



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN**

**INGENIERIA CIVIL**

**TESIS:**

**•PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL TÚNEL  
EMISOR ORIENTE CON TUNELADORA TBM-EPB, TRAMO  
III DE LA LUMBRERA 10 A LUMBRERA 11.º**

**DESARROLLO DE UN CASO PRÁCTICO**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL.

**PRESENTA:**

**FREDY ALONSO RAMOS**



**DIRECTOR DE TESIS.**

**M. en I. MARIO SOSA RODRIGUEZ**

**MEXICO, D.F. 2013**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **AGRADECIMIENTOS.**

### ***A MIS PADRES: ALEJANDRO Y ANGELES.***

Por ser mis compañeros y amigos a lo largo de mi vida, por el apoyo invaluable que me brindaron, que a pesar de los obstáculos siempre vieron por mi bienestar, gracias a sus consejos y por la vida que me dieron, hoy puedo decir que mi carrera profesional se los debo a ustedes, MIS PADRES.

### ***A MIS HERMANOS:***

Aquellos seres que a pesar de su insistencia, y negatividad, les quiero agradecer por ser partícipe de momentos especiales a lo largo de mi vida y desarrollo profesional, porque gracias a ustedes, salí adelante, los quiero.

### ***A MIS PROFESORES:***

Por ser mis compañeros y amigos a lo largo de mi trayecto en la universidad, hoy les quiero agradecer por formarme con un carácter responsable y profesional, especialmente agradecerle al M. en I. Mario Sosa, que me apoyo constantemente y confió en mí. Gracias.

# INDICE

1. INTRODUCCION	5
2. ANTECEDENTES	8
3. CAPITULO I ASPECTOS GENERALES	11
Investigación geológica	13
Procedimiento constructivo, Construcción de Lumbreras- Excavación	13
Galería	15
Procedimiento para extensión de Tubería de Agua fría, caliente y Agua residual	19
Extensión de ducto de ventilación	21
Colocación de rieles	22
4. CAPITULO II CARACTERISTICAS GENERALES DE LA TUNELADORA TBM-EPB	
Partes Principales	24
5. CAPITULO III. ENSAMBLE DE LA TUNELADORA TBM-EPB.	
Procedimiento para el montaje del equipo excavador (TBM) en fondo de Lumbrera	31
6. CAPITULO IV PROCESO DE EXCAVACION	
Procedimiento de inicio para excavación con tuneladora TBM-EPB	43
Excavación en fase Provisoria	44
Sistema de rezaga en fase provisoria	45
Excavación en fase Definitiva	47
Descripción del ciclo de los trenes de servicio	48
Operaciones para movimiento de vaca de Mortero	48
7. CAPITULO V REVESTIMIENTO DEL TUNEL	
Objetivo	51
Partes generales	51
Verificación del cargamento de dovelas	55
Descarga de las dovelas en obra	56
Bajada de dovelas en fondo de Lumbrera en fase provisoria	57
Bajada de dovelas en fondo de Lumbrera en fase definitiva	58
Carga de dovelas sobre carros doveleros en fase definitiva	59
Descarga de dovelas sobre el Segment Feeder en fase provisoria	61
Descarga de dovelas sobre el Segment Feeder en fase definitiva	62
Colocación de las dovelas con el Erector	63
Tolerancias de colocación	65

<b>Balanceo del Anillo</b>	69
<b>8. CONCLUSIONES</b>	70
<b>9. ANEXOS</b>	
<b>VISTAS DE LAS SECCIONES PRINCIPALES DE LA TBM</b>	73
<b>10. ANEXOS</b>	
<b>PLANOS Y FORMATOS</b>	84
<b>11. ANEXOS FOTOGRAFICOS</b>	
<b>CONSTRUCCIÓN DE GALERÍA</b>	96
<b>PLANTA DOVELAS NO.2 (FABRICACIÓN DE DOVELAS)</b>	97
<b>SUPERFICIE</b>	98
<b>FONDO DE LUMBRERA (ARMADO DE TBM)</b>	105
<b>GALERÍA Y PRE TÚNEL</b>	106
<b>TÚNEL- EXCAVACIÓN EN FASE PROVISORIA</b>	107
<b>TÚNEL- EXCAVACIÓN EN FASE DEFINITIVA</b>	110
<b>COLOCACIÓN DE ANILLO DE CONCRETO</b>	112

## INTRODUCCIÓN

### **Capítulo I**

El Túnel Emisor Oriente (TEO) tendrá una longitud aproximadamente de 62 km el cual se auxiliara de 24 lumbreras y un portal de salida, las lumbreras estarán distantes entre sí unos 2.5km ha 3km en promedio y alcanzaran profundidades desde 32m hasta 149m, este túnel tendrá inicio en el Distrito Federal pasara por el Estado de México, y desembocara en el Estado de Hidalgo en el municipio de Atotonilco de Tula, iniciara con una pendiente del 0.19% hasta la lumbrera 06 y finalizará con el 0.16% hasta el portal de salida. En el tramo III que comprende de la L-10 hasta la L-17 contempla la construcción de dos tipos de Lumbreras: **Lumbreras de montaje o de extracción del equipo**, la L-10 y L-13 tendrá un diámetro interior terminado de 15.30m y L-17 un diámetro de 18m. **Lumbreras de paso**, las cuales tendrán un diámetro terminado de 12m y servirán para darle mantenimiento a la TBM cuando esta pase por el fondo de lumbrera.

### **Capítulo II**

En las lumbreras de montaje se descenderá la Maquina Tuneladora TBM-EPB (para su armado en fase provisoria) la cual representan la más novedosa técnica de construcción de túneles, ya que anteriormente los métodos tradicionales de perforación y voladura eran muy tardados y algunas veces inseguros para el personal trabajador, la perforación con Tuneladoras representan una importante reducción de riesgos de hundimiento, las características geotécnicas del trazo del túnel dependerán para la elección de la maquina a emplear. En este caso la TBM en el tramo III, L10 ha emplear será un escudo EPB (equilibrio de presión de tierra) con un diámetro de 8.88m ubicándose en la parte trasera de este los Gantry's, las cuales son estructuras con ruedas sobre rieles y dimensiones de 10.30m de largo, 6.30m de ancho y 3.90m de alto, destinados para alojar los equipos (tanque hidráulico, generador, transformadores, VFD's etc.) e insumos para la operación de la TBM como son grasas, espumas, aditivos, tornillería, etc.

### **Capítulo III**

La TBM tipo EPB tendrá un procedimiento de montaje en fase provisoria y en fase definitiva, en fase provisoria se tendrá el descenso y ensamble de los escudos A y B para posteriormente colocar la rueda de corte, la cual es una de las partes de la TBM mas importantes ya que esta tendrá contacto directo con el frente de excavación, posteriormente se tendrá que ensamblar los 10 motores la cual es parte fundamental ya que gracias a estos motores se podrá girar o revolucionar a distintas velocidades la rueda de corte para poder perforar el frente de excavación, se tendrá en cuenta el buen torque de cada tornillería a colocar, enseguida se descenderá el tornillo sinfín No.1 el

cual ayudara a la extracción del producto excavado “rezaga” en cámara de rezaga o amasado, dicho sinfín estará conectado al sinfín No.2 para poder retirar la rezaga por medio de la banda transportadora, se descenderá y colocara los 28 gatos de empuje ya que es parte principal para la perforación de cada anillo, por último se tendrá que descender el faldón y soldarlo a la parte posterior del escudo B, este faldón tendrá como objetivo la inyección de grasa de cola para evitar filtración de cualquier tipo de mezcla o aditivos al igual que en esta área parte interior del faldón se colocara correctamente el anillo de concreto, por parte del montaje en fase definitiva se descenderán los gantry's faltantes al igual que sus partes o equipos que lo componen a cada uno, se colocara la banda de rezaga definitiva iniciando de la salida de la compuerta del sinfín No.2 en dirección hacia la descarga en el Tail- piece .

#### **Capítulo IV**

Después del ensamble de la TBM-EPB se iniciara el proceso de excavación en fase provisoria y fase definitiva: se dará inicio al ciclo de operación del equipo excavador en fase provisoria, excavando y extrayendo por medio del sinfín No.1 y No.2 el producto excavado hacia una banda de rezaga provisional ubicada al final del gantry Bridge, la cual será desalojada por ciclos en botes de 10m<sup>3</sup> y luego por botes de 20m<sup>3</sup>, esto hasta que se tenga la distancia requerida para alojar dicho bote, este ciclo se terminara hasta obtener una distancia de 1.5m de empuje para la colocación del anillo de concreto. Se tendrá en cuenta que en cada empuje se realizara la inyección de grasa de cola para evitar todo tipo de filtraciones al igual que la inyección de Mortero, la cual es parte primordial para que en el anillo no tenga deformaciones ni asentamiento alguno. El proceso de excavación en fase definitiva se tendrá en cuenta que el sistema de bandas de rezaga este al 100%, en esta etapa el equipo excavador TBM va perforando y retirando material por medio del sinfín No.1 y No.2 hacia la descarga en el Tail-Piece hasta la descarga de la banda horizontal hacia la banda vertical para desalojarla en el dique de rezaga, esto hasta alcanzar la distancia requerida de 1.5m y así colocar el anillo de concreto, se revisara constantemente que haya suficiente mortero e insumos para cada empuje de anillo.

#### **Capítulo V**

Por último cabe destacar la colocación del anillo de concreto el cual consta de 7 dovelas y 1 clave o llave, cada unos de los descensos de anillos será de forma distinta en fase provisoria y en fase definitiva, tanto en el en el patio de dovelas, luego hacia el fondo de lumbrera y por ultimo en los carros doveleros, los cuales llegaran hasta la TBM zona del Back-up para así con ayuda de la grúa viajera descender cada dovela hacia el segment feeder ubicado en la parte inferior del gantry bridge y andamio principal, al final de cada empuje o excavación con la ayuda del segment Erector hacer la colocación respectiva del anillo la cual es de la siguiente manera: A3, A2, A4, A1, A5

,B, C, K. para que la clave o llave cierre fácilmente se tendrá mucho cuidado al colocar las contra llaves dovela B, C, al final de su colocación se tendrá que tener una distancia mínima de 0.85cm por la parte delantera del anillo, para que la dovela K cierre correctamente.

## **ANTECEDENTES**

En 1324 los aztecas llegaron a la cuenca lacustre de México, se asentaron en una pequeña isla llamada Tenochtitlán “piedra surgiendo del Agua”, localizada en el lago de México- Texcoco. Fundaron una ciudad a la cual llamaron México-Tenochtitlán. Esta se diseñó con una apariencia cuadrada, de aproximadamente 3.2 km de lado, con lo cual los aztecas contaban con una infraestructura hidráulica muy sofisticada que comprendía canales ordenados, diques, drenajes, chinampas, estanques y humedales artificiales, alrededor de un centro ceremonial integrado por pirámides, así como de templos altos y palacios.

Los aztecas transformaron el lago en chinampas (manzanas de tierra muy fértil), construidas con un marco de troncos atados con cuerdas que delimitaban el perímetro (tablestacas), el interior se relleno con tierra y fragmentos de roca, con el objeto de crear una isla artificial, donde se cultivaron vegetales y flores.

La isla capital del imperio azteca se comunicaba con la rivera del lago mediante cuatro calzadas hechas con pilotes de madera, roca y tierra, las cuales se citan a continuación: Tepeyac, Tenayuca, Tlacopan e Iztapalapa. Las calzadas contaban con un sistema de puentes de madera. Mediante dos acueductos se proporcionaba agua fresca y potable al centro ceremonial. La ciudad estaba protegida de inundaciones mediante un sistema de diques. El principal fue el gran dique de Netzahualcóyotl, construido en 1449, el cual tenía aproximadamente 16km de longitud, 7 metros de ancho y un trazo que unía Iztapalapa con Atzacualco. Este dique fue indudablemente la obra más importante de la ingeniería hidráulica azteca.

Cuando los españoles llegaron en 1519, Tenochtitlán ocupaba un área aproximada de 9 kilómetros, después del sitio de 1521, los españoles conquistaron Mexico-Tenochtitlan, arrasaron los edificios hasta sus cimientos y fundaron sobre sus ruinas la ciudad de México la cual era una impresionante obra urbana mezclada con los lagos. Para conquistar la ciudad, los españoles destruyeron la infraestructura hidráulica, posteriormente repararon una parte de ella, en especial para dotar de más agua a la ciudad, se construyó entonces el acueducto del Salto del Agua, adonde llegaba el agua de los manantiales de Chapultepec, y se construyó un segundo acueducto para traer agua del pueblo de Santa Fe.

Como la mayor parte de los ríos del Valle de México eran perennes, los españoles los usaron como drenaje. Además aislaron los lagos, ya que estaban acostumbrados a vivir en zonas áridas y temían a las inundaciones en las tierras expuestas por drenado de lagos, construyeron elegantes casas que sufrieron inundaciones por haber destruido la infraestructura de protección de los aztecas. Las inundaciones fueron frecuentes a partir de 1555, después de una inundación ocurrida en 1586, el virrey Luis de Velasco

considero la necesidad de vaciar el lago de Texcoco, después hubo otras dos inundaciones siendo esta el motivo de construir un canal para drenar el lago de Texcoco hacia el lago de Zumpango y de allí hacia el río de Tula, en Hidalgo a través de Huehuetoca. Esta obra fue bautizada como Tajo de Nochistongo.

En 1637 se inició la construcción de un canal abierto para enviar el agua residual hacia el río de Tula, el cual se concluyó hasta 1788, por falta de presupuesto, lo cual con esta obra se redujo considerablemente el volumen de los lagos de Texcoco, Xaltocan y Zumpango.

En 1795 hubo una inundación muy fuerte, por lo que se construyeron dos nuevos canales para drenar más agua hacia el Tajo de Nochistongo. En 1856 una nueva inundación dejó claro que la infraestructura de drenaje era insuficiente por lo cual en 1857 se propuso la construcción de un canal para desalojar el agua de lluvia, que partiera del lago de Texcoco y llegara una vez más al río de Tula por medio del túnel de Tequixquiac la cual inició su construcción de 1866 hasta 1900.

Cabe resaltar dos grandes inundaciones en los años 1942 y 1945, por lo que en 1942 se procedió a ampliar el túnel de Tequixquiac. En 1951 la ciudad tuvo una nueva inundación, resultante de una precipitación pluvial muy intensa que alcanzó dos metros de altura y cubrió dos tercios de la ciudad la cual duró tres meses.

En 1967 se dio inicio a la construcción del sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de México. Esta consistía en dos grandes interceptores, el Emisor Poniente y el Emisor Central, que a través del Tajo de Nochistongo descargaría nuevamente en el Valle de Tula, las cuales se concluyeron hasta 1975.

Hoy en día la zona metropolitana del Valle de México tiene características únicas: es una de las concentraciones urbanas más grandes del mundo, ubicada en una cuenca cerrada sobre lo que originalmente fue un sistema integrado por cinco grandes lagos: Texcoco, Xaltocan, Zumpango, Xochimilco y Chalco. Las cuales quedan solo partes del lago de Texcoco y Zumpango.

Sin embargo el deficiente funcionamiento del drenaje del Valle de México fue de nuevo evidente por numerosas inundaciones, por lo que se inicia la construcción de un cuarto drenaje profundo, el Túnel Emisor Oriente o TEO el cual desembocará también en Tula.

En los últimos 20 años se ha intensificado el crecimiento poblacional, con la consecuente demanda de servicios urbanos como agua potable e infraestructura vial. La urbanización y pavimentación de las calles ha reducido de manera alarmante la capacidad natural del suelo de absorber las tormentas e infiltrar en los acuíferos, La extracción de agua del subsuelo para el consumo de la población ha propiciado

hundimientos acelerados y diferenciales en el terreno del valle, lo que ha reducido la capacidad del drenaje superficial.

El hundimiento en el Valle de México es de 10 cm en promedio por año pero hay zonas en las que alcanza hasta 40 cm por año.

Por lo tanto las diversas salidas que se han construido para el agua residual y de lluvia son:

- El Tajo de Nochistongo (1799)
- El Gran Canal del Desagüe (1900)
- El Emisor Poniente (1962)
- El Túnel Emisor Central (1975)

Algunas obras superficiales de drenaje perdieron capacidad de conducción por el hundimiento, como el Gran Canal del Desagüe, construido en 1900 que paso de 800 mil litros por segundo a 15 mil litros por segundo. Para evitar este problema se construyeron diversas plantas de bombeo, pero la vida útil de estas estructuras es de mediano plazo debido al mismo asentamiento.



Vista aérea de la gran Tenochtitlán.

## ASPECTOS GENERALES.

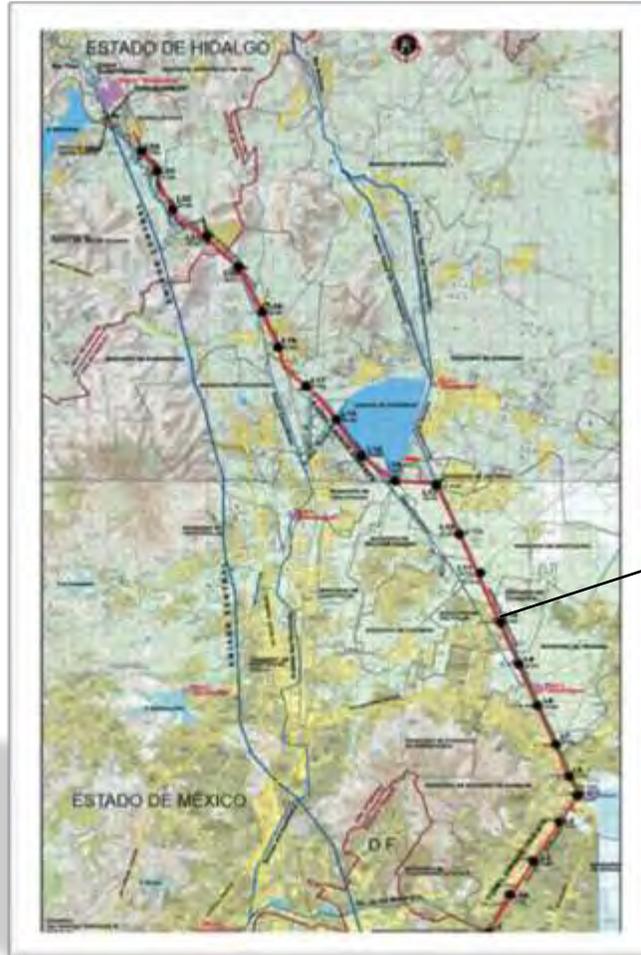
### Capítulo I

El túnel Emisor Oriente tendrá una longitud aproximada de 62km a lo largo de su recorrido se auxiliara, para su construcción y posterior operación, de 24 lumbreras y un portal de salida. El túnel inicia en la intersección de las Avs. Gran canal y Rio de los remedios: corre casi paralelo a la margen izquierda del gran canal con dirección Norte-Oriente unos 10kms: cambia su dirección hacia norte-poniente, por la margen derecha del Gran Canal, y cruza los municipios de Ecatepec, Coacalco y Tultepec, a lo largo de otros 20 km. A partir de aquí se separa del Gran Canal, pasa al poniente de la Laguna de Zumpango y Cruza los municipios de Teoloyucan y Huehuetoca por 20 km más, después sigue por la margen derecha del Tajo de Nochistongo, atraviesa el municipio de Melchor Ocampo, y llega al portal de salida en el Ejido de Conejos, en el Estado de Hidalgo, este portal de salida se construye en un terreno de 160 hectáreas en el Ejido de Conejos en el municipio de Atotonilco de Tula, Hidalgo y tendrá capacidad para tratar hasta 35 mil litros por segundo (23 mil litros por segundo en época de estiaje y 12 mil litros adicionales en temporada de lluvia) mediante dos procesos: Biológico y Físicoquímico. Con esta planta se alcanzara el 57% de tratamiento de aguas residuales en el Valle de México.

Las Lumbreras estarán distantes entre sí unos 2.5 km en promedio, alcanzaran profundidades variables desde 32m hasta 149m y se construirán en sitios con diferentes características geotécnicas. De la Lumbrera L-00 a la Lumbrera L-06 la pendiente del túnel será 0.19% de la Lumbrera L-06 al portal de salida la pendiente será de 0.16%.

En este caso se hablara de la Lumbrera 10 con una profundidad de 71m aproximadamente, ubicado en el Tramo 3.





**LUMBRERA 10**

Localización de la Lumbra 10.

## **LOCALIZACIÓN GENERAL DE LA LUMBRERA 10**

Partiendo de la Ciudad de México, el acceso al sitio se realiza a través del Circuito Mexiquense, hasta la salida hacia Nextlalpan-Jaltenco, saliendo del circuito Mexiquense se encuentra la Lumbra 11 de ahí vuelta hacia la derecha, para continuar por la carretera federal en dirección hacia las Unidades habitacionales Héroes Tecamac, a 3 km aproximadamente pasando la Lumbra 11.

### **Antecedentes:**

Como inicio de las obras para el Túnel Emisor Oriente se priorizara, en el habilitado y mejoramiento de las áreas destinadas para las lumbra de Montaje del Escudo, que para el tramo del Grupo Carso Infraestructura y Construcción son las lumbra 10, 12 y 17.

Paralelamente se iniciaran los trabajos de mantenimiento y/o realización de caminos de acceso al resto de las lumbreras, correspondientes a los Tramos III y IV.

Como parte de los trabajos de excavación de la Lumbrera 10 se requiere un sistema de bombeo que asegure el abatimiento del nivel de aguas freáticas en la periferia de la lumbrera, hasta un nivel por debajo del nivel máximo de excavación marcado en proyecto para la misma.

### **Investigación geológica:**

Corte geológico de Lumbrera L-10 a Lumbrera L-11, (ver anexos).

A continuación se muestra los resultados de la geología-geofísica de tramo 3 del Túnel Emisor Oriente.

- ALUVION: Esta se conforma de gravas, arenas cenizas y arcillas, producto de la erosión de los aparatos volcánicos, además de arcillas producto de las cenizas depositadas en agua, lo cual su espesor varía de 30 a 300m.
- ANDESITA- BASALTO: Son restos de enormes estratovolcanes Basaltos, de color gris oscuro, negro y café ocre, de estructura compacta y textura vesicular. Esta unidad se aprecia en volcán de Chiconautla.
- SEDIMENTOS LACUSTRES: se trata de una serie de depósitos lacustres y aluviales de arenas y limos arcillosos.
- ANDESITA BASALTICA: Presenta coloraciones de gris oscuro a rojizo, de textura afanítica, y presencia de ferromagnesianos.

### **Procedimiento constructivo, Construcción de Lumbreras- Excavación.**

Etapas de construcción:

1. Trazo, nivelación y construcción del brocal.
2. Excavación y tratamiento hasta 30 m con almeja mecánica de 1.5yd<sup>3</sup>
3. Colocación de concreto lanzado con fibra de acero 20cms
4. Excavación y tratamientos > 30 m de profundidad con excavadoras y cargadores del tipo BOB CAT
5. Construcción de la trabe de borde.

Equipo y maquinaria a utilizar en el proceso:

BROCAL:

- Retroexcavadora-Cargador, marca CATERPILLAR MOD. 416-C

EXCAVACIÓN NUCLEO DE LUMBRERA Y TRATAMIENTOS:

- Grúa sobre orugas, marca LINK-BELT MOD. LS-518
- Almeja mecánica de 1 ¾ yd<sup>3</sup>
- Bote rezagador de 4.5 m<sup>3</sup>
- Dosificadora portátil para concreto, marca ODISSA MOD. 6000 aprox. de 20 a 30 m<sup>3</sup> /hora.
- Excavadora hidráulica sobre orugas, marca CATERPILLAR MOD. 330-DL
- Minicargador sobre llantas, marca BOB CAT. MOD. S-300
- Perforadora neumática marca ATLAS COPCO MOD. ROC -442
- Camiones de volteo de 14m<sup>3</sup>.

El proyecto contempla la construcción de dos **tipos de lumbreras**:

**Lumbreras de montaje y/o extracción del equipo excavador TBM:** Este tipo de lumbreras tienen un diámetro interior terminado de 15.30 metros, como es el caso de la Lumbrera 10 y Lumbrera 13 y en el caso de la Lumbrera 17 tiene un diámetro interior terminado de 18.00 metros. Para ingresar a fondo de lumbrera la TBM, (La **TBM** es una maquina de forma cilíndrica de 8.88m de diámetro, esta va arrastrado en la parte trasera el andamio principal del erector, gantry Bridge, y los Gantry's, los cuales estos llevan el equipo y materiales utilizados en la excavación.)

Estas lumbreras de montaje o extracción servirán para la colocación del equipo excavador (**TBM**) y su ensamble final en el fondo de la lumbrera, el montaje de la estructura de reacción, los primeros empujes para el inicio de excavación, la instalación del sistema de banda vertical para la extracción del material producto de excavación (rezaga), la instalación de las tuberías para el suministro y extracción del agua hacia la TBM, tubería para agua residual al igual que la tubería para el aire comprimido, el ducto de ventilación y el suministro de las dovelas hacia el frente de excavación.

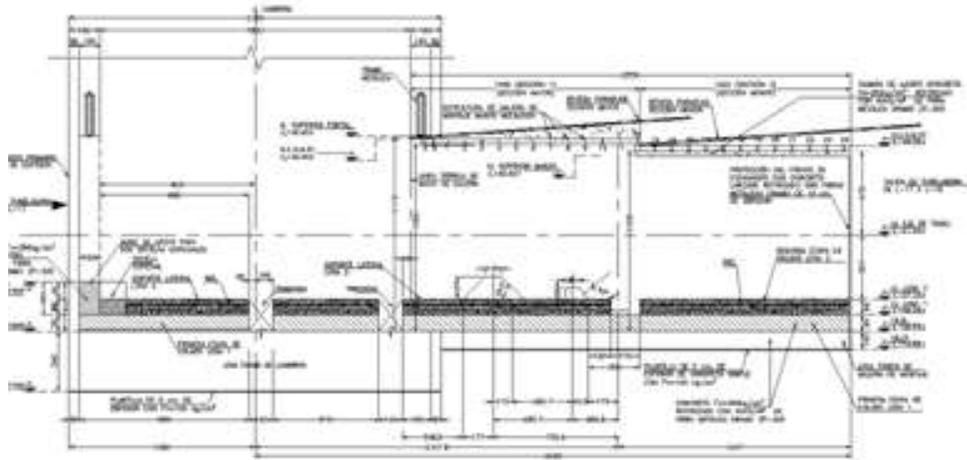
**Lumbreras de paso:** tienen un diámetro interior terminado de 12.00 metros, como en el caso de las lumbreras L-11, L-12, L-14, L-15, L-16.

## GALERIA.

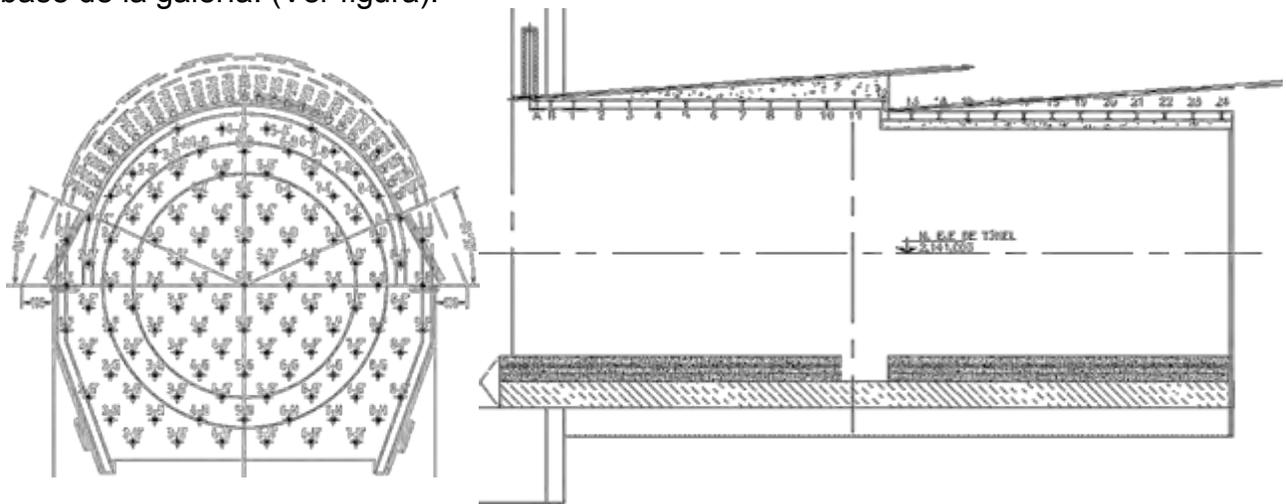
Podríamos definirla como pasos subterráneos que permiten el acceso del personal a los frentes de trabajo, el traslado del agua hasta el fondo de lumbrera, el transporte del material etc. En las galerías se sitúan las vías o cintas transportadoras para la evacuación del material y todo tipo de conducciones, desde cables eléctricos hasta las tuberías de aire comprimido.

### Construcción de la Galería.

Se realizara la construcción de una Galería de montaje de 27 metros de longitud total, la cual se construirá en los primeros 14.50 metros de longitud con una altura de 11.25 metros y en los siguientes 12.50 metros de longitud con una altura de 10.14 metros. (Ver figura).

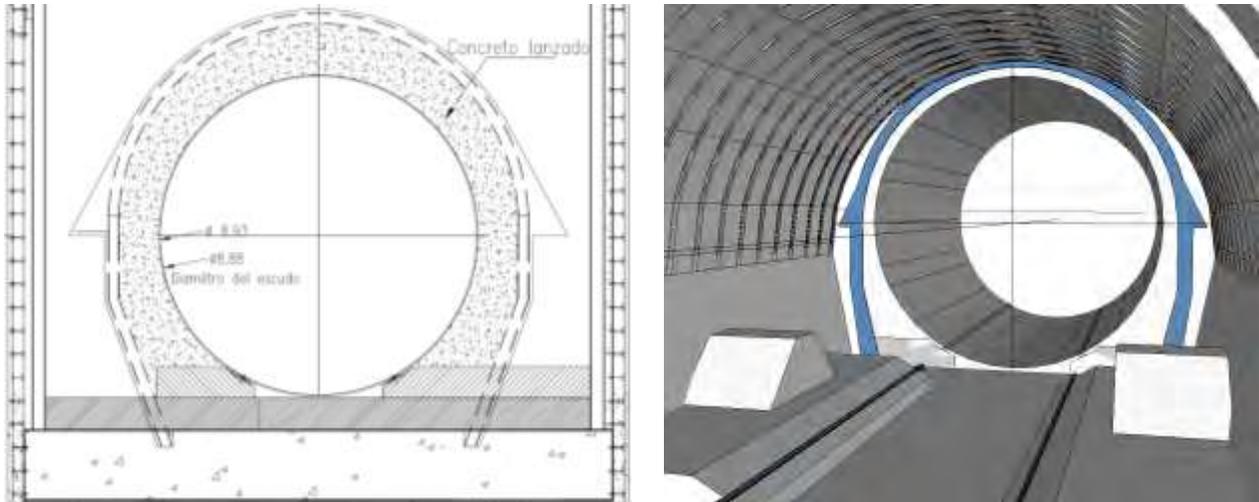


La construcción de la Galería de Montaje se realizara mediante una sección del tipo "Herradura", para la cual en la parte superior de la misma se empleara el método de micropiloteo para la formación de una bóveda paraguas, además de un sostenimiento primario formado por marcos metálicos que descansaran en perfiles metálicos hasta la base de la galería. (Ver figura).

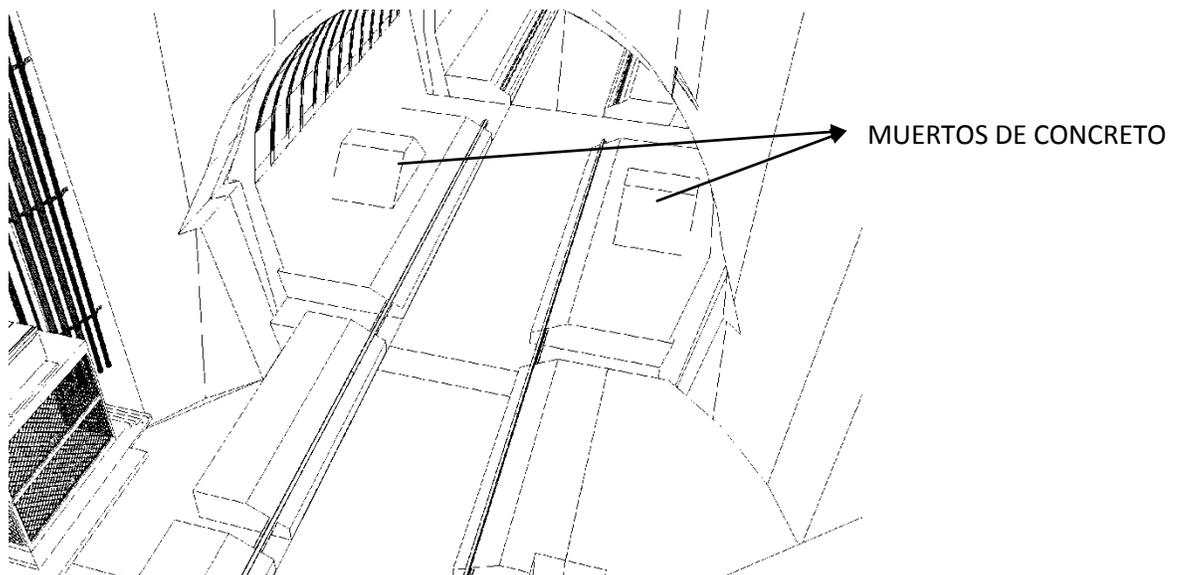




Lo anterior para poder contar con una guía y un diámetro adecuado en el momento que inicie la operación de la TBM, de esta manera se busca contrarrestar la tendencia de giro de la maquina, (ver figura)



Se deberá realizar la construcción de estructuras de concreto (muertos) sobre el piso de la primera sección de la galería. Dichas estructuras de concreto tendrán forma trapezoidal y servirán como soporte para los contraventeos de la estructura de reacción, la cual servirá para lograr los primeros empujes del equipo excavador. (Ver figura.



Posteriormente, se deberá construir en el fondo de la lumbrera, en el lado contrario a la galería de montaje, un muro de apoyo para las dovelas especiales, posteriormente se colocaran las mismas para auxiliar las maniobras de desplazamiento de la TBM en su



## Procedimiento para extensión de Tubería de Agua fría, caliente y Agua residual

La tubería de 4" para el suministro de agua fría desde el nivel de superficie hasta el escudo TBM, tiene la función de dotar a la maquina del suministro de agua fría necesario para alimentar las bombas de enfriamiento.

Para tal efecto se requiere garantizar un caudal de agua a enfriar de 1500 lt/min esta misma agua será utilizada para las labores de limpieza durante la excavación del túnel, para lo cual se realizaran unas derivaciones a lo largo de la tubería.

En el caso de la tubería de 4" para la conducción del agua caliente desde el escudo TBM hasta la superficie, tiene la función de retirar el agua utilizada durante el proceso de enfriamiento, conducirla hasta la torre de enfriamiento en superficie (ver imagen) posteriormente retornarla al depósito de almacenamiento de agua fría para que esta a su vez sea nuevamente enviada a través de la tubería para la conducción del agua fría y garantizar que el ciclo se cumpla.



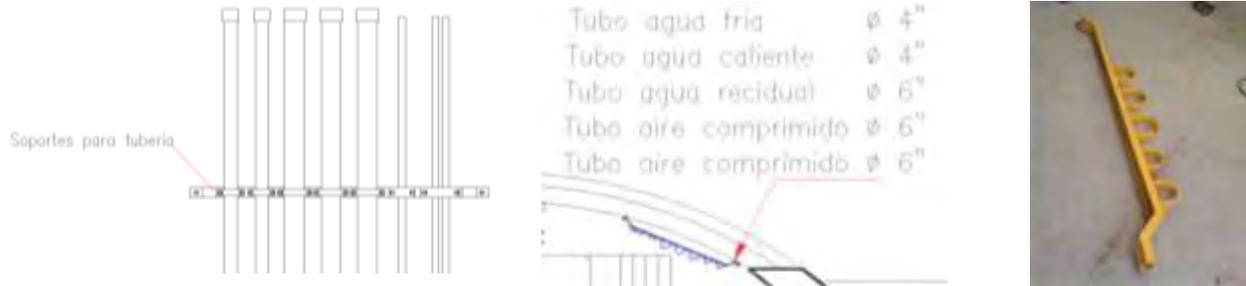
Torre de enfriamiento

Para lo cual debido a que las bombas de la TBM no tienen la potencia suficiente para bombear hasta la superficie se contara con un tanque de almacenamiento y un sistema de bombeo en la Pre-Galería.

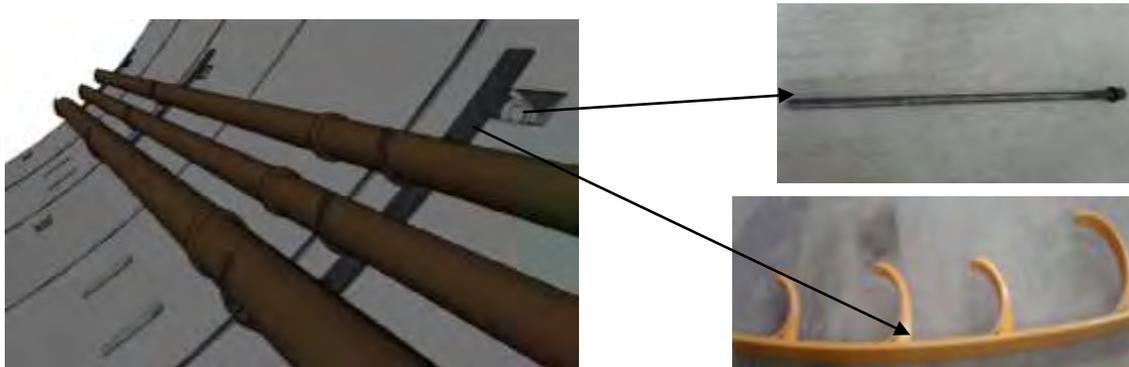
En el caso de la tubería de 6" para el retiro del agua residual tiene la función de conducir el agua de residuo que se genera por los trabajos de limpieza durante el ciclo de excavación del propio túnel y en que se genera por los trabajos de limpieza durante el ciclo de excavación del propio túnel y en aquellos casos en los que se requiera bombear eventuales fugas y filtraciones.

Primeramente se realizara la colocación de la tubería de acero tipo Victaulic de 6 y 4" antes para la unión de cada tramo de tubería se utilizarán extremos anillados y

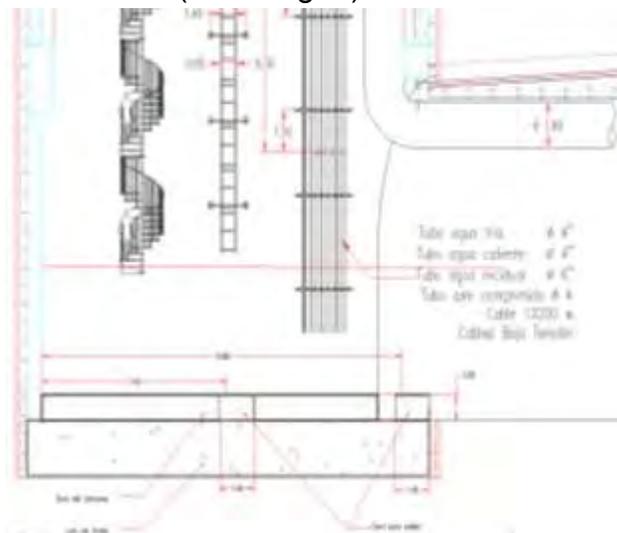
abrazaderas aptos para acoplamiento rápido. Para la fijación de la tubería al muro de la lumbreira se utilizarán para tal efecto unos soportes, mismo que se anclaran al muro mediante espárragos de  $\frac{3}{4}$  y Epoxico Hilti (Arandelas y Tuercas).



Para la extensión, colocación y fijación de las tuberías se utilizara a lo largo del túnel un sistema de soportes, mismos que serán fijados utilizando los insertos (tornillos) del sistema de fijación de las dovelas para la formación del anillo.



Dicha Tubería será la que alimente el sistema del sistema del Back up de la TBM desde superficie hasta el fondo de la lumbreira, pasando por la galería de montaje y llegando hasta el quipo excavador (Ver imagen).



La tubería se colocara en tramos de 6.30m, se descenderá a través de la lumbrera, mediante la utilización de la grúa pórtico. Una vez en el fondo de la Lumbrera, se precederá a colocar los tramos de tubería sobre los carros planos, destinado para el suministro de materiales al equipo excavador, los cuales serán llevados hacia el frente de trabajo mediante el apoyo del sistema de locomotoras.

De esta manera, conforme se realicen los empujes del equipo excavador TBM y se vaya avanzando en la excavación del túnel, se colocaran los segmentos de tubería para la alimentación del Back up (Gantry's) desde el escudo TBM, para el acoplamiento de los tramos de tubería, se utilizaran abrazaderas de acoplamiento rápido.



Codos, y abrazaderas de conexión rápida.

El sistema de tubería que corre a lo largo del túnel (agua fría, agua caliente y agua residual) llega al back up de la TBM hacia el Gantry No.6 donde se encuentran los carretes de 4 y 6", la cual la línea de agua fría y agua caliente llega al Gantry No.5 en donde se ubica el contenedor para el agua que alimentara a las bombas de los sistemas de enfriamiento.

#### **Extensión de ducto de ventilación.**

Para el suministro de la ventilación al túnel, se desplantara una estructura en superficie a un costado de la lumbrera, la cual servirá de soporte para la turbina de ventilación.

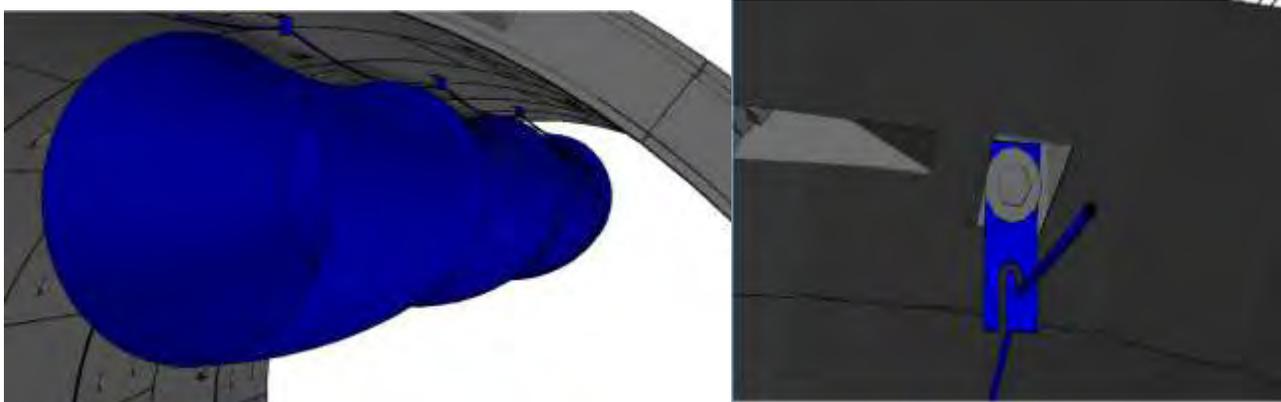


TURBINA DE VENTILACION  
MARCA "ZITRON"

Para suministrar el ducto de ventilación conforme se vayan realizando los empujes del equipo excavador, se utilizara una estructura (cassette) dentro de la cual se colocara el ducto de ventilación que se suministrara a la maquina.

En dicha estructura se colocaran 100 metros de manga la cual es flexible, dicha estructura se colocara sobre el Back up, Gantry No.6 la cual se desenrollara desde la TBM hacia la Lumbrera conforme se vaya avanzando en la excavación del Túnel.

Conforme se vaya desenrollando el ducto de ventilación se fijara utilizando los insertos (tornillos) de sistema de fijación de las dovelas para la formación del anillo.



**Ducto de ventilación e insertos en dovelas para su fijación del ducto.**

### **Colocación de rieles.**

La colocación de rieles se iniciara a partir de la pre-galería para el cual se debe llevar a cabo el siguiente proceso: se colocan los durmientes transversalmente al eje del túnel. Los rieles tendrán 6m de longitud y se colocaran con una separación a eje de 0.95m estos se fijaran a través de clavos para durmientes de madera y de tornillos en los durmientes metálicos, los cuales impedirán que el riel tendrá algún desplazamiento. La colocación de estos será de acuerdo al avance de excavación de la TBM,

Se usaran dos tipos de rieles:

ASCE 60 ubicados en el centro para la vía del tren

ASCE 90 ubicados en los extremos para la vía del Back-up

Los soportes y rieles ASCE 90 sobre los que pasa el Back up serán desmontados una vez que las ruedas del Gantry 6 hayan pasado por lo que serán reutilizados para conformar la vía durante el proceso de excavación. Estos se cargarán por medio de los polipastos montados en la estructura del Gantry 6 y se pondrán sobre el carro plano para ser llevados junto con los demás trenes a la parte trasera del Gantry Bridge para proceder a la descarga con el polipasto y llevados a la parte inferior o debajo del Gantry Bridge para volverlos a colocar y darle continuidad al avance (esta misma secuencia hasta el final de la excavación).



Colocación de rieles.

## CARACTERISTICAS GENERALES DE LA TUNELADORA EPB.

### Capítulo II.

Las maquinas tuneladoras representan la más novedosa técnica de construcción de túneles, aportando enormes ventajas respecto a los métodos tradicionales de perforación y voladura. Especialmente bajo áreas urbanas, la perforación mediante tuneladoras representa una importante reducción de ruido y riesgos de hundimientos, por esto al hablar de túneles para metro, red de alta velocidad o en su caso para aguas residuales, la ecuación se resuelve con un único valor: el empleo de maquinas tuneladoras.

Así como las características geotécnicas de los materiales que forman la traza de un nuevo túnel, unido al conocimiento físico del nivel freático al que se enfrentara el mismo. Condicionan la elección de los diferente tipos de maquinas tuneladoras tipo TBM-EPB.

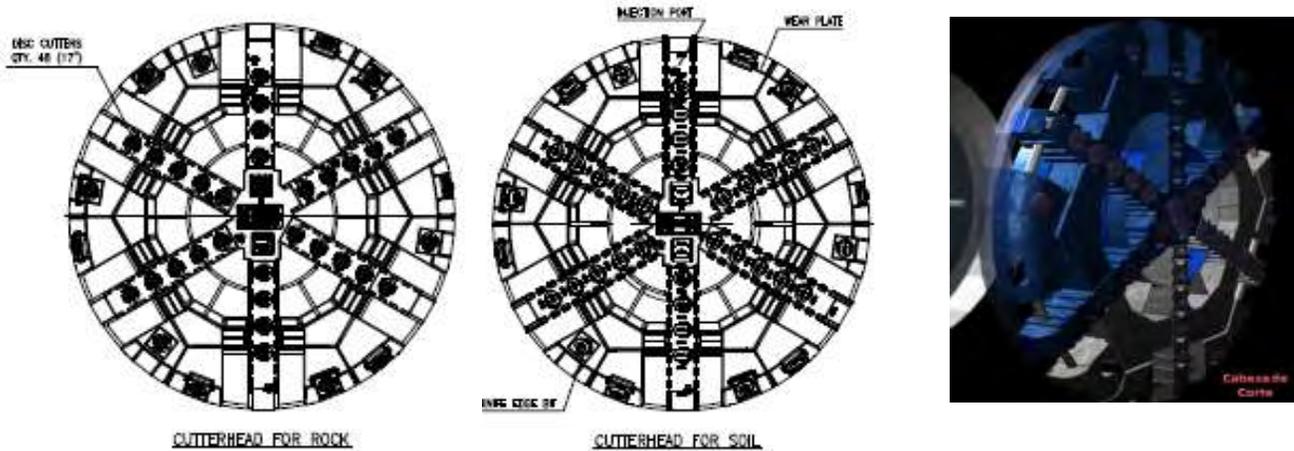
### PARTES PRINCIPALES.

**Escudo EPB.-** Es una maquina de forma cilíndrica que es un protector equilibrado de la presión de tierra- presión de tierra de control del control de escudo, utilizada para la excavación de túneles y en este caso con un diámetro de 8.88 metros, que conserva la estabilidad del terreno vecino y permite colocar el soporte inicial formado por dovelas prefabricadas de concreto. Para la estabilización frontal aprovecha la excavación del suelo con la que forma la cámara de presurización del frente y la estabilización de la misma.



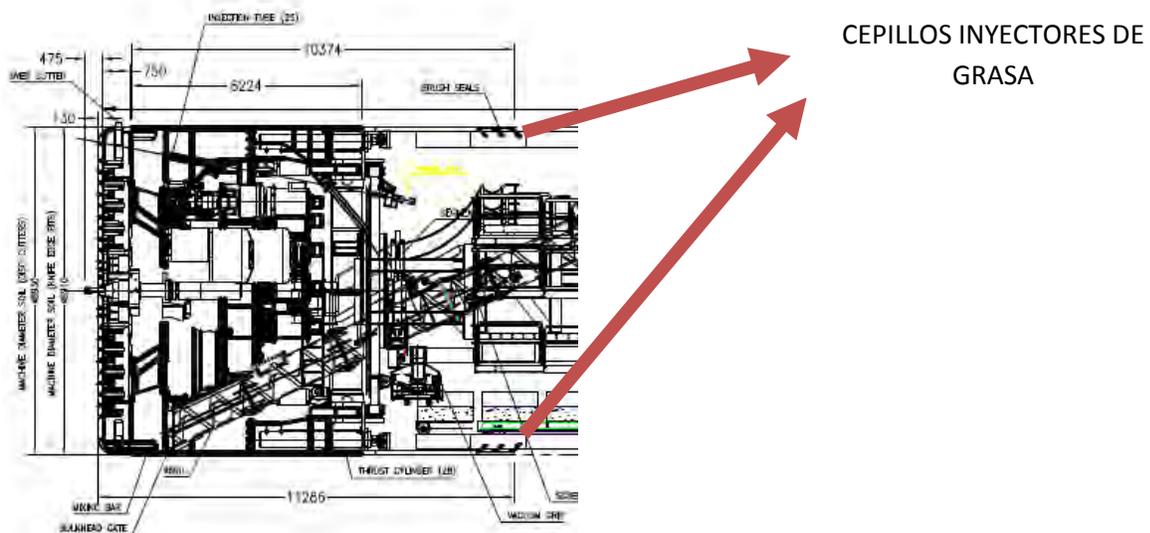
Escudo Robbins tipo EPB

**Cabeza Cortadora.-** Es el elemento principal de excavación que está constituida por diferente tipos de cortadores, de dientes con tungsteno o de disco, sencillo o doble cuyo número y disposición es de acuerdo a lo propuesto por el contratista principal y el fabricante, considerando las características del suelo por excavar.



Cabeza de corte para suelos y roca

**Cepillos del Faldón.-** Son cepillos de acero, que tienen la función principal de evitar que la inyección de mezclas entre anillos y terrenos pasen al cuerpo del escudo estando constituidos por tres filas, entre cada anillo de cepillos se coloca una grasa especial marca CONDAT o en su caso grasa BASF con la cual se forma el sello. Los cepillos del faldón no cuentan con un mecanismo de limpieza, dado que nunca existirá contacto entresuelo y cara exterior del anillo de concreto (dovelas), debido a que este elemento es el que queda impregnado con la grasa.

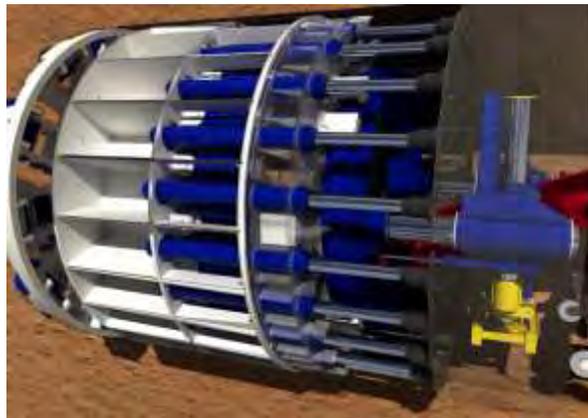


CEPILLOS INYECTORES DE GRASA

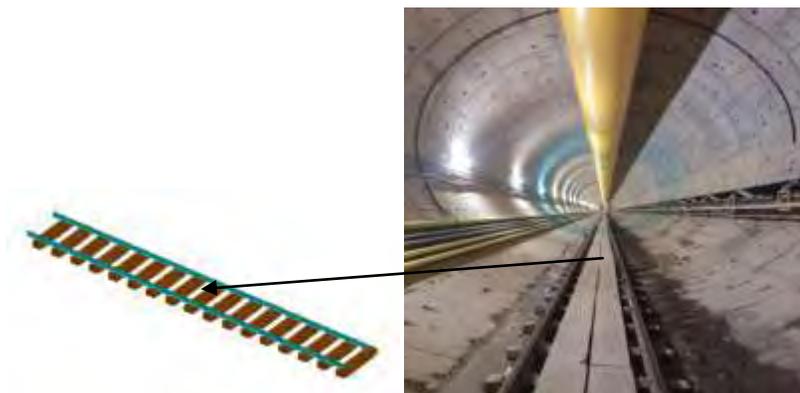
**Dovela.-** Sección geométrica con dimensiones variables, pero con un espesor constante de 40 cm para los tramos 3 y 4 en estudio. Para el armado del anillo, se consideran cuatro tipos de dovelas, es decir, dovelas A1 a A5, dovelas B, dovelas C y una dovela de ajuste o llave, denominada dovela K. su diseño se basa en el empuje radial de la presión de suelo a nivel de lumbrera.



**Empuje.-** Fuerza aplicada al escudo por medio de cilindros hidráulicos (gatos) acoplados a una base, localizados en la parte media del escudo y que salen en forma horizontal apoyándose en un anillo de concreto (dovelas), que es el elemento de reacción, que en conjunto con la cabeza cortadora que está ubicada en la parte frontal de ataque, hacen que se vaya introduciendo el cuerpo del escudo al terreno.



**Rieles.-** Se denomina riel, carril a cada una de las barras metálicas sobre las que se desplazan las ruedas de los trenes y actúan como soporte y dispositivo de guiado. La característica técnica más importante del ferrocarril es el contacto de la rueda con pestaña y riel, siendo sus principales cualidades su material, forma y peso.



**Gantry's.-** Son estructuras con ruedas sobre rieles con dimensiones de 10.30m de largo, 6.30m de ancho y 3.90m de alto, destinados a la colocación de los equipos e insumos para la operación del equipo excavador, para este proyecto se utilizaran 6 gantrys, un puente principal (Gantry Bridge), y un andamio para el Erector).



**Súper Boogies.-** Es el elemento inicial en forma de rueda flexible utilizado para soportar y desplazar la estructura de Gantry Bridge, los cuales descansan en los anillos colocados en la parte lateral-inferior.



SUPER BOOGIES

**Cambio california.-** Dispositivo de Vías que permite realizar los cambios necesarios en la circulación y posición de los trenes, para lograr que el abastecimiento de insumos a la máquina excavadora sea de manera ininterrumpida y conforme a los ciclos de trabajo establecidos.

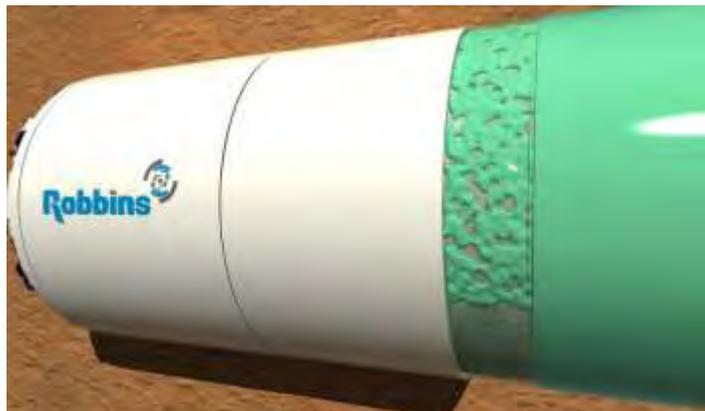


Cambio California

**Vaca de Mortero.-** Contenedor metálico utilizado para almacenar mortero, integrado por un agitador, el cual permite homogenizar y conservar la mezcla de mortero.

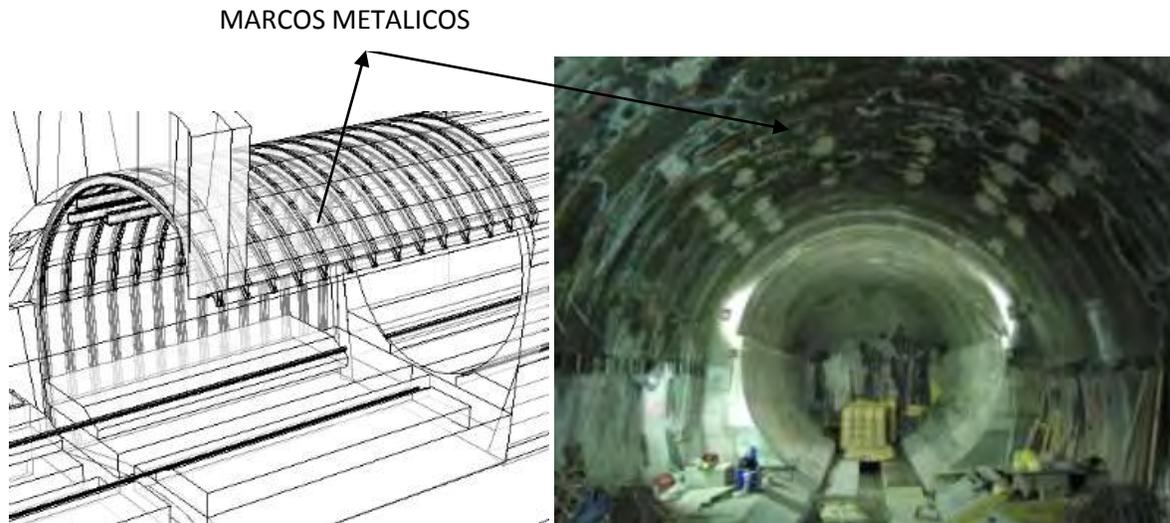


**Mortero.-** Mezcla fluida de aglomerantes y aglomerados que serán usados para rellenar el espacio entre el anillo colocado y el terreno natural.

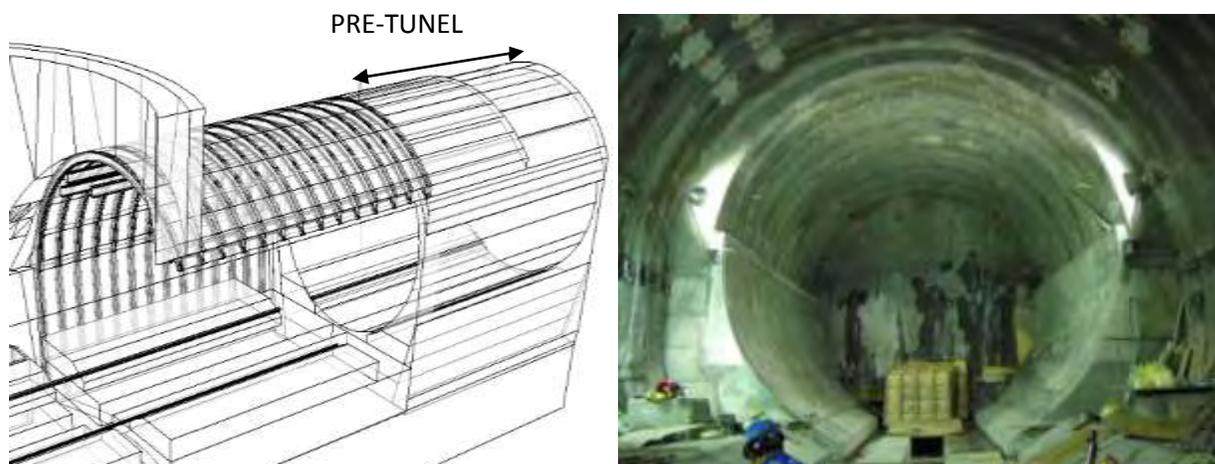


Mortero inyectado en la parte trasera del faldon, en espacio anular de la sobre-excavacion.

**Marcos metálicos provisionales.**- Es el elemento estructural diseñado para soportar las presiones verticales generadas al realizar la excavación del pre-túnel.



**Pre túnel.**- Se refiere a la ejecución de los trabajos previos a la construcción del túnel. Es una excavación inicial del túnel por métodos convencionales garantizando su estabilidad en longitud y sección requeridas para alojar a la maquina tuneladora.



**Estructura de empuje.**- Es el elemento estructural diseñado para soportar las presiones horizontales generadas al realizar los desplazamientos iniciales de la TBM.



Estructura o marco de empuje.

## ENSAMBLE DE LA TUNELADORA TBM- EPB.

### Capítulo III.

#### Procedimiento para el montaje del equipo excavador (TBM) en fondo de Lumbreira.

Como se había citado anteriormente, en la primera sección de la galería se lubricara con grasa azul los rieles colocados tipo A100. (Ver figura No.1)

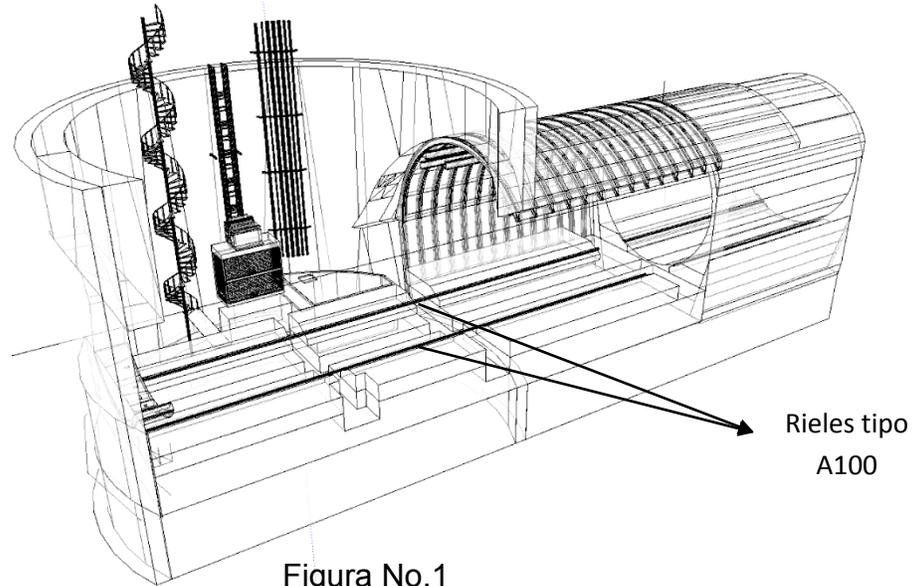


Figura No.1

Posteriormente realizar maniobras correspondientes para el descenso por partes de la Máquina Tunneladora EPB. Como primer maniobra se hace descenso del anillo "A" y "B" partes inferiores previamente ensamblados en superficie, este descenso se realizara con la ayuda de la grúa pórtico de 200 toneladas. (Ver figura No.2).

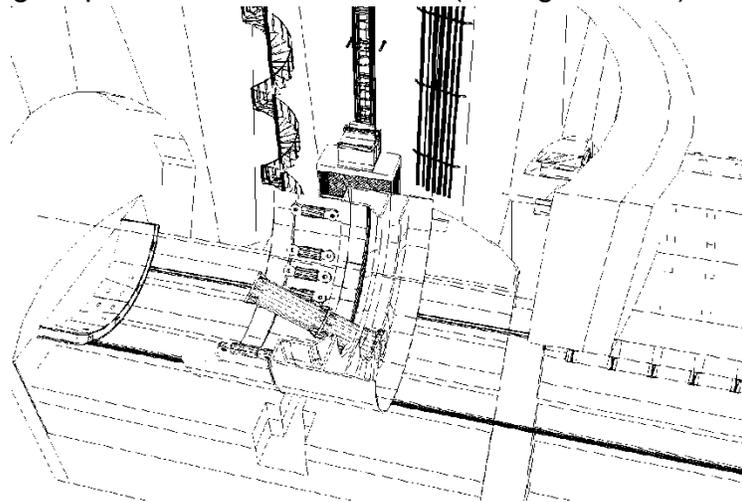


Figura No.2

Posteriormente se procederá con la bajada y ensamble del soporte de la cabeza de corte, colocando y apretando los pernos correspondientes, (Ver figura No.3).

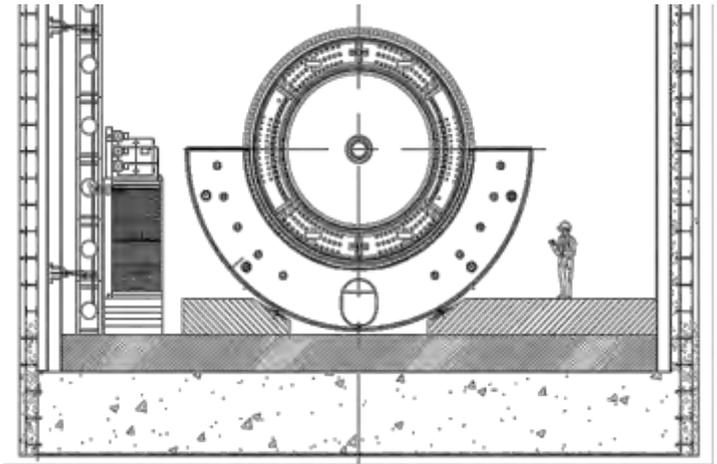
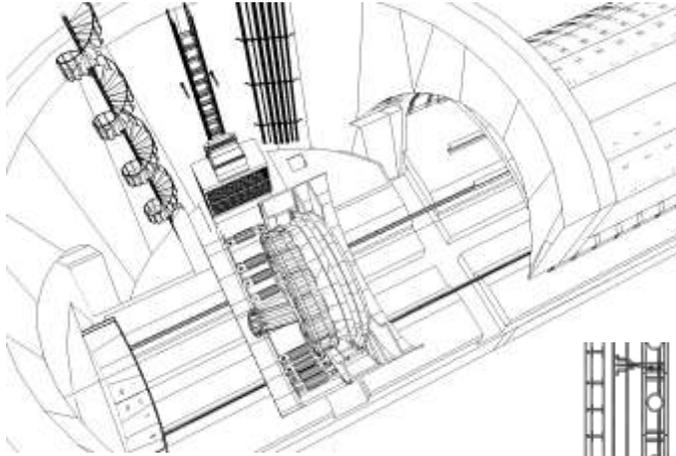


Figura No.3

Después se procederá con las maniobras de bajada y ensamble de la parte superior del anillo o escudo "A", colocando los pernos entre este y la parte inferior, apretando al 100 %. (Ver figura No.4).

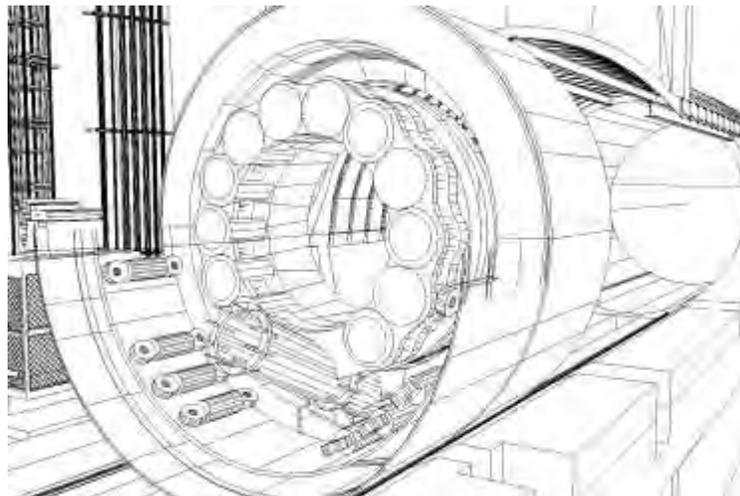


Figura No.4

Posteriormente se realizara el ensamble del mamparo y la soldadura correspondiente, prosiguiendo con la bajada y ensamble de la cabeza de corte previamente ensamblada en superficie. (Ver figura No.5)

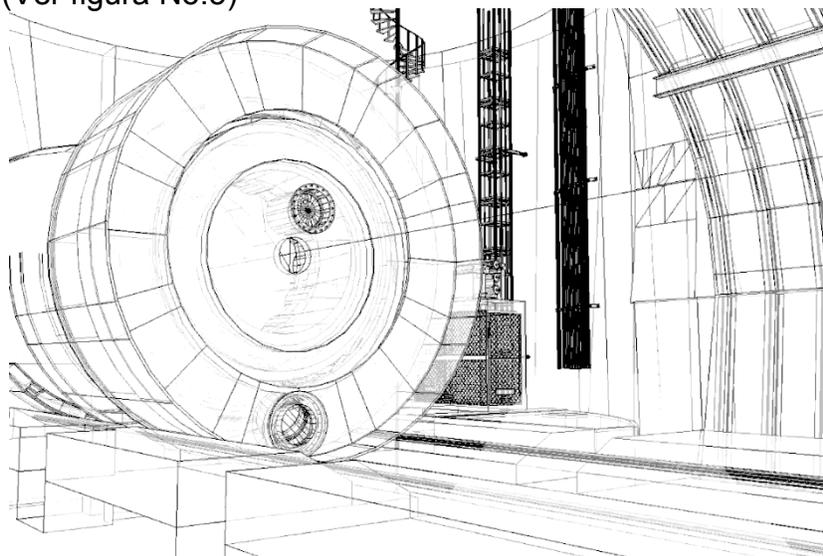


Figura No.5

Se deberá realizar la bajada y colocación de los motores, parte inferior del tornillo 1, cámara de compresión, sello rotativo y motores superiores. (Ver figura No.6)

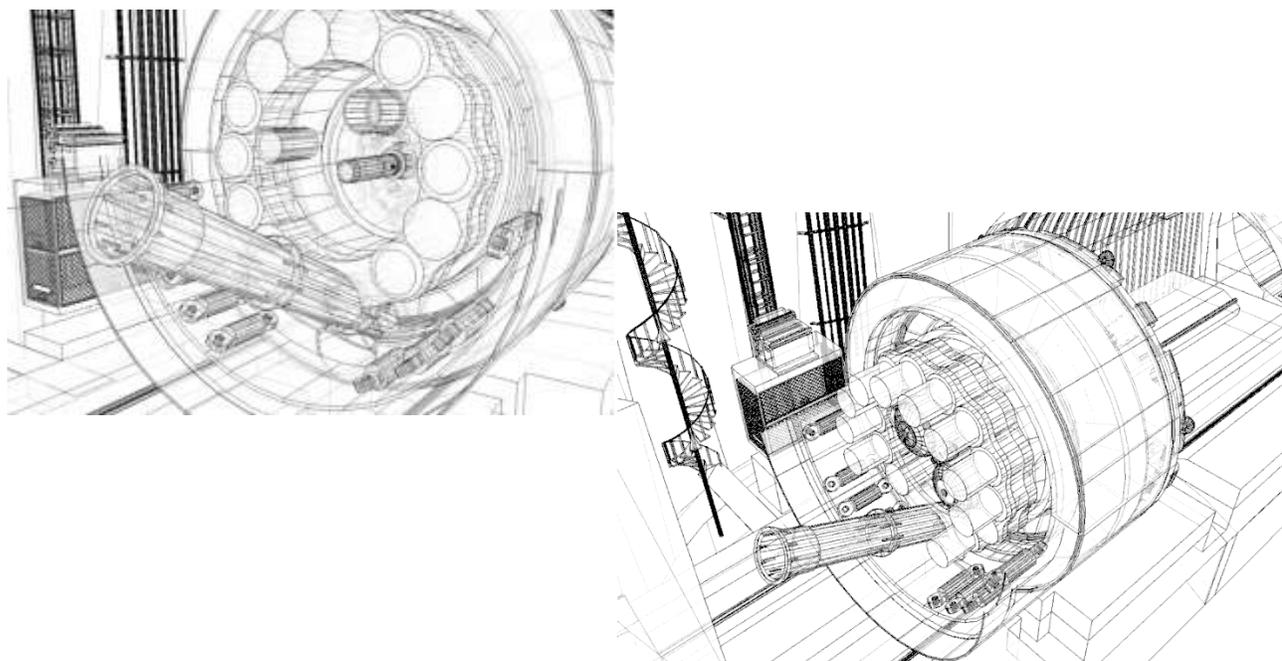


Figura No.6

Enseguida se procederá al descenso de la Cabeza de Corte, cuidando que este bien alineada para su colocación. (Ver figura No.7).

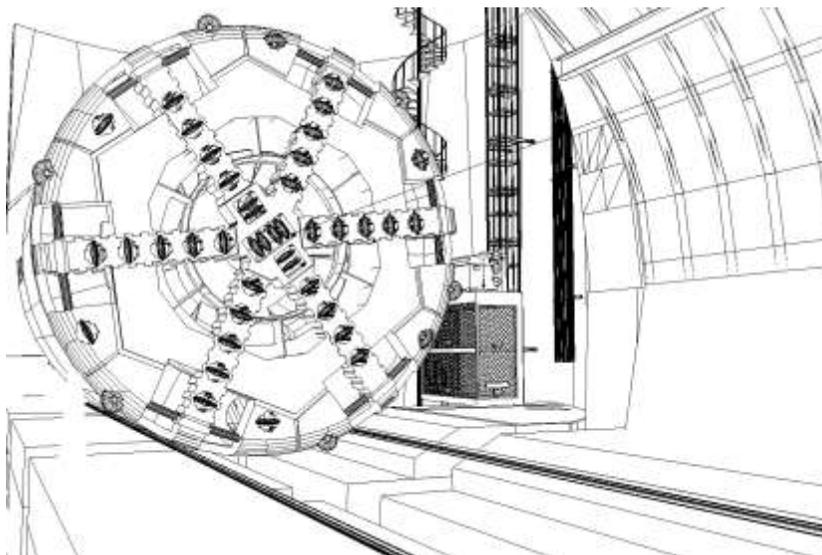


Figura No.7

Se deberá hacer la maniobra para el descenso y colocación de Cámaras Hiperbaricas (cámara de materiales y personal) en zona del mamparo, apretando tornillería al 100%. (Ver figura No.8)

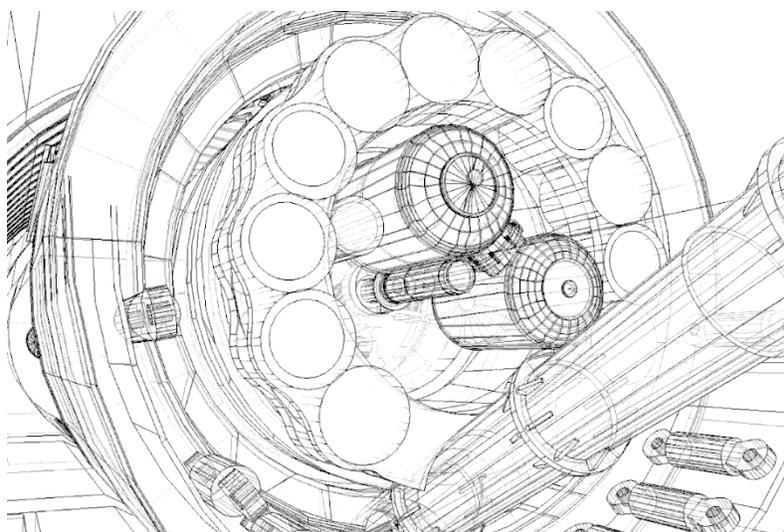


Figura No. 8

Cámaras hiperbaricas (cámara de Personal, cámara Gemela y de Materiales)

Después se deberán hacer las maniobras para la bajada y ensamble de la parte superior del andamio del erector, continuando con la bajada de la parte superior del anillo B, ajustando y apretando los tornillos al 100 % y poder realizar la soldadura correspondiente entre la parte inferior y superior del mismo y con el anillo A.( ver figura No.9)

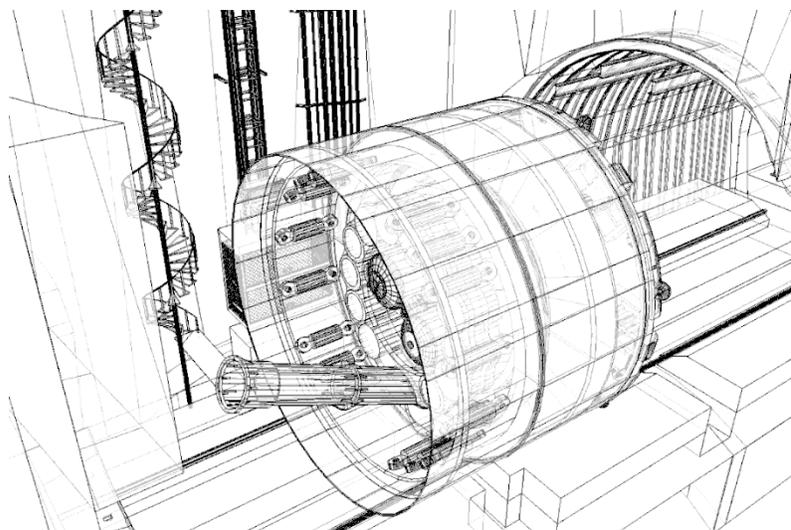


Figura No.9

Se deberá de realizar las maniobras de bajada y ensamble de la articulación, acoplando la misma al Faldón y posteriormente conectar los cilindros de la articulación. (Ver figura No.10)

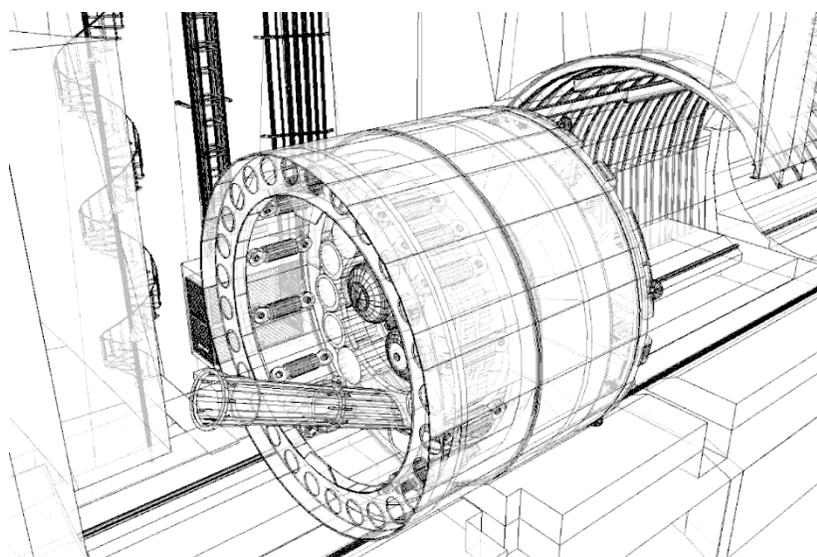


Figura No.10

Se procederá a bajar y conectar los gatos de empuje inferiores, y Segment Erector.  
(Ver figura No.11)

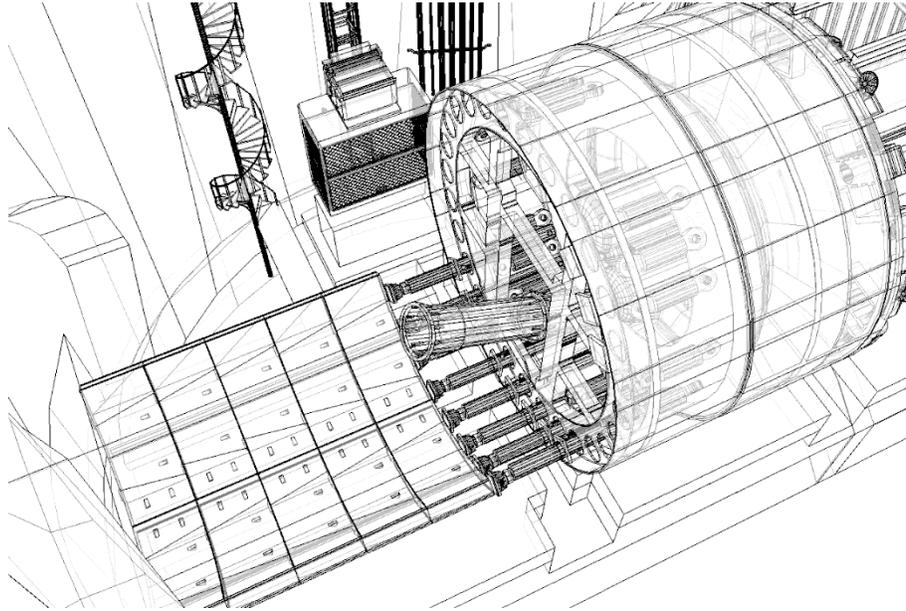


Figura No.11

Se deberán colocar dovelas especiales para realizar el desplazamiento de la TBM hacia el interior de la galería auxiliándose de los gatos de empuje inferiores, al termino del desplazamiento se acoplarán los gatos de empuje faltantes. (Ver figura No.12)

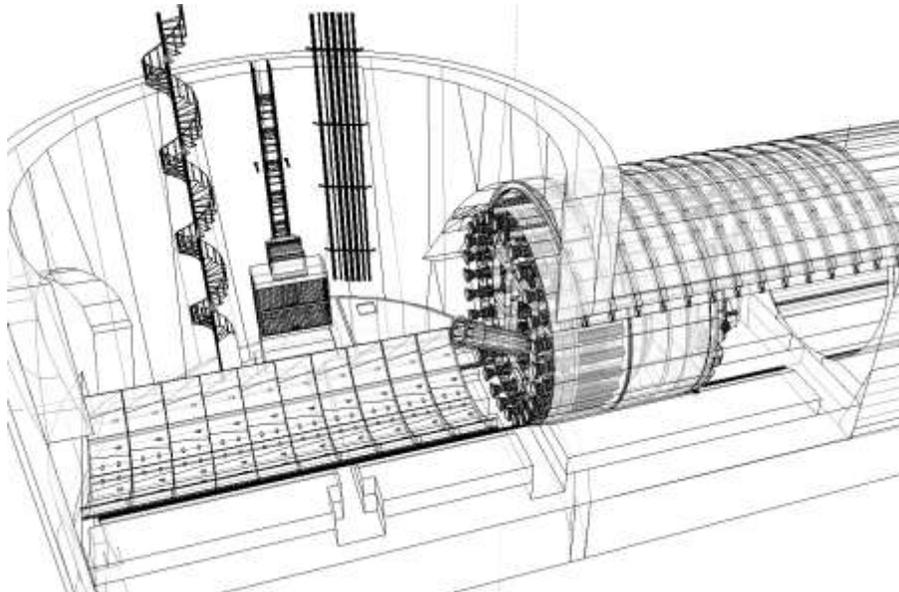


Figura No.12

Se procederá a retirar las dovelas especiales, procediendo con las maniobras de bajada y ensamble de la parte trasera del tornillo No.1 auxiliándose para tal efecto de un soporte para el tornillo en el fondo de la lumbrera. (Ver figura No.13)

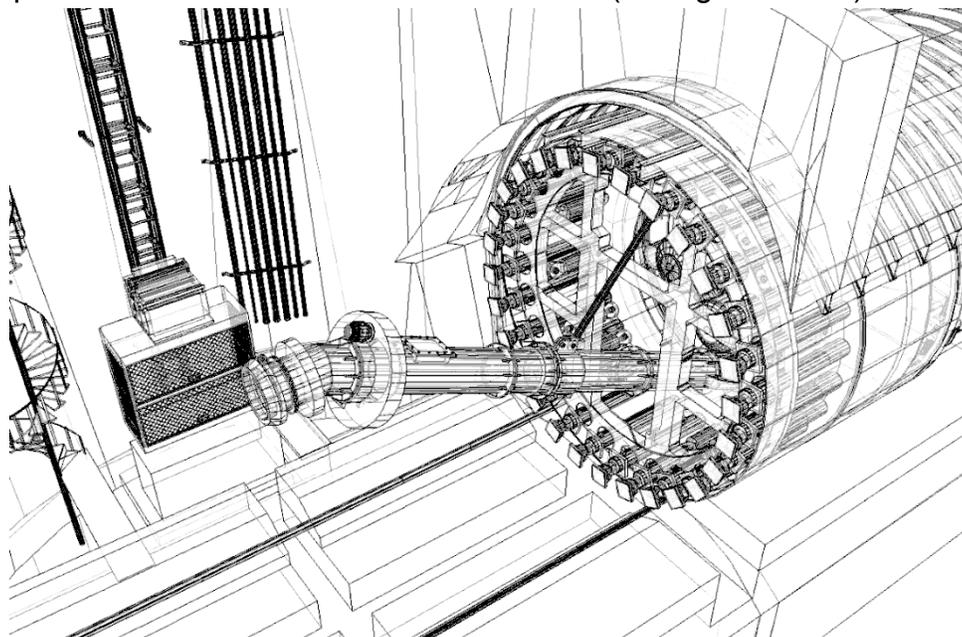


Figura No.13

Se continuara con las maniobras de descenso y ensamble de la parte trasera del andamio del Erector. (Ver figura No.14)

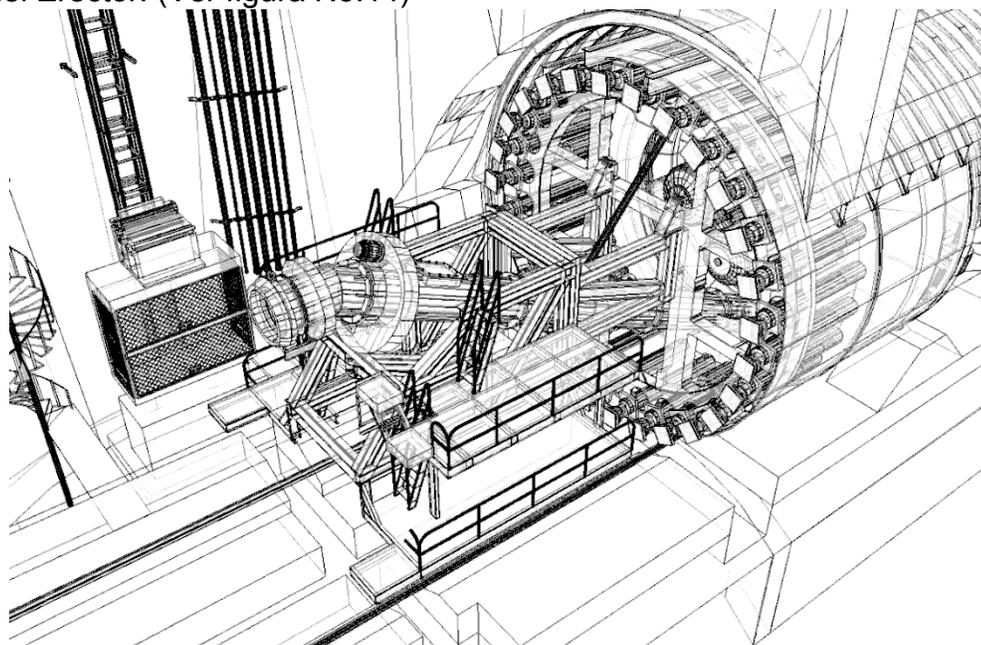


Figura No.14

Después se procederá al descenso del Faldón con el anillo metálico, una vez en fondo de Lumbrera, se deberá desplazar el faldón y ensamblar a la TBM (uniéndola con soldadura) (Ver figura No.15)

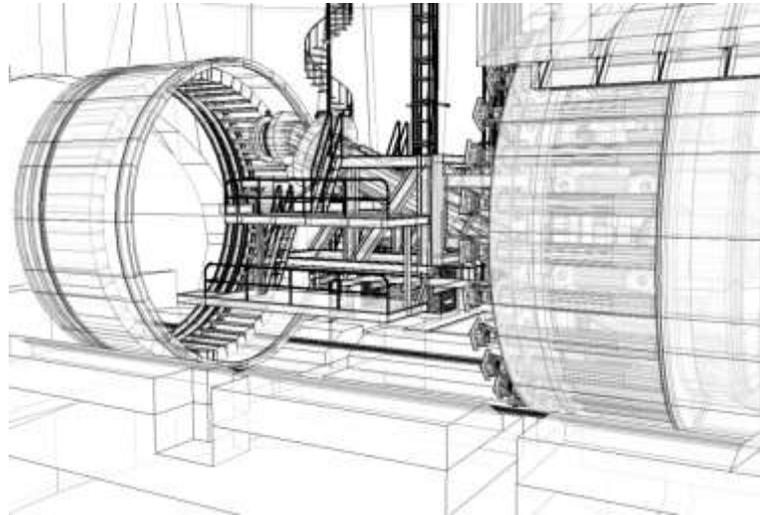


Figura No.15

Se deberá desplazar la TBM hacia el interior de la Galería de montaje, hasta que el faldón se ubique en el paño de la Lumbrera, para lo cual se deberá de colocar Grasa azul sobre los rieles, (Ver figura No.16)

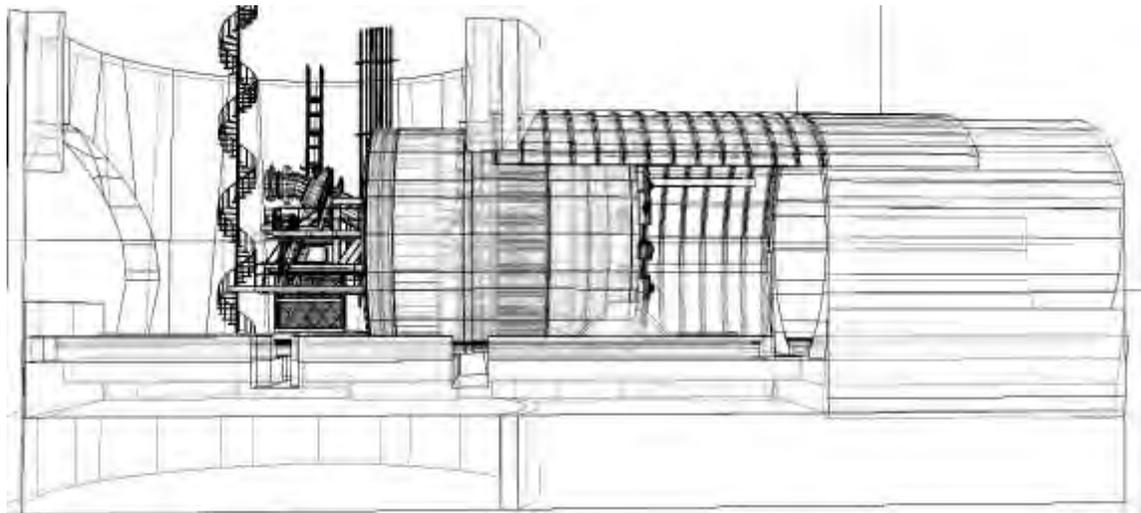


Figura No.16

Se desplazara la maquina (TBM) hasta la distancia de 0.65 metros del frente de excavación auxiliándose para tal efecto de las dovelas especiales (dovelas A3 y A4) (Ver figura No.17)

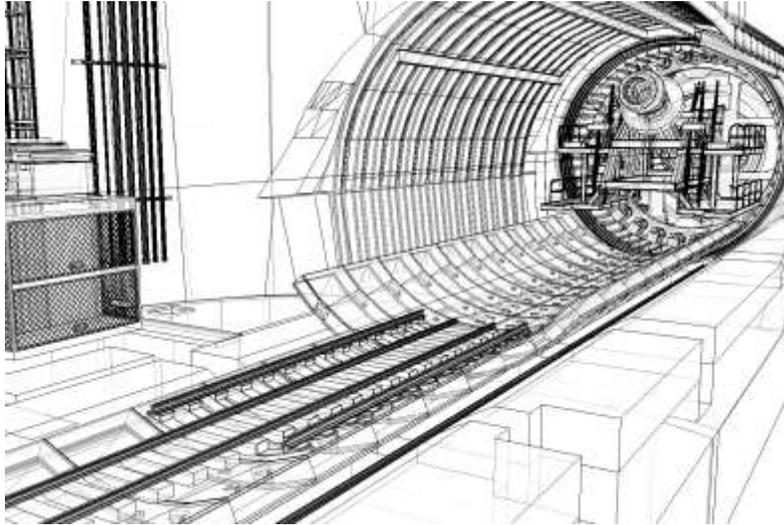


Figura No.17

Posteriormente se realizaron las maniobras de bajada y montaje de la estructura de empuje, auxiliándose de un sistema de vigas y diferenciales de cadena (trolles capacidad de 30ton.) (Ver figura No.18)

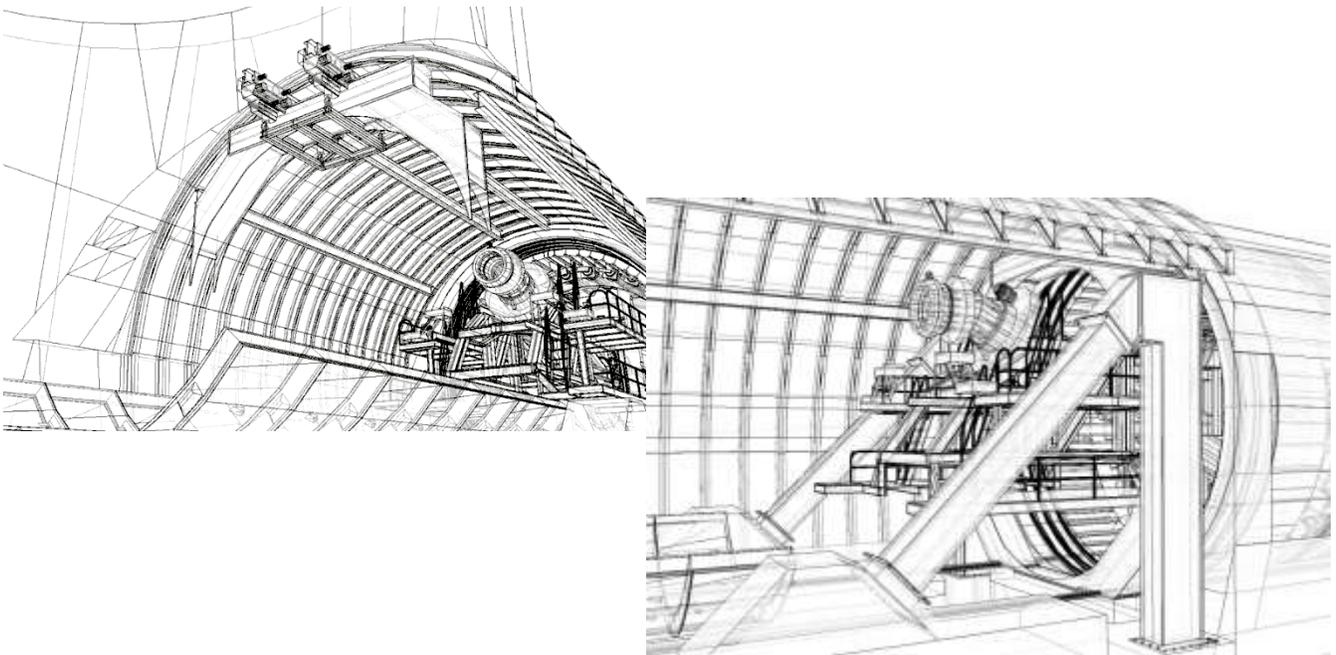


Figura No.18

Se procederá con la bajada del Segment Feeder (alimentador de dovelas) se colocara en posición para su apriete de tornillería al 100%. (Ver figura No.19)

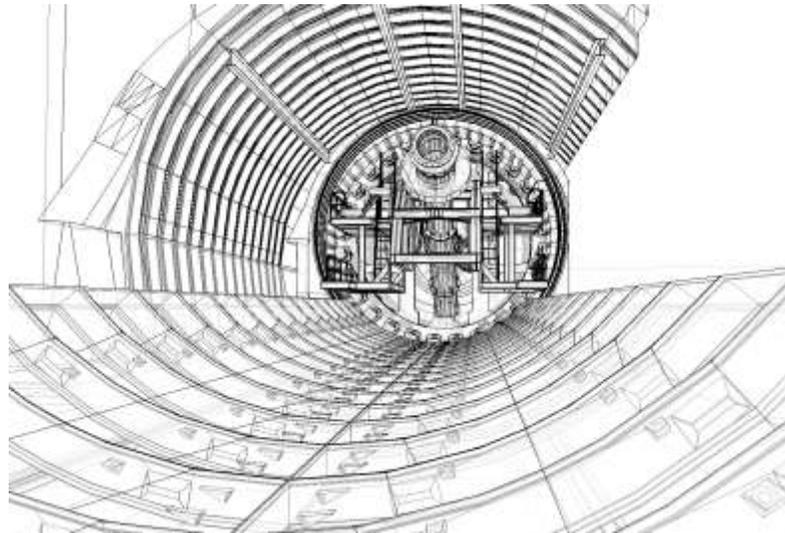


Figura No.19

Se continuara con la bajada a fondo de lumbrera de la parte delantera del puente principal "Gantry Bridge" junto con la cabina del operador. (Ver figura No.20).

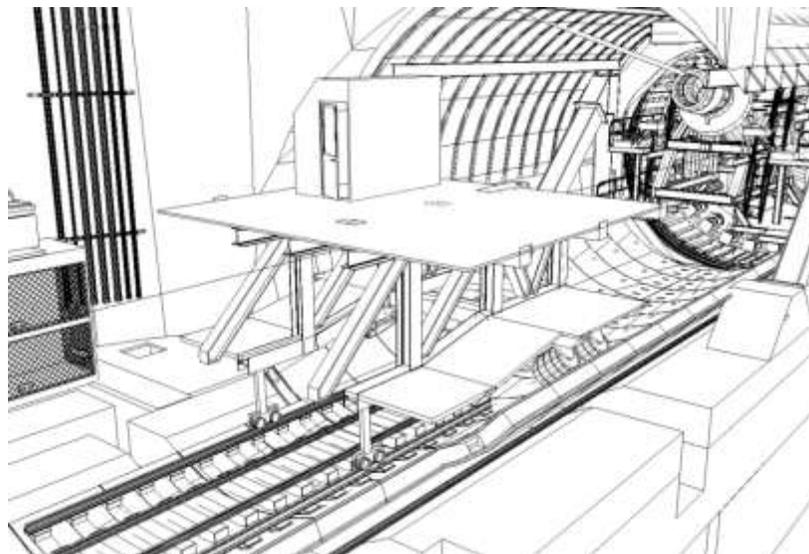


Figura No.20

Después se procederá con la bajada y ensamble en fondo de Lumbreira de la parte trasera del Gantry Bridge, posteriormente colocar sobre el Gantry Bridge la unidad de lubricación. (Ver figura No.21)

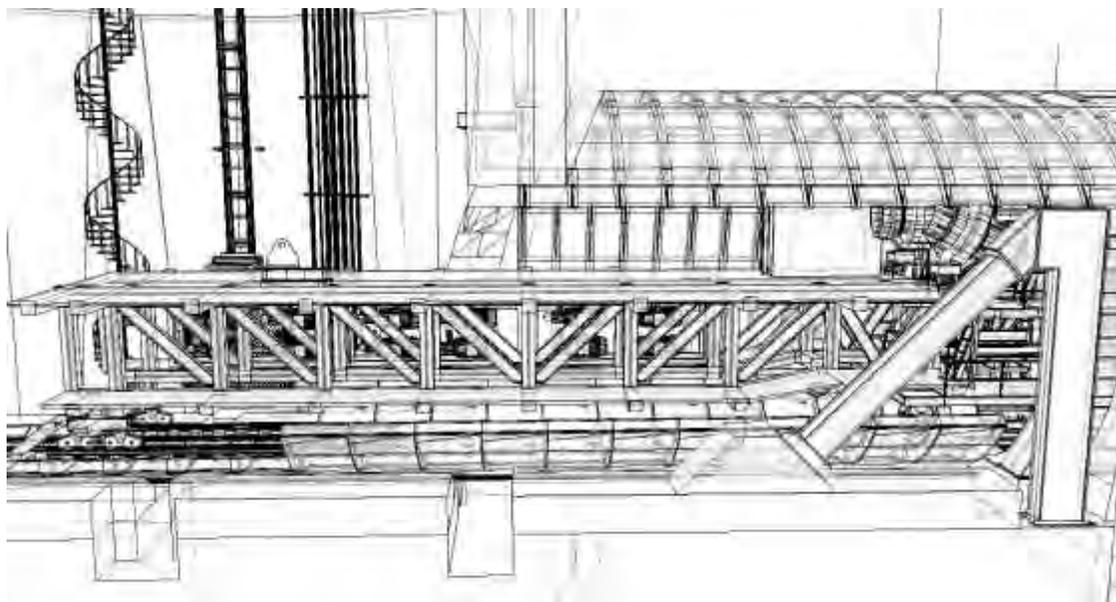


Figura No.21

Se descenderá enseguida el tanque hidráulico, posicionándolo sobre el Gantry Bridge parte superior, de igual manera se descenderá la parte trasera del tornillo Sin fin No.2 (ver figura No.22)

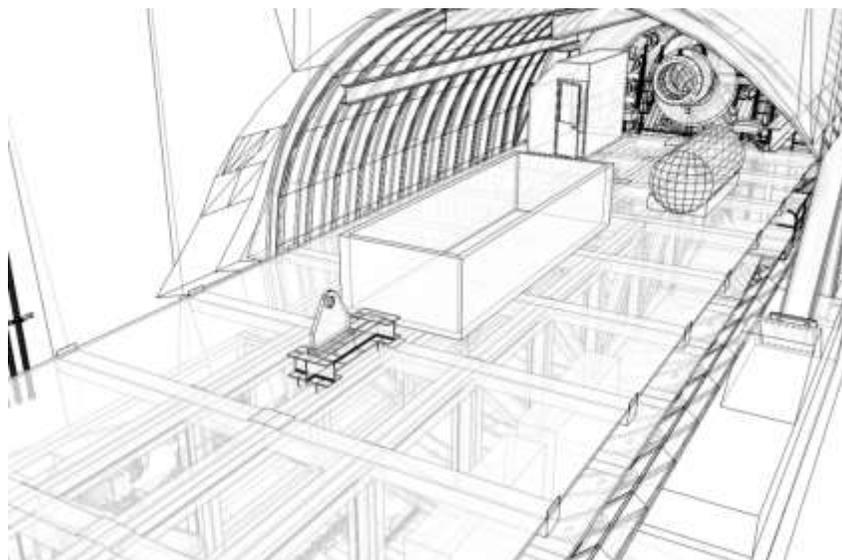


Figura No.22

Se realizara la bajada de la parte delantera del tornillo No.2, posicionándola sobre el Gantry Bridge, (Ver figura 23.)

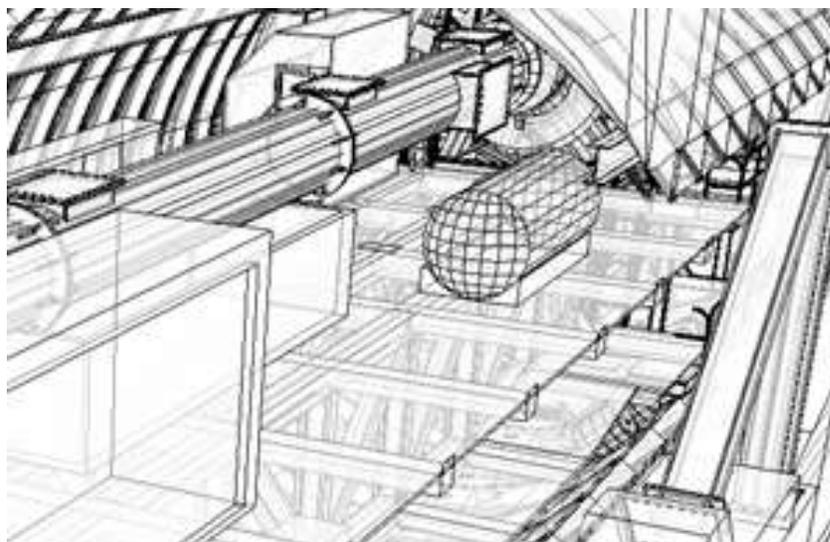


Figura No.23

Continuar las maniobras de descenso y ensamble instalando la parte trasera del tornillo sin fin No.2, al igual que el panel eléctrico y los transformadores. (Ver figura No.24)

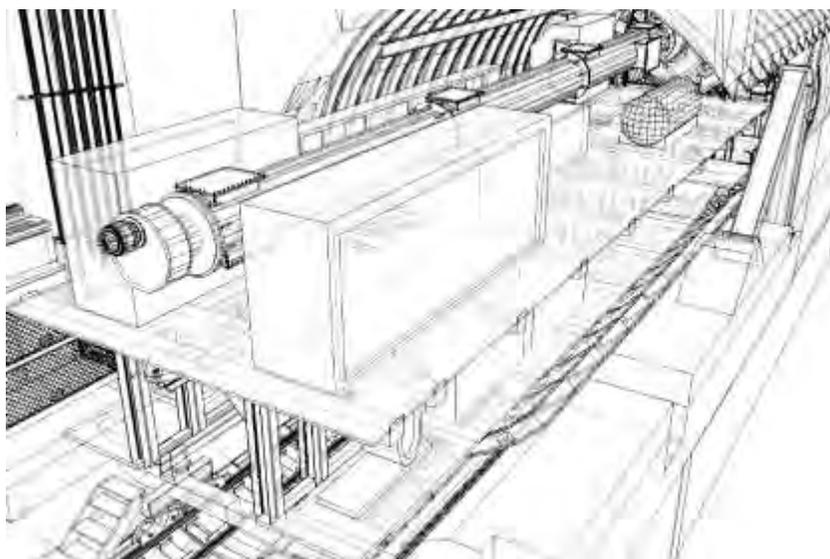


Figura No.24

## PROCESO DE EXCAVACIÓN.

### Capítulo IV.

#### Procedimiento de inicio para excavación con Tuneladora TBM-EPB

Después de haber montado el equipo excavador (TBM) en fondo de lumbreira y Galería se procederá a lo siguiente:

El espacio que queda entre el anillo metálico y la primera sección de la galería de montaje, se deberá rellenar con concreto lanzado, a efecto de formar un sello de arranque.

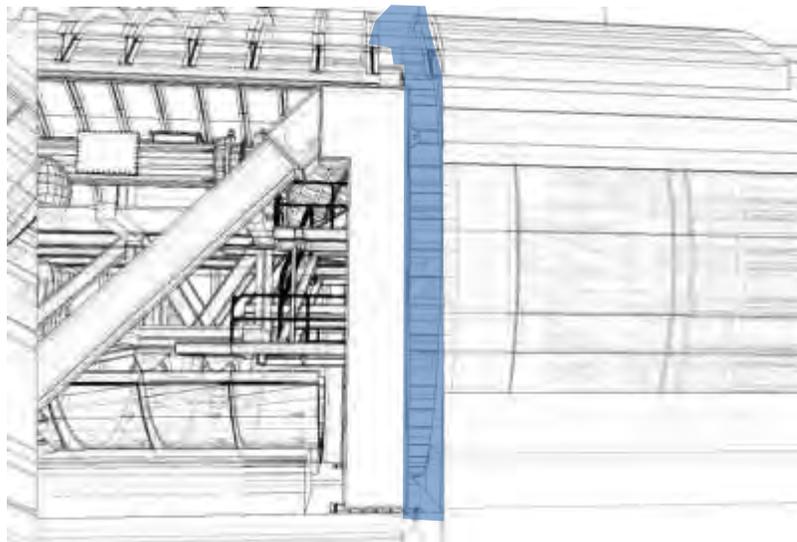


Figura No.1

De igual manera, se deberá rellenar los espacios vacíos de la estructura del anillo metálico en su parte inferior, lo anterior para lograr el deslizamiento de las ruedas delanteras del puente principal (Gantry Bridge).

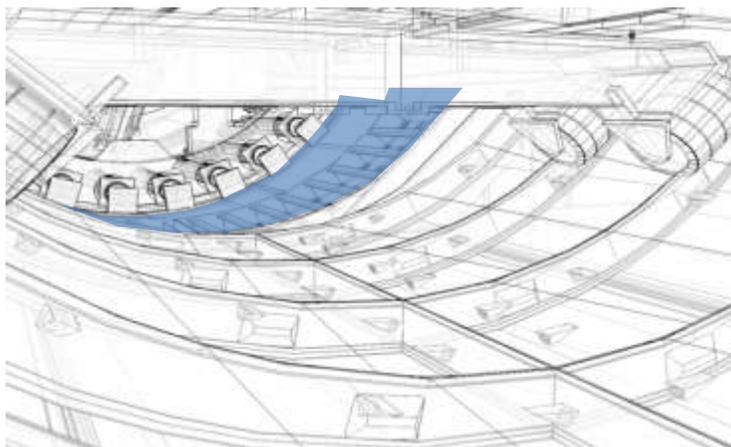


Figura No.2

Se colocara una banda provisional para la extracción y recopilación del material producto de excavación (rezaga), se colocara en el fondo de la lumbrera un bote de rezaga de 10 m<sup>3</sup> para excavar y dar espacio para colocar después un bote de 20m<sup>3</sup>. (Ver figura No.3)

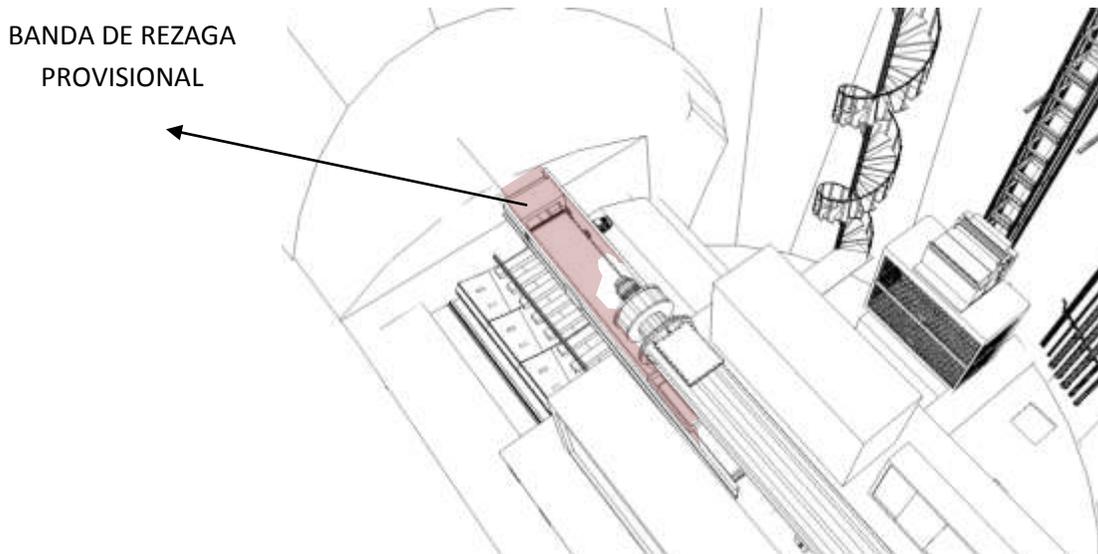
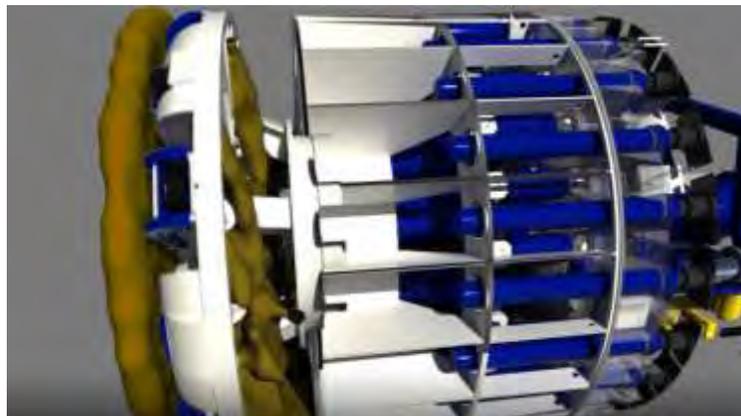


Figura No.3

### Excavación en fase Provisoria.

Se dará inicio al ciclo de operación del equipo excavador (TBM) excavando 1.00 metro de longitud, la cual se realizara ayudándonos con la inyección de espumas durante la excavación para su lubricación de la herramienta de corte, para lo cual el sistema de inyección (depósito y bomba) se ubicara en el fondo de la lumbrera y el sistema de inyección de aire comprimido se ubicara en superficie

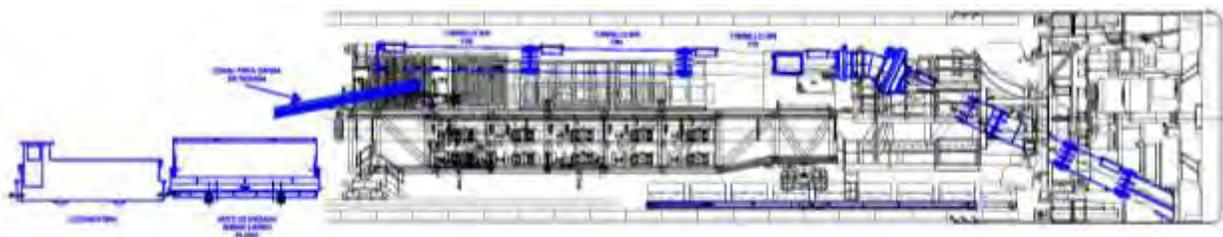


Rezaga en cámara de excavación

Mientras la maquina TBM se encuentra excavando el ciclo 1 de 12, (1 ciclo equivalente a 1 bote de rezaga= 10m<sup>3</sup>) de forma simultánea a la excavación se realiza la carga del bote de rezaga, cuando se ha concluido esta etapa la maquina se detiene para permitir que la locomotora junto con el bote de rezaga regrese a la lumbrera de arranque para realizar el cambio del bote de rezaga lleno con otro bote de rezaga vacío que previamente fue colocado en fondo de lumbrera por la grúa pórtico. Este mismo procedimiento de excavación se empleara con el bote de rezaga de 20m<sup>3</sup> el cual se bajara hasta que la TBM haya avanzado unos cuantos metros y de espacio a este para dar inicio al ciclo 1 de 6.



Carga de rezaga con bote de 10m<sup>3</sup>    Carga de rezaga con bote de 20m<sup>3</sup>



Sistema de carga de rezaga

### **Sistema de rezaga en fase provisoria**

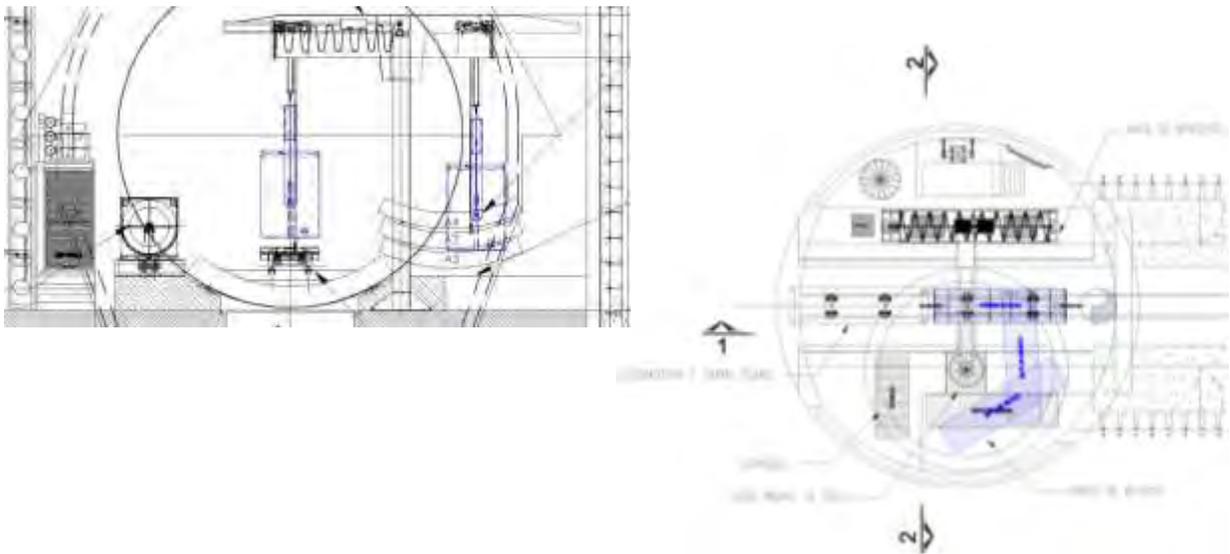
Cuando la excavación en fase provisoria de la TBM este dentro del pre-túnel se utilizara la grúa radial en forma simultánea al regreso del tren. Se retirara el bote lleno, con la grúa pórtico hacia superficie al dique de rezaga provisional, en fondo de lumbrera la grúa radial conecta al bote vacío y lo coloca sobre el carro plano para que así el ciclo 2 de 6 no pare y sea constante la excavación.



Desalojo de bote de rezaga a superficie Cambio de bote de rezaga a carro plano

La maquina necesita realizar 6 etapas de excavación para poder realizar el montaje del anillo, en cada una de estas etapas es necesario realizar las operaciones antes mencionadas de intercambio de botes de rezaga.

Se estima un tiempo ideal de 9 minutos por ciclo de excavación y un lapso de tiempo de 14 minutos para poder realizar las maniobras de intercambio de bote de rezaga incluyendo el tiempo de ida y vuelta a lumbrera y TBM.



Logística de la colocación de bote de rezaga.

## Excavación en fase definitiva.

Después de haber excavado 150 metros en fase provisoria, se dará inicio a las maniobras de descenso de los Gantry's faltantes (75 metros aprox. de la rueda de corte a la cola del último Gantry, ósea la TBM al 100%), y otros 75 metros aproximadamente para la colocación del sistema de bandas al 100%, las cuales estas bandas nos ayudaran a extraer el producto excavado y desalojarlo a superficie. Se va a necesitar 2 locomotoras de servicio en galería y 1 locomotora más de emergencia, El ciclo de la maquina se divide en dos etapas:

Primera etapa de excavación.- Es la etapa en la que la TBM va retirando material hasta alcanzar la distancia de 1.5m que es en donde se coloca el anillo, para esta etapa el tiempo es de 30 minutos aproximadamente corresponde a un avance de 50mm/min en suelo, este tiempo varía según sean las condiciones que se vayan presentando en el terreno. Cabe destacar que durante la excavación para cada anillo se está inyectando mortero para así evitar filtración de material fino o agua en caso de que se tenga demasiada presión en el frente excavado.



Desalajo de Material de Cámara de excavación.

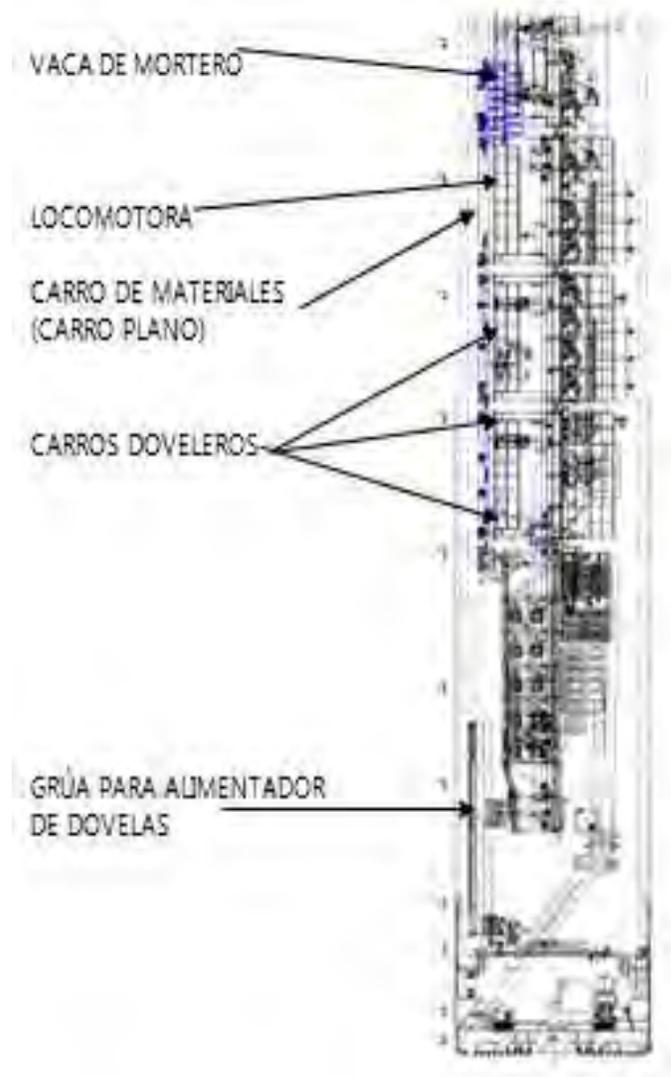
Segunda etapa.- Una vez que la TBM ha alcanzando la distancia de 1.5m se realiza la colocación o montaje del anillo la cual está integrado por 7 dovelas y 1 llave (revestimiento primario) se estima un tiempo de colocación de anillo de 30min.



Montaje del anillo de concreto

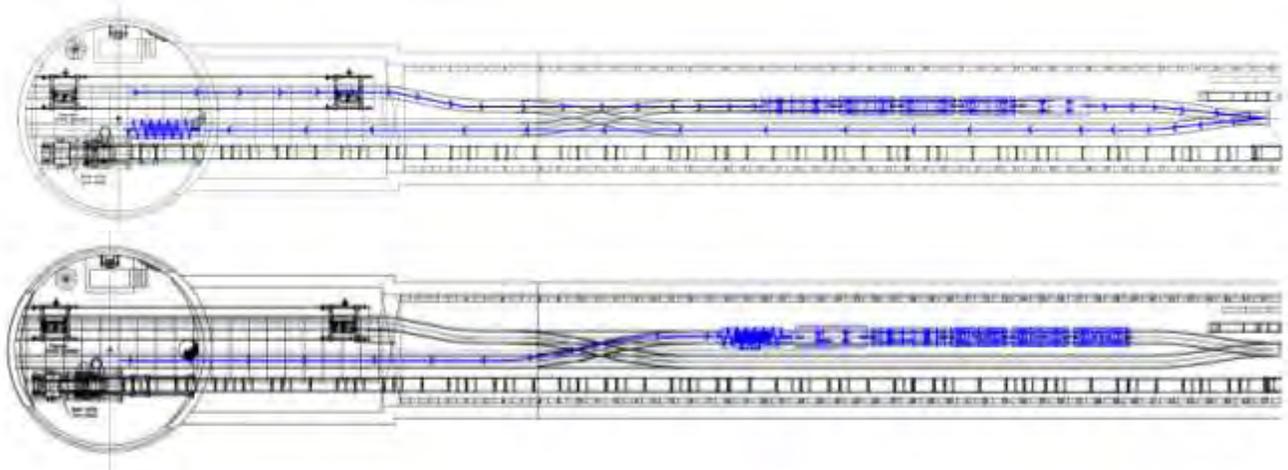
### Descripción del ciclo de los trenes de servicio.

Al tiempo que la fase de excavación de 1.5m ha concluido, el tren No.1 debe estar posicionado en el Gantry 1 y 2 para descargar las dovelas al alimentador, al mismo tiempo deberán estar descargando los materiales como grasas, tornillería, Espuma y rieles al igual que se estará descargando el mortero en el Gantry No.3.



### Operaciones para movimiento de Vaca de mortero.

Después de ejecutadas las maniobras de la vaca de mortero en fondo de lumbrera, en fase definitiva la grúa pórtico pone la vaca de mortero por detrás de la locomotora la cual se conecta, al tiempo que se realizan las operaciones de vaciado de mortero en TBM, después esta la retira la locomotora al fondo de lumbrera para su llenado, mientras la otra locomotora con la otra va de mortero la espera en el cambio california para que no se interrumpa el ciclo de excavación y de inyección.



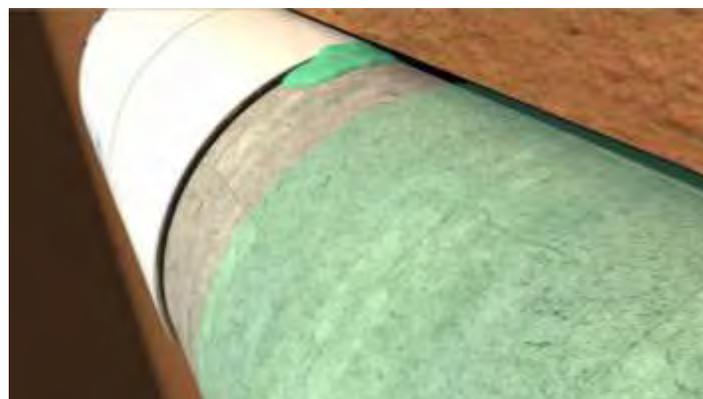
Locomotora y vaca de mortero en cambio california

**Inyección de mortero.-** cabe mencionar la realización de las inyecciones alrededor del revestimiento primario de un túnel para:

- El control de los asentamientos superficiales
- Control de los movimientos del anillo de dovelas en el espacio anular a corto y mediano plazo
- Sellar el túnel contra infiltraciones de agua.

Estos tres objetivos se logran mediante un relleno inmediato (detrás de cola de la tuneladora) del espacio anular.

En la excavación la TBM va excavando al igual que se va retirando material al mismo tiempo que se está inyectando mortero y grasa de cola esto a través de la cola del faldón donde se encuentran los puntos de inyección de mortero y grasa.



Inyección de mortero y grasa de cola por el faldón

**El volumen teórico del mortero será:**

Diámetro de excavación =8.93 m; Área= 62.63 m<sup>2</sup>

Diámetro exterior de dovela= 8.60 m; Área exterior de dovela=58.08 m<sup>2</sup>

Diferencia de áreas= 62.63m<sup>2</sup> - 58.08 m<sup>2</sup>=4.55 m<sup>2</sup>

Volumen por empuje (1.5 m)= 4.55 m<sup>2</sup> x 1.5 m =6.82 m<sup>3</sup>

Lo cual se inyecta 7m<sup>3</sup> de mortero o más en algunos puntos de acuerdo si se encuentra alguna caverna o fisura por anillo.

## REVESTIMIENTO DEL TUNEL.

### Capítulo V.

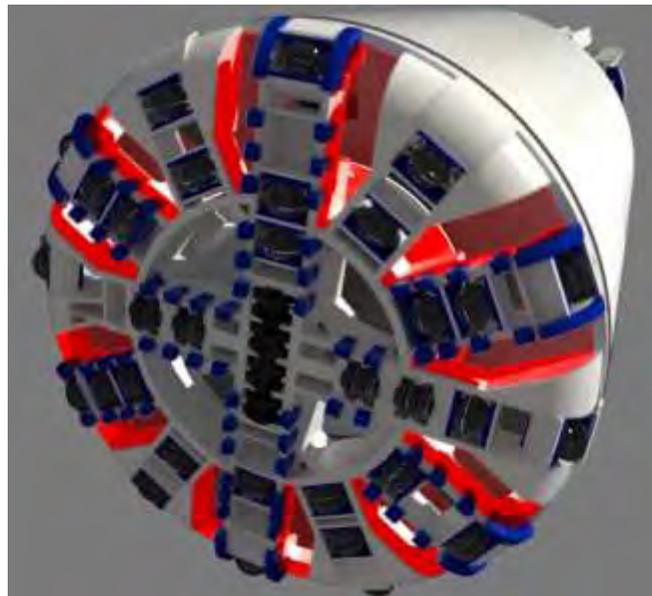
#### Objetivo

Establecer el procedimiento para las actividades de montaje del anillo, desde su transporte de la planta de dovelas hacia recepción en Lumbrera según los parámetros de calidad establecidos, al igual que su almacenaje en Lumbrera y ciclos que debe efectuar la TBM para realizar los trabajos de la colocación del revestimiento primario a base de anillos de dovelas de concreto en el frente de excavación.

#### Partes generales

**Escudo TBM:** Es una maquina de forma cilíndrica que es un protector equilibrado de la presión de tierra- presión de tierra de control de escudo, utilizada para la excavación de túneles y en este caso con un diámetro de 8.88m, que conserva la estabilidad del terreno vecino y permite colocar el soporte primario, lo cual es el anillo formado por dovelas, las cuales son prefabricadas de concreto.

Para la estabilización frontal aprovecha la excavación del suelo con la que forma la cámara de presurización del frente y la estabilización de la misma.



**Escudo TBM, tipo EPB.**

**Dovela.-** Es el elemento de concreto armado en forma de sector circular que se atornillan entre si, en conjunto forman parte de un solo anillo, mismo que servirá como revestimiento primario para el túnel.



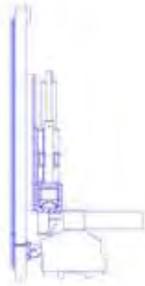
**Taco Sofrazar.-** Se denomina al elemento central de la dovela que esta embebido y cuya finalidad es la de realizar el izaje de las dovelas hacia el segment feeder, así como para realizar inyecciones necesarias durante la construcción del Túnel.



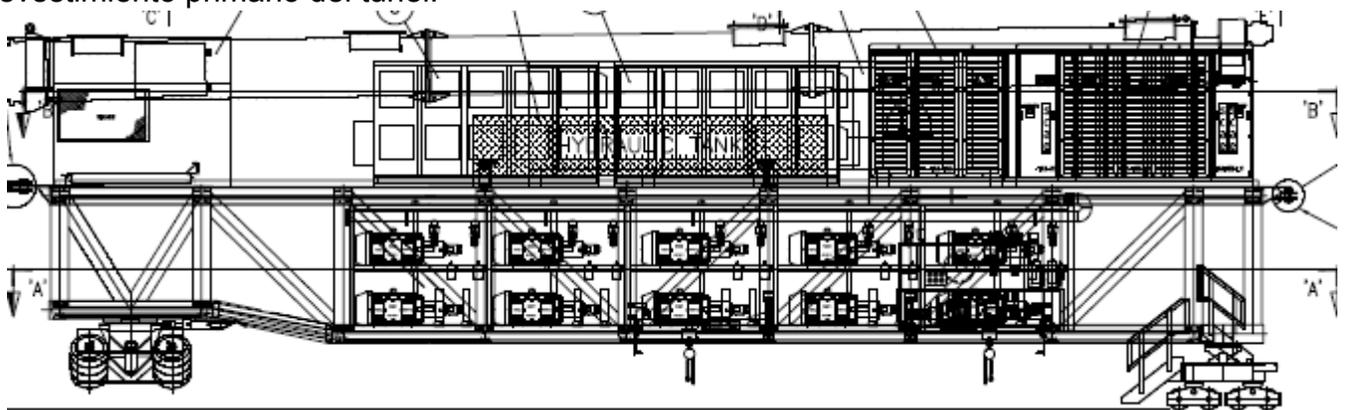
**Segment Feeder:** Mejor llamado como Mesa Dovelera, este equipo nos ayudara a realizar el desplazamiento de la dovela hasta el segment Erector.



**Segment Erector:** Llamado también como brazo colocador de dovelas, es el dispositivo encargado de la colocación de las dovelas en su posición para conformar el anillo de revestimiento primario del túnel.



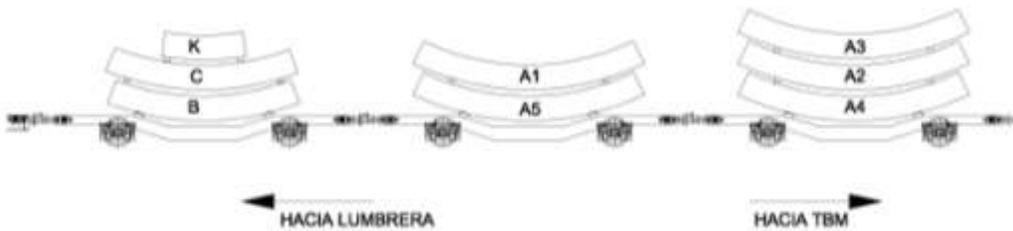
**Gantry Bridge.**-Es la sección inmediata a la cabeza de corte en donde se alojan las unidades de poder, variadores de frecuencia, tanque de mortero, cabina del operador y soporte para el tornillo sinfín no.2 de extracción de rezaga. Además es la sección en donde las dovelas son transportadas al alimentador de dovelas para posteriormente ser colocadas por el brazo del erector (segment erector) y así formar el anillo del revestimiento primario del túnel.



**Locomotora.-** Se denomina locomotora al vehículo mecánico o cabina rodante con motor que se utiliza para dar empuje a los trenes, en este caso a los carros doveleros, carros de materiales y personal, siendo este una parte fundamental del avance del túnel.



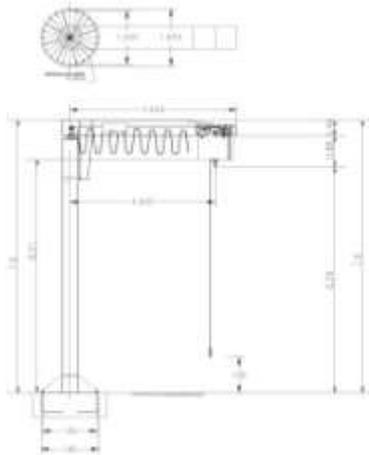
**Carro Dovelero.-** Es la estructura con ruedas sobre rieles, diseñada para soportar dovelas y transportarlas en el interior del túnel hasta el equipo excavador (TBM).



**Carro plano.-** Estructura con rueda sobre rieles, la cual está diseñada para transportar materiales u objetos (Rieles, Tambos de grasas, Soportes, etc.) en el interior del túnel hasta equipo excavador (TBM).



**Grúa Radial.**-Es una maquina de carga con un brazo con capacidad de 10 toneladas, con radio de giro para desplazar dovelas y descargarlos en carros doveleros.



**Grúa pórtico:** Es una maquina de carga y desplazamiento, destinada a elevar y transportar materiales mediante la utilización de ganchos, eslingas o pinzas. Pueden ser desplazadas sobre rieles o neumáticos y diseñadas para diversas capacidades de carga. La cual se utilizara una grúa pórtico de 200 toneladas para el descenso del TBM.



Grúa Pórtico 200 ton.

### Verificación del cargamento de dovelas

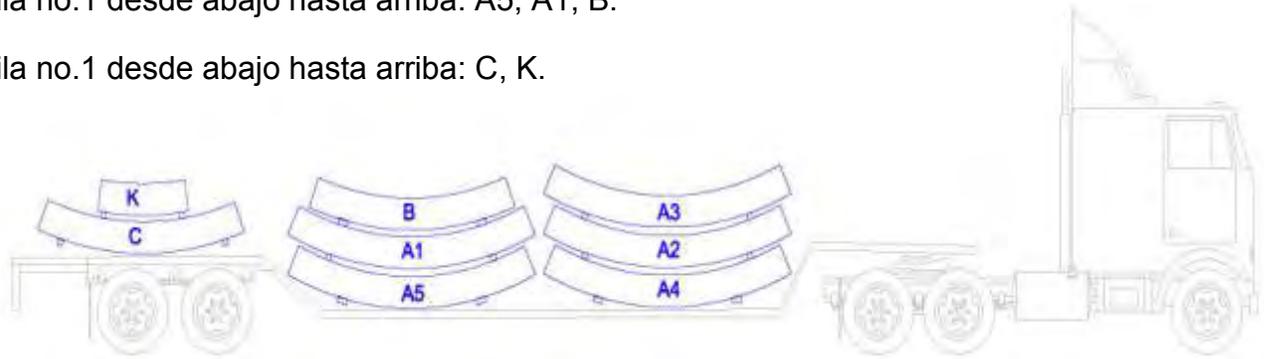
Las dovelas se llevan desde la planta de dovelas no. 2 ubicada en Zumpango hasta la Lumbrera 10 sobre una plataforma o cama baja. La carga máxima de la plataforma es de 40 toneladas.

El cargamento se compone de tres pilas con un peso total de 39 toneladas. (Como se muestra en la figura).

Pila no.1 desde abajo hasta arriba: A4, A2, A3.

Pila no.1 desde abajo hasta arriba: A5, A1, B.

Pila no.1 desde abajo hasta arriba: C, K.



*Ejemplo de transporte de dovelas de planta a Lumbrera*

La recepción verificara que en cada pila las dovelas tienen la misma orientación (parte hembra del mismo lado).

Cada cargamento debe venir con un formato de entrega con el número del colado. El encargado de la recepción verifica la correspondencia entre el formato y el numero de colado marcado sobre las dovelas.

En seguida la recepción verificación la calidad de cada dovela y llenara el formato de recepción. Los elementos seguimiento son verificados:

- Problema de pegado de las bandas de estanqueidad.
- Presencia de un golpe
- Falta de un orificio para tornillo
- Falta de un orificio para conos del erector
- Falta del taco sofrasar
- Fisura.

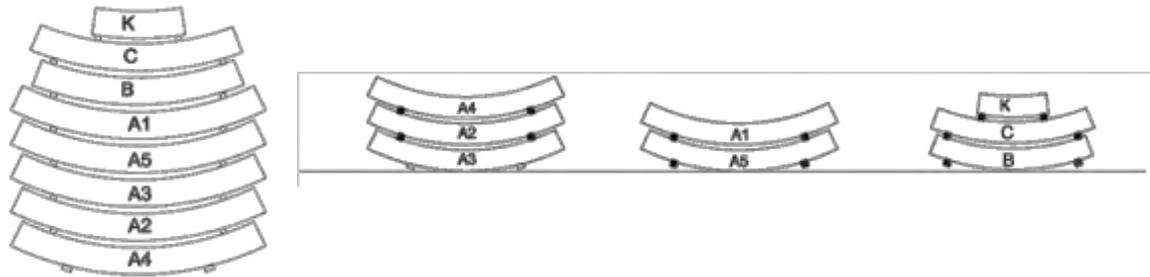
Formato de recepción de dovelas. (**Ver anexos**)

### **Descarga de las dovelas en obra.**

La plataforma se descarga con la grúa pórtico de 60 toneladas pila por pila usando una pinza eléctrica del tipo ACIMEX de 3 dovelas y se colocan en la zona de almacenamiento de dovelas.

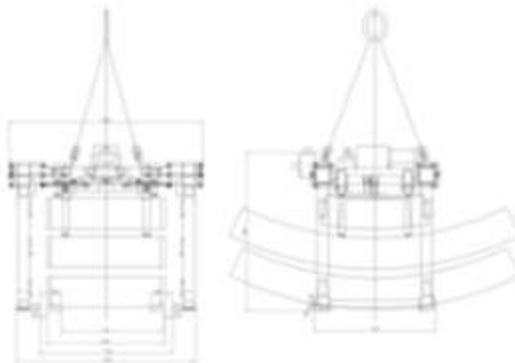
## Bajada de dovelas en fondo de Lumbreira en fase provisoria

Cuando la TBM se encuentra trabajando en fase provisoria es necesario que el apilado de las dovelas se haga en forma especial permitiendo esto su correcto manejo y colocación en fondo de lumbreira y posteriormente su colocación como parte de un anillo. En la sig. Figura se puede observar la colocación necesaria de las dovelas en superficie para su manejo en fondo de Lumbreira.

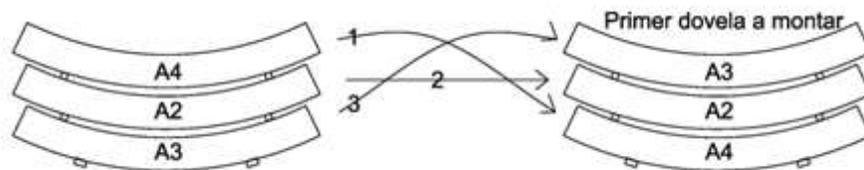


*Croquis de acomodo de dovelas.*

Después del acomodo en superficie es esta configuración que las dovelas son bajadas desde el patio de almacenamiento de dovelas utilizando la grúa pórtico de 60 toneladas. Equipada con la pinza ACIMEX para 3 dovelas (esta grúa funcionara para el acomodo de dovelas para los carros doveleros en fase definitiva). Estas son bajadas al fondo de lumbreira en grupos de 3 iniciando por el grupo de dovelas A3, A2, A4 (este grupo de dovelas se baja al inicio del ciclo) esta configuración permite que al ser tomadas las dovelas una a una por la grúa radial de 10 toneladas. Se tiene que revisar bien su posición que sea la correcta para realizar el montaje.



*Pinza ACIMEX para 3 dovelas*

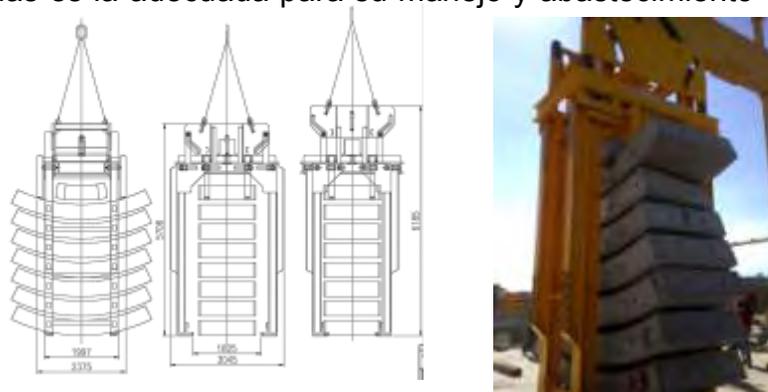


*Colocación de dovelas en superficie en fase provisoria.*

En la figura anterior se muestra la secuencia de movimientos que deben darse en las dovelas para que sean colocadas en forma correcta sobre los carros, las dovelas A5, A1 y B, C, K se colocan directamente sobre el carro plano con la grúa pórtico de 60 toneladas. Sin usar la grúa radial.

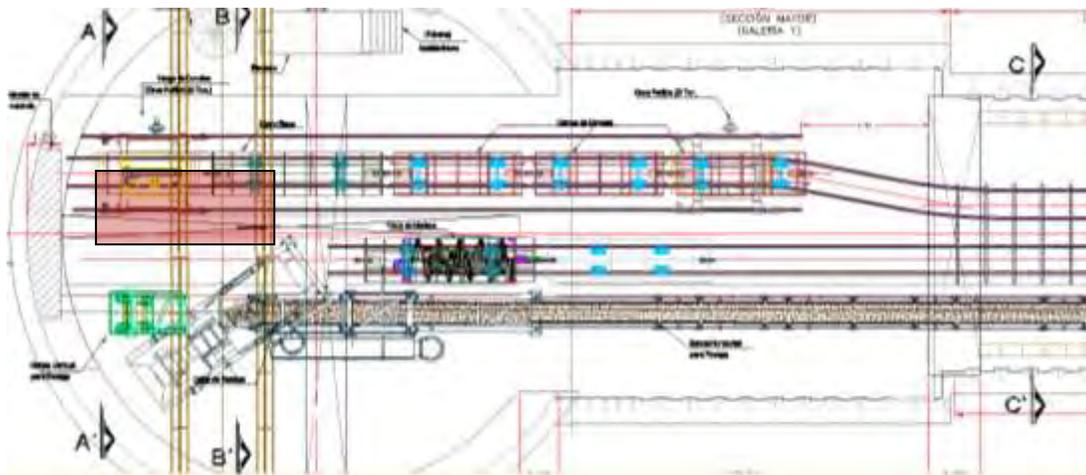
### **Bajada de dovelas en fondo de lumbrera en fase definitiva.**

Cuando la TBM se encuentra ya trabajando en fase definitiva el proceso para el descenso de las dovelas se realiza con la grúa pórtico de 60 toneladas utilizando la pinza Acimex para 8 dovelas. (Como se muestra en la figura). Tomándolas de su posición en superficie en el patio de almacenaje de dovelas. La configuración del izaje que presenta las dovelas desde los patios de almacenamiento de la planta de producción de dovelas es la adecuada para su manejo y abastecimiento de la TBM en fase definitiva.



Pinza Acimex para 8 dovelas.

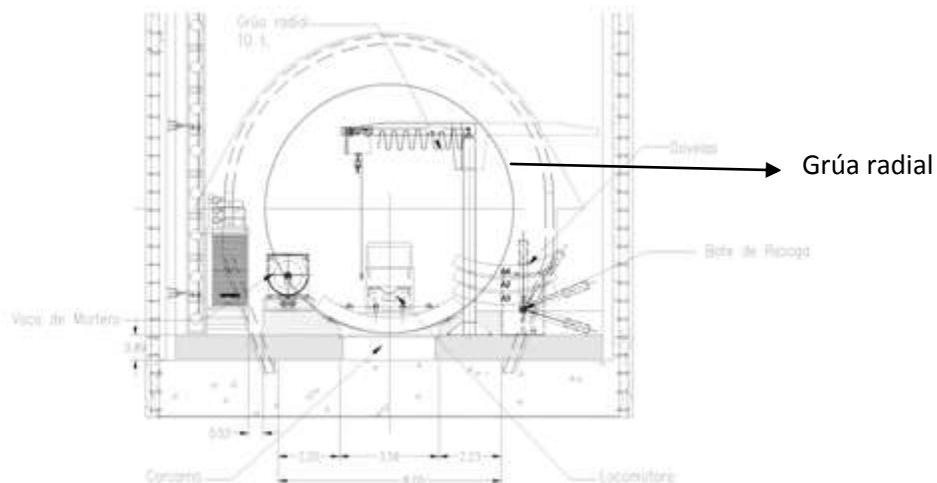
Estas dovelas son colocadas en fondo de lumbrera dentro del área asignada para que posteriormente se puedan colocar los carros doveleros.



Área asignada para la colocación de dovelas para su posterior acomodado en los carros doveleros.

Una vez que se tiene el primer grupo de dovelas en donde de lumbrera, estas son colocadas una a una por medio de la grúa radial de 10 toneladas sobre el carro plano en su configuración para la colocación como anteriormente se comento (A3, A2, A4), la primera dovela a colocar para un anillo es la dovela A3.

Para ejecutar la operación de la colocación de las dovelas sobre el carro plano la grúa radial utiliza un dispositivo de izaje el cual toma a la dovela a través del taco sofrasar (ombigo de dovela) y la coloca sobre el carro plano. (Ver la siguiente figura).

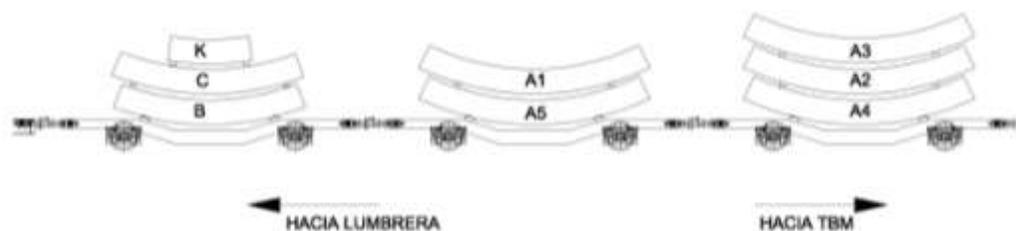


Colocación de dovelas por grúa radial

Cuando el primer grupo de dovelas (A3, A2, A4) se encuentran colocadas en el carro plano este se mueve hacia el Back-up para realizar las operaciones de colocación de las primeras dovelas.

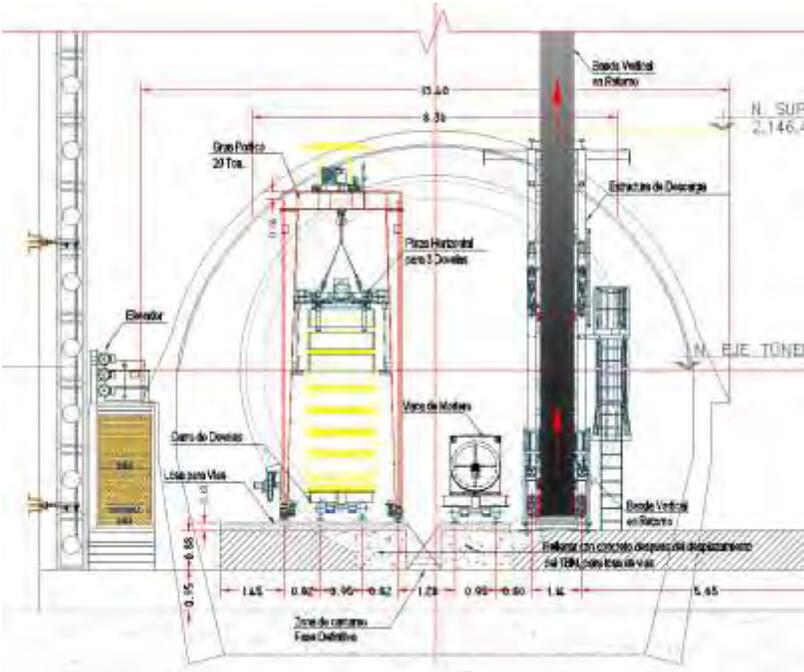
### Carga de dovelas sobre carros doveleros en fase definitiva

Cuando las dovelas han sido bajadas por la pinza Acimex de 8 dovelas en su posición designada en fondo de lumbrera, estas se colocan en los carros doveleros siguiendo el siguiente orden de colocación A3, A2, A4, A1, A5, B, C, K. (Como se muestra en la figura).



Dovelas sobre los carros doveleros

La forma de colocación de las dovelas sobre los carros doveleros se realiza mediante la operación de una grúa pórtico en fondo de lumbrera esta grúa está equipada ahora con la pinza Acimex de 3 dovelas, esta operación tiene un duración de aproximadamente 15 minutos (5 minutos por cada grupo de dovelas).



Cuando el tren ha sido abastecido de los insumos necesarios (dovelas, grasas, espumas, tornillería, soportería, etc.) se direcciona a la máquina (TBM) para abastecerla al 100%.

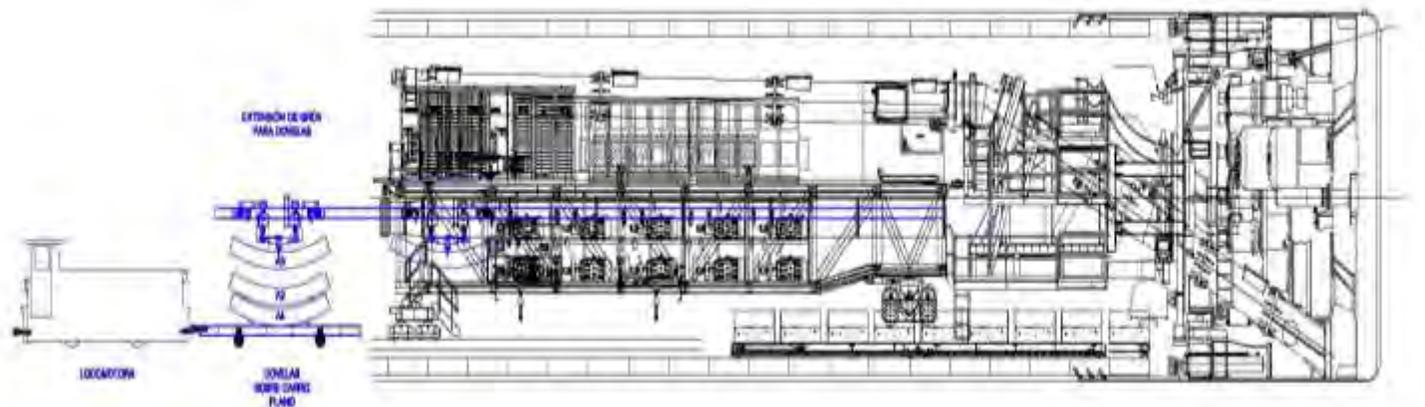


## DESCARGA DE LAS DOVELAS SOBRE EL SEGMENT FEEDER.

### Descarga de dovelas sobre el Segment Feeder en fase provisoria.

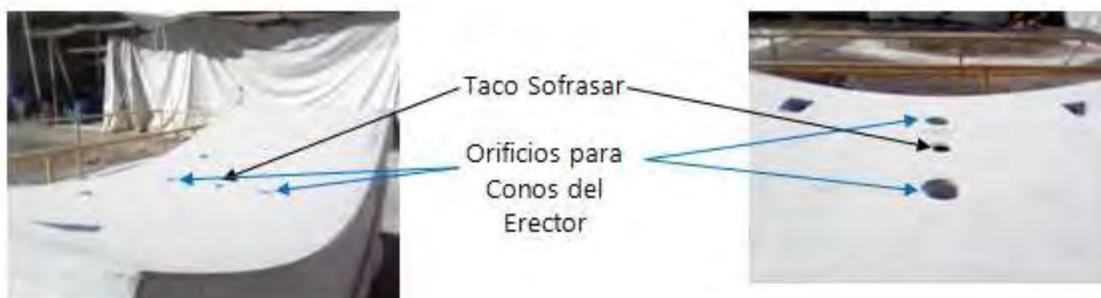
Cuando las dovelas ya han sido colocadas en el carro plano ( en fase provisoria únicamente) el primer grupo que son las dovelas A3,A2, y A4, el tren se mueve hacia la TBM que en esta fase únicamente se encuentra funcionando hasta el Gantry Bridge.

El Gantry Bridge necesita ser equipado con una extensión de la grúa viajera de alimentación de dovelas al Segment Feeder (ver la sig. Figura) este equipo debe permitir que dicha grúa salga del Gantry Bridge por sobre del carro plano y pueda tomar los segmentos dovelas de este.

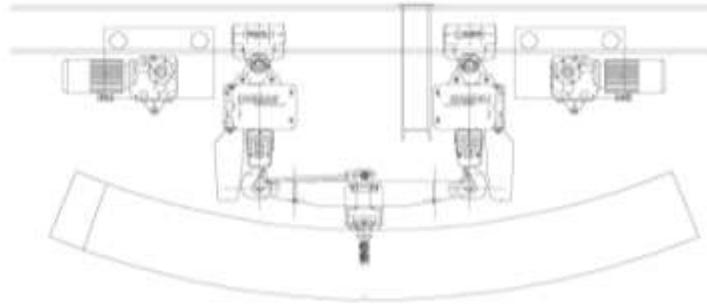


Alimentación de dovelas al Segment Feeder en fase provisoria

El funcionamiento del Polipasto de Alimentación de Dovelas consiste en el izaje de la dovela a través de un dispositivo que toma la dovela por el taco sofrasar (ombbligo de dovela). (Como se muestra en la figura)

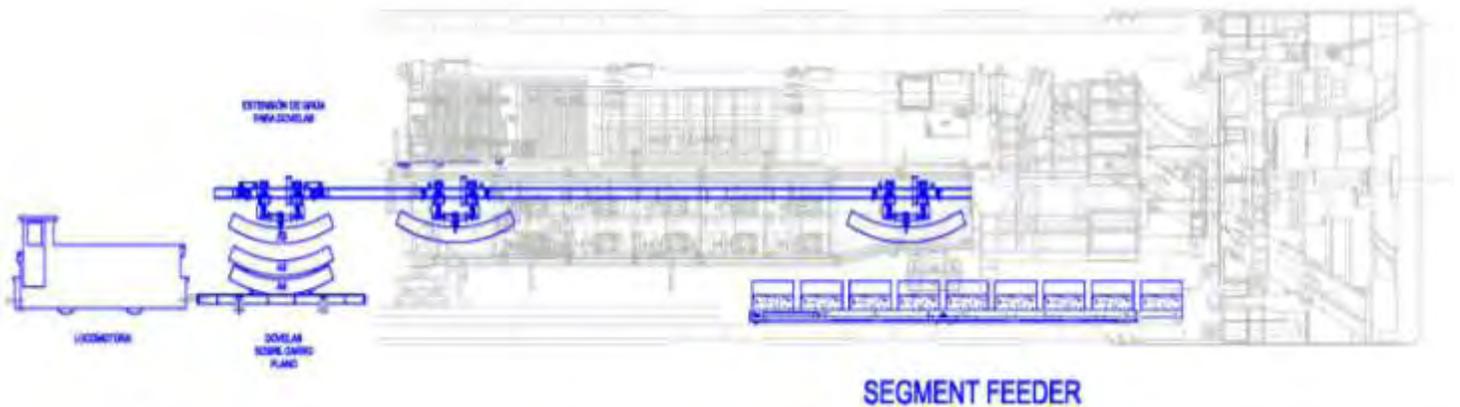


Taco sofrazar y Tornillo empleado en el izaje de la Dovela



Detalle del polipasto (grúa viajera de Dovelas).

El polipasto es capaz de izar la dovela, realizar un giro de 90° y posicionar la Dovela sobre el Segment Feeder (Alimentador de Dovelas)



Esquema de dovelas sobre el Segment Feeder en fase provisoria.

### Descarga de dovelas sobre el Segment Feeder en fase definitiva.

Cuando la TBM ya se encuentra trabajando en fase definitiva, esta ya está totalmente armada y trabajando en forma normal, es de la siguiente forma, la alimentación de la maquina se realiza ya con la configuración estándar de los trenes. (Ver figura).

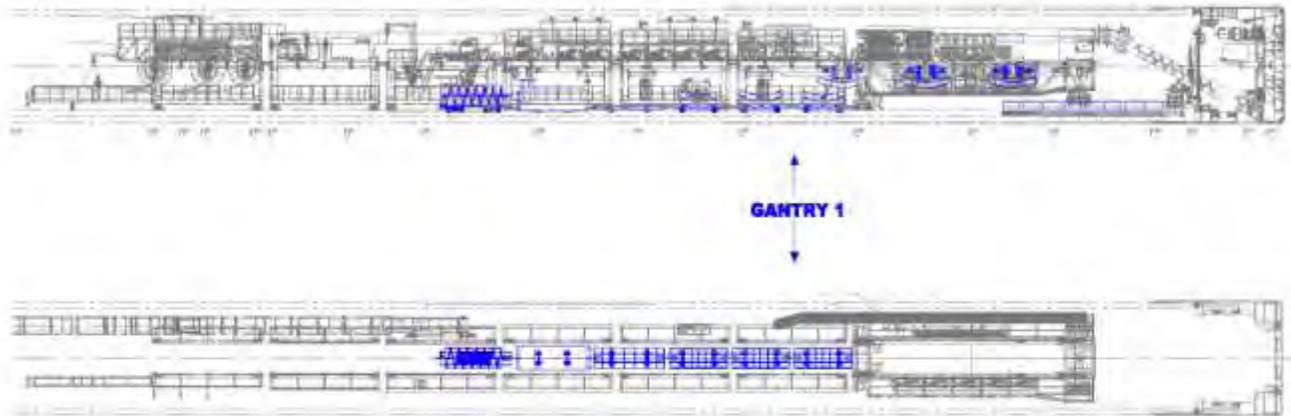


TBM en fase definitiva



Tren en configuración para fase definitiva

El tren que ya ha sido totalmente abastecido de Dovelas y otros insumos debe colocarse dentro del Back-up que es en esta posición donde la grúa viajera de alimentación de dovelas realiza las maniobras para el izaje y colocación de las Dovelas en el Segment Feeder, Es importante mencionar que cuando la TBM está totalmente armada la adaptación que se hizo en fase provisoria en forma de extensión de la grúa de alimentación ya ha sido retirada.



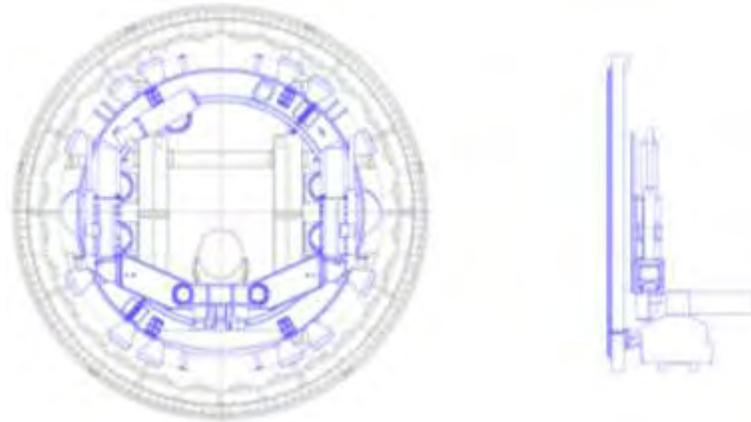
Posición del tren en el Backup

Como anteriormente se describió el funcionamiento de la Grúa viajera de Alimentación de Dovelas consiste en el izaje de la dovela a través de un dispositivo que toma la dovela por el taco sofrasar (omblogo de dovela). Este polipasto es capaz de izar la Dovela, realizar giro de 90° y posicionar la dovela sobre el Segment Feeder (alimentador de Segmentos).

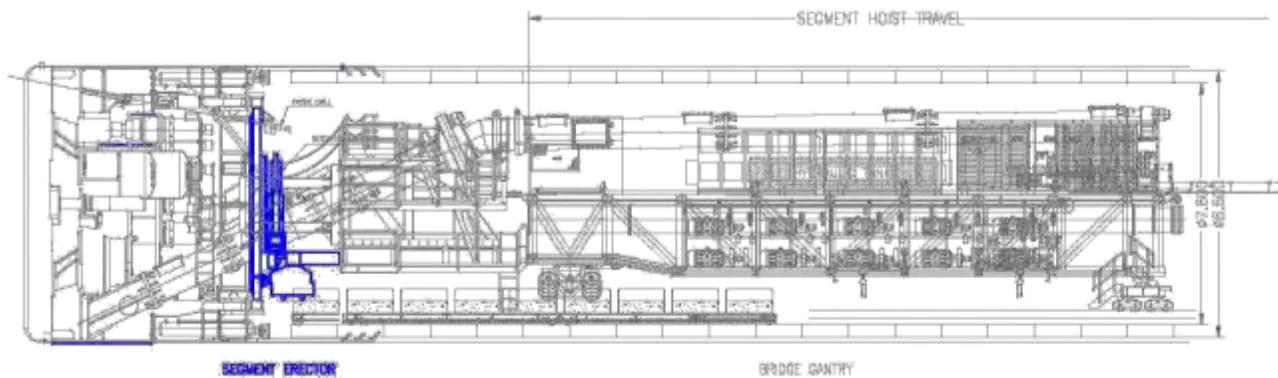
### Colocación de las dovelas con el Erector

Cuando las dovelas ya se han colocado en el Segment Feeder después de haber realizado las maniobras pertinentes tanto en fase provisoria como en fase definitiva, dan inicio a las maniobras de la colocación de las dovelas para formar el anillo de revestimiento primario.

El Segment Erector (montador de Segmentos) es el dispositivo encargado de ir colocando en su posición cada segmento que conforma un anillo (ver figura)



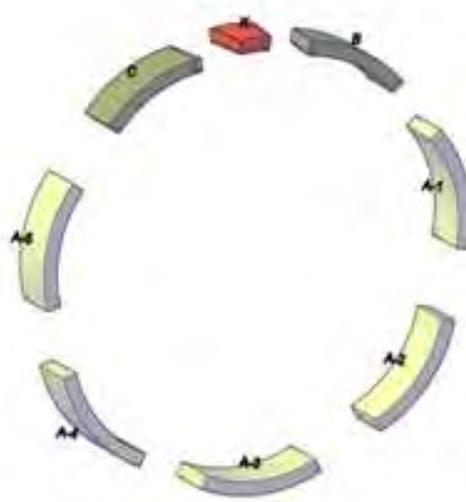
Segment Erector



Ubicación de Segment Erector dentro de TBM

El segment Erector emplea un dispositivo de succión (vacío) que se auxilia de orificios en la Dovela (previstos desde el diseño de las Dovelas) estos orificios sirven como guía para que el Erector se posicione de una forma más fácil y rápida, esto asegura que al estar bien posicionada al momento de generar el vacío e izar la dovela se pueda realizar esta maniobra con mayor rango de seguridad y rapidez.

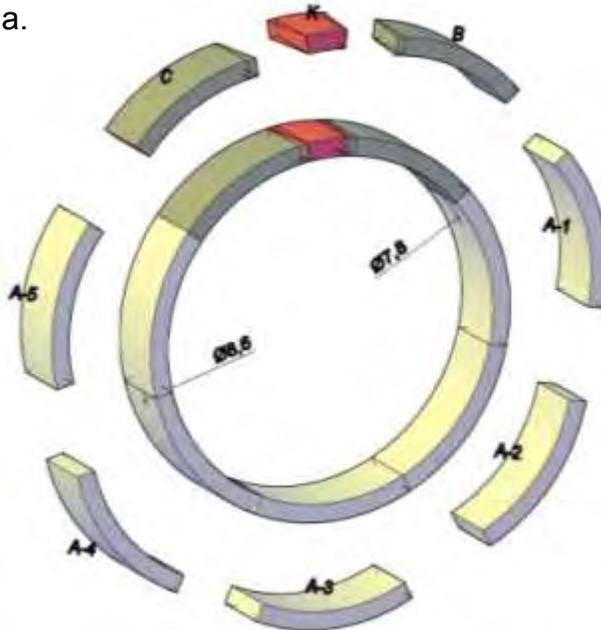
La secuencia de colocación del anillo es de la siguiente forma: A3, A2, A4, A1, A5, B, C, K. La Dovela A3 siempre será colocada en el lado contrario de la Dovela K.



Elementos de dovelas

### Tolerancias de colocación

Las tolerancias máximas permisibles que se pueden tener en la colocación de un anillo son de 1 cm sobre la cara interna del anillo y de 5mm en la separación que se puede tener entre Dovela y Dovela.



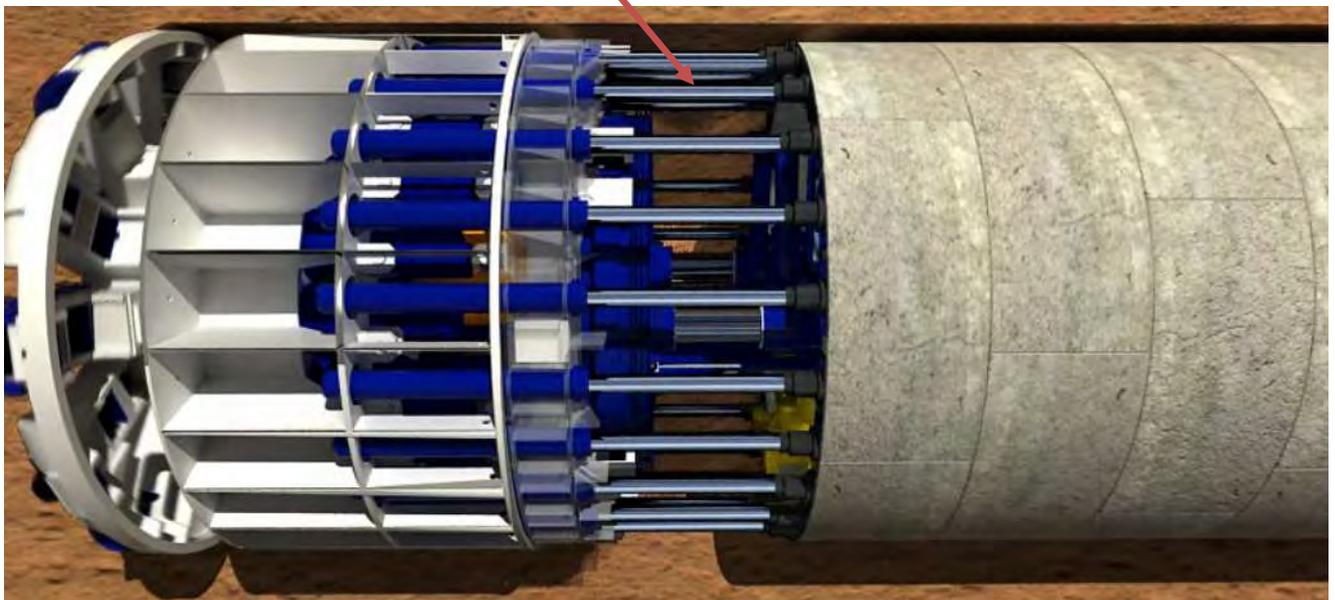
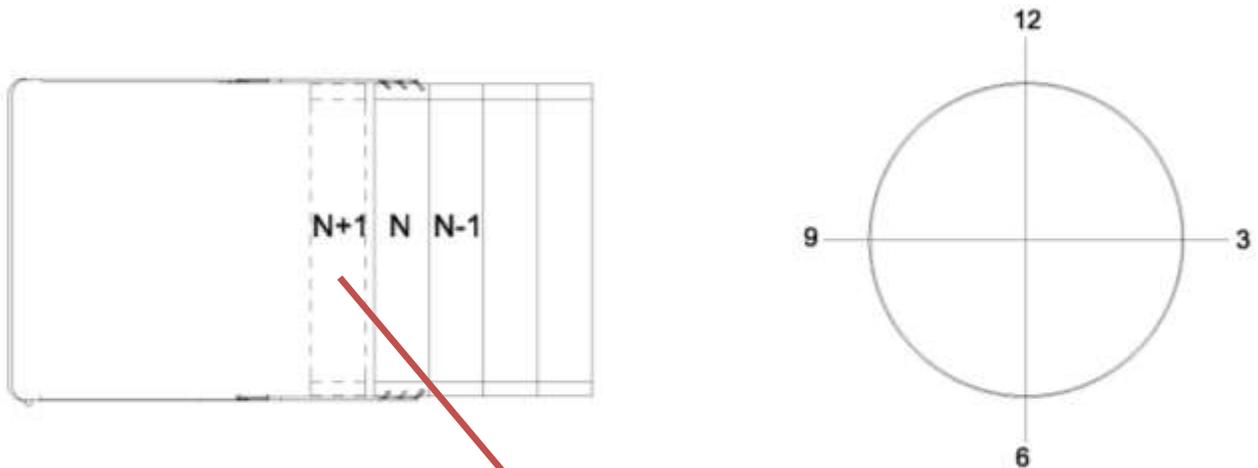
Esquema conceptual de anillo de dovelas

Cuando se alcanza la excavación del anillo (1.50m), la extensión de los gatos de empuje que es de 2.2 m aproximadamente, se procede a colocar el siguiente anillo.

La maquina se pone en modo de colocación de anillo (modo Erector):

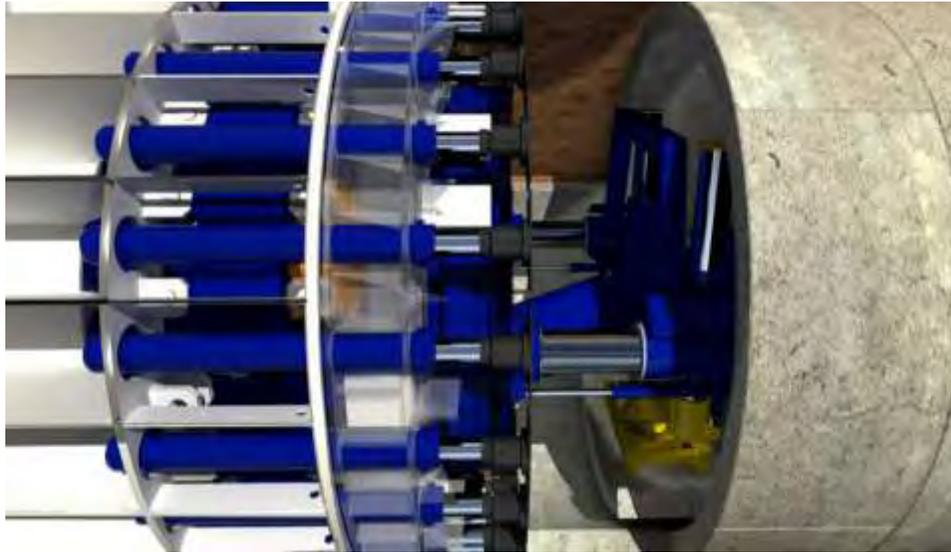
- Para usar el control del erector
- Para limitar la presión en los gatos de empuje

Antes de realizar la colocación del N+1 es necesario que el ayudante del operador del erector tome las medidas del vacío (espacio entre faldón y anillo de concreto) a las 12h, 3h, 6h y 9 horas entre el anillo N y el faldón (ver figura). Estos datos deben de comunicarse al piloto para el llenado del formato de colocación de anillo.



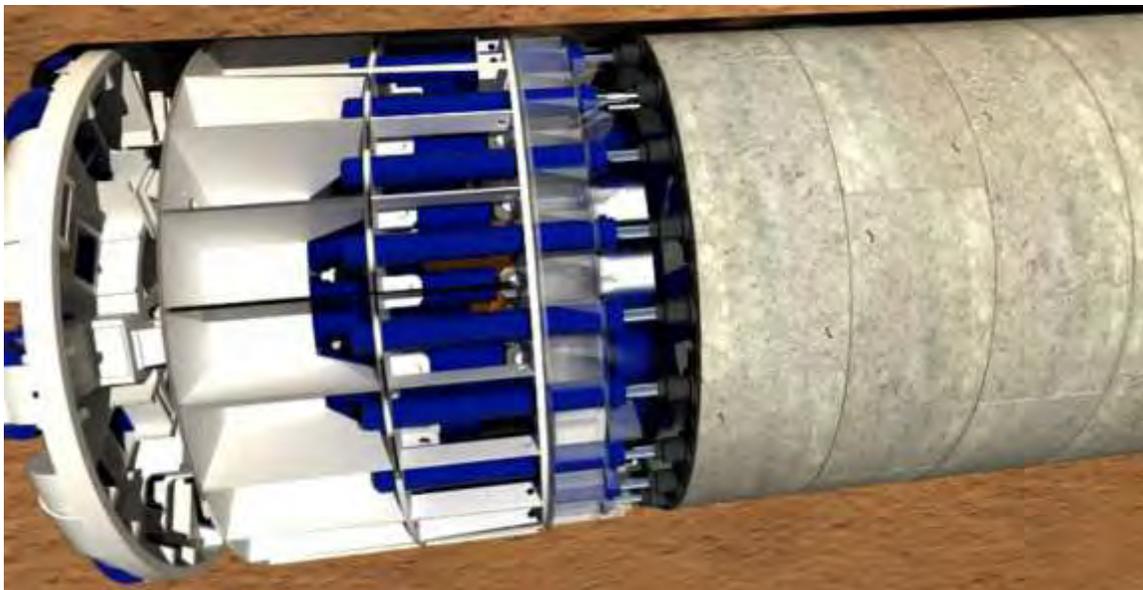
Segmento de dovelas N+1

Se retrae el grupo de los 4 gatos que se ubican en la posición de la siguiente dovela A3, como ya se ha mencionado anteriormente la secuencia es A3, A2, A4, A1, A5, B, C, K, después de colocar la dovela los gatos se vuelven a extender sobre el costado de esta ultima dovela. De esta forma siempre tenemos al menos 24 gatos en contacto con el revestimiento primario.



Colocación de Dovela A3

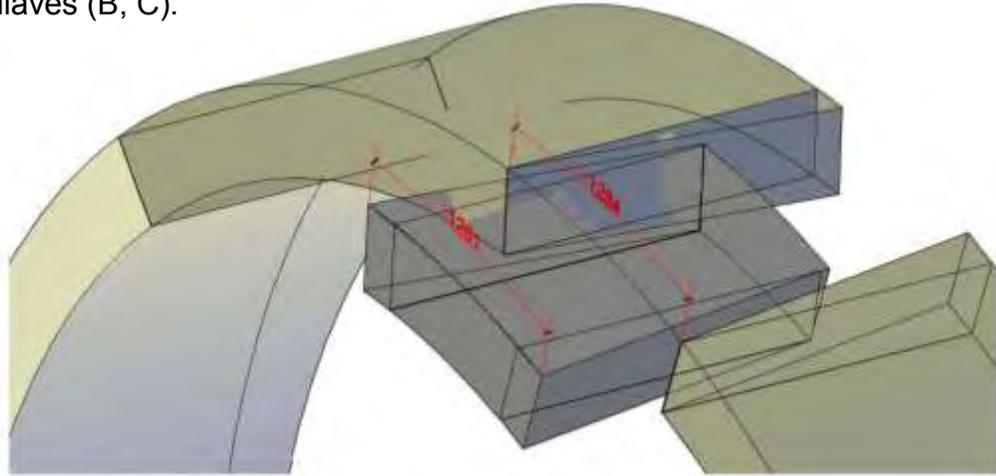
Al finalizar la colocación del anillo N+1 se tiene que asegurar que todos los gatos de empuje estén en contacto con el anillo, esto para asegurar antes del empuje que no haya ningún desfase o asentamiento en el anillo colocado.



Colocación de Anillo N+1

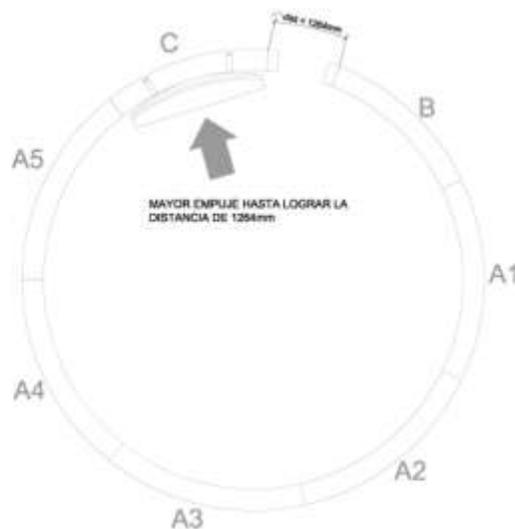
Antes de atornillar la nueva dovela con el anillo anterior es necesario revisar la correcta posición de la nueva dovela sobre el último anillo, se debe asegurar que las 2 aristas se encuentren en el mismo plano, una vez hecha la verificación se realiza el atornillado.

Para realizar la colocación de la segunda contra llave, dovela C, una vez que la dovela C se colocó, con el erector aun colocado es necesario medir la distancia entre las 2 contra llaves (B, C).

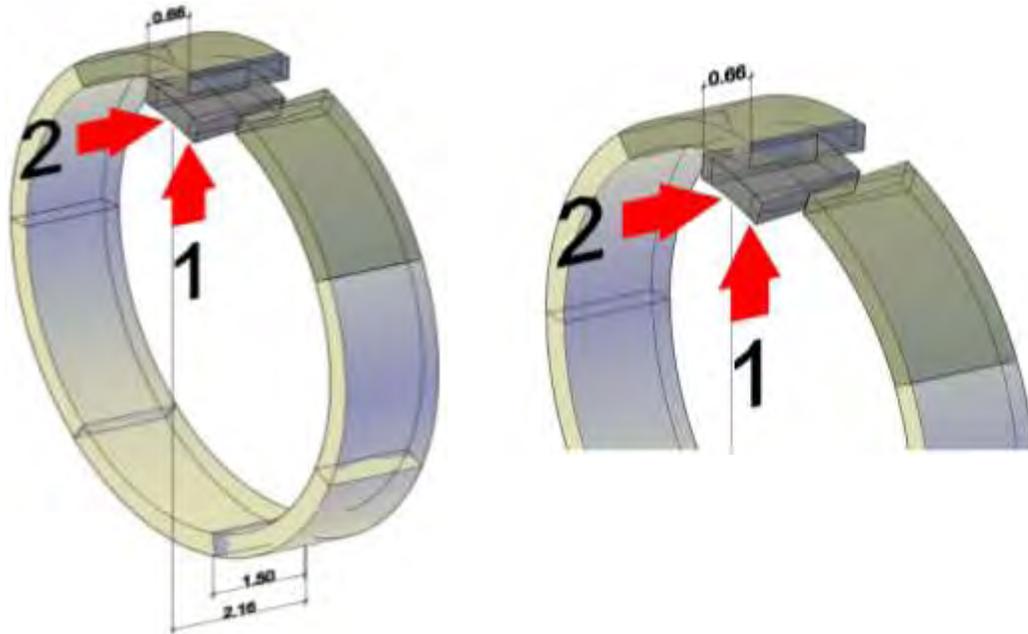


Separación de contra llaves para inserción de dovela K

Para facilitar el deslizado de la dovela K sobre las dovelas B y C, es de vital importancia evitar daños en la banda de estanqueidad para ello se puede emplear grasa que no degrade el caucho, esto para lubricar y sea más fácil la colocación de la clave K. Para realizar la colocación de la dovela de cierre K es necesario que su colocación se realice 0.66cm por detrás de la cara expuesta lateral del anillo en proceso de colocación, y se tendrá que medir la distancia requerida por la parte delantera del anillo la cual es de 0.85cm para que la dovela K cierre correctamente. (Ver figura)



Una vez que la dovela está en posición 1 con la dovela K todavía en el erector se realiza el movimiento 2 hasta posicionar la dovela dentro del anillo, la TBM vuelve a colocar los gatos sobre la dovela recién colocada de esta manera la maquina logra apoyar el 100% de los gatos sobre el anillo recién colocado y se reinicia el ciclo de excavación para volver a iniciar el ciclo que se ha expuesto en este procedimiento.



Esquema de colocación de dovela K

### **Balanceo del anillo.**

Debido al orden de colocación del anillo, se presenta un desfase entre las dovelas por culpa de la holgura que tenemos entre el tornillo y el vacío de introducción del tornillo. Estos desfases se dan siempre en un mismo sentido debido al empuje generado a causa de la colocación de la dovela A2 sobre la dovela A3. Para corregir este desfase se colocara la dovela A4 antes de la dovela A2 para invertir el movimiento.

Cuando se ha hecho la colocación del anillo N+1 al ayudante del operador del erector tome las medidas del vacío a las 12hr, 3hr, 6hr, y 9hr entre el anillo N+1 y el faldón, las cuales se le informara al operador de TBM para tomar en cuenta para la siguiente excavación.

## **CONCLUSIONES.**

### ***Primera Conclusión:***

Desde su fundación, la ciudad de México ha sufrido constantes inundaciones, a pesar de que construyeron diversas salidas para desecar los lagos y posteriormente para desalojar el agua residual y de lluvia que año con año estos buscan formarse nuevamente.

Para esto, nos conlleva a realizar la construcción de más y novedosos **túneles profundos** para el desalojo de agua residual y agua de lluvia que nos ataca año por año en el valle de México.

### ***Segunda Conclusión:***

De acuerdo con la información recopilada sobre la investigación geológica no se tiene evidencia de discontinuidades que pudieran poner en riesgo la construcción del Túnel Emisor Oriente, de acuerdo a las características que se presentan a profundidad, a lo largo del trazo del túnel, se concluye que desde el punto de vista geológico, no se tendrá problemas de inestabilidad, ya que los materiales en los que se alojara la obra corresponden a depósitos de suelos (arcilla compacta) ,materiales pumíticos y de consistencia muy dura (basalto), sin embargo, es muy posible que los mantos acuíferos que circundan la zona generen problemas en los materiales que serán atravesados, Por lo que se tendrá que abatir con químicos y aditivos para poder avanzar constantemente cuidando principalmente la TBM.

### ***Tercera Conclusión:***

La TBM empleada en el tramo III es una maquina de equilibrio de presión de tierra TBM tipo EPB la cual está diseñada para resistir y excavar a cierta presión en un tiempo dado, esta máquina es un diseño novedoso ya que décadas pasadas las maquinas tuneladoras empleadas en México eran más robustas y complicadas en su operación.

Cabe destacar que en este tramo el tipo de terreno a excavar contara con altas cargas hidrostáticas por lo cual la inyección del mortero es de vital importancia, para ello se debe de realizar una correcta evaluación de las variables que intervienen en el ciclo como los son el diseño de una buena mezcla, los tiempos de transporte, las presión en el frente de excavación, la presión de inyección del mortero y la presión de inyección de grasa de cola. La adecuada interacción de estos parámetros garantizará tanto la linealidad del eje del túnel como la vida de los cepillos de inyección de grasa de cola ya que sin estos cepillos sería muy difícil la excavación, y por parte de la operación de la maquina se tendrá que tener mucho cuidado en los parámetros de excavación como son: el torque de la rueda de corte, esfuerzo total, velocidad de empuje, penetración,

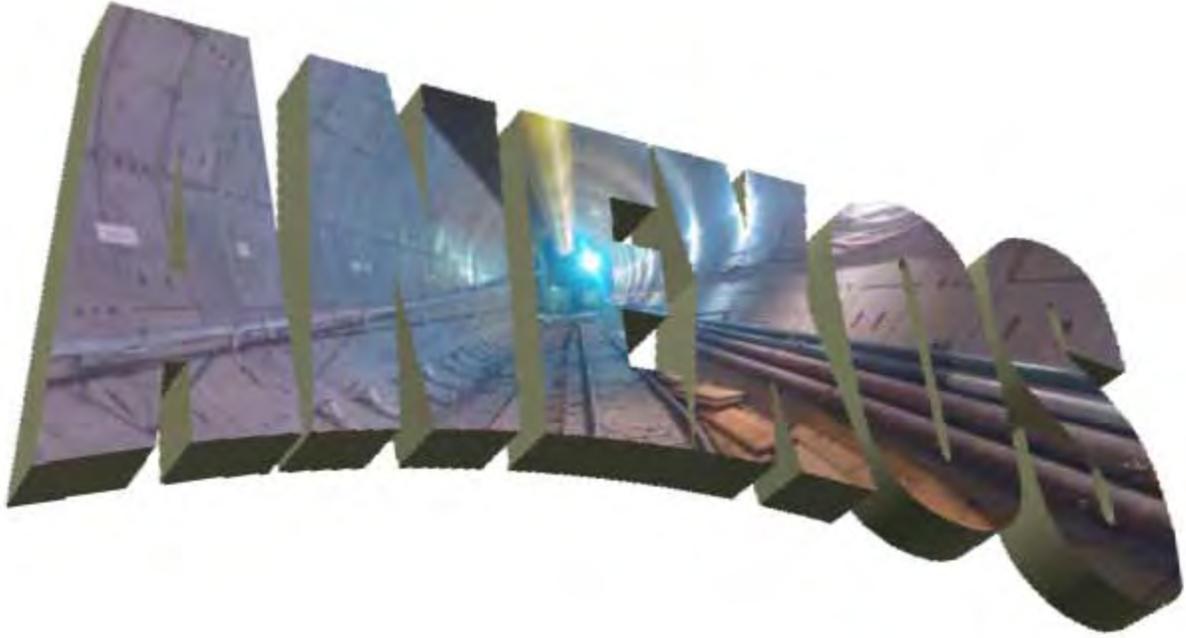
inyección de espuma entre otros, así esto garantizara el cuidado de las herramientas de corte ya que sin estas herramientas sería muy difícil la penetración de la maquina en el terreno a excavar.

***Cuarta Conclusión:***

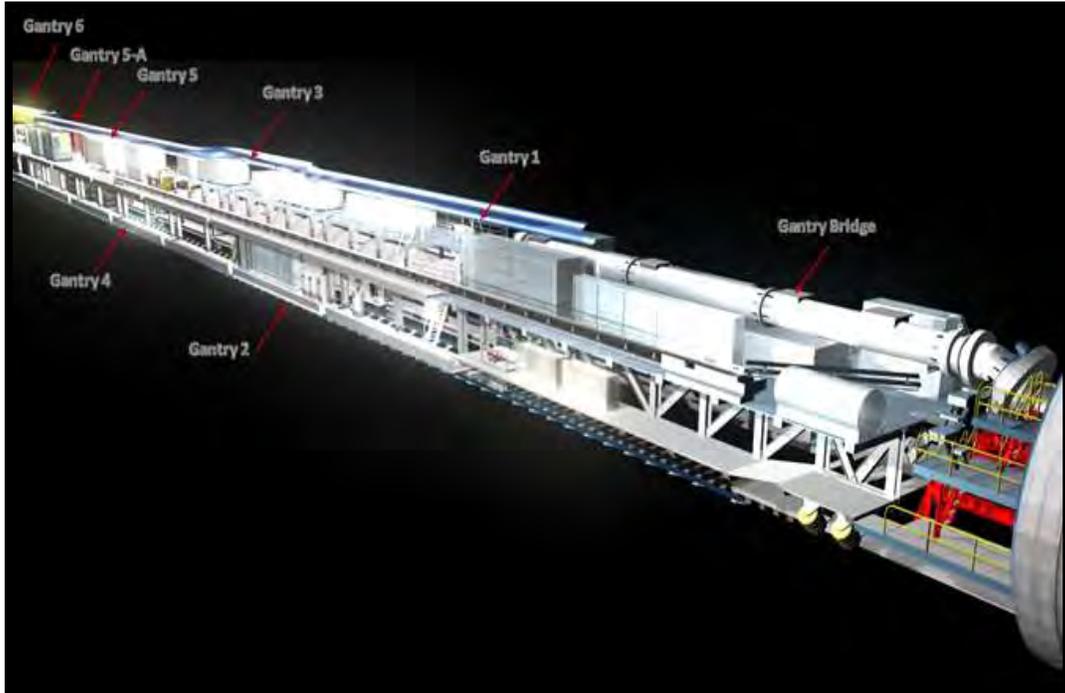
Por último, en México cada vez se va viendo y empleando una gran variedad de maquinas tuneladoras para todo tipo de terreno, como lo es para la excavación en suelos, en roca, en frente mixto (suelo-roca) etc., pero esto no implica que sea muy fácil la construcción de un túnel ya que con el avance saldrán nuevos problemas, por lo cual el ingeniero tendrá que tener la capacidad de resolver y dar su mejor solución a cualquier índole de este tipo.

## **BIBLIOGRAFIA.**

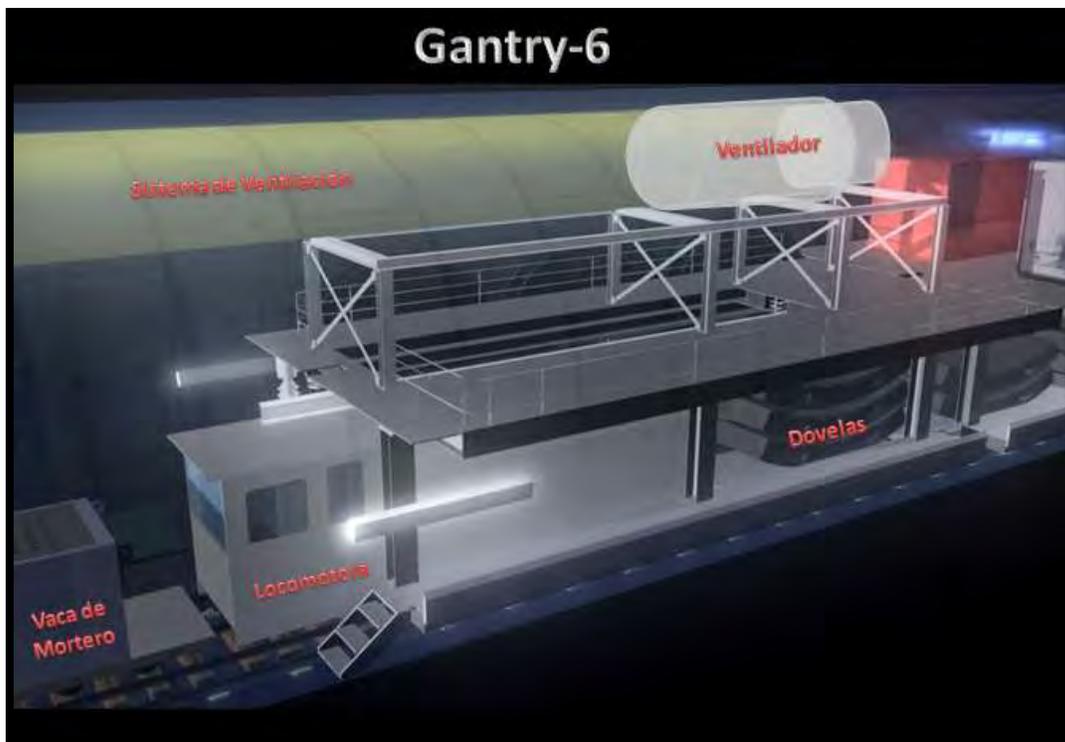
- **Ana Tapia Gómez.” TOPOGRAFÍA SUBTERRÁNEA”, Editorial ALFA OMEGA grupo editor S.A de C.V 199, edicions UPC.**
- **“EXPERIENCIAS SOBRE ALGUNAS TÚNELES CONSTRUIDOS EN LA REPUBLICA MEXICANA” SMMS (Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, A.C.) 1987 México.**
- **“TUNELES CARRETEROS”, SMMS (Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, A.C.) 1985 México D.F.**
- **Henri Cambefort, “INYECCION DE SUELOS”, Ediciones OMEGA, S.A. Casanova, 220. Barcelona 1968.**
- **Robert Crimmins, Rueben Samuels, Bernard Monahan. “TRABAJOS D ECONSTRUCCION EN ROCA”, Editorial LIMUSA, Mexico 1978.**
- **E. Hoek, E.T Brown. “EXCAVACIONES SUBTERRANEAS EN ROCA”, Editorial Mc. GRAW-HILL.**
- **Robert F. Legget, “GEOLOGIA PARA INGENIEROS”, Editorial GUSTAVO GILI, S.A.**
- **<https://www.etcg.upc.edu/docencia/aula-paymacotas/tunels-a-mexic/ponencies/lombardo.pdf>**
- **<http://www.equilibrio.mx/2012/03/14/historia-del-agua-en-el-valle-de-mexico/6723>**
- **<http://www.amh.org.mx/ACTIVIDADES/DIALOGOS/Panel4/INUNDACIONES.pdf>**
- **<http://www.revista.unam.mx/vol.12/num10/art96/art96.pdf>**



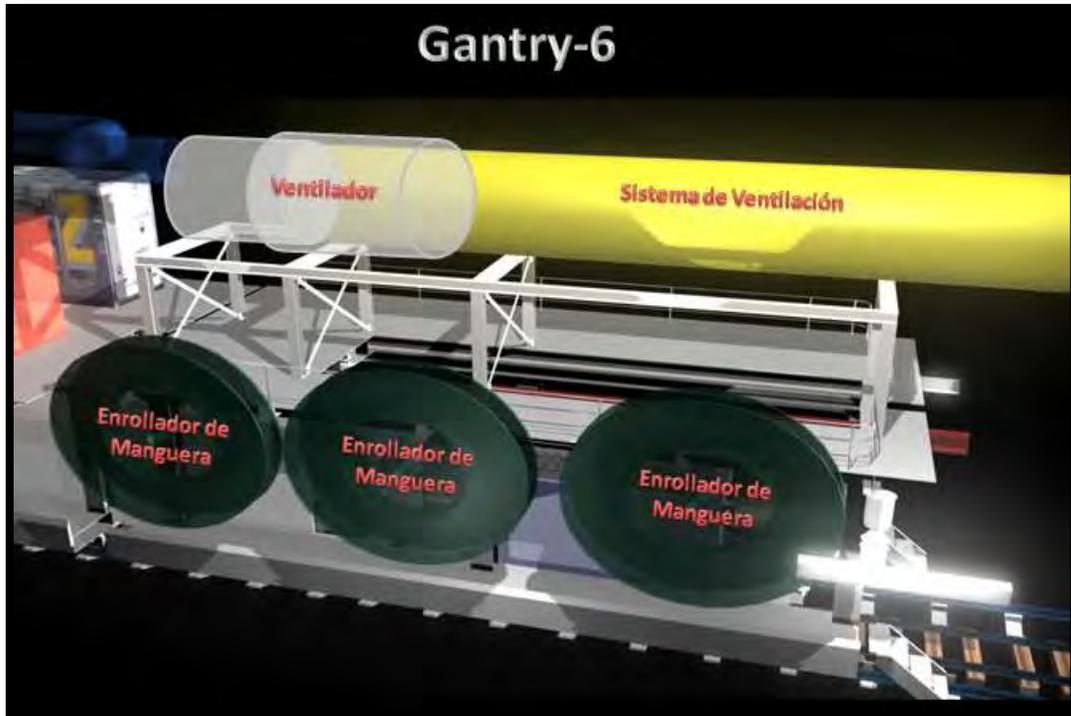
## VISTA DE LAS SECCIONES PRINCIPALES DE TBM.



Vista general de Gantry's, Gantry Bridge y Andamio principal.



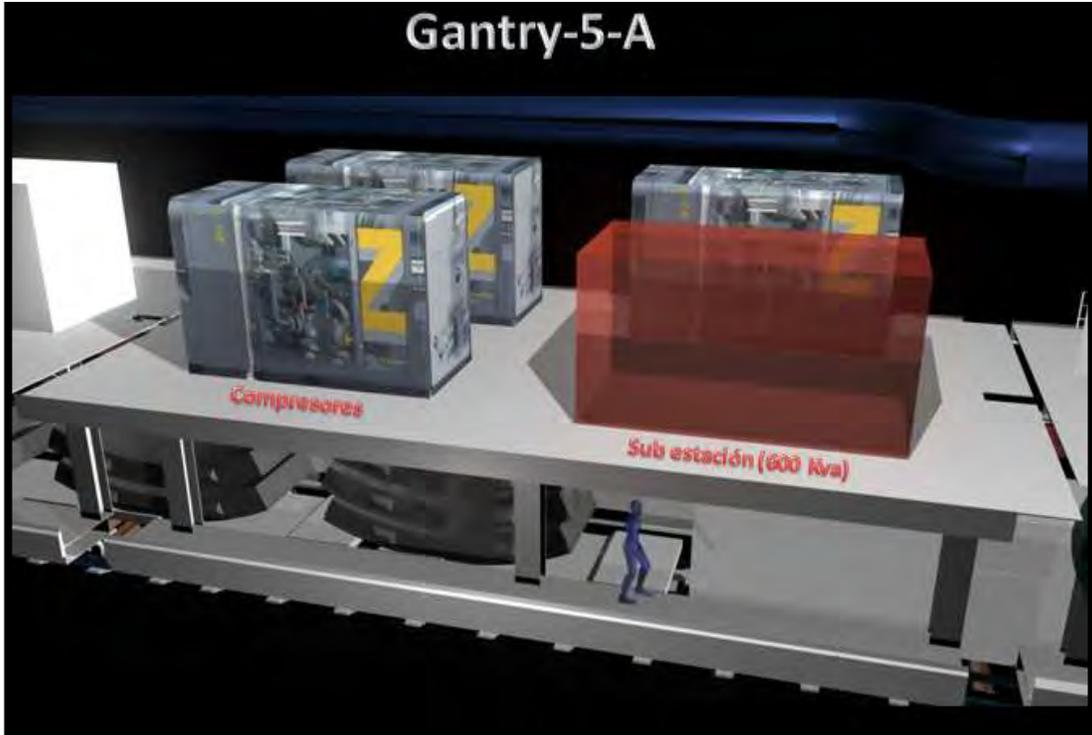
Vista lateral derecha Gantry No. 6 y Sistema de Ventilación de Llegada.



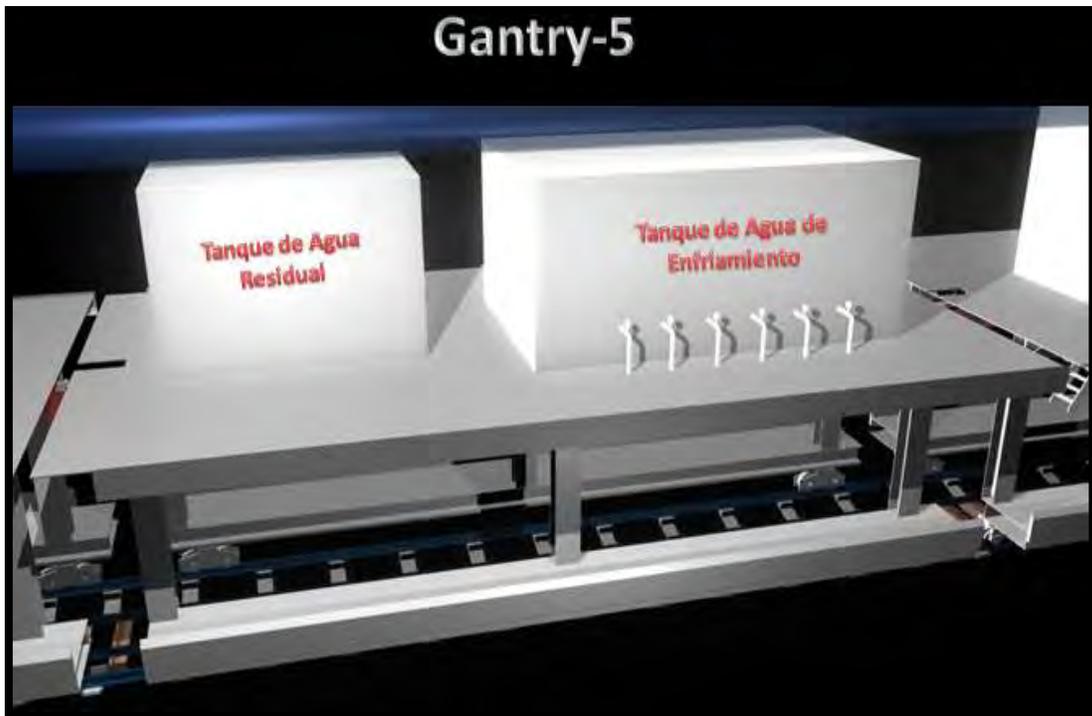
Vista Lateral Izquierda Gantry No.6



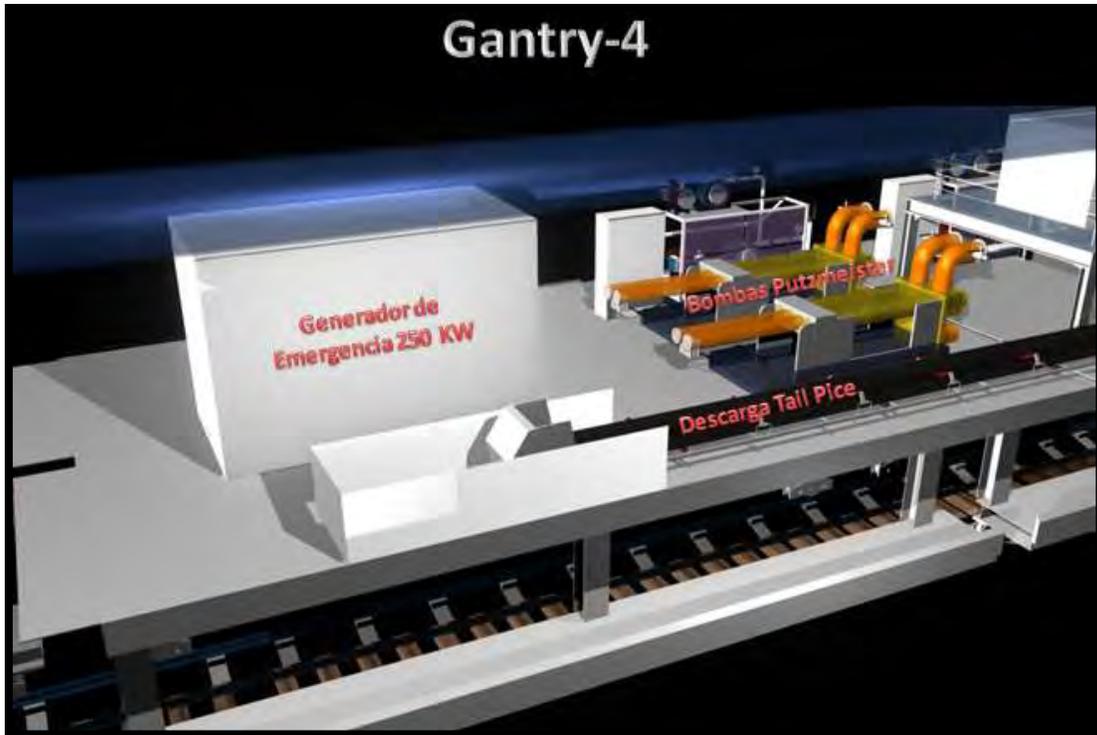
Vista lateral derecha Gantry No.5A y Sistema de Ducto de Ventilación



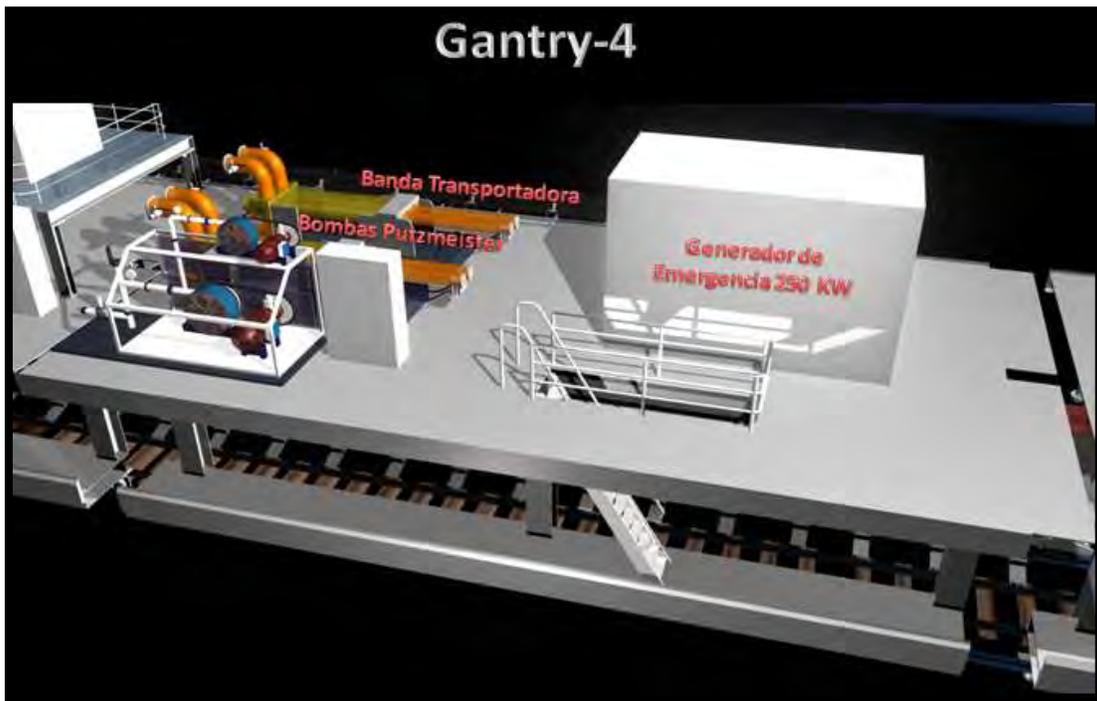
Vista Lateral Izquierda Gantry 5A y compresores de aire servicio.



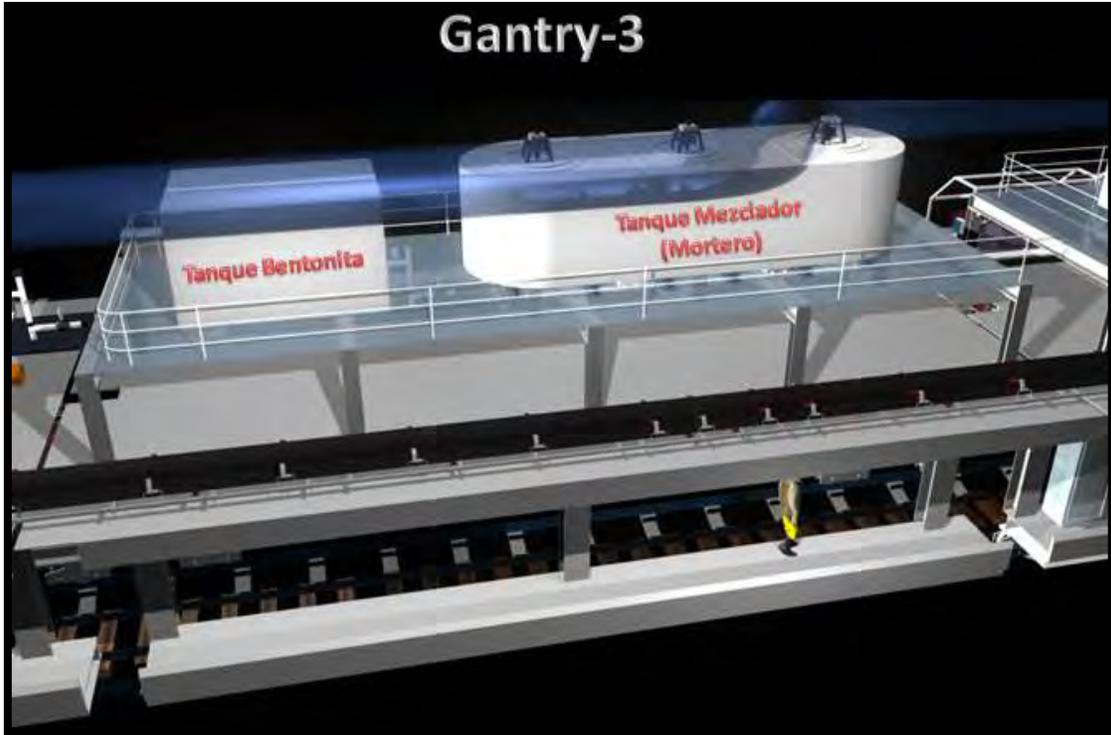
Vista lateral derecha Gantry No. 5, Tanque de agua Residual y de Enfriamiento.



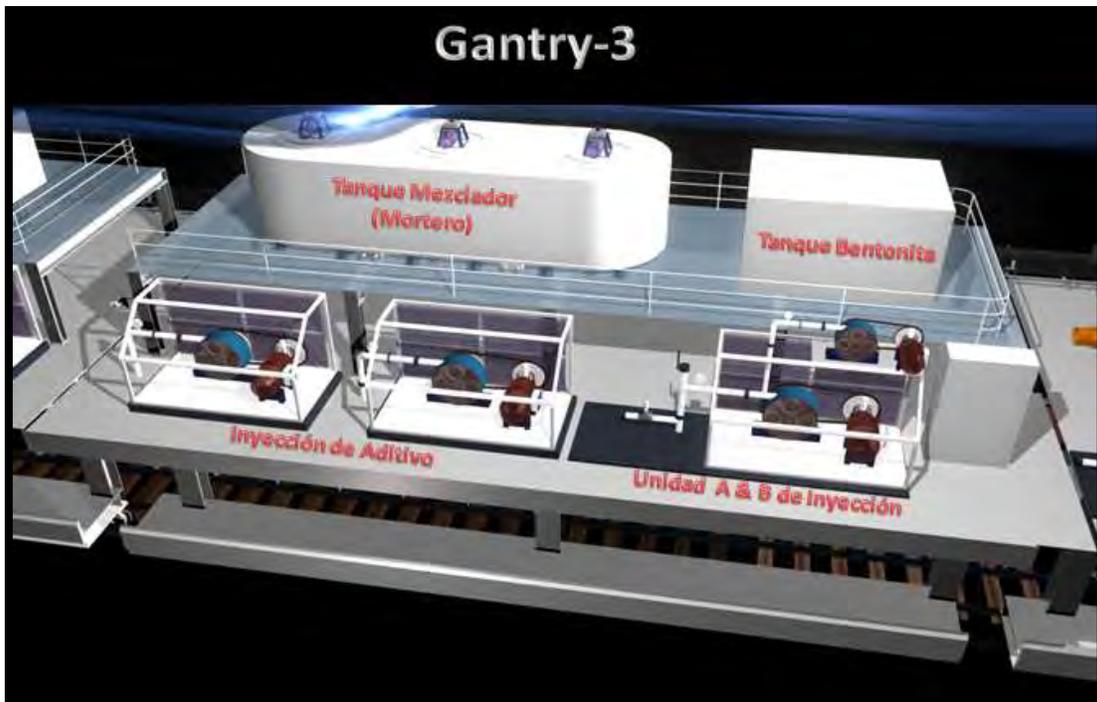
Vista lateral derecha Gantry No.4 , Generador de Emergencia y descarga Tail Piece.



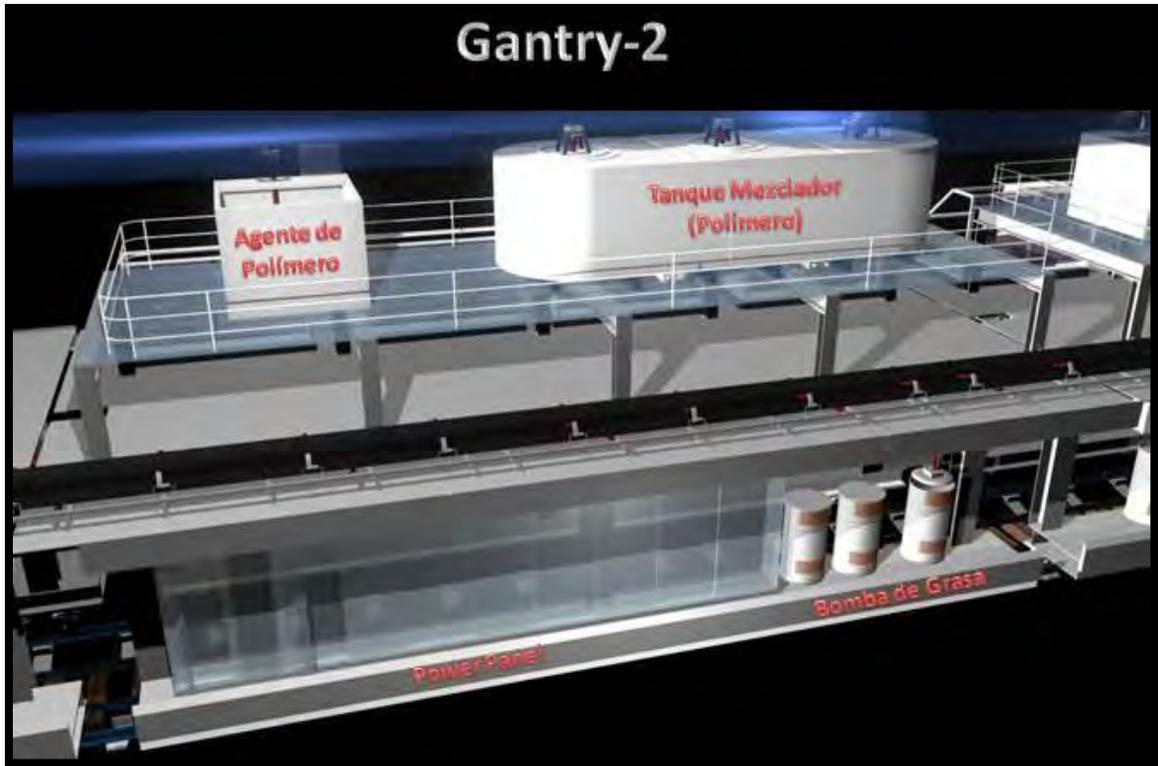
Vista lateral Izquierda Gantry No.4 y Bombas de mortero Putzmeister



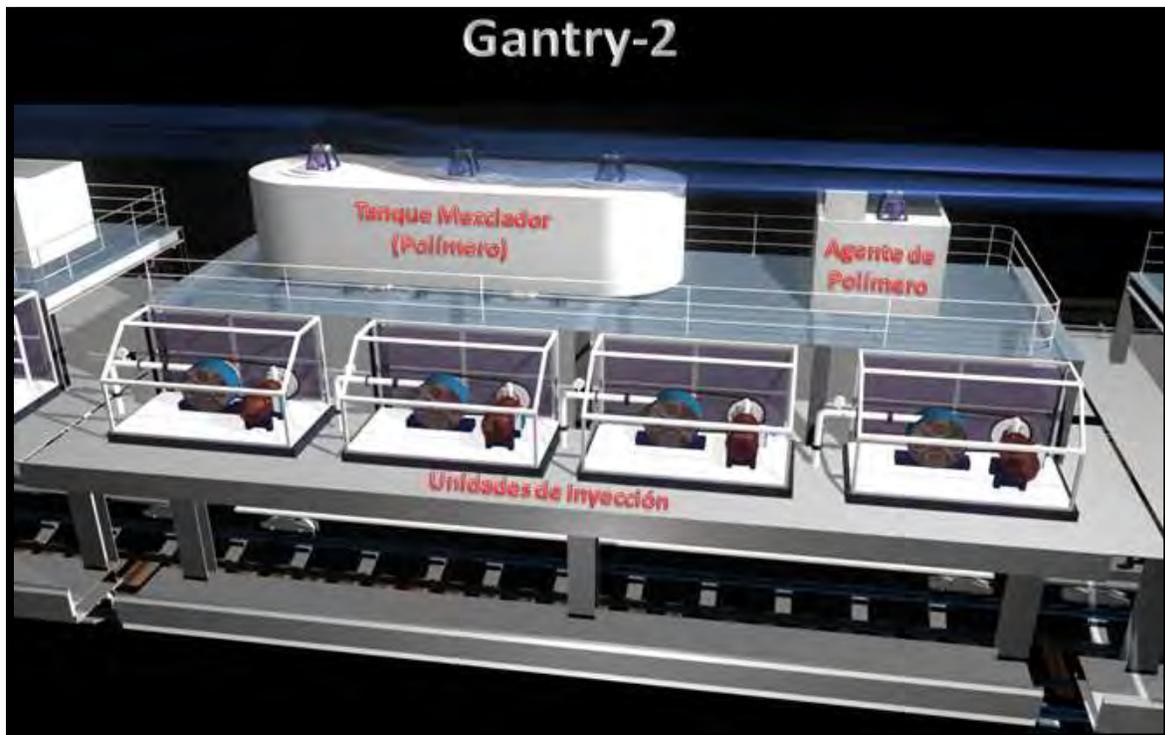
Vista lateral derecha Gantry No.3, tanque de Mortero.



Vista lateral izquierda Gantry No.3 y unidad de bombas de inyección de bentonita



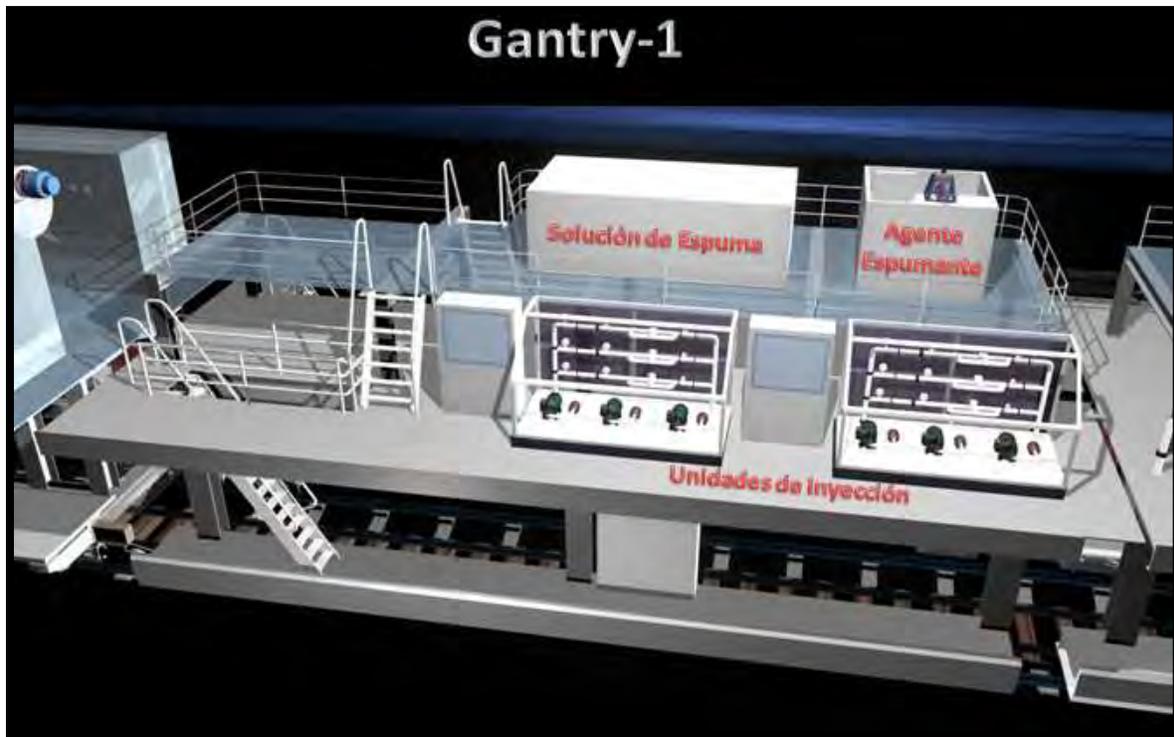
Vista lateral Izquierda Gantry No.2, Tanque mezclador de Bentonita y Polímero



Vista lateral Izquierda Gantry No.2 y Unidad de inyección de bentonita.



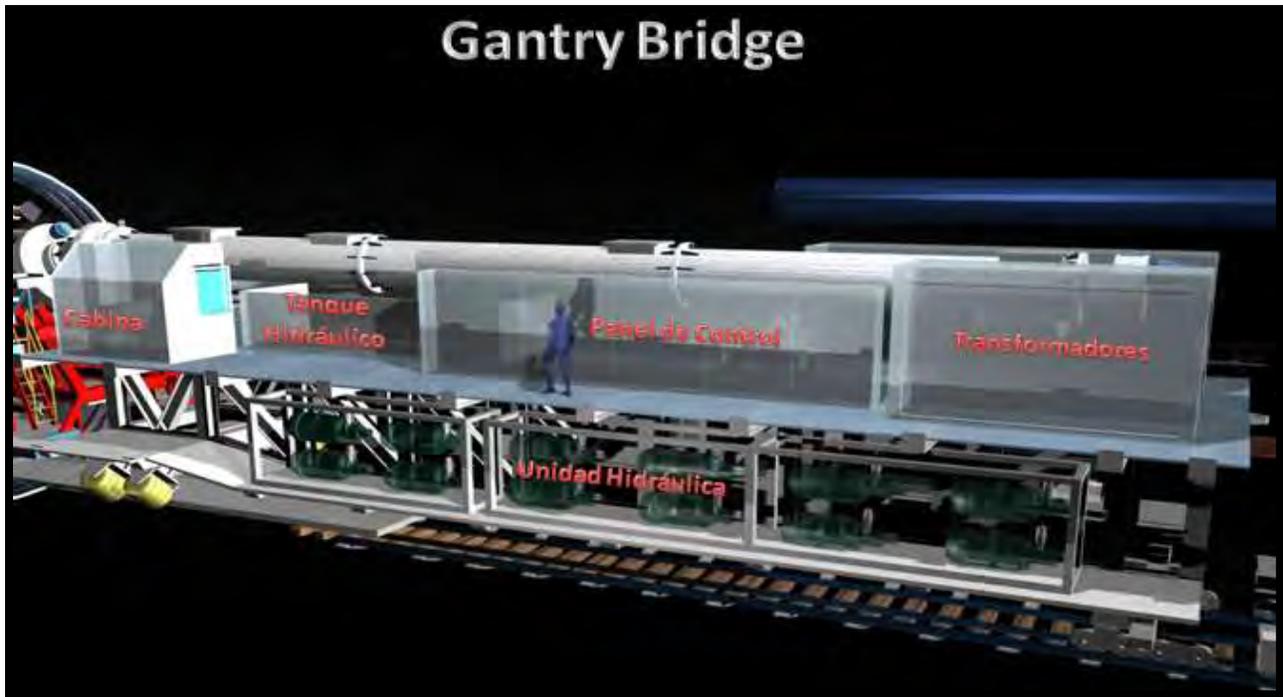
Vista lateral Derecha Gantry No.1, Tanque de agente Espumante y de solución de Espuma



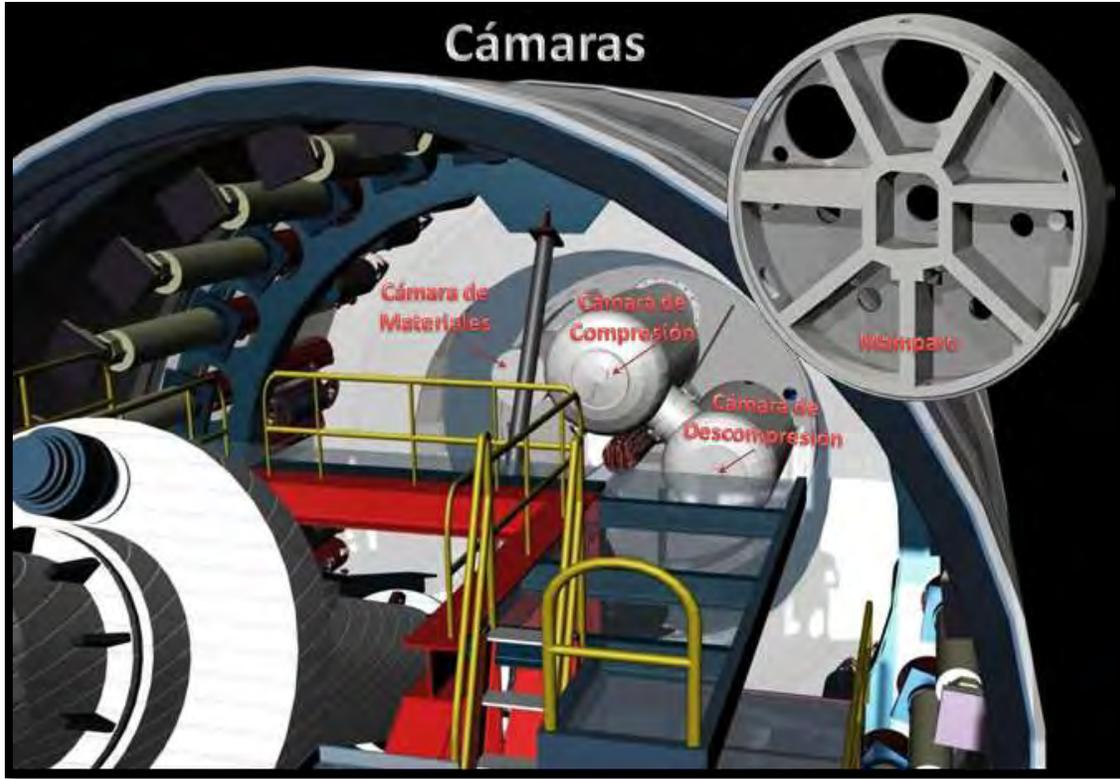
Vista lateral Izquierda Gantry No.1 y Unidades de inyección de Espuma



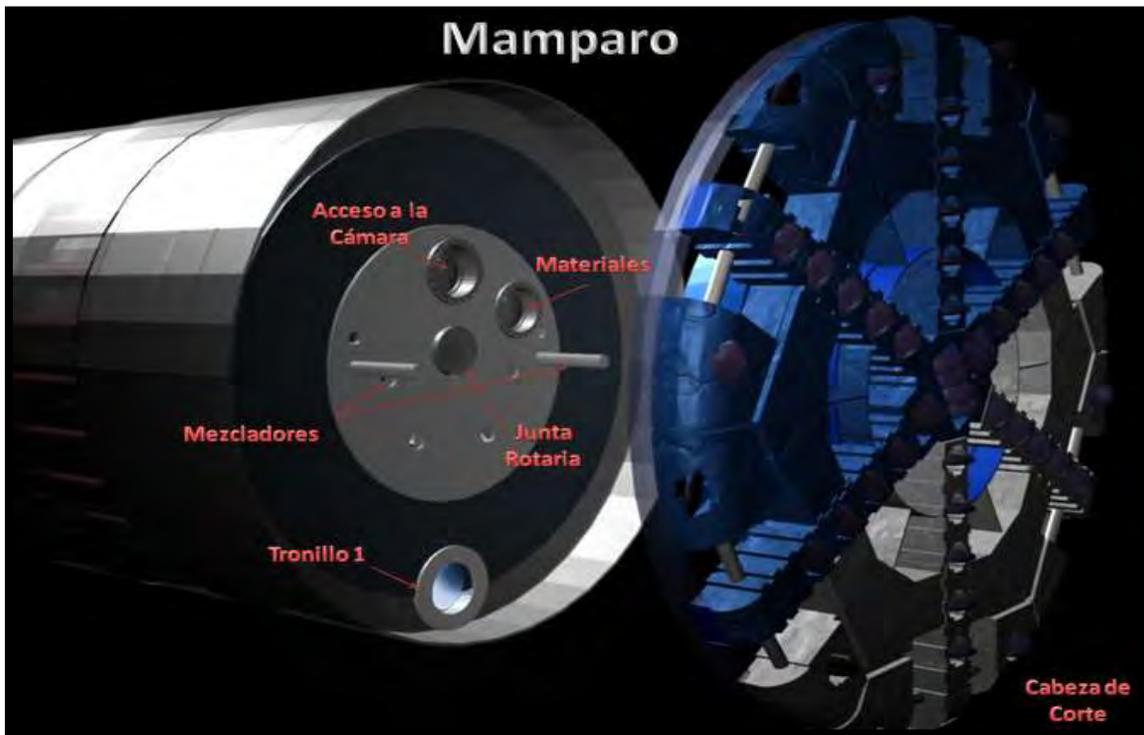
Vista Lateral derecha Gantry Bridge, VFD's y Transformadores



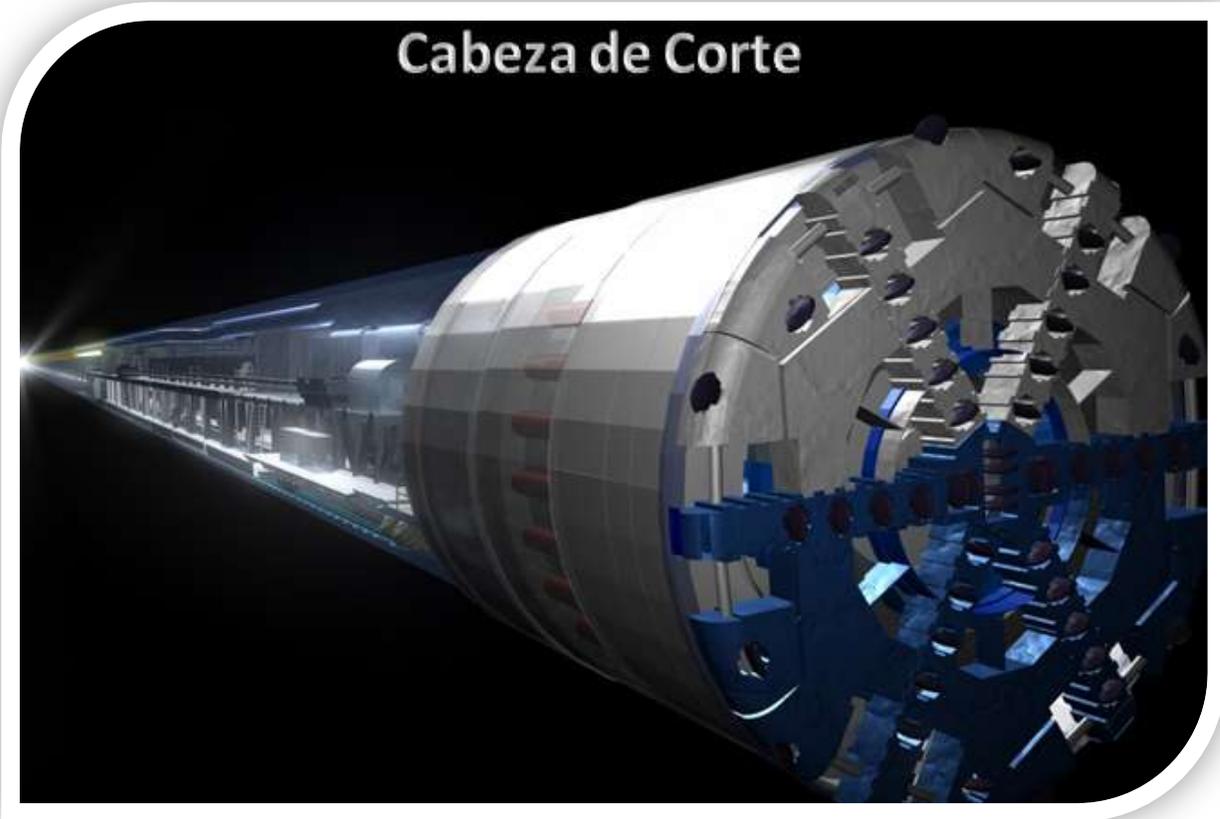
Vista lateral Izquierda Gantry Bridge, Unidad de Potencia Hidráulica, Tanque Hidráulico y Trusth Panel.



Vista general del andamio principal, zona de Faldón, Escudo B y cámaras hiperbáricas



Vista general de partes de Cámara de excavación

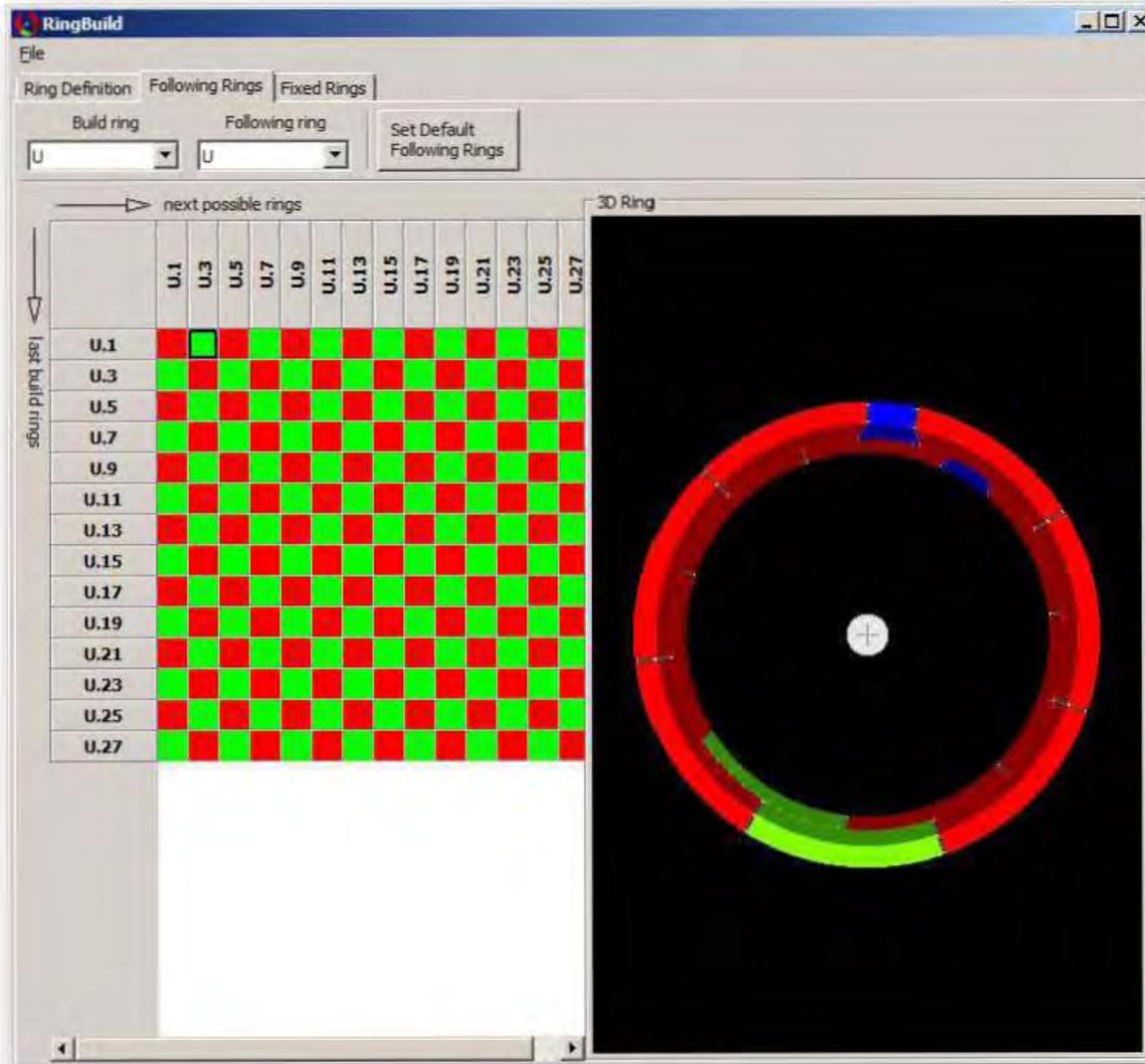


**Vista Completa de TBM**

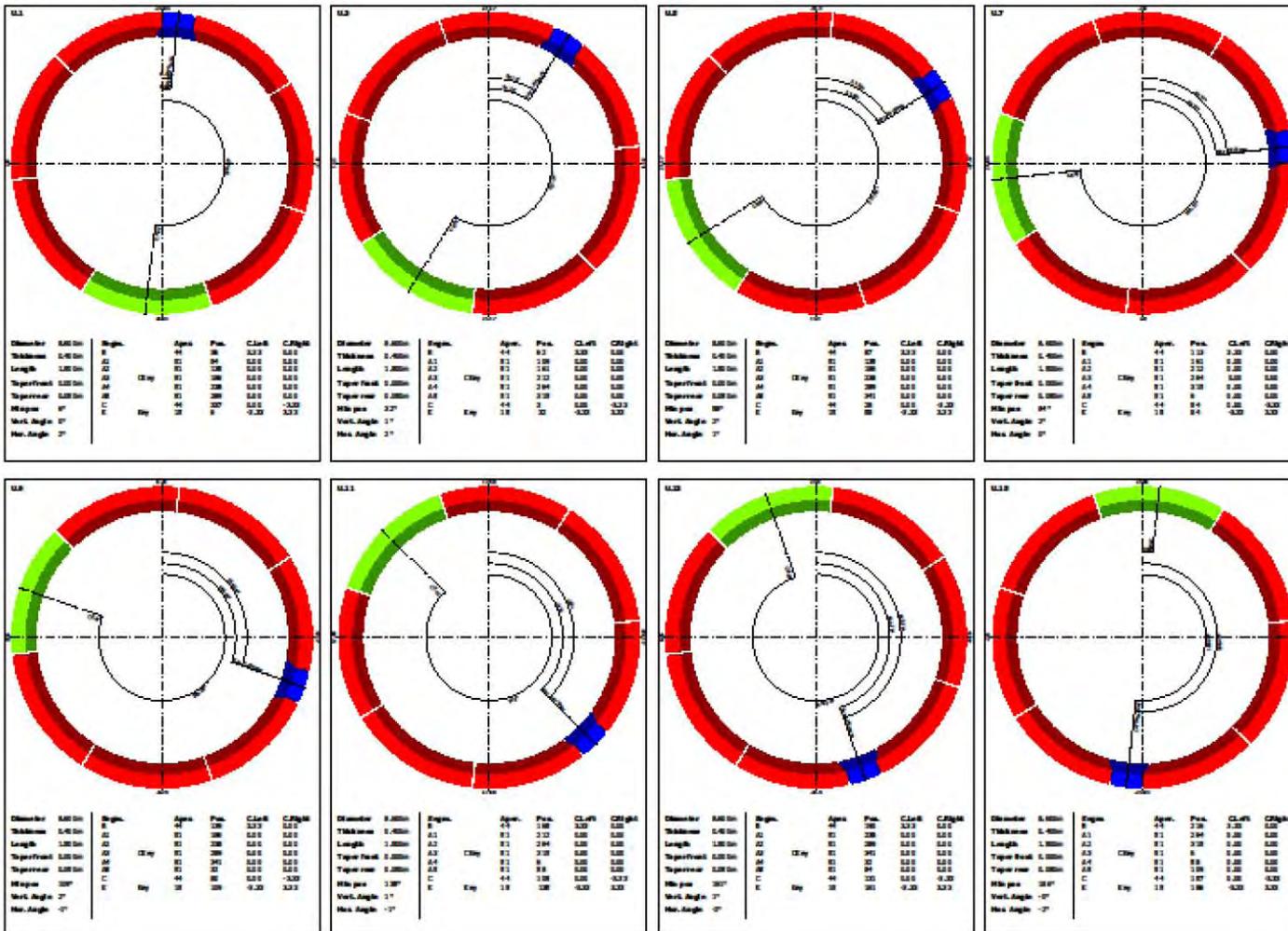
**ANEXOS.**

Control	1	2	3	4	5	6	7	8	
Tipo de dovela	A4	A2	A3	A5	A1	B	C	K	
Numero de colado									
Fecha de fabricacion									
Apilado no conforme									
Fisura									
Falta de un orificio para tornillo									
Falta de un taco para tornillo									
Falta de un orificio para conos del erector									
Falta del taco softasar									
Presencia de un golpe									
Angulos dañados									
Recepcion									
Lista de codigos									
Sin defecto	N	Fecha :		Hora :		Turno :			
Defecto	D								
Acceptacion	A	Encargado				Visa			
Rechazo	R								
Reparacion	S								

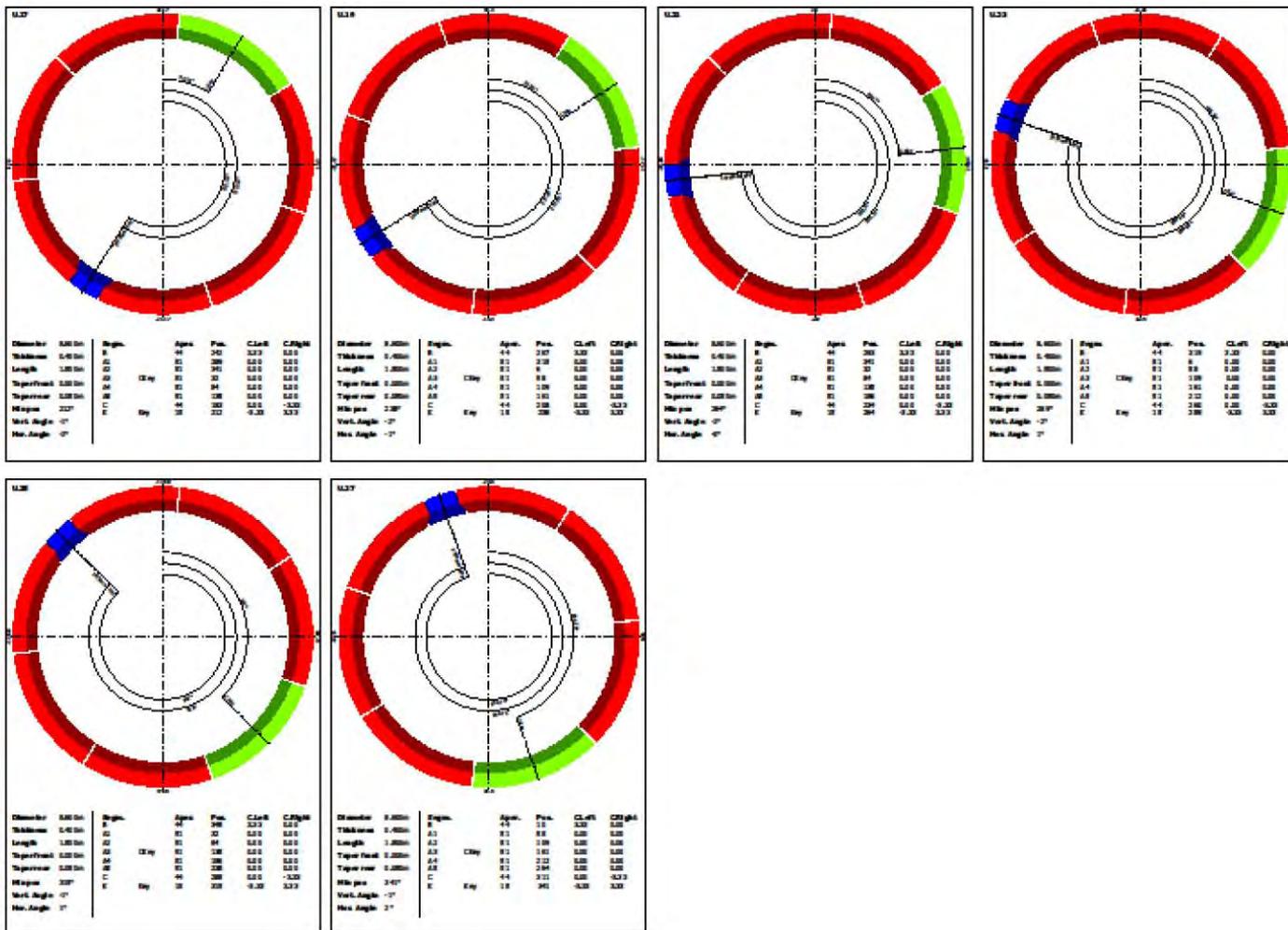
**Formato de recepción de dovela**



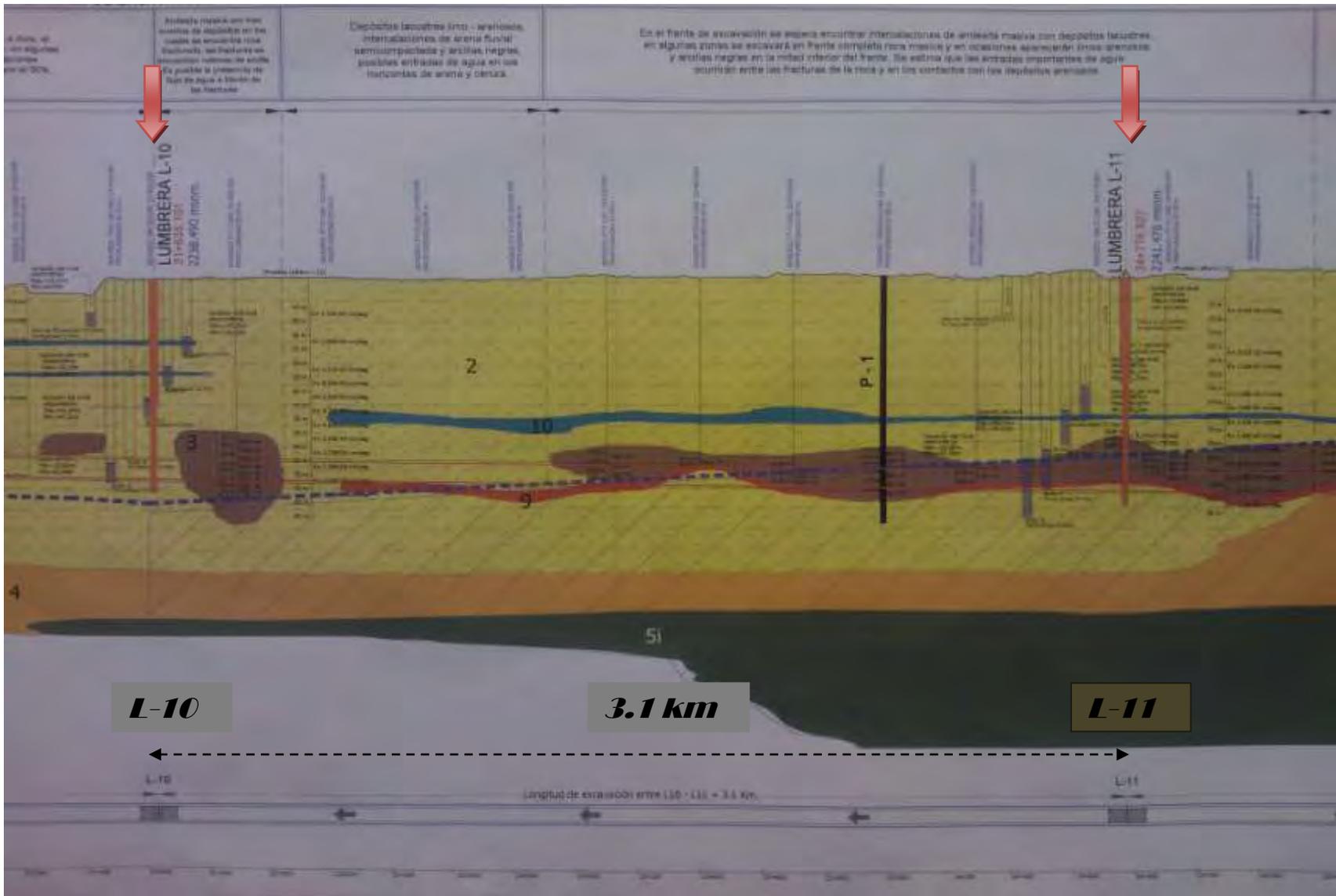
Esquema para la selección de Clave o Llave K



Selección de Clave o Llave K U1 – U15



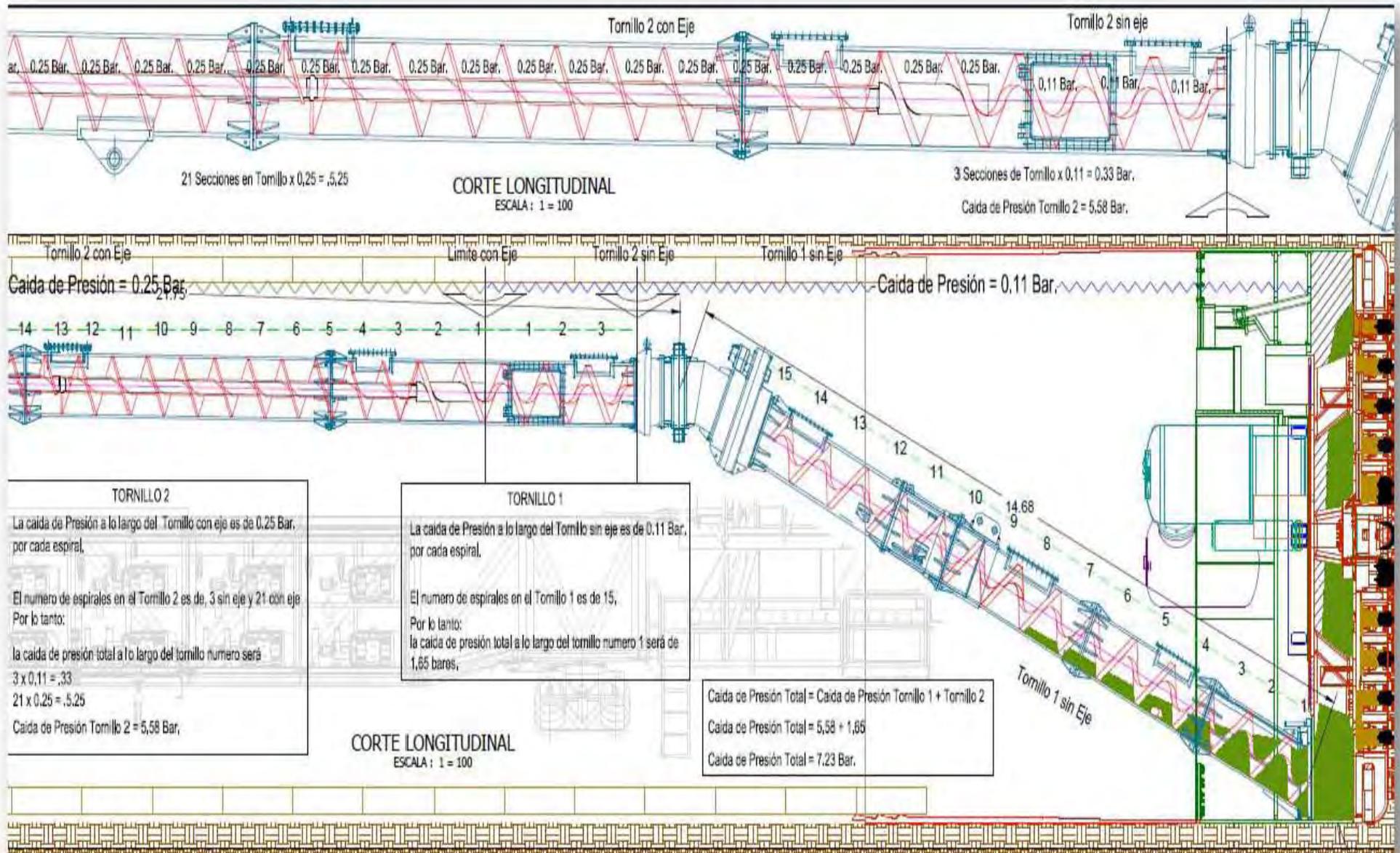
### Selección de Clave o Llave U17 – U27



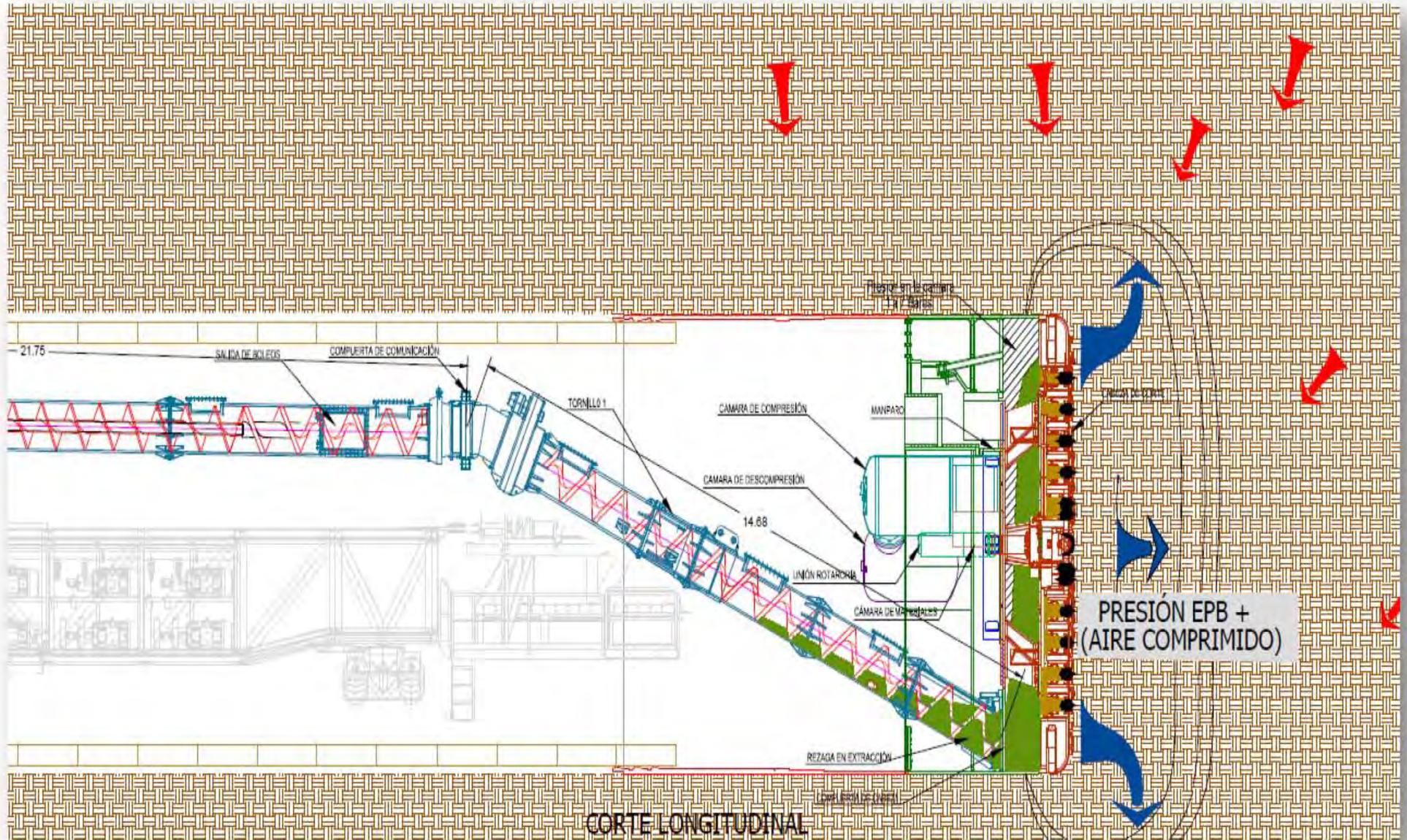
Corte geológico de L-10 a L-11



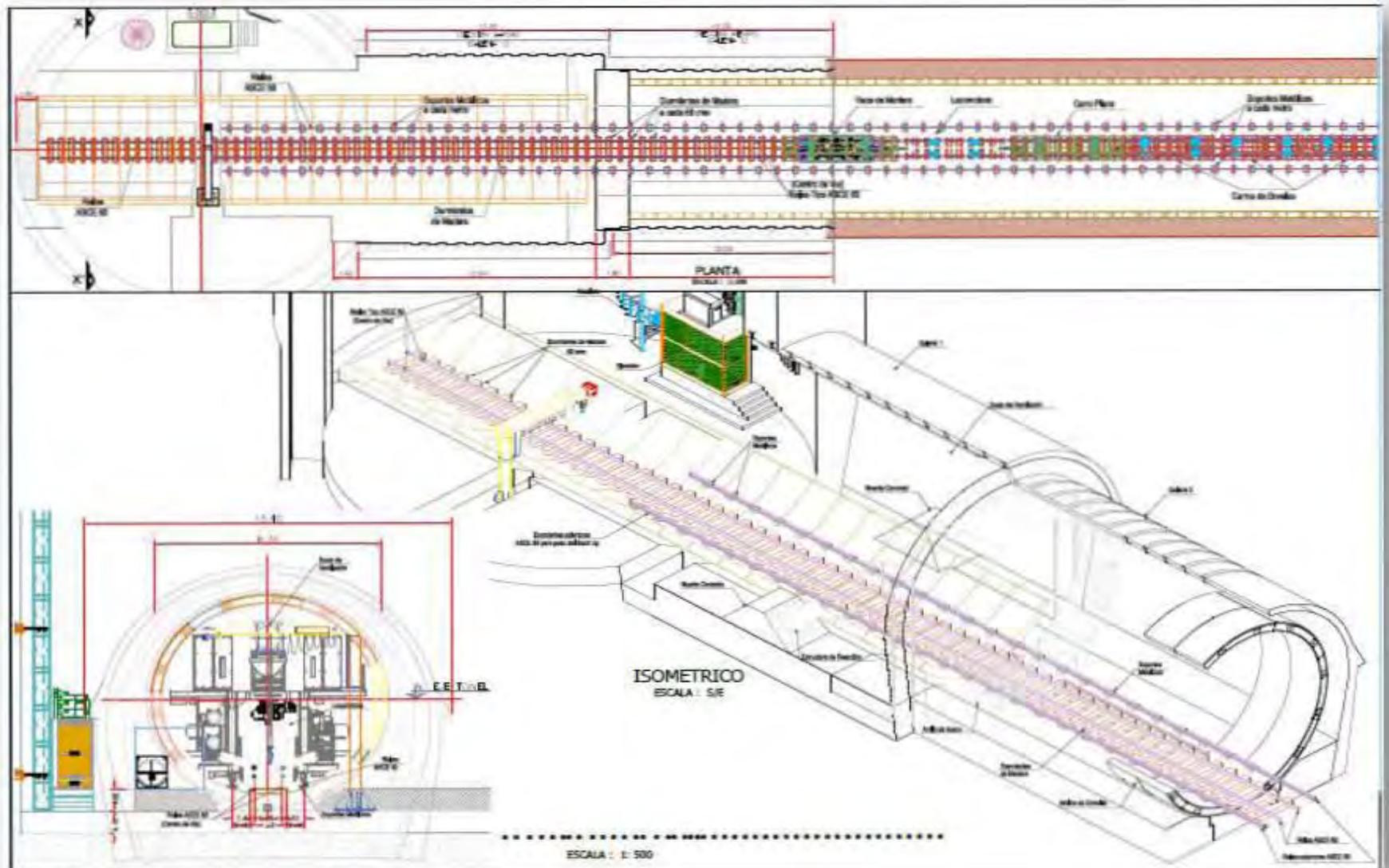
Simbología de Corte geológico de L-10 a L-11.



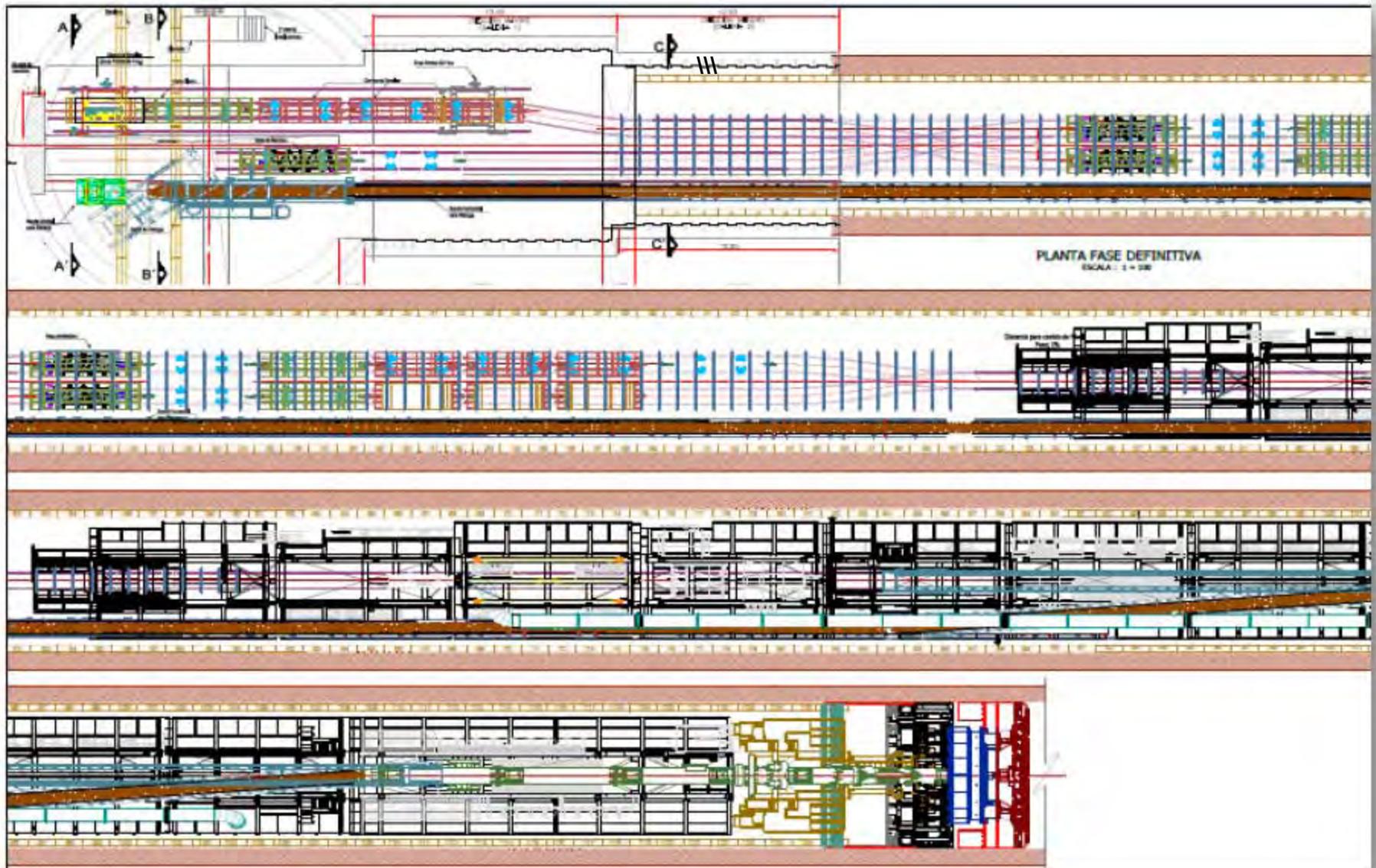
### Perdida de presiones en Tornillo Sinfín No.1 y No.2



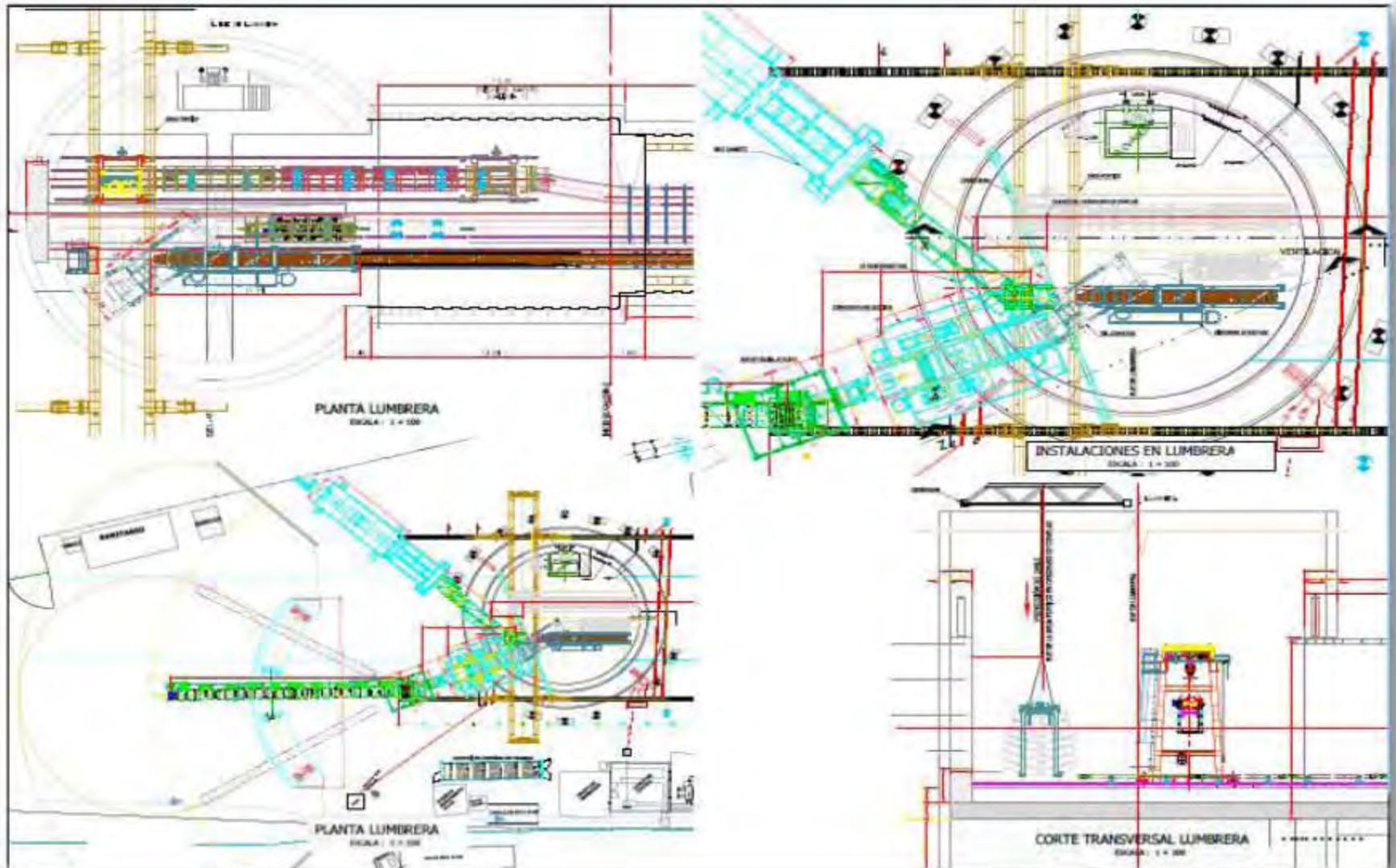
Ejemplo del Sistema de Equilibrio de Presión de Tierras



Secuencia de fase provisoria a fase definitiva



Colocación de cambio california en fase definitiva.



Plan de arranque general

AMIGOS  
KING OF THE HILL

## CONSTRUCCIÓN DE GALERIA.



**Perforación de barrenos para la colocación de anclas de fibra de vidrio, Colocación de marcos metálicos, Colocación de concreto lanzado en bóveda, trazos para la colocación de anclas de fibra de vidrio parte inferior de galería primera sección.**

## Planta Dovelas



**Fabricación de Dovelas y logística para su acomodo en pila en patio de dovelas.**

**SUPERFICIE .Patio de Dovelas.**



**Logística para acomodo de dovelas en pila y revestimiento de las mismas.**

**Planta Dosificadora de Mortero (ODISSA 6000)**



**Colocación de 2 silos de 50 toneladas de cemento para fabricación de mortero y rampa para suministro de grava y arena.**



**Colocación de Torre de Enfriamiento y líneas de llegada de Caliente y saliente de Agua Fría**



**Realización de Dique de Rezaga Provisional**



**Construcción de dos Diques de Almacenamiento de Material (Grava y Arena) para la fabricación de mortero.**



**Construcción de Plataformas (Losas de Concreto) con anclas para el armado del Sistema de Banda.**



**Vista del Andamio principal del Erector**



**Vista del Gantry Bridge**



**Vista de Gantry's 1,2,3,4,5,5A y 6.**

## FONDO DE LUMBRERA



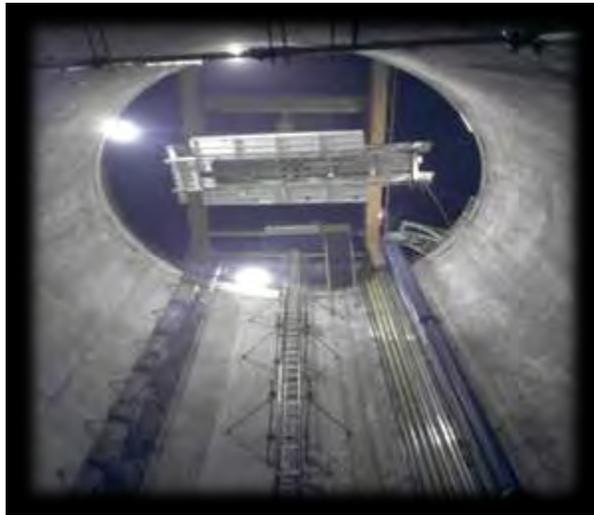
Maniobras para descenso de Rueda de Corte, Armado de la Motorización, Escudo A, Escudo B y Faldón con anillo metálico.

## GALERIA Y PRETUNEL.



**Maniobras para el desplazamiento de TBM hacia fondo de Galería al igual que la colocación de los 28 gatos de empuje, Segment Feeder, Tornillo Sinfín No.1, y Andamio principal. Enseguida se realiza maniobras para el descenso y colocación de Estructura de reacción.**

**TBM. EXCAVACIÓN EN FASE PROVISORIA.**



**Maniobras para el descenso de Gantry Bridge con la Unidad de potencia hidráulica, tornillo sinfín no.2, tanque hidráulico para el inicio de la excavación en fase provisoria, al igual que la realización de barrenos para la colocación de anclas y así instalar la Grúa Radial 10 toneladas.**



**Maniobras para el descenso y desalojo de bote de rezaga de 20m<sup>3</sup>, aumentando los ciclos con ayuda de la Grúa Radial, al igual que el descenso de Gantry's faltantes**



**Maniobras para el descenso del Anillo de Dovelas en fondo de lumbrera al igual que su acomodo en carros doveleros con la ayuda de la Grúa Radial 10ton, colocación de Ducto de Manga de Ventilación y colocación de la primer Manga de 100mt.**

## TÚNEL. EXCAVACION EN FASE DEFINITVA



**Desalajo de Grúa radial y dovelas especiales en fondo de Lumbreira hacia superficie para la construcción de Losa de concreto para el sistema de bandas horizontal y vertical al igual que la colocación de los rieles de la grúa pórtico 50 toneladas.**



**Se realiza maniobra para el descenso de grúa pórtico en fondo de lumbrera, para el acomodo de suministros hacia TBM, se coloca el primer cambio California al igual que la tubería de agua Entrante, Retorno, y Residual a lo largo del Túnel hacia TBM.**

## COLOCACIÓN DEL ANILLO DE CONCRETO



Con ayuda del Segment Erector (mecanismo que ayuda a base de succión la generación de un vacío entre la dovela y la ventosa) se realiza la colocación del anillo de concreto de la siguiente manera: A3,A2,A4,A1,A5,B,C,K.