



Anexos

Glosario

- **Abatimiento.** Descenso artificial del nivel del agua subterránea mediante bombeo, para excavar en seco y reducir la presión del agua sobre el fondo y las paredes.
- **Abrasividad Cerchar (CAI).** Índice que mide cuánto desgasta una roca el acero de las herramientas de corte; a mayor valor, mayor desgaste.
- **Acuífero.** Formación del subsuelo capaz de almacenar y entregar agua; el del Valle de México se sobreexplota y por ello el terreno se hunde.
- **Acuífero confinado a presión atmosférica.** Volumen de suelo saturado aislado por un elemento de retención (muro Milán o pilas secantes) y abatido, de modo que el agua en su interior queda a presión atmosférica y no empuja el fondo de la excavación.
- **Ademe.** Tubo de revestimiento que sostiene las paredes de una perforación o de un pozo.
- **Adjudicación directa.** Forma de contratar una obra sin concurso ni licitación pública.
- **Almeja.** Cuchara mecánica de dos valvas que excava las zanjas de un muro colado en suelo blando.
- **Anillo.** Ciclo completo de dovelas que forma una sección circular del revestimiento primario del túnel; en el TEO mide 1.50 m de ancho.
- **Anteproyecto.** Versión preliminar del proyecto, con alcances y cifras aproximadas, anterior al proyecto ejecutivo.
- **Arcilla lacustre.** Suelo fino, blando y con mucha agua, depositado en el fondo de los antiguos lagos del Valle de México.
- **Banco de nivel.** Punto fijo de cota conocida que sirve de referencia para las mediciones topográficas.
- **Banco de préstamo.** Sitio de donde se extrae material para usarlo en la obra.
- **Banco de tiro.** Sitio donde se deposita el material sobrante o de desperdicio, como la rezaga.
- **Basalto.** Roca volcánica dura y abrasiva, que en el TEO se encuentra en el tramo 3 y hacia el portal de salida.
- **Brocal.** Boca de un pozo o de una perforación, a nivel del terreno, que sirve de referencia y de protección.

- **Cadenamiento.** Distancia medida a lo largo del trazo desde un origen, expresada en kilómetros más metros (por ejemplo, 10+050).
- **Cake (costra de lodo).** Capa delgada y poco permeable de lodo bentonítico que se forma sobre el frente de excavación y permite mantener la presión de la cámara de la tuneladora o trabajar bajo aire comprimido.
- **Caudal.** Volumen de agua que pasa por una sección en cada unidad de tiempo; sinónimo de gasto.
- **Cimbra.** Molde provisional que da forma al concreto mientras fragua.
- **Clave.** Punto más alto de la sección interior de un conducto circular.
- **Compuerta.** Placa móvil que abre, cierra o regula el paso del agua en un conducto o canal.
- **Concreto lanzado.** Concreto proyectado a presión sobre una superficie, que se usa como soporte inicial de excavaciones.
- **Convenio modificadorio.** Documento que cambia el monto, el plazo o el alcance de un contrato ya firmado.
- **Cota.** Altura de un punto respecto de un plano de referencia, generalmente el nivel del mar (msnm).
- **Cuenca cerrada.** Cuenca sin salida natural al mar; el agua que recibe solo sale por evaporación, infiltración o por obras artificiales.
- **Deductiva.** Descuento que la dependencia aplica a una contratista por trabajos no ejecutados o pagados de más.
- **Dovela.** Pieza prefabricada de concreto reforzado que, unida a otras, forma un anillo del revestimiento primario del túnel.
- **Drenaje Profundo.** Sistema de túneles de la Ciudad de México a gran profundidad que desaloja aguas pluviales y residuales por gravedad.
- **EPB.** Siglas de Earth Pressure Balance; tuneladora de presión de tierra, que sostiene el frente con el propio suelo excavado.
- **Escudo.** Estructura metálica cilíndrica que protege la excavación del túnel mientras se coloca el revestimiento; las tuneladoras tienen uno.

- **Estimación.** Documento periódico en que se valoran y se cobran los trabajos ejecutados de una obra.
- **Factor de seguridad.** Cociente entre las fuerzas que resisten y las que provocan la falla; debe ser mayor que un valor mínimo fijado por norma.
- **FER (factor de expansión de la espuma).** Relación entre el volumen de espuma formada y el volumen de líquido espumante con que se genera.
- **FIR (factor de inyección de espuma).** Volumen de espuma inyectada, expresado como porcentaje del volumen de suelo excavado.
- **Gasto.** Volumen de agua que pasa por una sección en cada unidad de tiempo, en m³/s.
- **Geotecnia.** Rama de la ingeniería que estudia el comportamiento mecánico y el agua de suelos y rocas para proyectar obras.
- **Gravedad (conducción por).** Conducción en que el agua se mueve por la pendiente, sin bombeo.
- **Hidroescudo.** Tuneladora que sostiene el frente con lodo bentonítico presurizado y extrae la rezaga en suspensión.
- **Hidrofresa.** Máquina de dos ruedas de corte con lodo, que excava los paneles de un muro colado en suelo duro o roca.
- **Hiperbárica (intervención).** Trabajo del personal dentro de la cámara de excavación de la tuneladora a una presión mayor que la atmosférica.
- **Lefranc (prueba).** Prueba de permeabilidad en suelos que se hace en un tramo de la perforación.
- **Libro Blanco.** Documento oficial que reúne la información de un programa o proyecto de gobierno, de su origen a su resultado.
- **Línea piezométrica.** Línea que une los niveles a los que sube el agua subterránea en distintos puntos; muestra la presión del agua a lo largo del trazo.
- **Lugeon (prueba).** Prueba de permeabilidad en roca, con agua a presión inyectada entre obturadores.
- **Lumbrera.** Pozo vertical que da acceso al túnel para armar máquinas, extraer material, ventilar e inspeccionar.

- **Manning (fórmula de).** Ecuación que relaciona la velocidad del agua con el radio hidráulico, la pendiente y la rugosidad del conducto.
- **Manteo.** Elevación de la rezaga y de los materiales por una lumbrera hasta la superficie, o su descenso al túnel.
- **MIA.** Manifestación de Impacto Ambiental; estudio que presenta el promovente para que Semarnat autorice una obra.
- **msnm.** Metros sobre el nivel del mar.
- **Muro Milán.** Muro de concreto reforzado colado dentro de una zanja estabilizada con lodo, que se usa como contención de excavaciones profundas.
- **Nivel freático.** Superficie del agua subterránea en un suelo saturado.
- **Obra de toma.** Estructura que capta el agua en su origen, como una presa, un río o un pozo, para llevarla a la línea de conducción.
- **Pendiente.** Relación entre la caída de un conducto y su longitud; en el TEO es de 0.0016.
- **Periodo de retorno.** Tiempo promedio entre dos eventos de igual o mayor magnitud; sirve para fijar la tormenta de diseño.
- **Piezómetro.** Instrumento que mide la presión del agua subterránea en un punto del subsuelo.
- **Plantilla.** Superficie inferior interior de un conducto o fondo de una excavación; fija la cota de proyecto.
- **Portal.** Boca de entrada o de salida de un túnel.
- **Presión de poro.** Presión del agua que ocupa los huecos del suelo.
- **Proyecto ejecutivo.** Conjunto de planos, cálculos y especificaciones con el detalle necesario para construir la obra.
- **PTAR.** Planta de tratamiento de aguas residuales.
- **Radio hidráulico.** Cociente entre el área mojada de la sección y su perímetro mojado.
- **Rasante.** Línea de proyecto que fija las cotas y pendientes de una obra lineal.
- **Revestimiento definitivo.** Capa final de concreto reforzado que se cuela dentro del revestimiento primario.

- **Revestimiento primario.** Soporte colocado inmediatamente tras la excavación; en el TEO, anillos de dovelas.
- **Rezaga.** Material producido por la excavación de un túnel que se extrae y se lleva a un banco de tiro.
- **RQD.** Designación de calidad de la roca; porcentaje de la corrida del núcleo recuperado en piezas mayores de 10 cm.
- **Salto hidráulico.** Cambio brusco de flujo rápido a flujo lento en una superficie libre, con pérdida de energía.
- **SCADA.** Sistema de supervisión, control y adquisición de datos en tiempo real de una instalación.
- **Sondeo.** Perforación que extrae muestras o mide propiedades del subsuelo.
- **SPT.** Prueba de penetración estándar; se cuentan los golpes necesarios para hincar un tubo muestreador y se correlacionan con la resistencia del suelo.
- **Subpresión.** Presión del agua que actúa de abajo hacia arriba sobre el fondo de una excavación o una estructura.
- **Tirante.** Altura del agua medida desde el fondo del conducto o del canal.
- **Toba.** Roca volcánica formada por ceniza consolidada, común en el trazo del TEO.
- **Tormenta de diseño.** Lluvia de intensidad y duración definidas, con un periodo de retorno dado, con la que se dimensiona la obra.
- **Tornillo sinfín.** Transportador helicoidal de una EPB que extrae la rezaga de la cámara y regula la presión del frente.
- **Torre de manto.** Estructura sobre el brocal de una lumbrera, con tolva y malacates, que eleva los botes con la rezaga y baja materiales.
- **Tuneladora.** Máquina que excava el túnel y coloca el revestimiento de forma continua.
- **Vertedor.** Estructura sobre la que el agua rebasa y se descarga, que sirve para controlar o medir el nivel.



Anexos

Cifras oficiales del TEO

Esta tabla reúne las cifras que el documento utiliza de manera uniforme. Cuando las fuentes difieren, se indica la cifra adoptada y la fuente que prevalece según la jerarquía descrita en "Objetivo, alcance y método" (oficial, técnica, prensa). Las diferencias y su explicación están en los recuadros de dato técnico de cada capítulo.

Características de la obra

DATO	VALOR	FECHA O CORTE	FUENTE
Longitud del túnel	62.4 km	Obra terminada, 2019	ASF, 2022, p. 2
Diámetro interior	7.0 m	Proyecto y obra	ASF, 2022, p. 2
Capacidad de diseño	150 m ³ /s	Proyecto y obra	ASF, 2022, p. 2
Profundidad del túnel	25 a 150 m	Obra terminada	ASF, 2022, p. 2
Pendiente	0.0016 (1.6 m/km), aproximada	Proyecto	ASF, 2022, p. 2
Cota de la plantilla	2,203 msnm en la L-0 y 2,106 msnm en el portal	Proyecto	Bautista, 2014, p. 20
Número de lumbreras	25 (15 de 12 m, 9 de 16 m y 1 de 18 m de diámetro)	Obra terminada	ASF, 2022, p. 2
Lumbreras del anteproyecto	24	Marzo de 2008	Conagua, 2008, MIA-P
Tramos de excavación	6	Obra terminada	Bautista, 2014, p. 18
Longitud de los tramos (suma)	62,417 m	Obra terminada	Bautista, 2014, p. 18; suma propia
Tuneladoras	6 EPB: 3 Herrenknecht de 8.7 m y 3 Robbins de 8.93 m	Obra	López Cárdenas, 2019, p. 18
Metros excavados	62,101 m	Octubre de 2019	ASF, 2018-1727, p. 2
Anillos de dovelas colocados	41,352	Octubre de 2019	ASF, 2018-1727, p. 2
Anillos de dovelas de proyecto	41,334	Proyecto	Conagua, 2018, pp. 11-15
Excavación	4.7 millones de m ³	Obra terminada	Conagua, 2019, comunicado 851-19
Concreto	1.3 millones de m ³	Obra terminada	Conagua, 2019, comunicado 851-19

DATO	VALOR	FECHA O CORTE	FUENTE
Acero	142,226 t	Obra terminada	Conagua, 2019, comunicado 851-19
Población beneficiada	casi 21.2 millones de habitantes	2022	ASF, 2022, p. 2
Planta de bombeo El Caracol	40 m ³ /s	Operación	Vázquez, 2021, pp. 32-35

02

Fechas

DATO	VALOR	FECHA O CORTE	FUENTE
Programa de Sustentabilidad Hídrica del Valle de México	8 de noviembre de 2007	2007	Salazar, 2017, p. 38
Resolutivo condicionado de la MIA	18 de junio de 2008	2008	Semarnat, 2008
Firma del contrato de obra	14 de noviembre de 2008	2008	ASF, 2018-1727, p. 4
Entrada en operación del tramo 1 (10.1 km, L-0 a L-5)	2013	Junio de 2013	ASF, 2022, p. 3
Fin de la excavación	23 de mayo de 2019	2019	Robbins, 2019; González, 2020
Fin de la construcción	4 de diciembre de 2019	2019	ASF, 2021-0082, p. 3
Inauguración y entrada en funcionamiento de los 52.3 km restantes	23 de diciembre de 2019	2019	ASF, 2021-0082, p. 3; Conagua, comunicado 851-19

Contratación, costo y plazo

DATO	VALOR	FECHA O CORTE	FUENTE
Monto original del contrato de obra 08-008	9,595.6 millones de pesos	14 de noviembre de 2008	ASF, 2018-1727, p. 4
Monto final del contrato de obra	20,702.8 millones de pesos	Después del 4.º convenio adicional, 19 de julio de 2019	ASF, 2021-0082, p. 4
Plazo original	1,402 días naturales	14 de noviembre de 2008	ASF, 2018-1727, p. 4
Plazo final	3,911 días naturales	Julio de 2019	ASF, 2021-0082, p. 4
Relación monto final a original	2.16 veces (aumento de 115.8 %)	Cálculo sobre las cifras anteriores	Cálculo propio
Convenios del contrato de obra	6	2011 a 2019	ASF, 2018-1727, p. 4; ASF, 2021-0082, p. 4
Contrato de supervisión 08-011, monto original	651.4 millones de pesos y 1,461 días	11 de diciembre de 2008	ASF, 2018-1727, p. 4
Contrato de supervisión, ejercido	1,737.9 millones de pesos	Abril de 2022	ASF, 2021-0082, p. 5
Costo total estimado del proyecto	46,263.9 millones de pesos	Auditoría de 2018	ASF, 2018-1727, p. 3
Anteproyecto de la MIA-P	12,000 millones de pesos de obra y 780 de servicios	Marzo de 2008	Conagua, 2008, MIA-P, cap. II
Montos por aclarar de la ASF	91.0 millones de pesos en 2018 y 120.7 en 2021	2018 y 2021	ASF, 2018-1727; ASF, 2021-0082
Gasto ejercido en el contrato de obra	20,636.6 millones de pesos	Abril de 2022	ASF, 2021-0082, p. 4

04

Hidráulica, geotecnia y operación

DATO	VALOR	FECHA O CORTE	FUENTE
Capacidad del Emisor Central	170 m ³ /s efectivos (otras fuentes dan 200 y 220), 49.7 km y 6.5 m de diámetro	Inauguración, 1975	Hurtado, 2004, p. 96
Capacidad de desalojo del sistema	280 m ³ /s en 1975 y 165 m ³ /s en 2007	1975 y 2007	Bautista, 2014; Vargas, 2010
Capacidad conjunta con el TEO	315 m ³ /s	Proyecto	Bautista, 2014, p. 114
Planta de tratamiento de Atotonilco	35 m ³ /s	Capacidad instalada, 2019-2022	Conagua, 2019, p. 72; Conagua, 2022, p. 92
Avenida máxima prevista en la descarga conjunta	400 m ³ /s	Informe 2007-2012	Conagua, 2012, p. 88
Bombeo estimado en la lumbrera L-12	4.6 L/s	Proyecto	González Ramírez, 2023
Bombeo extraído en la lumbrera L-12	más de 600 L/s	Obra	González Ramírez, 2023
Profundidad máxima de excavación de la L-12	84.5 m	Obra	González Ramírez, 2023
Factor de seguridad por subpresión en la L-12	0.11 (mínimo exigido, 1.3)	Obra	González Ramírez, 2023
Rendimiento de excavación en el tramo 3	12.46 m/día en suelo y 4.85 m/día en roca	Obra	López Cárdenas, 2019 (capítulo 14)
Récord de avance de una tuneladora	30 m por día y 528 m por mes	Obra	González, 2020



or Oriente

Túnel Emisor Oriente



México



Anexos

Anexos

Material de consulta: la normatividad aplicable, los materiales y la maquinaria innovadores.

Anexo A. Normatividad de Conagua y demás dependencias aplicable a la obra

Réúne, por dependencia, los instrumentos que rigieron el TEO. El análisis de cada uno y la vigencia de las NOM están en los capítulos 8 y 18. La columna final explica, en una frase, por qué importa cada instrumento para una obra como esta.

DEPENDENCIA	INSTRUMENTOS APLICABLES	QUÉ REGULA EN EL TEO	POR QUÉ IMPORTA
Conagua	Ley de Aguas Nacionales y su reglamento	Aprovechamiento y descarga de aguas nacionales; concesiones y permisos de descarga	Es la base legal de la obra hidráulica y de la operación del túnel como parte del drenaje
Conagua	NOM-003-CONAGUA-1996 y NOM-011-CONAGUA-2015	Pozos de bombeo para abatir el acuífero; disponibilidad de agua	Durante la excavación se extrae agua del subsuelo, y estas normas fijan cómo hacerlo
Conagua (como contratante)	Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas (art. 42 en la adjudicación)	Contratación, supervisión y pago de la obra	Define cómo se adjudicó, quién supervisa y bajo qué reglas se paga
Semarnat (DGIRA)	LGEEPA; Reglamento en materia de evaluación del impacto ambiental; resolutivo de la MIA-P de 2008	Evaluación ambiental y condicionantes	La autorización ambiental es requisito para iniciar la obra, y sus condicionantes se vigilan hasta el cierre
Profepa	Reglamento de la LGEEPA en materia de evaluación del impacto ambiental, arts. 55, 59 y 61	Vigilancia del resolutivo	Verifica en campo que se cumplan las condicionantes

DEPENDENCIA	INSTRUMENTOS APLICABLES	QUÉ REGULA EN EL TEO	POR QUÉ IMPORTA
Semarnat (residuos)	Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos; NOM-052-SEMARNAT	Manejo de residuos peligrosos y de manejo especial, como aceites y lubricantes de la maquinaria	Un frente con seis escudos genera residuos que deben separarse y manejarse con empresas autorizadas
Semarnat (aire y ruido)	NOM-041, NOM-045 y NOM-080-SEMARNAT	Emisiones de vehículos y maquinaria (NOM-041 y NOM-045) y ruido de vehículos (NOM-080)	Protege a las colonias vecinas a lumbreras, portal y rutas de camiones
Semarnat (suelos y descargas)	NOM-138 y NOM-147-SEMARNAT; NOM-001 y NOM-002-SEMARNAT	Suelos contaminados, hidrocarburos y límites de descarga de aguas residuales	Cubre el agua que sale de la excavación y los sitios donde se dispone la rezaga
STPS	NOM-031-STPS-2011 y NOM-033-STPS-2015	Seguridad en la construcción y en espacios confinados (lumbreras y túnel)	Regula el trabajo a profundidad, con ventilación y rescate, que es el mayor riesgo para el personal
Gobierno de la Ciudad de México	Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal y Normas Técnicas Complementarias (2004)	Base de diseño estructural y geotécnico de lumbreras y portal, estructuras del grupo A	Es la norma de diseño más estricta del país para suelos blandos y sismo
ASEA y Pemex	Normas de ductos de hidrocarburos	Cruces con ductos	El trazo cruza instalaciones de terceros que deben protegerse o reubicarse
Estado de México e Hidalgo	Leyes ambientales y de agua estatales	Permisos locales, bancos de tiro y uso del suelo	El túnel cruza dos entidades, y cada una exige sus propios permisos

Anexo B. Materiales y maquinaria innovadora usados en el TEO

Lo innovador se juzga por el contexto mexicano: tecnología que antes no se había usado a esta escala o en este tipo de terreno. La última columna dice qué problema resuelve cada elemento.

ELEMENTO	QUÉ ES Y EN QUÉ SE USÓ	POR QUÉ FUE NOVEDOSO	QUÉ PROBLEMA RESUELVE
Tuneladoras EPB (tres Herrenknecht de 8.70 m y tres Robbins de 8.93 m)	Escudos de presión de tierra con colocación simultánea de dovelas, uno por tramo	Seis escudos de este diámetro trabajando al mismo tiempo; las Robbins se diseñaron para frente mixto	Excavar bajo el nivel freático sin abrir la calle y sin que el frente se desestabilice
Hidrofresa	Equipo de corte de muro Milán en suelo duro y roca de hasta 100 kg/cm ² , hasta unos 120 m con desviación máxima de 0.3 %	Permitió los muros de las L-18 a L-20, fuera del alcance de la almeja	Construir lumbreras muy profundas en suelo duro, donde la almeja ya no corta
Jet grouting	Columnas de suelo mejorado en entradas y salidas de lumbreras	Evita desplazamientos al abrir el muro para el paso del escudo	Hace seguro el punto más delicado: el paso del escudo por el muro de la lumbrera
Dovelas prefabricadas en planta tipo carrusel con curado a vapor	Anillos universales de siete dovelas más llave, de 35 a 40 cm	Entre 30 y 40 % más de productividad que con puestos fijos	Mantener el ritmo de producción que exige el avance de seis escudos
Concreto autocompactable bajo lodo y cimbra deslizante	Colado de muros y revestimiento definitivo	Sin vibrado y sin juntas frías	Concretar con calidad donde no se puede vibrar ni ver el colado

ELEMENTO	QUÉ ES Y EN QUÉ SE USÓ	POR QUÉ FUE NOVEDOSO	QUÉ PROBLEMA RESUELVE
Acondicionamiento con espumas, polímeros y bentonita	Mejora la rezaga y controla la presión en el frente	Permite operar un EPB en arcillas y arenas saturadas	Que el material excavado fluya por el tornillo y sostenga el frente
Anillo instrumentado con celdas de presión y deformímetros de cuerda vibrante	Dovelas con instrumentos Geokon en los tramos 3 y 4	Mide cargas reales frente al diseño	Comprobar con datos reales que el revestimiento resiste lo que se calculó
Bandas transportadoras para la rezaga	De la L-10 al portal, en lugar de bombeo	Sacan el material sin tráfico de camiones en vía pública	Reducir camiones, ruido y emisiones en zona urbana

03

Anexo C. Normatividad de calidad de procesos

Cada fila liga un proceso con la norma que lo controla. La última columna dice cómo se verifica en la práctica.

PROCESO	NORMA O CRITERIO	QUÉ EXIGE	CÓMO SE VERIFICA
Sistema de calidad	NMX-CC-9001-IMNC-2008 (familia ISO 9000)	Planes de inspección y pruebas, procedimientos y registros	Con auditorías y con los registros de cada actividad
Diseño estructural	RCDF y NTC (2004); ACI 318 donde no alcanzan	Memorias de cálculo, planos y memorias técnicas	Con la revisión de las memorias antes de construir
Cemento	NMX-C-414-ONNCCE; ASTM C150	Análisis físico mensual y químico trimestral	Con los reportes del laboratorio del proveedor y de la obra
Agregados y concreto	NMX-C-083, 109, 111, 152, 156, 159, 160, 161 y 162; ASTM C94	Pruebas de grava, arena y concreto fresco y endurecido	Con pruebas en planta y en el sitio de colado

PROCESO	NORMA O CRITERIO	QUÉ EXIGE	CÓMO SE VERIFICA
Aceptación del concreto	NMX-C-155	Promedio de cilindros compañeros; descarte por falla de muestreo o de prueba	Con la rotura de cilindros a la edad de proyecto
Laboratorio	Acreditación EMA	Resultados con trazabilidad	Con la acreditación vigente del laboratorio
Seguridad del proceso	NOM-031-STPS-2011; NOM-033-STPS-2015	Condiciones de trabajo en obra y espacios confinados	Con inspecciones, permisos de trabajo y registros de capacitación
Control de lo construido	Instrumentación geotécnica y anillo instrumentado	Comparar lo medido con el diseño	Con lecturas periódicas contra los umbrales de proyecto



Anexos

Anexo de planos

Este anexo reúne los planos de proyecto y de obra del Túnel El Cisne Oriente que se encontraron en las tesis, los informes y las manifestaciones oficiales: planta general, alzado, lumbreras, cortes del túnel, instalaciones y planos oficiales. Cada grupo de planos por cadeneramiento o tramo, de la L-0 al portal de salida. Cuando la fuente no trae cotas los planos se usan como referencia y no como dibujo ejecutivo. Las páginas sin la anotación de obra con las impresiones con ella, son las del archivo PDF. Los estudios (perfiles, sondeos, piezometría y mapas temáticos) están en el anexo de estudios.

01

Planta general y trazo

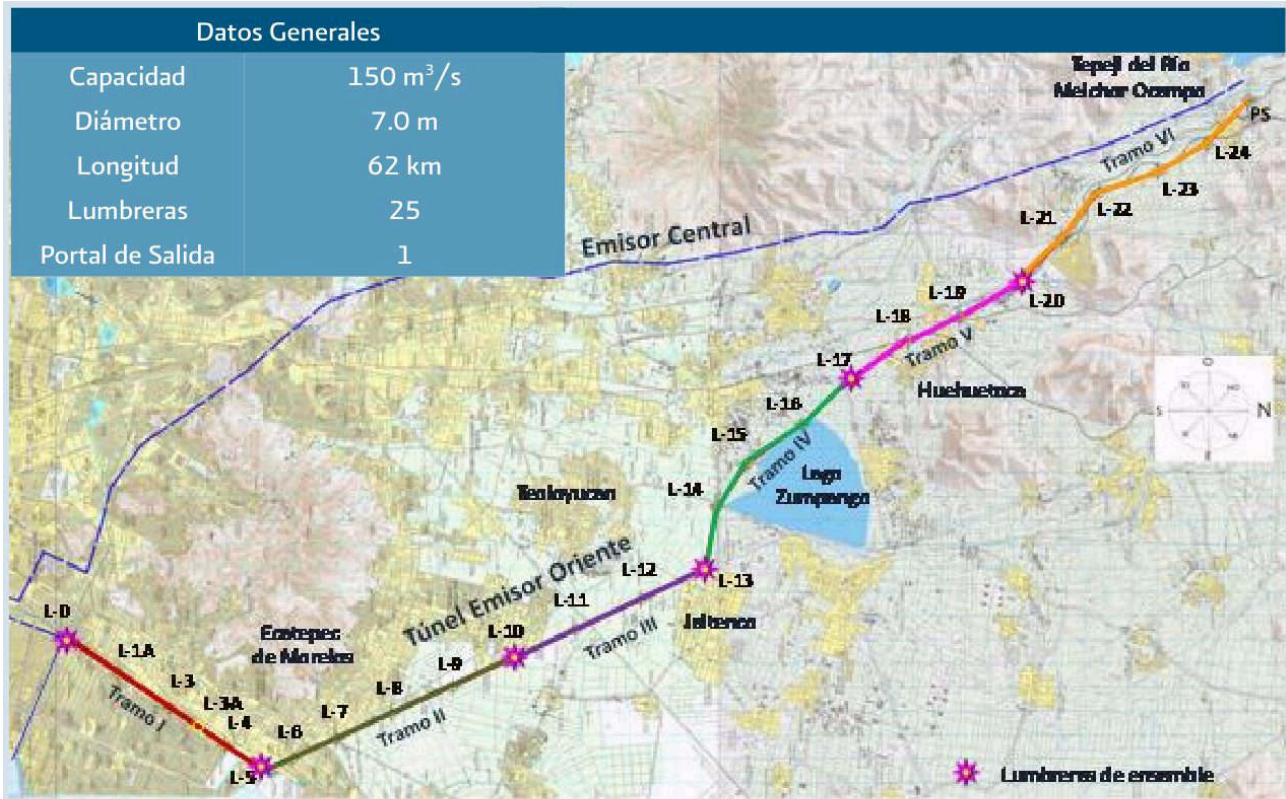


Figura 25. Trazo del Túnel Emisor Oriente.

Figura 1. Planta del trazo del TEO de Ecatepec a Atotonilco con sus seis tramos

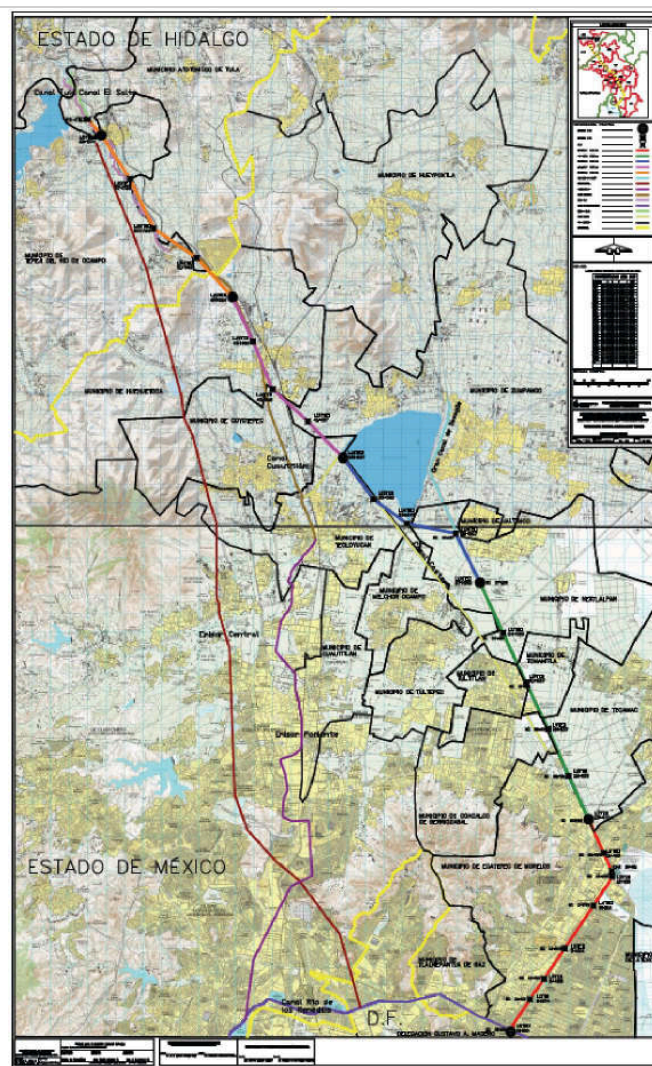


Figura 2. Planta del trazo del TEO en el anteproyecto de la MIA-P de 2008

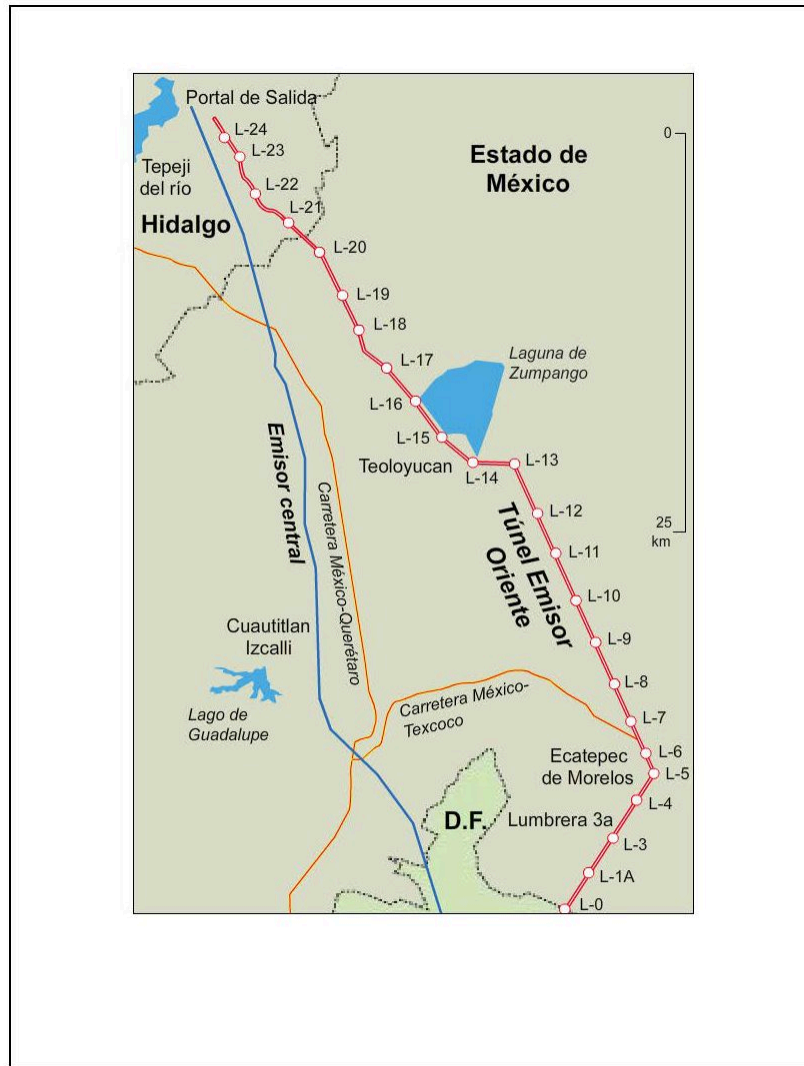


Figura 3. Planta del trazado con las 24 lumbreras y el portal de salida

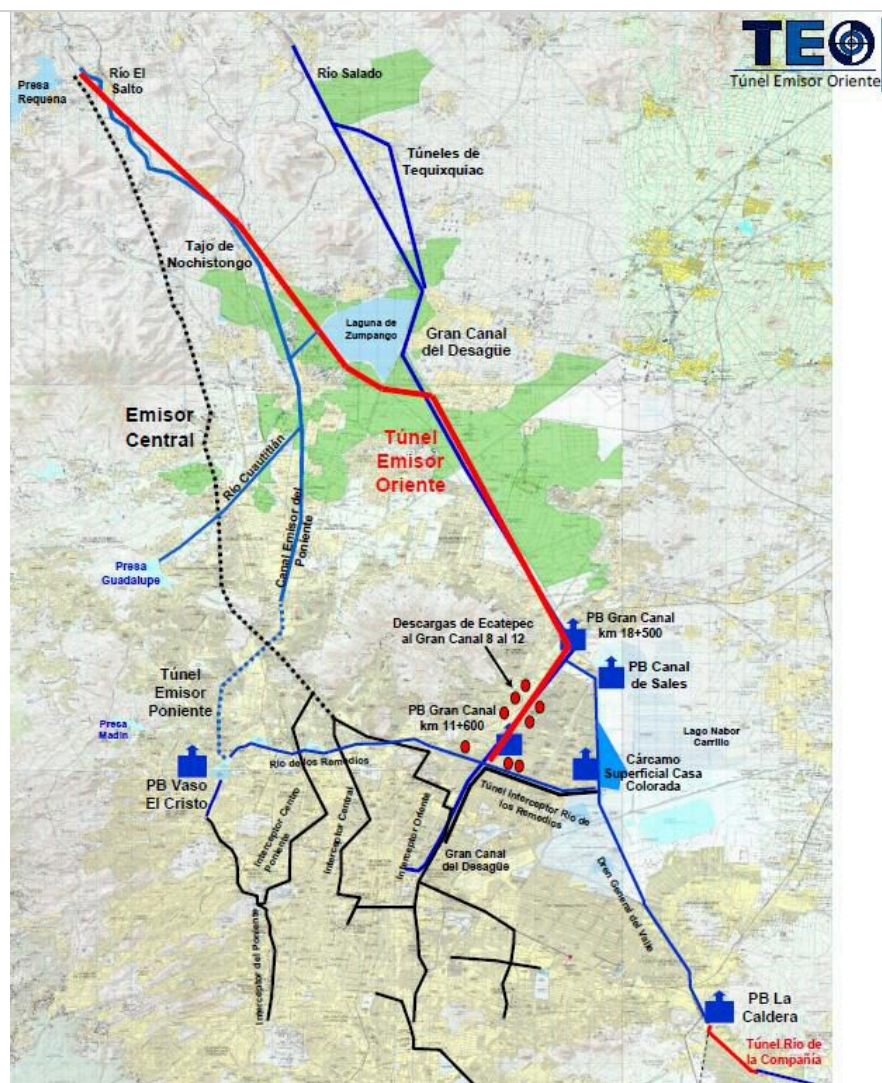


Figura 4. Planta del trazado del TEO junto al Drenaje Profundo existente

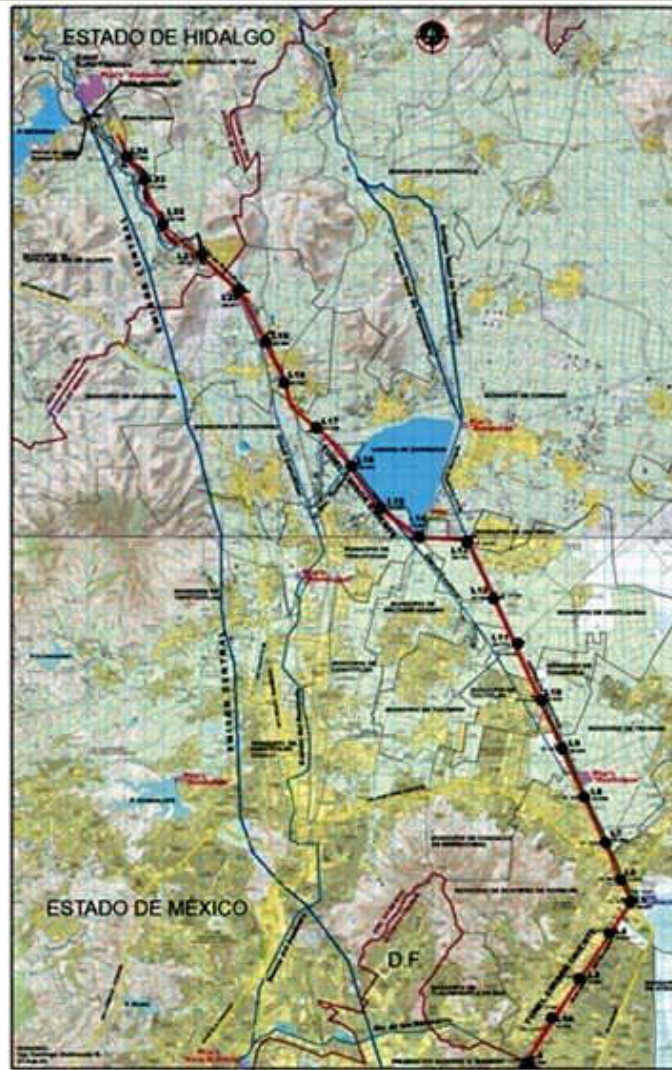


Figura 5. Planta general del TEO y sus lumbreras sobre carta topográfica



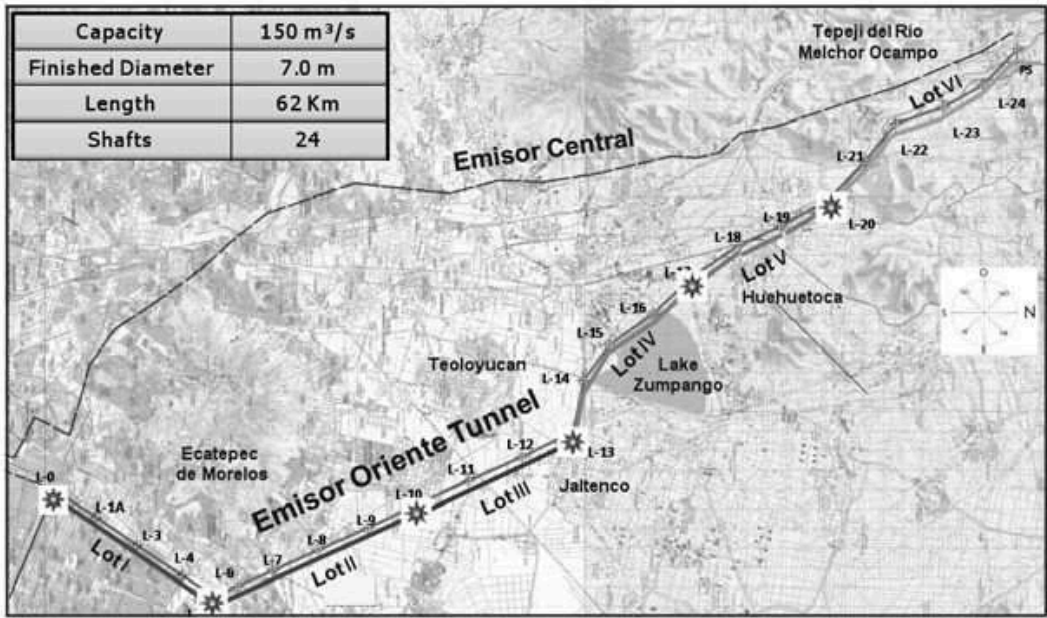
Figura 6. Mapa de ubicación del TEO con lumbreras y tramos

construction of 9,600 million pesos. The tunnel starts at port interceptor tunnel No. 2, the "River of the Remedies" and ends in the town of Atotonilco in Hidalgo (output Portal). It passes through the municipalities of Ecatepec de Morelos, Atenco, Tonalitla, Nextlalpan, Jaltenco Zumpango, Huehuetoca, Atotonilco, Tequixquiac and Hidalgo. It will have a wastewater capacity of 150 m³/sec, and a profit of approximately MEX 19 million. Currently the drainage system of the valley of Mexico has a displacement capacity of 195 m³/sec, but with the commissioning of the TEO, it will have a total of 345 m³/sec.

The TEO includes 24 shafts, ranging from 23 meters to 150 meters in depth, plus an exit portal, which is the construction location of the Treatment Plant in the Municipality of Atotonilco, in the state of Hidalgo. The plant will be responsible for water reuse for agricultural irrigation. It will be the second largest plant of its kind in the world (see Figure 3).



Figura 7. Mapa del TEO con las lumbreras, figura 3 del artículo de Robbins



etailed location of Emisor Oriente Tunnel. Main shafts shown as stars.

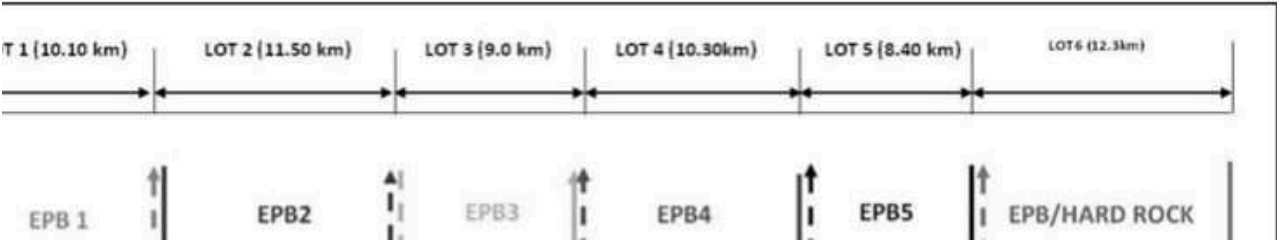


Figura 8. Planta detallada del Emisor Oriente y perfil geológico, figuras 2 y 3

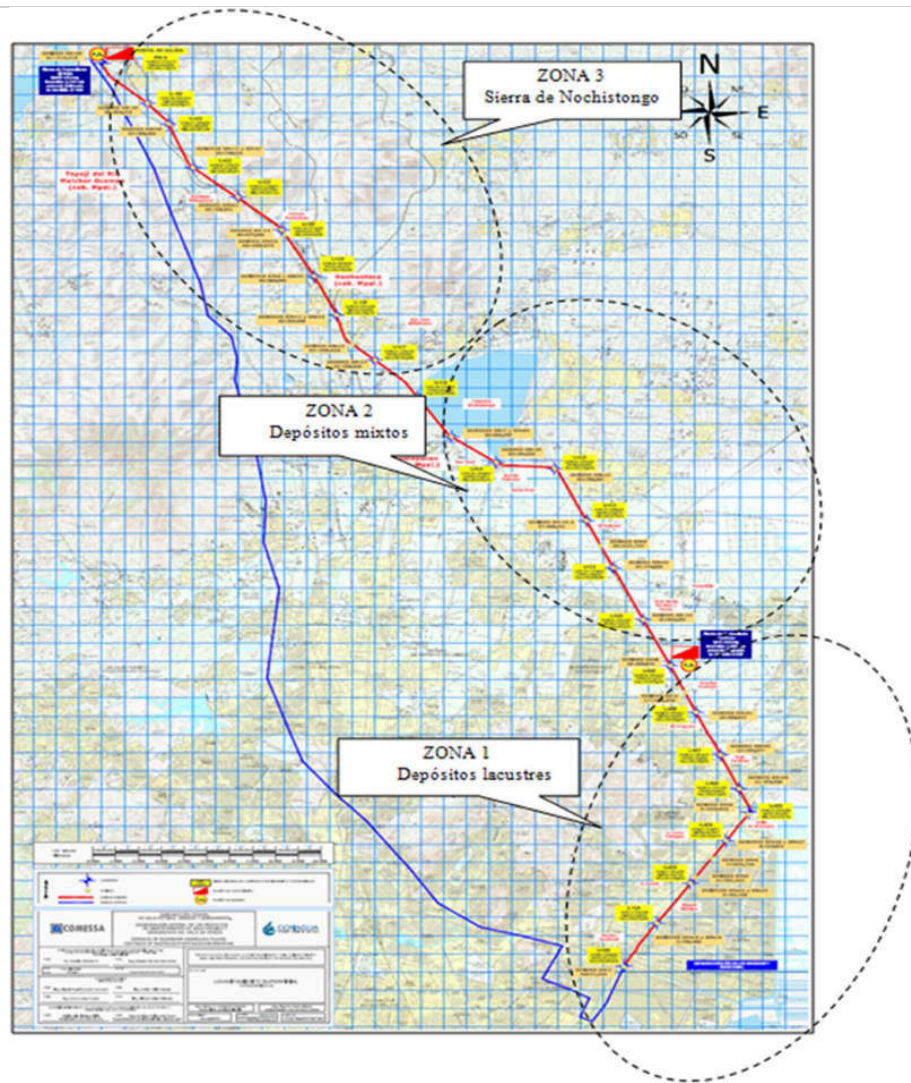
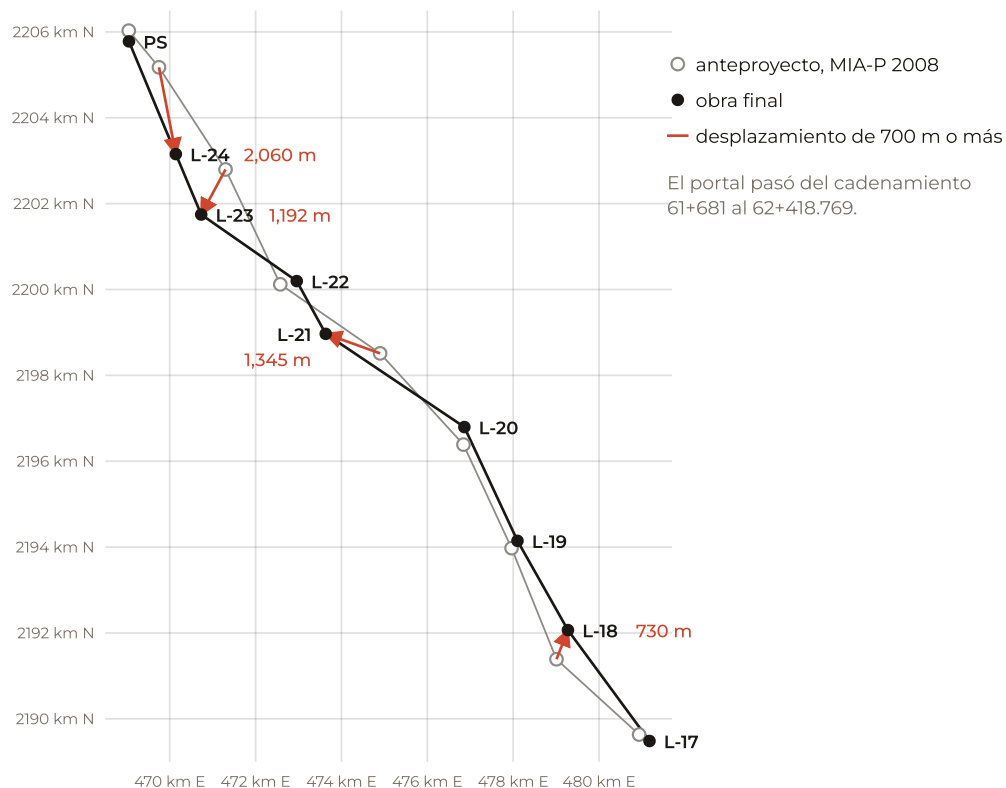


Figura 9. Planta del TEO con las tres zonas geotécnicas y los depósitos de tiro

Lumbreras del tramo final: anteproyecto y obra

planta en coordenadas UTM; rejilla de 2 km



Elaboración propia con datos de Semarnat (2008a, tablas II.3-II.7) y De Nova y Luna (2014, p. 34); Y de L-21 corregida; separaciones, cálculo propio.

Figura 10. Mapa de las lumbreras del anteproyecto y de la obra final, de L-17 al portal

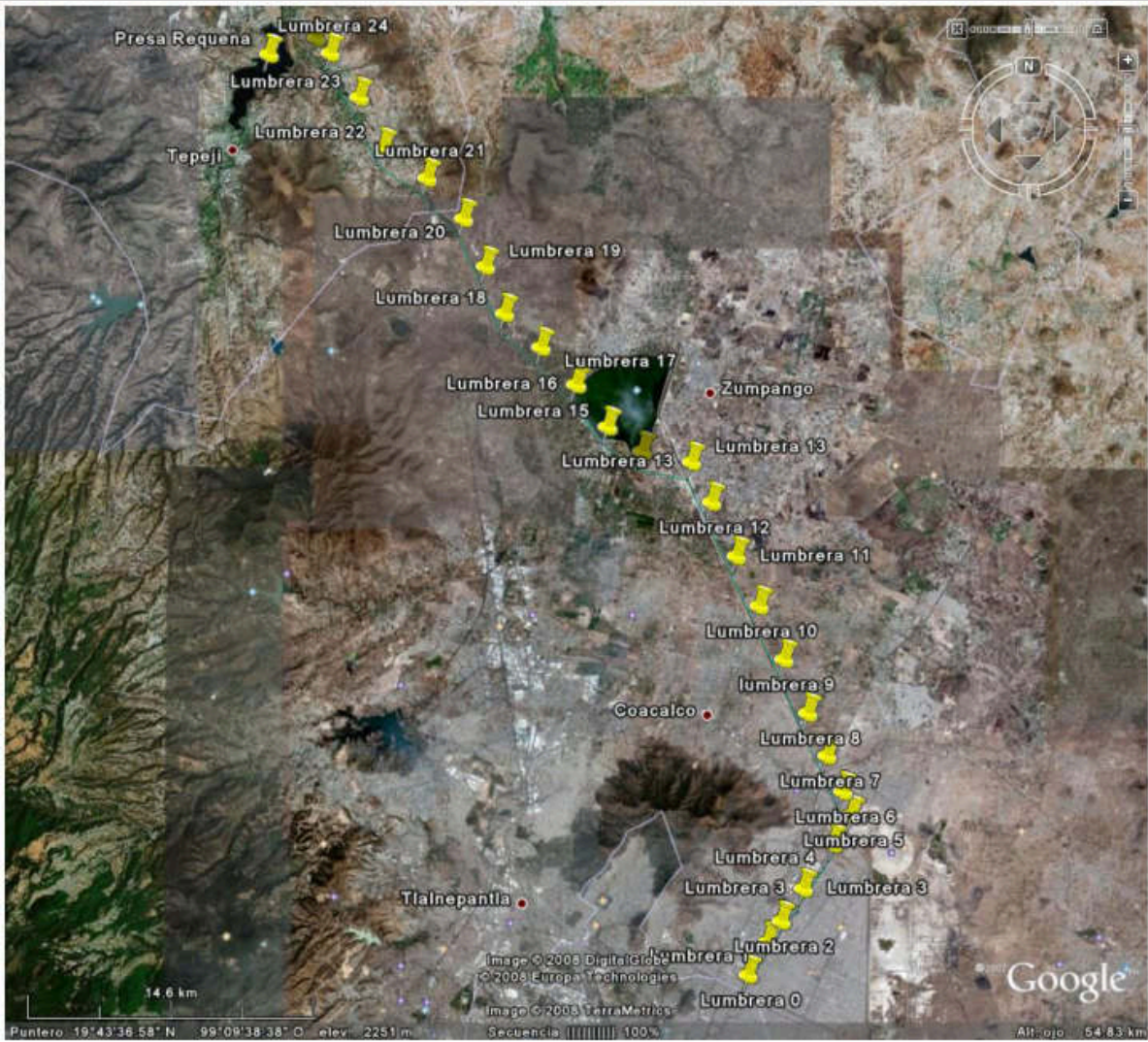


Figura 11. Planta de las 24 lumbreras del anteproyecto sobre Google Earth

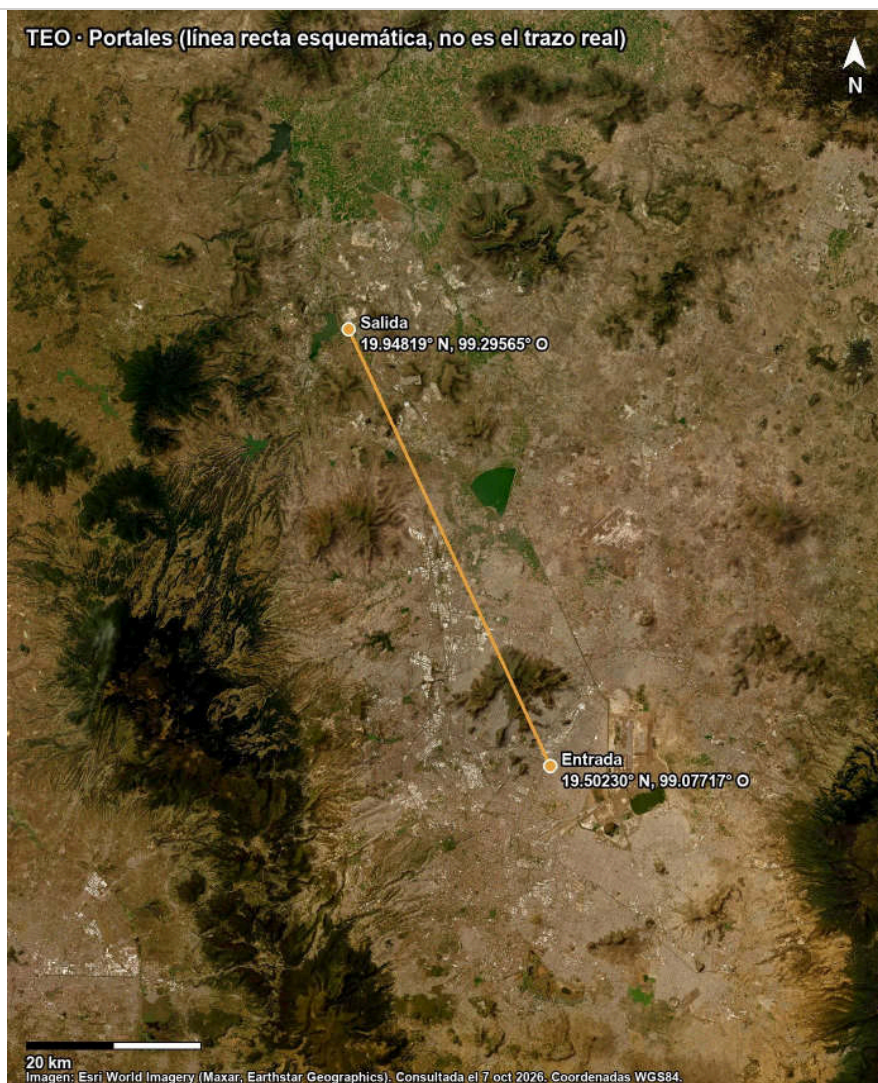


Figura 12. Planta de los portales de entrada y salida sobre imagen satelital

803

804

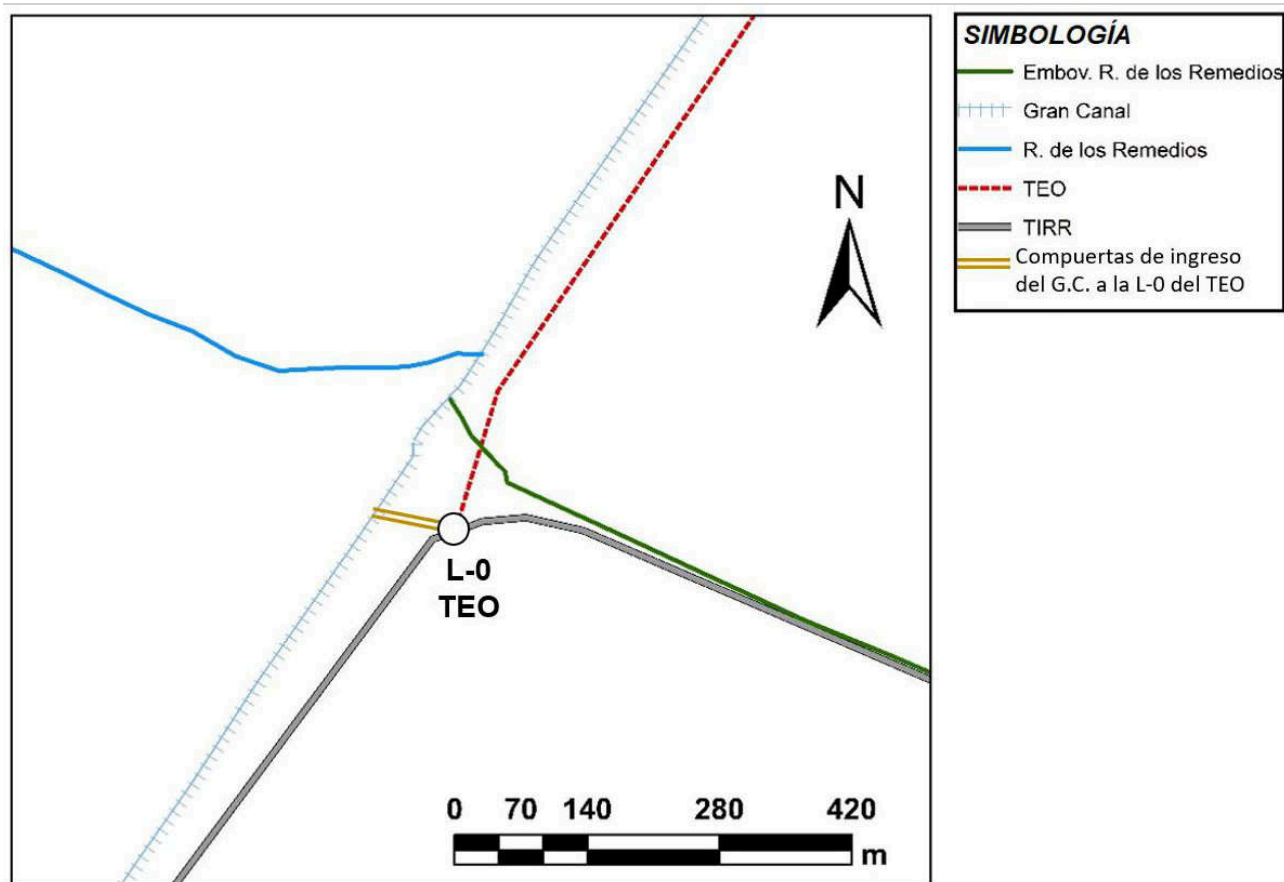


Figura 15. Planta de la confluencia de Gran Canal, TIRR, río de los Remedios y L-0

02

Lumbreras: plantas y cortes

PLANTAS Y ESQUEMAS

Las 25 lumbreras, de la L-0 al portal

profundidad a plantilla y método constructivo; las siete de montaje, con nombre en negritas

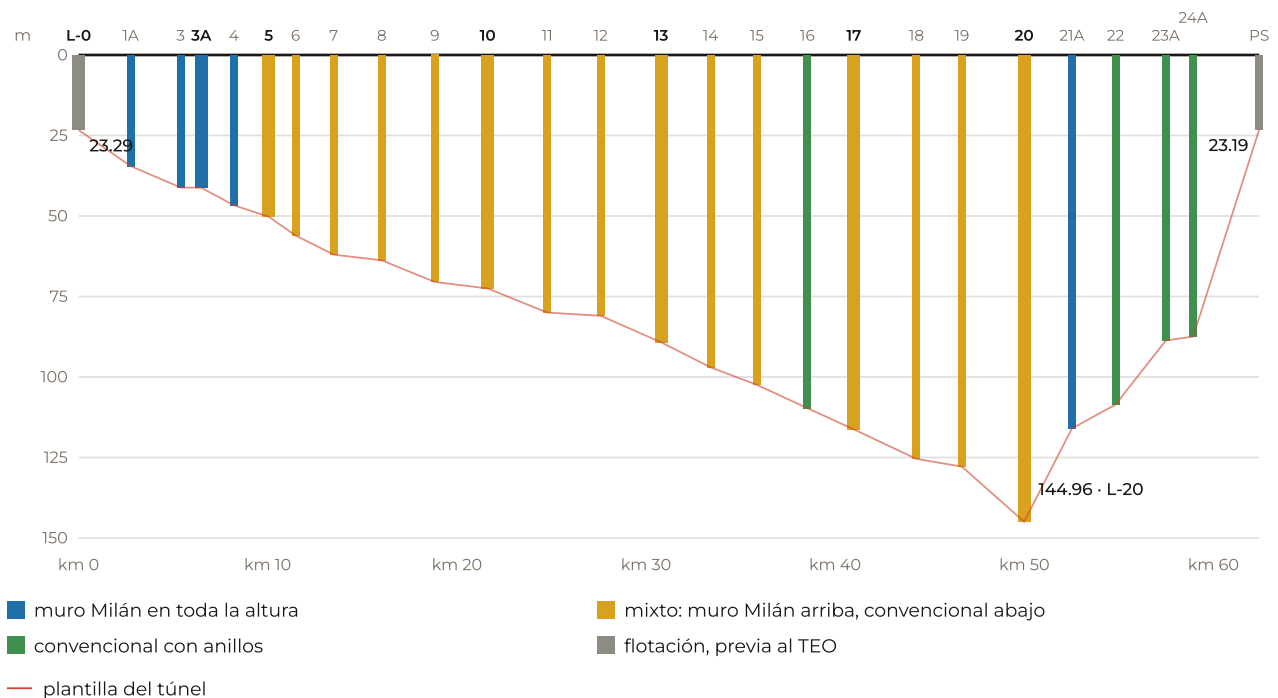
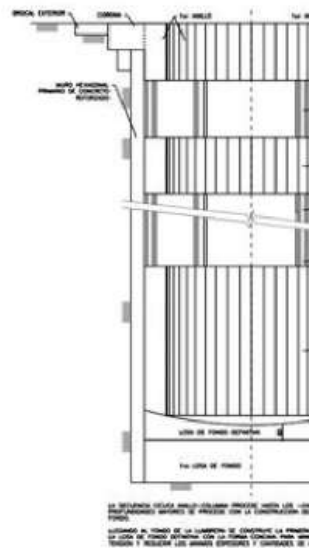


Figura 16. Esquema de las 25 lumbreras del TEO, con su profundidad y su método

Figura 5. Secuencia del proceso constructivo



b) El procedimiento de excavación de los tableros de la lumbrera fue el siguiente:

- Excavación del tablero 1.
- Colocación del armado de acero de refuerzo de la primera columna.
- Colado de la columna bajo todo bentonítico utilizando un tubo tremie.
- La misma secuencia se aplica para los tableros restantes, solo que por seguridad se procede de manera tal que los tableros no sean contiguos.

Figura 17. Esquema de la secuencia constructiva de una lumbrera por anillos y columnas

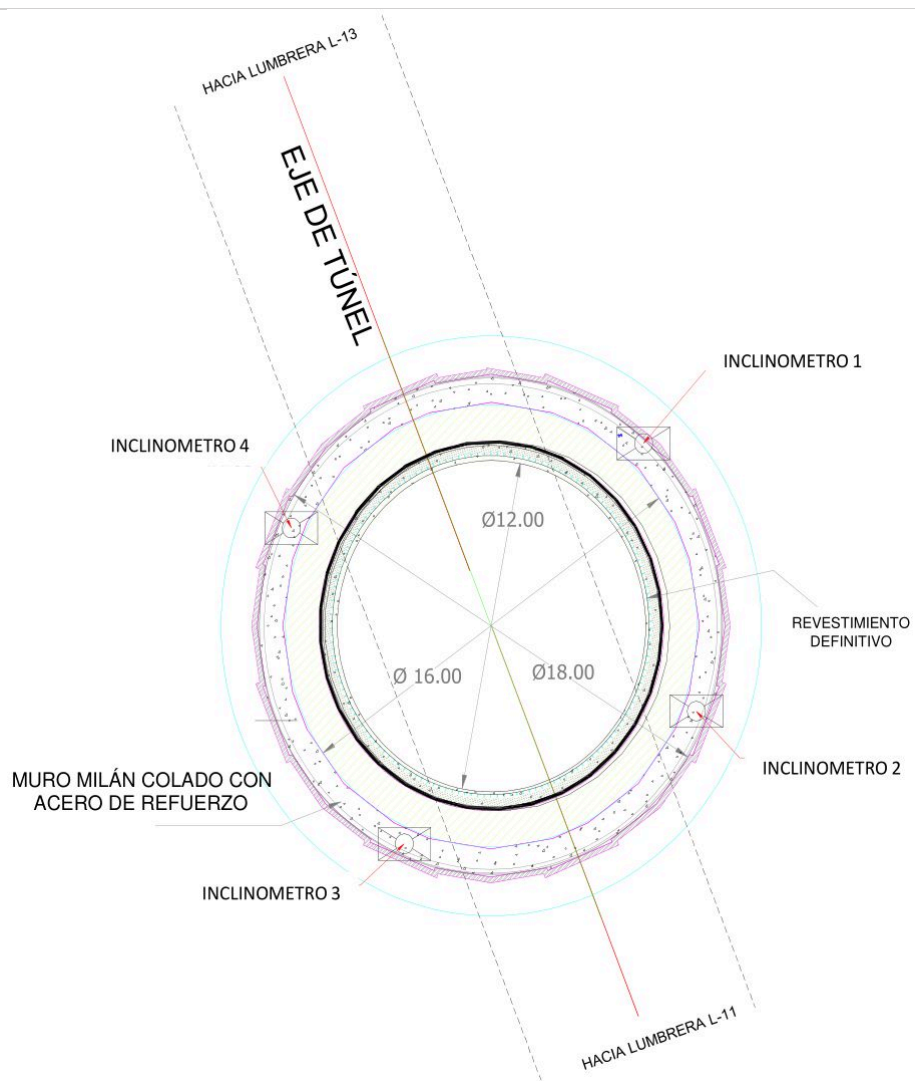


Figura 19. Planta de las características generales de la lumbrera L-12

CORTES Y DETALLES

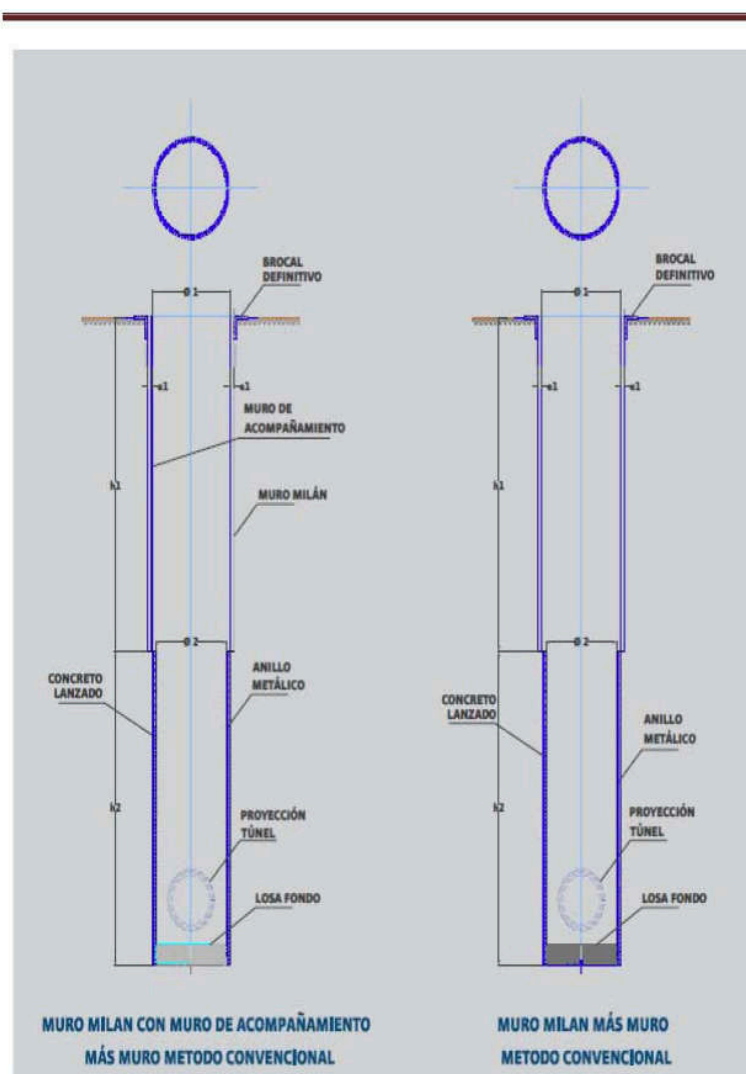


Figura 20. Secciones de lumbres con muro Milán y con muro Milán más convencional

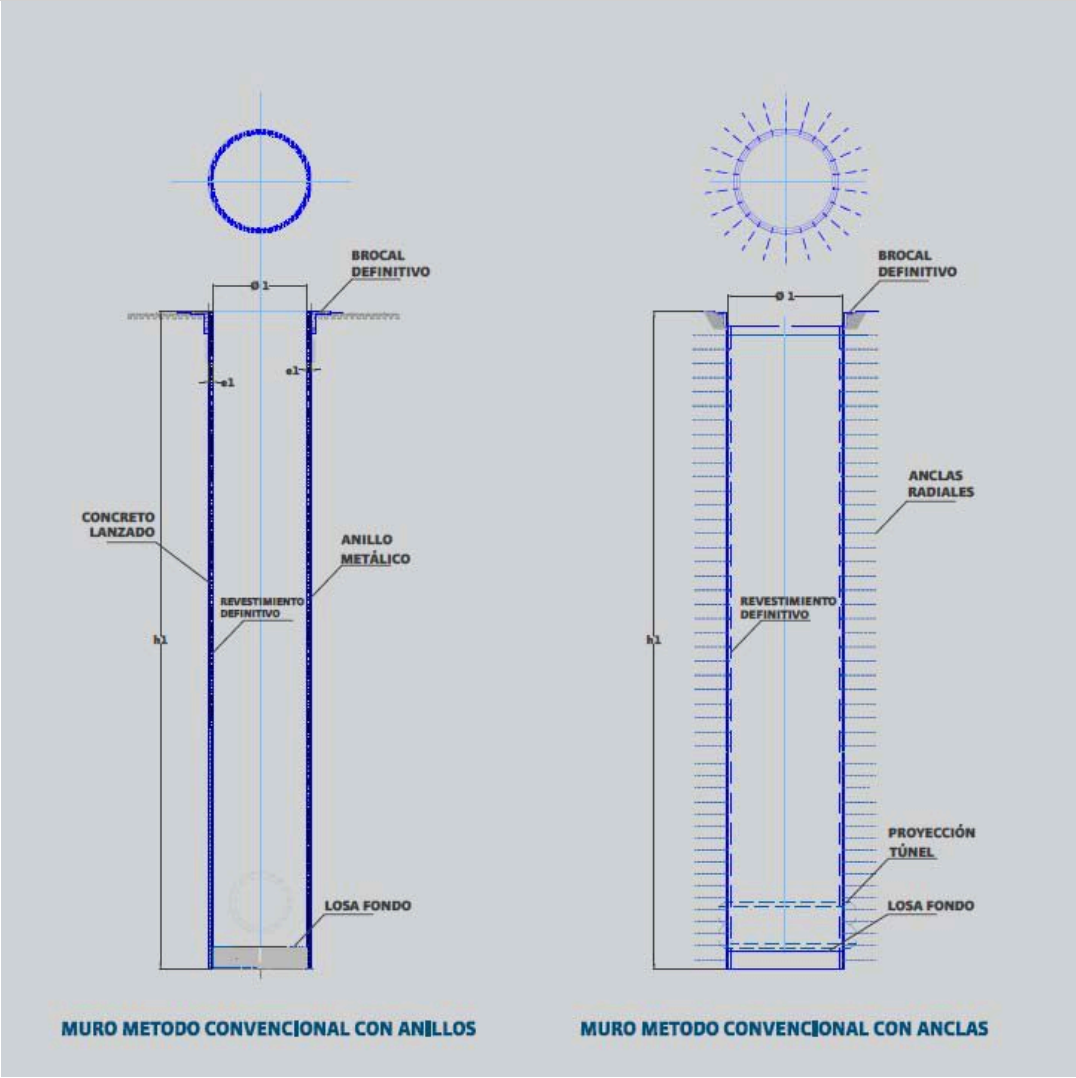


Figura 21. Secciones de lumbreras por el método convencional, con anillos y con anclas

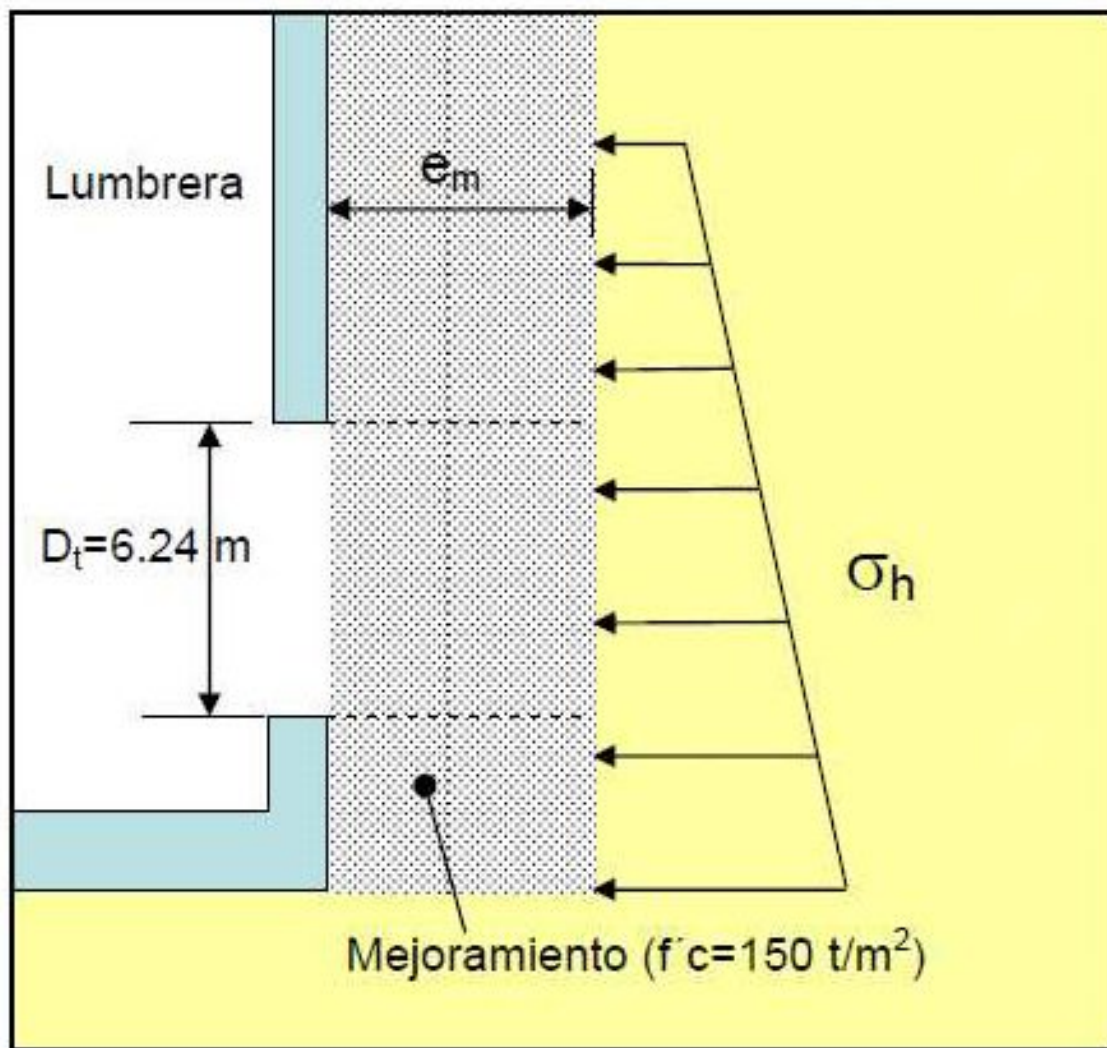


Figura 22. Detalle del espesor del mejoramiento en la conexión túnel-lumbrera de la L-00

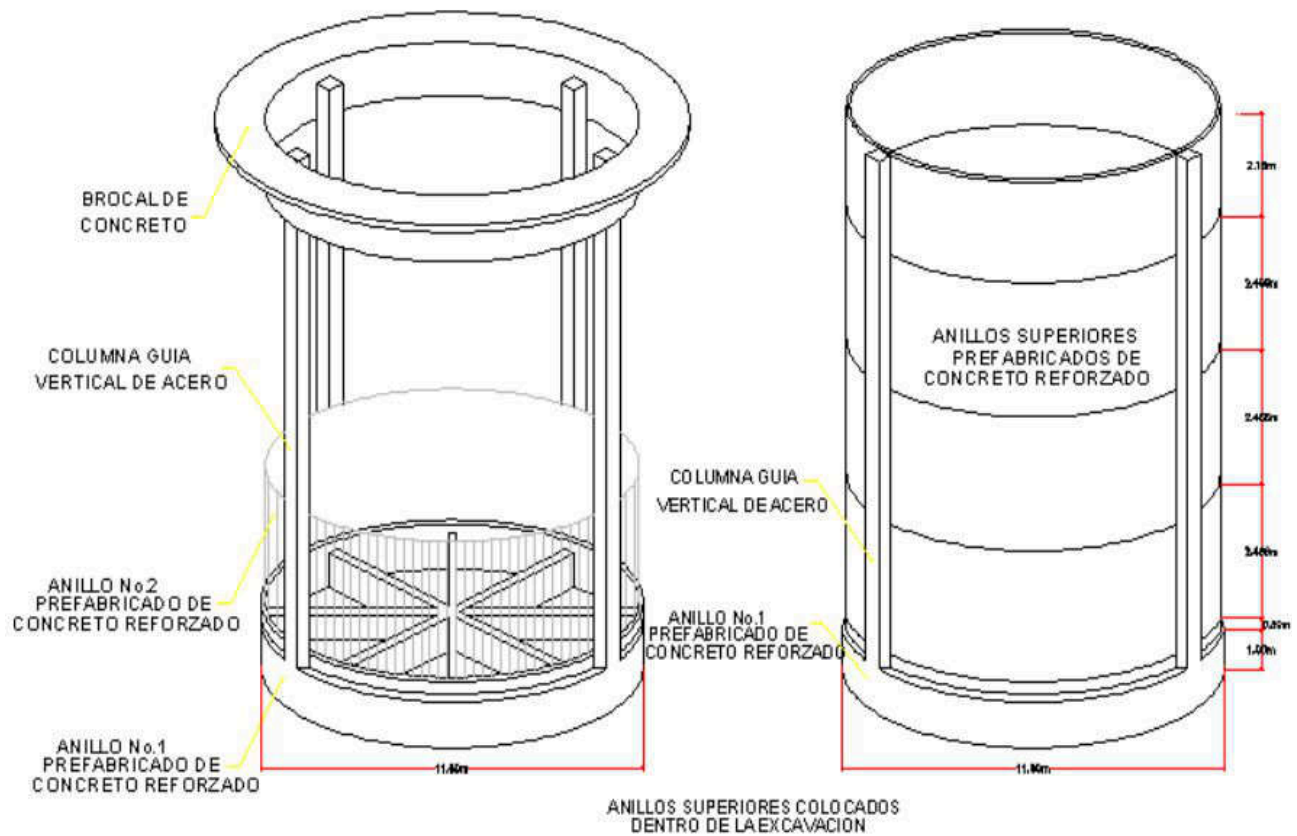


Figura 23. Corte de la lumbrera L-04 con anillos prefabricados, columnas guía y losa de fondo

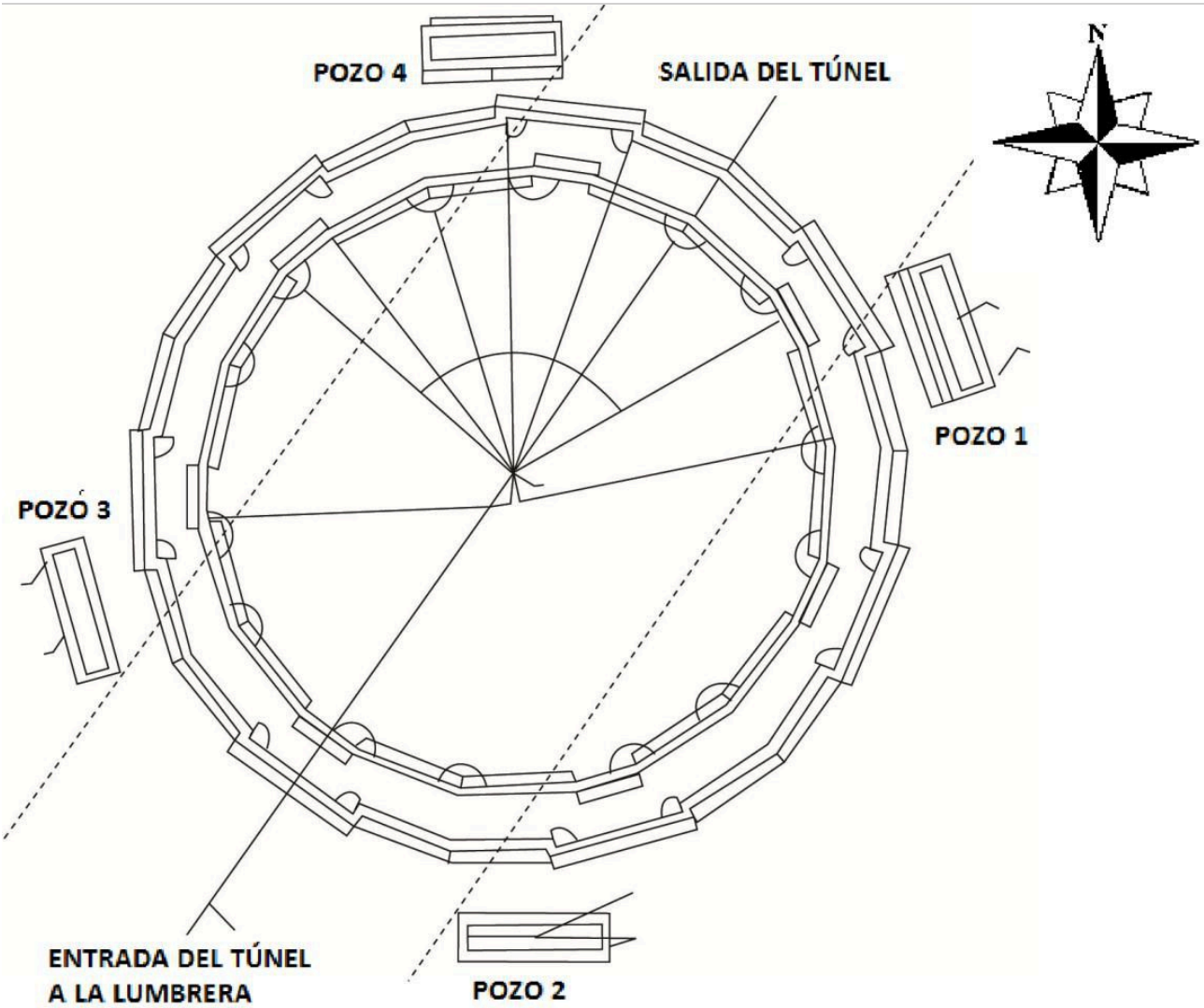


Figura 25. Corte transversal esquemático de la lumbrera L-04

PROCESO DE EXCAVACIÓN DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DEL TUNEL ENFOQUE ORIENTE (TEO) EN SU TRAMO 3, DE LA CIUDAD DE MÉXICO

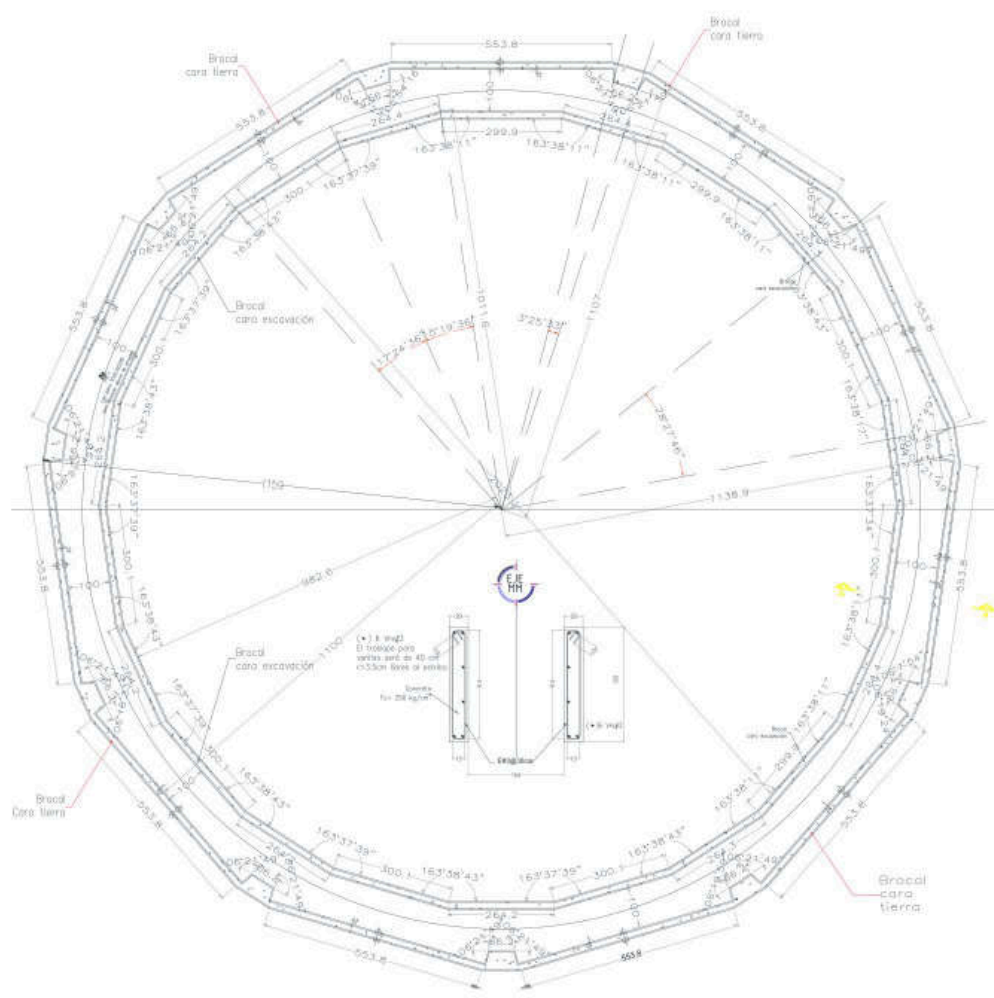


Figura 26. Detalle de la geometría de brocales de la lumbrera L-10

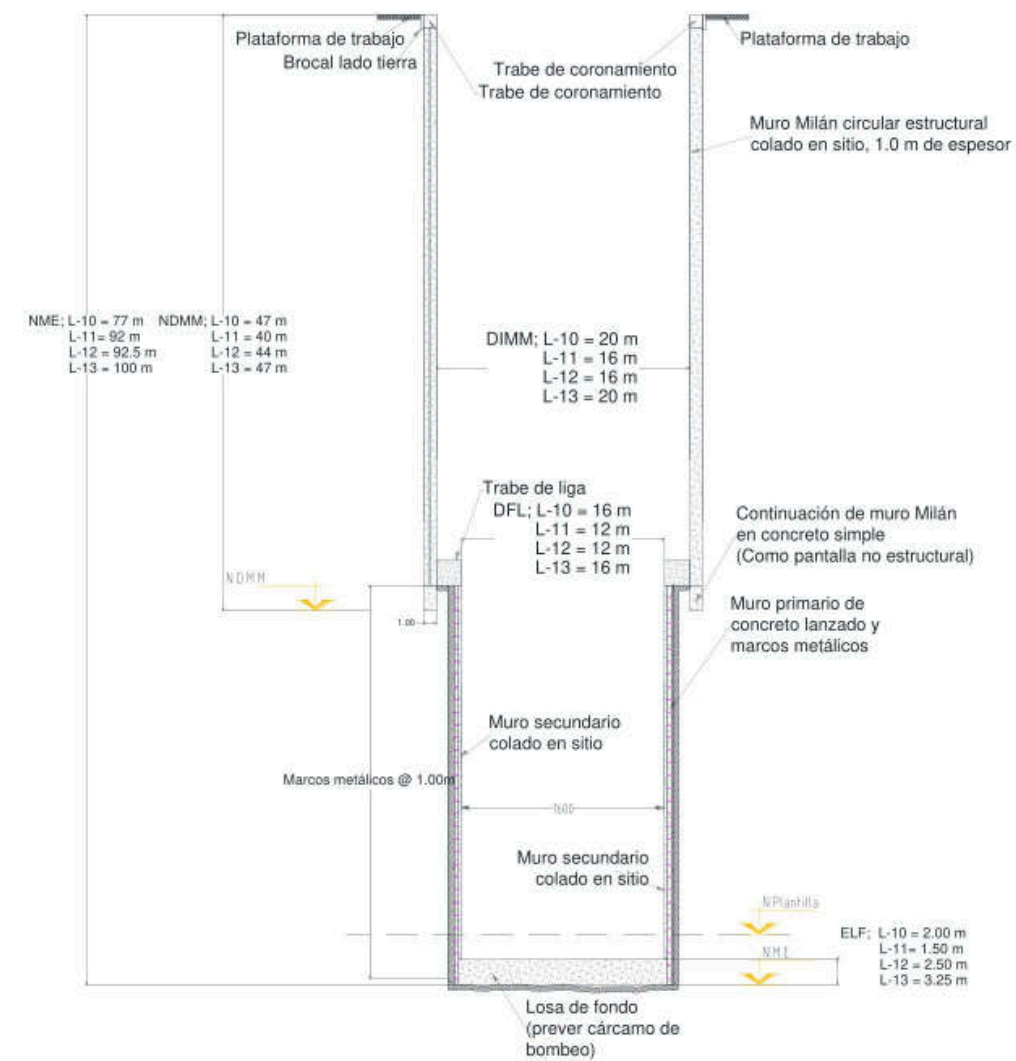


Figura 27. Corte de profundidades del muro Milán de las lumbreras del tramo 3

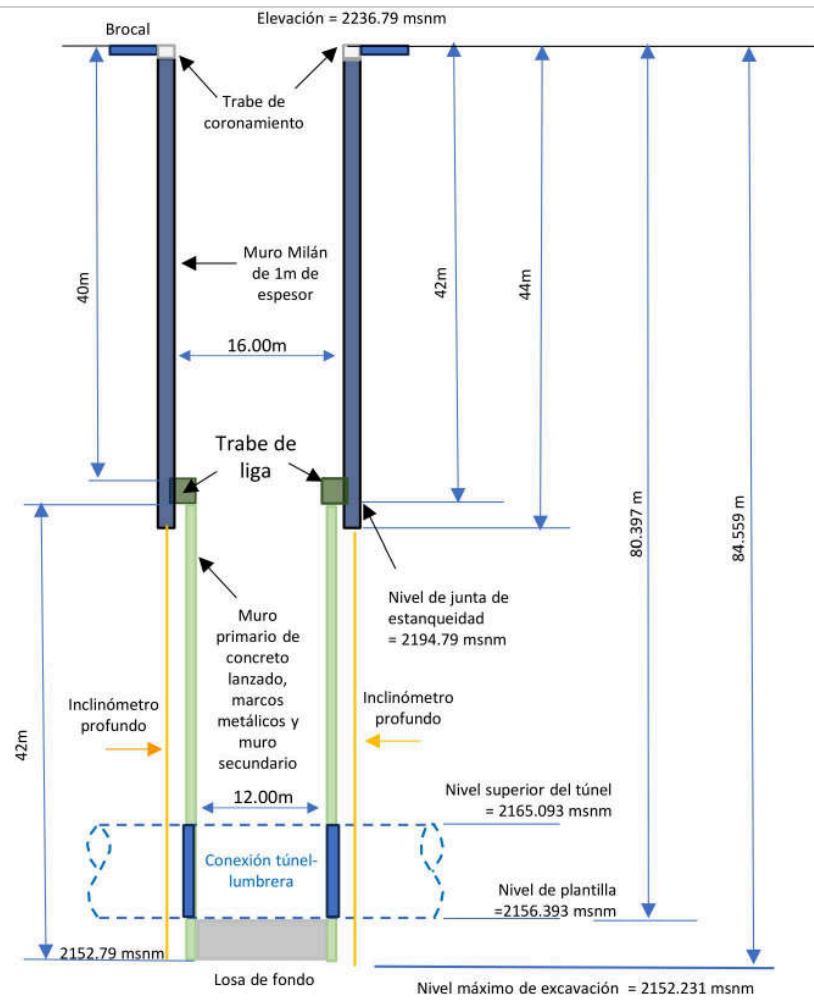


Figura 58.-Características generales de la lumbrera L-12, vista en perfil (Fuente: CONAGUA- COMISSA, readecuado por S. González, 2023).

Figura 28. Corte vertical de la lumbrera L-12

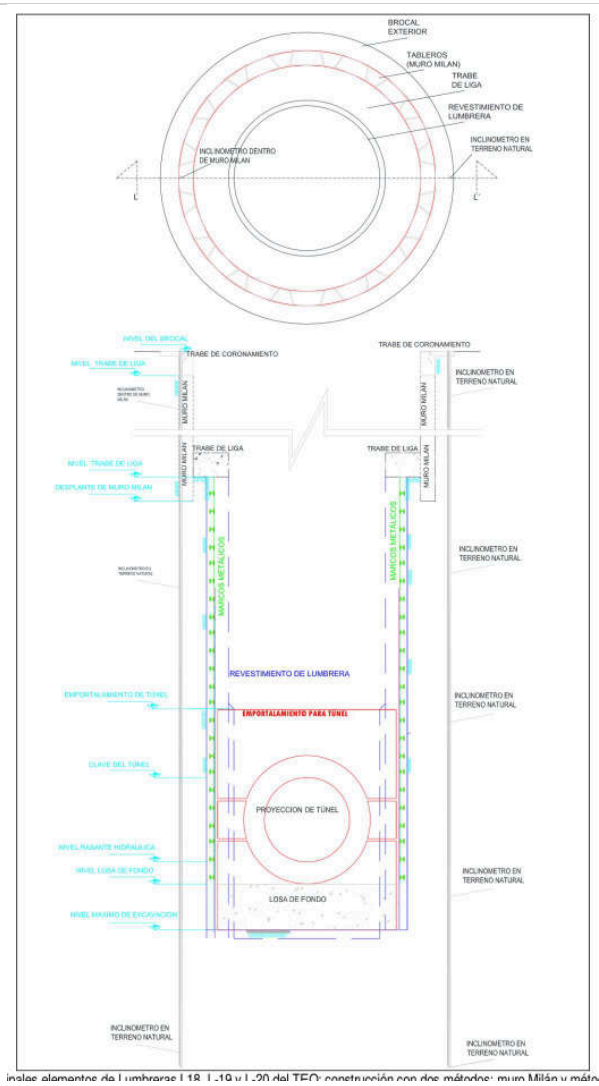


Figura 29. Detalle de los elementos de las lumbreras L-18, L-19 y L-20

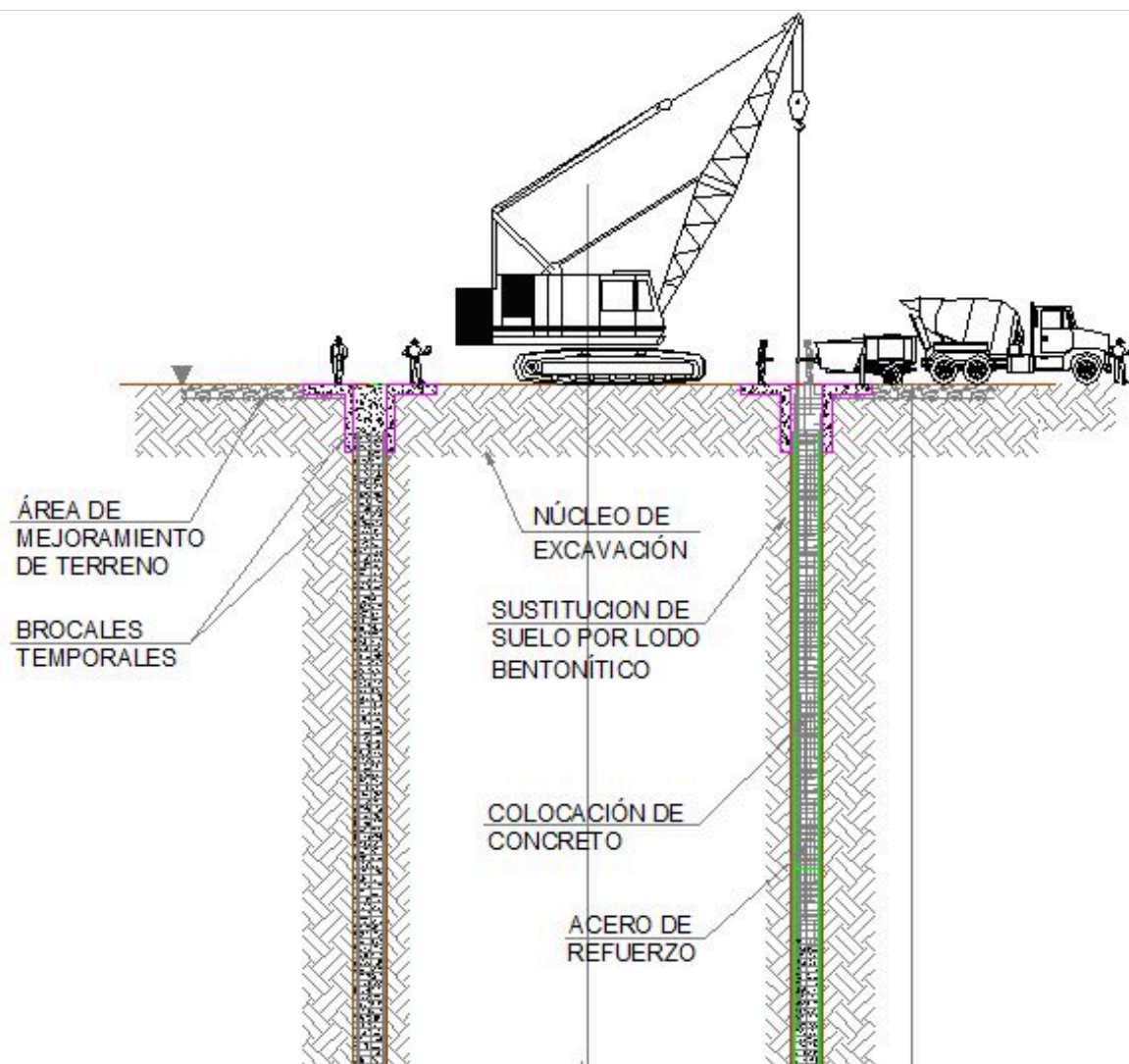


Figura 30. Detalle de la colocación del concreto en el muro Milán de la lumbrera del portal

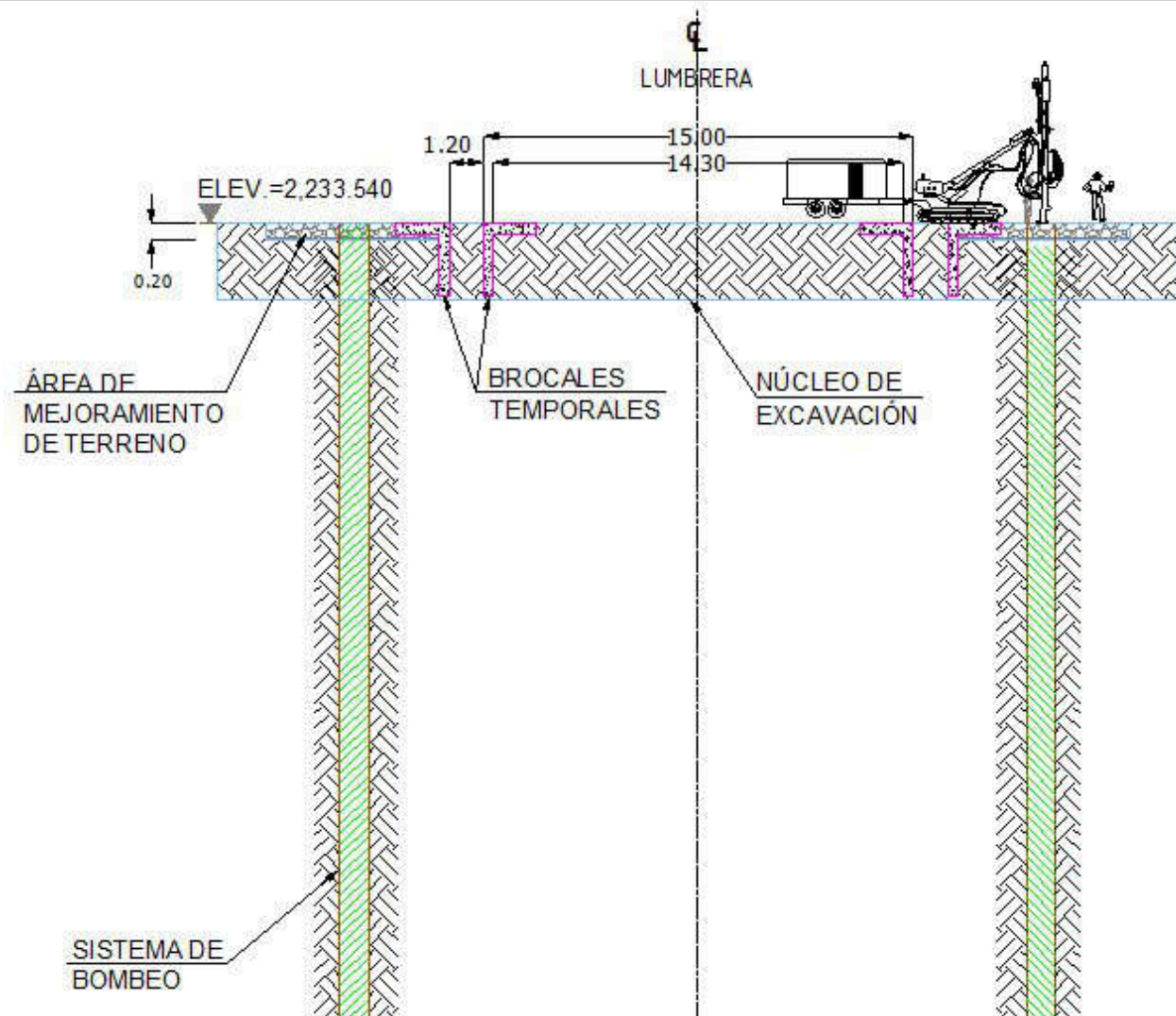


Figura 31. Detalle del sistema de bombeo exterior y brocales de la luminera del portal

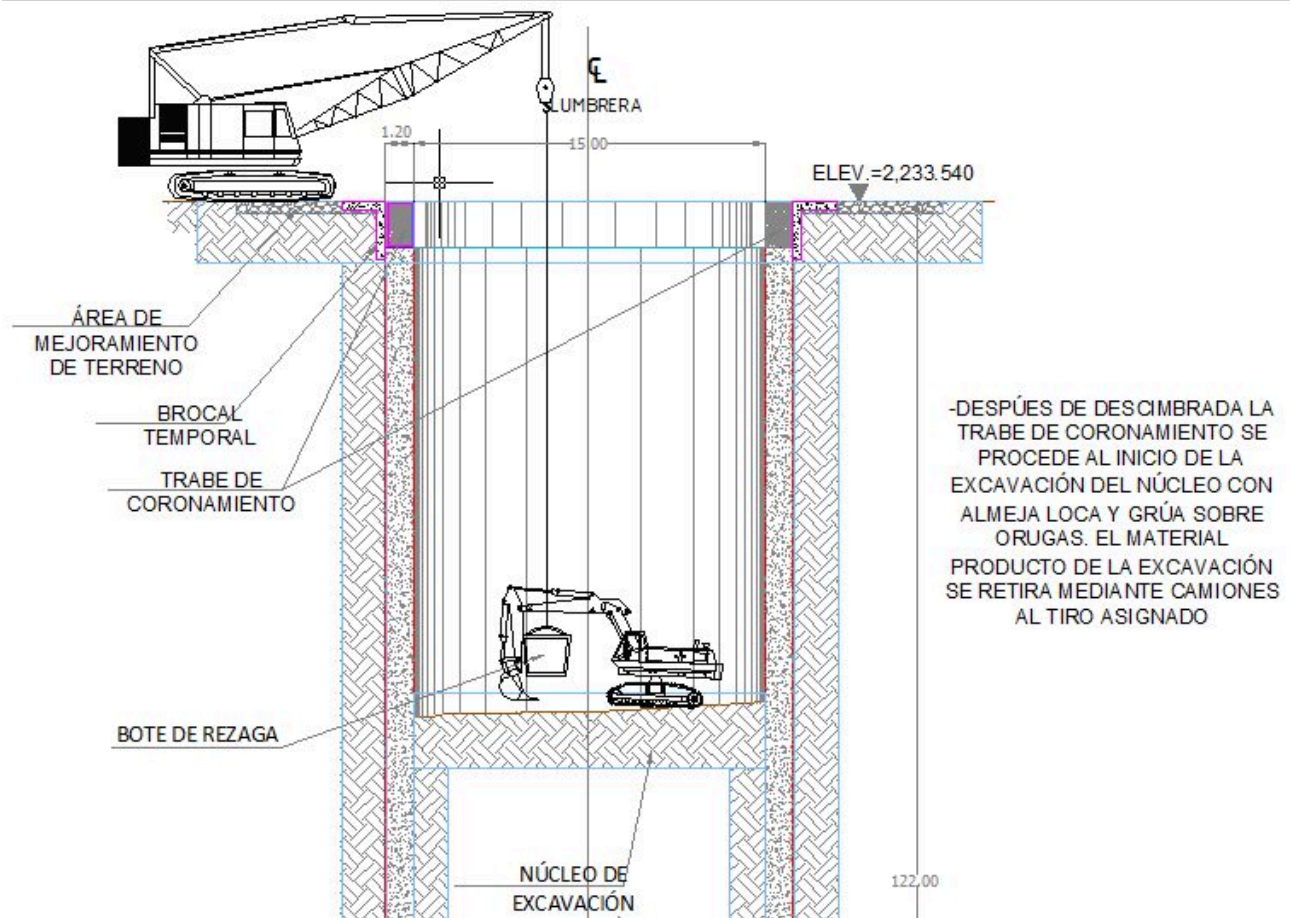


Figura 32. Detalle de la excavación del núcleo de la lumbrera del portal

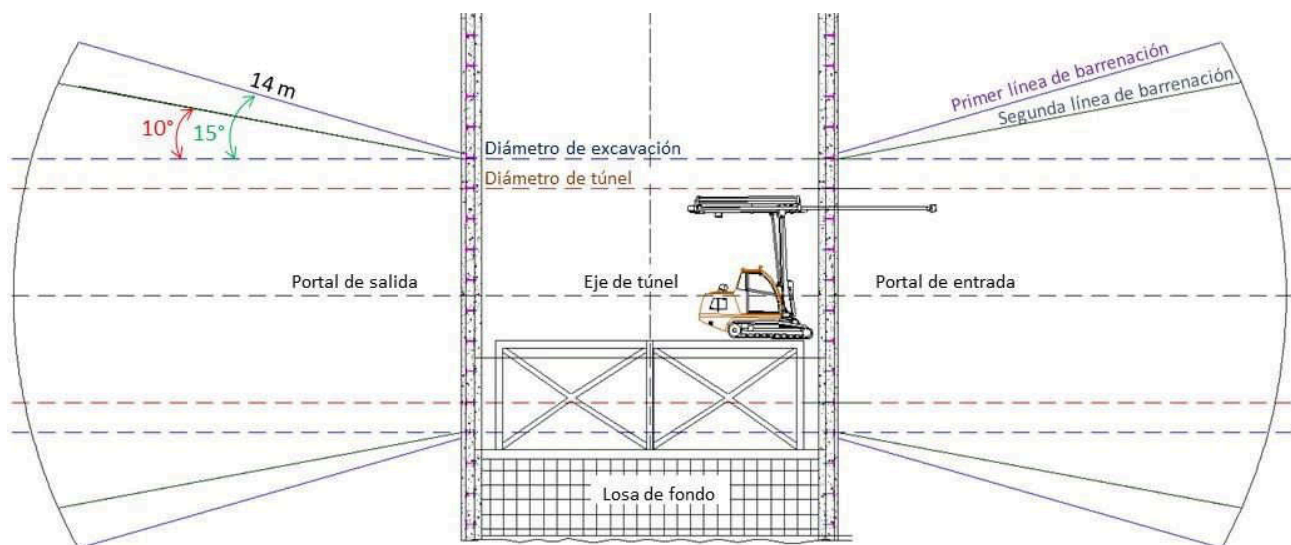


Figura 33. Detalle de la barrenación en los portales de llegada y salida de lumbrera

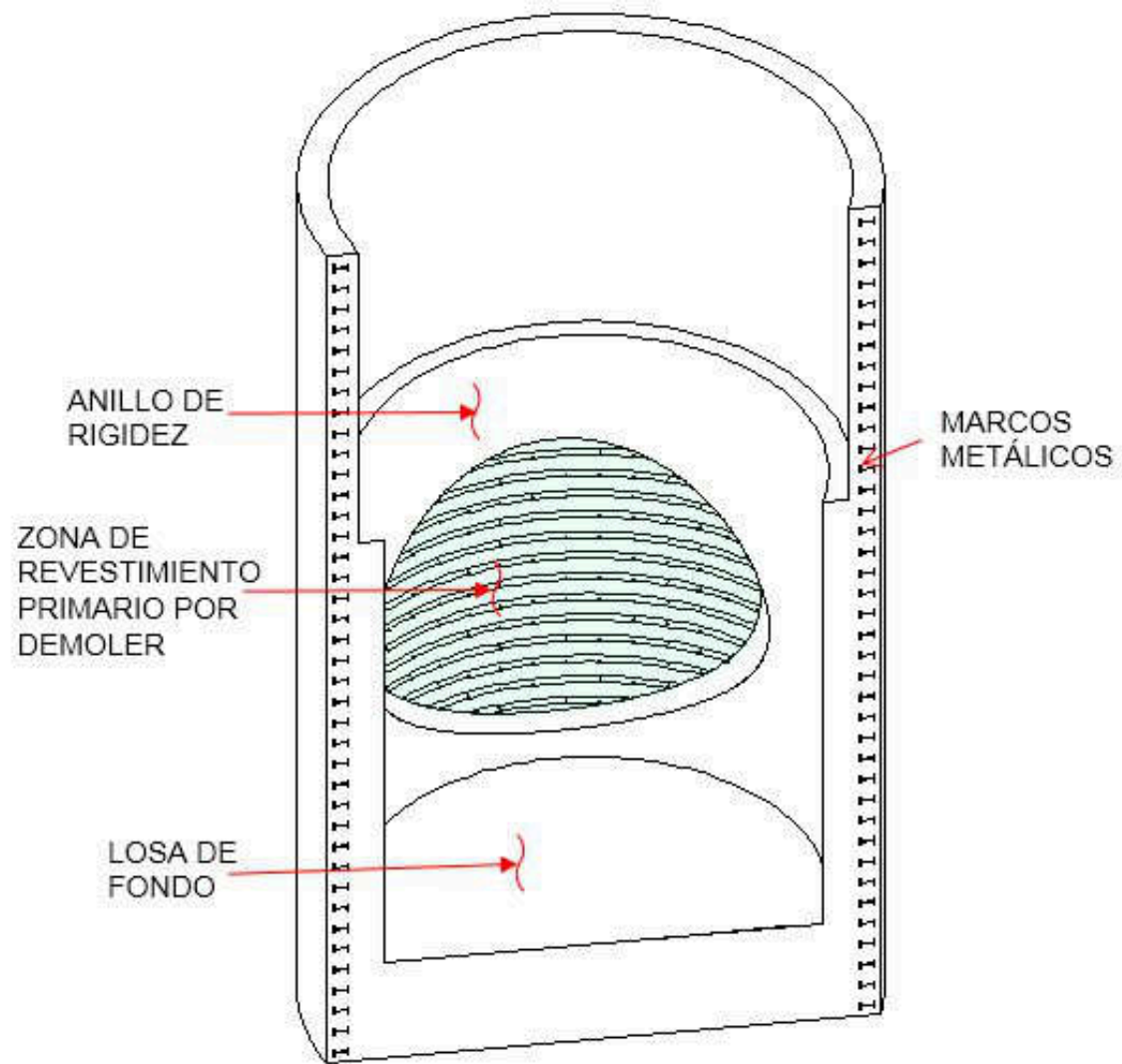


Figura 34. Detalle del portal en lumbrera con la zona de revestimiento primario por demoler

03

Cortes transversales del túnel, dovelas y revestimiento

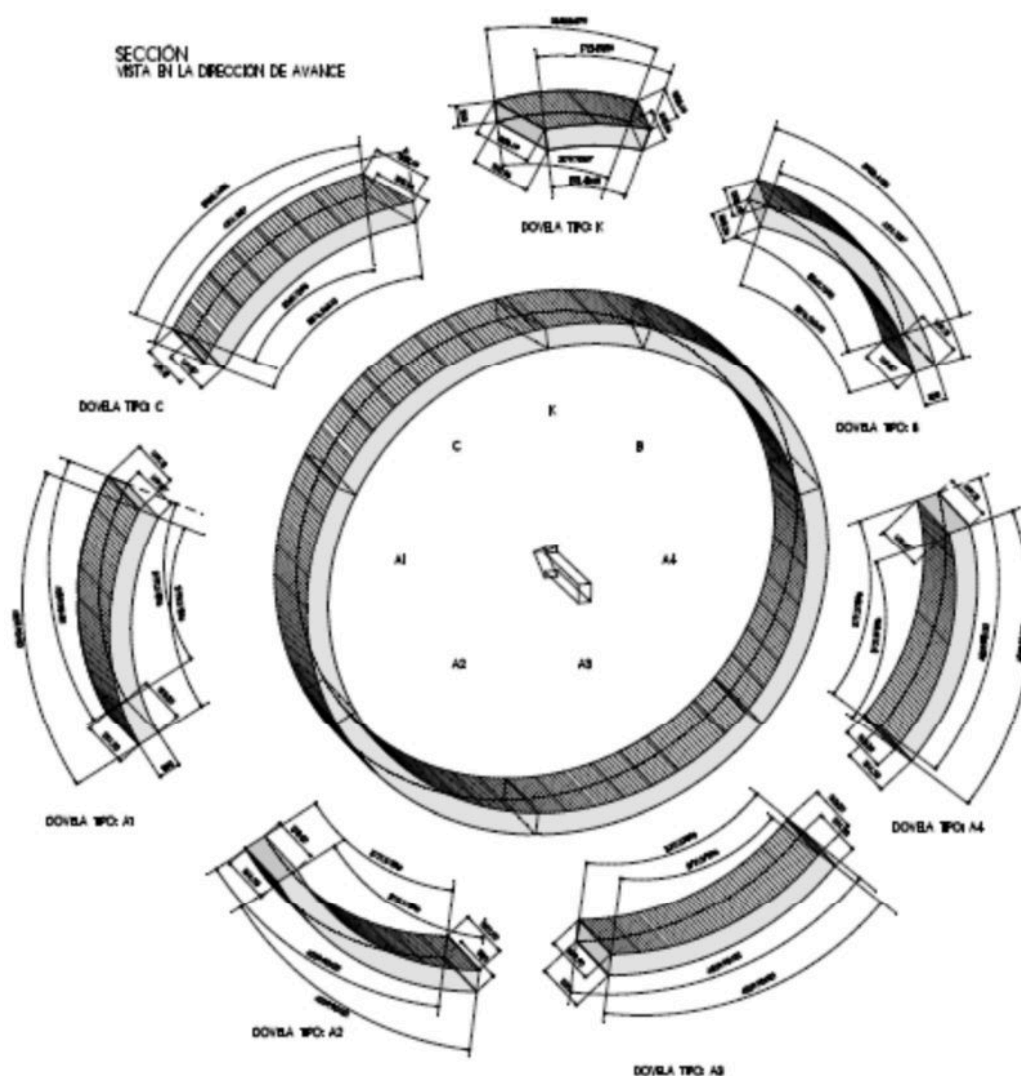


Figura 35. Sección del anillo de dovelas de los tramos 1 y 2, en avance

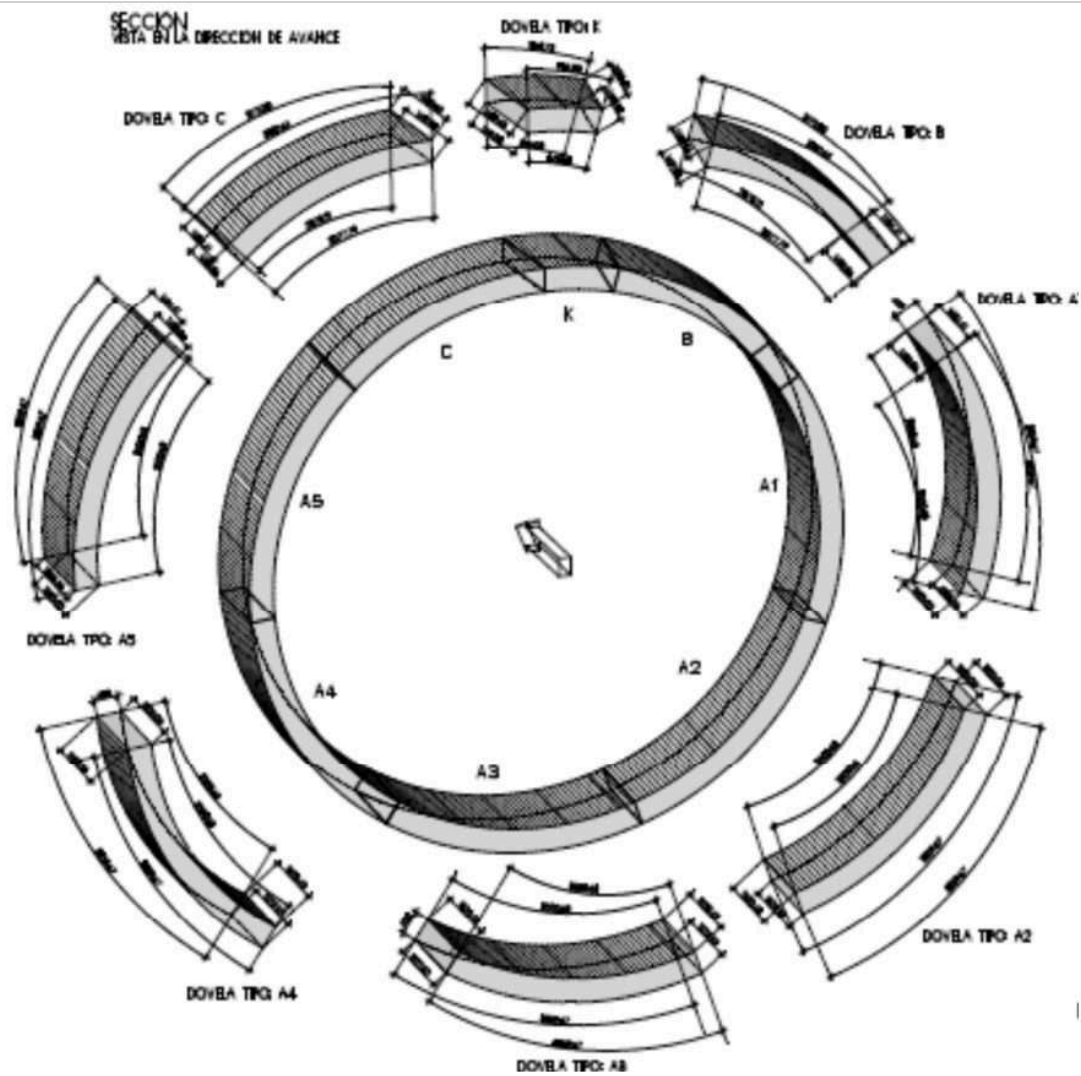


Figura 36. Sección del anillo de dovelas de los tramos 3 a 6, en avance

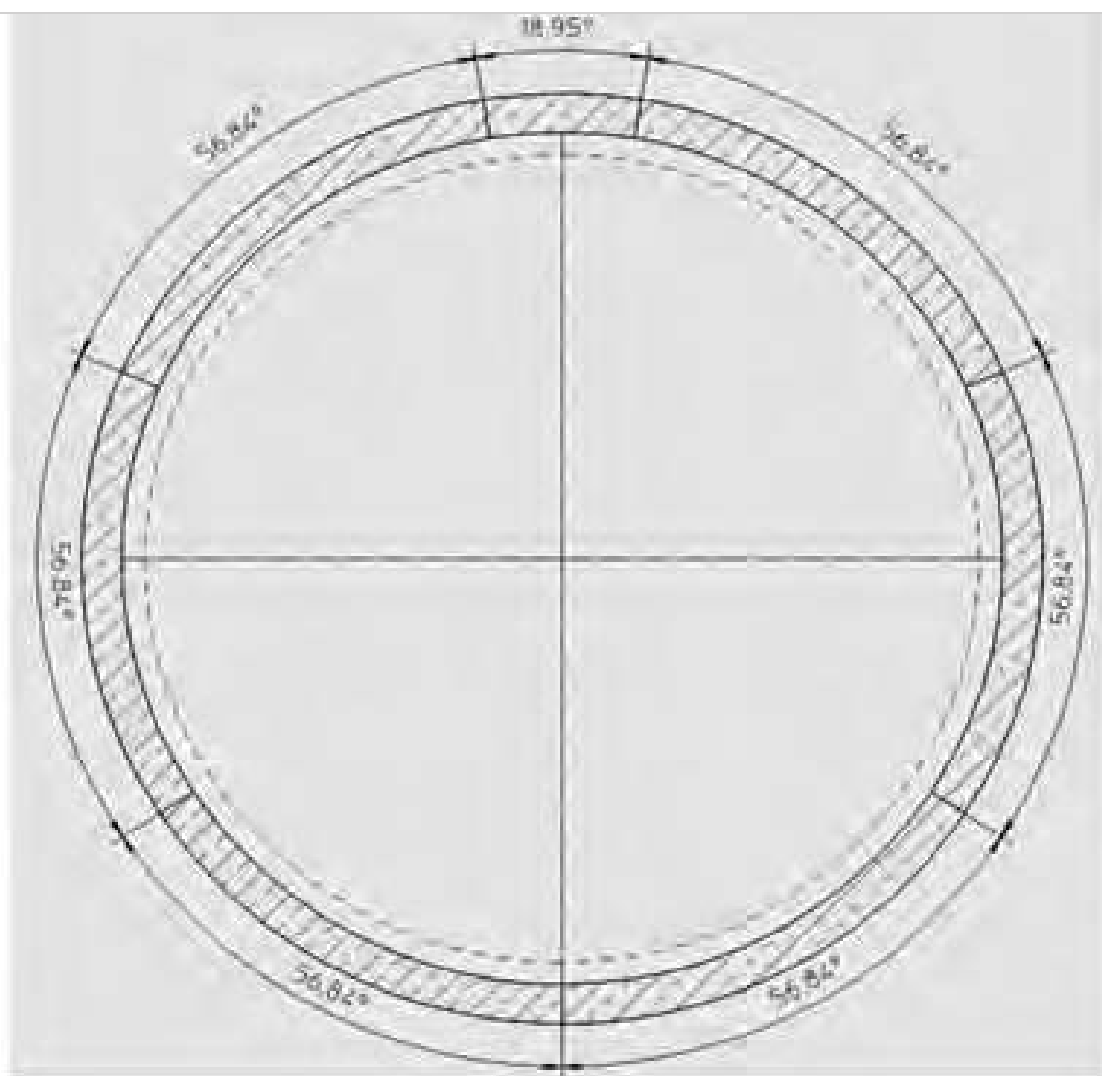


Figura 37. Sección de la segmentación del anillo con dovelas de 56.84 y cierre de 18.95 grados

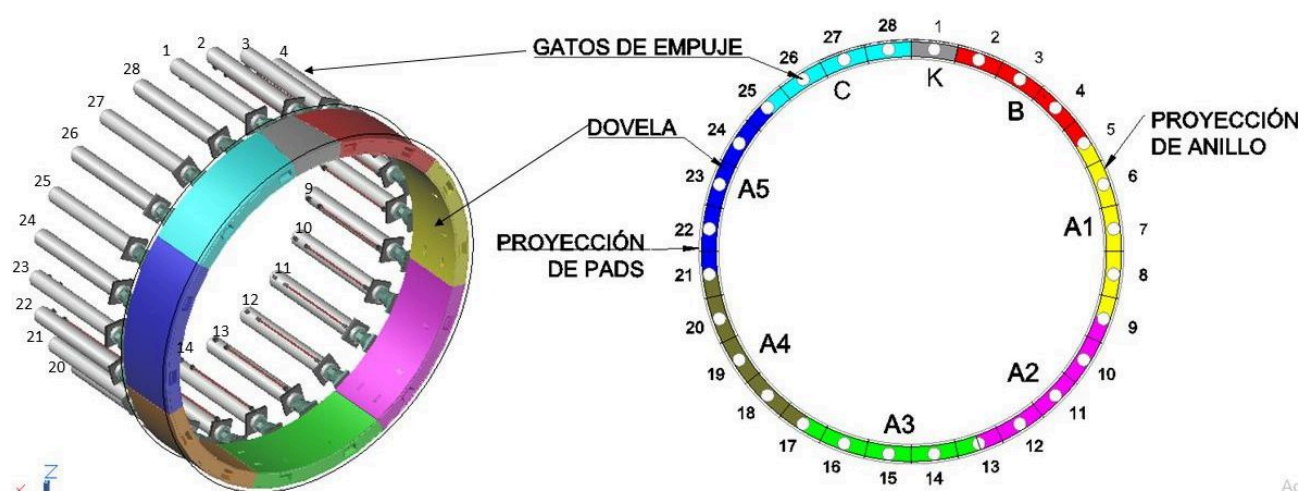


Figura 38. Esquema de la geometría de la secuencia del anillo de dovelas

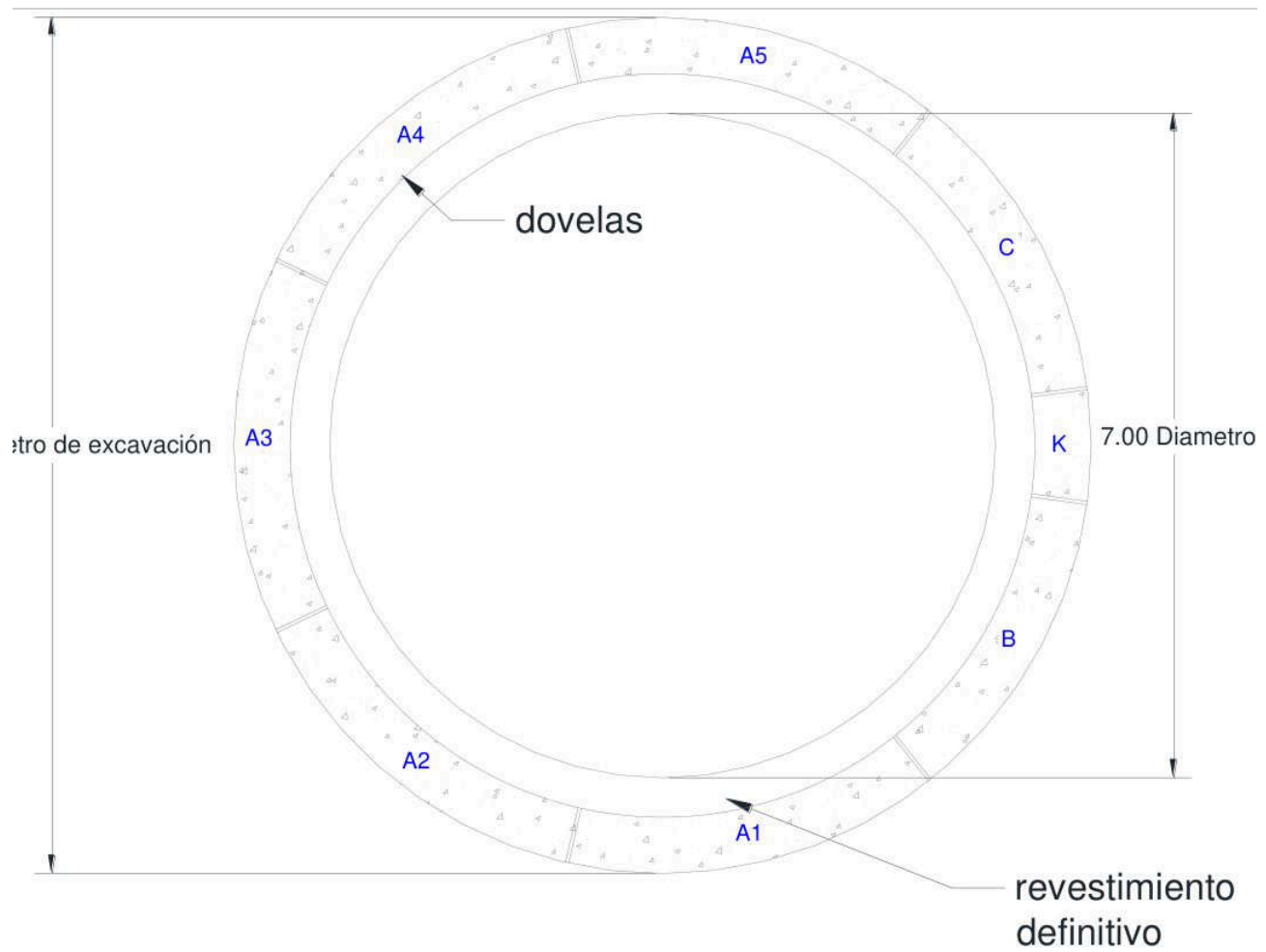


Figura 39. Sección de la configuración del revestimiento

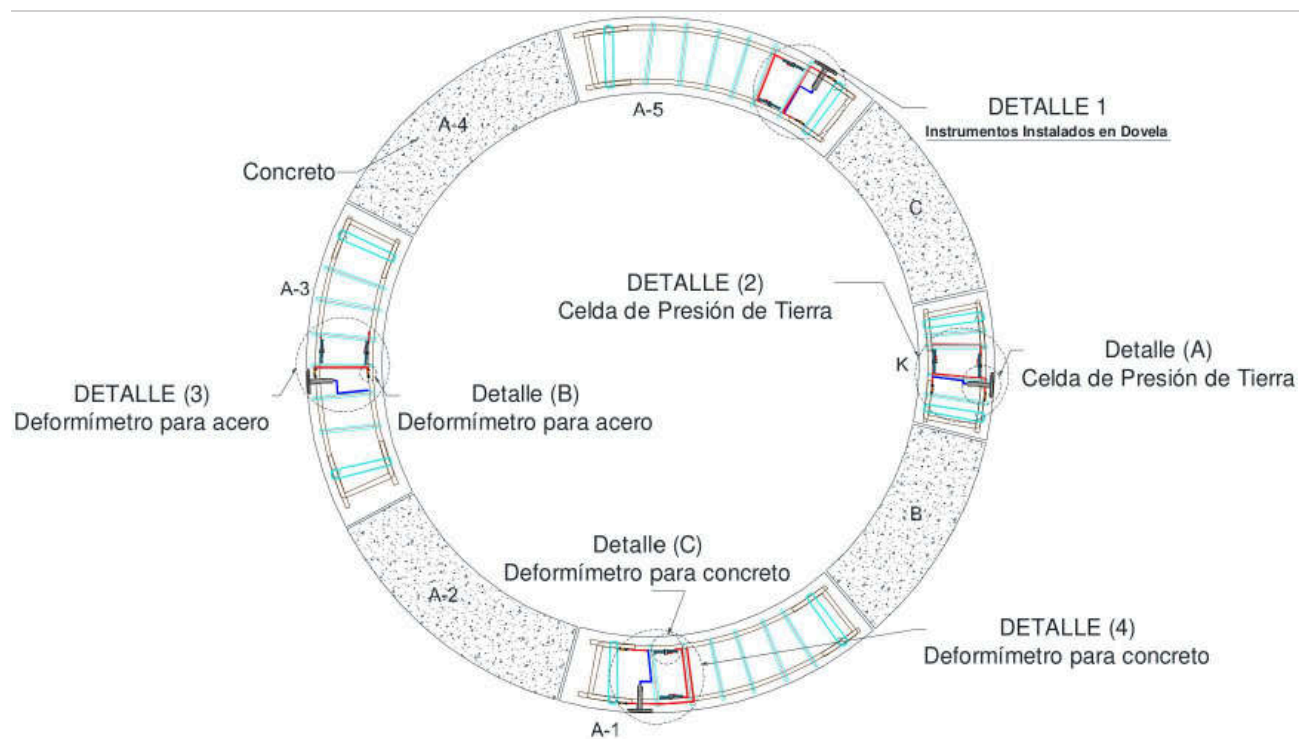


Figura 3. AREGLO DE INSTRUMENTOS EN ANILLO INSTRUMENTADO

Figura 40. Sección del arreglo de instrumentos en las dovelas del anillo instrumentado

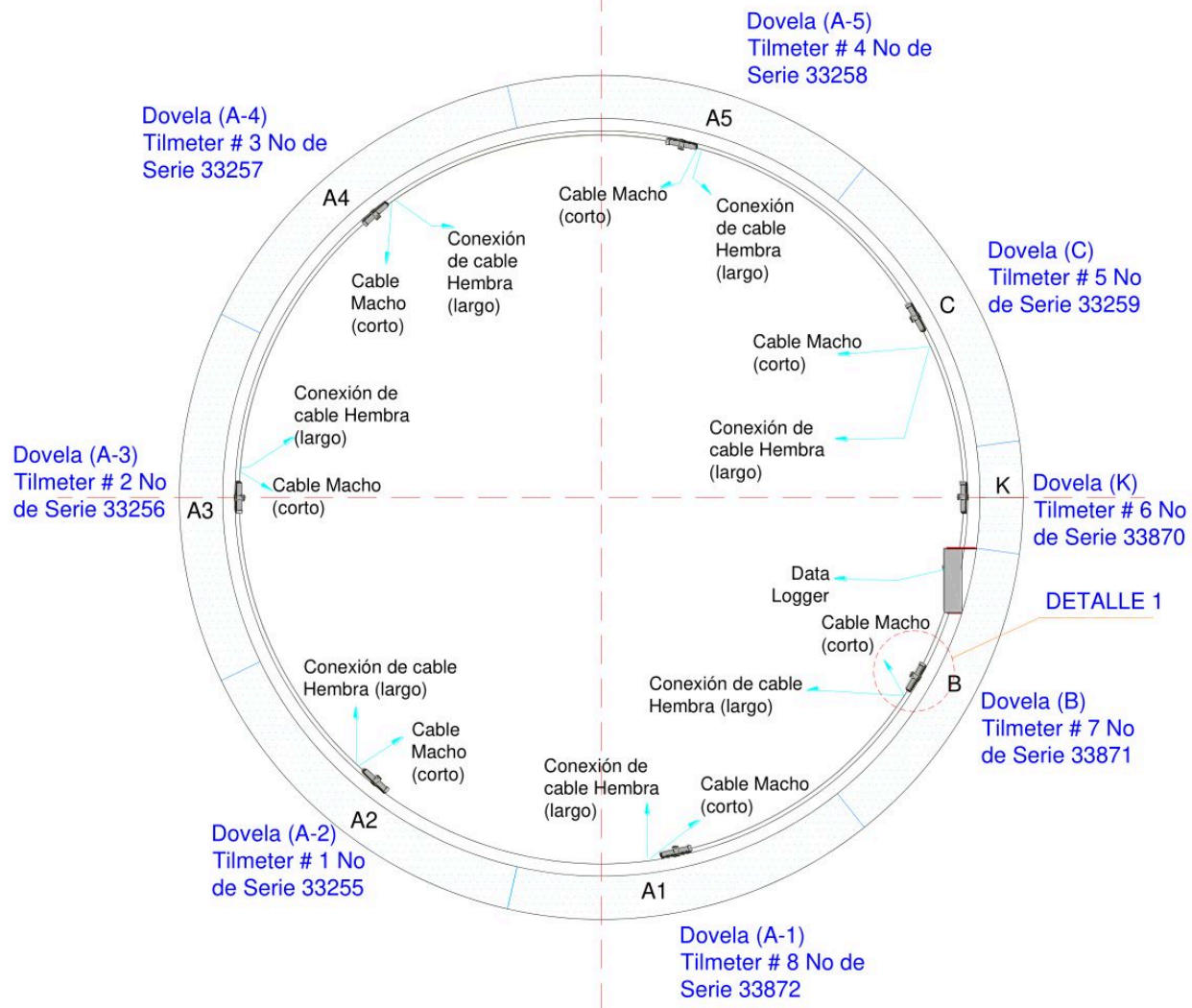


Figura 41. Sección de la distribución del sistema de convergencias automatizado en el anillo

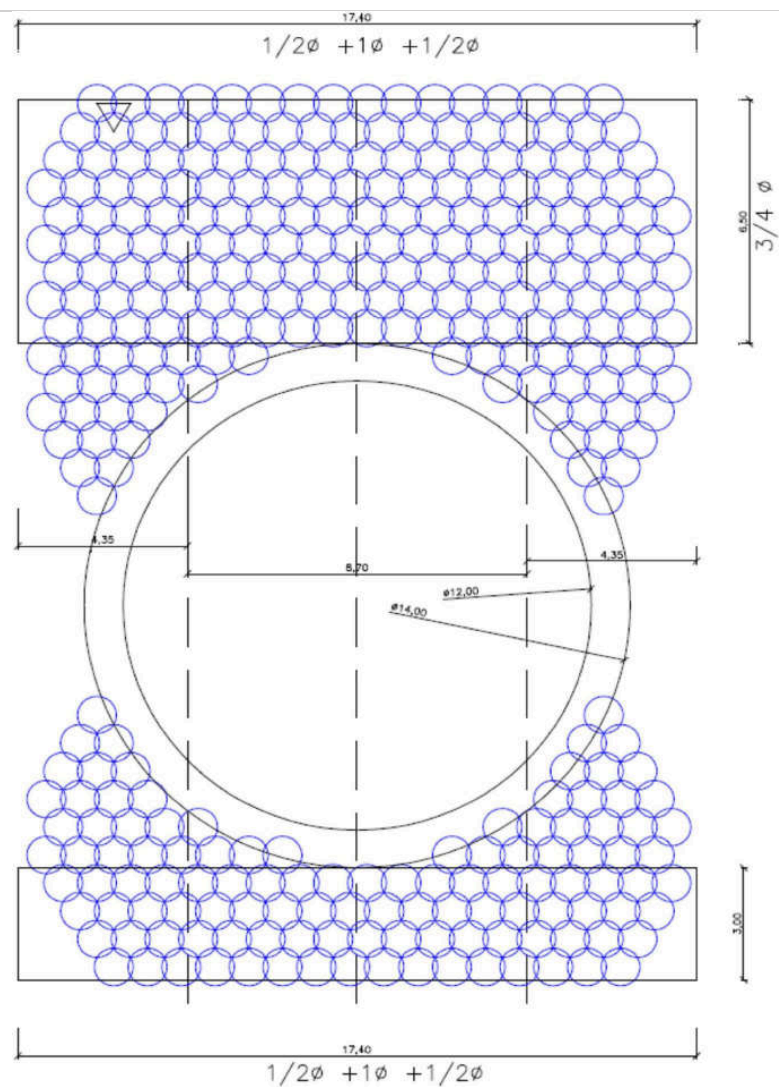


Figura 42. Corte del mejoramiento con jet grouting en la entrada y salida del túnel

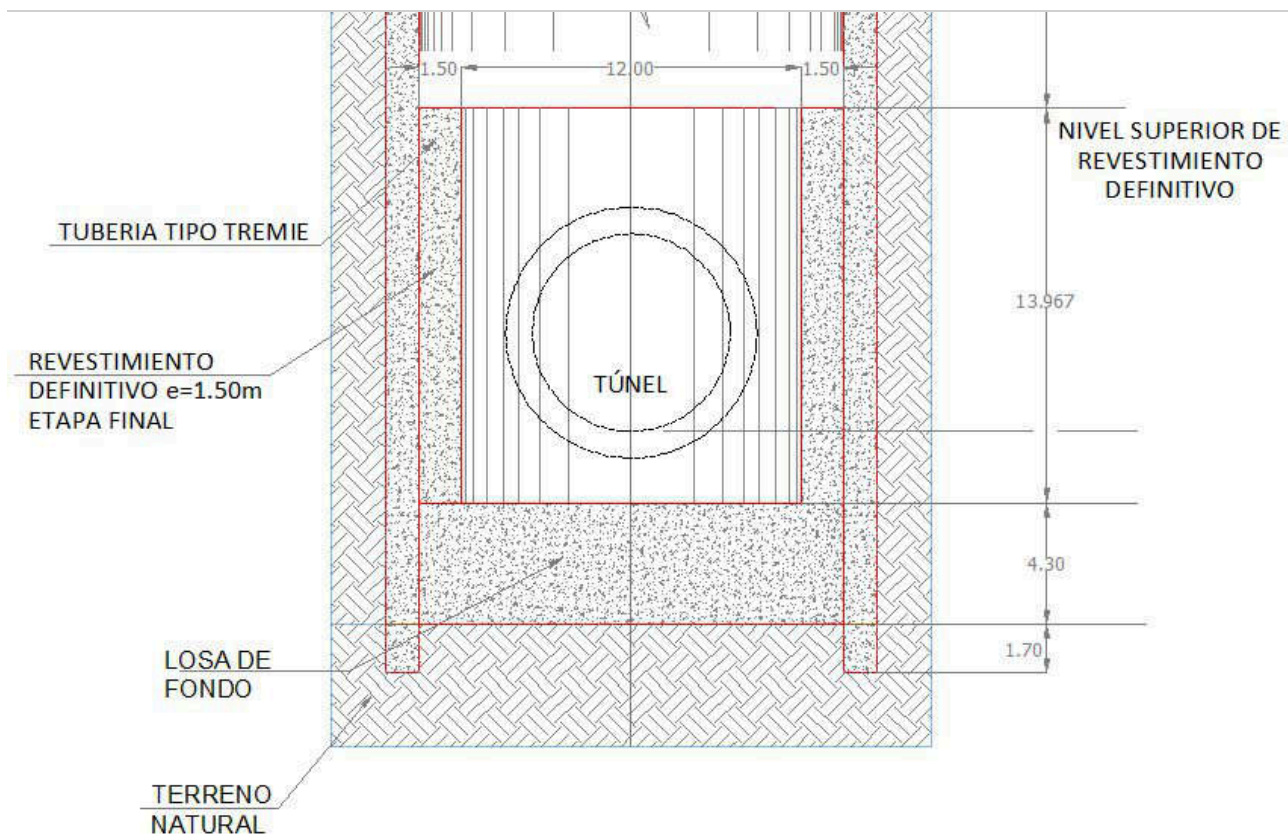


Figura 43. Corte del revestimiento definitivo en la conexión túnel-lumbrera

04

Instalaciones y obras complementarias

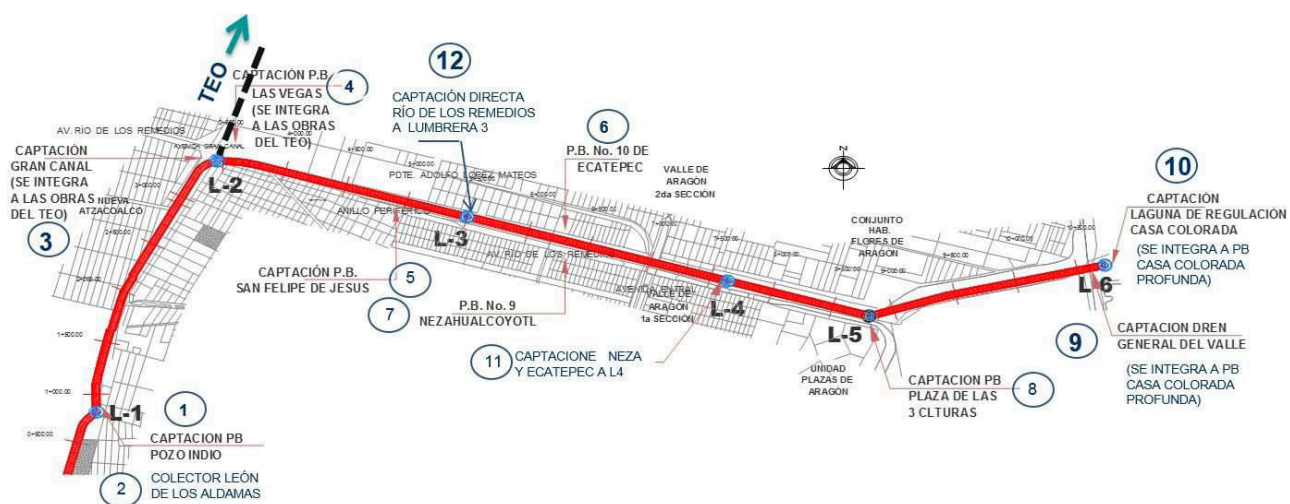


Figura 44. Planta de las captaciones del primer tramo del TEO y del TIRR, de L-1 a L-6

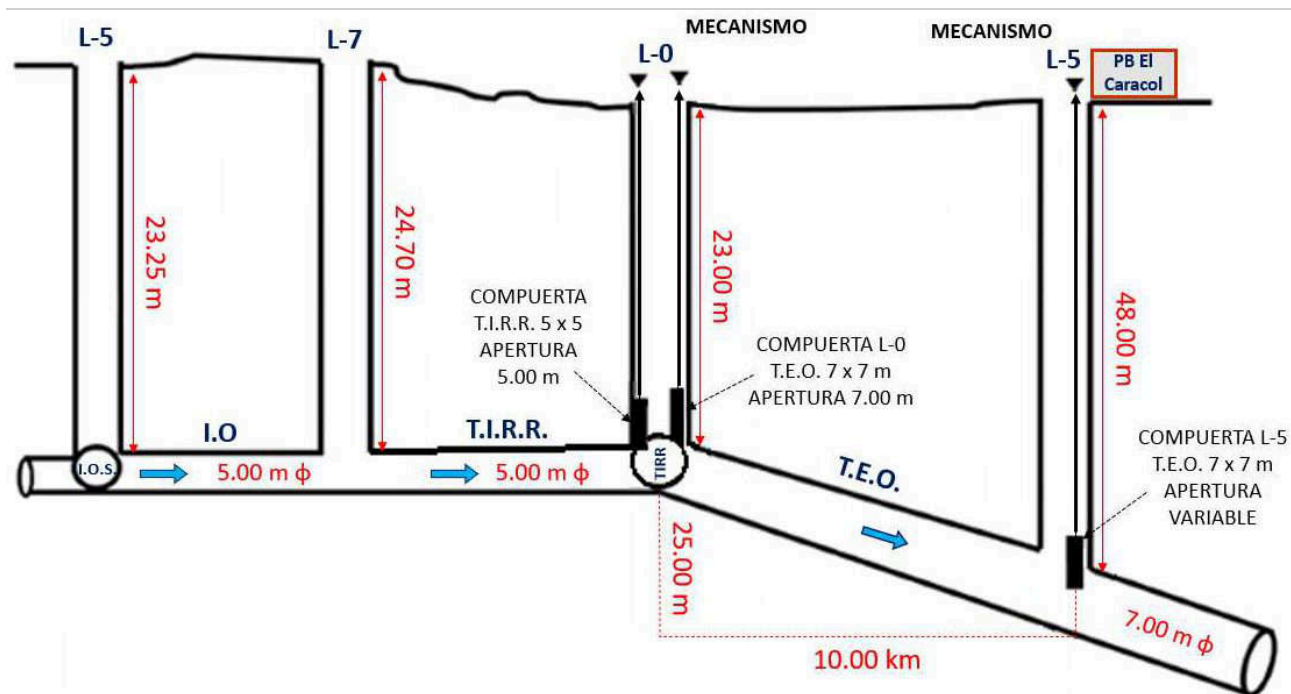


Figura 45. Esquema de compuertas y planta de bombeo El Caracol en los primeros 10 km



Figura 46. Planta de la primera versión de la obra de derivación sobre foto aérea

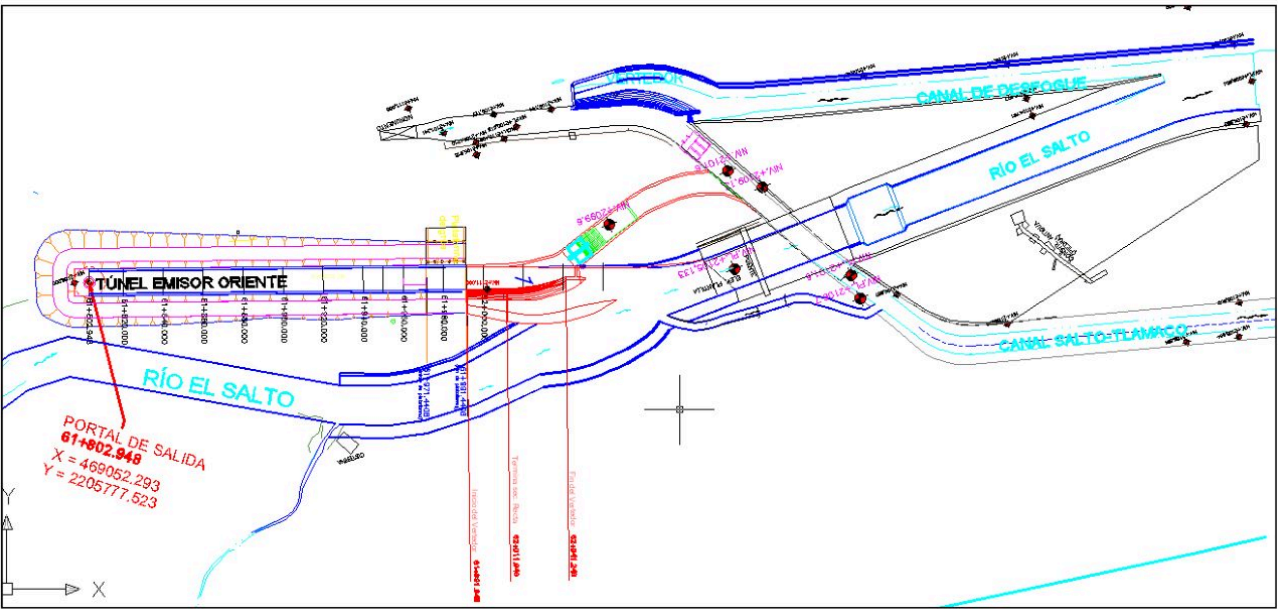


Figura 47. Planta del portal de salida, canal principal y vertedor sobre el río El Salto

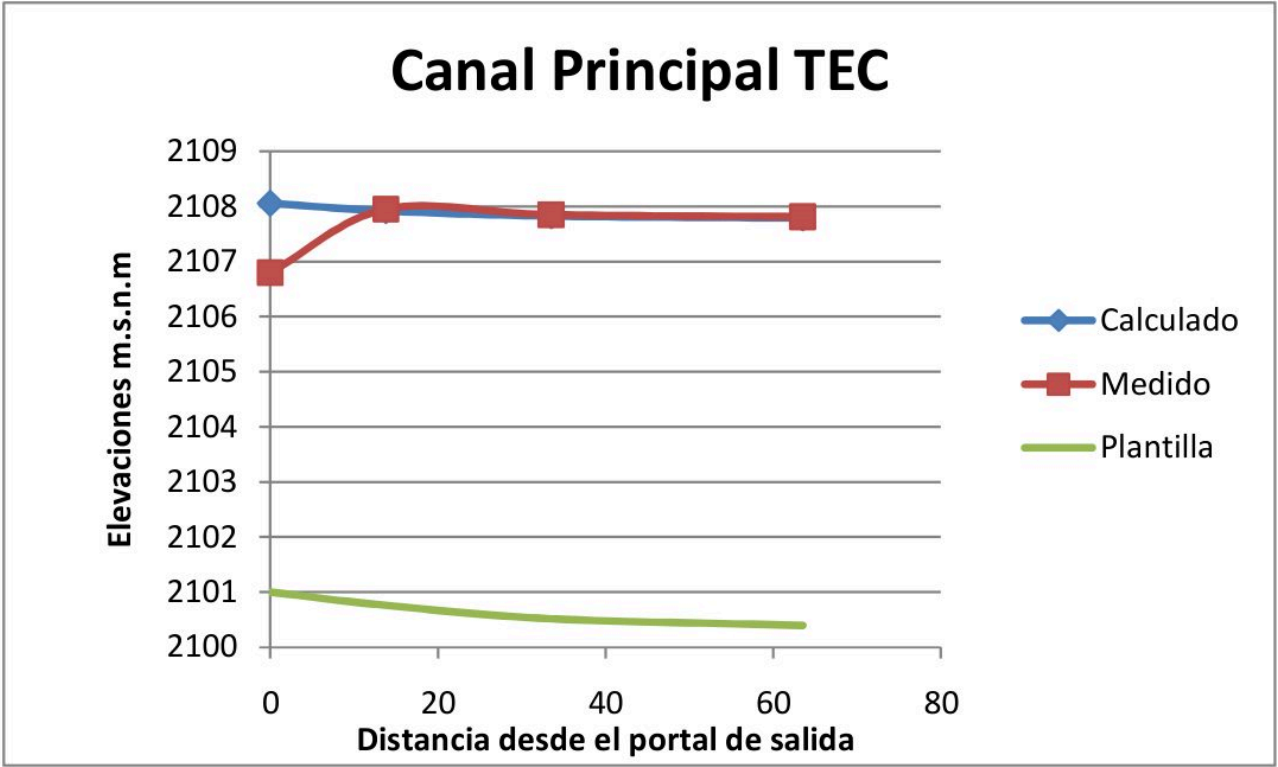


Figura 48. Perfil entre el portal y el vertedor

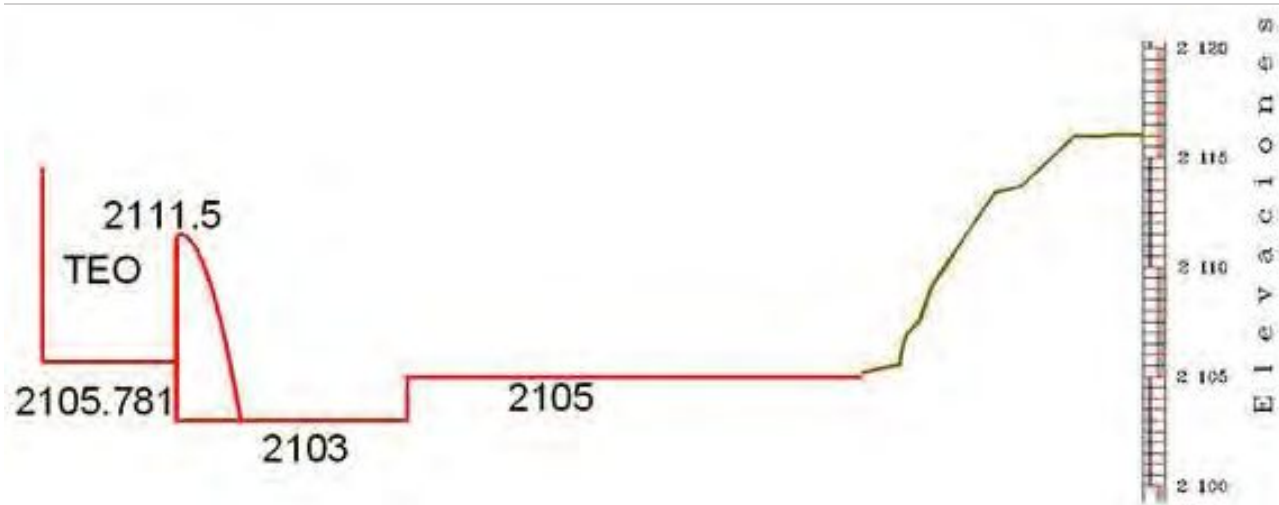


Figura 49. Perfil del vertedor de salida del TEO

05

Planos oficiales de la MIA y de la Conagua



Figura No. 11 Ubicación del proyecto

Figura 50. Mapa de ubicación del proyecto del TEO en la MIA-P

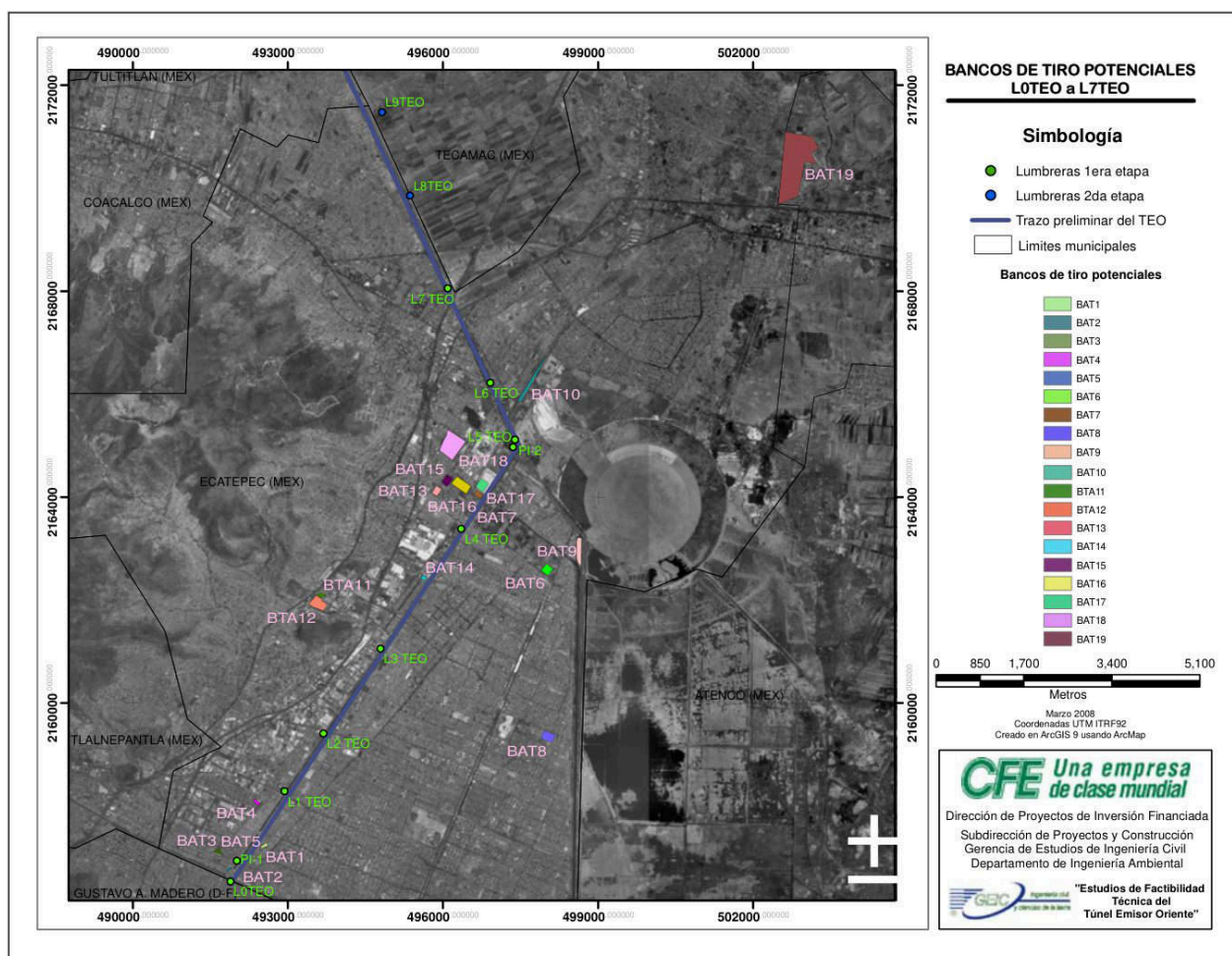


Figura 51.2

Figura 51. Mapa de los bancos de tiro potenciales BAT1 a BAT19 del anteproyecto

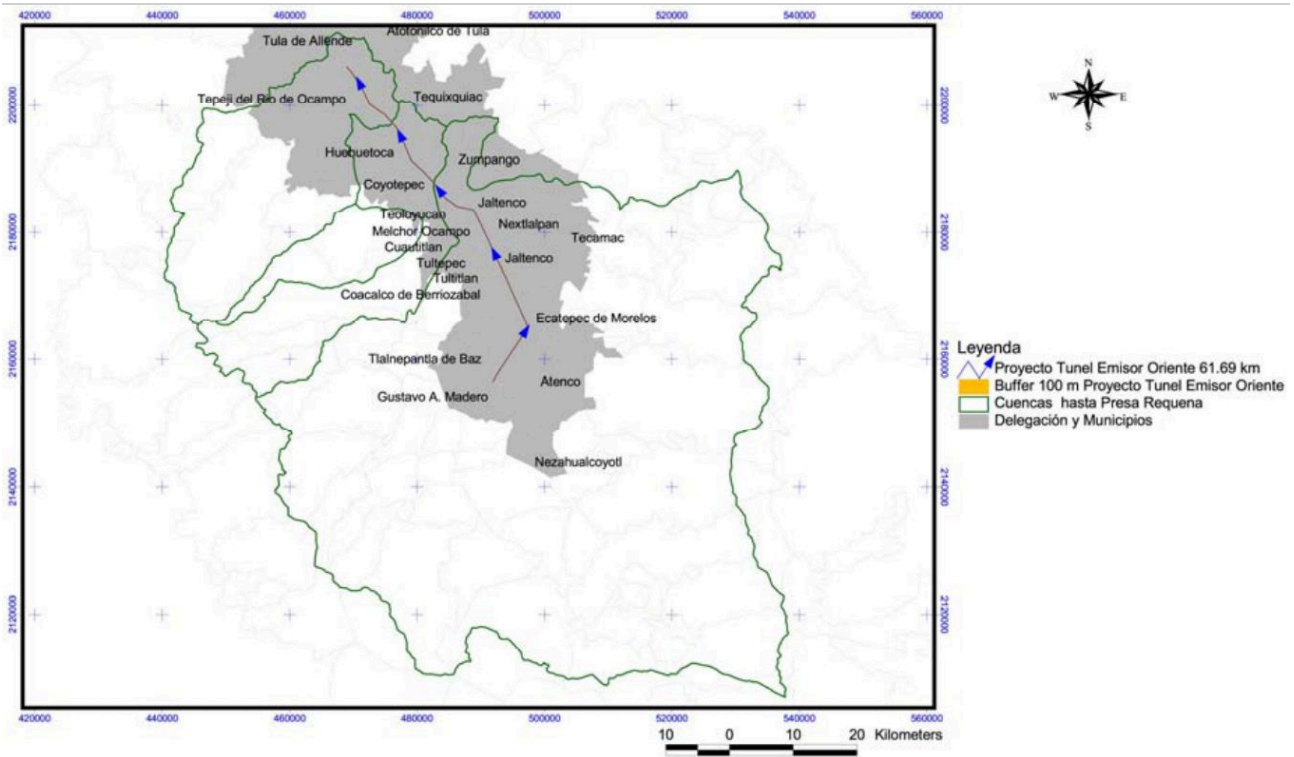


Figura 52. Mapa de los municipios del área de estudio de la MIA-P

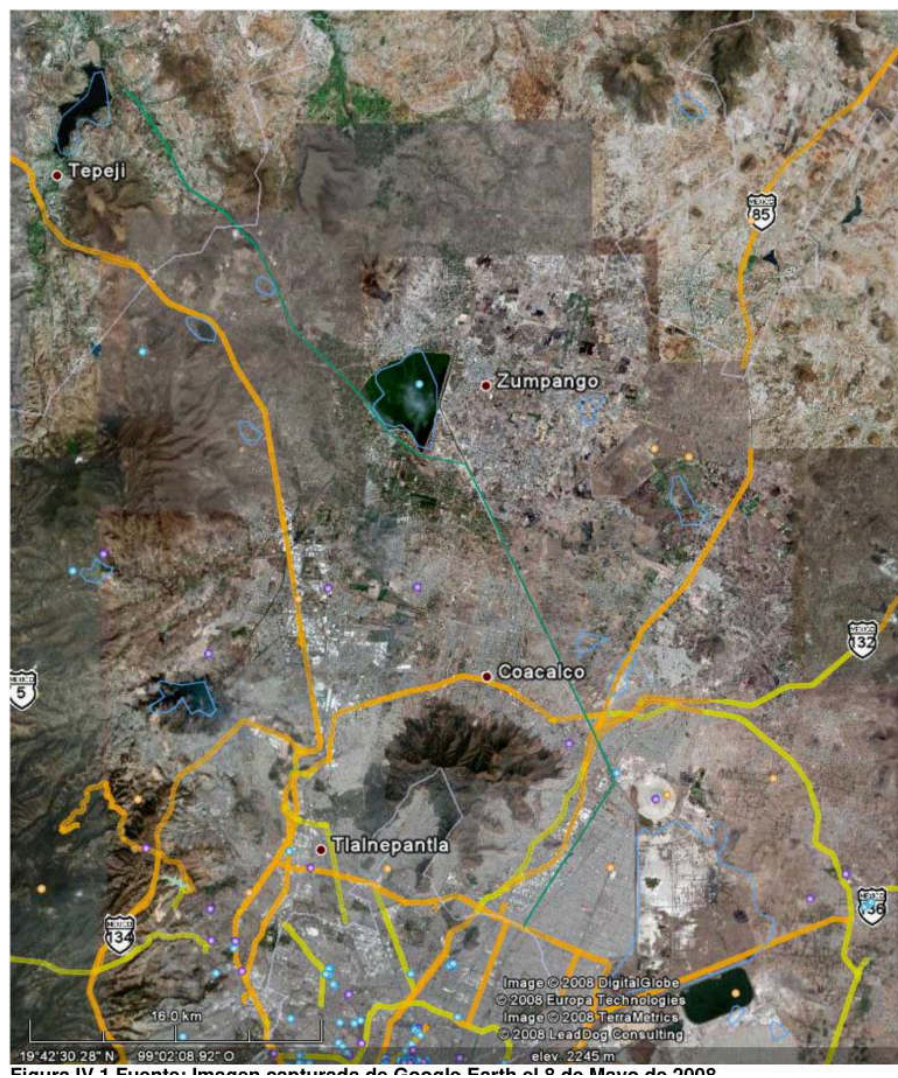


Figura IV-1 Fuente: Imagen capturada de Google Earth el 8 de Mayo de 2008

Figura 53. Planta del trazo del TEO sobre Google Earth, 8 de mayo de 2008

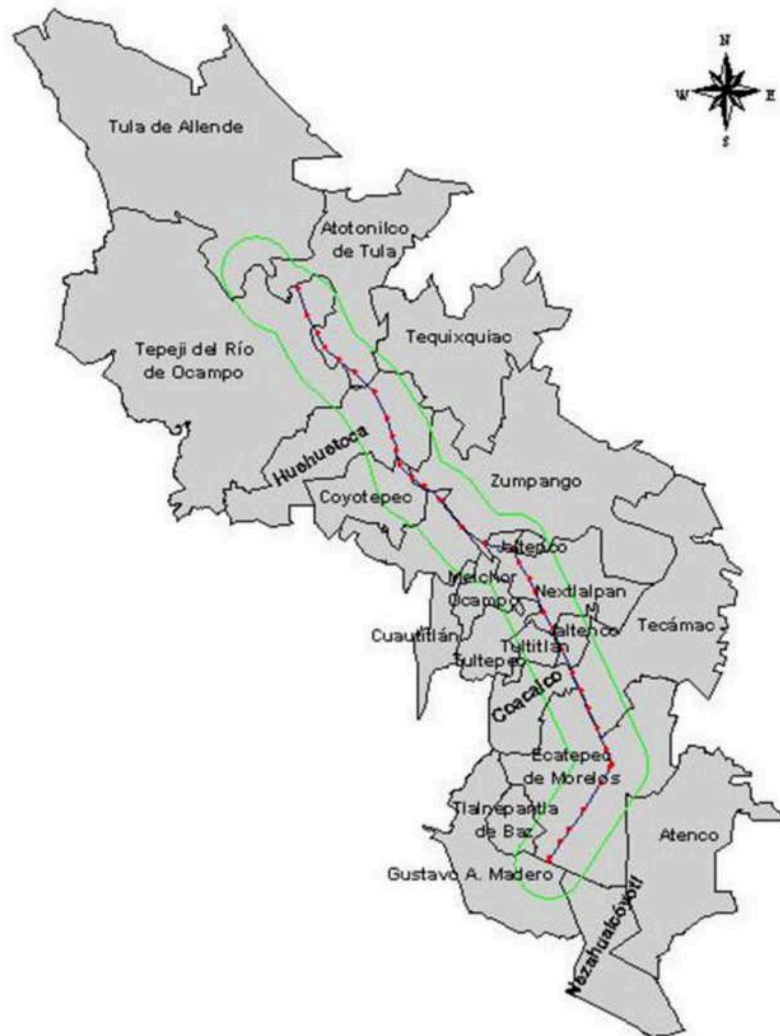


Figura IV.7 Municipios y delegaciones por donde pasa el trazo del Túnel Emisor Oriente

Figura 54. Mapa de municipios y delegaciones del trazo

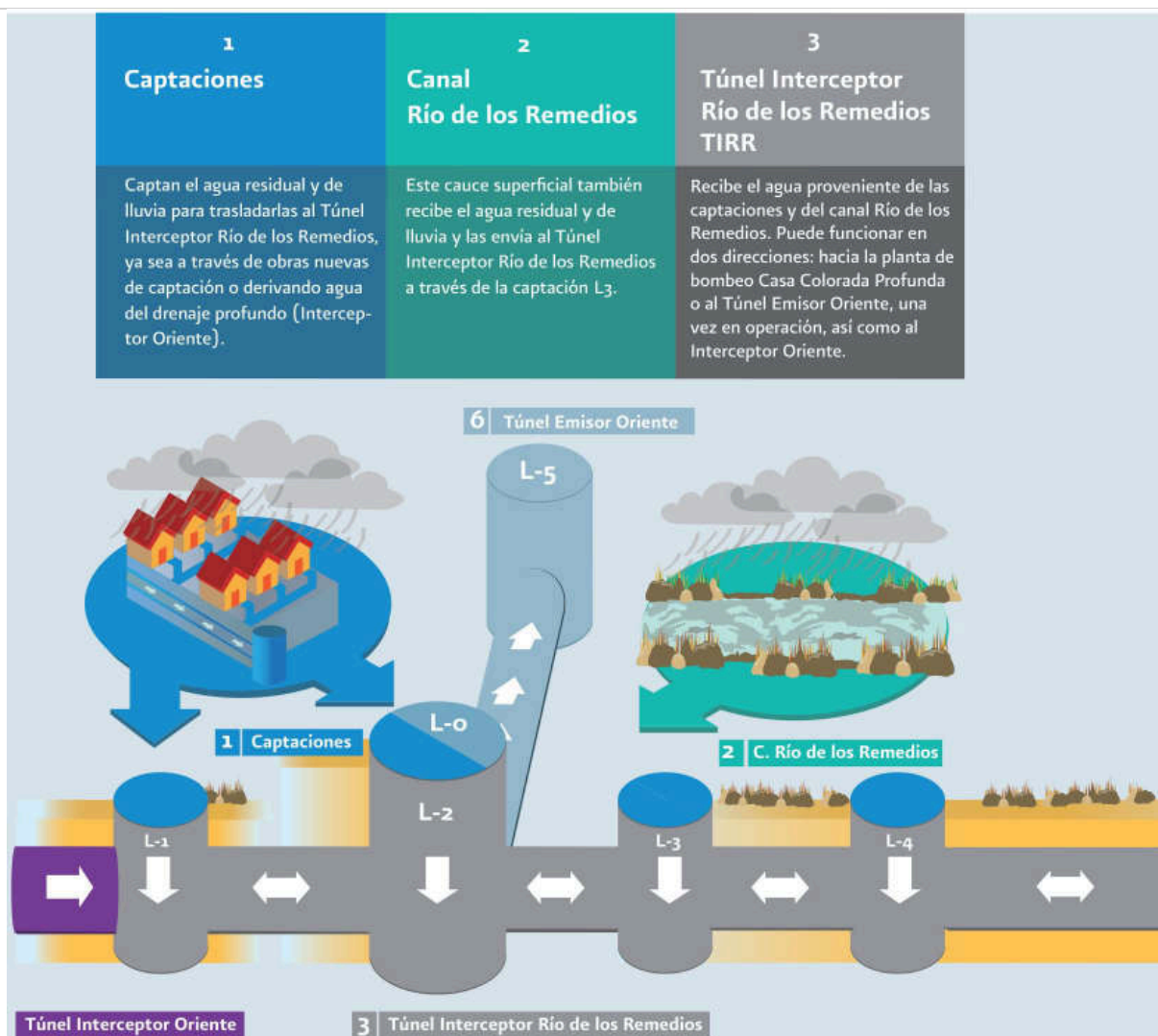


Figura 55. Esquema de funcionamiento del sistema de obras del TIRR

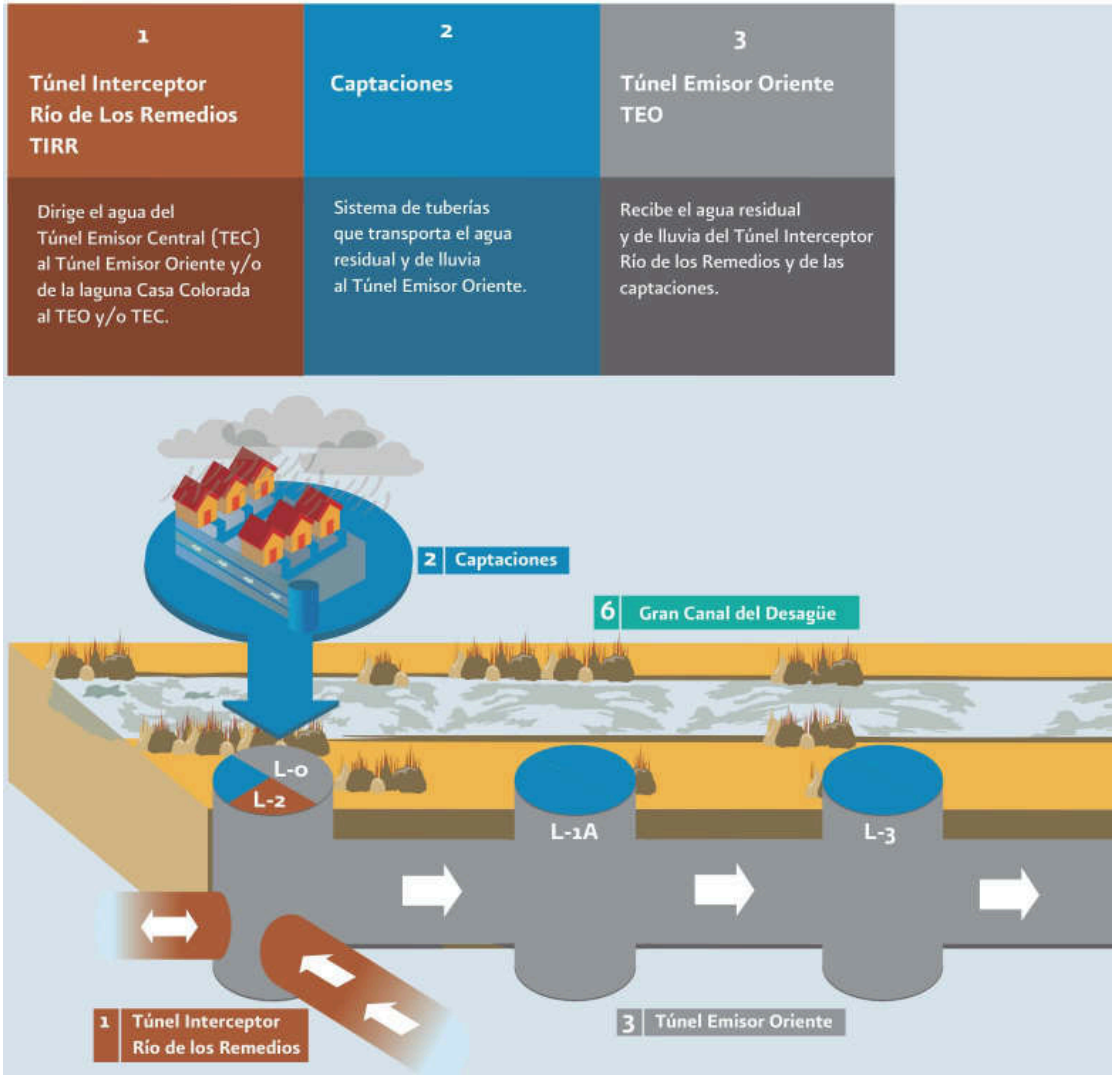
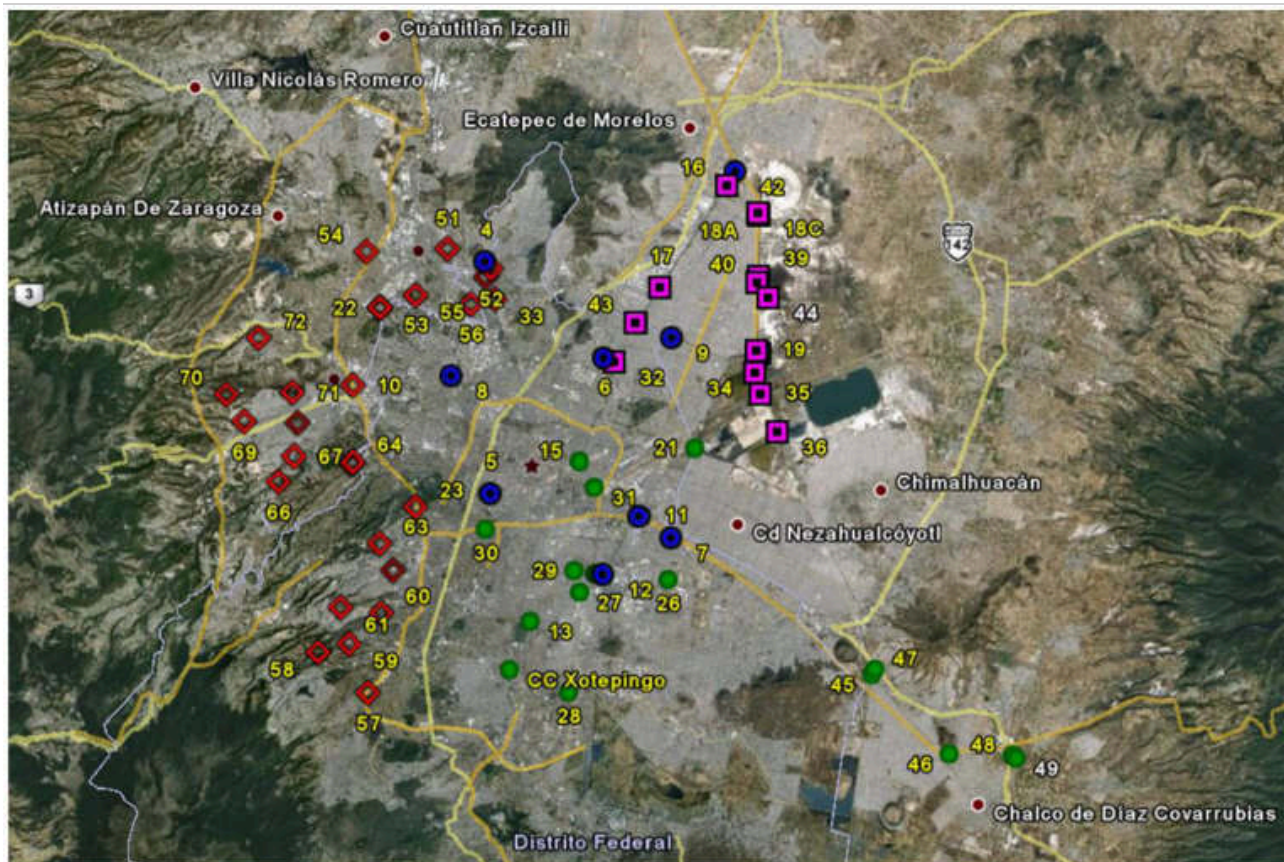


Figura 56. Esquema de funcionamiento del sistema de obras, primer tramo del TEO



Figura 57. Esquema del gasto de diseño en cada tramo y descarga al río Tula



Mapa de sitios considerados en el estudio de conceptualización.

Figura 58. Mapa de sitios del estudio de conceptualización