



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Estimaciones de avance de obra dentro
de la empresa Ingenieros Civiles
Asociados durante la construcción del
Túnel Emisor Oriente

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de
Ingeniero Civil

P R E S E N T A

José Daniel Uribe Martínez

ASESOR DE INFORME

M.I. Luis Candelas Ramírez



Ciudad Universitaria, CDMX, 2019

DEDICATORIAS

A Dios

*Porque de ÉL, y por ÉL, y para ÉL, son todas las cosas.
A ÉL sea la gloria por siempre.*

Romanos 11:36

A la memoria de mi padre

*Por su amor, sacrificio y confianza, y por ser el
mejor ejemplo de un buen hombre, padre y esposo.*

A mi madre

Por su amor, atención y dedicación.

A la Universidad Nacional Autónoma de México

*Por ser la noble institución que me formo como
profesionista con una visión humanista.*

A amigos y compañeros

Por su cariño, apoyo y enseñanza.

A la ingeniería mexicana

*Para lograr el anhelado sueño del desarrollo
de nuestras comunidades.*

Contenido

Introducción	1
Objetivos del informe	2
I. La empresa Ingenieros Civiles Asociados (ICA)	2
Historia	2
Misión	4
Visión	4
Valores.....	5
Organigrama.....	5
II. Antecedentes: Las obras de drenaje profundo de la Ciudad de México.....	6
Sistema de Interceptores	6
El Túnel Emisor Central	8
III. Generalidades del proyecto del Túnel Emisor Oriente (TEO)	9
Justificación de la necesidad de un nuevo drenaje profundo	9
Descripción General del Proyecto	10
Ubicación Geográfica.....	10
Características técnicas	11
Beneficio social.....	11
Contrato.....	12
Trabajos correspondientes al tramo V	15
Etapa de excavación con tuneladora.....	17
Etapa del revestimiento primario del túnel (Dovelas)	27
Etapa del revestimiento definitivo del túnel (Concreto reforzado)	28
IV. Metodología para la cuantificación de avances de obra.....	32
Excavación con tuneladora.....	33
Acarreo de material producto de excavación a banco de tiro	36
Colocación de aditivos para el tratamiento del suelo y la lubricación de los mecanismos de la tuneladora	39
Agente espumante para el acondicionamiento del terreno	39

Grasa de cola	41
Grasas para los sellos del accionamiento principal.....	43
Colocación de placas y juntas en dovelas.....	44
Revestimiento definitivo del túnel	46
Colocación de Cimbra Telescópica	46
Acero de refuerzo.....	48
Fabricación y colocación de concreto	59
V. Conformación de estimaciones de obra pública.....	62
Fundamento legal de las estimaciones de obra pública	62
Funciones del área de estimaciones	63
El área de estimaciones dentro del proyecto.....	64
Elementos que integran a un generador.....	66
Proceso de conformación de una estimación	69
Elementos que integran una estimación.....	70
Situación de las estimaciones.....	73
VI. Conclusiones.....	76
Bibliografía.....	77
Anexos	78
Anexo 1. Caracterización del frente de excavación (Anillo 2076 Subtramo L17 a L18)	79
Anexo 2. Conciliación topográfica de excavación (Del anillo 1524 al 1577 del subtramo L19 a L18).....	80
Anexo 3. Rangos de operación de la tuneladora Robbins “Morelos”	81
Anexo 4. Conciliación de cimbra (Colado 11 del subtramo L17 a L18)	82
Anexo 5. Liberación para la realización de un colado (Colado 11 del subtramo L17 a L18)	83

Introducción

El presente informe contiene la descripción de las actividades profesionales desempeñadas durante un periodo de seis meses en la constructora Ingenieros Civiles Asociados durante la construcción del tramo V del *Túnel Emisor Oriente* del Valle de México, una de las obras hidráulicas más importantes en la historia de México, por sus dimensiones y la complejidad de los trabajos desarrollados, que permitirá desalojar las aguas residuales de la Ciudad de México hacia la zona del Valle del Mezquital en el estado de Hidalgo, en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Atotonilco.

La labor que realicé dentro de *ICA* fue en el área de manejo de contrato y en particular en el área de *estimaciones*, la cual tiene como objetivo principal la presentación de los trabajos ejecutados durante un determinado periodo, por medio de la elaboración de los números generadores los cuales contienen el cálculo y análisis de las cantidades a estimar en sus respectivas unidades que al multiplicarlas por los precios unitarios autorizados dan como resultado los importes monetarios que se pretenden cobrar, además se deben anexar todos los documentos de soporte para dichas actividades. Todo esto con la finalidad de reducir al máximo posible la obra ejecutada no estimada.

El periodo de la realización de mis actividades profesionales para fines del presente informe comprende entre el 14 de enero y el 14 de julio de 2019. Desempeñé mi labor en el Tramo V del proyecto, el cual comprende de la lumbrera 17 a la lumbrera 20 del Túnel Emisor Oriente, en el municipio de Huehuetoca, Estado de México. Durante los seis meses a partir del inicio de mis labores, se llevaban a cabo en el proyecto las actividades de excavación del túnel con máquinas tuneladoras en el subtramo de Lumbrera 17 a Lumbrera 18 y de Lumbrera 19 a Lumbrera 18. Además del revestimiento definitivo del túnel en el subtramo de Lumbrera 20 a Lumbrera 19; finalizada la excavación en los subtramos L17 a L18 y L19 a L18 también se continuó con el revestimiento definitivo. Mi labor principal consistía en la integración de los generadores de todos los trabajos realizados en el tramo V del TEO desde la cuantificación de los volúmenes de obra y la obtención e integración de los documentos que servían como soporte a dichos generadores.

El presente informe está dividido en cinco grandes capítulos, en los cuales pretendo ir de lo general a lo particular respecto al proyecto del *Túnel Emisor Oriente* y de las actividades que realiza la empresa *ICA* para la estimación de los trabajos. En el primer capítulo describo brevemente la historia de la empresa *ICA* así como de su filosofía, en el segundo capítulo hablo un poco de la historia del drenaje profundo de la ciudad de México y del porqué de la necesidad de un nuevo sistema de drenaje emisor para desalojar las aguas de nuestra gran urbe. En el tercer capítulo describo de manera general el proyecto del *TEO* así como los trabajos más relevantes que para su construcción se realizan. El cuarto y quinto capítulo los dedico a hablar enteramente de las actividades que el área, a la que pertenezco, realiza persiguiendo un objetivo común.

El cuarto capítulo me dedico a describir como es el proceso de cuantificación de una serie de trabajos que he seleccionado para este informe, además del desarrollo teórico para la obtención de las cantidades, me permití utilizar algunos ejemplos que pertenecen a periodos determinados dentro del proyecto; esto para poder mostrar algunos de los documentos que sirven como justificación y soporte de los trabajos, es decir, este capítulo está enfocado en mostrar cómo es la conformación de un generador.

Finalmente en el último capítulo me dedico a hablar sobre el proceso para conformar una estimación de obra pública, además de explicar los objetivos del área de estimaciones, el fundamento legal de las mismas, así como las formalidades para la presentación tanto de los generadores como de las estimaciones hasta recibir la autorización de pago por parte de la CONAGUA.

Objetivos del informe

- Aplicar conocimientos sobre procesos, métodos, estrategias de construcción, materiales, equipos, maquinaria; así como de contratos, control de calidad y la seguridad de las obras.
- Mostrar el aprendizaje obtenido en el ámbito laboral sobre nuevas tecnologías de la construcción.
- Aplicar conocimientos y habilidades de comunicación oral y escrita con la realización de este informe; con sensibilidad social y ética profesional.
- Aplicar conocimientos sobre políticas públicas, leyes, reglamentos, especificaciones y mecanismos de financiamiento y administración de proyectos.
- Mostrar el desempeño de la labor realizada basada en la eficacia y eficiencia individual y organizativa.
- Colaborar en equipos intra, multi e interdisciplinarios para la obtención de la información relacionada con la labor realizada.
- Lograr la preparación necesaria para la correcta realización de la réplica oral durante el examen profesional para lograr la aprobación del mismo y así lograr la titulación de la licenciatura en ingeniería civil.
- Mostrar que la preparación obtenida durante mis estudios en la Facultad de Ingeniería de la UNAM fue primordial para poder ingresar al campo laboral en un proyecto de construcción tan importante dentro de una empresa reconocida en el ámbito de la ingeniería.

I. La empresa Ingenieros Civiles Asociados (ICA)

Historia



Logo de ICA desde 2013

En 2019, Ingenieros Civiles Asociados cumple 72 años.

ICA se fundó el 4 de julio de 1947, por 17 ingenieros civiles egresados de la UNAM encabezados por el ingeniero Bernardo Quintana Arrijoja. La empresa nació con la intención de impulsar la ingeniería mexicana frente a las empresas inglesas y estadounidenses del país. En 1992, fue una de las primeras empresas mexicanas en cotizar en la Bolsa Mexicana de Valores (BMV) y en el New York Stock Exchange (NYSE).



Ing. Bernardo Quintana Arrijoja, Fundador de ICA y destacado egresado de la UNAM

Además de construcción, Ingenieros Civiles Asociados se especializa en infraestructura, construcciones industriales, vivienda, mantenimiento y operación de aeropuertos, autopistas, puentes y túneles, sistemas de abastecimiento de agua, drenaje, cárceles e hidroeléctricas. La primer obra que realizo ICA fue la construcción del Multifamiliar Alemán en la colonia Del Valle de la Ciudad de México.



Multifamiliar Alemán en la Ciudad de México fue la primera obra en la historia de ICA

A lo largo de su historia ICA se ha preocupado no sólo por construir obras de impacto económico, sino también que definan el rumbo del desarrollo de nuestro



ICA ha participado en la construcción de la mayoría de las líneas del STC Metro de la Ciudad de México

país. Son obras que se han propuesto mejorar la calidad de vida de las personas. La firma ha incursionado en todos los ámbitos de la ingeniería, desde construcciones urbanas como recintos culturales, edificios y avenidas, hasta proyectos de gran complejidad como plantas hidroeléctricas, túneles, carreteras, aeropuertos, muelles, estadios y por supuesto, el sistema de transporte colectivo (metro).

ICA es una de las constructoras más reconocidas del país por obras emblemáticas como la Ciudad Universitaria, el Estadio Azteca, el palacio de los deportes, el Estadio de las Chivas, la Torre Mayor, las presas hidroeléctricas de La

Yesca y El Cajón, Ferrocarril Chihuahua-Pacífico, el metro de la Ciudad de México.

Dos de las más grandes presas hidroeléctricas con las que cuenta nuestro país fueron construidas por ICA, como lo son los proyectos de La Yesca y El Cajón en el Estado de Nayarit; cada una tiene una capacidad de generación de 750 megawatts (MW). La Yesca inició su construcción en 2007 y terminó en 2012 y tiene una cortina de enrocamiento y cara de concreto de 220 metros de altura y es la segunda más alta de su tipo en el mundo. Mientras que El Cajón inició operaciones en 2007 y tiene una altura de 178 metros, su embalse tiene la capacidad de albergar



Proyecto Hidroeléctrico La Yesca

2,282 hectómetros cúbicos de agua.



Puente Mezcala Solidaridad en la Autopista del Sol

ICA tiene más de 1,000 kilómetros de carreteras concesionadas, siendo el operador más grande del país, además es una de las constructoras con mayor experiencia en todo tipo de terrenos, estructuras y climas. Entre ellos destacan la Autopista del Sol, una de las más conocidas del país, está construida con las más avanzadas técnicas y especificaciones en vialidades rápidas, en el diseño de túneles

y en estructuras de viaductos y puentes, el proyecto se trazó sobre una de las zonas montañosas más agrestes del país resolviendo con pendientes mínimas y curvas suaves, lo que permite transitar la autopista con curvas suaves. En dicha autopista se encuentra uno de los puentes más emblemáticos del país, el Puente Mezcala Solidaridad localizado sobre el Rio Balsas, con una altura de 160 metros, se trata de un puente atirantado con una longitud de 911 metros, un claro principal de 311 metros y un ancho de 20



Estadio Chivas en Guadalajara



Torre Mayor de la Ciudad de México

metros, su construcción se realizó a base del procedimiento de puentes empujados. Otro puente emblemático en la historia de ICA es el Puente Chiapas, que permitió reducir en 861 kilómetros la distancia entre Tuxtla Gutiérrez y la Ciudad de México lo cual equivale a cinco horas menos de viaje, tiene una longitud de 1,839 metros, el puente está construido sobre el embalse de la Presa Nezahualcóyotl.

En 1969 con la disputa de los juegos olímpicos en nuestro país, ICA construyó el Estadio Olímpico Universitario perteneciente a la UNAM. ICA ha contribuido con el fomento al deporte con la construcción de obras como el Estado Azteca en la ciudad de México, el Estadio de las Chivas del Guadalajara, el Palacio de los Deportes y otras importantes instalaciones deportivas donde se han celebrado sin número de encuentros deportivos.

ICA ha contribuido con la urbanización de las ciudades, la cual se ha llevado de manera integral y ordenada por lo cual la empresa realiza proyectos innovadores y funcionales acordes con las necesidades presentes y futuras. Ejemplo de ello es la Torre Mayor en la ciudad de México, que con una altura de 225 metros es considerado uno de los rascacielos más resistentes del mundo y fue por varios años el edificio más alto del país, terminado en 2003, este proyecto significó un reto de innovación en ingeniería sísmica, cuenta con 98 amortiguadores que le permiten resistir sismos de 9 grados en la escala de Richter.

Misión

Solucionar los retos más complejos de infraestructura, a través de propuestas rentables e innovadoras. Creando valor para nuestros clientes, nuestra gente y nuestro país.

Visión

Consolidar a ICA como la mejor constructora y operadora de infraestructura, a través de la ejecución de sus proyectos y eficiencia en sus procesos.

Valores

Innovación. Buscamos nuevas y mejores formas de hacer nuestro trabajo.

Eficiencia. Nos enfocamos en hacer las cosas bien, aprovechando al máximo los recursos.

Honestidad. Somos éticos, justos y respetuosos. Nos conducimos con la verdad.

Responsabilidad. Estamos comprometidos con nuestras acciones y asumimos las consecuencias de las mismas.

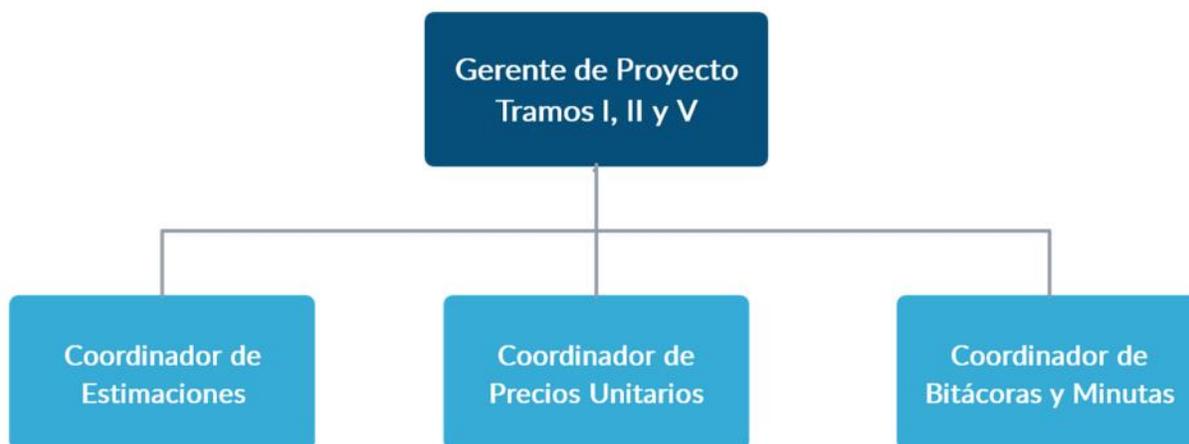
Respeto. Valoramos a las personas, clientes, disposiciones establecidas y proveedores.

Organigrama

El personal técnico-administrativo de la empresa Ingenieros Civiles Asociados dentro del proyecto del Túnel Emisor Oriente encargado del manejo de contrato está dirigido por un Gerente de Proyecto de los tramos de los cuales ICA es responsable, de ahí se tres áreas fundamentales las cuales son:

- **Estimaciones:** encargada de la integración, conciliación, seguimiento y tramite de generadores y estimaciones de obra.
- **Precios unitarios:** encargada de la integración y conciliación de precios unitarios extraordinarios.
- **Bitácoras y minutas:** encargada del seguimiento y registro de notas de bitácora así como de la generación, seguimiento reporte de correspondencia y elaboración de reclamos.

A su vez, en cada área se cuenta con un conjunto de colaboradores para cumplir con los objetivos específicos de cada una.



II. Antecedentes: Las obras de drenaje profundo de la Ciudad de México

La construcción de la Ciudad de México sobre lo que eran los lagos, ocasionó dos problemas permanentes: la necesidad de desalojo del agua de lluvia para evitar inundaciones y el hundimiento debido a la sobreexplotación de los mantos acuíferos.

- En los siglos XVII y XVIII, se realizó el tajo de Nochistongo.
- En 1900, Porfirio Díaz inauguró el Gran Canal del Desagüe con el primer túnel de Tequisquiac, que fue la solución para proteger contra inundaciones el área urbana de hace un siglo.
- En 1962, se puso en servicio el Emisor Poniente.
- En 1975, Luis Echeverría inauguró el Emisor Central de 68 kilómetros, componente principal del actual drenaje profundo.

Sistema de Interceptores

A raíz del problema de los hundimientos del Valle de México, la Dirección General de Obras Hidráulicas del Departamento del Distrito Federal formuló el “Plan General para Resolver los Problemas del Hundimiento, las Inundaciones y el Abastecimiento de Agua Potable de la Ciudad de México”, dicho plan plantea la conveniencia de construir una nueva solución que no fuera afectada por los hundimientos diferenciales del subsuelo y que trabajara por la acción de la gravedad, esto significó la realización de interceptores como lo son el Poniente, Central y del Oriente.

Para evitar que el hundimiento general afectara el funcionamiento de los interceptores Central y Oriente, se analizó alojarlos a una gran profundidad, lo cual a su vez garantizaba y facilitaba la descarga de cualquiera de los colectores en uso y los que posteriormente se requirieran.

Los túneles que integran el Sistema de Drenaje Profundo se construyeron a partir de lumbreras. Dichas lumbreras son utilizadas para captar las descargas de los colectores, así como dar acceso durante el mantenimiento de los túneles.

El **Interceptor Oriente** se construyó para aliviar al Gran Canal del Desagüe. El **Interceptor Central** alivia la parte central y norte de la ciudad, beneficiando a las alcaldías Gustavo A. Madero, Azcapotzalco, Cuauhtémoc y parte de Benito Juárez. Ambos descargan sus aguas al Túnel Emisor Central.

El **Interceptor Centro-Poniente** alivia al **Interceptor Poniente** el cual recibe la descarga de una serie de presas de regulación que se ubican en esa zona de la ciudad. Beneficia a gran parte de las alcaldías Miguel Hidalgo y Azcapotzalco.

El **Interceptor Centro-Centro**, alivia una parte de la zona centro de la ciudad e interconecta los **Interceptores Oriente y Central**. Los **Interceptores Oriente-Oriente y Oriente-Sur** se interconectan para conducir las aguas hacia el **Interceptor Oriente**.

El Túnel Emisor Central

A finales de los años 60 e inicios de los 70 se decidió no hacer más tajos a cielo abierto para desalojar el agua de lluvia del Valle de México, sino ir bajo tierra a unos 200 metros de profundidad.

El sistema de “Drenaje Profundo”, como también se le conoce al Túnel Emisor Central inició su construcción en 1967, concluyendo su primera etapa en 1975. Para su construcción se utilizó la tecnología convencional utilizada en minería. El Emisor Central, es el alma del Drenaje, corre a una profundidad de 50 y hasta 237 metros. La mañana del 9 de junio de 1975, el entonces presidente Luis Echeverría pulsó el botón que echó a andar las compuertas que permitieron el ingreso de las aguas de lluvia de aquellos días al drenaje.



Obra del Túnel Emisor Central en 1974

Fue la mayor obra de su época en la Ciudad de México fue creada para desalojar agua de lluvia; sin embargo, después se decidió que las aguas del desagüe serían enviadas al túnel.

El Drenaje Profundo, en su momento, fue la obra más grande construida en la Ciudad de México. Se trata de un túnel de 68 kilómetros excavado a punta de taladro desde la zona norte del Valle de México y que culmina en el estado de Hidalgo. El túnel tiene una pendiente de dos metros por kilómetro para permitir que el agua corra por acción de la gravedad.

El Drenaje Profundo sólo desalojaría agua de lluvia y descansaría para su mantenimiento en época de estiaje, sin embargo, ante el crecimiento de la ciudad, las autoridades de la Comisión Nacional del Agua y de la entonces Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH) decidieron que las aguas del drenaje de la ciudad serían enviadas al túnel.

Su función es conducir fuera de la cuenca del Valle de México las aguas negras; su trayecto inicia en Cuauhtepac, en la alcaldía Gustavo A. Madero, y su recorrido lo lleva a descargar en el río El Salto, en donde las aguas son conducidas hasta la presa Requena, Hidalgo y más adelante al río Tula, Hidalgo y a la presa Endhó en Tula Hidalgo. Por un lado, esta última satisface las demandas de riego de la zona; por otro, el río Tula es afluente del Moctezuma y éste a su vez del Pánuco en Veracruz, que descarga en el Golfo de México.

Al Emisor Central confluyen principalmente los tres interceptores:

- Interceptor Centro-Poniente
- Interceptor Central
- Interceptor Oriente

III. Generalidades del proyecto del Túnel Emisor Oriente (TEO)

Justificación de la necesidad de un nuevo drenaje profundo

A pesar de que el Emisor Central es el ducto del cual depende la seguridad del desalojo de las aguas residuales y pluviales del valle, es necesario cerrarlo durante los meses de estiaje para su reparación y mantenimiento.

Esto plantea la urgente necesidad de disponer de un emisor alternativo que permita mantener la capacidad de operación del sistema durante todo el año.

La construcción del Túnel Emisor Oriente surge por la necesidad de contar con un sistema complementario de desalojo de aguas residuales y pluviales para el Valle de México, para aumentar la capacidad de drenaje y establecer un sistema alternativo que permite realizar mantenimientos periódicos a los túneles.

En la siguiente tabla se muestra una comparativa de la capacidad del drenaje del Valle de México entre 1975, cuando se puso en operación el Túnel Emisor Central y 2008 cuando iniciaron las obras del Túnel Emisor Oriente. Como se puede ver, la capacidad de desalojo ha disminuido debido al hundimiento de la Ciudad de México ocasionado por la sobreexplotación de los mantos acuíferos del Valle de México.

Comparativa de la capacidad de drenaje de la ciudad de México

Año	1975	2008
	m^3/s	
Gran Canal	80	15
Obras de emergencia		30
Emisor Poniente	30	30
Emisor Central	170	120
Total	280	195
Capacidad requerida	$315 m^3/s$	
Déficit	$120 m^3/s$	
Millones de habitantes	10	19

Descripción General del Proyecto



Logo del proyecto TEO

El **Túnel Emisor Oriente (TEO)** es un proyecto hidráulico en construcción del sistema de drenaje profundo de la Ciudad de México cuyas obras iniciaron el 14 de noviembre de 2008 y se planea esté concluido en septiembre de 2019.

La construcción del **Túnel Emisor Oriente** tiene como principales componentes los siguientes:

- Construcción de Lumbreras
- Excavación con equipos tuneladores
- Revestimiento del túnel
 - ✓ Revestimiento primario: a base de dovelas
 - ✓ Revestimiento definitivo: a base de concreto reforzado

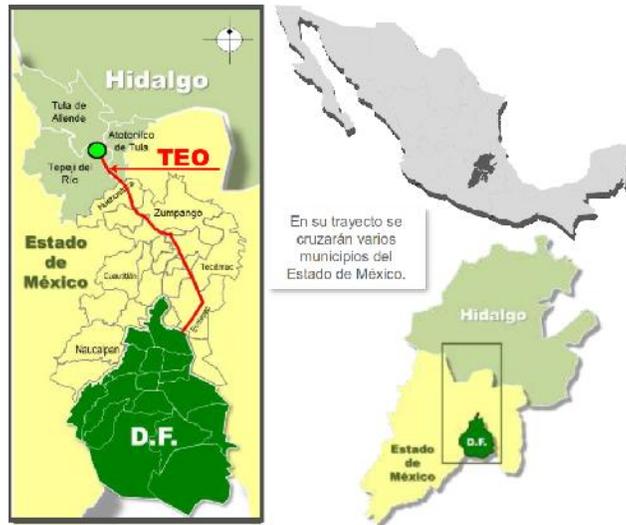


Inauguración del Tramo I del TEO en 2013

El día 13 de junio de 2013 se puso en operación el Tramo 1 del TEO, entre las lumbreras L 0 y L 5. Para ello fue necesario suministrar e instalar compuertas de control, dos en la lumbrera L0 para controlar el ingreso de las aguas del Túnel Interceptor Río de los Remedios y para control de las aguas para el Tramo 1 del Túnel Emisor Oriente) y una en la lumbrera L5, para impedir el paso de las aguas negras hacia el área en construcción en el Tramo II, permitiendo bombear dichas aguas para vaciarlas en el Gran Canal de desagüe, también la CONAGUA puso en marcha la planta de rebombeo “El Caracol”, ubicada a un lado de la lumbrera L5. La longitud del Tramo I del Túnel es de 10,042 metros, medidos desde la lumbrera L0 hasta la L5.

Ubicación Geográfica

La obra inicia en la Alcaldía Gustavo A. Madero de la Ciudad de México, y atraviesa los municipios de Ecatepec, Tecámac, Coacalco, Tonanitla, Nextlalpan, Jaltenco, Zumpango, Teoloyucan y Huehuetoca en el Estado de México y por los municipios de Tepeji del Rio y Atotonilco de Tula en el Estado de Hidalgo donde concluye. Como se muestra en el siguiente mapa.



Ubicación geográfica del Túnel Emisor Oriente en la Ciudad de México y los estados de México e Hidalgo

El Túnel Emisor Oriente inicia en la confluencia del Gran Canal de Desagüe con el Río de los Remedios (límite de la Ciudad de México con el Estado de México) atravesando municipios de los estados de México e Hidalgo finalizando su recorrido en el portal de salida que se ubica en el Municipio de Atotonilco de Tula, Estado de Hidalgo.

Características técnicas

- Longitud aproximada: 62.1 kilómetros
- Diámetro final: 7.00 metros
- Gasto de desalojo: 150 m3/segundo
- Numero de lumbreras: 25 lumbreras (7 de acceso de 16 metros de diámetro y 18 de paso de 12 metros de diámetro).
- Profundidad mínima: 25 metros (aproximadamente)
- Profundidad máxima: 150 metros (aproximadamente)
- Pendiente 0.16% - 0.19%
- Numero de frentes o tramos: 6 tramos
- Anillos de dovelas colocados: 41,334 anillos

Beneficio social

El **Túnel Emisor Oriente** permitirá tener una salida alterna al Túnel Emisor Central, de tal forma que abatirá el riesgo de inundaciones en la zona conurbada de la Ciudad de México que cuenta con una población aproximada de 22 millones de personas.

La construcción del TEO traerá los siguientes beneficios:

- Incremento en la capacidad de drenaje en 150 m3/s, para lograr en conjunto 315 m3/s, necesario para absorber una tormenta con recurrencia de 50 años.

- Flexibilidad en la operación general del sistema de drenaje, permitiendo maniobras de operación conforme la presencia de lluvias aisladas de gran intensidad, además de permitir la inspección y mantenimiento del drenaje profundo durante el estiaje, alternando su funcionamiento con el Emisor Central.
- Eliminar el peligro de una gran inundación por obstrucción de la salida de agua durante una época de lluvias. Además, se tendrán beneficios socioeconómicos al proteger daños a bienes y personas, como:
 - ✓ Daños evitados a viviendas. Pérdida o deterioro de enseres y bienes muebles e inmuebles, que potencialmente podrían generarse en nueve alcaldías de la ciudad de México y cuatro municipios del Estado de México.
 - ✓ Daños evitados a la infraestructura pública. Como en el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, en el Sistema de Transporte Colectivo; en subestaciones de energía y en redes de distribución y de comunicación de telefonía y datos.
 - ✓ Daños evitados en el sector económico. La ciudad de México y el Estado de México aportan en conjunto el 25.7 % del PIB Nacional, por lo que una inundación en una zona extensa de su territorio afectaría la actividad económica de todo el país.
 - ✓ Atención de emergencia. Se evitarán destinar recursos económicos y humanos para la atención de zonas afectadas por inundaciones.
- Los resultados de la evaluación económica del proyecto demostraron que es rentable, ya que genera un beneficio social neto de 36,135 millones de pesos y una tasa interna de retorno del 25.1 %, mayor que la tasa social de descuento del 12 %.

Contrato

En 2008 el proyecto se estimaba en un costo de 12 mil millones de pesos y que sería terminado en cuatro años, sin embargo, debido a que en un inicio no se contaba con proyecto ejecutivo y debido a que se ha atravesado por dificultades como la complejidad del suelo, el proyecto ha pasado por tres convenios modificatorios que han aumentado el costo total y su fecha de término se ha retrasado.

Las contrataciones relacionadas con el **Túnel Emisor Oriente** fueron celebradas por una parte por el ejecutivo federal a través de la **Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales** por conducto de la **Comisión Nacional del Agua**.



SEMARNAT
SECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE Y
RECURSOS NATURALES



Dependencias gubernamentales encargadas del Proyecto TEO

Siendo las siguientes contrataciones las realizadas con las distintas empresas para la ejecución del proyecto:

- Contrato de obra pública mixto sobre la base de precios unitarios, precio alzado y tiempo determinado No. **SGAPDS-GIHP-DFMEXHGO-08-008-RF-AD** para la “**Elaboración del Proyecto Ejecutivo y la Construcción del Túnel Emisor Oriente localizado en el Distrito Federal, Estado de México dentro de la Cuenca del Valle de México y el Estado de Hidalgo**” adjudicado a la contratista **CONSTRUCTORA MEXICANA DE INFRAESTRUCTURA SUBTERRÁNEA, S.A. DE C.V. (COMISSA)**.



Consortio constructor COMISSA, contratista del TEO

COMISSA es un consorcio integrado por cinco empresas constructoras las cuales se encargan de ejecutar las obras, las cinco constructoras son:

- INGENIEROS CIVILES ASOCIADOS, S.A. DE C.V. (**ICA**)
- CARSO INFRAESTRUCTURA Y CONSTRUCCIÓN, S.A.B DE C.V. (**CICSA**)
- CONSTRUCCIONES Y TRITURACIONES, S.A. DE C.V. (**COTRISA**)
- CONSTRUCTORA ESTRELLA, S.A. DE C.V.
- LOMBARDO CONSTRUCCIONES, S.A. DE C.V.



Las cinco empresas que conforman el consorcio constructor del TEO

La construcción del proyecto ha tenido que alargarse debido a la complejidad de los trabajos y las dificultades del terreno donde se construye, lo que derivó en la necesidad de realizar varios convenios para la extensión de los plazos de entrega y los montos del contrato. Siendo dichos convenios los que se presentan en la siguiente tabla.

Convenio	Fecha de inicio	Plazo (días)	Fecha de terminación	Monto del contrato (mmdp)
Contrato original	14-Nov-2008	1,400	15-Sep-2012	9,596
1er Convenio modificatorio	05-Jul-2011	2,164	17-Oct-2014	14,104
2do Convenio modificatorio	09-Ago-2012	2,394	04-Jun-2015	14,248
1er Convenio adicional	01-Ago-2015	3,578	31-Ago-2018	20,168
2do Convenio adicional	26-Oct-2018	3,700	31-Dic-2018	20,168
3er Convenio adicional	22-Feb-2019	3,845	25-May-2018	20,364
4to Convenio adicional	21-Jul-2019	3,911	30-Jul-2019	20,705

- Contrato de servicios relacionados con la obra pública a base de precios unitarios, precio alzado y tiempo determinado No. **SGAPDS-GIHP-DFMEXHGO-08-011-RF-AD** para la realización de los servicios consistentes en la “**Supervisión Técnica-Administrativa y el Control de Calidad del Proyecto Ejecutivo y la Construcción del Túnel Emisor Oriente localizado en el Distrito Federal, Estado de México dentro de la Cuenca del Valle de México y el Estado de Hidalgo**” adjudicado a las empresas **DIRAC, S.A. DE C.V., LUMBRERAS Y TÚNELES S.A. DE C.V., y CONSULTORIA INTEGRAL DE INGENIERÍA, S.A. DE C.V.**



LY TSA
lumbreras y túneles



Empresas encargadas de la supervisión del TEO

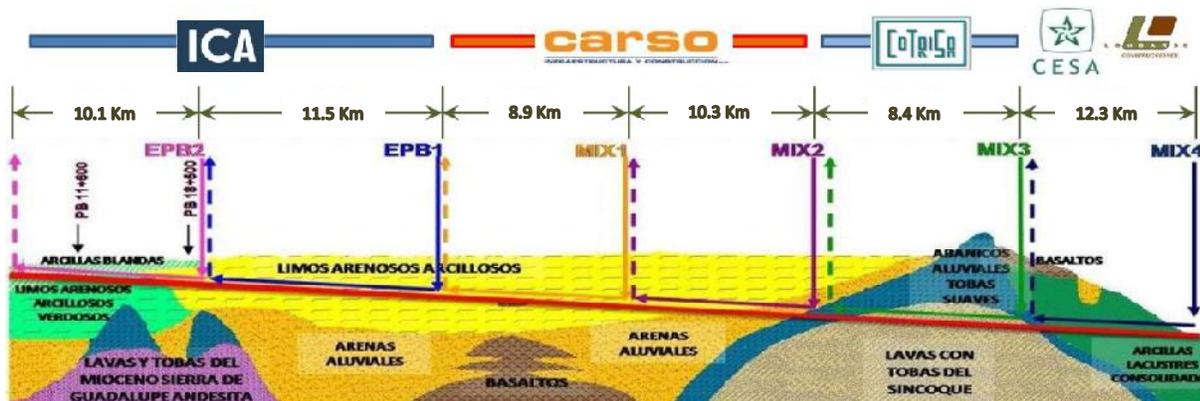
- Contrato de servicios relacionados con la obra pública a base de precios unitarios, precio alzado y tiempo determinado No. **SGAPDS-GCT-DFMXHGO-10-001** para la realización de los servicios consistentes en la “**Asistencia Tecnológica Especializada para los Sistemas de Excavación que sirven para la Construcción del Túnel Emisor Oriente localizado en el Distrito Federal, Estado de México dentro de la Cuenca del Valle de México y el Estado de Hidalgo**” adjudicado a la empresa **POYRY (MÉXICO) S.A. DE C.V.**



Empresa encargada de la asistencia técnica para la excavación del TEO

Para la realización de los trabajos, la longitud del proyecto se dividió en seis grandes tramos, y cada tramo se construye de manera independiente y simultanea por cada una de las empresas constructoras que forma parte del consorcio. La división de los tramos, características generales y la empresa responsable de cada uno de ellos se enlistan a continuación:

Tramo	Ubicación	Lumbreras	Longitud [km]	Empresa encargada
I	De L-0 a L-5	5	10.100	ICA
II	De L-5 a L-10	5	11.517	ICA
III	De L-10 a L-13	4	8.939	CARSO
IV	De L-13 a L-17	4	10.348	CARSO
V	De L-17 a L-20	4	8.458	COTRISA-ICA
VI	De L-20 a PS	4	12.338	LOMBARDO-ESTRELLA



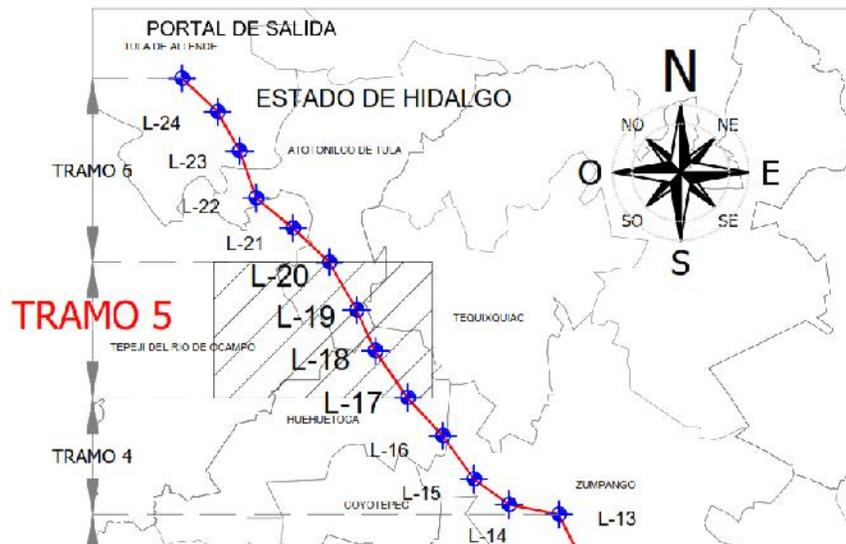
Perfil geotécnico del Túnel Emisor Oriente a lo largo de sus seis tramos y la distribución entre las empresas para su construcción

En 2013, la mayor parte de las acciones de COTRISA, fueron vendidas a ICA, desde entonces la construcción del tramo V del TEO pasó operativamente a ser responsabilidad de ICA, utilizando a su propio personal y maquinaria, aunque contractualmente los pagos de los trabajos ejecutados siguen facturándose a nombre de COTRISA.

Trabajos correspondientes al tramo V

El **Tramo V del Túnel Emisor Oriente** comprende de la **Lumbrera 17** a la **Lumbrera 20**, y tiene una longitud aproximada de 8.458 kilómetros dentro de los municipios de Zumpango y Huehuetoca en el Estado de México.

TÚNEL EMISOR ORIENTE



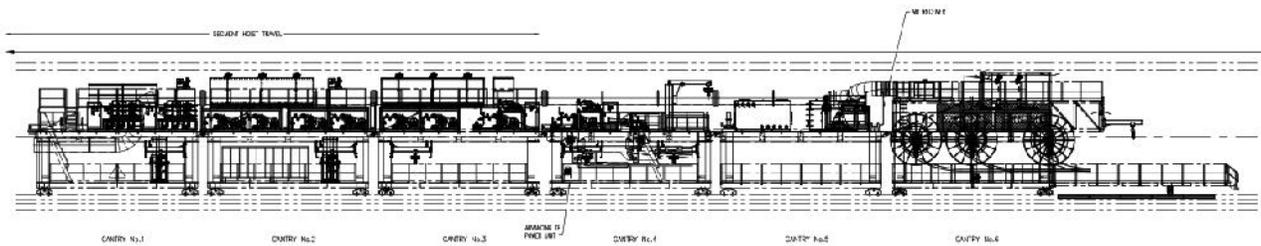
El tramo V del Túnel Emisor Oriente se ubica principalmente en el municipio de Huehuetoca, Estado de México

La siguiente línea del tiempo, presenta una secuencia de los trabajos realizados en el tramo V en el periodo comprendido entre enero y agosto de 2019.

2019							
ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO
EXCAVACIÓN L17-L18							
EXCAVACIÓN L19-L18							
	REVESTIMIENTO L20-L19			REVESTIMIENTO L19-L18			
			REVESTIMIENTO L17-L18				
						REVESTIMIENTO L18-L17	
14 de enero de 2019 Anillo 1935 (367.5 m faltantes) Anillo 1462 (187.2 m faltantes)		10 de marzo de 2019 Anillo 2178 (0.0 m faltantes) Colado 57 (546.6 m faltantes)		29 de abril de 2019 Colado 70 (0.0 m faltantes) Colado 6 (2,113 m faltantes)		01 de julio de 2019 Colado 29 (667.2 m faltantes) Colado 18 (1,313.2 m faltantes) Colado 1 (929.5 m faltantes)	
	18 de febrero de 2019 Anillo 2076 (154.4 m faltantes) Anillo 1589 (0.0 m faltantes)		10 de abril de 2019 Colado 66 (139.1 m faltantes) Colado 1 (2,357.0 m faltantes)			07 de agosto de 2019 Colado 40 (0.0 m faltantes) Colado 34 (358.0 m faltantes) Colado 11 (351.9 m faltantes)	
	25 de febrero de 2019 Anillo 2101 (117.4 m faltantes) Colado 52 (772.6 m faltantes)			05 de mayo de 2019 Colado 8 (1,986.5 m faltantes) Colado 1 (2,031.2 m faltantes)			
Inicio de excavación L17-L18 (28-marzo-2017) Inicio de excavación L19-L18 (23-noviembre-2016)						17 de agosto de 2019 Colado 38 (53.8 m faltantes) Colado 16 (0.0 m faltantes)	
						19 de agosto de 2019 Colado 39 (0.0 m faltantes)	

Trabajos realizados en el tramo V del Túnel Emisor Oriente en 2019

el interior de la máquina. Por detrás viene el primero de los carros, denominado “carro puente” donde se ubica el transformador de energía y los tanques hidráulicos.



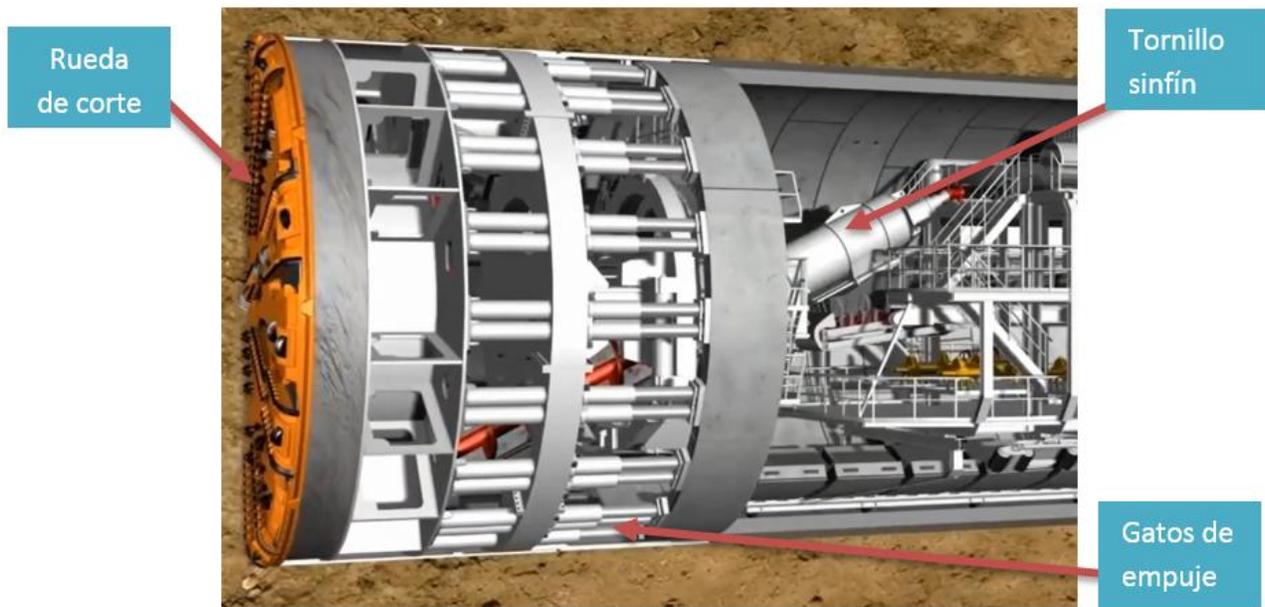
Parte trasera de la tuneladora Robbins “Morelos” con los seis carros que forman el tren de equipo

La parte trasera se le denomina el tren de equipo en donde se sitúa la cabina de operación con todos los controles eléctricos y electrónicos para el funcionamiento de la máquina, además de una serie de tanques y bombas para el almacenamiento e inyección de espuma, polímeros, grasas y aditivos para la lubricación de los equipos y el tratamiento del suelo, así como el mortero para el relleno entre dovelas y terreno, además de un sistema de ventilación, tanques de agua y aire y compresores.

Ambas máquinas tenían una configuración similar que consistía en los siguientes componentes generales:

- **Rueda de corte:** es la parte frontal de la máquina y contiene una serie de discos de corte colocados perpendicularmente a la cuerda que a su vez giran para desgarrar el suelo los cuales periódicamente son cambiados para darle mantenimiento, también existen una serie de ventanas en la rueda por donde el material ingresa al interior de la cámara de mezclado para ser extraído posteriormente por el tornillo sinfín.
- **Cámara de mezclado:** es el lugar donde se va almacenado el material una vez que ha sido cortado por la rueda, el cual se deposita en el fondo de la cámara y es sacado fuera por medio del tornillo sinfín.
- **Escudo:** es toda la estructura frontal de la máquina en donde se encuentran los motores, rueda de corte, cámara y gatos de empuje.
- **Faldón:** es una estructura detrás del escudo que cubre toda la circunferencia de la máquina, tiene una longitud aproximada de 7 metros y a su vez cubre al anillo que se está colocando, su función es impedir el acceso de agua al escudo. En la parte final del faldón o “cola” se encuentran una serie de cepillos que colocan un aditivo especial que sella la entrada de agua.
- **Scaffolding:** es un andamio ubicado dentro del escudo que permite el acceso a la cámara y a la parte posterior de la rueda para su mantenimiento.
- **Gatos de empuje:** son gatos hidráulicos colocados alrededor de la circunferencia del escudo, cuyo empuje permite el desplazamiento de la máquina para realizar la excavación.
- **Anillo erector:** por medio de succión sujeta cada una de las dovelas de concreto y gira 360° para colocar en su lugar las dovelas y así formar el anillo.

- **Tornillo sinfín:** va desde la cámara de mezclado hasta el centro de la longitud de la máquina, transporta el material producto de la excavación hasta una banda transportadora que saca el material hacia la superficie.
- **Mesa de dovelas:** es una estructura sobre rieles que conecta la descarga de las dovelas que van llegando al frente de excavación hasta el lugar donde el anillo erector toma las dovelas para su colocación.
- **Carros puente:** son una serie de carros que vienen detrás del escudo, donde se colocan todos los suministros y controles de operación necesarios para el funcionamiento de los principales componente de la máquina.

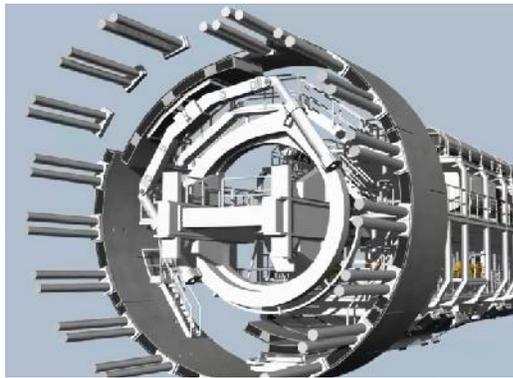


Esquema de la tuneladora EPB HK S-519

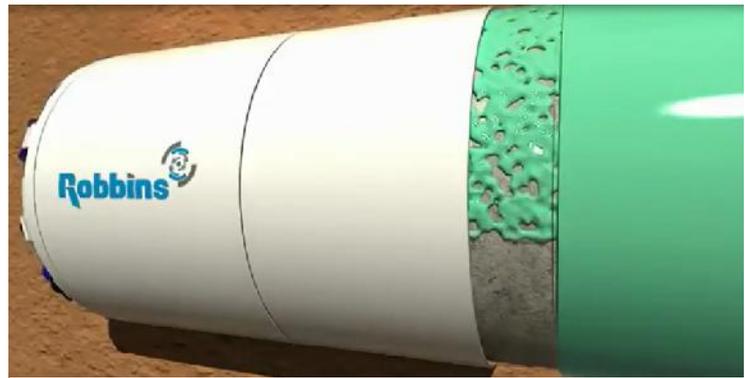


Tuneladora EPB Robbins "Morelos"

Tuneladora EPB HK S-519

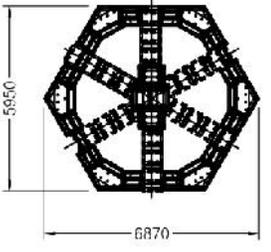
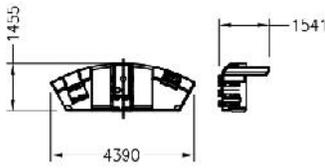
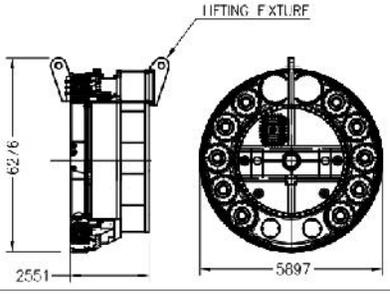
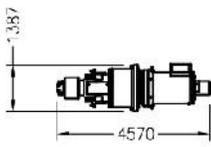


Anillo erector de dovelas

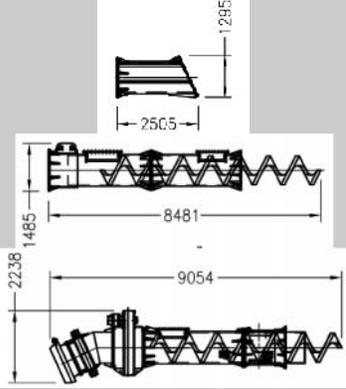
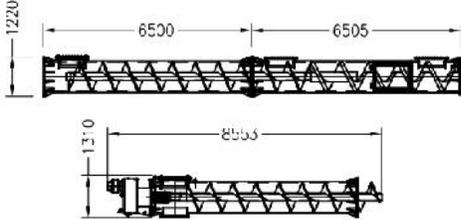
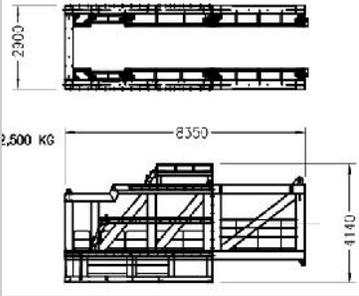
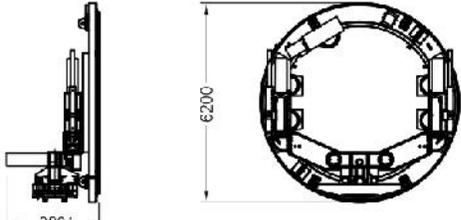
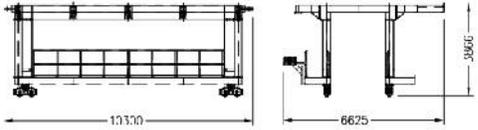


Colocación de mortero entre dovelas y terreno

La siguiente tabla muestra las dimensiones y pesos de las piezas de las tuneladora anteriormente descritas, tanto las que forman parte del escudo, las que se encuentran debajo del faldón y las que forman parte del tren de equipo. La longitud de la tuneladora alcanza los 100 metros de largo y la suma de todos los elementos supera las 1,000 toneladas de peso.

Piezas	Dimensiones [mm]	Peso [kg]
Cabeza de corte (interior)		50,400
Cabeza de corte (segmentos exteriores)		7,800 X 6 =46,800
Rodamiento principal		126,690
Motores		5,800 X 10 =58,000

Piezas	Dimensiones [mm]	Peso [kg]
Escudo delantero (Anillo "A")		100,500
Escudo delantero (Anillo "B")		58,500
Escudo posterior (Anillos "C" y "D")		62,800
Faldón		70,500
Cilindros de empuje		2,400 X 28 = 67,200

Piezas	Dimensiones [mm]	Peso [kg]
Tornillo sinfín 1		32,870
Tornillo sinfín 2		34,200
Scaffolding		12,500
Erector de dovelas		41,000
Carros traseros		28,000 X 6 = 168,000

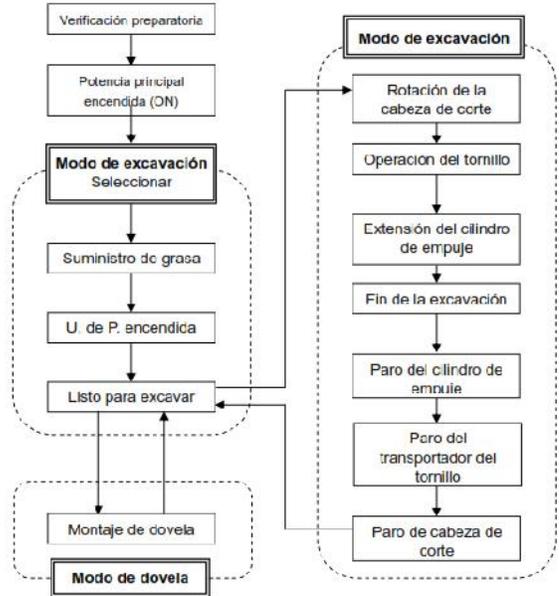
Piezas	Dimensiones [mm]	Peso [kg]
Carro puente		66,000

El proceso de excavación y colocación de los anillos de dovelas que servirán como revestimiento primario, era de manera general el siguiente:

La rueda de corte es accionado por motores hidráulicos, excava el material, los cuales son extraídos a la cámara de mezclado en donde se depositan en el fondo del mismo, para después ser extraídos por el tornillo sin fin hacia una banda transportadora de rezaga que inicia en el centro del tren de equipo y recorre todo el túnel ya excavado hacia el fondo de la lumbrera donde inició la excavación para posteriormente ser transportada verticalmente hacia la superficie donde se deposita en un cárcamo.

El avance para la colocación de los anillos de dovelas se lleva a cabo por medio de gatos hidráulicos que se encuentran en el contorno de toda la circunferencia del escudo los cuales desarrollan un empuje sobre los anillos ya colocados, si se requiere realizar una corrección en la dirección del trayecto, esta se realiza mediante la diferencia de presión de los gatos de empuje de un lado frente al otro.

A medida que la tuneladora va avanzando, rellena el espacio que llega a quedar entre el terreno y los anillos de dovelas con mortero, además de colocar un aditivo al final del faldón que sirve para sellar los anillos de la entrada de agua hacia el túnel.



Flujo fundamental de operación

A continuación se muestra el diagrama general de la operación de una tuneladora, destacando tres modos de operación: la **preparación antes de la excavación** donde se suministra la grasa para los distintos sellos de la máquina, el **modo excavación** donde se acciona la cabeza de corte, tornillo sinfín y gatos de empuje, y el **modo dovela** donde se realiza el montaje de las dovelas por medio del erector.

Durante el proceso de excavación del túnel, se realizaban una serie de paros de la maquina tuneladora para realizar un procedimiento denominado “intervenciones atmosféricas” en el cual el personal accedía a la cámara de excavación de la tuneladora para revisión y cambio de herramientas, se realizaba el desfogue de la cámara de excavación y la apertura de puertas para acceder al mamparo, limpieza de la cabeza de corte y las ventanas. En ambos subtramos L-17 a L-18 y de L-19 a L-18 se realizaron en cada una 27 intervenciones atmosféricas durante el proceso de excavación, las cuales duraban varios dependiendo de la complejidad de los trabajos que tuvieron que realizarle al frente del escudo.

No. Intervención Atmosférica	Excavación L-17 a L-18		Excavación L-19 a L-18	
	Anillo	Duración [Días]	Anillo	Duración [Días]
1	199	6	110	10
2	292	9	120	4
3	480	4	151	3
4	943	5	280	6
5	794	18	296	2
6	972	7	309	6
7	1106	3	608	13
8	1256	6	697	6
9	1365	3	698	7
10	1373	5	712	17
11	1435	2	728	4
12	1495	1	741	6
13	1515	1	769	4
14	1632	10	833	6
15	1655	3	879	5
16	1696	2	939	4
17	1723	2	976	3
18	1753	2	1003	8
19	1882	1	1065	9
20	1925	1	1086	5
21	1953	1	1119	5
22	1962	1	1136	6
23	2010	2	1168	21
24	2076	1	1183	4
25	2099	1	1208	4
26	2113	1	1376	1
27	2120	1	1510	1
TOTAL=		99		170



Limpieza de ventanas de la rueda de corte durante las intervenciones. Fuente: ICA

Como se aprecia en la tabla interior la suma de los días en que las maquinas tuneladores estuvieron detenidas para la realización de las intervenciones atmosféricas es, para la excavación del subtramo **L-17 a L-18** de **99 días**, mientras que para la excavación en el subtramo **L-19 a L-18** fue de **170 días**.

Además durante dichas intervenciones, se realizaba una caracterización del frente de excavación con el cual se determinaba el tipo de material mediante una inspección visual y a partir de esta caracterización y de los estudios geotécnicos previos se determinaba las zonas que se consideraban como excavación en un tipo de material u otro.

Como **ANEXO 1** se muestra un ejemplo de una caracterización del frente de excavación en el subtramo L-17 a L-18, a la altura del anillo 2076, un frente considerado como **roca**.

En la siguiente tabla se aprecian detalles de la excavación en ambos subtramos, se aprecia una columna llamada **rendimiento** la cual representa un promedio de los anillos que se colocaron por día en cada frente, para obtener el rendimiento se dividió e número de anillos colocados en todo el subtramo entre la duración en días de la excavación desde el inicio en alguna de las lumbreras hasta la llegada a la siguiente lumbrera.

En el caso de la excavación entre las lumbreras 17 y 18 con la tuneladora *HK S-519*, la cual inició el 28 de marzo de 2017 y concluyo el 10 de marzo de 2019 se tiene una duración de 713 días naturales, si a eso restamos la duración de las intervenciones atmosféricas en ese subtramo que fue de 99 días, tenemos que la duración efectiva del avance de la excavación fue de 614 días. Para obtener el rendimiento dividimos los 2184 anillos colocados entre los 614 días efectivos de la excavación.

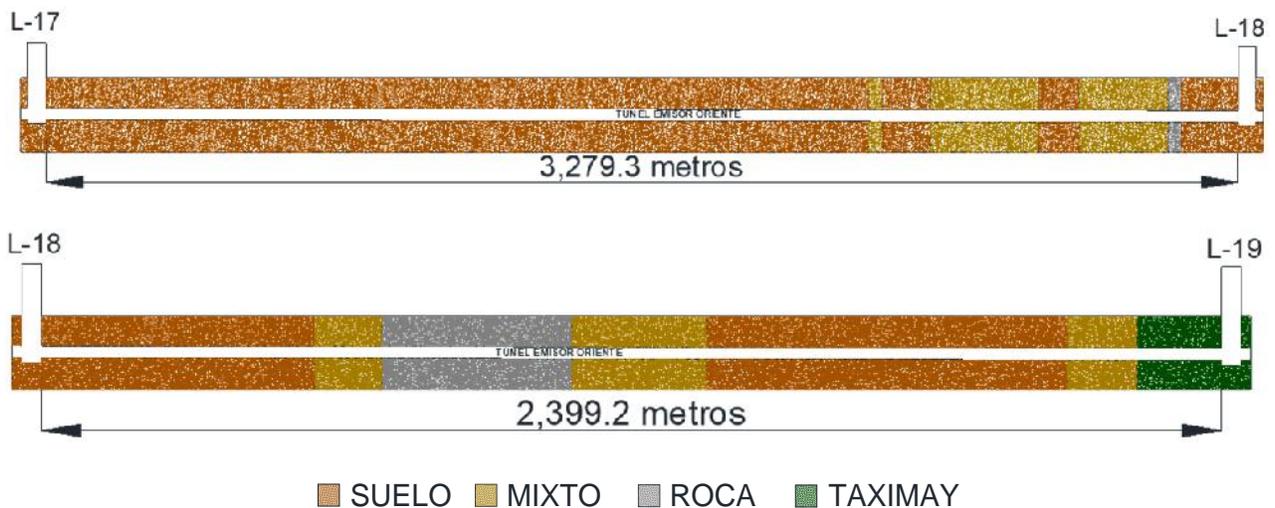
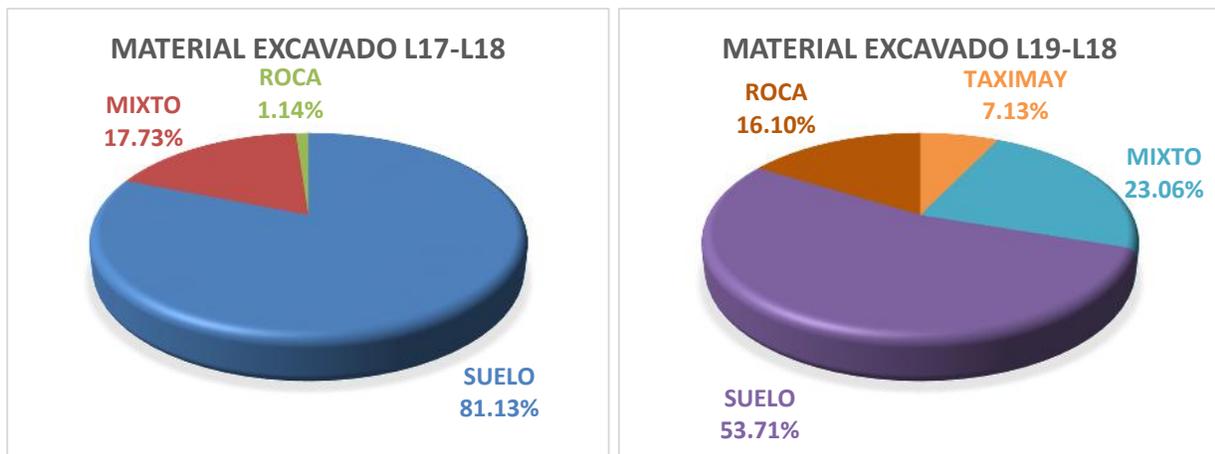
Mientras que para la excavación entre las lumbreras 19 y 18 con la tuneladora *Robbins "Morelos"*, la cual inició el 23 de noviembre de 2016 y concluyo el 18 de febrero de 2019 se tiene una duración de 818 días naturales, si a eso restamos la duración de las intervenciones atmosféricas en ese subtramo que fue de 170 días, tenemos que la duración efectiva del avance de la excavación fue de 648 días. Para obtener el rendimiento dividimos los 1597 anillos colocados entre los 648 días efectivos de la excavación.

Excavación de los subtramos L17-L18 y L19-L18

Subtramo	Fecha de inicio	Fecha de termino	Duración [días]	TBM	Distancia [m]	Anillos colocados	Rendimiento [anillos/día]
L17 – L18	28-mar-2017	10-mar-2019	614	HK S-519	3,279.30	2184	3.56
L19 – L18	23-nov-2016	18-feb-2019	648	Robbins "Morelos"	2,399.17	1597	2.46

Como se muestra en las siguientes gráficas, el frente de excavación en los dos subtramos era variable a lo largo del mismo. En el tramo V del proyecto se contó con depósitos de **suelos** blandos y firmes sin presencia de roca ni boleos mayores de 30 cm de diámetro, **roca** y frentes **mixtos** (roca/suelo) donde había presencia de agua y condiciones piezométricas elevadas (altas presiones del agua) en zonas con permeabilidades bajas a medias y materiales abrasivos. La formación **taximay** cuenta con depósitos lacustres de arcillas y limos, donde hubo condiciones favorables de excavación debido a que es una formación muy consolidada y con bajo contenido de agua.

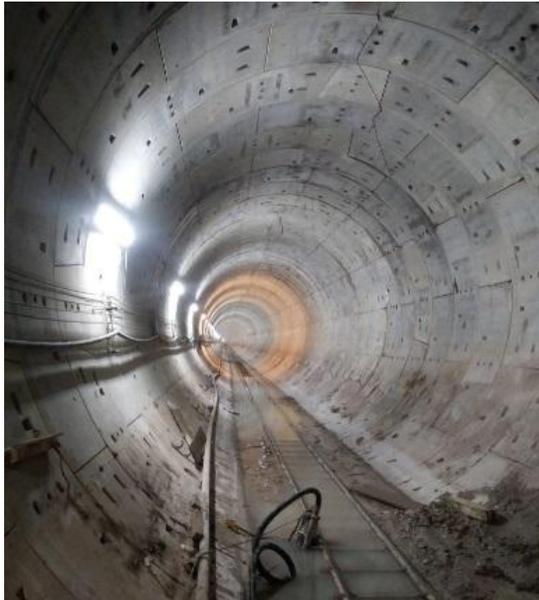
Para cuestiones de cobro de los trabajos de excavación del túnel se contaba con un precio unitario para cada tipo de materia: **suelo**, **roca**, **mixto** y **taximay**. La excavación en suelo y taximay tenían costos similares, mientras que la excavación en frentes mixtos era un 120% más cara que la excavación en suelo y la excavación en roca era 75% más cara que la excavación en suelo.



Perfiles de material de excavación a lo largo de los subtramos

Etapa del revestimiento primario del túnel (Dovelas)

Las dovelas son elementos prefabricados de concreto reforzado en forma circular; que se atornillan entre sí para formar un anillo troncocónico, que sirven para revestir el túnel tras la excavación y así evitar que el suelo se desplome a su paso.



Revestimiento primario del túnel a base de anillos de dovelas. Fuente: ICA

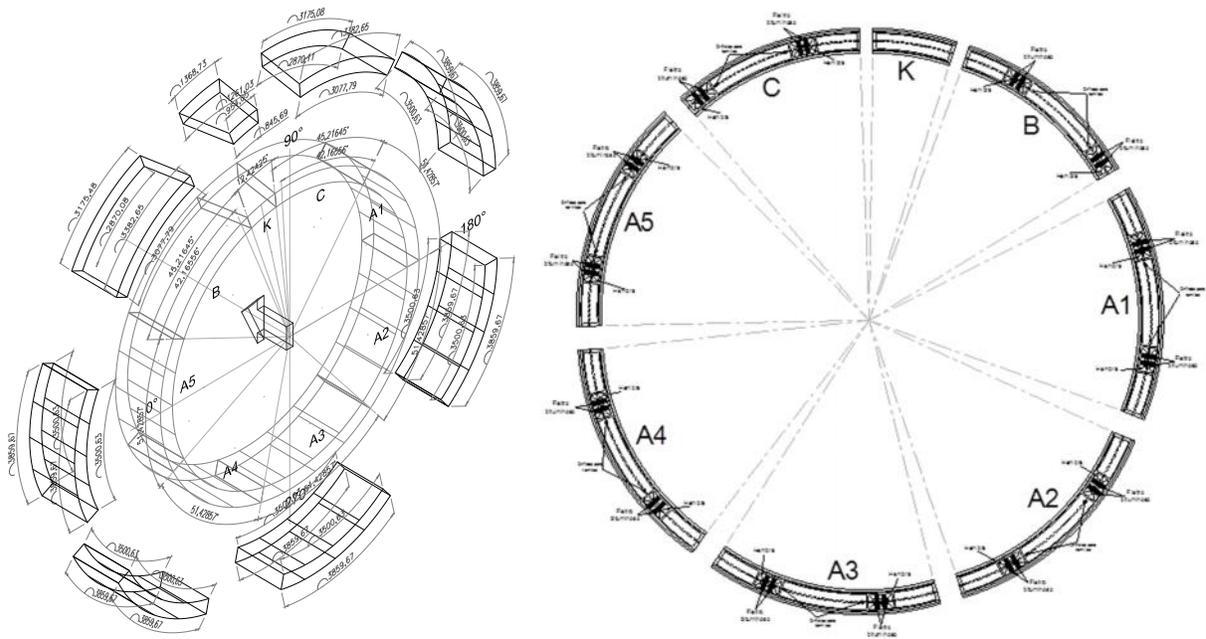
Para el suministro de los anillos de dovelas a las distintas lumbreras del tramo V, se contaba con tres plantas donde se fabricaban, ubicadas en los municipios de Ecatepec, Huehuetoca.

Cada anillo consta de ocho dovelas, la más pequeña de ellas es la llamada “pieza clave” y es la última en ser colocada para formar un anillo.

Para construir los 62.1 kilómetros del túnel, se colocaron un total de 41,334 anillos.

Las características de los anillos de dovelas colocados en el tramo V del *Túnel Emisor Oriente* son las siguientes:

- Número de dovelas por anillo: 8 dovelas
- Ancho del anillo: 1.50 [metros]
- Espesor de las dovelas: 0.40 y 0.35 [metros]
- Diámetro interior de anillo: 7.80 [metros]
- Diámetro exterior del anillo: 8.60 [metros]



Vista isométrica y frontal de las dovelas que forman un anillo

Etapa del revestimiento definitivo del túnel (Concreto reforzado)

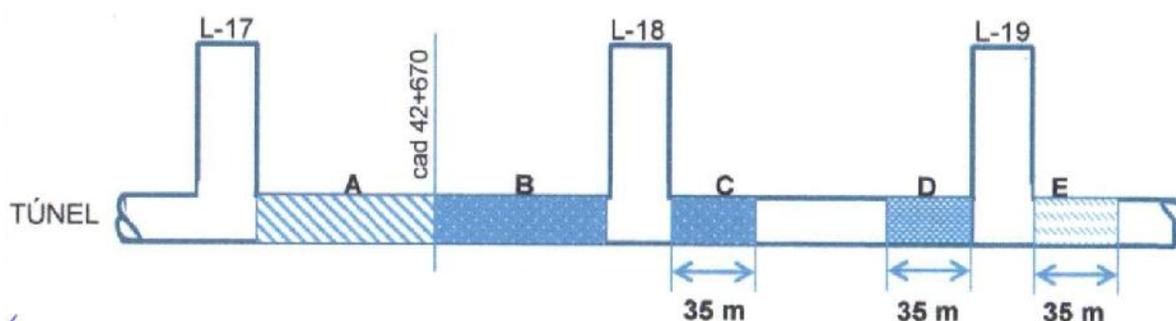
El revestimiento definitivo del túnel será de concreto reforzado colado in situ de un espesor aproximado de 40 centímetros con una resistencia a la compresión de $f'c = 350$ [kg/cm²]. Se utilizó un cemento resistente a los sulfatos debido a que estará expuesto a una gran cantidad de agua residual que puede contener una gran cantidad de sustancias químicas y biológicas.



Revestimiento definitivo del túnel a base de concreto reforzado. Fuente: ICA

En el subtramo entre la Lumbreira 20 y la Lumbreira 19, sólo se colocó acero de refuerzo en los 35 metros del túnel próximos a la Lumbreira 20 y los 35 metros próximos a la Lumbreira 19. Al igual en el subtramo de Lumbreira 19 a Lumbreira 18 sólo se colocaron en los 35 metros del túnel próximos a ambas lumbreiras, esto debido a las discontinuidades que presenta el túnel en los pasos por lumbreiras, en el resto de dichos subtramos sólo se colocó una macrofibra sintética compuesta de resinas de polipropileno que cumple la función de refuerzo para el control de agrietamiento del concreto. En el caso del subtramo de lumbreira 17 a lumbreira 18, si se colocó acero de refuerzo a lo largo de todo el subtramo. La mitad del subtramo será revestido con una cantidad de acero de refuerzo, mientras que la otra mitad tendrá otro diseño, esto debido a las condiciones del suelo que predominan en la zona, como se aprecia en el siguiente esquema.

Distribución de las cantidades de acero de refuerzo para el revestimiento definitivo del túnel



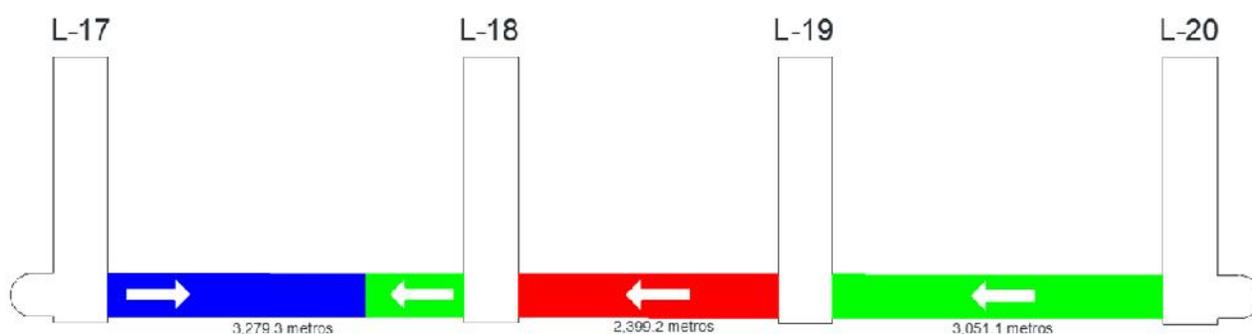
ZONA	Toneladas de acero X metro [ton/m]	Volumen de Acero X metro [m3/m]
A	1.295	0.165
B	1.512	0.193
C	1.073	0.137
D	1.512	0.193
E	1.101	0.141

En la siguiente tabla se muestran algunas de las características del concreto y de los materiales utilizados para su fabricación.

Características del concreto utilizado en el revestimiento definitivo del túnel	
Resistencia a la compresión 28 días	$f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$
Macrofibras sintéticas de polipropileno	5 kg/m^3
Tipo de cemento	CPO 30 R RS BRA CPO-40-RS CPC-40-RS
Relación agua-cemento máxima	$A/C = 0.45$
Revenimiento	$18 \pm 4 \text{ [cm]}$
Tamaño máximo de agregado	$TMA = 19 \text{ [mm]}$
Aditivo reductor de agua	1.854 Lts/m^3
Aditivo fluidificante	1.854 Lts/m^3

Para la realización de los colados se utilizaron cimbras metálicas telescópicas de 7.00 metros de diámetro, el cual será el diámetro final del túnel. La longitud de la cimbra puede variar, debido a que se constituye de varios módulos, pudiendo ir de los 45 a los 60 metros de largo. Además se coloca un desmoldante para evitar que el concreto quede adherido a las paredes de la cimbra y así facilitar el descimbrado.

El siguiente diagrama muestra la dirección de los tres diferentes frentes de trabajo (rojo, verde y azul) para el revestimiento definitivo del túnel en el tramo V del TEO. Cuando el revestimiento en el subtramo L-20 a L-19 fue terminado, la cimbra utilizada y el frente de trabajo se trasladaron a la lumbrera 18 para realizar el revestimiento desde ahí hacia la lumbrera 17, hasta encontrarse con el frente que realizaba el revestimiento de la lumbrera 17 hacia la lumbrera 18. Otro frente independiente se encargó del revestimiento en toda la longitud del subtramo de L19 a L18.



Direcciones de los frentes de trabajo del revestimiento definitivo del túnel

La siguiente tabla muestra las fechas de inicio y termino, la duración y la longitud de los distintos frentes del revestimiento definitivo del túnel en el tramo V. Además de las características de las cimbras utilizadas en cada frente y el número de colados realizados. También se muestra una columna llamada *rendimiento* la cual se obtiene de dividir la longitud del subtramo revestido entre las semanas de duración del revestimiento en el subtramo. Para el caso del revestimiento de la Lumbrera 20 a la Lumbrera 19, se realizó en dos etapas, culminando la primera el 05 de junio de 2018 y retomándose el 25 de febrero de 2019.

Revestimiento definitivo del túnel en el tramo V

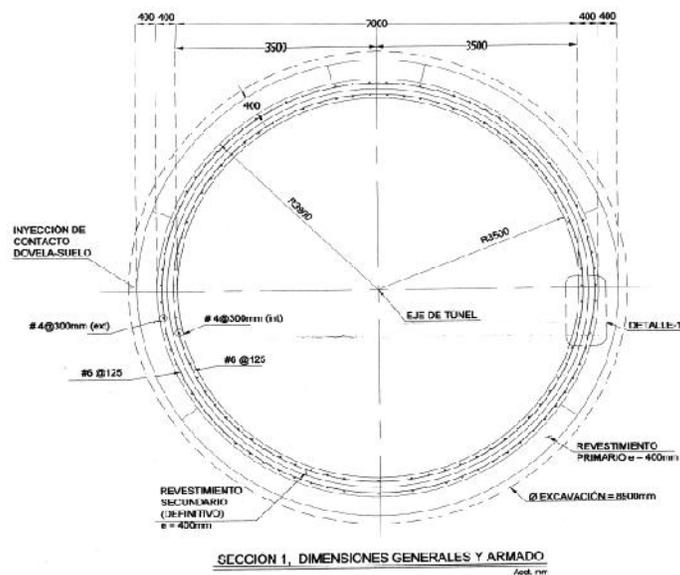
Subtramo	Fecha de inicio	Fecha de termino	Duración [semanas]	Cimbra (Longitud [m])	Distancia [m]	No. de colados	Rendimiento [metros/semana]
L20 - L19	28-abr-2018 25-feb-2019	05-jun-2018 29-abr-2019	14.7	45.20	3,051.08	70	207.56
L19 - L18	10-abr-2019	07-ago-2019	17.0	63.25	2,399.16	40	141.13
L17 - L18	05-may-2019	19-ago-2019	15.1	60.00	2,331.25	39	154.39
L18 - L17	01-jul-2019	17-ago-2019	6.7	63.20	871.54	16	130.08

Para el movimiento e instalación de la cimbra metálica, así como para el descimbrado se utilizó un transportador especialmente diseñado para realizar estas maniobras, llamado “jumbo”.

El concreto se fabrica en la superficie en una planta dosificadora, donde es vertido en camiones revoladora y llevados hacia la lumbrera donde se bajan por medio de una tubería hacia el fondo de la lumbrera, una vez en el fondo llega a un tanque amortiguador, que evita que el concreto quede segregado antes de su colocación, después se lleva hasta la cimbra por medio de bombeo. Un método que se emplea cuando la distancia entre el fondo de lumbrera y la sección de túnel que se va a colar es mayor a los 300 metros, es la utilización de los llamado “carros Morán” los cuales transportan el concreto a lo largo de túneles sobre rieles desde el fondo de lumbrera hasta la ubicación de la cimbra.

Cuando el concreto llega al sitio donde se va a colocar, ya sea por bombeo o a través de los Carros Morán, se introduce por tuberías hasta un dispositivo llamado “Snorkell” el cual tiene una tubería en forma de brazo capaz de extenderse por todo el contorno de la cimbra telescópica de manera transversal lo que le permite depositar el concreto a través de las ventanas de la cimbra ubicados en los costados y en la parte superior. El Snorkell tiene la capacidad de desplazarse a lo largo de toda la cimbra de manera que va depositando el concreto módulo por módulo, aunque el vertido del concreto sólo se realiza en los tres primeros módulos de la cimbra y de ahí se va extendiendo el concreto dentro de la cimbra hasta abarcar todo la longitud de la misma.

El vibrado del concreto se realiza a través de unos vibradores de contacto, los cuales están colocados en las paredes de la cimbra, alrededor y a lo largo de ella a razón de 50 vibradores por cada módulo de cimbra, esto ayuda a que el concreto se distribuya correctamente en todo el contorno de la cimbra y así evitar que queden huecos. Estos vibradores funcionan por medio de aire comprimido. Para realizar el curado del concreto, se utiliza una membrana de curado la cual al aplicarse sobre la superficie del concreto recién colado, sella su porosidad evitando la pérdida de agua de mezcla, y produciendo así un curado adecuado. Su aplicación es por medio de un aspersor sobre el concreto una vez que se ha retirado la cimbra, esto ayuda a que el concreto no pierda humedad y continúe su proceso de fraguado.



Detalle del espesor del revestimiento definitivo del túnel con concreto reforzado

IV. Metodología para la cuantificación de avances de obra

La elaboración de los números generadores, es el método por el cual la contratista estima los volúmenes de los trabajos a lo largo de la obra. Son calculados en las distintas unidades (M, M2, M3, KG, LITRO, ANILLO, etc.) y son obtenidos por medio de los planos del proyecto y otras especificaciones establecidas entre contratista, CONAGUA, la supervisión, el fabricante y la supervisión técnica especializada. La conformación de los generadores es la herramienta fundamental para la elaboración de las estimaciones y que la contratista pueda cobrar por los trabajos ejecutados en un periodo de tiempo y deben ir acompañados de todos los documentos que avalen y respalden la ejecución de los trabajos como son: fotografías, autorizaciones de precios unitarios extraordinarios, conciliaciones entre la contratista y la supervisión externa, croquis y planos, certificados de calidad y fichas técnicas de los materiales utilizados, reportes en campo, notas de bitácora, parámetros de operación de las maquinas tuneladoras, autorizaciones para la realización de los colados del revestimiento definitivo, entre otros documentos.

A continuación hare mención de los trabajos que se realizaron en el tramo V del proyecto, de las cuales me tocó realizar la cuantificación por medio de la integración de los generadores, dichas actividades son:

- Colocación de placas de fibra dura, junta de estanqueidad, piezas de fieltro bituminoso y juntas tipo Toc en dovelas.
- Excavación de los metros subsecuentes del túnel con maquina tuneladora en suelo, roca o material mixto.
- Avanzando sin excavar y colocando anillos en los metros finales del túnel.
- Trabajos ejecutados durante las Intervenciones atmosféricas en la cámara de excavación de la tuneladora para revisión y cambio de herramientas.
- Reposición de piezas especiales de la cabeza de corte de la maquina tuneladora.
- Suministro y colocación de obturante en la parte exterior del accionamiento principal de la tuneladora.
- Aditivo inyectado en la parte interior del rodamiento principal de la tuneladora.
- Obturante para controlar y evitar el ingreso de agua, arrastre de suelo y/o mortero inyectado en la cola del faldón de la tuneladora.
- Suministro y aplicación de agente espumante para el acondicionamiento y o tratamiento del terreno durante el proceso de excavación con tuneladora.
- Suministro y colocación de obturante en la parte interior del accionamiento principal de la tuneladora y la lubricación de sellos.
- Polímero colocado en estado puro mediante bombeo durante la excavación para permitir la rezaga de material producto de la excavación del túnel en el tornillo sinfín.
- Asistencia técnica con personal especializado del fabricante para las tuneladoras.
- Carga mecánica y acarreo del material producto de la excavación al primer kilómetro y descarga al banco de tiro.

- Acarreo en camión, de material producto de la excavación a kilómetros subsecuentes.
- Pago de regalías por depósito de material producto de la excavación en banco de tiro.
- Suministro y colocación de cimbra metálica telescópica para el revestimiento del túnel.
- Fabricación y colocación de concreto hidráulico para el revestimiento definitivo del túnel.
- Suministro, colocación y habilitado de acero de refuerzo.
- Uso de predios adyacente a las lumbreras para alojar instalaciones requeridas.
- Maniobras de desensamble y extracción de piezas de las tuneladoras del fondo de lumbrera a la superficie.
- Construcción de bardas perimetrales para el confinamiento de lumbreras.

De los trabajos anteriores he decidido seleccionar algunos de las más importantes para explicar cómo era el proceso para su cuantificación por medio de la realización de los correspondientes generadores, así como mostrar algunos de los documentos que servían como soporte para la presentación en la estimación.

La periodicidad con la que se elaboraban los números generadores para la excavación con tuneladora y el revestimiento definitivo del túnel son de 15 días, es decir, se estimaban los trabajos por *quincena*. Se presentan dos generadores para cada uno de estos conceptos por mes, en este capítulo se mostraran algunos ejemplos de los avances que se tuvieron en un periodo con esta duración.

Excavación con tuneladora

Por cuestiones técnicas y de pago existían tres tipos de excavación a lo largo de un subtramo entre dos lumbreras en cualquier tipo de suelo, en el primer caso se consideraba la **excavación para los primeros 150 metros de túnel** que servía para el reconocimiento de operación de la máquina excavadora, una vez que se ha logrado el reconocimiento y operación de la maquina se considera como excavación de los metros subsecuentes del túnel, finalmente antes del fin de la excavación se considera un nuevo precio unitario para la **excavación de los últimos tres metros a la llegada a la lumbrera**.

Para la cuantificación de la excavación con tuneladora, la unidad de medida es el metro lineal (M) medido por el eje del túnel y entre paños interiores de lumbrera, es decir se cuantificaban los metros lineales que se avanzaban durante un periodo determinado de 15 días, para lo cual se realizaba una *conciliación topográfica* entre la contratista y la supervisión externa, es decir, tanto la contratista como las supervisión externa contaban con su propio equipo topográfico quien cada uno por su parte realizaba las mediciones de los cadenamientos y elevaciones de cada avance, posteriormente ambos equipos comparaban sus datos y elaboraban un documento único que era el utilizado para la cuantificación de los avances.

El avance de excavación en un determinado periodo se hacía considerando anillos completos, debido a que para la cuantificación de otros trabajos complementarios a la excavación, la unidad de medida era el “anillo” por lo cual el avance iba del cadenamiento al inicio de un anillo al cadenamiento al final de otro anillo.

Los elementos que conforman a la *conciliación topográfica* son:

El **encabezado** donde aparece el subtramo al que corresponde el avance y el periodo de ejecución. En este caso, la conciliación corresponde al avance que tuvo lugar en la primera quincena de febrero que va del 28 de enero al 13 de febrero de 2019 en el subtramo entre la Lumbreira 19 y la Lumbreira 18.

ASUNTO: CONCILIACIÓN DE AVANCE DEL TÚNEL TRAMO 5 SUBTRAMO L-19 a L-18 DEL TÚNEL EMISOR ORIENTE, CON CORTE AL 13 DE FEBRERO DE 2019

Posteriormente aparece la descripción de los cadenamientos y los anillos a los que corresponde el avance. En este caso el avance para este periodo es de la excavación de los metros subsiguientes del túnel y va del inicio del Anillo No. 1525 al final del Anillo No. 1577.

El inicio de la excavación para este periodo del tramo L-19 a L-18 es el cadenamiento 44+402.670; se realiza conciliación al cierre del 13 de Febrero de 2019, se tiene colocado el Anillo No. 1577 del tramo L-19 a L-18, con una distancia medida desde el cadenamiento al inicio del anillo 1525 hasta el final del anillo 1577, sobre el CL a nivel de arrastre, obteniéndose una distancia de 79.600 m lo cual restando nos da el cadenamiento 44+323.070 que es conciliado y es el termino total de este periodo.

Al final del documento aparece un cuadro resumen del avance del periodo y del acumulado:

	RESUMEN DE AVANCE		
	ANTERIOR	PARCIAL	ACUMULADO
EXCAVACIÓN (m)	2,290.220	79.600	2,369.820
COLOC ANILLOS (pza)	1,524	53	1,577
CADENAMIENTOS (m)	44+402.670	79.600	44+323.070
	(Cad. Al inicio del anillo 1525)		(Cad. Al final del anillo 1577)

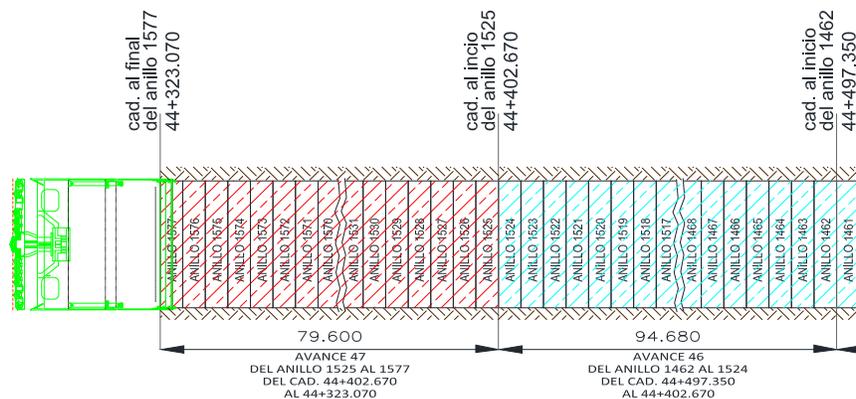
El **ANEXO 2** del presente trabajo escrito muestra el ejemplo de la conciliación topográfica completa.

En resumen la cantidad en metros lineales y en valor absoluto del avance en este periodo se obtiene de la siguiente manera:

$$\text{Avance} = \text{Cadenamiento Final} - \text{Cadenamiento Inicial}$$

$$\text{Avance} = | 44 + 323.070 - 44 + 402.670 |$$

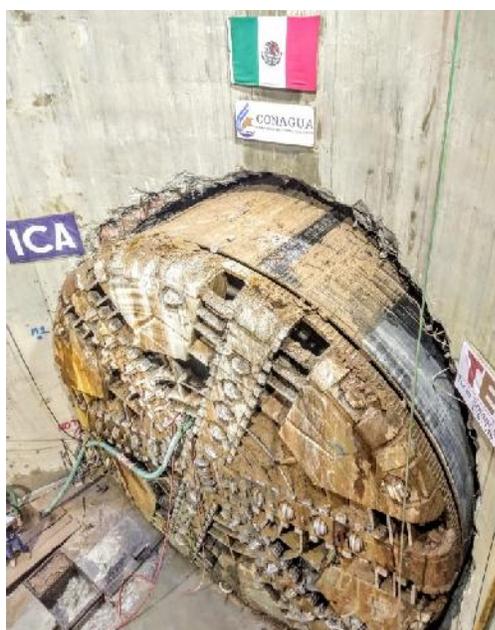
$$\text{Avance} = 79.60 \text{ m}$$



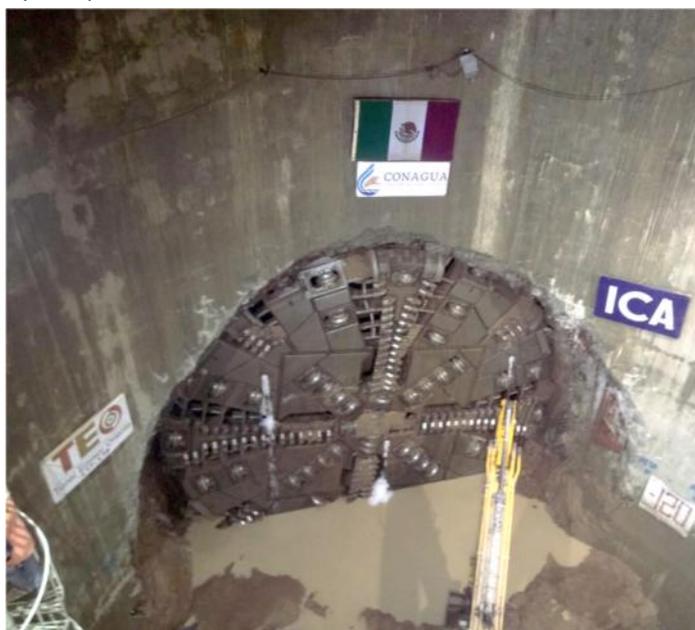
Croquis del avance

Esta cantidad es la que aparecía en el generador, la cual multiplicada por el precio unitario nos arrojaba el importe por concepto de excavación en ese periodo. El precio unitario incluía:

- Excavación con maquina tuneladora
- Tuberías, cableados eléctricos, vías y alumbrado
- Sistema de ventilación
- Inyección de la mezcla de relleno entre el espacio existente entre terreno y dovelas
- Resane de dovelas
- Limpieza del túnel
- Operación del sistema de rezaga
- Mano de obra, herramientas, material y maquinaria



Llegada del escudo Robbins "Morelos" a la L-18 en febrero de 2019. Fuente: ICA



Llegada del escudo HK S-519 a la L-18 en marzo de 2019. Fuente: ICA

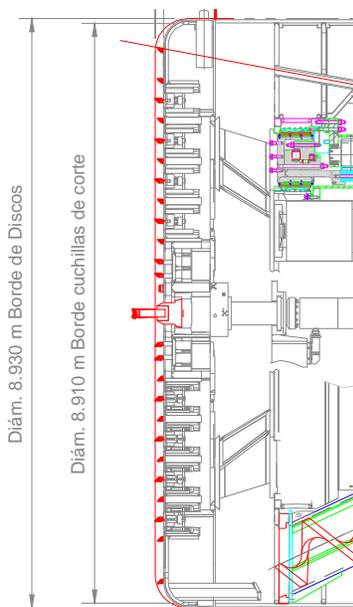
Además complementario al generador con las cantidades conciliadas, croquis y fotografías. Se deben anexar los siguientes documentos:

- Oficio de autorización del precio unitario por parte de la CONAGUA
- Conciliación topográfica
- Certificados de calidad de los materiales: bentonita, cemento, agua y arena.
- Cuando se tratara de un frente mixto (roca y suelo) se debía anexar una caracterización del terreno que justifique la presencia de roca.

Acarreo de material producto de excavación a banco de tiro

Para el caso de los acarreo, el cobro se dividía en dos partes, es decir, existían dos precios unitarios para esta actividad: el primero estaba destinado al cobro del acarreo por el primer kilómetro, mientras que el segundo correspondía al acarreo por los kilómetros subsecuentes y la unidad de medida es el metro cubico por kilómetro [M3/KM] Para ambos casos, el primer paso para la cuantificación era el cálculo del volumen excavado de la siguiente manera:

$$\text{Volumen de Excavación } m^3 = \text{Área de Excavación } m^2 * \text{Avance Parcial } m$$



Dimensiones de la rueda de corte

$$\text{Área de la rueda de corte } m^2 = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$\text{Diametro de la rueda de corte} \\ = 8.930 [m]$$

Por lo tanto el área de la rueda de corte es:

$$\text{Área de la rueda de corte} = \frac{\pi 8.93 m^2}{4}$$

$$\text{Área de la rueda de corte} = 62.63 m^2$$

Tomando como ejemplo el avance correspondiente del 28 de enero al 13 de febrero del subtramo de Lumbrera 19 a Lumbrera 18. El avance parcial es de 79.60 [m].

Por lo tanto, el volumen de excavación es:

$$\text{Volumen de Excavación} = 62.63 m^2 * 79.6 [m]$$

$$\text{Volumen de Excavación} = 4,985.35 m^3$$



Acarreo de material de excavación en L-19.
Fuente: ICA

Una vez que se obtiene el volumen de excavación, ahora se debe multiplicar por la distancia en kilómetros que es acarreado el material. Para conocer dicha distancia, se realizó una *conciliación de kilometraje* en la cual se especifica el origen y destino del material acarreado, la ruta que han de seguir los camiones y el kilometraje resultante.

A continuación se presenta el ejemplo de una *conciliación de kilometraje* entre la Lumbreira 19 y el sitio de tiro denominado "Salitrillo" ubicado en Huehuetoca, Estado de México.

Motivo de la Reunión:	CONCILIACIÓN DE KILOMETRAJE DE LUMBRERA-19 A BANCO DE TIRO SALITRILLO
-----------------------	---

Se reúne personal de COMISSA y supervisión LYTSA para verificar y conciliar el kilometraje de la ruta para el acarreo del material producto de la excavación del túnel de lumbreira 19 a la lumbreira 18, el material será extraído por lumbreira 19, y depositado en Banco de tiro Salitrillo, se parte de lumbreira 19 hacia el centro de Huehuetoca, se da vuelta a la derecha en calle de Jiménez Cantú, se toma por el bulevar Huehuetoca - Jorobas hacia el banco de tiro como lo marca el croquis al llegar a la zona del basureo se da vuelta a la derecha para llegar al banco de tiro Salitrillo, como lo marca el croquis, el resultado del kilometraje es 6 Km, la medición se obtuvo con el odómetro del vehículo Toyota Hilux, se anexa croquis de ruta.

No habiendo otro asunto que tratar se cierra la presente minuta.

[Handwritten Signature]
JONATHAN REYES SANCHEZ GONZALEZ
COMISSA

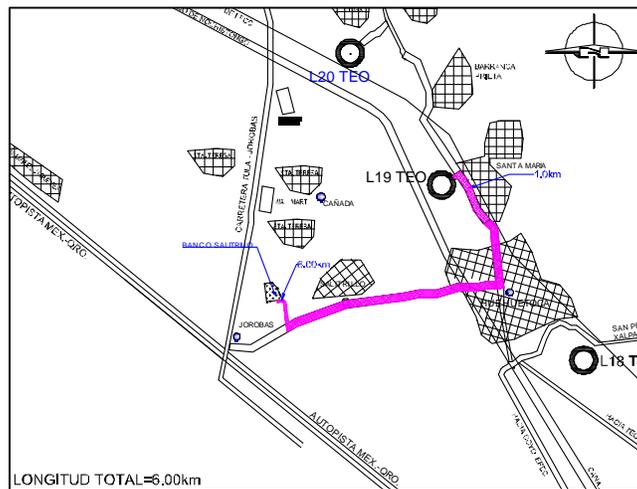


[Handwritten Signature]
Sergio E. Ortiz Olvera
SUPERVISIÓN

Ejemplo de Conciliación de kilometraje de ruta

Como puede apreciarse, el kilometraje conciliado es de 6 KM.

Además debe anexarse y presentarse en cada generador el croquis de la ruta.



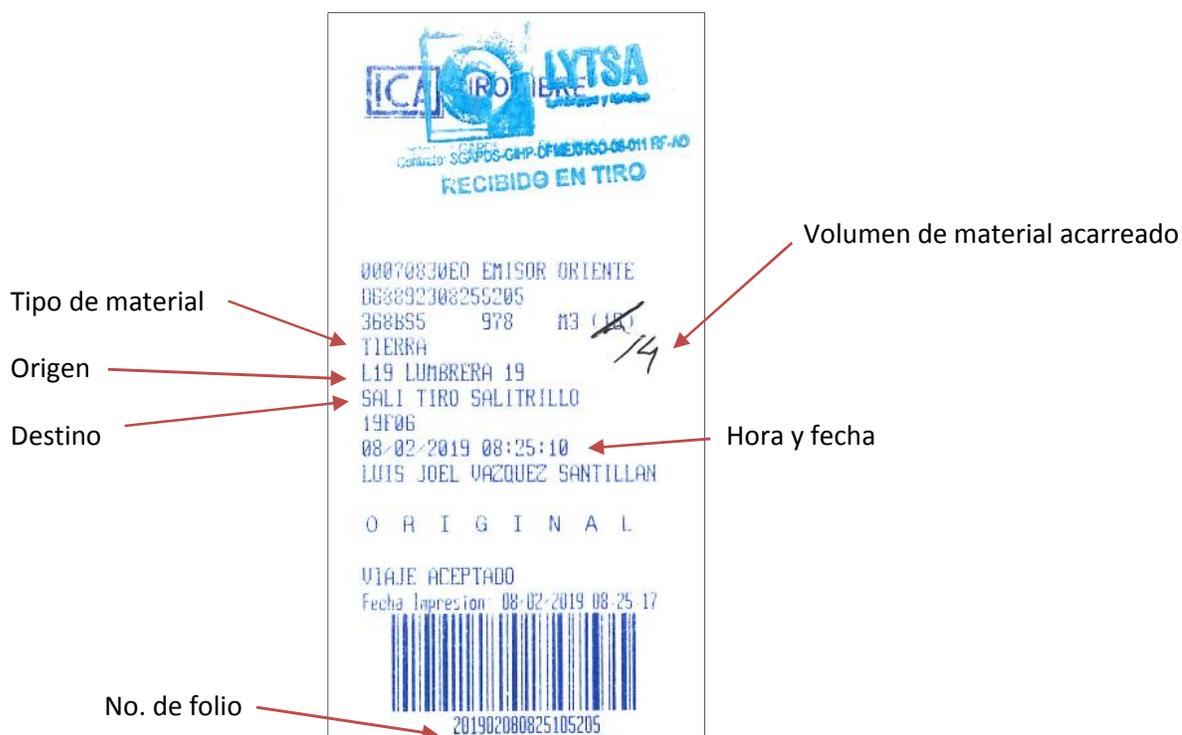
Ruta entre la Lumbreira 19 y el Tiro "Salitrillo"

Finalmente las cantidades a estimar para ambos generadores son las siguientes:

- Para el caso del primer kilómetro, la cantidad es igual al volumen de excavación, es decir, 4,985.35 [M3].
- Para los kilómetros subsecuentes, se debe multiplicar el volumen de excavación por la distancia al tiro.

$$\begin{aligned} \text{Distancia al tiro} &= 6.00 \text{ km} - 1\text{er km} \\ \text{Distancia al tiro} &= 5.00 \text{ km} \\ \text{Total} &= \text{Volumen de excavación} * \text{Distancia al tiro} \\ \text{Total} &= 4,985.35 \text{ m}^3 * 5.0 \text{ [km]} \\ \text{Total} &= \mathbf{24,926.75 \text{ m}^3 \text{ km}} \end{aligned}$$

Finalmente para poder presentar este generador para autorización de pago, se deben anexar una serie de tickets, como el que se muestra a continuación. Cada ticket representa el viaje en un camión, los tickets eran impresos en la lumbrera por parte de la contratista y eran entregados al chofer de cada camión quien a su vez debía entregarlo a su llegada al tiro. Todos los tickets debían ser sellados por la supervisión. Estos contenían datos como: tipo de material, origen, destino, hora y fecha, número de folio y principalmente el volumen de material acarreado.



Ticket de acarreo de material

Se deben presentar el número de tickets necesarios tales que el volumen acumulado sea igual o mayor al volumen de excavación. Sin embargo una vez que el material producto de la excavación se encontraba en

la superficie y/o en los camiones presentaba un abundamiento, el cual en común acuerdo entre todas las partes se estableció que fuera del 30%. Por lo cual se debía afectar al volumen de excavación por este factor de abundamiento y este nuevo volumen es el que se debía respaldar con la serie de tickets.

$$\text{Volumen de excavación} = 4,985.35 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de excavación con abundamiento} = 1.3 * 4,985.35 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de excavación con abundamiento} = 6,480.96 \text{ m}^3$$

Colocación de aditivos para el tratamiento del suelo y la lubricación de los mecanismos de la tuneladora

A continuación se mencionaran algunos de los aditivos y grasas que fueron utilizados durante la excavación con tuneladora. El cobro de estos aditivos estaba restringido por los parámetros establecidos por el fabricante y la supervisión técnica especializada para la excavación, estos parámetros máximos correspondían a consumos por anillo excavado, si se excedían los límites establecidos, sólo se podía cobrar el valor autorizado, el consumo excedente no era pagado a la contratista.

Para la cuantificación de las cantidades a estimar en cada periodo por el consumo de grasas y aditivos, se elaboraban en campo reportes con las cantidades utilizadas de estos productos, se debía realizar un reporte por anillo colocado y este reporte debía estar firmado por la supervisión LYTSA, si el reporte no contaba con dicha firma, el consumo no podía ser estimado ni pagado a la contratista.

En el **ANEXO 3** se muestra los parámetros de operación y consumos de grasas y aditivos de la tuneladora Robbins "Morelos".

Agente espumante para el acondicionamiento del terreno

El terreno excavado necesita ser tratado para su fácil extracción a través del tornillo sin-fín de la tuneladora. No tratar adecuadamente el terreno implica bajos rendimientos de avance, atascos en la rueda de corte, elevados costos de mantenimiento, etc.

El agente espumante líquido de alto rendimiento a base de surfactantes aniónicos biodegradables, en combinación con un polímero lubricante natural. Está completamente formulado con materias primas biodegradables y sin glicoles. Por estas razones, su capacidad biodegradable es muy alta. Genera una espuma altamente resistente y muy duradera, con excelentes propiedades lubricantes, adecuada para el acondicionamiento de todo tipo de suelo para excavar con un EPB. La espuma generada reduce la fricción entre las partículas del suelo, minimizando así el desgaste de las herramientas de corte. La presencia del



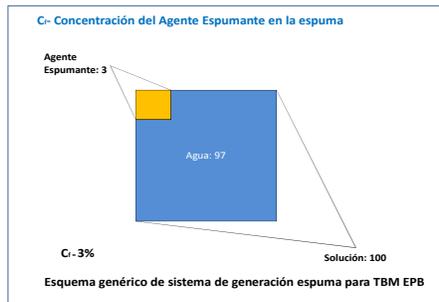
Suministro de aditivos dentro de la tuneladora Robbins "Morelos".

Fuente: ICA

polímero aumenta la durabilidad de la espuma (vida media) y mejora su propiedad lubricante. Esta característica es útil en todos los suelos y, en particular, en la excavación de arcilla.

La formación de espuma para un correcto tratamiento conlleva el control de tres elementos básicos como son: **agua**, **aire** y por último la adición del **agente espumante**.

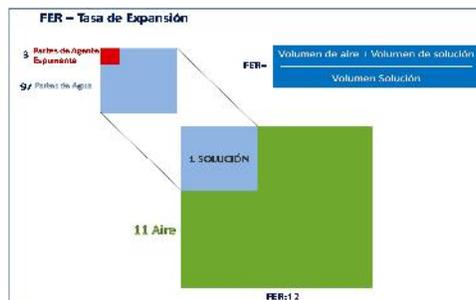
Los principales factores que caracterizan el control de la espuma son: el Factor de Concentración (CF, por sus siglas en inglés), la Relación de Expansión de la Espuma (FER) y la Relación de Inyección de Espumas (FIR). Los siguientes parámetros se definen de la siguiente manera:



$$FC = \frac{\text{masa de agente espumante}}{\text{masa de solución}} \%$$

Para que se forme la espuma, se requiere de agua y del agente espumante, la **concentración de agente espumante** se refiere a la disolución, es decir, en una solución del 100% (agente espumante más agua), el porcentaje de agente espumante en esa mezcla es la concentración de agente espumante. Por ejemplo, para una concentración del 3%. Utilizando 180 Lts. De agente espumante se requieren de 6 [m3] de agua.

$$FC = \frac{180 \text{ [Lts]}}{6,000 \text{ [Lts]}} = 3\%$$



$$FER = \frac{\text{volumen de espuma}}{\text{volumen de solución}}$$

La **relación de expansión de la espuma** es un factor adimensional, el cual es el cociente del volumen de la espuma que se forma entre el volumen inicial de la solución (volumen de agente espumante más volumen de agua). Entre mayor sea la cantidad de agua en el frente, se requerirá de un mayor volumen de espuma, lo que a su vez requerirá una mayor concentración de agente espumante. Como ejemplo, para una relación de expansión de la espuma de 12, considerando el volumen de la solución del ejemplo anterior, se formara una espuma con volumen de 150 [m3]

$$FER = \frac{72 \text{ m}^3}{6 \text{ m}^3} = 12$$

El último de los parámetros es la **relación de inyección de espuma**, se mide en porcentaje, es el cociente del volumen de espuma, entre el volumen del material excavado, donde a su vez se incluye el volumen de espuma, este porcentaje puede variar mucho, ya que sin la presencia de agua en el frente es enorme, se requerirá una gran cantidad de espuma. Por ejemplo, para un volumen de espuma de 150 [m3] y considerando que el volumen de terreno excavado para la colocación de un anillo es aproximadamente de 94 [m3], la relación de inyección de espuma es del 43.37%.

$$FIR = \frac{\text{volumen de espuma}}{\text{volumen del material excavado}} \%$$

$$FIR = \frac{72 \text{ m}^3}{72 \text{ m}^3 + 94 \text{ m}^3} = 43.37\%$$

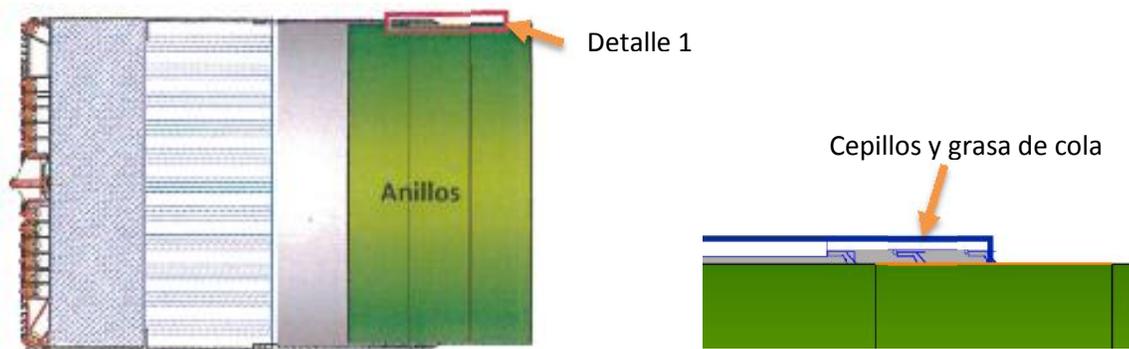
Los parámetros para la colocación del agente espumante los fija el fabricante de la máquina tuneladora, en conjunto con la supervisión técnica especializada para la excavación. Los valores que estaban aprobados para la excavación en suelo en el tramo V del proyecto son los siguientes:

Parámetro	Unidad	Valores de operación
Agente espumante	Litros	150 – 180
Factor de concentración - FC	%	3
Relación de expansión de espuma - FER	[1]	10 - 30
Relación de inyección de espuma - FIR	%	40 - 100

Como se puede apreciar en la tabla anterior, el consumo máximo autorizado de agente espumante por anillo colocado era de 180 [Lts], si se utiliza mayor cantidad del producto, la cantidad excedente no era pagada a la contratista.

Grasa de cola

La grasa de cola tiene el propósito de proteger a los cepillos de las tuneladoras, que se ubican al final del faldón de las mismas, y así impedir el ingreso de agua, lodo, morteros, etc. Los escudos cuentan con tres cámaras de sellado por donde se inyecta la grasa de cola entre los anillos de dovelas y el terreno natural. Como se muestra en la siguiente imagen.



Detalle 1. Zona de colocación de grasa

Se debe formar una película de grasa, que el fabricante recomienda que tenga un espesor aproximado de entre 1.0 y 1.5 milímetros, alrededor de todo el anillo de dovela, en toda la longitud del túnel.

Para obtener la cantidad de grasa de cola que debe utilizarse para la colocación de un anillo, primero se debe obtener el volumen que se necesita colocar multiplicando el área de contacto exterior del anillo de dovela, por el ancho del anillo y el espesor de la película de grasa. Una vez obtenido el volumen, se debe multiplicar este por la densidad del producto y así obtener la cantidad en kilos necesaria para la protección de un anillo de dovelas.

Perímetro de la circunferencia externa del anillo

$$P = \pi D$$

$$P = 3.1416 * 8.6 [m]$$

$$P = 27.0177 [m]$$

Área de contacto por anillo

$$A = P * longitud_{anillo}$$

$$A = 27.0177 [m] * 1.5 [m]$$

$$A = 40.5266 [m^2]$$

Volumen de grasa por anillo con espesor de la película de 1.5 [mm]

$$V = A * e$$

$$V = 40.5266 [m^2] * 0.0015 [m]$$

$$V = 0.0608 [m^3]$$

Cantidad de grasa por anillo

$$Grasa = V * \rho_{grasa}$$

$$Grasa = 0.0608 \text{ m}^3 * 1,300 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$Grasa = 79.04 \text{ kg}$$

El consumo autorizado por parte del fabricante y de la supervisión técnica especializada para la excavación es de máximo 80 [kg] por anillo, si se excede este consumo, la cantidad excedente no se le paga a la contratista.

Grasas para los sellos del accionamiento principal

Las grasas para el accionamiento principal son grasas desarrolladas para asegurar la lubricación de todos los mecanismos sometidos a fuertes cargas. Es utilizada sobre los mecanismos de las tuneladoras: rodamiento principal de la cabeza de corte, junta de estanqueidad, rodamiento del tornillo sin fin. Tienen excelentes propiedades de resistencia al agua, evita la entrada de agua en los rodamientos y también la entrada de la contaminación de sólidos.

Las grasas y aditivos utilizados en la excavación de los subtramos de lumbrera 17 a lumbrera 18 y de lumbrera 19 a lumbrera 18, con los consumos autorizados son los siguientes:

Subtramo de Lumbrera 17 a Lumbrera 18	
Obturante GR 130 EP2	Consumo promedio autorizado = 14.3 [kg/anillo]
Obturante grasa HBW	Consumo máximo autorizado = 40 [kg/anillo]
Subtramo de Lumbrera 19 a Lumbrera 18	
Obturante aditivo W/EP3	Consumo máximo autorizado = 67.5 [kg/anillo]
Obturante grasa HBW	Consumo promedio autorizado = 21.21 [kg/anillo]

Así como en el caso de los otros aditivos, el fabricante y la supervisión técnica especializada determinan el consumo máximo que se debe colocar a la maquina tuneladora por anillo excavado y sólo se paga a la contratista como máximo esa cantidad. El consumo excedente no tiene validez para ser soportado.

Existen casos en donde sí se paga todo el aditivo colocado, para lo cual se debe obtener el consumo total y dividirlo entre en número de anillos para así obtener un consumo promedio. Este valor promedio debe ser autorizado por la supervisión técnica especializada de la excavación para poder ser estimado. Por poner un ejemplo, la grasa HBW en el subtramo L19 a L18 tuvo un consumo promedio de 21.21 [kg/anillo] el cual fue autorizado para su pago total y se obtuvo de dividir el consumo total al final de la excavación entre en número de anillos.

Cantidad total de grasa HBW colocada = 25,410.58 [kg]

Número de anillos = 1198 [anillos]

$$\text{Promedio de grasa HBW colocada} = \frac{25,410.58 \text{ [kg]}}{1198 \text{ [anillos]}} = 21.21 \left| \frac{\text{kg}}{\text{anillo}} \right|$$

Colocación de placas y juntas en dovelas

Para evitar las filtraciones de agua hacia dentro del túnel y para garantizar la correcta adherencia entre dovela y dovela, en cada una de ellas se coloca una serie de placas y juntas para garantizar la impermeabilidad del revestimiento primario del túnel.

La unidad de medida para fines de pago de las placas y juntas que se colocan en las dovelas, de acuerdo al análisis del precio unitario es el “anillo”, es decir, en un periodo se cuantifican el número de anillos que son colocados tras la excavación y a los cuales previamente les fueron colocadas las placas y juntas. Por lo cual, el valor del precio unitario para estos trabajos, considera las cantidades de material necesarias a colocarse en las ocho dovelas que conforman un anillo.



Anillos de dovelas en superficie. Fuente: ICA

Las placas y juntas que se colocan y sus características son las siguientes:

- **Junta de estanqueidad.** Son fabricadas a base de caucho y su presentación es en forma de cinta de 33 [mm] de espesor, su función es la de sellar las dos caras de contacto entre las dovelas. Son adheridas con pegamento tipo “Resistol 5000”. Para las dovelas que forman un anillo se consumen 75 metros lineales de cinta.
- **Junta tipo TOC.** Son fabricadas a base de caucho y al igual que las juntas de estanqueidad su presentación es en forma de cinta cuyas medidas son 20 [mm] X 10 [mm] su función es la de sellar las dos caras de las dovelas. Son adheridas con pegamento tipo “Resistol 5000”.
Como se aprecia en las siguientes figuras, cuando se colocan todas las dovelas, una al lado de la otra para formar el anillo, la junta de estanqueidad y la junta tipo TOC se comprime y se cierran para formar el sello.

Revestimiento definitivo del túnel

Para el caso de las estimaciones del revestimiento definitivo del túnel, se toma en cuenta la cuantificación de tres conceptos distintos: acero de refuerzo, cimbra y concreto. Para su cuantificación en un generador durante un periodo de 15 días, se tomaba en cuenta los colados completos realizados en el periodo. Para ejemplificar como fue la estimación de los trabajos del revestimiento se tomará como un ejemplo un avance en un periodo de 15 días. El ejemplo es el siguiente:

Quincena	Periodo	Subtramo	Avance [m]
2da de junio	14 al 28 de junio de 2019	L17-L18	360.586

No. Colado	Cadenamiento inicial	Cadenamiento final	Avance [m]
11	41+599.958	41+659.958	60.000
12	41+659.958	41+720.078	60.120
13	41+720.078	41+780.198	60.120
14	41+780.198	41+840.318	60.120
15	41+840.318	41+900.438	60.120
16	41+900.438	41+960.544	60.106
Avance total en este periodo [m] =			360.586

Duración de los tiempos de colado y tiempos entre colados

No. de colado	FECHA		Duración colado	Tiempo entre colados	Duración Total
	INICIO	FIN			
11	14-jun 08:48	15-jun 14:50	30:02	32:41	62:43
12	17-jun 03:40	18-jun 06:00	26:20	36:50	63:10
13	19-jun 15:40	20-jun 13:26	21:46	33:40	55:26
14	21-jun 20:38	22-jun 21:36	24:58	31:12	56:10
15	23-jun 23:34	25-jun 01:48	26:14	25:58	52:12
16	26-jun 03:38	27-jun 05:36	25:58	25:50	51:48

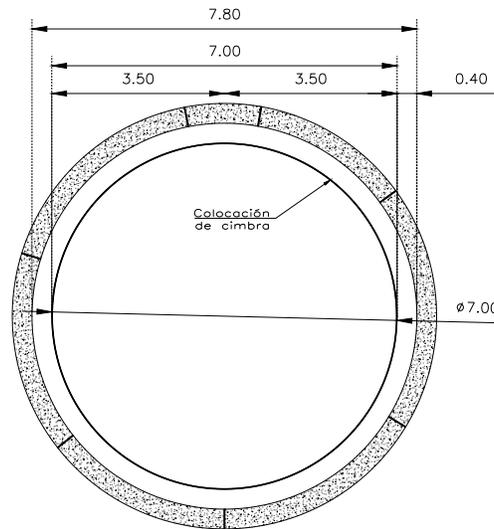
Colocación de Cimbra Telescópica

Para el caso de la cimbra, la unidad de medida de esta es el metro cuadrado (M2) y se obtiene de multiplicar el perímetro de la cimbra, que será el perímetro del revestimiento interior definitivo del túnel, por la longitud de avance en el revestimiento definitivo del túnel, se tomará el avance de 360.586 [m] como ejemplo.

Se realizaba una conciliación de la colocación de cada uno de los módulos de la cimbra en cada colado, en la cual se registraban los espesores de clave, cubeta y márgenes derecho e izquierdo; a partir de esta conciliación se determinaban los cadenamientos de inicio y final de cada colado que servían para

determinar las distancias de avance y las cantidades teóricas de toneladas de acero, área de la cimbra y volumen de concreto.

En el **ANEXO 4** se muestra un ejemplo de la conciliación de un módulo de la cimbra para la realización del colado No. 11 del subtramo L17-L18. Para el cálculo del perímetro se considera un diámetro de 07.00 metros como se muestra a continuación.



Esquema del diámetro final del túnel

Cálculo del perímetro con el diámetro de 7.00 metros

$$P = \pi D$$

$$P = 3.1416 * 7[m]$$

$$P = 21.99 [m]$$

Cálculo del área de contacto

$$A = PL$$

$$A = 21.99 m * 360.586 [m]$$

$$A = 7,929.29 m^2$$

Por lo cual, en este periodo la cantidad a estimar por el concepto de cimbra en este periodo para el revestimiento definitivo del túnel en el subtramo de la lumbrera 17 a la lumbrera 18 es de 7,929.29 [M2].



*Cimbra metálica telescópica. Revestimiento L19-L18.
Fuente: ICA*



Transportador diseñado para realizar las maniobras de movimiento e instalación de la cimbra telescópica, denominado "Jumbo". Fuente: ICA

El precio unitario de la cimbra incluía:

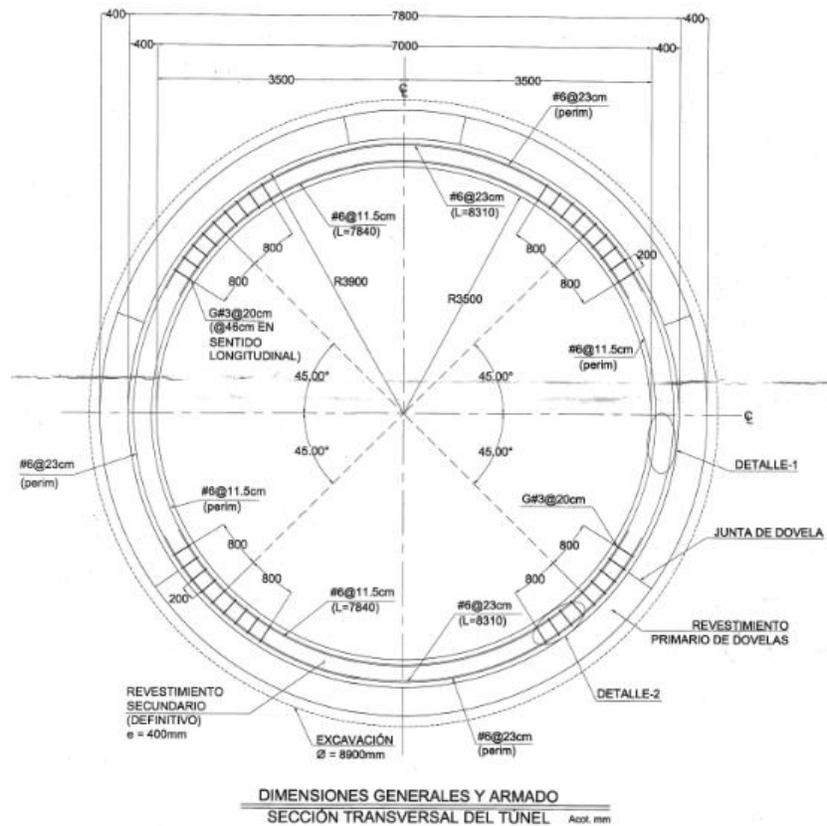
- Utilización de cimbra metálica telescópica.
- Mano de obra, maquinaria, equipo de topografía.
- Limpieza de cimbra y las maniobras necesarias para transportar la cimbra hasta el lugar de colado.

Acero de refuerzo

Para estimar el acero de refuerzo que se utiliza en el revestimiento definitivo del túnel, la unidad de medida es la *tonelada* [TON]. El método para la cuantificación de acero consiste en tomar la longitud del avance y calcular la longitud de varilla necesaria para cada elemento que conforma el acero de refuerzo, una vez obtenida la longitud necesaria para todo el avance se debe multiplicar por la masa nominal [kg/m] para obtener la cantidad de toneladas necesarias para ese avance y así poder realizar la estimación.

El acero de refuerzo del túnel se compone de los siguientes elementos:

- Acero transversal
 - Acero principal exterior
 - Acero principal interior
 - Bastones exteriores
 - Bastones interiores
 - Silletas
 - Grapas
- Acero longitudinal
 - Varillas maestras exteriores
 - Varillas maestras interiores



Ubicación del acero de refuerzo para el revestimiento definitivo del túnel

ACERO TRANSVERSAL

ACERO PRINCIPAL EXTERIOR

En primer lugar se calcula el diámetro efectivo del acero trasversal exterior, considerando un recubrimiento de 5 [cm], y que se trata de varilla #6 (3/4") de 1.905 [cm] de diámetro. Por lo cual el diámetro y perímetro exterior se calcula descontando del diámetro exterior del revestimiento definitivo del túnel que es de 7.80 [m] menos el recubrimiento a ambos lados y la mitad del diámetro de la varilla del #6, de la siguiente manera:

$$Diametro_{ext} = 7.80 - 0.05 - 0.05 - \frac{0.01905}{2} - \frac{0.01905}{2}$$

$$Diametro_{ext} = 7.68 [m]$$

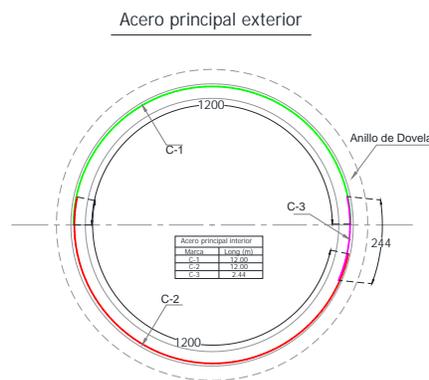
$$Perimetro_{ext} = \pi * Diametro_{ext}$$

$$Perimetro_{ext} = 3.1416 * 7.68 [m]$$

$$Perimetro_{ext} = 24.13 [m]$$

De lo anterior podemos decir que se requiere una longitud efectiva de 24.13 [m] para el acero principal exterior, considerando que utilizamos varillas de 12 [m] de longitud y los traslapes de proyecto son de 0.77 [m], tenemos que la longitud efectiva que podemos cubrir con cada varilla es de 11.23 [m], utilizando dos varillas cubrimos una longitud de 22.46 [m], para poder cubrir el perímetro efectivo de 24.13 [m], requerimos 1.67 [m] adicionales, si a estos sumamos la longitud del traslape de 0.77 [m], tenemos que la longitud de la tercer varilla será de 2.44 [m]. Esto se resume en la siguiente tabla:

Longitud requerida [m]		Longitud de traslape [m]		Longitud necesaria [m]
11.23	+	0.77	=	12.00
11.23	+	0.77	=	12.00
1.67	+	0.77	=	2.44
24.13	+	2.31	=	26.44



El acero principal exterior se colocará @23 [cm] para obtener el número de secciones en sentido longitudinal se divide la longitud total del avance entre la separación de 23[cm] y se le suma una sección de arranque.

$$secciones_{acero\ exterior} = \frac{360.586\ m}{0.23\ m} + 1$$

$$secciones_{acero\ exterior} = 1,569\ secciones$$

Después se obtiene la longitud total de varillas requeridas multiplicando el número de secciones por la longitud necesaria por sección.

$$Longitud_{total} = 1,569 * 26.44\ [m]$$

$$Longitud_{total} = 41,484.36\ m$$

ACERO PRINCIPAL INTERIOR

De forma similar, primero se calcula el perímetro efectivo del acero transversal interior, considerando un recubrimiento de 5 [cm], y que se trata de varilla #6 (3/4") de 1.905 [cm] de diámetro. Por lo cual el diámetro

y perímetro interior se calcula sumando al diámetro interior del revestimiento definitivo del túnel que es de 7.00 [m] más el recubrimiento a ambos lados y la mitad del diámetro de la varilla del #6, de la siguiente manera:

$$Diametro_{ext} = 7.00 + 0.05 + 0.05 + \frac{0.01905}{2} + \frac{0.01905}{2}$$

$$Diametro_{ext} = 7.12 \text{ [m]}$$

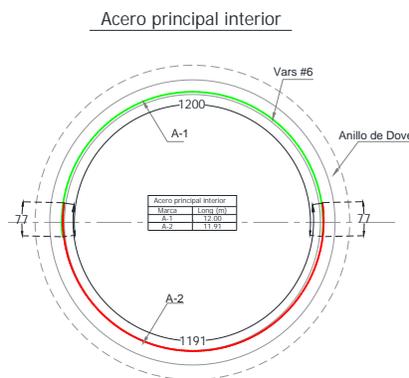
$$Perimetro_{ext} = \pi * Diametro_{ext}$$

$$Perimetro_{ext} = 3.1416 * 7.12 \text{ [m]}$$

$$Perimetro_{ext} = 22.37 \text{ [m]}$$

De lo anterior podemos decir que se requiere una longitud efectiva de 22.37 [m] para el acero principal interior, considerando que utilizamos varillas de 12 [m] de longitud y los traslapes de proyecto son de 0.77 [m], tenemos que la longitud efectiva que podemos cubrir con cada varilla es de 11.23 [m], utilizando dos varillas cubrimos una longitud de 22.46 [m], por lo cual de la segunda varilla sólo requerimos que tenga una longitud de 11.91 [m], ya considerando los traslapes. Esto se resume en la siguiente tabla:

Longitud requerida [m]		Longitud de traslope [m]		Longitud necesaria [m]
11.23	+	0.77	=	12.00
11.14	+	0.77	=	11.91
22.37	+	1.54	=	23.91



El acero principal interior se colocará @11.5 [cm], para obtener el número de secciones en sentido longitudinal se divide la longitud total del avance entre la separación de 11.5 [cm] y se le suma una sección de arranque.

$$secciones_{acero\ exterior} = \frac{360.586 \text{ m}}{0.115 \text{ m}} + 1$$

$$secciones_{acero\ exterior} = 3,137 \text{ secciones}$$

Después se obtiene la longitud total de varillas requeridas multiplicando el número de secciones por la longitud necesaria por sección.

$$Longitud_{total} = 3,137 * 23.91[m]$$

$$Longitud_{total} = 75,005.67 \text{ m}$$

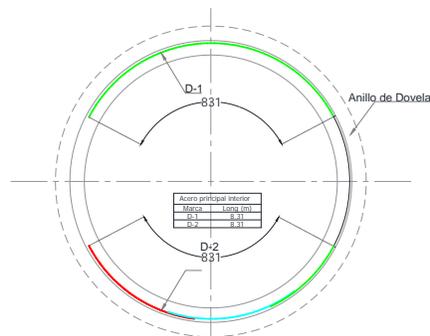
BASTONES EXTERIORES

Los bastones exteriores como interiores se colocarán en clave y cubeta de la sección del revestimiento definitivo del túnel. Los bastones exteriores tendrán una longitud de 8.31 [m] tanto en clave como en cubeta, se colocarán 3 elementos completos y uno compuesto por el sobrante de los tres anteriores, los cuales quedarán alternados en la zona de clave y cubeta.

Bastón de un solo elemento	
Longitud de varilla	12.0 [m]
Longitud de bastón exterior	8.31 [m]
Longitud sobrante	3.69 [m]

Bastón compuesto				
Longitud requerida [m]	+	Longitud de traslape [m]	=	Longitud necesaria [m]
2.92	+	0.77	=	3.69
2.92	+	0.77	=	3.69
2.47	+		=	2.47
8.31	+	1.54	=	9.85

Bastones exteriores



Por lo cual en cada sección la longitud de varilla necesaria para los bastones exteriores es la suma del bastón de un solo elemento de varilla más el bastón compuesto. Es decir:

$$L_{bastón\ exterior} = 8.31 \text{ m} + 9.85 \text{ m} = 18.16 \text{ m}$$

Los bastones exteriores se colocarán @23 [cm], para obtener el número de secciones en sentido longitudinal se divide la longitud total del avance entre la separación de 23 [cm] y se le suma una sección de arranque.

$$secciones_{bastones\ exteriores} = \frac{360.586\ m}{0.23\ m} + 1$$

$$secciones_{bastones\ exteriores} = 1,569\ secciones$$

Después se obtiene la longitud total de varillas requeridas multiplicando el número de secciones por la longitud necesaria para una sección de bastones exteriores.

$$Longitud_{total} = 1,569 * 18.16\ [m]$$

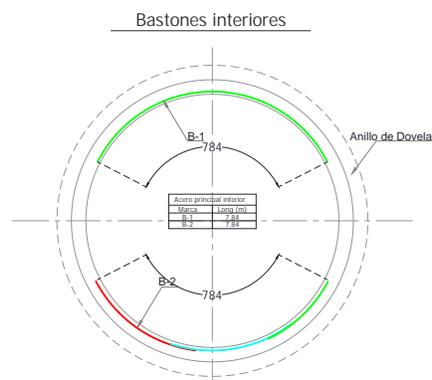
$$Longitud_{total} = 28,493.04\ m$$

BASTONES INTERIORES

Los bastones interiores tendrán una longitud de 7.84 [m] tanto en clave como en cubeta, se colocarán 3 elementos completos y uno compuesto por el sobrante de los tres anteriores, los cuales quedarán alternados en la zona de clave y cubeta.

Bastón de un solo elemento	
Longitud de varilla	12.0 [m]
Longitud de bastón interior	7.84 [m]
Longitud sobrante	4.16 [m]

Bastón compuesto				
Longitud requerida [m]	+	Longitud de traslape [m]	=	Longitud necesaria [m]
3.39	+	0.77	=	4.16
3.39	+	0.77	=	4.16
1.06	+		=	1.06
7.84	+	1.54	=	9.38



$$L_{bastón\ interior} = 7.84\ m + 9.38\ m = 17.22\ m$$

Los bastones exteriores se colocarán @11.5 [cm], para obtener el número de secciones en sentido longitudinal se divide la longitud total del avance entre la separación de 11.5 [cm] y se le suma una sección de arranque.

$$secciones_{bastones\ interiores} = \frac{360.586\ m}{0.115\ m} + 1$$

$$secciones_{bastones\ interiores} = 3,137\ secciones$$

Después se obtiene la longitud total de varillas requeridas multiplicando el número de secciones por la longitud necesaria para una sección de bastones interiores.

$$Longitud_{total} = 3,137 * 17.22\ [m]$$

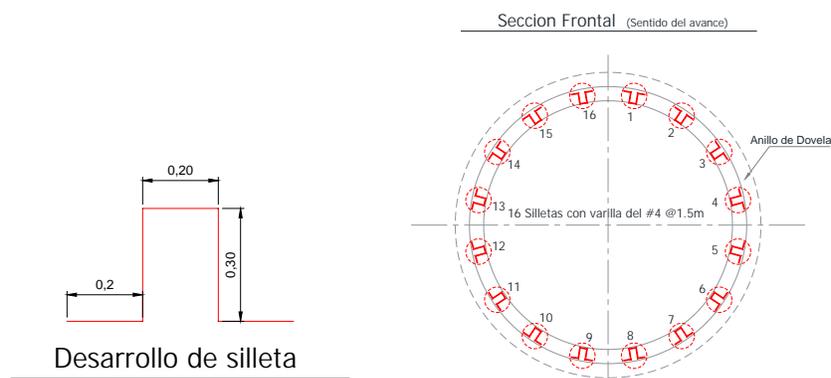
$$Longitud_{total} = 54,019.14\ m$$

SILLETAS

Se colocarán 16 silletas alrededor de toda la sección del túnel que servirán como soporte de las varillas maestras exteriores, éstas tendrán una altura de 30 centímetros y un ancho de 20 centímetros. El cálculo de la longitud de desarrollo total de la silleta es de la siguiente manera:

$$longitud_{desarrollo} = 0.20 + 0.30 + 0.20 + 0.30 + 0.20 = 1.20\ m$$

En cada sección se colocarán 16 silletas y cada sección se colocará @1.5 [m]. Para obtener el número de silletas, primero se debe obtener el número de secciones en sentido longitudinal dividiendo la longitud del avance entre la separación de 1.5 [m] más una sección de arranque, y el número de secciones por 16 silletas por sección.



$$secciones_{silletas} = \frac{360.586\ m}{1.5\ m} + 1$$

$$secciones_{silletas} = 241$$

$$Silletas = 241 * 16$$

$$Silletas = 3,856$$

Después se obtiene la longitud total de varillas requeridas multiplicando el número de silletas por la longitud de desarrollo de cada silleta.

$$longitud_{total} = 3,856 * 1.20 \text{ m}$$

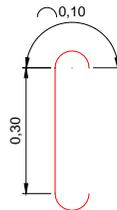
$$longitud_{total} = 4,627.20.00 \text{ m}$$

GRAPAS

Se colocarán 9 grapas en 4 zonas de cada sección longitudinal del revestimiento definitivo del túnel, sumando en total, 36 grapas. La longitud de desarrollo total de cada grapa es la siguiente:

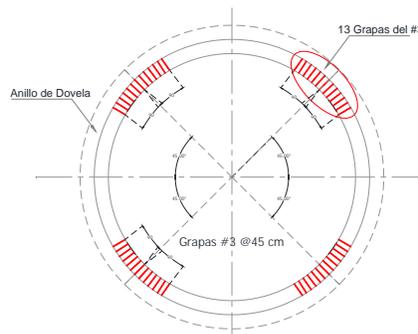
$$longitud_{desarrollo} = 0.17 + 0.26 + 0.17 = 0.60 \text{ m}$$

Cada sección de grapas se colocará @46 [cm]. Para obtener el número de grapas que se colocarán, primero se debe obtener el número de secciones en sentido longitudinal que se tendrán, dividiendo la longitud del avance entre la separación de 46 [cm] más una sección de arranque. Una vez obtenido el número de secciones se debe multiplicar por 36 grapas por sección.



Desarrollo de grapa

Seccion Frontal (Sentido del avance)



$$secciones_{grapas} = \frac{360.586 \text{ m}}{0.46 \text{ m}} + 1$$

$$secciones_{grapas} = 785$$

$$grapas = 785 * 36$$

$$grapas = 28,260$$

Después se obtiene la longitud total de varillas requeridas multiplicando el número de grapas por la longitud de desarrollo de cada grapa.

$$longitud_{total} = 28,260 * 0.60 \text{ m}$$

$$longitud_{total} = 16,956.00 \text{ m}$$

ACERO LONGITUDINAL

VARILLAS MAESTRAS EXTERIORES

Para las varillas maestras tanto interiores como exteriores se consideraran traslapes de 69 [cm], por lo cual tomando varillas de 12 [m] de longitud, sólo se consideran 11.31 [m] para poder cubrir la longitud del avance de 360.586 [m]. Para obtener el número de piezas dividimos la longitud total del avance entre la longitud efectiva por varilla de 11.31 [m] y obtenemos el número de piezas parciales y después obtenemos la longitud de la última varilla para completar la longitud total de avance. De la siguiente manera:

$$Piezas\ parciales = \frac{360.586 \text{ m}}{11.31 \text{ m}}$$

$$Piezas\ parciales = 31$$

$$longitud_{efectiva} = 31 * 11.31 \text{ m}$$

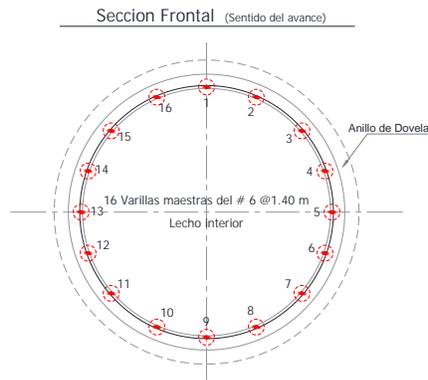
$$longitud_{efectiva} = 350.61 \text{ m}$$

$$longitud_{ajuste} = 360.586 \text{ m} - 350.61 \text{ m}$$

$$longitud_{ajuste} = 9.976 \text{ m}$$

Finalmente calculamos la longitud de varilla necesaria para poder cubrir la longitud del avance considerando traslapes de 69 [cm], sabiendo que se utilizarán 31 varillas completas de 12 [m] y una varilla de 9.976 [m], lo cual se muestra en la siguiente tabla:

Varillas Maestras				
Longitud requerida [m]	+	Longitud de traslape [m]	=	Longitud necesaria [m]
31 x 11.31	+	31 x 0.69	=	31 x 12.00
1 x 9.976	+		=	1 x 9.976
360.586	+	20.70	=	381.976



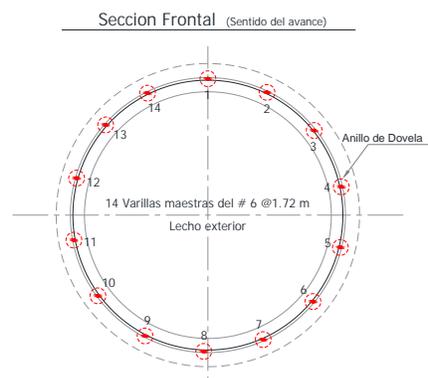
Por lo tanto, la longitud de varilla requerida para cubrir la longitud del avance con una varilla maestra es de 381.976 [m]. Ahora se multiplica por el número de varillas maestras exteriores que se colocarán en la sección transversal que en el caso de las maestras exteriores, son 14, obtenido así la longitud total de maestras exteriores.

$$longitud_{total} = 14 * 381.976 \text{ m}$$

$$longitud_{total} = 5,347.66 \text{ m}$$

VARILLAS MAESTRAS INTERIORES

Para el caso de las varillas maestras interiores, la longitud requerida para una varilla maestra que cubra todo el avance también es de 381.976 [m]. Multiplicando por el número de varillas maestras interiores que se colocarán en la sección transversal que en este caso son 16 se obtiene la longitud total de maestras interiores.



$$longitud_{total} = 16 * 381.976 \text{ m}$$

$$longitud_{total} = 6,111.62 \text{ m}$$

Finalmente para cuantificar la cantidad de acero en toneladas que se estimarán en este avance y a su vez el volumen en metros cúbicos que se descontaran al volumen de concreto; se deben multiplicar las longitudes de acero por la masa nominal en kg/m para obtener la cantidad de toneladas de acero, además para obtener el volumen de acero se debe multiplicar la longitud por el área de la sección de la varilla que corresponda. Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

CONCEPTO	LONGITUD	NÚMERO DE VARILLA	MASA NOMINAL [KG/M]	AREA SECCIÓN TRANSVERSAL [M2]	VOLUMEN [M3]	CANTIDAD [TON]
Acero principal exterior	41,484.36	#6	2.235	0.000285	11.823	92.717
Acero principal interior	75,005.67	#6	2.235	0.000285	21.377	167.637
Bastones exteriores	28,493.04	#6	2.235	0.000285	8.121	63.681
Bastones interiores	54,019.14	#6	2.235	0.000285	15.395	120.732
Silletas	4,627.20	#4	0.994	0.000127	0.588	4.599
Grapas	16,956.00	#3	0.560	0.000071	1.204	9.495
Maestras exteriores	5,347.66	#6	2.235	0.000285	1.524	11.952
Maestras interiores	6,111.62	#6	2.235	0.000285	1.742	13.659
TOTALES=					61.774	484.472

Por lo tanto la cantidad de acero que se estimara para este avance es de:

$$Cantidad_{Acero} = 484.472 \text{ toneladas}$$

Además el volumen de acero que se debe descontar del volumen de concreto para el revestimiento del túnel es de:

$$V_{acero} = 61.744 \text{ m}^3$$



Habilitado de acero de refuerzo del revestimiento definitivo del túnel. Fuente: ICA

El precio unitario del acero incluía:

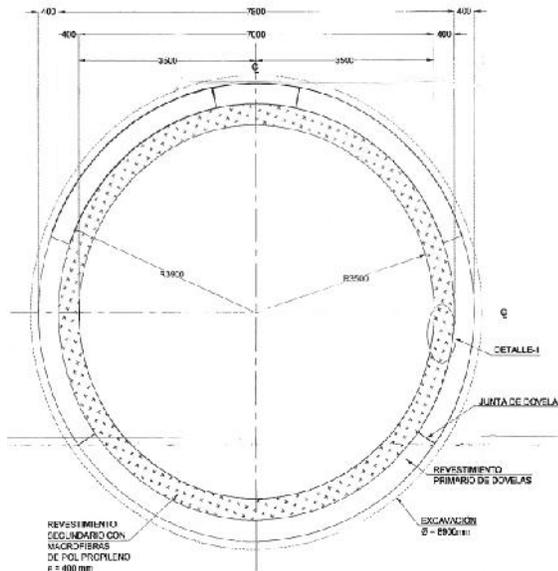
- Materiales puestos en obra
- Obra falsa
- Mano de obra y materiales
- 3% por concepto de descalibre

No se incluyen traslapes, ganchos, escuadras, maestras ni conectores.

Fabricación y colocación de concreto

La fabricación y colocación del concreto para su estimación se calcula en metros cúbicos [m³]. Al igual que en el caso de la cimbra, se considera la longitud total de los colados realizados en el periodo que se pretenda estimar. Para el ejemplo el avance es de 360.586 [m].

Por lo cual, para obtener el volumen de concreto, se debe multiplicar el área de la sección transversal del revestimiento definitivo por la longitud de los colados comprendidos. Para obtener el área de la sección transversal, se calcula la diferencia de áreas de un circunferencia con diámetro de 7.80 metros, siendo este el diámetro exterior del revestimiento definitivo menos al área con diámetro de 7.00 metros el cual es el diámetro interior del revestimiento definitivo del túnel.



Detalle del espesor del revestimiento definitivo del túnel

Cálculo del área con diámetro exterior de 07.80 [m]

$$A = \frac{\pi}{4} D^2$$

$$A = \frac{\pi}{4} 7.80 \text{ m}^2$$

$$A = 47.784 \text{ m}^2$$

Cálculo del área con diámetro interior de 07.00 [m]

$$A = \frac{\pi}{4} D^2$$

$$A = \frac{\pi}{4} 7.00 \text{ m}^2$$

$$A = 38.485 \text{ m}^2$$

Diferencia de áreas

$$A_{\text{sección}} = 47.784 \text{ m}^2 - 38.485 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{sección}} = 9.299 \text{ m}^2$$

Cálculo de volumen de concreto

$$V_{\text{concreto}} = AL$$

$$V_{\text{concreto}} = 9.299 \text{ m}^2 * 360.586 \text{ [m]}$$

$$V_{\text{concreto}} = 3,353.09 \text{ m}^3$$

Volumen de concreto final

$$V = V_{\text{concreto}} - V_{\text{acero}}$$

$$V = 3,353.09 \text{ m}^3 - 61.74 \text{ m}^3$$

$$V = 3,291.35 \text{ m}^3$$

Por lo cual, en este periodo la cantidad a estimar por el concepto de fabricación y colocación de concreto en este periodo para el revestimiento definitivo del túnel en el subtramo de la lumbra 17 a la lumbra 18 es de 3,291.35 [M3].



Fabricación de concreto en superficie en L-17. Fuente: ICA



Bajada y recepción de concreto en fondo de lumbra. Fuente: ICA



Utilización de Carros "Moran" para el transporte del concreto. Fuente: ICA



Colocación del concreto dentro de la cimbra por medio del Snorkell. Fuente: ICA

Para que un colado pudiera llevarse a cabo era necesario que la supervisión diera su visto bueno, por lo cual debía realizarse una liberación del colado en la cual debía quedar establecido que se cumplía entre otras cosas con la verificación topográfica, separación del acero de refuerzo, limpieza de la zona de colado y se contaba con vibradores, bombas de concreto, carros moran, locomotoras, ollas revoladoras y sopladores de cemento.

En el **ANEXO 5** se muestra la liberación del colado No. 11 en el subtramo L17 a L18.

El precio unitario incluye:

- Incorporación de Macrofibras sintéticas de polipropileno.
- Incorporación de aditivos reductores de agua y fluidificantes.

- Recepción de la mezcla en el fondo de lumbrera.
- Bombeo hasta el punto de colocación en la cimbra, vibrado y curado.
- Tuberías de bombeo, vías, mano de obra, equipo y herramienta.

V. Conformación de estimaciones de obra pública

Fundamento legal de las estimaciones de obra pública

En el Reglamento de la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las mismas se define a una estimación de obra pública de la siguiente manera:

Estimación: la valuación de los trabajos ejecutados en un periodo determinado presentada para autorización de pago, en la cual se aplican los precios, valores o porcentajes establecidos en el contrato en atención a la naturaleza y características del mismo, considerando, en su caso, la amortización de los anticipos, los ajustes de costos, las retenciones económicas, las penas convencionales y las deducciones; así como, la valuación de los conceptos que permitan determinar el monto de los gastos no recuperables.

Además se menciona que los documentos que deben acompañar a una estimación son, entre otros, los siguientes:

- I. Números generadores;
- II. Notas de Bitácora;
- III. Croquis;
- IV. Controles de calidad, pruebas de laboratorio y fotografías;
- V. Análisis, cálculo e integración de los importes correspondientes a cada estimación;
- VI. Avances de obra, tratándose de contratos a precio alzado, y
- VII. Informe del cumplimiento de la operación y mantenimiento conforme al programa de ejecución convenido, tratándose de amortizaciones programadas.

La Ley de Obras Públicas nos dice en el artículo 53 que la responsable de la aprobación de las estimaciones presentadas por el contratista será la residencia de obra, la cual deberá recaer en un servidor público designado por la dependencia o entidad. De la misma manera, el artículo 113, Fracción IX nos dice que es función de la residencia autorizar las estimaciones, verificando que cuenten con los números generadores que las respalden. El artículo 114 nos dice que cuando las características, complejidad y magnitud de los trabajos el residente podrá auxiliarse por una supervisión bajo contrato, siendo funciones de esta: Revisar las estimaciones para efectos de que la residencia las autorice, firmarlas oportunamente para su trámite de pago, así como comprobar que dichas estimaciones incluyan los documentos de soporte respectivo

También, acerca de las estimaciones, la Ley nos dice lo siguiente:

Artículo 54.- Las estimaciones de los trabajos ejecutados se deberán formular con una periodicidad no mayor de un mes. El contratista deberá presentarlas a la residencia de obra dentro de los seis días naturales siguientes a la fecha de corte para el pago de las estimaciones que hubiere fijado la dependencia o entidad

en el contrato, acompañadas de la documentación que acredite la procedencia de su pago; la residencia de obra para realizar la revisión y autorización de las estimaciones contará con un plazo no mayor de quince días naturales siguientes a su presentación. En el supuesto de que surjan diferencias técnicas o numéricas que no puedan ser autorizadas dentro de dicho plazo, éstas se resolverán e incorporarán en la siguiente estimación.

Las estimaciones por trabajos ejecutados deberán pagarse por parte de la dependencia o entidad, bajo su responsabilidad, en un plazo no mayor a veinte días naturales, contados a partir de la fecha en que hayan sido autorizadas por la residencia de la obra de que se trate y que el contratista haya presentado la factura correspondiente.

Funciones del área de estimaciones

El área de estimaciones en la empresa Ingenieros Civiles Asociados dentro del proyecto del Túnel Emisor Oriente es dirigida por un **Coordinador de Estimaciones** de los **Tramos I, II y V** los cuales son los tramos construidos por **ICA**, quien dirige a un equipo de colaboradores, de los cuales una parte están asignados a los Tramos I y II y la otra parte al Tramo V.

En ambos tramos, los dos equipos tienen la misión de realizar la integración y conciliación de los generadores y las estimaciones de obras, así como de dar seguimiento y realizar los trámites de las estimaciones.

La integración de generadores y estimaciones de obra consiste en primer lugar en la cuantificación de los avances de obra realizados en un periodo determinado, así como la integración de los croquis de localización del avance y los reportes fotográficos de los trabajos; como soportes del generador se incluían todos los documentos que avalan la correcta realización de los trabajos conciliados con la supervisión y los certificados de calidad de los materiales utilizados.

Los generadores y las estimaciones de obra son revisados por la supervisión, cuando existen discrepancias sobre las cantidades, métodos de cuantificación, documentos que avalen los trabajos, reportes en campo, conceptos de los precios unitarios, etc.; se realizan conciliaciones entre contratista y supervisión para llegar a un acuerdo sobre la información, en esta parte es muy importante que los integrantes del área de estimaciones tengan conocimiento sobre los procesos constructivos en el proyecto, temas de ingeniería, conocimiento de la Ley de Obras Públicas y temas contractuales del proyecto, para que así puedan defender lo presentado a la supervisión.

Una vez aprobados los generadores por la supervisión LY TSA, se devolvían a la contratista para conformar y dar trámite y seguimiento a la estimación. La conformación de la estimación se realizaba con todos los generadores que ya habían sido revisados por la supervisión de campo. Una vez conformada la estimación se entregaba a la supervisión DIRAC quien era la encargada de la revisión de la misma, cuando esta supervisión aprobaba lo contenido en la estimación se entregaba a CONAGUA para la autorización de pago.

Un concepto importante es el de la **obra ejecutada no estimada**, la cual son todos aquellos avances de obra que ya se realizaron físicamente pero de los cuales no se ha presentado la valuación de esos trabajos por parte de la contratista para su autorización de pago, como ya se mencionó, dicha valuación de los trabajos se realiza por medio de la elaboración de un generador de ese avance de obra y su presentación a la supervisión para su revisión y su posterior integración a una estimación. Cuando los trabajos ya se encuentran valorados dentro de una estimación se considera como **obra ejecutada estimada**.

La importancia de que los trabajos de obra ejecutados se encuentren prontamente estimados radica en que la contratista puede obtener ingresos en el corto plazo y así cumplir con el objetivo principal que persigue toda empresa que es el de obtener ganancias.

En pocas palabras, **el objetivo principal del área de estimaciones es el de reducir el volumen de la obra ejecutada no estimada para que la constructora obtenga ingresos por los trabajos de obra realizados**.

En el periodo comprendido entre los meses de enero y julio de 2019, la gran mayoría de los trabajos se desarrollaban en el Tramo V, siendo la principal función del equipo de *estimaciones* la de integrar los generadores de los trabajos realizados en los frentes en las Lumbreras 17, 18, 19 y 20, principalmente los trabajos de excavación con tuneladora y el revestimiento definitivo del túnel, además de todos los trabajos complementarios a estos.

El área de estimaciones dentro del proyecto



El área de estimaciones interrelacionada con todas las demás áreas del proyecto

Como se muestra en la figura anterior al área de *estimaciones* se apoya en todas las demás áreas operativas de la empresa para la realización de sus objetivos, para obtener la información necesaria para la elaboración de los generadores y los documentos de soporte de los mismos. A continuación se mencionaran algunos ejemplos del tipo de información que recibe el área de *estimaciones* de las otras áreas.

En el caso del área de *ingeniería*, el área de estimaciones recibe información referente a las caracterizaciones geológicas y geotécnicas del sitio donde se está excavando, esto es relevante debido a que la excavación en roca, suelo o material mixto tienen precios unitarios distintos entre sí para su cobro. Además el área de ingeniería era responsable de la elaboración del proyecto y a partir de ello los planos para su construcción, a partir de los planos se podían cuantificar cantidades de obra y de materiales con los cuales se podían realizar la estimación en los generadores.

Del área de *laboratorio* se obtienen información referente a las pruebas de resistencia del concreto utilizado para el revestimiento definitivo del túnel a los 7, 14, 21 y 28 días; además de las pruebas a las varillas de acero, de las cuales se debía realizar una prueba por cada 10 toneladas de acero colocadas. Esta información es importante anexarla como soporte de los generadores de concreto debido a que de no cumplirse las resistencias de proyecto, podría llevar a que los trabajos fueran penalizados o no pagados por parte de CONAGUA.

Durante la excavación del túnel, las maquinas tuneladoras funcionaban bajo ciertos parámetros establecidos, los cuales eran sugeridos por el fabricante, de estos parámetros dependía la cantidad de aditivos (grasas) que consumía la maquina durante la excavación, a su vez estas grasas se cobraban respetando los parámetros máximos, si se colocaba mayor cantidad de lo permitido, este excedente no se pagaba, por lo cual era importante conocer esos límites máximos de consumo. Toda la información referente a las tuneladoras era proporcionada por el área de *maquinaria*.

Topografía era una de las áreas con las que mayor intercambio de información se tenía, debido a que ellos contaban con los planos de referencia y croquis de los avances correspondientes que se anexaban a los generadores, además de toda la información sobre cadenamientos y longitudes de avance, que era el principal elemento para cuantificar los avances de obra.

La información generada por el área de *construcción* era, por obvias razones, de suma importancia para documentar los avances de obra que se pretendían estimar. Durante la excavación, se generaban reportes por cada uno de los anillos excavados, en los cuales aparecía la cantidad de materiales utilizados para la excavación y colocación de cada anillo, estas cantidades a su vez se cuantificaban para su posterior cobro al final del periodo. Durante el revestimiento definitivo del túnel, para que cada colado se pudiera realizar, se requería de una “liberación de colado” por parte de la supervisión. Esta información era necesaria a la hora de estimar la realización de un colado.

El área de *fletes y acarreos* nos proporcionaba la información del número de viajes y los volúmenes de cada uno de ellos sobre el acarreo del material producto de excavación de la zona de obra hacia el banco de tiro determinado. Esta información era necesaria para poder comprobar que el material era depositado en el

sitio correcto y así poder pagar sus servicios a los camiones y el pago de regalías al sitio de tiro, que en un inicio cubría la empresa.

Algunas ocasiones, para poder comprobar que un trabajo fue realizado y dado que no existía un documento formal que ampara ese trabajo, era necesario una nota de bitácora avalada por la supervisión para corroborar que dicho trabajo fue ejecutado. También cuando se decía hacer cambios en el proyecto, se realizaban minutas en donde estaban de acuerdo todas las partes: contratista, supervisión y residencia. El área de *bitácoras y minutas* posee todas las notas de bitácoras desde el inicio del proyecto y eran ellos quienes nos proporcionaban dicha información.

Dadas las condiciones del contrato, regido sobre la base de precios unitarios, era necesario, para el cobro de cada trabajo tener un precio que multiplicado por la cantidad en las respectivas unidades de cada trabajo, nos arrojara un importe a estimar. Debido a que la construcción del túnel se hizo a la par del proyecto ejecutivo, muchos de los trabajos necesarios para la culminación de la obra no estaban contemplados en el catálogo de conceptos inicial, por lo cual se debían elaborar precios unitarios extraordinarios, todos debían ser aprobados por la CONAGUA incluso cuando ya había sido completamente terminados dichos trabajos. El análisis de esta información era tarea del área de *precios unitarios*.

Elementos que integran a un generador

En este apartado se muestra un ejemplo de la estructura de un generador de obra para estimación. Para ejemplificar se muestra el generador para los trabajos de **“fabricación y colocación de concreto hidráulico para el revestimiento definitivo del túnel”** que corresponde al avance del colado 11 al colado 16 del subtramo L-17 a L-18 en el periodo del 14 al 28 de junio de 2019. En el encabezado del lado izquierdo se muestran los datos de la dependencia gubernamental encargada (**CONAGUA**) y del lado derecho los de la contratista (**COMISSA**). También aparece el nombre común del proyecto **“Túnel Emisor Oriente”** y la especificación de que se trata de un *generador para estimaciones*.

Más abajo, dentro de un recuadro aparece el nombre oficial del proyecto, el número de contrato y la numeración de las páginas que contiene el generador. Debajo del encabezado aparecen datos de la **lumbrera** en la que se realizaron los trabajos que se están estimando en el generador así como el **periodo de ejecución** de los mismos. Además de una descripción breve de la actividad que se está estimando.

En la portada del generador, como la que se muestra en la imagen, se muestran datos como el **número de oficio** de autorización del precio unitario, la **clave** del precio unitario, la **descripción**, la **unidad** de medición correspondiente, la **cantidad** que ampara el generador en las respectivas unidades y **observaciones** si las hubiera que aclaren cuestiones específicas sobre el generador.

En la parte inferior todas las hojas del generador deben ser firmadas por alguna de las personas facultadas por la contratista para firmar en su representación los generadores de obra, además de la firma del **Supervisor** quien revisa y avala la estimación de los trabajos que ampara el generador. En el último recuadro abajado a la derecha debe firmar el responsable de **CONAGUA** quien finalmente autoriza el pago de los trabajos.

TÚNEL EMISOR ORIENTE
ANEXO GENERADORES PARA ESTIMACIONES

PROYECTO: "ELABORACIÓN DEL PROYECTO EJECUTIVO Y LA CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL EMISOR ORIENTE LOCALIZADO EN EL DISTRITO FEDERAL, ESTADO DE MÉXICO, DENTRO DE LA CUENCA DEL VALLE DE MÉXICO Y EN EL ESTADO DE HIDALGO"	GENERADOR N°: PERIODO: CONTRATO: SGAPDS-GH-P-DFMEX-HGO-08-008-RF-AD	HOJA: 1 DE 8
--	---	--------------

RESUMEN DE PARTIDA L-17 a L-18

Periodo de ejecución del 14 al 28 de Junio de 2019

COLOCACIÓN DE CONCRETO PARA EL REVESTIMIENTO DEFINITIVO DEL TÚNEL SUBTRAMO L-17 AL KM 42+670.00

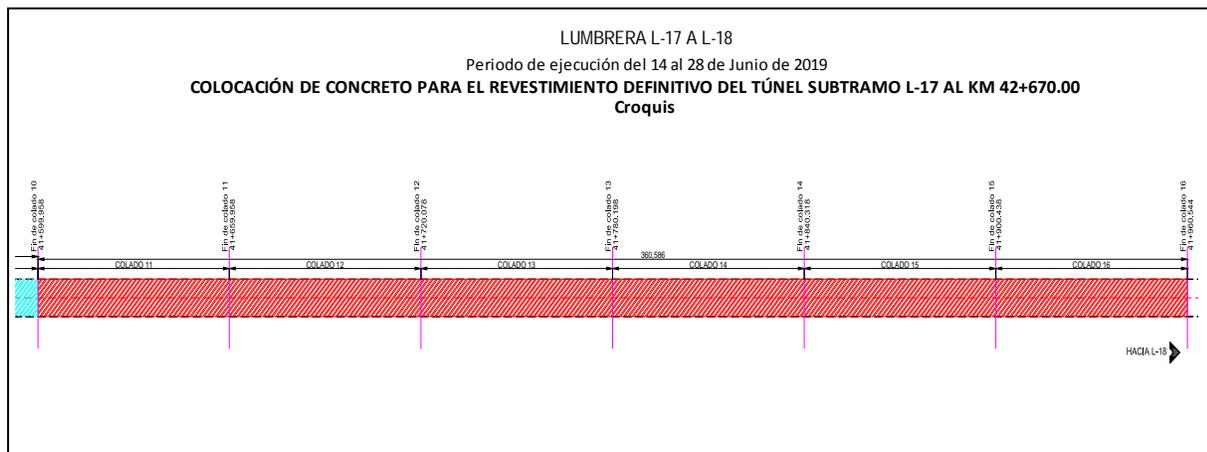
Num. de oficio	Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Observaciones
B00.12.03.-557/2015	EXT-954	Fabricación y colocación de concreto hidráulico con resistencia a la compresión $f_c=350$ kg/cm ² , incorporando 5 kg de macrofibras sintéticas de polipropileno (MasterFiber MAC Matrix de BASF o similar) por metro cúbico de concreto, para el revestimiento definitivo del túnel de la lumbrera L6 hasta el portal de salida; fabricado en planta de elaboración de concreto con mezclador central, utilizando cemento tipo CPO 30 R RS BRA, CPO-40-RS o CPC-40-RS resistente a los sulfatos (RS) que cumplan con la norma NMX-C414-CNNCCE-2004, con una relación A/C de 0.45 como máximo, TMA de 19 mm, aditivos reductores de agua o fluidificantes (Mastersure Z90 y Master Glenium 3035 de BASF o similares) para colocarlo con un revenimiento medido en bomba de entre 18 ± 4 cm; y en general que cumpla con el resultado de bombeabilidad y permanencia del concreto con macrofibras de polipropileno de las pruebas realizadas a partir de los lineamientos generales proporcionados por CONAGUA. Incluye: planta de concreto con mezclador central para el correcto mezclado de la fibra; bajada y recepción de la mezcla en fondo de lumbrera; transporte del concreto mediante bombeo en los primeros metros hasta el punto de colocación en cimbra; vibrado y curado; calidad de los agregados y agua según las normas NMX C-111 (agregados) y NMX C-122 (agua); tuberías para bombeo, vías, mano de obra, equipo y herramienta. La unidad de medida será el metro cúbico medido a líneas de proyecto.	M3	3,293.59	REVESTIMIENTO DEFINITIVO DEL TÚNEL TRAMO L-17 A L-18

PLANO DE REFERENCIA
TEO-5-L17a42+670-BT-RD-OPT-PL-001a

ELABORÓ SUPERINTENDENTE CONSTRUCCIÓN	REVISÓ SUPERVISIÓN LYTSA	
---	-----------------------------	--

Portada de generador

Después de la portada se encuentran el resto de las hojas del generador, generalmente la hoja siguiente a la portada se coloca un croquis donde se señala el avance que se está estimando, en este caso con los cadenamientos al inicio y al final de cada uno de los seis colados que se presentan en este generador.



Croquis del avance que respalda el generador

En las hojas siguientes se coloca la memoria de cálculo para la cuantificación de la cantidad de obra que se está presentando en el generador. En este caso se puede ver que se calcula el volumen de concreto colocado a lo largo del avance, del inicio del colado 11 al final del colado 16.

LUMBRERA L-17 A L-18
 Periodo de ejecución del 14 al 28 de Junio de 2019
COLOCACIÓN DE CONCRETO PARA EL REVESTIMIENTO DEFINITIVO DEL TÚNEL SUBTRAMO L-17 AL KM 42+670.00
 Cálculo del volumen de concreto

Cálculo de el área con el diámetro de 7.80 m

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 \quad A = \frac{3.1416}{4.00} (7.80)^2 = 47.783736 \approx 47.784 \text{ m}^2$$

Calculo de el área con el diámetro de 7.00 m

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 \quad A = \frac{3.1416}{4.00} (7.00)^2 = 38.484510 \approx 38.485 \text{ m}^2$$

Diferencia de áreas

$$A_{\text{Real}} = 47.784 - 38.485 = 9.299 \text{ m}^2$$

Cálculo de volumen

Volumen = 9.299 x 360.586 = 3353.089

Vol. de acero 360.586 m x 0.165 m³ =

Volumen final de concreto = 3353.09 - 59.50 = 3293.59 m³.

Cuantificación de la cantidad del generador

Finalmente se debe colocar un reporte fotográfico de todas las actividades que contiene el concepto del precio unitario.

REPORTE FOTOGRAFICO

LUMBRERA L-17 A L-18
 Periodo de ejecución del 14 al 28 de Junio de 2019
COLOCACIÓN DE CONCRETO PARA EL REVESTIMIENTO DEFINITIVO DEL TÚNEL SUBTRAMO L-17 AL KM 42+670.00

2.- Planta de concreto con mezclador central.

3.- Bajada y recepción de mezcla en el fondo de la lumbreira.

Reporte fotográfico en generadores

Proceso de conformación de una estimación

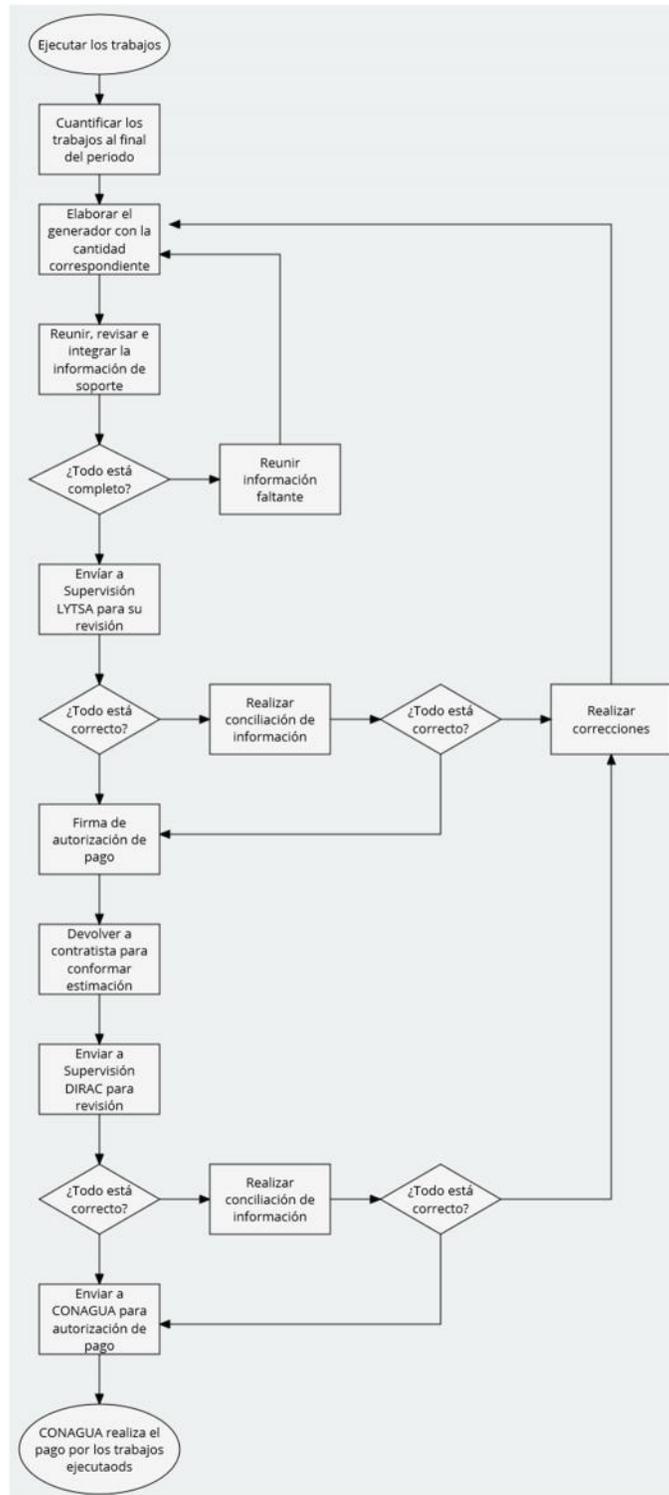


Diagrama de flujo del proceso de una estimación de obra

El primer paso para poder realizar la estimación de los trabajos, es obviamente la ejecución de esos trabajos. Una vez terminado el periodo del cual se realiza la estimación de los trabajos, por poner un ejemplo, del día 14 al día 28 de un determinado mes, se deben cuantificar los trabajos de esa actividad que se realizaron en el periodo, en las respectivas unidades autorizadas por el precio unitario. Se elabora el generador con la cuantificación de los trabajos y se reúne, revisa y anexa toda la información que sirve como soporte de la realización de los trabajos.

Una vez que el generador está completo, se entrega a la supervisión LY TSA, quien cuenta con dos días naturales para revisar la información y las cantidades antes de regresar a la contratista, para realizar correcciones si fuera necesario o conciliar información que debiera aclararse; si toda la información está completa y los trabajos se ejecutaron correctamente, el SUPERVISOR debe avalar con su firma el generador para que pueda ser integrado a la siguiente estimación.

Todos los generadores que se encuentren con la firma de la supervisión que avale su pago y correspondan al periodo de la estimación o anterior, se integran a una estimación, en donde se expresa la cantidad que avala el generador y el valor del precio unitario correspondiente por el cual se ha de multiplicar para obtener un importe. La suma de todos los importes de las distintas actividades, genera un importe total que será el que la contratista pretenderá cobrar en ese periodo. Cuando la estimación se encuentre lista, se envía a la supervisión DIRAC, quien nuevamente revisará que las cantidades e información de soporte sea correcta y se encuentre completa y de la misma manera, si existen correcciones o hubiera información faltante en algún generador, se deberá regresar este a la contratista para realizar las correcciones y/o conciliaciones correspondientes.

Existen varios status en los que se pueden encontrar los generadores antes de que se autorice su pago. Se dice que un generador ha sido **OBSERVADO** por la supervisión cuando existen errores u omisiones observadas por la supervisión y que se le notifican a la contratista. Un generador en **REVISIÓN** es aquel que se encuentra en poder de la supervisión. Aquellos generadores que ya fueron revisados por la supervisión y devueltos a la contratista para correcciones se les considera como **ATENDIENDO OBSERVACIONES**. Cuando las observaciones han sido atendidas y se entrega nuevamente a la supervisión se le considera como **SOLVENTADO Y EN ESPERA DE FIRMA**, finalmente cuando ha sido revisado por la supervisión sin ninguna observación se considera que el generador ha sido **LIBERADO**.

Si todo está correcto, la supervisión DIRAC da su visto bueno y la estimación se envía a CONAGUA para la autorización de pago. Realizados los trámites administrativos correspondientes, CONAGUA pagará a la contratista el importe de la estimación correspondiente a ese periodo.

Elementos que integran una estimación

A continuación se presenta la carátula de una estimación. En el encabezado aparece el logotipo y nombre de la dependencia de gobierno encargada (CONAGUA), además del nombre y número de contrato, el nombre de la contratista seguido del número de la estimación y el periodo de la misma, en este caso, la **Estimación No. 419** que corresponde al periodo del **16 al 31 de marzo de 2019**.



COORDINACIÓN GENERAL DE PROYECTOS ESPECIALES DE ABASTECIMIENTO Y SANFAMINTO
DIRECCIÓN GENERAL ADJUNTA DE SUPERVISIÓN DE OBRAS HIDRÁULICAS

ESTIMACIÓN N° 419 DE OBRA	<input checked="" type="checkbox"/> TRABAJOS EJECUTADOS
	DE CANTIDADES ADICIONALES O DE CONCEPTOS NO PREVISTOS EN EL CATÁLOGO ORIGINAL
	GASTOS NO RECUPERABLES
	<input checked="" type="checkbox"/> CONVENIOS
	AJUSTE DE COSTOS

CONTRATO: SGAPDS-GHP-DFMEXHGC-08-008-RF-AD	R. F. C.: CMI081014 PR3
OBRA: "ELABORACIÓN DEL PROYECTO EJECUTIVO Y LA CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL EMISOR ORIENTE LOCALIZADO EN EL DISTRITO FEDERAL, ESTADO DE MÉXICO, DENTRO DE LA CUENCA DEL VALLE DE MÉXICO Y EN EL ESTADO DE HIDALGO"	PERIODO: DF 16 AL 31 DE MARZO DE 2010
CONTRATISTA: CONSTRUCTORA MEXICANA DE INFRAESTRUCTURA SUBTERRÁNEA, S.A. DE C.V.	CENTRO DE COSTOS: NO APLICA
	TIPO DE FONDOS: NO APLICA
	CLAVE SIAFF: NO APLICA
	CLAVE INTERNA: NO APLICA
	CODIGO SIF: NO APLICA

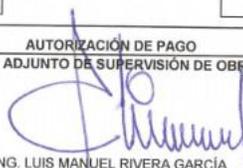
Encabezado de la carátula de la estimación

En la parte central de la carátula se aprecian los importes a considerar: en primer lugar se muestra el **importe de la estimación** que corresponde la obra ejecutada estimada antes y durante el periodo de la estimación por parte de la contratista. En seguida se encuentra la **amortización del anticipo** que corresponde a los descuentos hechos a la contratista para compensar el anticipo en dinero entregado al inicio de la obra. Más adelante se tienen las **retenciones y devoluciones**, las cuales están relacionadas con la obra ejecutada programada, es decir, según el programa de obra, en este periodo se debía tener un avance programado, si la contratista no cumple con dicho avance se realiza una retención, la cual es un porcentaje del importe de la cantidad de obra atrasada. Cuando dicho avance atrasado se realiza, se devuelve el importe retenido. El siguiente concepto es el de **inspección y vigilancia para la Secretaría de la Función Pública**, el cual se fundamenta en el artículo 191 de la Ley Federal de Derechos y establece que los contratistas de obra pública pagaran un 0.5% del importe de las estimaciones de trabajo. Finalmente se agrega el **IVA** a todos los trabajos ejecutados y se obtiene el importe a pagar por la estimación a la contratista.

RESUMEN:			
IMPORTE DE LA ESTIMACIÓN		\$	39,586,299.28
AMORTIZACIÓN DEL ANTICIPO (-)		\$	-
RETENCIONES (-)		\$	(9,250,239.99)
DEVOLUCIONES (+)		\$	11,105,345.87
INSPECCIÓN Y VIGILANCIA PARA LA SEF (-)	0.50%	\$	(207,209.78)
CÁMARA MEXICANA DE LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN (-)	0.00%	\$	
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO (I.V.A.)	10.30%	\$	6,630,712.83
IMPORTE A PAGAR DE ESTA ESTIMACIÓN		\$	47,865,468.21
IMPORTE CON LETRA:			
(CUARENTA Y SIETE MILLONES OCHOCIENTOS SESENTA Y CINCO MIL CUATROCIENTOS CINCUENTA Y OCHO PESOS 21/100 M.N.)			

Parte central de la carátula de la estimación donde aparecen los importes a cobrar

Finalmente en la parte inferior de la carátula de la estimación aparecen las firmas de quien elabora la estimación (contratista COMISSA), de quien revisó la misma (supervisión DIRAC) y de quien autorizo la estimación (residencia de obra CONAGUA). Además del lugar y fecha de presentación de la estimación.

ELABORO CONTRATISTA  ING. VÍCTOR ANDRÉS AZCONA SÁNCHEZ GERENTE DE MANEJO DE CONTRATO		REVISO  ING. ROBERTO FLORES VÁZQUEZ COORDINADOR GRAL. SUPERVISIÓN DIRAC	
AUTORIZÓ RESIDENCIA DE OBRA			
Del Tramo 1, Tramo 2 y Plantas de Dovelas NO SE PRESENTAN GENERADORES EN ESTA ESTIMACIÓN DEL TRAMO 1 Y 2 Ing. Miguel Rivera Morales		Del Tramo 3 y Tramo 4 NO SE PRESENTAN GENERADORES EN ESTA ESTIMACIÓN DEL TRAMO 3 Y 4 Ing. Mario Andrés Terrés Trejo	
Del Tramo 5 Ing. José de Jesús Lee Espinosa		Del Tramo 6 Ing. Gilberto León Martínez	
AUTORIZACIÓN DE PAGO DIRECTOR GENERAL ADJUNTO DE SUPERVISIÓN DE OBRAS HIDRÁULICAS  ING. LUIS MANUEL RIVERA GARCÍA CONAGUA			
LUGAR Y FECHA DE PRESENTACIÓN: ECATEPEC DE MORELOS, A 17 DE MAYO DE 2019.			

Pie de la carátula de la estimación con las firmas de la contratista, supervisión y residencias de obra

En las siguientes hojas que conforman la estimación, aparecen cada uno de los trabajos ejecutados que se están estimando, de los cuales deben acompañar a la estimación por los números generadores correspondientes firmados por la supervisión LY TSA. A continuación se muestra un trabajo estimado correspondiente a la Lumbrera 17 del tramo V del proyecto. De izquierda a derecha, debe aparecer la siguiente información:

- Numero de concepto del precio unitario
- Concepto o descripción de la actividad del precio unitario
- Unidad de medida en la que se cuantifica la actividad
- Cantidad de avance de obra en las unidades correspondientes, dicha cantidad debe ser la misma que se sustenta en el generador.
- Valor monetario del precio unitario
- Importe monetario que resulta de multiplicar la cantidad de avance de obra por el valor del precio unitario.

Número de concepto	Concepto	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (Del Convenio Adicional)	Importe	Notas
TRAMO V : LUMBRERA 17 - CONCEPTOS EXTRAORDINARIOS AUTORIZADOS						
EXT-1253	Avanzando sin excavar y colocando anillos en los últimos metros de túnel para la llegada de la máquina tipo EPB y equipo de rezaga por banda propiedad de CONAGUA; a la llega a L-18, subtramo L17 – L18, Tramo V, Incluye: colado de segunda etapa de cuna para ajuste, alineación y colocación de rieles para recibir tuneladora, colocación de puntales entre muro de lumbrera y cuna de arrastre para soportar los rieles, avance de la tuneladora y colocación de anillos, colocación de topes en la coraza en cada avance para evitar desplazamientos de la tuneladora, costureo interior de los últimos anillos de túnel; tuberías, cableados eléctricos, alumbrado y vías; instalación del sistema de ventilación, suministro, fabricación e inyección de mezcla para el relleno del espacio existente entre dovela y terreno natural; resane de dovelas; limpieza del túnel, energía eléctrica para la operación del equipo que proporciona la CONAGUA; la mano de obra; herramienta, material y maquinaria.	M	1.50	\$ 694,340.08	\$ 1,041,510.12	ANEXO GENERADOR FIRMADO Y FOTOS **

Cuerpo de la estimación con los conceptos presentados en los generadores de obra

Situación de las estimaciones

La primera estimación de la construcción del Túnel Emisor Oriente se realizó en el periodo del 14 al 30 de noviembre de 2008, para el periodo del 01 al 15 de mayo de 2019 se realizó la estimación número 422. Las estimaciones se presentan con una periodicidad de 15 días naturales. Según el programa de obra y los presupuestos anuales que se autorizan al proyecto por parte de la CONAGUA, en cada periodo la contratista debe realizar un determinado avance de obra al cual se tiene un presupuesto programado, si la contratista no hace uso de ese presupuesto, es decir, si las actividades programadas no se llevan a cabo en su totalidad, la contratista se hace acreedora a una sanción, que consiste en una retención como porcentaje del importe de la estimación que se está presentando.

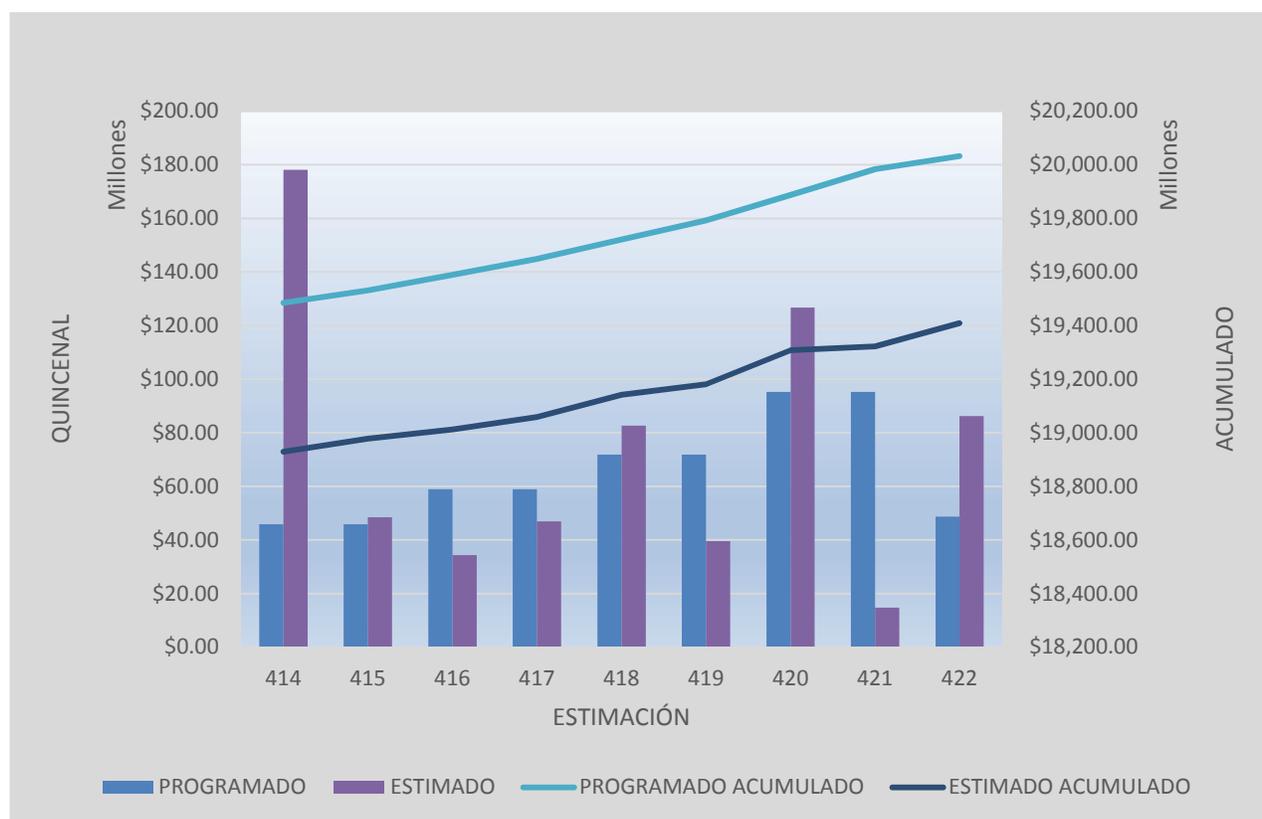
Se puede observar que en algunos periodos el importe estimado es mayor que el programado, esto se debe a que en dichos periodos se cobraron trabajos anteriores al periodo de la estimación, es decir, trabajos atrasados, lo que hace que el valor de la correspondiente estimación se eleve.

En la siguiente tabla se presentan los periodos e importes programados y estimados para las estimaciones de obra del proyecto entre los meses de enero y mayo de 2019, además se presentan los importes acumulados desde el inicio del proyecto en 2008.

Estimación No.	Periodo	Importe del periodo [mdp]		Importe Acumulado [mdp]	
		Programado	Estimado	Programado	Estimado
414	01 al 15 enero 2019	45.9	178.1	19,485	18,929
415	16 al 31 enero 2019	45.9	48.5	19,531	18,977
416	01 al 15 febrero 2019	58.9	34.4	19,590	19,012
417	16 al 28 de febrero 2019	58.9	46.9	19,649	19,059
418	01 al 15 marzo 2019	71.9	82.7	19,721	19,141
419	16 al 31 marzo 2019	71.9	39.6	19,792	19,181
420	01 al 15 abril 2019	95.3	126.7	19,888	19,308
421	16 al 30 abril 2019	95.3	14.7	19,983	19,322
422	01 al 15 mayo 2019	48.7	86.2	20,032	19,409

En la siguiente gráfica se hace un comparativo entre los importes programados y los importes estimados, tanto para cada periodo como el acumulado desde el inicio del proyecto. La diferencia entre el monto programado acumulado y el monto programado estimado representa el atraso en las obras del proyecto, el cual es del 3.11% del total de los trabajos.

Gráfica de la situación de las estimaciones del Túnel Emisor Oriente a mayo de 2019



Considerando la obra ejecutada estimada al 15 de mayo de 2019, se tiene que el consorcio constructor del Túnel Emisor Oriente ha estimado un total de 19,409 millones de pesos que dividido entre las cuatro empresas participantes; considerando que el tramo V que originalmente era responsabilidad de COTRISA y paso a manos de ICA en 2013, después de que COTRISA fuera adquirida por ICA, además el tramo VI está a cargo de dos empresas: Lombardo y Estrella. Los montos y porcentajes de participación son los siguientes:

Empresa	Importe de obra ejecutada estimada	
	mdp	%
COMISSA	19,409	100.00 %
ICA (Tramos I y II)	6,970	35.91%
CARSO (Tramos III y IV)	7,287	37.54%
ICA (Tramo V)	2,527	13.02%
Lombardo-Estrella (Tramo VI)	2,624	13.52%

En la siguiente gráfica se puede apreciar que porcentualmente la empresa ICA tuvo una participación de casi el 49% en la construcción del Túnel Emisor Oriente, siendo responsable de tres tramos del proyecto. CARSO con dos tramos participó en cerca del 38% de la construcción, mientras que la asociación entre Lombardo y Estrella tuvo cerca del 14% de la participación.



VI. Conclusiones

El poder ser parte de la empresa constructora más importante de la historia de México y una de las más importantes del Continente Americano es para mí un gran orgullo y un gran compromiso, además de ser una empresa muy ligada a nuestra Universidad debido a que sus fundadores son egresados de nuestra Facultad y siempre han existido lazos de cooperación en beneficios de las obras de infraestructura mexicanas. También tengo la fortuna de participar en uno de los proyectos de infraestructura más importantes en la historia del país como lo es la construcción del Túnel Emisor Oriente, por la magnitud de los trabajos, la complejidad y el impacto social que tendrá en las poblaciones a las que beneficiará. Tuve la fortuna de ser parte de todo esto a unos meses de concluir los créditos de la licenciatura y siendo este el primer empleo formal en la rama de la ingeniería que tengo.

El poder participar en la elaboración y conformación de generadores y estimaciones de obra me ha permitido obtener la experiencia sobre los procesos constructivos de la mayoría de los trabajos ejecutados para la construcción del TEO, como son la excavación con tuneladora y el revestimiento definitivo del túnel a base de concreto reforzado, además de todos los trabajos complementarios a estas actividades principales. Además, he podido conocer sobre los procesos de cuantificación de dichos trabajos y de la revisión y/o elaboración de los documentos que sirven para justificar la realización de los trabajos y los soportes de calidad de los materiales empleados.

Otra de las actividades que he podido realizar durante mi estancia en este proyecto donde he podido demostrar mi conocimiento en cuanto a procesos constructivos, temas de ingeniería, conocimiento de la Ley de Obras Públicas y aspectos contractuales, es la **conciliación** con la supervisión de generadores y estimaciones de obra, es decir, llegar a acuerdos con la supervisión de obra sobre las cantidades de obra presentadas en los generadores, métodos de cuantificación de los trabajos, croquis de ubicación, planos reportes fotográficos, notas de bitácora, certificados de calidad, etc.

Por otra parte, la realización de este informe de actividades profesionales me ha sido muy gratificante, ya que he podido plasmar en un trabajo escrito todo aquello que aprendí en la carrera y que postteriormente pude aplicar durante mi labor profesional en la realización de estimaciones del TEO. En este informe pude hablar sobre temas de ingeniería, procesos constructivos y métodos de cuantificación de volúmenes de obra y temas contractuales de las obras publicas lo que sin duda me resulto muy interesante dada la complejidad del proyecto en el que participé.

Esta experiencia de los últimos meses en el ámbito profesional ha sido muy gratificante y me llena de felicidad en tres formas: en primer lugar tengo la fortuna de contar con un empleo formal en la rama de la ingeniería, en segundo lugar este trabajo me ha permitido optar por la titulación de licenciatura en ingeniería civil a través de la opción de trabajo profesional y en tercer lugar, siendo que soy recién egresado de la carrera, es para mí una gran orgullo tener mi primera experiencia laboral en el ámbito de la ingeniería.

Bibliografía

- H. Congreso de la Unión (2019), *Ley de Obras públicas y Servicios Relacionados con las mismas*, México.
- H. Congreso de la Unión (2019), *Reglamento de la Ley de Obras públicas y Servicios Relacionados con las mismas*, México.
- Ingenieros Civiles Asociados. (2012). *Al Frente*. Ciudad de México: ICA.
- Sistema de Aguas de la CDMX (2006), *El Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de México*, Ciudad de México
- Arturo Páramo. (2019). *Una solución a 200 metros bajo el suelo*. Julio 2019, de Periódico Excélsior Sitio web: <https://www.excelsior.com.mx/comunidad/2015/06/14/1029379>
- Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (2008), *El Túnel Emisor Oriente duplicara la capacidad de drenaje profundo del Valle de México*, Ciudad de México: CONAGUA.
- Comisión Nacional del Agua (2018), *Libro Blanco Construcción del Túnel Emisor Oriente*, Ciudad de México, CONAGUA.
- Colegio de Ingenieros Civiles de México. (Enero 2015). *Túnel Emisor Oriente*. Ingeniería Civil, 549, 20-25
- Rafael B. Carmona Paredes. (2016). *Participación del Instituto de Ingeniería en la construcción del Túnel Emisor Oriente*. Julio 2019, de Instituto de Ingeniería UNAM Sitio web: <http://www.iingen.unam.mx/esmx/Publicaciones/GacetaElectronica/GacetaEnero2016/Paginas/ConstrucciondelTunelEmisorOriente.aspx>

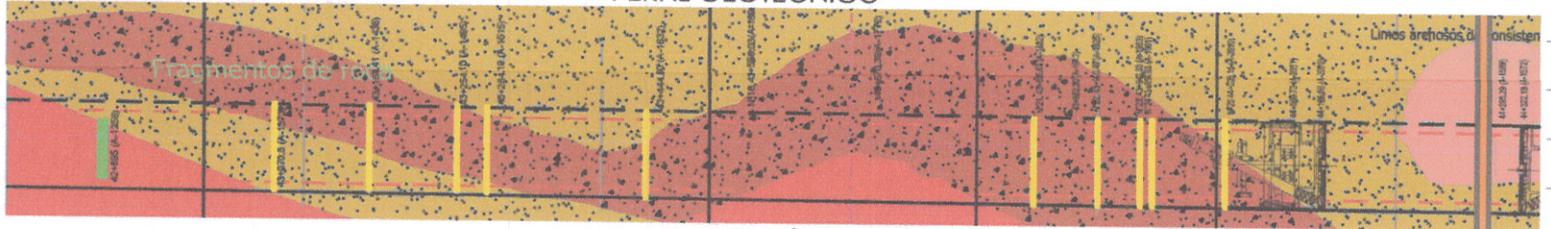
Anexos



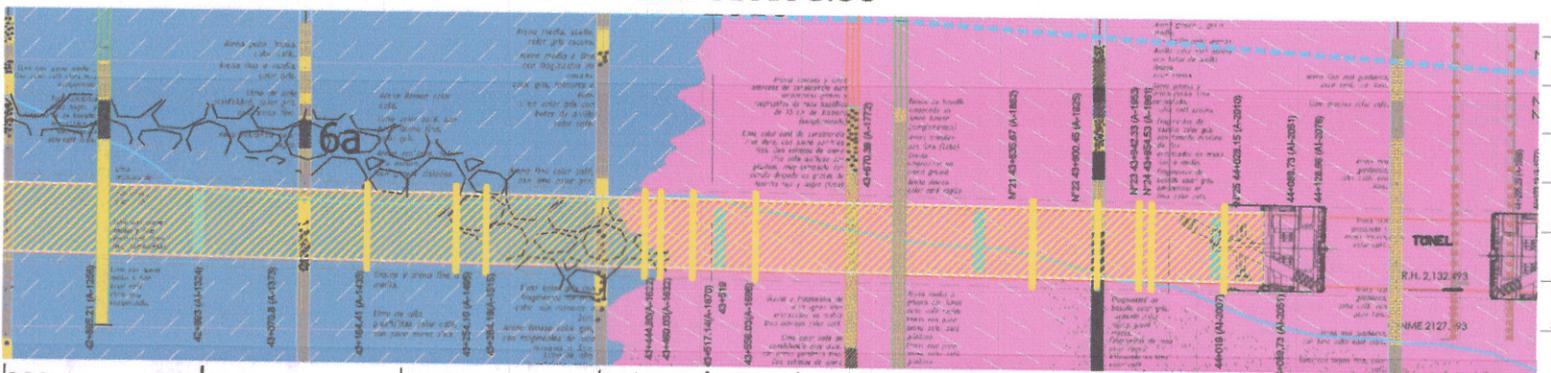
SUPERVISIÓN TÉCNICA ADMINISTRATIVA Y EL CONTROL DE CALIDAD DEL PROYECTO EJECUTIVO Y LA CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL EMISOR ORIENTE. CONTRATO: SCAPDS-GIHP-DFMEXHGO-08-011-RF-AD
TÚNEL L-17 A L-18 CAD. 44+128.66 (ANILLO 2076)



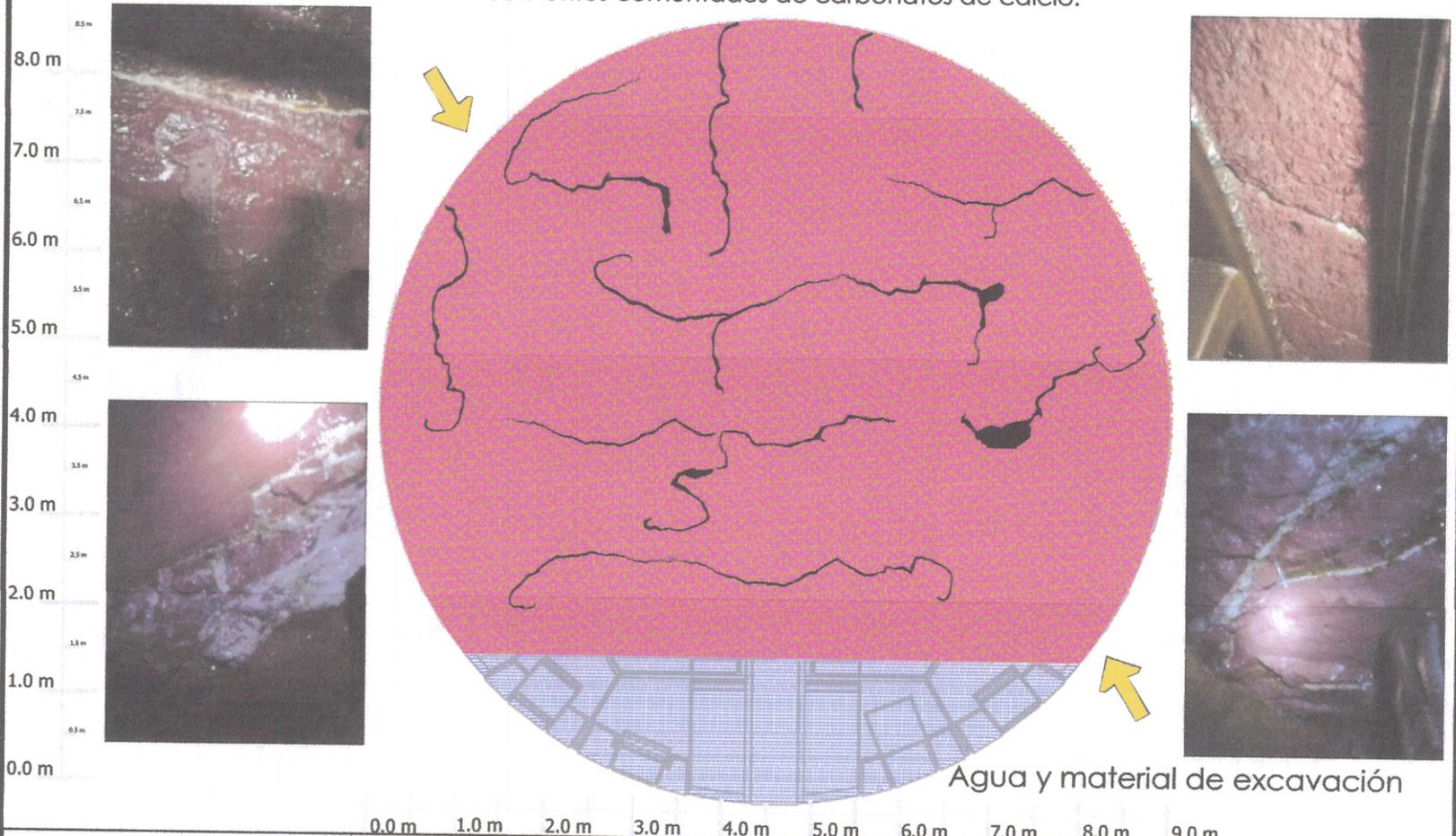
PERFIL GEOTÉCNICO



PERFIL GEOLÓGICO



(Brecha volcánica) Roca andesita fracturada color marron con lentes cementados de carbonatos de calcio.



Agua y material de excavación

SIMBOLOGÍA

<p>VULCANITAS MUEHJETOCA Lavas fracturadas y permeables Placero superior 7a Conglomeración, brechas volcánicas y fragmentos de rocas sueltas. 7b Depósitos Piroclástico y de escorrent.</p>	<p>RELLERO ARCILLA BASALTO</p>	<p>ARENA LIMO</p>
<p>L.P. SIN RECUPERACIÓN L.P. CON RECUPERACIÓN FRICCIÓN, % ARENA, % GRASA, %</p>	<p>CONCHILLAS CENIZA VOLCÁNICA MICROFOBILES</p>	<p>MATERIA ORGÁNICA VIDRIO VOLCÁNICO CARBONATOS</p>
<p>NP Nivel Piezométrico Díametro de Excavación Díametro Terminado</p>	<p>MÁS DE 10 GOLPES TUBO PARTIDO TUBO SHIELLY TUBO SHIELLY DENTADO AVANCE CON BROCA TRICÓNICA</p>	

FOTOGRAFÍAS FRENTE DE EXCAVACIÓN

DISCOS	CLAVE	L. IZQUIERDO	CENTRO SUP.	CENTRO INF.	L. DERECHO	CUBETA



ANEXO 2

13 DE FEBRERO DE 2019

ASUNTO: CONCILIACIÓN DE AVANCE DEL TÚNEL TRAMO 5 SUBTRAMO L-19 a L-18 DEL TÚNEL EMISOR ORIENTE, CON CORTE AL 13 DE FEBRERO DE 2019

El inicio de la excavación para este periodo del tramo L-19 a L-18 es el cadenamiento 44+402.670; se realiza conciliación al cierre del 13 de febrero de 2019, se tiene colocado el Anillo No. 1577 del tramo L-19 a L-18, con una distancia medida desde el cadenamiento al inicio del anillo 1525 hasta el final del anillo 1577, sobre el CL a nivel de arrastre, obteniéndose una distancia de 79.600 m lo cual restando nos da el cadenamiento 44+323.070 que es conciliado y es el termino total de este periodo.

CADENAMIENTOS	Anillo	Coordenadas Conciliadas		Desviaciones al trazo original de proyecto Iza (-) Der(+)	Desviaciones PPS Iza (-) Der(+)	Elev Proyecto	Elev Conciliada	Dif (m)
44+402.670	1525	479239.527	2192158.267	-0.012	-0.015	2131.999	2132.018	0.019
	1526	479239.950	2192156.820	-0.009	-0.014	2132.001	2132.026	0.025
	1527	479240.368	2192155.389	-0.006	-0.007	2132.003	2132.028	0.025
	1528	479240.796	2192153.947	-0.010	-0.008	2132.006	2132.025	0.019
	1529	479241.216	2192152.496	-0.003	0.001	2132.008	2132.039	0.031
44+393.670	1530	479241.638	2192151.062	-0.003	-0.003	2132.010	2132.045	0.035
	1531	479242.065	2192149.615	-0.005	-0.005	2132.012	2132.035	0.023
	1532	479242.489	2192148.168	-0.004	-0.003	2132.015	2132.044	0.029
	1533	479242.912	2192146.731	-0.003	0.000	2132.017	2132.060	0.043
	1534	479243.326	2192145.293	0.006	0.005	2132.019	2132.057	0.038
44+386.160	1535	479243.756	2192143.854	-0.001	-0.004	2132.022	2132.050	0.028
	1536	479244.178	2192142.408	0.005	0.005	2132.024	2132.054	0.030
	1537	479244.606	2192140.964	0.000	0.000	2132.026	2132.058	0.032
	1538	479245.025	2192139.522	0.004	0.003	2132.029	2132.055	0.026
	1539	479245.455	2192138.079	-0.001	-0.003	2132.031	2132.061	0.030
44+378.640	1540	479245.879	2192136.643	-0.002	0.000	2132.033	2132.061	0.028
	1541	479246.304	2192135.200	-0.003	-0.003	2132.036	2132.070	0.034
	1542	479246.725	2192133.759	0.000	0.001	2132.038	2132.062	0.024
	1543	479247.154	2192132.317	-0.004	-0.003	2132.040	2132.070	0.030
	1544	479247.579	2192130.88	-0.006	-0.006	2132.042	2132.073	0.031
44+371.120	1545	479248.001	2192129.433	-0.003	0.001	2132.045	2132.083	0.038
	1546	479248.433	2192127.995	-0.011	-0.007	2132.047	2132.080	0.033
	1547	479248.860	2192126.537	-0.009	-0.008	2132.049	2132.079	0.030
	1548	479249.290	2192125.080	-0.011	-0.011	2132.052	2132.077	0.025
	1549	479249.718	2192123.641	-0.015	-0.016	2132.054	2132.074	0.020
44+363.610	1550	479250.133	2192122.224	-0.013	-0.014	2132.056	2132.071	0.015
	1551	479250.554	2192120.804	-0.016	-0.018	2132.059	2132.075	0.016
	1552	479250.991	2192119.347	-0.025	-0.025	2132.061	2132.090	0.029
	1553	479251.412	2192117.915	-0.024	-0.027	2132.063	2132.098	0.035
	1554	479251.843	2192116.476	-0.032	-0.036	2132.066	2132.110	0.044
44+356.110	1555	479252.274	2192115.044	-0.041	-0.046	2132.068	2132.113	0.045
	1556	479252.695	2192113.606	-0.039	-0.040	2132.070	2132.101	0.031
	1557	479253.122	2192112.158	-0.039	-0.039	2132.072	2132.117	0.045
	1558	479253.538	2192110.712	-0.030	-0.030	2132.075	2132.133	0.058
	1559	479253.967	2192109.278	-0.037	-0.041	2132.077	2132.139	0.062
44+348.600	1560	479254.388	2192107.839	-0.035	-0.035	2132.079	2132.133	0.054
	1561	479254.809	2192106.385	-0.028	-0.022	2132.082	2132.128	0.046
	1562	479255.237	2192104.947	-0.033	-0.027	2132.084	2132.129	0.045
	1563	479255.655	2192103.512	-0.029	-0.030	2132.086	2132.142	0.056
	1564	479256.078	2192102.070	-0.028	-0.027	2132.089	2132.145	0.056
44+341.090	1565	479256.502	2192100.633	-0.029	-0.033	2132.091	2132.150	0.059
	1566	479256.936	2192099.191	-0.038	-0.038	2132.093	2132.143	0.050
	1567	479257.349	2192097.758	-0.030	-0.031	2132.096	2132.151	0.055
	1568	479257.770	2192096.310	-0.025	-0.025	2132.098	2132.145	0.047
	1569	479258.187	2192094.873	-0.02	-0.020	2132.100	2132.152	0.052
44+333.600	1570	479258.602	2192093.440	-0.014	-0.013	2132.102	2132.156	0.054
	1571	479259.018	2192091.993	-0.004	-0.006	2132.105	2132.168	0.063
	1572	479259.433	2192090.560	0.002	0.005	2132.107	2132.164	0.057
	1573	479259.848	2192089.110	0.014	0.015	2132.109	2132.180	0.071
	1574	479260.263	2192087.655	0.026	0.026	2132.112	2132.183	0.071
44+326.080	1575	479260.683	2192086.214	0.030	0.032	2132.114	2132.192	0.078
	1576	479261.093	2192084.780	0.041	0.038	2132.116	2132.179	0.063
44+323.070	1577	479261.515	2192083.316	0.05	0.046	2132.119	2132.186	0.067

Notas:

Se concilian coordenadas en conjunto con la supervisión LY TSA en el levantamiento topográfico, del anillo 1525 al 1577 en cubeta del anillo.

Las elevaciones son tomadas en cubeta de cada anillo

Coordenadas levantadas de eje de trazo físico y comparadas con eje de trazo de proyecto tomadas al centro de los anillos

El primer kilometraje esta tomado al inicio de anillo y los subsiguientes al final del anillo

RESUMEN DE AVANCE

	ANTERIOR	PARCIAL	ACUMULADO
EXCAVACIÓN (m)	2,290.220	79.600	2,369.820
COLOC ANILLOS (pza)	1,524	53	1,577
CADENAMIENTOS (m)	44+402.670	79.600	44+323.070
	(Cad. Al inicio del anillo 1525)		(Cad. Al final del anillo 1577)

ANEXO 3

Nota # 2202
12/MAY/17

RANGOS DE OPERACIÓN Y CONSUMOS ADMISIBLES

TBM ROBBINS S-292 333 "MORELOS" SUB-TRAMO V L-19 - L-18

12 DE MAYO DE 2017

PARÁMETROS PRINCIPALES	RANGOS DE OPERACIÓN		
	SUELO	MIXTO	ROCA
Modo EPB	Cerrado Presión de tierras clave >1.5 bar	Semi-abierto Presión de tierras clave 0.5 a 1.0 bar	Abierto Sin presión
Fuerza de propulsión, kN	25,000 a 55,000	20,000 a 45,000	20,000 a 40,000
Giro rueda de corte, rpm	1.5 a 2.0	1.8 a 2.0	1.8 a 2.0
Momento Par, MNm	1 a 7	1.5 a 5	1.5 a 5
Velocidad de avance, mm/min	23 a 80	9 a 30	9 a 24
Penetración ⁽¹⁾ , mm/rot	15 a 40	5 a 15	5 a 12
Consumos admisibles			
Grasa accionamiento	15 kg		
Grasa de cola (cepillos)	40-60 kg (Máximo 80 kg para frentes con flujos de agua importantes y presión de tierras mayor a 1.5 bar)		
Agente espumante	150-180 litros		
FIR	40% - 100%		
FER	4 - 12		

Nota: Estos parámetros se irán actualizando conforme a los resultados obtenidos. Hay que tener en cuenta que los terrenos mixtos a excavar, difieren de los ya excavados en otros tramos.

