



**UNIVERSIDAD MICHOCANA DE SAN NICOLÁS DE
HIDALGO**

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

“CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL VEHICULAR PARA EL CRUCE DE LA
AUTOPISTA TENANGO-IXTAPAN DE LA SAL, EN EL Km. 21+060, SIN
INTERRUPCIÓN DE LA OPERACIÓN DE LA AUTOPISTA, DEJANDO
CIRCULAR LIBREMENTE EL TRÁNSITO VEHICULAR”

TESIS:

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

Ingeniero Civil

PRESENTA:

P.I.C. José Roberto Cedillo Mora

ASESOR:

Ing. Oscar Juárez Contreras

MORELIA, MICHOCÁN SEPTIEMBRE DEL 2014



RESUMEN

Debido a la alza de infraestructura que se vive en nuestro país, vale la pena indagar en los nuevos métodos de construcción para túneles para proponer un nuevo método de trabajo y construir de una mejor manera.

La selección del método constructivo a usar en la construcción de un túnel está ligado a muchos factores, entre los más importantes están: las características geológicas del terreno, los parámetros técnicos del tipo de túnel que se desea construir, la longitud del túnel, el aspecto económico, el impacto ambiental. Lo que exige tener un conocimiento de todas las herramientas disponibles así como los aspectos positivos y negativos que pueda presentar cada método.

Se presenta en esta tesis en forma breve la historia de los túneles en México y el mundo, los orígenes y el futuro de éstos. Además se detalla cuáles son las funciones y características que diferencian a cada uno de los tipos de túneles, para después continuar con la construcción de estos, los estudios preliminares, métodos de perforación y las operaciones básicas en la construcción. También se habla de los nuevos métodos como el NMA (Nuevo Método Austriaco) y las técnicas del Micro túnel. En el último capítulo se describirá el proceso de construcción de un túnel ubicado en la autopista Tenango-Ixtapan de la sal en el km 21+060, a base de hincado de tubería que es un nuevo método de tuneleo surgido en nuestro país para salvar pasos superiores y evitar detener el tráfico vehicular.

Palabras Clave: Túnel, hincado, construcción.

ABSTRACT

Due to the rise infrastructure that exists in our country, it is worth pursuing new construction methods for tunnels along with new methods of work and better ways to build.

The choice of construction methods used in the construction of a tunnel is linked to many factors, the most important are: the geological terrain, the technical parameters of the type of tunnel being built, the tunnel length, economic appearance, and environmental impact. This requires a clear understanding of all available tools as well as the positive and negative aspects that each method may present.

In this thesis a history of the tunnels in Mexico, tunnels around the world, along with the origins and future of these tunnels is presented briefly. Detailed as well are the functions and features that differentiate each type of tunnel, allowing continuation with the construction, preliminary studies, drilling methods and basic operations in the construction. There is also talk of new methods such as NMA (New Austrian Method) and Micro tunneling techniques. In the last chapter of this thesis, the process of building a tunnel located on the highway Tenango-Ixtapan de la sal at km 21 + 060 is based on pipe ramming, a new method of tunneling that has risen in our country to save superior steps described and avoid stopping traffic.

Key words: Tunnel, hincado, construction.

DEDICATORIA

A mis padres JUAN CEDILLO JUÁREZ y MARÍA CRUZ MORA ÁLVAREZ por siempre estar en cada etapa de mi vida, por su apoyo incondicional, por cada regaño que me hizo crecer, por cada esfuerzo realizado para sacar adelante a cada uno de mis hermanos y a mí.

A mis hermanos JUAN PABLO CEDILLO MORA, JORGE ISRAEL CEDILLO MORA y CECILIA BEATRIZ CEDILLO MORA (Descanse en paz), por ser mi mayor motor, por su infinita paciencia, por cada cuidado, cada regaño, por esos maravillosos momentos compartidos, porque son mi ejemplo a seguir, por siempre estar en el momento preciso, por darme la oportunidad de triunfar, porque gracias a ustedes mi sueño es real.

A mi ahijada FERNANDA PAOLA CEDILLO PALACIOS y mis compadres JUAN PABLO CEDILLO MORA Y ALMA CECILIA PALACIOS AGUILAR, por encomendarme esa misión de ser yo un segundo padre para su hija, por brindarme esa bendición de un hijo y sobre todo por yo estar a su lado, mirarla crecer y ser una niña de bien.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por el regalo más maravilloso que es la vida, por siempre estar a mi lado acompañándome en cada viaje y mostrarme el camino adecuado, por permitirme ser quien soy.

A mi familia (Abuelitos, Tíos (as), Primos (as)), por darme la oportunidad y confianza de cumplir mis metas, por ser mi mayor motor, por siempre estar ahí en el momento preciso, sobre todo a mis padres por el esfuerzo que han hecho para culminar mis estudios, por su motivación y dedicación.

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo en especial a la Facultad de Ingeniería Civil por ser mi segundo hogar, por la educación brindada a través de cada uno de los profesores con los que tuve la oportunidad de asistir a clase, por hacerme crecer como persona y profesionalmente.

A la sección de Resistencia de Materiales “Ing. Luis Silva Ruelas”.

A mi asesor de Tesis el Ing. Oscar Juárez Contreras por su apoyo y dedicación al proyecto, por la confianza y motivación que día a día infundía, porque a pesar de las adversidades y falta de tiempo siempre busco el espacio para transmitir su apoyo incondicionalmente. ¡Gracias!

A mis compañeros de trabajo y proyecto a los Ingenieros José Ángel Cedillo Soto y German Hernández Soria por su apoyo, paciencia y por la dedicación puesta en el proyecto, porque no solo somos compañeros de equipo sino que se consolidó una bonita amistad.

A la constructora INMOBILIARIA SIMOBA S. A de C.V, que aportó información para el desarrollo del presente trabajo y me permitió presentar su proyecto, así como abrirme las puertas para desempeñarme en el ámbito profesional.

A mis tíos José Cedillo Juárez y Maurilio Mora Álvarez por ser como un segundo padre y orientarme en momentos difíciles dándome su apoyo y comprensión.

A mi novia Karina Herrera Ferreyra, por motivarme a continuar con este proyecto de mi vida, por toda su paciencia y amor hacia mí, por cada momento que hemos compartido, cada detalle en nuestra relación. ¡TE AMO!

A mis amigos por ser parte esencial de mi vida, por cada experiencia compartida, por cada consejo y apoyo brindado, por cada lección de vida que me han dado, cada sonrisa, cada detalle, agradezco a Dios infinitamente los haya puesto en mi camino.

A mis compañeros de la maravillosa quinta sección, por su apoyo incondicional, por formar parte de mi vida, por su tolerancia, por ser tan unidos y compartidos, por cada divertida sesión de estudio realizada, por esas travesuras durante clase dignas de una sonrisa, por ser tan maravillosas personas.

¡A todos, gracias!

ÍNDICE

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO II. HISTORIA DE LOS TÚNELES	3
II.1. ORIGEN DE LOS TÚNELES	3
II.2. HISTORIA DE LOS TÚNELES EN EUROPA	7
II.3. HISTORIA DE LOS TÚNELES EN NORTEAMÉRICA	9
II.4. HISTORIA DE LOS TÚNELES EN MÉXICO.....	10
II.5. OTROS TÚNELES	21
II.6. EL FUTURO DE LOS TÚNELES	22
CAPÍTULO III. CLASIFICACIÓN Y FUNCIÓN DE LOS TÚNELES	24
III.1. CLASIFICACIÓN SEGÚN SU UBICACIÓN.....	24
III.1.1. Túneles de montañas.....	24
III.1.2. Túneles subacuáticos.....	25
III.1.3. Túneles urbanos.....	26
III.2. CLASIFICACIÓN DE TÚNELES SEGÚN MANUAL DE CARRETERAS.....	27
III.2.1. Rurales	27
III.2.2 Urbanos	27
III.3. SEGÚN CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS.....	28
III.4. SEGÚN CLIMA Y ALTITUD.....	28
III.5. CARACTERÍSTICAS DE LOS DIVERSOS TIPOS DE TÚNELES.....	30
III.5.1. Túneles para ferrocarril.....	30
III.5.2. Túneles en carreteras.....	32
III.5.3 Transporte urbano (Metro).....	35
III.5.4. Conducción de agua.....	37
III.5.5. Centrales hidroeléctricas subterráneas.....	38
III.5.6. Sistema de alcantarillado.....	39
III.5.7. Túneles de servicios.....	40
III.5.8. Túneles de almacenamiento.....	41
III.6. FUNCIÓN DE LOS TÚNELES.....	41
III.6.1. Principales funciones.....	41

III.6.2. Transporte.....	42
III.6.3. Almacenamiento.....	43
III.6.4. Instalaciones.....	43
III.6.5. Científica.....	43
III.6.6. Protección.....	43
III.7. FACTORES RELACIONADOS CON LA FUNCIÓN DE CADA TÚNEL.....	44
CAPÍTULO IV. FORMAS DE EXCAVACIÓN EN TÚNELES.....	45
IV.1. EL ARRANQUE.....	45
IV.2. MÉTODO MANUAL.....	45
IV.3. MÉTODO CON EXPLOSIVOS.....	45
IV.4. MÉTODOS MECANIZADOS.....	48
IV.4.1. Maquinas convencionales.....	48
IV.4.2. Con tuneladoras.....	49
IV.4.2.1. Máquinas topo (TBM, Tunnel Boring Machine).....	49
IV.4.3. Los escudos.....	53
IV.4.4. Con rozadoras.....	56
CAPÍTULO V. MÉTODOS DE TUNELEO.....	60
V.1. MÉTODO DE ATAQUE A PLENA SECCIÓN O MÉTODO INGLÉS.....	60
V.2. MÉTODO DE LA GALERÍA EN CLAVE O MÉTODO BELGA.....	61
V.3. MÉTODO DE LAS DOS GALERÍAS O MÉTODO AUSTRIACO.....	63
V.4. MÉTODO DE LAS TRES GALERÍAS O MÉTODO ALEMÁN.....	63
V.5. MÉTODO ALEMÁN MODIFICADO.....	64
V.6. EL NUEVO MÉTODO AUSTRIACO (NMA).....	64
V.7. MÉTODO NORTEAMERICANO.....	66
V.8. MÉTODO ITALIANO.....	66
V.9. MÉTODO TBM (TIPO ESCUDO O TOPO).....	66
V.10. ATAQUE DE TODA LA CARA.....	67
V.11. MÉTODO DE TERRAZAS.....	68
V.12. MÉTODO DE DERIVADORES.....	68
V.13. MÉTODO DEL MICRO TÚNEL (CUT AND COVER).....	70
V.14. EMPUJE (PIPE JACKING).....	70
V.15. MÉTODO AUGER.....	71
V.16. CON ESCUDO DE LODOS (EPB, EARTH PREASURE BALANCE).....	72

V.17. LA HINCA DE TUBO	73
V.18. MÁQUINAS TOPO (TUNELADORAS)	74
V.19. MÉTODOS DE SOSTENIMIENTO PARA REVESTIMIENTO	74
V.19.1. Bulones.....	74
V.19.2. Cerchas.....	75
V.20. CONCRETO LANZADO	76
V.21. PREANILLOS DE CONCRETO	77
V.21.1. Preanillos sobre chapa desplegada (método Bernold).....	77
V.21.2. Preserrado de la roca.....	77
V.21.3. Dovelas	78
V.21.3.1. Dovelas ordinarias inyectadas.....	79
V.21.3.2. Dovelas expandidas	79
V.21.3.3. Dovelas atornilladas.....	79
V.22. TUNELEO EN LA CONSTRUCCIÓN DEL METRO DE LA CIUDAD DE MÉXICO	79
V.22.1. Tuneleo falso en suelos blandos con muros tablestaca colados en sitio.....	79
V.22.2. Tuneleo falso en suelos firmes con muros tablestaca colados en sitio.	82
V.22.3. Tuneleo falso en obras diferentes de metro.....	84
V.22.4. Tuneleo falso con muros a base de pilas coladas en sitio.	86
V.22.5. Tuneleo falso con estructura de contención a base de columnas de suelo inyectados.	88
V.22.6. Tuneleo falso con estructuras de contención a base de pilas secantes.....	90
CAPÍTULO VI. INSTALACIONES ESPECIALES EN TÚNELES	92
VI.1. VENTILACIÓN.....	92
VI.2. ILUMINACIÓN	92
VI.3. CÁMARAS DE TELEVISIÓN	92
VI.4. MEGAFONÍA	92
VI.5. SEMÁFOROS	92
VI.6. PANELES DE INFORMACIÓN	93
VI.7. COMUNICACIONES.....	93
VI.8. OPACÍMETROS.....	93
VI.9. DETECCIÓN DE INCENDIOS	93
VI.10. EXTINCIÓN DE INCENDIOS	93
VI.11. SEÑALIZACIÓN DE EMERGENCIA	93

VI.12. SALIDAS DE EVACUACIÓN	94
CAPÍTULO VII. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL TÚNEL DEL KM. 21+060, DE LA AUTOPISTA TENANGO-IXTAPAN DE LA SAL, EN EL ESTADO DE MÉXICO.	95
VII.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA	95
VII.2. TRÁFICO	97
VII.3. INGRESO	97
VII.4. PROCESO CONSTRUCTIVO	99
VII.4.1. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DEL TERRENO NATURAL	99
VII.4.2. LIMPIEZA Y DESPALME DEL LUGAR (PRELIMINARES)	102
VII.4.3. LLEGADA DE LA MAQUINARIA PESADA Y SEÑALAMIENTO VIAL	104
VII.4.4. TRAZO: DEL EJE DEL TÚNEL, DEL INICIO Y FINAL DEL TÚNEL Y DE LOS EJES Y NIVELES DE HINCADO DE LA TUBERÍA PARA ADEME	106
VII.4.5. HINCADO DE TUBERÍA DE ACERO, SUPERIOR Y LATERAL PARA ADEME PERDIDO DEL TÚNEL.....	107
VII.4.5.20. TIPOS DE PILOTEADORAS (GRUNDORAM).....	115
VII.4.5.21. ESPECIFICACIONES DE TUBERIA PARA ADEME PERDIDO	116
VII.4.6. CONSTRUCCIÓN DE MURO DE CONTENCIÓN PARA PROTECCIÓN DE CAMINO DE ACCESO A INVERNADEROS, FRENTE A LA CASA UBICADA A UN LADO DEL PORTAL IXTAPAN.	119
VII.4.7. DESVIACION DE CANAL PRIMARIO PARA CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL.	125
VII.4.8. EXCAVACIÓN DE MATERIAL PARA FORMACIÓN DE PORTALES DEL TÚNEL.	131
VII.4.9. COLOCACIÓN DE MARCO METÁLICO EN PORTAL IXTAPAN.	133
VII.4.10. EXCAVACIÓN EN TÚNEL PARA COLOCACIÓN DE MARCOS.....	150
VII.4.11. REVESTIMIENTO DE TÚNEL, A BASE DE MUROS DE CONCRETO HIDRÁULICO ARMADO ENTRE MARCOS METÁLICOS.	153
VII.4.12. REUBICACION DE POSTE DE ENERGIA ELECTRICA.....	159
VII.4.13. CICLO DE EXCAVACIÓN EN TÚNEL, COLOCACIÓN DE MARCO METÁLICO Y COLADO DE MUROS, HASTA LLEGAR AL PORTAL TENANGO.	161
VII.4.14. CONSTRUCCIÓN DE LOSA SUPERIOR DE CONCRETO LANZADO ARMADO.	164
VII.4.15. CONSTRUCCIÓN DE MUROS DE CONTENCIÓN EN PORTALES.	172
VII.4.16. EXCAVACIÓN DE PORTALES PARA NIVEL DE PISO DE TÚNEL.....	175
VII.4.17. CONSTRUCCIÓN DE LOSA DE PISO DE CONCRETO HIDRÁULICO ARMADO.	178
VII.4.18. CONSTRUCCIÓN DE GUARNICIÓN EN TÚNEL.....	183
VII.4.19. PROTECCIÓN DE TALUDES EN LOS PORTALES DE ENTRADA Y SALIDA DEL P.I.V., CON CONCRETO LANZADO REFORZADO CON MALLA ELECTROSOLDADA TIPO 6-6/6X6. ..	185

VII.4.20. CONCRETO LANZADO EN LAS CONSTRUCCIONES.....	192
VII.4.21. COLOCACIÓN DE ELEMENTOS METALICOS, PERFIL REDONDO DE 3” DE DIÁMETRO PARA EL CONTRAVENTE DEL ADEME DEFINITIVO EN EL INTERIOR DEL PASO INFERIOR VEHICULAR.....	199
VII.4.22. CONSTRUCCIÓN DE VOLADIZO A BASE DE TRABES Y DIAFRAGMAS PARA ACCESO A INVERNADEROS.	201
VII.4.23. BASE HIDRÁULICA COMPACTADA AL 95% DENTRO DEL P.I.V.	204
VII.4.24. LIMPIEZA FINAL EN EL INTERIOR DEL P.I.V	206
VII.4.25. TÚNEL FINALIZADO	207
CAPÍTULO VIII. CONCLUSIÓN.....	212
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	214

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Entre los retos o desafíos para la Ingeniería Civil, tenemos el diseño y construcción de un túnel, considerado como elemento de gran importancia en la infraestructura vial de cualquier país o región, ya sea su uso como paso de vehículos, servicios hidráulicos, sistemas férreos u otros sistemas de comunicación. La construcción de estos representa en la mayoría de los casos una inversión de alto costo, sin remuneración o generación económica directa, sin embargo, una vez en operación aportan muchas ventajas como son el ahorro de tiempo y energía (combustible), ya que su función primordial es la de acortar distancias atravesando una limitación natural.

Llevar a cabo la construcción de un túnel, requiere sin duda la aplicación de diferentes áreas de la ingeniería, como la geotecnia, Mecánica de suelos, diseño estructural, construcción, vialidad, topografía y ciertos aspectos ambientales de gran importancia. Conocer las posibles soluciones, permitirá la selección del método constructivo idóneo.

En el caso de ésta obra en particular, la decisión de construir un paso inferior vehicular (Túnel) a base de hincado de tubería para la ampliación de la autopista Tenango-Ixtapan de la Sal, se dio debido al incremento poblacional que existe en la ciudad de Ixtapan de la sal, aunado a la importancia comercial y turística que tiene la ciudad capital del Estado de México, factores que traen como consecuencia el incremento vehicular.

El propósito de este trabajo es el de compilar y ordenar la información de las labores llevadas a cabo para; La "CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL VEHICULAR PARA EL CRUCE DE LA AUTOPISTA TENANGO-IXTAPAN DE LA SAL, EN EL Km. 21+060, SIN INTERRUPCIÓN DE LA OPERACIÓN DE LA AUTOPISTA, DEJANDO CIRCULAR LIBREMENTE EL TRÁNSITO VEHICULAR", necesario para conocer el proceso constructivo de esta estructura.

Lo anterior tiene la finalidad de proporcionar a todos aquellos que la necesiten, constructores o estudiantes, una herramienta de consulta que permita planear, ejecutar, supervisar y revisar de manera eficiente los trabajos involucrados en la obra.

De manera que este trabajo fue realizado revisando, analizando y actualizando los procedimientos constructivos, en base a nuevas técnicas y materiales de construcción, así como las ya establecidas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) de manera que se garantizará una obra con un alto grado de confiabilidad en beneficio de la sociedad del Estado de México.

Sin embargo, la industria de la construcción se encuentra cambiando constantemente, nuevos materiales y nuevas técnicas surgen a cada momento, por lo que es necesario hacer notar que este trabajo sirve de apoyo o respaldo, llevándonos a construir obras cada vez mejores al servicio de la sociedad.

CAPÍTULO II. HISTORIA DE LOS TÚNELES

II.1. ORIGEN DE LOS TÚNELES

Los antecedentes más antiguos que conocemos sobre la construcción de túneles se remota hasta los tiempos prehistóricos, cuando el hombre primitivo, buscando protección y abrigo, excavó cuevas o agrando y acondiciono algunas existentes; es el caso de las cuevas de Altamira, en España, cuyo testimonio podemos admirar las pinturas rupestres que nos dejaron los moradores de las mismas.



Imagen II.1.1. Cueva de Altamira (España)



Imagen II.1.2. Pinturas rupestres sobre cueva de Altamira (España)

El túnel más antiguo, es quizá el construido en la antigua Babilonia, hace más o menos 4,000 años, por la reina Semíramis, en tiempos de Nabucodonosor. Este túnel, pasando por debajo del río Éufrates, comunicaba el palacio real con el templo Júpiter. Su longitud se estimó en un kilómetro y su sección fue rectangular de 3.60 x 4.50 metros.

Para la realización de esa fabulosa obra, el río Éufrates fue desviado. Las paredes del túnel se construyeron de ladrillo, pegado con mortero y el techo fue formado a base de una bóveda. En Jerusalem, Ezequías, Rey de Judea, hace 2,700 años construyó un túnel de 200 metros de longitud y que con sección cuadrada de 0.70 x 0.70 metros servía para conducir agua desde un manantial cercano.



Imagen II.1.3. Túnel para conducir agua (Jerusalem)

El historiador griego Heródoto en una de las obras más notables del siglo VII A.C., nos narra que el pueblo griego fue capaz de perforar roca para construir un túnel de 1,500 metros de longitud y con una sección de 2.50 x 2.50 metros para transportar agua en el valle de la isla de Samos. Este túnel fue descubierto por los arqueólogos modernos en 1881. La obra fue realizada con cincel y martillo y fue abierta a dos frentes.



Imagen II.1.4. Túnel en el valle de la isla de Samos (Grecia)

En Egipto se tienen antecedentes de construcción de túneles en roca desde mil quinientos años antes de Cristo, generalmente para formar cámaras en donde se enterraba a los faraones. Los ejemplos más notables los tenemos en algunas tumbas encontradas en el Alto Nilo, construidas en la época de Ramsés II.



Imagen II.1.5. Cámaras donde se enterraban a los faraones (Egipto)

Continuando con el mundo antiguo, encontramos relatos detallados de los Qanats del Irán o Persia, túneles que se usaban para captar agua en las zonas de la sierra donde había infiltraciones en los abanicos aluviales y llevarla hasta las planicies áridas con fines de obtener abastecimiento de agua tanto para la población como para la irrigación.

Es importante destacar que todavía hasta hace poco tiempo estos túneles eran más económicos que la perforación de pozos. Se han realizado más de 250,000 km de este tipo de túneles. En la actualidad el 75% del agua de irrigación potable de Irán se obtiene de los Qanats.



Imagen II.1.6. Qanats del Irán (Persia)

Los romanos emplearon numerosos túneles para la construcción de sus famosos acueductos. El construido por el emperador Adriano para dar agua a Atenas, hace 1,800 años, llama poderosamente la atención, ya que reconstruido en 1925, se encuentra en servicio en la actualidad.

Antes de esta famosa obra, se había perforado un túnel carretero en la colina de posillipo, de 900 metros de longitud y 7.50 m de ancho para el camino de Nápoles a pozznoli.

El primer acueducto público romano fue terminado por el Censor Apius Claudius Secus, quien había adquirido experiencia ingenieril en la construcción de la vía Apia, durante la construcción de la compuerta de Copena Acapua en el acueducto que corre paralelo a dicha vía, al Este de Nápoles. La toma del acueducto de la vía Apia estaba en el estado de Lucuyan, al Este de Roma y en esa parte el acueducto corría totalmente bajo tierra en un tramo de aproximadamente 16 km. Solamente 100 metros de él estaban formados por estructuras sobre el suelo; justamente fuera de la ciudad se unía con el acueducto de Augusto y continuaba nuevamente a través de túneles por otros diez kilómetros, hasta el pie de Clinus Pubici.

El acueducto de la Vía Apia conducía aproximadamente 2.00 m³/seg de agua hasta dentro de la ciudad de Roma.

La historia nos señala un caso insólito, todos conocemos la obra de Leonardo da Vinci; sin embargo, desconocemos en su mayoría, y es justo el momento para reconocer en él al genio constructor. Entre otros trabajos se ocupó de la ampliación del sistema de canales de la Lombardía. Como la navegación interna de los alrededores de Milán ya dejaba mucho que desear, debido a que el agua escurría en forma intermitente y con poca regulación, Leonardo construyó una serie de compuertas, entre ellas cerca de la iglesia de San Marcos una de las más importantes.

Dentro de los numerosos canales diseñados por da Vinci, se incluye uno que tuvo un túnel de kilómetro y medio que permitió unir dos ríos, cuyos valles estaban separados por una barrera geográfica.

Por lo que se refiere a la explotación Minera, Georgias Agrícolas en su obra denominada "Red Metálica", la cual fue publicada en 1556, un año después de su muerte, describe los increíbles métodos que se usaban para la explotación de minerales en túneles y galerías subterráneas.

Cabe hacer notar que los graves problemas de las inundaciones en las minas, se trataban de resolver desaguando, con el uso de rueda de cangilones de madera o metálicas, y se iba extrayendo el agua por niveles, hasta su expulsión fuera del área donde se trabajaba; para ello en algunas ocasiones se utilizaban animales de tiro que accionaban las ruedas de cangilones.

II.2. HISTORIA DE LOS TÚNELES EN EUROPA

En el siglo diecinueve, al arranque de la era tecnológica, la aparición del ferrocarril, con sus limitaciones para vencer fuertes pendientes, incremento la construcción de túneles. El primer túnel para dar paso a un ferrocarril de tracción animal fue construido en Francia para línea Ruen-Andressieux en 1826.

En 1842 el Ingeniero Marc Brunel terminó un túnel de dos carriles bajo el Río Támesis en Londres. En este túnel de 150 metros de longitud con sección de 11.30 x 6.70 metros se empleó un escudo rectangular inventado por el propio Brunel. Grethead perfeccionó el método utilizando un escudo cilíndrico con todo éxito en la construcción del túnel de la Torre, bajo el Río Támesis, empleando dovelas de hierro fundido como recubrimiento.

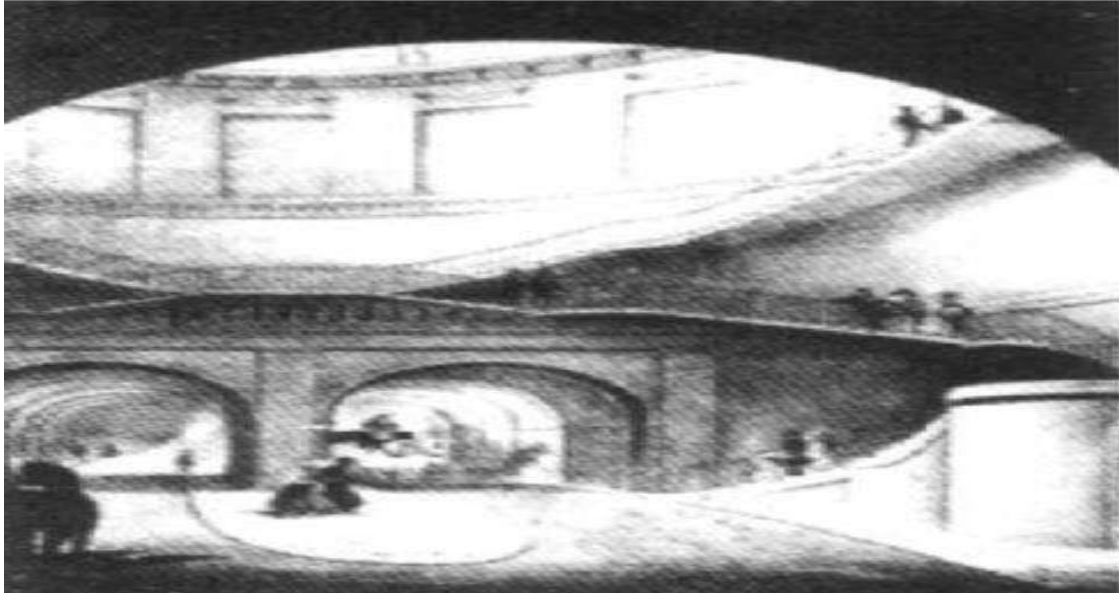


Imagen II.2.1. Túnel de Brunel bajo el río Támesis (Londres)

En 1857 se inició la construcción del túnel Mont-Cenis entre Francia e Italia de 13,444 metros de longitud y fue en donde por primera vez se estableció el ciclo de:

- 1.- Perforación.
- 2.- Carga y detonación.
- 3.- Ventilación.
- 4.- Rezaga.

El túnel se construyó excavando primero la parte central inferior y posteriormente las partes laterales y superiores.

El siguiente en construirse fue el de St. Gotthard, entre 1872 y 1882. Enlaza Suiza con Italia, desde Zúrich hasta Milán. Su longitud de 14,4 Km, superó la de Frejus; pero las condiciones de trabajo y la mala ventilación produjeron muchas muertes (alrededor de 200).

Para enlazar Suiza con Italia se construyó el túnel de Simplón, entre Berna y Milán, con 19,8 Km de longitud; se diseñó para dos túneles paralelos de una sola vía, separados 17 metros y con un cruce en el centro. La excavación se comenzó en 1898 por los dos extremos y los dos túneles simultáneamente, con grandes ventajas respecto a los túneles anteriores en lo que se refiere a las condiciones de trabajo ya que la ventilación era suficiente y las posibles vías de escape o el drenaje en caso de necesidad estaban aseguradas. Se concluyó en 1906.

También fueron los Alpes los que dieron lugar a los túneles más largos para carreteras, como el de Mont Blanc, inaugurado en 1965 y que con 12,650 metros de longitud une Francia con Italia; más actuales son el de San Bernardino, puesto en funcionamiento en 1976, de 6,596 metros de largo y que une Suiza e Italia; por último el largo túnel de St. Gottard, de 16,320 metros que enlaza Suiza con Italia; el de Frejus (Francia-Italia), con 12,901 metros, ambos inaugurados en 1980.

Los problemas del tránsito que empezaban a padecer las grandes ciudades se podían solucionar excavando túneles para ferrocarriles urbanos, así nació el Metro. El término "Metro" proviene de los llamados Ferrocarriles Metropolitanos, construidos en París (1900) Y Londres (1886-1890), primer ferrocarril eléctrico del mundo. En el primer cuarto del siglo XX ya se habían inaugurado líneas en gran parte de Europa y el mundo.

II.3. HISTORIA DE LOS TÚNELES EN NORTEAMÉRICA

En la misma época que el túnel de Monte Cenis, se excavaba en Estados Unidos el de Hoocsa (1855-1876) que conecta la ciudad de Boston con el valle del Hudson; tanto tiempo duró la obra que se le llegó a conocer como la gran perforación o el gran lío; la elevada dureza de la roca hacía abandonar a los contratistas. La longitud del túnel fue de 7,4 Km y la experiencia adquirida en la excavación en roca de alta dureza fue de gran utilidad para los que le siguieron.

Problemas completamente contrarios se encontraron los constructores del túnel bajo el río Hudson; la ciudad de Nueva York tenía este río como barrera natural para las comunicaciones con el Este y con el Sur, y se dependía de un transbordador para cruzarlo. El túnel se excavó casi completamente en limo, se inició en 1879 y después de numerosos problemas, como derrumbes por el secado del limo o inundaciones, se cerró en 1882 por falta de fondos. Este tramo fue pionero en la utilización de aire a presión, no como fuerza para mover las máquinas excavadoras, sino como la compresión de toda la atmósfera dentro del túnel para conseguir una fuerza que equilibrase los frentes inestables. Las obras se reanudaron en 1889 utilizando el aire comprimido aplicado a un escudo (estructura rígida que protegía del colapso de la bóveda, de los hastiales y del propio frente de la excavación) y después de un período de inactividad por falta de fondos se concluyó en 1905.

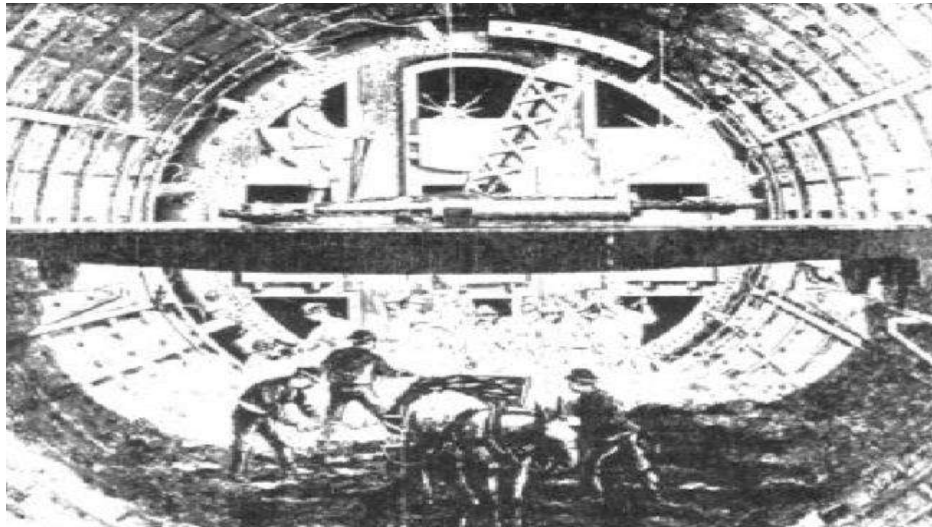


Imagen II.3.1. Túnel del río Hudson (Nueva York)

El primer túnel para vehículos a motor fue el túnel de Holland en Nueva York, túnel de 2,600 metros de longitud que fue abierto al tráfico en 1927. El problema de los humos tóxicos que desprendían los vehículos, después de un elaborado estudio, se solucionó con gran éxito. Otros túneles bajo el mismo río le continuaron.

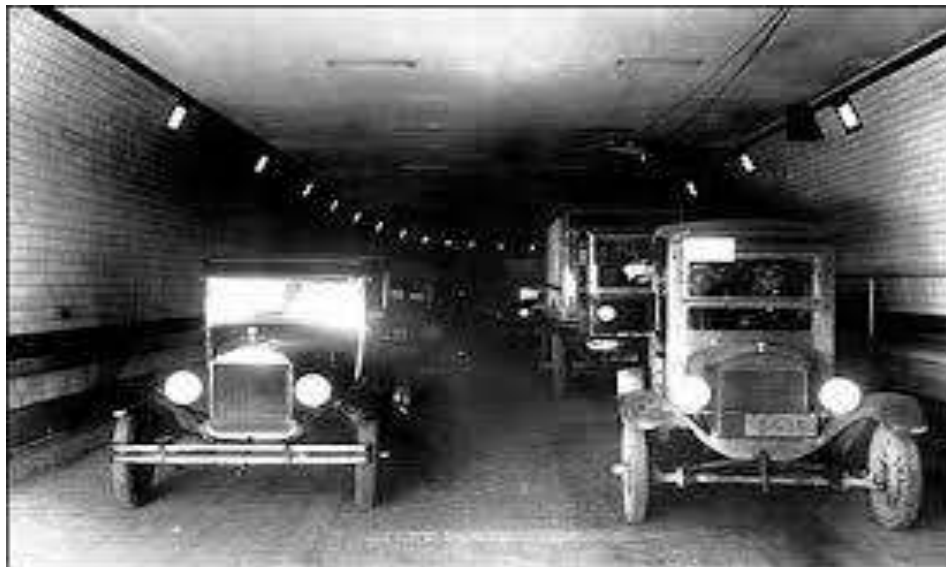


Imagen II.3.2. Primer túnel para vehículos en Nueva York

II.4. HISTORIA DE LOS TÚNELES EN MÉXICO

La habilidad de los Romanos para la construcción de túneles les llegó años más tarde a México a través de los conquistadores Españoles, quienes se dedicaron a la explotación de minas mediante la construcción de galerías, socavones y túneles.

Sin embargo, es oportuno señalar que nuestros ancestros indígenas, en la época prehispánica, ya extraían minerales diversos en forma subterránea, habiendo quedado prueba de ello en las distintas explotaciones que encontraron los conquistadores. Ejemplo de esto lo constituyen las minas de los indígenas que explotaban en el hoy Estado de Querétaro, en donde extraían Cinabrio para obtener pintura roja.

En la actualidad podemos observar socavones existentes que tienen más de 200 metros de profundidad por los que extraían dicho mineral.



Imagen II.4.1. Mina de cinabrio Sierra Gorda de Querétaro

El apogeo de la construcción de galerías, socavones y túneles en México, fue durante la época de la colonia, cuando los Españoles en su afán de obtener la mayor cantidad de oro y plata posible, desarrollaron una intensa actividad minera en toda la república, en especial en Zacatecas, San Luis Potosí, Pachuca, Taxco, Temascaltepec, Tlalpujahuá, Sombrerete, Fresnillo, El Rosario, Bolaños, Guanajuato, Sultepec, Zimapán y Chihuahua.



Imagen II.4.2. Mina el Edén de Zacatecas



Imagen II.4.3. Mina Dos Estrellas Tlalpujahua Michoacán

En lo que respecta a túneles para otras funciones, debemos referirnos a los esfuerzos que se hicieron durante la colonia para drenar la cuenca cerrada de Valle de México y que originalmente abarcaba una superficie de 8,060 km² y que debido a la acción del hombre se le incorporó la antigua cuenca de Apan, contando ahora con una superficie aproximadamente de 9,600 km².

No podemos dejar de mencionar a un excelente ingeniero prehispánico en México, el Rey Netzahualcóyotl quien diseñó los sistemas de abastecimiento de agua potable y drenaje del Valle de México, a través de acueductos compuestos de algunos túneles y canales; además dejó en sus escritos proyectos interesantes de cómo evitar las inundaciones del Valle, los cuales más tarde serían propuestos y llevados a cabo en la época de la colonia.

El proyecto para el desagüe del Valle de México del Sr. Ruy González fue presentado en 1555 al virrey. A finales del mismo año el Sr. Francisco Budiel presentó un segundo proyecto.

Ambos proyectos proponían dar salida a las aguas del Río Cuautitlán fuera del Valle por la ruta de Nochistongo, basados en gran parte en las ideas de Netzahualcóyotl. Sin embargo, dichos proyectos quedaron en el olvido y no fue sino hasta después que la ciudad de México padeció las graves inundaciones de 1556, 1579, 1580 y ya en el siglo XVII las de 1604 y 1607, Cuando el virrey Don Luis de Velasco, aprobó un estudio presentado por el cosmógrafo e ingeniero Enrico Martínez, quien con la misma idea antes señalada, propuso dar salida a las aguas del río Cuautitlán por Nochistongo. En esta ocasión el proyecto sí fue aprobado y las obras se iniciaron el 30 de noviembre de 1607 bajo la dirección de su autor. Las obras consistieron en construir un tajo de 500 metros de longitud y la perforación de 6,600 metros de túnel con 3.50 metros de ancho y 4.20 metros de alto.

La obra se realizó en un período récord de 11 meses, habiéndose terminado el 17 de septiembre de 1608. El método constructivo empleado fue a base de excavar a pico y pala y se construyeron numerosas lumbreras, habiéndose empleado del orden de 60,000 indígenas.

El Barón de Humboldt quien conoció la obra, externó su admiración comentando que “Aún en Europa llamaría la atención de los ingenieros el perforar 6,600 metros con más de 10 m² de sección en menos de un año”.

Desafortunadamente por razones políticas y por falta de fondos, la obra no pudo ser revestida, por lo que el paso de las avenidas se presentaron grandes caídos o derrumbes que obstaculizaron el paso de las aguas, situación que empeoró catastróficamente al ordenar el Virrey, Matías de Gálvez y Gallardo Marqués de Gálvez que se taponara el túnel, ocasionándose la inundación de la Ciudad de México en 1629, misma que tuvo una duración de 6 años en los cuales por poco desaparece la ciudad.

Posteriormente en 1856, se aprobó un proyecto presentado por el Ingeniero Luis Espinoza que tenía la idea de construir un Canal y un Túnel que desembocara en Tequixquiac.

Los trabajos en cuestión se iniciaron en el año de 1868 bajo la dirección del Ingeniero Espinoza, autor del proyecto, pero por diversas causas las obras se suspendieron entre 1871 y 1885, reanudándose en 1886 para terminarse en 1900.

En nuestro país ha sido importante la aportación de los túneles ferroviarios en el desarrollo de la excavación subterránea. Esta aportación se inició durante el Imperio de Maximiliano con la construcción del ferrocarril que une a la Ciudad de México con el Puerto de Veracruz que hasta la fecha es el principal puerto para nuestro comercio con Europa. La construcción del mismo continuó durante el Gobierno del Presidente Juárez y la obra se terminó durante el régimen del Presidente Lerdo de Tejada. Los túneles fueron construidos por compañías inglesas y eran de escasa longitud realizados por secciones y utilizando equipo de mano para la barrenación, empleando como explosivo la pólvora negra y revistiendo las paredes con mampostería y la bóveda con bloques de piedra.

Durante el régimen de Porfirio Díaz, uno de los túneles ferroviarios que se construyó fue el “Barrientos” que además fue el primero de doble vía en el país con una longitud de 337 metros, sección terminada de 10 metros de ancho, revestido con paredes de ladrillo y mampostería en algunos tramos y sin revestir donde la roca era sana.



Imagen II.4.4. Túnel ferroviario “Barrientos”



Imagen II.4.5. Túnel “Barrientos”

También durante 1887 se construyó el túnel el Mercader, el cual se encuentra entre las estaciones Huichapan y San Juan del Río, con una longitud de 500 metros y sección entre 4.50 y 5 metros de ancho para una sola vía.

En 1905 se construyó el túnel “La Cumbre” en el Estado de Chihuahua con sección para una sola vía. En 1911 el General Francisco Villa capturo en este túnel a un convoy, volando el portal de salida y posteriormente el de entrada.



Imagen II.4.6. Túnel la Cumbre (Chihuahua)

Durante el periodo correspondiente a la revolución, casi no se construyeron ferrocarriles en nuestro país y no fue sino hasta 1951 que se inició la construcción del ferrocarril Durango-Mazatlán. En este ferrocarril el túnel número uno, “Las Rusias”, atraviesa roca fragmentada que provocó innumerables caídos. Para salvar este obstáculo se efectuó una inyección de lechada de cemento para consolidar la roca y así poder avanzar posteriormente con la excavación del túnel.

También son importantes los túneles construidos en el ferrocarril Chihuahua-Pacífico, de los cuales los más importantes son los llamados “El Descanso” y “El Continental”, este último con una longitud de 1,260 metros.

Las experiencias obtenidas, que ya en México son bastante extensas, así como las derivadas de investigaciones técnicas desarrolladas en el extranjero, han permitido en años recientes obtener avances más seguros, soportes y revestimientos más adecuados y por lo tanto mayor economía en este tipo de trabajo.

También ha sido de importancia la experiencia adquirida en construcción de túneles para obras hidráulicas en nuestro país, tanto en lo que respecta a la perforación de túneles para desvío de los ríos en la construcción de presas, como en la conducción de agua para irrigación y en túneles de presión para alimentación de plantas hidroeléctricas.

Son de especial importancia las excavaciones subterráneas realizadas para alojar grandes casas de máquinas para plantas hidroeléctricas como es el caso de las plantas de “El Cóbano”, “Santa Rosa”, “Mal paso”, “Infiernillo” y “Chicoasén”.



Imagen II.4.7. Casa de Maquinas el Cóbano

Tal como se ha visto, los métodos y procedimientos empleados para la excavación de túneles, han venido mejorando sistemáticamente conforme se perfecciona la tecnología.

Haciendo una recapitulación de lo antes expuesto y atendiendo a lo que a procedimientos constructivos se refiere, tenemos que los primeros túneles de que se tiene noticias se realizaron a mano con la ayuda de rocas de mayor dureza que el terreno y que servían como herramientas, con sus lógicas limitaciones.

Posteriormente se utilizó el calor, procedimiento que consistía en calentar el frente de roca con ayuda de fogatas y posteriormente mojarlo, provocando un cambio brusco en la temperatura y por consiguiente un resquebrajamiento del material.

Las primeras herramientas metálicas que se utilizaron fueron el pico y la pala para materiales relativamente blandos y la barreta y el marro cuando la dureza del terreno era mayor.



Imagen II.4.8. Excavación a pala y pico de túnel

Este procedimiento se vio mejorado con el empleo de la pólvora negra que se introducía y se encendía en los orificios realizados con la barreta.

Al inicio de la era industrial se empezó a emplear la perforación de vapor para ejecutar los barrenos, siendo ésta la primera máquina que se empleó en la excavación de túneles.

El descubrimiento y posterior empleo de la dinamita como elemento explosivo, vino a mejorar aún más los procedimientos de excavación, llegando en la actualidad a utilizarse diferentes tipos de dinamita, cuya ignición se hace con retardo de tiempos con lo cual se trata de optimizar tanto el consumo de explosivos, como el avance por ciclo y el tamaño de la rezaga obtenida.

El mismo proceso de barrenación ha venido mejorándose utilizando en la actualidad aire comprimido para accionar las perforadoras y empleando aceros especiales, e insertos de tungsteno para obtener una mayor velocidad de penetración.

Los equipos de barrenación también en las últimas décadas han tenido mejoras de importancia. Primeramente se usaron máquinas perforadoras ligeras que podían ser fácilmente cargadas por un hombre, pero con las cuales era difícil perforar los barrenos en la dirección requerida de acuerdo con el proyecto. Más tarde vino el uso de máquinas con pierna neumática y de jumbos o carros de soporte de perforadoras de mayor peso y potencia, accionadas para su posicionamiento por soportes a base de tornillos mecánicos. Ya en últimas fechas, prácticamente todos los jumbos usan el tipo de soporte para las perforadoras con base en mandos hidráulicos disminuyendo así los tiempos de posicionamiento de las perforadoras.



Imagen II.4.9. Equipo de aire comprimido



Imagen II.4.10. Equipo de barrenación

En la actualidad se emplean, adicionalmente a los métodos mencionados, otros métodos de excavación, a base de escudo, para materiales arcillosos o granulares. El escudo consiste en una forma metálica cilíndrica que protege el frente, cuando se presentan arenas y arcillas con poca cohesión o materiales inestables. Al avanzar, se excava bajo la protección del escudo manteniendo éste apoyo contra el terreno mediante gatos instalados en su parte trasera. Conforme va avanzando la excavación se va colocando un revestimiento a base de dovelas, para garantizar la estabilidad de la obra, y el escudo avanza apoyando los gatos contra las propias dovelas.

En algunos casos la parte anterior del escudo cuenta con equipo de excavación mezclándose la rezaga con agua y extrayéndose por medio de bombas de lodo. Ha sido importante en la construcción de escudos el avance que en las últimas décadas han tenido los sistemas hidráulicos y de servomotores, que han sustituido el uso de gatos mecánicos cuyo accionamiento es más tardado.

Igualmente los controles hidráulicos para diferentes movimientos han sido un factor importante en el desarrollo de “topos” para la construcción de túneles en formaciones rocosas. Cuando las condiciones de cohesión del terreno son especialmente malas se ha empleado el aire comprimido en el tramo inmediato al frente, con lo que se contrarresta la presión del terreno evitándose los desprendimientos. Este procedimiento es útil cuando el terreno está saturado.

En la medida que se han mejorado los procedimientos de excavación, también se han perfeccionado los correspondientes a la extracción de rezaga.

Inicialmente esta extracción se hacía con pala de mano. En nuestro país el transporte se hacía a base de chundes que cargaban los peones y posteriormente se utilizó la carretilla.

Un avance muy grande lo represento el empleo de equipo sobre vía en el que varias vagonetas son arrastradas por una locomotora, que puede ser de combustión interna o eléctrica. Este procedimiento se sigue utilizando en la actualidad.

Para cargar las vagonetas se utilizaban rezagadoras, generalmente neumáticas que recogen el material del piso del túnel y lo colocan en las vagonetas, ya sea por medio de banda transportadora o a volteo. También los trenes llamados bunker han influido en la tecnología del transporte de rezaga.

En los casos en que se cuenta con una sección suficientemente amplia se pueden utilizar camiones para extraer la rezaga, efectuando la carga por medio de cargadores de orugas o de llanta neumática. La construcción de túneles es una de las ramas de la ingeniería que requiere de la utilización de un gran número de disciplinas técnicas, derivado de las mismas características.

Es muy importante en este punto recalcar la importancia que tiene la combinación de las diferentes áreas y actividades técnicas que da como resultado la necesidad de contar con la colaboración de un equipo interdisciplinario si se quiere garantizar el éxito en la construcción de túneles.



Imagen II.4.11. Rezagadora de material

II.5. OTROS TÚNELES

Existen diversos tipos de túneles que no son ferroviarios ni carreteros que se han construido y es bueno conocer como los túneles para la conducción de agua que hay hoy en día en Norteamérica que conducen agua desde los grandes lagos, o de los grandes ríos hasta las ciudades: al sur de California se construyó un acueducto de 370 Km de longitud que conducía el agua del río Colorado a varias ciudades, se excavaron 29 túneles (148 Km), de los cuales los más largos fueron el de East Coachello (29 Km.) y el de San Jacinto (21 Km.). El túnel que lleva agua a la ciudad de Nueva York desde el Delaware, con 137 Km., es considerado el más largo del mundo.

No podemos olvidar las centrales hidroeléctricas, con sus redes de túneles que conducen el agua, las grandes cavernas donde se instalan las turbinas y los túneles de acceso a las instalaciones. Incluso ya no es necesario construir grandes presas, sino que se construyen centrales subterráneas que se abastecen del agua de lagos de montaña, aguas conducidas por largos túneles, con el consiguiente ahorro de concreto y de acero, como la de Montpezat (Francia) con más de 20 Km de galerías subterráneas.

Como sistemas de alcantarillado ya Londres había construido el primer proyecto para una gran ciudad en 1865; hubo que construir numerosos túneles para conseguir transportar el agua sucia al Támesis a casi 20 Km aguas abajo, pero las demandas de una población e industria creciente hacen necesario un mejoramiento continuo.

Aunque ya desde la antigüedad se construían aljibes para el almacenamiento de las aguas pluviales, se construyen en la actualidad depósitos subterráneos con una finalidad que es la de recoger las aguas pluviales y residuales que desbordan las redes de alcantarillado y las depuradoras durante las tormentas de cierta intensidad; de esta manera pueden ser tratadas posteriormente, evitándose los vertidos directos sin tratamiento. Este problema lo padece la ciudad de Barcelona que actualmente proyecta construir embalses subterráneos para recoger el agua de las lluvias torrenciales y así poder depurarlas después de la tormenta, evitando los vertidos directos al mar que afectan gravemente a las playas.

Se han construido numerosos túneles para el paso de cables y tuberías, e incluso algunos antiguos túneles ferroviarios, sobre todo bajo ríos, se siguen utilizando en la actualidad para llevar este tipo de servicios.

También se excavan grandes túneles para almacenamiento de petróleo y otras sustancias, o como refugio y defensa; y últimamente para el estacionamiento subterráneo de vehículos.

II.6. EL FUTURO DE LOS TÚNELES

Se puede decir que hoy en día las obras subterráneas experimentan un segundo apogeo con las extensas instalaciones subterráneas para el tráfico, la energía hidráulica, los propósitos militares e incluso para finalidades científicas.

También los métodos técnicos se han desarrollado para conseguir una mayor rentabilidad y seguridad, a lo que han colaborado igualmente los nuevos conocimientos sobre la mecánica de rocas que, en general, estudia el equilibrio y las deformaciones de los terrenos bajo la influencia de fuerzas internas o externas.

Todo lo anterior lo demuestran las grandes obras subterráneas que a continuación se van a describir: el túnel de Seikan, inaugurado en 1988, enlaza las islas japonesas de Honshu y Hokkaido; con una longitud récord hasta el momento de 53,9 Km., de los cuales 23,3 Km son subacuáticos, es de los más largos existentes para tren de alta velocidad.

Ya en 1802 se empezó a estudiar, desde Francia, el cruce del Canal de la Mancha por medio de una vía subterránea, idea que emocionó a Napoleón pero que no le dio tiempo a intentar ya que se rompió el tratado de paz con los ingleses. Hubo algunos proyectos más con mayor o menor consistencia y es en 1881 cuando el coronel Beaumont con su nueva máquina tuneladora perforó 1839 metros, en 1883 se pararon las obras, no por problemas de la máquina sino por cuestiones económicas y políticas. Hasta cien años más tarde y después de varios intentos infructuosos de acuerdo entre los gobiernos británico y francés (por razones primero militares y últimamente económicas), no se aprueba la solución de túnel ferroviario cuyas obras se inician en 1987. Es un doble túnel de 50,4 Km. de longitud, 37 de los cuales discurren bajo el mar; una tercera galería paralela a las anteriores y conectada a ellas con otras transversales asegura la ventilación, el mantenimiento y la seguridad. En 1991 se produce el cale de los túneles, y la apertura es en 1993. Los vehículos acceden directamente a vagones de 750 metros de longitud, que pueden embarcar cualquier tipo de vehículo a motor.

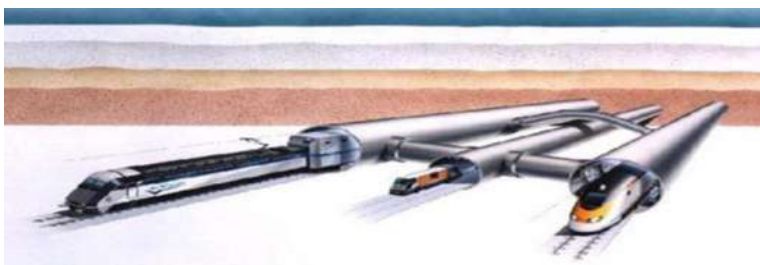


Imagen II.6.1. Túnel del canal de la mancha

Las aplicaciones del túnel en esta última década han llegado hasta el campo de las investigaciones científicas. Ha sido construido recientemente en Texas (EEUU) el mayor acelerador de partículas subatómicas (protones) del mundo. El anillo principal del SCS (Súper Colisionador Superconductor) es un túnel de 4 metros de diámetro y de 87 Km de longitud, dispone de túneles adicionales con una longitud de 27 Km y su conexión con la superficie es por pozos verticales.

Construido por el Departamento de Energía, tiene por finalidad avanzar en los conocimientos de las propiedades fundamentales de la energía y de la materia, del espacio y del tiempo.

Con la misma finalidad, también en Europa se ha finalizado la construcción del proyecto EUROLEP (Large Electrón Positrón Collider). Situado en la frontera franco-suiza consta de un túnel en forma de anillo circular de 27 Km de longitud, la sección es de 4.50 metros y se comunica con la superficie por medio de 18 pozos de distintos diámetros. Construido por la CERN, Organización Europea para la Investigación Nuclear.

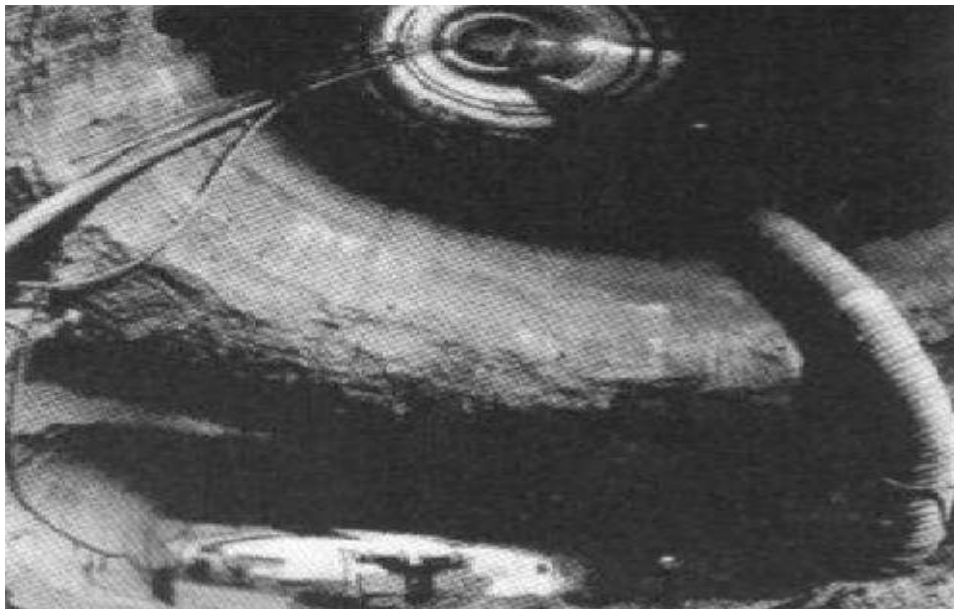


Imagen II.6.2. Proyecto LEP (EUROPA)

Con lo que respecta al tren de alta velocidad, ya en plena explotación las redes de Japón, Francia, Italia, Alemania, en menor medida la del Reino Unido, y en inicios la española se prevé un nuevo auge del transporte ferroviario, cuya importancia se había visto eclipsada por el transporte por carretera y el transporte aéreo.

CAPÍTULO III. CLASIFICACIÓN Y FUNCIÓN DE LOS TÚNELES

III.1. CLASIFICACIÓN SEGÚN SU UBICACIÓN.

La clasificación de los túneles, cuando su función es el transporte, podría ser por su ubicación. Los obstáculos naturales a atravesar son variados: cadenas montañosas, ríos estuarios o mares, y en una ciudad las calles, edificios u otras estructuras.

III.1.1. Túneles de montañas.

Si el obstáculo es una cadena montañosa, la construcción de un túnel puede suponer un ahorro considerable de tiempo y energía.

Existen dos soluciones para atravesar con un túnel una cadena montañosa: la de un túnel corto a un nivel elevado, solución más económica pero que exige largas pendientes y curvas cerradas hasta llegar a la altura elegida, o la de un largo túnel a un nivel más bajo, con el que se acortarán distancias y se ahorrará en combustible y tiempo, aunque la inversión de capital será mucho mayor. También su utilización será mucho mayor ya que no se verá afectado por las nieves invernales de los túneles anteriores.



Imagen III.1.1.1. Túnel el sinaloense (Mazatlán, Sinaloa)

III.1.2. Túneles subacuáticos.

Optar por un túnel en lugar de por un puente para atravesar un río o un estuario dependerá de cada caso. Si se precisan numerosas vías para el tráfico y el tipo de navegación permite una luz entre pilares moderada, el puente puede ser la mejor solución; pero si se precisan claros muy largos para la navegación, el costo del puente se encarece de manera desproporcionada, y si además las condiciones de cimentación no son muy buenas, el túnel será la mejor elección.

Por otro lado, con la solución del túnel en el futuro se podrán ir ampliando las vías, según la densidad del tráfico lo requiera, construyendo otros túneles paralelos, mientras que toda la inversión para el puente tiene que ser inicial aunque en el momento de la construcción no se requiera todas las vías para la que se ha construido.

Los largos accesos que precisan los túneles subacuáticos son su gran desventaja, aunque disminuyen con los actuales túneles prefabricados que se depositan en el lecho.

Sin embargo, son muchas las líneas de Metro que tienen tramos subacuáticos, ya que generalmente se mantienen muy por debajo de la superficie.



Imagen II.1.2.1. Túnel subacuático (Veracruz)



Imagen II.1.2.2. Túnel subacuático (Coatzacoalcos, Veracruz)

III.1.3. Túneles urbanos.

La construcción de túneles bajo las calles de una ciudad es utilizada para casi todas sus aplicaciones al transporte, pero los túneles urbanos más largos son los de ferrocarriles subterráneos, abastecimiento de agua y sistemas de alcantarillado. Túneles más cortos son los de carreteras, debido a los elevados problemas de ventilación y accesos que supondrían largos túneles; otros túneles urbanos cortos son los pasos para peatones.



Imagen III.1.3.1. Túnel en la ciudad de Monterrey

III.2. CLASIFICACIÓN DE TÚNELES SEGÚN MANUAL DE CARRETERAS.

III.2.1. Rurales

Son túneles ubicados fuera del entorno urbano y que, en general, están destinados a atravesar obstáculos físicos tales como montañas o cuerpos de agua que resultan difíciles o inconvenientes de cruzar mediante puentes.

Los túneles rurales habitualmente tienen pocas restricciones espaciales. Por otra parte, en ellos suele ser más costoso el abastecimiento de agua y electricidad para la operación de los sistemas de incendio, iluminación, ventilación, controles y comunicaciones que puedan requerirse.

En general, estos túneles son excavados en roca y suelos residuales (cruce de montañas) o suelos sedimentarios (cruce de ríos y otros).



Imagen III.2.1.1. Túneles de obispo (Acapulco, Guerrero)

III.2.2 Urbanos

Son túneles emplazados dentro de los límites de la ciudad y están fuertemente constreñidos espacialmente por las redes de servicios propios de las urbes modernas, como ser: redes de alcantarillado, redes de trenes subterráneos, redes de agua potable, redes de gas, redes de alimentación, eléctrica, teléfonos, fibra óptica, etc.

Los túneles urbanos son frecuentemente del tipo trinchera cubierta y excavados en suelos sedimentarios.

En los túneles urbanos los problemas de ventilación resultan, a veces, dificultados por el hecho de que no siempre se puede expulsar libremente el aire viciado proveniente del interior del túnel, debido a restricciones de carácter ambiental.



Imagen III.2.2.1. Túnel Zumpango del rio (Chilpancingo, Guerrero)

III.3. SEGÚN CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS.

Los túneles según sus características estructurales y de construcción pueden ser definidos como:

III.3.1 Túneles en roca (Normalmente a través de una montaña)

III.3.2 Túneles en suelo (Normalmente urbanos)

III.3.3 Túneles falsos (Construidos en concreto armado y luego tapados con suelo. Generalmente se construyen antes de la entrada a los túneles en roca, para proteger a los vehículos de la caída de rocas).

III.3.4 Trincheras cubiertas (Estructuras de concreto armado de sección rectangular, construidas en suelo y luego tapadas. Generalmente son urbanas).

III.3.5 Cobertizos (Estructuras de concreto armado de sección rectangular construidos en zonas montañosas para proteger a los vehículos de las avalanchas de nieve. Estas estructuras generalmente son abiertas en uno de sus costados).

III.4. SEGÚN CLIMA Y ALTITUD.

Resulta de especial importancia la ubicación geográfica (fundamentalmente altitud) en donde se ubique la obra y el clima del sector.

Toda obra localizada en altura considerable y en un clima lluvioso o sectores con filtraciones mayores, requerirá el diseño especial de canaletas conductoras – evacuadoras de aguas, las cuales deberán ser calculadas, dimensionadas y localizadas de manera que cumplan con el objetivo de mantener las pistas secas.

La ubicación geográfica determinará la posibilidad de congelamiento de aguas infiltradas a la obra para lo cual deberá procederse a neutralizar el fenómeno que provoque esta situación.

Hay dos fenómenos, particularmente peligrosos para los conductores, que se producen frecuentemente en túneles cordilleranos con exceso de agua, que deben evitarse a toda costa:

- Pavimentos con una película superficial de agua congelada, que se tornan muy resbalosos.
- Empañamiento repentino del parabrisas al ingresar un vehículo a baja temperatura a un túnel lleno de aire saturado y a mayor temperatura que el vehículo.

Para evitar estos fenómenos se deberá considerar en el proyecto la colocación de láminas térmicas, por ejemplo CARFOAM, las cuales evitan la generación de goteos y su posterior congelación de arriba hacia abajo (estalactitas) o de abajo hacia arriba (estalagmitas).



Imagen III.4.1. Túnel Punta OLIMPICA (Los Andes)

III.5. CARACTERÍSTICAS DE LOS DIVERSOS TIPOS DE TÚNELES.

III.5.1. Túneles para ferrocarril.

La utilización del túnel en las líneas de ferrocarril es para salvar colinas, en zonas costeras, en grandes cadenas montañosas y en cruces subacuáticos.

En los dos primeros casos suelen ser túneles cortos y su definición en planta puede ser recta o curva.

En los túneles más largos se adopta preferentemente el trazado en línea recta ya que es el más económico y también, permite excavarse desde los dos extremos, el más exacto en el replanteo y por lo tanto en la coincidencia entre ambos ataques.

Una excepción a esta regla se da en los túneles que atraviesan grandes cadenas montañosas. Cuando el trazado de la línea férrea exige la construcción de un túnel entre los puntos A y B, puede ocurrir que la pendiente del túnel en recta sea superior a la permitida por el sistema férreo; entonces hay que conseguir aumentar la longitud entre los dos puntos fijos mediante un trazado en curva, que en ocasiones llega a formar un "caracol" completo (trazado helicoidal).

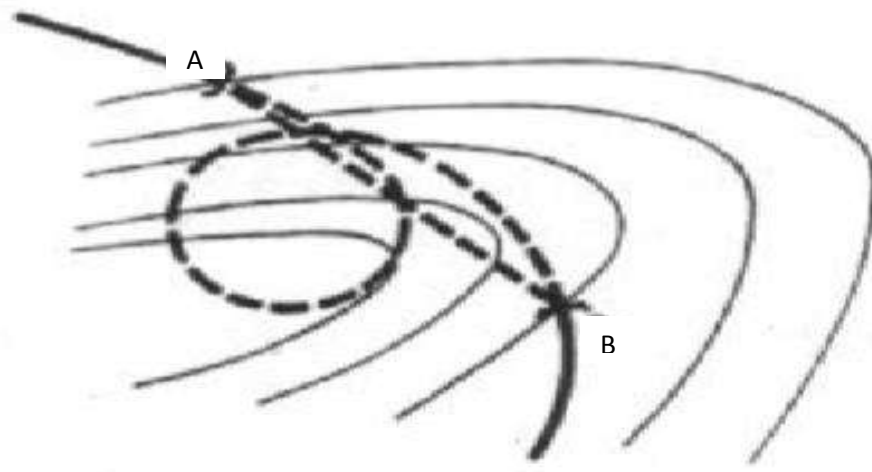


Figura III.5.1.1. Túnel helicoidal para ferrocarril

En cuanto a la rasante del túnel dependerá de la disposición del terreno más conveniente para la excavación y de las pendientes máximas admitidas, aunque se le intentara dar siempre un mínimo de pendiente para permitir la circulación de las aguas hacia la boca del túnel, el 0.3% es suficiente para este fin.

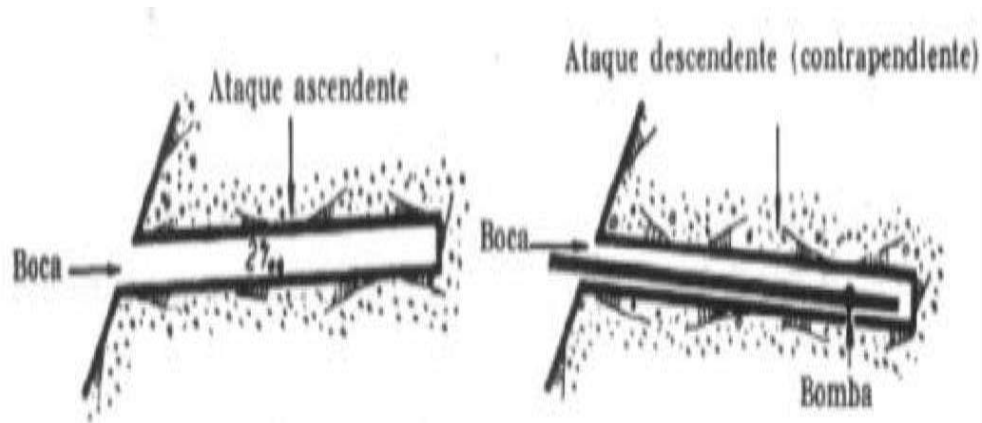


Figura III.5.1.2. Ataques en pendiente

Se intentará que sea ascendente en el sentido de la excavación, ya que la evacuación de las aguas subterráneas estará asegurada durante la construcción. En caso contrario las aguas se concentran en el avance y es necesario evacuarlas por bombeo. En los túneles largos, se suele dar pendiente hacia ambos lados, con un acuerdo parabólico en el centro, para así poder excavar desde las dos bocas y evacuar las aguas por gravedad.

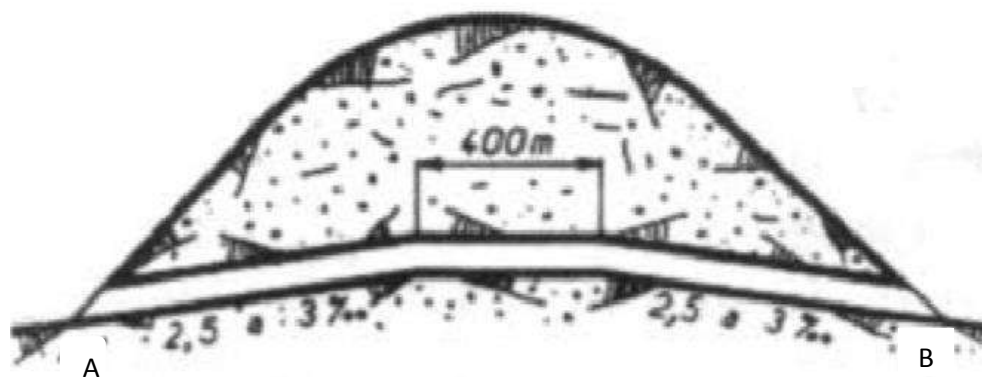


Figura III.5.1.3. Túnel de Cumbre

En las líneas de ferrocarril de alta velocidad, donde además de los factores anteriores existe el condicionante de la velocidad a la que debe circular el tren, sí que existen pendientes máximas admitidas, que son del 3,5% en tráfico de viajeros y el 1,25% en tráfico mixto (viajeros y mercancías).

Todas estas pendientes suelen rebajarse de un 10 a un 20% al entrar al túnel, compensando así la reducción de la adherencia al riel que provoca la humedad en la atmósfera y el aumento de la resistencia aerodinámica.

También el radio de las curvas será el que determine la velocidad máxima de circulación de los trenes. En España con un accidentado relieve sólo comparable en Europa al de Suiza, existen tramos con radio de curvas de 300 metros, donde la velocidad máxima de circulación es inferior a 110 km/h; alrededor del 5% tiene radios superiores a 1.500 metros; y sólo el 64% de la red es en recta, de lo que se deduce la construcción de nuevos trazados, en los que sin duda habrá túneles, para conseguir radios de 4.000 metros, los utilizados en alta velocidad. Como ejemplo significativo comentar que Japón, también país de accidentado relieve, posee el récord mundial de líneas de ferrocarril de alta velocidad con mayor porcentaje de obras de fábrica. En la línea de Tohoku (496 Km.) el 23% de su longitud es en túnel y el 72% en viaducto; la de Joetsu (270 Km.), con un 39% en túnel y un 60% en viaducto, sólo tiene un 1% situado en terreno natural.

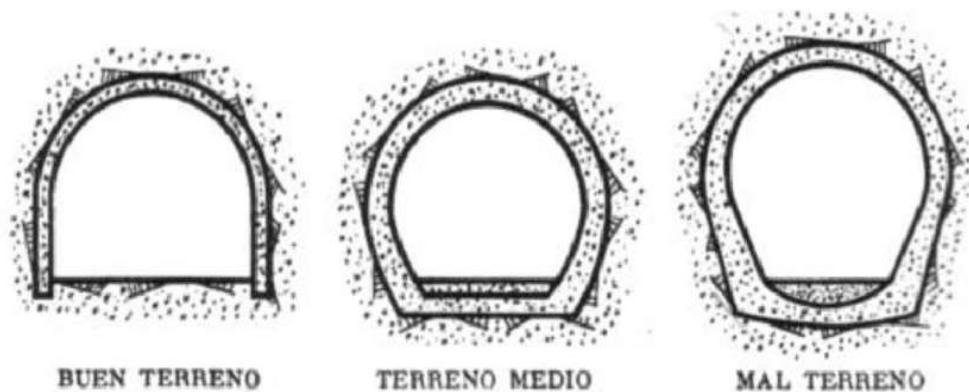


Figura III.5.1.4. Secciones transversales de túneles para vías férreas

La sección tipo difiere según el tipo de terreno: en roca se utilizan generalmente muros verticales y la bóveda de medio punto (sección de herradura), en terrenos menos resistentes ésta se aproxima más a una forma ovoidal añadiendo una solera, y en mal terreno se tiende al círculo, con contra bóveda inferior. Su gálibo interior suele ser de 5 metros de ancho y 7 de altura para una sola vía, y las vías gemelas suelen tener una anchura de 8.5 metros.

III.5.2. Túneles en carreteras.

Los túneles en carreteras pueden ser cortos y largos, su definición en planta también tiende a ser en recta por ser el camino más corto y por lo tanto el más económico, aunque al igual que para el ferrocarril se construyen en curva si las condiciones del terreno a utilizar lo recomiendan por otras causas. Las curvas pueden ser más cerradas.

El perfil longitudinal sigue las mismas pautas que los anteriores en cuanto a las condiciones necesarias para la evacuación de las aguas por gravedad, tanto durante su construcción como posteriormente y siempre que sea posible. La diferencia más importante, comparándolos con los de ferrocarril es en la pendiente permitida: son pendientes normales las de 35 y 45 milésimas, e incluso se pueden utilizar en un tramo corto rampas de 65 milésimas, como en el caso de túneles subacuáticos en los que duplicando la pendiente se consigue reducir a la mitad la longitud del descenso hasta el nivel obligado.



Figura III.5.2.1. Sección transversal de un túnel de carretera

La sección tipo de los túneles de carreteras es un poco mayor que la del ferrocarril de vía doble. El ancho para dos carriles ronda los 9 m, y la altura libre es alrededor de los 5 m. Lo normal es que se construyan túneles de dos carriles únicamente ya que en todos los túneles el aumento del ancho repercute de manera desproporcionada en el costo, al tenerse no sólo que excavar un mayor volumen sino también aumentar el espesor del revestimiento. Por ello es preferible excavar dos túneles paralelos con dos carriles cada uno cuando las necesidades sean de cuatro vías (dos para cada sentido). Un túnel excepcional en lo que se refiere a la anchura es el de Saint-Cloud en la autopista del Oeste a la salida de París que dispone de cinco vías de circulación.



Figura III.5.2.2. Túnel de carretera en Saint-Cloud (Paris)

En cuanto al equipamiento del túnel es necesaria una iluminación que debe ser potente en la entrada, sobre todo de día, y disminuir progresivamente hacia el interior cuando ya el ojo humano se ha adaptado al cambio de luminosidad exterior-interior. La ventilación debe prever hasta las situaciones de emergencia, como colapsos de tránsito e incendios. El proyecto de ventilación tiene gran influencia en el proyecto y la construcción del túnel, pues el paso de los conductos de aire ocasiona problemas de espacio, y los futuros pozos de ventilación del túnel se pueden utilizar durante la construcción para multiplicar los frentes de excavación del túnel y también como ventilación.

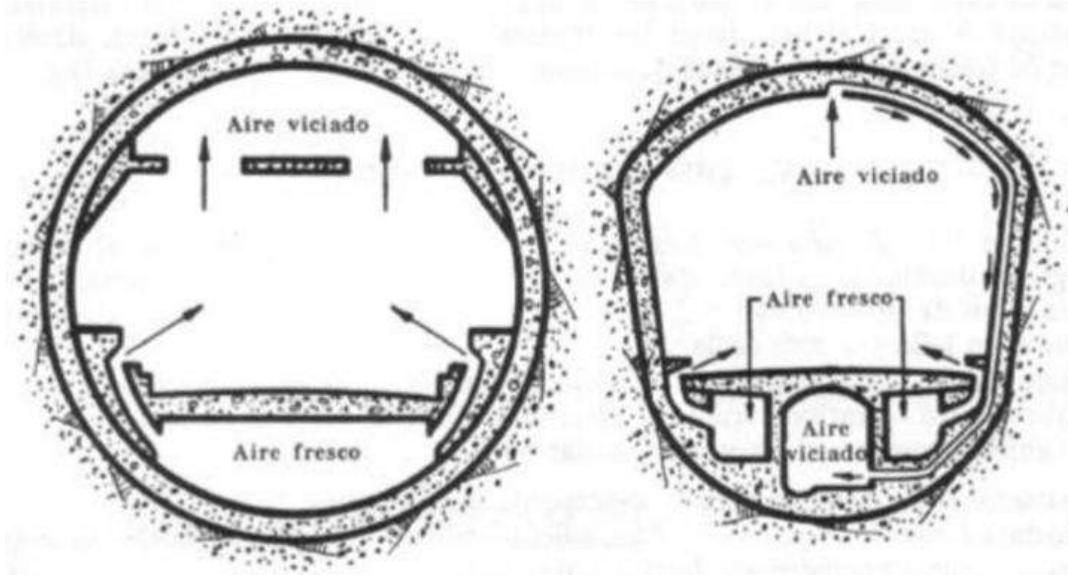


Figura III.5.2.3. Ventilación del Holland-Tunnel y del Mont Blanc

(Nueva York y Alpes)

En algunos túneles de carreteras se permite el paso de peatones y ciclistas, con el inconveniente de que además del aumento de las dimensiones del túnel y su repercusión en el costo, los ciclistas retrasan el flujo total del tráfico y tanto ellos como los peatones requieren unas normas más altas de ventilación, ya que permanecen durante más tiempo en el interior del túnel y además realizan ejercicio. Es por todo ello que se construyen túneles aparte, para peatones y ciclistas, en aquellos países en los que es importante el transporte en bicicleta, o incluso por debajo de la plataforma de la carretera en cortos túneles subacuáticos de algunas ciudades. Estos túneles tienen unas restricciones mínimas, tanto de espacio como de pendientes.

III.5.3 Transporte urbano (Metro).

Estos túneles difieren en algunos aspectos de los de las líneas de ferrocarril. En primer lugar suelen tener frecuentes secciones subacuáticas, ya que son pocas las grandes ciudades que no tengan ríos o estuarios que cruzar, en este caso no existe el inconveniente de los túneles subacuáticos que precisan descender muy por debajo del nivel del terreno, ya que es por donde suelen discurrir los ferrocarriles urbanos.

Las pendientes pueden ser más pronunciadas, ya que no tienen que transportar mercancías pesadas: son normales pendientes del 3,5%, e incluso en ciudades con terreno más abrupto, como en Montreal, se ha llegado a pendientes de hasta un 6,3% adoptando llantas neumáticas para mejorar la adhesión.

En general son túneles tan poco profundos como sea posible, por la importancia de un rápido y fácil acceso desde la superficie; es por ello que en los tramos donde no se ocasionan excesivos problemas por el corte de calles ni en la corrección o el corte de servicios más superficiales (líneas eléctricas, de gas, de alcantarillado, etc.) se construyen por el método de corte y relleno que, como su nombre sugiere, consiste en excavar desde la superficie para posteriormente y a cielo abierto construir el túnel, y por último rellenar y reconstruir la superficie.

Otro método que afecta en menor grado a la superficie es el denominado por pantallas, muy útil en terrenos inestables o de relleno propios de zona urbanas. Se construyen dos pantallas de concreto armado en el sentido longitudinal del túnel (en esta fase sólo se han excavado dos estrechas y profundas zanjas verticales).

A continuación se excava la zona entre pantallas hasta llegar a la línea curva de la bóveda, sirviendo el mismo terreno de encofrado, y se arma y se cuela dicha bóveda, para por último vaciar el hueco (con maquinaria convencional) y construir la contra bóveda.



Figura III.5.3.1. Fases de construcción de un túnel por pantallas

Si el sistema de excavación ha sido el de corte y relleno la sección suele ser rectangular y actualmente a base de piezas prefabricadas de fácil y rápido montaje. En túneles perforados se tiende a la sección circular con el mínimo diámetro, por lo que la exactitud en el replanteo de la alineación es muy importante debido al escaso espacio libre entre el equipo rodante y la estructura. En ocasiones, debido a la falta de altura, se rebaja la bóveda y se aumenta su espesor.

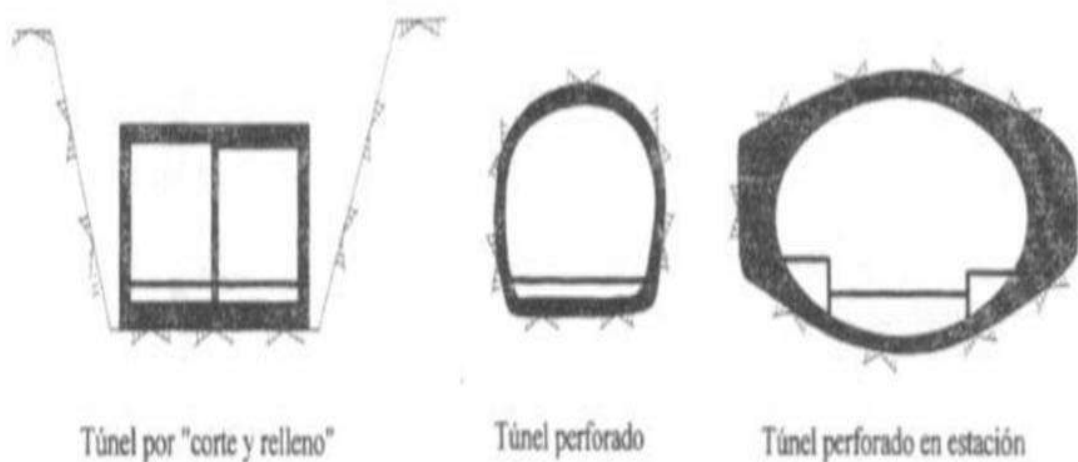


Figura III.5.3.2. Distintas secciones para dos vías

Los túneles en las estaciones son mucho mayores que los túneles de recorrido, y presentan, respecto a su anchura, una sección aún más rebajada. En éstos se exigen normas estrictas de impermeabilización, así como una buena iluminación y unos buenos acabados.

III.5.4. Conducción de agua.

El abastecimiento de agua potable a las ciudades es una necesidad que se remonta a tiempos muy antiguos. El acueducto desde una presa hasta la ciudad tendrá tramos aéreos, tramos en los que las tuberías se apoyen en la superficie, otros excavados en zanjas y también tramos en túnel.

El túnel se hará necesario para atravesar una colina y también, ya en zona urbana, cuando los excesivos obstáculos aconsejen la perforación de un túnel a mayor profundidad.

En este tipo de túneles no existen limitaciones de curvas y pendientes, las alineaciones podrán ser rectas, lo más largas posibles, o curvas.

Incluso puede convenir que sean líneas quebradas si con ello se pasa bajo una depresión o garganta que nos permita abrir nuevos frentes de ataque en la excavación. El perfil longitudinal tendrá todo tipo de inclinaciones incluso la vertical, siempre que tenga un gradiente hidráulico descendente de extremo a extremo.

Otras características son que sea liso e impermeable. La impermeabilización es importante en dos aspectos contrarios, por un lado para evitar erosiones importantes por pérdida de agua en tramos en los que circule a muy alta presión, y por otro lado para evitar infiltraciones que podrían contaminar el agua cuando el túnel fuera parcialmente lleno.

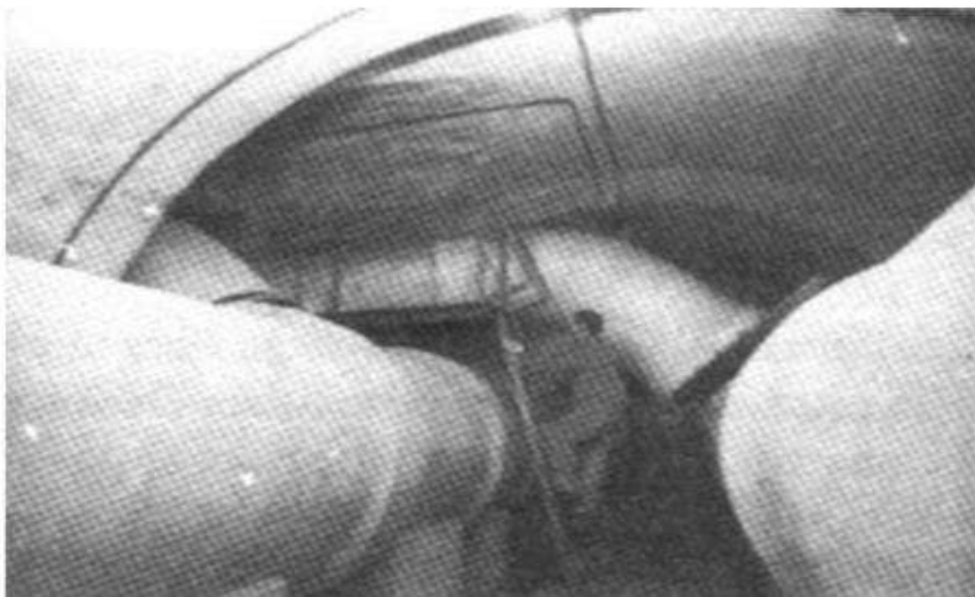


Imagen III.5.4.1. Distribución del agua potable en la ciudad

La sección que se adopta normalmente es la circular, que es la que da el máximo caudal de agua y que además mejor resiste los empujes del terreno.

III.5.5. Centrales hidroeléctricas subterráneas.

Las modernas estaciones generadoras de energía hidráulica son subterráneas; en ellas se construye una compleja red de túneles con distintas funciones: túneles de acceso desde el exterior hasta la sala de máquinas y de transformadores, túneles que conducen los cables, y los propios para la generación de la energía que podemos clasificar, por sus distintas características, en tres tipos: de descarga libre, de alta presión y salas de máquinas y transformadores.

Consideramos túneles de descarga libre al túnel para la captación del agua y al de desagüe; el primero suele estar siempre lleno pero a una presión relativamente baja, y debe tener una pendiente suave para que una vez vacío se pueda realizar su inspección y mantenimiento. El túnel para el desagüe tendrá la mínima pendiente ya que la sala de turbinas conviene situarla al nivel más bajo posible para aprovechar la máxima carga hidrostática del agua. La sección tipo, normalmente circular, y el revestimiento son similares a los de los túneles para abastecimientos urbanos aunque en los de desagüe se debe prever un revestimiento capaz de soportar la erosión bajo cualquier condición de descarga.

Los túneles de alta presión o conducciones forzadas suelen tener una fuerte pendiente, e incluso pueden ser verticales por lo que en su construcción se emplean técnicas propias de la construcción de pozos; es muy importante hacer mínima la pérdida de carga hidrostática por lo que un revestimiento liso es imprescindible.

Se producen muy altas presiones en los tramos próximos a las turbinas, y además en todo el túnel, cuando se cierran o abren los tubos de alimentación de las turbinas según las necesidades de producción, se producen presiones por ondas de choque y oleaje que se controlan construyendo chimeneas o tiros de alivio. El revestimiento debe ser capaz de soportar estas altas presiones y además ser impermeable, por lo que a menudo será de acero o de concreto con un revestimiento interior de acero. También se puede excavar un túnel en el que se instala una tubería de acero de menor diámetro y al que se puede acceder para su mantenimiento.

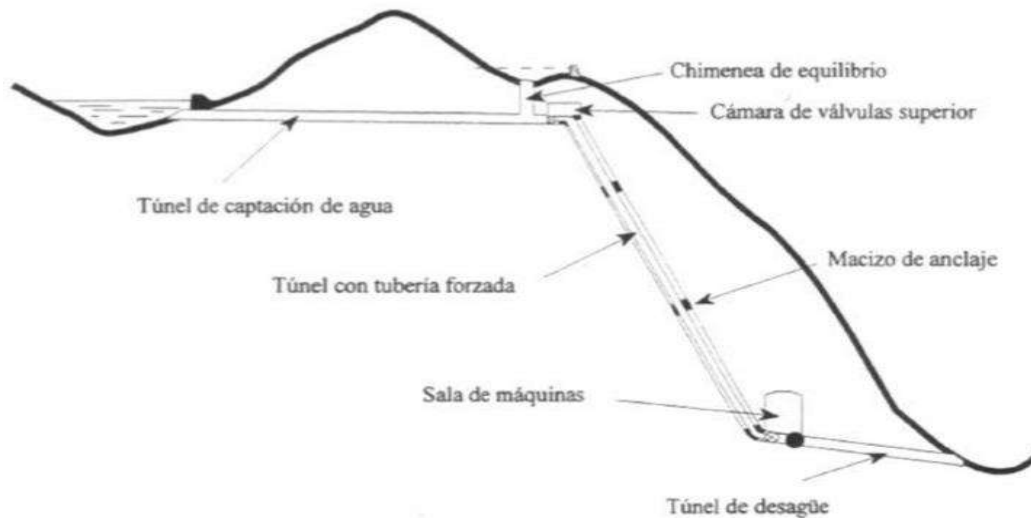


Figura III.5.5.1. Túneles hidráulicos en una central hidroeléctrica

Las salas de máquinas y de transformadores son grandes cavernas que albergan todo tipo de equipos (turbogeneradores, transformadores, tuberías de alimentación a las turbinas, etc.). Suelen tener paredes verticales y techo en bóveda (sección de herradura), y la anchura oscila entre 15 y 30 metros. La construcción de estas grandes salas requiere una roca resistente.

III.5.6. Sistema de alcantarillado.

Se hace necesaria la excavación de túneles en los sistemas de alcantarillado cuando la profundidad es excesiva para la excavación de zanjas o cuando no se puede afectar a la superficie. Las ciudades tienden a ampliar y modificar sus redes de saneamiento que ya no vierten directamente a un río o al mar sino que deben pasar por plantas depuradoras. La sustitución o ampliación de tramos ya antiguos y sin capacidad suficiente a menudo se realiza con túneles más profundos.

Las dimensiones de los túneles son muy variables: secciones inferiores a tres metros cuadrados no son prácticas, por lo que suele ser el mínimo aceptable si se construye con las técnicas clásicas. En su interior se sitúa la tubería que se adecúa a nuestras necesidades. En la actualidad las técnicas del micro túnel consiguen la ejecución de túneles de diámetros inferiores a 3 metros y longitudes menores de 200 metros, que afectan mínimamente a la superficie (pozos de pequeñas dimensiones).

La pendiente será pequeña pero uniforme; el flujo que conducen es muy variable por lo que deberá asegurarse la circulación del agua bruta en tiempo seco, evitando el sedimento de arenas, y en época de lluvias, en la que el colector tendrá que tener capacidad suficiente. La sección podrá ser circular o de herradura.

En ambos casos se suele practicar un pequeño canal en la solera para asegurar la circulación del flujo en época seca, aunque la sección que mejor se adapta a estos requisitos es la ovoidal. Otro requisito será la impermeabilidad para evitar contaminaciones por pérdida de agua.



Figura III.5.6.1. Secciones tipo

En cuanto a su definición en planta, podrá ser recta o en curva y muy a menudo su recorrido será quebrado. En los quiebres será obligada la situación de pozos de registro, necesarios para la ventilación (gases tóxicos), para el mantenimiento, e incluso como tiros de carga en casos de grandes tormentas.

III.5.7. Túneles de servicios.

En la actualidad se está generalizando el uso de túneles para llevar cables y otros servicios mediante tuberías, sobre todo en las grandes ciudades y en pasos subacuáticos.

Las redes telefónicas en túnel permiten el acceso de personal para tender nuevas líneas y para el mantenimiento, sin que se afecte a la superficie. Las redes de gas precisan túneles para su uso exclusivo, con instalaciones para el control de fugas que podrían crear una atmósfera tóxica o explosiva; incluso se proyectan largos túneles como almacenamiento y así evitar la superficie.

Los túneles pueden servir para transportar varios servicios afines, situados convenientemente.



Imagen III.5.7.1. Galería de servicios

III.5.8. Túneles de almacenamiento.

La función del túnel como almacenamiento es antigua, pues era común el almacenamiento del agua de la lluvia en depósitos subterráneos. En la actualidad es el almacenamiento de petróleo crudo el uso más común, siendo su gran ventaja la seguridad contra incendios o daños; son grandes depósitos subterráneos sin revestimiento, de los que se va extrayendo el petróleo que se sustituye provisionalmente por agua para mantener el equilibrio de presiones hasta que se abastece de nuevo el petróleo crudo.

También se utiliza para almacenar explosivos y otros suministros militares y últimamente para eliminar residuos radioactivos. Otra utilidad es, en las grandes ciudades, para el almacenamiento provisional de las aguas de lluvia en épocas de invierno, imposibles de tratar en cortos espacios de tiempo en las plantas depuradoras antes de ser vertidas.

III.6. FUNCIÓN DE LOS TÚNELES

III.6.1. Principales funciones.

Las funciones del túnel son diversas: se construyen túneles para transporte, para almacenamiento, para albergar instalaciones diversas, por necesidades científicas y túneles para protección de personas.

III.6.2. Transporte.

Se podría decir que es la función más antigua. La construcción de túneles para salvar obstáculos naturales se practica desde la antigüedad; podríamos resumir diciendo que en un principio fue el transporte de agua lo que necesitó de la solución túnel, debido a los requerimientos de pendiente mínima o nula; más adelante el desarrollo del ferrocarril, y posteriormente el desarrollo de los vehículos motorizados, hicieron necesaria la construcción de túneles por razones parecidas a las anteriores (evitar fuertes pendientes) pero también por razones nuevas: acortar distancias y ganar seguridad.

A continuación se enumeran los distintos tipos de túneles que se construyen para el transporte.

Túneles para el transporte de personas y mercancías

- En carreteras
- En líneas del ferrocarril
- En líneas de transporte urbano (Metro)
- Pasos para peatones
- Pasos para ciclistas

Túneles para el transporte de agua

- En canales
- En abastecimientos urbanos
- Para el riego
- En centrales hidroeléctricas
- Para el agua de enfriamiento en centrales térmicas y nucleares

Túneles en sistemas de alcantarillado

Túneles para diversos servicios (cables y tuberías)

III.6.3. Almacenamiento.

El difícil almacenamiento de determinadas sustancias y materiales se soluciona en ocasiones con túneles, que garantizan las necesarias condiciones de seguridad en unos casos, y evitan en otros el fuerte impacto ambiental que ocasionarían unos grandes depósitos en la superficie:

- Almacenamiento de petróleo
- Almacenamiento de residuos radioactivos
- Almacenamiento de materiales para usos militares
- Embalses subterráneos

III.6.4. Instalaciones

Aquí se incluyen las grandes instalaciones subterráneas que se construyen por distintos motivos (prácticos, estratégicos, etc.). A continuación se nombran las distintas aplicaciones que con esta función se construyen por medio de túneles aunque, al igual que los de almacenamiento, más que túneles, son por sus dimensiones, verdaderas cavernas:

- Centrales energéticas
- Estacionamiento de vehículos
- Depuradoras de aguas residuales

III.6.5. Científica

En la actualidad los países más desarrollados construyen túneles para investigaciones científicas de difícil realización en la superficie:

- Acelerador de partículas subatómicas

III.6.6. Protección

También se construyen túneles cuya función es la protección de las personas, tanto militares como civiles; en los últimos tiempos se han construido para la defensa frente ataques nucleares. En este tipo de túneles el mayor reto es la resistencia de la estructura a los explosivos, así como la preservación de la vida durante un largo período de tiempo:

- Refugios
- Puestos de control

III.7. FACTORES RELACIONADOS CON LA FUNCIÓN DE CADA TÚNEL

Estos factores que se enumeran por separado son, sin embargo, dependientes entre sí, de manera que la acción de unos condicionará la de otros.

- La **ubicación** del túnel, que podrá ir a través de una montaña, ser subacuático o urbano.

- El **terreno** puede ser desde un limo blando hasta una roca dura; la selección que se haga del terreno implicará cambios en la geometría, en la forma de la estructura y por supuesto en el método de construcción.

- Las **dimensiones** del túnel acabado (ancho, altura y longitud), así como los parámetros que definan la planta (curvas circulares, de transición) y el alzado (pendientes máximas); estos límites podrán ser muy reducidos en unos casos, y se podrá disponer de un amplio campo de posibilidades en otros.

- La **forma estructural**, que podrá ser un círculo, rectangular, de herradura, etc. el material utilizado será el concreto con mayor o menor espesor y el acero. La forma estructural deberá soportar las presiones de los terrenos. Tanto el tipo de terreno como el método de construcción influirán decisivamente sobre la forma estructural.

-El **sistema de construcción** que presenta numerosas posibilidades, desde, la excavación por explosivos hasta las máquinas tuneladoras a sección completa, pasando por los procedimientos de corte del terreno y posterior relleno para los túneles más superficiales. La elección del método vendrá determinada por las condiciones del terreno pero también por los medios económicos de que se disponga.

- El **equipamiento** del túnel ya terminado, las calzadas o las vías de ferrocarril, la iluminación, los sistemas de control, los acabados decorativos en su caso.

Todos estos factores se tienen en cuenta en la planificación y diseño del proyecto de un túnel.

CAPÍTULO IV. FORMAS DE EXCAVACIÓN EN TÚNELES

IV.1. EL ARRANQUE

La excavación se puede realizar por tres métodos que son: manual, con explosivos y mecanizado.

IV.2. MÉTODO MANUAL

Se realiza mediante herramientas neumáticas, de potencia ligera o media según las necesidades, que van provistas de picas o paletas según sea la dureza del terreno. Con ellas se rompe el frente o se perfila, como complemento a otros sistemas. En la actualidad sólo se utiliza como único método en secciones de túneles muy pequeñas (3 o 4 m²).

IV.3. MÉTODO CON EXPLOSIVOS

En la actualidad el arranque con explosivos es el método que se utiliza más frecuentemente cuando el terreno es roca, ya que se adapta a cualquier tipo de dureza (roca blanda, media o dura).

La excavación utilizando la perforación y los explosivos produce inevitablemente una operación cíclica y no continua que consta de los siguientes pasos:

- Perforación del frente, siguiendo un patrón y con la profundidad adecuada para el avance previsto en la voladura (plan de voladura o tiro).
- Retirada del equipo perforador.
- Carga del explosivo y retirada del personal.
- Detonación de las cargas.
- Ventilación para eliminar humo, polvo y vapores.
- Desprender la roca suelta.
- Realización de la entibación provisional si es necesario.

En secciones grandes, como ya se ha comentado, el avance del túnel se establece al menos en dos fases: en primer lugar la semisección superior, también llamada avance en bóveda, y en segundo la semisección inferior o destroza.

Si las dos fases se excavan con explosivos el ciclo se complica aún más, pero normalmente esta segunda fase se excava con maquinaria convencional, si la dureza de la roca lo permite. Este tipo de maquinaria se describirá más adelante en los métodos de excavación mecánica.

Para la perforación del frente se utilizan perforadoras neumáticas que operan con aire a presión y que pueden ser de percusión, de rotación o combinación de ambas; las hay manuales y otras que son máquinas pesadas montadas sobre jumbos (grúas móviles de caballete).



Imagen IV.2.1. PERFORADORA INGERSOLL-RAND

En el método con explosivos es importante el llamado plan de voladura. En la figura el punto negro representa el taladro cargado de explosivo y la numeración indica el orden en el que se hace explotar a cada uno de ellos, lo que se consigue con detonadores retardados que se activan eléctricamente (micro retardos).

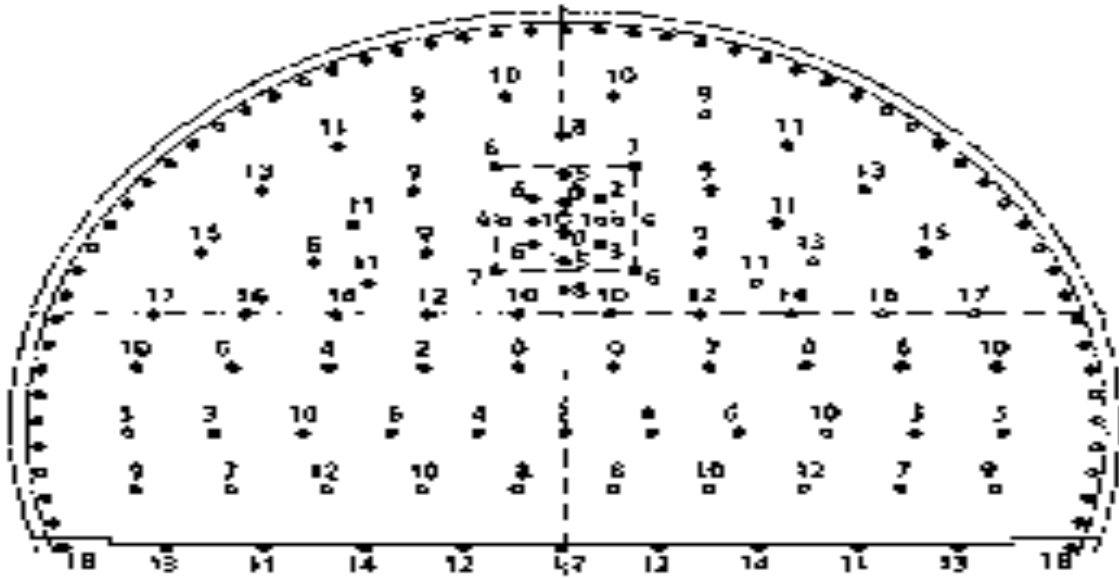


Figura IV.3.1. Detalle del plan de voladura

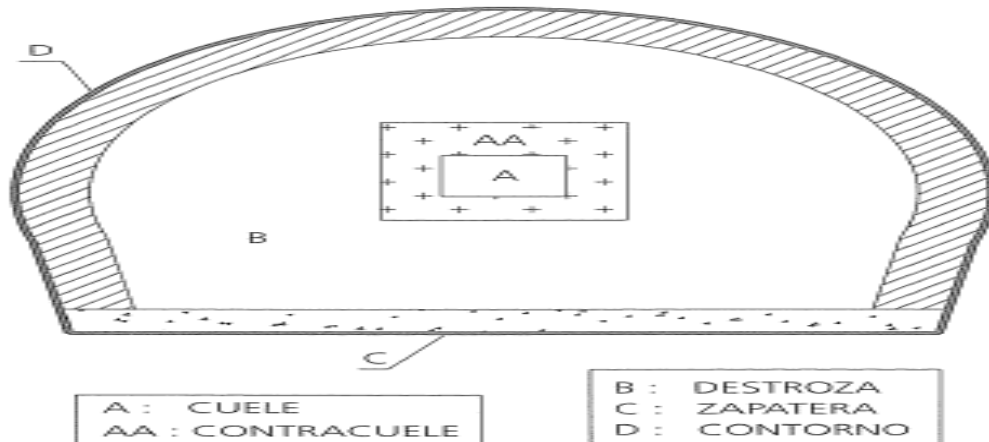


Figura IV.3.2. Detalle del plan de voladura (FRANQUEO)

Detalle del plan de voladura según el esquema, en el plan de voladura se distinguen las siguientes partes esenciales:

- El cuele que está situado en la parte central del esquema de tiro y es la parte que primero sale en la voladura, con objeto de facilitar la salida al resto (volumen total que se pretende derribar con una voladura). En el cuele cabe destacar el taladro central, de mayor diámetro, que no se carga con explosivo y cuyo objeto es dar escape al cuele.

- El franqueo sale inmediatamente después del cuele y es el que rompe el mayor volumen de roca.

-Las zapateras son los barrenos situados en la parte central y en los extremos de la línea más baja de la sección (puntos 12 y 18).

- El recorte, es la última fase de la voladura y tiene por objeto, como la propia palabra indica, recortar el terreno circundante. Esta última fase adquiere hoy en día una mayor importancia debido a la utilización del Nuevo Método Austriaco (NMA), por lo que hay que cuidar mucho el no dañar la roca durante la voladura, pues dicho método se basa en la propia auto resistencia del terreno.

La situación y profundidad de los taladros que se quieran efectuar está claramente acotada en el plan de tiro, de manera que, una vez marcado en el frente al menos un punto de referencia tanto altimétrica como planimétrica por el técnico topógrafo, el encargado del tajo marque mediante una plantilla dichos puntos para que sean taladrados y posteriormente cargados. Una vez efectuada la voladura, el técnico responsable de la topografía deberá comprobar la situación real del nuevo frente de excavación resultante de la voladura.

IV.4. MÉTODOS MECANIZADOS

Distinguiremos los métodos en los que se utiliza la maquinaria convencional, las tuneladoras y las rozadoras.

IV.4.1. Maquinas convencionales



Imagen IV.4.1.1 Maquinas convencionales (Excavadora)

En terrenos de roca media o blanda, y en secciones medias y grandes, un método mecanizado es el convencional con tractores (bulldozer) dotados de ripper, y para terrenos de mayor dureza, palas cargadoras. Existen también versiones de estas máquinas, de gálibo mínimo o brazos cortos, que solucionan los problemas de espacio.



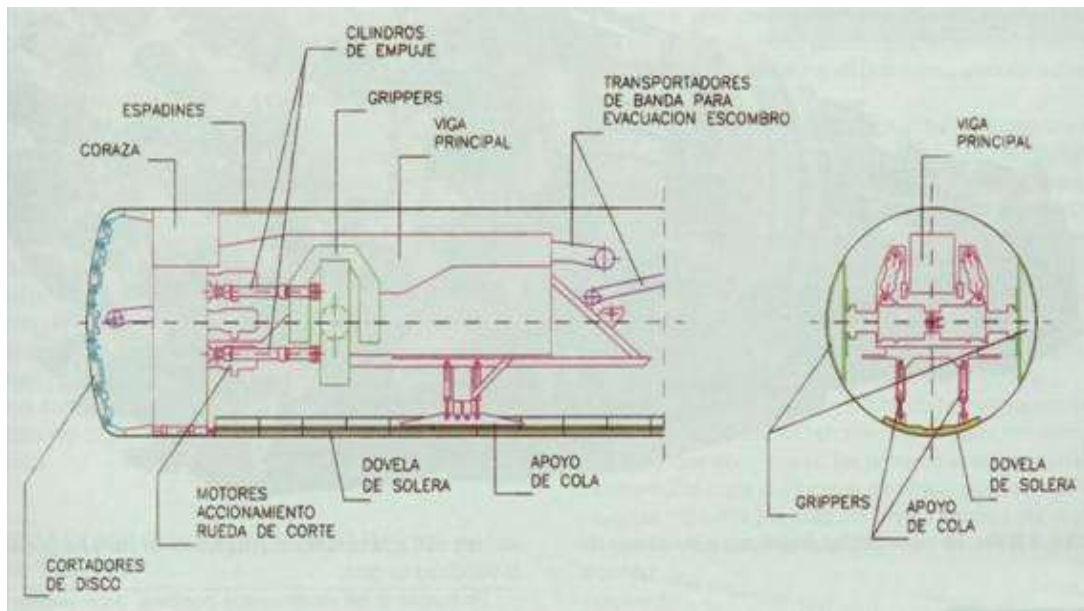
Imagen IV.4.1.2. Maquinas convencionales (Bulldozer)

IV.4.2. Con tuneladoras

Podemos definir la tuneladoras como máquinas que realizan la excavación a plena sección mediante la acción directa y continuada de útiles o herramientas de corte. Este tipo de máquinas llevan integrado desde el primer momento el revestimiento al proceso constructivo, mediante la colocación sistemática del mismo detrás de la máquina. Se dividen en dos tipos:

IV.4.2.1. Máquinas topo (TBM, Tunnel Boring Machine)

Se utilizan para excavaciones en roca de dureza baja, media o alta. Podemos decir que excavan el frente de roca a plena sección mediante la acción combinada de la rotación y el empuje continuados de una cabeza provista de herramientas de corte convenientemente distribuidas en su superficie frontal. El dispositivo de empuje acciona contra el frente y reacciona contra unos codales extensibles o grippers.



Esquema IV.4.2.2. Partes de un topo

Los útiles de corte van montados en la cabeza que gira y empuja contra la roca y que desmenuza el material en fragmentos. Estos son cargados en el frente mediante unos cangilones y depositados en la parte trasera de la cabeza sobre una cinta transportadora que lo transfiere a otro sistema de transporte que lo extrae al exterior.



Imagen IV.4.2.3. Cortador de disco

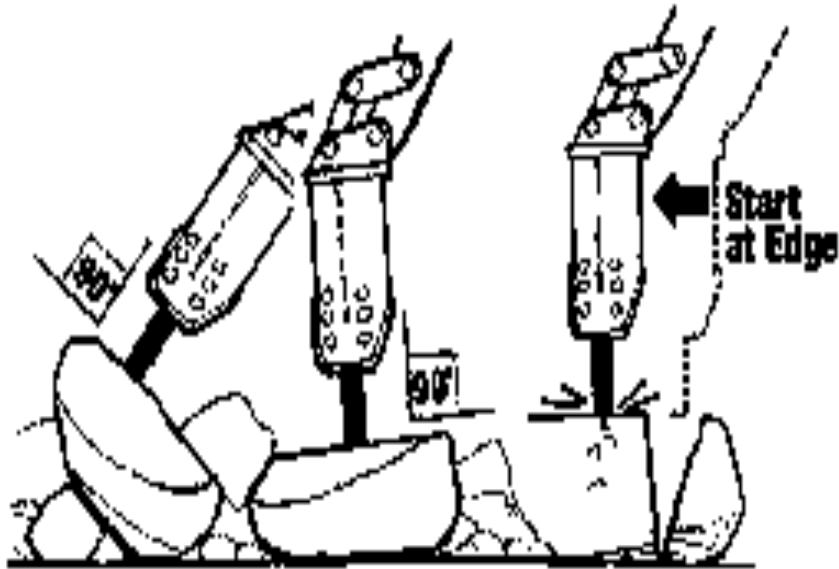


Imagen IV.4.2.4. Pica de desgaste



Imagen IV.4.2.5. Rueda dentada

La tecnología actual permite fabricar topos desde 2.50 metros de diámetro hasta 12 metros, también se fabrican topos dúplex formados por un piloto de 3 a 4 metros de diámetro combinado con una cabeza ensanchadora de hasta 12 m. Son muy útiles en galerías de pendiente muy inclinada en las que la excavación se realiza de abajo hacia arriba con el topo piloto, para posteriormente ser ensanchada en la dirección contraria.

Un topo puede llevar bulonadoras o empernadoras que trabajan según se avanza, o mecanismos para colocar cerchas metálicas. También se puede preparar para el revestimiento con dovelas prefabricadas de concreto en el caso de que se esperen grandes deformaciones de la roca.



Imagen IV.4.2.6. Máquina TOPO

El rendimiento del avance con topo suele estar entre 1,5 y 2,5 m/h. Sin embargo una de las desventajas mayores que presenta respecto a otros métodos es la falta de flexibilidad cuando se producen incidencias por accidentes geológicos o por fuertes aportaciones de agua, debido a la longitud importante de toda la estructura que le acompaña (hasta 300 m). Esta longitud es la que limita el radio de las curvas, que no conviene que sean menores de 100 metros.

En cuanto a pendientes, un topo puede trabajar en condiciones óptimas no sólo con las pendientes usuales para el transporte sobre vía (el más usual, con pendiente media del 3% y hasta del 7% en rampas cortas) sino bastantes superiores, llegando hasta el 15 y el 20%.



Imagen IV.4.2.7. TBM usada en el canal de la mancha

IV.4.3. Los escudos

Se utilizan para la excavación de roca con dureza muy blanda y suelos. Como su propio nombre sugiere, un escudo es una estructura rígida y resistente que, introducida dentro del túnel, proporciona, un área estable y segura en la zona del frente de trabajo, protegiendo a éste contra el colapso en la bóveda y los hastiales e incluso contra el colapso del propio frente de excavación.



Imagen IV.4.3.1. Escudo con rozadora



Imagen IV.4.3.2. Escudo con excavadora

Este concepto se ha ido transformando a lo largo de los años en un nuevo concepto y diseño de escudo-máquina que realiza también la excavación mecánica del terreno.

Al ser el terreno en el que se mueven inestable, el sostenimiento se va colocando en el propio frente y son, sin excepción, prefabricados y formados generalmente por dovelas de concreto.

Los escudos consiguen el empuje longitudinal mediante reacciones contra el último anillo del revestimiento, por medio de gatos hidráulicos situados alrededor de la periferia de la parte trasera.

Cada gato hidráulico puede funcionar independientemente o en grupo, lo que permite hacer correcciones a la alineación de avance si es necesario. Están contruidos de modo que sean capaces de hacer avanzar el escudo una distancia igual al ancho de los anillos del revestimiento.

Una vez completada esta parte del ciclo se coloca el revestimiento en la zona que ha quedado libre detrás de la cola del escudo.

A los escudos se les puede acoplar distintos sistemas o útiles de excavación según el tipo de terreno (brazo excavador con cuchara, con martillo, cabeza giratoria circular, rozadoras, cuchillas), e incluso permiten la excavación manual en secciones de pequeño diámetro.



Imagen IV.4.3.3. Escudo para revestimiento

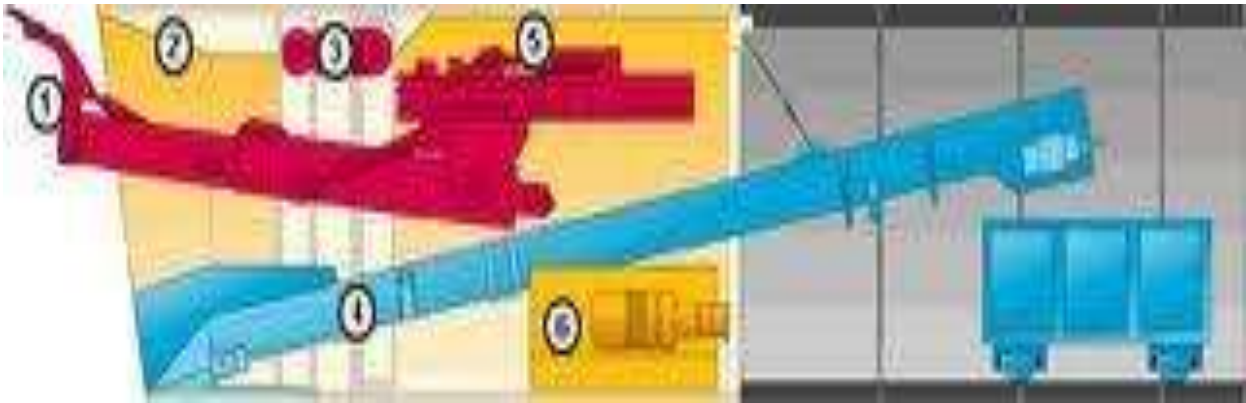


Imagen IV.4.3.4. Escudo con las piezas de un anillo de revestimiento

Las limitaciones de pendiente vienen impuestas por el sistema de transporte del escombro elegido, siendo válido lo dicho anteriormente para los topes.

En cuanto a las curvas, los escudos con longitudes similares a las de la estructura que les acompaña, son más problemáticos que los topes, pues los radios muy cortos obligan a un diseño sofisticado de dovelas. Como criterio general puede decirse que un escudo de determinado radio puede admitir radios del trazado iguales o menores a 80 veces el suyo propio.

Y por último cabe señalar el equipo de desescombrado. Los escombros son arrastrados por una cinta transportadora a la parte trasera del escudo, donde son cargados en el sistema de evacuación que los extrae al exterior y que suele ser un tren de vagones sobre carriles, ya que al ser el revestimiento de dovelas es fácil fijar a ellas una vía pesada para el uso de vagones de gran capacidad.



- | | | | |
|---|--------------------|---|----------------------|
| 1 | Rozadora | 4 | Cinta transportadora |
| 2 | Escudo | 5 | Tubo de la máquina |
| 3 | Cilindros de mando | 6 | Grupo hidráulico |

Esquema IV.4.3.5. Cinta transportadora de escombros

IV.4.4. Con rozadoras

Una rozadora es una máquina excavadora provista de un brazo articulado en cuyo extremo va montado un cabezal rotatorio que dispone de herramientas de corte de metal duro llamadas picas.

Estas máquinas, denominadas de ataque puntual, producen la desagregación de la roca con las picas que van situadas en la cabeza rotativa, que se mantiene presionada contra el frente con toda la potencia del motor de corte, actuando como fuerza de reacción el propio peso de la máquina.

Existen dos sistemas distintos de corte, el llamado de ataque frontal (Ripping) y el de ataque lateral (Milling). En el primero el cabezal de corte gira perpendicularmente al brazo soporte, por lo que la fuerza del corte se aplica principalmente de un modo frontal permitiendo atacar rocas de dureza alta.

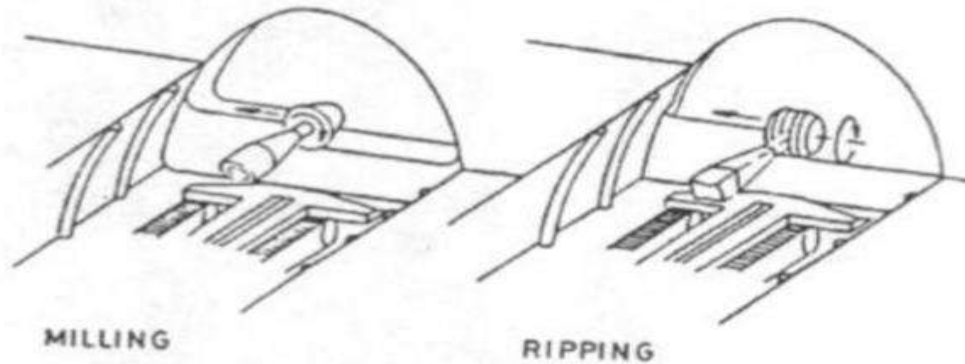


Imagen IV.4.4.1. Sistemas de corte de rozadoras

En el ataque lateral el cabezal es cilíndrico o tronco-cónico y gira en línea con el eje del brazo soporte, por lo que la fuerza de corte se aplica lateralmente, no aprovechándose todo el peso de la máquina como fuerza de reacción; sin embargo, para la minería tiene la ventaja de poder extraer el mineral en vetas estrechas sin afectar a la roca encajante, ya que el cabezal de corte tiene dimensiones más reducidas. No hay que olvidar que el desarrollo de estas máquinas proviene de la minería.

Las rozadoras disponen de distintos sistemas de recogida de escombros que, complementados con la utilización de pequeñas cargadoras, los traslada a la parte trasera de la máquina para ser cargados y extraídos al exterior, normalmente por maquinaria sobre neumáticos (palas cargadoras y camiones).



Imagen IV.4.4.2. Rozadora (Milling), carga de escombros de carrusel con paleta



Imagen IV.4.4.3. Rozadora (Milling), vista lateral



Imagen IV.4.4.4. Rozadora (Ripping) con brazo rozador y recolector

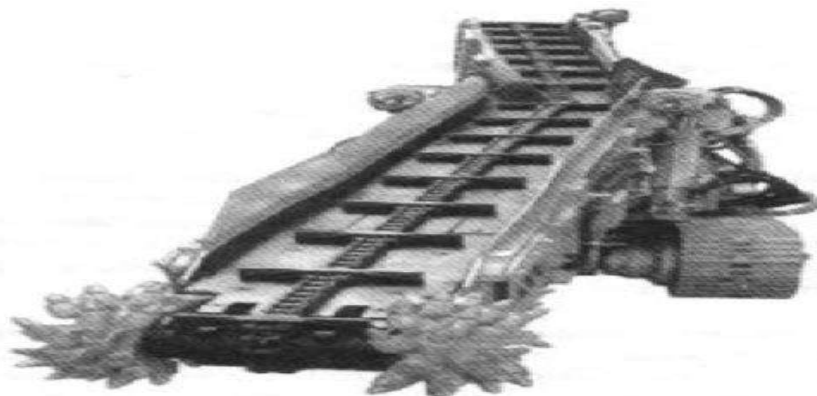


Imagen IV.4.4.5. Rozadora (Ripping) vista de recolector

En relación con las condiciones anormales del terreno, las rozadoras presentan indudables ventajas frente a otros sistemas mecanizados, por su gran movilidad. Tanto si la máquina se ve rebasada por una excesiva dureza de la roca, que obliga al empleo de explosivos, como si aparecen rocas muy blandas, que recomiendan el empleo transitorio de excavadoras o métodos manuales, las rozadoras permiten dar paso inmediato a estos sistemas. También se adaptan fácilmente a cualquier tipo de sostenimiento.

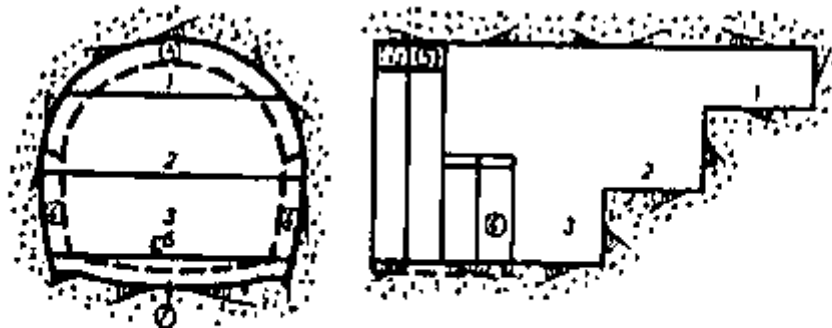
CAPÍTULO V. MÉTODOS DE TUNELEO

Según la naturaleza del terreno se puede atacar la excavación del túnel con una sección más o menos grande. La roca dura permitirá el ataque a sección completa; sin embargo, los terrenos sueltos (arenas, gravas) sólo permitirán avanzar mediante pequeñas secciones y provistos de blindaje. Entre estos extremos existen otros tipos de terrenos en los cuales la perforación se puede realizar por varios métodos que a continuación describimos.

V.1. MÉTODO DE ATAQUE A PLENA SECCIÓN O MÉTODO INGLÉS

Suele utilizarse para túneles de pequeña sección (menos de 15 m²), o en muy buen terreno en secciones mayores, y por supuesto en roca.

Una solución para terrenos de inferior calidad es utilizar el ataque a plena sección pero con varios escalones de ataque. La excavación se realiza por franjas horizontales comenzando por la de la bóveda, con el inconveniente de que la evacuación del material requiere varias actuaciones hasta llegar al nivel donde se instala el sistema de transporte al exterior.



Ataque a plena sección con varios pisos.

1, escalón superior; 2, escalón intermedio; 3, escalón inferior; 4, pilares; 5, bóveda; 7, soleta (eventualmente).

Esquema V.1.2. Método Inglés

En el esquema que indica el proceso de actuación, se numeran las etapas por orden de ejecución y se redondea con un círculo la fase de sostenimiento.

Recibe su nombre por haber sido aplicado en túneles a través del tipo de terreno que usualmente se localiza en Inglaterra, como son las arenas y areniscas. Su principal característica es proceder el avance de la perforación a sección completa del túnel, en una sola operación.

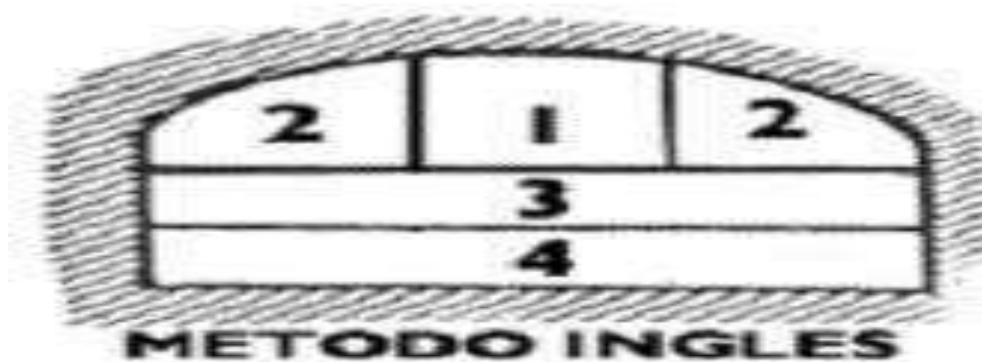


Figura V.1.3. Método inglés

V.2. MÉTODO DE LA GALERÍA EN CLAVE O MÉTODO BELGA

Es uno de los métodos más utilizados. Tiene la característica de ejecutar primeramente la excavación de la bóveda (es lo que se llama avance en bóveda o calota), incluido el sostenimiento que descansa directamente sobre el terreno, pues de esta manera se protege la obra por encima. Después se realiza la excavación de la parte inferior llamada destroza, comenzando por la zona central y siguiendo, en cortos tramos alternativos, por los hastiales, que una vez excavados se revisten; de esta manera no se compromete la seguridad de la bóveda que descansa siempre sobre la destroza no excavada o sobre los pilares ya construidos. Se termina por la construcción de la solera cuando es necesaria.

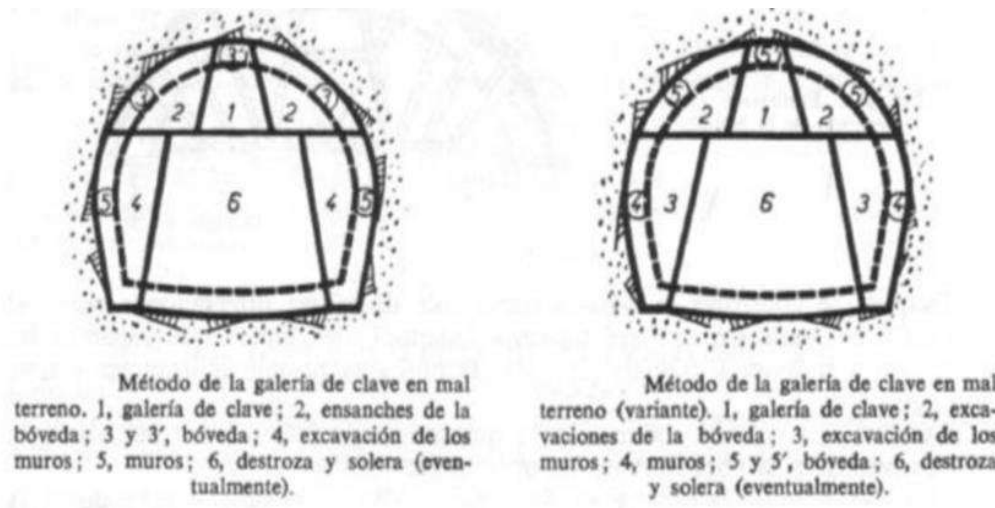
En terreno firme se excava a la mitad superior del túnel, comenzando con una galería central desde el coronamiento hasta el arranque del arco. Esto se amplía en ambos lados, y el terreno se mantiene en su lugar con estacas transversales. Es posible avanzar con la excavación a una distancia considerable antes de continuar con el revestimiento del túnel.



Esquema V.2.1. Método de la galería de coronación en buen terreno

- 1.- Galería de coronación, 2.- Excavación de la bóveda, 3.- Excavación de los muros,
- 4.- Zona de los muros, 5.- Destroza.

Tiene el inconveniente de que necesita vías de evacuación de escombros a diferentes niveles, con el consiguiente transvase de un nivel al inferior.



Esquema V.2.2. Variantes para el método belga.

V.3. MÉTODO DE LAS DOS GALERÍAS O MÉTODO AUSTRIACO

Este método se caracteriza por el empleo de una galería de avance en el eje y base del túnel, donde se instala una vía de evacuación que se utiliza durante toda la obra.



Esquema V.3.1. Método austriaco

1. Galería de base, 2. Galería de coronación, 3. Destroza, 4. Excavación de la bóveda, 5 y 6. Excavación de los muros.

Cuando la galería ha avanzado cierta longitud se perfora un pozo hacia arriba y se excava en los dos sentidos una segunda galería. Una vez perforada la galería superior se sigue como en el método belga. Tiene la ventaja de que el transvase de los escombros a la galería inferior se hace por los pozos y sin modificaciones desde su situación original. También, que los múltiples frentes de ataque aceleran la construcción del túnel.

V.4. MÉTODO DE LAS TRES GALERÍAS O MÉTODO ALEMÁN

Se caracteriza por la conservación de la destroza hasta la finalización del sostenimiento de la bóveda y los hastiales. Se utiliza en secciones superiores a los 50 m². Se excavan dos galerías en la base y a derecha e izquierda del eje; se ensanchan y se construyen los hastiales. Más atrás se ataca una galería de coronación que a continuación se ensancha hasta construir la bóveda que descansará sobre los hastiales. Por último se excava la destroza, y si es necesario se excava y se reviste la solera.



Esquema V.4.1. Método alemán

1.- Galerías de base. 2. Excavación de la bóveda. 3. Galería de clave. 4. Excavación de la bóveda. 5. Destroza.

El método alemán es costoso por sus tres galerías, pero seguro en mal terreno.

V.5. 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.

V.6. EL NUEVO MÉTODO AUSTRIACO (NMA)

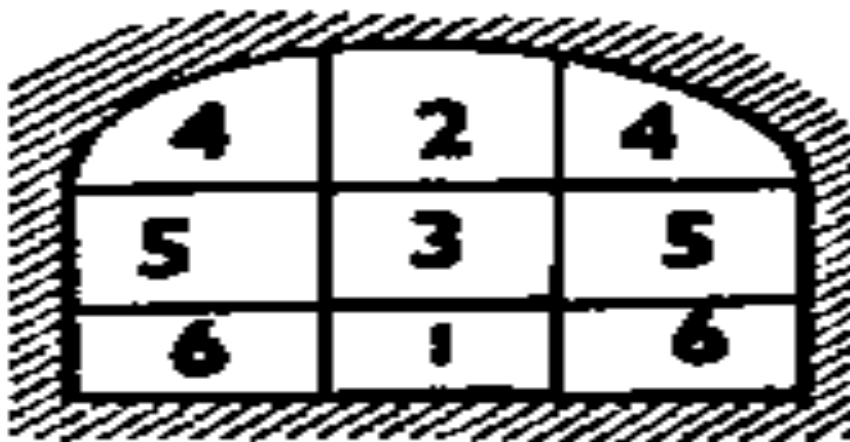
Cuando se empezó a aplicar el método austriaco, se vio pronto que no sólo es un sistema sino una metodología de construcción que persigue un objetivo básico: la roca debe ser el propio elemento resistente, para lo cual hay que alterarla lo menos posible, y su capacidad debe ser mejorada mediante la utilización de elementos de sostenimiento con aplicaciones sucesivas en función de las deformaciones que se vayan observando durante la construcción.

El bulón trabaja unido al mortero, a la cercha o a ambos, como elementos de una estructura resistente añadida al anillo rocoso, para crearle o aumentarle una capacidad de auto sostenimiento en función de una deformabilidad controlada.

Ideas fundamentales del NMA:

- Obligar al terreno a colaborar en su propia estabilidad, reduciendo al máximo la pérdida de sus características iniciales.
- Permitir una cierta deformación (convergencia) controlada, con objeto de disminuir las necesidades de sostenimiento.
- En terrenos con fuertes convergencias, la puesta en obra del sostenimiento debe ir orientada hacia la consecución de una rigidez progresiva.
- En túneles urbanos con poca cobertura en los que no se pueden tolerar convergencias que ocasionarían asentamientos en la superficie, la tecnología del NMA sigue siendo aplicable, pero buscando la máxima rigidez en el menor plazo posible.
- El NMA tiene la ventaja de su fácil adaptación a condiciones de terreno cambiantes o inciertas pues permite, si el terreno así lo aconseja, variar el sostenimiento sin mayores dificultades.
- Por lo que respecta a las fases de excavación suele atacarse en sección dividida (media sección superior y destroza), aunque en terrenos de baja calidad, con convergencias importantes, la distancia entre ambos frentes debe reducirse al máximo, buscando en el menor plazo posible una sección lo más cercana a la circular.

Los austríacos desarrollaron un plan de trabajo basado en la utilización de puntales de madera formando un sistema de entibación.



Esquema V.6.1. Método austriaco

Ya, a modo de conclusión, cabría comentar que el método belga es muy utilizado en túneles cortos en los que la evacuación de los escombros no es un problema importante; donde sí constituye un problema importante es en los largos túneles de montaña, por lo que se prefiere utilizar el método austriaco. En túneles con menores secciones el más utilizado es el inglés y en terrenos de baja calidad el austriaco.

V.7. MÉTODO NORTEAMERICANO

La excavación se inicia con una galería superior en el coronamiento del túnel, que se apoya en listones de avance, postes y cabezales. A continuación se amplía la excavación entre dos pórticos y se colocan los segmentos del arco superior adyacentes al coronamiento y apoyado por postes y puntales extra. Se forman bancos de excavación a lo largo de los lados y se coloca otro segmento de las costillas a cada lado. Se unen con pernos las costillas a la parte superior y se soportan con una solera temporalmente. El terreno entre costillas se mantiene en su lugar por medio de planchas de revestimiento y se rellenan las oquedades. Se usa en terrenos razonablemente firmes.

V.8. MÉTODO ITALIANO

Consiste en extraer solo el medio arco más la galería central por la cual se retira la marina, luego se concreta el medio arco, luego se extrae el resto del material por zonas y se van concretando los muros (método similar al método belga). Se desarrolló para terrenos muy blandos en los que se excava solo pequeñas áreas. Es muy costoso y ha sido suplantado por el método de escudo, exclusivo para terrenos muy blandos.

V.9. MÉTODO TBM (TIPO ESCUDO O TOPO)

La excavación de túneles por el método de escudo se usa generalmente, en la actualidad, en terrenos blandos, no cohesivos, compuestos de arena suelta, grava o limo y todo tipo de arcilla, o en mezcla de cualesquiera de ellos. Es indispensable estar debajo del nivel freático.

La TBM (Tunnel Boring Machine), es un cilindro formado por planchas de acero soldadas entre sí. Tiene un diámetro ligeramente mayor que el exterior del revestimiento del túnel. Además existen varios métodos para atacar las caras de túneles perforados a través de la roca. Otros métodos distintos dependerán de la medida del túnel, del equipo disponible, de la formación y de la cantidad de ademes que se necesiten.



Imagen V.9.1. Escudo trabajando

V.10. ATAQUE DE TODA LA CARA

Cuando se perfora el túnel con el método de ataque en toda la cara, se perfora todo el frente o cara, se cargan los agujeros, y se hacen detonar los explosivos. Los túneles pequeños cuyas dimensiones no exceden de 3 metros, se perforan siempre con este método.

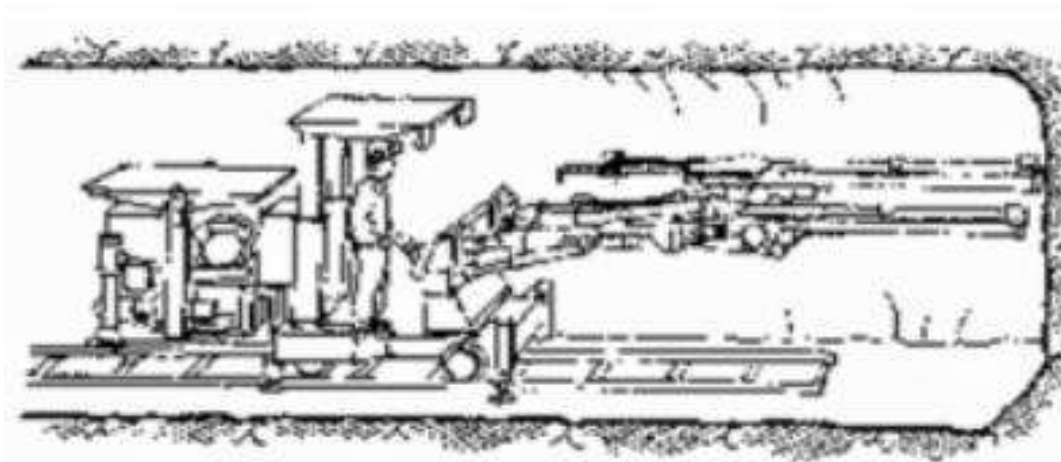


Imagen V.10.1. Carga de agujeros con explosivo

Los grandes túneles en roca frecuencia se perforan con este método. Debido al desarrollo de los taladros de carretilla y de plataforma, la popularidad de este método ha ido cada vez en aumento en la perforación de grandes túneles. Puede montarse varios taladros en la parte anterior de una plataforma para hacerlos operar simultáneamente con alta eficiencia.

V.11. MÉTODO DE TERRAZAS

El método de terrazas para la perforación de un túnel, implica la perforación de la porción superior del túnel antes de perforar la parte inferior, como se ilustra en la figura.

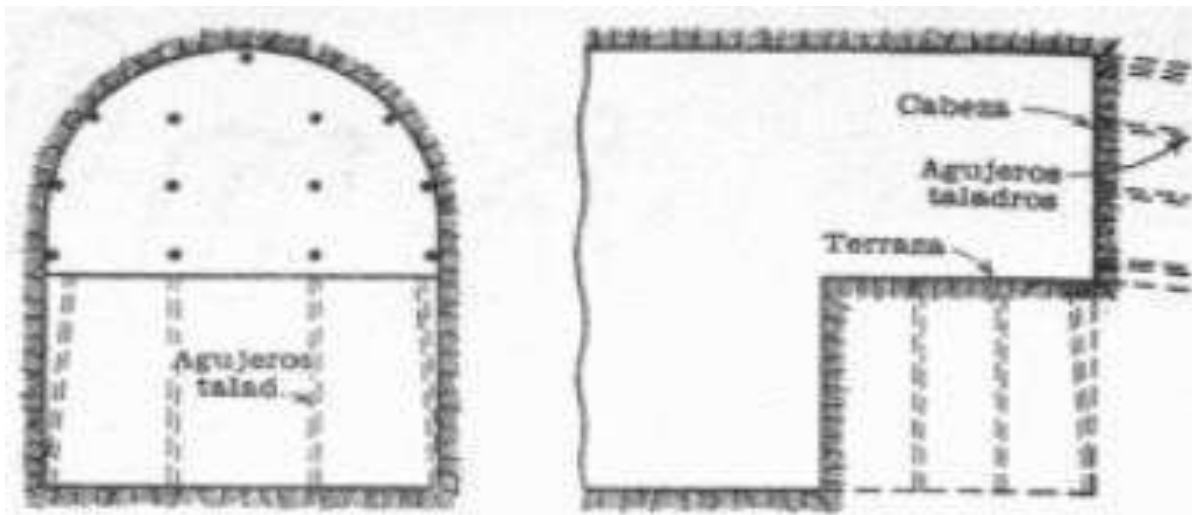


Figura V.11.1. Método de terrazas

Si la roca es lo suficientemente firme para que el domo se sostenga sin necesidad de ademes, la cabeza superior se aventaja en un barreno con respecto a la cabeza inferior. Si la roca está muy quebrada, la cabeza superior puede aventajarse mucho con respecto a la terraza y puede utilizarse ésta para apoyar los ademes del domo. El desarrollo de la plataforma de taladros ha reducido el empleo del método de terrazas para la perforación de túneles.

V.12. MÉTODO DE DERIVADORES

Al perforar un túnel grande, puede ser ventajoso perforar un túnel pequeño, llamado derivador, a través de toda o una porción de la longitud del túnel, antes de excavar todo con el taladro. Los derivadores, pueden clasificarse como centrales, laterales, inferiores o superiores, dependiendo de su posición con respecto al taladro principal. La figura muestra la posición de cada uno de los tipos de derivadores:

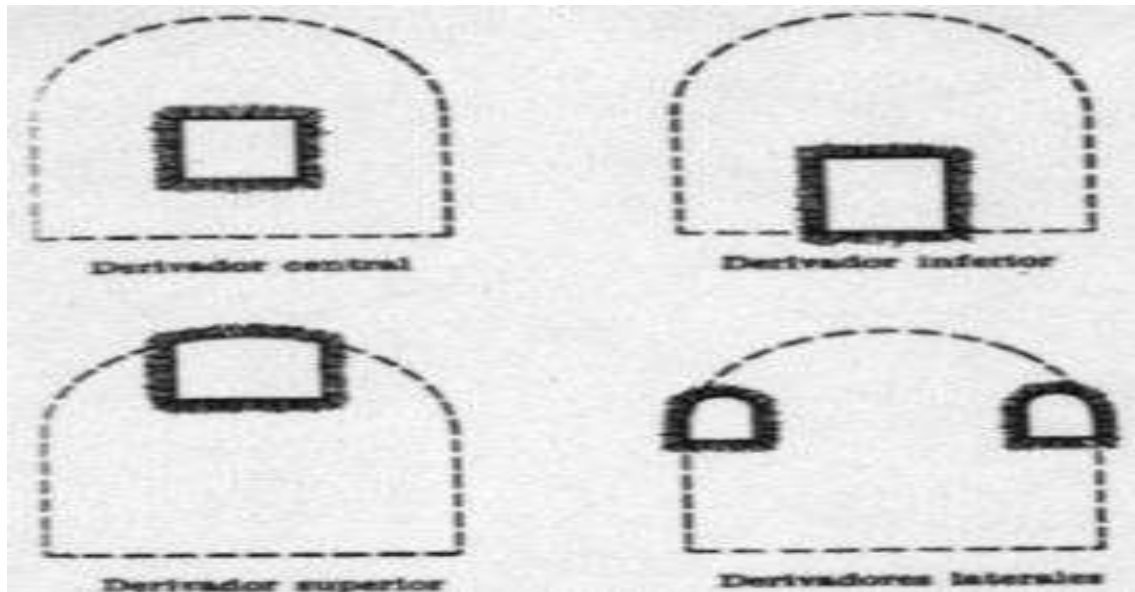


Figura V.12.1. Método de derivadores

El empleo del método de los derivadores para la perforación de un túnel tiene ciertas ventajas y desventajas.

Ventajas:

Cualquier zona de roca mala o excesiva cantidad de agua se descubrirá antes de la perforación de todo el túnel, permitiendo así que se tomen pasos correctivos con anticipación.

El derivador ayudará a la ventilación del túnel durante las operaciones subsecuentes.

Puede reducirse la cantidad de explosivos necesarios

Derivadores laterales pueden facilitar la instalación de los ademes para sostener el domo, especialmente para un túnel perforado a través de roca quebrada.

Desventajas:

La perforación del taladro principal tiene que demorarse hasta que haya terminado el derivador.

El costo del taladro y manejo de los escombros en un derivador pequeño será elevado debido a que la mayor parte del trabajo tiene que hacerse a mano en vez de con equipos mecánicos.

V.13. MÉTODO DEL MICRO TÚNEL (CUT AND COVER)

Las técnicas del micro túnel están encaminadas a la perforación de túneles de diámetro pequeño (menor de 3 metros) y de corta longitud (menor de 200 metros), con el objeto de proporcionar un método no destructivo para la instalación de tuberías y conductos subterráneos en comparación con la apertura de zanjas (método Cut and Cover).



Imagen V.13.1. Diferentes técnicas del micro túnel

El campo de utilización de esta técnica se extiende a la renovación y a la implantación de conducciones de todo tipo (agua, gas, electricidad, colectores, etc.). El método Cut and Cover, en ciudades de gran densidad demográfica, plantea problemas como consecuencia de asientos en superficie, vibraciones, ruidos, obstáculos al tráfico; las técnicas del micro-túnel afectan mínimamente la superficie urbana, ya que sólo necesitan pozos de acceso de pequeñas dimensiones.

V.14. EMPUJE (PIPE JACKING).

El empuje de tuberías, procedimiento en el cual se desplaza el terreno y no se excava, se utiliza generalmente en terrenos blandos, como suelos y bancos arenosos. Se pueden construir de esta manera alcantarillas u otros cruces bajo un ferrocarril o un terraplén de carretera o debajo de un canal u otro obstáculo.

El pozo de empuje se sitúa a la profundidad del túnel y en él deben poder situarse los gatos con los que se efectúa el empuje, el anillo inicial de empuje y el primer tramo de tubería. El muro posterior del pozo debe tener la suficiente resistencia para soportar el máximo empuje producido por los gatos.

Los gatos hidráulicos se instalan en el fondo del pozo y actúan sobre la parte posterior de la tubería por medio de un anillo de empuje. Los tubos suelen ser de concreto reforzado (en ocasiones de acero) y se suelen lubricar para disminuir la fricción con el terreno. El cilindro cortador es el que inicia la perforación, va provisto de una cuchilla de corte de forma circular y suele disponer de gatos de empuje que reaccionan contra un anillo de acero al que le sigue la tubería definitiva.

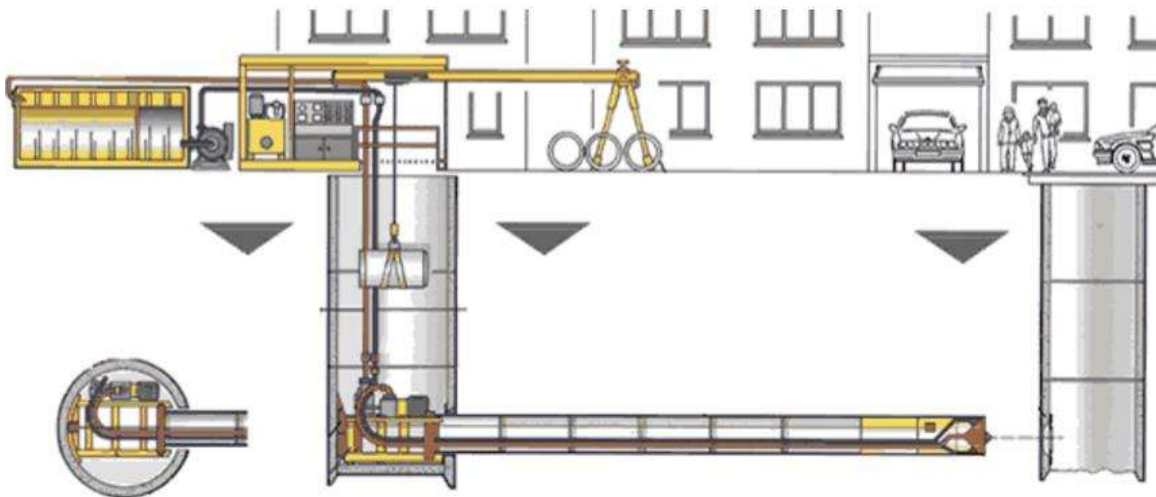


Figura V.14.1. Hincado del tubo (Pipe jacking)

La extracción del escombros se suele realizar con un tornillo sinfín o lodo presurizado con agua a presión.

Existen variantes de éste método, como el de la tubería piloto, de menor diámetro, que se empuja hasta el pozo de llegada para a continuación acoplar una cabeza ensanchadora e introducir la definitiva.

V.15. MÉTODO AUGER

En este método, el interior de la tubería va equipada con una cabeza de tornillo excavadora y un tornillo sinfín Auger, que al girar excavan y transportan los materiales excavados. El tubo de avance es empujado hacia adelante e inmediatamente detrás va conectada la tubería principal.

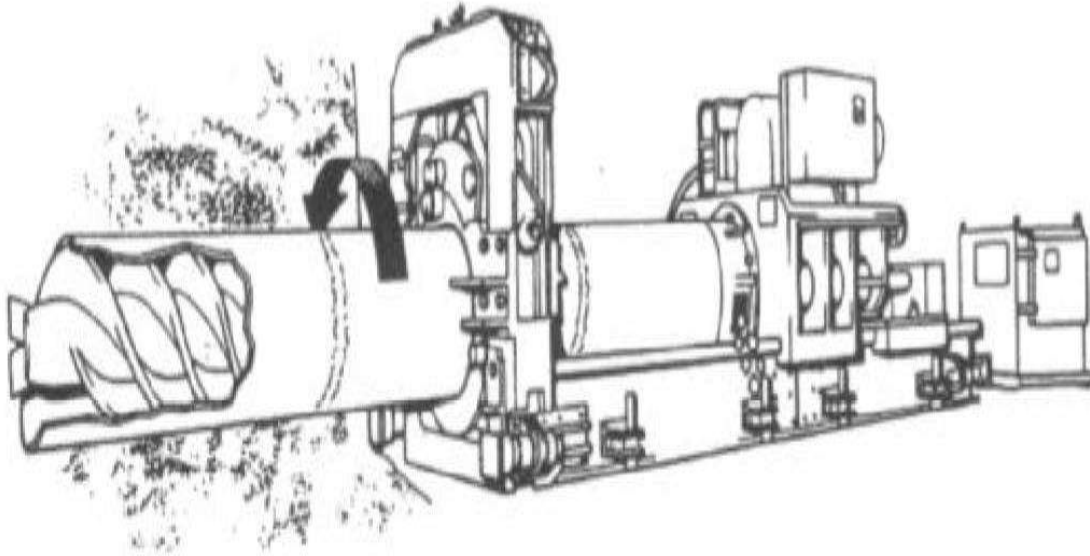


Figura V.15.1. Método Auger (Maquinaria)

V.16. CON ESCUDO DE LODOS (EPB, EARTH PREASURE BALANCE).

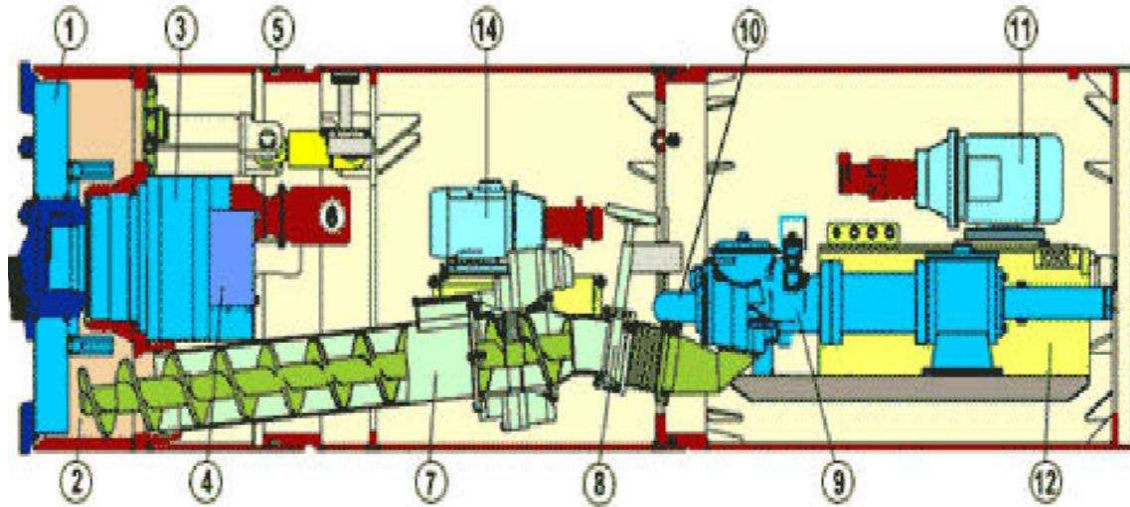
En aquellos estudios geotécnicos donde se detecten terrenos cohesivos, es recomendable el empleo de un escudo EPB (Earth Preasure Balance).

Sus ventajas: un elevado rendimiento de extracción, la rentabilidad de su funcionamiento y su respeto al medio ambiente.

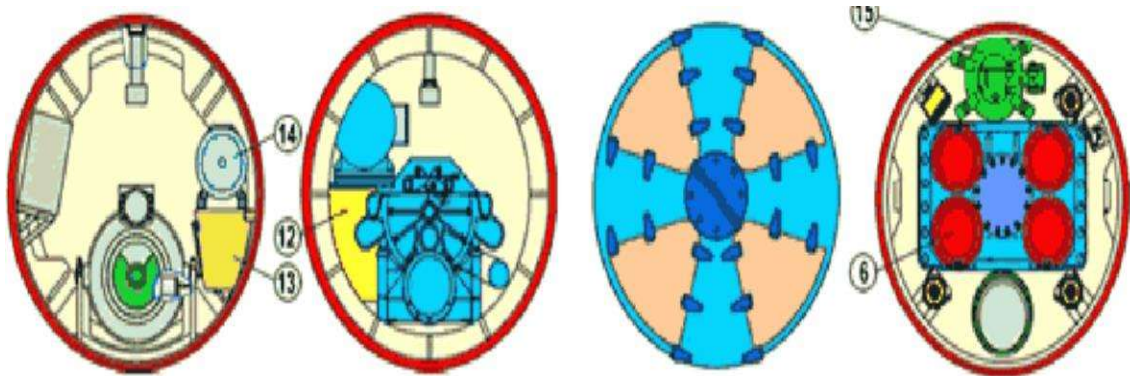
Mediante este método se realiza la perforación del túnel con el control remoto de un escudo de lodos. Emplea una cabeza rotativa para la excavación y el escombros es convertido en lodo y conducido a la superficie por tuberías.

Dicho escombros es después separado mediante un tratamiento específico y el lodo recuperado y reciclado. El lodo, además, actúa como elemento estabilizador del frente. El control de la dirección es constante, mediante una cámara de televisión.

Estas microtuneladoras se fabrican para diámetros superiores a 1400 mm. Si fuera necesario, estas máquinas están equipadas para inyectar agua o espuma al frente para tratar así el terreno para su excavación.



Esquema V.16.1. Maquina EPB



Esquema V.16.2. Detalles maquina EPB

1. Rueda de Corte. 2. Cámara de excavación. 3. Accionamiento principal. 4. Accionamiento. 5. Junta articulada. 6. Motor principal. 7. Tornillo sinfín. 8. Desagüe del tornillo sinfín.

9. Bomba de extracción del material. 10. Circuito de extracción. 11. Motor de la bomba de extracción del material. 12. Depósito hidráulico de bomba de extracción. 13. Depósito hidráulico de bomba de máquina. 14. Bomba hidráulica para máquina. 15. Pared de presión.

V.17. LA HINCA DE TUBO

La técnica de hinca de tubos pertenece al conjunto de sistemas de construcción de túneles sin zanja con diámetros normalmente inferiores a 4 metros de diámetro exterior, ya que diámetros mayores dificultan la manipulación de tubos. Se utiliza en el montaje de acometidas, colectores, oleoductos, gasoductos, etc.

Se pueden hincar tubos de diferentes diámetros y de los más diversos materiales: concreto, acero, fundición, fibrocemento, de polímeros, etc. La maquinaria para la hincas de tubos es: Hincas mediante Escudos Abiertos e Hincas mediante Microtuneladoras (Escudos Cerrados)

Las razones fundamentales que han llevado al desarrollo de esta técnica de construcción han sido la menor incidencia en el medio ambiente y las ventajas técnicas constructivas.

Las ventajas de la hincas mediante microtuneladora son:

- Reduce el movimiento de tierras.
- Respeta al máximo el medio ambiente y a los ciudadanos.
- No es preciso bajar los niveles freáticos.
- Prácticamente no causa alteraciones en el tráfico rodado.
- Los trabajos no se ven afectados por razones climatológicas.
- Realización rápida de los trabajos y cumplimiento de los plazos.

V.18. MÁQUINAS TOPO (TUNELADORAS)

Si se elige la tuneladora apropiada, la geología no es un problema, por eso es primordial realizar un buen y detallado estudio geológico de la zona a perforar. Para cada tipo de terreno hay un tipo de tuneladora ideal, aunque en los últimos años se están diseñando tuneladoras como los dobles escudos que permiten trabajar satisfactoriamente en casi todo tipo de terrenos.

Existen hoy en día diferentes tipos de tuneladoras como por ejemplo: Escudos EPB, Escudos Mixshield, Escudos para Roca Dura, Doble Escudos, Topos, etc.

V.19. MÉTODOS DE SOSTENIMIENTO PARA REVESTIMIENTO

V.19.1. Bulones.

El bulonado o empernado hoy en día está universalmente aceptado como método de sostenimiento provisional o definitivo.

Los bulones utilizados normalmente son barras de acero de 25 a 32 mm de diámetro y de 3 a 4 metros de longitud y tienen como misión unir los estratos alrededor de la sección excavada para formar una bóveda natural.

Los bulones quedan anclados por adherencia del mortero o resina que se introduce en el fondo y a lo largo del taladro. El extremo que queda en el exterior del taladro dispone de rosca para tuerca y arandela plana que se ajusta contra la superficie de la roca.

También existen en el mercado variantes para el bulonado provisional, como por ejemplo los bulones de agua, tubos metálicos cuyas paredes se deforman contra las del taladro al inyectar agua a presión. Este sistema permite una actuación muy rápida en terrenos inestables, o bien en un bulonado previo si hay agua que dificulta el fraguado de morteros o resinas. También como bulonado provisional en frentes inestables, existen los bulones de fibra, que en general se fabrican con materiales plásticos fibrosos que logran un simple armado o cosido compatible con la posterior excavación del macizo.

V.19.2. Cerchas.

La entibación con madera pasó de la minería a la construcción civil y de la misma forma, los arcos o cerchas metálicas empleadas hoy en día en ingeniería civil fueron aplicados antes en la minería.



Imagen V.19.2.1. Cerchas con tablones en el sostenimiento provisional de una galería de avance

Son viguetas de acero con sección en H y curvadas a la sección transversal del proyecto del túnel, de manera que normalmente con tres cerchas, dos en los hastiales (pies de marco) y una en la bóveda (corona), se puede cubrir la sección completa. Si hay roca poco compacta o suelta entre dos secciones con cerchas se pueden añadir tablones (si es temporal) o planchas de acero entre éstas.

V.20. CONCRETO LANZADO

El concreto lanzado se ha convertido en una técnica que cada vez se utiliza más para el sostenimiento del terreno, solo o en combinación con bulones, cerchas o con refuerzo de malla de acero.

Antes que el concreto lanzado, se empezó a emplear el mortero (arena + cemento + agua) proyectado, para crear un anillo protector de la roca en las formaciones susceptibles de meteorización rápida. Fue a finales de los 50 cuando se empezó a utilizar, es decir, mezcla con agregados de hasta 16 o 18 mm., con la consiguiente problemática de los aditivos para la aceleración del fraguado.

El agregado, el cemento y el agua se mezclan por distintos procedimientos. Esta mezcla llega por una gruesa manguera hasta la pistola que, manejada por el operador, dispara fuertemente contra la roca limpia. La mezcla se introduce en las grietas y fisuras y forma sobre la superficie de la roca una capa fuertemente adherida. Con el concreto lanzado se pueden obtener con rapidez espesores de 10 a 15 cm., resolviendo no sólo los problemas de meteorización sino evitando los desprendimientos en zonas muy fracturadas.



Imagen V.20.1. Sostenimiento mixto (cerchas, mallas y concreto lanzado)

V.21. PREANILLOS DE CONCRETO**V.21.1. Preanillos sobre chapa desplegada (método Bernold).**

Se conoce también como método Bernold, puesto que fue ésta la marca suiza que desarrolló las chapas desplegadas o acuchilladas. La idea es revestir sobre un encofrado formado por cerchas metálicas y placas acuchilladas que quedan incorporadas al concreto y que cumplen una triple función, de protección contra la caída de piedras sueltas, como encofrado y como armadura del concreto de relleno.

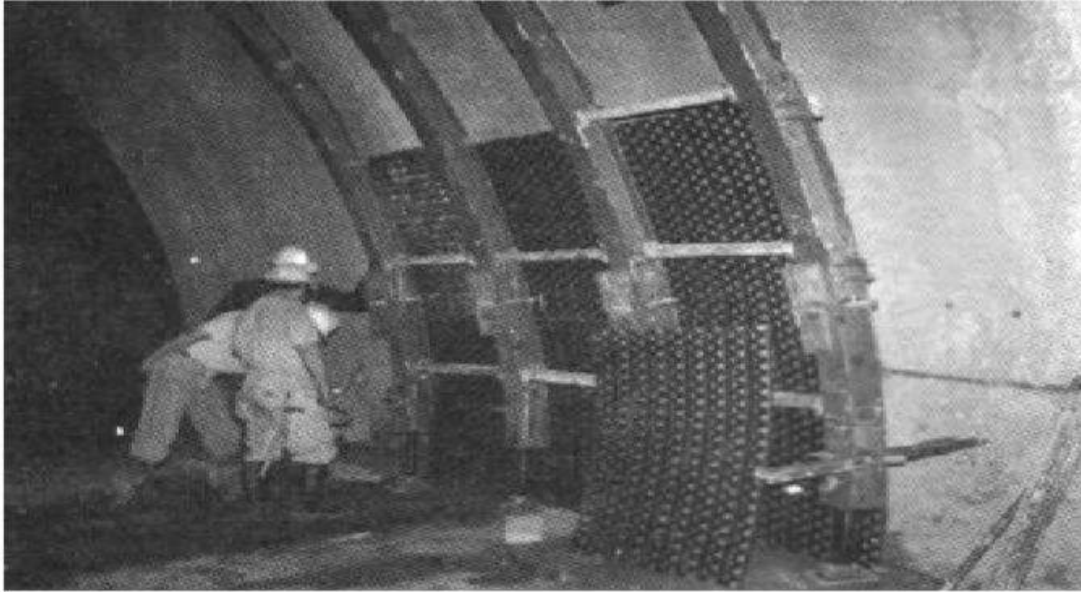


Imagen V.21.1.1. Método Bernold antes del revestimiento definitivo

V.21.2. Preserrado de la roca.

Con el preserrado se construye un preanillo, como sostenimiento provisional, encofrado por el propio terreno y revestimiento por proyecciones. Consiste en cortar, con sierras mecánicas de cadena, similares a las empleadas en trabajos forestales, un anillo de un espesor entre 15 y 20 cm. y una anchura alrededor de los 50 cm. Si en vez del anillo completo se actúa con dovelas sucesivas, en terrenos inestables el tiempo en que el hueco está abierto es mínimo.

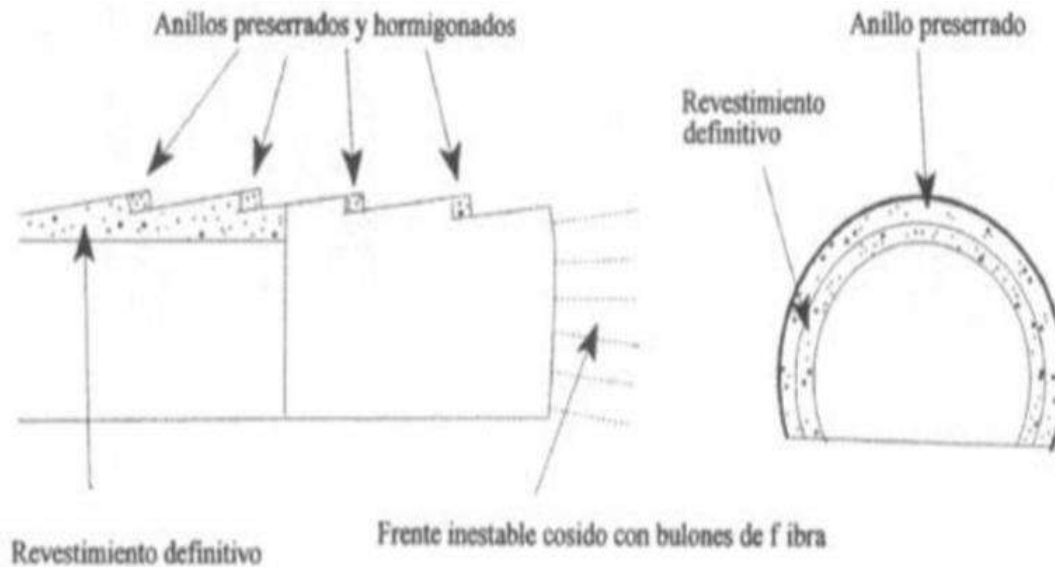


Figura V.21.2.1. Preserrado en rocas blandas

Este método se usa también para rocas duras que han de tratarse con explosivos, como una técnica más para resolver los casos en que las limitaciones por vibraciones son muy estrictas.

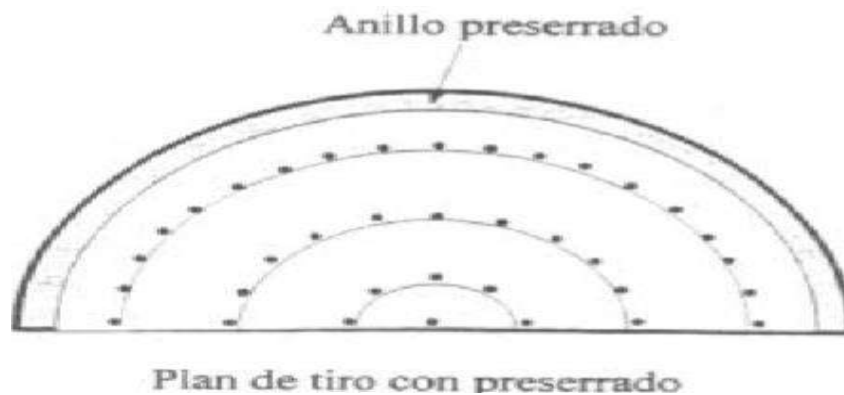


Figura V.21.2.2. Preserrado en rocas duras (explosivos)

V.21.3. Dovelas

Son anillos circulares segmentados, normalmente de concreto más o menos armado. Como revestimiento permanente tienen la ventaja de que inmediatamente después de que se han colocado proporcionan una fuerte estructura de soporte, siempre que la inyección de concreto en el trasdós (entre el terreno y el anillo) se realice lo antes posible. Se fabrican distintos tipos de dovelas:

V.21.3.1. Dovelas ordinarias inyectadas

Son de concreto medianamente armado que usan llaves sencillas para su unión. El trasdós debe inyectarse inmediatamente a su colocación.

V.21.3.2. Dovelas expandidas

Son dovelas de concreto en masa o ligeramente armadas. Un erector las coloca sobre el anillo metálico de soporte, y con una dovela en forma de cuña se provoca la expansión o aumento del diámetro hasta el contacto total con el terreno. No precisa, por lo tanto, inyección en el trasdós.

V.21.3.3. Dovelas atornilladas

Son de concreto fuertemente armado o de acero fundido; se atornillan entre sí y al anillo anteriormente colocado. La geometría que se logra es perfecta y la inyección en el trasdós se realiza en condiciones óptimas.

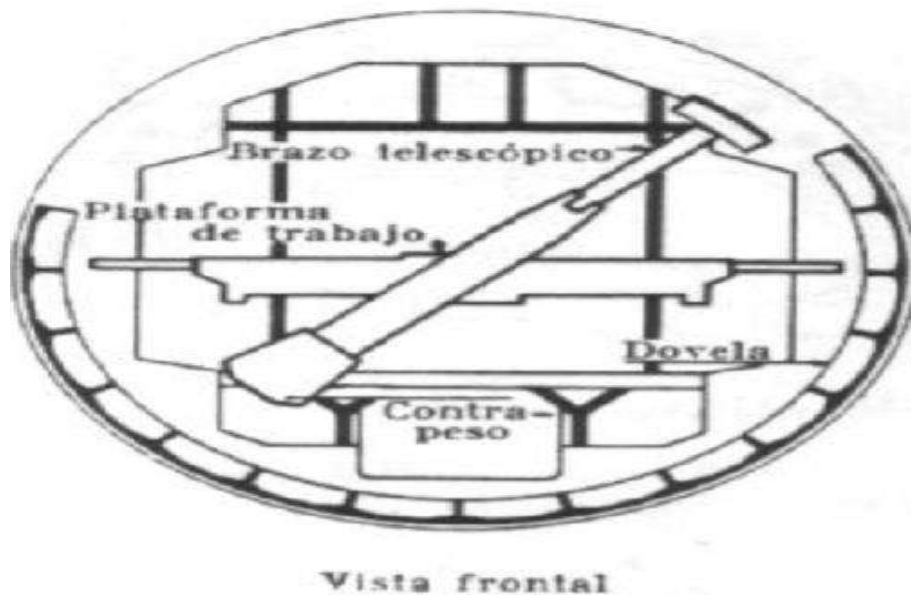


Figura V.21.3.3.1. Máquina para colocar dovelas

V.22. TUNELEO EN LA CONSTRUCCIÓN DEL METRO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

V.22.1. Tüneleo falso en suelos blandos con muros tablestaca colados en sitio.

Este procedimiento es factible de aplicar cuando la profundidad de excavación a cielo abierto no excede de 15 a 16 metros, sobre todo por razones económicas.

El procedimiento constructivo consiste, en abrir zanjas las cuales se ademan con lodo bentonítico hasta una profundidad de 1.50 m a 4.0 m abajo de la máxima excavación de proyecto, con una longitud de tablero del orden de 6.0 metros.

Las excavaciones de las zanjas se realizan en forma alternada; es decir, no deben escavarse tableros contiguos en forma continua.

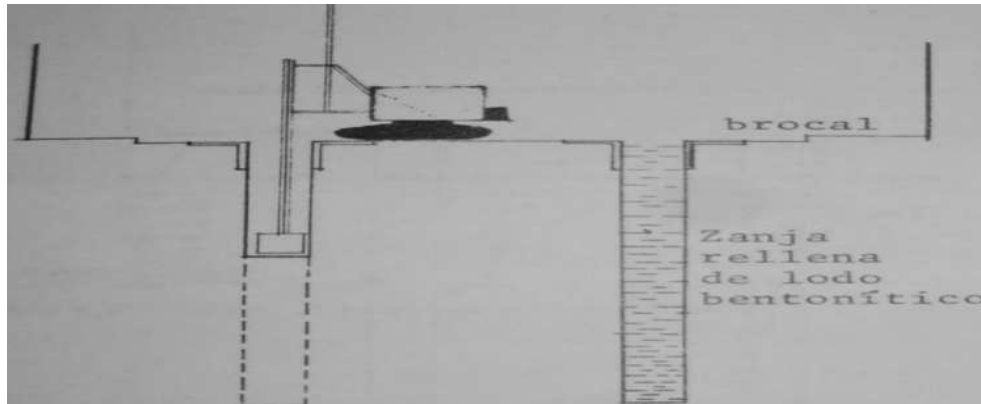


Figura V.22.1.1. Excavación de zanja

Una vez excavada totalmente la zanja, se procede de inmediato a introducir la parrilla del acero de refuerzo y a vaciar el concreto dentro de la zanja mediante una trompa de colado, y por diferencia de densidades, el concreto desaloja al lodo bentonítico, quedando de esta manera muros tablestaca que constituirán la estructura de contención.

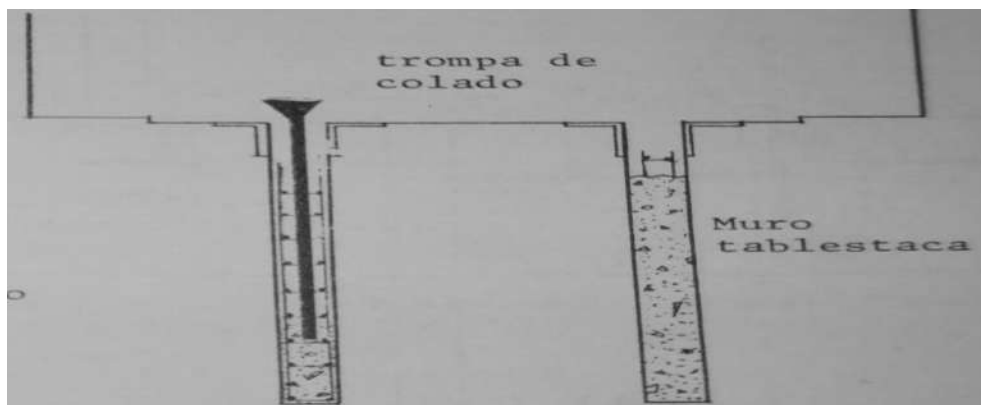


Figura V.22.1.2. Vaciado de concreto en zanja

Alcanzada la resistencia de los muros tablestaca se procede a excavar inicialmente hasta el nivel de la losa de techo para continuar posteriormente con el colado de dicha losa, con la colocación del material de relleno y con la restitución del pavimento para dar paso a la vialidad a la brevedad posible.

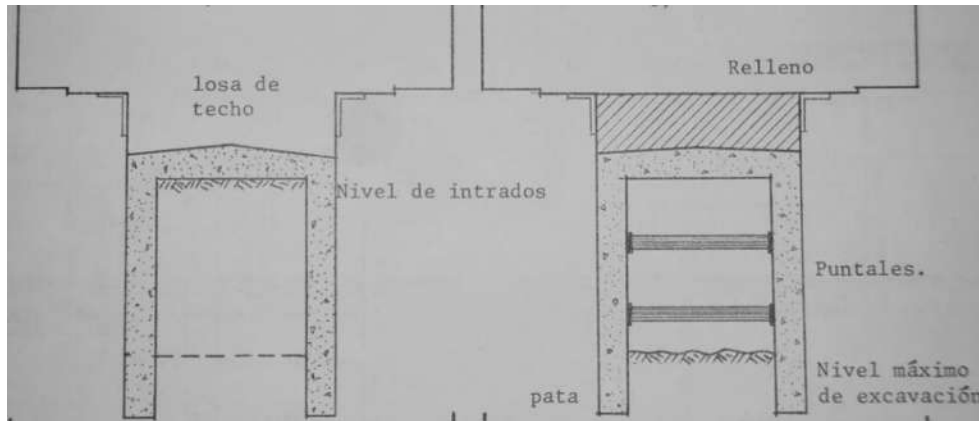


Figura V.22.1.3. Excavación para losa

Una vez que la losa de techo alcanza la resistencia especificada, se continúa con la excavación del núcleo central mediante el proceso de tendido, extrayendo la rezaga a través de lumbreras o alcancías que se forman dejando tramos de losa de techo sin colar en lugares estratégicos. La excavación se realiza por etapas llevando un talud en el frente de avance hasta alcanzar la máxima profundidad de proyecto y a medida que se profundiza la excavación se van colocando puntales con precarga en niveles previamente analizados.

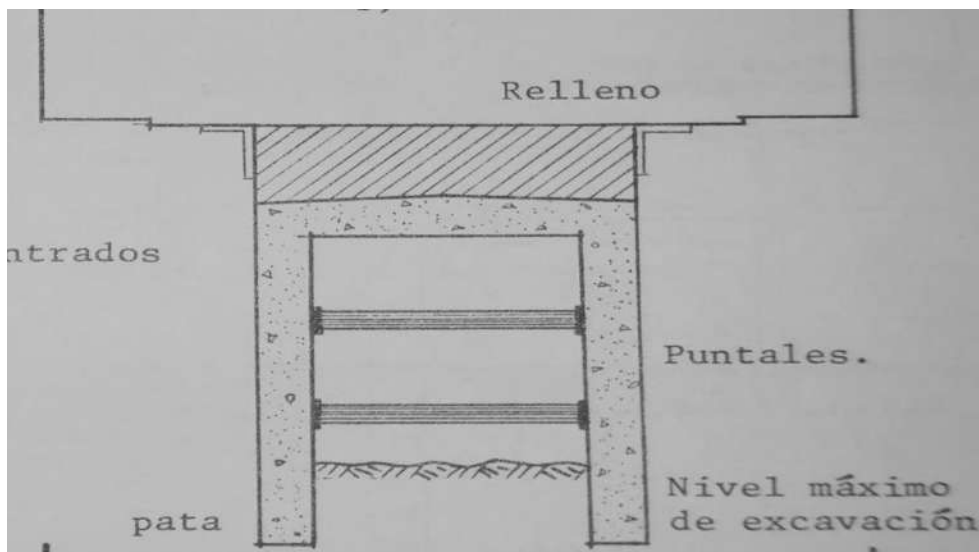


Figura V.22.1.4. Colocación de puntales

Las longitudes de las etapas están en función principalmente del ancho de la excavación, del tipo de suelo, de la falla de fondo y de las expansiones inmediatas, entre otras; para el caso de suelos blandos (arcillas) varían entre 4 y 8m de longitud.

Alcanzado el máximo nivel de excavación en cada etapa, se procede de inmediato a colar una plantilla de concreto pobre como lastre y posteriormente se efectúa el armado y colado de la losa de piso.

Después de colada dicha losa, se retiran los niveles de puntales y se continúa con la siguiente etapa de excavación, realizando simultáneamente a este evento la construcción de los muros estructurales interiores del cajón de la tapa anterior.

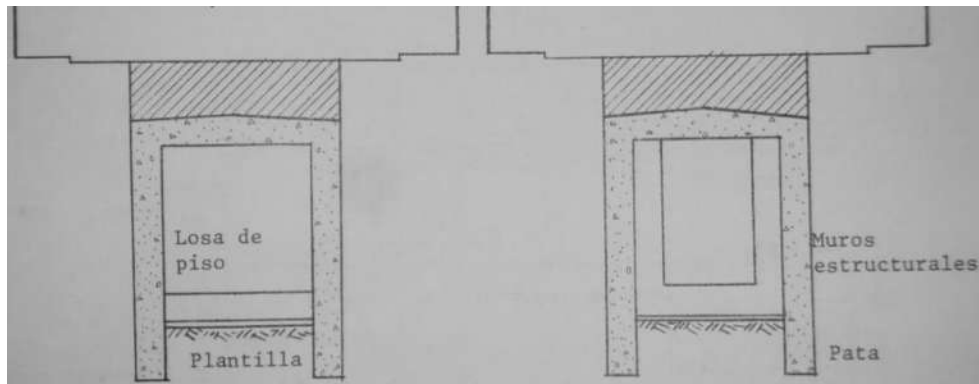


Figura V.22.1.5. Colado de losa de piso y muros estructurales interiores

En suelos blandos el procedimiento constructivo exige el colado de la losa de piso en cada etapa excavada, lo que genera que se interrumpa el proceso de excavación y extracción de la rezaga y no permite que sea posible el empleo de un equipo expedito de excavación.

V.22.2. Tunnelling falso en suelos firmes con muros tablestaca colados en sitio.

Al igual que en las excavaciones en suelos blandos, el procedimiento de tunnelling falso, es factible de aplicarse en suelos firmes, con el mismo fin de causar el mínimo de molestias en las vialidades existentes.

El procedimiento implica realizar la misma secuencia de construcción hasta antes de excavar al núcleo central, que se describe en el inciso anterior, o sea abriendo zanjas, ademadas con lodo bentonítico, introduciendo posteriormente la parrilla de acero y efectuando el colado dentro de la zanja del muro tablestaca.

Si durante la excavación de las zanjas, se encuentran estratos duros que la almeja no puede excavar, se pueden realizar perforaciones previas con maquinaria rotatoria con el propósito de aflojar el material.

Alcanzada la resistencia de los muros, se excava hasta el nivel de intradós para efectuar el colado de la losa de piso, continuando después con la colocación del relleno y la restitución del pavimento.

Después de alcanzada la resistencia especificada de la losa de techo, se continúa con la excavación del núcleo central llevando un talud de avance en toda la longitud del tramo por excavar.

A diferencia del procedimiento por tendido en suelos blandos, la excavación en suelos firmes se puede realizar sin interrupción en toda la longitud del tramo por construir, debido a que no existen problemas de estabilidad del fondo, ni expansiones inmediatas excesivas debido a las características estratigráficas del suelo y porque es posible disminuir la separación de los puntales o en caso necesario colocar el último nivel de puntales en zanja o abajo del desplante de la losa de piso, de tal manera que no interfiera con el equipo de excavación.

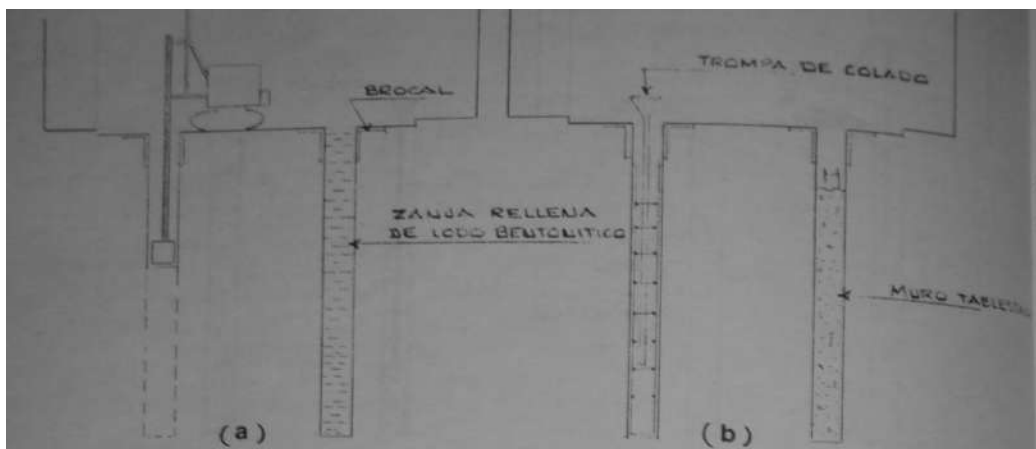


Figura V.22.2.1. Excavación de zanja para piso

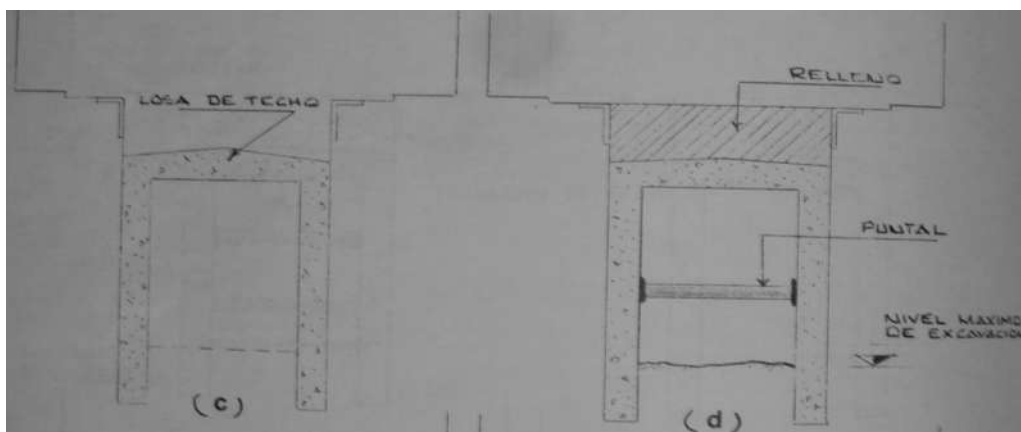


Figura V.22.2.2. Colocación de puntales

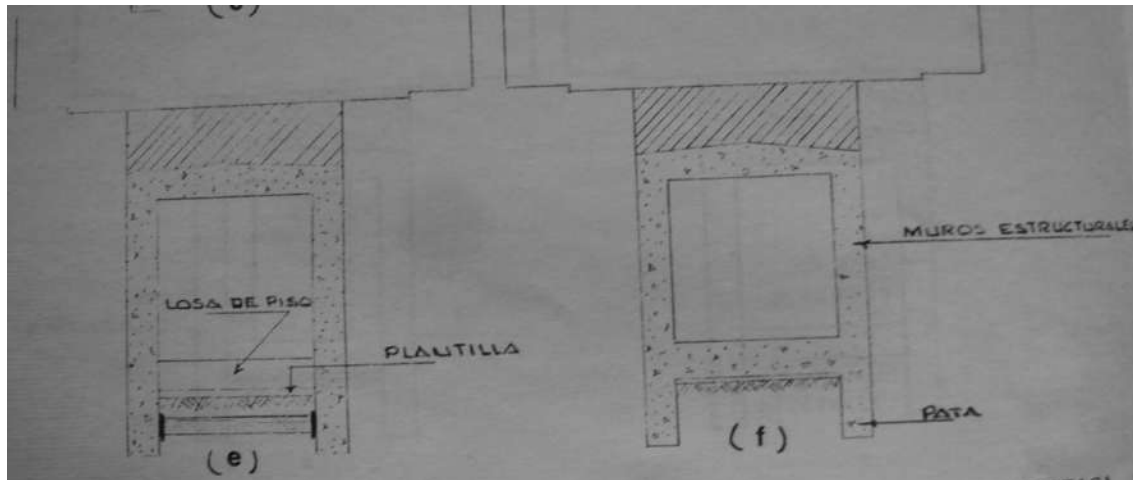


Figura V.22.2.3. Muros tablestaca ya colados

Alcanzando el nivel máximo de excavación, se procede a colar la plantilla y la losa de piso, ligando el armado de esta con el acero de refuerzo de los muros tablestaca ya colados, quedando de esta manera construido el cajón. Con el fin de facilitar la liga estructural de la losa de piso con los muros tablestaca y evitar la demolición de este, la parrilla del acero se introduce en la zanja con una preparación que consiste en colocar una caja de poliuretano a la altura de la losa de piso para que el concreto no envuelva al acero de refuerzo que servirá de liga.

V.22.3. Tendido falso en obras diferentes de metro.

Otro método de excavación mediante tendido falso, consiste en usar muros estructurales excavando zanjas a cielo abierto sin usar lodo bentonítico para realizar posteriormente la excavación del núcleo interior. La aplicación de este método es posible cuando se trabaja en suelos firmes, ya que la excavación para las zanjas se efectúa a cielo abierto entre una estructura de contención constituida por elementos de madera, elementos de acero o una combinación de ambos.

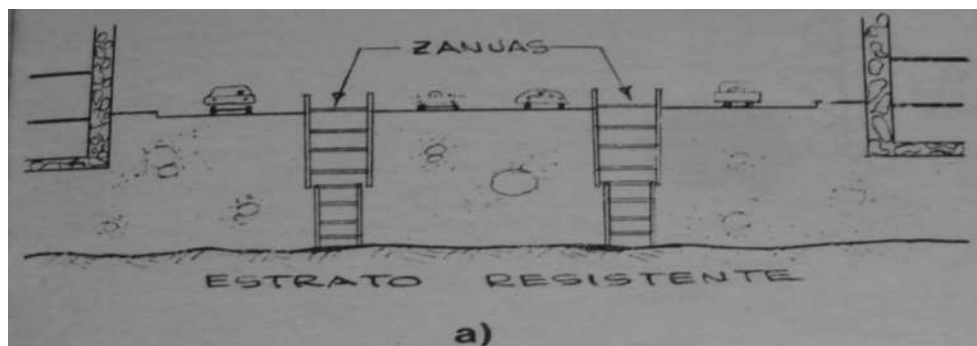


Figura V.22.3.1. Excavación a cielo abierto

La instalación de la estructura de contención, se realiza a medida que la excavación se profundiza. Alcanzada la máxima profundidad de excavación de la zanja se procede al colado de una plantilla de concreto simple, sobre la que se construyen zapatas que sirven de apoyo a los muros estructurales. La construcción de estos muros, se realiza en tramos del orden de 3m de longitud por 2.50m de altura, dejando las preparaciones necesarias en el armado para su unión posterior con la losa de piso.

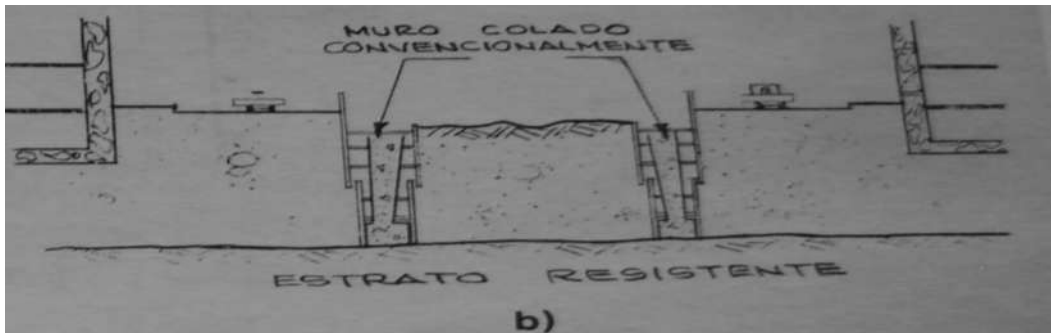


Figura V.22.3.2. Construcción de muros estructurales

Concluida la construcción de los muros se excava hasta el nivel de la losa de techo y simultáneamente se rellena el espacio comprendido entre las paredes de la excavación y los muros estructurales con material areno- limoso compactado o mediante concreto simple.

Una vez que se haya alcanzado el nivel de la losa de techo se cuela una plantilla y posteriormente la losa de techo, uniendo el armado de esta con el armado de los muros.

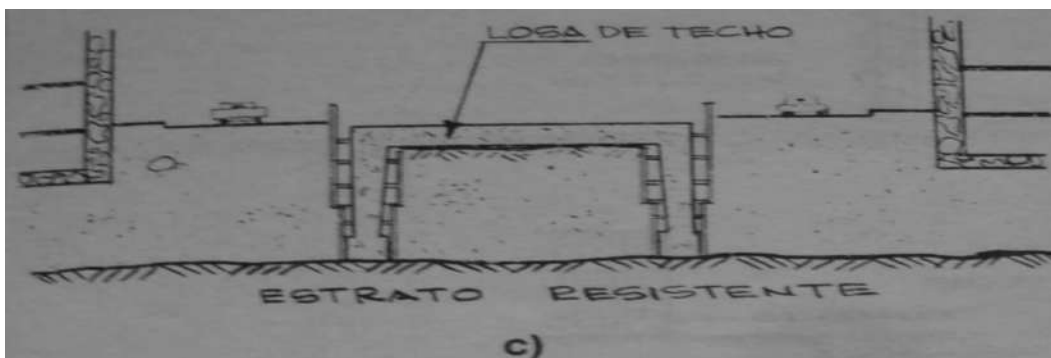


Figura V.22.3.3. Colado de la losa de techo

Después de colada la losa de techo, se coloca el material de relleno y en su caso se restituye el pavimento.

Cuando la losa de techo alcanza su resistencia especificada, se inicia la excavación del núcleo central a todo lo largo del tramo por construir. Si los suelos son firmes y resistentes las expansiones inmediatas no son importantes, no existe falla de fondo y los empujes son pequeños.

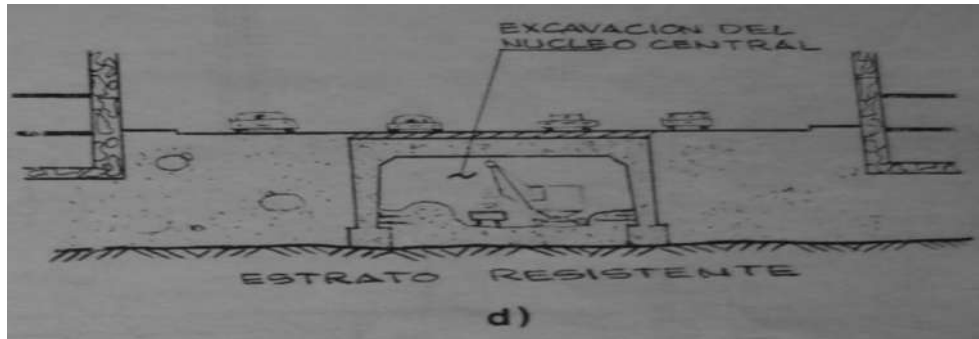


Figura V.22.3.4. Excavación del núcleo central

Habiendo alcanzado la máxima profundidad de excavación se cuela una plantilla de concreto pobre y enseguida se inicia la demolición de una parte del muro estructural para descubrir el armado de este y ligarlo con el acero de refuerzo de la losa de piso; posteriormente se continúa con el colado de dicha losa.

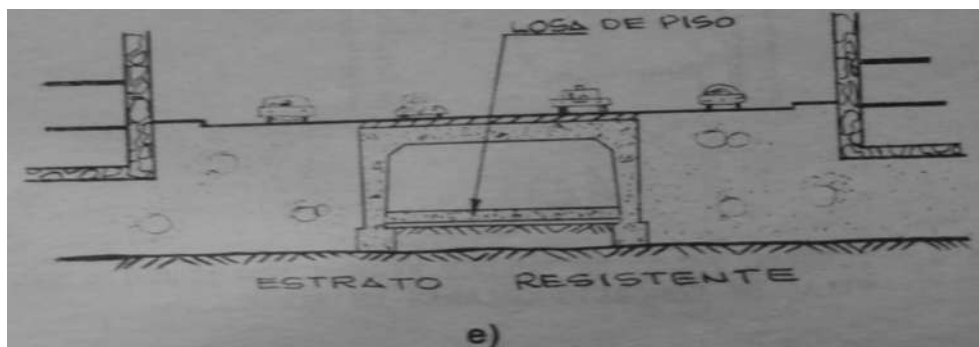


Figura V.22.3.5. Ligue de losa de piso con muros estructurales

V.22.4. Tunnelleo falso con muros a base de pilas coladas en sitio.

Este tipo de estructura de contención se emplea generalmente en suelos firmes (areno-limoso) cuya resistencia al corte es alta.

El procedimiento constructivo comprende la construcción de muros a base de pilas coladas en sitio, las cuales se pueden efectuar dentro o fuera del nivel freático. Las pilas se construyen con una separación entre si de un diámetro o más.

La excavación para las pilas se realiza mediante una maquina rotatoria; hasta una profundidad de 2 m debajo de la máxima profundidad de excavación, si el material de las paredes es estable, la excavación de la pila puede efectuarse sin contener las paredes, pero cuando el material es inestable, es necesario el uso de ademes que impidan que la perforación se cierre y el cual se va colocando a medida que avanza la perforación.

Realizada la perforación se procede al armado y colado de las pilas; el colado debe efectuarse mediante un tubo tremie que llega al fondo de la excavación, para evitar segregación de los agregados. En caso de usarse ademe metálico puede recuperarse a medida que avanza el colado extrayéndolo con la propia máquina de perforación o puede dejarse ahogado, según lo permitan las fuerzas de fricción del suelo. Las pilas se construyen con una profundidad mayor que la del fondo de la excavación con objeto de dejar un empotramiento.

Una vez construidas las pilas se construye una trabe de remate en la que se apoyara la losa de techo.

Una vez construida la trabe de remate, se excava hasta el desplante de la losa de techo y se cuela dicha losa, ligando el armado de esta con el acero de refuerzo de la trabe. Después de colada la losa de techo, se coloca el relleno y se restituye en su caso el pavimento.

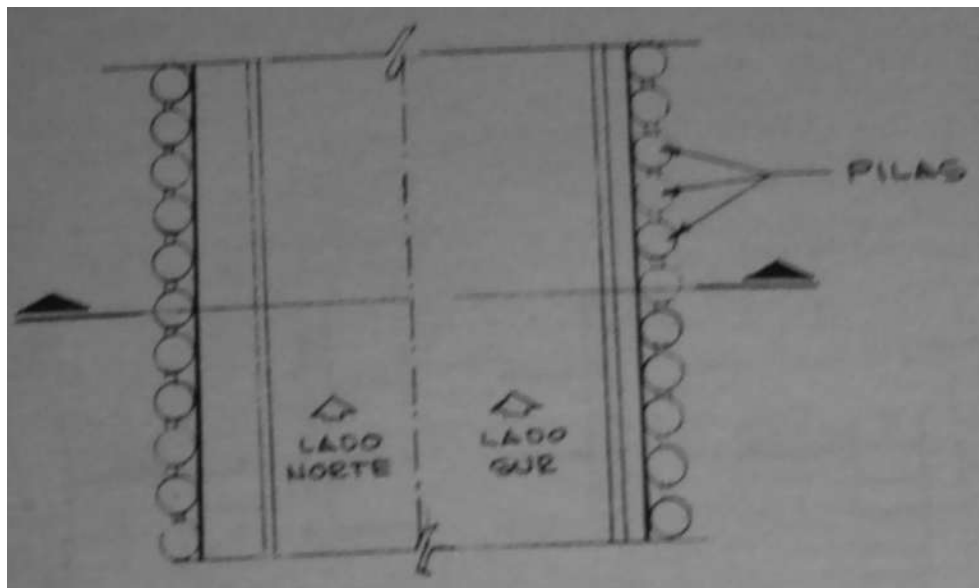


Figura V.22.4.1. Construcción de muros a base de pilas

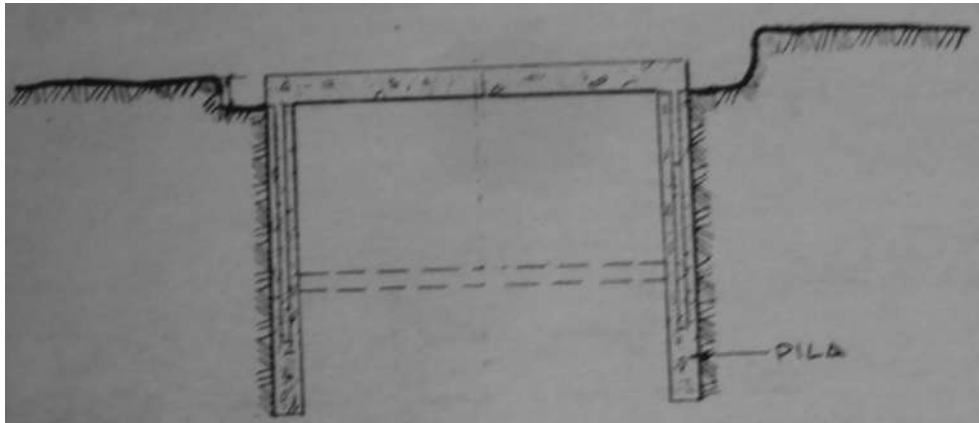


Figura V.22.4.2. Colado de pilas

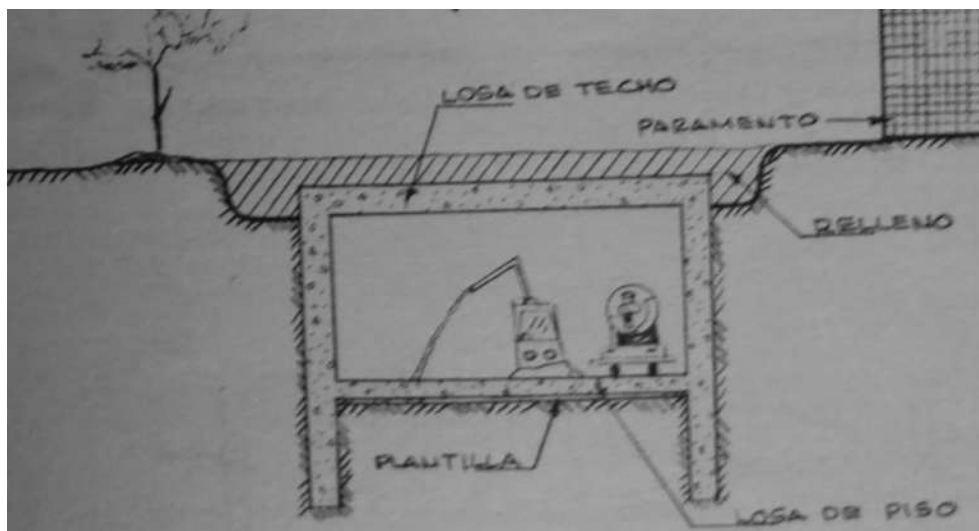


Figura V.22.4.3. Túnel falso con muros a base de pilas de concreto

Alcanzada la resistencia especificada de la losa de techo, se inicia la excavación del núcleo central llevando un talud en el frente de avance. La excavación puede realizarse en forma continua, debido a que en suelos firmes las expansiones inmediatas son despreciables.

Cuando se llega a la máxima profundidad de proyecto, se cuela una plantilla de concreto pobre y posteriormente se arma y se cuela la losa de piso.

V.22.5. Túnel falso con estructura de contención a base de columnas de suelo inyectados.

Este método es factible de usarse en suelos de estratigrafía bien definida cuya permeabilidad varíe de media a muy alta y consiste en inyectar una lechada de cemento al suelo con el fin de formar una mezcla suelo-cemento que sirva como estructura de contención.

El proceso consiste en realizar una perforación que varía entre 1" y 4" de diámetro, por la que se introduce la tubería de inyección que conducirá la lechada de cemento.

Colocada la tubería de inyección, se coloca un tapón y se procede a inyectar la lechada en progresiones continuas ascendentes, haciendo girar la tubería para que la lechada que sale a una presión elevada se distribuya en forma uniforme con objeto de formar una pila circular. La presión de inyección es muy alta (alcanza valores hasta de 50 kg/cm^2) con el fin de romper la estructura del suelo y lograr la penetración de la lechada.

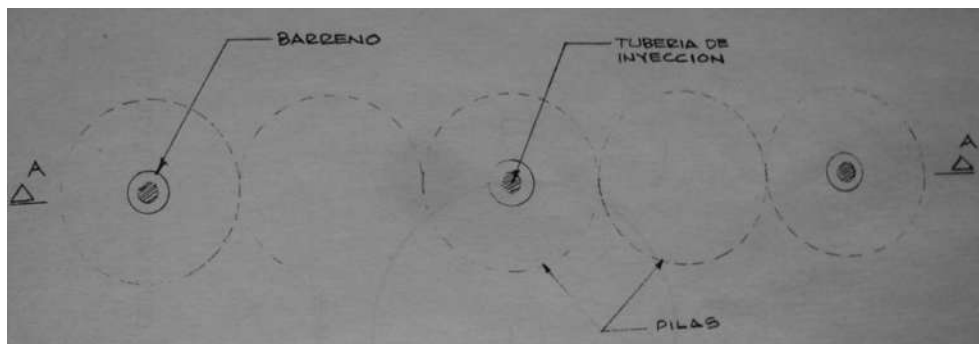


Figura V.22.5.1. Columnas inyectadas (PLANTA)

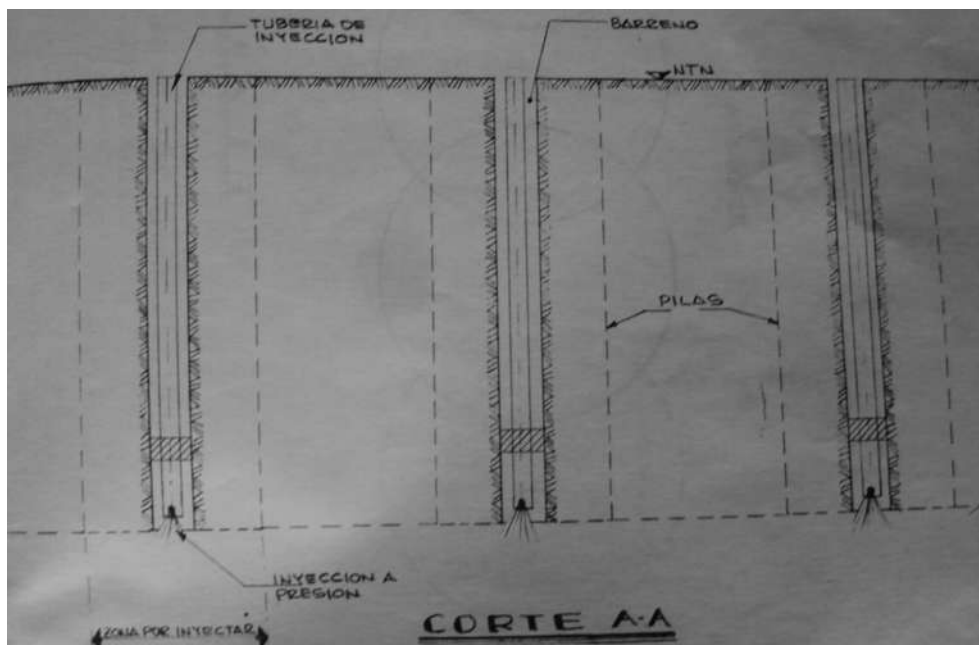


Figura V.22.5.2. Túnelo falso a base de columnas de suelo inyectadas

El procedimiento en progresiones ascendentes, se continúa hasta concluir la construcción de cada una de las pilas que constituyen los muros de contención.

Una vez que los muros a base de pilas, han alcanzado su resistencia de proyecto, se cuela la losa de techo del túnel, la cual se apoyara sobre pilas.

Cuando la losa de techo alcanza su resistencia de proyecto, se coloca el relleno sobre la misma, se repavimenta y se efectúa la excavación del núcleo, sujetando los muros con vigas mdrinas y con puntales.

Alcanzando el fondo de la excavación, se continúa con la construcción de la plantilla y de la losa de piso, de acuerdo a los lineamientos indicados.

V.22.6. Tunnelling falso con estructuras de contención a base de pilas secantes.

El procedimiento para la construcción de estos muros consiste en realizar perforaciones alternadas. De tal forma que entre una perforación otra exista una distancia un poco menor de un diámetro, a fin de que al excavar el espacio existente entre dos pilas ya construidas, se traslapen estas con la pila por construir.

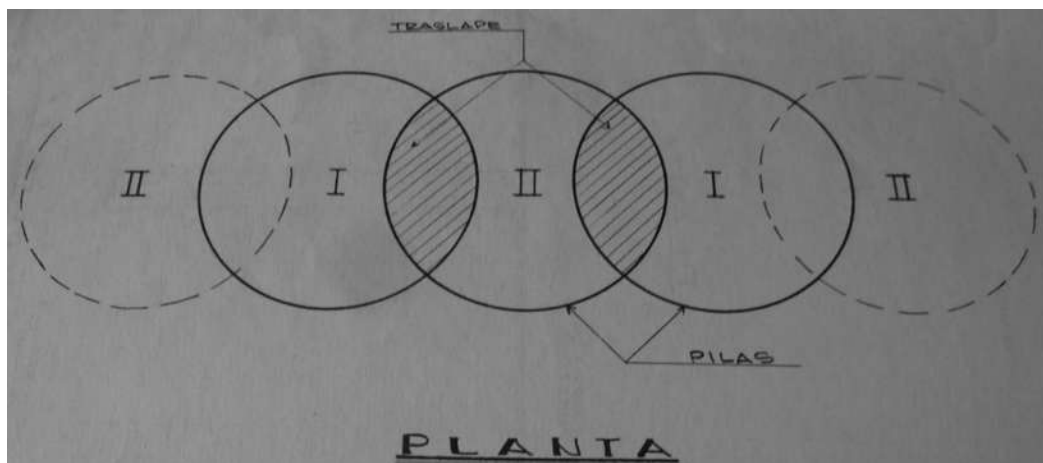


Figura V.22.6.1. Tunnelling falso con estructuras de contención a base de pilas secantes.

Habiendo realizado las perforaciones, se procede a construir las pilas indicadas con el numero I en la figura mencionada, mediante el vaciado de un mortero o de una mezcla suelo-cemento.

Construidas las pilas número I, se efectúa la perforación para las pilas número II, realizando un corte lateral en las pilas I, para efectuar de esta manera el traslape entre las pilas.

Construidas todas las pilas, que constituirán los muros, se excava hasta el nivel de intradós donde se desplantara una plantilla de concreto pobre, la cual servirá de apoyo para el armado y colado de la losa de techo del túnel.

Después de fraguar el colado de la losa de techo se coloca el relleno correspondiente y se restituye el pavimento en la zona afectada.

Simultáneamente con la repavimentación, se inicia la excavación del núcleo, apuntalando los muros del túnel, a medida que la excavación se profundice.

El apuntalamiento, podrá estar constituido, por viguetas horizontales (madrinas) sujetadas por anclas o por puntales los cuales se instalaran en niveles previamente analizados.

Alcanzada la máxima profundidad de proyecto, se cuela una plantilla de concreto simple y posteriormente se efectúa el armado y colado de la losa de piso, concluyendo de esta manera la construcción del túnel falso.

CAPÍTULO VI. INSTALACIONES ESPECIALES EN TÚNELES

VI.1. VENTILACIÓN

La ventilación, está constituida por el conjunto de ventiladores y conductos destinados a dirigir y canalizar el aire fresco y los humos. En los túneles con ventilación longitudinal, los dispositivos se colocan por parejas en la clave. Los ventiladores que se colocan suelen ser reversibles, para poder invertir el flujo. Es muy conveniente que sean resistentes al fuego. Existe la posibilidad de fabricarlos con una resistencia al fuego de 400º centígrados durante dos horas.

VI.2. ILUMINACIÓN

En los túneles existen dos tipos de iluminación; la de servicio normal y la de emergencia:

Iluminación de servicio normal: Está constituida por una serie de lámparas de distintos tipos, que pueden ser graduadas en intensidad para que los conductores, tanto al entrar como al salir del túnel, adapten progresivamente el diafragma ocular y no resulten deslumbrados. Va colocada por encima de los hastiales del túnel.

La iluminación de emergencia: Ésta, tiene por misión que el túnel no se quede a oscuras ante una falta de suministro eléctrico.

VI.3. CÁMARAS DE TELEVISIÓN

Con las cámaras de televisión se controla visualmente, desde un centro de control, todo lo que sucede en el interior del túnel. Suelen ir colocadas por encima de los hastiales. Últimamente, se están utilizando junto con un sistema automático de detección de incidentes (sistema DAI) mediante comparación de imágenes.

VI.4. MEGAFONÍA

Consiste en un conjunto de altavoces, colocados a partir de los hastiales. No suelen funcionar muy bien, porque se produce una reverberación muy fuerte dentro del túnel, que ocasiona que no se entiendan los mensajes que se quieren transmitir.

VI.5. SEMÁFOROS

Los semáforos suelen ir colocados por encima del gálibo, sobre sus carriles correspondientes. Sirven, lógicamente, para regular el tráfico. Si hay fuego, el centro de control los pondrá en rojo para cerrar la entrada al túnel.

VI.6. PANELES DE INFORMACIÓN

Los paneles informativos, al igual que los semáforos van sobre la calzada por encima del gálibo. Son muy útiles para transmitir información en forma de mensajes escritos y dibujos. Dan mejor resultado que la megafonía

VI.7. COMUNICACIONES

Las comunicaciones vía radio en un túnel se pierden. Se hace necesario entonces la instalación de un cable radiante, que sirve como de camino para las ondas electromagnéticas que emiten los talkys. Existe otro tipo de comunicaciones, que consisten en interfonos instalados en los postes SOS que hay en el túnel. Estos, tienen un pulsador, que al ser oprimidos envían una llamada al centro de control. También tienen un micrófono y un altavoz para poder hablar y escuchar.

VI.8. OPACÍMETROS

Los opacímetros tienen por misión detectar falta de visibilidad, producida por los humos emitidos por los escapes de los motores de los vehículos. Suelen ir colocados en los hastiales, no muy altos. Cuando detectan polución debida a los humos, accionan la ventilación de forma automática.

VI.9. DETECCIÓN DE INCENDIOS

Para la detección, se suele instalar, en la clave, a todo lo largo del túnel, un cable fibroláser, que tiene la particularidad, de que al calentarse, cambian las condiciones de transmisión de la de luz que lo recorre. Esta detección, está resultando en la realidad muy tardía, detectándose el fuego antes por otros sistemas indirectamente (opacímetros, cámaras de TV, usuarios con teléfonos móviles).

VI.10. EXTINCIÓN DE INCENDIOS

Las instalaciones de lucha contra incendios, constan, de una o dos fuentes de abastecimiento con su correspondiente equipo de bombeo y de unos armarios equipados con mangueras, lanzas, espumógeno y dosificador de espuma. Los armarios también suelen estar equipados con un extintor.

VI.11. SEÑALIZACIÓN DE EMERGENCIA

La señalización de emergencia, es la gran asignatura pendiente en los túneles, pues es muy escasa. Básicamente, hoy en día, consiste en un único pictograma puesto sobre la misma salida de evacuación, que es difícilmente distinguible a cierta distancia de él. Debería existir una señalización fotoluminescente a lo largo de todo el túnel, que indique las distancias a las salidas de evacuación más próximas en ambos sentidos.

VI.12. SALIDAS DE EVACUACIÓN

Las salidas de emergencia o de evacuación, son de vital importancia para los usuarios, pues constituyen la vía de escape más segura. No existen en todos los túneles. Deben estar correctamente señalizadas y tener puertas de paso para personas. En algunos casos se diseñan para que también pasen vehículos. En los túneles de dos tubos paralelos, pueden comunicar un tubo con el otro. En los túneles de un solo tubo, puede que den salida a una galería de servicio paralela al túnel o que suban verticalmente hacia la superficie del terreno.



Imagen VI.12.1. Instalaciones especiales en túneles

CAPÍTULO VII. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL TÚNEL DEL KM. 21+060, DE LA AUTOPISTA TENANGO-IXTAPAN DE LA SAL, EN EL ESTADO DE MÉXICO.

El proyecto contempla la **“CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL VEHICULAR PARA EL CRUCE DE LA AUTOPISTA TENANGO-IXTAPAN DE LA SAL, EN EL Km. 21+060, SIN INTERRUPCIÓN DE LA OPERACIÓN DE LA AUTOPISTA, DEJANDO CIRCULAR LIBREMENTE EL TRÁNSITO VEHICULAR”**. La construcción fue realizada por la constructora INMOBILIARIA SIMOBA S.A. de C.V, proyecto que fue otorgado como adjudicación directa por la dependencia **SAASCAEM** (SISTEMA DE AUTOPISTAS, AEROPUERTOS, SERVICIOS CONEXOS Y AUXILIARES DEL ESTADO DE MÉXICO), debido a que la constructora es especialista en este tipo de túneles para todo tipo de uso, carretero, ferroviario, estructuras de drenaje, semovientes, etc. El túnel es de una longitud de 22.60 metros, el km 21+060 se ubica en el pueblo de Santa María Aránzazu, municipio de Villa Guerrero en el Estado de México, en donde la finalidad de este túnel (paso inferior), es evitar la interrupción del paso superior vehicular, debido a que el lugar es un pueblo floricultor y la interrupción del libre paso repercutiría en la economía de la zona por motivos de suspensión, el paso salva la vialidad que cruza de Santa María Aránzazu - San José, este cruce tiene conexión con la carretera libre hacia Tenancingo, lugar que los pobladores utilizan como mercado de su producto, entre otras cosas el túnel a base de hincado de tubería, es la mejor opción ya que la principal función consistió en no detener el tráfico en su parte superior, así como ser el segundo cuerpo para la ampliación de la autopista Tenango-Ixtapan de la sal.

El proceso de construcción del túnel comienza con el levantamiento topográfico del terreno natural (planimetría–altimetría), y culmina con la colocación de base hidráulica dentro del túnel para a peraltar la curva. La forma de llevar a cabo cada tarea está determinada por las especificaciones dadas por proyecto, por lo que sería repetitivo describir cada una de ellas, debido a esto, en este capítulo se describirá de forma general y breve, y sobre todo a manera de reseña fotográfica el proceso constructivo que se siguió en el desarrollo de esta obra.

VII.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA

La autopista Tenango-Ixtapan de la Sal, ubicada en el sur del estado de México, es una carretera de pavimento asfáltico con una longitud de 40.15 kilómetros.

Forma parte de la autopista Toluca-Ixtapan de la Sal iniciando en el municipio de Tenango y terminando en el municipio de Ixtapan de la Sal, un centro recreativo. La operación se realiza a través de dos casetas principales: la de Tenango y la de Ixtapan de la Sal, ubicadas en los extremos opuestos de la autopista. Adicionalmente cuenta con dos casetas auxiliares denominadas Ixtapan de la Sal II y III, alternativas que se utilizan para evitar entrar al municipio.

Desde finales de 2009, se inició la ampliación de dos a cuatro carriles de la autopista. En febrero del 2011 comenzó la operación a cuatro carriles del kilómetro 1+140 al 6+050, en junio del 2011 del kilómetro 6+050 al 8+650 y en septiembre del 2011 del kilómetro 8+650 al 9+900 y del 14+060 al 18+400. Actualmente continúan en ejecución algunos trabajos complementarios como obras de drenaje, señalamiento vertical y puentes y, en algunas zonas de trabajo, existe señalamiento y personal para el bandereo. Adicionalmente, están en construcción dos carriles del kilómetro 10+000 al 14+060 y un carril del kilómetro 18+800 al 19+100, los cuales se planea que sean concluidos el 31 de diciembre de 2014.

La concesión está a cargo de Autopista Tenango-Ixtapan de la Sal, S.A. de C.V (ATISA) y la operación a cargo de Opervite, S.A. de C.V. (Opervite); ambas empresas son subsidiarias de Promotora y Operadora de Infraestructura, S.A. de C.V. (PINFRA).

Al compararla con la vía libre, la autopista Tenango-Ixtapan de la Sal, es 19.25 kilómetros más corta, lo cual permite un ahorro en tiempo que oscila entre veinte a sesenta minutos en horas pico. Al primer semestre de 2011, la calificación de las condiciones físicas de la autopista, otorgada por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), fue de 449.61 puntos de un máximo de 500.00 puntos, lo cual indica que la carretera se encuentra en buenas condiciones.

La autopista beneficia la actividad económica de la zona ya que facilita el traslado de productos agrícolas y de floricultura y el tránsito turístico al conectar con Ixtapan de la Sal, el cual es un centro de descanso y recreo.

Descripción del activo

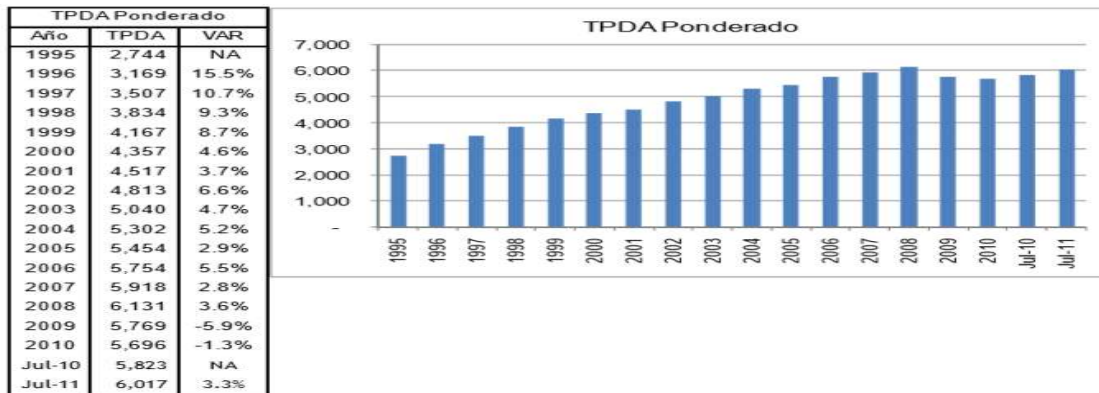


Imagen VII.1.1. Ubicación de la zona

VII.2. TRÁFICO

Desde sus inicios de operación en 1995, el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) ha mostrado una tendencia positiva creciente salvo en 2009 y 2010. Al igual que otras carreteras del país, durante 2009 el tráfico disminuyó debido a la crisis global.

Sin embargo, la tendencia en 2011 pareciera denotar una gradual recuperación hacia los niveles pre-crisis.



Grafica VII.2.1. Tráfico Promedio Diario Anual

Se espera un incremento de tráfico de aproximadamente 20%, debido a la extensión de la autopista de dos a cuatro carriles y la apertura de autopistas que conectan con esta como el caso de Lerma-Tenango; este incremento de tráfico adicional se espera que ocurra dentro de unos dos a cuatro años a partir de 2013.

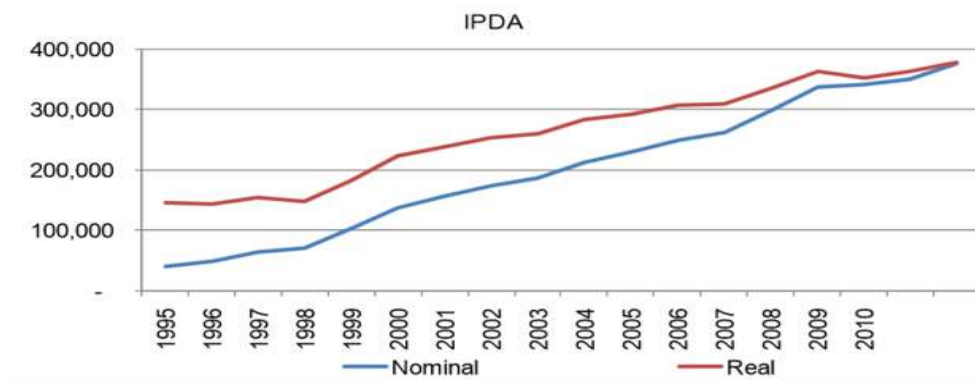
La autopista muestra estacionalidad durante Semana Santa y los periodos vacacionales de verano e invierno. La mezcla vehicular de la autopista se compone mayormente por automóviles los cuales representan el 86.2% del tráfico, seguida por camiones con 8.4%, autobuses con 3.9% y exentos con 1.5%.

VII.3. INGRESO

Por su ubicación y naturaleza, los ingresos de la autopista provienen de la economía regional. Similar al TPDA, el Ingreso Promedio Diario Anual (IPDA) muestra una tendencia creciente. A diferencia de otras carreteras calificadas por Fitch, ésta mantuvo un incremento en ingresos de 7.9% en términos reales durante 2009, debido principalmente al incremento extraordinario de tarifas en 2008. Sin embargo, a 2010 los ingresos cayeron en un 2.8%, efecto de la desaceleración de la economía local. A julio 2011 se observa una recuperación.

IPDA				
Año	Nominal	VAR	Real	VAR
1995	39,613	NA	146,762	NA
1996	49,877	25.9%	144,495	-1.5%
1997	64,525	29.4%	155,341	7.5%
1998	70,994	10.0%	147,472	-5.1%
1999	102,403	44.2%	181,762	23.3%
2000	137,315	34.1%	223,145	22.8%
2001	156,294	13.8%	238,826	7.0%
2002	174,652	11.7%	254,070	6.4%
2003	186,066	6.5%	258,846	1.9%
2004	213,078	14.5%	283,204	9.4%
2005	228,859	7.4%	292,479	3.3%
2006	249,274	8.9%	307,447	5.1%
2007	261,142	4.8%	309,763	0.8%
2008	297,684	14.0%	335,729	8.4%
2009	338,077	13.6%	362,349	7.9%
2010	342,422	1.3%	352,280	-2.8%
Jul-10	350,509	NA	362,711	NA
Jul-11	376,858	7.5%	377,135	4.0%

Tabla VII.3.1. Índice Promedio Diario Anual



Grafica VII.3.2. Valor nominal comparado con el valor real

El ingreso se recauda principalmente en la caseta Tenango (61.0%), secundariamente de la Ixtapan de la Sal (24.1%) y finalmente de las dos auxiliares que se ubican en el Libramiento Ixtapan (14.9%). A julio de 2011, los ingresos provienen principalmente de automóviles, con una participación de 80.4%, seguido de camiones con 14.4% y de autobuses con 5.2%.

VII.4. PROCESO CONSTRUCTIVO

VII.4.1. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DEL TERRENO NATURAL

El levantamiento topográfico es el inicio del proceso de desarrollo de cualquier tipo de obra civil, ya que con base a éste se realizará el proyecto, en donde el objetivo principal es ubicar todo tipo de obstáculos sobre el terreno y ejecutar una serie de mediciones.

El efectuar estos trabajos con la presteza debida nos evitará desviaciones posteriores, o bien que no se cumpla la normativa urbanística en cuanto a referencias existentes con otras edificaciones.

Este levantamiento se llevó a cabo con una estación total y un equipo GPS, ya que se debe geo-referenciar el lugar, una vez realizado el levantamiento topográfico del lugar (planimetría y altimetría), se procedió a realizar los trabajos de gabinete con ayuda de CivilCad y AutoCAD, programas de dibujo asistidos por computadora.

Una vez entregado el proyecto ejecutivo por parte de la dependencia de gobierno (SAASCAEM), esta es la primera etapa con la cual se iniciará la construcción del túnel, con todos los datos recabados en campo se procederá a trabajar en gabinete para presentar el plano o planos. Ya obtenidos los datos se hace una planta del lugar y así se puede proponer un proyecto funcional con los materiales necesarios, cantidades de obra, equipo a utilizar, tiempo de su ejecución, permisos.



Imagen VII.4.1.1. Levantamiento topográfico del pasó superior

Es el primer lugar que se hace el levantamiento topográfico debido a que se necesita un punto de apoyo fijo, este se tomó del parapeto del puente, debido a que se encuentra en curva y es necesario obtener el trazo adecuado sin modificación alguna, se obtienen radiaciones de banquetas, guarniciones, carriles ambos lados y en los sentidos a Santa María Aránzazu y San José, parapeto, postes de energía eléctrica y telefonía, así como pendientes longitudinales que se presentan antes y después del puente.

Continuando se hace el levantamiento en el portal Ixtapan para ubicar las referencias de este, postes de derecho de vía, cuneta, salón, para fiestas, poste de telefonía, canal de riego (ubicado al centro del túnel), así como de una casa que queda dentro de la ampliación de la autopista.



Imagen VII.4.1.2. Levantamiento topográfico del portal Ixtapan



Imagen VII.4.1.3. Levantamiento topográfico del portal Tenango

Para el portal Tenango, lo necesario a referenciar el derecho de vía, poste de energía eléctrica, canal de riego, cajas de distribución de agua de riego, sifones, viveros, cuneta, esto para identificar el canal de riego que como se menciona cruza al centro de donde será construido el túnel.



Imagen VII.4.1.4. Paso superior del túnel

En esta parte del levantamiento se toma en consideración el acceso a los viveros ya que este será el único lugar por donde se tendrá ingreso después de la construcción del túnel se referencia el derecho de vía respecto a: salón de fiestas, banquetas, postes de telefonía y energía eléctrica. Esta parte es la más crítica ya que en su parte inferior es donde atravesará el túnel por lo que la topografía debe ser exacta sin ninguna alteración, es por eso que aquí se toman los perfiles topográficos al centro del túnel, así como las secciones a cada 5 metros y con una distancia de 50 metros para cada portal a partir de donde inicia y termina el túnel.

La carretera que es lo penúltimo del levantamiento se obtiene todos los datos de la autopista Tenango-Ixtapan de la Sal, así como lo referente al puente que son alerones, curva, y cualquier obstáculo que interfiera en la construcción.



Imagen VII.4.1.5. Autopista Tenango-Ixtapan de la Sal



Imagen VII.4.1.6. Ubicación del área de maniobras

En la imagen se puede apreciar una casa ubicada al centro de donde pasara la autopista, está ubicada en el portal Ixtapan, se considera en el levantamiento ya que se abrirá el portal hasta la casa, lo cual es necesario referenciarla en la planta, así como el paradero de santa María Aránzazu.

VII.4.2. LIMPIEZA Y DESPALME DEL LUGAR (PRELIMINARES)

Ya autorizada la obra para la constructora, se realiza limpieza del terreno, en donde se comenzarán a ejecutar los trabajos del hincado de la tubería, es necesario retirar pequeñas cantidades de arbustos, pasto, hierba, movimiento de postes del derecho de vía, así como retirar la piedra del talud, ya que es necesario si no sería un obstáculo que generaría problemas para el hincado de la tubería. Esta limpieza fue para ambos portales así como lo más cercano a obstaculizar entrada de equipo de maquinaria.



Imagen VII.4.2.1. Lugar de construcción de túnel

Como podemos observar la maleza antes de comenzar con los trabajos, es un impedimento para las labores del hincado de la tubería, por lo que fue necesario retirarla a mano con ayuda de palas, picos y machetes.

Aquí los avances ya son mayores se comienza a retirar la mayoría de hierba, piedra, mangueras de agua potable que atraviesan por la zona, postes del derecho de vía y basura en general. Se aprecia el acceso a viveros que es el lugar por donde los pobladores ingresan a sus cultivos, los cuales se encuentran paralelos a la autopista.



Imagen VII.4.2.2. Corte de hierba en talud



Imagen VII.4.2.3. Limpieza del portal Ixtapan

Retirando la piedra del talud, esto porque al hincar la tubería se tendría problemas con los tubos alguna roca podría desviarlo o en su caso doblarlo e impedir su entrada hacia el terraplén, es por eso que mejor se hace esa limpieza para impedir imprevistos por causa de la piedra sobre el talud y dejar libre el material para tener un mejor hincado.



Imagen VII.4.2.4 Retirando piedra de talud



Imagen VII.4.2.5. Talud limpio para hincado de tubería

Ya descubierto por completo el talud ahora si se comenzará con el hincado de la tubería en su parte superior y lateral para el ademe perdido. Esto por el portal Ixtapan ya que es donde se realizará el frente de ataque debido a que tenemos más espacio de maniobras.

VII.4.3. LLEGADA DE LA MAQUINARIA PESADA Y SEÑALAMIENTO VIAL

Con la limpieza en la zona de construcción es necesario la llegada de maquinaria pesada, la cual será encargada de realizar junto con el personal los trabajos a ejecutar, entre ellas se encuentra una Excavadora CAT 225, la cual será la encargada de hacer la excavación, como se le conoce en túneles será una pala mecánica, una Retroexcavadora CAT 446B y una CAT 416B, estas son las máquinas encargadas de la excavación y maniobras, por otra parte están los compresores de la marca Sullair 750, plantas de luz, generadores de energía eléctrica, plantas de soldar, piloteadoras Hercules y Kolos encargadas del hincado de tubería y viguetas, equipo para concreto lanzado, andamios y tubería pequeña así como las viguetas guía.

También es requerido el señalamiento vial entre ellos: Trafitambos, conos, placas de "Obra en Construcción" a 50m, 100m, 250m, 500m, 750m, 1000m en los dos sentidos de la autopista, "Disminuya su velocidad" 50km/h, "Hombres trabajando", indicadores de obstáculos a cada 10 metros y a 250 metros apartir de la obra, estos señalamientos que estarán día y noche para prevenir a los conductores y evitar cualquier tipo de accidente que la obra pudiera generar.



Imagen VII.4.3.1. Llegada de la Excavadora Cat 225

La maquinaria se encuentra en Cuernavaca, Morelos lugar donde se encuentra la bodega de almacenaje de la constructora, fue transportada en camas bajas (lowboy), Tracto camion y camionetas de la constructora, hasta el Estado de México lugar de la ejecución de la obra.



Imagen VII.4.3.2. Excavadora CAT 225



Imagen VII.4.3.3. Compresor sullair 750



Imagen VII.4.3.4. Generador y planta de soldar



Imagen VII.4.3.5. Señalamiento vial



Imagen VII.4.3.6. Área de maniobras y almacenaje de maquinaria

VII.4.4. TRAZO: DEL EJE DEL TÚNEL, DEL INICIO Y FINAL DEL TÚNEL Y DE LOS EJES Y NIVELES DE HINCADO DE LA TUBERÍA PARA ADEME

Continuando con la construcción del túnel, viene la parte del trazo de ejes lo cual es de lo más importante en el proceso debido a que debe ubicarse con exactitud cada eje de la tubería, tanto lateral como superior, el trazo de ejes se ubicó a partir del centro de túnel, se colocaron marcas en la banqueta sobre el alineamiento de cada tubo con clavos y pintura en aerosol en los 2 portales tanto Tenango como Ixtapan de la sal, también se marcó el inicio y final del túnel encalando y colocando estacas de referencia, se marcaron los niveles correspondientes de la tubería con la pendiente correspondiente para que se comenzaran a realizar las coyoteras como se le conoce en túneles.



Imagen VII.4.4.1. Trazo de ejes



Imagen VII.4.4.2. Alineamiento del primer tubo



Imagen VII.4.4.3. Niveles de tubería



Imagen VII.4.4.4. Línea y nivel de tubo

VII.4.5. HINCADO DE TUBERÍA DE ACERO, SUPERIOR Y LATERAL PARA ADEME PERDIDO DEL TÚNEL.

El túnel se construirá utilizando un ademe primario perdido previo a la excavación, en el cual la sección será ademada por tubos de acero previamente hincados.

La tubería de acero al carbón será de recuperación ya que esta se utilizará como ademe primario perdido entre el revestimiento y el terreno natural del terraplén dentro de la excavación del túnel.

El diámetro de la tubería de acero será de 24", con un espesor de $\pm 3/8$ " en techo y laterales del paso, al ser suministrada la tubería se apilará en los patios previamente designados por la dependencia a pie de obra.

La unión de las tuberías que se utilice, se realizará por medio de arco eléctrico con electrodo E-7018 en cordón de relleno y de vista y electrodo E-6010 para cordón de fondo. Se debe considerar el uso de plantas de luz para el abastecimiento de energía eléctrica o plantas de soldar con motor de gasolina o diésel, así mismo se debe considerar los cortes y biselados en "v".

La excavación en trinchera se puede realizar en una sola etapa en toda la sección requerida para la instalación de las guías metálicas utilizadas para el hincado del ademe metálico perdido.

Esta excavación se hará con medios mecánicos, su extracción y carga a camiones volteo para su depósito final a 1.0 km contados a partir de los portales de entrada y salida del túnel se hará con un cargador frontal.

El depósito final a una distancia no mayor de 1.0 km del material excavado, será el que indique la supervisora o la dependencia.

El hincado horizontal se realizará por medio de máquinas de percusión neumática, debiéndose considerar en el precio estructuras, equipos de suministro de aire comprimido con capacidad para poder realizar el hincado y trabajos adicionales necesarios para poder llevar a cabo el hincado.

El hincado se realizará en tramos previamente empatados según lo marque el proyecto. Las estructuras e instalaciones que se utilicen deben garantizar el alineamiento y nivelación de la tubería durante su hincado.

Se considerará las camas de hincado de estructuras metálicas armables necesarias para alcanzar el nivel de hincado y el acondicionamiento de accesos del acotamiento de la autopista al lugar de ejecución de los trabajos de hincado.

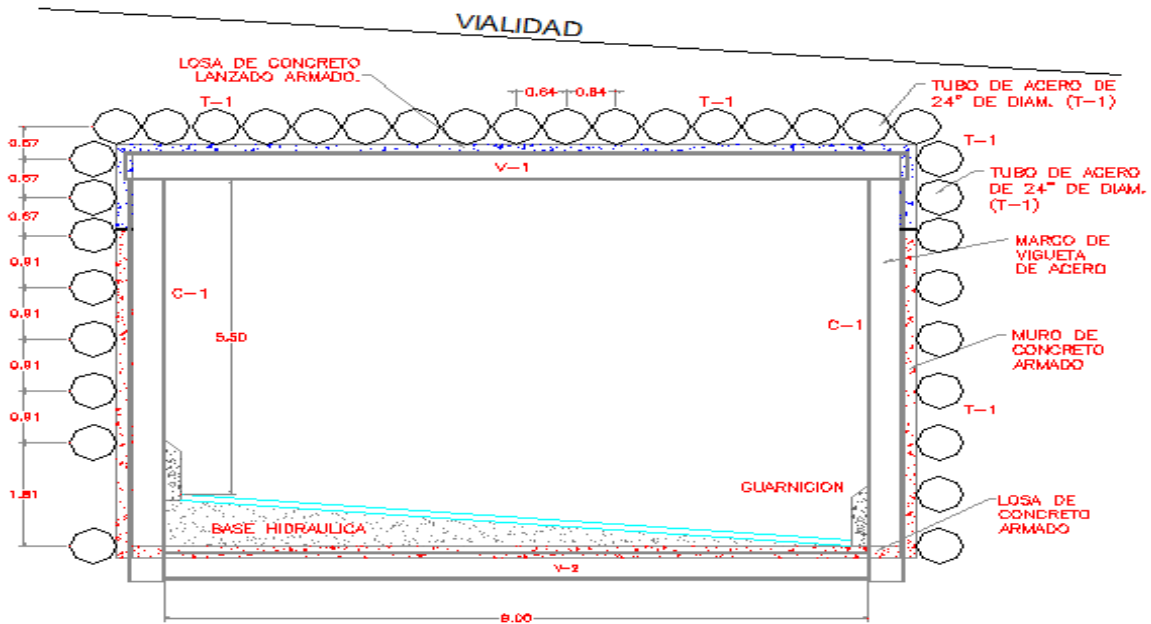


Figura VII.4.5.1. Sección transversal del túnel en el km 21+060

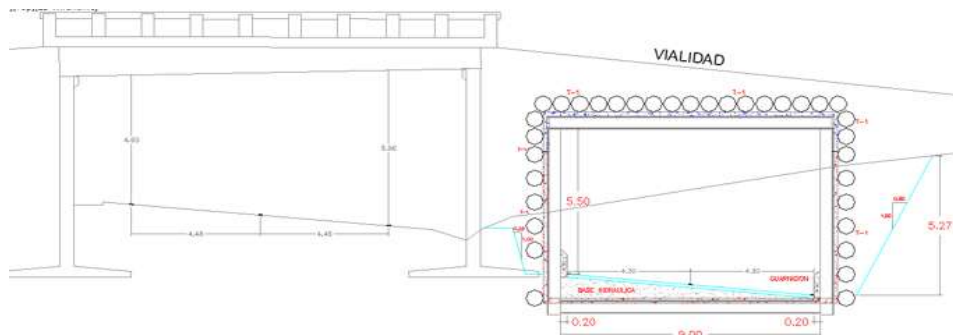


Figura VII.4.5.2. Corte A-A' (Vista Tenango-Ixtapan)

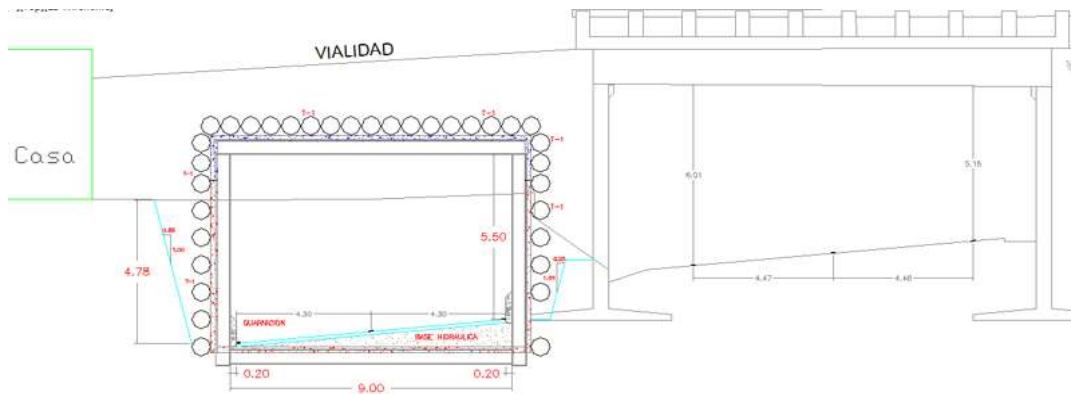


Figura VII.4.5.3. Corte B-B' (Vista Ixtapan-Tenango)



Para iniciar las labores del hincado, es necesario tener un lugar de asignación de descarga a pie de obra, por lo que se autorizó se acondicionara el acotamiento de la autopista para comenzar con las maniobras de descarga de tubería, lo cual llevo a utilizar tubo de 10" de diámetro y colocado sobre la cuneta, donde en cada unión se construyeron cabezales para posteriormente despallar y rellenar con material propio de la obra para estacionamiento de los tracto camiones con la tubería.

Imagen VII.4.5.4. Acondicionamiento para descarga

Ya acondicionada el área de descarga, comienza la llegada de la tubería procedente de Cuernavaca Morelos, se necesitó de bandereros y señalamiento para cruzar los tracto camión y mantener a los automovilistas alertas de cualquier accidente que las maniobras de descarga pudieran generar.



Imagen VII.4.5.5. Zona de descarga



Imagen VII.4.5.6. Descarga de tubería

El procedimiento de descarga es realizado con una Excavadora y con personal de maniobras, se utilizan estrobos y grilletes para sujetar el tubo y son colocados en el patio de almacenaje.



Imagen VII.4.5.7. Almacenaje de tubería



Imagen VII.4.5.8. Hincado de tubos 10"

La tubería de hincado estuvo llegando cada semana debido a que por razones de tráfico de la autopista solo cierto día y hora se podría maniobrar. El tubo se apilo en los patios de obra para de ahí ser alcanzados fácilmente por la maquinaria y colocados en las camas guía para su hincado.

Para comenzar con el hincado, es necesario el hincado de tubería de 10" de diámetro en forma vertical y fuera del portal para hacer unas ménsulas y sobre ellas colocar la viga guía, el hincado se realiza con máquina de percusión neumática llamada piloteadora de nombre **HÉRCULES**, es un equipo alemán.



Imagen VII.4.5.9. Tubo montado en viga

Ya montado el tubo sobre la viga, se le coloca la piloteadora **KOLOSS** que será la encargada del hincado de la tubería tanto lateral como superior, esta trabajara con un compresor marca SULLAIR 750 que es la potencia del compresor, la piloteadora es asegurada con bandas y tirfor para evitar brinque y mueva la tubería.

Una vez que ya se armaron las ménsulas, se colocan sobre ellas una viga guía por donde correrá el tubo junto con la piloteadora con la pendiente correspondiente sobre las ménsulas que es del 2% están completamente soldadas para evitar se mueva y la línea de eje sea la marcada, por lo que antes de comenzar el hincado se revisa el eje al centro del tubo así como su pendiente.



Imagen VII.4.5.10. Instalación koloss



Imagen VII.4.5.11. Hincando tubería con Koloss

La tubería varía en su longitud por lo regular son de 12 metros, lo que lleva a que solo se realice un empate de tubo, en ocasiones hasta 2 o 3 debido a las longitudes de la tubería, el promedio de tiempo para el hincado de cada tubo es de aproximadamente 1 a 2 horas, pero en ocasiones el tipo de terreno reduce la eficiencia y es necesario hasta alrededor de 3 horas en tramos de 12 metros.



Terminado el hincado del primer tubo se procede a empatar otro tubo en donde se utiliza soldadura E-7018, E-6010, esto se hace hasta que la longitud sea la necesaria hasta llegar al otro extremo y así repetitivamente para cada línea de tubos, en la parte superior se aplica concreto lanzado con malla 6-6/6*6 y anclas de varilla 3/8" de 50 cm estas solo para sostener la malla, esto se hace para evitar el desprendimiento de material.

Imagen VII.4.5.12. Empate de tubería

Para el hincado de la tubería lateral derecho, fue necesario la demolición de una parte del alerón del puente lo cual se requirieron pistolas neumáticas SBR-H, retroexcavadora con martillo hidráulico así como equipo de corte (oxígeno + acetileno) para corte de acero de refuerzo.



Imagen VII.4.5.13. Demolición alerón



Imagen VII.4.5.14. Perfil de alerón

La demolición de alerones se hizo para los 2 portales debido a que eran obstáculo en el eje de la tubería lateral derecha, es por eso que con ayuda de la retroexcavadora CAT 446B y con un martillo hidráulico se hizo la demolición de una franja del alerón.

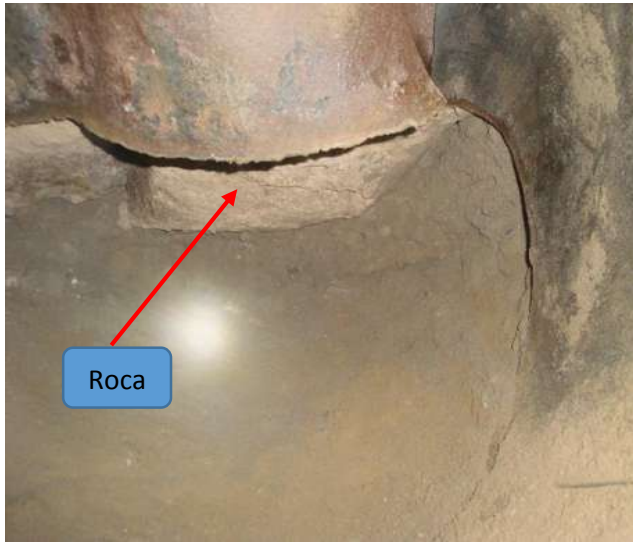


Imagen VII.4.5.15. Tubo doblado

Ya perfilado el alerón se retira todo el escombro y varilla restante y se colocan las camas para las vigas guía, para continuar con el hincado de los tubos laterales, la demolición se hace también para el portal Tenango ya que a la salida de la tubería puede doblarlos y en consecuencia cambiar su dirección.

En el hincado se pueden presentar el desvío de la tubería debido a que se interponga con alguna roca o cualquier tipo de obstáculo. Como en la imagen se aprecia una roca dobla el tubo por lo cual fue necesario vaciarlo manualmente y cortar hasta la parte afectada, posteriormente demoler la roca con pistolas neumáticas.



Imagen VII.4.5.16. Hincado lateral derecho



Imagen VII.4.5.17. Excavación en trinchera

Para el hincado de los tubos laterales del lado derecho se hace la excavación en trinchera en donde el material es depositado a un kilómetro de distancia del lugar asignado por la dependencia para el tiro del material producto de desperdicio.



Dando niveles y línea del eje para el último tubo ya que éste pasara por debajo de la zapata del alerón del lateral derecho, mediante 8 tubos.

Imagen VII.4.5.18. Nivel de último tubo



Imagen VII.4.5.19. Ademe de tubería perdida

Para el ademe superior se colocaron 17 tubos horizontales los cuales sus medidas fueron entre 18 y 18.50 metros de longitud, para los laterales derechos se colocaron 8 tubos de 22.30 metros ya que se ahorró un tubo debido a que la zapata del puente sirvió como ademe, para laterales izquierdo fueron 9 y su longitud fue de 22.70, en este lateral solo se colocaron 3 antes de comenzar con la excavación en trinchera debido a que primero se debe proteger el acceso a los viveros, donde se hincarán viguetas y se armarán tableros para posteriormente colocar anclas de 6 metros de profundidad y concreto lanzado para estabilizar el terreno.

VII.4.5.20. TIPOS DE PILOTEADORAS (GRUNDORAM)

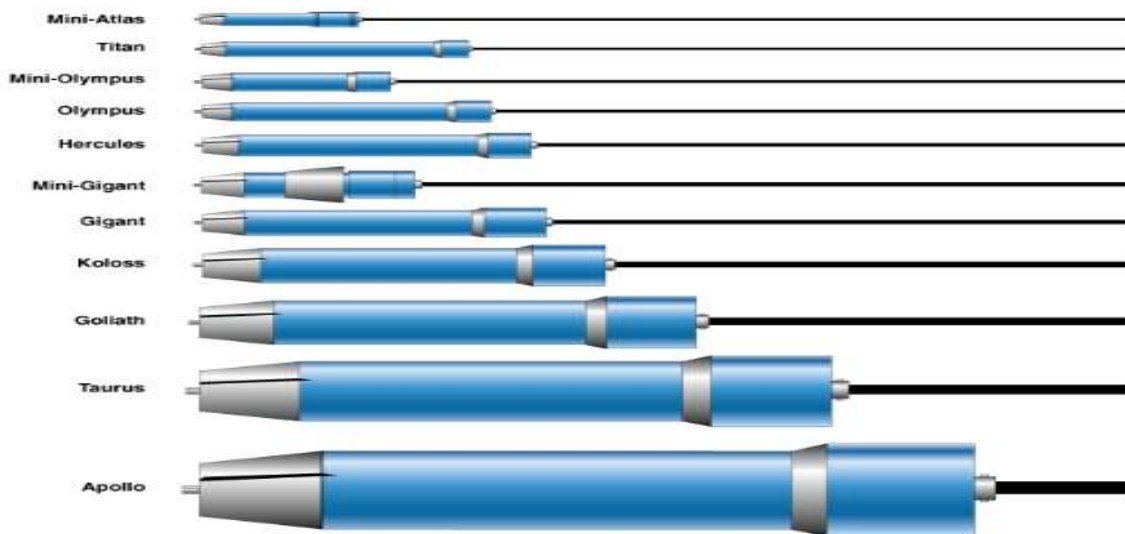


Imagen VII.4.5.20.1. Piloteadoras más usuales

MODELO	Diámetro (mm)	Largo (mm)	Peso Kg	Golpes por minuto	Consumo de aire (cfm)	Recomendado para Tubos Diám. (mm)	Long. Máx. Diám. (m)
Mini-Atlas	125	946	60	580	60	50-200	15
Titan	146	1,545	137	310	141	200-400	25
Mini-Olympus	180	1,080	175	500	124	100-400	25
Olympus	180	1,690	230	280	177	200-500	35
PCG180	180	1,690	222	280	159	200-500	35
Hercules	216	1,913	368	340	282	300-500	40
HV220	224	2,010	429	300	282	300-500	40
Mini-Gigant	270	1,230	460	430	353	200-600	35
Gigant	270	2,010	615	310	424	400-800	50
PCG270	280	2,134	699	310	242	400-800	50
Koloss	350	2,341	1,180	220	70	500-1200	70
KV350	381	2,591	1,531	220	706	500-1200	70
Goliath	460	2,852	2,465	180	1,236	600-1400	80
Goliath	460	2,852	2,465	180	1,236	600-1400	80
Taurus	600	3,645	4,800	180	1,766	1400-2000	80
Apollo	813	4,420	11,500	180	3,500	1400-3050	80

Tabla VII.4.5.20.2. Especificaciones de las piloteadoras

VII.4.5.21. ESPECIFICACIONES DE TUBERIA PARA ADEME PERDIDO



TUBERIA DE ACERO AL CARBONO
API 5L / ASTM A53 / A106

www.vemacero.com

Diámetro Nominal NPS DN		Diámetro Exterior Real		Espesor de Pared		Identificación		Peso del Tubo		ASTM A53 PRESION DE PRUEBA			
Pulgadas in.	Milímetros mm.	(in.)	mm.	Pulgadas (in.)	Milímetros (mm.)	Weight Class	Schedule	lb/pie	kg/m	Grado A		Grado B	
										psi	Kg/cm ²	psi	Kg/cm ²
24	600	24.000	609.6	0.250	6.35	-	10	63.41	94.46	380	27	440	31
				0.281	7.14	-	-	71.18	106.08	420	30	490	34
				0.312	7.92	-	-	78.93	117.51	470	33	550	39
				0.344	8.74	-	-	86.91	129.50	520	37	600	42
				0.375	9.52	STD	20	94.62	140.88	560	39	660	46
				0.406	10.31	-	-	102.31	152.37	610	43	710	50
				0.438	11.13	-	-	110.22	164.26	660	46	770	54
				0.469	11.91	-	-	117.86	175.54	700	49	820	58
				0.500	12.70	XS	-	125.49	186.94	750	53	880	62
				0.562	14.27	-	30	140.68	209.50	840	59	980	69

Tabla VII.4.5.21.1. Especificación tubo 24"

Normas de Fabricación ASTM A53

Los tubos para conducción de fluidos tales como agua, vapor, gas y aire a altas presiones, son fabricados bajo la norma ASTM A 53. Estos tubos son aptos para operaciones que involucran doblado, rebordeado y cualquier otra formación en frío.

Para validar las exigencias de las normas, el fabricante realiza ensayos y verificación en los tubos procesados en sus instalaciones. En el caso de conducción de fluidos se realizan ensayos dependiendo de la designación comercial del tubo.

Para Designaciones Comerciales Mayores a 50 DN (1) NPS (2): ensayo de aplastamiento, ensayo de tracción para determinar propiedades mecánicas, análisis químico, ensayo de ultrasonido al cordón de soldadura, verificación dimensional del tubo, ensayo gravimétrico, ensayo metalográfico, prueba hidrostática, ensayo no destructivo e inspección visual.

Para Designaciones Comerciales Menores o Iguales a 50 DN (1) NPS (2): ensayo de expansión, ensayo de doblado, ensayo de tracción para determinar propiedades mecánicas, análisis químico, verificación dimensional del tubo, prueba hidrostática,

ensayo gravimétrico, ensayo metalográfico, ensayo no destructivo e inspección visual.

Condiciones de Extremos

Biselados o Refrentados.

Roscados (según norma ANSI B1.20.1).

Acabados

Negro (acabado de laminación o con protección de aceite inhibidor de la oxidación).

Galvanizado (recubiertos de Zinc).

Barnizado (película protectora para conservación de los tubos en traslados bajo condiciones especiales o por requerimientos del cliente).

El galvanizado del tubo en su superficie interna y externa se realiza a través de un proceso de inmersión en caliente ("Hot-Dip")

(1) DN: Designación comercial del producto en milímetros.

(2) NPS: Designación comercial del producto en pulgadas.

Norma de Fabricación	Grado del Acero	Limite de Fluencia		Resistencia a la Tracción			
				Mínimo		Máximo	
		Mpa	psi	Mpa	psi	Mpa	psi
ASTM A53 Tipo E (ERW)	A	205	30,000	330	48,000	--	--
	B	240	35,000	415	60,000	--	--

Tabla VII.4.5.21.2. Propiedades mecánicas

Norma de Fabricación	Grado del Acero	Porcentaje Máximo de los Elementos			
		C	Mn	P	S
		Carbono	Manganeso	Fósforo	Azufre
ASTM A53 Tipo E (ERW)	A	0,25	0,95	0,05	0,045
	B	0,30	1,20	0,05	0,045

Tabla VII.4.5.21.3. Requerimientos químicos

Normas de Fabricación

Los tubos de línea se fabrican de acuerdo a la norma API 5L, 43^a edición, sin embargo, a solicitud del cliente y previo acuerdo con **Industrias Unicon, C.A.**, se pueden satisfacer requerimientos especiales y/o adicionales, así como normas específicas del cliente.

Nivel de Especificación de Producto

La norma API 5L establece dos niveles de especificación de producto, PSL 1 y PSL 2 (Product Specification Level, PSL por sus siglas en inglés). Estas dos designaciones definen diferentes niveles de requerimientos de especificaciones técnicas.

Requerimientos Químicos por Colada y Análisis de Producto en Porcentaje en Peso

PSL 1						
Grado	C Carbono % Máximo ^a	Mn Manganeso % Máximo ^a	P Fósforo % Máximo	S Azufre % Máximo	Ti Titanio % Máximo	Otros % Máximo
B	0,26	1,20	0,030	0,030	0,04	b, c, d
X42	0,26	1,40	0,030	0,030	0,04	c, d
X52	0,26	1,40	0,030	0,030	0,04	c, d
X60 ^f	0,26	1,40	0,030	0,030	0,04	c, d

PSL 2						
Grado	C Carbono % Máximo ^a	Mn Manganeso % Máximo ^a	P Fósforo % Máximo	S Azufre % Máximo	Ti Titanio % Máximo	Otros % Máximo
B	0,22	1,20	0,025	0,015	0,04	d, e
X42	0,22	1,30	0,025	0,015	0,04	c, d
X52	0,22	1,40	0,025	0,015	0,04	c, d
X60 ^f	0,22	1,40	0,025	0,015	0,04	c, d

Notas:

a) Por cada reducción de 0,01% por debajo del máximo contenido de carbono especificado, se permite un incremento de 0,05% por encima del contenido máximo de Mn especificado, hasta un máximo de 1,50% para los grados X42 a X52 y hasta un máximo de 1,65% para el grado X60.

b) La suma de Columbio (Niobio) y Vanadio no debe exceder de 0,03% excepto que, por acuerdo entre el fabricante y el comprador, se establezca una alternativa máxima.

c) A juicio de **Industrias Unicon, C.A.**, se pueden utilizar Columbio (Niobio), Vanadio o una combinación de éstos.

d) La suma de Columbio (Niobio), Vanadio y Titanio no debe exceder de 0,15%.

e) La suma de Columbio (Niobio) y Vanadio no debe exceder de 0,06% excepto que, por acuerdo entre el fabricante y el comprador, se establezca una alternativa máxima.

f) Otras composiciones químicas pueden ser suministradas previo acuerdo entre la acería e **Industrias Unicon, C.A.**

Fuente: API 5L, 43a edición, y catálogo Industrias Unicon, C.A. Petróleo v1.0

Tabla VII.4.5.21.4. Normas de fabricación API 5L

VII.4.6. CONSTRUCCIÓN DE MURO DE CONTENCIÓN PARA PROTECCIÓN DE CAMINO DE ACCESO A INVERNADEROS, FRENTE A LA CASA UBICADA A UN LADO DEL PORTAL IXTAPAN.

Una vez trazado el eje de la curva para el nuevo acceso a los invernaderos se procedió al hincado de viguetas las cuales son de las siguientes características, se utilizaron 16 viguetas IPR de 10"x5 de 3/4" en (49.60 kg/m), por 8 metros de longitud y a 1.35 metros de separación a partir del túnel hacia los invernaderos, las cuales se hincaron con la piloteadora Hércules, para la parrilla se utilizó en el sentido vertical varilla del # 4 (1/2"), en el sentido horizontal varilla # 6 (3/4"), se colocaron anclas de fricción en cada vigueta y fueron 4 de 1" por 6 metros de profundidad en una perforación de 3" y con una inclinación de 10° para inyectar con un mortero de cemento-arena 1:3, la varilla fue soldada en placa de 3/4" y a la vigueta, también se hicieron drenes de tubo de pvc de 3" x 2 metros de profundidad ranurado y forrado con Geotextil de 175 gr/m², el muro fue de espesor de 15 cm con concreto lanzado, fue necesario reubicar el acceso a los invernaderos, por lo que se reubico un canal de riego secundario de sección rectangular de 0.50 metros de ancho por 0.40 metros de profundidad, por lo que se encamizó en tubo de acero de 10" de diámetro y se colocó en una nueva dirección al existente, se colocó un tubo de acero al carbón de 42" de diámetro sobre el canal primario con cabezales a cada extremo para en su parte superior rellenar con material y ser compactado, donde este será el nuevo paso para invernaderos.

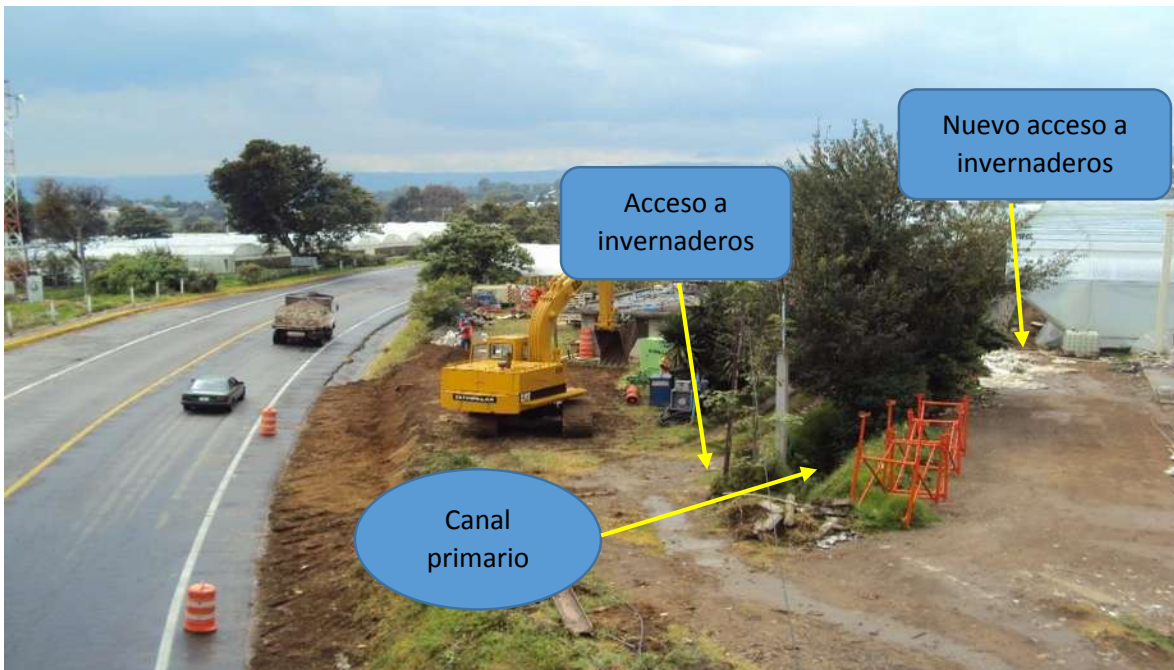


Imagen VII.4.6.1. Acceso a viveros



Se coloca un tubo de acero al carbón de 42" de diámetro sobre el canal primario, por aquí será el nuevo acceso a los invernaderos, debido a que el paso anterior será excavado para la construcción del túnel, esto solo es para el paso del canal, el acceso principal es atrás y es a base de trabes y diafragmas con una losa de concreto.

Imagen VII.4.6.2. Nuevo acceso

En cada extremo se colocan cabezales para trabar el tubo con el material, ya relleno se compacta el material con un vibro compactador, en donde los usuarios y dueños de invernaderos podrán tener el nuevo acceso y evitar molestias generadas por la obra y sin interrumpir su acceso.



Imagen VII.4.6.3. Compactación de material



Como se puede ver el acceso quedo en buen estado y con una curva considerable, esto solo es para el acceso a invernaderos después del túnel, el acceso principal será una estructura en trabes y diafragmas.

Imagen VII.4.6.4. Acceso a invernaderos



Imagen VII.4.6.5. Acceso principal

La demolición del muro se hace con pistolas neumáticas, se instala la tubería y se hacen nuevos registros de 0.60 x 0.70 metros para el nuevo canal secundario para evitar se tape la tubería y poder limpiar el tubo, se rellena el acceso y nivela para dar entrada a los usuarios de los invernaderos con esto se evitará sea interrumpida la zona del hincado.



Imagen VII.4.6.6. Demolición de muro



Imagen VII.4.6.7. Acceso principal a invernaderos

Para el acceso principal es necesario demoler el muro de mampostería debido a que el acceso quedara reducido y será recorrido, quedara de la línea blanca hasta la casa, esto porque el eje del túnel del lateral izquierdo llega al acceso y por lo que lleva a modificarlo, se coloca un tubo de 10" para pasar el agua del canal secundario debido a que el existente es de sección rectangular y será demolido.

Reubicado el nuevo acceso se procede al hincado de los laterales izquierdos, que son 3 los que se pueden hincar antes de comenzar con la excavación, posteriormente se comienza el hincado de viguetas para estabilizar el talud del acceso a los invernaderos.

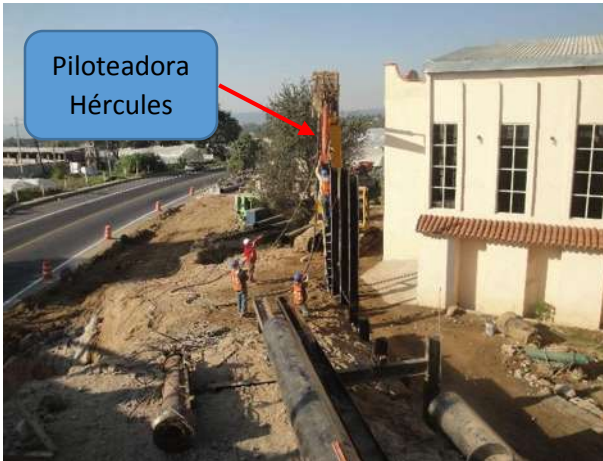


Imagen VII.4.6.8. Hincado de viguetas

Ya hincadas las viguetas se comienza la excavación en trinchera para seguir con el hincado de los tubos laterales izquierdos, al ir abriendo se coloca malla de gallinero en los muros y se va repellando las paredes con cemento-arena 1:3 para evitar la contaminación del acero. Sobre las viguetas se soldan otras en sentido horizontal para sentar la viga guía y dirigir la tubería.



Imagen VII.4.6.9. Repellado de muros



Imagen VII.4.6.10. Hincado lateral izquierdo

Para la protección de la casa se hincaron 16 viguetas IPR 10"x5 x 3/4" en (49.60 Kg/m). Se hincaron con la piloteadora Hércules y con el compresor Sullair 750, tienen una longitud de 8 metros y se hincaron a 1.35 metros de separadas iniciando del túnel hacia los invernaderos siguiendo la curva para el nuevo acceso a invernaderos.

En la parte superior se coloca una protección provisional de tubería de 2" y 10" de diámetro, se continúa con la excavación y a cada 1.50 metros se repella y continúa el hincado de tubería, hasta llegar al último tubo que se hincará.



Imagen VII.4.6.11. Armado en muros

Continuando con los muros se aplica concreto lanzado con un espesor de 15 cm y con una resistencia $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$ para el concreto lanzado se sacan artesas para llevar al laboratorio y extraer núcleos y con esto verificar la resistencia a la compresión para ciertas edades. El concreto lanzado es **via seca** con ayuda de máquina para lanzado de concreto llamada **meynadier** o mejor conocida en obra como **aliva**.



Imagen VII.4.6.12. Lanzado de concreto



Imagen VII.4.6.13. Muros lanzados

Después del repellado en los muros se comienza con el armado se coloca solo una parrilla en el sentido horizontal se utiliza varilla del #6@20 y en el sentido vertical del #4@20, la varilla en el sentido horizontal va soldada a las viguetas.

Durante el lanzado se dejan preparaciones con tubos de PVC de 2" de diámetro para posteriormente después de terminar el lanzado se hagan las perforaciones para la colocación de anclas. Se continúa con la excavación ya protegida cierta parte de los muros para continuar con otra etapa de armado y lanzado.



Las perforaciones se realizan con una perforadora neumática de nombre **Stenuick**, se colocaron 4 anclas en cada viga a partir de la tubería que será para el desvío del canal primario, se colocaron 3 anclas a una distancia de 0.90 metros una de otra y la última a 1 metro, el tipo de ancla son anclas de fricción de 1" de diámetro por 6 metros de anclaje en perforación de 3" de diámetro en cada viga hincada y se inyectaron con cemento-arena 1:3 se les colocó una placa de acero de 20x20x1.27 cm soldada a la varilla y a la viga IPR.

Imagen VII.4.6.14. Perforación para anclas

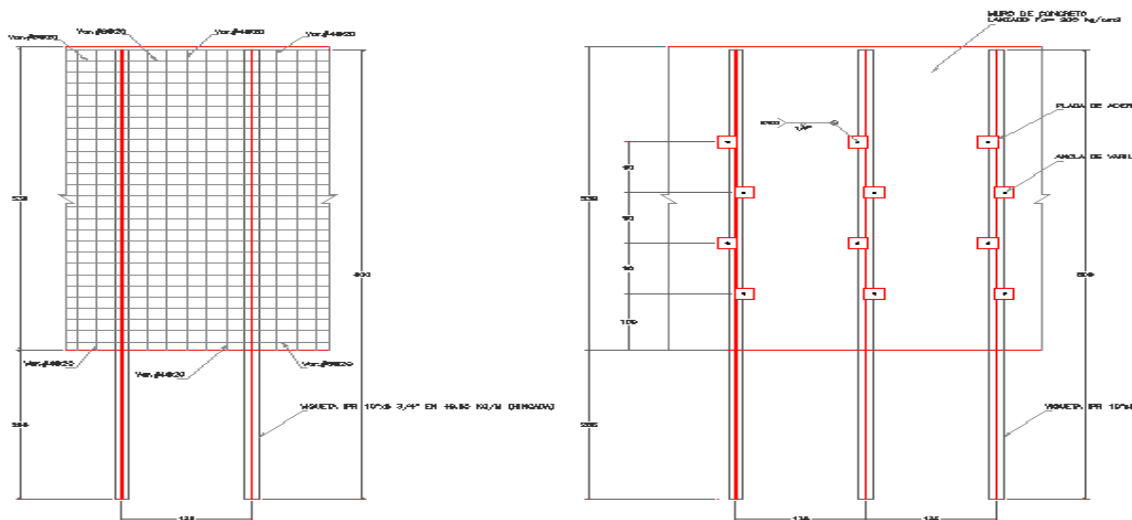


Figura VII.4.6.15. Muro de concreto lanzado y anclaje de muro

Hasta esta parte del muro de contención se puede decir que aún no está concluido, ya que falta un voladizo a base de traveses y diafragmas de concreto así como una losa en forma de abanico pero este será construido al finalizar la excavación del túnel, debido a que sería un inconveniente para los dueños de los invernaderos detener el tráfico por un par de semanas más. La información y fotografías podremos verla más adelante cuando se trate el tema de ampliación en el acceso a invernaderos.

VII.4.7. DESVIACIÓN DE CANAL PRIMARIO PARA CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL.

Dentro de los problemas que se presentaron en la construcción del túnel se encuentra la reubicación del canal primario, lo cual es el principal obstáculo para la excavación debido a que se encuentra ubicado al centro del eje del túnel, su reubicación consistió en desviar un canal de sección trapezoidal que llega hasta la caja de distribución ubicada en el portal Tenango, después de la caja su distribución es en tubería de concreto de 51" de diámetro que reparte agua de riego para la población de Santa María Aránzazu y Villa Guerrero por lo cual es necesario retirar tanto la tubería, 2 cajas de distribución y 2 sifones. El procedimiento a seguir para la desviación fue: en primer lugar se habló con la población para informarles los pasos a seguir sin afectaciones es decir sin retirarles el recurso del agua, debido a que es utilizada las 24 horas, la comunidad accedió con delegados de gobierno aceptar la propuesta de desvió provisional siempre y cuando a la par con la construcción del túnel se construyera un canal de riego nuevo paralelo a la autopista, en donde ellos pedían 110 metros de canal a cielo abierto y 290 metros en tubo ADS, por lo que la gente de gobierno accedió celebrando un nuevo contrato con la constructora para la llamada nueva línea de riego.

Ya con los permisos y autorizaciones por parte de gobierno y de los pobladores se comenzó a construir una caja de distribución provisional fuera del eje del túnel en el portal Tenango. La caja fue armada con varilla de 3/8" sus muros de 15 cm y con concreto $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$ se le dejó 2 disparos en tubo de acero de 24" de diámetro para abastecer a Villa Guerrero y 1 disparo en tubo de 16" para Santa María Aránzazu todo esto con su respectivo gasto obtenido de la caja con que ellos contaban, se utilizaron las mismas medidas para su construcción, los tubos de 24" de diámetro fueron conectados a 2 tubos perdidos del ademe, por ahí se pasara el agua mientras se termina de construir el nuevo canal y continuar con la excavación en el túnel.

El primer paso para conectar los tubos de 24" fue vaciar los tubos 5 y 6 de los laterales izquierdos debido a que son los que se encuentran a nivel con el canal que se desviará, se vaciaron manualmente retirando todo el material, continuando se pintaron con esmalte anticorrosivo. Ya teniendo listos los tubos del ademe perdido se empataron con tubería que cuelga del muro de contención para acceso, estos tubos descansan sobre ménsulas de vigueta y tubo y van abrazados con una solera soldada a las viguetas hincadas.



Imagen VII.4.7.1. Desvío de canal primario

Los tubos para el desvío del canal son tubos de acero al carbón del mismo diámetro que la tubería perdida 24" su longitud es la misma que el muro de contención para descargar más adelante en una zona que no afecta la excavación, van montados sobre ménsulas compuestas por un tubo de acero de 3" x 1/4" y una vigueta de acero de 6", entre tubo y tubo para la desviación se les coloco una placa de acero de 25x14x1.27cm a cada 1.35 metros para evitar sean flexionados por la carga de agua, también se les coloco una solera de 2" x 3/8" para abrazar los tubos y evitar movimientos, se soldaron sobre la vigueta vertical y la horizontal de la ménsula.

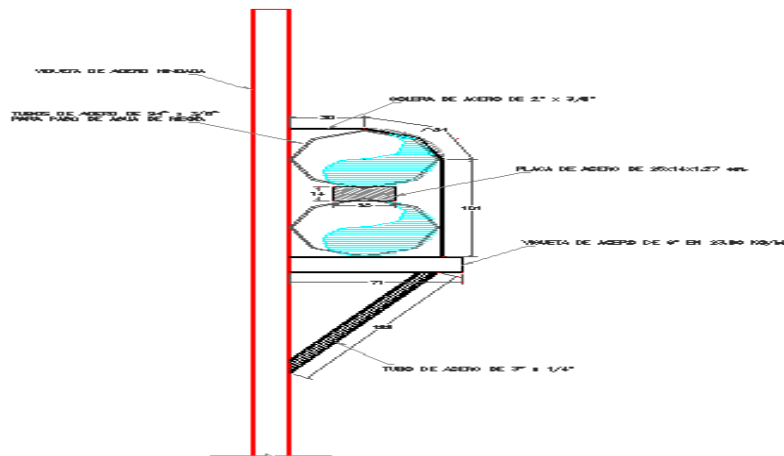


Figura VII.4.7.2. Soporte de la tubería de acero en zona de viguetas (alzado)



Imagen VII.4.7.3. Cambio de descarga

Como se puede observar en la imagen aquí la tubería la tiene la misma curva que el muro por lo que se refiere al portal Ixtapan de la sal esta lista la tubería completamente soldada y revisada de cualquier tipo de anomalía que pudiera presentar alguna fuga de agua pintada con esmalte anticorrosivo y completamente limpia de material.



Imagen VII.4.7.4. Tubería portal Ixtapan



Imagen VII.4.7.5. Construcción de caja de distribución.

Después de estar instalados los tubos se recorrió el canal para que arranque a partir de donde está el árbol y de ahí comience la descarga de la tubería, debido a que donde se encontraba actualmente quedaba en parte de excavación, se colocó costalera de arena y posteriormente se hizo un muro de mampostería.

Mientras tanto para el portal Tenango se requiere la construcción de una réplica de la caja de distribución original que se construirá del lado derecho en el sentido Tenango- Ixtapan de la sal, para la desviación provisional, la caja será a base de muros armados con varilla de 3/8" de doble parrilla y con un concreto de $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$ tendrá 2 tubos de 24" para santa maría y 1 de 16" para Villa Guerrero.



Imagen VII.4.7.6. Construcción de caja

Era necesario construir una caja provisional para poder desviar el agua por lo que se tenía que hacer bien, lo cual llevo a hacer muros de concreto armado, con varilla de 3/8" y un espesor de 15 cm para una resistencia de $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$



Imagen VII.4.7.7. Armado de caja provisional



Imagen VII.4.7.8. Excavación para tubos

Como se puede observar se necesita demoler el muro para que el agua pase para la caja de distribución, pero aún no está terminada por lo que al finalizarlas se demolerá. Se interrumpirá el agua sobre la tubería y las cajas de distribución y pasara por la nueva caja. Ya terminado y bien taponeado que no se presenten fugas se podrá comenzar con la excavación y se podrá demoler cajas, sifones y quitar la tubería de concreto de 51".

Se puede apreciar el tubo 5 y 6 en donde se conectaran los tubos que van de la caja de distribución y por donde pasara el agua del canal de riego, estos tubos llevaran el agua a Villa Guerrero. Se hace una excavación en trinchera para colocar los tubos de 24" para posteriormente volver a cubrir con material.



Imagen VII.4.7.9. Colocación de tubos

Terminados los muros se descimbra, ya con la tubería completamente instalada se demuele el muro para que la dirección del flujo entre por la nueva caja de distribución que será la encargada de repartir agua mientras se termina de construir el nuevo canal. La demolición se realizó con la retroexcavadora 446B Cat y con un martillo hidráulico.



Imagen VII.4.7.10. Demolición de muro de canal



Imagen VII.4.7.11. Caja en servicio

Después de colados los muros se comienza a instalar la tubería que va de la caja de distribución a conectar con los tubos perdidos del lateral izquierdo, se soldan las uniones perfectamente para evitar fugas de agua.

La nueva caja trabaja perfectamente, se revisó ya con el flujo sobre ella por lo cual ya se puede remover toda la línea vieja del canal quitando tubos así como demoler las cajas y los sifones, se le colocaron losas pre-coladas para evitar cualquier accidente de alguna caída por personal de limpieza. Se aforo para revisar que el gasto sea el mismo al anterior.



Imagen VII.4.7.12. Excavación para limpieza

Para el portal Tenango se comienzan a retirar los tubos de concreto, a partir del desvío para la caja provisional hasta la caja de distribución original. Las cajas no se demolerán hasta salir a ese portal por cualquier percance que pudiera haber con el paso provisional.



Imagen VII.4.7.13. Excavación del portal Tenango



Imagen VII.4.7.14. Retirando tubería en el portal Ixtapan

Ya en funcionamiento se comienza con la limpieza de la tubería para comenzar abrir portales para el túnel, se retira la tubería y apila que servirá como protección pero será entregada a los delegados del agua de Villa Guerrero.

En el portal Ixtapan se comienza a descubrir la tubería ya que el agua ya se encuentra circulando por el paso provisional, la tubería se apilara sobre parte de la cuneta y talud que servirá como protección contra algún auto que circule por la autopista. Después será entregada a los delegados responsables del suministro de agua a la población.

VII.4.8. EXCAVACIÓN DE MATERIAL PARA FORMACIÓN DE PORTALES DEL TÚNEL.

La excavación se hizo con medios mecánicos, su extracción y carga a camiones volteo para su depósito final a 1.0 km, contados a partir de los portales de entrada y salida del túnel se hará con un cargador frontal.



Imagen VII.4.8.1. Comienzo de excavación

Finalizada la desviación del canal primario se comenzará la excavación del portal Ixtapan de la sal, debido a que el nivel de la rasante baja de acuerdo con el nivel de la autopista existente y es por aquí donde se comenzará el frente de ataque, la excavación se realizará con una Excavadora y una Retroexcavadora para la carga de camiones volteo.

Para el acarreo del material se necesitó de camiones volteo de 7 y 14m³ los camiones utilizados fueron los del sindicato de trabajadores de Villa Guerrero Estado de México, se necesitó equipo de radiocomunicación para los bandereros, esto porque se detenía el tráfico de ambos sentidos para la entrada y salida de camiones.



Imagen VII.4.8.2. Carga de camión



Imagen VII.4.8.3. Retroexcavadora cargando

El acarreo solo se permitió fuera en ciertas horas y días, debido al tránsito vehicular con que cuenta la autopista, a lo que se le sumo el señalamiento para prevenir cualquier tipo de accidente. Estos permisos fueron otorgados por OPERVITE, que es la encargada del mantenimiento de la autopista.



Imagen VII.4.8.4. Excavadora cargando



Imagen VII.4.8.5. Portal sin tubería de agua

La tubería que se va retirando del canal primario se apilara en zonas que no perjudiquen la excavación y todo tipo de maniobras. El terreno flojo sobrante así como todo tipo de escombros y basura que pudiera generarse durante la excavación, serán retirados y enviados a una zona de depósitos finales, estos se cargarán con la maquinaria frontal.

Ya con bastante volumen de material retirado se puede dar niveles definitivos del terminado del muro de contención de la casa, así como el nivel del último tubo lateral izquierdo que este además de ser ademe, tendrá la función de desalojar las aguas pluviales. Se puede apreciar la línea de agua que fue retirada pero aun sobre la excavación se podrán ir retirando.

VII.4.9. COLOCACIÓN DE MARCO METÁLICO EN PORTAL IXTAPAN.

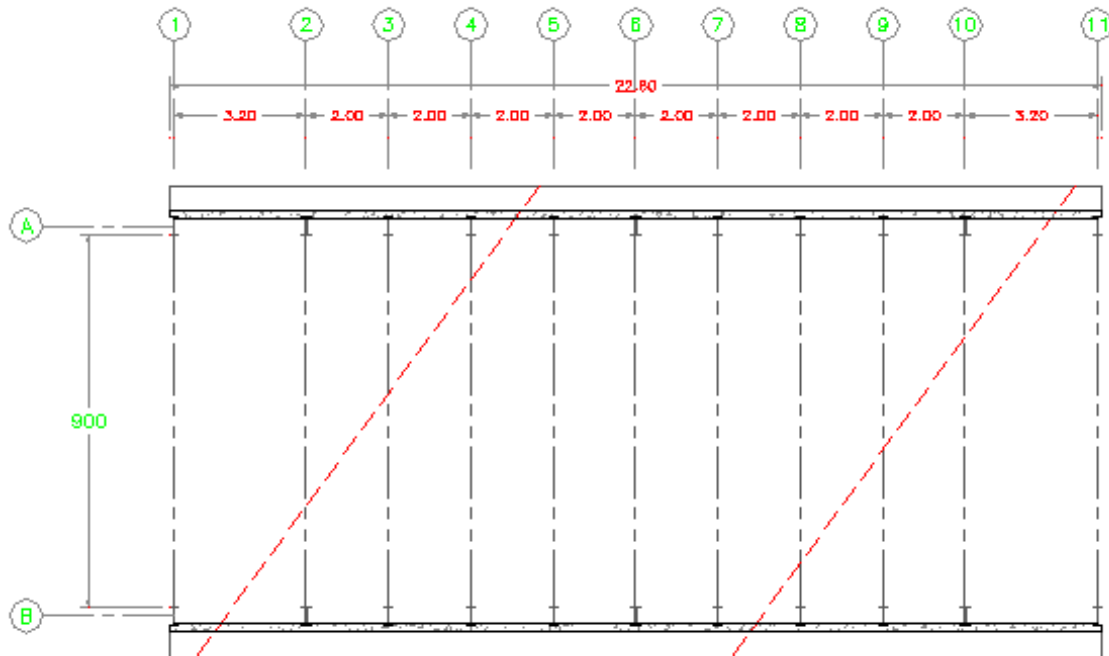


Figura VII.4.9.1. Colocación de marcos (11 marcos para túnel)

La excavación del túnel no podrá iniciarse sin haber colocado previamente los ademes metálicos primarios y este colocado el primer marco de vigueta de acero (marco de emportalamiento).

La excavación del túnel se puede realizar en una sola etapa en toda la sección y en un tramo necesario para la colocación del siguiente marco, la excavación se reanudará hasta que el marco este completamente colocado.

Esta se hará con medios mecánicos y utilizando herramientas neumáticas o manuales en zonas inaccesibles para la maquinaria, su extracción y carga fuera del túnel se hará con un cargador frontal.

El material excavado, de rebotes de concreto lanzado y desperdicios se apilará fuera del paso en zonas previamente convenidas para después cargarlo y acarrearlo a una distancia no mayor de 1.0 kilómetro.

Suministro de perfiles metálicos para marco de emportalamiento.

Las cargas dinámicas, estáticas verticales y las presiones laterales serán transmitidas por el ademe primario de tubería de acero a marcos cerrados de vigueta de acero colocados a lo largo de las zonas construidas como túnel.

Estos marcos serán el elemento principal de la sección transversal del túnel, y trabajarán estructuralmente con el ademe basado en tubería de acero, con la losa superior de concreto lanzado y muros de concreto premezclado, cimbrado y armado según proyecto.

El tipo de viguetas de acero A-36 para la formación de los marcos es el señalado en el plano estructural correspondiente, al ser suministradas las viguetas se apilarán en los patios de los talleres donde se habilitará el marco requerido, una vez habilitado el marco se llevará a la obra donde se almacenará en los sitios previamente designados por la dependencia a pie de obra.

Habilitado y colocación de perfiles metálicos en marcos de emportalamiento del paso a desnivel.

Los momentos y esfuerzos cortantes mayores de la sección del túnel se presentan en la losa superior y columnas, por lo que las viguetas que formaran estos elementos deberán ser de alta calidad, así como también los atezadores o elementos adicionales que requiera el proyecto.

En caso de utilizarse elementos formados por dos o más tramos de vigueta se empatarán en sección “z”.

Los perfiles se cortarán y se les colocarán las placas y cartabones de las dimensiones y en los lugares indicados en el proyecto. La soldadura que se utilice para la unión de los perfiles metálicos que se utilicen para formar los marcos se realizará por medio de arco eléctrico con electrodo E-7018 en cordón de relleno y de vista y electrodo E-6010 para cordón de fondo. Se debe considerar el uso de plantas de luz para el abastecimiento de energía eléctrica o plantas de soldar con motor de gasolina o diésel, así mismo se debe considerar el verificar por medio de ultrasonido al $\pm 30\%$ de los elementos soldados su correcta aplicación de la soldadura y considerar los cortes, biseles en “v” de los perfiles con sus consumos, la aplicación del ultrasonido.



Imagen VII.4.9.2. Llegada de marcos para empotramiento

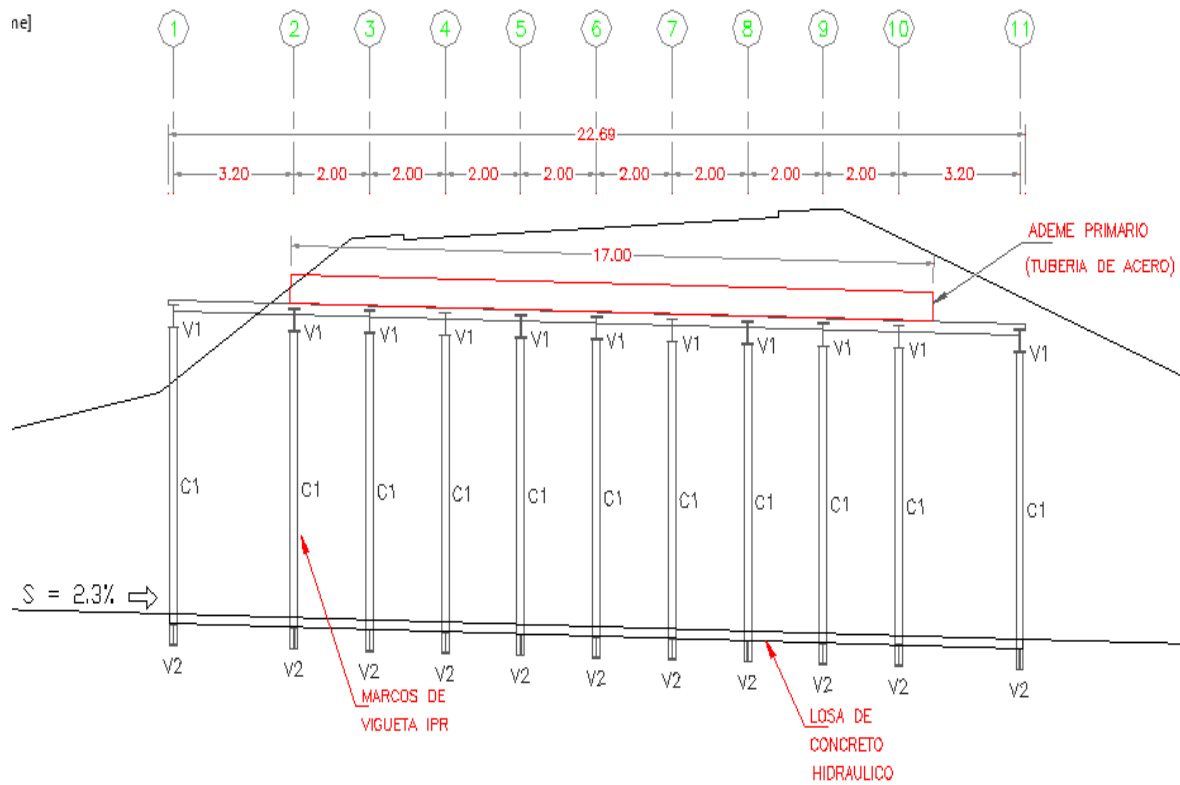


Figura VII.4.9.3. Ubicación de vigas de acero (corte longitudinal)



Imagen VII.4.9.4. Colocación de viga de acero V-1

V-1= IR 457 X 177.8 Kg/ml

Para la colocación de la primera viga fue necesario instalar un cuerno sobre la tubería lateral izquierdo en donde se soldó de ese extremo, en el otro se soldó a tubos de 6" que están previamente soldados a la tubería perdida, se instaló de acuerdo al nivel correspondiente, solo se usó el cuerno provisional para sostener mientras se colocaban las vigas verticales, se le soldaron orejas a la viga para que con el brazo de la excavadora se pudiera sujetar con ayuda de grilletes y estrobo y su colocación fuera exacta.

Antes de soldar la viga, con la estación total se dio línea para verificar quedara en el eje ya que se referencio al centro del túnel repartiéndola la mitad de la viga para cada lado.



Imagen VII.4.9.5. Demolición de zapata

Ya instalada la viga horizontal se comienza a instalar las viguetas verticales con ayuda de la Excavadora, para algunas vigas verticales fue necesario cortar tubo, en otras como el ejemplo demolición de zapata, deben de ir perfectamente plomeadas en ambos sentidos y una vez soldada rectificarlas, en caso de desplome hay que quitarla y volverla a soldar.

Conexión de viga V-1 a columna C-1

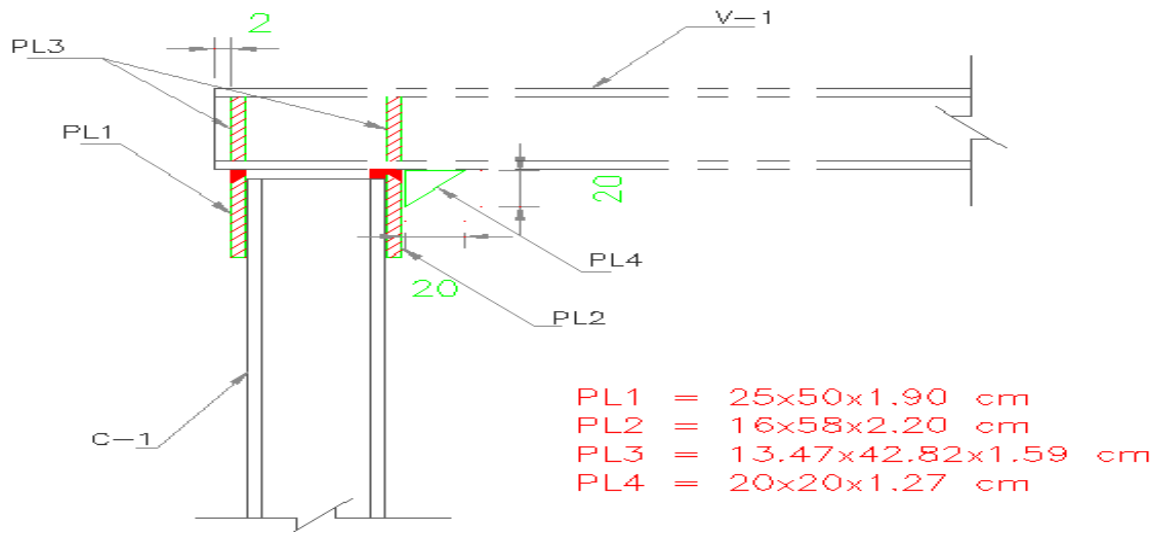


Figura VII.4.9.6. Conexión viga V-1 a columna C-1 (Placas)

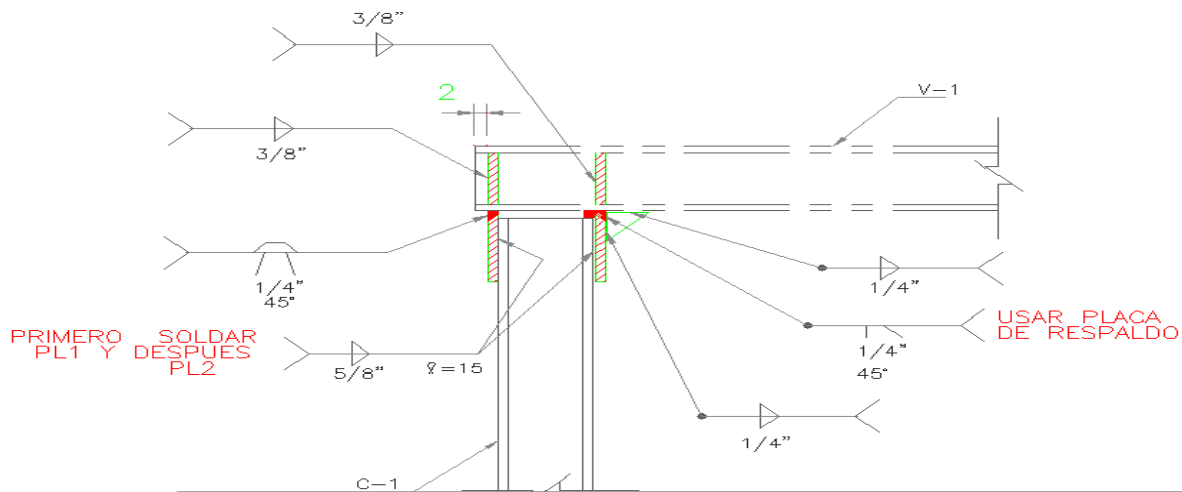


Figura VII.4.9.7. Conexión viga V-1 a columna C-1 (Soldadura)

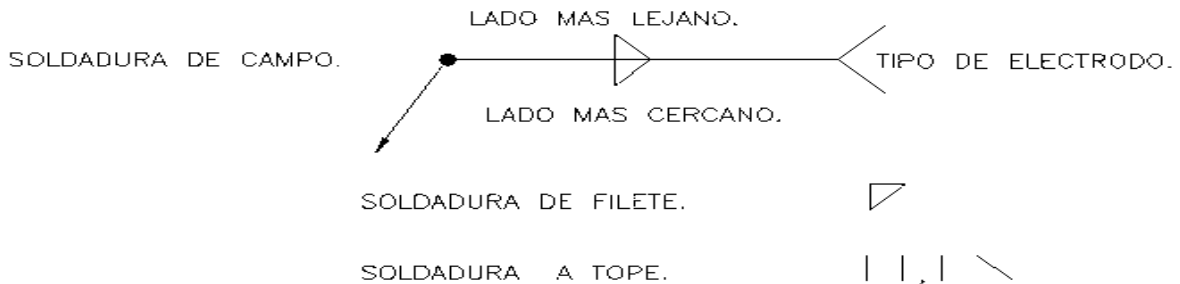


Imagen VII.4.9.8. Simbología de soldadura

La colocación de las viguetas verticales será posterior a la vigueta horizontal, Siempre y cuando esté completamente soldada y no se encuentre desplomada, debe estar horizontal, la verificación se hace con niveleta y nivel para una mejor precisión, estas serán colocadas con personal de maniobras y con ayuda de equipos mecánicos.



Imagen VII.4.9.9. Colocación de viguetas verticales



Imagen VII.4.9.10. Vigas verticales C-1

Ya formada la portería se debe colocar una contratrabe a base de una vigueta conocida en túneles como **rastra**, la cual será soldada a las viguetas verticales para posteriormente armarla ya que quedara ahogada en concreto para poder colocar una losa de concreto después de finalizar los marcos.

C-1= IR 457 X 89.1 Kg/ml

Colocación de contratrabe de piso

Las cargas dinámicas, estáticas verticales y las presiones laterales serán transmitidas por el ademe primario de tubería de acero a marcos cerrados de vigueta de acero colocados a lo largo de las zonas construidas como túnel.

Estos marcos serán el elemento principal de la sección transversal del túnel, y trabajaran estructuralmente con el ademe basado en tubería de acero, con la losa superior de concreto lanzado, muros de concreto premezclado cimbrado y armado según proyecto y la contratrabe metálica de piso.

El tipo de viguetas de acero A-36 para la formación de la contratrabe del marco es el señalado en el plano estructural correspondiente.

Los momentos y esfuerzos cortantes mayores de la sección del túnel se presentan en la losa superior, columnas y contratrabe de piso, por lo que las viguetas que formaran estos elementos deberán ser de alta calidad, así como también los atezadores o elementos adicionales que requiera el proyecto.

En caso de utilizarse elementos formados por dos o más tramos de vigueta se empataran en sección "z".

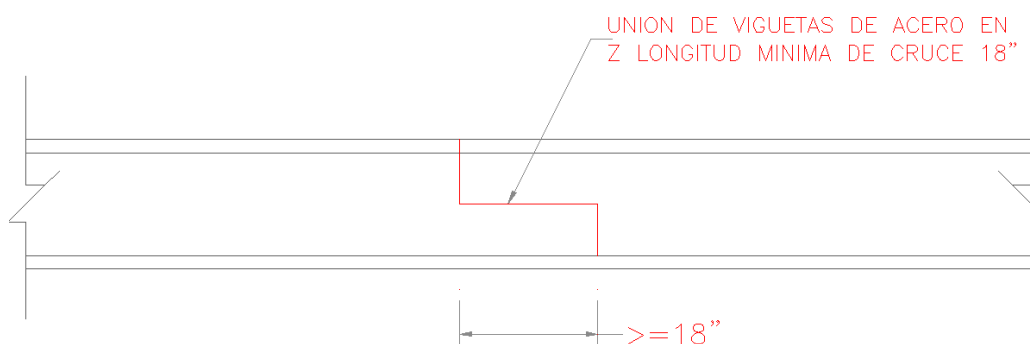


Figura VII.4.9.11. Unión de viguetas para formar V-1, V-2 y columnas C-1

CONCRETO EN CONTRATRABE DE PISO

La contratrabe de concreto se colará una vez colocada la vigueta de piso del marco con concreto $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$, esta trabe de concreto tiene en el interior la vigueta inferior del marco el acero de refuerzo se colocará según el plano de proyecto correspondiente.

El recubrimiento mínimo de concreto en la vigueta de acero es la especificada en los planos de proyecto y la trabe estará embebida 10 centímetros dentro de la losa de piso.

Concreto premezclado

Se podrá utilizar concreto premezclado con autorización de la dirección de obra, siempre que la planta y el equipo de transporte satisfagan los requisitos. El cemento deberá ser como se indica en el proyecto, para utilizar cualquier aditivo, deberá existir autorización previa por parte de la dirección de obra.

Al especificar al proveedor la calidad del concreto premezclado, se tendrá en cuenta que la relación agua-cemento deberá ser la más baja que resulte de comparar la necesidad para obtener la resistencia promedio requerida y la indicada como máxima permisible.

Mezclado en camiones

Los camiones revolvedores deberán ser del tipo tambor, a prueba de fugas y contruidos de tal forma que permita el mezclado uniforme del concreto. Los camiones revolvedores deberán estar equipados con tanque para agua que se vaya a usar en el mezclado; por lo que deberán estar equipados con un contador de revoluciones para verificar el número de revoluciones de mezclado. No se permitirá mezclar mayor cantidad de concreto que el indicado como capacidad nominal de la revoladora.

El mezclado se deberá efectuar por medio de no menos de 70 y más de 100 revoluciones por minuto después de que todos los componentes se hayan colocado en el tambor. La velocidad de mezclado no será menor de 4 revoluciones por minuto, ni mayor a la velocidad periférica del tambor de 68 revoluciones por minuto. La agitación adicional podrá hacerse a 2 revoluciones por minuto. El mezclado deberá iniciarse dentro de los primeros 30 minutos y deberá ser descargado a más tardar a los 60 minutos de que el cemento se haya agregado a la revoladora.

Para verificar su calidad, el proveedor deberá facilitar a la dirección de obra la obtención de muestras de los agregados, cemento, agua y aditivos cuyo uso está autorizado.

En cada entrega de concreto premezclado, el proveedor deberá incluir una remisión con los siguientes datos:

- a) Tipo de concreto
- b) Tipo de cemento
- c) Volumen del concreto surtido
- d) Hora en que inicio el mezclado con agua
- e) Aditivos utilizados.

En esta remisión, el contratista deberá anotar lo siguiente:

- f) Hora de descarga del concreto
- g) Revenimiento obtenido
- h) Tamaño máximo del agregado
- i) Observaciones.

Las entregas sucesivas de concreto para un mismo colado se harán de acuerdo con los lapsos que en cada caso establezca el contratista, conforme a los medios de que se disponga para colocarlo en la estructura.

Cualquier adición de agua deberá ser aprobada por escrito, por la dirección de obra antes de su uso.

Temperatura de concreto fresco:

La Temperatura de los componentes, incluyendo el agua, cuando se coloquen en el mezclador no deberán exceder de 60° Centígrados y la mezcla resultante no deberá exceder de 32° C.

Cuando la temperatura ambiente es menor de 4.5° C, el concreto empleado no deberá tener una temperatura menor de 15.5° C.

Transporte de concreto:

El equipo que se utilice para el transporte del concreto deberá tener capacidad y eficiencia adecuadas para asegurar que la colocación y acomodo del concreto se lleva a cabo antes que las mezclas pierdan revenimiento, a tal grado que se dificulte su utilización. Durante el transporte se deberá tomar precauciones especiales para evitar la adulteración, contaminación segregación del concreto o la pérdida de mortero o lechada.

Bombeo:

Cuando el concreto sea bombeado, el equipo deberá ser del tipo y tamaño adecuado. El concreto a bombearse deberá suministrarse por separado. Cuando el bombeo se complete, se deberá limpiar la tubería para evitar contaminación del concreto o separación de los ingredientes.

Colocación de concreto:

El método para manejar y colar el concreto deberá estar sujeto a la aprobación de la dirección de obra. El contratista no podrá iniciar el colado de concreto, hasta que no haya recibido autorización escrita por parte de la supervisión de obra, después de que esta haya verificado la posición y estado de la cimbra, (alineamientos y niveles), del acero de refuerzo y de los elementos o dispositivos que deban quedar ahogados en el concreto.

El contratista deberá dar aviso por escrito a la dirección de obra cuando termine la preparación relativa a cualquier colado, y ésta comprobará que cumple con los planos, dentro de las 24 horas siguientes. El colado del concreto se hará siguiendo los lineamientos generales.

Para preservar su homogeneidad, el concreto se depositará en el sitio más cercano posible a su ubicación final dentro de las cimbras. El colado se efectuará con una rapidez tal, que el concreto fluya fácilmente en la cimbra. La descarga dentro de las cimbras deberá hacerse a velocidad moderada, para evitar segregación de la mezcla.

El concreto deberá colocarse en capas horizontales, cuyo espesor varía entre 30 y 50 cm. El colado se deberá llevar a la velocidad necesaria para que al colocar la siguiente capa, se puedan Vibrar las dos conjuntamente y se produzca “fusión” entre ambas. El concreto fresco no se depositara sobre concreto que haya endurecido lo suficiente como para causar la formación de planos débiles o de “juntas frías” en la masa endurecida. En losas inclinadas o elementos similares, el colado se iniciará en la parte más baja, para ascender progresivamente hacia las partes altas.

Colado del concreto en clima extremo:

El concreto deberá ser protegido del calor y el secado antes, durante y después del colado, durante el mezclado, colocado y curado, las temperaturas del concreto deberán mantenerse a menos de 32 grados centígrados. Para reducir la temperatura del concreto, se permitirá el uso del hielo en sustitución del agua hasta una cantidad que no exceda el 50% del agua especificada, todo el hielo deberá estar fundido al terminar el mezclado. Los agregados podrán enfriarse mediante otros métodos como sombreado, rociado, u otros métodos aprobados.

Los aditivos retardantes podrán ser usados de acuerdo a las instrucciones del fabricante en caso de que ocurra fraguado prematuro o evaporación, los aditivos deberán ser previamente aprobados por la supervisión de obra.

La temperatura del concreto fresco nunca deberá de exceder de los 32 grados centígrados, la temperatura de los componentes podrá ser hasta de 60 grados centígrados, en forma individual, pero el resultado de la mezcla no podrá exceder los 32 grados centígrados.

Juntas de construcción:

Las juntas de construcción se harán en los lugares y en la forma indicada en los planos. No se permitirá establecer juntas adicionales, a excepción que la dirección de obra las considere indispensables. Las juntas en elementos verticales se localizarán en el plano superior de losas de cimentación o debajo de losas y trabes.

Antes de proceder a un nuevo colado, la superficie de concreto se escarificará con un método adecuado que deje una superficie sana y rugosa, se limpiará con chorro de agua, removiendo totalmente todo el material suelto. Además, el concreto en la junta se saturará completamente con agua y se mantendrá así cuando menos, hasta antes de iniciar el nuevo colado.

Vibrado del concreto:

Todo el concreto se acomodará por vibración. Se utilizarán vibradores mecánicos del tipo de inmersión, con motor de gasolina, motor diésel, motor eléctrico o neumáticos, que funcionen con frecuencia no menores de 6000 r.p.m. Los vibradores no deberán introducirse para desplazar concreto, en sentido horizontal, los de inmersión deberán introducirse verticalmente en el concreto en puntos distantes de 40 a 75 cm. y su extracción deberá ser lenta. Los lapsos de vibración deberán ser los necesarios para acomodar el concreto sin segregar ni producirle sangrado. Normalmente, son suficientes lapsos entre 5 y 15 seg. La vibración deberá efectuarse con intervalos sistemáticos en los puntos de penetración, y el vibrador deberá penetrar la altura total de cada nueva capa de concreto a unos cuantos centímetros de la capa inferior, para asegurar la unión total de las dos capas.

Curado y protección:

El concreto fresco deberá protegerse de lluvias fuertes, corrientes de agua y daños mecánicos. Todo el concreto deberá mantenerse húmedo por no menos de 7 días, cubriéndolo con agua, con cubiertas saturadas con agua, sistema de tubo perforado, rociado mecánico o algún otro método aprobado. La cimbra de madera deberá también mantenerse húmedas todo el tiempo para evitar aberturas en las juntas al secarse. El agua para el curado deberá ser limpia y libre de elementos que en opinión de la dirección de obra puedan causar manchas o decoloración del concreto. Cuando el congelamiento del agua haga imposible este método, el concreto podrá curarse con vapor de agua o algún otro método aprobado por la dirección de obra.

Pruebas:

Antes y después de los trabajos de colocación de concreto, el cliente podrá contratar un laboratorio de pruebas, para efectuar pruebas y ensayos del concreto, y verificar su cumplimiento con las especificaciones.

El contratista deberá permitir el acceso al personal de la dirección de obra al área donde almacena, prepare y mezcle el concreto. Todos los materiales, equipos y métodos serán sujetos de inspección y aprobación por parte de la misma.

Las muestras para las pruebas de resistencia del concreto serán tomadas por lo menos una vez al día o cada 90 m³ de concreto o por cada 500 m² de superficie colada.

Los cilindros para las pruebas deberán ser moldeados, curados en el laboratorio de acuerdo a las normas y probados de acuerdo a las indicaciones del proyecto, para las pruebas se deberán tomar 3 cilindros, un cilindro será tronado a los 7 días y dos a los 28 días, los resultados de ambas pruebas deberán ser reportados. Copias de los resultados de las pruebas deberán ser enviadas a la dirección de obra, al contratista y al proveedor del concreto.

En adición a las pruebas de resistencia el laboratorio ejecutará las siguientes pruebas:

- Revenimiento.
- Contenido de Aire.
- Peso volumétrico.
- Temperatura.

Para pruebas en concreto bombeado las muestras deberán ser tomadas en el punto de descarga. El concreto será aceptado cuando el resultado de las pruebas a los cilindros demuestre que la resistencia es igual o excede la resistencia especificada.

Se procederá al habilitado y armado del acero de refuerzo de las estructuras, procediendo a su colado, si durante el colado por cuestiones de la capacidad de la contratista, clima o recurso de la obra; los colados se realicen en distintos días y etapas, cada etapa deberá de garantizar mínimo el 40% de la resistencia de proyecto del concreto, para proceder a la siguiente etapa de colado.

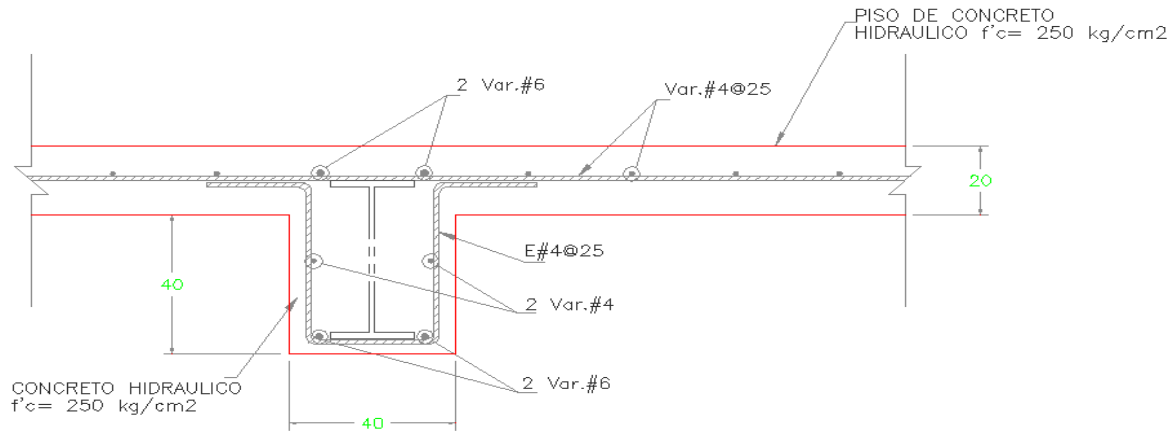


Figura VII.4.9.12. Armado para contratrabe

Primeramente se hace el armado que va en la contratrabe en un patio de maniobras, ya que está completamente el armado para la contratrabe se transporta con personal para su colocación en las columnas, lo cual facilita un mejor armado y fijación, después que está completamente nivelado y limpio donde se asentará la parrilla de acero se calza y se soldán las 2 varillas del #6 a las columnas para que tenga espacio el concreto y pueda entrar con un recubrimiento de 10 cm por debajo del acero.



Después de colocadas las columnas C-1 se limpia el terreno y compacta donde se colocará la rastra, antes de la viga se coloca el armado especificado anteriormente para sobre el colocar la viga V-2 que estará ahogada en concreto.

Imagen VII.4.9.13. Armado para rastra (contratrabe)

Colocado el acero de refuerzo se puede montar la viga V-2 sobre el acero, se calza el acero para el recubrimiento que tendrá, después de colocada la viga se soldaran las placas PL7 Y PL9 que se muestran a continuación las conexiones de viga- columna.

V-2= IR 457 X 177.8 Kg/ml



Imagen VII.4.9.14. Colocación de rastra V-2

Conexión viga V-2 a columna C-1

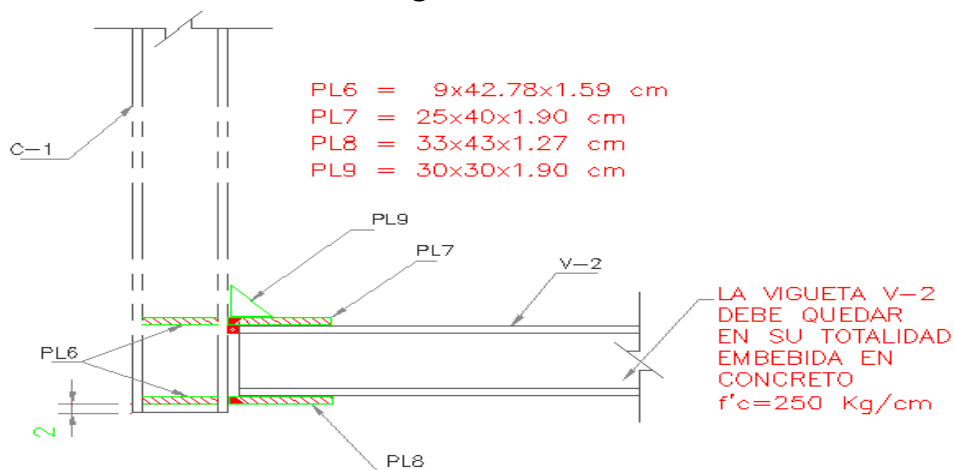


Figura VII.4.9.15. Conexión viga V-2 a columna C-1 (Placas)



Imagen VII.4.9.16. Conexión viga-columna

Después de montada la viga V-2 sobre las placas de las columnas C-1 se limpia por completo la viga se sopletea para limpiar de material que pueda contaminar el acero, se colocan 2 varillas del #4 que ayudara a detener los estribos a una separación uniforme.

Colocado el acero y después de la limpieza realizada, se procede a cimbrar la rastra dejando una abertura de 10 cm para que por esas ranuras sea depositado el concreto.



Imagen VII.4.9.17. Cimbrado de rastra



El concreto utilizado fue de la empresa CEMEX con una resistencia $f'c = 250\text{Kg/cm}^2$

Imagen VII.4.9.18. Llegada de concreto a obra



Antes del vaciado del concreto se hacen las pruebas correspondientes de laboratorio, como son revenimiento para verificar el estado en que se encuentra el concreto, temperatura, después de esto ya aceptado el concreto se hace el llenado de cilindros para las pruebas de compresión en laboratorio que se realizaran 7,14, y 2 a 28 días para su resistencia máxima alcanzada.

Imagen VII.4.9.19. Elaboración de cilindros

Por motivos de material no se puede introducir la olla hasta la zona de colado de la primer contratrabe (rastra), por lo que es necesario con la ayuda del bote de la excavadora hacer el llenado en el bote y después colocarlo por encima de la contratrabe para que sea traspaleado por personal.



Imagen VII.4.9.20. Colado de contratrabe



Imagen VII.4.9.21. Descimbrado de contratrabe

Una vez fraguado el concreto se puede retirar la cimbra, ya retirada se puede soldar los cartabones para la unión de viga-columna.

Habilitado y colocación de apoyos metálicos perfil redondo de 6" diámetro entre el ademe primario y los marcos de acero estructural en el interior del P.I.V.

Definición:

Los elementos de apoyo metálicos son perfiles redondos de 6" de diámetro de recuperación, que tienen como finalidad mantener en contacto el ademe primario con los marcos definitivos y hacer que los marcos de perfil de acero de la estructura de ademe definitivo trabajen en colaboración, mediante la transmisión de esfuerzos por medio de estos elementos, su característica y colocación se hará de acuerdo a lo indicado en el proyecto.

Materiales:

Los elementos de apoyo metálicos son perfil redondo de 6" de diámetro y sus accesorios utilizados cumplirán con lo establecido en el proyecto.

No se aceptaran el suministro y utilización de los elementos de apoyo metálico y soldadura que no cumplan con lo indicado en los planos de proyecto.

Equipo:

El equipo que se utilice en la colocación y de los elementos de apoyo metálico, será el adecuado para obtener la calidad especificada en el proyecto, quedando bajo la responsabilidad del contratista de obra la condición de la fijación del mismo durante el tiempo que dure la obra.

Ejecución:

Una vez fabricados los elementos de apoyo metálicos y sus accesorios se colocarán y se fijarán de acuerdo a lo indicado en el proyecto.



Se comienza soldando la tubería de 6" de diámetro de la tubería de ademe perdido a la viga V-1 para transmitir las cargas al momento que se vaya excavando el túnel, este soportara las cargas verticales que le transmitirán la tubería al marco cerrado de viguetas.

Imagen VII.4.9.22. Fijación de tubos de 6" a marco cerrado

Se continúa con la colocación de los laterales donde estos transmitirán los esfuerzos laterales, de la tubería al marco cerrado, se colocan de los 2 laterales y van completamente soldados a la tubería perdida y al marco.



Imagen VII.4.9.23. Unión de laterales a marco



Después de estar los tacones de toda la tubería perdida soldada al marco cerrado se podrá continuar con la excavación que será de 3.50 metros ya que el siguiente marco quedara a 3.20 metros de este, solo se puede excavar a esa distancia hasta colocar el siguiente marco y posteriormente serán a cada 2 metros las excavaciones.

Imagen VII.4.9.24. Tacones de fijación

VII.4.10. EXCAVACIÓN EN TÚNEL PARA COLOCACIÓN DE MARCOS

Después de colocado el primer marco, soldado, colada la contratrabe, colocados los tacones de tubería perdida al marco, se comenzará con la excavación del túnel para el marco numero 2 solo se podrá excavar 3.20 metros ya que quedara ubicado a esa distancia del primero, a partir del marco 2 hasta el marco 10 las excavaciones serán a cada 2 metros y la pendiente tomando como base el marco uno será del 2.3% para cada marco donde se debe ir subiendo, es decir, ya colocado el marco 2 se excavarán 2 metros para la colocación del marco 3 y así sucesivamente hasta el marco 10 y por último el marco 11 será colocado a 3.20 metros del marco 10. Todo el proceso de instalación es el mismo se coloca V-1 con la pendiente correspondiente de acuerdo al nivel que se tenía en la anterior es decir del marco 1 para el marco 2 será 2.3 centímetros del nivel que se tiene del marco 1 y así sucesivamente, después se colocan las columnas, se arma la rastra, se coloca la viga, se cuela y por último se colocan los tacones de la tubería perdida al marco, las vigas V-1 antes de ser soldadas serán revisadas en nivel y línea esto se hará con la estación total para verificar estén en el centro del eje para evitar que estén desplazadas a algún extremo.



Se excavan 3.20 metros para la colocación del marco 2, se retira más tubería del canal primario, se demuele la zapata y cualquier material que pudiera obstaculizar la colocación del marco 2.

Imagen VII.4.10.1. Excavación en túnel

El material producto de la excavación será depositado en lugar asignado por la dependencia su distancia aproximadamente a 1 km de distancia del lugar de obra.



Imagen VII.4.10.2. Acarreo material de túnel



Imagen VII.4.10.3. Colado marco 2



Imagen VII.4.10.4. Marco 2



Imagen VII.4.10.5. Excavación con bote invertido



Imagen VII.4.10.6. Marco 3



Imagen VII.4.10.7. Marco 4



Imagen VII.4.10.8. Cuerno adaptado en Excavadora para colocar vigas.



Imagen VII.4.10.9. Marco 5



Imagen VII.4.10.10. Marco 6



Imagen VII.4.10.11. Inundación túnel



Imagen VII.4.10.12. Marco 7



Imagen VII.4.10.13. Marco 8



Imagen VII.4.10.14. Marco 9

VII.4.11. REVESTIMIENTO DE TÚNEL, A BASE DE MUROS DE CONCRETO HIDRÁULICO ARMADO ENTRE MARCOS METÁLICOS.

Habilitado del acero de refuerzo

El acero de refuerzo en el momento de su colocación deberá estar libre de pintura, costras de óxido, lodo, grasa, rebotes endurecidos.

Los traslapes serán de por lo menos un cuadro, cuando se trate de mallas electrosoldadas y en el caso de acero de refuerzo de varilla lo especificado en la tabla de traslapes del plano estructural correspondiente.

$$f'y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

Malla electrosoldada

$$f'y = 5000 \text{ kg / cm}^2.$$

El acero de refuerzo deberá de colocarse con las dimensiones mostradas en los planos y deberá asegurarse en su lugar por medio de silletas o espaciadores.

Los anclajes y traslapes que se requieran para los armados de las varillas de refuerzo se harán de acuerdo con la tabla que a continuación se muestra y que está integrada en los planos de proyecto.

TABLA DE ANCLAJES Y TRASLAPES (en cm)

NUMERO	DIAMETRO (mm)	LONGITUD DE ANCLAJE		LONGITUD DE TRASLAPE	
		(L-1)	(L-2)	1 VARILLA	PAQUETE DE 2 VARILLAS
2	6.3	20	26	32	35
2.5	8	20	26	40	44
3	10	20	27	50	55
4	13	23	28	65	72
5	16	28	29	80	88
6	19	34	31	95	105
8	25	45	41		
10	32	57	51		
12	38	68	61		

Tabla VII.4.11.1. Anclajes y traslapes

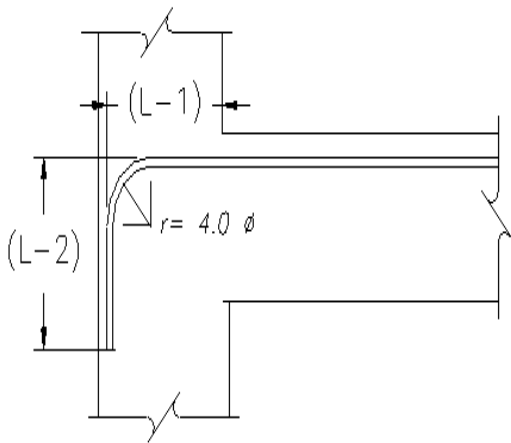


Figura VII.4.11.2. Longitud de anclaje

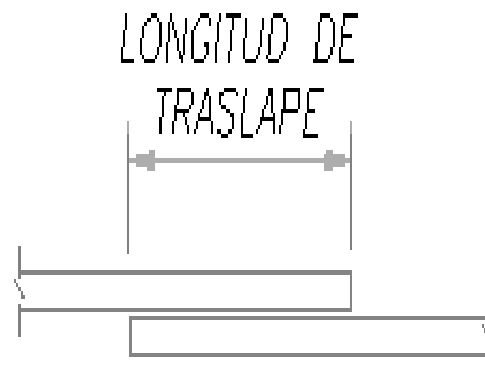


Figura VII.4.11.3. Longitud de traslape

Colocación de concreto hidráulico premezclado armado en muros laterales del túnel.

El concreto hidráulico es una mezcla de material inerte grava, arena con una aglutinante que es el cemento y aditivos cuando se requiera. La dosificación será aquella que a partir de resultados de laboratorio se obtenga la que se especifica en el proyecto.

El mezclado será por medios mecánicos que garanticen la homogeneidad de la mezcla y se obtengan los revenimientos según sea el lugar de la colocación; el cemento será tipo CPC 30R. El agua que se utilice para la elaboración de los concretos deberá ser libre de impurezas, sales dañinas y sin materia orgánica en suspensión, no podrá utilizarse agua de mar por su salinidad.

Antes de iniciar los trabajos de colocación de concreto el contratista deberá de indicar a la supervisión la fuente de abastecimiento del agua para los concretos con el fin de ser autorizado por este.

Durante la colocación se deberá garantizar su compactación y de ser necesario porque el terreno lo requiera se utilizarán vibradores ya sean con motor eléctrico o de gasolina.

El espesor de los concreto y los armados serán los especificados en el proyecto para cada elemento estructural. Los traslapes, longitud de escuadras, radios de escuadras, etc. del acero de refuerzo serán los que marque los reglamentos de construcción vigentes.

El acero de refuerzo se habilitara fuera del paso formando parrillas las cuales se colocarán en el piso del paso sobre los patines superiores de las viguetas de los marcos. Estas parrillas se puntearán con soldadura antes del colado para evitar su desplazamiento.

Especificaciones del concreto

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

Cemento tipo CPC 30R

Tamaño máximo del agregado $3/4''$ (19 mm)

Acero de refuerzo

Varilla de acero del # 2 al # 6

$f'y = 4,200 \text{ kg/cm}^2$

NOTA: Las especificaciones particulares del concreto premezclado se pueden encontrar en el numeral **VII.4.9. COLOCACIÓN DE MARCO METÁLICO EN PORTAL IXTAPAN.**, en el apartado **“Concreto en contratrabe”**.

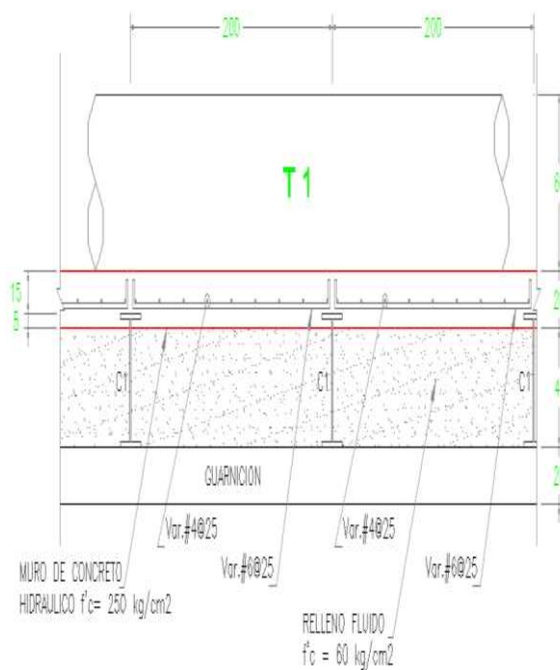


Figura VII.4.11.4. Muro (planta)

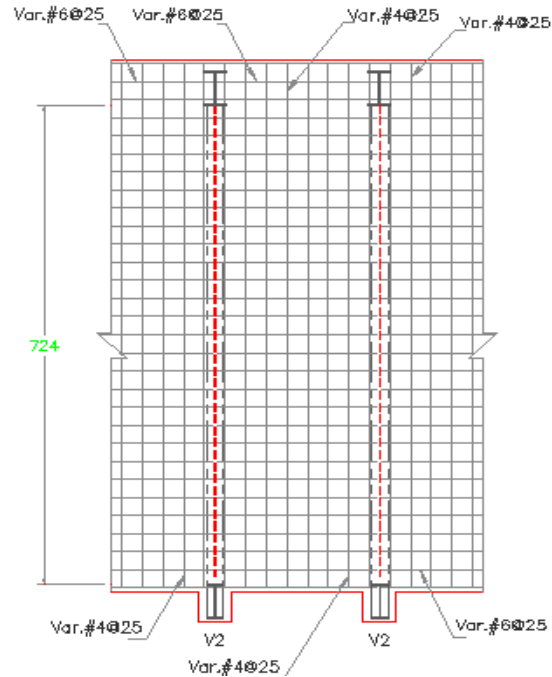


Figura VII.4.11.5. Muro (alzado)



Imagen VII.4.11.6. Armado en muros

A partir del marco 5 se detiene el ciclo de excavación-marco, ya que se debe comenzar con el armado y colocación de concreto en los muros laterales del túnel, se le da un baño de concreto lanzado a la tubería para evitar la contaminación del acero y posteriormente se comience con el armado, el acero para el sentido vertical es del #4 para el sentido longitudinal u horizontal del #6 estas van punteadas sobre las columnas C-1 a 25 cm en ambos sentidos.

Solo para el muro que se encuentra entre el marco 1 y 2 y el muro del marco 2 y 3 se podrán colar al 100% con concreto bombeable, esto porque hay espacio para que entren las mangueras de descarga, para los muros del marco 3 al 9 solo se colarán tres cuartas partes, el resto será a base de concreto lanzado.

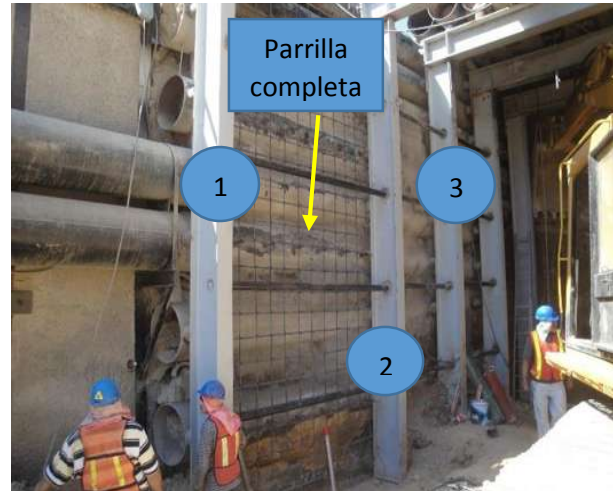
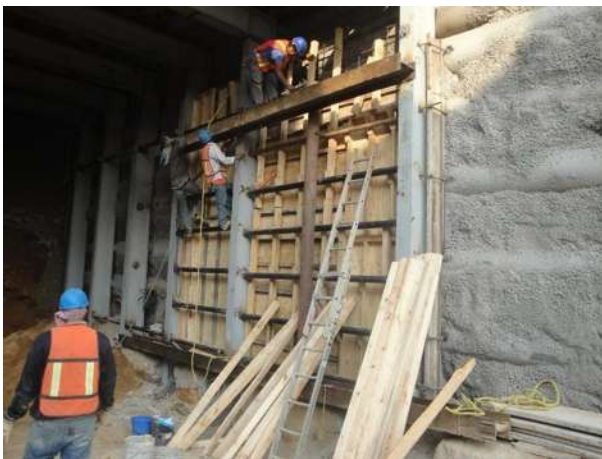


Imagen VII.4.11.7. Parrilla de muro lista



Ya colocado el acero de refuerzo se comienza a cimbrar los muros con madera perfectamente, se troquela con polines, cuñas, tubería de 3" y 6" en ambos sentidos así como vigas para evitar a la hora del vaciado, se desalinie.

Imagen VII.4.11.8. Cimbrado de muros



Imagen VII.4.11.9. Putzmeister colando Derecho



Imagen VII.4.11.10. Colado de muro, Lado



Imagen VII.4.11.11. Prueba de revenimiento



Imagen VII.4.11.12. Ollas abasteciendo



Imagen VII.4.11.13. Colado muros L. Izquierdo



Imagen VII.4.11.14. Vibrado del concreto



Imagen VII.4.11.15. Descimbrado y curado de muros

Los muros son de 20 cm de espesor y una resistencia de $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ con un revenimiento de 14 cm, debido a que es bombeable se le aplica un aditivo de fraguado rápido y se descimbra al segundo día de su colado, se le aplica curacreto para el curado inmediatamente después de que se va descimbrando.

Antes de ir colocando el acero de refuerzo se le da un baño de concreto lanzado a los muros. Para evitar contaminación de acero y desprendimiento de material.



Imagen VII.4.11.16. Concreto lanzado a muros del túnel



Imagen VII.4.11.17. Armado para siguientes muros

Como se puede apreciar en la imagen, después de colar cierta parte de los muros falta una parte, esta se colara a base de concreto lanzado debido a que es imposible colarla con concreto premezclado. Se debe continuar armando y colando para los siguientes muros.

VII.4.12. REUBICACIÓN DE POSTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Otro de los problemas que se tuvo fue un poste de energía eléctrica que estaba al centro del túnel. Para lo cual se subcontrató una empresa subsidiaria de CFE para realizar el trabajo y reubicar la línea de corriente, el poste se encontraba en el portal Tenango al igual que las cajas de distribución.



Imagen VII.4.12.1. Cambio de línea de energía



Imagen VII.4.12.2. Poste portal Tenango



Imagen VII.4.12.3. Grúa sujetando poste



Imagen VII.4.12.4. Demolición de poste



Imagen VII.4.12.5. Retirando poste



Imagen VII.4.12.6. Demolición de caja y poste

VII.4.13. CICLO DE EXCAVACIÓN EN TÚNEL, COLOCACIÓN DE MARCO METÁLICO Y COLADO DE MUROS, HASTA LLEGAR AL PORTAL TENANGO.

Una vez retirado el poste de energía eléctrica, se puede continuar con la excavación para colocar los marcos restantes y a su vez abrir cajón para el portal Tenango, se requiere la demolición de la caja secundaria y la principal del canal de riego ubicado al centro del túnel, el equipo utilizado fue a base de pistolas neumáticas y con ayuda de la Retroexcavadora también con la ayuda de martillo hidráulico.



Imagen VII.4.13.1. Nivel ultimo marco



Imagen VII.4.13.2. Demolición de cajas



Imagen VII.4.13.3. Retirando tubería y caja



Imagen VII.4.13.4. Colocando último marco



Imagen VII.4.13.5. Terminación de marcos



Imagen VII.4.13.6. Colocados los 11 marcos



Imagen VII.4.13.7. Armado de últimos muros



Imagen VII.4.13.8. Cimbrado muros autopista



Imagen VII.4.13.9. Cimbrado en madera



Imagen VII.4.13.10. Cimbrado metálico



Imagen VII.4.13.11. Troquelado de muro



Imagen VII.4.13.12. Portal Tenango abierto



Imagen VII.4.13.13. Colado de último muro



Imagen VII.4.13.14. Inundación del túnel



Imagen VII.4.13.15. Muro 9 y 10



Imagen VII.4.13.16. Muros terminados



Imagen VII.4.13.17. Ciclo de excavación y muros colados concluido

VII.4.14. CONSTRUCCIÓN DE LOSA SUPERIOR DE CONCRETO LANZADO ARMADO.

El concreto lanzado reforzado se aplicara en la losa superior del paso y en los marcos de perfiles de acero que forman parte de la losa superior que formara la estructura que soportara los esfuerzos a los que estará la sección del túnel.

El espesor del concreto lanzado se irán formando a base de capas y su espesor final se determinara por medio de escantillones.

El concreto lanzado es el resultado de mezclar cemento, arena, grava y aditivos cuando se requieran; previamente dosificados para poder dar la resistencia de proyecto.

Esta mezcla se deposita en una maquina lanzadora especial para este tipo de trabajos que la conduce a presión por medio de aire comprimido a través de una manguera hasta la boquilla de lanzado donde se le adiciona el agua a presión con ayuda de unos aspersores y se proyecta hacia la superficie a revestir.

Todo el material de rebote no se pagara y su remoción y retiro deberá estar incluido en el precio unitario.

El aditivo a emplearse deberá ser de los aceptados para este fin sin importar su marca.

Especificaciones del concreto lanzado

$f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$

Cemento tipo CPC 30R**Tamaño máximo de agregado = $\frac{1}{2}$ "**

En el caso del concreto lanzado por cada 50 metros cúbicos que se lancen se sacaran artesas de muestreo para obtener cilindros de prueba en el laboratorio y verificar las resistencias del proyecto.

En la integración del precio se deberá considerar todos los elementos necesarios para obtener el concreto lanzado colocado en el lugar de proyecto, como son compresores para obtener el aire comprimido, tanques de almacenamiento instalaciones y líneas de conducción de aire y agua comprimida, mezcladoras, plantas de luz, andamios, etc.

El aditivo puede ser líquido o en polvo, si el aditivo es en polvo deberá dosificarse y mezclarse con la mezcla seca garantizándose su homogeneidad. Si el aditivo es líquido deberá dosificarse y mezclarse con el agua para ser añadido a la mezcla en la boquilla de lanzado. El aditivo que se emplee deberá ser de diseño especial para concreto lanzado y que haya sido probado ampliamente en este uso. Se puede utilizar el aditivo sigunit gentile de la marca sika, festerlith a.i. de la marca ferter u otro similar, ambos en la dosificación que marque el fabricante.

ESPECIFICACIONES

1.- El término concreto lanzado se refiere al concreto producido por la proyección de mezcla humedecida de agregado y cemento sobre un área por medio de presión de aire aplicada a través de un recipiente de presión de alimentación continua, llamado lanzador.

2.- El equipo de lanzado y de colocación debe ser de un tipo aprobado, bastante experimentado y apropiado para el trabajo a que se refiere el contrato.

3.- El cemento deberá ser Portland tipo CPC 30R de acuerdo con las normas del fabricante.

4.- Agregados.

La arena para el concreto lanzado deberá cumplir con los siguientes requerimientos para agregado fino, que son los siguientes:

MALLA ESTÁNDAR	% QUE PASA EN PESO
3/8 IN	100
No. 4	95 – 100
No. 8	80 – 90
No. 16	50 – 85
No. 30	25 – 60
No. 50	10 – 30
No. 100	2 – 10

Tabla VII.4.14.1. Porcentajes de arena requeridos

1. La arena deberá estar lavada, limpia y angulosa.
2. Las arenas finas generalmente generan una contracción mayor por secado.
3. Las arenas gruesas dan más rebote.

EL AGREGADO GRUESO DEBERÁ APEGARSE A LA NORMA QUE SE MUESTRA A CONTINUACIÓN:

MALLA U.S	No. 8 A 3/8"	No. 4 A 1/2"	No. 4 A 3/4"
ESTÁNDAR			
1"			100
3/4"		100	90 - 100
1/2"	100	90 - 100	
3/8"	85 - 100	40 - 70	20 - 55
No. 4	10 - 30	0 - 15	0 - 10
No. 8	0 - 10	0 - 5	0 - 5
No. 16	0 - 5		

Tabla VII.4.14.2. Porcentajes para grava

5. El acero de refuerzo empleado en el concreto lanzado, deberá estar de acuerdo con la norma de diseño y condición. Debe estar sin pintura, libre de costras, lodo o grasa o rebotes endurecidos.

6. La presión del aire de trabajo a la salida de la lanzadora será el suficiente requerido para la colocación del concreto.

7. El agua para el mezclado será limpia y libre de sustancias que puedan ser perjudiciales al concreto o al acero. Debe satisfacer los requisitos para la buena aplicación y no tener coloración que manche.

La presión del agua deberá ser la suficiente para asegurar una hidratación adecuada en todo momento. La hidratación será adecuada cuando el concreto lanzado exhiba una superficie húmeda, sedosa y brillante cuando se coloca.

8. El contratista deberá emplear operadores aptos y experimentados. El lanzador deberá tener una experiencia de trabajo adecuada y de una naturaleza similar a la que se requiere en el contrato, deberá efectuar pruebas de lanzado, previas a la ejecución del trabajo en tableros de prueba a satisfacción del representante.

9. Las boquillas deberán mantenerse en la posición y separación óptimas en todo momento: 0.60 a 1.20 mts. De la superficie donde se aplicara y en ángulo recto con relación a la misma.

10. Todo el material de rebote o bolsas de arena deberán eliminarse durante el curso del trabajo.
11. No deberá de utilizarse material de rebote con ninguna mezcla.
12. El contratista deberá de proporcionar formas para los tableros de prueba bajo la dirección del representante, hechas de madera contrachapada de 12 cms de espesor de 60 cms de ancho por 60 cms de largo. El espesor del tablero de prueba será de 10 cms como mínimo y 15 cms como máximo.
13. El contratista deberá colocar un tablero simultáneamente y junto a cada etapa de trabajo. Se obtendrá una muestra por cada 50 m³ lanzados. Un tablero para control de calidad en unas condiciones semejantes al mismo (horizontal, vertical o en plafón). Estos tableros deberán de dejarse para que se curen por espacio de 7 días, al mismo tiempo que se ejecuta el trabajo de este tablero, se obtendrán los corazones de 10 a 15 cms. de espesor para el control de calidad del trabajo, el contratista deberá proporcionar el equipo para el corte de los especímenes de prueba.
14. El concreto suave, flojo o que se está descascarando, deberá eliminarse y picarse con pistolas neumáticas hasta llegar al material sano.
15. El refuerzo expuesto deberá limpiarse con cepillos de alambre.
16. La malla de refuerzo deberá fijarse al concreto firme. Las hojas de malla adyacentes deberán traslaparse en una longitud correspondiente a un cuadro de la malla y deberá amarrarse firmemente entre con alambre que no excedan 200 mm.
La relación agua / cemento para el concreto lanzado en el lugar está comprendida entre 0.35 a 0.50 por peso.
17. Todas las superficies en que se coloque concreto lanzado deberán limpiarse con un chiflón de aire-agua para asegurar una liga adecuada, debiendo humedecerse inmediatamente antes de la colocación del concreto lanzado.
18. El revestimiento final, de 3 a 6 mm de espesor deberá aplicarse sobre la superficie fresca, terminada, nivelada y ligeramente humedecida del concreto lanzado. (Capa relámpago).
19. Con la última mezcla del día, el trabajo debe escalonarse para formar una arista fina. Esta arista puede humedecerse y limpiarse con un sopleteado aire-agua antes de hacer la unión al continuar el trabajo del día siguiente.

20. No se permitirá el uso de aditivos que reaccionen con el agua, los agregados y/o el acero de refuerzo.

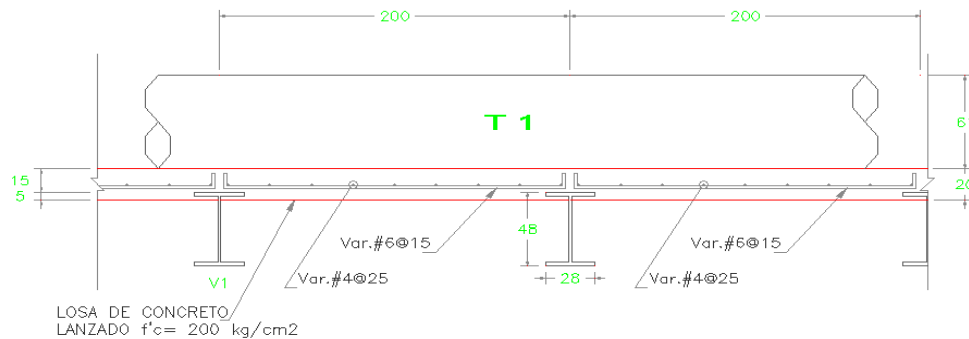


Figura VII.4.14.3. Armado de techo

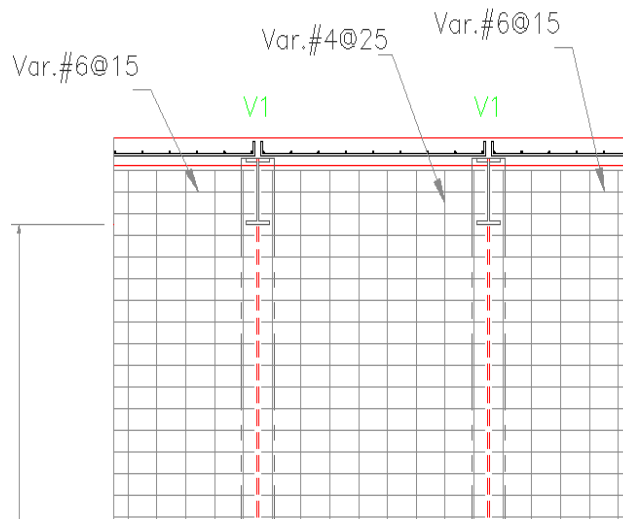


Figura VII.4.14.4. Armado techo (Planta)

Se podrá lanzar la losa superior siempre y cuando estén completos y soldados los tacones de la tubería perdida a la viga V-1, después que esté completo se colocará el acero de refuerzo, para posteriormente lanzarlo con concreto, se necesitarán andamios así como cimbra para llevar acabo dichos trabajos. El proceso a seguir para los marcos 1-2 y 10 y 11 se les colocara una cimbra en la parte inferior del armado se troquelará y se lanzará por la parte superior, para los marcos 2 al 10 se coloca el armado y una malla de gallinero para evitar rebote y en la parte inferior se cimbra y troquela perfectamente, se lanza por un lado ya que hay espacio entre la tubería perdida y las vigas es por ahí donde se lanzará una capa de 15 cm y por último se retira la cimbra y se le aplica otra capa de 5 cm de acabado para lograr el espesor de 20 cm en la losa superior.



Imagen VII.4.14.5. Tacones completos



Imagen VII.4.14.6. Colocación de andamios



Imagen VII.4.14.7. Tubería cargando en Vigas V-1



Imagen VII.4.14.8. Armado en marco 1-2



Imagen VII.4.14.9. Armado en marcos 1-2, 2-3



Imagen VII.4.14.10. Colocación de cimbra



Imagen VII.4.14.11. Cimbra para losa



Imagen VII.4.14.12. Llenado de artesa



Imagen VII.4.14.13. Lanzado de losa portal Ixtapan



Imagen VII.4.14.14. Afine en losa superior



Imagen VII.4.14.15. Lanzado en losa y muros



Imagen VII.4.14.16. Cimbrado en losa interior



Imagen VII.4.14.17. Afine losa interior



Imagen VII.4.14.18. Cimbra marco 10-11



Imagen VII.4.14.19. Armado losa marco 10-11



Imagen VII.4.14.20. Colado de losa



Imagen VII.4.14.21. Concreto portal Tenango



Imagen VII.4.14.22. Acabado en losa

VII.4.15. CONSTRUCCIÓN DE MUROS DE CONTENCIÓN EN PORTALES.

Se construirán 2 contrafuertes en el extremo de cada portal, esto para quitar la visibilidad de la tubería perdida y no afectar a los automovilistas que pudiera causar distracción al ir circulando, los anillos quedaron ahogados colada la losa superior por lo que solo se meterá el armado horizontal, su espesor de 15 cm con una resistencia $f'c= 200 \text{ kg/cm}^2$ esto será a base de concreto lanzado. A la vez se llenará la tubería perdida con suelo-cemento para evitar filtraciones de agua se le colocará malla electrosoldada 6-6/6x6 y será lanzada la tubería y marcos de entrada y salida.

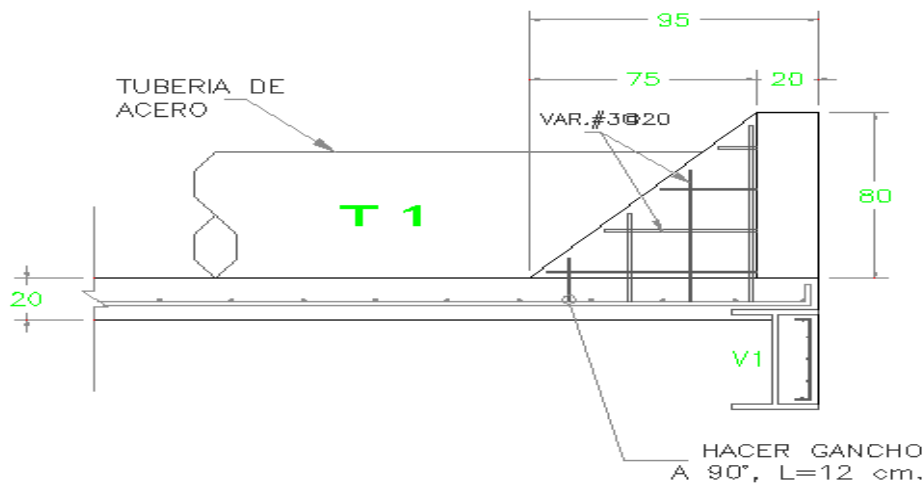


Figura VII.4.15.1. Muro de contención en portales

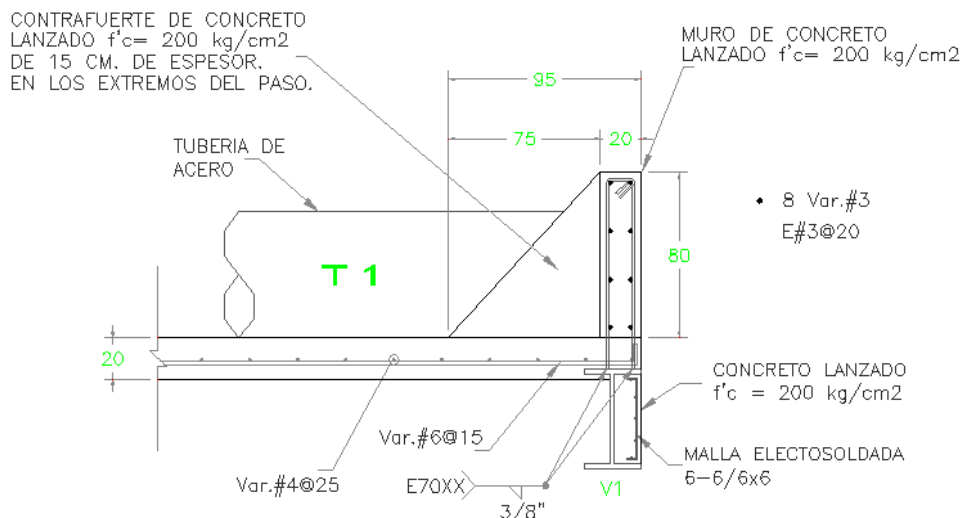


Figura VII.4.15.2. Contrafuerte de concreto lanzado



Imagen VII.4.15.3. Llenado de tubos suelo-cemento



Imagen VII.4.15.4. Tubos laterales llenos



Imagen VII.4.15.5. Llenado tubería superior



Imagen VII.4.15.6. Lanzado de marco Tenango



Imagen VII.4.15.7. Armado de contrafuerte Tenango



Imagen VII.4.15.8. Lanzado de contrafuerte



Imagen VII.4.15.9. Portal Tenango (lanzado)



Imagen VII.4.15.10. Portal Ixtapan (lanzado)



Imagen VII.4.15.11. Lanzado de tubos y columna



Imagen VII.4.15.12. Lanzado de V-1 y armado



Imagen VII.4.15.13. Muro Ixtapan (lanzado)



Imagen VII.4.15.14. Portal Ixtapan (lanzado)

VII.4.16. EXCAVACIÓN DE PORTALES PARA DAR NIVEL DE PISO DE TÚNEL.

Después de tener construido los contrafuertes armados y lanzados, así como la tubería perdida y marcos de entrada y salida es necesario bajar la rasante para lo cual se requiere el trazo de la curva para el corte en los 2 portales, se debe bajar de acuerdo a la pendiente y distancia, se abrirá cajón a una distancia de largo de 20 metros en cada portal y el ancho de 10.70 metros considerable tanto para carriles, acotamiento y cuneta, el trazo se realizará con ayuda de una estación total, se sembrarán estacas y posteriormente se encalará para que el operador de la maquinaria se oriente respecto a los límites de corte, el acarreo se hará en camiones volteo para lo cual se requiere detener el tráfico en la autopista para entrada y salida de camiones. Se pusieron bandereros en conjunta coordinación para evitar cualquier tipo de accidente.



Imagen VII.4.16.1. Excavación portal Ixtapan



Imagen VII.4.16.2. Excavación portal Tenango



Imagen VII.4.16.3. Levantamiento topográfico



Imagen VII.4.16.4. Material de portal Tenango



Imagen VII.4.16.5. Niveles portal Ixtapan



Imagen VII.4.16.6. Trazo de excavación Tenango



Imagen VII.4.16.7. Niveles de Excavación



Imagen VII.4.16.8. Abriendo cajón Tenango



Imagen VII.4.16.9. Deteniendo tráfico Ixtapan



Imagen VII.4.16.10. Camión saliendo de obra



Imagen VII.4.16.11. Excavación casi terminada



Imagen VII.4.16.12. Cargando camión Tenango



Imagen VII.4.16.13. Deteniendo tráfico Tenango



Imagen VII.4.16.14. Nivel de rasante



Imagen VII.4.16.15. Corte terminado de portales



Imagen VII.4.16.16. Trazando perfil de corte

VII.4.17. CONSTRUCCIÓN DE LOSA DE PISO DE CONCRETO HIDRÁULICO ARMADO.

El concreto hidráulico es una mezcla de material inerte grava, arena con una aglutinante que es el cemento y aditivos cuando se requiera. La dosificación será aquella que a partir de resultados de laboratorio se obtenga la que se especifica en el proyecto.

El mezclado será por medios mecánicos que garanticen la homogeneidad de la mezcla y se obtengan los revenimientos según sea el lugar de la colocación; el cemento será tipo I. El agua que se utilice para la elaboración de los concretos deberá ser libre de impurezas, sales dañinas y sin materia orgánica en suspensión, no podrá utilizarse agua de mar por su salinidad.

Antes de iniciar los trabajos de colocación de concreto el contratista deberá de indicar a la supervisión la fuente de abastecimiento del agua para los concretos con el fin de ser autorizado por este.

Durante la colocación se deberá garantizar su compactación y de ser necesario porque el terreno lo requiera se utilizarán vibradores ya sean de motor eléctrico o de gasolina.

El espesor de los concreto y los armados serán los especificados en el proyecto para cada elemento estructural. Los traslapes, longitud de escuadras, radios de escuadras, etc. del acero de refuerzo serán los que marque los reglamentos de construcción vigentes.

El acero de refuerzo se habilitara fuera del paso formando parrillas las cuales se colocarán en el piso del paso sobre los patines superiores de las viguetas de los marcos. Estas parrillas se puntearán con soldadura antes del colado para evitar su desplazamiento y se colaran 2 módulos por colada, 1 modulo será marco 1 con 2.

ESPECIFICACIONES DEL CONCRETO

- $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$
- CEMENTO TIPO CPC 30R
- TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO 3/4" (19 mm)

ACERO DE REFUERZO

- VARILLA DE ACERO DEL # 2 AL # 6
- $f'y = 4,200 \text{ KG/CM}^2$

NOTA: Las especificaciones particulares del concreto premezclado las podemos encontrar en VII.4.9. COLOCACIÓN DE MARCO METÁLICO EN PORTAL IXTAPAN., en apartado **Concreto en contratrabe**, así como para acero en VII.4.11. REVESTIMIENTO DE TÚNEL, A BASE DE MUROS DE CONCRETO HIDRÁULICO ARMADO ENTRE MARCOS METÁLICOS en apartado **Habilitado del acero de refuerzo**.

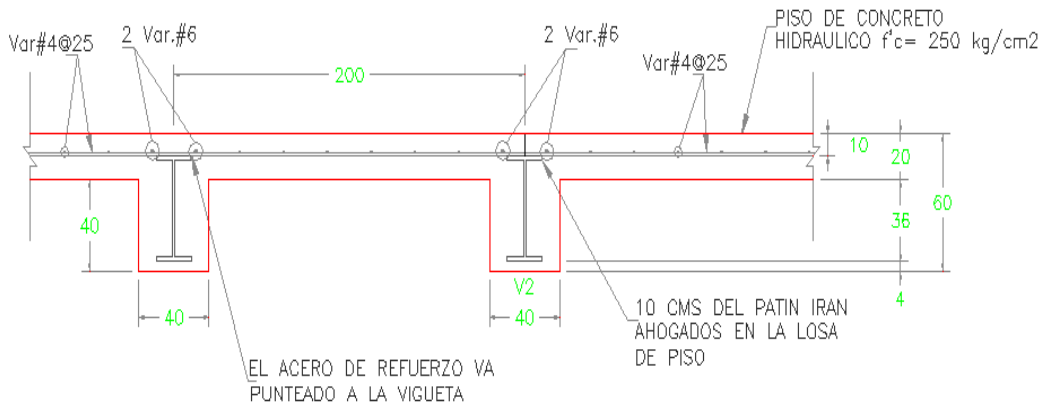


Figura VII.4.17.1. Armado de la losa de piso



Imagen VII.4.17.2. Demolición de zapata



Imagen VII.4.17.3. Zapata demolida



Imagen VII.4.17.4. Lanzado en muros de demolición



Imagen VII.4.17.5. Limpieza del acero



Imagen VII.4.17.6. Soldando placa y cartabones



Imagen VII.4.17.7. Placa y cartabones en V-2



Imagen VII.4.17.8. Limpieza de módulos



Imagen VII.4.17.9. Compactación de terreno



Imagen VII.4.17.10. Colocación de plantilla



Imagen VII.4.17.11. Sopleteado de vigas y acero



Imagen VII.4.17.12. Comenzando armado



Imagen VII.4.17.13. Armado de piso 2 módulos



Imagen VII.4.17.14. Colado de piso marco 11- 9



Imagen VII.4.17.15. Piso colado 2 módulos



Imagen VII.4.17.16. Colando piso con bomba



Imagen VII.4.17.17. Piso colado 9-7



Imagen VII.4.17.18. Piso colado de marco 11-3



Imagen VII.4.17.19. Armado del marco 3-1



Imagen VII.4.17.20. Bomba en la autopista colando



Imagen VII.4.17.21. Colado de marcos 3-1



Imagen VII.4.17.22. Piso terminado en túnel

VII.4.18. CONSTRUCCIÓN DE GUARNICIÓN EN TÚNEL.

Una vez concluido el colado del piso se comenzara el habilitado para armar las guarniciones que quedarán dentro del túnel, tendrán un espesor de 20cm y una resistencia $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$. Para iniciar con la guarnición es necesario cubrir la oquedad que está entre el muro de concreto y la columna C-1, por lo que será llenada **con concreto fluido**, debido a que por bienes económicos estaría muy sobrado el volumen de concreto ahí depositado, una vez llenado con el relleno fluido hasta la altura de la guarnición se armará, se cimbrará y será colada de acuerdo a lo especificado en el proyecto.

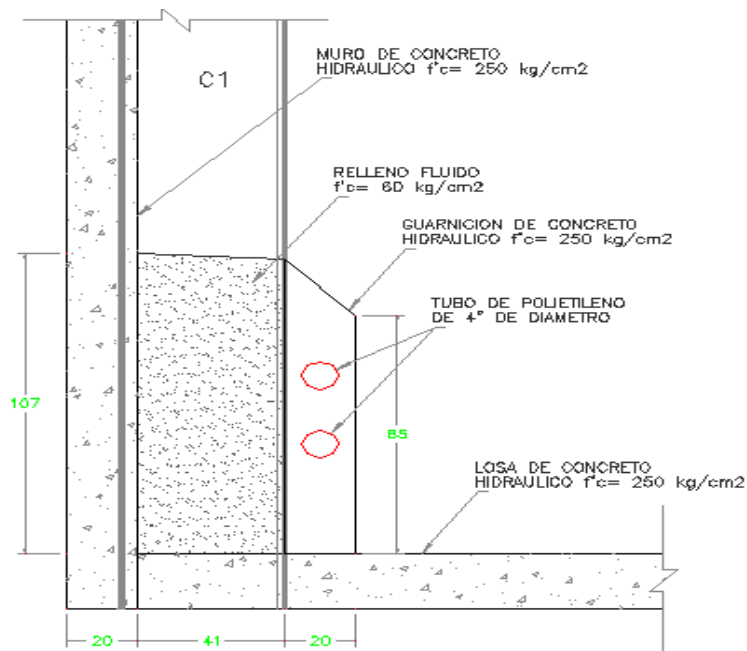


Figura VII.4.18.1. Detalles de guarnición

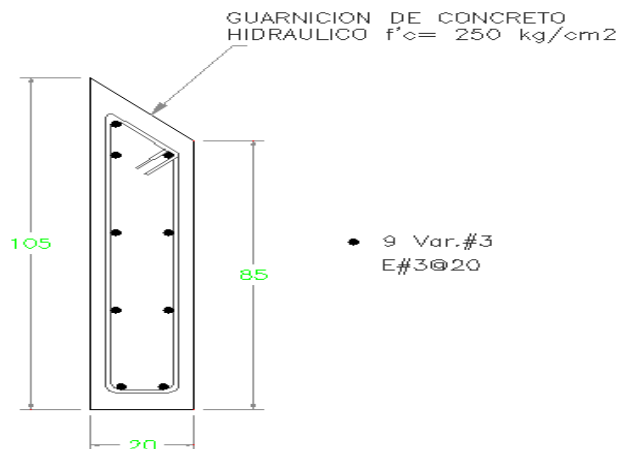


Figura VII.4.18.2. Armado de guarnición



Imagen VII.4.18.3. Armado de guarnición



Imagen VII.4.18.4. Tubería para instalaciones



Imagen VII.4.18.5. Colado de relleno fluido



Imagen VII.4.18.6. Cimbra para guarnición



Imagen VII.4.18.7. Cimbra y colado de guarnición



Imagen VII.4.18.8. Guarnición terminada

VII.4.19. PROTECCIÓN DE TALUDES EN LOS PORTALES DE ENTRADA Y SALIDA DEL P.I.V., CON CONCRETO LANZADO REFORZADO CON MALLA ELECTROSOLDADA TIPO 6-6/6X6.

Al bajar el nivel de la rasante, en la zona de los accesos se crearán taludes por el corte realizado, estos taludes se protegerán de la siguiente forma:

El ángulo de los taludes será de acuerdo a lo indicado en el proyecto, se recubrirán con concreto lanzado en 8 cms de espesor reforzado con malla electrosoldada 6 – 6 / 6 x 6.

En los taludes con altura mayor a 2.5 metros se colocarán anclas de acero de 1” por 3.0 metros de longitud inyectadas con mezcla cemento-arena (1:3).

El concreto lanzado y las anclas se ejecutarán de acuerdo a lo indicado en el plano del proyecto correspondiente.

El concreto lanzado es el resultado de mezclar cemento, arena, grava y aditivos cuando se requieran; previamente dosificados para poder dar la resistencia de proyecto.

Esta mezcla se deposita en una maquina lanzadora especial para este tipo de trabajos que la conduce a presión por medio de aire comprimido a través de una manguera hasta la boquilla de lanzado donde se le adiciona el agua a presión con ayuda de unos aspersores y se proyecta hacia la superficie a revestir.

Especificaciones del concreto lanzado

$f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$

Cemento tipo CPC 30R

Tamaño máximo de agregado = 1/2 “

En el caso del concreto lanzado por cada 50 metros cúbicos que se lancen se sacarán artesas de muestreo para obtener cilindros de prueba en el laboratorio y verificar las resistencias del proyecto.

El aditivo puede ser líquido o en polvo, si el aditivo es en polvo deberá dosificarse y mezclarse con la mezcla seca garantizándose su homogeneidad. Si el aditivo es líquido deberá dosificarse y mezclarse con el agua para ser añadido a la mezcla en la boquilla de lanzado. El aditivo que se emplee deberá ser de diseño especial para concreto lanzado y que haya sido probado ampliamente en este uso.

Se puede utilizar el aditivo sigunit gentile de la marca sika, festerlith a.i. de la marca ferter u otro similar, ambos en la dosificación que marque el fabricante.

COLOCACIÓN DE ANCLAS DE FRICCIÓN METÁLICAS A BASE DE VARILLA DE 1" DE DIÁMETRO POR 3.0 METROS PARA ANCLAJE DEL TALUD DE CORTES.

Definición:

Las anclas de fricción metálicas son de varilla corrugada de alta resistencia en los diámetros y longitudes indicados en los planos de proyecto, son anclas que tienen como finalidad mantener la estabilidad de los taludes de cortes y que trabajen en colaboración, mediante esfuerzos generados por medio de los revestimientos con concreto lanzado armado, su característica y colocación se hará de acuerdo a lo indicado en los planos de proyecto.

Materiales:

Las anclas de varilla y sus accesorios utilizados deben cumplir con lo establecido en los planos de proyecto, no se aceptará el suministro y utilización de acero y soldadura que no cumplan con lo indicado en estos planos. El tramo del ancla será una varilla corrugada del # 8 de $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ con longitud de proyecto.

Equipo:

El equipo que se utilice en la colocación e inyección de las varillas, será el adecuado para obtener la calidad especificada en el proyecto, quedando bajo la responsabilidad del contratista de obra la condición de operación de la misma durante el tiempo que dure la obra.

Ejecución:

Una vez fabricadas las anclas de varilla y sus accesorios se colocarán y se inyectará por gravedad la lechada de acuerdo a lo indicado en el proyecto.

Su colocación se hará en tresbolillo se colocara la primera fila a 1 metro del nivel de piso, 2 metros a los lados y tendrá 1.50 metros de para la siguiente fila superior.

NOTA: Las especificaciones del concreto lanzado se encuentran en el apartado VII.4.14. CONSTRUCCIÓN DE LOSA SUPERIOR DE CONCRETO LANZADO ARMADO.

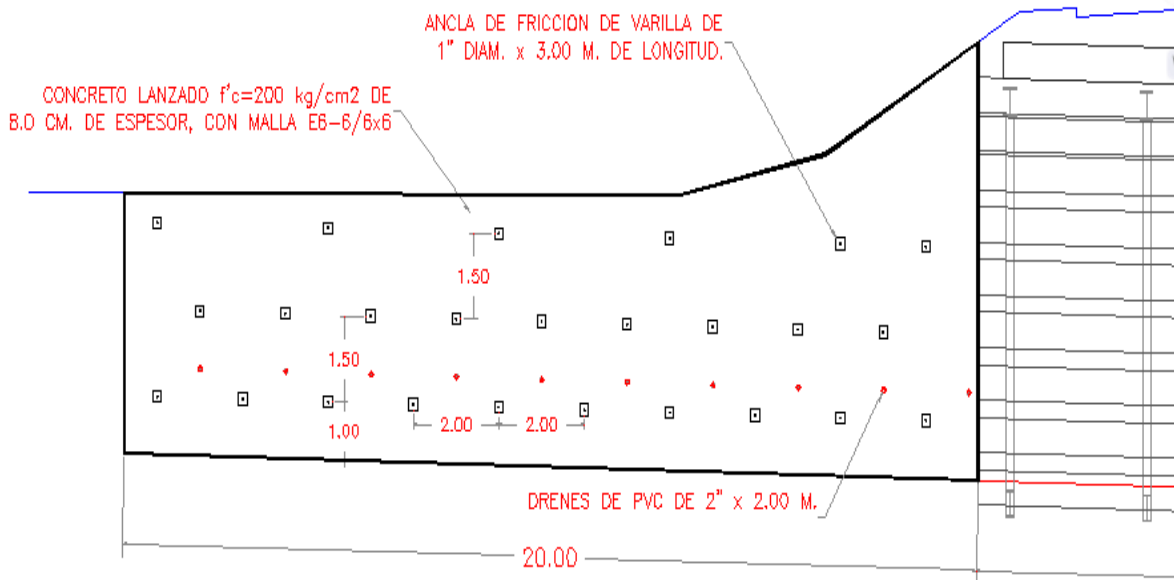


Figura VII.4.19.1. Detalle de lateral izquierdo portal Tenango

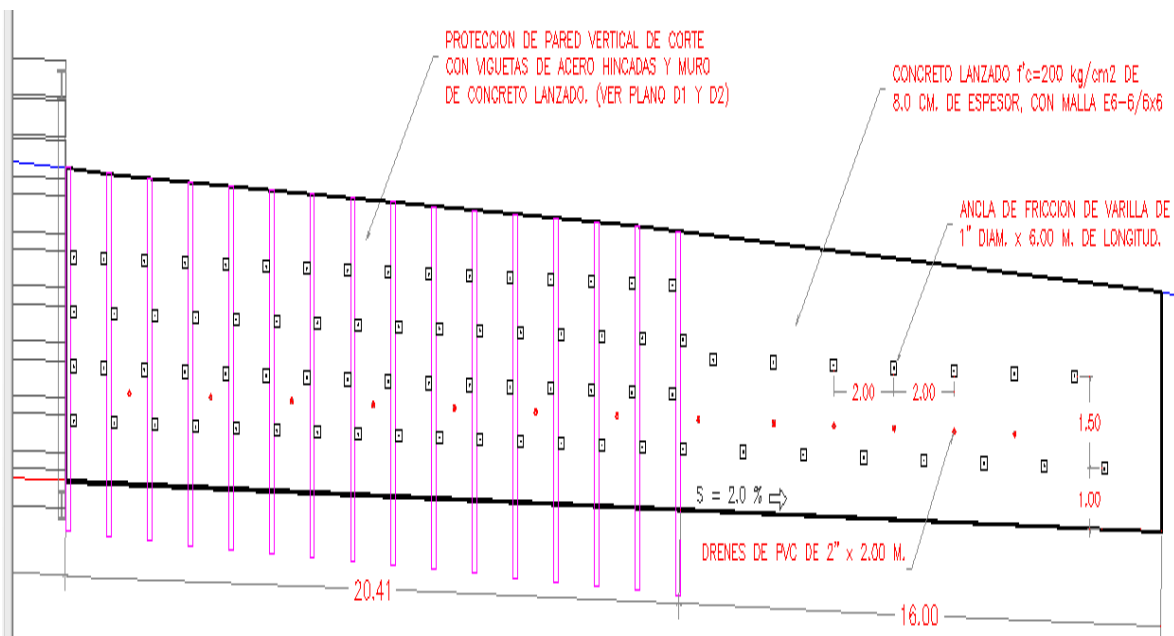


Figura VII.4.19.2. Detalle de lateral izquierdo portal Ixtapan de la sal

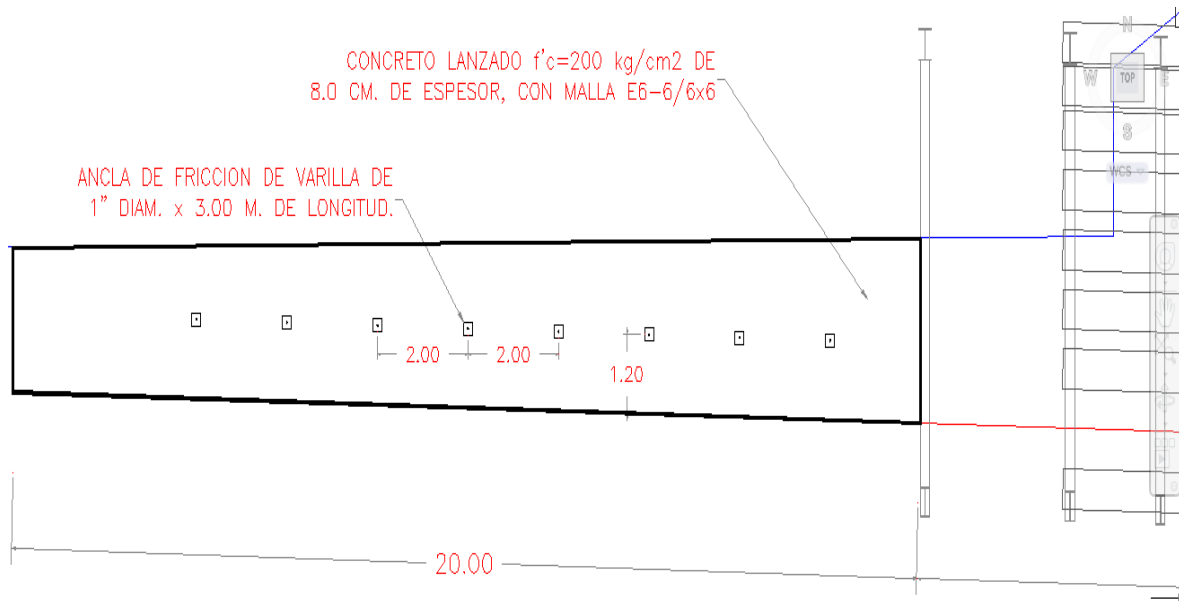


Figura VII.4.19.3. Detalle lateral derecho portal Tenango

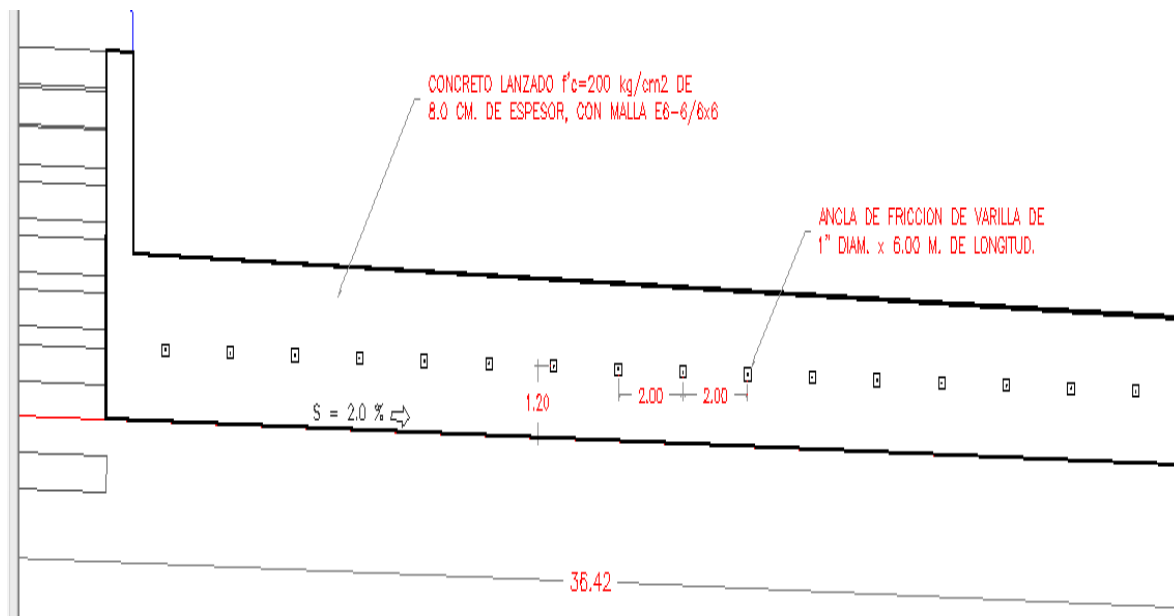


Figura VII.4.19.4. Detalle lateral derecho portal Ixtapan de la sal

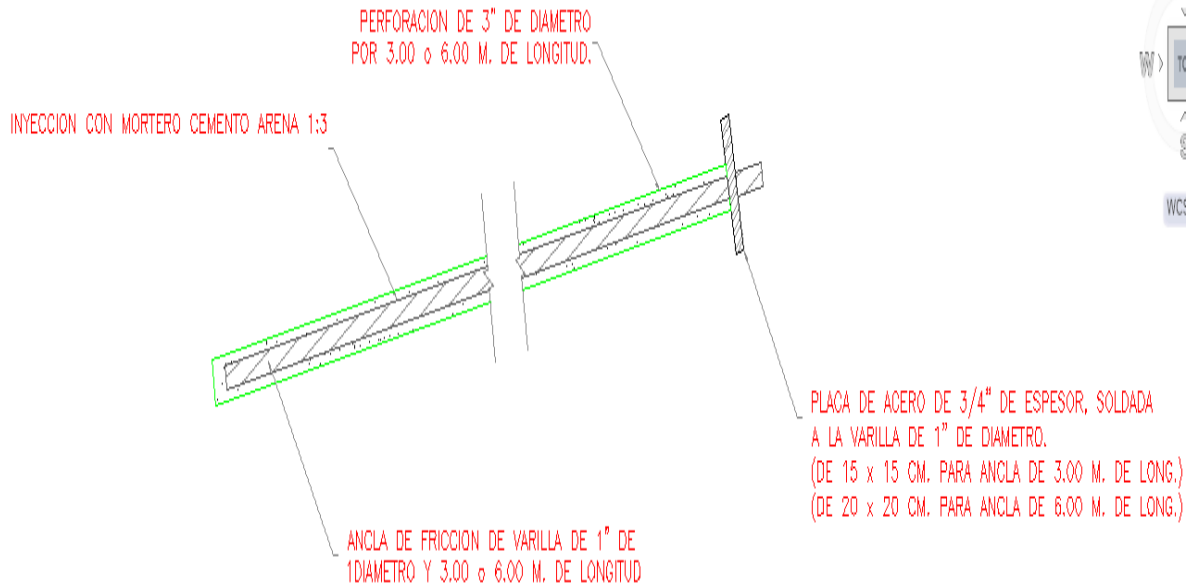


Figura VII.4.19.5. Detalle de ancla

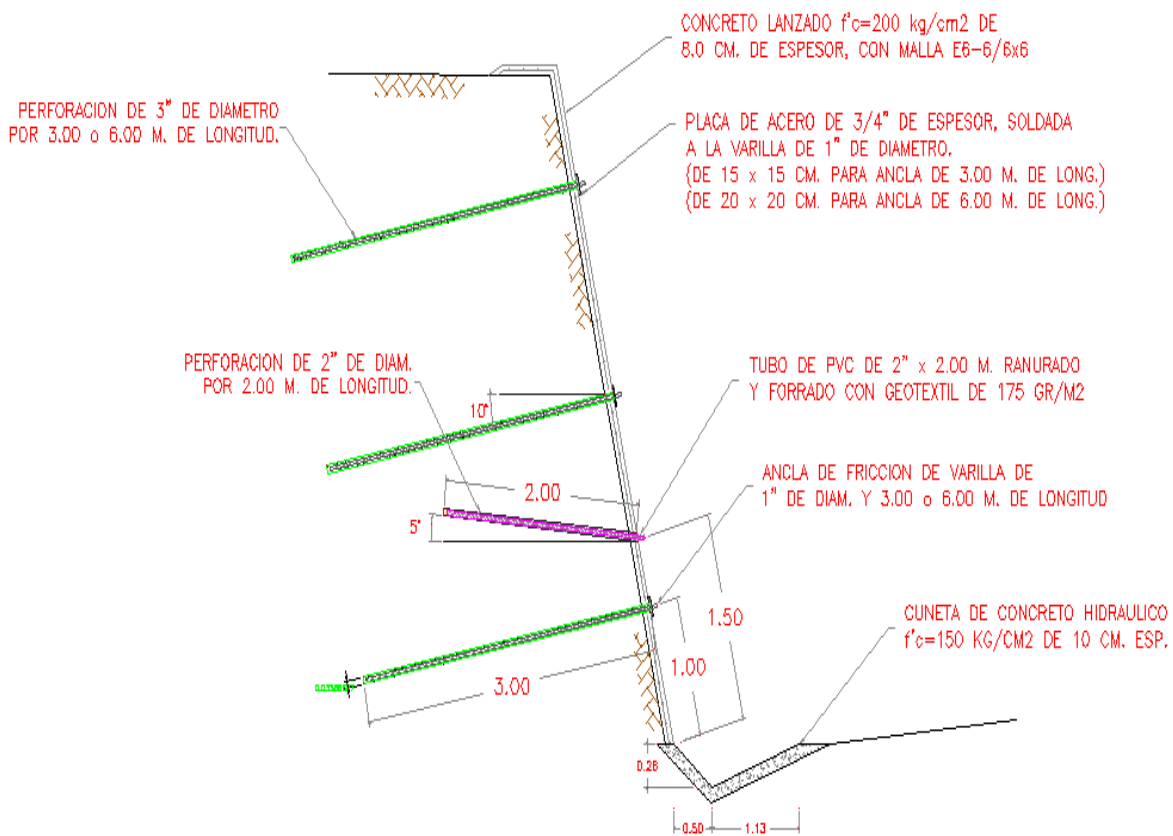


Figura VII.4.19.6. Protección de taludes

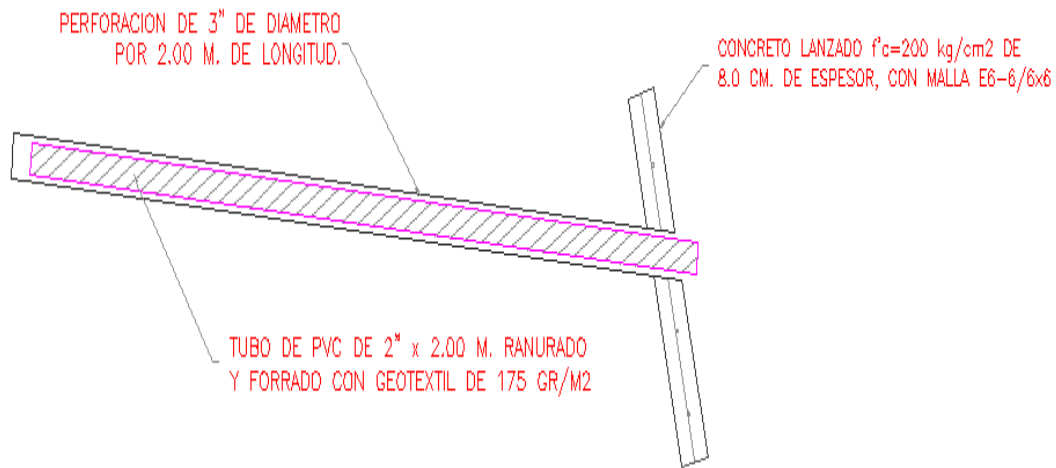


Figura VII.4.19.7. Detalle de Dren



Imagen VII.4.19.8. Colocación de malla 6-6/6x6



Imagen VII.4.19.9. Lanzado L.I. portal Tenango



Imagen VII.4.19.10. Perforación para anclas (stenuick)



Imagen VII.4.19.11. Hombro L.D. portal Tenango



Imagen VII.4.19.12. L.D. Portal Tenango



Imagen VII.4.19.13. L.D. Portal Ixtapan



Imagen VII.4.19.14. Lanzando L.D. Ixtapan



Imagen VII.4.19.15. Talud lanzado L.D, Ixtapan



Imagen VII.4.19.16. Colocación de anclas e inyectado



Imagen VII.4.19.17. Colocando drenes

VII.4.20. CONCRETO LANZADO EN LAS CONSTRUCCIONES.

El desarrollo de máquinas con las que podían proyectarse mezclas de arena y cemento a principios del siglo XX, condujo a la creación de equipos modernos para el concreto lanzado (CL).

En esta parte expondremos aspectos significativos de este material; en esta ocasión acerca de los métodos de colocación, materiales componentes, y principales usos en la actualidad.

Existen dos métodos para la colocación: Vía seca y Vía húmeda. Ambos procedimientos se distinguen por el método de elaboración de la mezcla y por el equipamiento utilizado para la aplicación.

El ACI (American Concrete Institute) define el concreto lanzado como un mortero o concreto transportado a través de una manguera y proyectado neumáticamente a alta velocidad sobre una superficie. Dicha superficie puede ser concreto, piedra, terreno natural, mampostería, acero, madera, poliestireno, etc. A diferencia del concreto convencional, que se coloca y luego se compacta (vibrado) en una segunda operación, el concreto lanzado se coloca y se compacta al mismo tiempo, debido a la fuerza con que se proyecta desde la boquilla.

Si la mezcla que se va a lanzar cuenta sólo con agregados finos, se le llama mortero lanzado, y si los agregados son gruesos se le denomina concreto lanzado. Por otra parte, el concreto con agregado fino es conocido como gunite, y cuando incluye agregado grueso, como shotcrete, aunque también se llama gunite al concreto lanzado por la vía seca, y shotcrete al concreto lanzado por la vía húmeda.

VÍA SECA

El método de colocación por **vía seca** comienza por la preparación de la mezcla de cementantes y agregados (secos o con humedad natural); componentes que son combinados hasta obtener una mezcla homogénea. Ésta se carga en la máquina. Es el momento en el que se pueden agregar los aditivos acelerantes, para conseguir altas resistencias iniciales y disminuir el rebote.

Es en ese momento es en el que se introduce la mezcla seca en la manguera empleando aire comprimido; ésta es transportada hacia la boquilla a gran velocidad. En esta operación se introduce agua a presión a través de un anillo de distribución que corta el paso del material seco, humedeciéndolo junto con el aditivo acelerante (si se usa), y mezclándose con los demás componentes.

El resultado ya húmedo es lanzado a alta velocidad desde la boquilla hacia la superficie, compactándose simultáneamente durante la colocación.

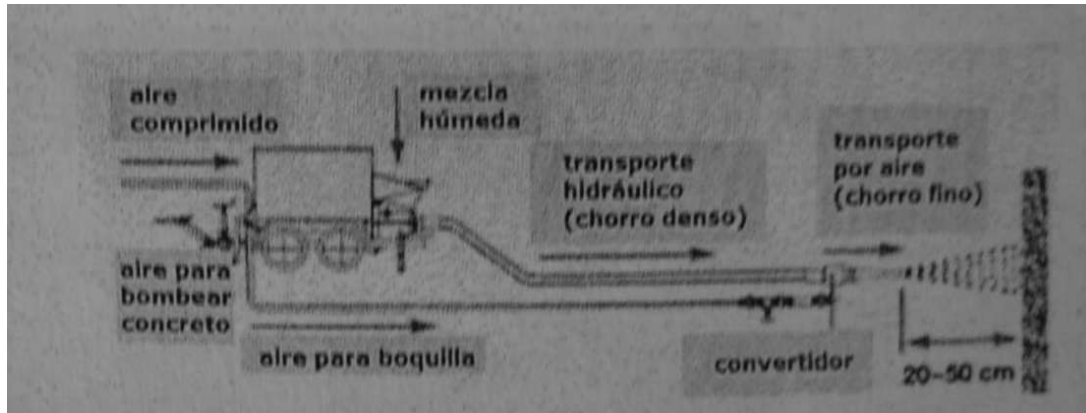


Figura VII.4.20.1. Croquis de lanzado vía seca

VÍA HÚMEDA

Por su parte la **vía húmeda**, comienza por el mezclado de los cementantes, los agregados, el agua, y los aditivos (excepto los acelerantes) hasta conseguir una mixtura homogénea; de acuerdo a las especificaciones de proyecto y al revenimiento mínimo para ser bombeado. Posteriormente, la mezcla de concreto se introduce y es conducida por la manguera de transporte en desplazamiento mecánico; algo similar a lo que sucede en el concreto bombeable. Por último, previo al lanzamiento de la mezcla de concreto contra la superficie, se inyecta aire a presión en la boquilla para incrementar la velocidad y en este proceso se adicionan los aditivos acelerantes.

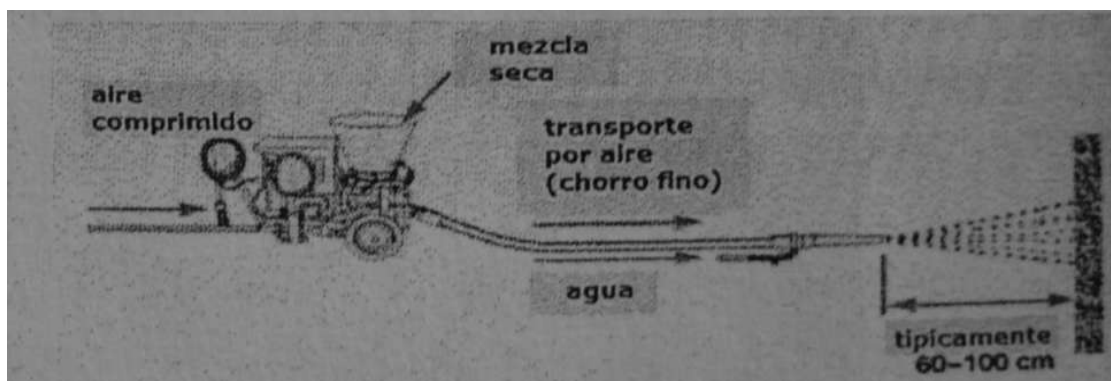


Figura VII.4.20.2. Croquis de lanzado via humeda

En general, con el método húmedo se logran mezclas más homogéneas que permiten mayor adherencia, con mayor resistencia a la compresión y con menos desviación estándar entre los concretos asociados a diferentes aplicaciones de un mismo colado. Puede también alcanzarse con esta vía, una mayor producción de concreto, con mayor rapidez en la colocación, y por tanto, mayor rendimiento en la obra. Hasta hace algunos años el método más utilizado era el de proyección por vía seca; en la actualidad, la tendencia ha cambiado debido a las razones antes expuestas.

La selección del método a usar, como puede entenderse, depende de muchos y variados factores. Cada proyecto debe ser estudiado en sus condiciones particulares, a fin de que pueda ser elegida la mejor opción. En la actualidad se utiliza también la vía semihúmeda; la que se considera idéntica en sus primeras fases a la de la mezcla seca, solo que permite humidades en los agregados de hasta un 10% y el que se adiciona el agua a una distancia de aproximadamente 5 m de la boquilla, mejorando las propiedades de la mezcla al llegar a ésta.

Otras ventajas aluden a que se evita el polvo resultante y la pérdida de cemento, además de que se obtiene un concreto más homogéneo con una mejor relación a/c (agua/cemento), en donde se evita que los componentes de la mezcla se dispersen al momento de hacer la proyección.

La calidad del CL (concreto lanzado) depende también en gran medida de los materiales componentes de la mezcla. El agua utilizada para el amasado, que deberá estar limpia y libre de sustancias que puedan dañar al concreto o al acero, está compuesta del agua añadida en la boquilla, más la proveniente de la humedad de los agregados.

La relación a/c en el CL tiene la misma influencia que en los concretos colados; a mayor cantidad de agua, menor resistencia. Es común que en la proyección por vía seca no exista un valor definido para esta relación, debido a que generalmente el operario de la boquilla es quien controla y regula la cantidad del agua de la mezcla. Los valores más recomendados por la literatura especializada para esta vía oscilan entre 0.30 y 0.55 (en peso). Por su parte, en la vía húmeda se tiene control de esta relación y los valores recomendados varían entre 0.40 y 0.65; en dependencia de las características y de las proporciones de los materiales a utilizar.

Además de ser un buen lubricante, el cemento portland actúa como aglutinante en la mezcla de CL, uniendo y fijando las partículas de agregado a través de la matriz;

esta es la razón por la que es parcialmente responsable de las propiedades mecánicas del material endurecido.

En general el cemento debe tener propiedades de fraguado rápido y de resistencia a edad temprana; aunque si el material va a ser expuesto a la acción de suelos o aguas subterráneas con alta concentración de sulfatos, deberá emplearse cemento sulforresistente. Usualmente, la proporción de material cementante varía entre 350 y 450 kg/m³ para la vía seca, y entre 400 y 500 kg/m³ para la vía húmeda.

Los agregados, que podrán ser naturales, triturados o una mezcla de ambos, deben corresponder con el tamaño que recomiendan las instrucciones de los equipos de lanzado, y con una curva granulométrica bien graduada. Así mismo, los agregados tienen la misma importancia que en los concretos colados, pues constituyen el esqueleto de la matriz del CL, aproximadamente el 75% del volumen de ese material es arena y grava.

En general, las partículas de los agregados deben de estar limpias, libres de materias orgánicas, terrones de arcilla, u otras sustancias nocivas indeseadas; adicionalmente deben ser duras, resistentes, y con una calidad uniforme. Por otra parte, se recomienda en la mezcla un elevado porcentaje de finos, a fin de mejorar la adherencia y reducir las pérdidas durante el lanzado. De igual forma se requiere de una cantidad suficiente de gruesos para favorecer la compactación, mejorar la resistencia, reducir la adherencia entre la pasta y la manguera, y atenuar el efecto de las contracciones en el material durante el proceso de secado de la mezcla.

Para la vía seca, normalmente se recomienda emplear un tamaño máximo de 10mm, y eventualmente de hasta 16mm, con un módulo de finura de la arena que debe oscilar entre 2.8 y 3.2. La arena en esta vía no debe tener más de un 5% de humedad. En la vía húmeda los tamaños máximos de los agregados deben estar entre 8 y 10 mm, lo que es una consecuencia de las limitaciones de los equipos de lanzado; aunque no se descarta también el hecho de que la utilización de agregados “pequeños” es una manera de evitar grandes pérdidas por rebote.

Los aditivos en el CL, al igual que en el resto de los concretos, son sustancias orgánicas y/o inorgánicas en estado líquido o en polvo, que reaccionan con la hidratación del cemento; ya sea de forma química o física. Estos aditivos se agregan antes, durante o después del mezclado, y se utilizan para lograr propiedades específicas, tanto en el concreto fresco, como en el endurecido. Cabe decir que entre los más importantes para mezclas colocadas por vía seca figuran los acelerantes de fraguado, que como su nombre lo indica, reducen el tiempo de fraguado, lo que

induce a que el concreto desarrolle una resistencia inicial mayor, situación que a su vez permite el “lanzado” de capas consecutivas con una mayor rapidez y con mayores espesores.

Para el caso de las mezclas por vía húmeda, los aditivos más utilizados son los estabilizadores de fraguado, acelerantes, plastificantes, e incluso de aire. Los aditivos estabilizadores resultan indispensables para mantener la trabajabilidad y extender el tiempo durante el transporte y la colocación, sin afectar la calidad del material. Puede mantenerse “dormido” el concreto, por un periodo que va desde algunas horas hasta tres días, según la dosis aplicada. Para reactivar la hidratación se agrega aditivo acelerante durante la proyección.

En cuanto a las adiciones minerales, las más utilizadas suelen ser el humo de sílice y las cenizas volantes. En general, su empleo se traduce en una importante mejora en la calidad del CL, manifestada en una aceptable resistencia a la compresión, mayor densidad, mejor adherencia, reducción del rebote y mejor bombeabilidad. Las fibras de acero y sintéticas, igualmente son bastantes utilizadas en el CL. Su empleo incrementa la ductilidad del material, mejora la resistencia al impacto, y reduce la propagación de grietas, sobre todo originadas por el efecto de las contracciones.

Son variados los proyectos estructurales usando CL en muchas partes del mundo. Algunas de las aplicaciones más comunes son: reparación y/o reforzamiento de estructuras de concreto y mampostería; construcción de muros de cualquier tipo; revestimiento de túneles y obras subterráneas como galerías de minas, cavernas y pozos; estabilización de taludes.



Imagen VII.4.20.3. Lanzado en pilas de concreto

Otros usos comunes son: protección impermeable en obras hidráulicas (presas y canales); construcción de tanques de almacenamiento de agua, silos y otras obras de concreto para almacenaje, así como de plantas de tratamiento, piscinas y estanques.



Imagen VII.4.20.4. Lanzado en muros

El CL se ha convertido en una buena opción para la industria de la construcción y su calidad es el resultado del desarrollo tecnológico, tanto en los materiales componentes de la mezcla, como en la tecnología de equipos, aunque también una dosis de lo anterior, es el resultado de los sofisticados sistemas de control de calidad que en obra se han llegado a implementar.

El empleo de esta tecnología se traduce en una opción técnica a un costo razonable, demostrando determinadas ventajas frente a los métodos tradicionales. Con los cuidados necesarios, las expectativas de desarrollo del CL para las aplicaciones estructurales son y deben continuar siendo cada vez mayores.

VENTAJAS

VÍA SECA

- Puede variarse la relación agua-cementante (a/c), según necesidades del proyecto; dado que el control del agua se realiza desde la boquilla.
- Resulta especialmente apta para aquellas mezclas con agregados porosos y con agregados muy finos.
- Posibilita trabajar con mangueras más largas; o sea en trabajos donde se requieran grandes distancias de colocación del concreto (no segregación).

- Se puede detener la proyección de la mezcla en cualquier momento con un desperdicio mínimo.
- Los equipos empleados son de menor costo.

VÍA HÚMEDA

- La cantidad de agua puede medirse con mayor exactitud (por peso) y controlarla durante el mezclado con una relación a/c constante.
- Hay una disminución de las pérdidas de cemento; no se genera polvo y el rebote durante la proyección es menor, lo que genera un mejor ambiente de trabajo.
- Brinda mayor seguridad en el mezclado de los componentes, siendo la adición de aditivos más sencilla.
- Es ideal para la aplicación de cualquier tipo de fibras.
- Es mucho menor el consumo de aire. Se suele usar menos de la mitad, que el que se usa en la vía seca.

DESVENTAJAS

VÍA SECA

- Genera mucho polvo durante el proceso, así como un menor rendimiento de colocación.
- Se tiene un mayor consumo de aire y mayor pérdida durante el lanzado.
- Existe una alteración permanente de la relación a/c, pues es común que el control del agua lo realice el operador de acuerdo con su experiencia.
- Hay un mayor desgaste del equipo, de ahí se requiera de mayor mantenimiento.
- Se crean concretos menos homogéneos (diferencias de resistencias).

VÍA HÚMEDA

- Las mezclas son propensas a contraerse debido al agua excesiva que debe incluirse para obtener la bombeabilidad requerida.
- Las mezclas en general son más costosas.
- Hay un requerimiento de una mayor coordinación en obra, debido al menor tiempo disponible.
- Es más difícil la limpieza del equipo.
- Debe de existir un limitado número de interrupciones.

VII.4.21. COLOCACIÓN DE ELEMENTOS METÁLICOS, PERFIL REDONDO DE 3" DE DIÁMETRO PARA EL CONTRAVENTEADO DEL ADEME DEFINITIVO EN EL INTERIOR DEL PASO INFERIOR VEHICULAR.

Definición:

Los elementos de contraventeado son perfiles metálicos redondo de 3" de diámetro que tienen como finalidad mantener juntas y hacer que los marcos de perfil de acero estructural y de la estructura de ademe definitivo trabajen en colaboración, mediante la transmisión de esfuerzos por medio de estos elementos, su característica y colocación se hará de acuerdo a lo indicado en el proyecto.

Materiales:

Los elementos de contraventeado y sus accesorios utilizados cumplirán con lo establecido en el proyecto, no se aceptarán el suministro y utilización de los elementos de contraventeado y soldadura que no cumplan con lo indicado en los planos de proyecto.

Equipo:

El equipo que se utilice en la colocación y de los elementos de contraventeado, será el adecuado para obtener la calidad especificada en el proyecto, quedando bajo la responsabilidad del contratista de obra la condición de la fijación del mismo durante el tiempo que dure la obra.

Ejecución:

Una vez fabricados los elementos de contraventeado y sus accesorios se colocarán y se fijarán de acuerdo a lo indicado en el proyecto.

NOTA: En las columnas, su longitud quedará dividida en 5 claros iguales de 1.30 metros, por 4 puntales de tubo de acero de 3" x 1/4" de espesor, colocados en el sentido longitudinal del paso.

En las traveses superiores, su longitud quedará dividida en 5 claros iguales de 2 metros, por 4 puntales de acero de 3" por 1/4" de espesor, colocados en el sentido longitudinal del paso.

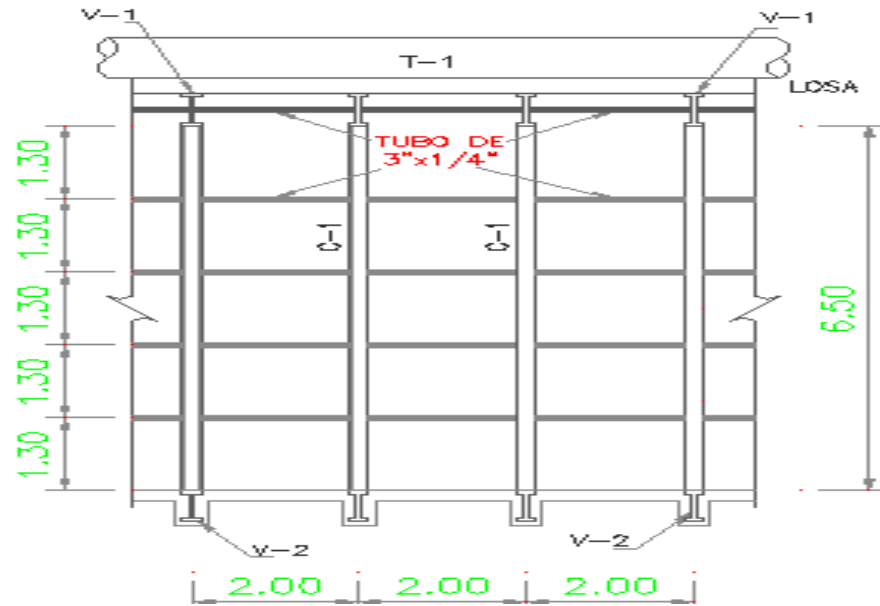


Figura VII.4.21.1. Distribución de contraventeo.



Imagen VII.4.21.2. Contraventeo en el interior de túnel.

VII.4.22. CONSTRUCCIÓN DE VOLADIZO A BASE DE TRABES Y DIAFRAGMAS PARA ACCESO A INVERNADEROS.

Una vez concluido la protección del muro de contención completamente armado, lanzado, colocación de anclas y drenes se podrá construir un voladizo a base de trabes y diafragmas, este se construirá sobre las viguetas hincadas para la protección, se armaran las trabes, se unirán con diafragmas y en su parte superior llevara una losa de 15 cm de espesor dando la forma al acceso de abanico, se protegerá posteriormente con pasamanos y se nivelara los accesos de entrada realizando una rampa de acceso para unirla a la ampliación.

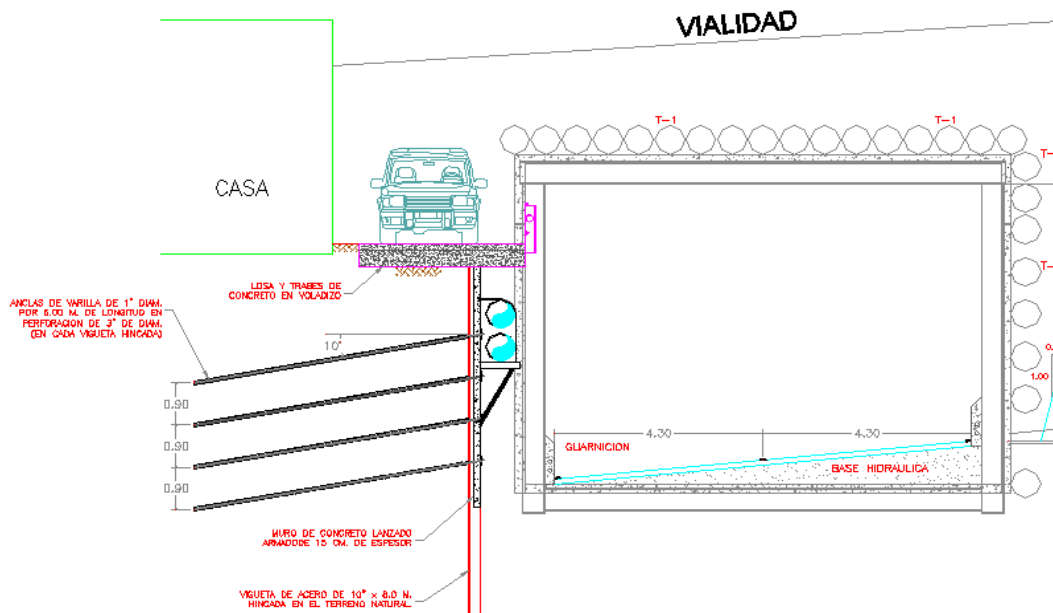


Figura VII.4.22.1. Ampliación de camino acceso a invernaderos

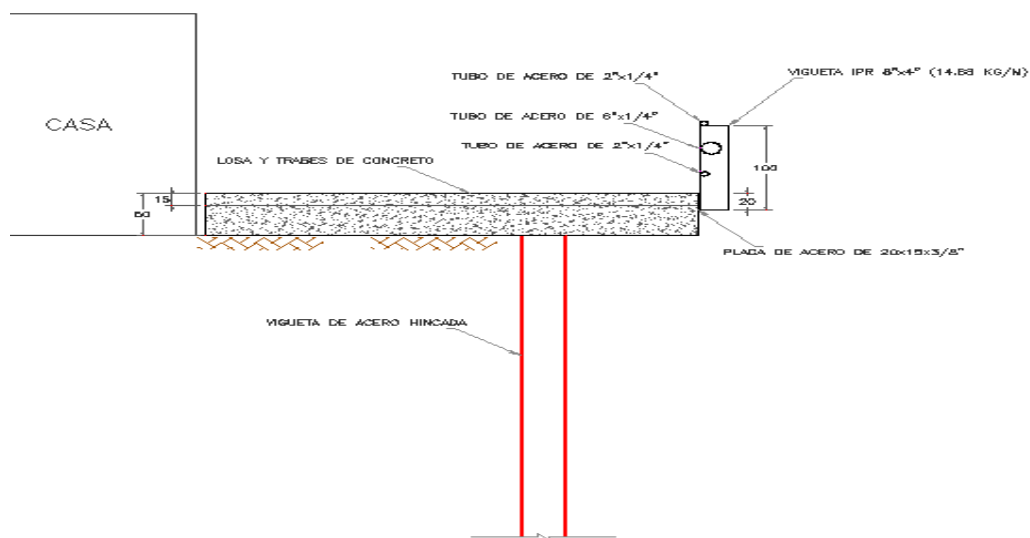


Figura VII.4.22.2. Alzado de la ampliación

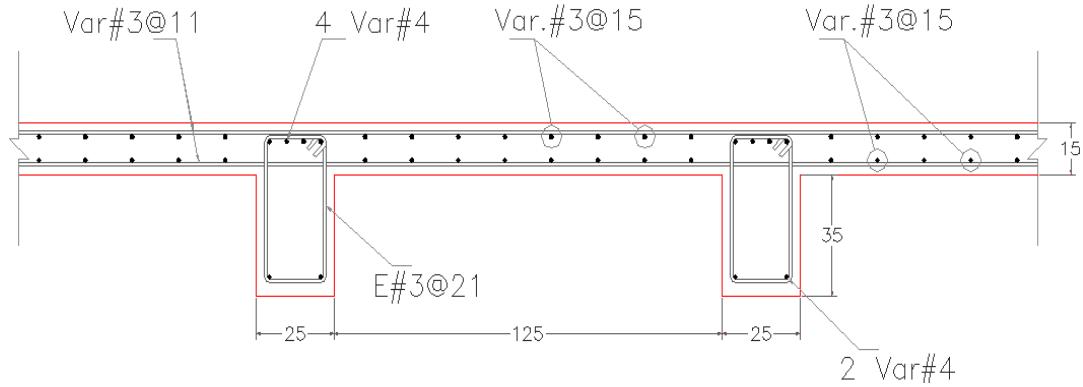


Figura VII.4.22.3. Sección trabe-losa

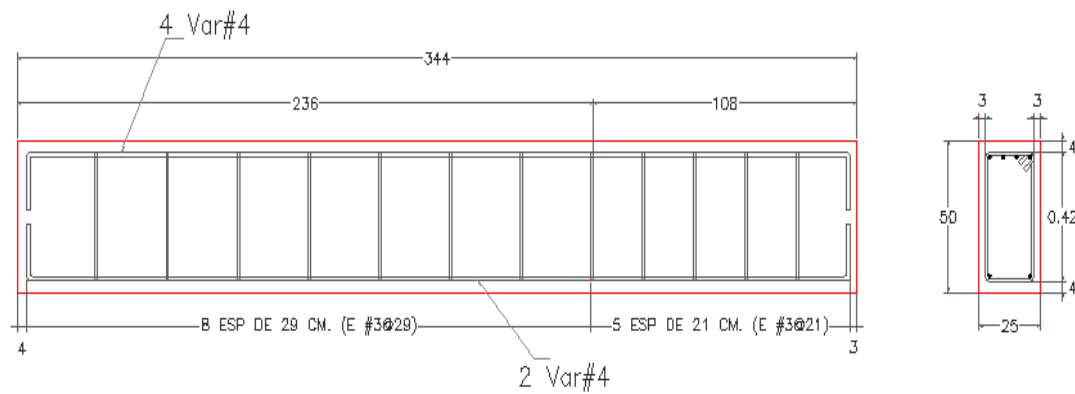


Figura VII.4.22.4. TRABES

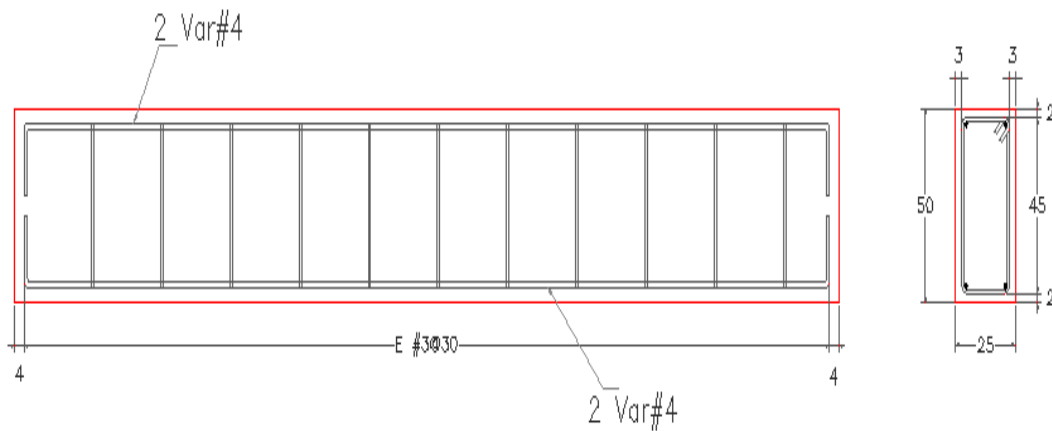


Figura VII.4.22.5. DIAFRAGMAS



Imagen VII.4.22.6. Acceso normal



Imagen VII.4.22.7. Excavación traves y diafragmas



Imagen VII.4.22.8. Colocación de traves y diafragmas



Imagen VII.4.22.9. Colocación de acero para losa



Imagen VII.4.22.10. Colado de voladizo



Imagen VII.4.22.11. Barandal de protección

VII.4.23. BASE HIDRÁULICA COMPACTADA AL 95% DENTRO DEL P.I.V.**Definición:**

La base es una capa de materiales pétreos seleccionados que se construyen sobre la subbase, cuyas funciones principales son proporcionar un apoyo uniforme a la carpeta asfáltica o a una losa de concreto hidráulico, soporta las cargas que esta le transmite aminorando los esfuerzos inducidos y distribuyéndolos adecuadamente a la capa inmediata inferior.

Materiales:

Los materiales a emplearse en la construcción de la base, serán los procedentes de banco, estos se seleccionarán y compactarán, siendo el tamaño máximo de agregado de 39 milímetros (39 mm.), (1 1/2”), la capa tendrá con el espesor indicado en el proyecto y se compactara al 95% de su pvsm.

Equipo:

El equipo que se utilice en los trabajos de la construcción de la subbase, será el adecuado para obtener la calidad y el rendimiento especificado en el proyecto, quedando bajo la responsabilidad el contratista de obra el mantenimiento en óptima condición de operación del mismo durante el tiempo que dure la obra.

Ejecución:

La base hidráulica se construirá con material producto de banco, el cual será propuesto por el licitante y deberá cumplir lo correspondiente a lo indicado en las normas de la SCT. La construcción de la base se iniciara cuando se tenga terminado la losa del piso del túnel.

La formación y compactación de la base hidráulica, se realizará conforme a lo señalado en las normas de construcción e instalación y deberá cumplir lo siguiente:

La descarga de los materiales que se utilicen en la construcción de la base deberá hacerse sobre la losa de piso del túnel en la forma y en los volúmenes por estación de veinte (20) metros.

Los procedimientos de ejecución de la base, así como su proporcionamiento, será fijado en el proyecto.

Cada capa extendida se compactara hasta alcanzar el grado mínimo fijado en el proyecto sobreponiéndose las capas hasta obtener el espesor y sección fijados en el proyecto a fin de ligarlas debidamente.

Podrá efectuarse la compactación en capas de espesores mayores que el indicado, siempre que se obtenga la compactación fijada en el proyecto, se darán riegos superficiales de agua, durante el tiempo que dure la compactación, únicamente para compensar la pérdida de humedad por evaporación.



Imagen VII.4.23.1. Llegada de la base hidráulica



Imagen VII.4.23.2. Humedeciendo material



Imagen VII.4.23.3. Homogenizando del material



Imagen VII.4.23.4. Compactación de la primera capa



Imagen VII.4.23.5. Compactación de la última capa



Imagen VII.4.23.6. Base hidráulica en interior del túnel

VII.4.24. LIMPIEZA FINAL EN EL INTERIOR DEL TÚNEL

Definición:

Es el conjunto de operaciones necesarias para dejar la zona de trabajo completamente limpia, libre de basura, azolve, o cualquier otro agente extraño en el interior del P.I.V. la limpieza en general será retirando todo el material o desperdicio de material sobrante.

VII.4.25. TÚNEL FINALIZADO

El túnel quedó concluido a satisfacción de la SCT, comprendido como una obra de alta categoría en labores ingenieriles, que además de las labores proyectadas, se llevaron a cabo ciertas obras extraordinarias que no dejan de ser importantes ya que están proyectadas en el túnel, pero de una forma provisional, a excepción del tubo perdido número 9 del lateral izquierdo ya que este fue limpiado y acondicionado en su totalidad para que sirva como conductor de las aguas pluviales. Entre otras obras adicionales, se mencionan las siguientes:

- 1.- Cunetas de concreto $f'c = 150 \text{ Kg/cm}^2$ para ambos portales, ubicada del margen izquierdo en sentido del bombeo generado por la curva.
- 2.- Cárcamo de bombeo en el portal Ixtapan de la sal, que servirá como captador de aguas pluviales y permitirá la introducción de pichanchas y utilizar bombas de agua para retirar el agua almacenada.
- 3.- Pozo de absorción de 4 metros de profundidad por 8 metros de ancho, llenado a base de **Tepojal** un material absorbente, este se ubicó en el portal Ixtapan debido a que la autopista viene descendiendo.



Imagen VII.4.25.1. Portal Ixtapan de la sal detalles provisionales



Imagen VII.4.25.2. Portal Ixtapan de la sal terminado



Imagen VII.4.25.3. Interior del túnel terminado



Imagen VII.4.25.4. Portal Tenango terminado



Imagen VII.4.25.5. Portal Ixtapan Voladizo terminado



Imagen VII.4.24.6. Vista de autopista portal Tenango



Imagen VII.4.24.7. Vista de puente para portal Ixtapan



Imagen VII.4.24.8. Vista de voladizo en acceso a invernaderos



Imagen VII.4.24.9. Vista de acceso a invernaderos

CAPÍTULO VIII. CONCLUSIONES

La realización de este trabajo permite conocer la aplicación de los procesos constructivos establecidos por la Secretaria de Comunicaciones y Transportes para la realización de un túnel, obra que refleja de manera importante un impacto en la sociedad, ya que con el mejoramiento del tránsito vehicular se mejora también el estilo de vida de los ciudadanos, permitiendo de alguna manera disminuir la presión e inconvenientes provocados por el tráfico vehicular; de la misma manera se mejora el ingreso a la ciudad a aquellos que ya sea por fines comerciales, de negocios o turismo tienen que acceder a Ixtapan de la Sal, Estado de México.

Para la ejecución de la obra se tuvieron los planos siempre a disposición, de tal forma que se siguieran las especificaciones del proyecto; además se llevó un registro de las actividades diarias en la bitácora de obra durante el tiempo que duró la misma, para que los trabajos y procedimientos realizados fueran ejecutados conforme a los lineamientos de la secretaria de comunicaciones y transportes.

Además, se cumplió puntualmente con las especificaciones del proyecto y con todas las pruebas de calidad de los materiales empleados para la realización de los diversos conceptos de trabajo, satisfaciendo de esa manera las demandas establecidas por el proyecto.

Cabe resaltar que durante la ejecución de la obra se cuidó de la mejor manera posible el impacto que se pudiera tener ante el tráfico vehicular, así como mitigar el impacto ambiental, reduciendo en lo posible la generación de basura y escombros disponiendo inmediatamente de ellos, así como de los residuos líquidos. También, en lo posible, se vigiló del uso de equipo de protección por parte de los trabajadores, reduciendo al mínimo la posibilidad de accidentes laborales.

Con la realización de este trabajo se abordan técnicas relativamente nuevas en los procesos constructivos para este tipo de estructuras, tales como, la utilización del sistema de hincado de tubería a base de piloteadoras con equipo neumático, así como la terminología que se le da en el país a las diferentes partes que componen un túnel.

Por último, espero que aquellos lectores que recurran a este trabajo encuentren una guía de la misma manera que yo lo hice a través de mi investigación, ya que ese es el propósito final de este trabajo, es decir, orientar a aquellos que busquen información técnica sobre la construcción de túneles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

En el presente trabajo se hace referencia de reproducciones textuales a normas y especificaciones de organismos oficiales, libros de texto y fuentes virtuales de información relacionadas con la construcción de túneles.

- a) Túneles y excavaciones subterráneas. Curso Víctor Hardy 85 (AMITOS)
- b) Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos (1984). "Túneles Carreteros", SMMS
- c) Tamez Enrique, Rangel José Luis (1997). "Diseño Geotécnico de Túneles", edit. Tgc.
- d) Gavilanes J.H. y Andrade Haro B. (2004). Introducción a la ingeniería de túneles. Asociación de ingenieros de minas del Ecuador.
- e) Tesis métodos de excavación mecánica para excavación de túneles viales, Br. Fernández o., Suleman.
- f) Tesis construcción de túneles, Pedro Roberto Soto Saavedra
- g) <http://ri.biblioteca.udo.edu.ve/handle/123456789/1633>
- h) <http://www.ing.unal.edu.co/gireh/docs/014-Gonzalez.pdf>
- i) <http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/12594>
- J) http://www.equipodeprospecciones.com/descargas/modulo_excavaciones_subterraneas/TEMA%2016.%20INFRAESTRUCTURAS%20DE%20SEGURIDAD.pdf
- k) <http://academic.uprm.edu/laccei/index.php/RIDNAIC/article/viewFile/337/348>
- l) <http://akkermanal.com/hincado.html>
- m) http://www.cruces.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=53&Itemid=65
- n) <https://www.google.co.uk/#q=imagen+de+tunel+por+medio+del+metodo+ingles>
- ñ) <https://www.google.co.uk/search?q=imagen+del+metodo+de+las+dos+galerias+o+metodo+austriaco&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=-PIUU-3bLOOq2gWwvoHgBA&ved=0CCYQsAQ&biw=1301&bih=641>
- o) <https://www.google.co.uk/search?q=imagen+del+metodo+de+las+dos+galerias+o+metodo+austriaco&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=-PIUU->

3bL0Oq2gWwvoHgBA&ved=0CCYQsAQ&biw=1301&bih=641#q=imagen+de+perforadora+ingersoll&tbm=isch

p) https://www.google.co.uk/search?q=esquema+de+un+plan+de+voladura&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=9DcVU5bIO-bM2AXI-YDwAg&ved=0CAkQ_AUoAQ&biw=1301&bih=641

q) <http://www.amitos.org/index.php/component/k2/item/600-librotunelesenmexico>

r) Levantamiento topográfico (<http://www.canalconstruccion.com/levantamiento-topografico.html>)

s) http://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=1&ved=0CCgQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.fitchratings.mx%2FArchivosHTML%2FRepCal_9301.pdf&ei=dijtU4S8O4Sc8QHjgoCACw&usg=AFQjCNEyLMHYSevwpCReKXoo3CtremzJLw (FITCH RATINGS)

t) <https://www.google.com.mx/#q=fitch+ratings+autopista+tenango+ixtapan+de+la+sal>

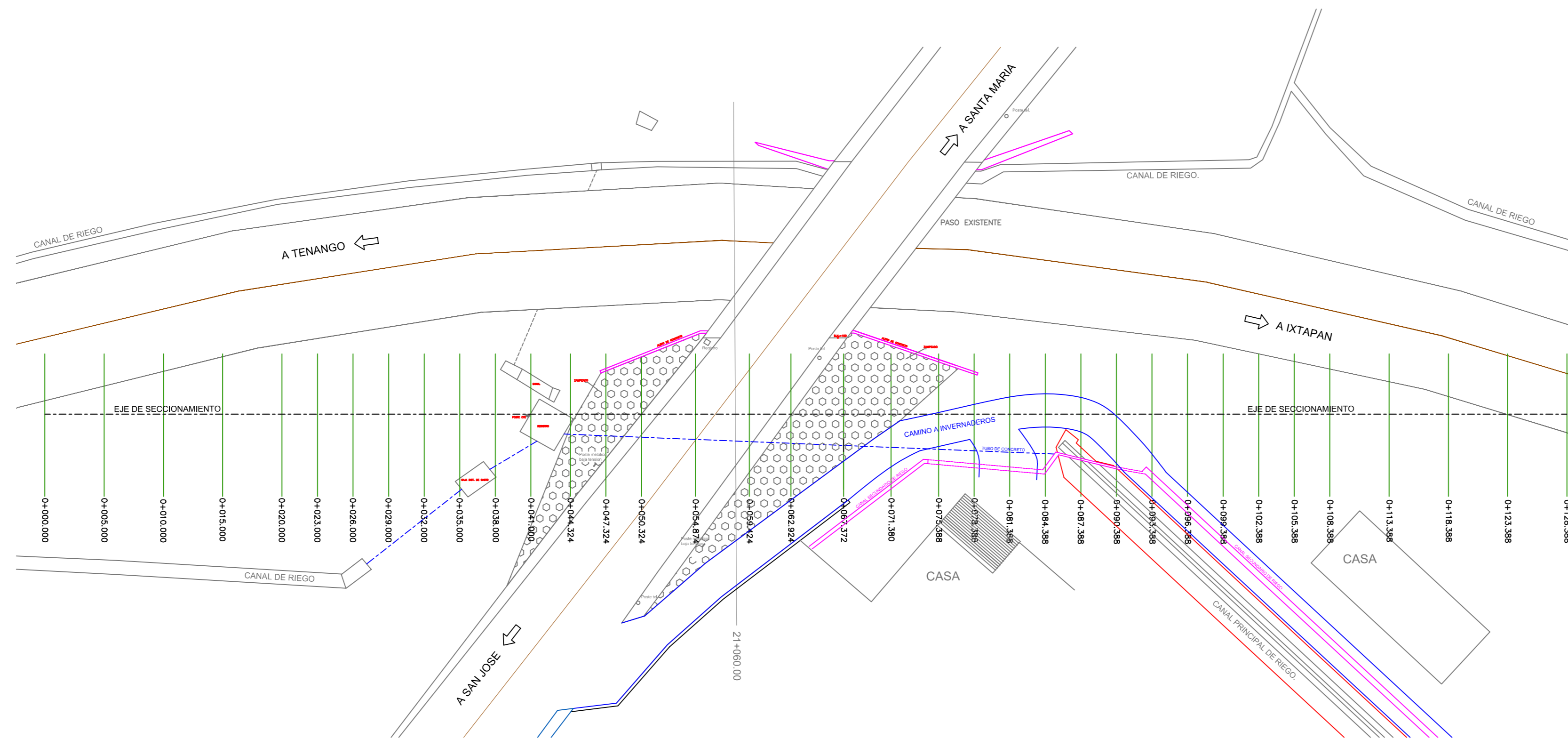
u) <http://www.imcyc.com/cyt/abril02/conclanzado.htm> (concreto lanzado)

v) <http://es.scribd.com/doc/221466811/07-Rozadoras>

w) <http://civilgeeks.com/2011/09/22/metodos-de-perforacion-de-tuneles/>

x) <http://procedimientosconstruccion.blogs.upv.es/category/excavaciones-y-voladuras/metodos-y-equipos-de-excavacion-en-tuneles/>

y) <https://www.google.com.mx/#q=GRUNDORAM>



PLANTA

NOTAS:

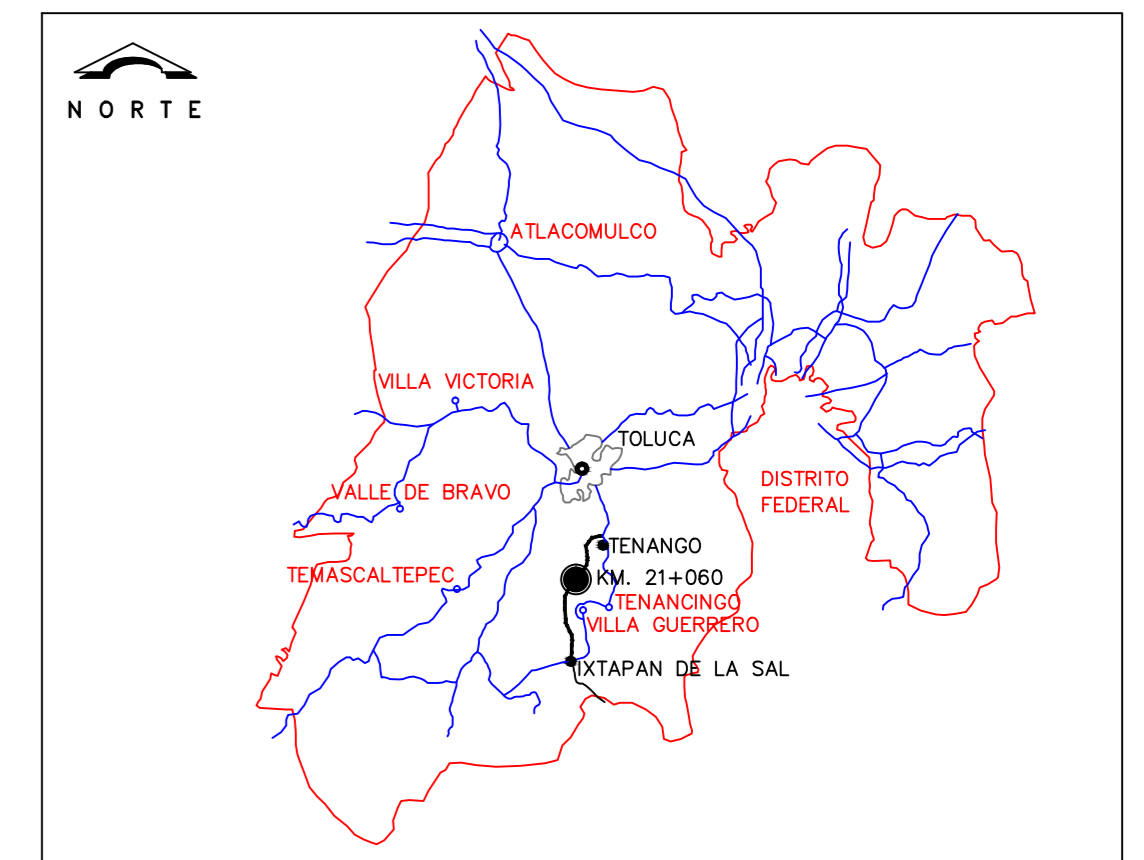
ESPECIFICACIONES:

ESPECIFICACIONES PARTICULARES

CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



CROQUIS DE LOCALIZACION GENERAL



LOCALIZACION PARTICULAR



INMOBILIARIA SIMOBA, S. A. DE C. V.

INMOBILIARIA SIMOBA, S. A. DE C. V.

CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL VEHICULAR PARA EL CRUCE DE LA AUTOPISTA TENANGO-IXTAPAN DE LA SAL, EN EL KM. 21+060, SIN INTERRUPCIÓN DE LA OPERACIÓN DE LA AUTOPISTA, DEJANDO CIRCULAR LIBREMENTE EL TRÁNSITO VEHICULAR.

FECHA

OCT-2012

DIBUJO
INMOBILIARIA SIMOBA, S. A. DE C. V.

PROYECTO
ING. HUGO MONDRAGON MAGAÑA
INMOBILIARIA SIMOBA, S. A. DE C. V.

ESCALA:
INDICADA



GOBIERNO DEL ESTADO DE MÉXICO
Secretaría de Comunicaciones
Sistema de Autopistas, Aeropuertos, Servicios Conexos y Auxiliares



DIRECTOR DE CONTROL DE OBRAS Y PROYECTOS SASCAAM ENCARGADO DEL DESPACHO DE LA DIRECCIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE AUTOPISTAS, AEROPUERTOS, SERVICIOS CONEXOS Y AUXILIARES SECRETARIO DE COMUNICACIONES

Ing. Eleazar Gutierrez Magaña C.P. Arturo Enriquez Garcia M.A.P. Apolinar Mena Vargas

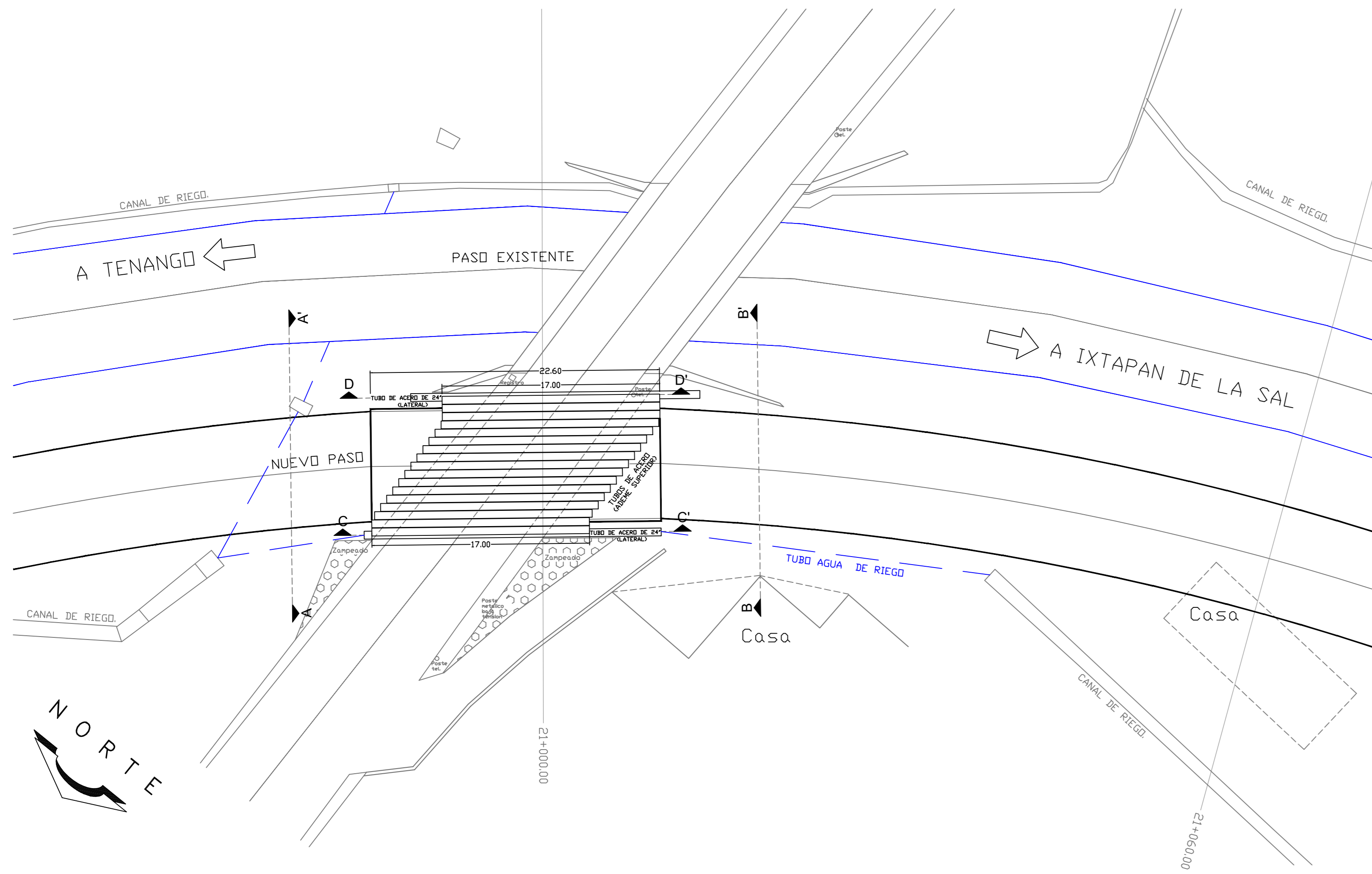
PASO INFERIOR VEHICULAR EN LA AUTOPISTA TENANGO-IXTAPAN DE LA SAL, KM. 21+060

PLANO: LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO (TERRENO NATURAL)

TRAMO: TENANGO-IXTAPAN DE LA SAL SUBTRAMO: KM 21+060

CASETA TENANGO DEL VALLE Km 1+000
SOBRE LA AUTOPISTA TENANGO-IXTAPAN DE LA SAL

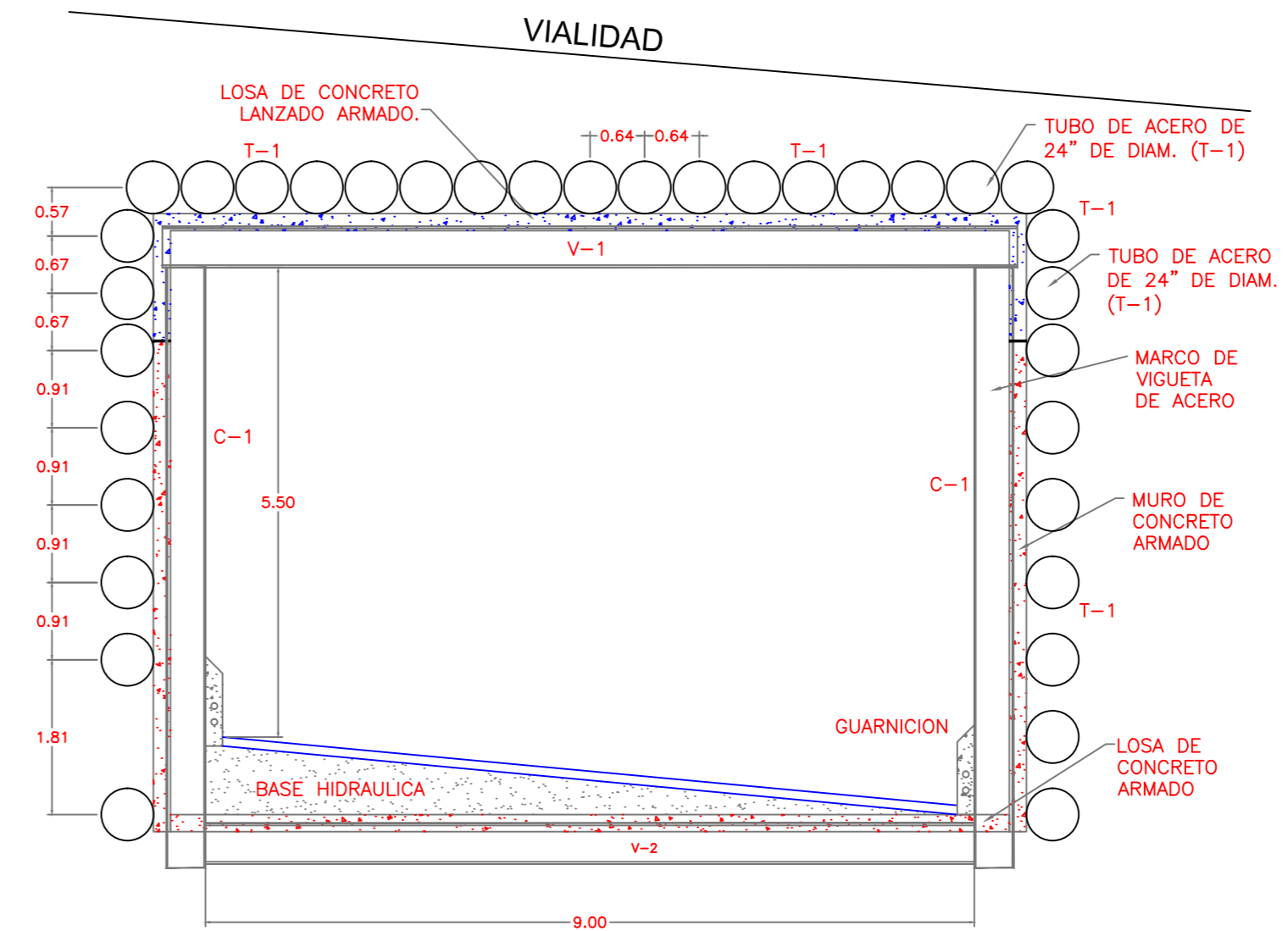
ESCALA: INDICADA
FECHA:
PLAVE DE PLANOS: 02



PASO INFERIOR VEHICULAR KM. 21+060
(PLANTA)

ESC.: 1 : 250

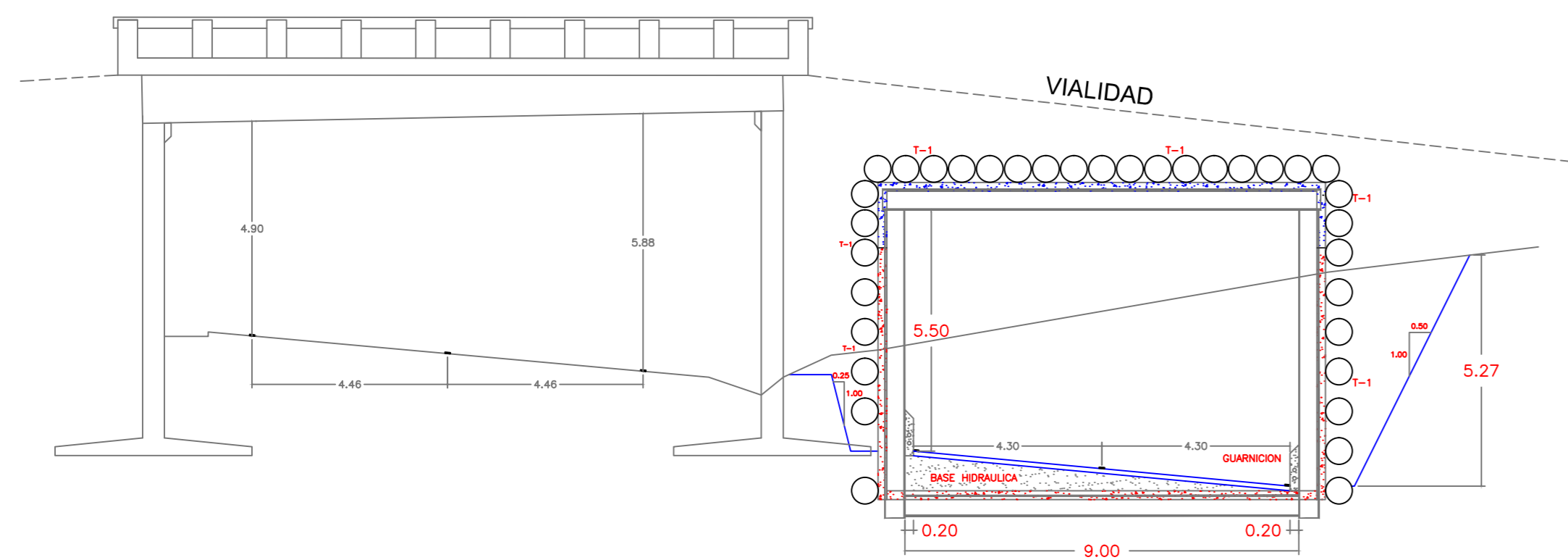
PASO INFERIOR VEHICULAR KM. 21+060
(SECCION TRANSVERSAL)



NOTAS:

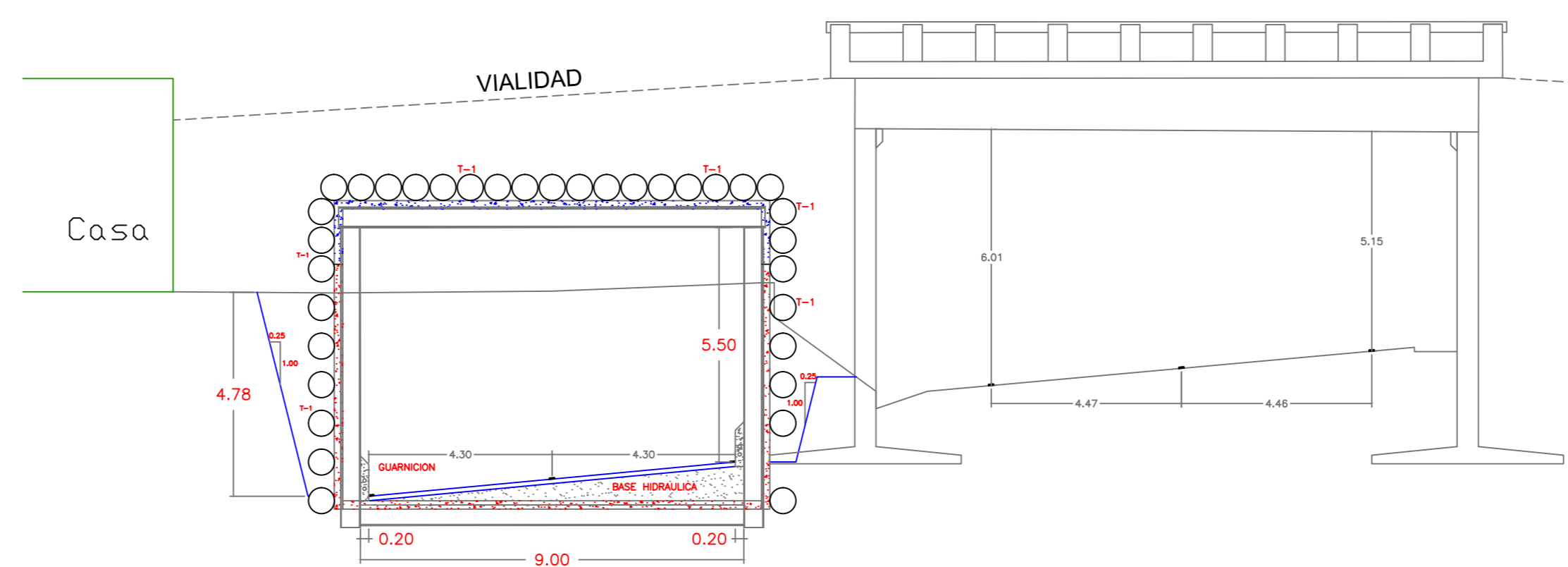
LA UBICACION DE LAS LINEAS DE HINCADO PUEDE TENER VARIACIONES POR LA HETEROGENEIDAD DEL TERRENO.
EN CASO DE QUE EN EL NIVEL DE HINCADO DE UNA LINEA SE ENCUENTRE ALGUNA PIEDRA O PARTE DE CONCRETO DEL PASO EXISTENTE LA LINEA DE HINCADO SE REUBICARA SALVANDO EL OBSTACULO.

ESC.: 1 : 75



CORTE A - A'
(VISTA TENANGO - IXTAPAN)

ESC.: 1 : 125



CORTE B - B'
(VISTA IXTAPAN - TENANGO)

ESC.: 1 : 125

NOTAS:

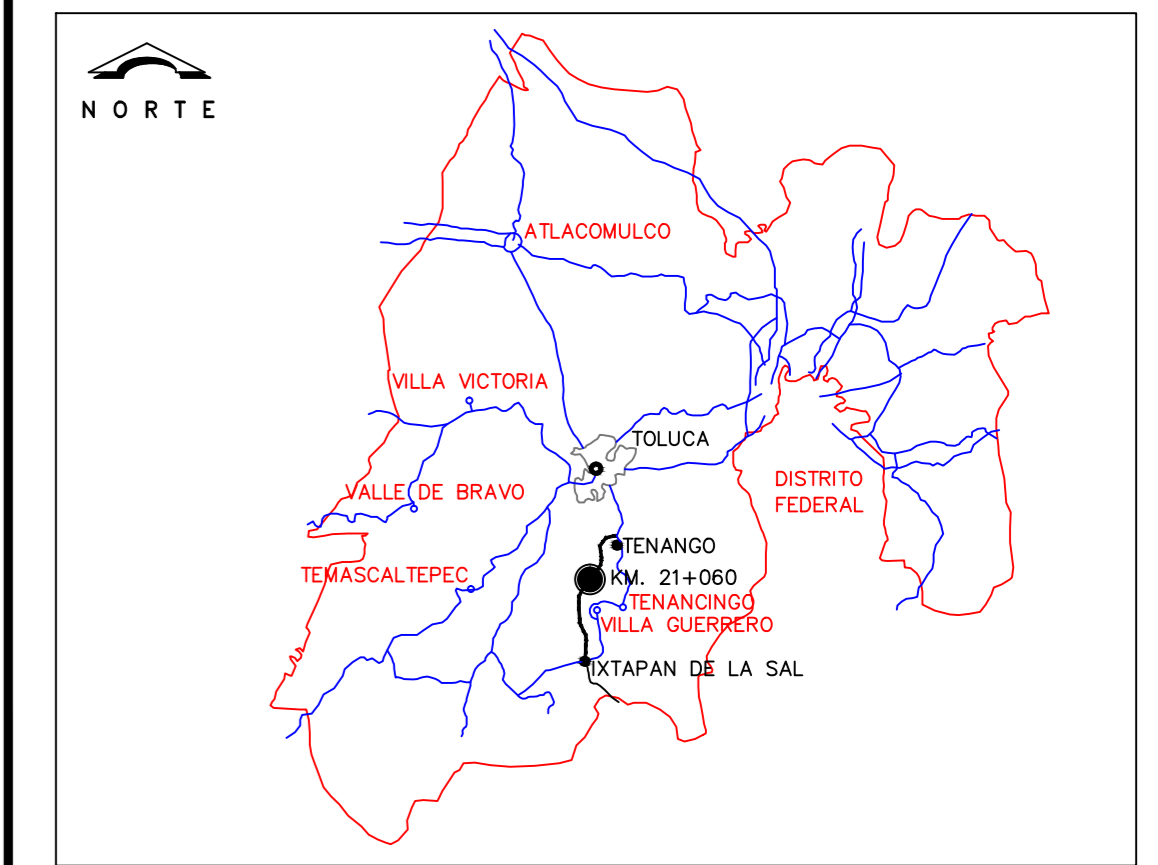
ESPECIFICACIONES:

ESPECIFICACIONES PARTICULARES

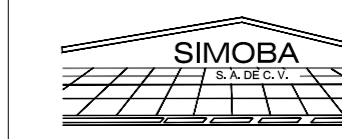
CROQUIS DE LOCALIZACION



CROQUIS DE LOCALIZACION GENERAL



LOCALIZACION PARTICULAR



INMOBILIARIA SIMOBA, S. A. DE C. V.

INMOBILIARIA SIMOBA, S. A. DE C. V.

PASO INFERIOR VEHICULAR PARA EL CRUCE DE LA AUTOPISTA TENANGO-IXTAPAN DE LA SAL, EN EL KM. 21+060 SIN INTERRUPCION DE LA OPERACION DEJANDO LA LIBRE CIRCULACION DEL TRANSITO VEHICULAR.

FECHA
OCT-2012

DIBUJO
INMOBILIARIA SIMOBA, S. A. DE C. V.

PROYECTO
ING. HUGO MONDRAGON MAGAÑA
INMOBILIARIA SIMOBA, S. A. DE C. V.

ESCALA:
INDICADA



GOBIERNO DEL ESTADO DE MÉXICO
Secretaría de Comunicaciones
Sistema de Autopistas, Aeropuertos, Servicios Conexos y Auxiliares



DIRECTOR DE CONTROL DE OBRAS Y PROYECTOS SASACAM ENCARGADO DEL DESPACHO DE LA DIRECCION GENERAL DEL SISTEMA DE AUTOPISTAS, AEROPUERTOS, SERVICIOS CONEXOS Y AUXILIARES SECRETARIO DE COMUNICACIONES

Ing. Eleazar Gutierrez Magaña C.P. Arturo Enriquez Garcia M.A.P. Apolinar Mena Vargas

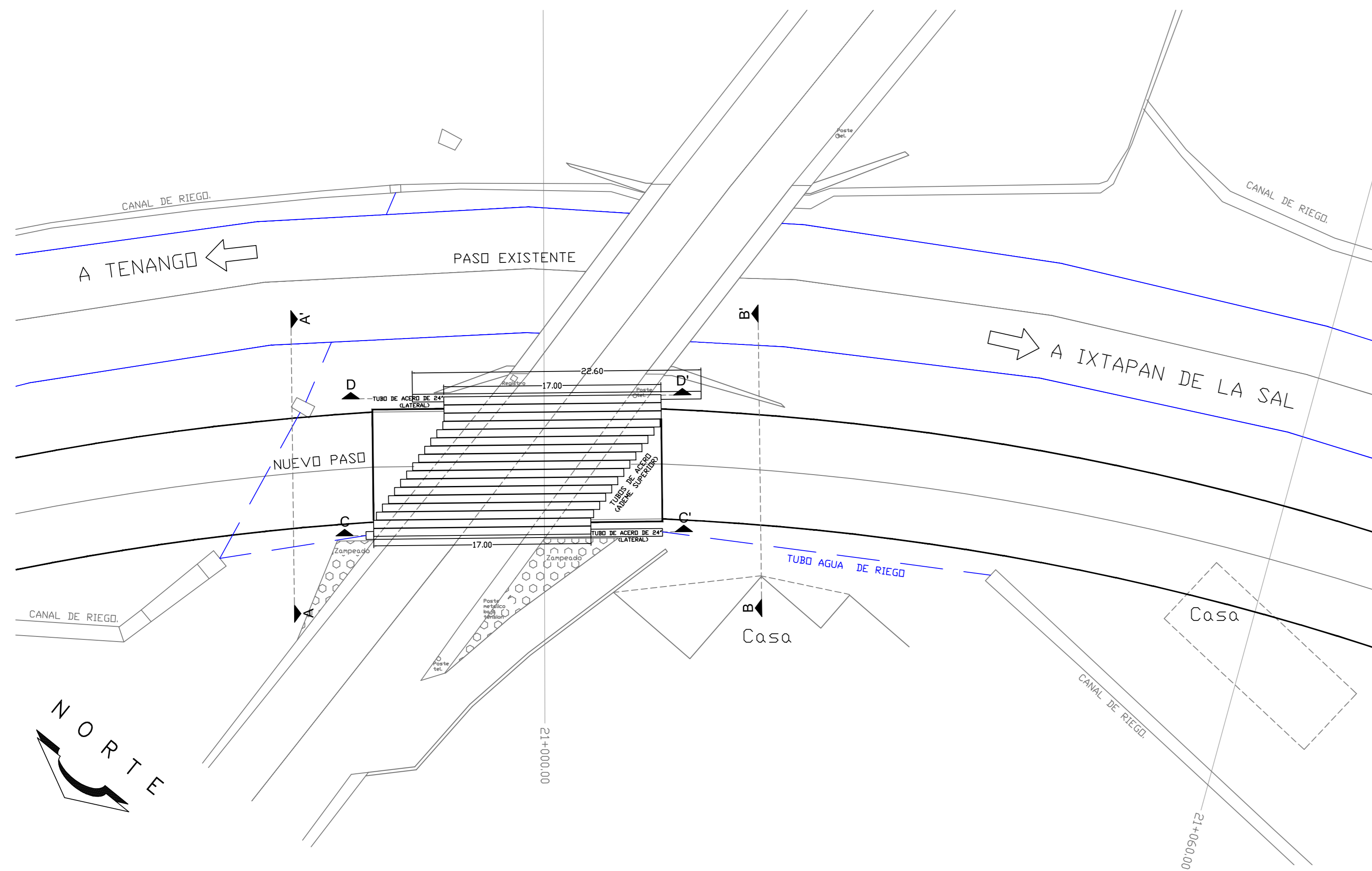
PASO INFERIOR VEHICULAR EN LA AUTOPISTA TENANGO-IXTAPAN DE LA SAL, KM. 21+060

PLANO: HINCADO DE TUBERIA METALICA

TRAMO: TENANGO-IXTAPAN DE LA SAL SUBTRAMO: KM 21+060

CASETA TENANGO DEL VALLE Km 14+000 SOBRE LA AUTOPISTA TENANGO-IXTAPAN DE LA SAL

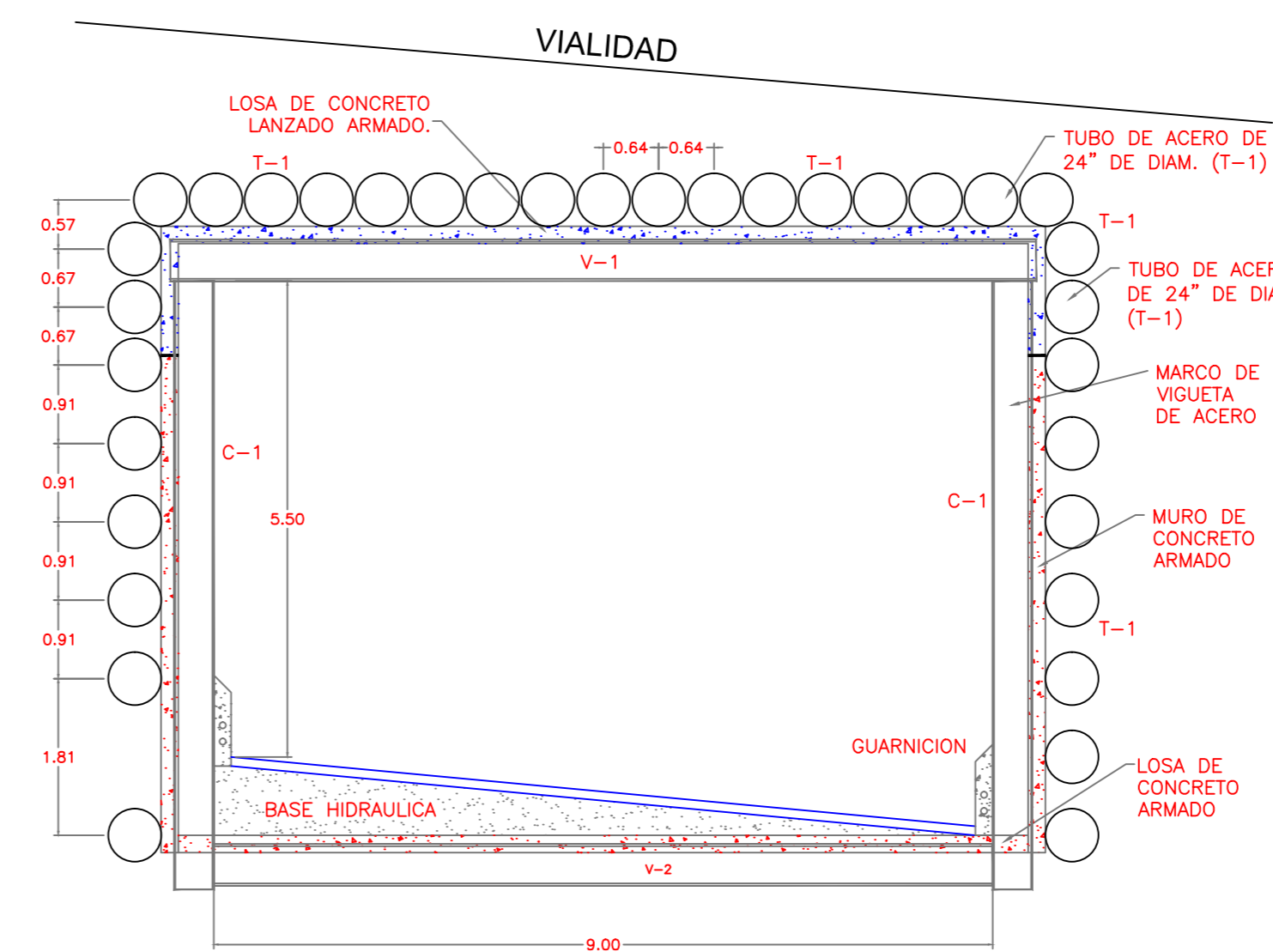
ESCALA: INDICADA
FECHA:
PLAVE DE PLANOS: M1



PASO INFERIOR VEHICULAR KM. 21+060
(PLANTA)

ESC.: 1 : 250

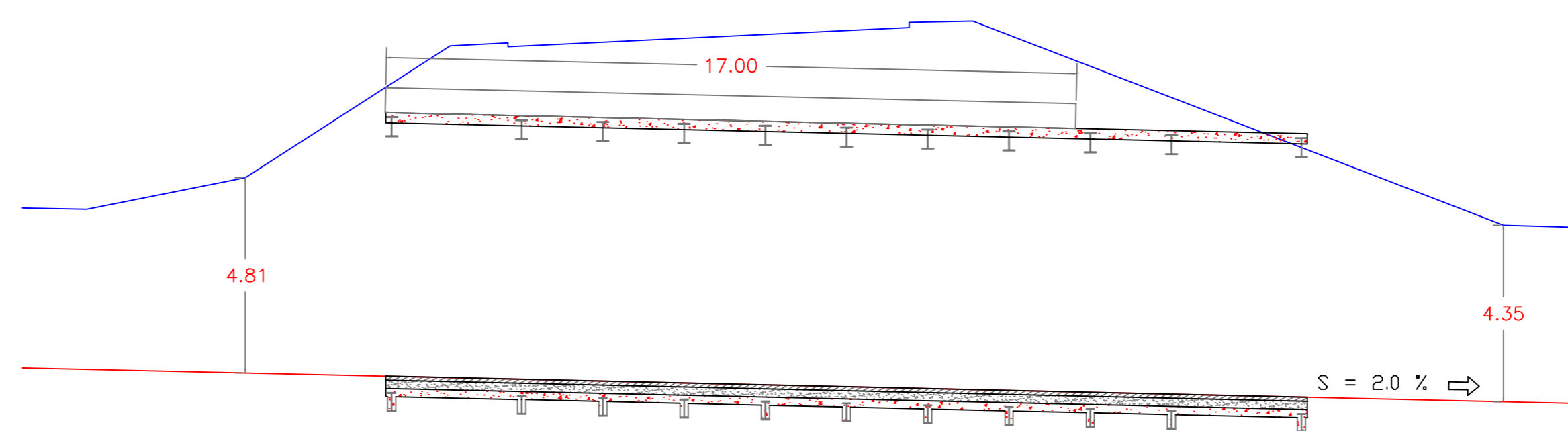
PASO INFERIOR VEHICULAR KM. 21+060
(SECCION TRANSVERSAL)



NOTAS:

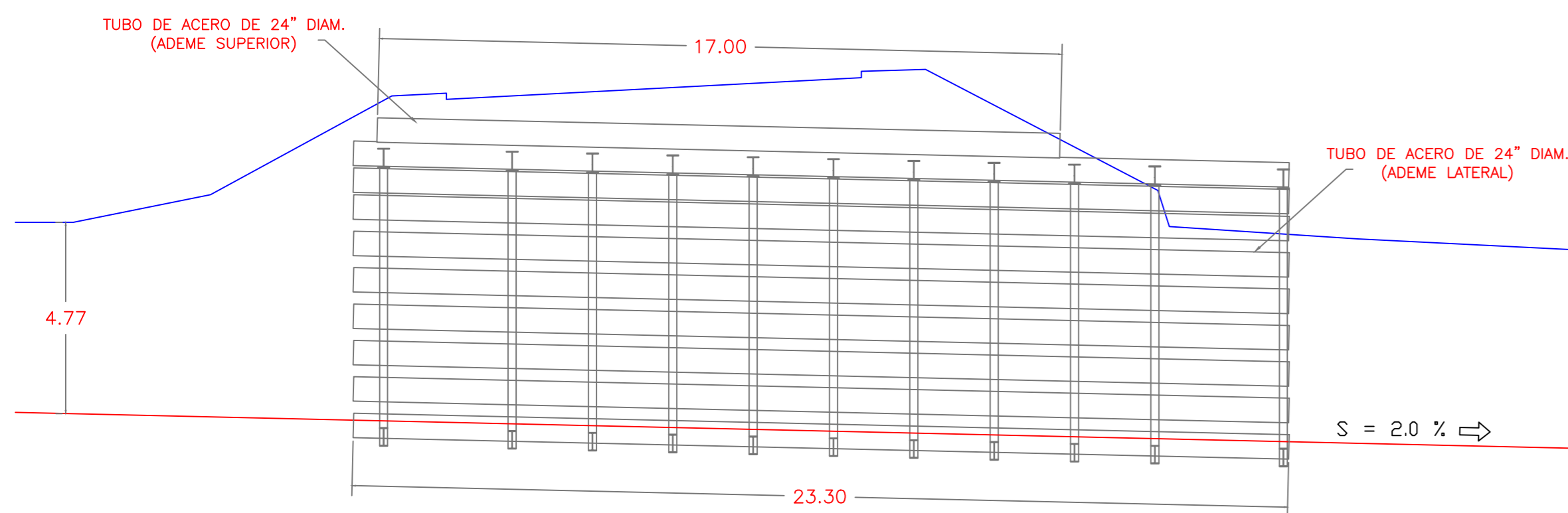
LA UBICACION DE LAS LINEAS DE HINCADO PUEDE TENER VARIACIONES POR LA HETEROGENEIDAD DEL TERRENO.
EN CASO DE QUE EN EL NIVEL DE HINCADO DE UNA LINEA SE ENCUENTRE ALGUNA PIEDRA O PARTE DE CONCRETO DEL PASO EXISTENTE LA LINEA DE HINCADO SE REUBICARA SALVANDO EL OBSTACULO.

ESC.: 1 : 75



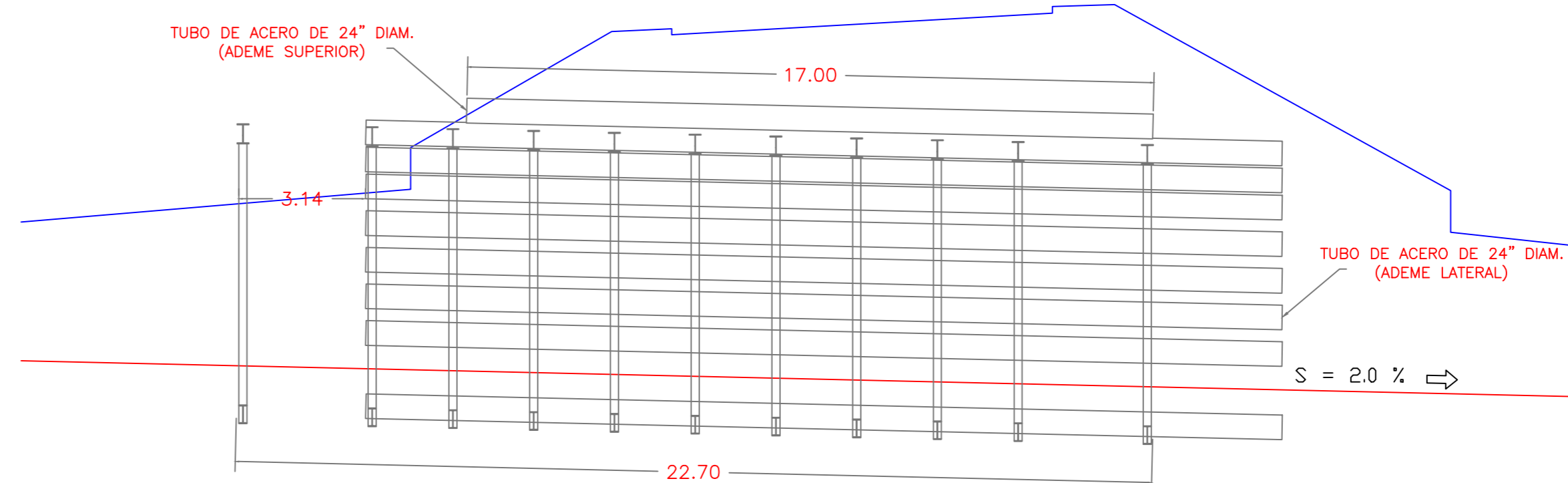
PERFIL LONGITUDINAL EJE DEL PASO

ESC.: 1 : 125



CORTE C - C'
(EJE DE TUBERIA LATERAL NORTE)

ESC.: 1 : 125



CORTE D - D'
(EJE DE TUBERIA LATERAL SUR)

ESC.: 1 : 125

NOTAS:

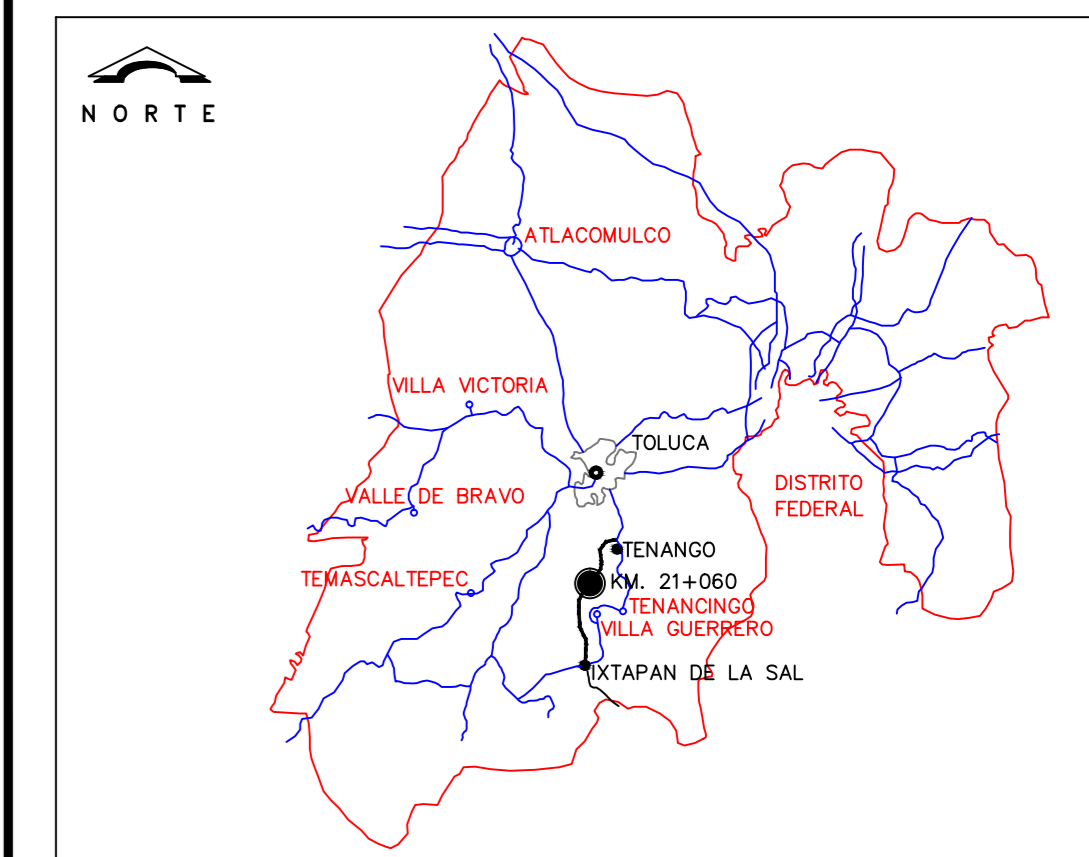
ESPECIFICACIONES:

ESPECIFICACIONES PARTICULARES

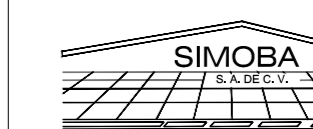
CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



CROQUIS DE LOCALIZACION GENERAL



LOCALIZACION PARTICULAR



INMOBILIARIA SIMOBA, S. A. DE C. V.

INMOBILIARIA SIMOBA, S. A. DE C. V.

PASO INFERIOR VEHICULAR PARA EL CRUCE DE LA AUTOPISTA TENANCO-IXTAPAN DE LA SAL, EN EL KM. 21+060 SIN INTERRUPCION DE LA OPERACION DEJANDO LA LIBRE CIRCULACION DEL TRANSITO VEHICULAR.

FECHA

OCT-2012

DIBUJO
INMOBILIARIA SIMOBA, S. A. DE C. V.

PROYECTO
ING. HUGO MONDRAGON MAGAÑA
INMOBILIARIA SIMOBA, S. A. DE C. V.

ESCALA:

INDICADA



GOBIERNO DEL ESTADO DE MEXICO
Secretaría de Comunicaciones
Sistema de Autopistas, Aeropuertos, Servicios Conexos y Auxiliares



DIRECTOR DE CONTROL DE OBRAS Y PROYECTOS SASASAM ENCARGADO DEL DESPACHO DE LA DIRECCION GENERAL DEL SISTEMA DE AUTOPISTAS, AEROPUERTOS, SERVICIOS CONEXOS Y AUXILIARES SECRETARIO DE COMUNICACIONES

Ing. Eleazar Gutierrez Magaña

C.P. Arturo Enriquez Garcia

M.A.P. Apolinar Mena Vargas

PASO INFERIOR VEHICULAR EN LA AUTOPISTA TENANCO-IXTAPAN DE LA SAL, KM. 21+060

PLANO: HINCADO DE TUBERIA METALICA

TRAMO: TENANCO-IXTAPAN DE LA SAL

SUBTRAMO: KM 21+060

CASETA TENANCO DEL VALLE Km 1+000
SOBRE LA AUTOPISTA TENANCO-IXTAPAN DE LA SAL

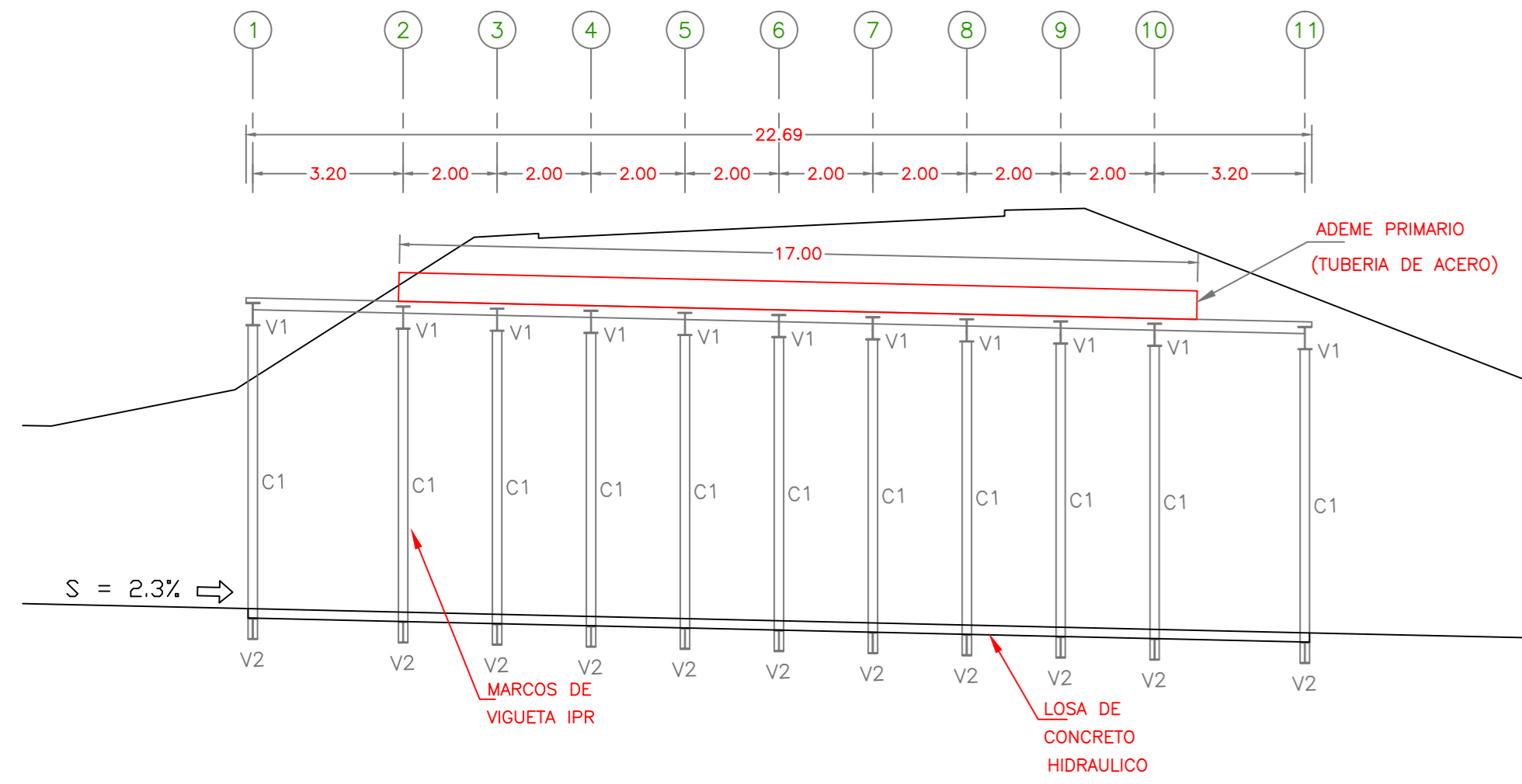
ESCALA: INDICADA

FECHA:

PLAVE DE PLANOS: 12

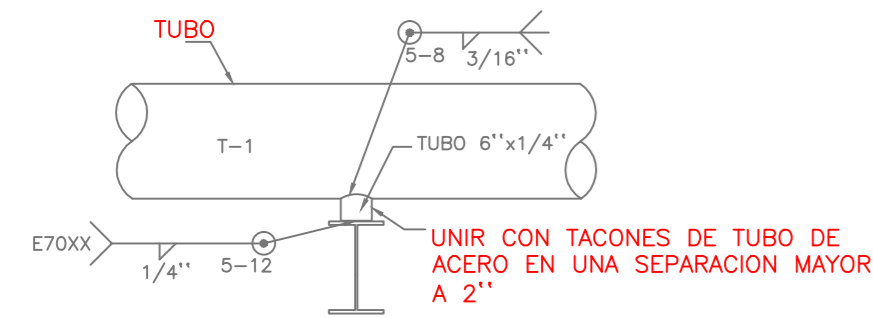
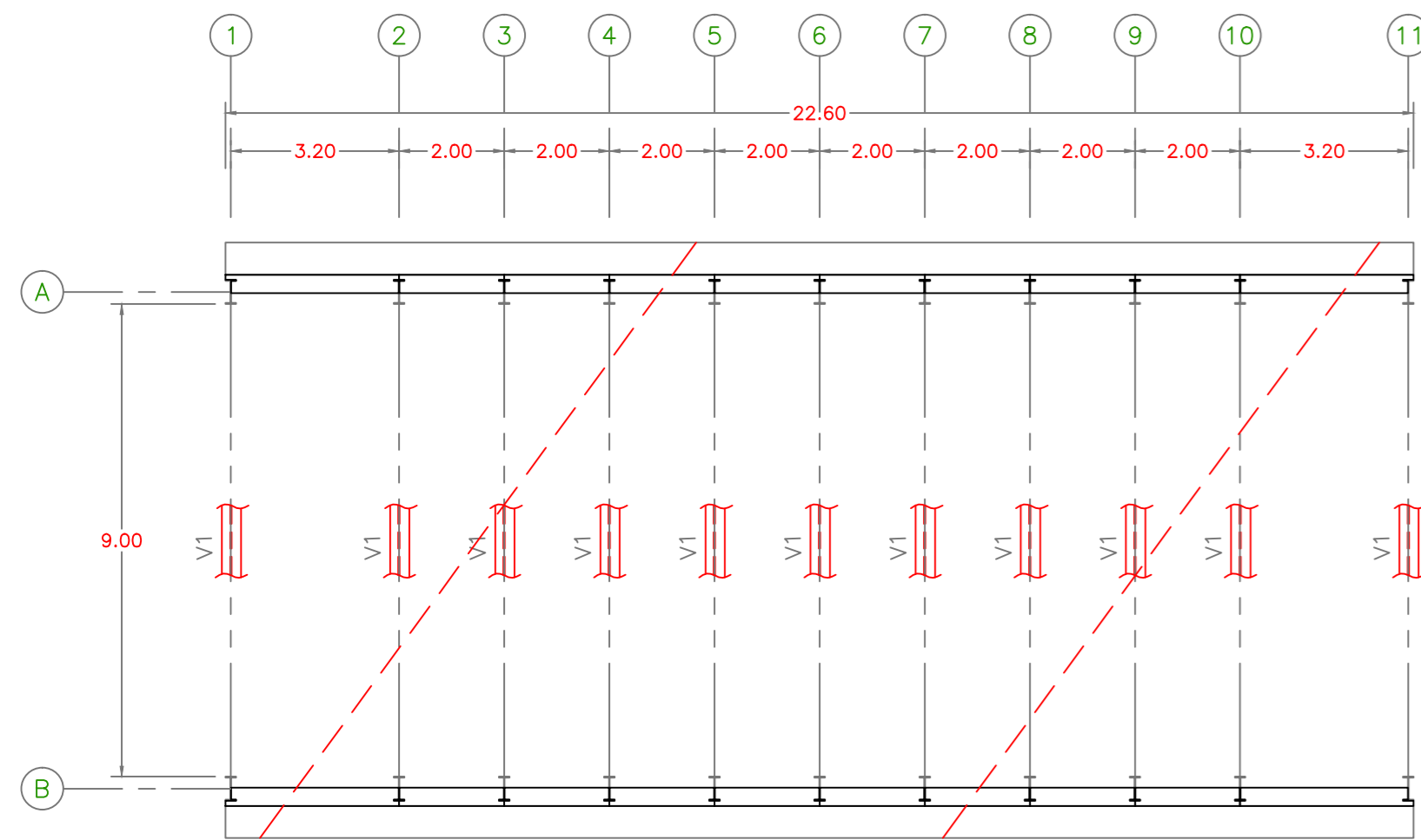
**ESTRUCTURA METALICA
(CORTE LONGITUDINAL)**

ESC.: 1 : 125



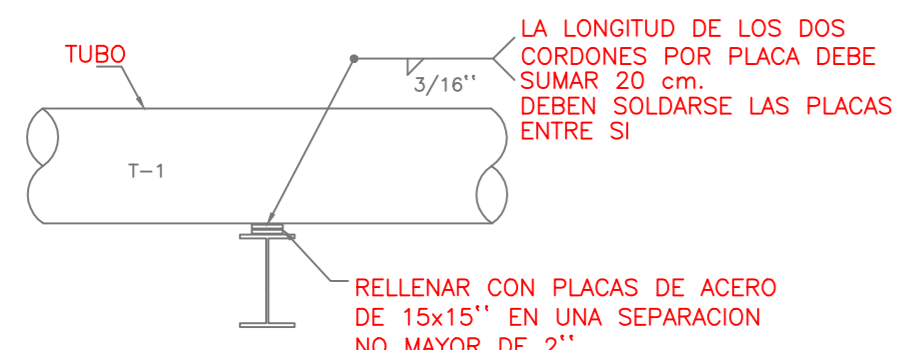
**ESTRUCTURA METALICA
(PLANTA)**

ESC.: 1 : 125



ESCALA: 1:50

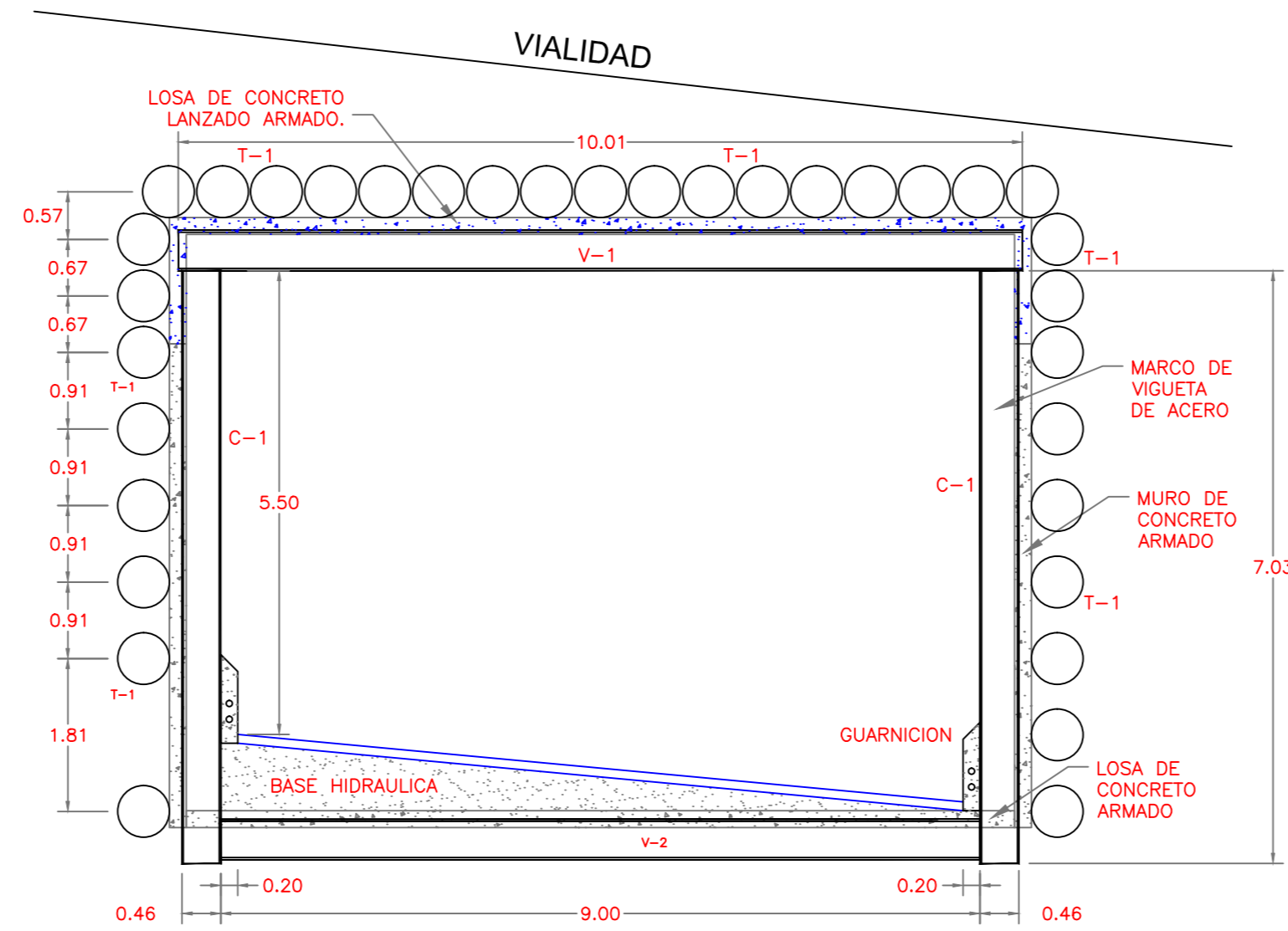
ELEMENTO DE FIJACION MARCO-TUBO
(EN VIGAS Y COLUMNAS)



ESCALA: 1:50

ELEMENTO DE FIJACION MARCO-TUBO
(VIGAS Y COLUMNAS)

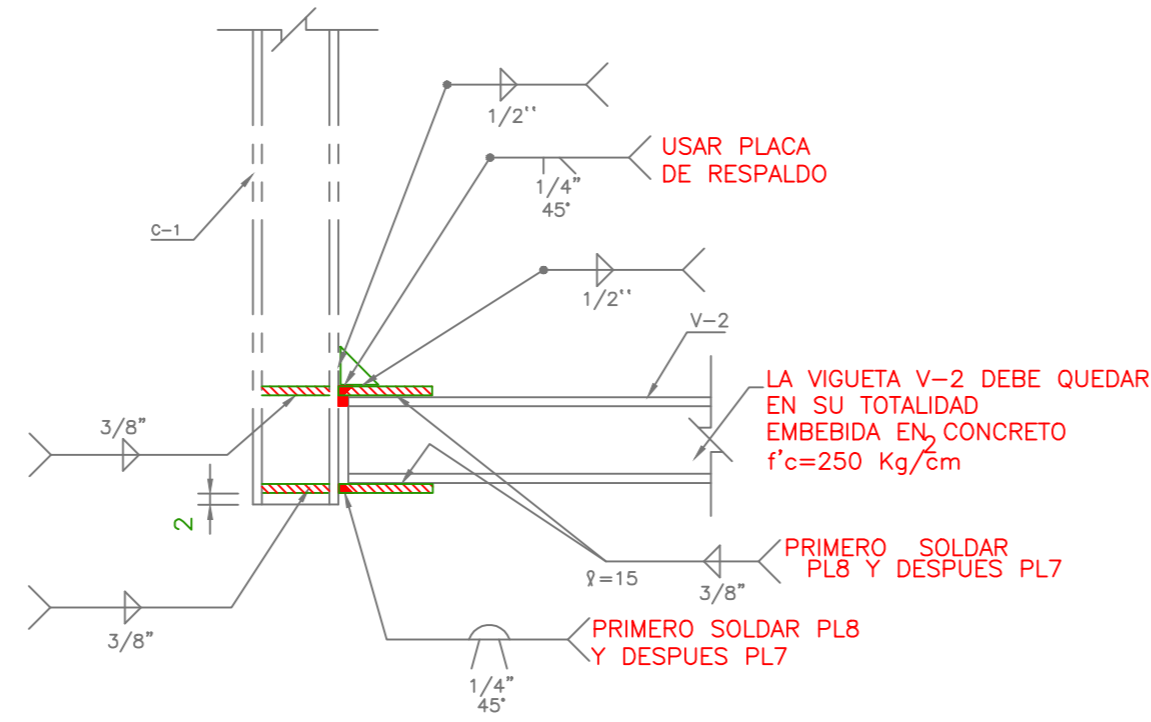
**PASO INFERIOR VEHICULAR KM. 21+060
(SECCION TRANSVERSAL)**



NOTAS:

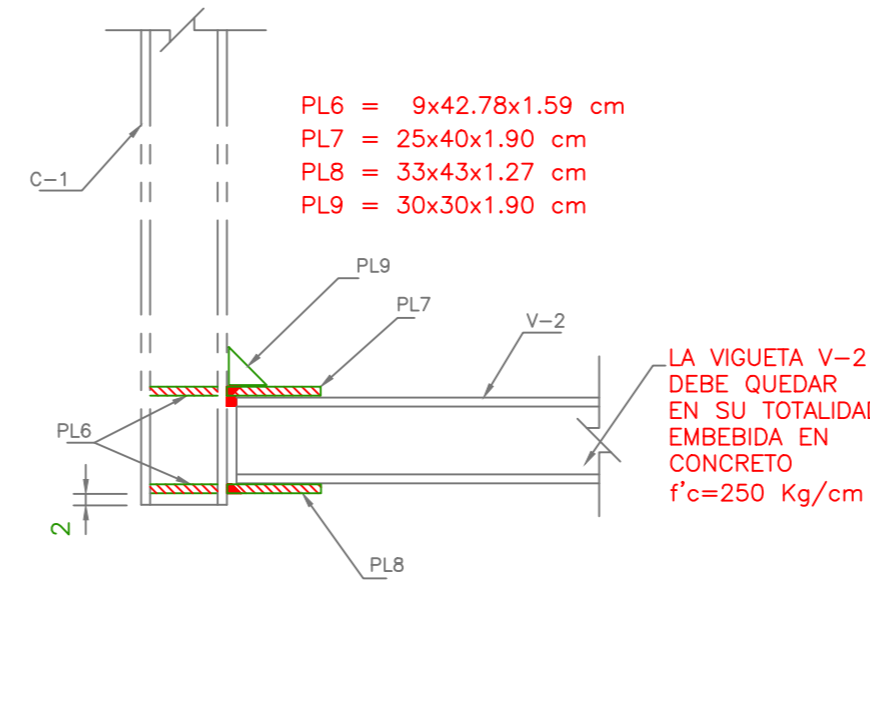
LA UBICACION DE LAS LINEAS DE HINCADO PUEDE TENER VARIACIONES POR LA HETEROGENEIDAD DEL TERRENO. EN CASO DE QUE EN EL NIVEL DE HINCADO DE UNA LINEA SE ENCUENTRE ALGUNA PIEDRA O PARTE DE CONCRETO DEL PASO EXISTENTE LA LINEA DE HINCADO SE REUBICARA SALVANDO EL OBSTACULO.

ESC.: 1 : 75



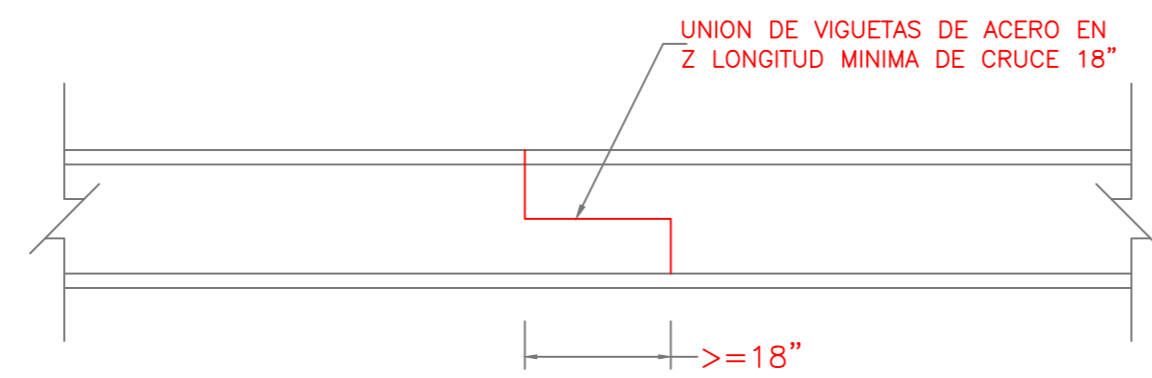
ESCALA: S/E

CONEXION VIGA V-2 A COLUMNA C-1
(SOLDADURA)



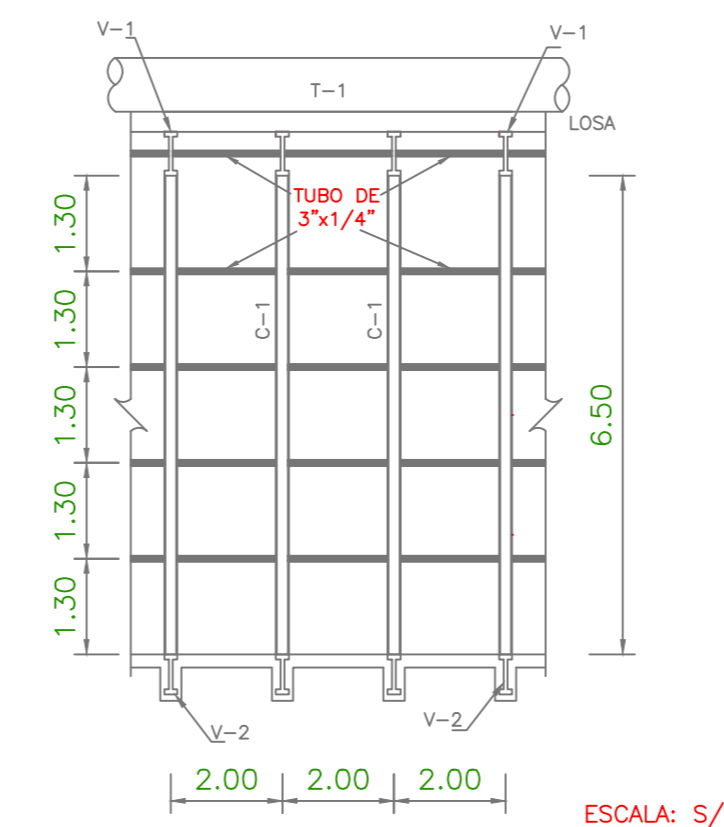
ESCALA: S/E

CONEXION VIGA V-2 A COLUMNA C-1
(PLACAS)



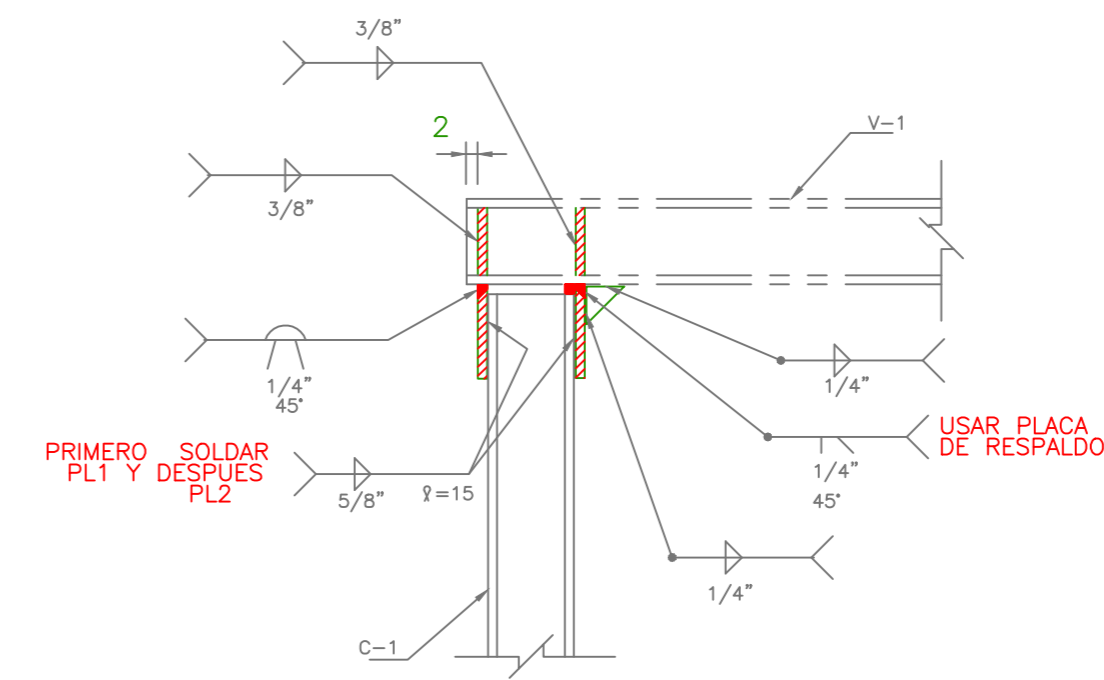
ESCALA: 1:25

UNION DE VIGUETAS PARA FORMAR
TRABES V-1, V-2 Y COLUMNAS C-1



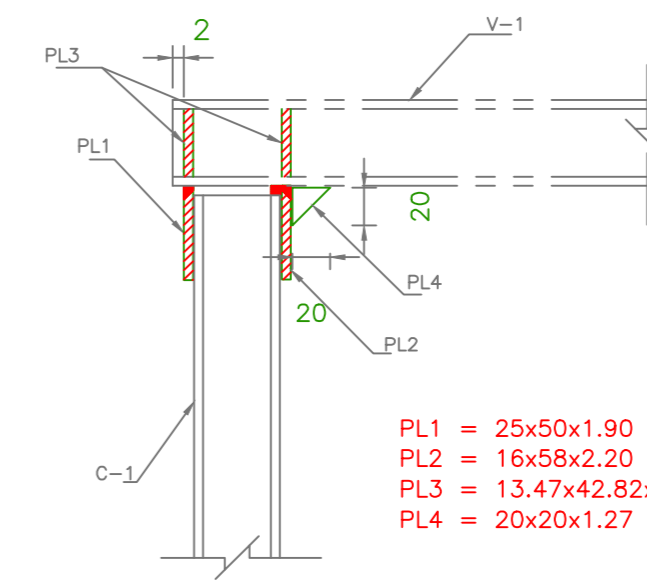
ESCALA: S/E

NOTA:
EN LAS COLUMNAS, SU LONGITUD QUEDARA DIVIDIDA EN 5 CLAROS IGUALES DE 1.30 m, POR 4 PUNTALES DE TUBO DE ACERO DE 3" x 1/4" DE ESPESOR COLOCADOS EN EL SENTIDO LONGITUDINAL DEL PASO.
EN LAS TRABES SUPERIORES, SU LONGITUD QUEDARA DIVIDIDA EN 5 CLAROS IGUALES DE 2.00 m, POR 4 PUNTALES DE TUBO DE ACERO 3" x 1/4" DE ESPESOR COLOCADOS EN EL SENTIDO LONGITUDINAL DEL PASO.



ESCALA: S/E

CONEXION VIGA V-1 A COLUMNA C-1
(SOLDADURA)

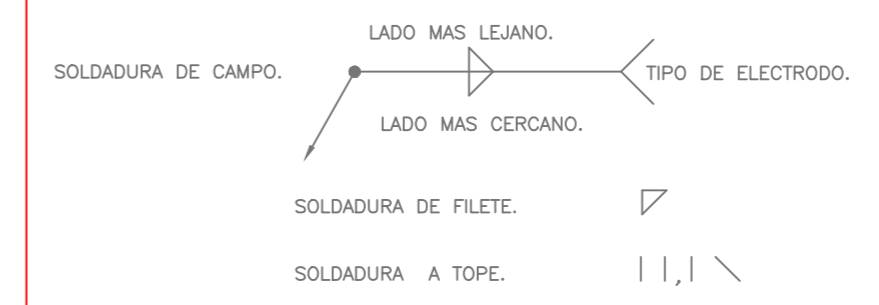


ESCALA: S/E

CONEXION VIGA V-1 A COLUMNA C-1
(PLACAS)

NOMENCLATURA	DESIGNACION
T1	OC 610 x 9.53 mm
C1	IR 457 x 89.1 Kg/ml
V1	IR 457 x 177.8 Kg/ml
V2	IR 457 x 177.8 Kg/ml

SIMBOLOGIA



NOTAS GENERALES

- 1.- ACOTACIONES EN METROS
- 2.- NIVELES EN METROS
- 3.- TODAS LAS ACOTACIONES PARA FLUJOS Y NIVELES DEBERAN COMPROBARSE CON LOS PLANOS ARQUITECTONICOS Y EN LA OBRA.
- 4.- ACERO ESTRUCTURAL f_y=2530 Kg/cm²
- 4.- SOLDADURA E70XX, PROCESO SOLDADURA MANUAL DE ARCO PROTEGIDO SMAW

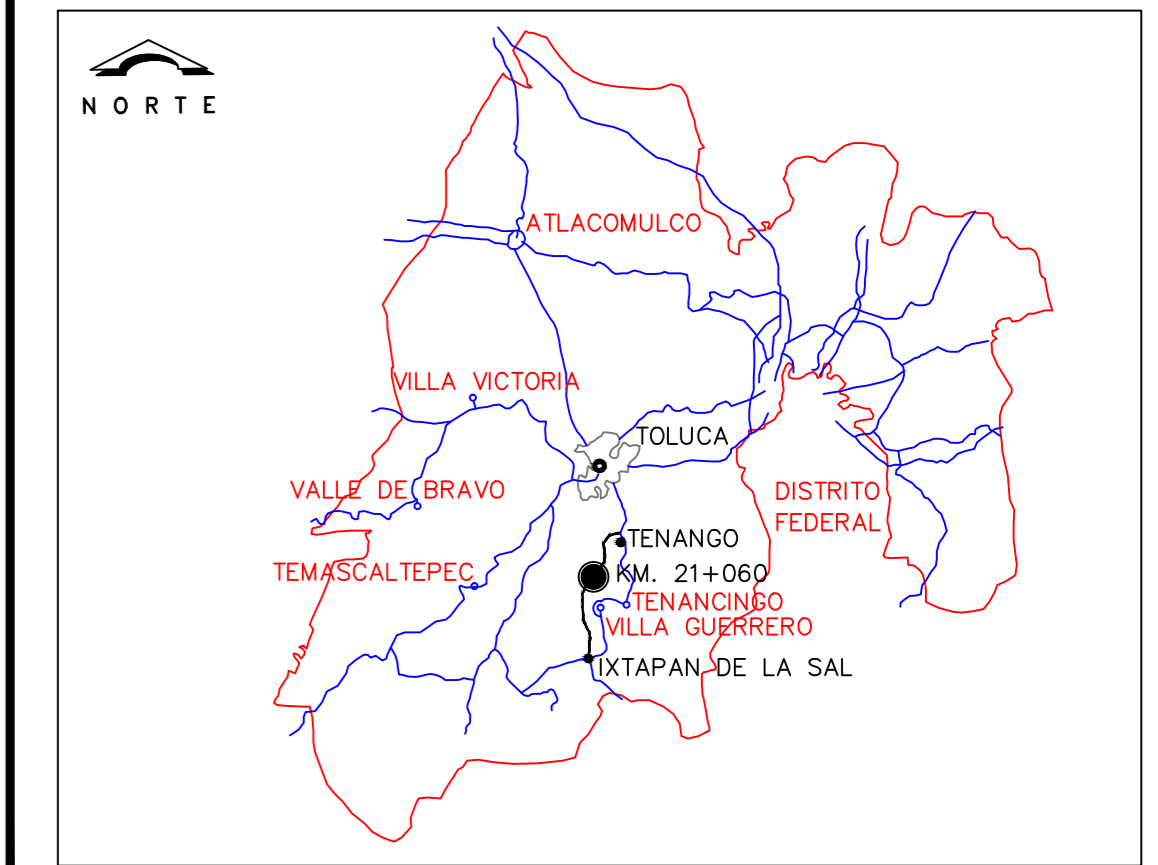
NOTAS:

ESPECIFICACIONES:
ESPECIFICACIONES PARTICULARES

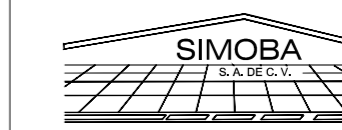
CROQUIS DE LOCALIZACION



CROQUIS DE LOCALIZACION GENERAL



LOCALIZACION PARTICULAR



INMOBILIARIA SIMOBA, S. A. DE C. V.

INMOBILIARIA SIMOBA, S. A. DE C. V.

PASO INFERIOR VEHICULAR PARA EL CRUCE DE LA AUTOPISTA TENANGO-IXTAPAN DE LA SAL, EN EL KM. 21+060 SIN INTERRUPCION DE LA OPERACION DEJANDO LA LIBRE CIRCULACION DEL TRANSITO VEHICULAR.

FECHA:
OCT-2012

DIBUJO:
INMOBILIARIA SIMOBA, S. A. DE C. V.

PROYECTO:
ING. HUGO MONDRAGON MAGAÑA
INMOBILIARIA SIMOBA, S. A. DE C. V.

ESCALA:
INDICADA



GOBIERNO DEL ESTADO DE MEXICO
Secretaría de Comunicaciones
Sistema de Autopistas, Aeropuertos, Servicios Conexos y Auxiliares



DIRECTOR DE CONTROL DE OBRAS Y PROYECTOS SAGCAM
ENCARGADO DEL DESPACHO DE LA DIRECCION GENERAL DEL SISTEMA DE AUTOPISTAS, AEROPUERTOS, SERVICIOS CONEXOS Y AUXILIARES
SECRETARIO DE COMUNICACIONES

Ing. Eleazar Gutierrez Magaña C.P. Arturo Enriquez Garcia M.A.P. Apolinar Mena Vargas

PASO INFERIOR VEHICULAR EN LA AUTOPISTA TENANGO-IXTAPAN DE LA SAL, KM. 21+060

PLANO: ESTRUCTURA METALICA

TRAMO: TENANGO-IXTAPAN DE LA SAL

SUBTRAMO: KM 21+060

CASETA TENANGO DEL VALLE Km 14+000
SOBRE LA AUTOPISTA TENANGO-IXTAPAN DE LA SAL

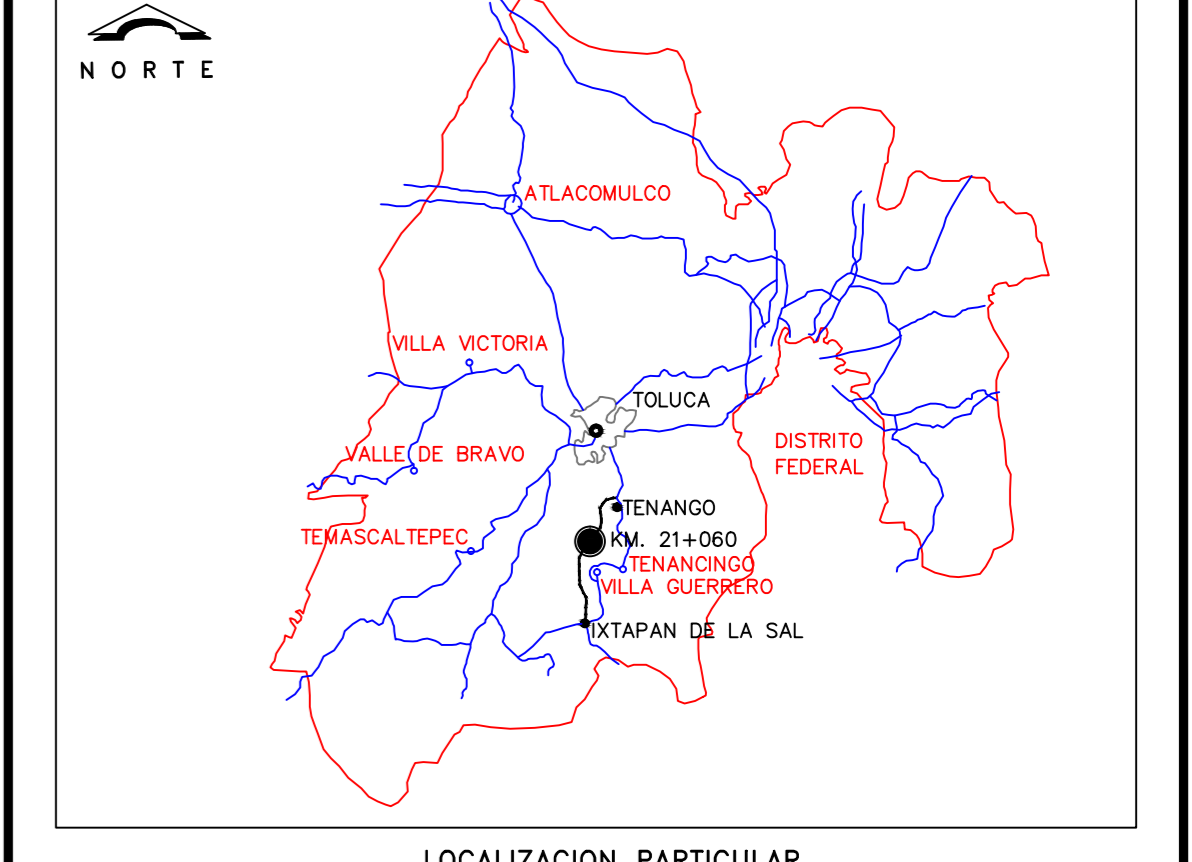
ESCALA: INDICADA
FECHA:
CLAVE DE PLANO: E1

NOTAS:
ESPECIFICACIONES:
 ESPECIFICACIONES PARTICULARES

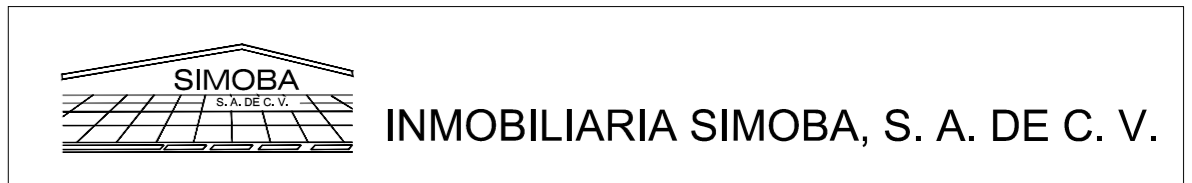
CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



CROQUIS DE LOCALIZACION GENERAL



LOCALIZACION PARTICULAR



INMOBILIARIA SIMOBA, S. A. DE C. V.

PASO INFERIOR VEHICULAR PARA EL CRUCE DE LA AUTOPISTA TENANGO-IXTAPAN DE LA SAL, EN EL KM. 21+060 SIN INTERRUPCION DE LA OPERACION DEJANDO LA LIBRE CIRCULACION DEL TRANSITO VEHICULAR.

DIBUJO: INMOBILIARIA SIMOBA, S. A. DE C. V. PROYECTO: ING. HUGO MONDRAGON MAGAÑA INMOBILIARIA SIMOBA, S. A. DE C. V.

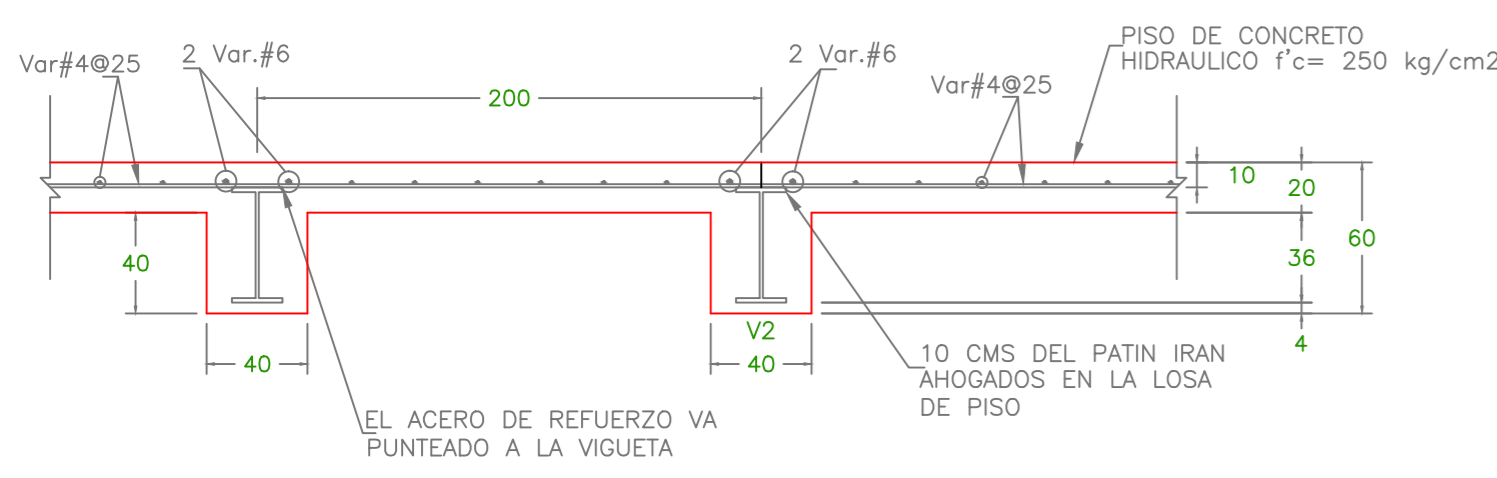
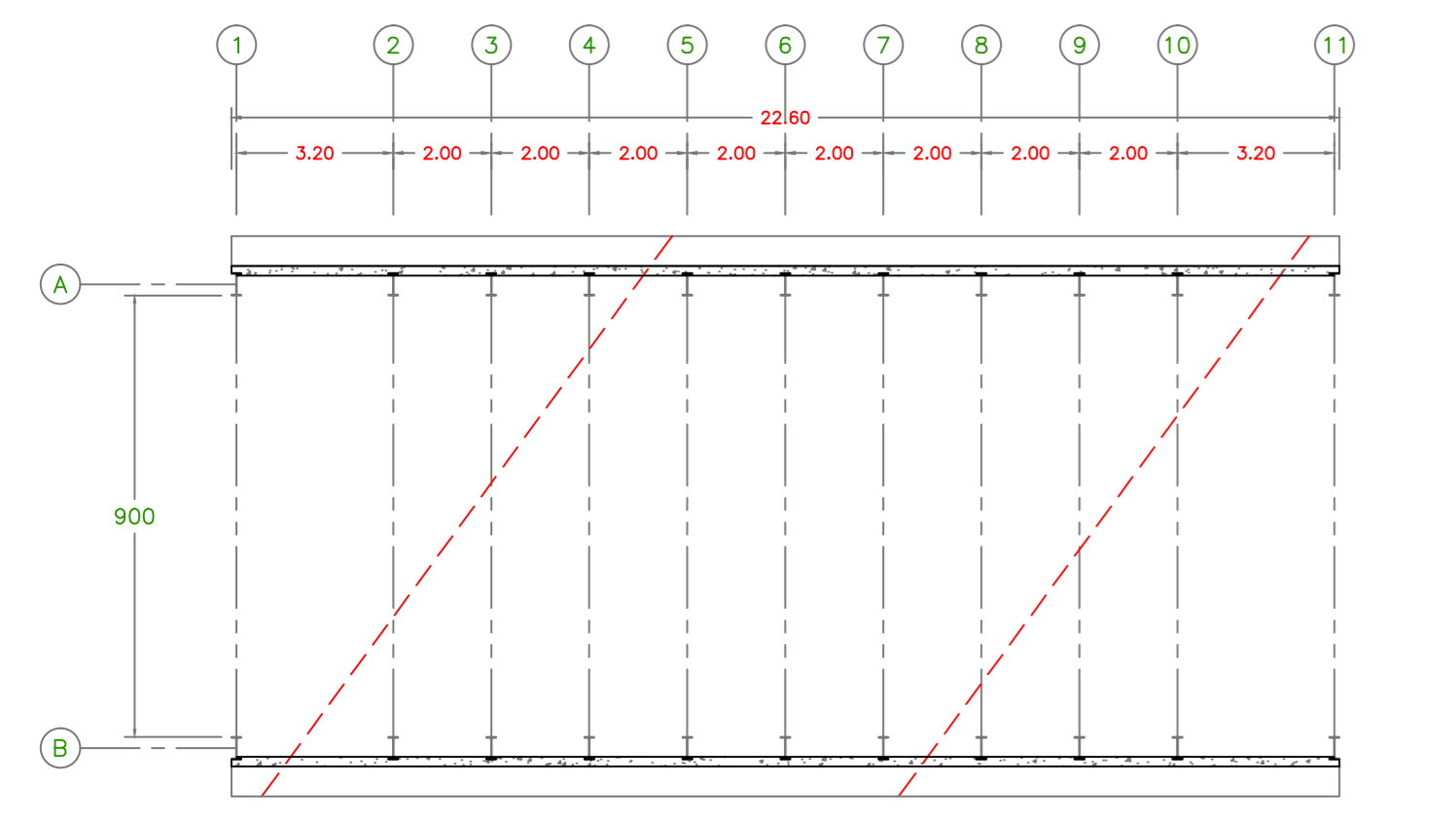
GOBIERNO DEL ESTADO DE MEXICO
 Secretaría de Comunicaciones
 Sistema de Autopistas, Aeropuertos, Servicios Conexos y Auxiliares

Ing. Eleazar Gutierrez Magaña C.P. Arturo Enriquez Garcia M.A.P. Apolinar Mena Vargas

PASO INFERIOR VEHICULAR EN LA AUTOPISTA TENANGO-IXTAPAN DE LA SAL, KM. 21+060
 PLANO: ESTRUCTURA DE CONCRETO
 TRAMO: TENANGO-IXTAPAN DE LA SAL SUBTRAMO: KM 21+060
 CASETA TENANGO DEL VALLE Km 1+000 SOBRE LA AUTOPISTA TENANGO-IXTAPAN DE LA SAL
 ESCALA: INDICADA
 FECHA: E2
 PLAVE DE PLANOS:

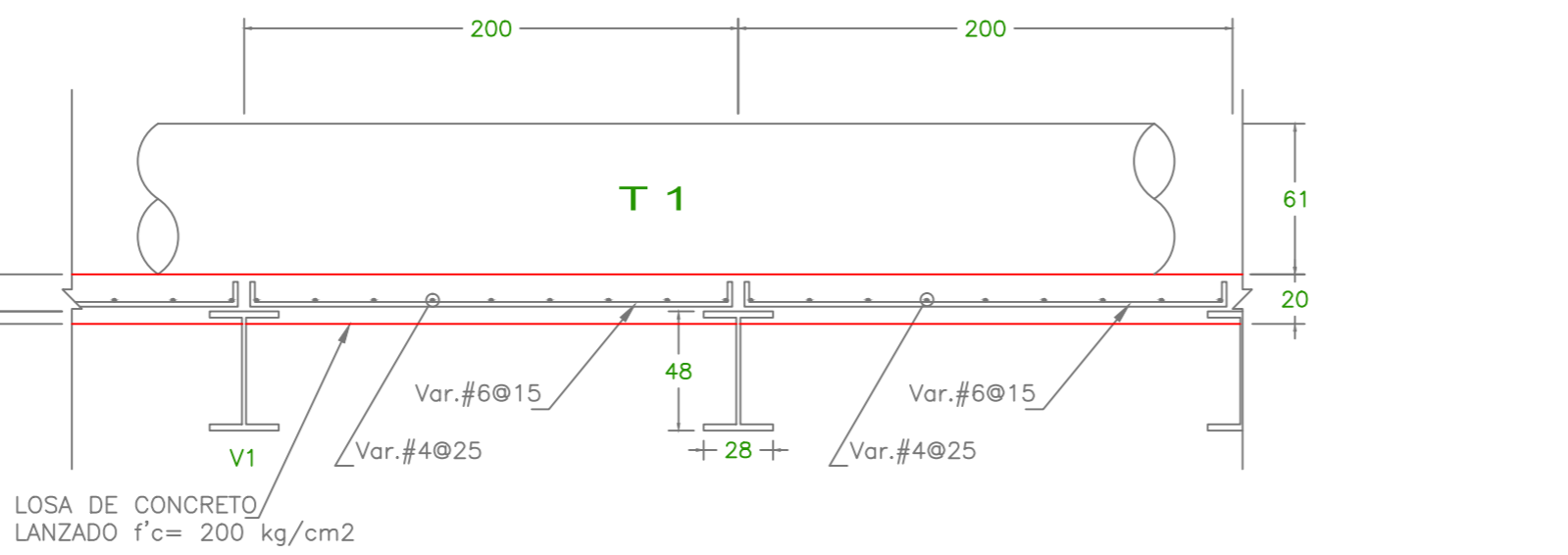
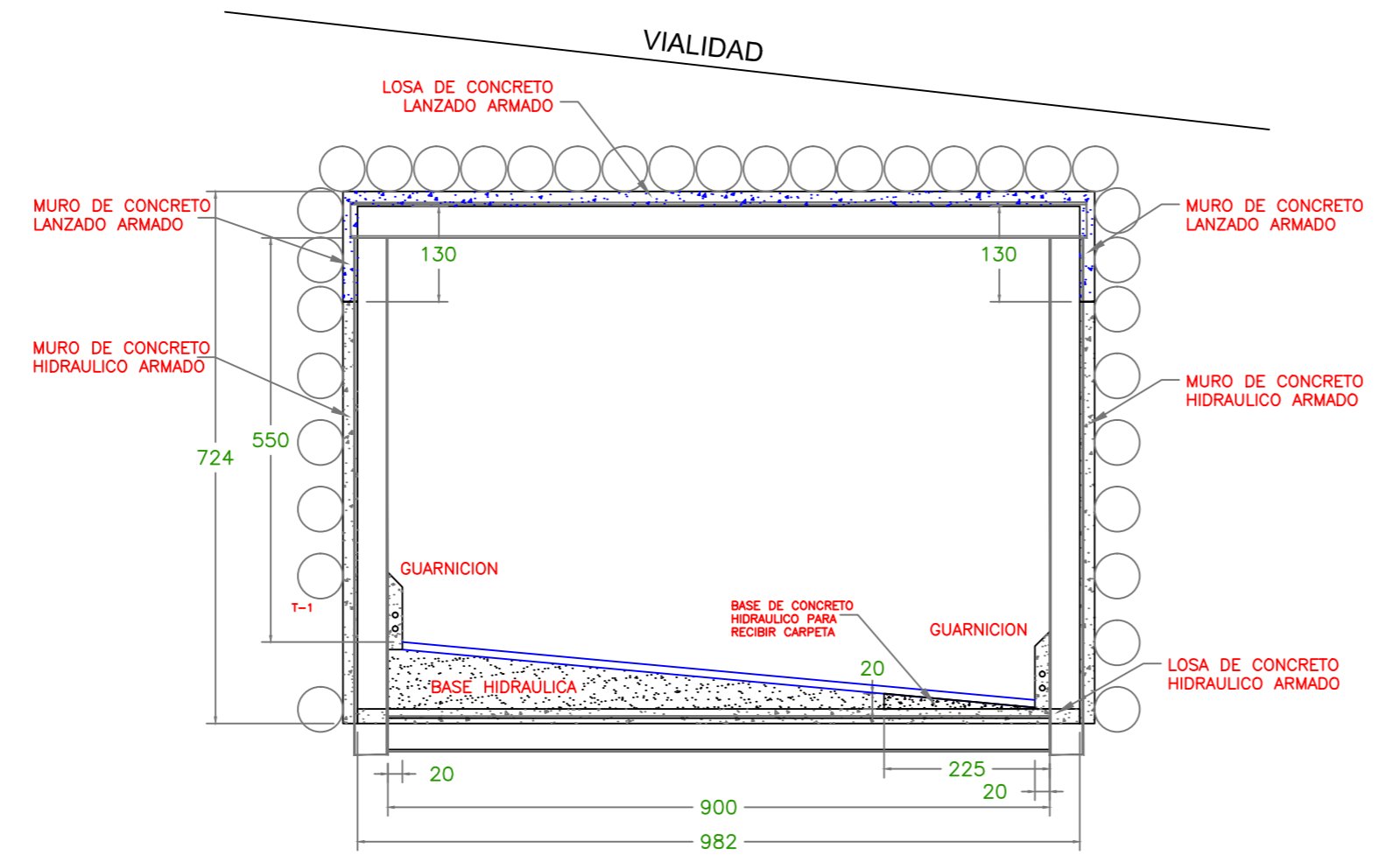
ESTRUCTURA DE CONCRETO (PLANTA)

ESC.: 1 : 150

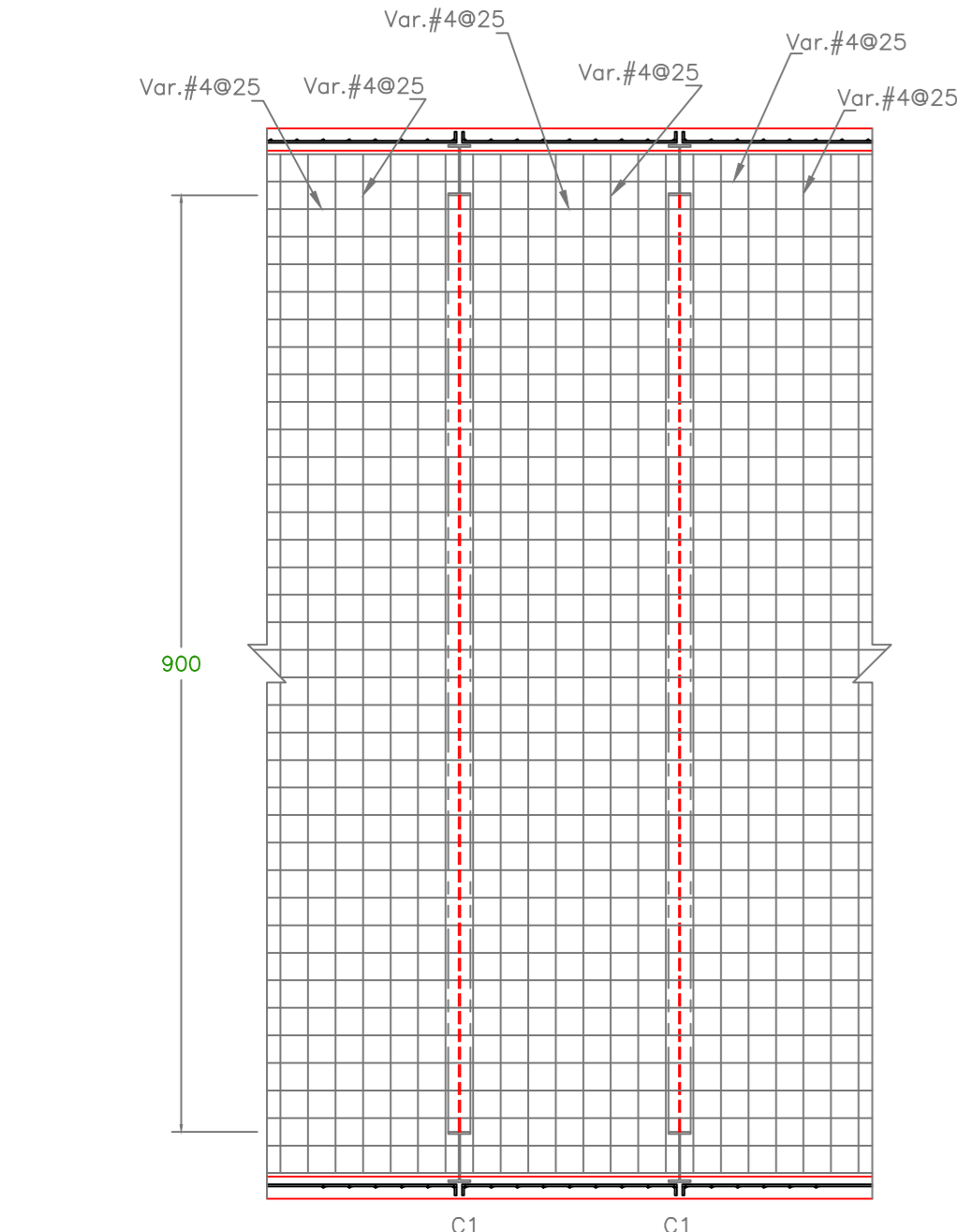


PISO

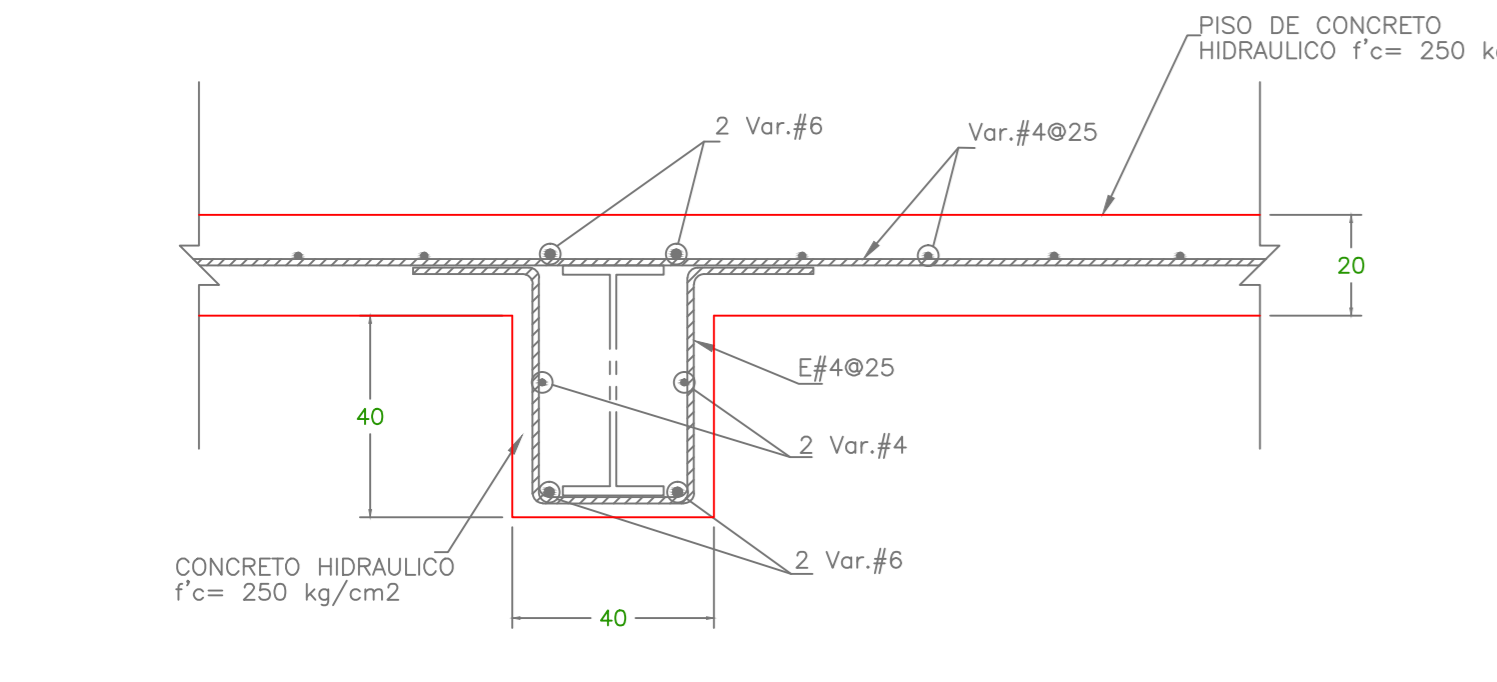
PASO INFERIOR VEHICULAR KM. 21+060 (SECCION TRANSVERSAL)



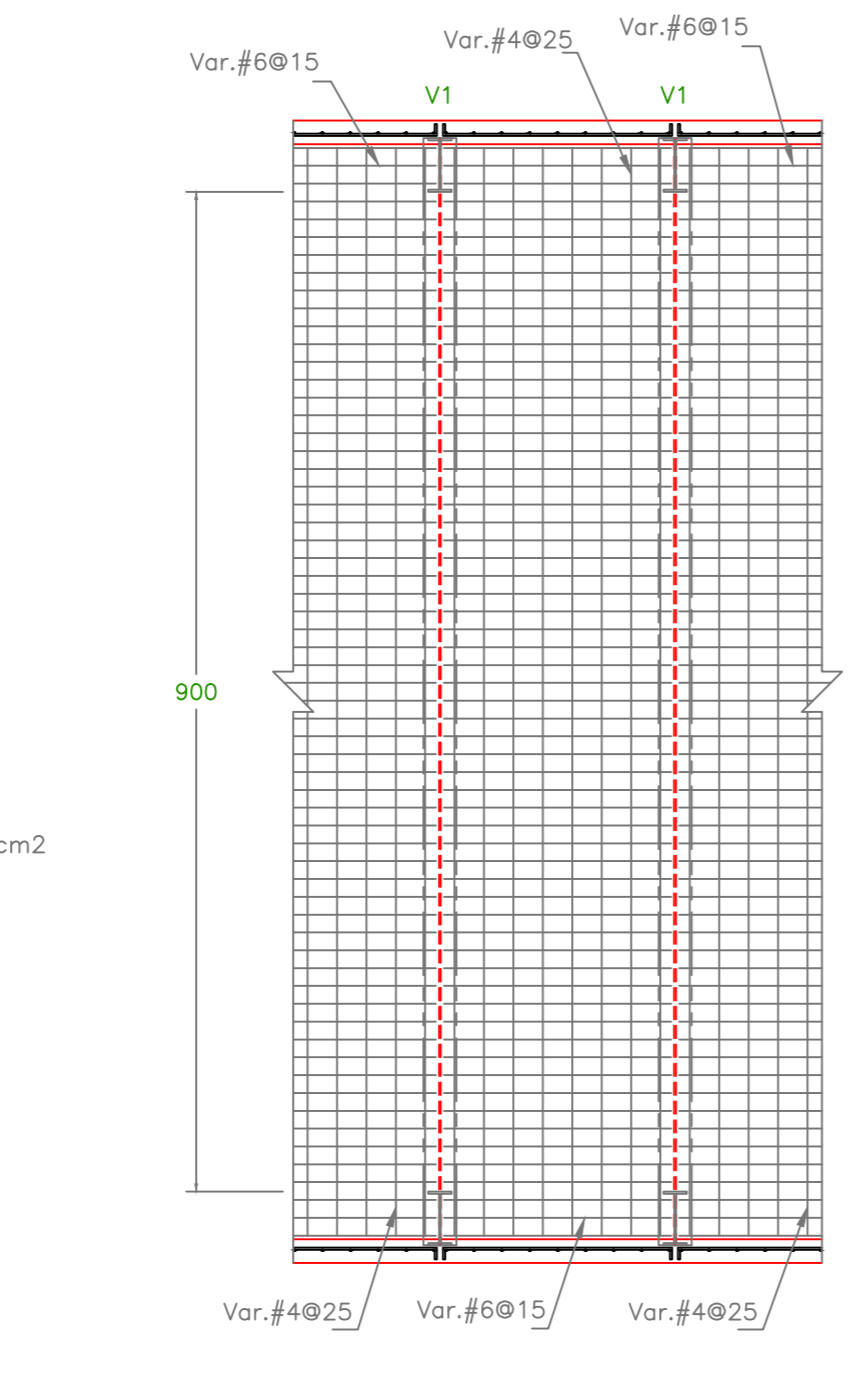
TECHO



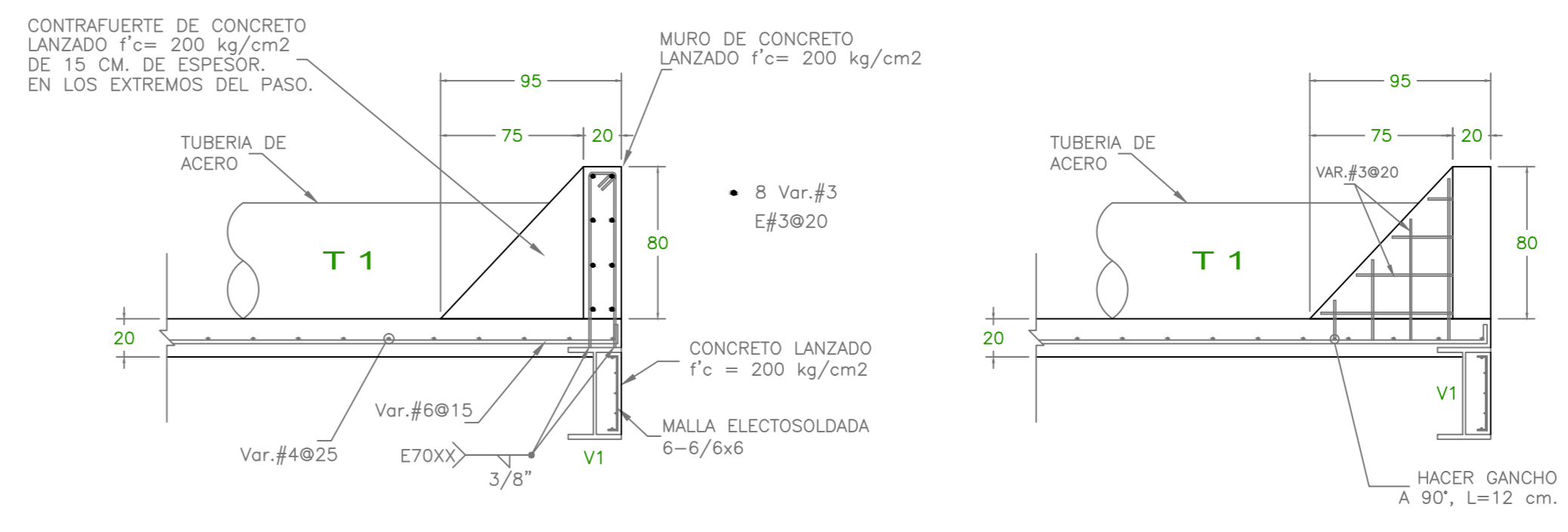
PISO (PLANTA)



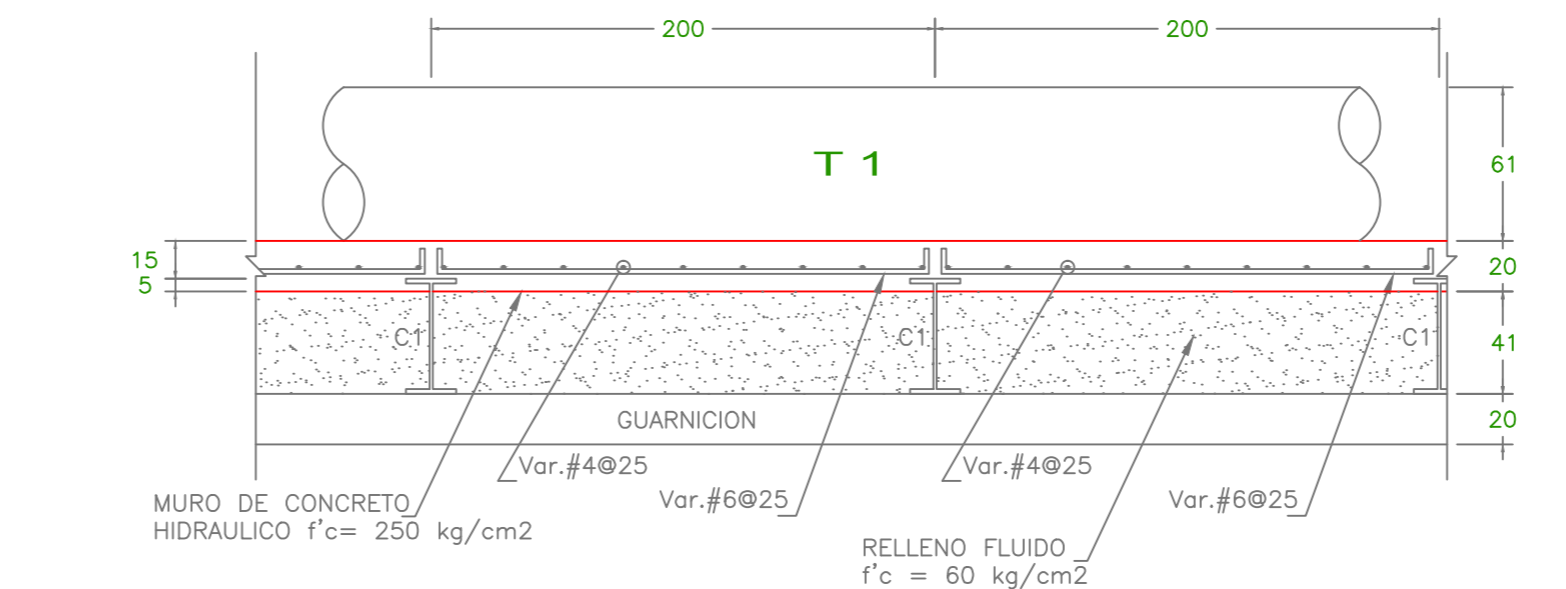
TRABE DE PISO



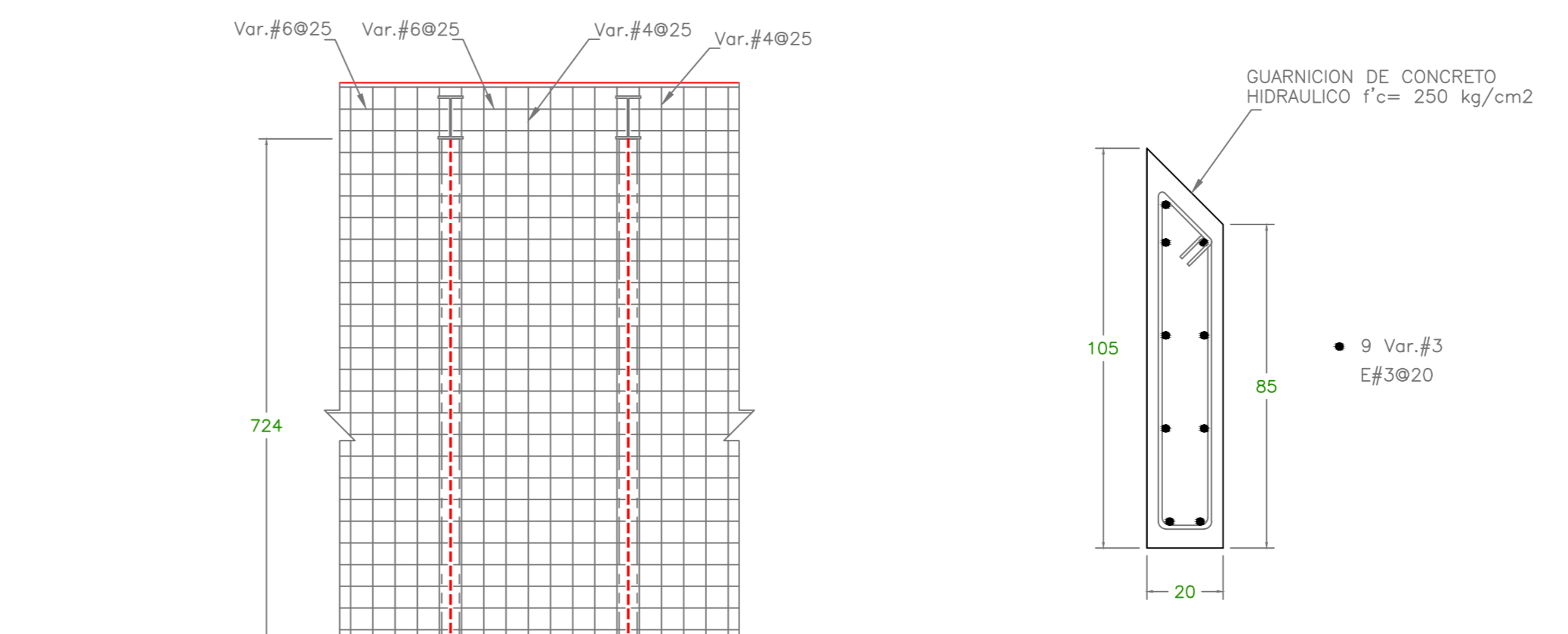
TECHO (PLANTA)



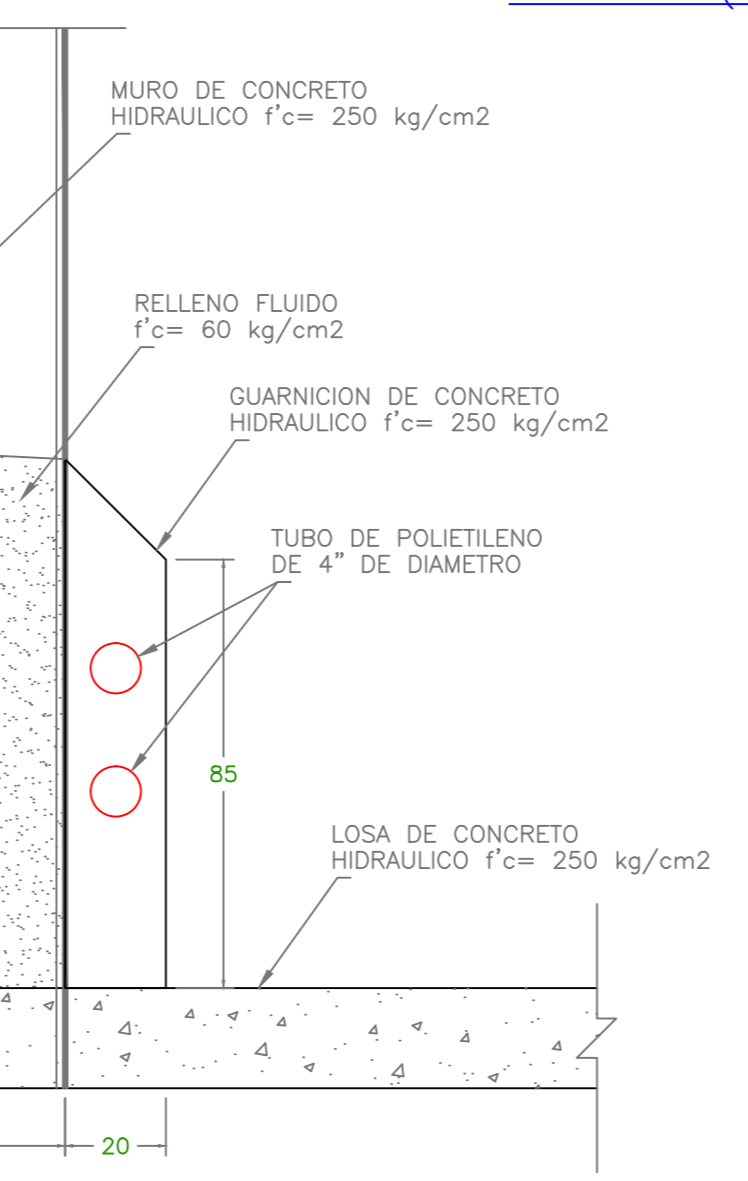
MUROS DE CONTENCION EN PORTALES



MURO



GUARNICION



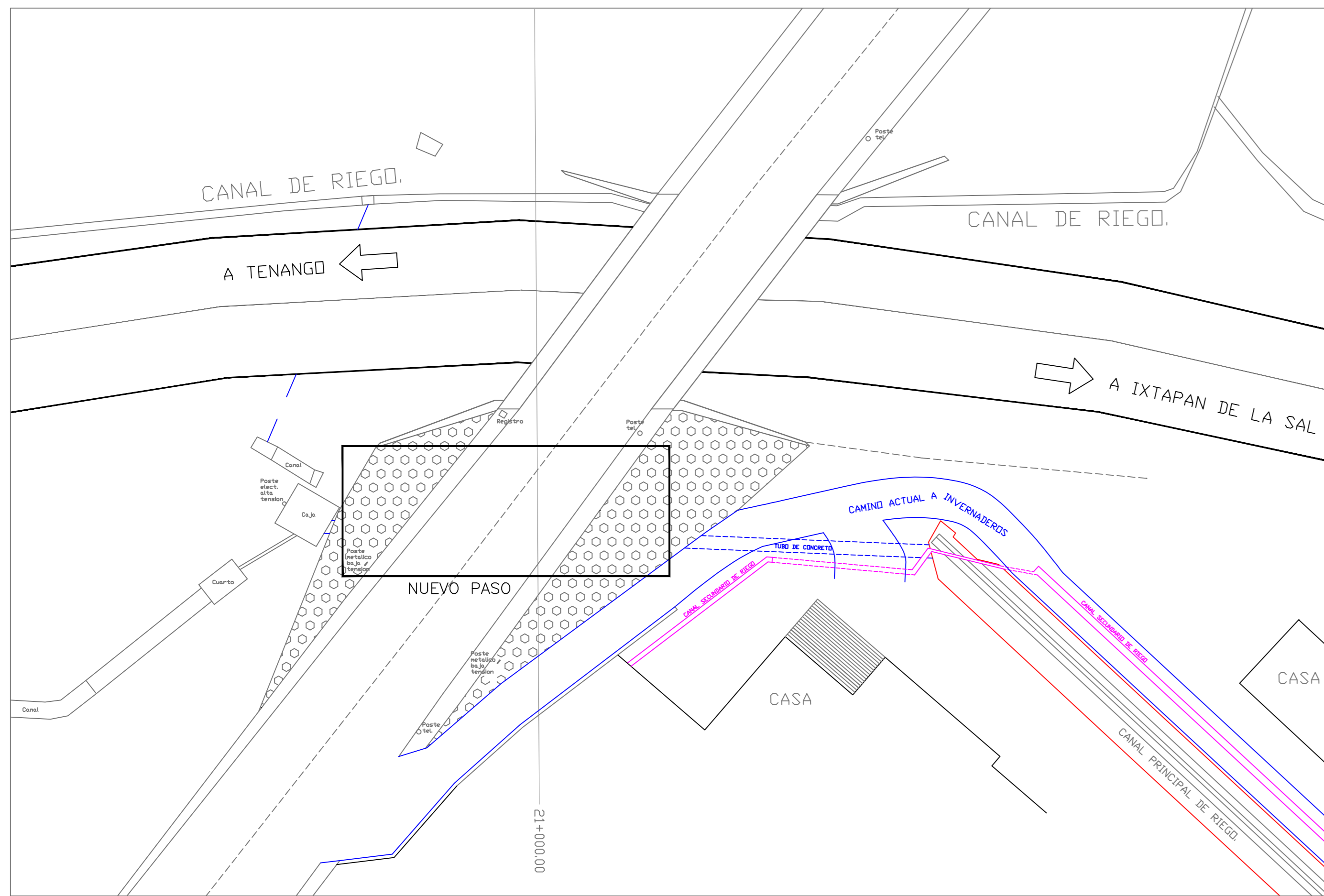
GUARNICION

NOTAS GENERALES

- ACOTACIONES EN CENTIMETROS
- NIVELES EN METROS
- TODAS LAS ACOTACIONES PAROS FIJOS Y NIVELES DEBERAN COMPROBARSE CON LOS PLANOS ARQUITECTONICOS Y EN LA OBRA
- EL CONCRETO LANZADO SERA DE f'c = 200 kg/cm2 T.M.A. 3/8"
- TODO EL ACERO DE REFUERZO SERA DE fy = 4200 Kg/cm2 EXCEPTO EL DEL No.2 QUE SERA fy = 2320 kg/cm2
- EL RECURBIMIENTO A LA CARA EXTERIOR DEL ACERO DE REFUERZO SERA DE 5.0 cm EN CIMENTACION, 2 cm EN DALAS, CASTILLOS, TRABES Y LOSAS, DE 3.0 cm EN COLUMNAS
- EL SIMBOLO f' significa ANCLAR EL ACERO DE REFUERZO PRINCIPAL DE TRABES DE ACIERO A LA LONGITUD L-2 DE LA TABLA ANEXA
- NO SE DEBERA TRASLAPAR MAS DEL 30% DEL ACERO DE REFUERZO DE UN LECHO EN UNA SECCION
- CONCRETO HIDRAULICO f'c = 250 kg/cm2 EN PISO Y MUROS

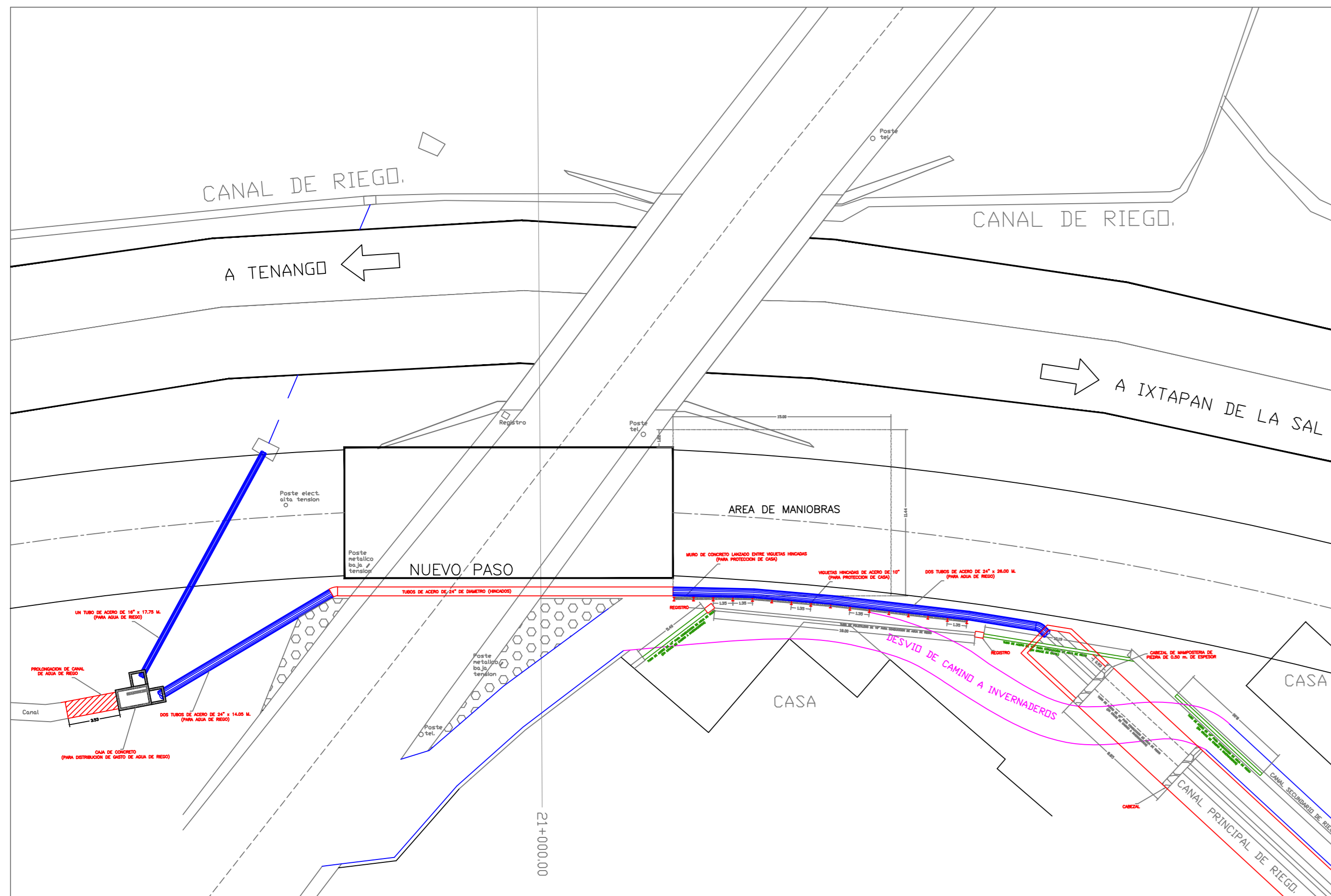
TABLA DE ANCLAJES Y TRASLAPES (en cm)

NUMERO	DIAMETRO (mm)	LONGITUD DE ANCLAJE		LONGITUD DE TRASLAPES	
		(L-1)	(L-2)	1 VARILLA	PAQUETE DE 2 VARILLAS
2	6.3	20	26	32	35
2.5	8	20	26	40	44
3	10	20	27	50	55
4	13	23	28	65	72
5	16	28	29	80	88
6	19	34	31	95	105
8	25	45	41		
10	32	57	51		
12	38	68	61		



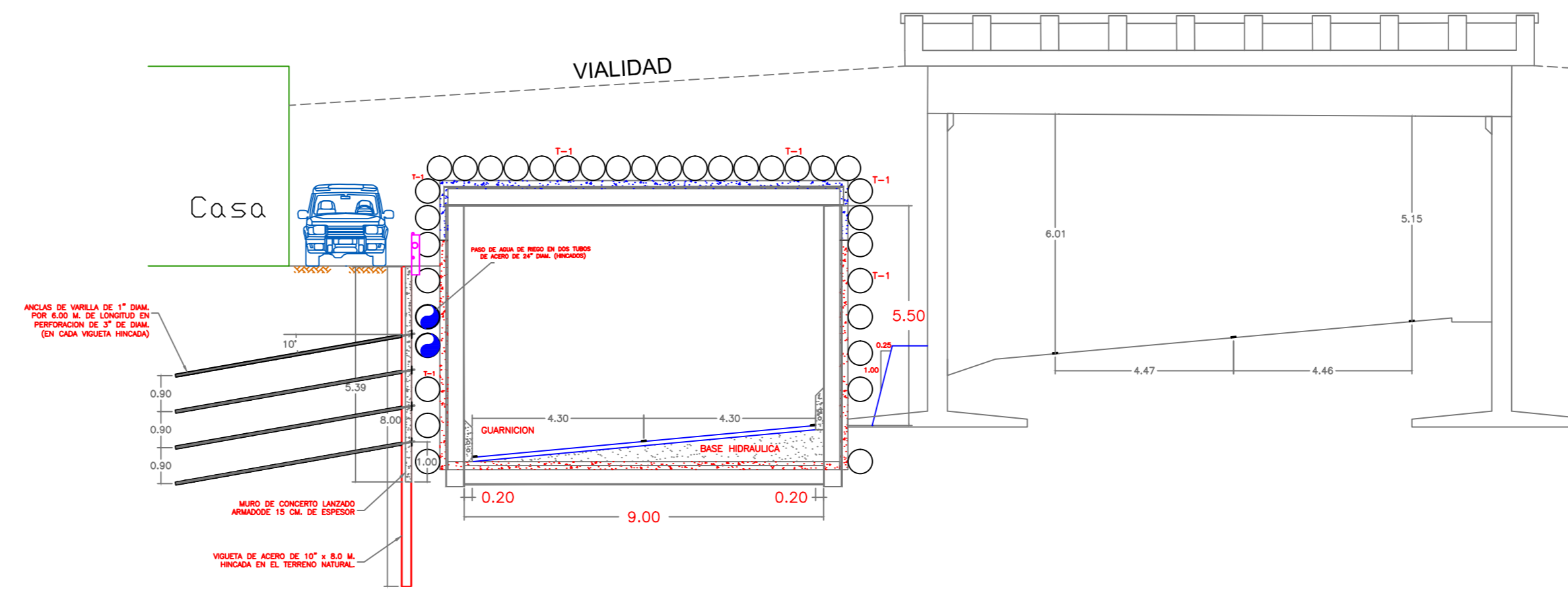
UBICACION ACTUAL DE CAMINO Y CANALES DE RIEGO
(PLANTA)

ESC.: 1 : 250



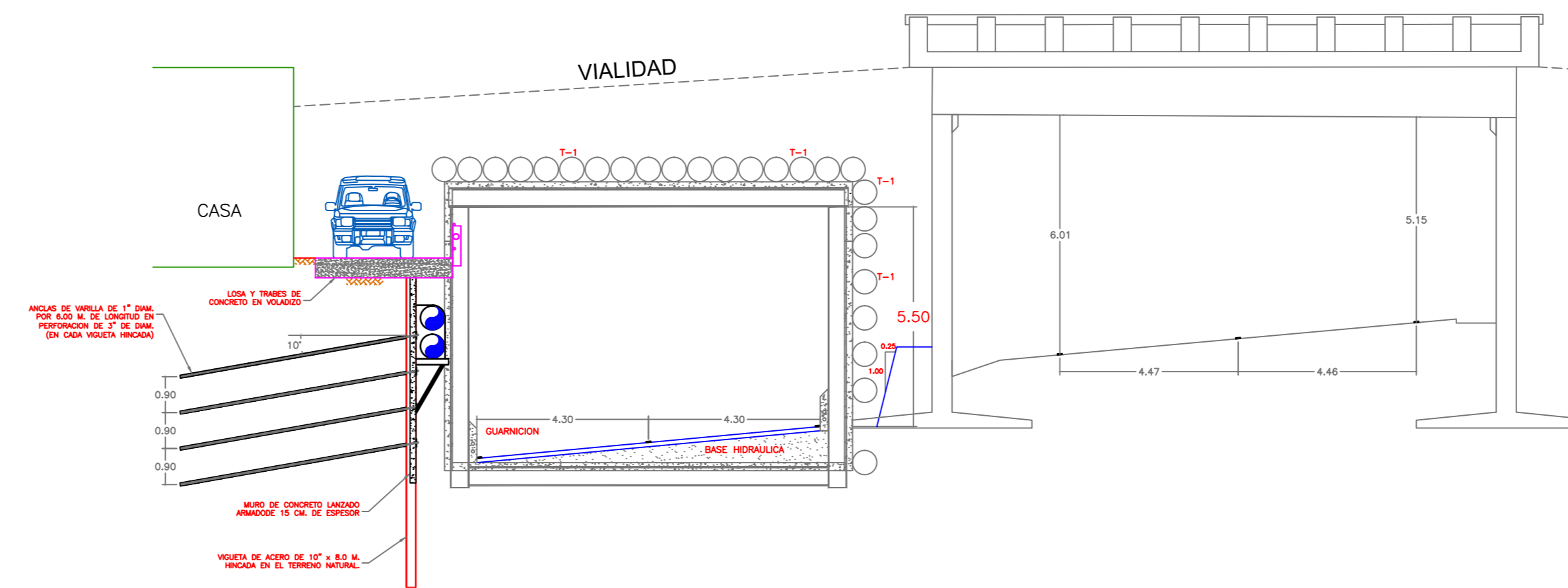
DESVIOS Y PROTECCION DE CASA
(PLANTA)

ESC.: 1 : 250



CAMINO DE ACCESO A INVERNADEROS Y PROTECCION DE CASA
(VISTA IXTAPAN - TENANGO)

ESC.: 1 : 125



AMPLIACION DE CAMINO DE ACCESO A INVERNADEROS
(VISTA IXTAPAN - TENANGO)

ESC.: 1 : 125

NOTAS:

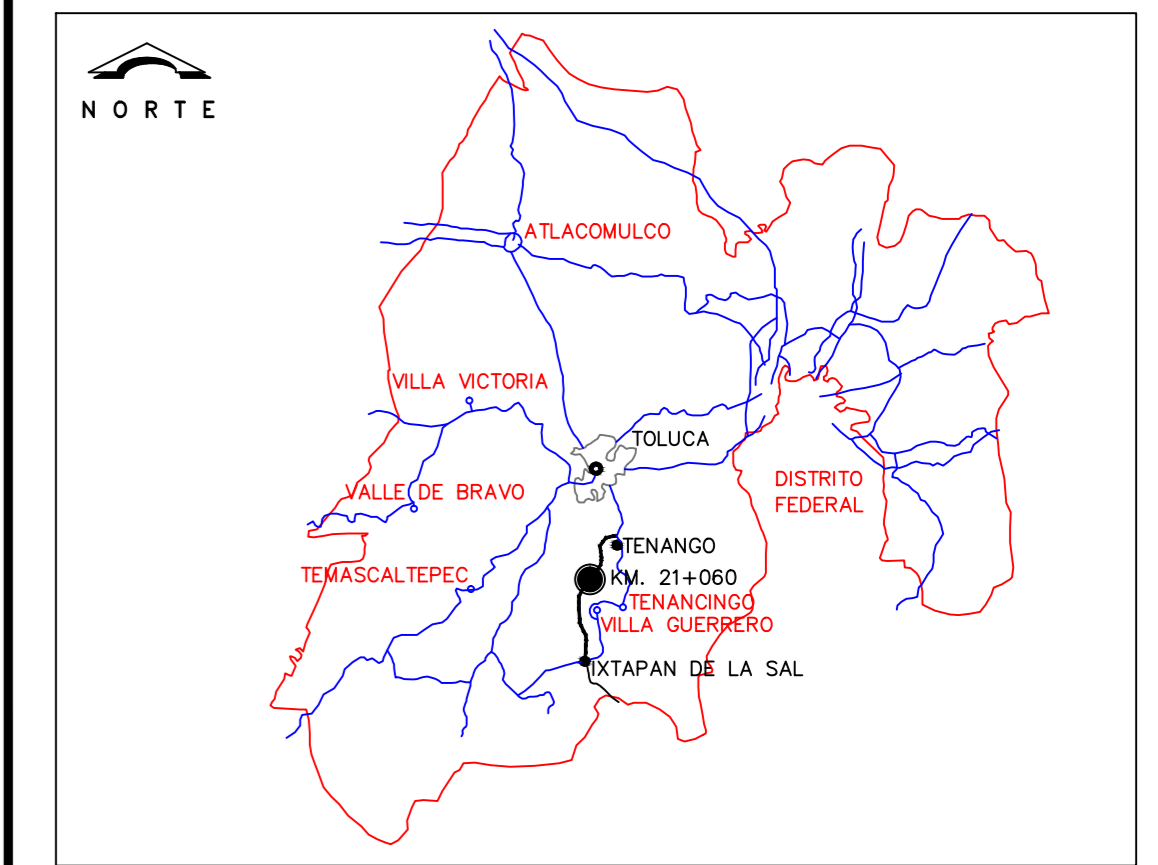
ESPECIFICACIONES:

ESPECIFICACIONES PARTICULARES

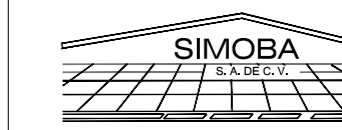
CROQUIS DE LOCALIZACION



CROQUIS DE LOCALIZACION GENERAL



LOCALIZACION PARTICULAR



INMOBILIARIA SIMOBA, S. A. DE C. V.

INMOBILIARIA SIMOBA, S. A. DE C. V.

PASO INFERIOR VEHICULAR PARA EL CRUCE DE LA AUTOPISTA TENANGO-IXTAPAN DE LA SAL, EN EL KM. 21+060 SIN INTERRUPCION DE LA OPERACION DEJANDO LA LIBRE CIRCULACION DEL TRANSITO VEHICULAR.

FECHA

OCT-2012

DIBUJO
INMOBILIARIA SIMOBA, S. A. DE C. V.

PROYECTO
ING. HUGO MONDRAGON MAGAÑA
INMOBILIARIA SIMOBA, S. A. DE C. V.

ESCALA:

INDICADA



GOBIERNO DEL ESTADO DE MÉXICO
Secretaría de Comunicaciones
Sistema de Autopistas, Aeropuertos, Servicios Conexos y Auxiliares



DIRECTOR DE CONTROL DE OBRAS Y PROYECTOS SASACAM ENCARGADO DEL DESPACHO DE LA DIRECCION GENERAL DEL SISTEMA DE AUTOPISTAS, AEROPUERTOS, SERVICIOS CONEXOS Y AUXILIARES SECRETARIO DE COMUNICACIONES

Ing. Eleazar Gutierrez Magaña C.P. Arturo Enriquez Garcia M.A.P. Apolinar Mena Vargas

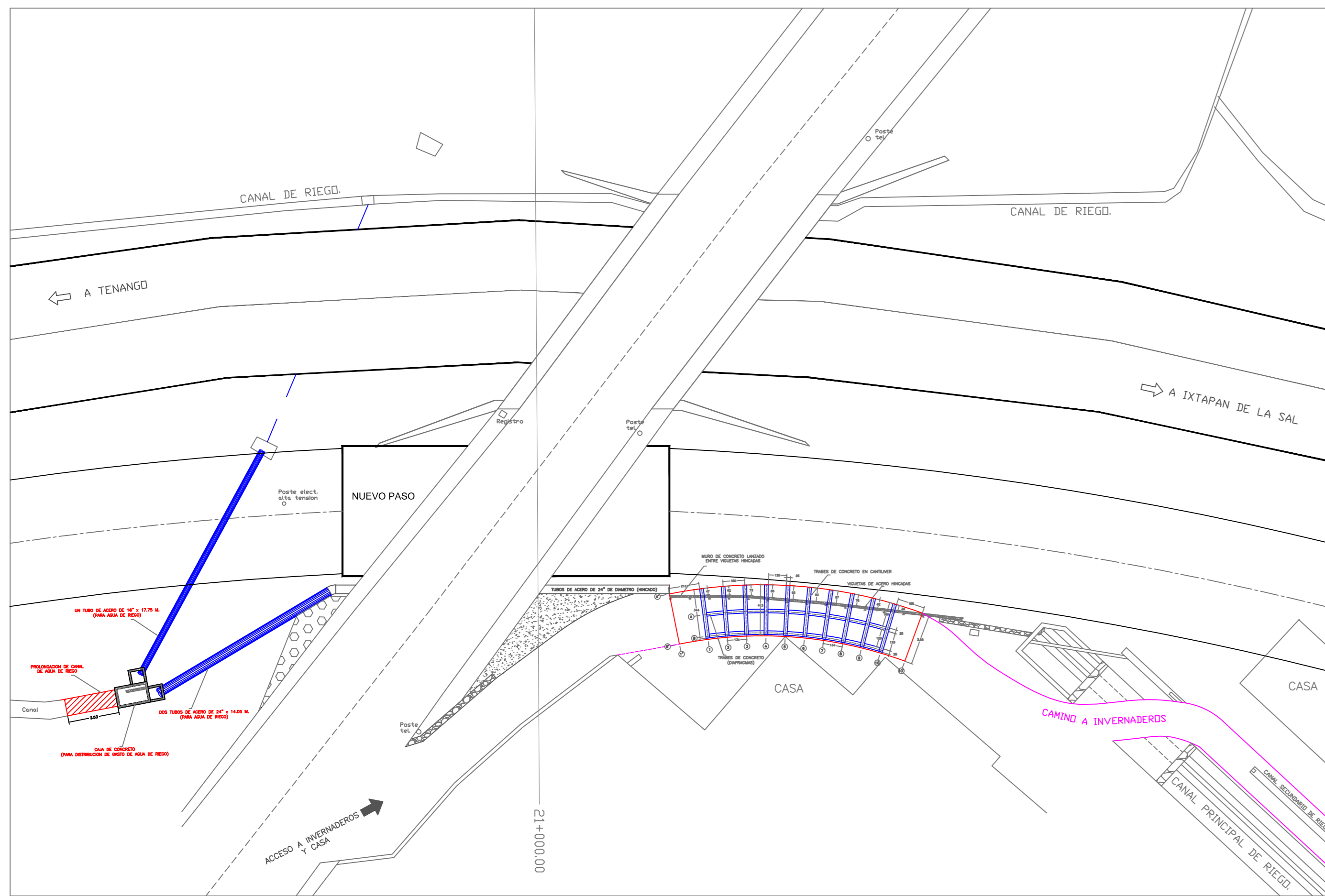
PASO INFERIOR VEHICULAR EN LA AUTOPISTA TENANGO-IXTAPAN DE LA SAL, KM. 21+060

PLANO: DESVIOS Y PROTECCION DE CASA

TRAMO: TENANGO-IXTAPAN DE LA SAL SUBTRAMO: KM 21+060

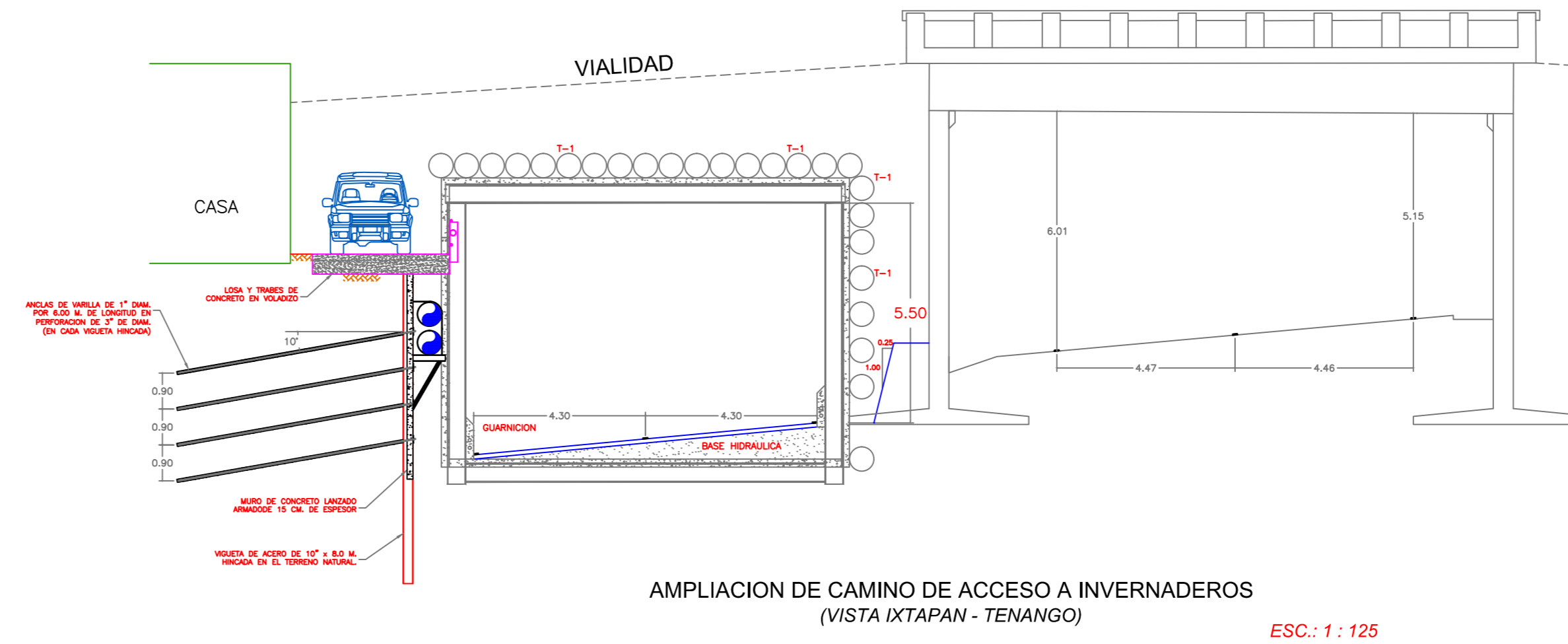
CASETA TENANGO DEL VALLE Km 1+000
SOBRE LA AUTOPISTA TENANGO-IXTAPAN DE LA SAL

ESCALA: INDICADA
FECHA:
PLAVE DE PLANOS: 01



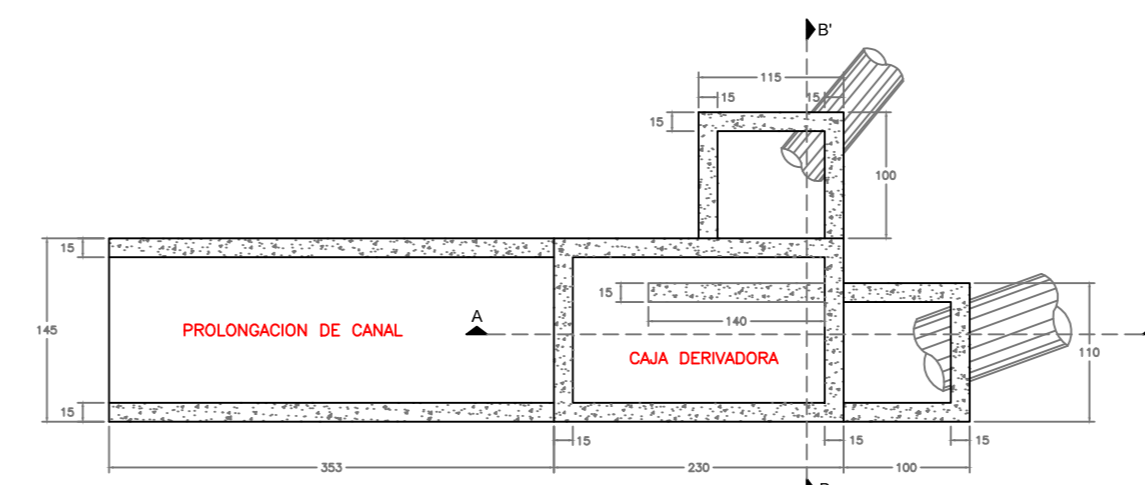
DESVIOS Y PROTECCION DE CASA (PLANTA)

ESC.: 1 : 250

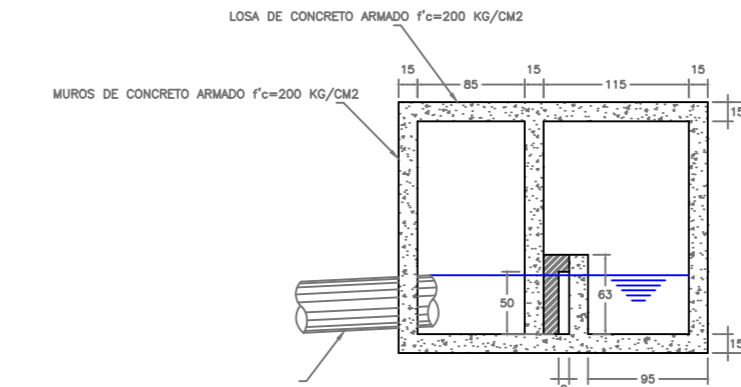


AMPLIACION DE CAMINO DE ACCESO A INVERNADEROS (VISTA IXTAPAN - TENANGO)

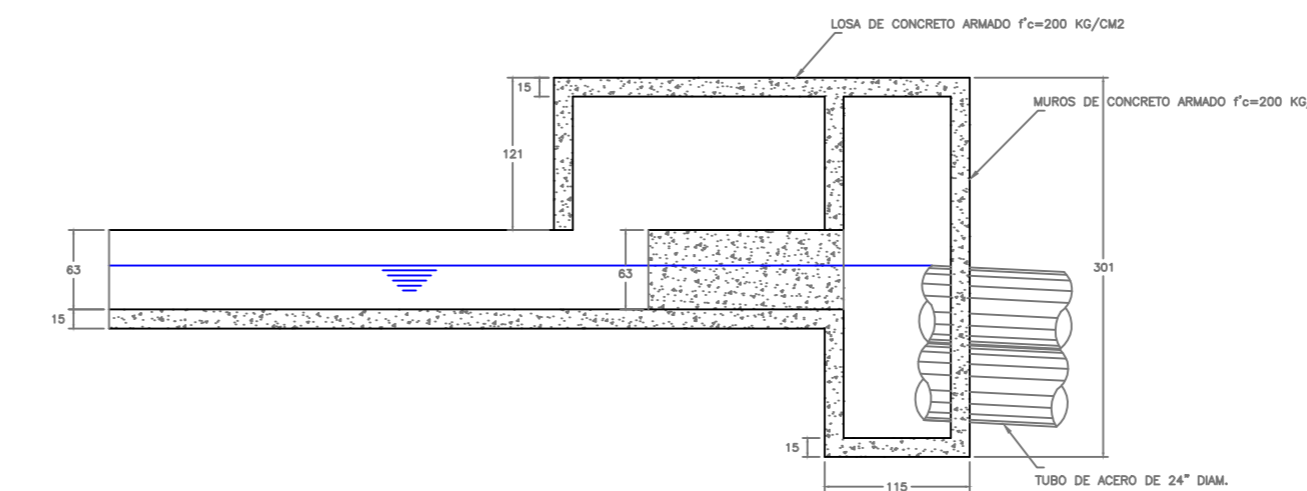
ESC.: 1 : 125



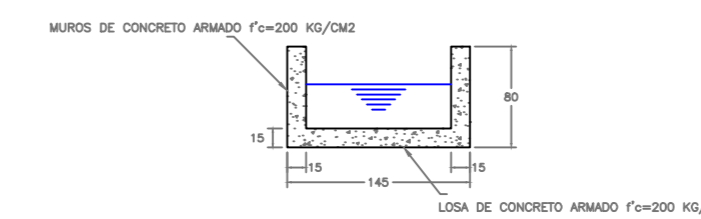
CAJA DERIVADORA DE AGUA DE RIEGO (PLANTA)



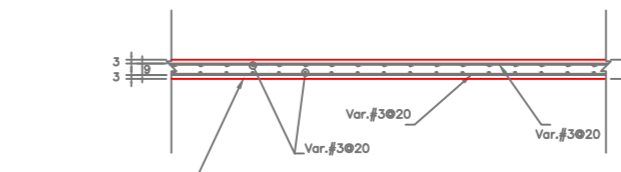
CAJA DERIVADORA DE AGUA DE RIEGO (CORTE B-B)



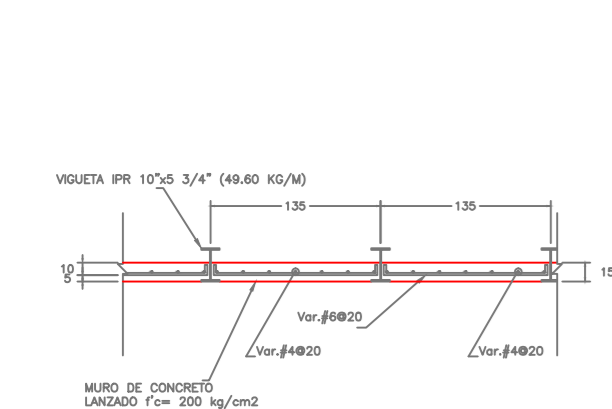
CAJA DERIVADORA DE AGUA DE RIEGO (CORTE A-A)



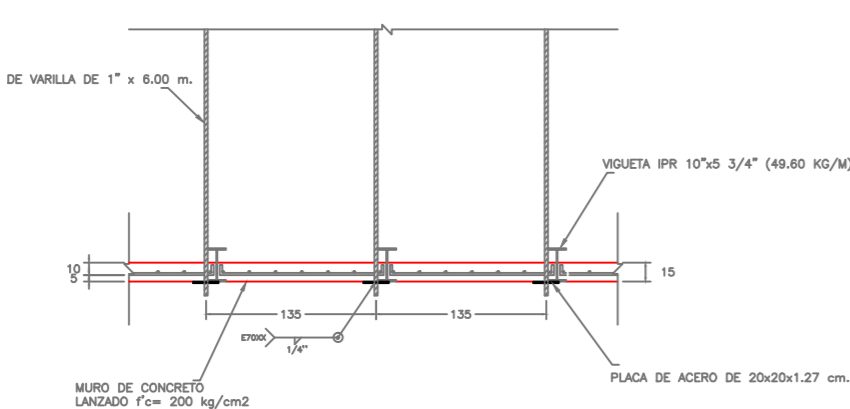
CANAL DE AGUA DE RIEGO (SECCION)



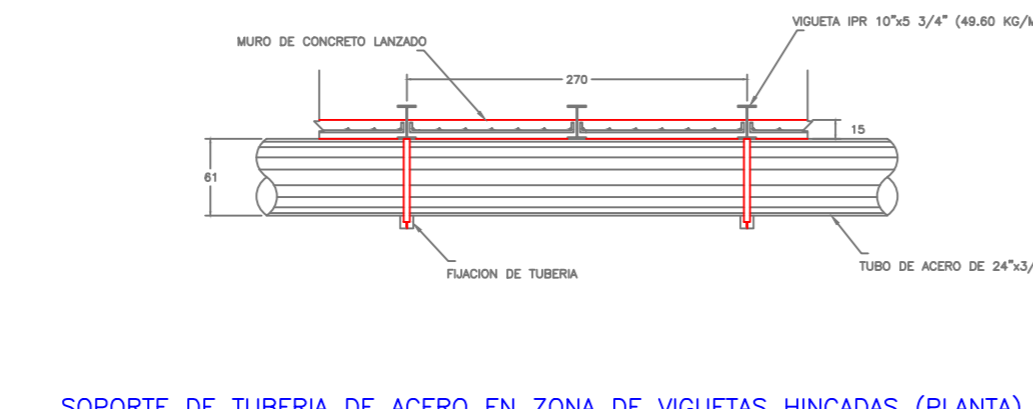
ARMADO DE LOSA Y MUROS EN CAJA Y CANAL (SECCION)



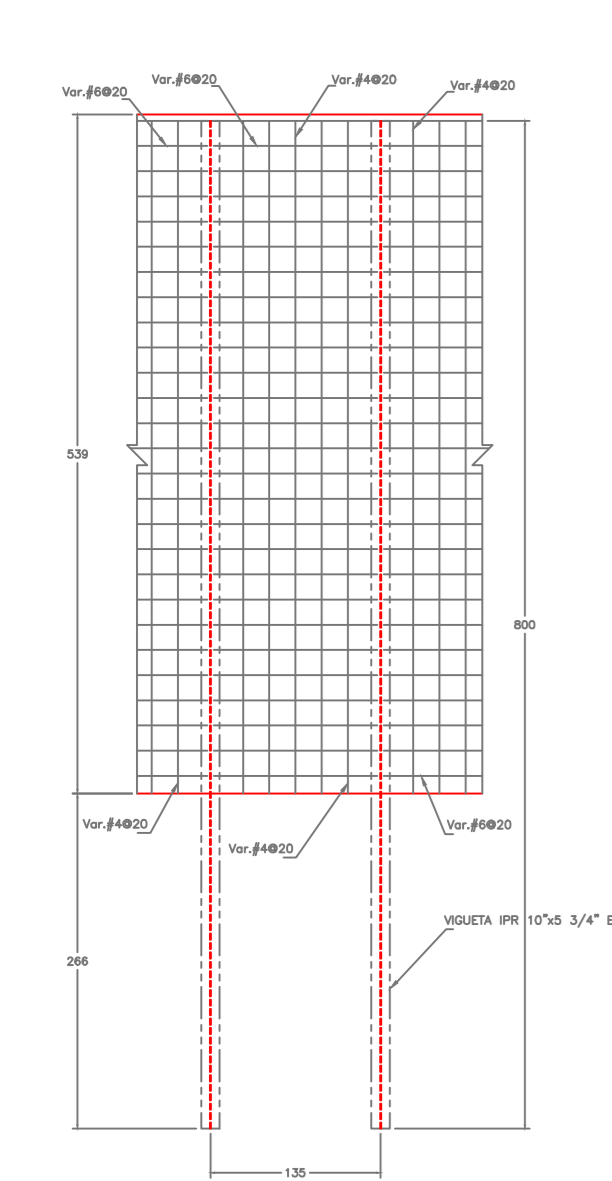
MURO DE CONCRETO LANZADO (PLANTA)



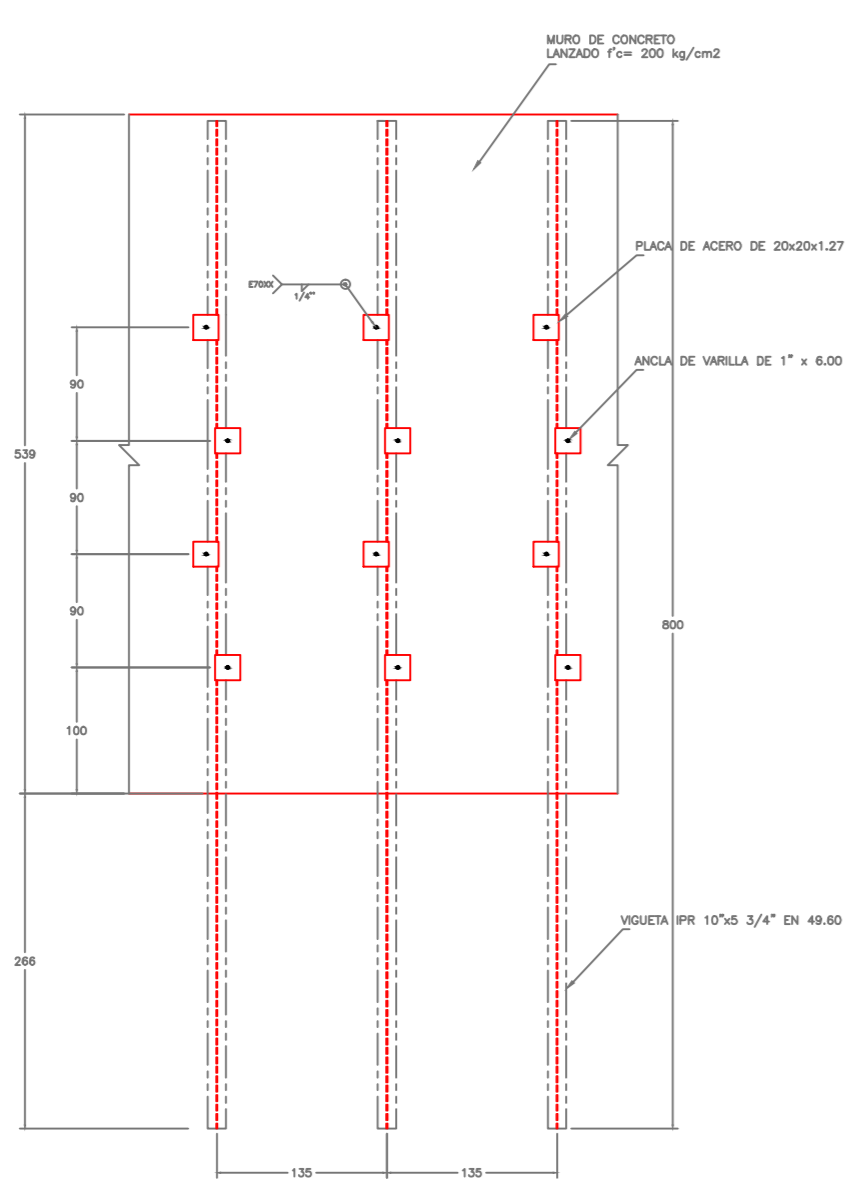
ANCLAJE DE MURO DE CONCRETO LANZADO (PLANTA)



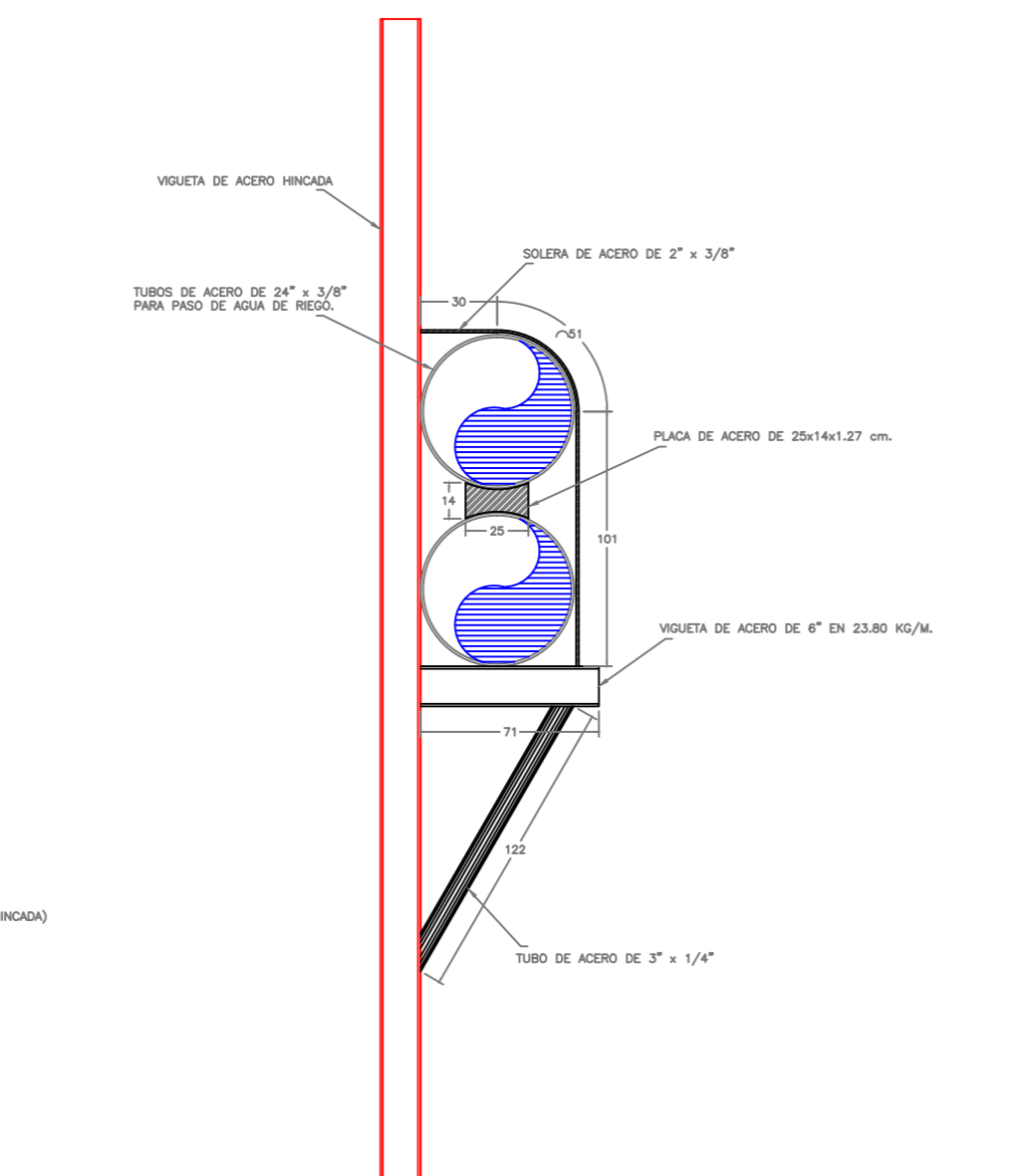
SOPORTE DE TUBERIA DE ACERO EN ZONA DE VIGUETAS HINCADAS (PLANTA)



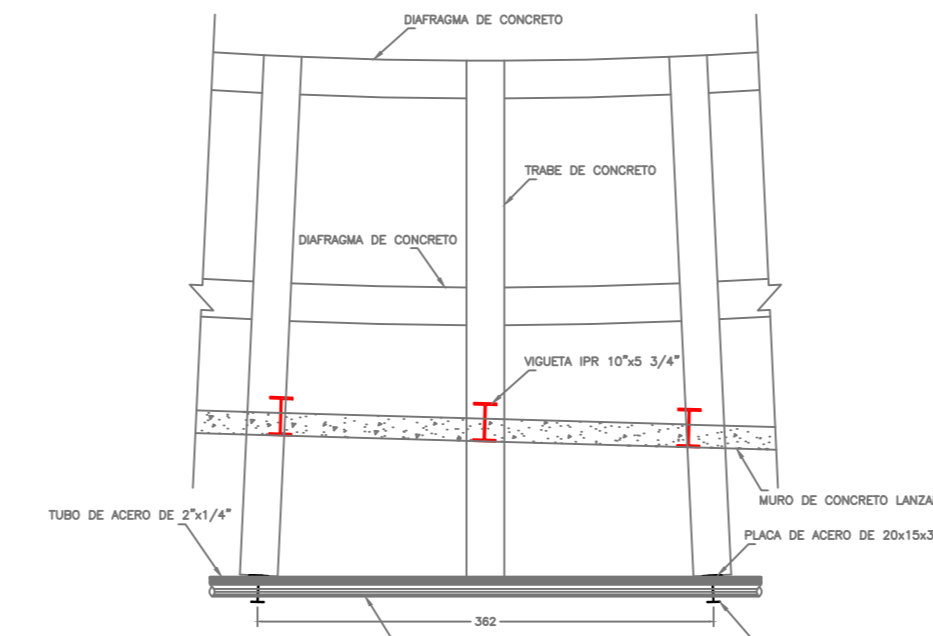
MURO DE CONCRETO LANZADO (ALZADO)



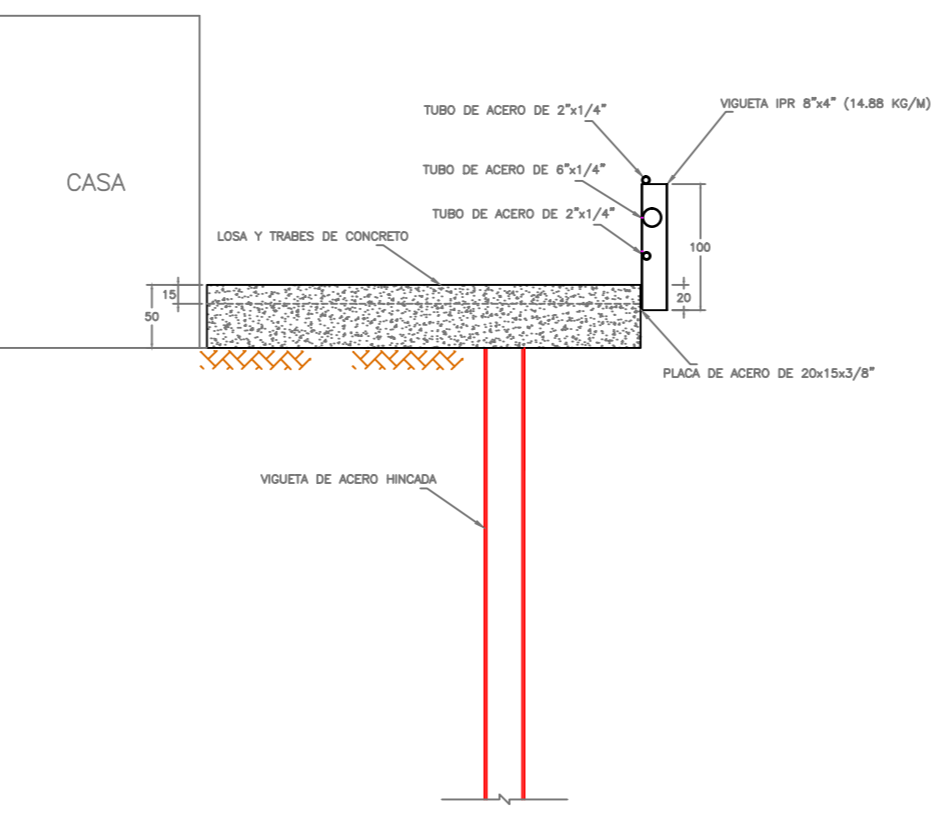
ANCLAJE DE MURO DE CONCRETO LANZADO (ALZADO)



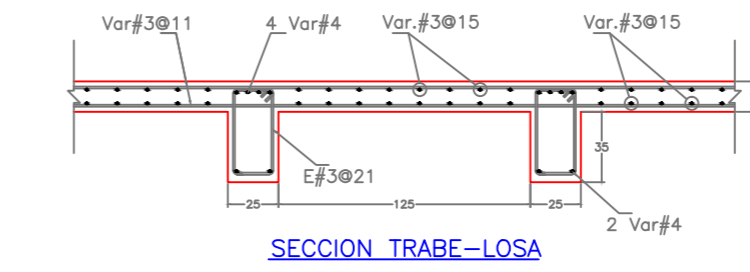
SOPORTE DE TUBERIA DE ACERO EN ZONA DE VIGUETAS HINCADAS (ALZADO)



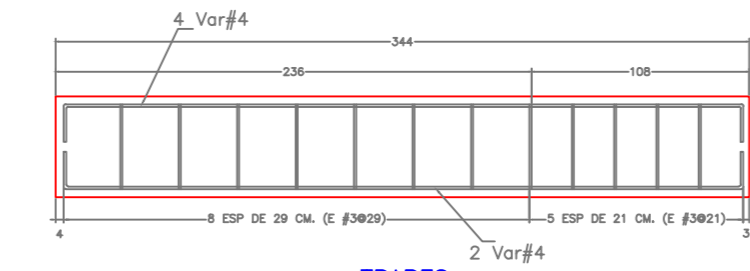
BARANDAL PARA PROTECCION VEHICULAR (PLANTA)



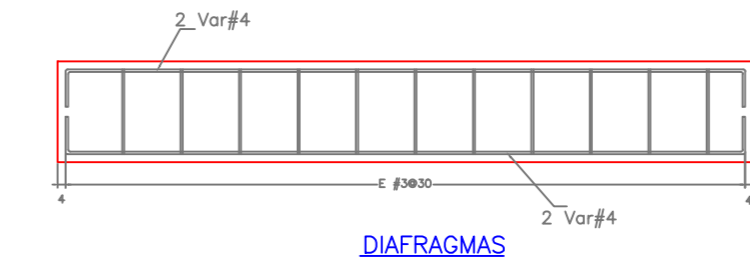
BARANDAL PARA PROTECCION VEHICULAR (ALZADO)



SECCION TRABE-LOSA



TRABES

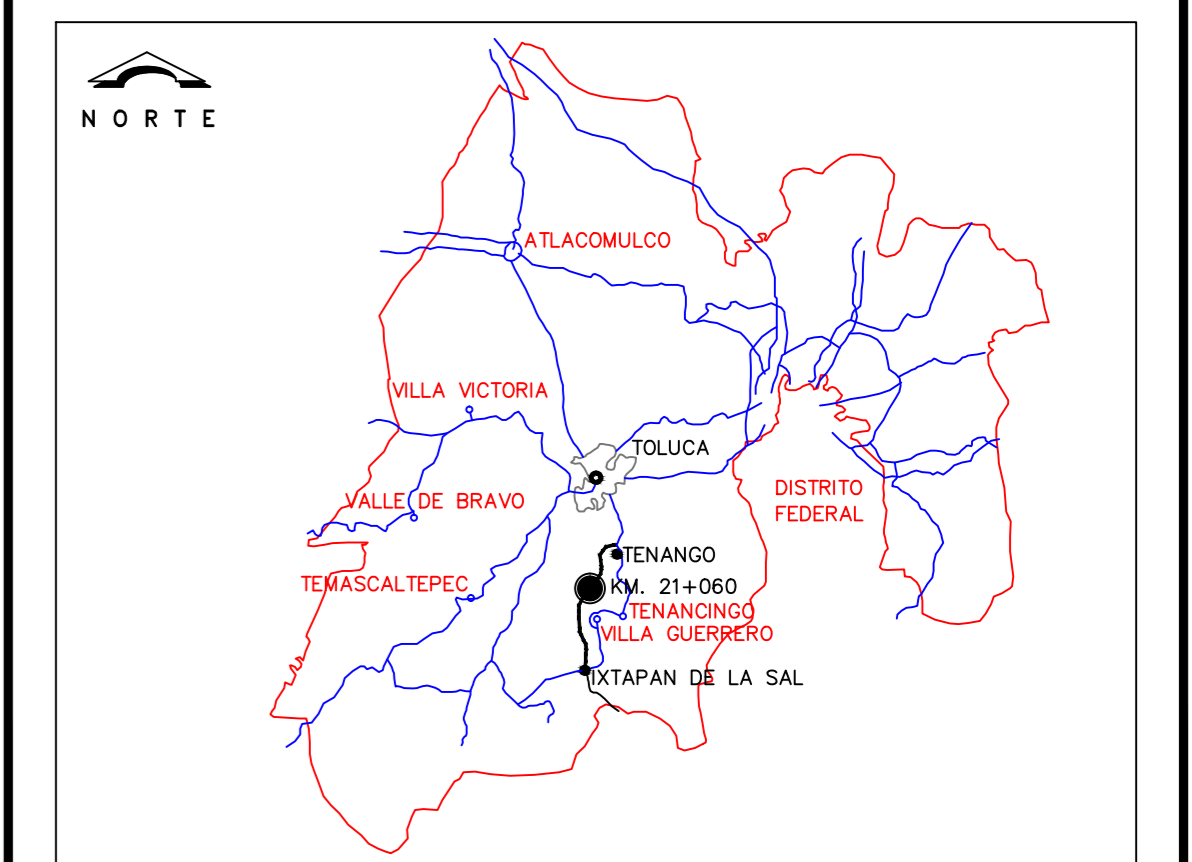


DIAPHRAGMAS

NOTAS:
ESPECIFICACIONES:
 ESPECIFICACIONES PARTICULARES



CROQUIS DE LOCALIZACION



CROQUIS DE LOCALIZACION GENERAL

LOCALIZACION PARTICULAR

SIMOBA
 INMOBILIARIA SIMOBA, S. A. DE C. V.

INMOBILIARIA SIMOBA, S. A. DE C. V.

PASO INFERIOR VEHICULAR PARA EL CRUCE DE LA AUTOPISTA TENANGO-IXTAPAN DE LA SAL, EN EL KM. 21+060 SIN INTERRUPCION DE LA OPERACION DEJANDO LA LIBRE CIRCULACION DEL TRANSITO VEHICULAR.

DIBUJO: INMOBILIARIA SIMOBA, S. A. DE C. V. PROYECTO: ING. HUGO MONDRAGON MAGAÑA INMOBILIARIA SIMOBA, S. A. DE C. V.

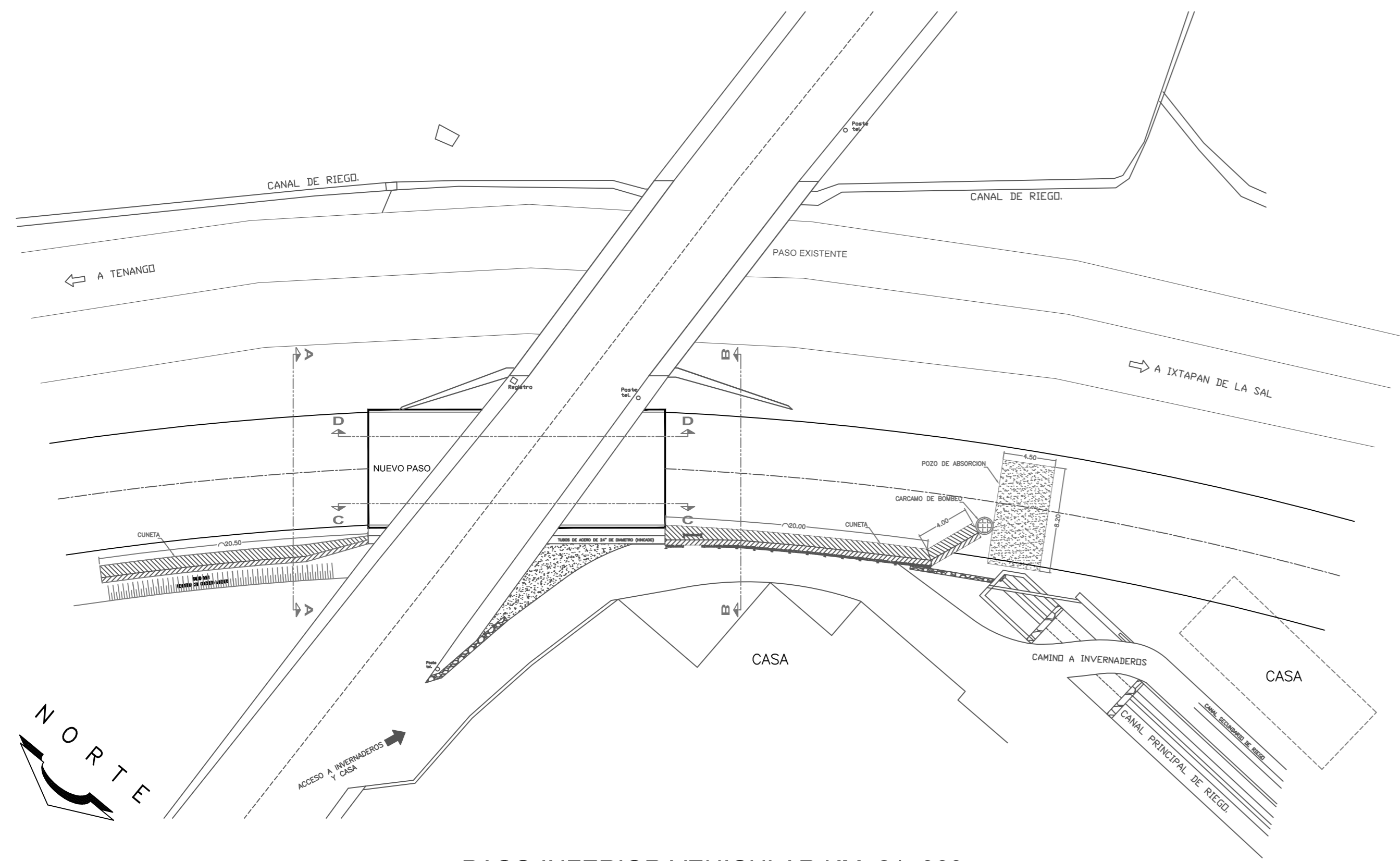
GOBIERNO DEL ESTADO DE OAXACA
 Secretaría de Comunicaciones
 Sistema de Autopistas, Aeropuertos, Servicios Conexos y Auxiliares

DIRECTOR DE CONTROL DE OBRAS Y PROYECTOS SASOAM: Ing. Eleazar Gutierrez Magaña ENCARGADO DEL DESPACHO DE LA DIRECCION GENERAL DEL SISTEMA DE AUTOPISTAS, AEROPUERTOS, SERVICIOS CONEXOS Y AUXILIARES: C.P. Arturo Enriquez Garcia SECRETARIO DE COMUNICACIONES: M.A.P. Apolinar Mena Vargas

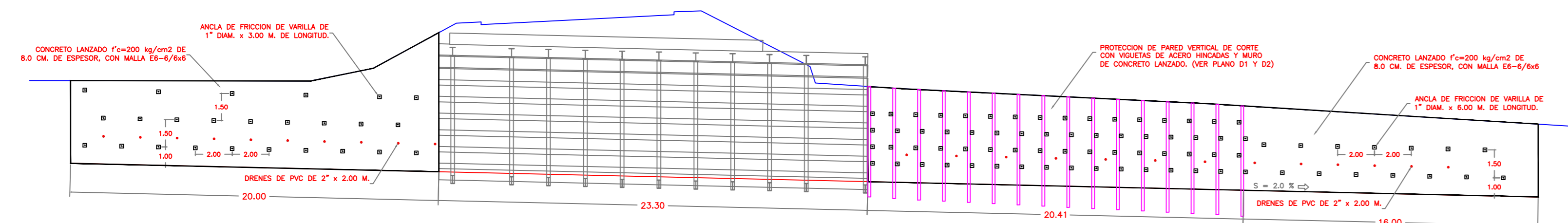
PASO INFERIOR VEHICULAR EN LA AUTOPISTA TENANGO-IXTAPAN DE LA SAL, KM. 21+060

PLANO: DESVIOS Y PROTECCION DE CASA TRAMO: TENANGO-IXTAPAN DE LA SAL SUBTRAMO: KM 21+060

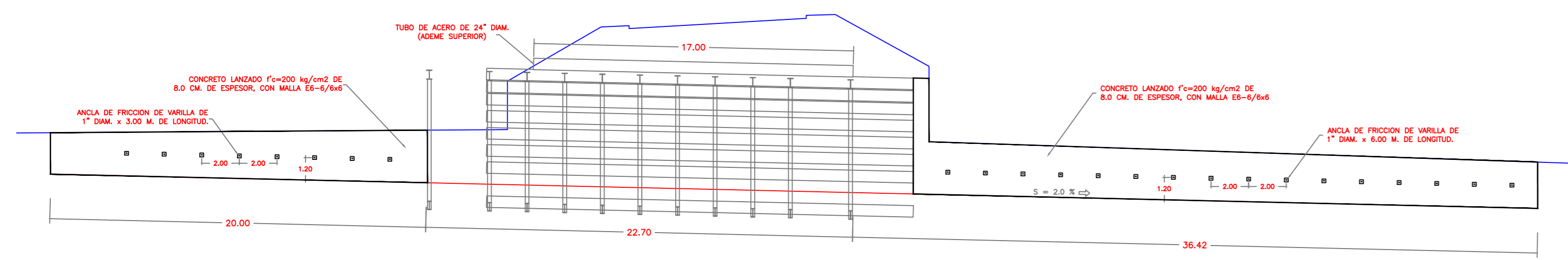
CASETA TENANGO DEL VALLE Km 1+000 SOBRE LA AUTOPISTA TENANGO-IXTAPAN DE LA SAL ESCALA: INDICADA FECHA: 02 PLAVE DE PLANOS: 02



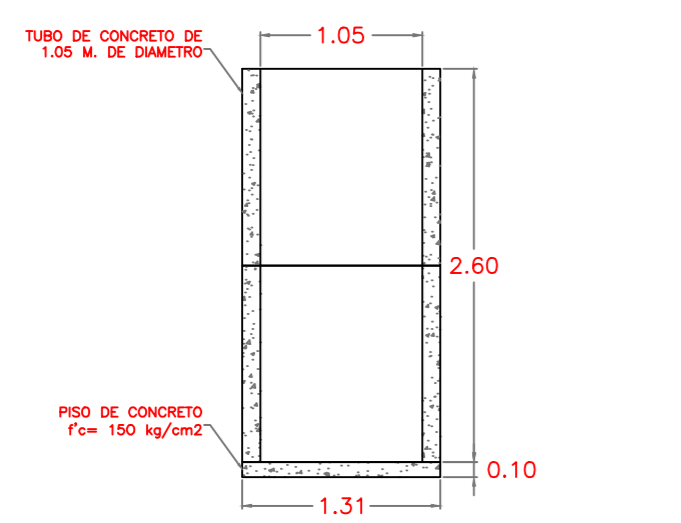
**PASO INFERIOR VEHICULAR KM. 21+060
(PLANTA) ESC.: 1 : 300**



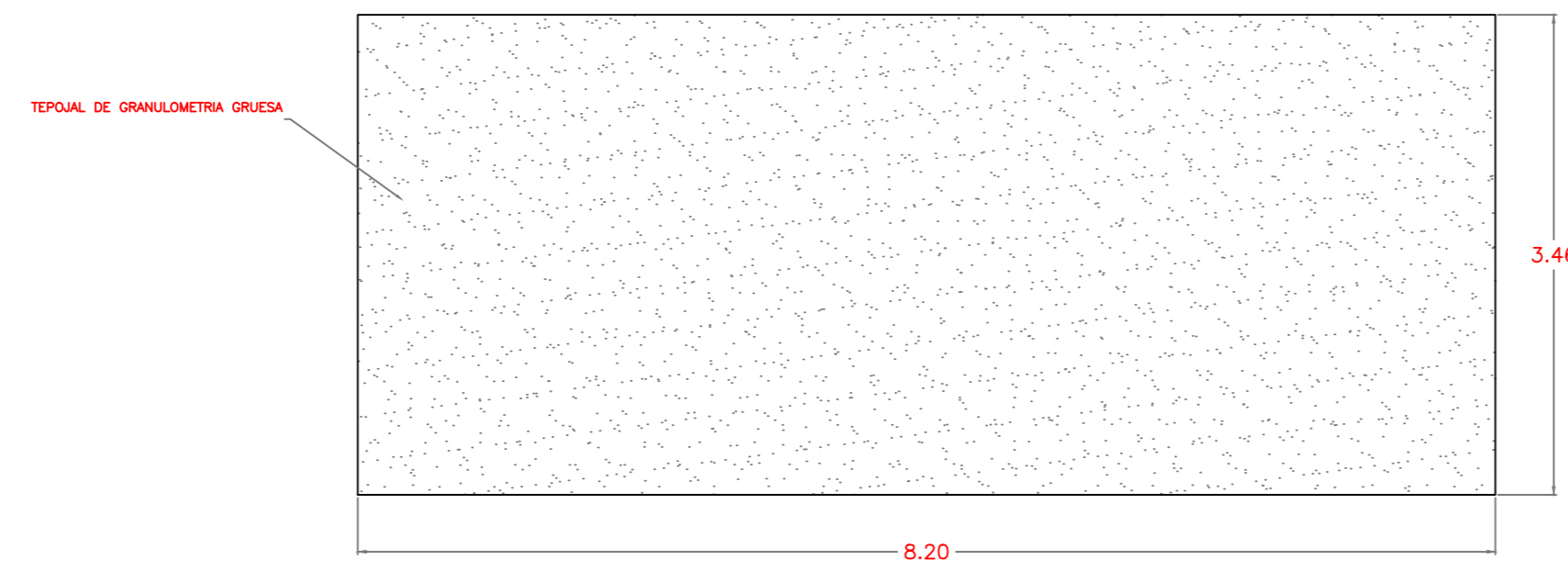
**CORTE C - C
(VISTA FRONTAL TALUDES NORTE) ESC.: 1 : 200**



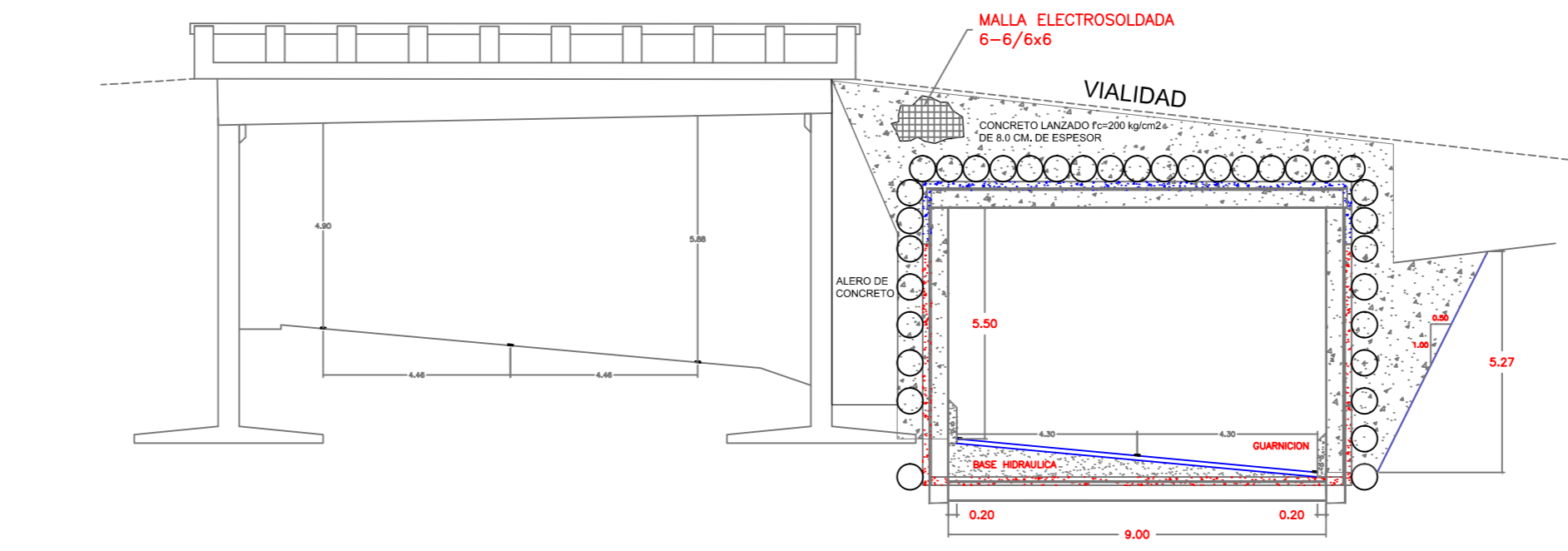
**CORTE D - D
(VISTA FRONTAL TALUDES SUR) ESC.: 1 : 200**



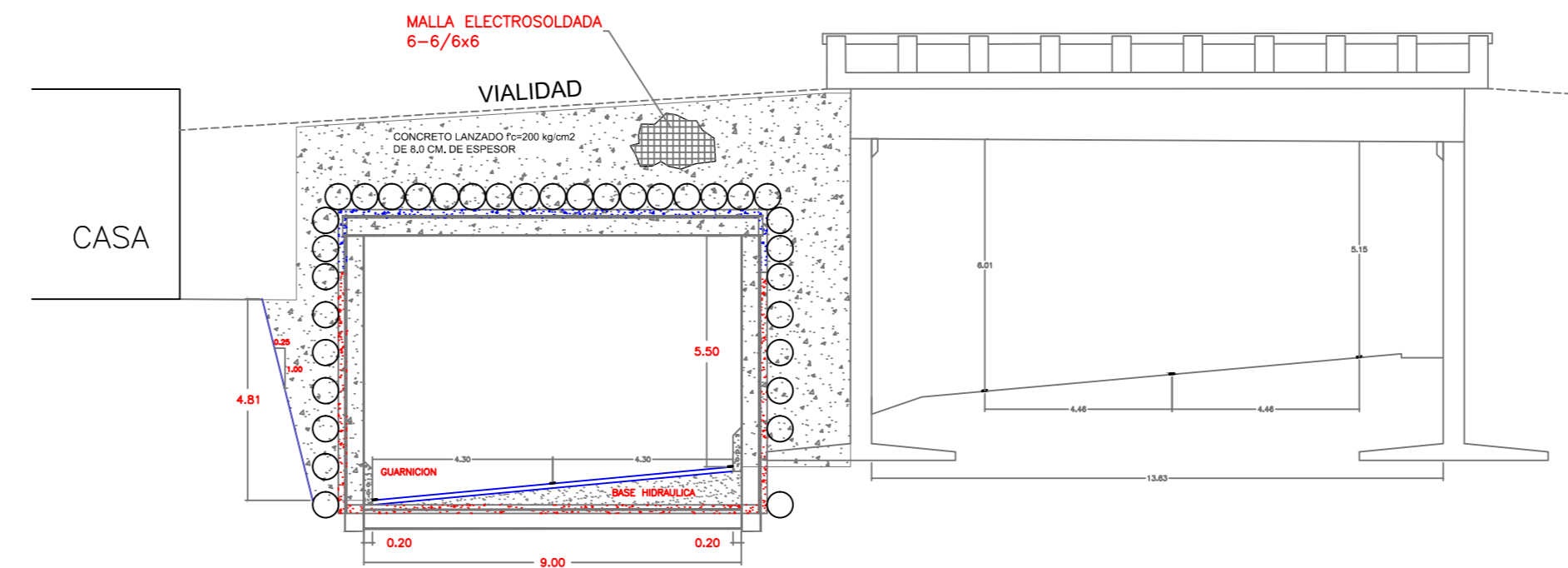
**CARCAMO DE BOMBEO
(VISTA LATERAL) ESC.: 1 : 50**



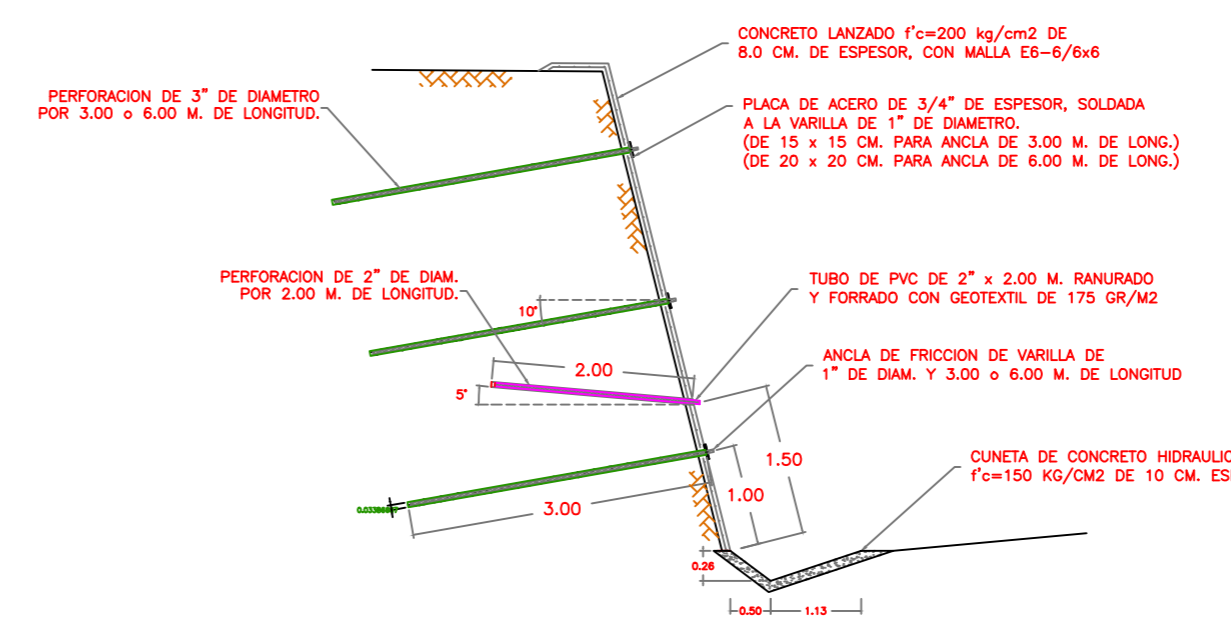
**POZO DE ABSORCION
(VISTA LATERAL) ESC.: 1 : 50**



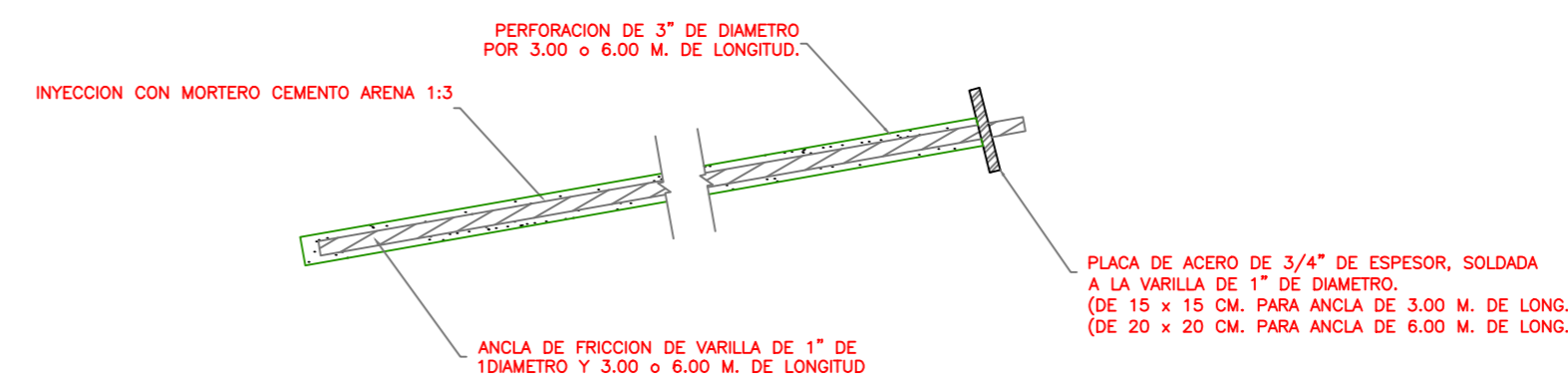
**CORTE A - A
(VISTA TENANGO - IXTAPAN) ESC.: 1 : 150**



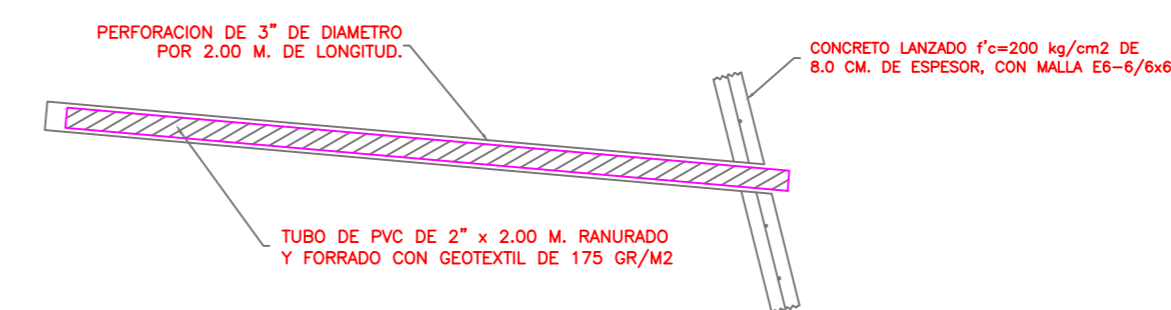
**CORTE B - B
(VISTA IXTAPAN - TENANGO) ESC.: 1 : 150**



**PROTECCION DE TALUDES
(VISTA LATERAL) ESC.: 1 : 75**



DETALLE ANCLAJE



DETALLE DREN

NOTAS:

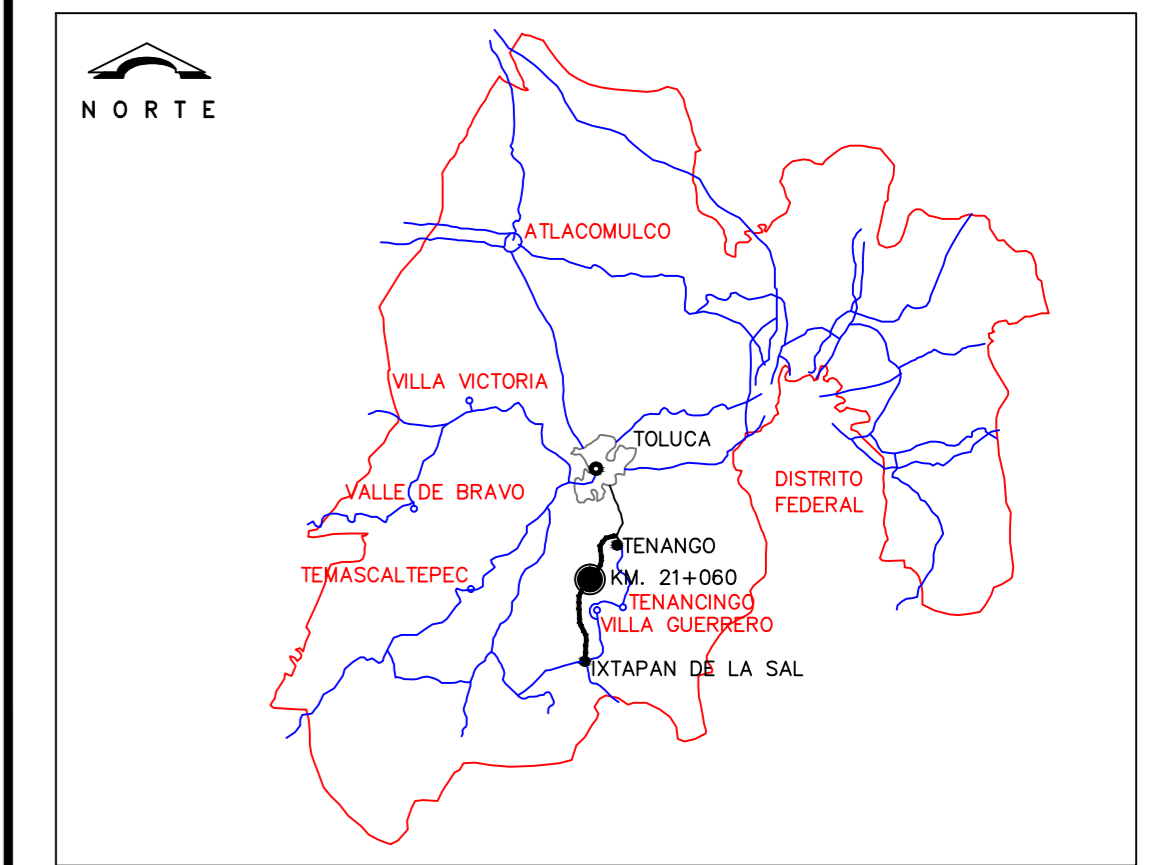
ESPECIFICACIONES:

ESPECIFICACIONES PARTICULARES

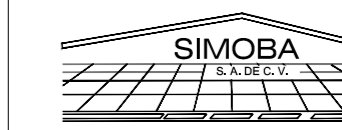
CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



CROQUIS DE LOCALIZACION GENERAL



LOCALIZACION PARTICULAR



INMOBILIARIA SIMOBA, S. A. DE C. V.

INMOBILIARIA SIMOBA, S. A. DE C. V.

PASO INFERIOR VEHICULAR PARA EL CRUCE DE LA AUTOPISTA TENANGO-IXTAPAN DE LA SAL, EN EL KM. 21+060 SIN INTERRUPCION DE LA OPERACION DEJANDO LA LIBRE CIRCULACION DEL TRANSITO VEHICULAR.

FECHA
OCT-2012

DIBUJO
INMOBILIARIA SIMOBA, S. A. DE C. V.

PROYECTO
ING. HUGO MONDRAGON MAGAÑA
INMOBILIARIA SIMOBA, S. A. DE C. V.

ESCALA:
INDICADA



GOBIERNO DEL ESTADO DE MÉXICO
Secretaría de Comunicaciones
Sistema de Autopistas, Aeropuertos, Servicios Conexos y Auxiliares



DIRECTOR DE CONTROL DE OBRAS Y PROYECTOS SASASAM ENCARGADO DEL DESPACHO DE LA DIRECCION GENERAL DEL SISTEMA DE AUTOPISTAS, AEROPUERTOS, SERVICIOS CONEXOS Y AUXILIARES SECRETARIO DE COMUNICACIONES

Ing. Eleazar Gutierrez Magaña C.P. Arturo Enriquez Garcia M.A.P. Apolinar Mena Vargas

PASO INFERIOR VEHICULAR EN LA AUTOPISTA TENANGO-IXTAPAN DE LA SAL, KM. 21+060

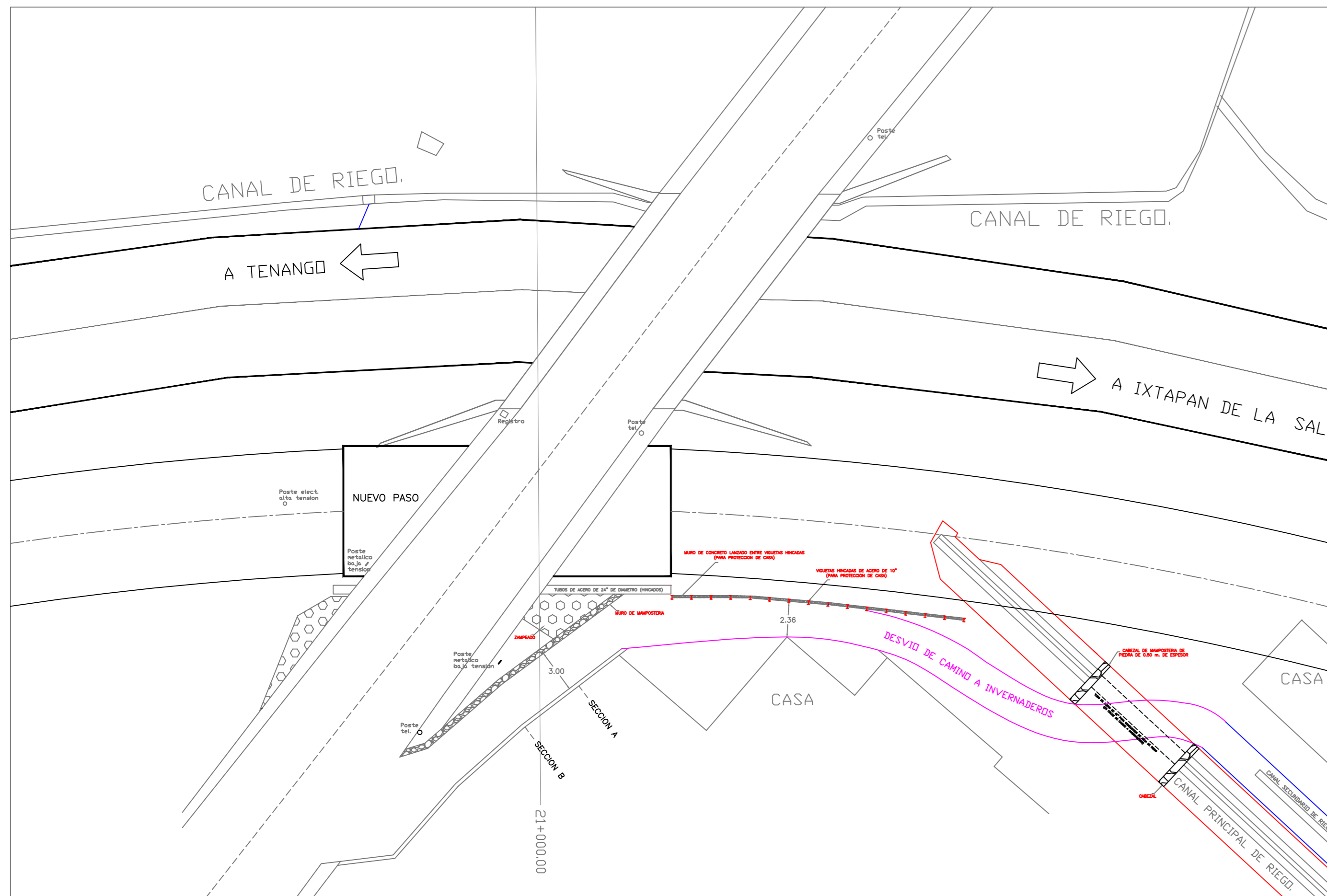
PLANO: PROTECCION DE PORTALES Y TALUDES

TRAMO: TENANGO-IXTAPAN DE LA SAL

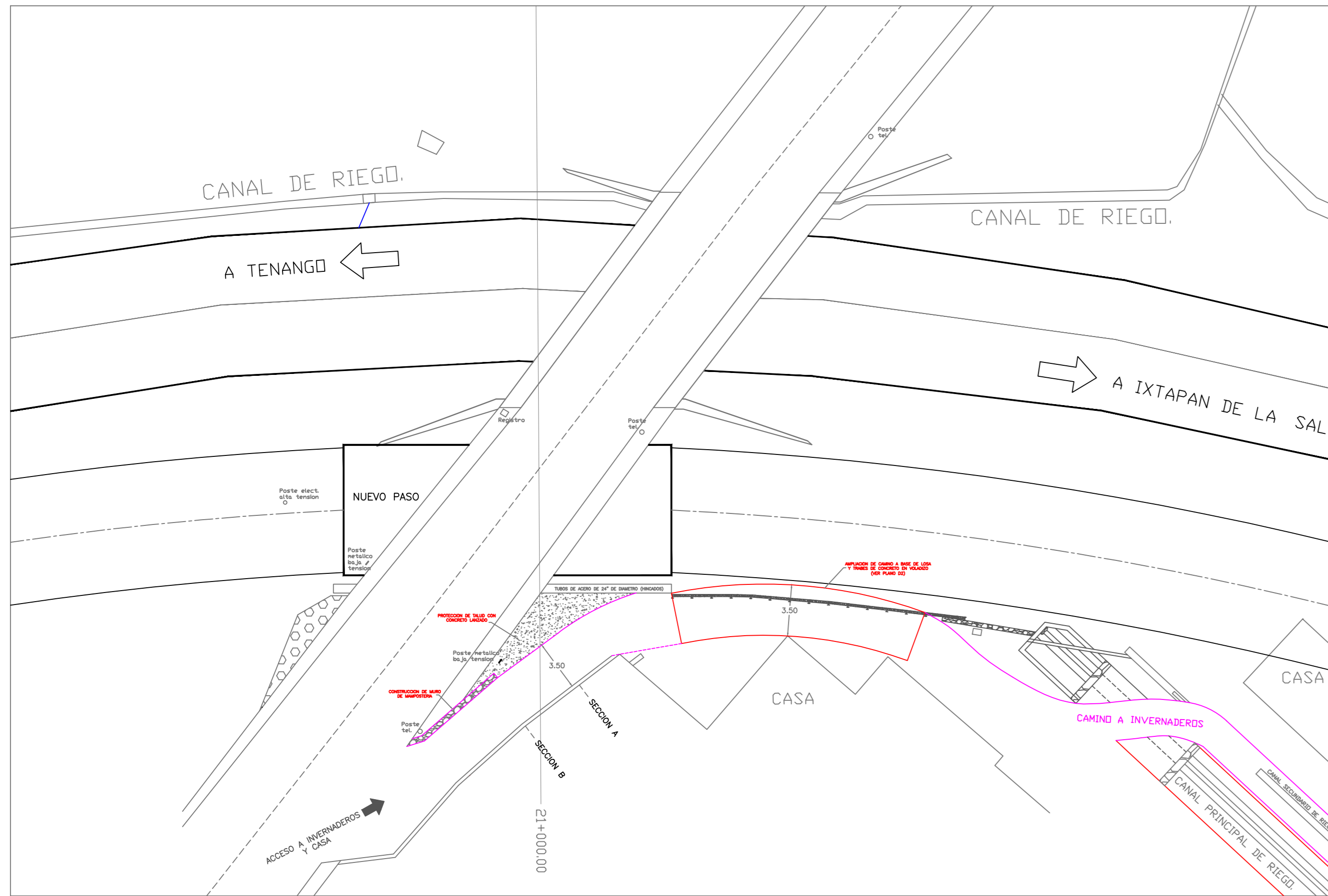
SUBTRAMO: KM 21+060

CASETA TENANGO DEL VALLE Km 1+000
SOBRE LA AUTOPISTA TENANGO-IXTAPAN DE LA SAL

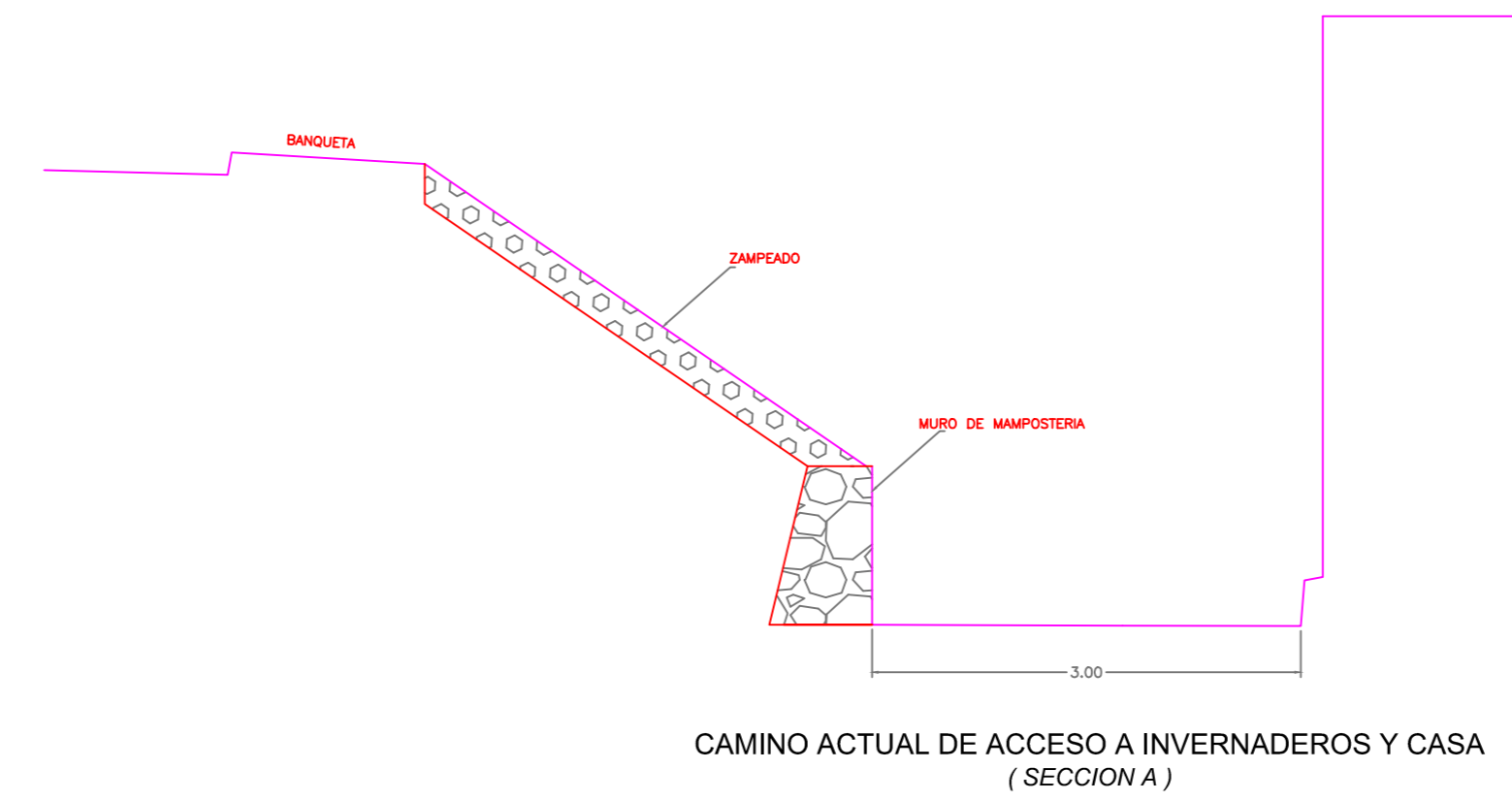
ESCALA: INDICADA
FECHA:
PLAVE DE PLANO: P1



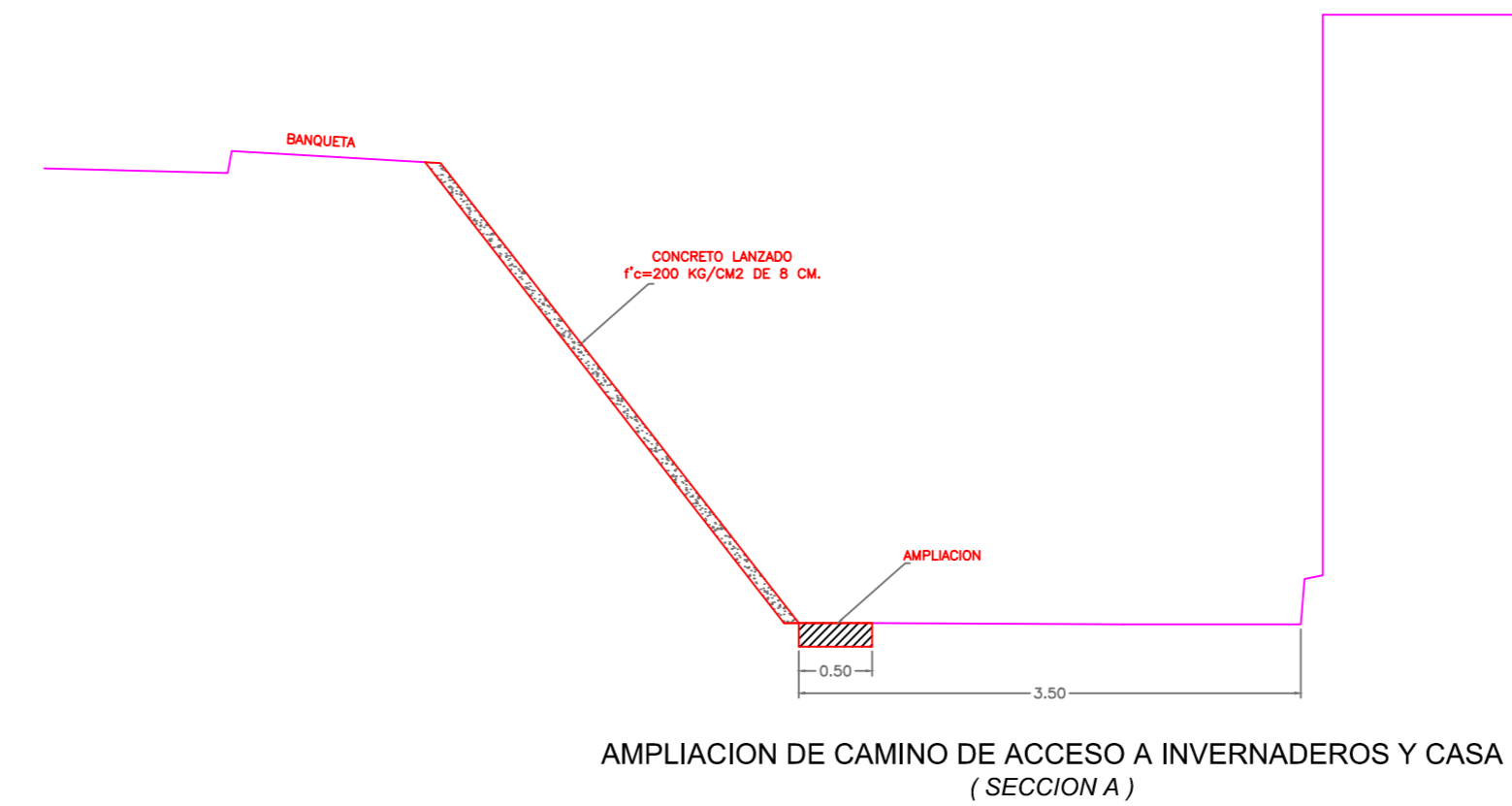
DESVIÓ DE CAMINO DE ACCESO A INVERNADEROS Y CASA (PLANTA) ESC.: 1 : 250



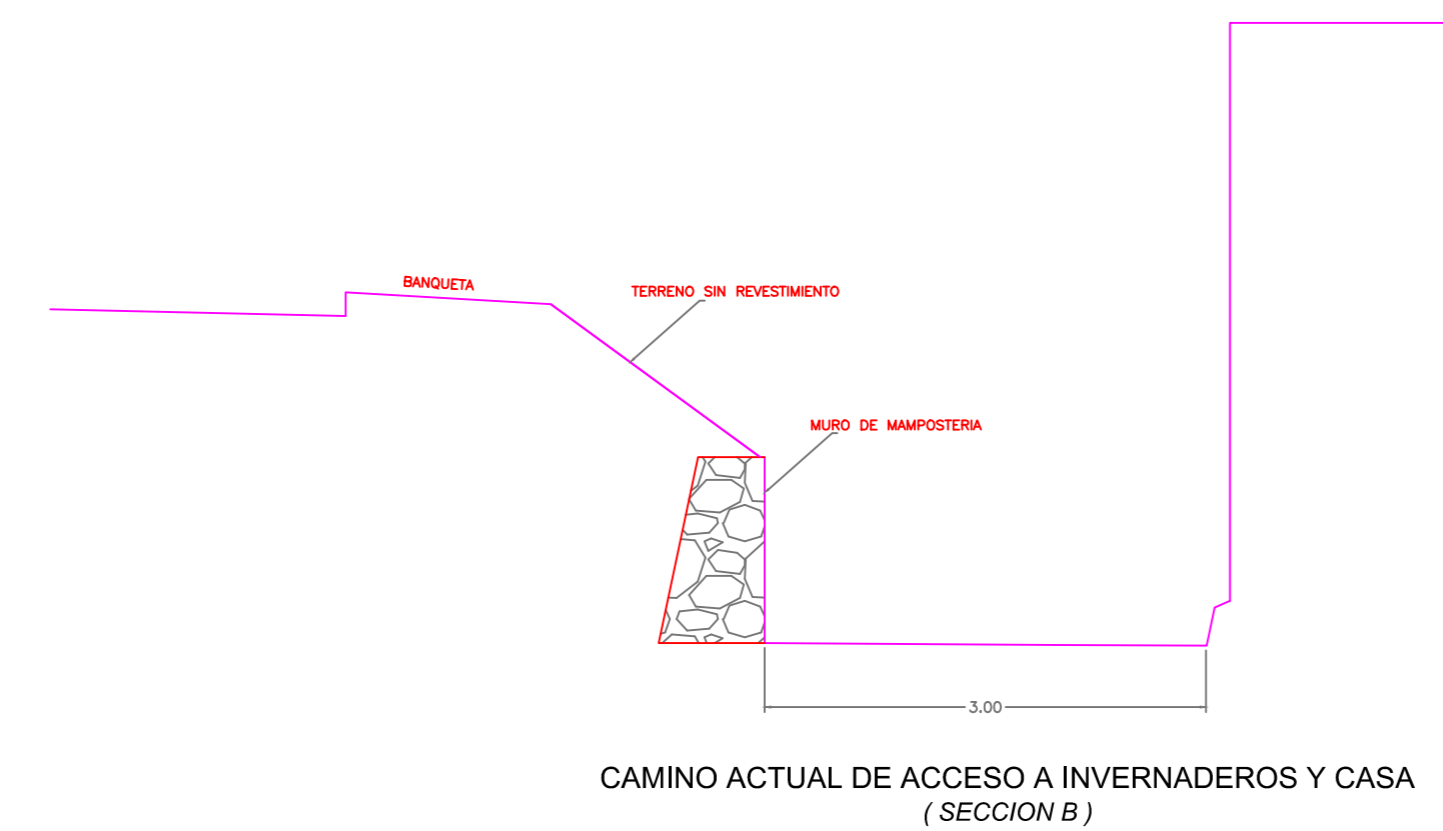
AMPLIACION DE ACCESO A INVERNADEROS Y CASA (PLANTA) ESC.: 1 : 250



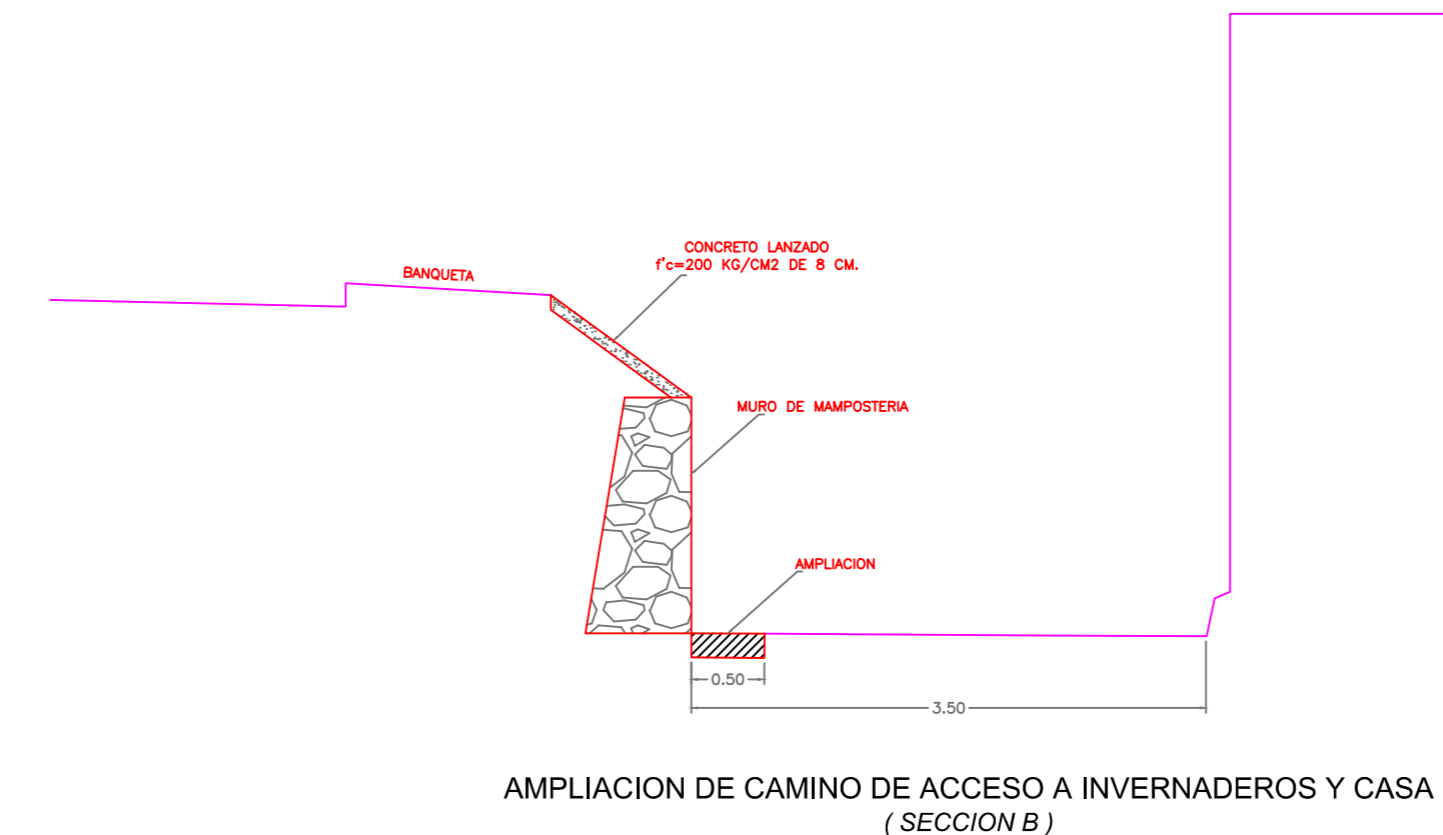
CAMINO ACTUAL DE ACCESO A INVERNADEROS Y CASA (SECCION A)



AMPLIACION DE CAMINO DE ACCESO A INVERNADEROS Y CASA (SECCION A)



CAMINO ACTUAL DE ACCESO A INVERNADEROS Y CASA (SECCION B)



AMPLIACION DE CAMINO DE ACCESO A INVERNADEROS Y CASA (SECCION B)

NOTAS:
 ESPECIFICACIONES:
 ESPECIFICACIONES PARTICULARES

CROQUIS DE LOCALIZACIÓN

ESTADOS UNIDOS MEXICANOS
 NORTE
 GOLFO DE MEXICO
 OCEANO PACIFICO

CROQUIS DE LOCALIZACION GENERAL

NORTE
 ATLACOMULCO
 VILLA VICTORIA
 VALLE DE BRAVO
 TEMASCALTEPEC
 TENANGO
 TENANCINGO
 VILLA GUERRERO
 IXTAPAN DE LA SAL
 DISTRITO FEDERAL
 TOLUCA

LOCALIZACION PARTICULAR

SIMOBA
 INMOBILIARIA SIMOBA, S. A. DE C. V.

INMOBILIARIA SIMOBA, S. A. DE C. V.

PASO INFERIOR VEHICULAR PARA EL CRUCE DE LA AUTOPISTA TENANGO-IXTAPAN DE LA SAL, EN EL KM. 21+060 SIN INTERRUPCION DE LA OPERACION DEJANDO LA LIBRE CIRCULACION DEL TRANSITO VEHICULAR.

FECHA: OCT-2012

DIBUJO: INMOBILIARIA SIMOBA, S. A. DE C. V. PROYECTO: ING. HUGO MONDRAGON MAGAÑA INMOBILIARIA SIMOBA, S. A. DE C. V. ESCALA: INDICADA

GOBIERNO DEL ESTADO DE MÉXICO
 Secretaría de Comunicaciones
 Sistema de Autopistas, Aeropuertos, Servicios Conexos y Auxiliares

DIRECTOR DE CONTROL DE OBRAS Y PROYECTOS SASOAM: Ing. Eleazar Gutierrez Magaña ENCARGADO DEL DESPACHO DE LA DIRECCION GENERAL DEL SISTEMA DE AUTOPISTAS, AEROPUERTOS, SERVICIOS CONEXOS Y AUXILIARES: C.P. Arturo Enriquez Garcia SECRETARIO DE COMUNICACIONES: M.A.P. Apolinar Mena Vargas

PASO INFERIOR VEHICULAR EN LA AUTOPISTA TENANGO-IXTAPAN DE LA SAL, KM. 21+060

PLANO: AMPLIACION DE ACCESO VEHICULAR A INVERNADEROS Y CASA

TRAMO: TENANGO-IXTAPAN DE LA SAL SUBTRAMO: KM 21+060

ESCALA: INDICADA
 FECHA: FECLIVE DE PLANOS: M1