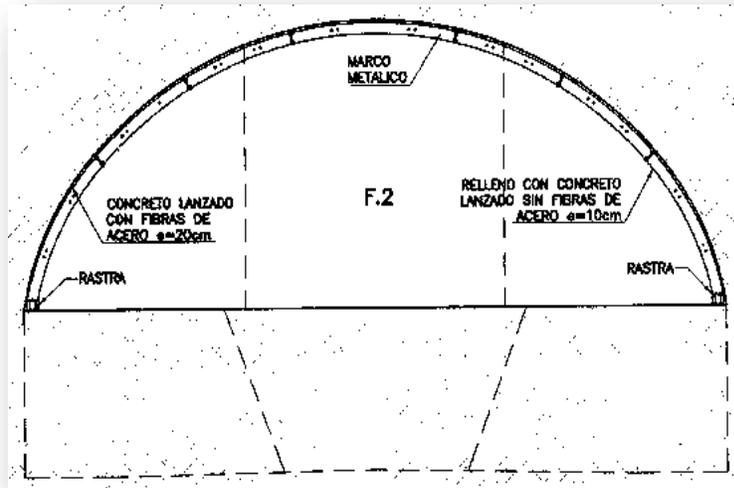


Figura 19.-Excavacion núcleo central media sección superior. Fuente (Proyecto Ejecutivo).

### Pilar Central de la Media Sección Superior

- 1.- Avance de 1.0 m de la fase central de la media sección superior
- 2.- Amacice de la roca en el tramo avanzado.
- 3.- Colocado en la superficie expuesta de la bóveda en la zona de control de una capa de 5 cm de concreto lanzado con fibras de acero.



Figura 20.-Excavacion núcleo central media sección superior.

4.- Fijación de las rastras y de los segmentos de los marcos metálicos a cada metro.



Figura 21.-Fijación de pieza en marco metálico. Fuente (Proyecto ejecutivo).

5.-Colocacion y ajuste de tubos separadores y tensores de varilla entre marcos metálicos a 1 m.



Figura 22.-Colocación de tubos separadores y tensores en marcos.

6.- Colocación de 15 cm de concreto lanzado con fibras de acero  $f'c$  300 kg/cm<sup>2</sup> en toda la bóveda cubriendo parte del marco.

7.- Relleno con 10 cm de concreto lanzado  $f'c$  200 kg/cm<sup>2</sup> sin fibras, cubriendo completamente los marcos metálicos y el espacio entre ellos.

8.- Volver a la fase 1 de la primera etapa



Figura 23.-Media sección superior terminada.

### TERCERA ETAPA

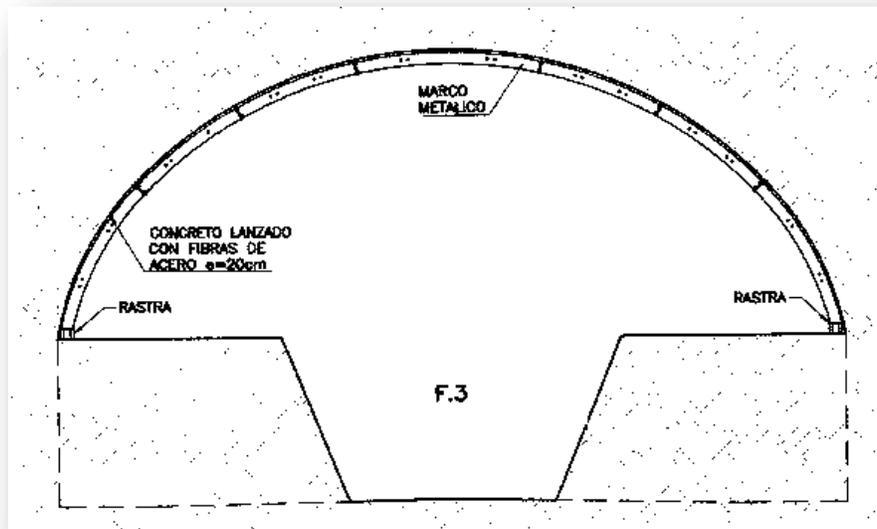


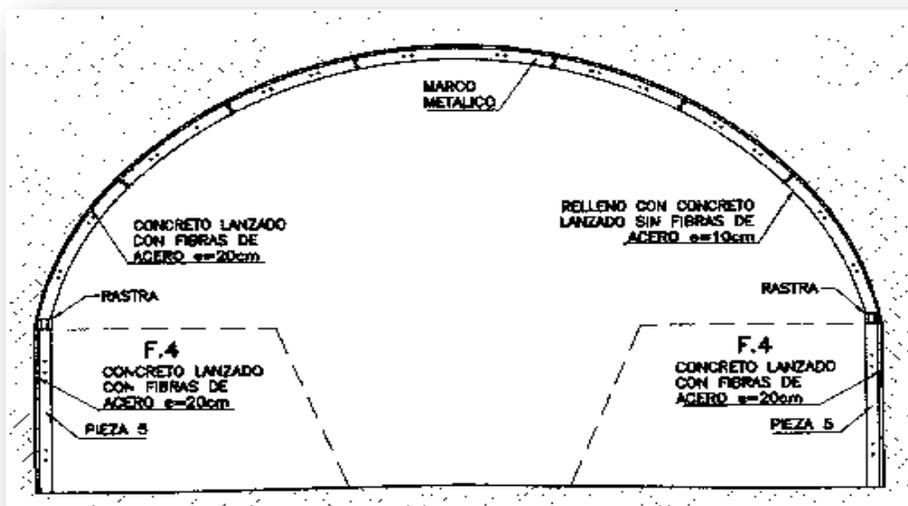
Figura 24.- Excavación del núcleo central del banqueo. Fuente (Proyecto Ejecutivo).

## Banqueo del núcleo central

- 1.- Excavación del núcleo central del banqueo fase 3, (hasta 20 m atrás del frente de la etapa 2 o menos si las deformaciones medidas en la media sección superior indican una clara tendencia a la estabilización).
- 2.- Si así conviene al contratista, el banqueo podrá iniciarse hasta concluir la excavación de la media sección superior a lo largo de todo el túnel.



Figura 25.- Excavación Núcleo central, Banqueo. Fuente (Proyecto Ejecutivo).



26.- Excavación de los núcleos laterales. Fuente (Proyecto Ejecutivo).



Figura 27.- Excavación de núcleos laterales Media Sección Inferior (banqueo).

#### Banqueo de los núcleos laterales.

- 1.- Excavación de los núcleos izquierdos y derecho, la cual se efectuará de manera simultánea.
- 2.- Colocación de una capa de concreto lanzado con fibras de acero de 5 cm de espesor en la zona expuesta de las paredes del banqueo.
- 3.- Colocación y fijación de la pieza 3 del marco (patas).
- 4.- Colocación de tubos separadores y tensores de varilla entre segmentos de marcos.
- 5.- Colocación de 15 cm de concreto lanzado con fibras de acero  $f'c=300 \text{ kg/cm}^2$  cubriendo parte de la pieza 5 (patas).
- 6.- Relleno con 10 cm de concreto lanzado  $f'c=200 \text{ kg/cm}^2$  sin fibras, cubriendo completamente los marcos metálicos y el espacio entre ellos (ver detalle de colocación de concreto).

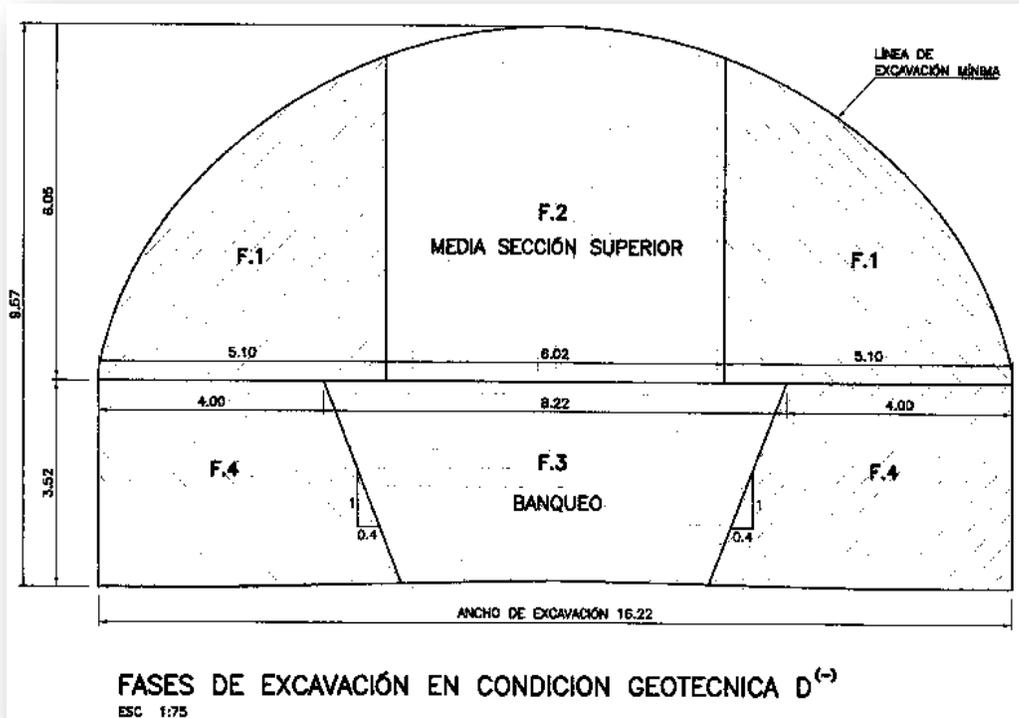


Figura 28.-Esquema de las fases de excavación Fuente (Proyecto Ejecutivo).



Figura 29.-Condición geotécnica D- terminada.

Tabla 36.- Equipo de Seguridad.

EQUIPO DE SEGURIDAD
EQUIPO
Casco
Botas
Chaleco
Arnés
Cuerda de Vida
Careta
Guantes
Lentes
Tapones para Ruido

Tabla 37.- Mano de Obra.

MANO DE OBRA
CATEGORIA
Topógrafo
Ayudante de Topógrafo
Sobrestante
Oficial Maniobro
Cabo
Electricista
Operador de Excavadora
Operador de Camión Volteo
Operador de Manipulador
Operador de Jumbo de Barrenación
Operador de Cargador Frontal
Operador de Hormigonera
Oficial Inyectista
Orquestero
Soldador
Albañil
Carpintero
peón

Tabla 38.- Equipo Topográfico.

EQUIPO TOPOGRÁFICO	
EQUIPO	MARCA O MODELO
Estación Total	Leica TS02
Tripie	Leica
Prisma	Leica

Tabla 39.-Maquinaria.

MAQUINARIA	
EQUIPO	MODELO O MARCA
Lanzadora de Concreto	Cifa Putzmeister
Excavadora Hyundai	210 LC-7
Cargador frontal	Cat 950 F
Camion Volteo	Mercedes Benz
Jumbo de Barrenación	Sandwick DT 820
Auto Hormigonera	Pitzini
Hany	ZMP 700/120
Manipulador	TL 943
Planta de Soldar	Lincoln Electric Vontage
Compresor	300 Sullar
Generador de Energia	Be solutions 100 kw

## ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES

### MARCO METÁLICO

1.- El acero cumplirá con las siguientes especificaciones:

- Acero grado a-572-50 con  $f_y=3515\text{kg/cm}^2$

- Placas de acero grado a-36 con  $f_y=2530\text{kg/cm}^2$

2.- Para las conexiones soldadas se usarán electrodos de la serie e-7018. Para fondeos se utilizarán electrodos e-6013

3.- Para las conexiones atornilladas se utilizarán tuercas de alta resistencia tipo 2h

4.- Para las conexiones atornilladas se utilizarán tornillos de alta resistencia  $\emptyset 1"$  a-325, y deberán apretarse hasta asegurar en ellos un torque de 700 lb-ft.

## **TENSOR**

- Tensor de varilla lisa roscada  $\phi=5/8"$  acero a-3, con  $f_y= 2530 \text{ kg/cm}^2$ .

## **TUBO SEPARADOR**

- Tubo de acero a-53b con  $f_y = 2430 \text{ kg/cm}^2$
- Diámetro nominal  $\phi=2"$
- Espesor de=5.5 mm

## **CONCRETO LANZADO CON FIBRAS DE ACERO:**

- $f'_c = 300 \text{ kg/cm}^2$
- t.m.= 15mm
- Cemento = 450-500 kg/m (mínimo)

## **FIBRAS DE ACERO:**

- Fibra de acero tipo i, resistencia a la tensión del acero no menor a 1,200 n/mm
- Longitud de la fibra no menor a 35 mm y diámetro no mayor a 0.55mm con tolerancia + 5%
- Dosificación no menor de 30 kg/m<sup>2</sup>; índice de absorción de energía no menor de 1,000 joules
- La fibra de acero, debe estar dentro de los parámetros citados en el ACI 506 para concreto lanzado

## **MORTERO PARA SUJECIÓN DE DREN LOCAL:**

- $f'_c = 100 \text{ kg/cm}^2$
- Dren local tubo de PVC rígido  $\phi= 1 \frac{1}{2}"$  y longitud 2m
- Relleno con concreto lanzado sin fibras  $f'_c = 200 \text{ kg/cm}^2$

### III.2.3.- CONDICIÓN GEOTECNICA D+

De acuerdo al proyecto se determinaron dos líneas son la A y B, la línea A es la cual donde se inicia la excavación y la línea B donde termina cada etapa del sostenimiento primario de acuerdo a la condición Geotécnica D+. Con un ancho de excavación de 16.22 m.

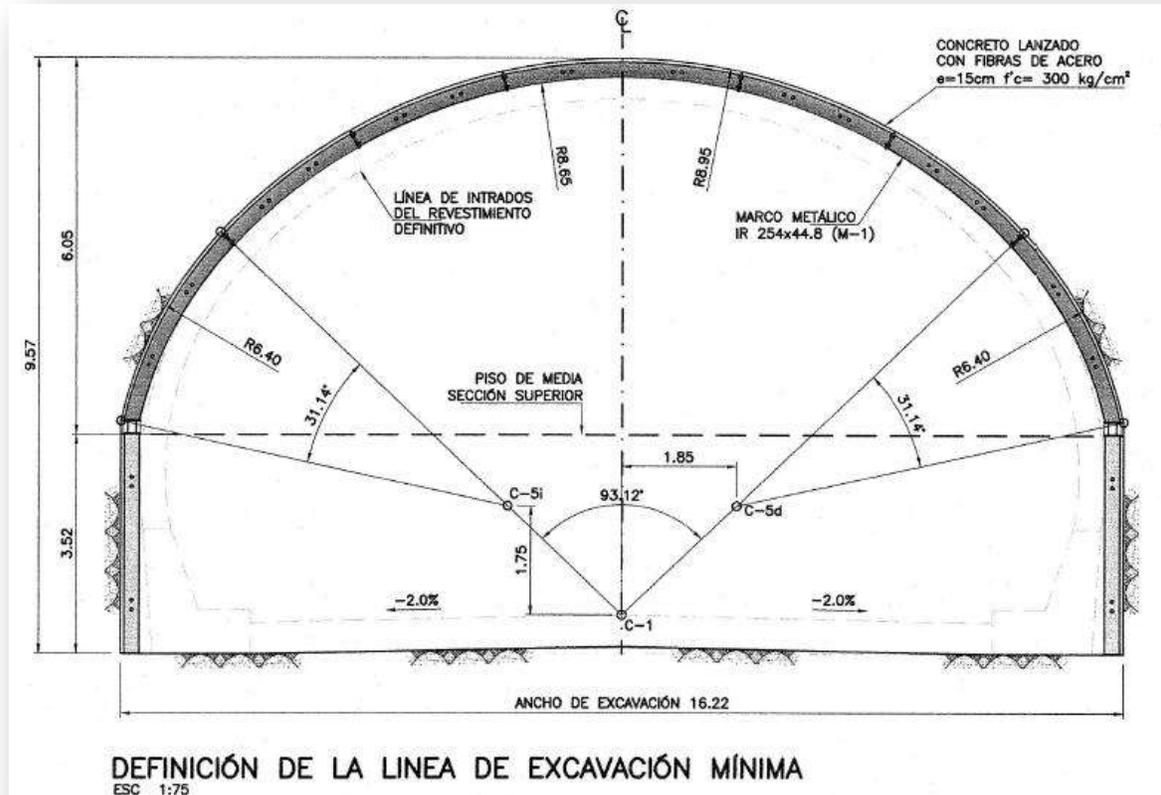


Figura 30.-Línea de excavación mínima.

## PRIMER ETAPA

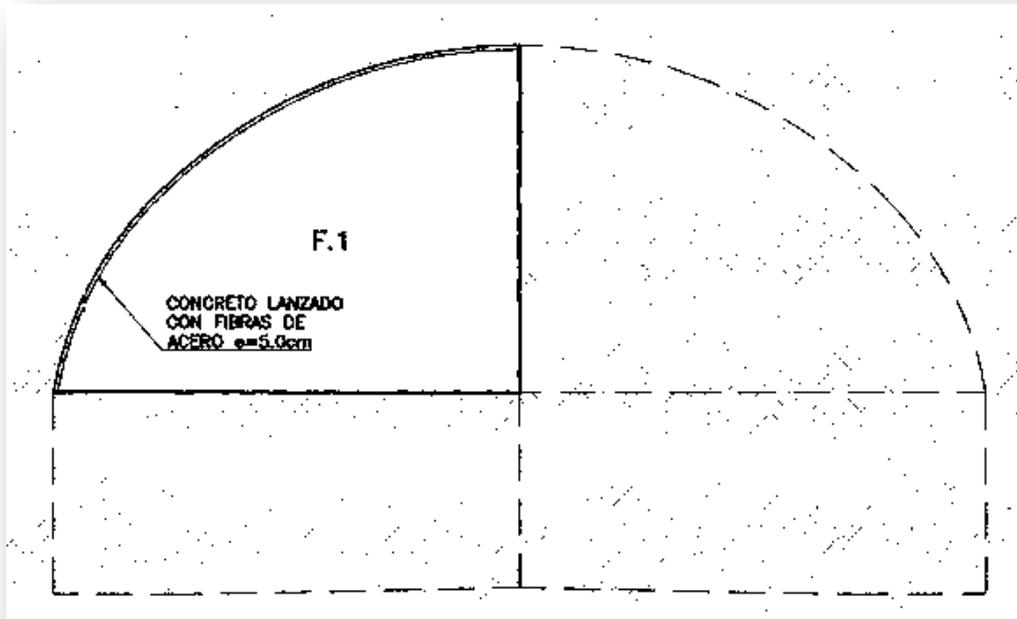


Figura 31.- Excavación media sección superior izquierda. Fuente (Proyecto Ejecutivo).

### Media Sección Superior izquierda

- 1.- Avance de 3 m. de la media sección superior izquierda (Fase F.1)
- 2.- Amacice de la roca en el tramo avanzado
- 3.- Colocación de 5 cm. de espesor de concreto lanzado con fibras de acero  $f'c=300 \text{ kg/cm}^2$  en la superficie expuesta de la bóveda



Figura 32.- Excavación media sección superior izquierda.

## SEGUNDA ETAPA

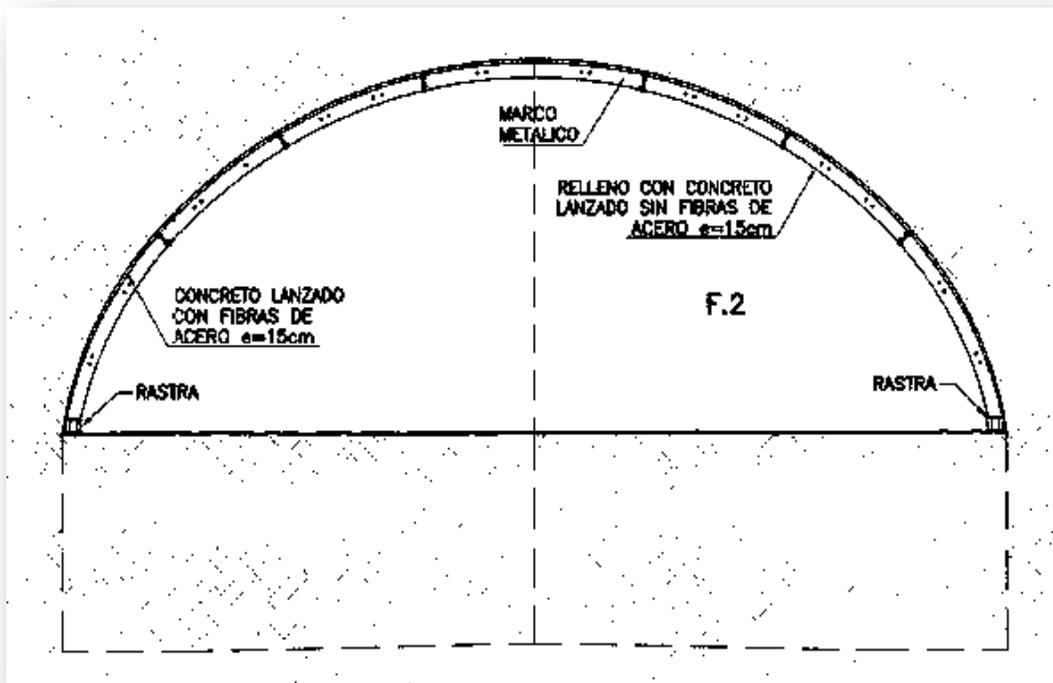


Figura 33.- Excavación media sección superior derecha. Fuente (Proyecto Ejecutivo).

## Media Sección Superior derecha

- 1.- Avance de 1.5m de la Media Sección Superior derecha (Fase F.2), desfasado 3 m. Atrás del frente de la Fase 1
- 2.- Amacice de la roca en el tramo avanzado
- 3.- Colocación de una capa de 5 cm. de concreto lanzado con fibras de acero  $f'c=300$  kg/cm<sup>2</sup> en la superficie expuesta de la bóveda
- 4.- Fijación de las rastras y de los segmentos de los marcos metálicos (@ 1.5m)
- 5.- Colocación y ajuste de tubos separadores y tensores de varilla entre marcos.
- 6.- Colocación de 10 cm. de concreto lanzado con fibras de acero  $f'c=300$  kg/cm<sup>2</sup>, en toda la bóveda cubriendo parte del marco.
- 7.- Relleno con 15 cm. de concreto lanzado  $f'c=200$  kg/cm<sup>2</sup> sin fibras, cubriendo completamente los marcos metálicos y el espacio entre ellos.
- 8.- Volver a la fase F.1 de la primera etapa.



Figura 34.- Excavación media sección superior derecha y estabilización.

## TERCERA ETAPA

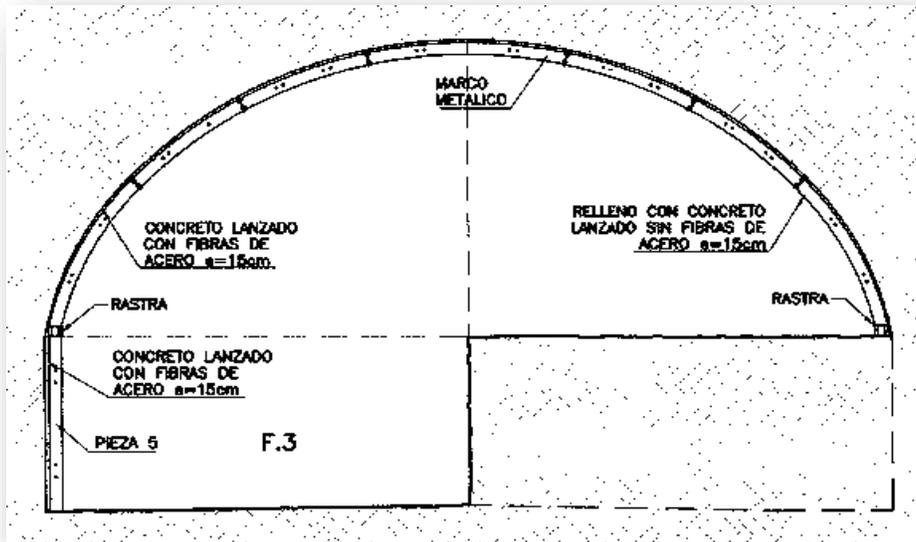


Figura 35.- Excavación núcleo izquierdo en banqueo. Fuente (Proyecto Ejecutivo).

### Banqueo del Núcleo izquierdo

1.- Excavación del núcleo izquierdo del banqueo (F.3), desfasado 20 m. atrás del frente de excavación F.2 (Media Sección Superior).



Figura 36.- Excavación núcleo izquierdo en banqueo.

- 2.- Colocación de una capa de concreto lanzado con fibras de acero de 5 cm de espesor y  $f'c=300 \text{ kg/cm}^2$  en la pared izquierda del banqueo.
- 3.- Fijación de la pieza 5 (pata del marco metálico).
- 4.- Colocación y ajuste de tubos separadores y tensores de varilla entre marcos.
- 5.- Colocación de 10 cm. de espesor de concreto lanzado con fibras de acero  $f'c=300 \text{ kg/cm}^2$  en la pared del banqueo cubriendo parte de la pieza 5 (pata).



Figura 37.- Colocación de concreto y soldado de patas metálicas.

- 6.- Relleno con 15 cm. de concreto lanzado  $f'c=200 \text{ kg/cm}^2$  sin fibras, cubriendo completamente los marcos metálicos y el espacio entre ellos.

Notas:

- 1.- El inicio de la excavación del banqueo (fase 3) podrá tener un desfase menor a 20 m con respecto al frente de excavación F.2 (Media Sección Superior), si las deformaciones medidas en la sección superior indican una clara tendencia a la estabilización.

2.- Si así conviene al contratista, el banqueo podrá iniciarse hasta concluir la excavación de la media sección superior a lo largo de todo el túnel.

#### CUARTA ETAPA

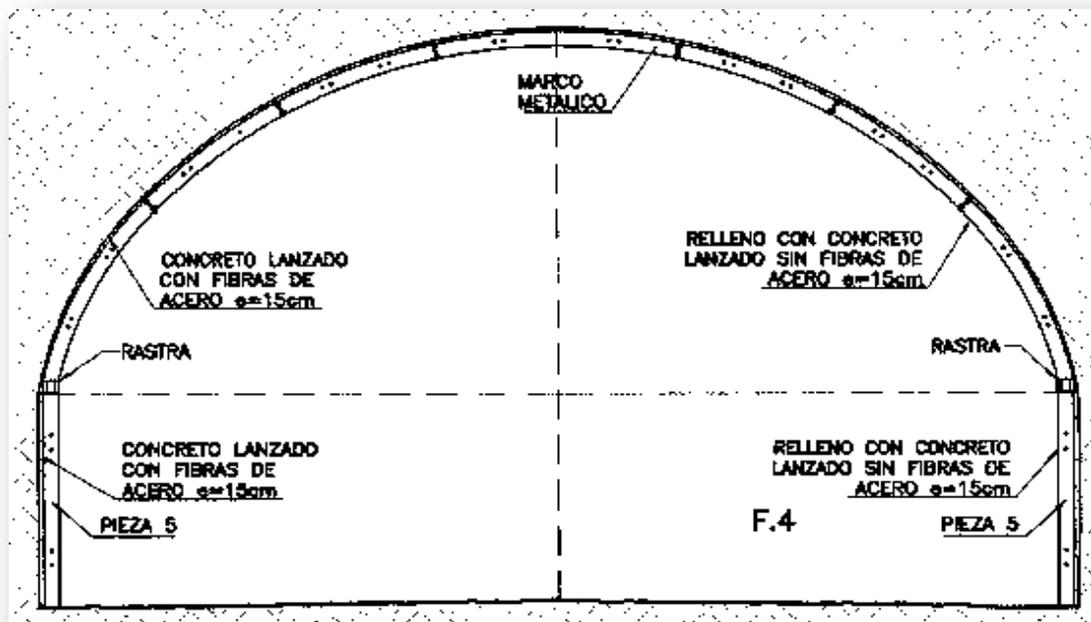


Figura 39.- Excavación núcleo derecho en banqueo. Fuente (Proyecto Ejecutivo).

#### Banqueo del Núcleo derecho

- 1.- Excavación del núcleo derecho del banqueo (Fase F.4), desfasado 5 m. atrás del núcleo lateral izquierdo del banqueo (Fase F.3).
- 2.- Colocación de una capa de concreto lanzado con fibras de acero de 5 cm de espesor y  $f'c=300 \text{ kg/cm}^2$  en la pared del banqueo.
- 3.- Fijación de la pieza 5 (pata del marco metálico)
- 4.- Colocación y ajuste de tubos separadores y tensores de varilla entre marcos.
- 5.- Colocación de 10 cm. de espesor de concreto lanzado con fibras de acero  $f'c=300 \text{ kg/cm}^2$  cubriendo parte de la pieza 5 (pata).

6.- Relleno con 15.0cm de concreto lanzado  $f'c=200 \text{ kg/cm}^2$  sin fibras, cubriendo completamente los marcos metálicos y el espacio entre ellos.

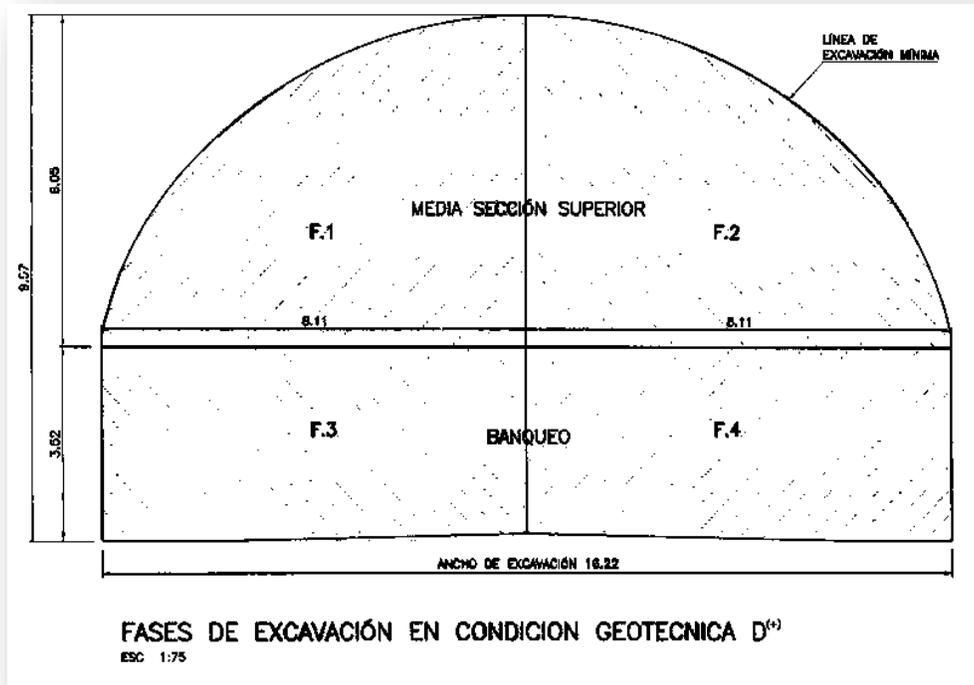


Figura 40.- Fases de Excavación. Fuente (Proyecto Ejecutivo).



Figura 40.- Condición geotécnica D+ completamente terminada.

Tabla 40.- Equipo de Seguridad.

EQUIPO DE SEGURIDAD
EQUIPO
Casco
Botas
Chaleco
Arnés
Cuerda de Vida
Careta
Guantes
Lentes
Tapones para Ruido

Tabla 41.- Mano de Obra.

MANO DE OBRA
CATEGORIA
Topógrafo
Ayudante de Topógrafo
Sobrestante
Oficial Maniobro
Cabo
Electricista
Operador de Excavadora
Operador de Camión Volteo
Operador de Manipulador
Operador de Jumbo de Barrenación
Operador de Cargador Frontal
Operador de Hormigonera
Oficial Inyectista
Orquestero
Soldador
Albañil
Carpintero
peón

Tabla 42.- Equipo Topográfico.

EQUIPO TOPOGRÁFICO	
EQUIPO	MARCA O MODELO
Estación Total	Leica TS02
Tripie	Leica
Prisma	Leica

Tabla 43.- Equipo Topográfico.

MAQUINARIA	
EQUIPO	MODELO O MARCA
Lanzadora de Concreto	Cifa Putzmeister
Excavadora Hyundai	210 LC-7
Cargador frontal	Cat 950 F
Camion Volteo	Mercedes Benz
Jumbo de Barrenación	Sandvick DT 820
Auto Hormigonera	Pitzini
Hany	ZMP 700/120
Manipulador	TL 943
Planta de Soldar	Lincoln Electric Vontage
Compresor	300 Sullar
Generador de Energia	Be solutions 100 kw

## ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES

### MARCO METÁLICO

1.- El acero cumplirá con las siguientes especificaciones:

- Acero grado a-572-50 con  $f_y=3515\text{kg/cm}^2$
- Placas de acero grado a-36 con  $f_y=2530\text{kg/cm}^2$

2.- Para las conexiones soldadas se usarán electrodos de la serie e-7018. para fondeos se utilizarán electrodos e-6013

3.- Para las conexiones atornilladas se utilizarán tuercas de alta resistencia tipo 2h

4.- Para las conexiones atornilladas se utilizarán tornillos de alta resistencia  $\emptyset$  1" a-325, y deberán apretarse hasta asegurar en ellos un torque de 700 lb-ft

## **TENSOR**

- Tensor de varilla lisa roscada  $\varnothing=5/8"$  acero a-36, con  $f_y= 2530 \text{ kg/cm}^2$ .

## **TUBO SEPARADOR**

- Tubo de acero a-53b con  $f_y = 2430 \text{ kg/cm}$  diámetro nominal  $\varnothing=2"$  espesor  $e=5.5 \text{ mm}$

## **CONCRETO LANZADO CON FIBRAS DE ACERO:**

- $f'_c = 300 \text{ kg/cm}^2$
- t.m.= 15mm
- Cemento = 450-500  $\text{kg/m}^2$  (mínimo)

## **FIBRAS DE ACERO:**

- Fibra de acero tipo i, resistencia a la tensión del acero no menor a 1,200 n/mm
- Longitud de la fibra no menor a 35 mm y diámetro no mayor a 0.55mm con tolerancia + 5%
- Dosificación no menor de 30  $\text{kg/m}^2$ ; índice de absorción de energía no menor de 1,000 joules
- La fibra de acero, debe estar dentro de los parámetros citados en el ACI 506 para concreto lanzado

## **MORTERO PARA SUJECIÓN DE DREN LOCAL:**

- $f'_c = 100 \text{ kg/cm}^2$
- Dren local tubo de PVC rígido  $\varnothing= 1 \frac{1}{2}"$  y longitud 2m
- Relleno con concreto lanzado sin fibras  $f'_c = 200 \text{ kg/cm}^2$

### III.2.4.- CONDICION C-

De acuerdo al proyecto se determinaron dos líneas son la A y B, la línea A es en donde se inicia la excavación y la línea B donde termina cada etapa del sostenimiento primario de acuerdo a la condición Geotécnica C-. Con un ancho de excavación de 15.40 m.

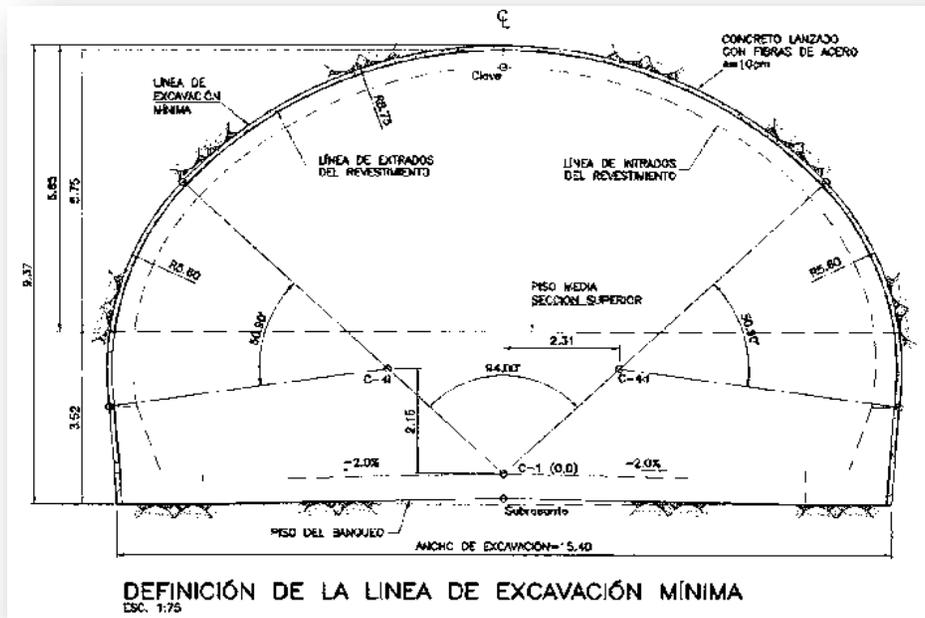


Figura 41.- Línea mínima de excavación.

### PRIMER ETAPA

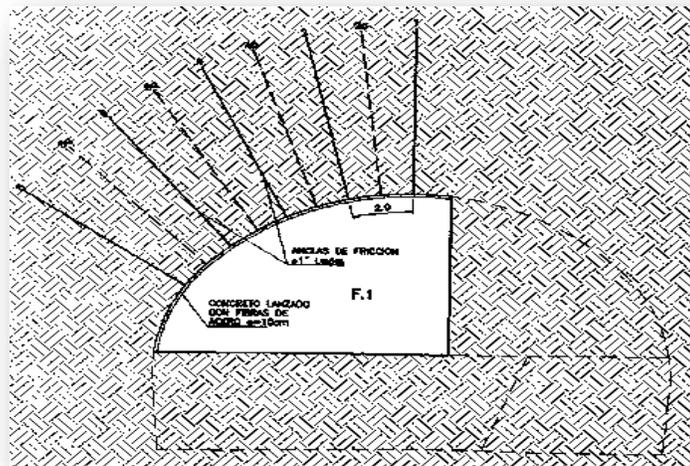


Figura 42.- Excavación de la media sección superior izquierda. Fuente (Proyecto Ejecutivo).

- 1.- Avance de excavación de 3 m. de la media sección superior (Fase 1, izquierda en el sentido del avance)
- 2.- Amacice de la roca en tramo avanzado.
- 3.- Colocación de una primera capa de concreto lanzado con fibras de acero de 5cm de espesor en toda la superficie expuesta de la bóveda



Figura 43.- Excavación de la media sección superior izquierda y lanzamiento de concreto.

- 4.- Barrenación para anclas de fricción con un patrón 2 x 2m



Figura 44.- Excavación de la media sección superior izquierda

- 5.- Colocación e inyectado de anclas de fricción L=6 m.

6.- Colocación de una segunda capa de concreto lanzado con fibras de acero de 5cm de espesor en toda la superficie expuesta de la bóveda

7.- Fijación de la placa de retén de las anclas

## SEGUNDA ETAPA

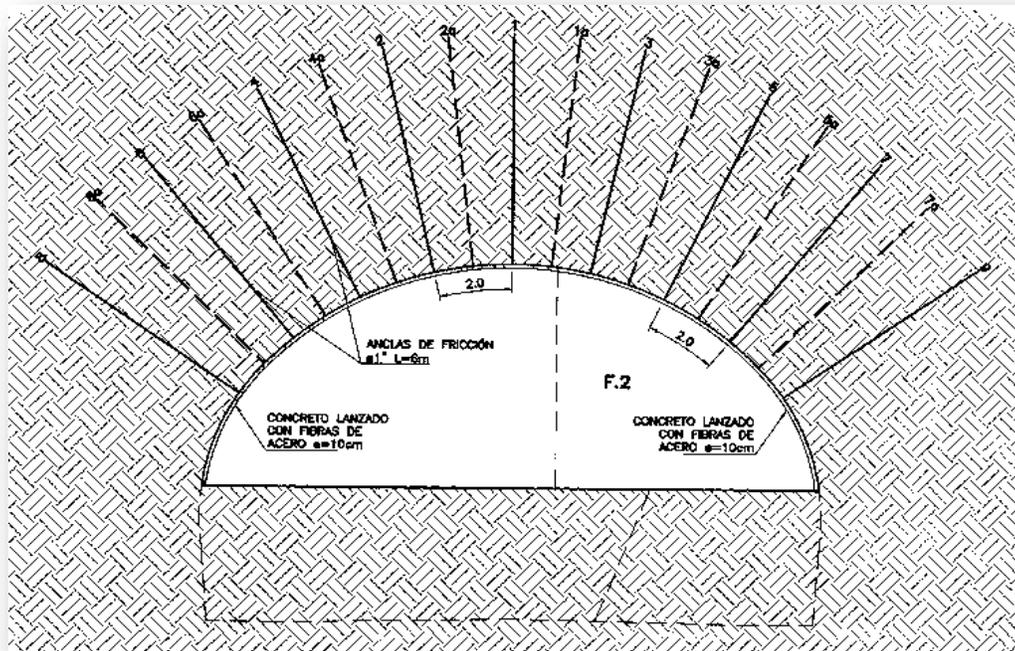


Figura 45.- Excavación de la media sección superior derecha. Fuente (Proyecto Ejecutivo).

### Sección Derecha de la Media Sección Superior

1.- Avance de excavación de 3 m. de la media sección superior (Frente 2, derecha en el sentido del avance) y hasta 3 m atrás de la etapa izquierda, Frente 1

2.- Amacice de la roca en tramo avanzado

3.- Colocación de una primera capa de concreto lanzado con fibras de acero de 5 cm de espesor en toda la superficie expuesta de la bóveda



Figura 46.- Excavación de la media sección superior derecha.

4.- Barrenación para anclas de fricción con un patrón 2 x 2 m.

5.- Colocación e inyectado de anclas de fricción L=6.0m



Figura 47- Inyección de anclas de fricción con Hany.

6.- Colocación de una segunda capa de concreto lanzado con fibras de acero de 5 cm de espesor

## 7.- Fijación de la placa de retén de las anclas



Figura 48.- Excavación de la media sección superior derecha

## TERCERA ETAPA

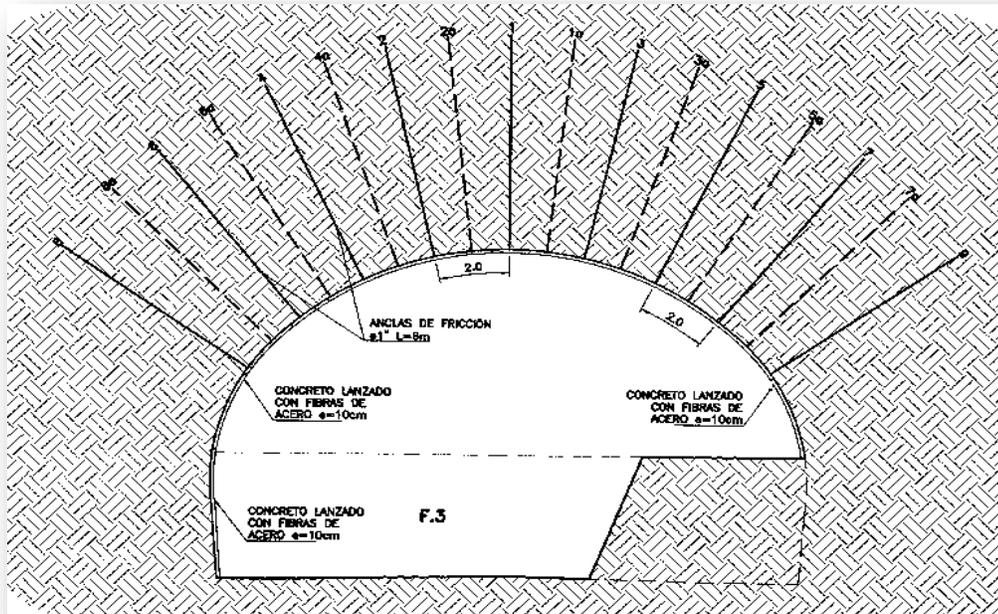


Figura 49.- Excavación del núcleo izquierdo en el banqueo. Fuente (Proyecto Ejecutivo).

### Banqueo del Núcleo Izquierdo (en sentido del avance)

- 1.- Excavación del núcleo izquierdo del banqueo Fase 3, (hasta 20m atrás del frente 2, de la media sección superior o menos si las deformaciones medidas indican una franca tendencia a la estabilización)
- 2.- Colocación de una primera capa de concreto lanzado con fibras de acero de 5 cm de espesor en la pared izquierda del banqueo.
- 3.- Colocación de una segunda capa de concreto lanzado con fibras de acero de 5cm de espesor
- 4.- Si conviene al contratista, el banqueo podrá iniciarse hasta una vez terminada la excavación de la media sección superior completa, a lo largo de todo el túnel.



Figura 49.- Excavación del núcleo izquierdo en el banqueo.

## CUARTA ETAPA

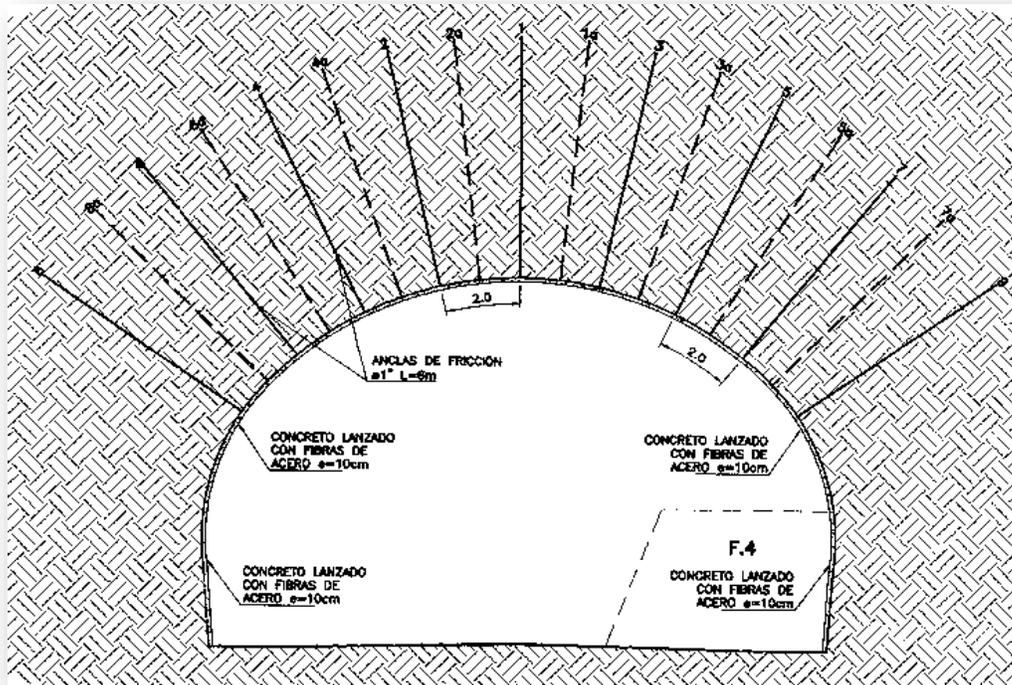


Figura 50.- Excavación del núcleo derecho en el banco. Fuente (Proyecto Ejecutivo).

### Banqueo del Núcleo Derecho (en sentido del avance)

- 1.- Excavación del núcleo derecho del banco. Fase F.4
- 2.- Colocación de una primera capa de concreto lanzado con fibras de acero de 5 cm de espesor en la pared derecha del banco.
- 3.- Colocación de una segunda capa de concreto lanzado con fibras de acero de 5cm de espesor.



Figura 51.- Excavación del núcleo derecho en el banqueo.

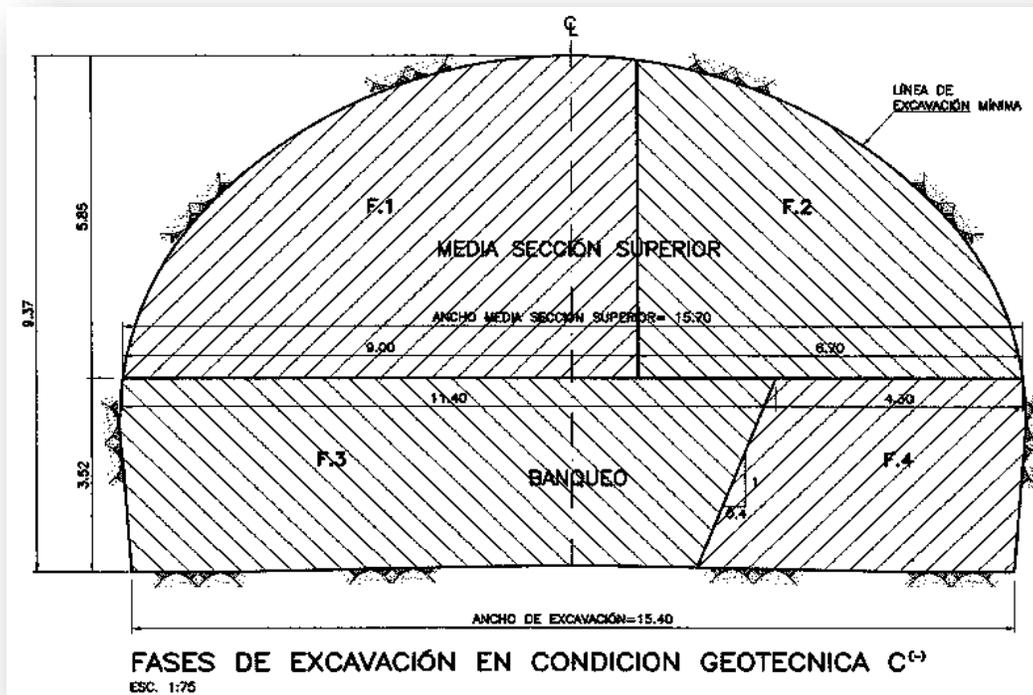


Figura 52.- Esquema de ancla de fricción Fuente (Proyecto Ejecutivo).



Figura 53.- Condición geotécnica C- terminada completamente.

Tabla 44.- Equipo de Seguridad.

EQUIPO DE SEGURIDAD
EQUIPO
Casco
Botas
Chaleco
Arnés
Cuerda de Vida
Careta
Guantes
Lentes
Tapones para Ruido

Tabla 45.- Mano de Obra.

MANO DE OBRA
CATEGORIA
Topógrafo
Ayudante de Topógrafo
Sobrestante
Oficial Maniobro
Cabo
Electricista
Operador de Excavadora
Operador de Camión Volteo
Operador de Manipulador
Operador de Jumbo de Barrenación
Operador de Cargador Frontal
Operador de Hormigonera
Oficial Inyectista
Orquestero
Soldador
Albañil
Carpintero
peón

Tabla 46.- Equipo Topográfico.

EQUIPO TOPOGRÁFICO	
EQUIPO	MODELO O MARCA
Estación Total	Leica TS02
Tripie	Leica
Prisma	Leica

Tabla 47.- Maquinaria.

MAQUINARIA	
EQUIPO	MODELO O MARCA
Lanzadora de Concreto	Cifa Putzmeister
Excavadora Hyundai	210 LC-7
Cargador frontal	Pailoder 950F
Camion Volteo	Mercedes Benz
Jumbo de Barrenación	Sandvick DT 820
Auto Hormigonera	Pitzini
Hany	ZMP 700/120
Manipulador	TL 943
Plata de Soldar	Lincoln Electric Vontage
Compresor	300 Sullar
Generador de Energia	Be solutions 100 kw

## ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES

### CONCRETO LANZADO CON FIBRAS DE ACERO:

- $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$
- t.m.= 15mm
- Cemento = 450-500  $\text{kg/m}^2$  (mínimo)

### FIBRAS DE ACERO:

- Fibra de acero tipo i, resistencia a la tensión del acero no menor a 1,200 n/mm
- Longitud de la fibra no menor a 35 mm y diámetro no mayor a 0.55mm con tolerancia + 5%
- Dosificación no menor de 30  $\text{kg/m}^2$ ; índice de absorción de energía no menor de 1,000 joules
- La fibra de acero, debe estar dentro de los parámetros citados en el aci 506 para concreto lanzado

### ADITIVO ACELERANTE:

- Exento de cloruros
- Contenido de 4-6% en peso del cemento 50% mínimo de las resistencia final a las 6 horas., norma astm-c 191

### ANCLAJE:

- Varilla corrugada  $\varnothing 1"$
- Límite de fluencia ( $f_y$ )= 4200  $\text{kg/cm}^2$
- Resistencia a la tensión= 5700  $\text{kg/cm}^2$
- Alargamiento a la ruptura= 8%

### **MORTERO PARA INYECTADO:**

- $f'c=180 \text{ kg/cm}^2$ , con aditivo expansor o estabilizador de volúmen al 1 % del cemento.
- Cemento=  $400 \text{ kg/m}^2$
- Arena fina < n° 16
- $a/c = 0.6 - 0.7$
- Presión de inyectado =  $1 - 1.5 \text{ kg/cm}^2$
- Mortero para sujeción de drenes:  $f'c=100 \text{ kg/cm}^2$

### III.2.5.- Condición Geotécnica C+

De acuerdo al proyecto se determinaron dos líneas la A y B, la línea A es en donde se inicia la excavación y la línea B donde termina cada etapa del sostenimiento primario de acuerdo a la condición Geotécnica C-. Con un ancho de excavación de 15.40 m.

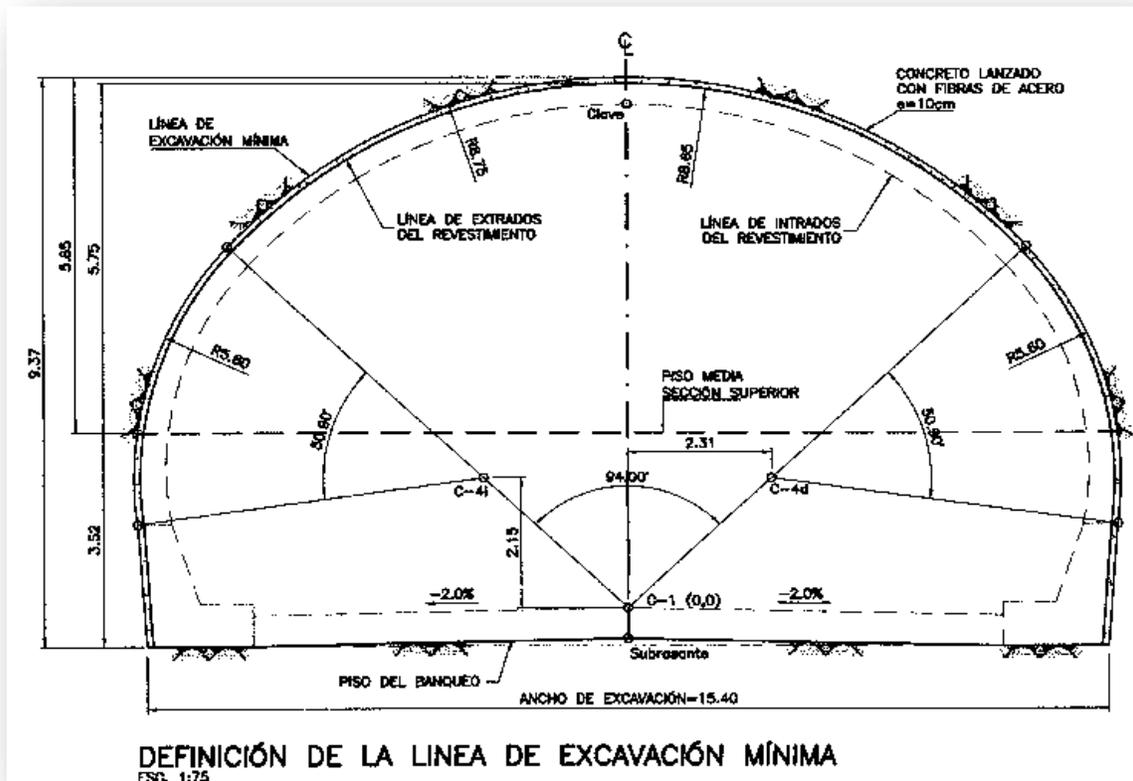


Figura 54.- Línea mínima de excavación. Fuente (Proyecto Ejecutivo).

## PRIMER ETAPA

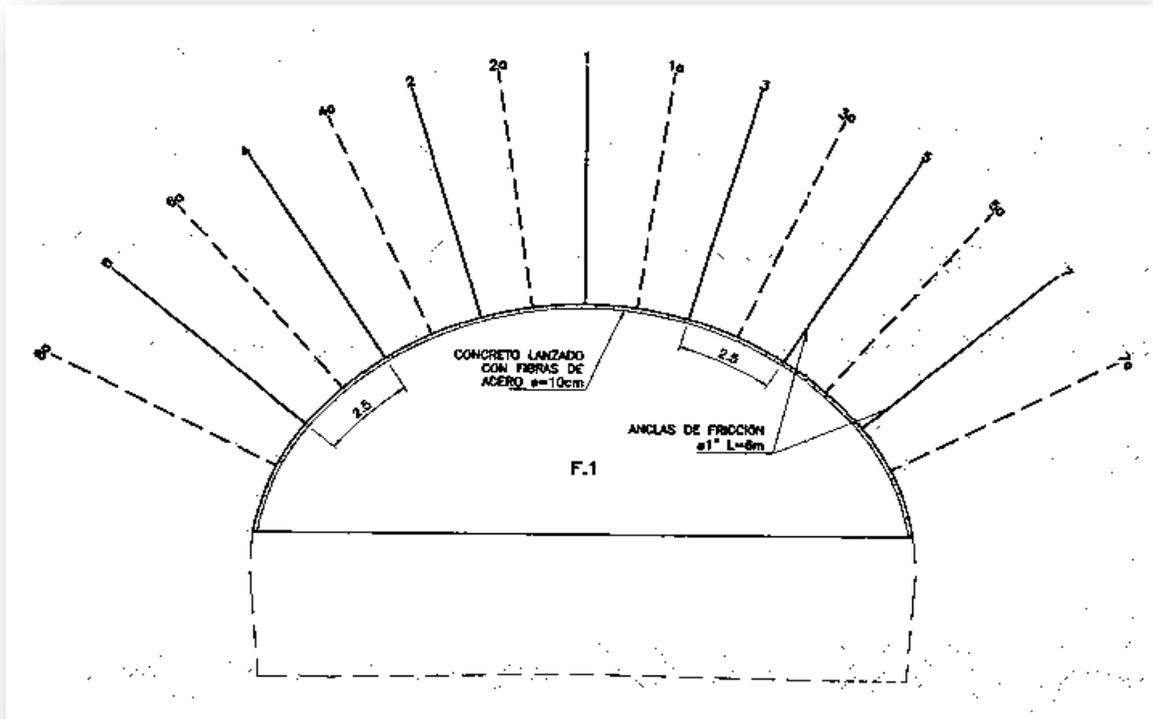


Figura 55.- Excavación media Sección Superior. Fuente (Proyecto Ejecutivo).

### Excavación de la Media Sección Superior

- 1.- Excavación de la media sección superior en una sola fase (F.1) con avance de hasta 3 m.
- 2.- Amacice de la roca en tramo avanzado.
- 3.- Colocación de una primera capa de concreto.



Figura 56.- Concreto lanzado con bomba de lanzado.

4.- Barrenación para anclas de fricción con un patrón 2.5 x 2.5m al tresbolillo

5.- Colocación e inyectado de anclas de fricción  $\varnothing$  1" y L=6.0m



Figura 57.- Colocación de anclas de fricción.

6.- Colocación de una segunda capa de concreto lanzado c

7.- Fijación de la placa de retén de las anclas.

## SEGUNDA ETAPA

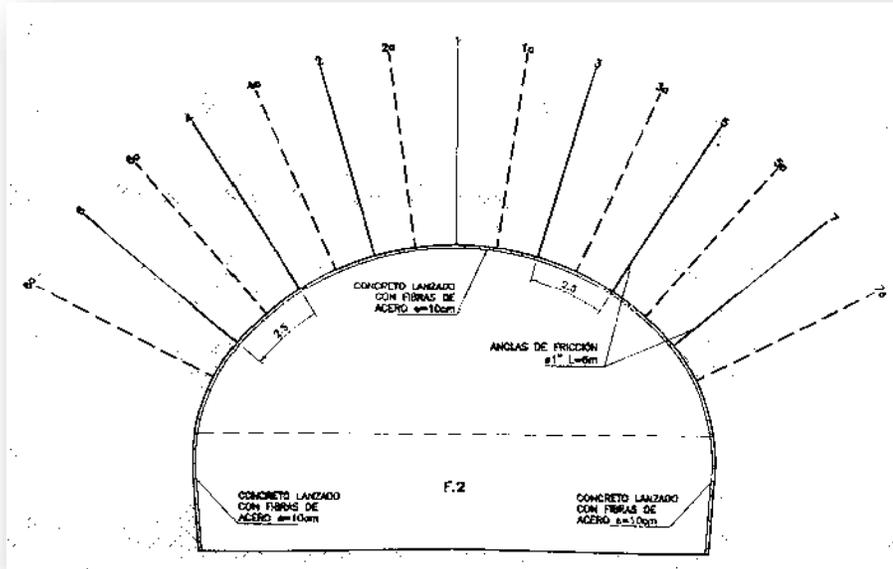


Figura 58.- Banqueo en una sola fase. Fuente (Proyecto Ejecutivo).

## BANQUEO

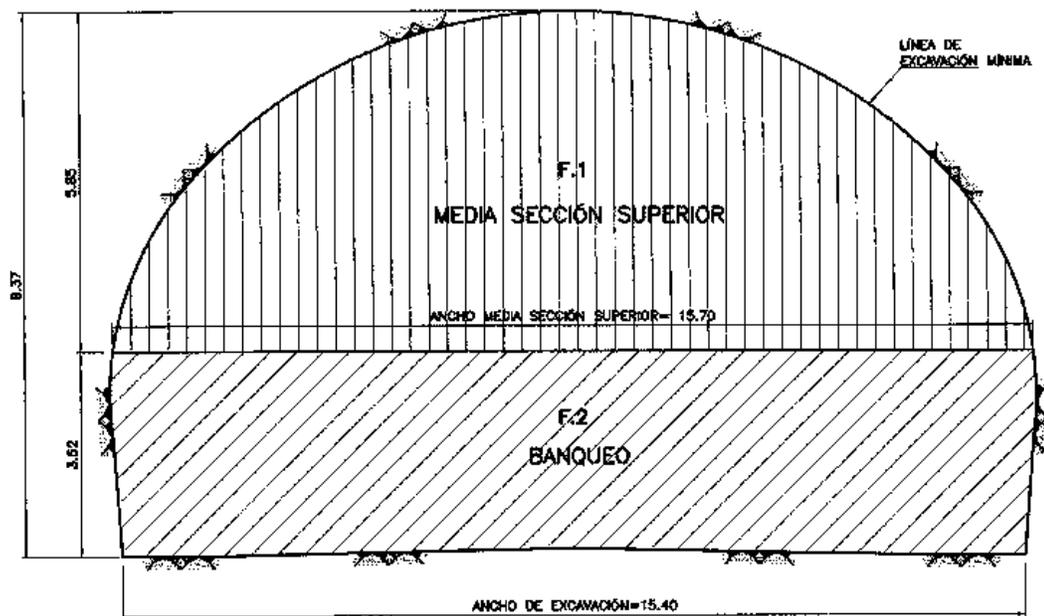
- 1.- Excavación del banqueo en una sola fase (F.2) con avances de hasta 3 m, desfasado 20 m. Atrás del frente de excavación F.1 (Media Sección Superior).
- 2.- Colocación de una primera capa de concreto lanzado con fibras de acero de 5 cm de espesor en las paredes izquierda y derecha del banqueo.
- 3.- Colocación de una segunda capa de concreto lanzado con fibras de acero de 5cm de espesor en las paredes del banqueo.



Figura 59.- Excavación de banqueo terminada y aplicación manual de concreto lanzado.

## NOTAS

- 1.- El inicio de la excavación del banqueo (fase F.2) podrá tener un desfase menor a 20 m. con respecto al frente de excavación F.1 (Media Sección Superior), si las deformaciones medidas en la Media Sección Superior indican una clara tendencia a la estabilización.
- 2.- Si así conviene al contratista, el banqueo podrá iniciarse hasta concluir la excavación de la media sección superior a lo largo de todo el túnel.



**FASES DE EXCAVACIÓN EN CONDICIÓN GEOTECNICA C<sup>(\*)</sup>**  
ESC. 1:76

Figura 60.- Esquema de ancla de fricción Fuente (Proyecto Ejecutivo).

## ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES

### CONCRETO LANZADO CON FIBRAS DE ACERO:

- $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$
- t.m.= 15mm
- Cemento = 350-400  $\text{kg/m}^2$  (mínimo)

### FIBRAS DE ACERO:

- Fibra de acero tipo i, resistencia a la tensión del acero no menor a 1,200 n/mm
- Longitud de la fibra no menor a 35 mm y diámetro no mayor a 0.55mm con tolerancia + 5%
- Dosificación no menor de 30  $\text{kg/m}^2$  ; índice de absorción de energía no menor de 1,000 joules
- La fibra de acero, debe estar dentro de los parámetros citados en el aci 506 para concreto lanzado

### ADITIVO ACELERANTE:

- Exento de cloruros
- Contenido de 4-6% en peso del cemento 50% mínimo de las resistencia final a las 6 horas.,norma astm-c 191

### ANCLAJE:

- Varilla corrugada  $\varnothing 1"$
- Límite de fluencia ( $f_y$ )= 4200  $\text{kg/cm}^2$
- Resistencia a la tensión= 5700  $\text{kg/cm}^2$
- Alargamiento a la ruptura= 8%

## MORTERO PARA INYECTADO:

- $f'c=180 \text{ kg/cm}^2$ , con aditivo expansor o estabilizador de volúmen al 1 % del cemento.
- Cemento=  $400 \text{ kg/m}^2$
- Arena fina < n° 16
- $a/c = 0.6 - 0.7$
- Presión de inyectado =  $1 - 1.5 \text{ kg/cm}^2$
- Mortero para sujeción de drenes:  $f'c=100 \text{ kg/cm}^2$

Tabla 48.- Equipo de Seguridad.

EQUIPO DE SEGURIDAD
EQUIPO
Casco
Botas
Chaleco
Arnés
Cuerda de Vida
Careta
Guantes
Lentes
Tapones para Ruido

Tabla 49.- Mano de Obra.

MANO DE OBRA
CATEGORIA
Topógrafo
Ayudante de Topógrafo
Sobrestante
Oficial Maniobro
Cabo
Electricista
Operador de Excavadora
Operador de Camión Volteo
Operador de Manipulador
Operador de Jumbo de Barrenación
Operador de Cargador Frontal
Operador de Hormigonera
Oficial Inyectista
Orquestero
Soldador
Albañil
Carpintero
peón

Tabla 50.- Equipo Topográfico.

EQUIPO TOPOGRÁFICO	
EQUIPO	MODELO O MARCA
Estación Total	Leica TS02
Tripie	Leica
Prisma	Leica

Tabla 51.- Maquinaria.

MAQUINARIA	
EQUIPO	MODELO O MARCA
Lanzadora de Concreto	Cifa Putzmeister
Excavadora Hyundai	210 LC-7
Cargador frontal	Pailoder 950F
Camion Volteo	Mercedes Benz
Jumbo de Barrenación	Sandvick DT 820
Auto Hormigonera	Pitzini
Hany	ZMP 700/120
Manipulador	TL 943
Plata de Soldar	Lincoln Electric Vontage
Compresor	300 Sullar
Generador de Energia	Be solutions 100 kw



### III.3.- DRENAJE Y DESAGUE PLUVIAL

El drenaje y desagüe pluvial está compuesto por 4 obras principales, colocación de tubería, los pozos de visita y cajas de captación, bocas de tormenta y geomembrana.

#### III.3.1.COLOCACIÓN DE TUBERÍA.

La tubería tiene como función la conducción de los escurrimientos pluviales los cuales pasan temporalmente por los pozos de visitas y cajas de captación, ubicadas a 1.825 m de separación del paño de la banquetta a centro de la tubería en ambos costados del trazo izquierdo y derecho.

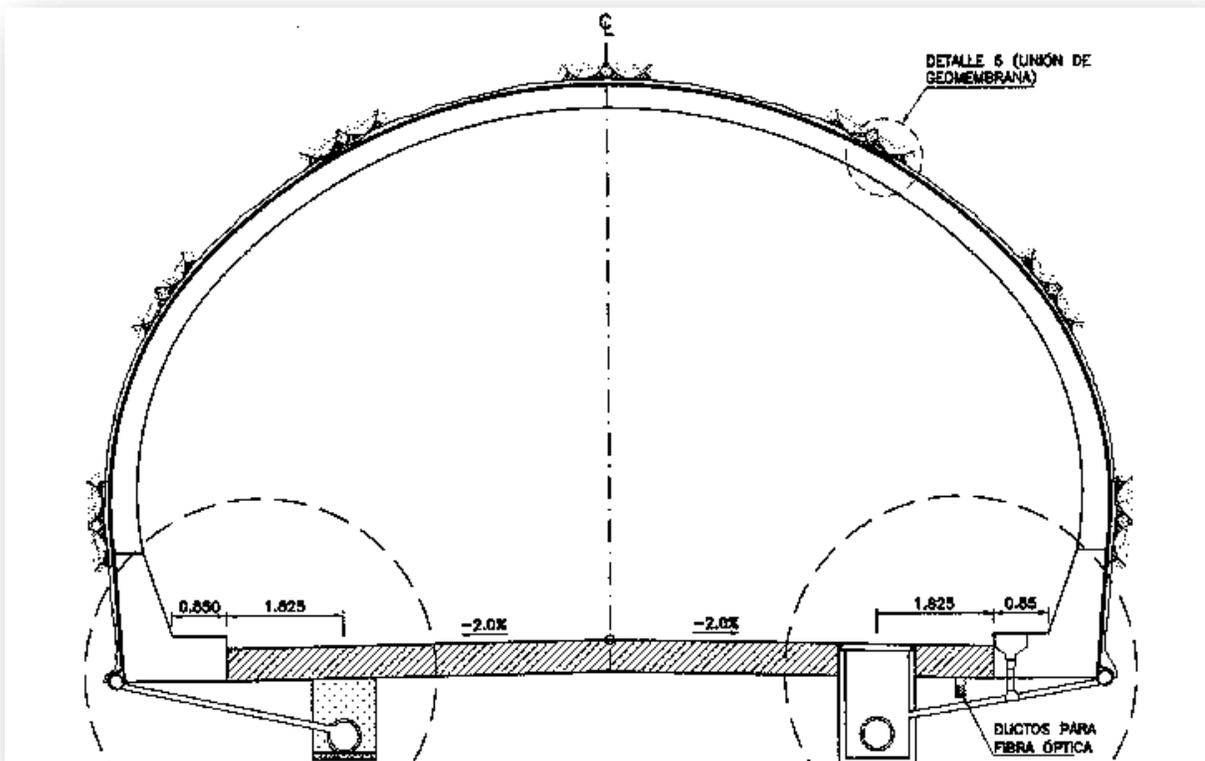


Figura 1.- Esquema de pozo de visitas, drenes laterales y bocas de tormenta. Fuente (Proyecto ejecutivo).

La tubería fue instalada de acuerdo al proceso constructivo siguiente.

1.- Topografía marca la ubicación de la excavación.

2.- Excavación de la zanja tiene las siguientes dimensiones 1.20 de ancho y 1.20 m de profundidad.

3.- Una vez terminada la excavación de la zanja y el afine de la misma, topografía marca niveles para la cama de arena y centrado de tubos.



Figura 2.- Excavación.

4.- Colocación de cama de arena de 10 cm de espesor.



Figura 3.- Cama de arena de 10 cm.

5.-Colocación de tubo de polietileno de 18 pulgadas con una pendiente del 4% de acuerdo al proyecto.



Figura 4.- Colocación de tubería de polietileno de 10 pulgadas

6.-Relleno y compactación al 100% en capas de 20 a 25 cm.



Figura 5.- Compactación por capas.

7.- Liberación por laboratorio supervisor.



Figura 6.- Prueba de compactación.

### III.3.2 POZOS DE VISITA Y CAJAS DE CAPTACIÓN.

Los pozos de vistas y cajas de captación son parte del drenaje pluvial el cual se encarga de drenar los escurrimientos pluviales por las bocas de tormenta y drenes laterales para después enviarla a su destino final. Los pozos de visita se ubicaron a cada 50 m de acuerdo a lo establecido en el proyecto y las cajas de captación al inicio y al final del túnel.

De acuerdo a la siguiente metodología se llevó a cabo la construcción de los pozos de visita y cajas de captación.

1.- Excavación de pozo de visitas y caja de captación.

2.- Afine de sepa.

3.- Cimbra de pozo de visitas y caja de captación.

3.-Armado con varilla de 3/8 de pulgada a cada 20 cm de separación, con amarres de alambre recocido para los pozos de visita y también las cajas de captación, los pozos de visita tienen un dimensionamiento de 1.2 m de profundidad por 1.2 m de ancho, y las cajas de captación tienen un dimensionamiento de 2.08 m de profundidad por 1.2 m de ancho.

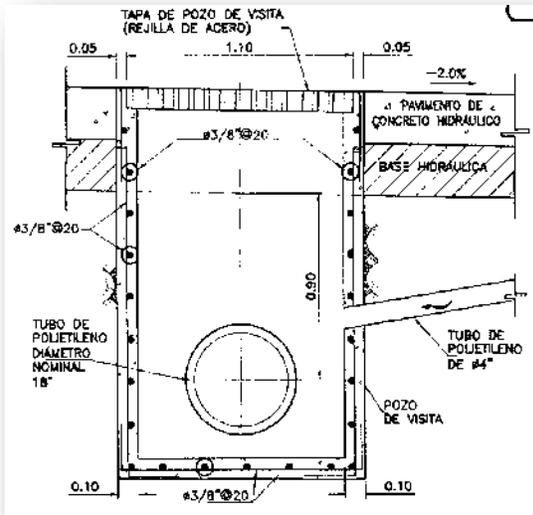


Figura 7.- Pozo de visitas Fuente (Proyecto ejecutivo).

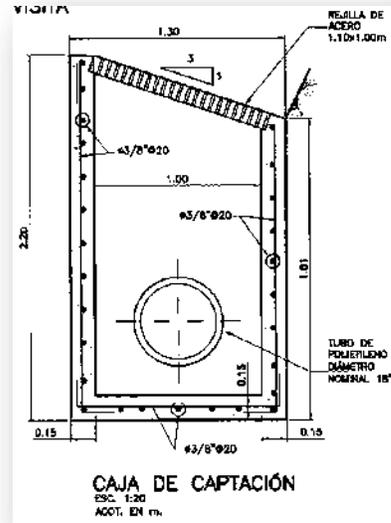


Figura 8.- Caja de captación. Fuente (Proyecto ejecutivo).



Figura 9.-Caja de captación y Pozo de visitas.



Figura 10.- Pozo de visitas interior de túnel.

7.-Colado de caja de captación y pozo de visitas.



Figura 11.- Colado de caja de captación



Figura.12- Pozo de visitas terminado.

8.- colocación de tapa para pozo de visitas y caja de captación.

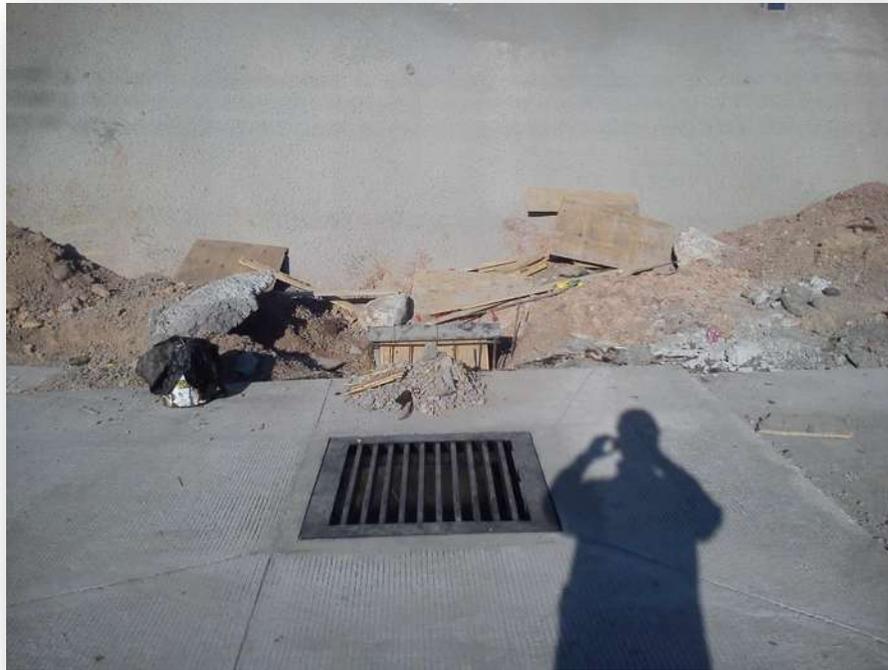


Figura 13.-colocación de tapa de Caja de captación.

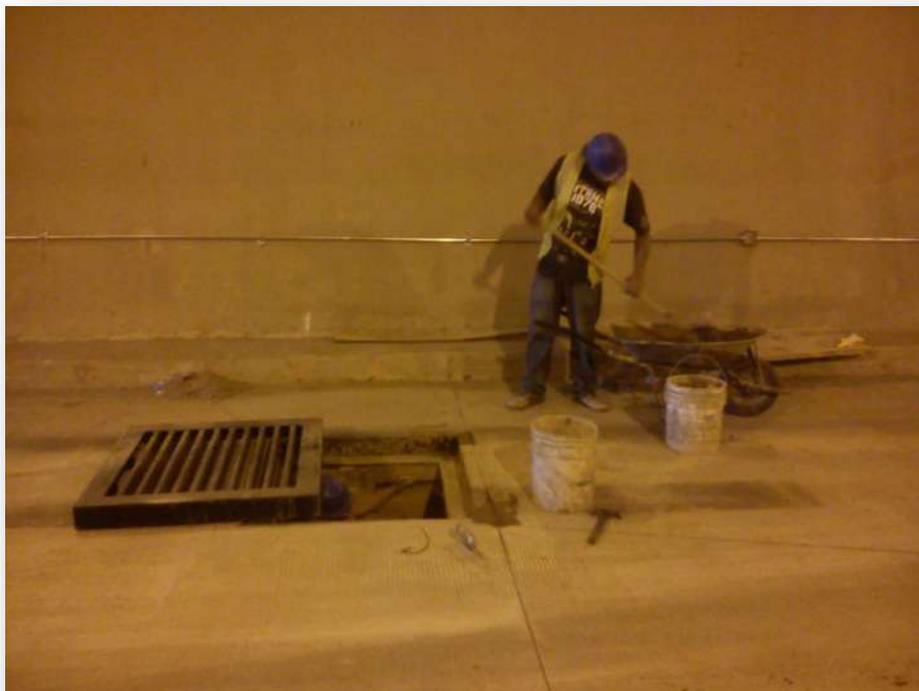


Figura 14.-colocación de tapa de Pozo de visitas.

### III.3.3 BOCAS DE TORMENTA.

Las bocas de tormenta son las encargadas de desalojar el escurrimiento pluvial del pavimento hacia las tuberías de drenaje, las bocas de tormenta de acuerdo al proyecto fueron ubicadas a cada 50 m. Construyéndose de la siguiente manera.

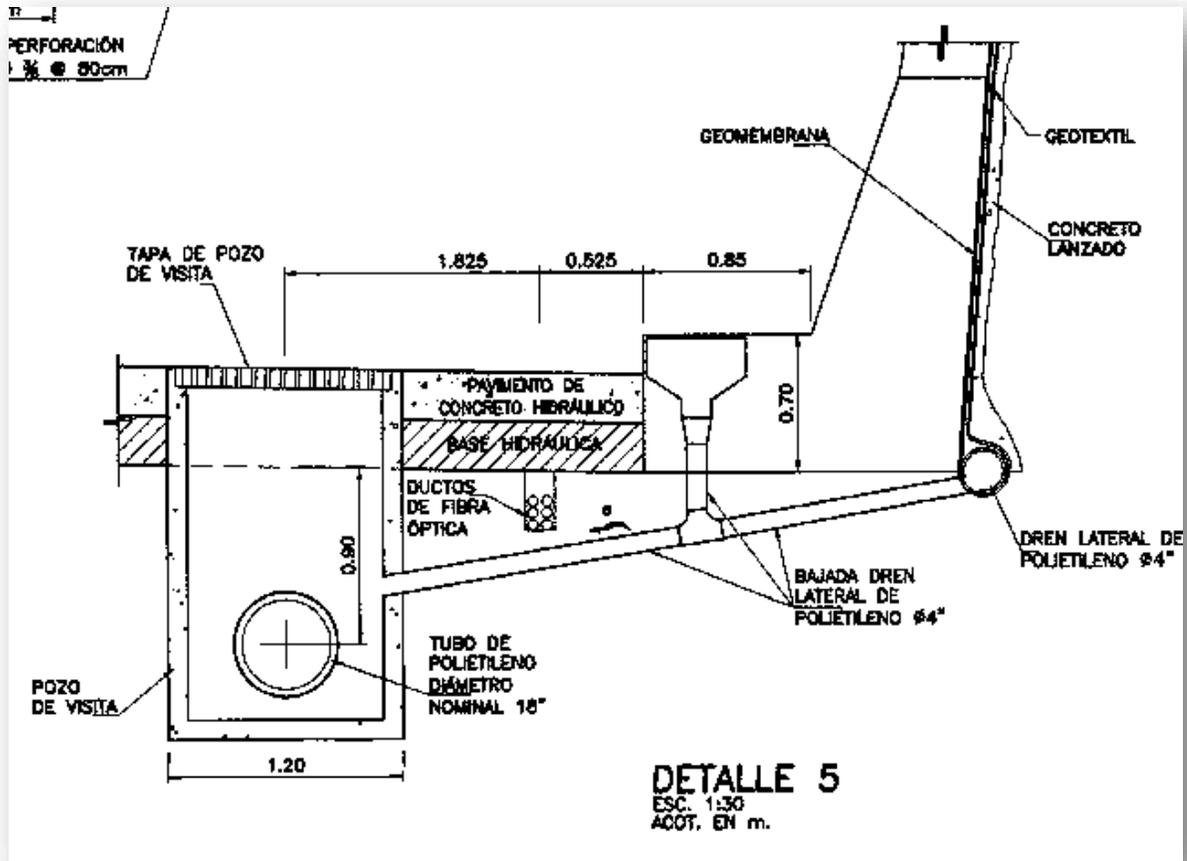


Figura 15.- Esquema de colocación de boca de tormenta. Fuente (Proyecto ejecutivo).

- 1.-Ubicación de bocas de tormenta conforme al equipo de topografía.
- 2.- Excavación de 50 cm de ancho por 50 cm de largo.
- 3.- Colocación de tubería de 4 pulgadas.



Figura 16.- Bajada de dren lateral de 4 pulgadas para descarga de boca de tormentas a pozo de visita.

6.-Colocación de boca de tormenta. y dren lateral de polietileno de 4 pulgadas con una pendiente de bombeo del 2% hasta el pozo de visitas.



Figura 17.- Base de tormenta de 4 pulgadas terminada y zanja para tubería de boca de tormenta.

Tabla 53.-Equipo de Seguridad.

EQUIPO DE SEGURIDAD
EQUIPO
Casco
Botas
Chaleco
Arnés
Cuerda de Vida
Careta
Guantes
Lentes
Tapones para Ruido

Tabla 54.- Equipo Topográfico.

EQUIPO TOPOGRÁFICO	
EQUIPO	MODELO O MARCA
Estación Total	Leica TS02
Tripie	Leica
Prisma	Leica

Tabla 55.- Maquinaria.

MAQUINARIA	
EQUIPO	MODELO
Excavadora Hyundai	210 LC-7

Tabla 56.- Mano de Obra.

MANO DE OBRA
CATEGORIA
Topógrafo
Ayudante de Topografo
Sobrestante
Operador de Excavadora
Albañil
Peon

### III.3.5 GEOMEMBRANA.

La geomembrana tiene la función de absorber los posibles escurrimientos pluviales provocados por las filtraciones en el terreno y el geotextil es el impermeable del revestimiento el cual transmite los escurrimientos hacia los drenes de 4 pulgadas que posteriormente desfogan en las tuberías de drenaje.

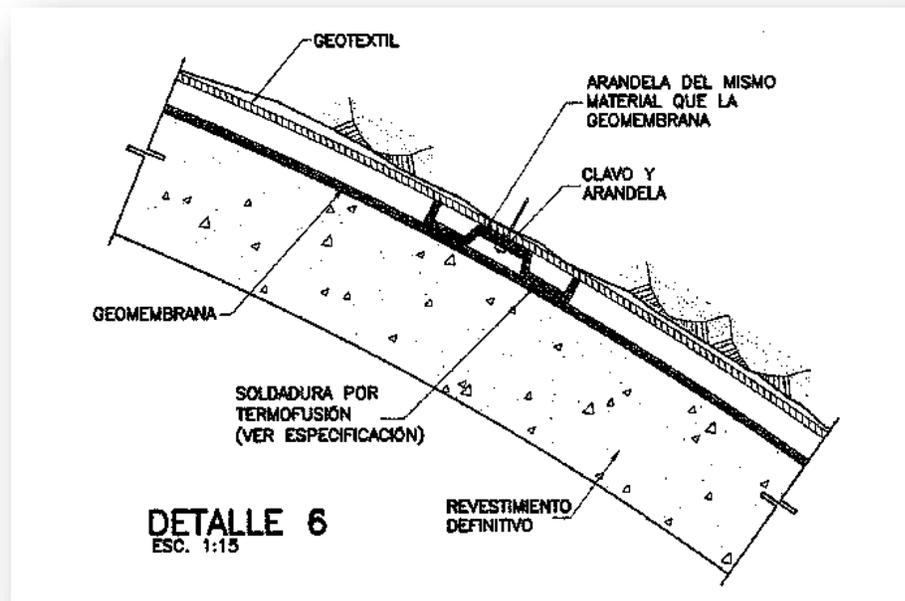


Figura 18.- esquema de colocación de geomembrana y geotextil.

Y se coloca mediante el siguiente proceso constructivo.

- 1.- Se coloca el geotextil manualmente.
- 2.- Mediante a una pistola de impacto se colocan clavos para asegurar para que esta quede bien sujeta a las paredes de la media sección inferior y a los hastiales del túnel.



Figura 19.- .Colocación y restirado de Geotextil.



Figura 20.- Pistola de Impacto.

### 3.- Colocación de subdrenes laterales.



Figura 21. - colocación de subdrenes laterales de 4 pulgadas.

### 4.- Colocación de arandelas.



Figura 22.- colocación de arandelas.

5.- Se coloca la geomembrana sobre el geotextil, es fijada con calor producido mediante la termofusora Comet.



Figura 23.- Colocación de geomembrana a las arandelas



Figura 24.- Sellando lienzos por termofusión.



Figura 25.- Uniendo membrana con la Comet

Tabla 57.- Equipo de Seguridad.

EQUIPO DE SEGURIDAD
EQUIPO
Casco
Botas
Chaleco
Arnés
Cuerda de Vida
Guantes
Lentes
Tapones para Ruido

Tabla 58.-Equipo.

EQUIPO
Pistola de impacto.
Termofusora. Comer
Andamio Movil.

Tabla 59.- Materiales.

MATERIALES
Geotextil
Geomembrana
Clavos

## ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES

### CONCRETO HIDRAULICO EN OBRAS DE DRENAJE Y DESAGÜE

- Pozos de visita, registros y caja de captación:
- $f'c=200 \text{ kg/cm}^2$ , T.M. = 19 mm

### TUBOS DE POLIETILENO:

Tubo de Polietileno corrugado de alta densidad Tipo C Ø 4" para dren lateral

- Tubo de Polietileno corrugado de alta densidad Tipo C Ø 4" para para bajada a dren lateral.
- Rigidez mínima del tubo para una flexión del 5% 35 lb/pulg<sup>2</sup>
- Tubo de Polietileno corrugado de alta densidad Tipo C Ø 18" para colector principal
- Rigidez mínima del tubo para una flexión del 5% 40 lb/pulg<sup>2</sup>
- El tubo de polietileno deberá cumplir con la Norma ASTM D-3350 y los métodos de prueba indicados en la Norma M-252 y M-294 de AASHTO.

## IMPERMEABILIZACIÓN DEL TÚNEL

Para garantizar la impermeabilización del túnel se deberá implementar un sistema compuesto por una membrana como elemento impermeable y un geotextil como capa de protección y drenaje.

A continuación se describen las especificaciones de cada uno de éstos elementos.

A) Geotextil no-tejido, de polipropileno (resistente a la hidrólisis), unidos mecánicamente mediante punzonado (agujado), resistente ala hidrólisis.

- Peso 500gr/m<sup>2</sup> (mínimo). Resistencia CBR >4,000N
- Su colocación se deberá efectuar sujetándolo a la pared del túnel por medio de arandelas o discos de PVC de 60 cm<sup>2</sup> de área.

B) Geomembrana de PVC-P, tipo Signal Layer (amarillo-negro),de 1.5 mm de espesor (mínimo).

- Alargamiento a la rotura 300% (mínimo).
- Comportamiento al fuego autoextinguible.
- Resistencia a los microorganismos y a las raíces.
- Su colocación deberá efectuarse transversalmente y sujetarse por termofusión a las arandelas previamente colocadas. Los lienzos de deberán termofusionarse entre sí con un traslape mínimo de 8 cm con canal de comprobación central. El control de cada soldadura se efectuará mediante ensayo con aire comprimido a 2 atm de presión, durante 15 minutos, aceptando una pérdida de presión del 10%. El 100% de las soldaduras deberán ser comprobadas con este método.

En general, la impermeabilización del túnel deberá cumplir con la Norma Española UNE 104424

### III.4.- REVESTIMIENTO DEFINITIVO.

El revestimiento definitivo está compuesto por 2 etapas fundamentales las cuales son las zapatas y la bóveda, ambas son cimbradas y coladas como se describe a continuación.

#### III.4.1.- ZAPATAS

Para fines de construcción en obra las zapatas se dividieron en dos partes lo que es la zona I y zona II, la primera con un dimensionamiento de 1.70 m de ancho y 0.70 m de altura en túneles falsos y 1.60 m de ancho por 0.60 m de altura al interior del túnel.

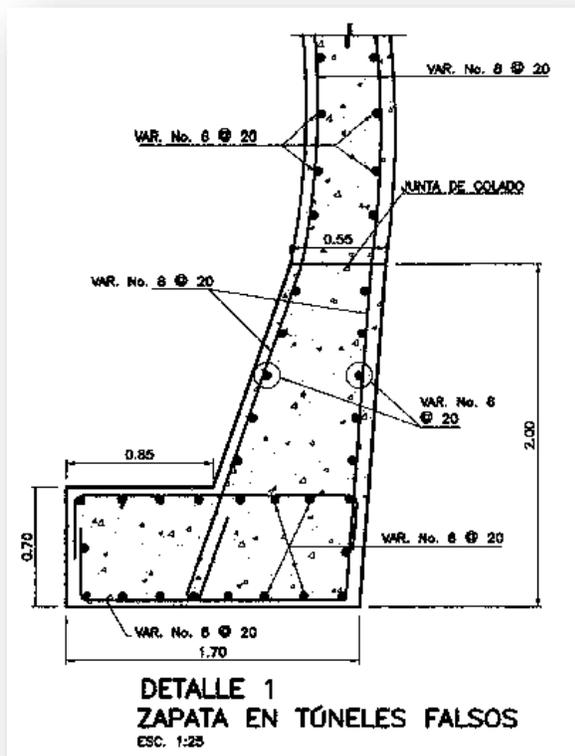


Figura 1.- Zapata en túneles falsos. Fuente (Proyecto ejecutivo).

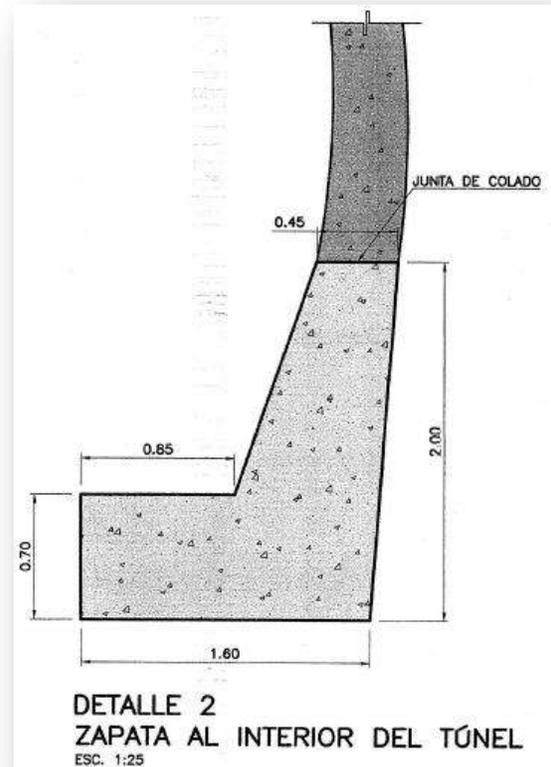


Figura 2.-Zapata en túneles falsos.

Fuente (Proyecto ejecutivo).

## ZONA I

- 1.- La cuadrilla topográfica hace el marcaje de la línea de referencia donde se ubicara la zona (6 m del eje).
- 2.- Con clavos se marca en el terreno la línea que determino el Topógrafo.
- 3.- Se coloca el armado de acero el cual consiste en un armado de varilla del número 8 transversalmente (estribos) y longitudinalmente del no. 6, con una separación de 20 cm tanto varillas transversales como longitudinales (esto solo es aplicable en los túneles falsos).



Figura 3.- Armado de acero en zona 1.

- 3.- Una vez colocados los clavos y puesto el armado se procede a colocar la cimbra metálica, fijadas mediante pequeños barrotes y troqueles anclados a la plantilla.
- 4.- Se revisa nuevamente con topografía si está colocado el paño de la cimbra en el lugar correcto. Y si es así se procede a cubrir los pequeños espacios que sobran con cimbra de madera.



Figura 4. Cimbra de zona 1

5.- Colado. Una vez cimbrada la zona 1 se procede a colocar la Putzmeister, para posteriormente verter el concreto de la olla a la tolva de la Putzmeister y ser bombeado a 300 rpm, conforme se va rellenando la zona I se procede a meter los vibradores para tener una mejor homogeneidad del concreto.

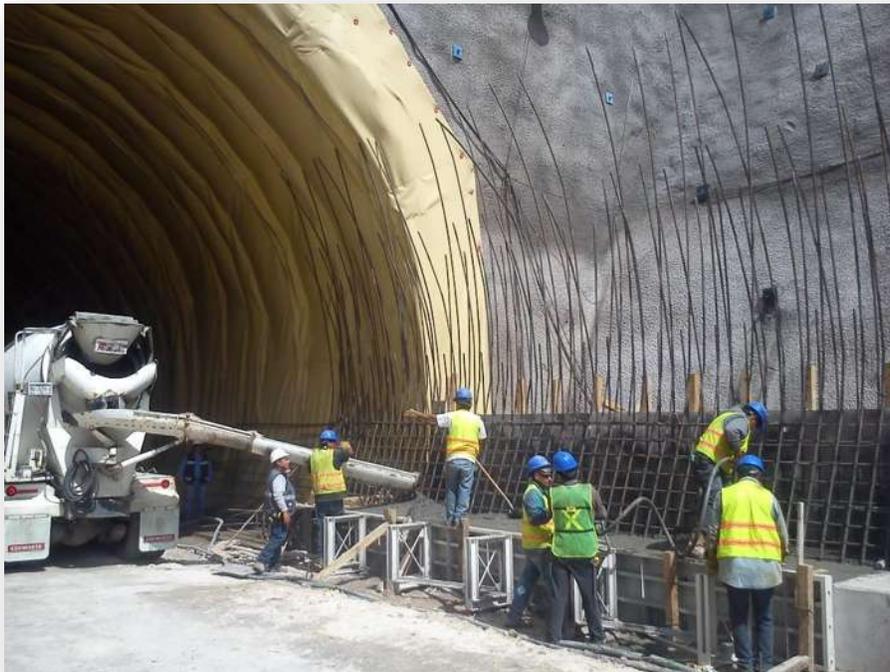


Figura 5.- Colado de zona I en túnel falso

## ZONA II

1.- Se coloca el armado de acero el cual consiste en un armado de varilla del número 8 transversalmente y longitudinalmente del no.6, con una separación de 20 cm tanto varillas transversales como longitudinales (esto solo es aplicable en los túneles falsos).



Figura 6.- Armado de guarnición.

2.-Se colocan los tablonés de acero mediante la ayuda de la excavadora o manipulador sujetando con dos cables de acero dicho tablón.



Figura 7. Colocación de tablonés de acero.



Figura 8.- Cimbra con tablonés en túnel falso.

- 3.- Se procede a marcar la distancia correcta donde debe ir el paño del tablón (6.85 m) y el cabo, junto con el ayudante lo acomodan correctamente.
- 4.- Posteriormente se procede a colocar los troqueles hechos con alambroón colocados en la parte inferior, media y superior del tablón.



Figura 9.-Cimbrado de Guarnición con madera.

- 5.- Con dichos troqueles se sujetan los polines en los cuales se apoyan los tubos de acerero que sirven como puntales para que no se venga la cimbra hacia afuera.
- 6.- En la parte interior se colocan pedazos de polines pequeños para que no se valla hacia adentro la cimbra y así de este modo se garantiza la correcta estabilidad del talud de la guarnición.
- 6.- Posteriormente se procede a acercar el compresor con la excavadora y se coloca el tubo con el cual se vaciará el concreto en la guarnición.



Figura 10.-Colocación de puntales y tubo de desfogue de concreto del compresor.

7.- Se acerca la olla de concreto generalmente de 6 o 7 m<sup>3</sup>, de resistencia  $f'c$  300 a los 28 días.

8.- Se procede a verter el concreto en tolva del compresor el cual tiene una malla para cribar las piedras de tamaño inadecuado para posteriormente mandar ese concreto al tubo de salida, el compresor trabaja a 300 rev por min.



Figura 11.-Vertido de concreto en tolva para después colocarlo en guarnición.

9.- Todo esto supervisado por el cabo, sobrestante y jefe de frente.



b).- Se nivela la cimbra metálica mediante la topografía con un punto ubicado en el eje de la cimbra a en la parte superior ubicado a 8.30 m de altura, para ver que este a la elevación y trazo correcto.

c).- Se bajan las patas mecánicas y se vuelven a apretar de la misma manera que fueron levantadas.



Figura 13.-Bajado de patas metálicas.



Figura 14.- Cimbra metálica nivelada para el armado.

### 3.- Armado de Acero

El armado de acero dará la estabilidad necesaria para evitar el agrietamiento y la falla del concreto. Para el túnel falso se utilizó un armado de acero con varilla del no. 8 transversalmente y longitudinalmente del no. 6, a cada 20 cm de separación.



Figura 15.- Armado de acero en túnel falso,

### 4.-Contra cimbra

La contra cimbra es la encargada de soportar la presión del concreto durante el colado y así garantizar un colado uniforme.

Una vez terminado el armado de acero se procede a colocar la contra cimbra en el cadenamamiento donde se requiere. De acuerdo al siguiente procedimiento.

- a) Se coloca la cimbra de triplay.
- b) Se amarran con alambrcn con la varilla exterior del armado y varilla de media por el paño exterior de la cimbra de triplay para darle la forma adecuada.



Figura 16.- Colocación de Contra Cimbra.

c).- Se procede a cimbrar el tapón con madera en los extremos de la cimbra para evitar que el concreto se salga.



Figura 17.- Cimbrado con madera en bóveda.

## 5.- Colado.

El colado es la parte más importante de la bóveda ya que si sale mal todas las fases anteriores también fallaran. El colado se llevó a cabo de acuerdo al siguiente procedimiento.

a).- Se coloca la bomba estacionaria. En la cual se vierte el concreto.



Figura 18. Colocación de bomba estacionaria.

b).- Se vierte el concreto en la bomba de bombeado estacionaria.



Figura 19.- vertido de concreto con olla de 14 m<sup>3</sup>.

c).-Se vierte el concreto con la pluma.



Figura 20.- Vertido de concreto en tolva.

d).- Se vierte el concreto por dos ventanas laterales, y cada 2 o 3 minutos se encienden las líneas de vibradores, al mismo tiempo se revisa por las otra ventanas si se está llenando correctamente la bóveda.

e).- Se procede a cambiar las tuberías de colado a cada boquilla iniciando de las laterales al centro hasta llenar completamente la bóveda.



Figura 21.- Colado de bóveda en túnel falso.

### III.4.2.2.- BOVEDA AL INTERIOR DEL TÚNEL

#### 1.- Trazo y Nivelación de Cimbra.

El trazo y nivelación permite ubicar la cimbra adecuadamente en el cadenamiento. Antes del trazo y la nivelación se debe colocar el geotextil y la geomembrana. Para después continuar con el siguiente procedimiento.

- 1.- Se procede a colocar la cimbra metálica (carro de colado), en el interior del túnel.
- 2.- Se nivela la cimbra metálica mediante la topografía con un punto ubicado en el eje de la cimbra a en la parte superior ubicado a 8.30 m de altura, para ver que este a la elevación y trazo correcto.
- 3.- Se bajan las patas mecánicas y se vuelven a apretar de la misma manera que fueron levantadas.



Figura 22.-Bajado de patas metálicas.



Figura 23.- Cimbra metálica nivelada.

c).- Se procede a cimbrar el tapón con madera en los extremos de la cimbra para evitar que el concreto se salga.



Figura 24.- Cimbrado de tapón con madera en bóveda.

## 2.- Colado

El colado es la parte más importante de la bóveda ya que si sale mal todas las fases anteriores también fallaran. El colado se llevó a cabo de acuerdo al siguiente procedimiento.

a).- Se coloca el compresor y la tolva. En la cual se vierte el concreto.

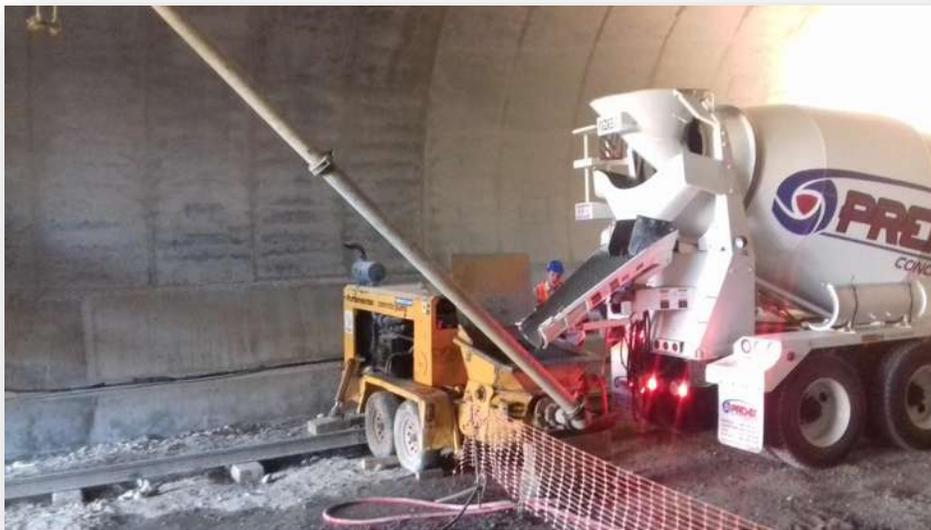


Figura 25. Colocación de compresor y tolva.

b).- Se prepara la tubería por la cual se transportara el concreto.

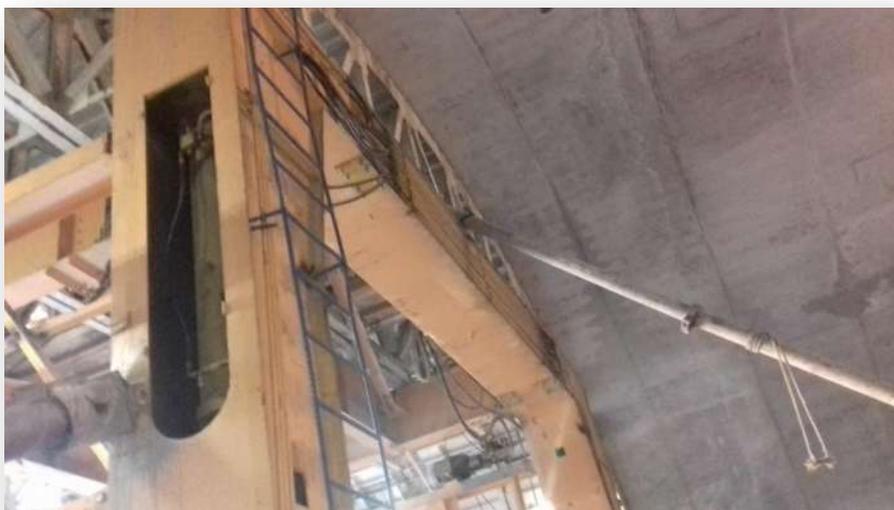


Figura 26.- Colocación de tubería.

c).-Se vierte el concreto en la tolva y se bombea.



Figura 27.- Vertido de concreto en tolva.

d).- Se vierte el concreto por dos ventanas laterales y cada 2 o 3 minutos se encienden las líneas de vibradores, al mismo tiempo se revisa por las otra ventanas si se está llenando correctamente la bóveda.

e).- Se procede a cambiar las tuberías de colado a cada boquilla iniciando de las laterales al centro hasta llenar completamente la bóveda.



Figura 28.- Colado de bóveda por boquillas.

### 3.- DESCIMBRA Y MOVIMIENTO DE CIMBRA

Posteriormente al colado se debe proceder a descimbrar la bóveda, para posteriormente moverla al cadenamamiento donde se volverá a usar de acuerdo del paso 1 al 5 anteriormente descritos. De acuerdo al procedimiento siguiente.

a).- Se procede a retirar la cimbra de madera colocada por el albañil y su peón, la cual se ubicó en los lados de la cimbra metálica para evitar que se salga el concreto.



Figura 29.-Colocación de cimbra de madera en los extremos.

b).-Después se desprenden los durmientes con equipo manual como marros y se pasan a la parte de adelante del riel colocándolos de la misma manera que se retiran golpeando con los marros para que entren o salgan por los ayudantes y peones, supervisados por el cabo.



Figura 30.-Riel montado en los durmientes.

c).- El oficial maniobrista con las palancas de la cimbra metálica levanta de un solo extremo las patas 2 donde están los gatos hidráulicos principales.



Figura 31.-Se levantan las patas hidráulicas de un extremo.

d).- Mediante un cable de acero se amarra el riel al bote de la excavadora y se procede a jalar el riel hasta la distancia adecuada.



Figura 32.-Jalado de riel con bote de excavadora.

e).- Se bajan las patas que se subieron antes y se repiten el paso “c” y “d” anteriormente mencionados, después se vuelven a bajar.



Figura 33.-Bajado de patas hidráulicas y acarreo de durmientes.

f).- Enseguida el peón afloja las patas mecánicas de un solo extremo de manera manual mediante a una ganchua y con un marro se golpean los tornillos para posteriormente subirlas.



Figura 34.-Alzado de patas mecánicas.

g).- Se repite el paso “f” pero del otro extremo.

h).- Una vez ya levantadas las patas mecánicas en los dos extremos se procede a cerrar la concha de la cimbra con las palancas de control.



Figura 35.-Cabo verificando el cerrado de concha en cimbra metálica.

i).- Se mueve la cimbra con las mismas palancas de control a 9 m más adelante ya que 9 m es lo que se avanza por colado.

Tabla 60.- Equipo de seguridad.

EQUIPO DE SEGURIDAD
EQUIPO
Casco
Botas
Chaleco
Arnés
Cuerda de Vida
Careta
Guantes
Lentes
Tapones de Ruido

Tabla 61.- Mano de obra.

MANO DE OBRA
CATEGORIA
Topógrafo
Ayudante de Topógrafo
Sobrestante
Oficial maniobrista
Cabo
Ayudante especializado
Operador de Manipulador
Carpintero
Ayudante de carpintero
Fierrero
Ayudante de Fierrero
Peón

Tabla 62.- Equipo topográfico

EQUIPO TOPOGRÁFICO	
EQUIPO	MODELO O MARCA
Estación Total	Leica TS02
Tripie	Leica
Prisma	Leica

Tabla 63.- Maquinaria.

MAQUINARIA	
EQUIPO	MODELO
Manipulador	TL 943
Termofusora	Comer
Pistola de impacto	Earthquake

## ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES

### 1.- CONCRETO HIDRÁULICO

- Agregados: densidad: 2.55 (mínima)
- t.m. 40mm (1 1/2"), en zapatas hasta la junta de construcción y 20mm (3/4") para concreto bombeado en paredes y bóveda.
- % arena 38-42%

#### CEMENTO:

- Contenido 350-400 kg/m<sup>2</sup>
- Cemento Pórtland ordinario

## COMPOSICIÓN

- nmx-c-414-onncce-1999

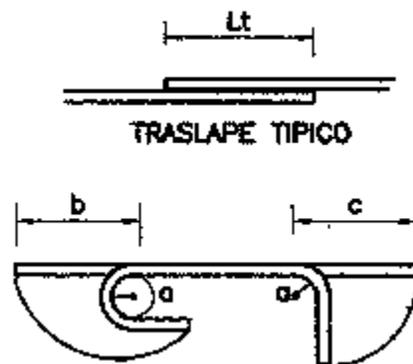
## RESISTENCIA:

- $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$
- Valor inferior a  $f'c$ : 10% máximo
- Desviación estándar:  $30 \text{ kg/cm}^2$  máxima
- Revenimiento:  $12\text{cm} \pm 1.5$

2) El acero de refuerzo será corrugado con  $f_y = 4,200 \text{ kg/cm}^2$ , y deberá cumplir con los detalles anexos del refuerzo:

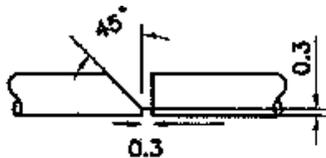
### CUADRO DE DOBLECES

#	Diám. (cm)	a (cm)	b (cm)	c (cm)	Lt (cm)
3	0.95	3	18	20	45
4	1.27	4	20	25	60
5	1.59	5	25	30	75
6	1.90	7.5	35	40	90
B	2.54	10	45	50	-



\* Si en una sección se empalma más de la 3a. parte del refuerzo las longitudes de traslape se aumentaran en un 50%.

\* no se admitirán traslapes en varillas del no. 8 o mayores, en estos casos las barras se soldarán de acuerdo con lo siguiente:



USAR ELECTRODO  
DE ARCO ELECTRICO E-9018

### III.5.-PAVIMENTO HIDRÁULICO

El pavimento hidráulico está conformado por tres capas subrasante, base y pavimento. Una vez terminado el drenaje en el túnel, y los ductos de fibra óptica se dará inicio con los trabajos de terracería y pavimento. La pavimentación se desarrolló del cadenamiento 1+348 al 1+840.

#### III.5.1.- SUBRASANTE

Considerando las características del material no se necesitó un mejoramiento del mismo, debido a que es producto del corte que se hizo al perforar la montaña y cumple perfectamente con las características de subrasante.

1.- Nivelación, re nivelación y compactación de subrasante.



Figura 1.- Nivelación de Subrasante.



Figura 2.- Compactación de subrasante rodillo vibratorio

### III.5.2.-BASE

La base es la capa situada inmediatamente por debajo del pavimento la cual tiene como función principal es absorber los esfuerzos verticales y gracias a su rigidez es capaz de soportar gran número de repeticiones producidas por los ejes de los vehículos al transitar por la vialidad.

Una vez terminada la colocación de los ductos y registros de fibra óptica se formará la capa de base hidráulica cuyo espesor será de 20cm y se compactará al 100% de su P.V.S.M.



Figura 3.- Tirado de Base.



Figura 4.- Tendido de Base con Motoconformadora



Figura 5. Compactacion con Rodillo vibratorio

### III.5.3.- PAVIMENTO HIDRÁULICO

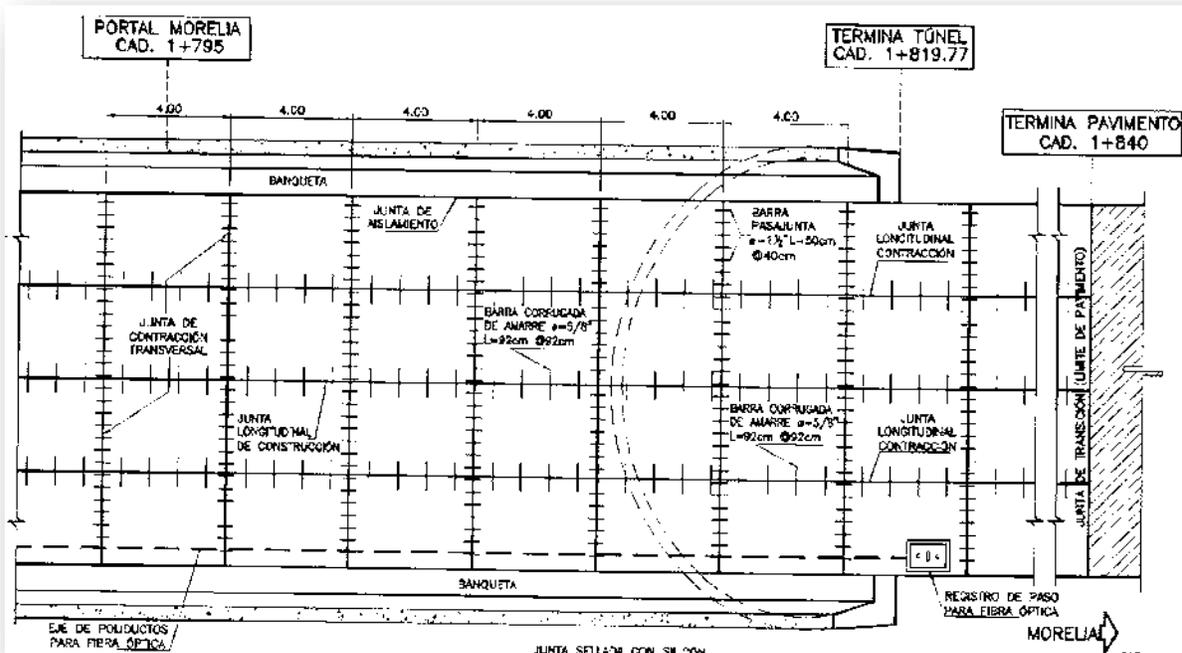


Figura 6.- Esquema de juntas constructivas, pasajunta y barra de amarres. Fuente (Proyecto ejecutivo).

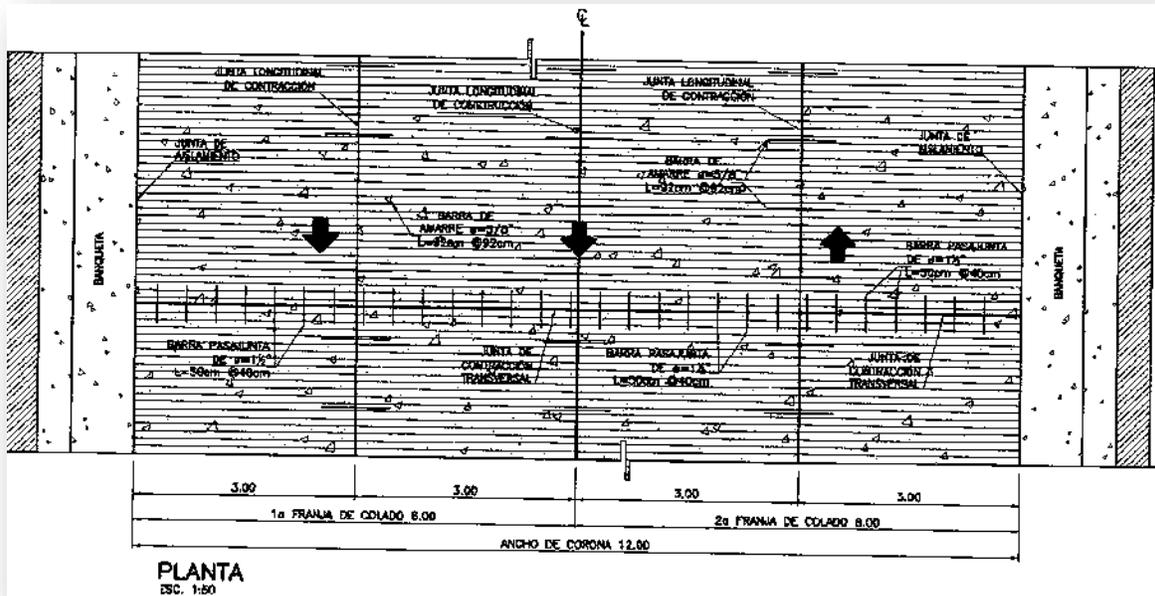


Figura 7.-Planta de juntas constructivas, pasajunta y barras de amarres (Proyecto ejecutivo).

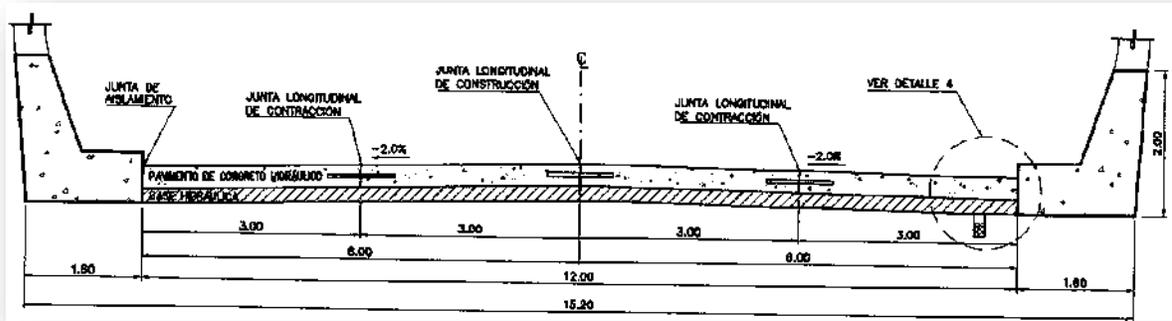


Figura 8.-Corte transversal del pavimento.

De acuerdo al proyecto se estableció una junta de transición ya que el túnel es de pavimento rígido y el acceso es de pavimento flexible. Dicha junta se inició en el cadenamiento 1+343.5, con el aumento de espesor de 15 cm de la base del pavimento flexible, para posteriormente en el cadenamiento 1+345 iniciar con la reducción del espesor de la carpeta de concreto asfáltico de 15 cm, y a partir del cadenamiento 1+346.5 se continuó con el espesor del pavimento rígido que se indica en el proyecto.

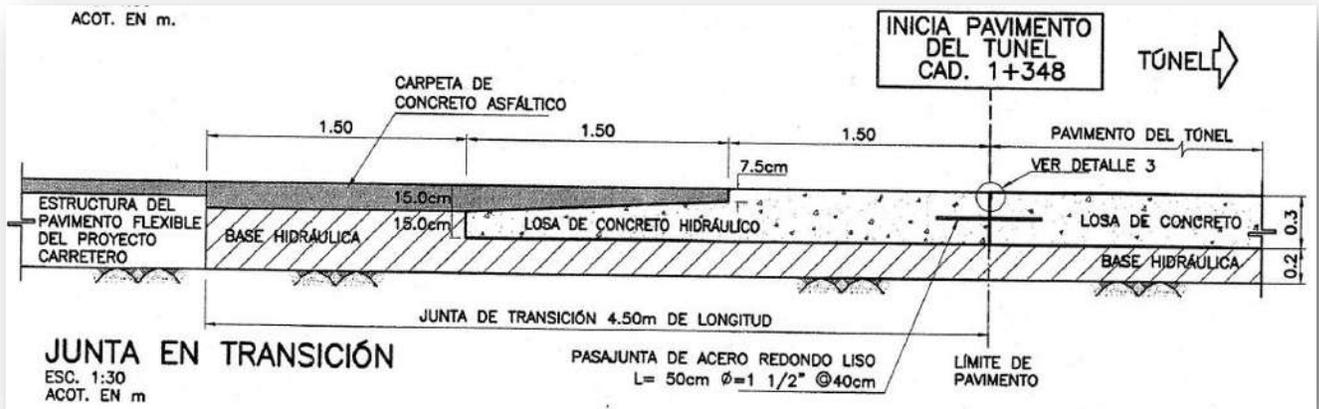


Figura 9.- Junta de transición. Fuente (Proyecto Ejecutivo).

El Pavimento de Concreto Hidráulico se construyó de acuerdo al siguiente procedimiento constructivo:

1.- Construida la base hidráulica se procederá a la colocación de las barras pasajuntas previamente engrasadas en los sitios establecidos para las juntas transversales y las barras de amarre a lo largo de las juntas longitudinales, ambas mediante canastillas de alambrión y con las características indicadas en los planos.

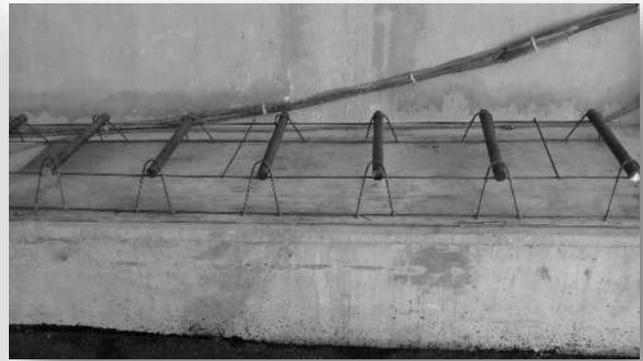
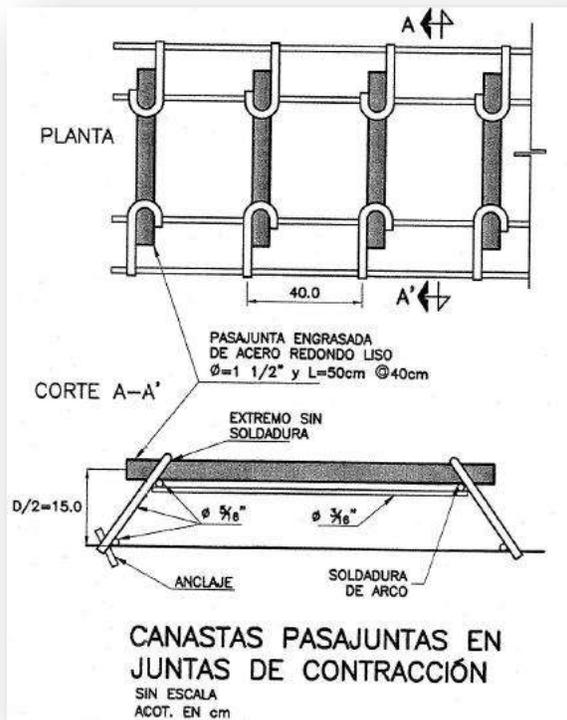


Figura 7.- Pasajuntas Transversal.

Figura 10.- Armado de pasajunta. Fuente (Proyecto Ejecutivo).

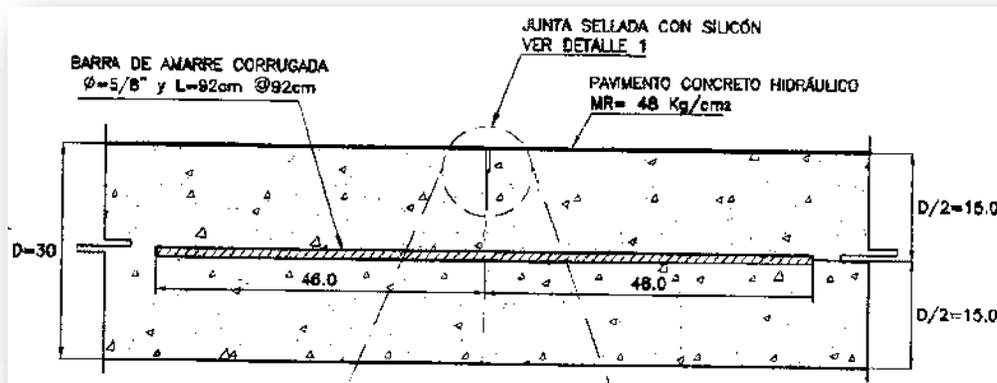


Figura 11.-Junta de contracción longitudinal (varilla de amarre).Fuente (proyecto Ejecutivo)



Figura 12.- Varilla de amarre 92 cm.



Figura 13.- Colocación de Pasajunta.

- 2.- Una vez colocado el acero se procederá a la colocación del pavimento de concreto hidráulico que tendrá un espesor constante de 30 cm con un M.R.=48 kg/cm<sup>2</sup>
- 3.- El concreto será compactado con vibradores de inmersión y terminado con regla o rodillo vibratorio.
- 4.- El colado del pavimento se hará de forma ininterrumpida (salvo fin de turno o alguna contingencia); en tal caso se hará una junta de construcción.
- 5.- La losa del pavimento se colará en dos franjas, de 6.0m de ancho cada una.



Figura 14.- Colado con Regla vibratoria sobre Guías y Montenes.

6.- Los cortes con disco para las juntas de contracción se realizarán a cada 4.00 m, perpendiculares al eje. Los cortes se harán unas horas (6 a 8 h) después de efectuado el colado; el tiempo justo, se determinará de acuerdo con los resultados de la práctica y las indicaciones de la supervisión, evitando despostillamientos o grietas anticipadas.



Figura 15.- Corte Transversal de Pavimento Hidráulico.



Figura 16.- Corte Transversal de Pavimento Hidráulico.

7.- La junta transversal de construcción se hará al término de un día de colado o al interrumpirse por causas de fuerza mayor; se colocarán barras pasajuntas de varilla lisa de  $\varnothing 1 \frac{1}{2}$ " @40cm con una longitud de 50cm.

8.- Las juntas constructivas se realizarán mediante cimbra metálica previamente perforada con la separación indicada para barras de amarre y pasajuntas según sea el caso.

9.- Para aislar el pavimento de cualquier estructura fija (banqueta, caja de captación, pozos de visita) se construirán juntas de aislamiento con Celotex de  $\frac{1}{2}$ " de ancho. Una vez que el concreto haya endurecido se retirarán 20 mm del relleno para dejar espacio al sello de la junta.



Figura 17.- Junta de aislamiento con Celotex.

11.-El curado del pavimento se realizará mediante una membrana de curado blanca aplicada con aspersora a razón de 1 lt/m<sup>2</sup> con espesor uniforme aproximadamente de 1 mm.



Figura 18.- Membrana de curado en Pavimento Hidráulico.



Figura 19.- Roquet rol y Pavimento Hidráulico Terminado

Tabla 64.- Equipo de Seguridad.

EQUIPO DE SEGURIDAD
EQUIPO
Casco
Botas
Chaleco
Arnés
Cuerda de Vida
Careta
Guantes
Lentes
Tapones para Ruido

Tabla 65.- Equipo Topográfica.

EQUIPO TOPOGRÁFICO	
EQUIPO	MARCA O MODELO
Estación Total	Leica TS02
Tripie	Leica
Prisma	Leica

Tabla 66.- Mano de obra.

MANO DE OBRA
CATEGORIA
Topógrafo
Ayudante de Topógrafo
Sobrestante
Oficial maniobrista
Cabo
Ayudante especializado
Operador de Motoconformadora
Operador de excavadora
Operador de Pipa
Operador de Petrolizadora
Operador de camión volteo
Peón

Tabla 67.- Maquinaria.

MAQUINARIA	
EQUIPO	MODELO O MARCA
Motoconformadora	Caterpillar
Excavadora Hyundai	210 LC-7
Rodillo Vibratorio	Dynapac CA25
Pipa	Kenworth
Camión volteo	Mercedes Benz
Petrolizadora	Kingord
Vibradores manuales	Cipsa
Reglilla vibratoria	Cipsa WSHE50

## ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES

### BASE HIDRÁULICA:

- Tamaño máximo de las partículas 37.5mm
- CBR mínimo 80%
- Límite líquido máximo 25%
- Índice plástico máximo 6%
- Desgaste de los Ángeles máximo 35%
- Partículas alargadas y lajeadas máximos 40%
- Grado de compactación 100%
- La base hidráulica deberá cumplir con la calidad especificada en la Norma N.CMT.4.02.002/04 de la S.C.T.

### **ACERO PARA PASAJUNTAS:**

- Límite de fluencia ( $f_y$ )= 4200 kg/cm<sup>2</sup>.
- Resistencia a la tensión= 6,330 kg/cm<sup>2</sup>
- Alargamiento a la ruptura= 8%

### **CONCRETO HIDRAULICO:**

- Módulo de Ruptura (M.R.)= 48 kg/cm<sup>2</sup> (28 días)
- Tamaño Máximo (T.M.)= 38 mm
- Revenimiento

### **TIRILLA DE RESPALDO PARA JUNTAS**

- Sello plástico no adherente de polietileno Sika Rod o similar
- Densidad 32 kg/m<sup>3</sup>                      ASTM-D-1622
- Resistencia a la tensión 3.5 kg/m<sup>3</sup>      ASTM-D-1623

### **SELLO ELASTICO PARA JUNTAS**

- Sello elástico de poliuretano Sika Flex o similar
- Densidad 1.2 kg/lt
- Resistencia a la tensión 3.5 kg/m<sup>3</sup>

### **MEMBRANA DE CURADO:**

- Blanca, (emulsión acuosa).
- CONCRETO HIDRÁULICO EN REGISTROS:
- $f'c=200$  kg/cm<sup>2</sup>      T.M. = 38 mm

### **FIBRA ÓPTICA:**

- La instalación de los ductos y los registros se hará según las normas:
- N.CTR.CAR.1.08.001/07 y N.CTR.CAR.1.08.002/01 de la S.C.T.

### III.6.-SEÑALIZACIÓN.

La señalización dentro y fuera del túnel es de gran importancia ya que con una señalización adecuada se le puede dar una mayor fluidez y seguridad al conductor.

De acuerdo al proyecto los señalamientos requeridos tanto dentro del túnel como fuera de él son:

- 1.- Señales restrictivas (Velocidad máxima, restricción de altura y no rebasar), colocadas en la entrada y salida del túnel.
- 2.- Señal de proximidad al túnel y conserve su carril.
- 3.- Señal informativa (TÚNEL I "LIBRAMIENTO SUR MORELIA")

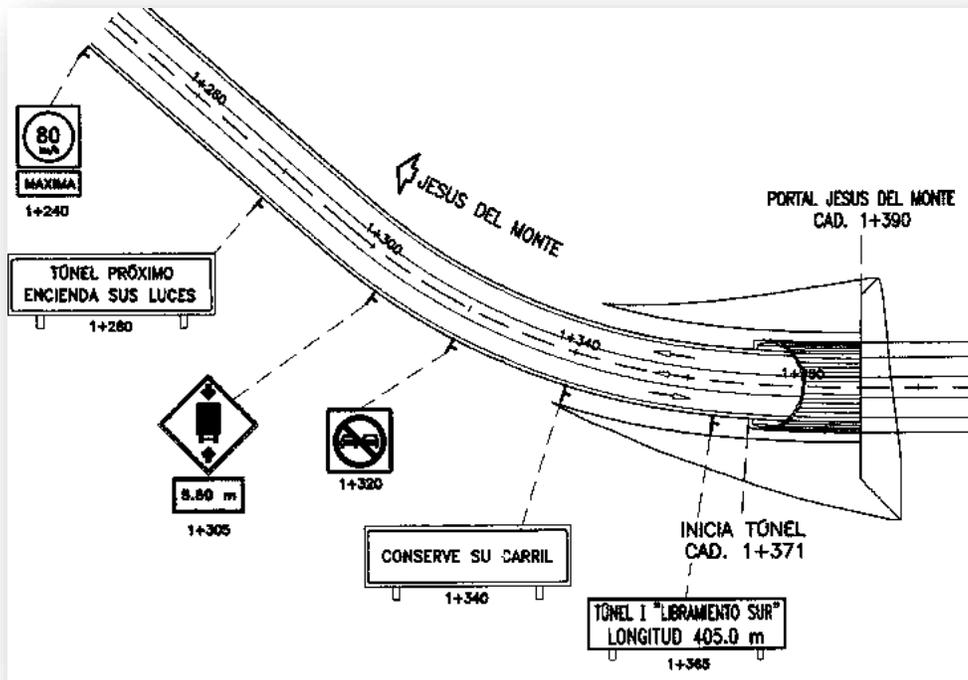


Figura 1.- Señalización en planta, entrada del túnel. Fuente (Proyecto ejecutivo).

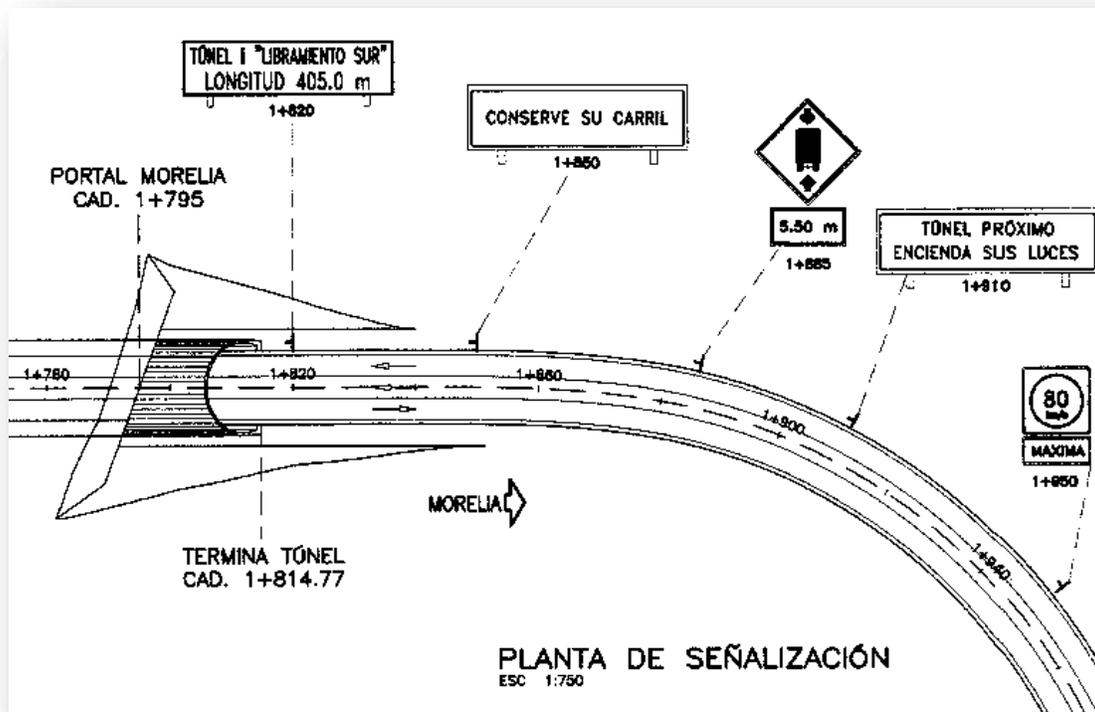


Figura 2.- Señalización en planta, salida del túnel. Fuente (Proyecto ejecutivo).

- 4.- Vialitas reflejantes clasificación DH 1.14 color amarillo en acotamientos (Acotamientos laterales de 0.75 m en ambos sentidos).
- 5.- Vialitas reflejantes clasificación DH 1.9 color blanco en rayas separadoras.
- 6.- Vialitas reflejantes clasificación DH 1.3 color amarillo en rayas separadora de sentido de circulación.
- 7.- Rayas laterales continuas clasificación M-3.1 y M-3.3
- 8.- Rayas separadoras de carril clasificación M-2.3
- 9.- Rayas separadoras de sentidos de circulación doble continua clasificación M-1.3.
- 10.- Marca en el pavimento (18 Flechas de dirección).

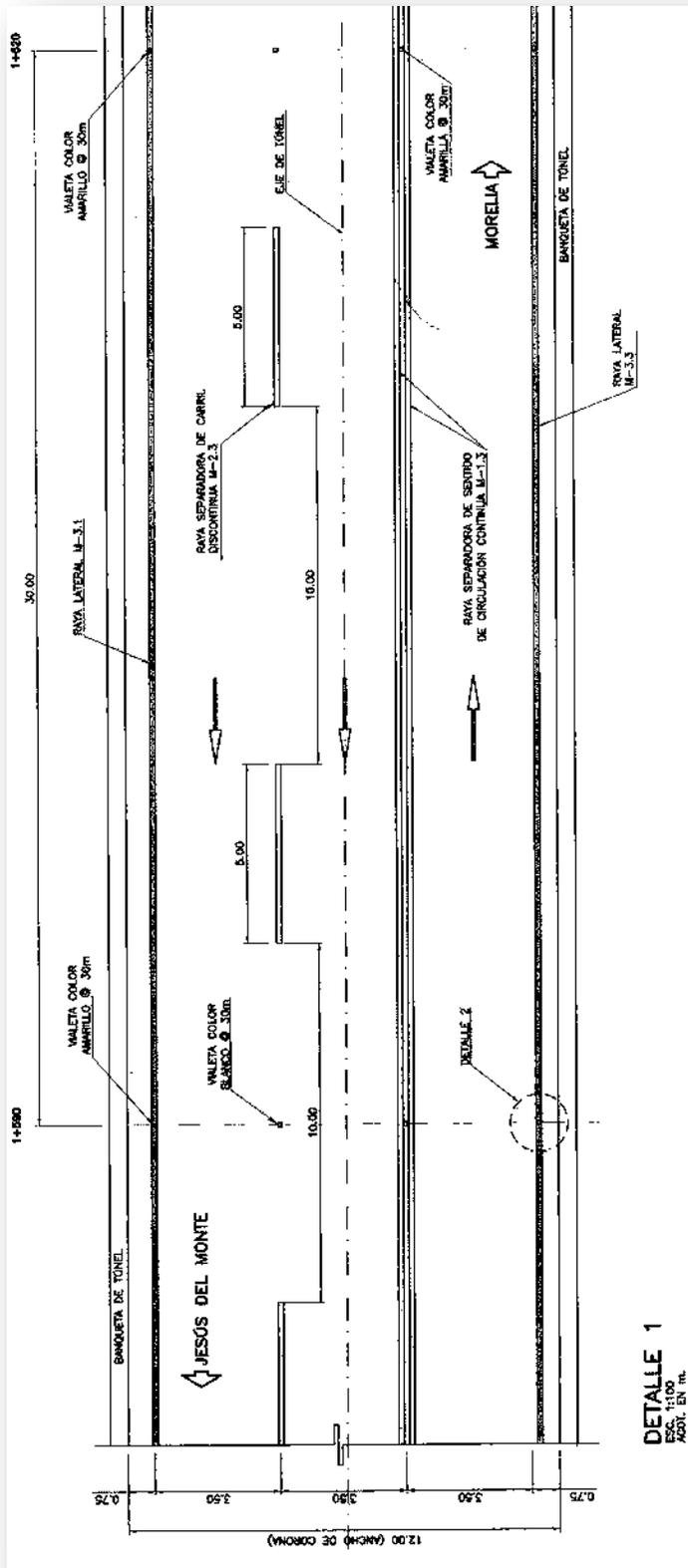


Figura 3.- Planta de señalización en interior del túnel. Fuente (Proyecto ejecutivo).

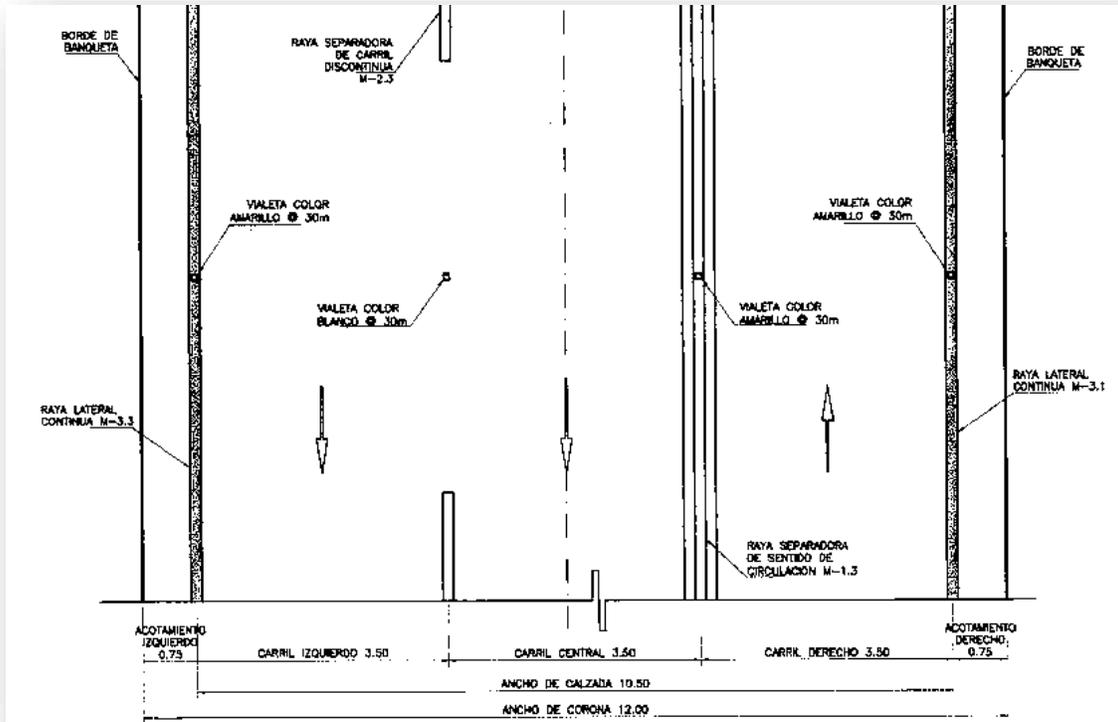


Figura 4.- Distribución de rayas en tangente. Fuente (Proyecto ejecutivo).

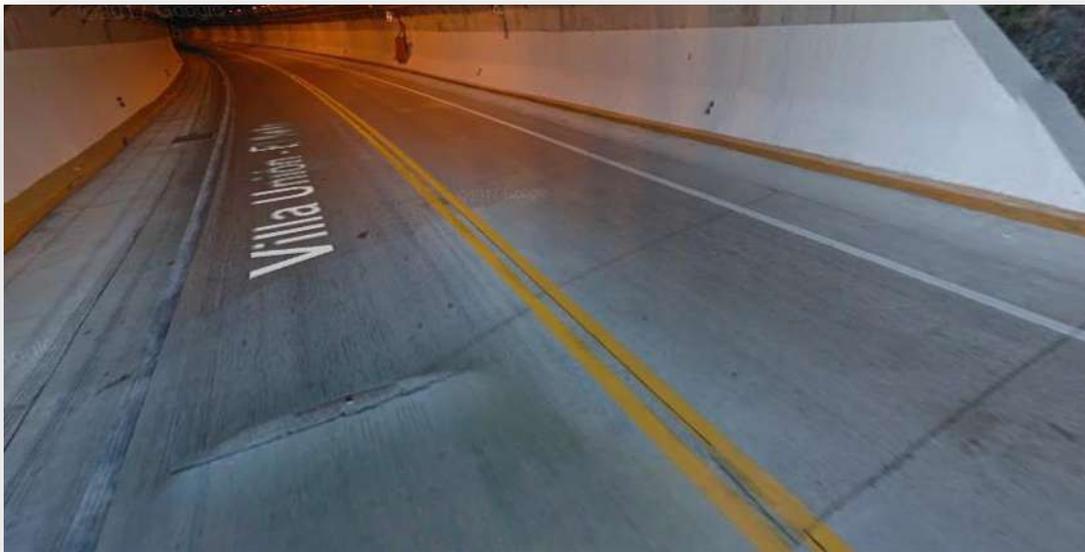


Figura 4.-Tunel Villa Unión – El Salto Sinaloa. Fuente (<https://www.google.com.mx/maps/@23.511045,-105.8021844,3a,75y,307.92h,55.55t/data=!3m6!1e1!3m4!1sI9BLgTIBgha0qvkznWklyQ!2e0!7113312!8i6656>).

### III.7.-ILUMINACION Y VENTILACIÓN

#### III.7.1.-Iluminación al interior del túnel.

La iluminación es parte elemental de un túnel ya que nos permite tener la visión adecuada al circular dentro de él. Conforme al proyecto del Túnel I se instalaron 538 lámparas, 269 lámparas en un sentido y 269 en el otro, con una separación en la zona de entrada y salida del Túnel de 1.03 m y en el resto del mismo a 2.06 m.

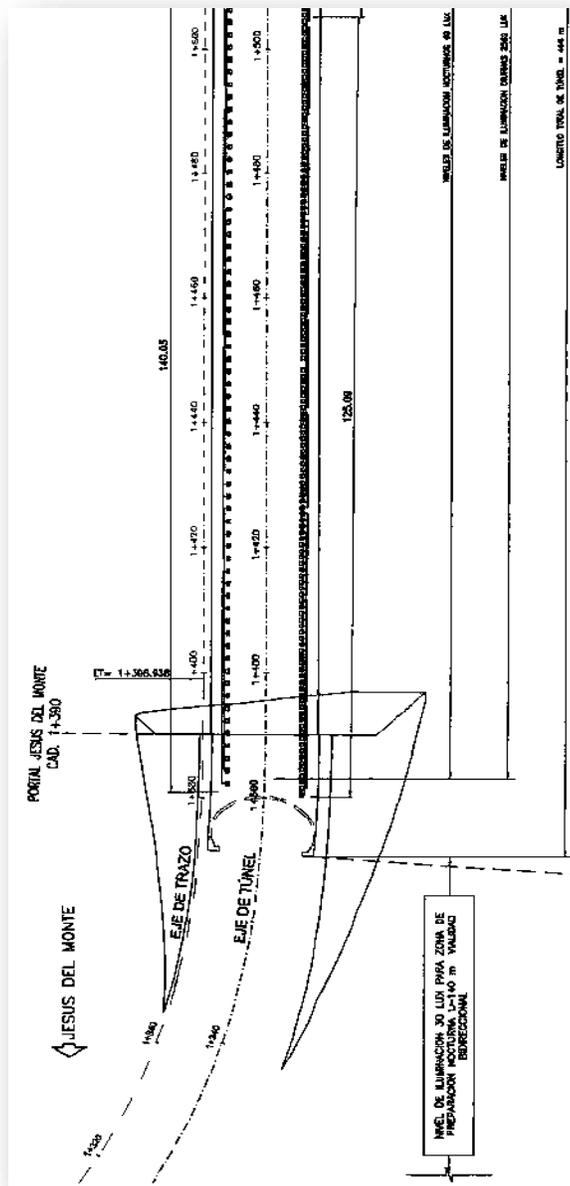


Figura 1.- Esquema de lámparas dentro del túnel portal Jesús del Monte. Fuente (Proyecto ejecutivo).

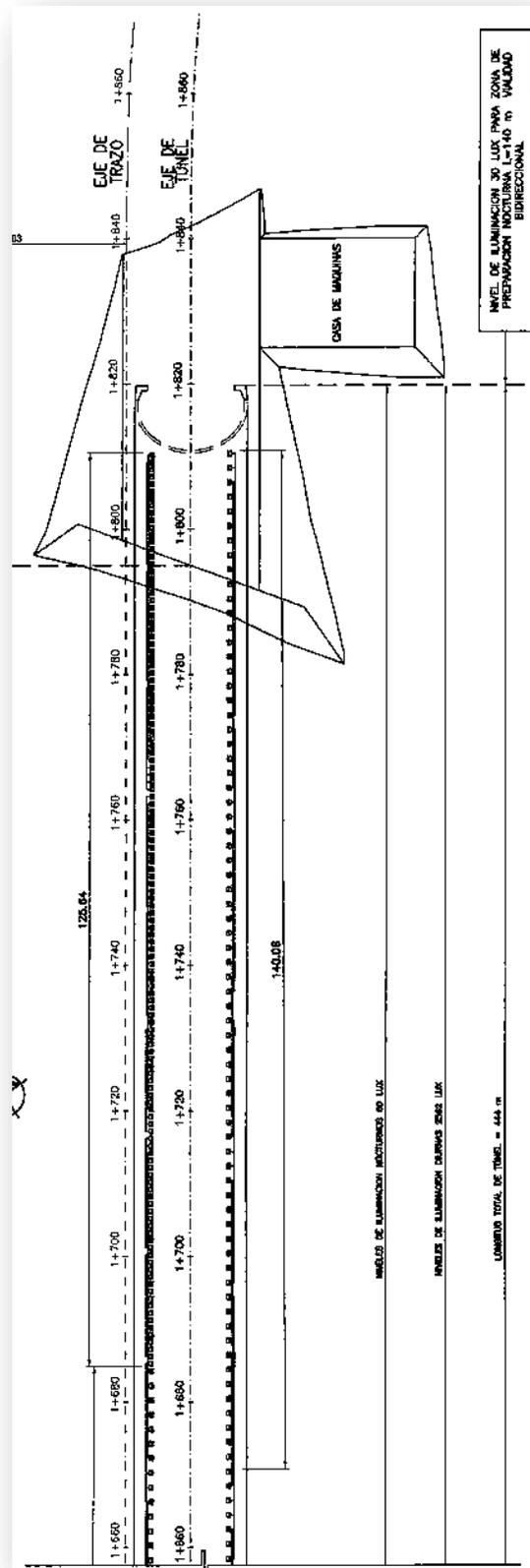


Figura 2.- Esquema de lámparas dentro del túnel portal Morelia. Fuente (Proyecto ejecutivo).

1. LUMINARIA VAPOR DE SODIO ALTA PRESIÓN DE 250 W, TIPO ORION. PARA CIRCUITOS DIURNOS.

2. LUMINARIA VAPOR DE SODIO ALTA PRESIÓN DE 100 W, TIPO ORION. PARA CIRCUITOS CONSTANTES.

LUMINARIA TIPO TÚNEL PARA INSTALACIÓN ADECUADA EN LUGARES HÚMEDOS.

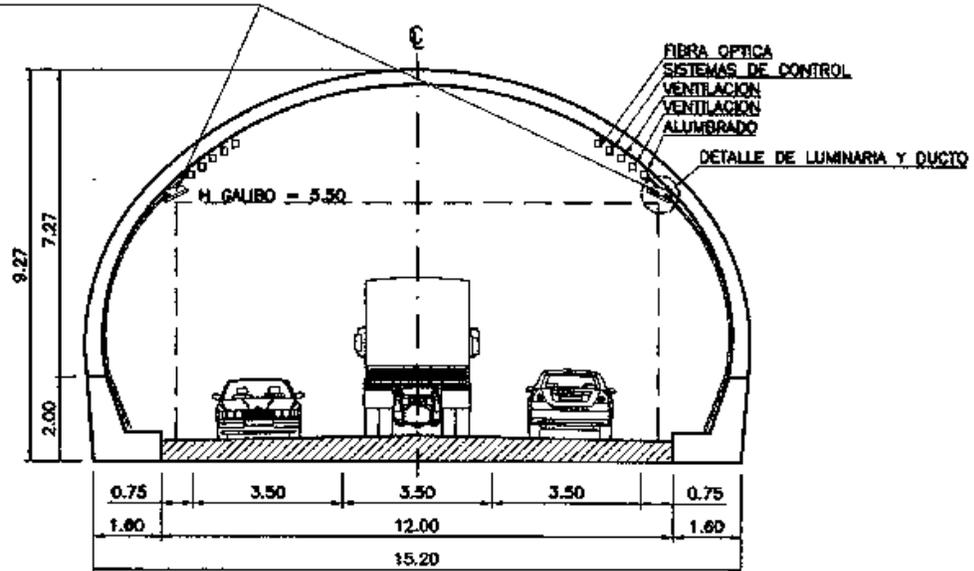


Figura 3.- Esquema de colocación de lámparas interiores. Fuente (Proyecto ejecutivo).



Figura 4.- Iluminación al interior del túnel.

### III.7.2.-Iluminación al exterior del túnel.

La iluminación pública o exterior del túnel está conformada por 20 lámparas, 10 en cada portal, iniciando con la primer lámpara a 17.5 m de los portales de entrada y salida, y las subsecuentes a 35 m de separación.

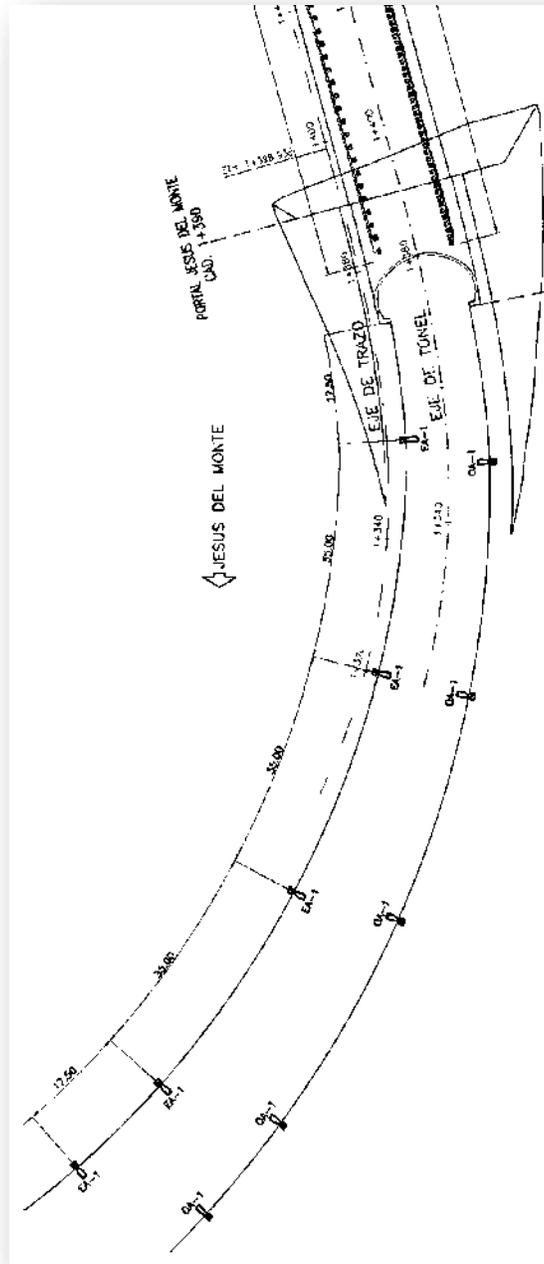


Figura 5.- Esquema de lámparas al exterior del túnel portal Jesús del Monte. Fuente (Proyecto ejecutivo).

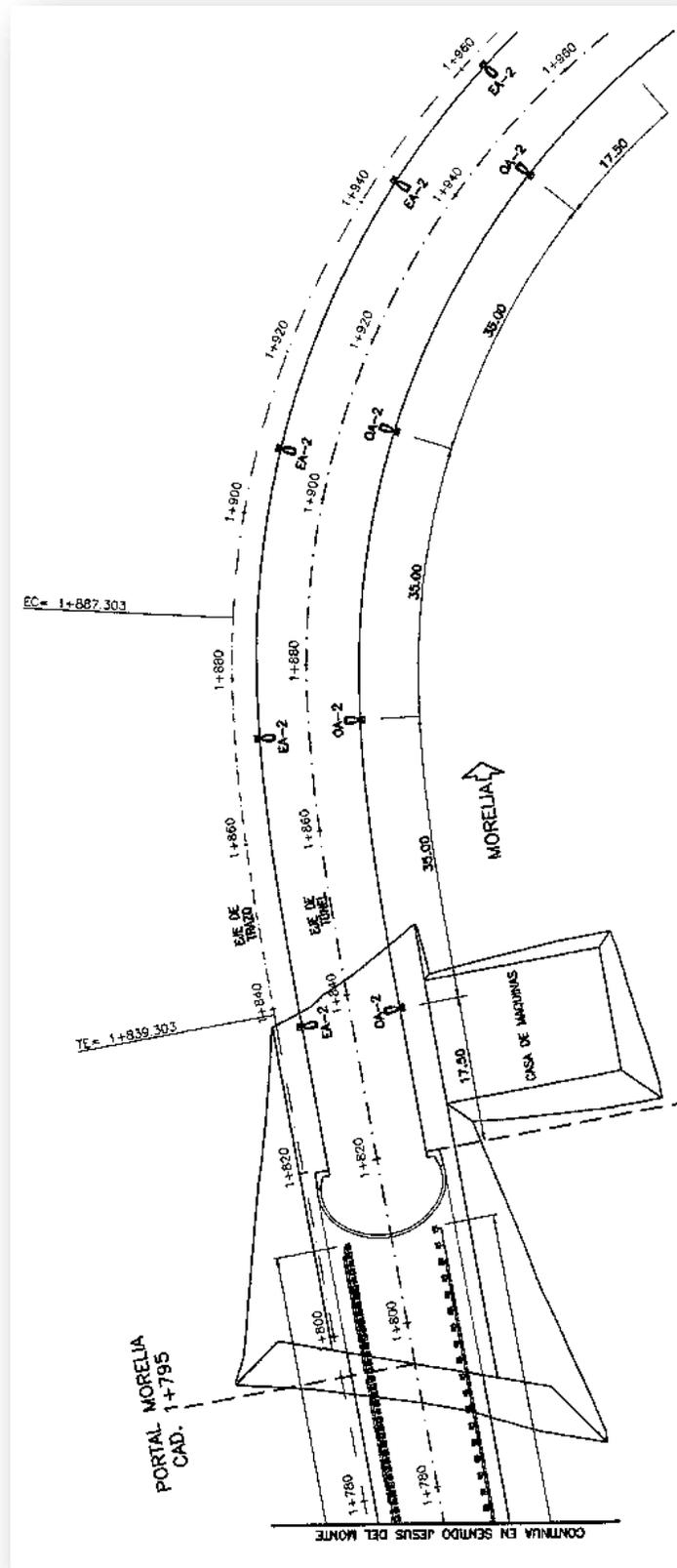


Figura 6.- Esquema de lámparas al exterior del túnel portal Morelia. Fuente (Proyecto ejecutivo).

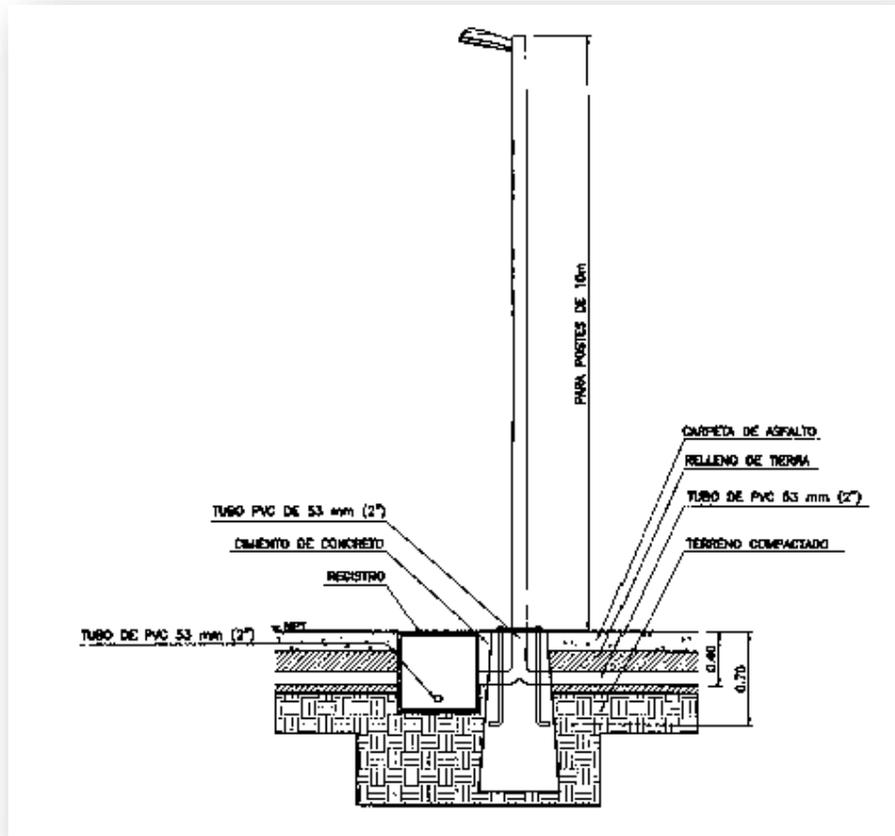


Figura 7.- Esquema de lámpara exterior. Fuente (Proyecto Ejecutivo).



Figura 8.-Iluminación exterior. Fuente (<http://www.sice.com/actualidad/sice-efectuara-la-renovacion-del-alumbrado-exterior-en-los-tuneles-de-vallvidrera-barcelona>)

### III.7.3.- VENTILACIÓN

De acuerdo al proyecto por la longitud del túnel se consideró, que era necesario instalar ventiladores de 86 kW para disminuir la contaminación aérea producto del flujo vehicular. Se necesitaron seis ventiladores colocados en pares a lo largo del túnel siendo colocado el primer para a 112 m del portal de entrada en el km 1+483, el segundo en el km 1+595 y el tercer y último par en el km 1+707.

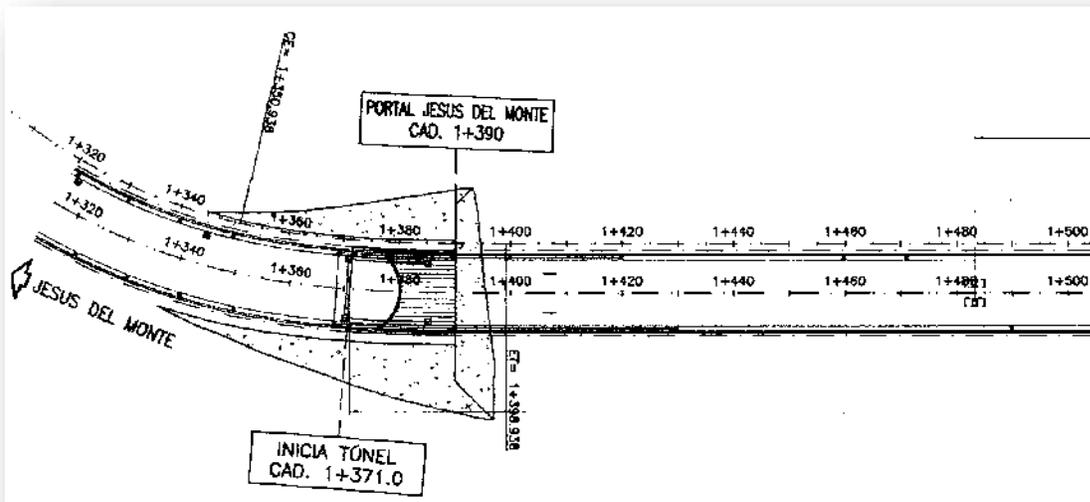


Figura 9.- Esquema de ventiladores 1 y 2. Fuente (Proyecto Ejecutivo).

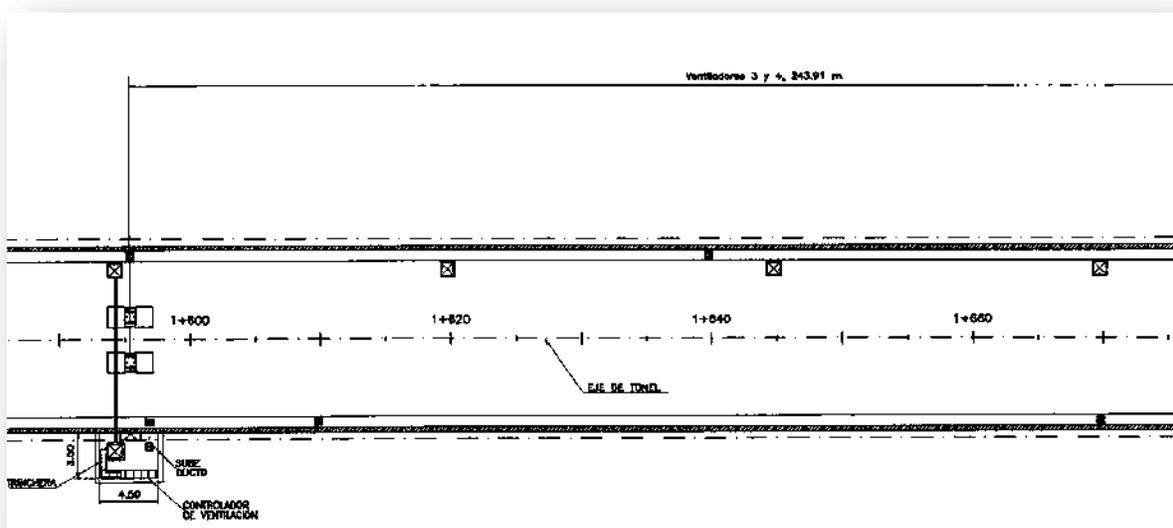


Figura 10.- Esquema de ventiladores 3 y 4. Fuente (Proyecto Ejecutivo).

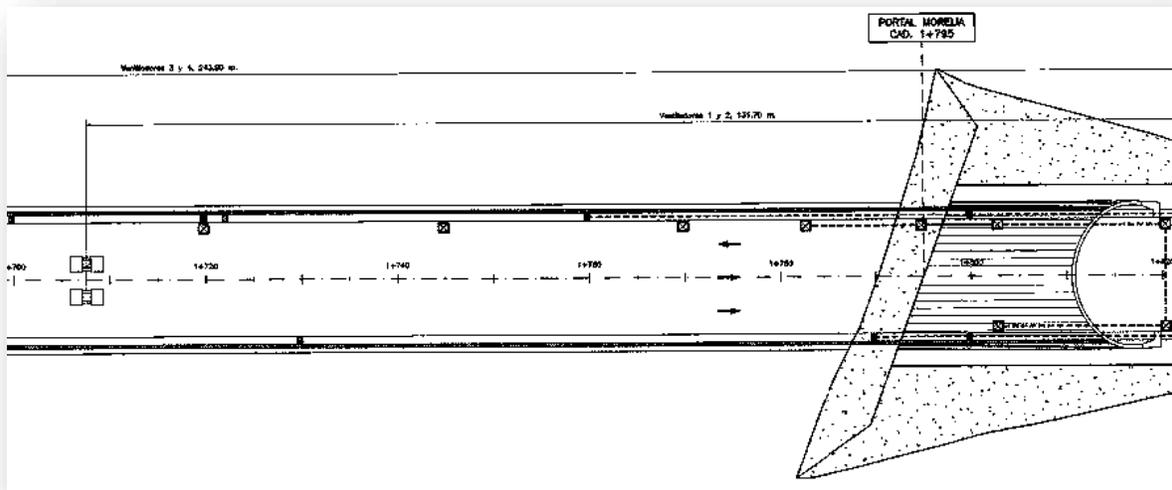


Figura 11.- Esquema de ventiladores 5 y 6. Fuente (Proyecto Ejecutivo).

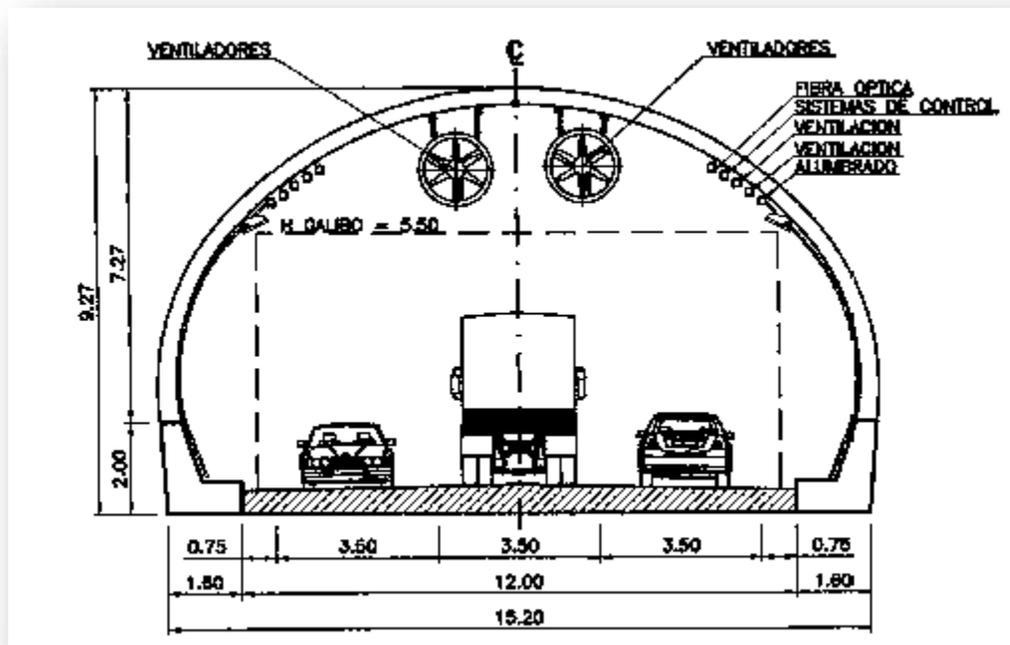


Figura 12.- Ventiladores Sección tipo.. Fuente (Proyecto Ejecutivo).

## CONCLUSIONES

Los túneles son de gran importancia ya que permiten tener una mayor fluidez entre dos lugares, reduciendo los costos y tiempos, además de que son una buena forma de mitigar el impacto ambiental, que día a día azota a el mundo entero debido a que su construcción causa daños mínimos en los ecosistemas aledaños en los lugares que se construyen.

Dentro de la construcción del túnel 1 se albergaron varias problemáticas políticas y sociales, las cuales se vieron solventadas por la justificación lógica del proyecto, el túnel tiene una longitud de 448 m incluidos sus tajos de acceso, este proyecto dotará de unas mejores alternativas para poder conectar la zona media con la zona alta.

El túnel se construyó por medios mecánicos, dentro de los condiciones del terreno que eran idóneas para hacerlo, el método que se utilizó fue el nuevo método austriaco, dentro de la construcción no se presentó ningún tipo de complicación por la adecuada ejecución del método.

Como ingenieros civiles debemos buscar diferentes alternativas para innovar y mejorar la calidad de la vida humana, y con base en eso los túneles seguirán siendo una solución muy viable y me atrevo a afirmar que tendrán una gran importancia en la modernización vial.

## BIBLIOGRAFIA.

<http://valladolid-morelia.blogspot.mx/2012/10/generalidades-de-morelia.html>

<https://www.etcg.upc.edu/asg/TiMR/descargas/01Historia.pdf>

Alonso, E. "Apuntes de la asignatura de Túneles. Teoría 1ª Parte.: Historia de los túneles". UPC, E.T.S.E.C.C.P.B. Edición 2002.

AETOS (1989). "Diccionario Glosario Técnico de Túneles y Obras Subterráneas". Inglés-Español. AETOS, Asociación Española de Túneles y Obras Subterráneas.

Alonso, E. "Apuntes de la asignatura de Túneles. Teoría 1ª Parte.: Historia de los túneles". UPC, E.T.S.E.C.C.P.B. Edición 2002.

COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS INDUSTRIALES DE MADRID.  
"Construcción: Primeros túneles". Dirección:  
[http://www.coiim.es/enla/Industria/primeros\\_tuneles.htm](http://www.coiim.es/enla/Industria/primeros_tuneles.htm)

Juncà Ubierna, J. A. (1997). Capítulo 1, Historia de los túneles y su evolución tecnológica. "Manual de Túneles y Obras Subterráneas". Editor: Carlos López Jimeno et al. Madrid : Gráficas Arias Montano, 1997 (1082p.) 1ª edición.

Miliarium.com Ingeniería Civil y Medio Ambiente. "Historia y Grandes Hitos de la Ingeniería de Túneles" Dirección:  
<http://www.miliarium.com/Monografias/Tuneles/Welcome.asp>

[www.panoramio.com/photo/21494663](http://www.panoramio.com/photo/21494663)

[https://images.adsttc.com/media/images/598c/de05/b22e/386c/ae00/003b/newsletter/T%C3%BAnel\\_Las\\_Cascadas.jpg?1502404098](https://images.adsttc.com/media/images/598c/de05/b22e/386c/ae00/003b/newsletter/T%C3%BAnel_Las_Cascadas.jpg?1502404098)

<https://www.pinterest.com.mx/pin/489766528200218906/>

<http://www.espejel.com/?p=1820>

<http://blogsaboreandoelpaisaje.blogspot.mx> arcilla suelta

<http://amigosdelosvolcanes.blogspot.mx> Ignimbrita Vítreo

<http://bioabderapauanglau.blogspot.mx/2014/06/visu-de-rocas.html> andesita

<https://www.google.com.mx/maps/@23.511045,-105.8021844,3a,75y,307.92h,55.55t/data=!3m6!1e1!3m4!1sI9BLgTIBgha0qvknWklyQ!2e0!7i13312!8i6656>

<http://www.semi.es/lineas-de-negocio/transporte/iluminacion-y-redes-en-tuneles-y-autopistas.html>

<http://www.sice.com/actualidad/sice-efectuara-la-renovacion-del-alumbrado-exterior-en-los-tuneles-de-vallvidrera-barcelona>