



**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL  
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
UNIDAD ZACATENCO**



**JUSTIFICACION Y PROCEDIMIENTO  
CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA 3-A POR MEDIO  
DE MURO MILAN  
EN EL CAD 6 + 487.963 DEL TUNEL EMISOR  
ORIENTE.**

**MEMORIA DE EXPERIENCIA PROFESIONAL**

PARA OBTENER EL TITULO DE

**INGENIERO CIVIL**

PRESENTA:

**ABRAHAM SAUCEDO PEREZ**

ASESOR.

**ING. FELIPE SANCHEZ OCAMPO**

**CD. MÉXICO, MAYO DE 2018**

**SEP**

SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA



Instituto Politécnico Nacional



Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura  
Unidad Zacatenco  
Subdirección Académica

\*Año del Centenario de la Promulgación de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos\*  
\*60 Aniversario del CECyT 14 Luis Enrique Erro\*  
\*60 Aniversario del Patronato de Obras e Instalaciones\*  
\*50 Aniversario de la COFAA-IPN\*  
\*30 Aniversario de la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología\*

OF. No. SA/960/VIII/2017

Ciudad de México, a 24 de agosto de 2017.

**ASUNTO: SE DESIGNA ASESOR DE  
MEMORIA DE EXPERIENCIA PROFESIONAL  
Y AUTORIZA TEMA**

**ING. FELIPE SANCHEZ OCAMPO**  
PROFESOR DE LA E.S.I.A. U. ZACATENCO  
P R E S E N T E

Con base en su experiencia profesional, y actuación docente en la Academia de Geotecnia y de acuerdo al Colegio de Profesores, ha sido designado asesor del C. **ABRAHAM SAUCEDO PEREZ**, pasante de la carrera de Ingeniería Civil, en la elaboración del informe de su Memoria de Experiencia Profesional, la cual debe apegarse a la estructura general.

Así también se le comunica que el tema e índice que se propusieron y que a continuación se cita, ha sido aprobado para su desarrollo, mismo que deberá concluir en un plazo máximo de seis meses a partir de esta fecha, esto de acuerdo al Reglamento de Titulación vigente (Capítulo V, Art. 29).

**“JUSTIFICACION Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA 3-A POR MEDIO DE MURO MILAN EN EL CAD 6+487.963 DEL TUNEL EMISOR ORIENTE”**

INDICE

INTRODUCCION  
ANTECEDENTES  
OBJETIVO  
JUSTIFICACION  
ALCANCES

CAPITULO I- MARCO DE REFERENCIA  
CAPITULO II- TRABAJOS PREVISTOS  
CAPITULO III-CONSTRUCCION DE LUMBRERA 3-A POR MEDIO DE MURO MILAN  
CAPITULO IV- MEJORAMIENTO DEL TERRENO, PLATAFORMA DE TRABAJO  
CAPITULO V-CONSTRUCCIÓN DE LUMBRERA 3-A

SCAT/ALAS/lob\*

Unidad Profesional “Adolfo López Mateos”, Edif. 10,11 y 12 Col. Zacatenco Deleg. Gustavo A. Madero, México, D.F., C.P. 07738  
Conmutador 5729 6000, exts. 53084 y 53049  
Ing\_aplicada\_esiaz@ipn.mx

**SEP**

SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA



Instituto Politécnico Nacional



Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura  
Unidad Zacatenco  
Subdirección Académica

"Año del Centenario de la Promulgación de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos"  
"60 Aniversario del CECyT 14 Luis Enrique Erro"  
"60 Aniversario del Patronato de Obras e Instalaciones"  
"50 Aniversario de la COFAA-IPN"  
"30 Aniversario de la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología"

OF. No. SA/960/VIII/2017

Ciudad de México, a 24 de agosto de 2017.

**ASUNTO: SE DESIGNA ASESOR DE  
MEMORIA DE EXPERIENCIA PROFESIONAL  
Y AUTORIZA TEMA**

CAPITULO VI- REVESTIMIENTO DEFINITIVO DE LUMBRERA 3-A  
CAPITULO VII- CONSTRUCCION DE PORTALES PARA LLEGADA DE TUNELADORAS Y CUNAS DE ARRASTRE  
CAPITULO VIII- EXCAVACION DE TUNEL POR MEDIO DE TUNELADORA HK-497 PARA LA LLEGADA A LUMBRERA 3-A  
CAPITULO IX- EXTRACCIÓN DE TUNELADORAS ROBBINS Y HERRENKNECHT S-497  
CAPITULO X- REVESTIMIENTO DE TUNEL POR MEDIO DE CIMBRA TELESCOPICA POSTERIOR A LA EXTRACCION DE LOS ESCUDOS  
CAPITULO XI- INSTRUMENTACION  
CAPITULO XII- NUESTRA SEGURIDAD DURANTE EL DESARROLLO DEL PROYECTO  
CAPITULO XIII- PUESTA EN MARCHA DE LOS PRIMEROS 10 KM DEL TUNEL EMISOR ORIENTE

CONCLUSIONES  
RECOMENDACIONES  
BIBLIOGRAFIA  
GLOSARIO  
ANEXOS  
INDICE DE FOTOGRAFIAS  
DOCUMENTOS DE REFERENCIA

Sin otro particular, reciba un cordial saludo

**ATENTAMENTE**

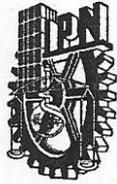
**"La Técnica al Servicio de la Patria"**

**ING. SERGIO CESAR ARROYO TREJO  
SUBDIRECTOR ACADÉMICO**

Ccp. Ing. Alejandra López Aguado Serna- Jefa del Departamento de Formación Profesional en Ingeniería Aplicada  
Expediente  
SCAT/AV/S/lob\*

Unidad Profesional "Adolfo López Mateos", Edif. 10,11 y 12 Col. Zacatenco Deleg. Gustavo A. Madero, México, D.F., C.P. 07738  
Conmutador 5729 6000, exts. 53084 y 53049  
Ing\_aplicada\_esiaz@ipn.mx





**ACTA DE REVISIÓN DE TRABAJO TERMINAL**

En la Ciudad de México, siendo las 18:30 horas del día 21 del mes de Mayo del año 2018, se reunieron los miembros de la Comisión Revisora designada por la Subdirección Académica de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Unidad Zacatenco, para revisar el trabajo terminal "JUSTIFICACION Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA 3-A POR MEDIO DE MURO MILÁN EN EL CAD 6+487.963 DEL TUNEL EMISOR ORIENTE" que presenta el C. ABRAHAM SAUCEDO PEREZ, con número de boleta 2004310640, pasante de la Carrera de Ingeniería Civil, Plan 2004-2008, para obtener el Título de Ingeniero Civil.

Ya revisada y después de intercambiar opiniones, los miembros de la Comisión acordaron APROBAR EL TRABAJO TERMINAL.

**COMISIÓN REVISORA**

Asesor de trabajo terminal

<p><u>Ing. Felipe Sanchez Gamba</u> (nombre y firma)</p>	<p><u>Marcel Sanchez Flores</u> (nombre y firma)</p>
<p><u>Man C. Miguel Angel Rosalca-b S.</u> (nombre y firma)</p>	<p><u>Ing. Luis Iván Juárez Rodarte</u> (nombre y firma)</p>
<p><u>ING CARLOS BARRERA HERNANDEZ</u> (nombre y firma)</p>	<p><u>Ing. Rosa Maria Milan Valdes</u> (nombre y firma)</p>

Se anexa a la presente un ejemplar del trabajo terminal.

**ATENTAMENTE  
 "LA TÉCNICA AL SERVICIO DE LA PATRIA"**

<p><u>Ing. Rosa Maria Milan Valdes</u> (NOMBRE Y FIRMA)                  Presidente de la Academia de                  GEOTECNIA</p>	<p>Vo.Bo.                    Subdirección Académica</p>
--	---

C.c.p. Ing. Adriana Soledad Rodríguez Cruz- Jefa del Departamento de Formación Profesional en Ingeniería Aplicada. Expediente.

*Adriana Soledad Rodríguez Cruz*  
 21-Mayo-2018  
 Ing. Adriana Rodríguez



Asunto: Designación de Jurado

Ciudad de México, a 21 de MAYO de 2018.

**ING. SERGIO CÉSAR ARROYO TREJO**  
SUBDIRECTOR ACADÉMICO  
DE LA ESIA U. ZACATENCO  
P r e s e n t e

Una vez concluido el proceso de revisión y aprobación del trabajo terminal de titulación del pasante C. \_\_\_\_\_

**ABRAHAM SAUCEDO PEREZ**

\_\_\_\_\_ con número de boleta 2004310640, se solicita la fecha del acto de titulación correspondiente, por lo que se anexa el Acta de la Comisión Revisora del trabajo terminal y se propone el siguiente jurado, conforme al Capítulo VI del Reglamento de Titulación Profesional del IPN.

Presidente

Ing. Felipe Sánchez Acosta  
(Nombre y firma)

Secretario

Ing. Manuel Sánchez Hernández  
(Nombre y firma)

Primer Vocal

M.c. Miguel Ángel Ruvalcaba Sepúlveda  
(Nombre y firma)

Segundo Vocal

Ing. Luis Iván Juárez Rodarte  
(Nombre y firma)

Tercer Vocal

ING. CARLOS IBARRAT HERNANDEZ  
(Nombre y firma)

Suplente

Ing. Rosa María Milán Valdés  
(Nombre y firma)

ATENTAMENTE

Ing. Rosa María Milán Valdés  
(Nombre y firma)

Presidente de la Academia de GEOTECNIA

## DECLARACIÓN JURADA Y CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México, el día, 18 de mayo del 2018 quien suscribe **C. ABRAHAM SAUCEDO PÉREZ**, pasante de la Carrera de Ingeniería Civil con número de boleta **2004310640**, egresado de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Unidad Zacatenco, bajo protesta de decir verdad y consciente de las responsabilidades penales de este acto, manifiesto ser autor intelectual del presente trabajo original de memoria de experiencia profesional titulado **“JUSTIFICACIÓN Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA 3-A POR MEDIO DE MURO MILÁN EN EL CAD 6+487.963 DEL TÚNEL EMISOR ORIENTE”** y haber sido asesorado por **INGENIERO FELIPE SANCHEZ OCAMPO**, el presente es resultado de mi trabajo y hasta donde sé y creo no contiene material propiedad de otro autor, ni material previamente publicado, así como tampoco material motivo de premios o que en su caso haya sido utilizado para la obtención de otro título académico de enseñanza superior, salvo los casos específicos en los que se indica con precisión en el mismo texto y se hace el oportuno y debido reconocimiento; por tanto libero la Escuela de toda responsabilidad en caso de que mi declaración sea falsa.

**Siendo el autor intelectual de este documento, de conformidad cedo los derechos al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión social, académica y de investigación.**

A los usuarios de la información aquí contenida, no se les autoriza a reproducirla textualmente por ningún medio, sin la autorización expresa de su autor, la cual se puede obtener solicitándola al correo **dirabrahams@yahoo.com.mx**

En caso de otorgarse la autorización de su reproducción, debe citarse la fuente de la información y manifestarse el agradecimiento correspondiente.

  
Abraham Saucedo Pérez

## AUTORIZACIÓN DE USO DE OBRA

**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
PRESENTE.**

Bajo protesta de decir la verdad el que suscribe **C. ABRAHAM SAUCEDO PEREZ** se anexa copia simple de la identificación oficial), manifiesto ser autor (a) y titular de los derechos morales y patrimoniales de la obra titulada **JUSTIFICACION Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA 3-A POR MEDIO DE MURO MILAN EN EL CAD 6+487.963 DEL TUNEL EMISOR ORIENTE**, en adelante "La Tesis o Tesina" y de la cual se adjunta copia, por lo que por medio del presente y con fundamento en el Artículo 27 fracción II, inciso b) de la Ley Federal del Derecho de Autor, otorgo a el Instituto Politécnico Nacional, en adelante el IPN, autorización no exclusiva para comunicar y exhibir públicamente total o parcialmente en medios digitales o **IMPRESOS** "La Tesis o Tesina" por un periodo de **5 AÑOS** contando a partir de la fecha de la presente autorización, dicho periodo se renovará automáticamente en caso de no dar aviso expreso a " El IPN" de su terminación.

En virtud de lo anterior, "El IPN" deberá reconocer en todo momento mi calidad de autor de "La Tesis o Tesina".

Adicionalmente, y en mi calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de "La Tesis o Tesina", manifiesto que la misma es original y que la presente autorización no contraviene ninguna otorgada por el suscrito respecto de "La Tesis o Tesina" o la autorización concedida afecte o viole derechos autorales, industriales, secretos industriales, convenios o contratos de confidencialidad, o en general cualquier derecho de propiedad intelectual de terceros y asumo las consecuencias legales y económicas de cualquier demanda o reclamación que puedan derivarse del caso.

Ciudad de México, a 18 de mayo de 2018

ATENTAMENTE

  
\_\_\_\_\_  
**ABRAHAM SAUCEDO PEREZ**

Ciudad de México, a 19 de Mayo de 2017

**SUBDIRECCIÓN ACADEMICA  
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA  
Y ARQUITECTURA  
UNIDAD ZACATENCO  
Presente.**

El suscrito **Ing. Roberto Flores Vázquez**, Director de Supervisión de Infraestructura de la empresa **Dirac, S.A.P.I. de C.V.**, a petición del interesado **C. Abraham Saucedo Pérez**; por medio del presente autorizo para que la información que se le proporcionó para la supervisión de la obra Construcción del Túnel Emisor Oriente en el Estado de México consistente en:

- Planos de proyecto
- Programa de obra
- Especificaciones
- Fotografías
- Reportes de obra
- Términos de referencia

Sea utilizada para su Memoria de Experiencia Profesional y ésta misma sea considerada para los fines educativos que crean más conveniente.

**Atentamente,**



**ING. ROBERTO FLORES VAZQUEZ  
DIRECTOR DE SUPERVISIÓN DE INFRAESTRUCTURA**

## AGRADECIMIENTOS

Dedico este logro en mi vida a las personas que han hecho de mí la Persona y el Ingeniero que soy hoy en día, Gracias a **MI MADRE ROSA ZOILA** que siempre estuvo para sostenerme en todo momento que me impulso y que nunca le importo que tan fuerte fuera el problema para mantenerme de pie, por apoyar cada una de mis locuras por más descabezadas que parecieran, que siempre me lleno de coraje para no dejarme vencer para alcanzar lo que uno desea en la vida, por enseñarme el valor de las cosas, por abrazarme cuando necesite consuelo y corregirme cuando no existía alguna otra opción, Gracias a **MI PADRE JUAN MANUEL** por apoyarme durante toda la vida, por moldearme con su ejemplo y enseñarme a esforzarme más de lo necesario para conseguir cumplir las metas, gracias por el apoyo económico y psicológico vivo agradecido, **GRACIAS A MI ESPOSA JESSICA TATIANA** por su apoyo incondicional, paciencia y coraje, fueron el detonante a concluir el paso definitivo para ciertas metas entre ellas mi titulación, ella es ese respaldo excepcional que hacen de mí el hombre que lucha diariamente, **ES UN PLACER CONTAR CONTIGO TE AMO, A MIS HERMANAS GABRIELA Y MÓNICA** por la compañía durante todo este trayecto de vida, gracias por el apoyo escolar, económico y por hacer de mi vida de estudiante un verdadero lio, sin duda este transcurso no sería el mismo sin ustedes, **A MIS SOBRINOS MAFER, FÁTIMA, SARA Y LUIS** por animarme cuando los momentos se ponen complicados, **GRACIAS POR MI FORMACIÓN COMO INGENIERO A TODOS LOS INGENIEROS, LICENCIADOS Y MAESTROS** que sembraron en mí una parte de ustedes para hacer de mí el profesionalista que soy hoy en día, de **FORMA ESPECIAL A LA EMPRESA DIRAC S.A. DE C.V. Y A LOS INGENIEROS, MARCELINO RAYA LÓPEZ, RUBÉN ACOSTA OSORNIO, ROBERTO FLORES VÁZQUEZ, MIGUEL RIVERA MORALES, REFUGIO EMILIO ORTIZ CERVANTES, VICTOR GONZALEZ SANCHEZ, ELIAS PERALTA LOPEZ, LUIS ORTEGA ARENAS Y GABRIELA TENORIO ALCÁNTARA**, que gracias a su apoyo y experiencia me apoye para mi desarrollo como ingeniero en los primeros 8 años de experiencia profesional laborando en el **TUNEL EMISOR ORIENTE**, sin duda son parte fundamental para concluir mi meta, **GRACIAS AL INGENIERO FELIPE SÁNCHEZ OCAMPO** que con su experiencia, su tiempo, su profesionalismo, paciencia y entrega por la ingeniería he logrado cumplir este sueño, por ultimo **GRACIAS a la ESIA ZACATENCO, y al INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL** quedo completamente agradecido por toda la formación recibida, concluyo este agradecimiento sincero para **TODAS LAS PERSONAS DE MI FAMILIA Y AMIGOS** que han puesto parte de su vida, ayuda y compañía para hacer de mí el ingeniero que algún día soñé.

## INDICE

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>I</b>
<b>ANTECEDENTES .....</b>	<b>II</b>
<b>OBJETIVO .....</b>	<b>III</b>
<b>JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>IV</b>
<b>ALCANCES .....</b>	<b>V</b>
<b>CAPITULO I. MARCO DE REFERENCIA .....</b>	<b>4</b>
I.1 Túnel Emisor Oriente .....	4
I.1.1 Objetivo .....	4
I.1.2 Descripción Del Proyecto .....	5
I.1.3 Geología Del Trazo .....	5
I.1.4 Descripción De Las Obras .....	8
<b>CAPITULO II TRABAJOS PREVIOS .....</b>	<b>12</b>
II.1.- Limpieza Y Mejoramiento De Plataforma De Trabajo .....	12
II.1.1 Limpieza Y Deshierbe En Zona De Campamento.....	12
II.1.2 Trazo Y Nivelación De Plataforma De Trabajo.....	12
II.1.3 Mejoramiento De La Plataforma De Trabajo .....	13
II.2 Desvió De Líneas Eléctricas Y Retiro De Ductos De Pemex .....	13
II.2.1 Ubicación Y Retiro De Ductos De Pemex .....	13
II.2.2 Desvió De Líneas Eléctricas En Zona De Campamento.....	14
II.2.3 Desconexión De Líneas De Alta Tensión .....	15
II.2.4 Retiro Y Reubicación De Postería De Alta Tensión .....	15
II.3 Ampliación Y Delimitado De La Zona De Campamento .....	16
II.3.1 Construcción De Ataguía Metálica .....	16
II.3.2 Hincado De Tablestaca .....	17
II.3.3 Colocación De Viga Madrina En Tablestacado .....	19
II.3.4 Relleno Y Compactado Entre Hombro Del Canal Y Tablestacado .....	20
II.3.5 Colocación De Laminas Pintro Para Delimitación Del Campamento .....	21
II.4 Tensores Para Rigidizar Zona De Lumbrera .....	22
II.4.1 Colocación De Tensores En Plataforma De Trabajo Para Asegurar La Zona Superficial Durante La Construcción De Lumbrera .....	22

<b>CAPITULO III CONSTRUCCIÓN DE LUMBRERA 3-A POR MEDIO DE MURO MILÁN.....</b>	<b>24</b>
III.1 Construcción De Brocal Interior Y Exterior .....	24
III.1.1 Trazo De Brocal Interior Y Exterior.....	24
III.1.2 Excavación Para La Construcción De Brocales .....	20
III.1.3 Armado De Acero Para Brocal Interior Y Exterior .....	26
III.1.4 Cimbrado Para Construcción De Brocales.....	27
III.1.5 Colado De Brocal Interior Y Exterior .....	27
III.1.6 Descimbrado De Brocal Interior Y Exterior.....	29
III.2 Instalación De Planta De Fabricación De Lodo Bentónico.....	30
III.2.1 Instalación De Mezcladora, Dosificadora, Silo, Tinacos Y Tanques Chinos De Planta De Lodos .....	30
III.2.2 Fabricación De Lodo Bentónico .....	30
III.2.3 Especificaciones Y Pruebas De Laboratorio Para Lodo Bentónico .....	31
III.3 Construcción De Tableros Para Lumbrera Por Medio De Muro Milán .....	33
III.3.1 Excavación Para Construcción De Tableros Utilizando Como Ademe Lodo Bentónico.....	33
III.3.2 Habilitado Y Colocación De Junta CWS.....	36
III.3.3 Desarenado De Lodo Bentónico En Excavación.....	37
III.3.4 Pruebas De Laboratorio A Lodo Bentonítico Desarenado.....	38
III.3.5 Habilitado Y Armado De Acero Para Muro Milán .....	38
III.3.6 Izado De Armado Para Muro Milán .....	39
III.3.7 Colado De Tablero Para Muro Milán Por Medio De Tubería Tremie .....	41
III.4 Construcción De Trabe De Coronamiento .....	44
III.4.1 Demolición De Brocal Interior Y Exterior .....	44
III.4.2 Habilitado Y Armado De Trabe De Coronamiento.....	45
III.4.3 Cimbrado De Trabe De Coronamiento .....	45
III.4.4 Colado De Trabe De Coronamiento .....	46
 <b>CAPITULO IV MEJORAMIENTO DEL TERRENO, PLATAFORMA DE TRABAJO. ....</b>	 <b>48</b>
IV.1 Mejoramiento De Plataforma En Superficie En Zona Del Portal De Entrada Y Salida De Túnel.....	48
IV.2 Excavación Utilizando Lodo Bentonítico Como Ademe .....	49
IV.3 Colado De Tableros Con Suelo Cemento Por Medio De Tubería Tremie .....	51

<b>CAPITULO V CONSTRUCCIÓN DE LUMBRERA 3-A .....</b>	<b>53</b>
V.1 Excavación Del Núcleo De Lumbrera 3-A .....	53
V.1.1 Excavación Del Núcleo Primera Etapa Del Nivel De Trabe De Coronamiento Al Nivel De Anillo De Rigidez .....	53
V.1.2 Excavación Del Núcleo Segunda Etapa Del Nivel De Anillo De Rigidez Al Nivel De Desplante De Losa De Fondo.....	54
V.2 Construcción De Anillo De Rigidez.....	55
V.2.1 Construcción Del Anillo De Rigidez .....	55
V.2.2 Colocación De Anclas Al Nivel De Anillo De Rigidez .....	56
V.2.3 Habilitado Y Armado De Anillo De Rigidez .....	57
V.2.4 Cimbrado De Anillo De Rigidez.....	57
V.2.5 Colado De Anillo De Rigidez.....	58
V.3 Construcción De Losa De Fondo .....	58
V.3.1 Habilitado Y Armado De Losa De Fondo .....	58
V.3.2 Colado De Losa De Fondo Por Medio De Tubería Telescópica .....	61
 <b>CAPITULO VI REVESTIMIENTO DEFINITIVO DE LUMBRERA 3-A .....</b>	<b>63</b>
VI.1 Habilitado Y Armado De Acero Para Revestimiento Definitivo .....	63
VI.2 Habilitado Y Armado De Cimbra Deslizante.....	64
VI.3 Colado De Revestimiento Definitivo Por Medio De Cimbra Deslizante.....	66
 <b>CAPITULO VII CONSTRUCCIÓN DE PORTALES PARA LLEGADA DE TUNELADORAS Y CUNA DE ARRASTRE.....</b>	<b>69</b>
VII.1 Armado De Acero Para Portal De Entrada Y De Salida .....	69
VII.2 Cimbrado De Portal De Entrada Y Salida .....	71
VII.3 Colado De Portal De Entrada Y Salida.....	73
VII.4 Construcción De Cuna De Arrastre Y Colocación De Rieles.....	74
 <b>CAPITULO VIII EXCAVACIÓN DE TÚNEL POR MEDIO DE TUNELADORA HK-497 PARA LA LLEGADA A LUMBRERA 3-A .....</b>	<b>76</b>
VIII.1 Avance De Excavación Por Medio De Tunneladora.....	77
VIII.2 Controles En Tunneladora Durante El Avance De Excavación .....	81
VIII.3 Inyección De Mortero Durante El Avance De Excavación.....	85
VIII.4 Rezagado De Material Producto De Excavación.....	86
VIII.5 Colocación De Revestimiento Primario De Túnel Por Medio De Anillos Conformados Por Dovelas .....	88

<b>CAPITULO IX EXTRACCIÓN DE TUNELADORAS ROBBINS Y HERRENKNECHT S-497 .....</b>	<b>93</b>
IX.1 Avance Para Salida De Escudo A Cuna De Arrastre .....	94
IX.2 Inyección De Mortero De Los Últimos Anillos Colocados.....	96
IX.3 Seccionamiento De Escudos Para Su Retiro A Superficie .....	96
<b>CAPITULO X REVESTIMIENTO DE TÚNEL POR MEDIO DE CIMBRA TELESCÓPICA POSTERIOR A LA EXTRACCIÓN DE LOS ESCUDOS .....</b>	<b>99</b>
X.1 Desmantelamiento De Instalaciones Para Excavación .....	100
X.2 Limpieza En Túnel .....	100
X.3 Armado De Acero Para Revestimiento Definitivo De Túnel .....	101
X.4 Colocación De Cimbra Metálica Telescópica .....	104
X.5 Colado De Revestimiento Definitivo .....	107
<b>CAPITULO XI INSTRUMENTACIÓN.....</b>	<b>112</b>
XI.1 Instalación De Instrumentación .....	114
XI.2 Monitoreo De Instrumentación Instalada .....	116
<b>CAPITULO XII NUESTRA SEGURIDAD DURANTE EL DESARROLLO DEL PROYECTO .....</b>	<b>117</b>
<b>CAPITULO XIII PUESTA EN MARCHA DE LOS PRIMEROS 10 KM DEL TÚNEL EMISOR ORIENTE .....</b>	<b>125</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>VI</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>VII</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>VIII</b>
<b>GLOSARIO .....</b>	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>X</b>
<b>ANEXOS</b>	

## INTRODUCCION <sup>1</sup>

Hoy en día uno de los problemas más grandes para el Valle de México y Zona Metropolitana son las inundaciones, por el tipo de infraestructura insuficiente para el desalojo de aguas negras y pluviales, por lo que se han planteado diversos incrementos en la infraestructura para ayudar al rápido y eficiente desalojo de aguas negras y pluviales, una de las obras de construcción más importantes, denominado el túnel para desalojo de aguas negras más grande del mundo “Túnel Emisor Oriente” con una capacidad de desalojo de 150 m<sup>3</sup> / seg, 62 km de longitud de construcción y un diámetro final de 7m , recorre 3 Estados de la República Mexicana , inicia en la Ciudad de México en la Delegación Gustavo A Madero , posteriormente cruza el Estado de México y culmina en el Estado de Hidalgo, dicho túnel cuenta con excavaciones verticales a ciertas longitudes llamadas lumbreras las cuales tienen funciones de ventilación, acceso para mantenimiento y extracción o inducción de equipo para construcción o monitorización del mismo.

El presente trabajo tienen la finalidad de dar a conocer el procedimiento constructivo paso a paso de la Lumbrera 3-A así como la justificación de la construcción de la misma, cabe mencionar que la Lumbrera 3-A no se tenía proyectada por lo que se le nombro Lumbrera emergente , posteriormente se pretende explicar el procedimiento constructivo del túnel el cual básicamente se conforma de excavación y revestimiento primario por medio de dovelas estos procedimientos iniciales se llevan a cabo por medio de tuneladoras las cuales se describirán más adelante y por ultimo un revestimiento definitivo al túnel el cual se coloca por medio de una cimbra telescópica y equipos especiales para colocación de concreto.

---

<sup>1</sup> Elaborado con apoyo de datos de los Términos de Referencia, Túnel Emisor Oriente, editado por CONAGUA, octubre 08 pag.4.

## ANTECEDENTES<sup>2</sup>

La Zona Metropolitana del Valle de México es el centro político económico del País, concentra cerca del 20 % de la población Nacional, misma que demanda servicios básicos que ejercen una presión sobre recursos naturales de su entorno inmediato y en las cuencas cercanas.

En lo referente al Agua Potable, se abastece de fuentes de cuenta propia, y desde la década de los 80 ´s importa agua de las Cuencas de los ríos Lerma y Cutzamala ubicadas en los Estados de México y Michoacán, por otro lado, desde el siglo xvi, descarga sus aguas residuales a la Cuenca del Rio Tula en el Estado de Hidalgo, en donde son utilizadas para la agricultura.

La infraestructura desarrollada para proporcionar los servicios descritos, en la actualidad es insuficiente, la modernización y ampliación de esta representa el reto de recuperar el equilibrio hidrológico de la Cuenca y contribuir, de manera decisiva, a la visibilidad de la Zona Metropolitana en el mediano y largo plazos.

Actualmente el Túnel Emisor Central es prácticamente el único conducto principal por el que pueden salir las Aguas del Valle de México, ya que el Histórico Gran Canal de Desagüe, anteriormente responsable de tal tarea, ha perdido pendiente hidráulica por causa del hundimiento Regional que aqueja a la Ciudad de México y con ello buena parte de su capacidad de desalojo.

Debido a la insuficiencia del Drenaje Profundo de la Ciudad de México y a la falta de un sistema alternativo, ante condiciones de precipitaciones extraordinarias y mantenimiento, el riesgo de inundaciones severas en el Valle de México es inminente, una catástrofe de grandes magnitudes resultaría inevitable si no se llevan a cabo acciones oportunas y las obras necesarias para mitigar ese riesgo,

---

<sup>2</sup> Elaborado con apoyo de datos de los términos de referencia, túnel emisor oriente, editado por Conagua, octubre 08 pag.5.

entre estas las de la construcción del Túnel Emisor Oriente ( TEO ) que se describen de formal General en este documento.

La construcción del Emisor Oriente como Drenaje alternativo al Emisor Central, además de ampliar la capacidad del Desagüe del Valle de México, permitirá realizar los trabajos de mantenimiento necesario en ambos Drenajes, para una adecuada operación del sistema.

## **OBJETIVO**

Actualmente se construye el Túnel Emisor Oriente para el beneficio de la población del Valle de México, el Objetivo de dicho documento es con la finalidad de dar a conocer el Procedimiento Constructivo de la Lumbreira 3-A, las diferentes etapas, el motivo por que se construyó, y los resultados obtenidos con su integración al proyecto conocido como el Túnel de Desagüe más Grande del Mundo.

## **JUSTIFICACION**

Con la ejecución de este documento se pretende aportar información basada en la Experiencia Profesional sobre el proyecto del Túnel Emisor Oriente, enfocándonos principalmente en la Lumbreira 3-A, con lo anterior cabe mencionar que se desarrolla dicho trabajo derivado de la situación atípica que se llega a presentar por los cambios de la naturaleza y las acciones que los ingenieros deben tomar durante el desarrollo de algún proyecto, asimismo se describe el proceso constructivo de una manera directa y sencilla para el lector.

## **ALCANCES**

Con el desarrollo del presente trabajo se busca informar y compartir la Experiencia adquirida durante la construcción de la Lumbreira 3-A del Túnel Emisor Oriente, se pretende dar conocimiento a los alumnos, futuros Ingenieros, Maestros y Lectores interesados en el tema, buscando sea de utilidad la información para su formación continua.

## **CAPITULO I. MARCO DE REFERENCIA**

### **I.1 Túnel Emisor Oriente**

Debido a las inundaciones y a la alta demanda en los últimos años respecto al desalojo de las Aguas Negras en el Valle de México, así como la insuficiente capacidad de las obras actualmente construidas es necesario la construcción del Túnel Emisor el cual tiene una longitud de 62km, con un diámetro interior de 7.0 m y con una capacidad de desalojo de 150 m<sup>3</sup>/seg para la construcción y posterior operación se construyen 25 lumbreras de las cuales se tienen lumbreras de 12 m de diámetro denominadas lumbreras de paso y lumbreras de 16 a 18 m de diámetro llamadas lumbreras de ensamble las cuales sirven para la inducción y extracción de tuneladoras.

#### **I.1.1 Objetivo**

Para reducir el riesgo de inundaciones, y fortalecer el sistema de alcantarillado se realiza la construcción del Túnel Emisor Oriente con lo cual se pretende aumentar el desalojo del Agua Residual para su tratamiento y posteriormente su reutilización en el riego, la construcción de Túnel se desarrolla por medio de tuneladoras, la construcción de lumbreras se realizar por medio de Muros Milán, excavación convencional y combinado, los 3 métodos se concluyen con un revestimiento definitivo.

La Lumbrera 3-A la cual se pretende tocar a fondo durante el desarrollo de este documento se construye por medio de Muros Milán y un acabado por medio de Revestimiento Definitivo, el cual se le nombra deslizado, durante el desarrollo de los capítulos conoceremos el Procedimiento de Construcción más a detalle.

### I.1.2 Descripción Del Proyecto<sup>3</sup>

- La capacidad de desalojo del Túnel es de 150 m<sup>3</sup> / seg
- Longitud del Túnel Emisor Oriente 62.0 km
- Diámetro interior del Túnel terminado 7.0 m
- Pendiente aproximada del Túnel de 1.9 m/km a 1.6 m/km
- Diámetro interior de Lumbreira 3-A 16.0 m
- Profundidad de Lumbreira 3-A 43.13 m
- La Lumbreira 20 es la más profunda del TEO con una profundidad de 150 m
- El primer tramo del TEO considerado de lumbreira 0 a lumbreira 5 inicio su operación en el año 2013 y actualmente continua en operación.
- El TEO está conformado por 25 lumbreiras
- El TEO se dividió en 6 grandes tramos para el desarrollo de su construcción : tramo 1 conformado de lumbreira 0 a lumbreira 5 con una longitud total de 10.058 m, tramo 2 conformada de lumbreira 5 a lumbreira 10 con una longitud total de 11,576 m, tramo 3 conformada de lumbreira 10 a lumbreira 13 con una longitud total de 8.948 m, tramo 4 conformada de lumbreira 13 a lumbreira 17 con una longitud total de 10.648 m, tramo 5 conformada de lumbreira 17 a lumbreira 20 con una longitud total de 8.359 m, tramo 6 conformada de lumbreira 20 al portal de salida con una longitud total de 11.743 m

### I.1.3 Geología Del Trazo<sup>4</sup>

La Cuenca de México es una Altiplanicie rodeada de Montañas Volcánicas, se localiza en la parte centro-oriente de la faja Volcánica Transmexicana entre los meridianos 98° 15´ - 99° 30´ y los paralelos 19° 00´ - 20° 15´ en distancias cortas mide en dirección norte-sur unos 90 km y en la dirección este-oeste la parte norte casi con 100 km, mientras que en la sur alcanza 50 km, su área es aproximadamente de 9,600 km<sup>2</sup>. La elevación de sus planicies es de 2240

<sup>3</sup> Elaborado Con Datos De Apoyo De Boletín, Abasto, Drenaje Y Saneamiento Hídrico En El Valle De México, Editado Por CONAGUA-SEMARNAT, pág.15.

<sup>4</sup> Elaborado Con Apoyo De Datos De Los Términos De Referencia, Túnel Emisor Oriente, Editado Por Conagua, Octubre 08 pag.7-9.

m.s.n.m. en la parte sur y 2390m.s.n.m en la norte; la cuenca incluye a la Ciudad de México y parte de los Estados de México, Hidalgo y Tlaxcala.

La Cuenca de México se formó al cerrarse el antiguo Valle de México, por el Sur, como resultado de una intensa actividad Volcánica, la cual dio Origen a la Sierra de Chichinautzin, estructuras conformadas por rocas andesítico-basálticas.

El nuevo conjunto Montañoso interrumpió el Drenaje existente, debido a la acumulación de lavas y productos volcanoclásticos; depósitos que al alcanzar una altura considerable formaron una Represa Natural, estas nuevas condiciones favorecieron la existencia de Lagos y su posterior azolvamiento paulatino, de forma paralela tuvieron lugar eventos Volcánicos cortos y locales. la sección geológica del Túnel interpretada por la ingeniería básica disponible a la fecha, revelo los paquetes que conforman la secuencia integrada por depósitos lacustres, aluviales, tobas, lavas, rocas volcánicas y abanicos aluviales.

La Estratigrafía de la Lumbrera 3-A la cual se describe durante el desarrollo del documento se presenta:

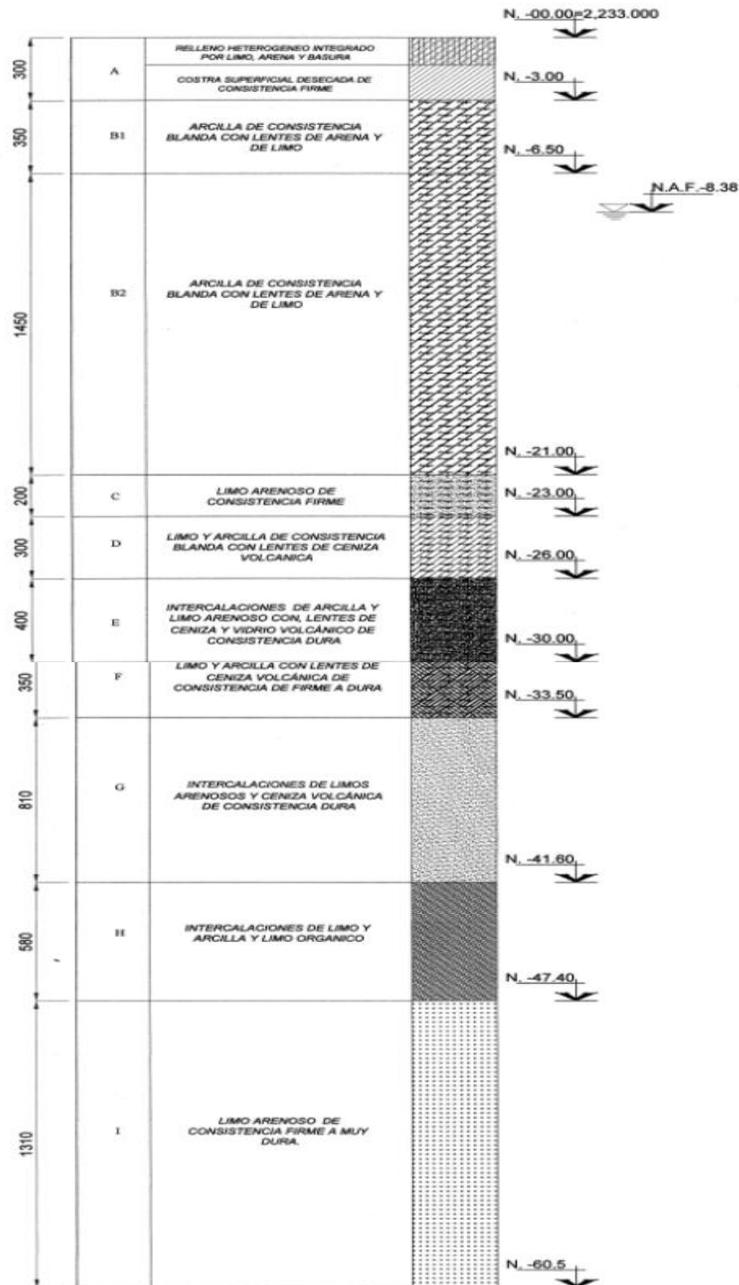


Fig. 1.1. Estratigrafía De Lumbrera 3-A, Túnel Emisor Oriente Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente.

#### I.1.4 Descripción De Las Obras<sup>5</sup>

El proyecto original incluye la construcción de 24 Lumbreras, con profundidades variables entre 25 y 150 m, la Lumbreira 3-A se construye de manera adicional al proyecto de arranque por lo que se cuenta en la actualidad con 25 Lumbreras, las Lumbreras 3-A, 5, 13, 17 y 20 son de 16 m de diámetro interior las cuales se consideran para el montaje desmantelamiento y extracción de excavadoras, el resto de las Lumbreras son de 12 m de diámetro interior.

La construcción se realiza con equipo especializado, el Revestimiento Definitivo de Lumbreras y Túnel tiene una Resistencia mínima de  $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$ , elaborado con cemento CPC – 40R – RS Resistente a los Sulfatos y relación agua/cemento de 0.45.

La principal estructura que integra el proyecto del TEO corresponde a la construcción de un Túnel de 62 km, con un diámetro terminado de 7.0 m; excavando con máquinas Tuneladoras, alojando un Revestimiento primario por medio de anillos prefabricados de dovelas con soporte inicial y un Revestimiento de concreto reforzado colado en sitio.

La Lumbreira 3-A se construye por medio de Muros Milán conformada por medio de 24 tableros, como se mencionó anteriormente no se tenía proyectada al inicio de los trabajos, ya que se pretendía excavar con 1 tuneladora de Lumbreira 0 a Lumbreira 5 (tramo 1) , pero debido a los retrasos de la construcción del mismo tramo presentados en Febrero del 2010 derivado del exceso de precipitación pluvial y desborde del río de los remedios causando inundación en el interior del Túnel y en la Tuneladora HK S497 que se encontraba excavando de Lumbreira 0 a Lumbreira 1-A, se optó por construir una Lumbreira entre Lumbreira 3 y 4 llamada Lumbreira emergente, posteriormente utilizar un segundo equipo excavador de lumbreira 5 a lumbreira 4 al mismo tiempo que la Tuneladora HK – S497 continuaba de Lumbreira 1-A con dirección a Lumbreira 3 y de este modo llegar las dos Tuneladoras a Lumbreira 3-A para su extracción a superficie y dar

---

<sup>5</sup> Elaborado con apoyo de datos de los términos de referencia, Túnel Emisor Oriente, editado por CONAGUA, octubre 08 pag.12

por concluidos los trabajos de excavación en el tramo 1 para posteriormente realizar los trabajos de Revestimiento Definitivo.

Lo anterior para lograr inaugurar el tramo en el tiempo proyectado, el tramo se inaugura durante la Presidencia del Sr. Presidente Felipe Calderón Hinojosa, el 13 de junio del año 2013.

Los últimos días del mes de enero e inicios del mes de febrero del año 2010 en el Estado de México y Ciudad de México, se continuaron presentando precipitaciones pluviales de gran magnitud, las cuales fueron continuas durante el día y la noche, lo que provoco que el tirante del canal Rio de los Remedios se incrementara a su máximo, sin cesar las lluvias continuaron y fue así como la tarde - noche del 3 de Febrero del 2010 se presentó el desborde del Rio de los Remedios en la interconexión con la Autopista el Mexiquense, las Colonias cercanas se inundaban, el Agua Penetro por las Lumbrera 5 del Túnel Interceptor Rio de los Remedios, La lumbrera 2 de este Túnel está conectado a la Lumbrera 0 del Túnel Emisor Oriente, por tal motivo el Agua que penetra por las Lumbreras 5 llego hasta el frente de excavación con un tirante de 4 m, posteriormente del 4 al 16 de febrero se realiza el retiro del Agua con equipo especializado, del día 16 al día 20 se realiza el saneamiento de la zona, la Tuneladora cuenta con un seguro por desastres naturales, por lo que posteriormente de concluir con la limpieza y el saneamiento de la zona, la Empresa Aseguradora se encargó de los trabajos de Valuación y Reparación del día 20 de febrero al 2 de agosto del 2010, fue así como el día 03 de agosto del 2010, se reiniciaran los trabajos de excavación para dar continuidad al tramo de Túnel de Lumbrera 0 a Lumbrera 1-A.

Durante la intervención de la Aseguradora se realizan el cambio de equipos eléctricos y electrónicos del escudo, de la misma forma se realizaron los trabajos de reparación necesarios para dejar el tramo en condiciones de operación.



**Fig.1.2. Inundación 03 De Febrero 2010, Lumbra 5 Del Túnel Interceptor Rio De Los Remedios  
Fuente. Lumbra 5 Túnel Emisor Oriente**



**Fig.1.3. Zona Exterior De Lumbra 0 Durante La Inundación, 04 De Febrero 2010  
Fuente. Lumbra 5 Túnel Emisor Oriente.**



**Fig.1.4. Vista Planta Lumbra 0 Durante La Inundación, Teo  
Fuente. Lumbra 5 Túnel Emisor Oriente.**



**Fig.1.5. Lumbra 5 Túnel Interceptor Rio de los Remedios  
Fuente. Lumbra 5 Túnel Emisor Oriente.**

## CAPITULO II TRABAJOS PREVIOS

### II.1.- Limpieza y mejoramiento de plataforma de trabajo

#### II.1.1 Limpieza Y Deshierbe En Zona De Campamento

Posterior de definir su ubicación de la Lumbreira 3-A, respecto al trazo de Túnel, se inician los trabajos de limpieza gruesa y deshierbe en la zona del campamento, la limpieza se realiza por medio de cargador frontal de la marca case 921 c y camiones de volteo para el traslado de material producto de limpieza a la zona de tiro.

#### II.1.2 Trazo Y Nivelación De Plataforma De Trabajo

Al concluir los trabajos de limpieza y retiro de material grueso se procede por medio de equipo topográfico al trazo y nivelación de lumbreira, instalaciones y campamento, el diámetro de la lumbreira a construir es de 16 m, para la construcción del muro de lumbreira se emplearán Muros Milán, durante los trabajos de trazo y nivelación se marcan instalaciones a retirar, así como la ubicación para la construcción de brocales.



**Fig.2.1. Trazo de lumbreira 3-A**  
**Fuente. Lumbreira 5 Túnel Emisor Oriente**

### II.1.3 Mejoramiento De La Plataforma De Trabajo

Como mejoramiento para la plataforma de trabajo se realiza el tendido de capas de tezontle y grava controlado en un porcentaje de 30:70 en capas de 30 cm, realizando el tendido por medio de cargador frontal en toda la zona del campamento lo anterior para conformación y mejoramiento de la plataforma de maniobras.

## II.2 Desvío De Líneas Eléctricas Y Retiro De Ductos De PEMEX

### II.2.1 Ubicación Y Retiro De Ductos De PEMEX

Durante el trazo y nivelación se realizó el trazo para localizar ductos de Petróleos Mexicanos los cuales pasan por la parte baja del campamento y pueden dañarse durante la construcción, dichos ductos actualmente no se encuentran en operación, posterior a su localización se realizan excavaciones de 2 x 2.30 m para realizar el corte y extracción de los mismos, las maniobras de seccionamiento y retiro se realizan por medio del personal especializado de PEMEX.



**Fig.2.2. Verificación De Ductos De 24 “ De Pemex Para Su Extracción  
Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente.**

## II.2.2 Desvió De Líneas Eléctricas En Zona De Campamento

Para el desarrollo de los trabajos fue necesario la reubicación y desvío de líneas eléctricas y acondicionamiento para el suministro eléctrico necesario para los equipos en obra, se realizó el retiro de Postería que obstruía las maniobras en el interior del campamento, así como el recorrido y maniobras con grúa, los trabajos de desvío de líneas eléctricas y Postería de alta tensión se realiza por medio de personal especializado de CFE, por parte de construcción se solicitan apertura de cepas para colocar la canalización de líneas eléctricas, construcción de registros así como el encofrado posterior a las desviaciones realizadas para evitar daños al cableado durante los trabajos realizados.



**Fig.2.3 Canalización Para Desvío De Líneas Eléctricas**  
**Fuente. Túnel Emisor Oriente**

### II.2.3 Desconexión De Líneas De Alta Tensión

Se realiza el retiro de líneas eléctricas de alta tensión como se menciona en el subtema anterior debido a la obstrucción que presentan por las maniobras con las grúas y tránsito de maquinaria por lo que por medio de la construcción de registros de concreto de resistencia  $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$  y malla electro-soldada, se realizan los cambios de dirección de manera subterránea con poliducto de alta resistencia después de canalizar las líneas se procede al encofrado por medio de concreto y material producto de excavación.



**Fig.2.4. Construcción De Registros Para Desvío De Líneas Eléctricas**  
Fuente. Lumbra 5 Túnel Emisor Oriente.

### II.2.4 Retiro Y Reubicación De Postería De Alta Tensión

De la misma forma que se realiza el retiro de líneas de alta tensión se reubica Postería para evitar que obstruya la zona de campamento, tránsito de maquinaria y construcción de lumbra.



**Fig.2.5. Excavación Para Reubicación De Poste De Alta Tensión  
Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente**

## **II.3 Ampliación Y Delimitado De La Zona De Campamento**

### **II.3.1 Construcción De Ataguía Metálica**

Los trazos de lumbrera se tienen colindantes a la cabeza del talud lo que puede provocar falla, agrietamiento y/o deslizamiento del talud durante el desarrollo de los trabajos de construcción de lumbrera por lo que se realiza la construcción de ataguía metálica por medio del hincado de tablestaca con lo cual se garantiza la estabilizada de la zona de trabajo<sup>6</sup>, el talud y la verticalidad de lumbrera durante y después de su construcción.

---

<sup>6</sup> Análisis y Memoria de Cálculo Geotécnico Protección del Gran Canal considerando Inclusiones mediante tableros lumbrera L-3A Túnel Emisor Oriente, Ing. Sergio A. Martínez Galván, editado 11 nov 2011

### II.3.2 Hincado De Tablestaca

Se fabrica estructura metálica por medio de Viga IR de 7 "x 12 "llamado escantillón el cual se utiliza para guiar el hincado de tablestaca, las medias pueden ser variables según los requerimientos del tipo de tablestaca a utilizar, así como las dimensiones para la fijación de la guía.



**Fig.2.6. Izaje Para La Colocación De Escantillón Para El Hincado De Tablestaca  
Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente**

Para el hincado de tablestaca se utiliza escantillón, vibrohincador y centralina de la marca PTC modelo 30H2 y una grúa link belt modelo 218, se realiza la colocación de escantillón por medio de estacas metálicas para su fijación, las estacas se hincan por medio del vibrohincador y centralina , el vibrohincador se manobra por medio de la grúa link belt, una vez colocado el escantillón se procede a realizar la colocación de tablestaca de la misma forma que se hincaron las estacas metálicas, se realiza el izaje de la tablestaca por medio de la grúa hasta su posición hasta hacer contacto con el terreno natural, se realiza el izaje del vibrohincador para sujetar por la parte superior a la tablestaca, una vez

sujetada la tablestaca se procede a activar el vibrohincador por medio de la centralina la cual manda vibraciones entre los 20 – 40 Hz provocando el hincado de la tablestaca, al llegar a la profundidad de proyecto se detiene el vibrohincador desde la centralina, posterior al hincado de la primera tablestaca se continúan hincando el resto de piezas entrelazándose por medio de una guía canal que la tablestaca trae de fábrica para crear un solo elemento al momento de su hincado.



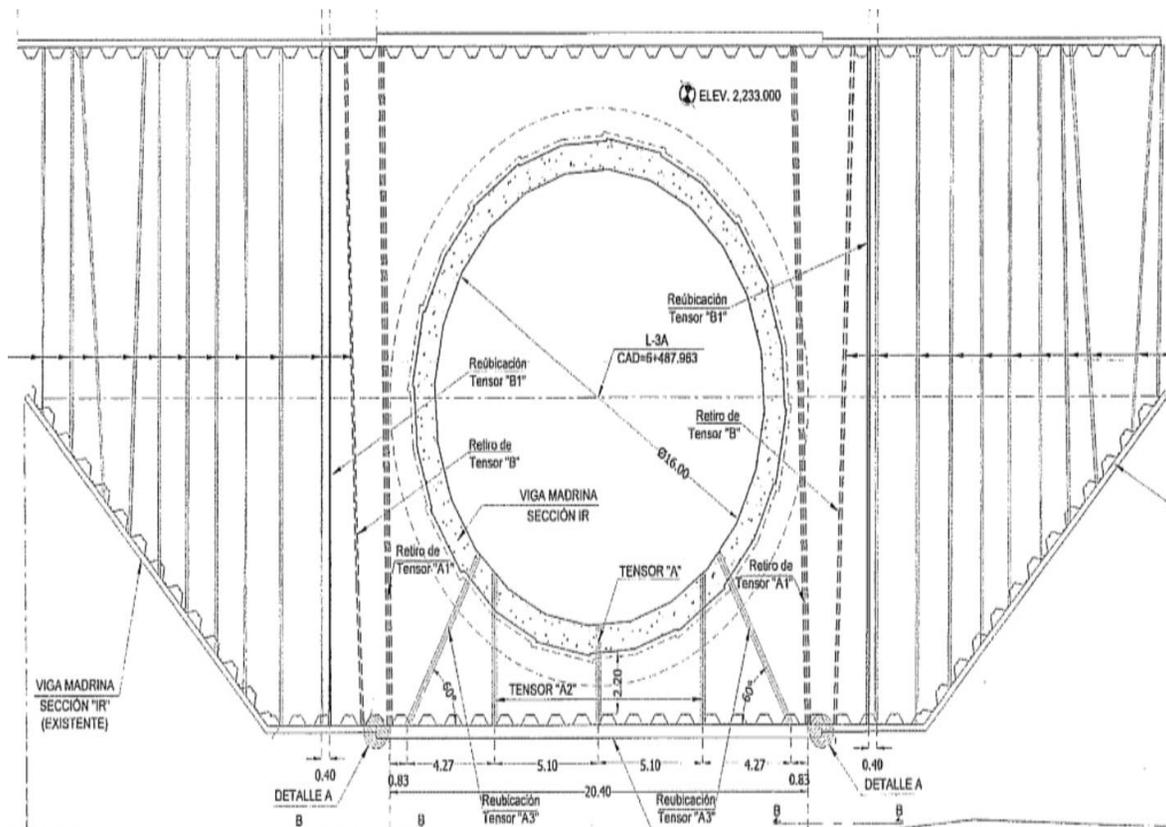
**Fig.2.7. Hincado De Tablestaca En Talud Para Extensión De La Plataforma De Trabajo**  
Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente



**Fig.2.8. Hincado De Tablestaca En Talud**  
Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente

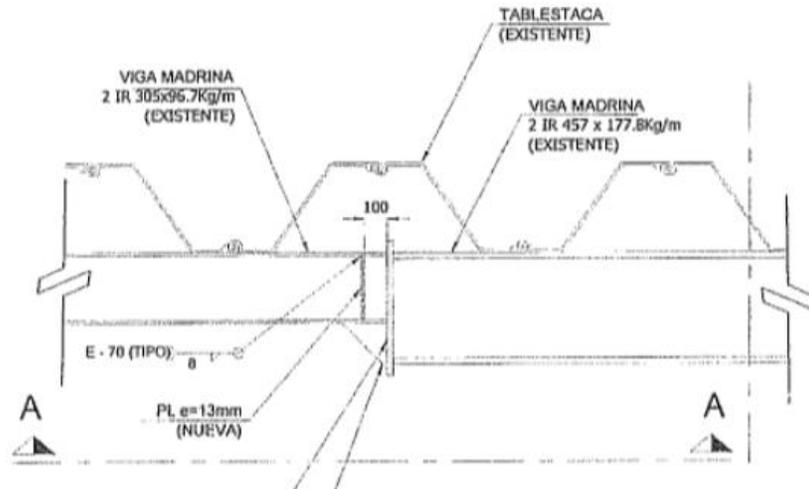
### II.3.3 Colocación De Viga Madrina En Tablestacado

En la parte norte del campamento también se realiza el hincado de tablestaca es decir al contrario de la tablestaca colocada en el Talud, la finalidad es confinar el centro del campamento para evitar agrietamientos durante la excavación de Lumbreira, posterior al hincado de tablestaca se realizan la colocación de 2 Vigas en el perímetro de la tablestaca llamada Viga Madrina, viga de tipo IR, este elemento<sup>7</sup> sirve para el soporte de las cargas horizontales sobre el tablestacado.



**Fig.2.9. Planta De Localización De Tablestacado Y Viga Madrina En Lumbreira 3-A**  
Fuente. Lumbreira 5 Túnel Emisor Oriente

<sup>7</sup> Análisis estructural 3ª edición R.C. Hibbeler, México 1997



**Fig.2.10. Detalle De La Colocación De La Viga Madrinal Con El Tablestacado**  
**Fuente. Lumbreira 5 Túnel Emisor Oriente.**

### II.3.4 Relleno Y Compactado Entre Hombro Del Canal Y Tablestacado

Para el confinamiento del centro del campamento se procede a realizar el relleno de lo que era la Corona del Talud por medio de tepetate en capas de 20 cm compactadas al 95 % Prueba Proctor<sup>8</sup> hasta llegar al nivel de plataforma para la excavación de Lumbreira.

Para el relleno del espacio existente se realiza el tendido de material de banco tepetate en capas de 30 cm aproximadamente esparciendo agua y realizando compactación en secciones y franjas ordenadas para lograr una compactación uniforme, si el material se observa seco se agrega agua sin llegar a un exceso de aplicación de agua debido a que lo anterior puede provocar que la capa se aguachine y no se logre compactar, después de concluir la compactación por

<sup>8</sup> Anexo 3 Especificaciones Generales Y Particulares Túnel Emisor Oriente, Secretaría Del Medio Ambiente Y Recursos Naturales, Conagua, Subdirección General De Agua Potable Drenaje Y Saneamiento, Gerencia De Infraestructura Hidráulica Pluvial, México. Pág. 6.

zonas se procede a realizar calas y prueba por parte de laboratorio para verificar el % de compactación de ser mayor o igual a 95 % Proctor, se procede a tender una segunda capa realizando el mismo procedimiento de lo contrario se debe continuar compactando hasta lograr el % de proyecto, en caso de que la capa se aguachine sufra exceso de agua se debe mezclar el material con material seco y/o en su defecto retirar el material saturado y agregar material en condiciones óptimas, con la compactación las capas de 30 cm quedaran aproximadamente de 20 cm según el equipo que se utilice para compactar.



**Fig.2.11. Relleno Y Compactado Para Mejoramiento De La Plataforma De Trabajo Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente.**

### II.3.5 Colocación De Laminas Pintro Para Delimitación Del Campamento

Para resguardar al personal civil, maquinaria y asegurar la zona de maniobras se realiza la delimitación de la zona del campamento por medio de láminas Pintro y Postería del mismo material, dicho trabajo se realiza de manera manual realizando las excavaciones en terreno natural a cada 2.44 m con una profundidad de 50 cm para la fijación de postes por medio de concreto de resistencia de  $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$ , posterior a la colocación postes se empatan las láminas Pintro por medio de los canales existentes en los postes cubriendo la zona, al concluir los trabajos de colocación de láminas, se realiza la colocación de concertina en la parte superior como medida de seguridad.

## II.4 Tensores Para Rigidizar Zona De Lumbra

### II.4.1 Colocación De Tensores En Plataforma De Trabajo Para Asegurar La Zona Superficial Durante La Construcción De Lumbra

Se realizan excavación de cepas de forma transversal al campamento dicha excavación es de 0.50 m x 0.50 m las cepas sirven para alojar la colocación de tensores con varillas de 1 ½ “(#12) unidas por medio de bulbos de soldadura, estos tensores atraviesan la tablestaca para realizar su sujeción en la parte externa del tablestacado por medio de placas en la viga madrina colocada anteriormente de esta forma se logra confinar la zona de campamento.



Fig.2.12. Ubicación De Tensores, Tablestaca Y Viga Madrina  
Fuente. Lumbra 5 Túnel Emisor Oriente

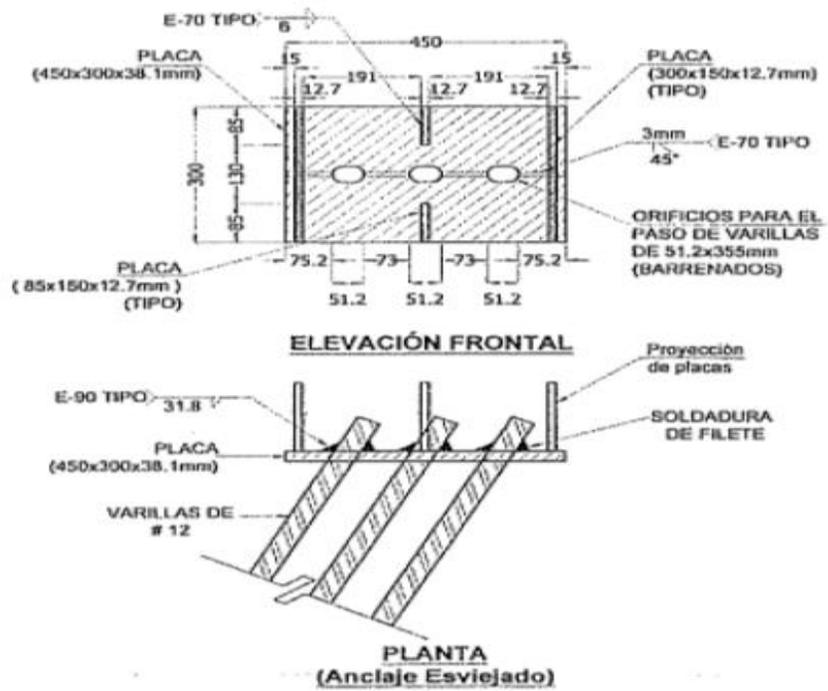


Fig.2.13. Detalle De Anclaje De Tensores Y Viga Madrina  
Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente.

## CAPITULO III CONSTRUCCIÓN DE LUMBRERA 3-A POR MEDIO DE MURO MILÁN.

### III.1 Construcción De Brocal Interior Y Exterior

#### III.1.1 Trazo De Brocal Interior Y Exterior

Se realiza el trazo por medio del equipo topográfico del brocal interior y exterior del Muro Milán conforme al Proyecto Ejecutivo dejando referencias por si se requiere algún replanteamiento.

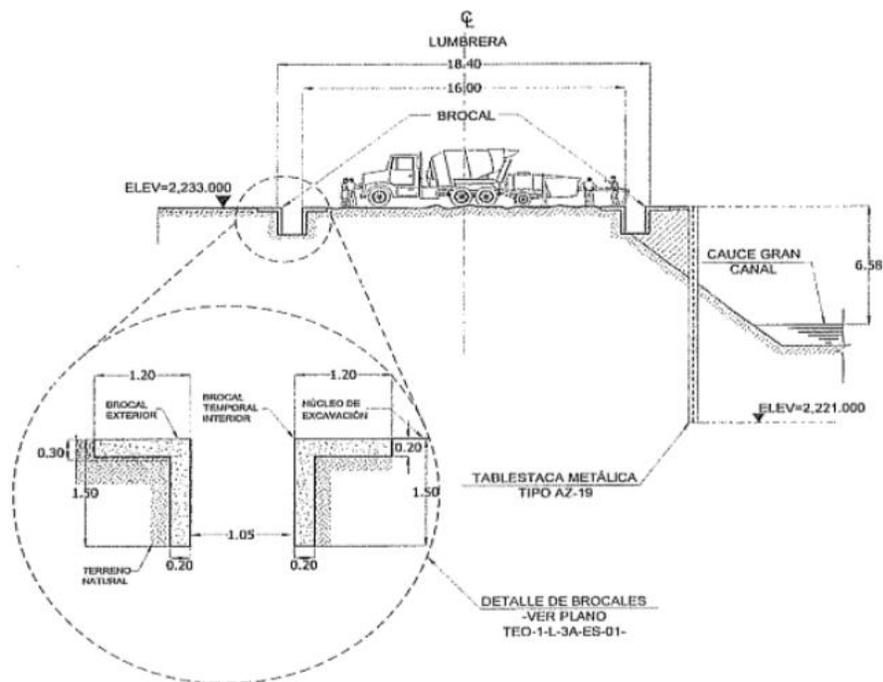


Fig.3.1. Detalle Brocal Interior Y Exterior Lumbreira 3-A  
Fuente. Lumbreira 5 Túnel Emisor Oriente

#### III.1.2 Excavación Para La Construcción De Brocales

Se realiza la excavación por medios manuales para alojar brocal interior siguiendo el trazo topográfico y detallando el corte que se presenta, debido al detalle para la excavación se decide realizarlo de forma manual para no presentar demoras o sobre-excavaciones durante las maniobras, el espesor del brocal es de 0.20 m y el ala de 1.20 m descontando el espesor de profundidad, posterior al llegar a la

profundidad de 1.60m se realiza el tendido de tepetate y con riego controlado se procede a compactar plantilla para la alojar acero de refuerzo.



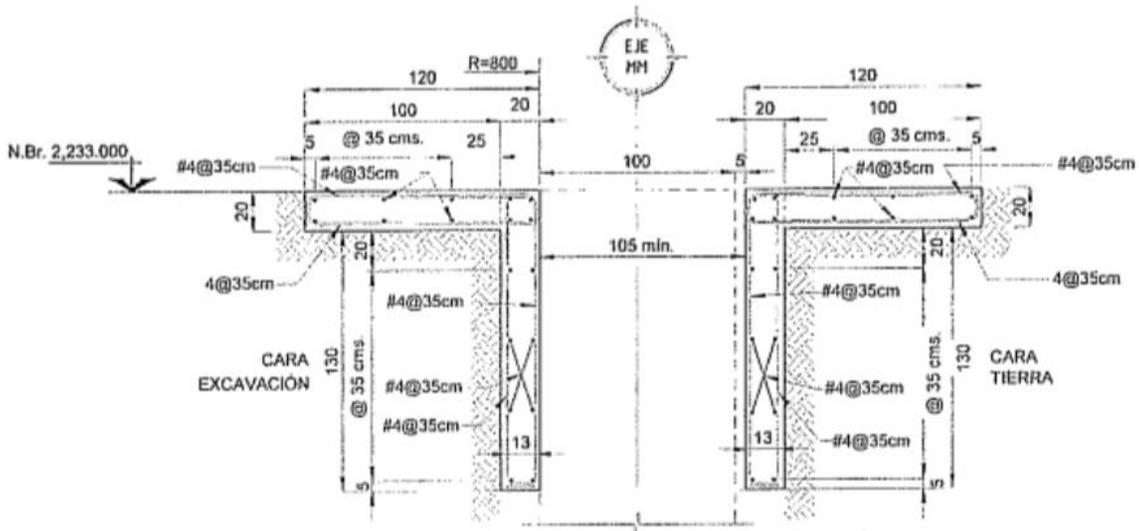
**Fig.3.2. Excavación Para La Construcción Del Brocal Interior  
Fuente. Lumbra 5 Túnel Emisor Oriente**



**Fig.3.3. Compactación De Plantilla En Excavación Para La Construcción De Brocales En L3-A  
Fuente. Lumbra 5 Túnel Emisor Oriente**

### III.1.3 Armado De Acero Para Brocal Interior Y Exterior

La excavación y compactación de plantilla se inicia con el armado de acero de refuerzo para brocal interior según proyecto.



**Fig.3.4. Detalle De Armado De Acero De Refuerzo Para Brocales L3-A  
Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente**



**Fig.3.5. Armado De Acero De Refuerzo Para Brocal Interior L3-A  
Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente**

### III.1.4 Cimbrado Para Construcción De Brocales

El cimbrado para la construcción del brocal interior se realiza en conjunto al armado de acero de refuerzo las dos actividades se logran desarrollar en conjunto, el cimbrado se realiza de manera convencional por medio de madera, se deben respetar y cuidar los recubrimientos de proyecto, de ser necesario utilizar separadores de concreto para evitar el contacto de la cimbra con el acero, la cimbra debe quedar estrictamente bien apuntalada para evitar que durante el desarrollo del colado se tengan movimientos derivados de la presión y/o vibración generados por la colocación de concreto.



**Fig.3.6. Colocación De Cimbra En Brocal Interior**  
**Fuente. Lumbra 5 Túnel Emisor Oriente**

### III.1.5 Colado De Brocal Interior Y Exterior

El colado del brocal interior y exterior se realizan con concreto de resistencia  $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$  con un revenimiento de  $14 \pm 2\text{cm}$ , cemento tipo CPC 30 RS y una relación agua cemento de 0.45, durante la colocación de concreto se tiene en obra 2 vibradores de chicote para el acomodo del concreto con la vibración necesaria.



**Fig.3.7. Colado De Brocal Interior L3-A**  
**Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente**



**Fig.3.8. Colocación Y Vibrado De Concreto Para El Colado De Brocal Interior**  
**Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente**

### III.1.6 Descimbrado De Brocal Interior Y Exterior

El retiro de la cimbra metálica se realiza al momento que el concreto puede auto soportarse.<sup>9</sup>

La construcción del Brocal exterior se inicia al momento del descimbre del Brocal interior, el proceso de construcción es igual al del brocal construido anteriormente.



**Fig.3.9. Armado De Acero De Refuerzo Del Brocal Exterior L3-A**  
**Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente**



**Fig.3.10. Detalle Del Brocal Interior Y Exterior L3-A**  
**Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente**

<sup>9</sup> Tesis Procedimiento Constructivo De La Lumbrera 5 En Suelos Mixtos Para La Construcción Del Túnel Emisor Oriente, Refugio Emilio Ortiz Cervantes, Ciudad De México Junio 2016.

### III.2 Instalación De Planta De Fabricación De Lodo Bentonítico.

#### III.2.1 Instalación De Mezcladora, Dosificadora, Silo, Tinacos Y Tanques Chinos De Planta De Lodos

Para la excavación de Muros Milán se debe contar con una planta para la fabricación de lodo Bentonítico el cual sirve como ademe en los Muros de la excavación, evita los caídos y la pérdida de la verticalidad, por lo que se realiza la instalación de una planta de lodos la cual cuenta con 3 tanques chinos, 1 desarenador, 1 compresor, 2 depósitos rectangulares, 5 bombas de lodos, 1 dosificadora MAT, 1 mezcladora, 1 silo de 60 ton y 5 tinacos de agua con capacidad de 25 m<sup>3</sup>, la capacidad de la planta de lodos va en función del volumen necesario para la excavación de los tableros del Muro Milán considerando un volumen extra por cualquier eventualidad que se llegase a presentar derivado por una posible pérdida de lodo por agrietamiento o filtración durante la excavación.

Se realiza el colado de firmes para los tanques chinos que almacenan el lodo Bentonítico, así como las conexiones eléctricas e hidráulicas de la planta de lodos para su correcto funcionamiento.

Una vez conectado se realizan pruebas de funcionamiento y operación con la finalidad de identificar y corregir fallas o problemas como fugas taponamientos, falta de conexiones eléctricas o hidráulicas.

#### III.2.2 Fabricación De Lodo Bentonítico

Para la fabricación de lodo Bentonítico se realiza el suministro de bentonita a granel la cual se almacén en silo de 60 ton, posteriormente la dosificadora baja la bentonita al mezclador donde se realiza la fabricación mezclado con agua y pasando a una bomba que la dirige hasta el tanque chino de almacenamiento donde se deja hidratar un periodo de 24 horas<sup>10</sup> para obtener la densidad

---

<sup>10</sup> Anexo 3 Especificaciones Generales Y Particulares Túnel Emisor Oriente, Secretaria Del Medio Ambiente Y Recursos Naturales, Conagua, Subdirección General De Agua Potable Drenaje Y Saneamiento, Gerencia De Infraestructura Hidráulica Pluvial, México. Pág. 66.

requerida, el lodo que se utiliza durante las excavaciones se logra recuperar una 60 % después de su primer uso, el cual se logra reutilizar para una segunda excavación pero antes de utilizarlo existen 3 tratamientos para su acondicionamiento: mecánico : por desarenador con un equipo 100 m<sup>3</sup>/h, Químico : por bicarbonato de sodio existente por contaminación de concreto y por adición: debido a contaminación por arcillas, el más común es de manera mecánica el cual se pasa a un desarenador para retirar el material fino existente que puede alterar sus condiciones de operación y obstruir las mangueras de conducción del mismo, si las condiciones del lodo después y antes de su uso no son conforme al proyecto se procede a desechar el lodo a tiro autorizado.

### III.2.3 Especificaciones Y Pruebas De Laboratorio Para Lodo Bentonítico

El lodo Bentonítico durante el desarrollo para la excavación de muros Milán debe permanecer controlado por laboratorio, el lodo es el ademe utilizado durante las excavaciones profundas en la construcción de los Muros Milán, de no tener un buen control en las características del lodo durante su fabricación hidratación y reutilización al momento de emplearse en la excavación se corre el riesgo de presentar, caídos o sobre excavaciones, el lodo utilizado durante la excavación de Muros Milán para lumbrera 3-A según proyecto:

- Viscosidad Marsh de 32 a 50 segundos.
- Densidad Mínima de 1.07 ton / m<sup>3</sup>
- Cake a 7'30" menor o igual a 3 mm
- PH de 7 a 11
- Contenido de arena menor o igual a 5 %

De no cumplir con las especificaciones anteriores el lodo Bentonítico se desecha trasladándolo al tiro autorizado por medio de camiones pipa para evitar su derrame en la zona de obra.



**Fig.3.11. Tanque Chino Utilizado Para La Hidratación Del Lodo Bentonítico  
Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente**



**Fig.3.12. Planta De Lodos En Lumbrera 3-A  
Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente**

### III.3 Construcción De Tableros Para Lumbrera Por Medio De Muro Milán

#### III.3.1 Excavación para construcción de tableros utilizando como ademe lodo Bentonítico

Concluido el confinamiento del campamento, el desvió de instalaciones, la construcción de brocales, el armado de la planta de lodos, se procede a la excavación de tableros para la conformación de muros de lumbrera por el método de Muros Milán.

La excavación se ejecuta conforme al planteamiento del número de tableros requeridos por el proyecto para la Lumbrera 3 – A, esto en función del diámetro de lumbrera, y el equipo guiado a utilizar, para la Lumbrera 3-A se plantearon 24 tableros de 2.70 x 1.0 m a una profundidad de 48.0 m.

Por medio del personal de topografía se realiza el trazo del tablero a excavar y la posición según proyecto.

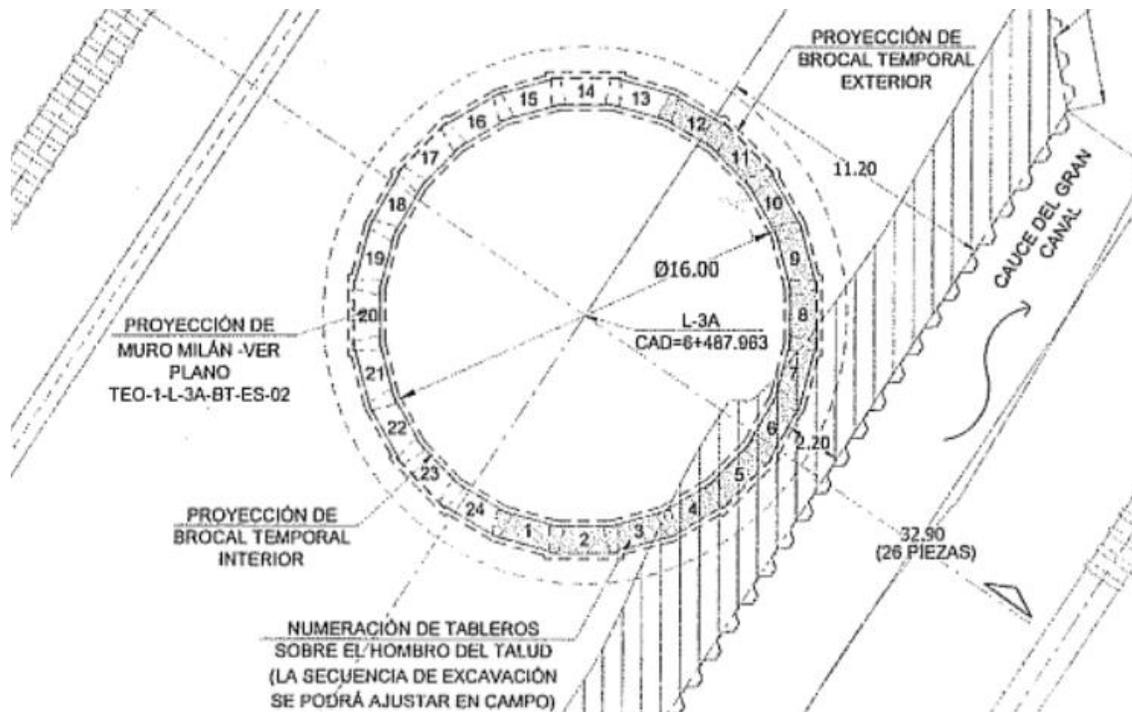
Para los trabajos de excavación se utiliza un equipo guiado con almeja de la marca Bauer MC 64.

La excavación se inicia por medio del equipo guiado y en posición del tablero a excavar, se cuenta con el volumen de bentonita total para el llenado del tablero y por si se llega a presentar alguna perdida por filtración o fuga, mientras se realiza la extracción del suelo al llegar a una profundidad de 4 metros, se procede a sustituir con lodo Bentonítico llenando la excavación con el lodo por medio de bombeo desde el tanque chino, el equipo guiado y personal maniobrista en obra cuidan la verticalidad por medio de plomadas para evitar que el muro se patee durante la excavación, entre más profundidad se debe cuidar mas la verticalidad, el nivel de lodo Bentonítico no debe estar por debajo de los 0.50 m del nivel superficial para evitar caídos por temperización, el suelo extraído es depositado a una lateral a los 90 ° de giro del equipo guiado , en esta zona de almacenamiento se tienen un cargador frontal realizando maniobras para la carga de camiones de volteo con material producto de excavación para su traslado inmediato a tiro autorizado.

Cabe mencionar que durante las excavaciones de los tableros en L3-A se presentó pérdida de lodo Bentonítico por filtración y por agrietamiento, en dichos casos de emergencia se cuenta en obra con costales de aserrín los cuales se vierte en el interior de la excavación en conjunto con el lodo Bentonítico lo cual funciona como obturante para el sellado de grietas y fisuras, cuando la pérdida de lodo continua pese a la utilización de aserrín se procede a verter algún gel especial para obturar el cual se expande con el contacto del agua, en caso de no contar con algún producto especial en obra se vierte directamente a la excavación bentonita en polvo o arena para buscar sellar filtración y evitar pérdida de lodo Bentonítico que puede provocar que la excavación falle.

El orden de la excavación de los tableros es aleatorio, lo que se busca es excavar un tablero en algún lado de la lumbrera y posteriormente cambiar a la lado contrario para no correr ningún riesgo teniendo dos excavaciones cercanas como por ejemplo excavar el tablero 1 y después el tablero 13 seguido del tablero 19 y así sucesivamente hasta concluir los 24 tableros. (ver Fig.3.13.)

Durante la excavación se verifica la profundidad con 1 sonda manual para mayor exactitud, algunos equipos guiados vienen equipados para tal finalidad, la verticalidad de la excavación se verifica cada 5 m con una boya que son 2 flotadores que se introducen a la excavación, de estar vertical la excavación permanecerán a la misma profundidad, en caso de que uno presente mayor emersión la excavación se está desviando por lo que se debe corregir.



**Fig.3.13. Planta, Tableros A Excavar Para Construcción De Muro Milán L3-A Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente**



**Fig.3.14. Excavación Del Muro Milán Tablero No 20 L3-A Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente**



**Fig.3.15. Verificación De Verticalidad De La Excavación Por Medio De Boyas**  
**Fuente. Luminera 5 Túnel Emisor Oriente**

La profundidad máxima de excavación debe contemplar una sobre-excavación de entre 0.10 y 0.20 m, para evitar que el acero de refuerzo tenga contacto con el terreno natural.

### III.3.2 Habilitado y Colocación De Junta CWS

Al finalizar la excavación de tablero se realiza la colocación de junta CWS<sup>11</sup> en la pared adyacente al tablero continuo, estas juntas tiene la capacidad llamada wáter stop, neopreno que se coloca en las juntas y sirve de junta de estanqueidad para evitar filtraciones entre los paneles del Milán la junta metálica sirve para dar

---

<sup>11</sup> Elaborado Con Apoyo De Datos De La Tesis Análisis, Diseño Y Construcción De La Subestructura Como Elemento De Contención Con Base En Muro Milán, De Un Edificio Con 12 Sótanos, Ubicado En Av. Paseo De La Reforma, Cd De México, UNAM, Sergio Daniel Villar Solares, noviembre 2014

soporte a la presión del concreto fresco sin permitir la deformación, proteger el panel ya colado de los impactos de la almeja y permitir la excavación del módulo adyacente, la junta se retira después del fraguado del tablero de esta forma la banda wáter stop se quedara ahogada en el concreto.

La junta CWS se coloca por medio de una junta metálica con una sección triangular de 1.0 m x 0.50 m de altura y una profundidad de 0.50, la cara principal se llena de clavos por medio de soldadura, se forra con poli-estireno de alta densidad y se coloca malla de gallinero en toda su longitud.



**Fig.3.16. Colocación De Clavos En Junta Metálica**  
**Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente**

La junta metálica sirve de cimbra en los extremos de los tableros excavados, se debe introducir la junta metálica suspendiéndose de los brocales sin apoyarse en el fondo de la excavación.

### III.3.3 Desarenado De Lodo Bentonítico En Excavación

Como se mencionó anteriormente el lodo Bentonítico después de utilizarlo para la sustitución de suelo durante la excavación, se realiza su recuperación después del vaciado de concreto, después de recuperado el lodo Bentonítico, se realizan

pruebas de laboratorio para verificar que continua cumpliendo con las características necesarias, generalmente durante el proyecto de Lumbrera 3-A constantemente se presentó con exceso de arena por lo que se realiza recirculación por la planta de lodos pasando por un desarenador hasta lograr las características de proyecto

#### III.3.4 Pruebas De Laboratorio A Lodo Bentonítico Desarenado

Las pruebas realizadas al lodo Bentonítico después de recircularlo por el desarenador al cabo de 4 horas, debe quedar en los parámetros según proyecto:

- Viscosidad Marsh de 32 a 50 segundos.
- Densidad Mínima de 1.07 ton / m<sup>3</sup>
- Cake a 7'30" menor o igual a 3 mm
- PH de 7 a 11
- Contenido de arena menor o igual a 5 %

De no cumplir con dichas características se desecha enviándolo en camiones pipa a tiro autorizado, el uso del lodo Bentonítico para la excavación de los paneles en lumbrera 3-A normalmente permitía de 1 a 2 usos y posteriormente era necesario desecharlo.

#### III.3.5 Habilitado Y Armado De Acero Para Muro Milán.

El armado de acero de refuerzo se realiza conforme al proyecto, previo al inicio del habilitado debe muestrearse el acero de refuerzo y verificar que cumpla con los aspectos de calidad mediante el certificado de laboratorio acreditado.

Para el muestreo de laboratorio se toman 2 varillas de una longitud aproximada de 2 m de cada lote suministrado verificando que sean del mismo, se envían a laboratorio para su muestreo, en el certificado de calidad debe incluir diámetro, área efectiva, peso por metro, limite elástico aparente, carga máxima, esfuerzo en

limite elástico y esfuerzo máximo en función del área real de la varilla, porcentaje de alargamiento y características de corrugado.

Posterior a tener resultados satisfactorios respecto al acero de refuerzo se inicia el habilitado y armado conforme al proyecto, los armados se desarrollan en el patio de maniobras, es importante para el habilitado de acero no utilizar equipo que comprometa la calidad del material.

Dentro del armado de acero de refuerzo se cuida que los traslapes no excedan el 33% de la misma sección, lo que se busca es que los traslapes sean en forma escalonada con un metro de desfase del mismo traslape.

### III.3.6 Izado De Armado Para Muro Milán

El armado de acero de refuerzo para Muros Milán para la L3-A se realiza en 2 tramos debido a la longitud, a cada sección se debe añadir ganchos de izaje para la maniobra al momento de su traslado, debido a que la sección completa se arma al momento de su colocación estos ganchos deben servir para evitar deformaciones en las parrillas y evitar que se dañe el acero durante las maniobras.

Posterior a concluir con el armado de la parrilla se realiza la colocación de separadores de concreto a cada 50 cm en ambas caras del armado para garantizar el recubrimiento mínimo de 5 cm, los separadores de concreto pueden ser prefabricados o colados en obra con concreto de las mismas características que el elemento.

Para su colocación y armado de las dos secciones, se realiza el izaje de la primer sección colocándola dentro de la excavación, dejando un 20 % de la sección en la parte superficial para su empate con la segunda sección, en esta excavación se colocan trampas como soporte en la parrilla colocada para sujetarse en la parte superficial de los brocales, se realiza el izaje de la segunda sección empatándola con la primera para realizar su armado en conjunto, posterior al empate y aseguramiento de ambas parrillas se procede a retirar las trampas de soporte de la primer parrilla para descender el armado completo al interior de la excavación.

Quedando el armado de acero dentro de la excavación se realiza el aseguramiento de la parrilla completa en la zona de brocales para evitar que el armado toque el fondo de la excavación.



**Fig.3.17. Empate De Las Dos Secciones De Armado Para Muro Milán L3-A**  
**Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente**



**Fig.3.18. Izaje De Armado De Acero De Refuerzo Para Muro Milán De L3-A  
Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente**

### III.3.7 Colado De Tablero Para Muro Milán Por Medio De Tubería Tremie

El colado de los Muros Milán se realiza enseguida de concluir con la colocación del acero de refuerzo, no es recomendable dejar excavaciones abiertas, para el desarrollo del colado de los tableros se utiliza tubería Tremie, para iniciar el colado desde la profundidad máxima e ir llenando hasta llegar a la parte superficial, de esta forma el concreto no corre peligro de segregarse por la profundidad ni de contaminarse.

Se realiza la colocación de 44 m de tubería Tremie dicha tubería se coloca por el espacio interior del armado de acero de refuerzo, si se tienen en obra dos líneas de tubería es recomendable colocar la tubería por los laterales del armado de refuerzo para ir vaciando en conjunto, el diámetro de la tubería es de 0.254m con tubos de 1 m y 3 m de longitud, colocada y asegurada la tubería se inicia el colado, se realiza el vaciado de lechada para lubricar la tubería, así se inicia el

vaciado de concreto, durante el vaciado el volumen de concreto que se vaya colocando en fondo de la excavación comenzara a desplazar el lodo Bentonítico hacia la superficie y por medio de bombeo se realiza la recuperación del lodo Bentonítico hacia algún tanque chino, es importante no permitir que el lodo baje más de 0.50 m por la parte superficial de tablero que se está colando para evitar se temperice el suelo, y al fallar pueda contaminar el concreto que se esta colocando, conforme se vaya vaciando concreto es importante cuidar el llenado del tablero en el fondo para evitar que el concreto llegue a obstruir el retiro de la línea de tubería o pueda provocar taponamiento por lo que entre el vaciado de concreto se debe ir chaqueteando la línea cuidando de que la tubería en el fondo de la excavación quede sumergida en el concreto ya colocado durante el vaciado del mismo, cuidando de que no quede atrapada por el mismo, conforme se va llenando la excavación es necesario ir cortando tubería, se colocan los tubos retirados en la rastrillera y nuevamente se vuelve a introducir hasta el fondo lo importante es no quitar más tubos de los necesarios para sumergirla en el último concreto vaciado, la línea de tubería que se introduce siempre debe entrar 1 m en el concreto ya colocado para evitar contaminación en los muros por material producto de excavación o por lodo Bentonítico, de esta forma se realiza el llenado de los tableros hasta llegar a la parte superficial concluyendo el colado, es importante considerar que el colado no debe parar hasta concluir al 100 %.

El concreto<sup>12</sup> utilizado para el colado de los Muros Milán es clase 1 estructural con Resistencia a la compresión simple  $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días de edad, para su fabricación se utiliza cemento resistente a los sulfatos y como mínimo 370 kg de cemento por metro cubico de concreto; el agregado grueso con tamaño máximo de 0.02 metros y peso volumétrico mayor de 2.6 ton /m<sup>3</sup>,el revenimiento considerado para el colado de los tableros es de 20 cm +/- 3.5 cm , el concreto debe ser auto-compactable.

---

<sup>12</sup> Anexo 3 Especificaciones Generales Y Particulares Túnel Emisor Oriente, Secretaria Del Medio Ambiente Y Recursos Naturales, Conagua, Subdirección General De Agua Potable Drenaje Y Saneamiento, Gerencia De Infraestructura Hidráulica Pluvial, México. Pág. 69.

Para el retiro del lodo Bentonítico en superficie se utiliza bomba de lodos marca Gorman para transportar el lodo recuperado hasta un tanque chino en la planta de lodos, de ser el segundo uso del lodo solo se recupera una parte y el resto se envía automáticamente a tiro autorizado.

Concluyendo el colado del tablero se procede a la excavación del tablero en la zona contraria de tener los tableros contrarios completos se debe dejar como mínimo un tablero de separación entre el colado y que se pretende excavar. Al concluir el colado es importante colocar rejillas de seguridad en la zona que se concluyó el colado para evitar accidentes al personal por las excavaciones abiertas, realizar limpieza en la zona, de colado frecuentemente, el lodo Bentonítico es un producto resbaloso que puede provocar accidentes cerca de la zona de excavación.



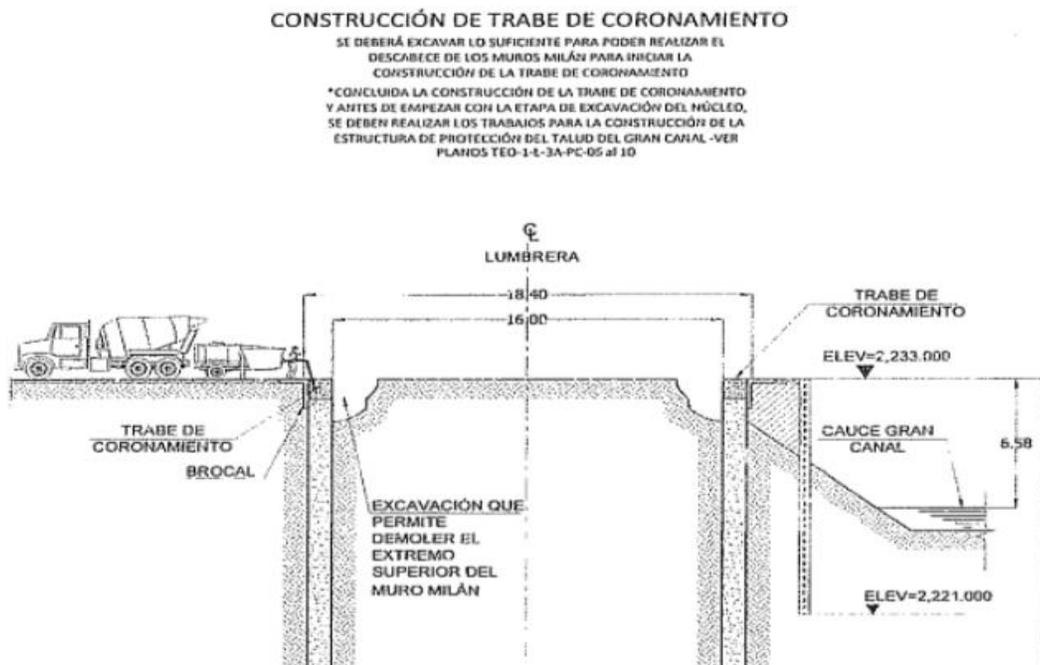
**Fig.3.19. Colado Con 2 Líneas De Tubería Tremie Para Muro Milán L3-A  
Fuente. Lumbra 5 Túnel Emisor Oriente**

### III.4 Construcción De Trabe De Coronamiento

#### III.4.1 Demolición De Brocal Interior Y Exterior

Concluidos los trabajos de colado de los 24 paneles de Muro Milán el brocal interior y exterior se demolerán, se realiza demolición (descabece) en el muro Milán hasta el nivel de proyecto en el cual se debe retirar el concreto contaminado para alojar y anclar el acero de refuerzo previamente habilitado para el armado de la trabe de coronamiento.

Para el descabece de muro Milán se debe excavar por la parte del núcleo de la Lumbreira pegado a la periferia interior para lograr descubrir el concreto y llegar a demoler el concreto a nivel de proyecto, es importante realizar limpieza fina en la zona para evitar contaminar el elemento durante el colado, de la misma forma se debe cuidar no dañar el acero durante la demolición. (Ver Fig. 3.20.)



**Fig.3.20. Detalle de la Trabe de Coronamiento**  
**Fuente. Lumbreira 5 Túnel Emisor Oriente**

### III.4.2 Habilitado Y Armado De Trabe De Coronamiento

Se realiza el armado de la Trabe de Coronamiento, el habilitado del acero debe realizarse con el equipo adecuado que no altere sus características, los traslapes deben ser máximo del 33 % en forma escalonada en la misma sección, se debe verificar que se cumpla con el recubrimiento mínimo de 5 cm de concreto.



**Fig.3.21. Retiro y Demolición del Brocal Exterior L3-A**  
Fuente. Lumbrera 5 túnel Emisor Oriente

### III.4.3 CIMBRADO DE TRABE DE CORONAMIENTO

Se coloca la cimbra de manera manual de igual forma que se cimbro para la construcción del brocal interno y externo, se debe cuidar se cumplan al menos con el espesor mínimo de 5 cm, de ser necesario se deben utilizar separadores de concreto para evitar dificultades para el recubrimiento.

### III.4.4 COLADO DE TRABE DE CORONAMIENTO

Se realiza el colado monolítico del brocal definitivo y la trabe de coronamiento con concreto<sup>13</sup> hidráulico  $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$  revenimiento  $18 \pm 3 \text{ cm}$ , se verifica que el acomodo de concreto se realice con la vibración necesaria para el retiro del aire atrapado, el exceso de vibrado puede segregar el concreto.

Para el colado de la trabe de coronamiento se cuenta con 2 vibradores de chicote neumáticos para el acomodo de concreto y retiro de aire atrapado.

El retiro de la cimbra se realiza cuando el concreto tenga la resistencia necesaria para auto soportarse.



**Fig.3.22. Colado de la Trabe de Coronamiento**  
**Fuente. Lumbra 5 Túnel Emisor Oriente**

<sup>13</sup> ANEXO 3 Especificaciones Generales Y Particulares Túnel Emisor Oriente, Secretaria Del Medio Ambiente Y Recursos Naturales, Conagua, Subdirección General De Agua Potable Drenaje Y Saneamiento, Gerencia De Infraestructura Hidráulica Pluvial, México. Pág. 69-72.



**Fig.3.23. Trabe de Coronamiento L3-A**  
**Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente**

## **CAPITULO IV MEJORAMIENTO DEL TERRENO, PLATAFORMA DE TRABAJO.**

### **IV.1 Mejoramiento De Plataforma En Superficie En Zona Del Portal De Entrada Y Salida De Túnel**

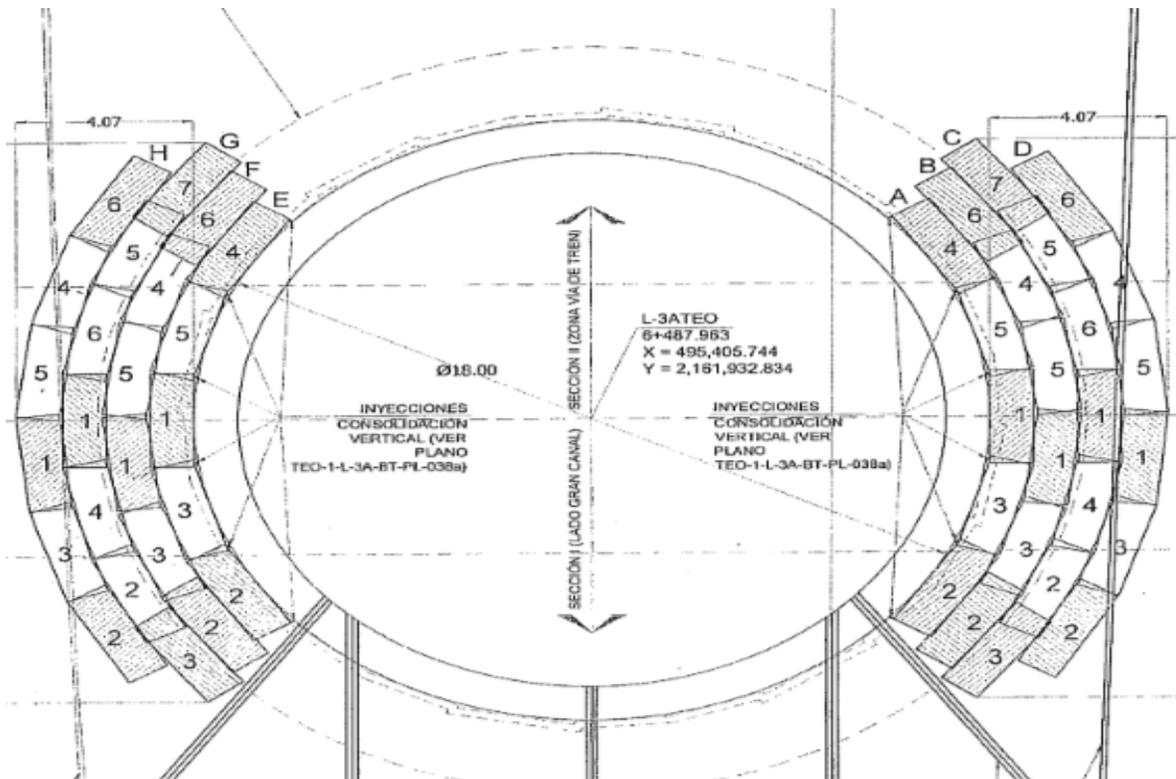
Debido a las condiciones del suelo limo arenoso, como protección del talud y del riesgo que se corre en el fondo de Lumbrera para la llegada de la Tuneladora a Lumbrera 3-A, se realiza un mejoramiento del terreno para dar soporte a la estructura, en superficie, así como la parte de la clave del túnel y en los Muros de Lumbrera para la llegada de la Tuneladora.

El mejoramiento del suelo se realiza con el mismo método utilizado para la construcción del Muro Milán, a excepción de que el tablero para el mejoramiento del terreno no lleva acero de refuerzo, la sustitución del suelo excavado se realizara con suelo-cemento (tepetate, agua y cemento) y la profundidad de excavación serán los 35 m para llegar a la parte de la clave del túnel sin obstruir el paso de la Tuneladora.

<sup>14</sup>Se propone proteger el Talud del Gran Canal mediante inclusiones rígidas en forma de tableros de 1.0x2.8 m de sección desplantadas a 15.7m de profundidad, medidos a partir del nivel de plataforma de trabajo 2,233.00; la distribución en planta de las inclusiones se propone sea a cada 4m a eje aproximadamente, en ambos sentidos, en tresbolillo. En la superficie se construirá una plataforma de trabajo constituida por un mejoramiento a base de suelo-cemento de 50cm de espesor que sub-yace a una losa estructural de 20cm de espesor.

---

<sup>14</sup> Análisis y Memoria de Cálculo Geotécnico Protección del Gran Canal considerando Inclusiones mediante tableros lumbrera L-3A Túnel Emisor Oriente, Ing. Sergio A. Martínez Galván, editado 11 nov 2011 pág. 7.



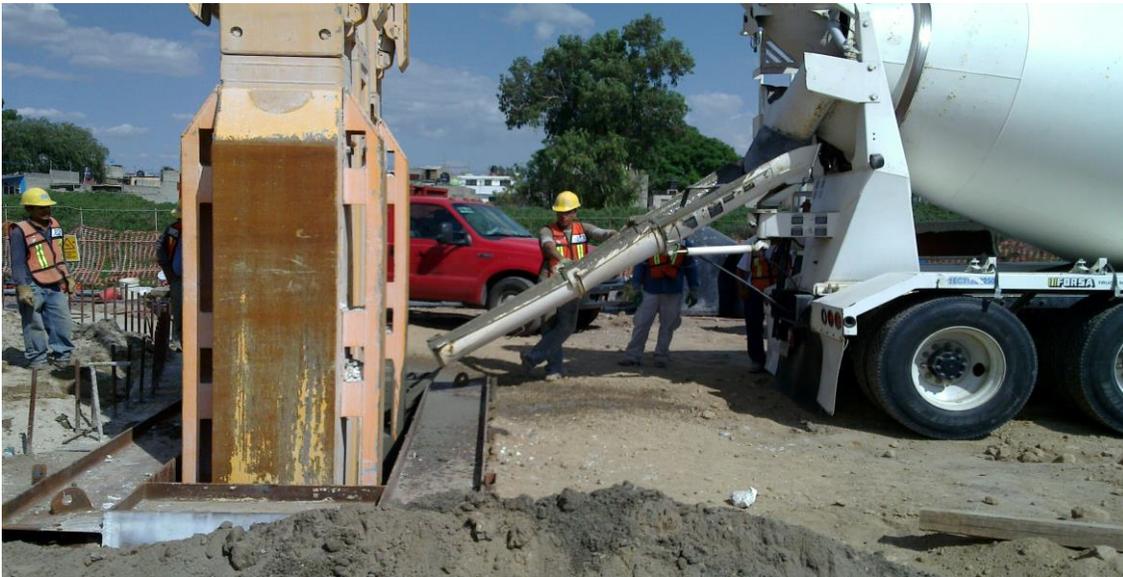
**Fig.4.1. Tableros Para Sustitución Del Suelo Por Lodo Fraguante**  
**Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente**

#### IV.2 Excavación Utilizando Lodo Bentonítico Como Ademe

El equipo de topografía se encarga del trazo de los tableros en la plataforma de maniobras.

La excavación para el mejoramiento del terreno se realiza por medio de la sustitución de suelo por lodo Fraguante ( lodo Bentonítico, cemento y agua), para la fabricación del lodo Fraguante se prepara el lodo Bentonítico en la planta de lodos se vierte en el mezclador de un camión revoladora adicionando el cemento mezclando por un periodo de 7 min, esta mezcla se coloca durante el desarrollo de la excavación sin permitir que el nivel del lodo Fraguante quede por debajo de los 0.50 cm, al concluir la excavación el lodo Fraguante se dejará reposar por un periodo no menor a 2 días, posteriormente se volverá a excavar dicho tablero

para realizar su relleno con lodo Bentonítico (agua y bentonita) como ademe, la excavación se realiza por medio de una almeja equipo guiado marca Bauer MC 64, durante la excavación es importante mantener el nivel de lodo Bentonítico para evitar que el material se temperice y provoque caídos, las características del lodo Bentonítico son las mencionadas anteriormente utilizadas para la excavación del Milán.



**Fig.4.2. Excavación Con Lodo Fraguante Para Mejoramiento Del Terreno**  
Fuente. Lumbra 5 Túnel Emisor Oriente

La excavación se realiza con lodo Fraguante con la finalidad de sellar posibles filtraciones y dar estabilidad a la excavación.

La profundidad de la excavación será a 35 m, durante la excavación no es necesario la junta CWS, solo se realizará una sustitución de suelo para su mejoramiento.

La forma para excavar los tableros según proyecto es en tresbolillo, para evitar excavar en un tablero recién colado

La profundidad de la excavación se verifica por medio del dispositivo que tiene el equipo de excavación, al llegar al fondo de la excavación se realizara la verificación por medio de 1 sonda manual y el sistema del equipo guiado.

La verticalidad de la excavación se monitorea por la posición de los cables de suspensión de la almeja y las mangueras hidráulicas con respecto al escantillón, adicionalmente se realiza la verificación con sistema de boyas.

Para el inicio de la excavación se debe colocar escantillón en la parte superficial, el material producto de excavación es retirado por medio de camiones de volteo a tiro autorizado, no se permite el almacenamiento de material en obra.

#### IV.3 Colado De Tableros Con Suelo- Cemento Por Medio De Tubería Tremie <sup>15</sup>

Al concluir con la excavación de los tableros se procede al colado del tablero por medio de suelo cemento ( tepetate, cemento agua y aditivo ) se realiza la colocación de tubería Tremie en el interior de la excavación hasta una profundidad de 34 m, la tubería es de 0.254m de diámetro con tubos de 1 m y 3 m de longitud, se realiza la fabricación de lechada en la planta de lodos el cual se bombea hasta el mezclador de un camión revoladora donde se agrega el tepetate, mezclando por un periodo de 7 min, para su posterior vaciado.

La dosificación para 1 m<sup>3</sup> de suelo cemento: 110 kg cemento, 1050 kg de tepetate, 437 lts de agua y 1.77 kg aditivo FSR.

Las características del lodo Bentonítico para su uso y recuperación: Viscosidad Marsh de 32 a 50 segundos, densidad Mínima de 1.07 ton / m<sup>3</sup>, cake a 7'30" menor o igual a 3 mph de 7 a 11, contenido de arena menor o igual a 5 %

---

<sup>15</sup> Anexo 3 especificaciones generales y particulares Túnel Emisor Oriente, Secretaria del medio Ambiente y Recursos Naturales, CONAGUA, subdirección general de agua potable drenaje y saneamiento, gerencia de infraestructura hidráulica pluvial, México. Pág. 74.

La prueba a la compresión simple es de 25 kg/ cm<sup>2</sup>

Durante el colado del tablero de ser posible se realiza la recuperación del lodo Bentonítico según sus características de lo contrario se retira a tiro autorizado por medio de camiones pipa.

Se realiza el vaciado de suelo cemento en el tablero cuidando y verificando la profundidad teórica con lo físico en obra, el colado por medio de tubería Tremie inicia llenando desde la parte más profunda hasta la superficial sin permitir la contaminación del elemento, por lo que es de importancia mantener la tubería 1 m dentro del suelo cemento en el interior de la excavación, conforme se va llenando se va cortando tubería, en obra se cuenta con rastrilleras para ir colocando los tubos retirados, al concluir el colado del tablero se realiza la excavación de algún tablero no colindante

El procedimiento es el mismo aplicado para la construcción de Muro Milán, solo se realiza el cambio de materiales de relleno para el colado

## CAPITULO V CONSTRUCCIÓN DE LUMBRERA 3-A.

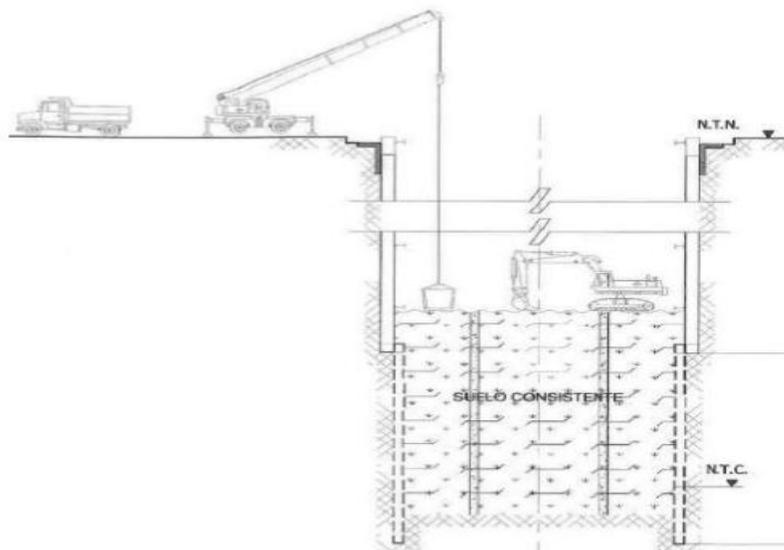
### V.1 Excavación Del Núcleo De Lumbrera 3-A

#### V.1.1 Excavación Del Núcleo Primera Etapa Del Nivel De Trabe De Coronamiento Al Nivel De Anillo De Rigidez

La excavación del núcleo de lumbrera se realiza en 2 etapas, la etapa 1 comprende desde el nivel superficie hasta los -31.80 m donde se construye anillo de Rigidez.

La excavación del nucleó de Lumbrera se realiza con excavadora Caterpillar 323D, rezagando el material a superficie por medio de la grúa link belt 218 con un bote de rezaga de 4 m<sup>3</sup>, en superficie se tiene camiones de volteo con una capacidad de 32 m<sup>3</sup> para el retiro de material producto de excavación, la excavación se realiza en secciones para permitir que la maquina vaya bajando en conjunto conforme vaya excavando.

Durante la excavación del núcleo se deben evitar el daño a las paredes del Muro Milán con el bote de la excavadora.



**Fig.5.1. Excavación del Núcleo de Lumbrera 3-A**  
Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente

### V.1.2 Excavación Del Núcleo Segunda Etapa Del Nivel De Anillo De Rigidez Al Nivel De Desplante De Losa De Fondo

La segunda etapa de la excavación del núcleo se realiza al concluir con la construcción del anillo de rigidez, la excavación se realiza con el mismo equipo utilizado para la etapa 1, excavadora cat 323D , 1 grúa link belt 218 1 bote de 4 m<sup>3</sup> , al llegar al nivel de losa de fondo el cual será monitoreado por el personal de topografía se realiza apisonado y colocación de plantilla para el cierre de la excavación y poder desplantar el acero de refuerzo para el anclaje de la losa de fondo, la excavación del núcleo en la segunda etapa contempla desde el anillo de rigidez hasta el nivel de desplante de losa de fondo de los - 32.28 m hasta los - 48 m.

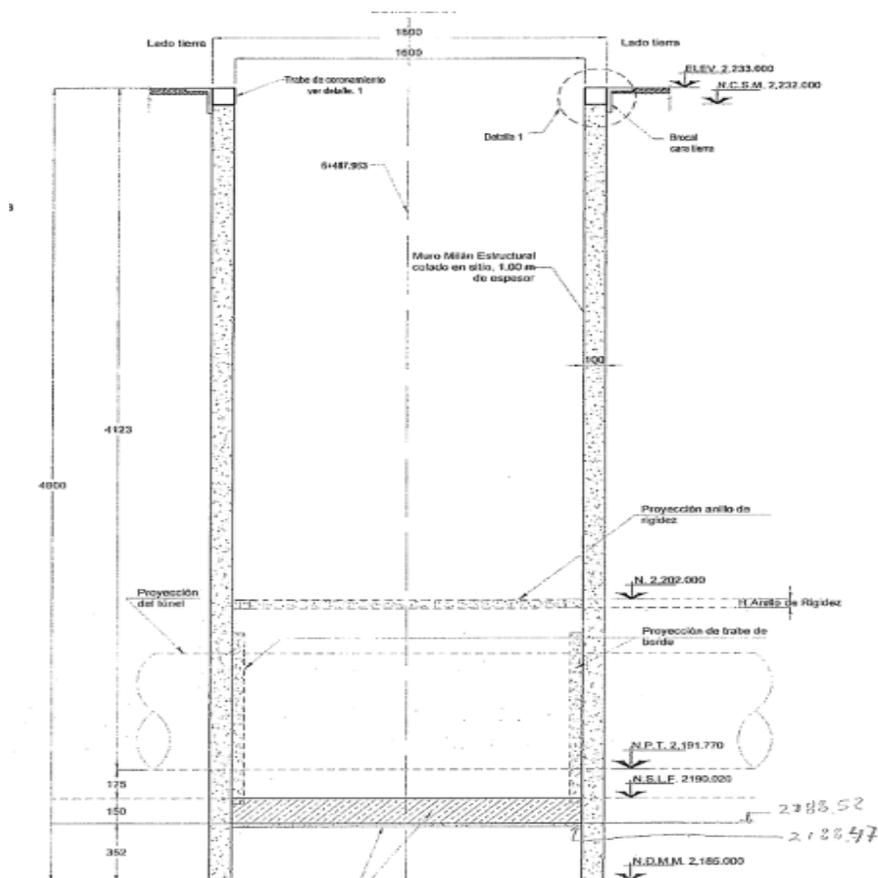


**Fig.5.2. Planta, Excavación Del Núcleo De Lumbrera 3-A  
Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente**

## V.2 Construcción De Anillo De Rigidez

### V.2.1 Construcción Del Anillo De Rigidez

La excavación del núcleo se suspende momentáneamente para la construcción del anillo de rigidez a los -32.28 m de lumbreira, el anillo de rigidez funciona de soporte para los esfuerzos en lumbreira, es un anillo de refuerzo, el cual brinda estabilidad durante la llegada del escudo EPB por ambos portales.



**Fig.5.3. Detalle Del Nivel Del Anillo De Rigidez L3-A**  
**Fuente. Lumbreira 5 Túnel Emisor Oriente**

## V.2.2 Colocación De Anclas Al Nivel De Anillo De Rigidez<sup>16</sup>

Se realiza la barrenación en la periferia de la lumbrera por medio de roto-martillo con una separación de 50 cm a una profundidad de 20 cm cada barreno, posterior a la barrenación se realiza la limpieza por medio de aire en el interior de los barrenos para realizar el retiro del polvo que pueda afectar la adherencia del producto, se procede al habilitado de varillas de 1" y 1 1/2" con una longitud de 50 cm, para continuar con su fijación por medio de material epóxico el cual se aplica en el interior del barreno colocando posteriormente la varilla, el producto actúa en un lapso de 15 min para su secado.

Se procede a la demolición para descubrir acero de refuerzo del Muro Milán para el anclaje del anillo de rigidez, se procede al colado de plantilla para el desplante del anillo de rigidez, el colado de plantilla se realiza con concreto premezclado con resistencia  $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$ .



**Fig.5.4. Anclaje Del Muro Milán Con El Acero De Refuerzo Del Anillo De Rigidez  
Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente**

<sup>16</sup> Anexo 3 Especificaciones Generales Y Particulares Túnel Emisor Oriente, Secretaria Del Medio Ambiente Y Recursos Naturales, Conagua, Subdirección General De Agua Potable Drenaje Y Saneamiento, Gerencia De Infraestructura Hidráulica Pluvial, México. Pág. 97.

### V.2.3 Habilitado Y Armado De Anillo De Rigidez

Se realiza el habilitado y armado de acero de refuerzo conforme a proyecto, anclando en el acero descubierto del Muro Milán el anillo armado, se fijara en las anclas colocadas, el espesor del anillo es de 50 cm.

Es importante verificar que el acero no se encuentre deformado ni contaminado por aceites o cualquier sustancia que afecte la adherencia del concreto.



**Fig.5.5. Planta, Armado De Acero De Refuerzo Y Cimbrado Del Anillo De Rigidez**  
Fuente. Lumbra 5 Túnel Emisor Oriente

### V.2.4 Cimbrado De Anillo De Rigidez

Para el cimbrado del anillo de rigidez se realiza la colocación de una frontera a base de tabloncitos, sujeta por medio de polines, se coloca en toda la periferia del anillo para evitar el derrame de concreto, la cimbra puede retirarse cuando el concreto logre auto soportarse.

### V.2.5 Colado De Anillo De Rigidez

El colado del anillo de rigidez se realiza con concreto estructura clase 1 de resistencia  $f'c = 350\text{kg/cm}^2$ , para el acomodo del concreto se utilizan 2 vibradores neumáticos de chicote, se debe cuidar que el concreto penetre en todas las zonas al mismo tiempo de ir vibrando para retirar el aire atrapado, importe tener cuidado con el exceso de vibración que puede provocar desprendimientos de cimbra o segregación del concreto.

Se utilizan 6 m<sup>3</sup> de concreto para el colado del anillo de rigidez

Posterior al fraguado se realiza el retiro de la cimbra y se procede a curar el concreto aplicando curasil en toda la superficie del concreto en dos capas.

## V.3 Construcción De Losa De Fondo

### V.3.1 Habilitado Y Armado De Losa De Fondo

Al concluir con la segunda etapa se realiza apisonado para dar nivel final en fondo de lumbrera, se realiza un colado de plantilla de 0.05 m de espesor, se procede a realizar el trazo topográfico de la losa de fondo, iniciando con el habilitado y armado de acero de refuerzo de la losa de fondo de lumbrera, el acero de refuerzo tiene un esfuerzo de fluencia  $f_y = 4200\text{ kg/cm}^2$ , antes del inicio del habilitado debe realizarse el muestreo de acero conforme a las Normas Técnicas Complementarias Para El Diseño Y Construcción De Estructuras De Concreto Del Df y en el Anexo 10<sup>a</sup> Términos De Referencia De La Subdirección General De Agua Potable Drenaje Y Saneamiento De La Coordinación General De Proyectos De Saneamiento Del Valle De México Noviembre 2008.

Se realiza el armado de parrillas conforme a proyecto, se puede dar continuidad al acero de refuerzo por medio de conectores o bulbos de soldadura, evitando los traslapes en la misma sección.

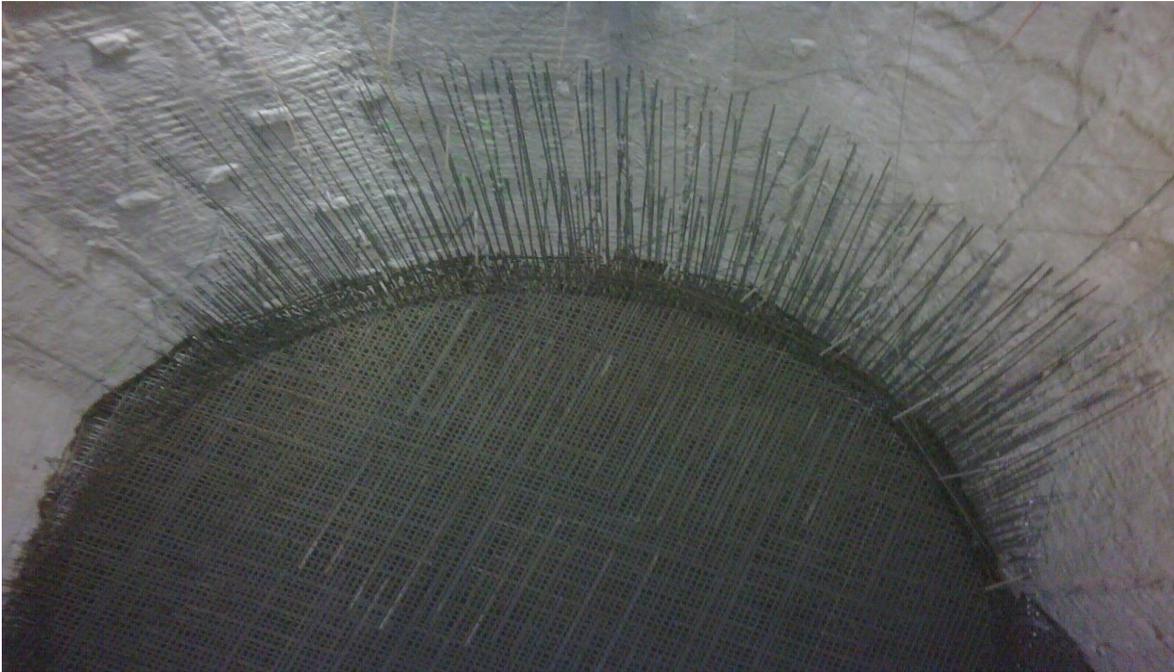
El armado del lecho inferior de acero de refuerzo no debe tener contacto con el terreno natural, por lo que es necesario colocar separadores o silletas para evitar lo anterior.

El armado de acero de refuerzo se desarrolla con varilla del No 10 a cada 0.20 m de forma radial, se colocan referencias para el terminado de concreto.

Los dobleces deben ser en frío no se debe ocupar ningún equipo que pueda modificar las condiciones o características de los materiales



**Fig.5.6. Armado De Acero De Refuerzo Losa De Fondo L3-A  
Fuente. Lumbreira 5 Túnel Emisor Oriente**



**Fig.5.7. Planta, armado de acero de refuerzo losa de fondo L3-A**  
**Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente**

<sup>17</sup>El acero de refuerzo deberá llegar a la obra libre de oxidación, exento de grasa, quiebres, escamas, hojaduras y deformaciones en su sección, las varillas de refuerzo deberán ser de los grados solicitados.

Cuando el acero de refuerzo se haya oxidado o deteriorado por haber permanecido en almacenaje un tiempo considerable, se deben verificar las condiciones del material mediante un laboratorio acreditado, si el acero es aceptable se deberá hacer limpieza del mismo por medios mecánicos, los cuales pueden ser por chorro de arena, cepillo de alambre o pulidoras con cerda de alambre trenzado.

---

<sup>17</sup> Anexo 3 Especificaciones Generales Y Particulares Túnel Emisor Oriente, Secretaria Del Medio Ambiente Y Recursos Naturales, Conagua, Subdirección General De Agua Potable Drenaje Y Saneamiento, Gerencia De Infraestructura Hidráulica Pluvial, México. Pág. 35.

### V.3.2 Colado De Losa De Fondo Por Medio De Tubería Telescópica

Para el colado de la losa de fondo el concreto es de tipo estructural con resistencia la compresión simple en muestras cilíndricas de  $350 \text{ kg/ cm}^2$ , se usa Cemento tipo CPC 40 RS con una dosificación de  $375 \text{ Kg/ m}^3$  de concreto. El concreto es clase 1 por lo tanto los agregados son tales que el Peso Volumétrico para el concreto simple en estado fresco es superior a  $2.2 \text{ t/m}^3$ ,

La relación agua cemento no es mayor a 0.45 y el tamaño del agregado 2.0 cm, revenimiento  $18 \pm 3.5 \text{ cm}$ , el volumen colocado de concreto para losa de fondo es de  $310 \text{ m}^3$ .

Posterior al fraguado se realiza el curado dejando un espejo de agua constante de 15 cm para evitar la deshidratación del elemento.

Para el colado de la losa de fondo se utiliza una bomba estacionaria con tubería telescópica y un neopreno en la punta para la colocación de concreto, se utilizan 4 vibradores neumáticos de chicote para la correcta colocación del concreto y equipo manual.



**Fig.5.8. Colado De Losa De Fondo De Lumbreira 3-A**  
**Fuente. Lumbreira 5 Túnel Emisor Oriente**



**Fig.5.9. Vibrado Para La Colocación De Concreto De La Losa De Fondo L3-A**  
**Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente**

## CAPITULO VI REVESTIMIENTO DEFINITIVO DE LUMBRERA 3-A

### VI.1 Habilitado Y Armado De Acero Para Revestimiento Definitivo

Para la construcción del Revestimiento Definitivo de Lumbrera se dejan disparos de anclaje ( varillas ) en la losa de fondo para anclar el Revestimiento, posteriormente se realiza la colocación de anclas en Muro de Lumbrera, realizando la barrenación con una profundidad de 20 cm a cada 50 cm de separación, posterior a la barrenación se realiza limpieza de los barrenos por medio de aire a presión, con la barrenación sin presencia de polvo se realiza la colocación de varillas de 1" por medio de material epóxico.

Respecto al acero de refuerzo debe tener un límite de fluencia  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ . Las varillas se doblan en frío, no se debe traslapar el acero en la misma sección más de 33 %, las varillas del No 8 o mayores, se emplear conectores mecánicos roscados para la unión de varillas, se realiza la colocación de referencias para ubicar la posición de la cimbra y los niveles de desplante de acero de refuerzo del muro del revestimiento definitivo con ayuda del personal de topografía.

Se inicia con el armado de acero de refuerzo previamente habilitado, se debe vigilar la verticalidad y el que los niveles del armado de acero de refuerzo no interfieran con el paso de la cimbra deslizante, el armado se inicia desde el fondo de lumbrera en el anclaje con la losa de fondo y posteriormente se concluye en la parte superficial.

Se debe colocar separadores de concreto para cumplir con los recubrimientos de proyecto, durante el armado de acero de refuerzo se deben dejar las preparaciones para el armado de los portales para la salida de la Tuneladora.

Es de importancia vigilar que el personal herrero que realizan las maniobras para el armado de acero de refuerzo cuente con el equipo de seguridad necesario (arnés, cuerda de vida, casco, gafas etc.) para prevenir accidentes.

Se construye para el armado de acero de refuerzo un andamio circular para el desplazamiento del personal y armado de acero.



**Fig.6.1. Planta, Armado De Acero De Refuerzo Del Revestimiento Definitivo De L3-A**  
Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente

## **VI.2 Habilitado Y Armado De Cimbra Deslizante**

Para el colado del revestimiento definitivo se utiliza una cimbra deslizante la cual se habilita y arma en superficie para verificar diámetros y funcionamiento de la misma, en el brocal de lumbrera se colocan 28 estructuras utilizadas como soporte de los gatos hidráulicos y barras del sistema para realizar el deslizado e izaje de la cimbra.

La cimbra deslizante debe mantenerse en posición tanto vertical como horizontal para soportar todas las maniobras para la colocación del concreto, se deben realizar pruebas de funcionamiento previo sobre el deslizado para la revisión y detección de fallas antes de tener el concreto en obra.

La cimbra deslizante debe tener una zona para resguardar al personal durante los trabajos para el deslizado de la cimbra.

La cimbra deslizante se conforma de una sección de placa que conforman una circunferencia de 1.50 m de altura soportada por 28 gatos hidráulicos y una plataforma en la parte superior e inferior de la cimbra metálica para el personal durante el desarrollo del colado.



**Fig.6.2. Estructura De Soporte De Gatos Hidráulicos En Superficie De Lumbra**  
**Fuente. Lumbra 5 Túnel Emisor Oriente**

### VI.3 Colado De Revestimiento Definitivo Por Medio De Cimbra Deslizante

Para el colado del Revestimiento Definitivo de Lumbra 3-A, se utilizó una bomba en camión con tubería telescópica tipo pluma para el transporte del concreto al fondo de lumbra, el Revestimiento Definitivo tiene un espesor de 0.85 cm, el concreto utilizado es clase 1 tipo estructura con resistencia de  $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$  con relación agua-cemento de 0.45 elaborado con cemento tipo CPC 40 RS.



**Fig.6.3. Colado Del Revestimiento Definitivo Con Cimbra Deslizante En L3-A  
Fuente. Lumbra 5 Túnel Emisor Oriente**

<sup>18</sup>Para el colado del Revestimiento Definitivo se requiere que el concreto sea colocado antes de 90 min posteriores a su mezclado, debido a que el proceso de fraguado ya está iniciando en este periodo y sería complicado colocarlo durante el deslizado, una vez iniciado el colado debe ser continuo el suministro de concreto hasta el cierre del colado, la velocidad de colocación del concreto debe mantener el estado plástico de la mezcla, no se debe colocar concreto a caída libre para evitar la segregación del mismo, para la colocación se cuenta con 6 vibradores

---

<sup>18</sup> Anexo 3 Especificaciones Generales Y Particulares Túnel Emisor Oriente, Secretaría Del Medio Ambiente Y Recursos Naturales, Conagua, Subdirección General De Agua Potable Drenaje Y Saneamiento, Gerencia De Infraestructura Hidráulica Pluvial, México. Pág. 61

de neumáticos de inmersión, se deben mantener ciertos cuidados de evitar que los vibradores tengan contacto con la cimbra o el acero de refuerzo ya que puede afectar las condiciones del concreto que se encuentre en proceso de fraguado.

Para el deslizado del Revestimiento Definitivo se inicia con el vaciado de lechada en la línea de transporte de concreto con la finalidad de lubricarla y evitar taponamientos durante el vaciado de concreto, posterior al vaciado del lechada se inicia con el bombeo de concreto, se debe ir colocando el concreto en toda la periférica de la cimbra metálica en conjunto se debe ir vibrando para retirar el aire atrapado en el concreto, posterior al llenado de la cimbra en su totalidad se ira deslizando lentamente a la parte superior una vez que el concreto pueda auto-soportarse, el deslizado se realiza 0.75 cm cada 3 horas aproximadamente con ayuda de los 28 gatos hidráulicos y la centralina, una vez deslizada la cimbra metálica, personal albañil sobre un andador en la parte baja de la cimbra realiza el acabado final (chuleado) con el cual se reparan los defectos en el acabado tales como oquedades acero expuesto, burbujeo y/o apanalamientos.

El proceso de colado concluye hasta llegar a la superficie o en su defecto a los niveles marcados por topografía como fin de colado.



**Fig.6.4. Colado Del Revestimiento Definitivo De Lumbraera**  
**Fuente. Lumbraera 5 Túnel Emisor Oriente**



**Fig.6.5. Chuleado Del Revestimiento Definitivo En L3-A  
Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente**

## CAPITULO VII CONSTRUCCIÓN DE PORTALES PARA LLEGADA DE TUNELADORAS Y CUNA DE ARRASTRE

### VII.1 Armado De Acero Para Portal De Entrada Y De Salida

Durante el armado de acero de refuerzo para el Revestimiento Definitivo de Lumbreira se dejaron las preparaciones para la construcción de las traves de los portales de salida y entrada, el armado de las traves para los portales de entrada y salida se realiza conforme a proyecto.

Las recomendaciones sobre el manejo del acero de refuerzo es el mismo utilizado en los capítulos anteriores.

Las traves para los portales de entrada y salida sirven como estructura de soporte para el paso de la Tuneladora por el muro Milán de lumbreira, tanto para la entrada como para la salida del escudo.

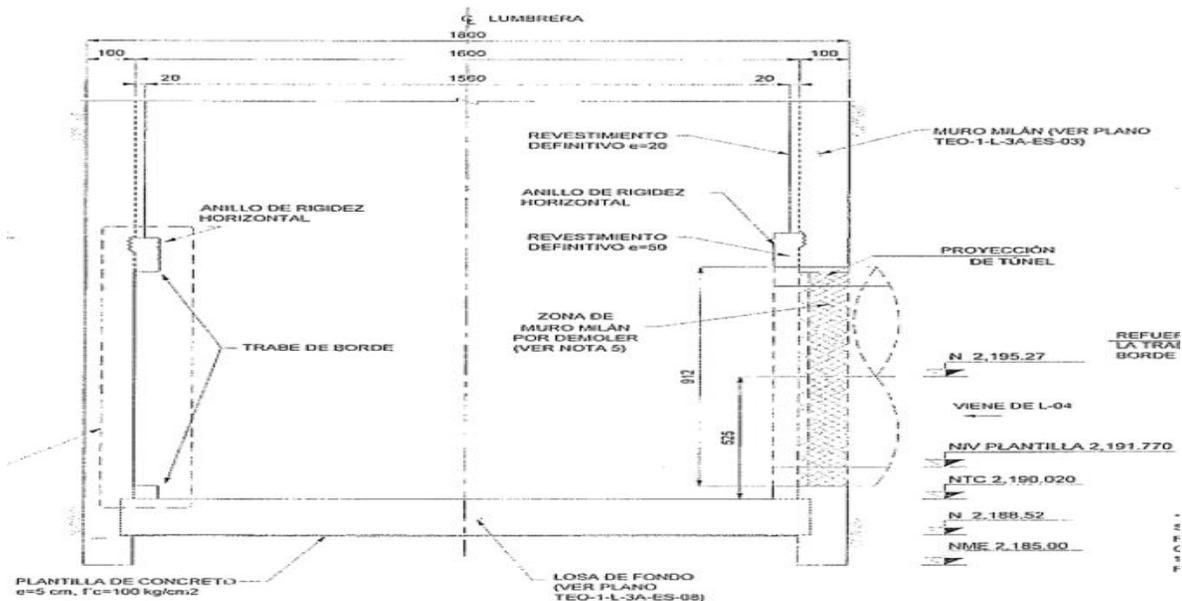
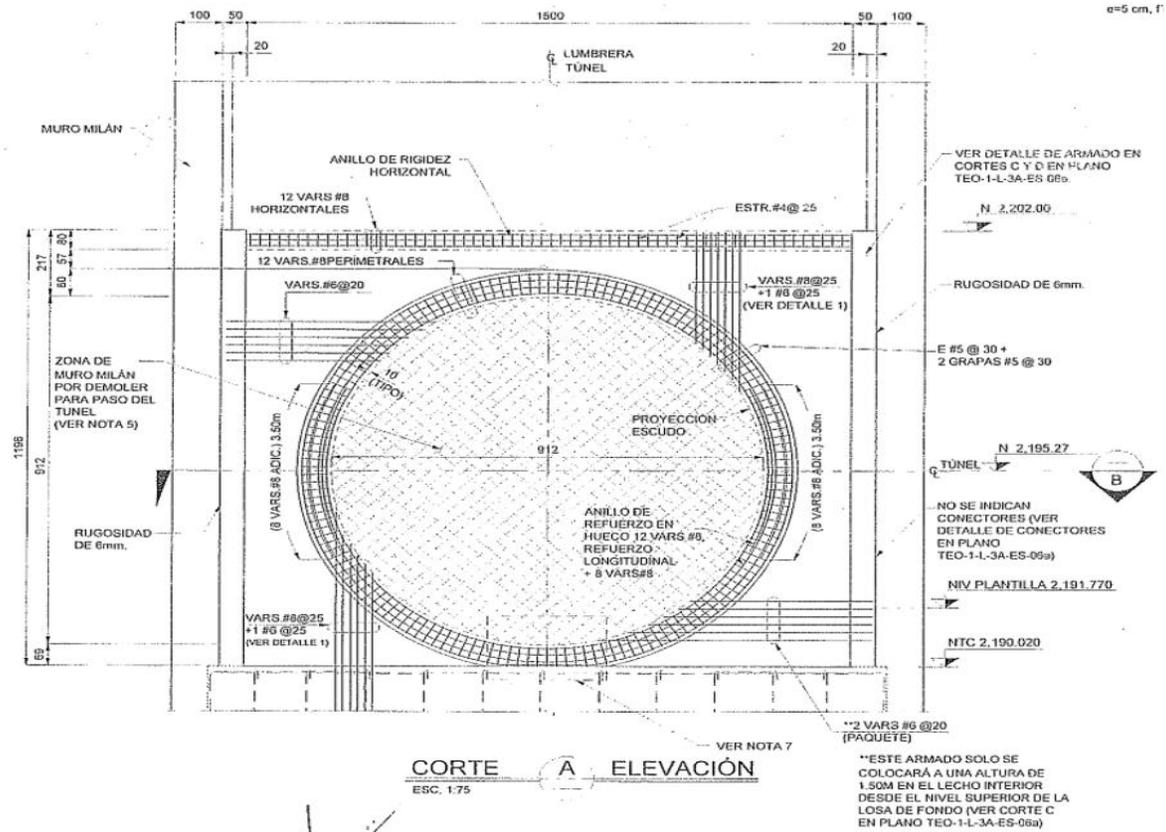


Fig.7.1. Corte, Proyección Portal De Salida De Lumbreira  
Fuente. Lumbreira 5 Túnel Emisor Oriente



**Fig.7.2. Planta, Armado De Acero De Refuerzo Portal De Salida L3-A**  
Fuente. Lumbreira 5 Túnel Emisor Oriente

El habilitado de acero de refuerzo se realiza en la parte superficial de lumbreira, es importante evitar el uso de cualquier equipo de corte que altere las características del material, realizar los dobleces en frio, los traslapes no deben ser mayores al 33 % en la misma sección, el acero utilizado se debe muestrear para verificar la calidad del material, para el inicio del armado de acero de refuerzo se realiza su descenso al fondo de lumbreira, se realiza la colocación de anclas de soporte, por medio de barrenación y aplicación de material epoxico para sujeción del acero, el armado se realiza en dos lechos, respetando las referencias topográficas.

## VII.2 Cimbrado De Portal De Entrada Y Salida

Una vez concluido el armado de acero de refuerzo para las trabes de los portales, se realiza escarificado por medio de rompedoras neumáticas en la periferia del Muro Milán donde se construirán los portales de entrada y salida, se realiza el retiro de polvo por medio de aire, el escarificado entre el concreto ya colocado y el que se colocara se utilizara para tener una adherencia entre los dos concreto, además de que antes del vaciado se realiza la aplicación de 1 membrana para garantizar la unión entre los dos concretos, se realiza la colocación de cimbra respetando los recubrimientos marcados por el personal de topografía, los recubrimientos mínimos del acero de refuerzo deben ser de 5 cm , la colocación de la cimbra se realiza de manera circular, se realiza su trazo en planta en la superficie de lumbrera para realizar el habilitado de cimbra y posteriormente teniendo los elementos completos, se procede a realizar su descenso al fondo de lumbrera, donde se procede a su colocación y su detallado, es importante asegurar la unión entre secciones, se debe garantizar que durante el vaciado de concreto no presente flexión ni deformación y soporte la presión ejercida por el concreto, durante el habilitado de cimbra se dejan ventanas en la cimbra, para ir llenando con el concreto, en dichas ventanas se debe garantizar que sean de fácil acceso, tengan las dimensiones necesarias para no derramar concreto fuera de la cimbra durante su vaciado, sean de cerrado y sellado rápido, las ventanas utilizadas para el colado de los portales de salida y entrada son de 0.30 m x 0.30 m.



**Fig.7.3. Planta, Construcción Del Portal De Entrada L3-A  
Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente**



**Fig.7.4. Colocación De Cimbra De Contacto Portal De Entrada L3-A  
Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente**

### VII.3 Colado De Portal De Entrada Y Salida

Para el colado de las trabes de los portales de lumbrera, se utiliza una bacha de 4 m<sup>3</sup> de capacidad para el descenso de concreto desde la superficie hasta el fondo de lumbrera, antes del vaciado de concreto se realiza la colocación membrana por las ventanas de la cimbra para la zona de contacto entre los dos concretos, posterior de la colocación de la membrana se inicia el vaciado de concreto iniciando por las ventanas inferiores, para el acomodo y retiro de aire atrapado en el concreto se cuenta con 3 vibradores neumáticos de inmersión, durante el vaciado de concreto se realiza el vibrado directamente en el concreto, en algunos casos es imposible tener en contacto directamente con el concreto para su vibrado por lo que se realiza el vibrado directamente en las paredes de la cimbra colocada, se debe cuidar el sobre-vibrado para evitar segregar el concreto y/o realizar un desprendimiento de la cimbra, posterior al llenado en la parte inferior se tienen 10 cm del nivel del concreto a la ventana de llenado, se realiza el sellado de la ventana para posteriormente continuar llenando por la ventana superior, una vez iniciado el vaciado de concreto no se detiene hasta concluir con el colado del elemento.

Se debe evitar el contacto de los vibradores con el acero de refuerzo, esto puede provocar daños en el fraguado inicial del concreto ya colocado, el concreto utilizado es de la clase 1 estructural con resistencia de  $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$  con relación agua cemento 0.45 elaborado con cemento tipo CPC 40RS, para el control de concreto se verifica un revenimiento de 18 +/- 3cm, no se debe colocar el concreto después de 90 min de su mezclado esto por el fraguado inicial que presenta.

Posterior al colado a las 24 hrs se realiza el descimbre del elemento, después se realiza el curado del elemento por medio de curasil, aplicando 2 capas abundantes para evitar la deshidratación rápida del elemento.

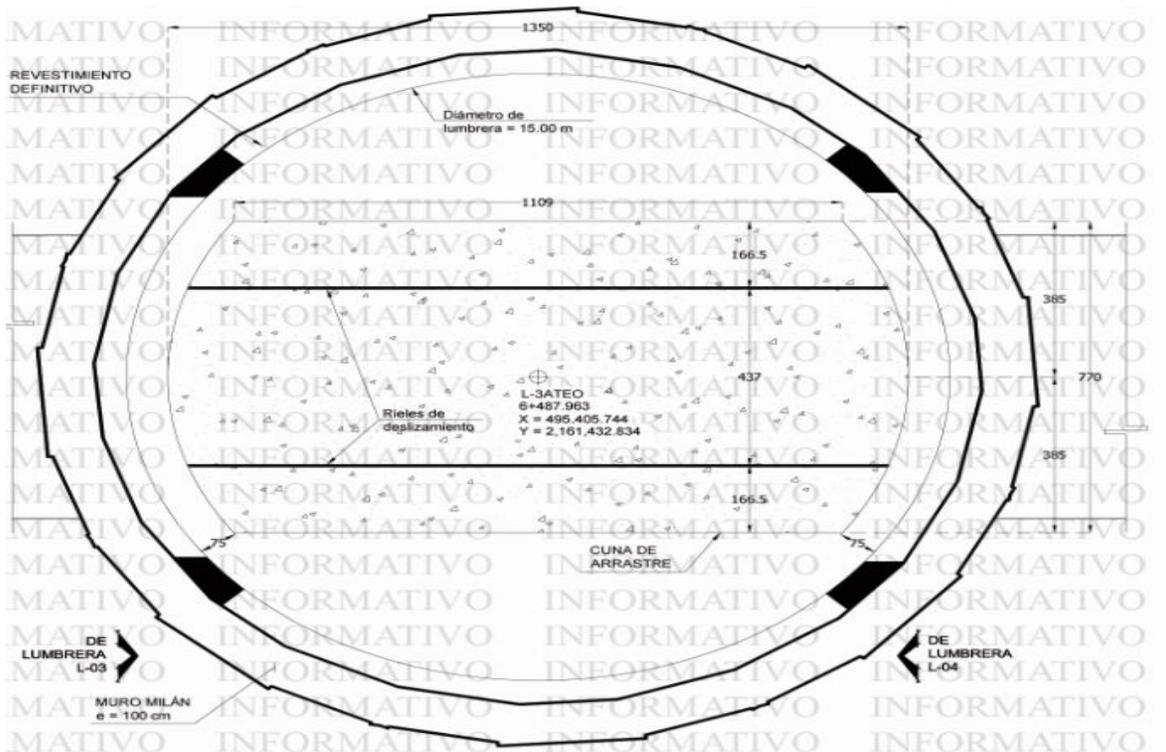


**Fig.7.5. Descimbre Del Portal De Entrada L3-A  
Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente**

#### **VII.4 Construcción De Cuna De Arrastre Y Colocación De Rieles**

La Cuna de arrastre es el elemento que sirve de soporte para el paso de la Tuneladora por la lumbrera la cual ayuda a que el escudo continúe su trayecto sin tener discontinuidades que pueda afectar la pendiente y/o su nivelación, la cuna de arrastre tienen también la función para apoyar el escudo ya sea para su ensamble o desensamble, para el caso de la lumbrera 3-A la cuna de arrastre será el elemento de soporte para realizar el desensamble y extracción de las dos tuneladoras, proveniente de la lumbrera 3 se recibirá la Tuneladora HK-S497 y por parte de la lumbrera 4 se recibe el escudo excavador Robbins Morelos la construcción de la cuna de arrastre tienen la forma curva para el acoplamiento del escudo excavador, en la cuna de arrastre se realiza la colocación de rieles para el desplazamiento de la Tuneladora.

La construcción de la Cuna se realiza según el proyecto, personal de topografía realiza un monitoreo para verificar cómo será la pendiente de llegada del escudo y si es necesario corregir su sistema de guiado para llegar directo al portal de lumbrera, posteriormente de realizar las marcas topográficas, se inicia con el armado de acero de refuerzo de la cuna de arrastre verificando que el armado y habilitado se realice con equipos que no cambien las características del material, los dobleces son en frío, los traslapes no deben ser mayores al 33% en la misma sección, para el cimbrado se realiza de manera manual cuidando el recubrimiento mínimo de 5 cm el concreto es de una resistencia de  $350 \text{ kg/cm}^2$  para la colocación del concreto se utilizan 3 vibradores de inmersión para los vacíos del concreto, en la construcción del armado de la cuna de arrastre se realiza la colocación de rieles y su nivelación en sentido de la salida del escudo, los escudos cuenta con ruedas para desplazarse sobre rieles.



**Fig.7.6. Planta, Ubicación De La Cuna De Arrastre En Fondo De Lumbrera 3-A**  
**Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente**

## CAPITULO VIII EXCAVACIÓN DE TÚNEL POR MEDIO DE TUNELADORA HK-497 PARA LA LLEGADA A LUMBRERA 3-A.

<sup>19</sup>Los escudos de compensación de presión de tierra (de forma abreviada escudos EPB o escudo de presión de tierra), se emplea especialmente en terrenos cohesivos con una alta porción de arcilla, barro o limo, los cuales acusan una baja permeabilidad de agua.

Con los escudos EPB, el terreno excavado por la rueda de corte sirve de apoyo al frente de excavación para evitar asentamientos o elevaciones.

El armado del escudo para cuando se requiere el inicio de los trabajos de excavación, se realiza en el fondo de lumbreira con el descenso de los componentes en partes para realizar su ensamble e iniciar su operación.

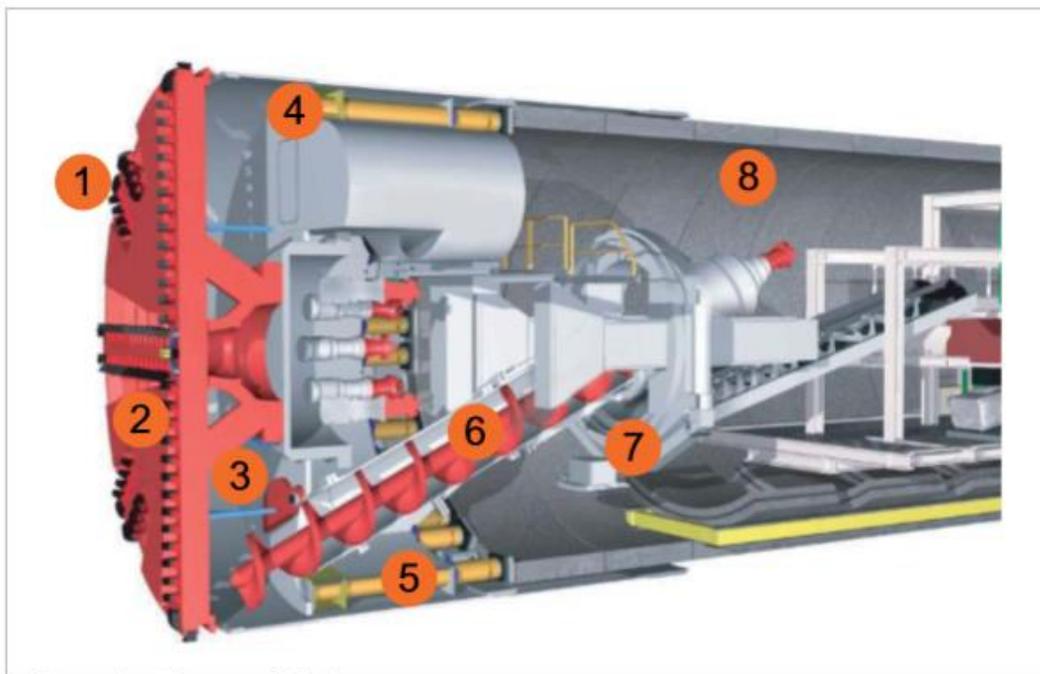


**Fig.8.1. Llegada Del Escudo Hk-S497**  
**Fuente. Lumbreira 5 Túnel Emisor Oriente**

<sup>19</sup> Manual Diseño Constructivo y Funcionamiento, S497, 498, Herrenknecht editado marzo 2009 pág. Iv-2.

### VIII.1 Avance De Excavación Por Medio De Tuneladora<sup>20</sup>

El terreno se desmonta del **Frente de excavación** (1) de la herramienta de la rueda de corte en rotación y se empuja a través de las aberturas de **la Rueda de corte** (2) hacia la **Cámara de excavación** (3). Allí el terreno se mezcla con la tierra plastificada ahí disponible. La fuerza de los cilindros de propulsión se transmite a través del **Mamparo estanco** (4) a la tierra plastificada, evitando así una penetración incontrolada del terreno del frente a la cámara de excavación (Ver fig.8.2.).



- Escudo: Generalidades

- |                          |                        |
|--------------------------|------------------------|
| [1] Frente de excavación | [5] Cilindro de avance |
| [2] Rueda de corte       | [6] Tornillo sinfín    |
| [3] Cámara de excavación | [7] Dovelas            |
| [4] Mamparo estanco      | [8] Cola del escudo    |

**Fig.8.2. Generalidades Del Escudo Hk-S497**  
Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente

<sup>20</sup> Manual Diseño Constructivo y Funcionamiento, S497, 498, Herrenknecht editado marzo 2009. Pág. IV-4

El estado de compensación se habrá alcanzado cuando la tierra plastificada en la Cámara de excavación no pueda seguirse compactando por la presión de tierra y agua prevaletientes. La presión de tierra ahora existente en el Frente de ataque deberá corresponder aproximadamente a la presión de tierra en reposo.

Si la presión de apoyo de la tierra plastificada se incrementa por encima del estado de equilibrio, se provocaría una compresión adicional de la tierra plastificada en la cámara de excavación, así como del terreno presente, y bajo determinadas circunstancias podría tener lugar una elevación del terreno delante del escudo. Si se redujera la presión de tierra el suelo podría penetrar a la cámara de excavación y con ello se provocarían asentamientos de la superficie del terreno.

La forma más usual para regular la presión de tierra durante el avance en la velocidad específica es cambiando la velocidad del tornillo sinfín. La presión de tierra baja cuando la tierra se transporta más rápido debido a una alta velocidad del tornillo sinfín. La presión de tierra se incrementa cuando la tierra se transporta más lentamente.

En general también es posible regular la presión de tierra por medio de la velocidad de avance. Para ello al reducir la velocidad de avance se tiene como efecto la disminución de la presión de tierra, por lo contrario, al incrementar la velocidad de avance la presión de tierra aumenta.

En cualquier caso, el objetivo es mantener constante la presión de tierra durante el avance. La presión originada en la cámara de tierra deberá igualar a la presión de tierra Frente a la Rueda de corte para de esta manera evitar asentamientos y desprendimientos del terreno.

La presión de tierra y la presión de apoyo se indica en el puesto de mando sirviéndose de los sensores de presión de tierra instalados a diferentes niveles del Mamparo estanco.

La velocidad de rotación de la Rueda de corte puede modificarse durante el avance, para lograr el mejor mezclado y acondicionamiento posibles del terreno.

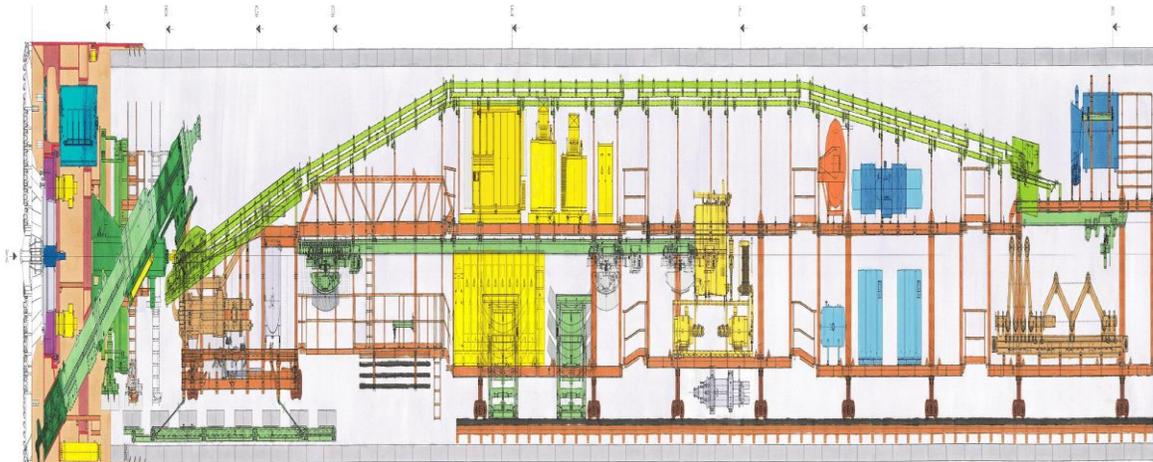
El material producto de excavación se transporta por medio de la banda transportadora de material hasta la parte trasera del escudo depositando el material excavado en vagonetas para su retiro al fondo de lumbrera para su extracción a superficie

Durante el avance de excavación se realiza la inyección de agua y polímero al frente para romper la inercia del terreno que se está excavando, así como evitar el calentamiento y la fricción excesiva de la Rueda de corte, el tipo de polímero utilizado se implementa según las características del material a excavar.

El avance por cada excavación es en promedio 2.20 m para tener espacio para alojar el anillo de dovelas y quede un espacio de holgura para su montaje.

La sustitución de las herramientas de corte se realizan dependiendo del desgaste presentado en las mismas, para verificar las condiciones de las herramientas se realiza una inspección por el mamparo estanco, realizan un nicho de manera manual en la parte frontal de la rueda de corte, desde esta zona se realiza la inspección de herramientas así como su sustitución, la revisión de herramientas se realiza con personal calificado para detectar la falta de tucsteno, fractura o ausencia de las mismas.

<sup>21</sup> Respecto a los datos técnicos más importantes de la Tuneladora son: El peso de la rueda de corte de la tuneladora es de 100 ton con herramientas instaladas, el diámetro de corte es de 8740mm, la rueda de corte se mueve gracias a la potencia de 10 moto reductores, longitud total del escudo es de 95 m, tensión primaria 13200 Volts y el peso total del escudo completo es de 630 ton



**Fig.8.3. Perfil del Escudo Hk-S497**  
**Fuente. Lumbreira 5 Túnel Emisor Oriente**

<sup>21</sup> Manual General S497, 498, Herrenknecht, Editado Marzo 2009 pág. li-2.

## VIII.2 Controles En Tuneladora Durante El Avance De Excavación<sup>22</sup>

Todos los sistemas de registro de datos y control requeridos para el correcto funcionamiento de la TBM se encuentran en la cabina de mando.

La velocidad de avance, la velocidad de la rueda de corte y la velocidad del tornillo sinfín pueden ajustarse desde allí.

Asimismo, se controla la dirección de avance desde la cabina de mando, regulando los niveles de presión sobre los grupos de cilindros de avance (Ver Fig.8.2.) y dirigiéndose así el escudo en la dirección deseada por medio del sistema de control de dirección.

Dentro de la cabina de mando se pueden presentar diferentes alarmas de prevención de errores y/o fallas del escudo

El interior de la cabina de mando cuenta con 4 pantallas, en las cuales podemos apreciar el sistema de guiado, controles de los datos de excavación, inyección de líneas de polímero y cámara para observa las condiciones del material a la salida del tornillo sinfín.

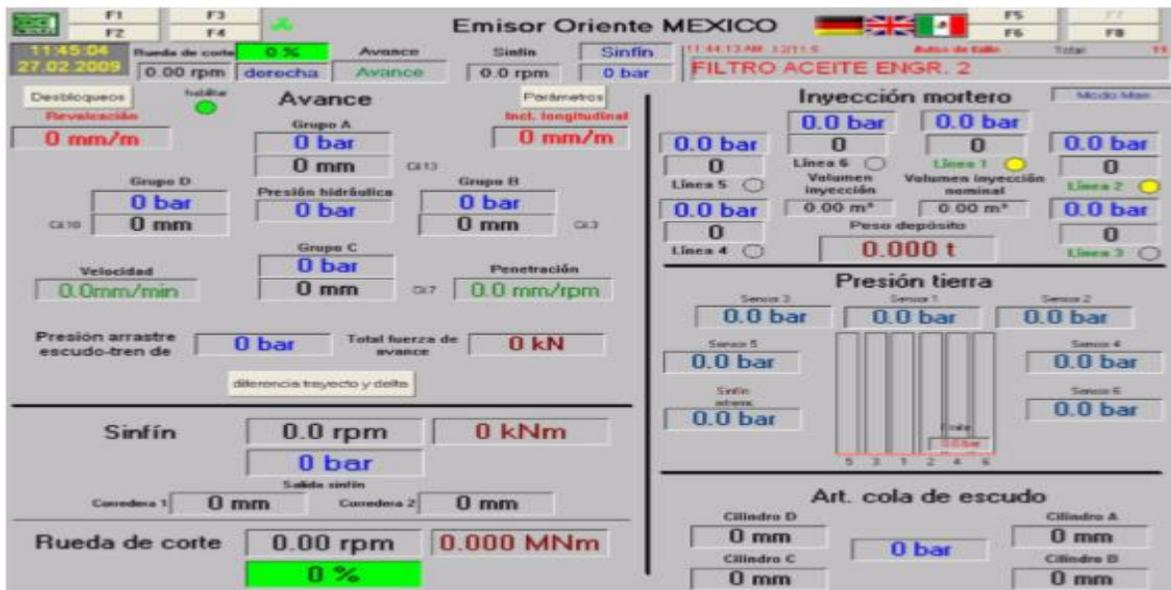


Fig.8.4. Pantalla De La Cabina De Control El Avance Del Escudo Hk-S497  
Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente

**Pantalla de control de excavación.** En esta pantalla se logran localizar la información de fecha y hora, datos de la rueda de corte como velocidad, consumo de corriente y sentido de giro, se localiza también el estado de avance y la visualización de alguna falla en caso de existir. (Ver Fig.8.5.)

**Avance:** se localizan las presiones de servicios de los cilindros de avance expresadas en bares, así como las extensiones en mm, velocidad en mm/min, penetración mm/rpm, potencia de avance en KN, total de fuerza de empuje en KN, inclinación longitudinal mm/m.

**Grupo A-D.**

Posición nominal, efectiva de los cilindros de avance mm

**Inyección de mortero.**

Presión de servicio en bares, numero de carreras, modo de funcionamiento, volumen de inyección por avance.

**Presión de tierra.**

Presión de servicio sensor 1-6 en escudo, sensor tornillo sinfín, parte posterior bar.

**Rueda de corte**

Par de accionamientos regulados por convertidores de frecuencia % velocidad rpm par Mnm.

## Tornillo sinfín

Velocidad rpm, par Km, presión de servicio bar, posición de la compuerta de descarga del sinfín.

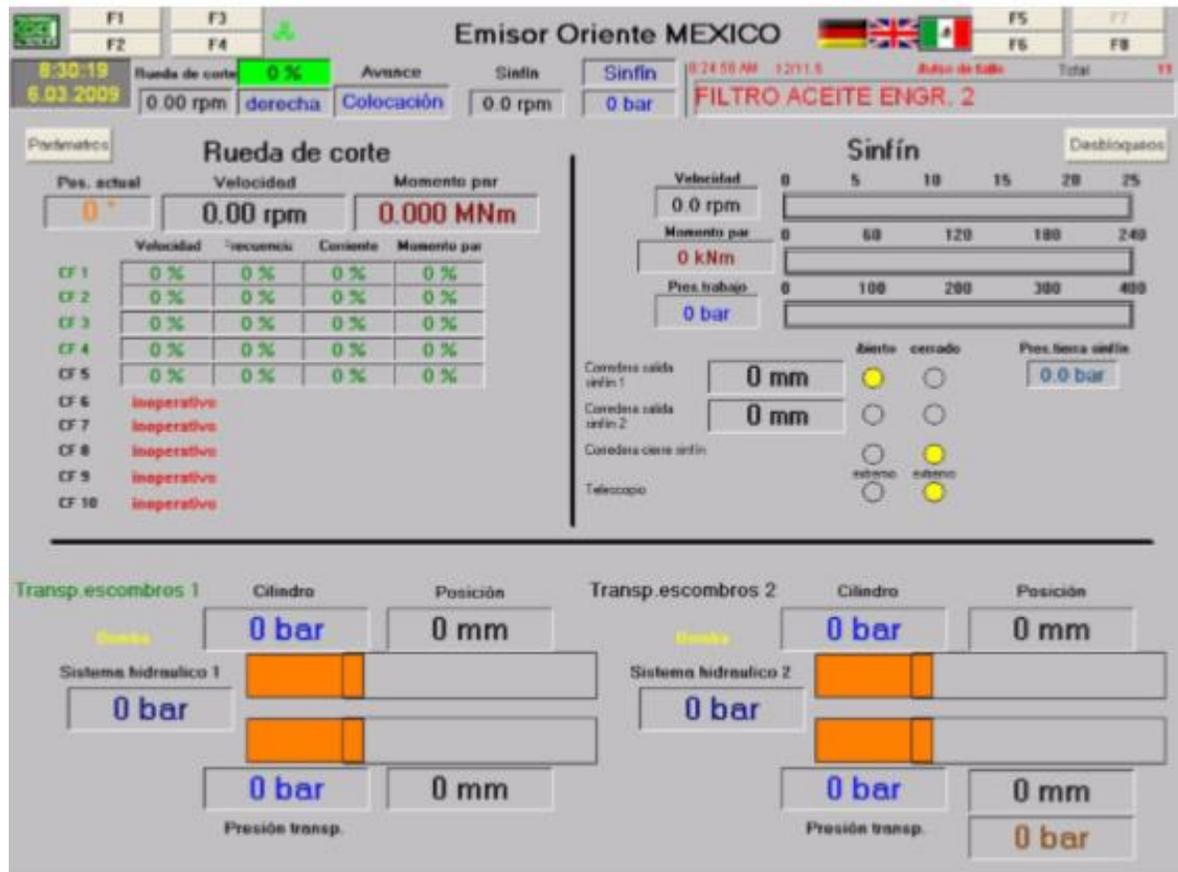


Fig.8.5. Pantalla Donde Se Muestra El Monitoreo Detallado De La Rueda De Corte, Tornillo Sinfín Y Bombas De Material

Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente

## Pantalla sistema de inyección de polímero

En esta pantalla se verifica al modo de funcionamiento del sistema de inyección de espuma o conocido como polímero, se puede inyectar de forma automática

conforme al avance o de forma manual, es decir se vaya inyectando a cierta velocidad proporcional al avance del escudo o de forma independiente al avance del escudo, en esta pantalla se verifica la presión de las líneas de inyección de espuma, el caudal de aire inyectado al frente, se verifica también en la parte inferior la presión de inyección de las bombas de rezaga en caso de utilizarse.

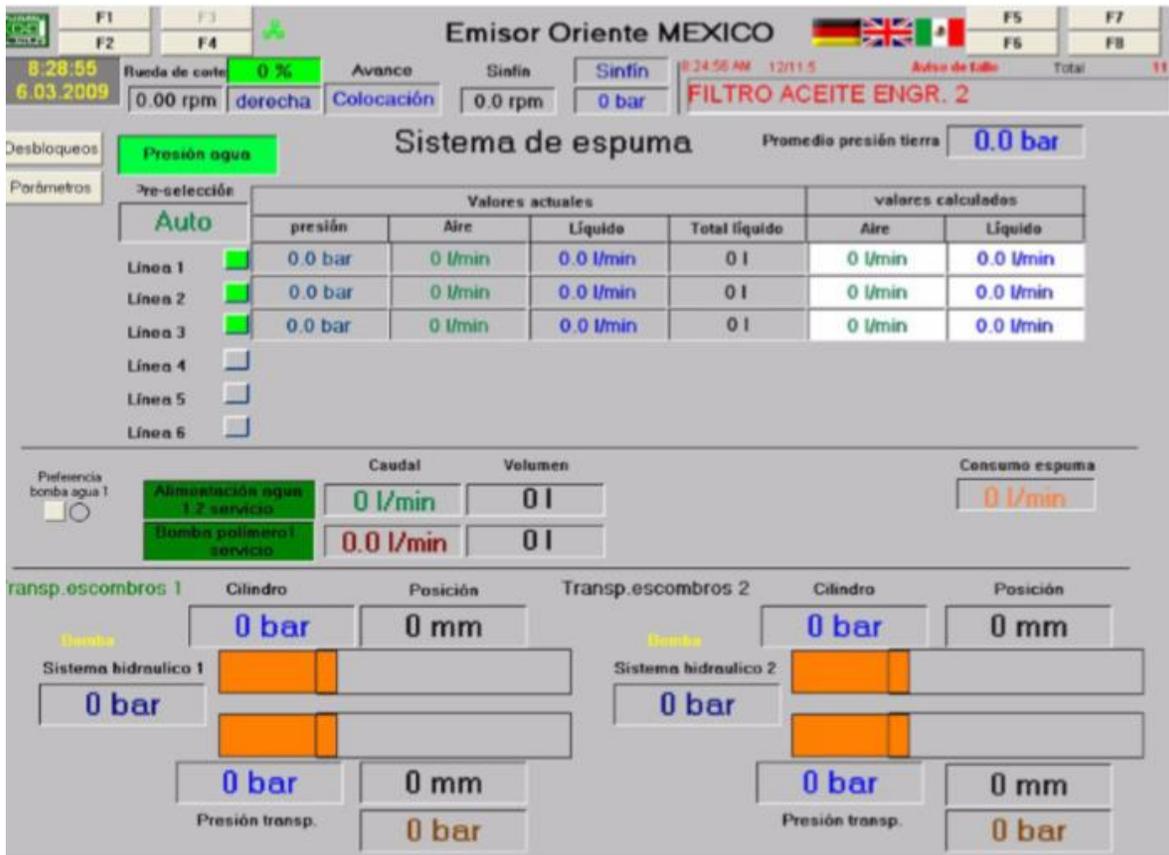
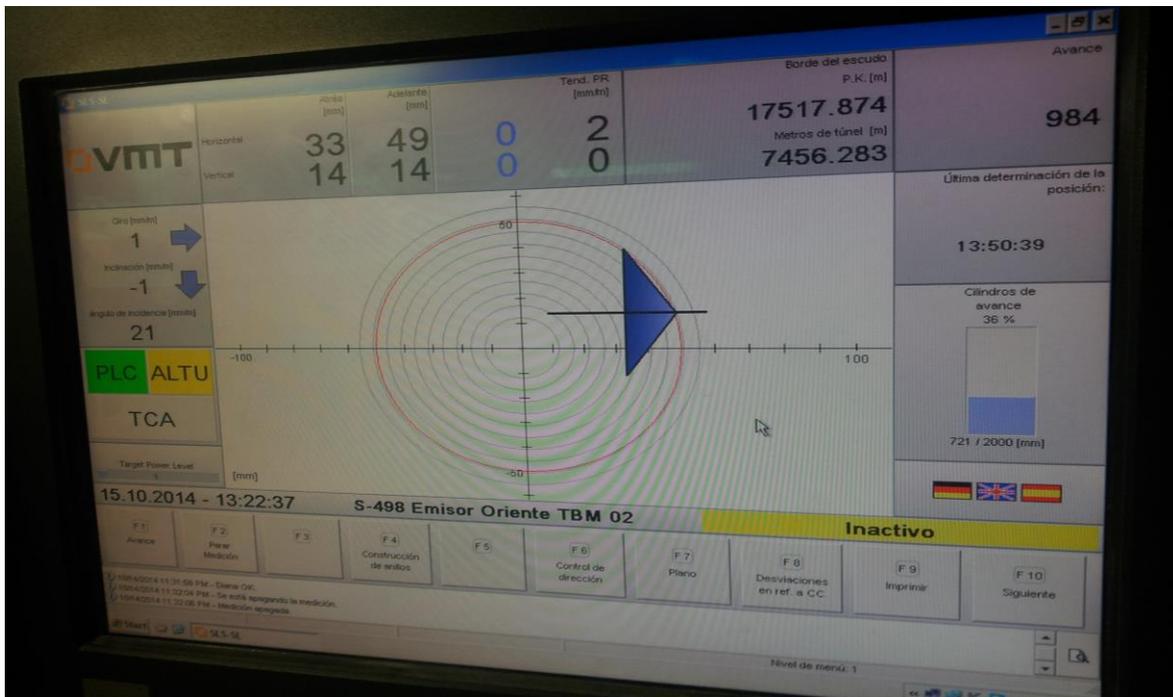


Fig.8.6. Pantalla Que Muestra El Sistema De Inyección De Espuma Y Funcionamiento De Las Bombas De Rezaga De Material  
Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente

## Pantalla del sistema de guiado VMT.

En esta pantalla se vigila la posición de avance topográfico de la Tuneladora con la finalidad de no perder la pendiente, desde este sistema se da seguimiento y corrección a las posiciones actuales durante los avances de excavación, en esta pantalla se logra apreciar la posición de la máquina, los metros de túnel excavados, así como el porcentaje de avance durante cada excavación.



**Fig.8.7. Pantalla Del Sistema De Guiado Del Escudo Hk-S497**  
**Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente**

### VIII.3 Inyección De Mortero Durante El Avance De Excavación

Durante los avances de excavación y la colocación de anillos de dovelas queda un espacio llamado espacio anular el cual debe rellenarse de lo contrario puede provocar asentamientos en la zona de superficie y/o filtraciones entre el en-dovelado en la parte interna del túnel, el espacio anular se rellena por medio de una inyección de mortero la cual se realiza por medio de boquillas localizadas en la cola del escudo (8) ( Ver Fig.8.2.).

En el piso inferior del escudo existe la zona para inyección la cual consta de un depósito con un agitador, un tablero electrónico conectado a 6 sensores instalados en cada una de las líneas de inyección de mortero para monitorear la presión durante la inyección, se cuentan con 3 bombas de inyección las cuales son las encargadas de bombear el mortero del depósito hacia la línea las cuales concluyen su trayecto en el faldón del escudo excavador.

La inyección de mortero inicia después de los primeros 20 cm de avance de excavación del escudo lo anterior para generar espacio para la entrada de material, durante el avance se realiza la inyección de forma manual finalizando la misma cuando se concluye la excavación, el volumen que se inyecta durante cada avance es de 7.5 m<sup>3</sup>, el material se fabrica en la parte superficial de lumbrera en una planta de fabricación de mortero y posteriormente se descarga al fondo de lumbrera, durante el montaje del anillo en el frente se realiza el traslado de mortero para su traspaleo al depósito de inyección en el escudo y realizar su inyección durante la siguiente excavación.

En superficie y túnel se verifica que la mezcla de mortero cumpla con la especificación según proyecto, de la misma forma se toma muestras.

#### **VIII.4 Rezagado De Material Producto De Excavación <sup>23</sup>**

El material excavado se transporta por medio del tornillo sinfín (6) (ver Fig.8.2.) fuera de la cámara de excavación bajo presión, acarreándose al túnel el cual se encuentra bajo presión atmosférica. Para que la transición del material de la salida del sinfín a la cinta transportadora se puede efectuar sin necesidad de utilizar una esclusa, la tierra deberá tener una baja permeabilidad al agua, de forma que se evite una corriente a través del tornillo sinfín.

---

<sup>23</sup> Anexo 3 Especificaciones Generales Y Particulares Túnel Emisor Oriente, Secretaria Del Medio Ambiente Y Recursos Naturales, Conagua, Subdirección General De Agua Potable Drenaje Y Saneamiento, Gerencia De Infraestructura Hidráulica Pluvial, México. Pág. 78.

Para el rezagado de material se puede utilizar la banda transportadora de material en caso de tener un material que no sea posible bombear de lo contrario se realiza el bombeo de material por medio de tubería y las dos bombas de material de rezaga hasta la superficie.



**Fig.8.8. Rezagado De Material De Excavación Por Medio De Banda De Transporte**  
Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente



**Fig.8.9. Traslado De Material De Rezaga Por Medio De Vagonetas Al Fondo De Lumbrera**  
Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente



**Fig.8.10. Extracción De Rezaga Del Fondo De Lumbra A Superficie**  
**Fuente. Lumbra 5 Túnel Emisor Oriente**

El material producto de excavación es retirado a superficie por medio de vagonetas el cual se envía a tiro autorizado en el momento.

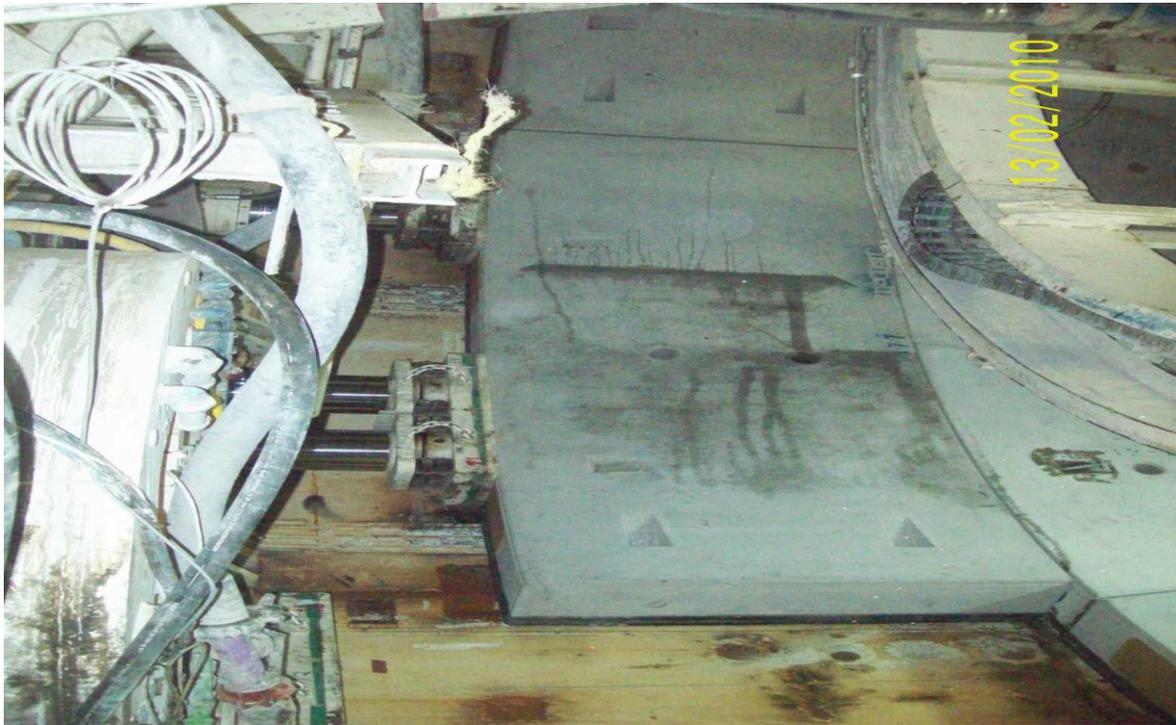
### **VIII.5 Colocación De Revestimiento Primario De Túnel Por Medio De Anillos Conformados Por Dovelas <sup>24</sup>**

El revestimiento primario del Túnel se efectúa con dovelas de concreto armado, el anillo se comprende por medio de 7 dovelas las cuales forman un anillo, 1 dovela la más pequeña se llama dovela cuña que será el cierre ósea la última dovela a colocar en cada uno de los anillos, al concluir el avance de excavación, se realiza

---

<sup>24</sup> Términos de referencia, Túnel Emisor Oriente, editado por CONAGUA, octubre 08, pág. 12.

la retracción de los cilindros hidráulicos de empuje, por medio de anillo erector que trabaja por medio de vacío, genera succión en la dovela a colocar asegurándola, posterior a tener la dovela succionada se procede a girar el anillo erector para su colocación en su posición respectiva, la dovela se asegura por medio de tornillería para su ensamble con las demás dovelas, cada dovela en su periferia se le coloca una banda llamada de estanqueidad sirve de wáter stop para evitar filtraciones entre los anillos, al concluir con el montaje del anillo, los cilindros hidráulicos nuevamente se extienden ejerciendo presión en el anillo colocado para continuar con la siguiente excavacion, los montaje se realizan evitando líneas de continuidad longitudinal entre las dovelas de los anillos anteriores es decir se deben ir colocando de forma traspaleada para evitar algún riesgo estructural.



**Fig.8.11. Sección Del Anillo De Dovelas Colocado Y Apoyado Por Los Cilindros De Empuje Del Escudo**  
**Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente**



**Fig.8.12. Anillo Erector Succionando Por Medio De Vacío Dovela Cuña Para Su Colocación**  
Fuente. Lumbra 5 Túnel Emisor Oriente



**Fig.8.13. Vista Del Endovelado Del Túnel En El Tramo De L3 A L3-A**  
Fuente. Lumbra 5 Túnel Emisor Oriente

La fabricación de las dovelas se realiza en una planta independiente instalada en otro punto del proyecto donde se lleva un control estricto para la fabricación de anillos, respetando los datos de proyecto así como la calidad para la resistencia y los procedimientos autorizados, posterior a la verificación de cada dovela se realiza su marcado y envió a obra donde se colocan las bandas de estanqueidad en la periferia en la zona de contacto, posteriormente se realiza el descenso del anillo al fondo de Lumbrera para trasladarlo por medio de trucks al frente de excavación, llegando al frente se realiza su descarga por medio de una grúa para endovelado instalada en el escudo, la cual descarga dovela por dovela depositándola en mesa para dovelas esta se encarga de su transporte hasta el frente para su montaje por medio del anillo erector.

Posterior a la colocación del endovelado se realiza una revisión periódica por medio de equipos de medición para verificar su comportamiento, lo cual nos ayuda a prevenir cualquier desastre que se pueda presentar.

<sup>25</sup>Las dovelas son fabricadas con concreto reforzado de  $f'c=350 \text{ Kg/cm}^2$ , elaborado con cemento CPO-30 y/o 40R-RS, tienen un espesor de 40 cm y un ancho de 1.50 m. el acero de refuerzo que se utiliza es del grado 42, con límite de fluencia  $Fy=4200 \text{ Kg/cm}^2$ , el anillo está conformado por siete piezas elaborados en moldes metálicos.

El curado de las dovelas se realiza a vapor en cámara de curado con una resistencia al desmolde de  $f'c=130 \text{ Kg/cm}^2$ .

---

<sup>25</sup> Anexo 3 Especificaciones Generales Y Particulares Túnel Emisor Oriente, Secretaria Del Medio Ambiente Y Recursos Naturales, Conagua, Subdirección General De Agua Potable Drenaje Y Saneamiento, Gerencia De Infraestructura Hidráulica Pluvial, México. Pág.141



**Fig.8.14. Descenso De Dovelas Al Fondo De Lumbra 3 Para Su Traslado Al Frente De Trabajo Fuente. Lumbra 5 Túnel Emisor Oriente**



**Fig.8.15. Colocación de Juntas de Estanqueidad en el Endovelado. Fuente. Lumbra 5 Túnel Emisor Oriente**

## CAPITULO IX EXTRACCIÓN DE TUNELADORAS ROBBINS Y HERRENKNECHT S-497.<sup>26</sup>

Para realiza la salida de los dos escudos por Lumbreira 3-A se necesita realizar el trazo y la preparación para la llegada por medio de equipo de topografía, el escudo se detiene 3.5 m antes de la salida a Lumbreira, por la parte del fondo de Lumbreira se realiza la apertura de ventana en el portal de llegada para detectar la llegada del escudo, posteriormente se realizan los avances de excavación hasta tener el escudo pegado al portal de llegada, al detectar la nariz del escudo se procede a realizar la demolición de concreto en el interior de la trabe de emportalamiento así como el retiro de acero de refuerzo del Muro Milán y de concreto que pueda obstruir la entrada del escudo a la Lumbreira.



**Fig.9.1. Apertura De Ventana Para Detectar La Distancia De La Nariz Del Escudo Hk-S497**  
**Fuente. Lumbreira 5 Túnel Emisor Oriente**

<sup>26</sup> Memoria Descriptiva Del Procedimiento Para La Entrada De Escudos Y Salida De Equipo En Lumbreira L-3, Ing. Arq. Víctor Daniel Tapia R. y Ing. Luis Enrique Gutiérrez M Comissa, Mexico, 04 septiembre 2012.

## **IX.I Avance Para Salida De Escudo A Cuna De Arrastre**

Una vez demolido el concreto en el portal de entrada se procede a realizar avances de excavación con una velocidad de 10 mm / hr para hacer una entrada muy lenta y detallada y evitar un exceso de presión en el muro de lumbrera, al concluir el avance de 2.30 m de la excavadora se procede a realizar la colocación de topes por la parte externa de la rueda de corte en fondo de Lumbrera con la finalidad de evitar que la escudo presenta desplazamientos al frente por el peso de la rueda de corte lo anterior debido a que en el fondo de Lumbrera ya no tiene suelo en contra presión que lo mantenga en su posición.

Durante la excavación de los últimos 6 anillos antes de la llegada a Lumbrera no se realiza la inyección de mortero durante los avances, lo anterior para evitar fugas y una presión sobre el Muro de Lumbrera lo cual puede provocar problemas de falla en portal de llegada.

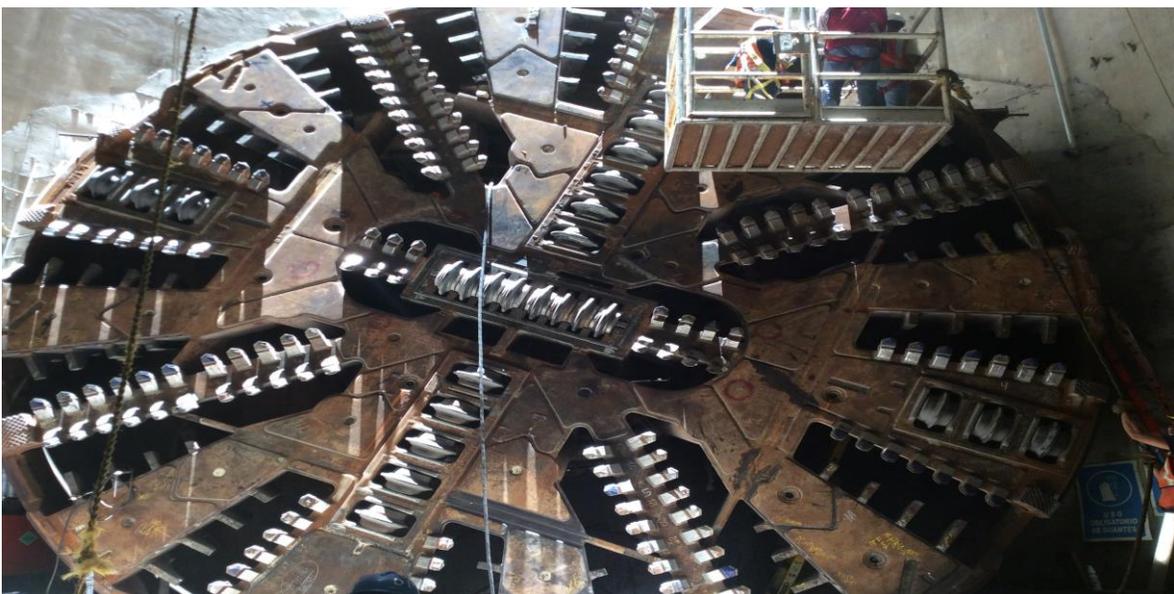
Posterior a la excavación, se realiza el montaje del anillo excavado y se continua con la colocación de placas entre el endovelado las cuales sirven para asegurar el anillo pese a la falta de inyección de mortero durante los últimos avances, la excavación y colocación de anillos se realiza de la misma forma que los anteriores, el escudo HK-S497 llegara proveniente de Lumbrera 3 mientras que el escudo Robbins Morelos de Lumbrera 4.

Para el caso de lumbrera 3-A se realiza la extracción de escudos a la llegada a Lumbrera, en algunos frentes donde solo es un escudo y debe continuar al siguiente tramo el fondo de Lumbrera se utiliza para realizar mantenimiento a las herramientas de corte colocadas en la rueda, así como la aplicación de soldadura y recubrimientos de la misma, en el interior del escudo se realiza un mantenimiento general a bombas, conexiones eléctricas hidráulicas, mesa de dovelas, líneas y componentes de inyección, cepillos de aplicación de grasa, bombas de material, tornillo sinfín, motores de la rueda de corte de esta forma se

desarrolla un programa de mantenimiento preventivo y de ser necesario correctivo para continuar el siguiente tramo en condiciones óptimas de operación.



**Fig.9.2. Salida De Los Escudos Hk-S497 Y Robbins Morelos En Lumbra 3-A  
Fuente. Lumbra 5 Túnel Emisor Oriente**



**Fig.9.3. Mantenimiento, Revisión De Soldadura Deteriorada En La Rueda De Corte En Lumbra 7  
Fuente. Lumbra 5 Túnel Emisor Oriente**

## **IX.2 Inyección De Mortero De Los Últimos Anillos Colocados**

Posterior a la llegada de los escudos se cimbra en la periferia entre los portales y el faldón del escudo tanto de entrada como de salida dejando una boquilla en la parte superior del túnel, se realiza la inyección de mortero de los 6 anillos colocados para la salida de los escudos, la inyección es de contacto en el espacio anular entre el endovelado y el terreno natural, con este procedimiento se brinda estabilidad a los últimos anillos evitando algún asentamiento que provoque movimientos sobre la lumbrera y la parte superficial.

La dosificación para la preparación de la mezcla es la misma que se utiliza durante todos los avances.

## **IX.3 Seccionamiento De Escudos Para Su Retiro A Superficie**

Concluidos los trabajos para la llegada y salida de los escudos se procede a su desensamble, primeramente se realiza el retiro del escudo HK S497 proveniente de lumbrera 3, el escudo se avanza permitiendo que la rueda de corte descansa sobre la cuna de arrastre, aquí inicia su desmontaje, la rueda de corte tienen un peso de 100 Ton, se procede a su izaje a superficie, de la misma forma se continua con el empuje del escudo en una distancia de 1 m, con el avance realizado se hace el desacople del escudo medio y faldón avanzando escudo frontal y medio hasta tocar el paño interior del Muro Milán, se retira el faldón del escudo, se continua la transmisión del tornillo sinfín, el anillo erector y por último los carros del escudo, una vez concluida la extracción del escudo HK S497 se procede al retiro del escudo Robbins Morelos con el mismo procedimiento, es importante analizar las cargas para tener una grúa de la capacidad necesaria para dichas maniobras.



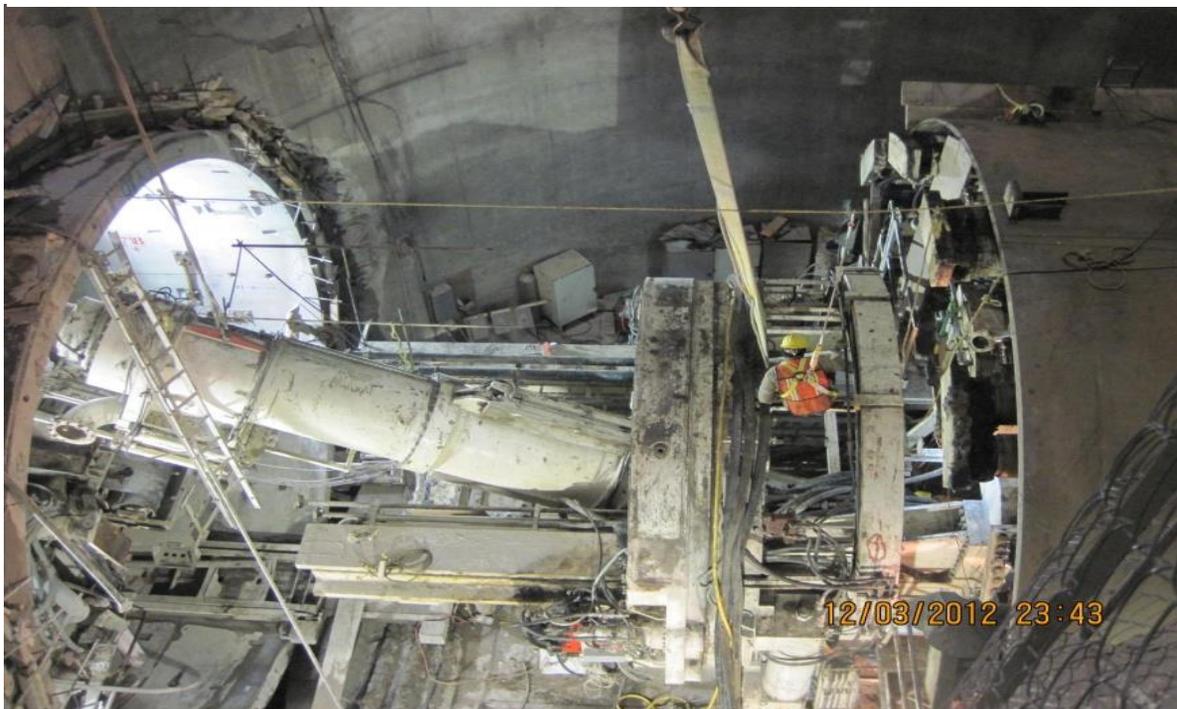
**Fig.9.4. Extracción De La Rueda De Corte Del Escudo Robbins Morelos  
Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente**



**Fig.9.5. Extracción De La Rueda De Corte Del Escudo Hk-S497  
Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente**



**Fig.9.6. Extracción De La Estructura Del Carro No 3 Del Escudo Hk-S497**  
Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente



**Fig.9.7. Preparativos Para El Izaje Del Tornillo Sinfín Del Escudo Hk-S497**  
Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente

## **CAPITULO X REVESTIMIENTO DE TÚNEL POR MEDIO DE CIMBRA TELESCÓPICA POSTERIOR A LA EXTRACCIÓN DE LOS ESCUDOS**

Con la excavación del Túnel y colocación de los anillos por medio de dovelas se concluye el Revestimiento Primario del Túnel, posteriormente se realiza la colocación de Revestimiento Secundario por medio de concreto armado.

<sup>27</sup> Para el Revestimiento Definitivo se utiliza Cemento tipo CPO-30 y/o 40R-RS (Cemento Portland Compuesto De Clase 40 Con Resistencia Especificada A 3 Días Y Resistente A Los Sulfatos), los cuales deben cumplir con las especificaciones de la Norma NMX-C-414-ONNCCE-2004. El Cemento será proporcionado por la contratista el cual podrá estar dispuesto a granel o en envasado en sacos de papel.

Se debe verificar la calidad del Cemento que se utiliza por lo que se debe contar con certificados de calidad de cada lote, emitidos por el fabricante; en caso de que esto no sea posible, deberá contar con los certificados de calidad de cada lote emitidos por un laboratorio acreditado ante la EMA (Entidad Mexicana de Acreditaciones).

La temperatura del Cemento no debe ser superior a 55°C en el momento de fabricar el concreto.

---

<sup>27</sup> Anexo 3 Especificaciones Generales Y Particulares Túnel Emisor Oriente, Secretaria Del Medio Ambiente Y Recursos Naturales, Conagua, Subdirección General De Agua Potable Drenaje Y Saneamiento, Gerencia De Infraestructura Hidráulica Pluvial, México. Pág.141.

## **X.1 Desmantelamiento De Instalaciones Para Excavación**

Al concluir la extracción de los escudos a superficie y su retiro de obra, se inicia con el desmantelamiento de instalaciones utilizadas para la excavación y Revestimiento Primario de Túnel, se realiza el retiro de la planta de mortero, los bancos de rezaga, sistema de recirculación de agua, el retiro de módulos de vía utilizados para el rezagado de material producto de excavación.

Para llevar a cabo los trabajos de Revestimiento Secundario es necesario realiza el acondicionamiento de las instalaciones, eléctrica, hidráulica y neumática.

## **X.2 Limpieza En Túnel**

Se realiza limpieza fina en Túnel al concluir con los trabajos de desmantelamiento de instalaciones, es necesario retirar polvo, grasas, lodo, material y/o cualquier tipo de agente contaminante del Revestimiento Primario del Túnel, la limpieza se realiza por medio de hidrolavadoras, encostando el material producto de limpieza para su posterior retiro.



**Fig.10.1. Limpieza Fina Del Revestimiento Primario Del Túnel  
Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente**

### X.3 Armado De Acero Para Revestimiento Definitivo De Túnel

Después del lavado del túnel se inicia con la colocación de anclas por medio de varillas para la sujeción del acero de refuerzo para el Revestimiento Definitivo del Túnel, las colocaciones de anclas se fijan por medio de soldadura en las puntas de la tornillería utilizadas para el armado y aseguramiento del endovelado, el armado de acero de refuerzo se habilita en túnel

El Revestimiento Definitivo del Túnel consta de dos lechos con un espesor final del 35 cm de Revestimiento, no se debe traspalear el acero de refuerzo más del 33% en la misma sección, el acero se debe trabajar en frío y no se utiliza ningún equipo que altere las propiedades del material.

<sup>28</sup> El acero de refuerzo llega a obra libre de oxidación, exento de grasa, quiebres, escamas y deformaciones en su sección, las varillas de refuerzo son de los grados requeridos.

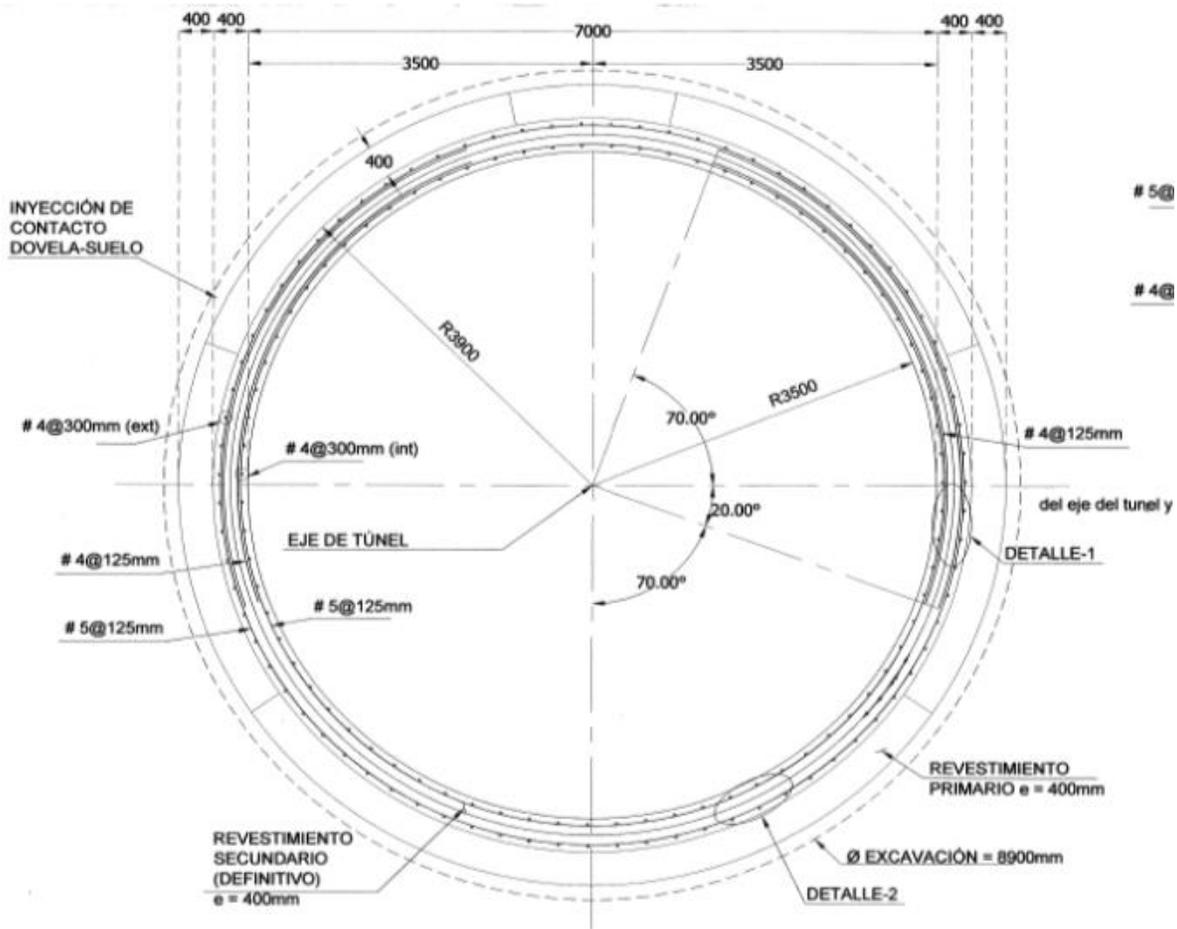
El certificado de calidad del acero debe contener:

- Diámetro y área efectiva
- Peso por metro
- Limite elástico aparente
- Carga máxima
- Esfuerzo en limite elástico y esfuerzo en función del área real de la varilla
- Porcentaje de alargamiento
- Características de corrugado

---

<sup>28</sup> Anexo 3 Especificaciones Generales Y Particulares Túnel Emisor Oriente, Secretaria Del Medio Ambiente Y Recursos Naturales, Conagua, Subdirección General De Agua Potable Drenaje Y Saneamiento, Gerencia De Infraestructura Hidráulica Pluvial, México. Pág.149.

Es importante revisar que la zona se encuentre limpia libre de tierra grasa oxidación o cualquier sustancia perjudicial para el acero y el concreto que impidan la adherencia.



**Fig.10.2. Armado De Acero De Refuerzo De Túnel Tramo L3 – L3A**  
**Fuente. Lumbra 5 Túnel Emisor Oriente**

Para el Revestimiento Definitivo se debe cuidar que no se deforme durante las maniobras, por el movimiento de andamios, de la misma forma durante el paso de personal sobre las parrillas de la parte de cubeta de Túnel, para evitar la deformación se coloca una fila de tablonés para el paso de personal sobre las silletas de refuerzo colocadas, al concluir con la colocación y armado de acero de

refuerzo se deben colocar separadores de concreto para garantizar el recubrimiento mínimo de 5 cm antes de la colocación de la cimbra metálica.



**Fig.10.3. Armado De Acero De Refuerzo Primer Lecho Cubeta Para El Revestimiento Definitivo De Túnel L3 A L3-A**

**Fuente. Lumbreira 5 Túnel Emisor Oriente**



**Fig.10.4. Armado De Acero De Refuerzo Segundo Lecho Sección Completa Para El Revestimiento Definitivo De Túnel De L3 A L3-A**

**Fuente. Lumbreira 5 Túnel Emisor Oriente**

#### X.4 Colocación De Cimbra Metálica Telescópica

La cimbra metálica consta de 45 m de longitud, y un diámetro terminado de 7 m, la cimbra metálica se compone de 5 módulos, cada módulo se divide en mitad inferior llamada cubeta y mitad superior llamada concha, cada concha consta de dos hastiales y una clave, para el movimiento de cimbra se utiliza un jumbo el cual cuenta con los componentes necesarios para el desplazamiento y acoplamiento de los módulos, una vez concluida la colocación del acero de refuerzo se procede a la limpieza del mismo por medio de aire presión retirando el polvo o suciedad y en la cara del endovelado, se realiza la aplicación de material desmoldante en la cara externa de la cimbra metálica la cual que tendrá contacto con el concreto, se realiza la colocación de cimbra cubeta primero, la cual por medio de topografía se cuidan los espesores y recubrimientos según proyecto, colocando la cubeta se procede al ajuste de piernas de flotación las cuales son las encargadas del soporte de la cimbra en la zona de cubeta para dar el espesor de concreto proyectado, una vez que la cubeta a quedado asegurada centrada y correctamente colocada, se realiza la aplicación de desmoldante por la parte externa de la concha que se está por cimbrar, la aplicación de desmoldante debe ser uniforme evitando dejar zonas sin aplicar para evitar detalles durante el descimbre, al concluir con la aplicación de desmoldante se realiza la maniobra de colocación de concha por medio del jumbo, este coloca la concha sobre la cubeta antes colocada, una vez en su posición se asegura la unión entre cubeta y concha por medio de tornillería y alineadores para asegurar y evitar el movimiento de las dos secciones, al concluir se repite el procedimiento para el siguiente módulo de cimbra, este procedimiento será constante para los 5 módulos existentes de la cimbra metálica, al concluir con el movimiento y cimbrado de los 5 módulos se realizan los trabajos complementarios para llevar a cabo el detallado de la colocación de la cimbra, estos trabajos son, la colocación de cimbra tapón al inicio y fin de cimbra, este sirve como límite para que el concreto no rebase de la zona comprendida por la cimbra metálica, colocación de troqueles laterales y en clave los cuales se encargan de evitar que la cimbra presente movimiento o

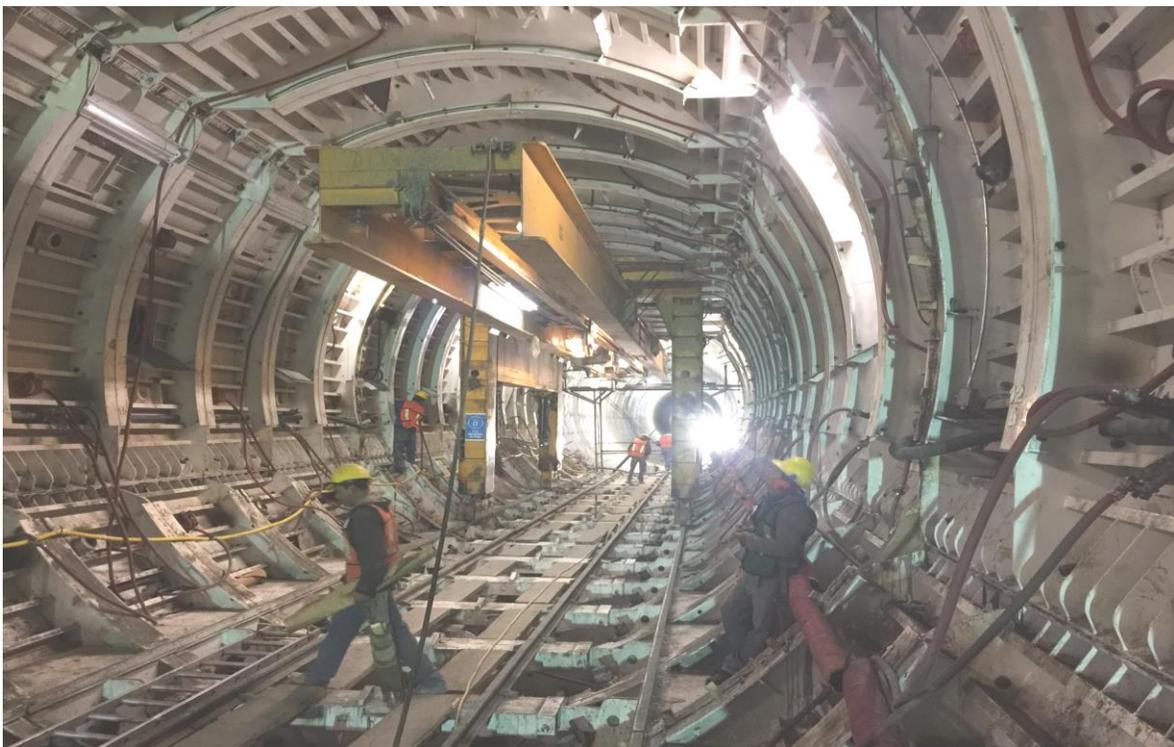
desplazamiento con la presión del concreto, colocación de vibradores, la cimbra cuenta con 180 vibradores de contacto ya instalados en total todos conectados a repartidores neumáticos, estos vibradores son los encargados para la correcta colocación del concreto, la colocación de tubería de 5 " para el bombeo de concreto y la apertura de boquillas de inyección juegan un papel fundamental para el correcto desarrollo de los trabajos.



**Fig.10.5. Cimbrado De Cubeta De Túnel Para Revestimiento Definitivo  
Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente**



**Fig.10.6. Cimbrado De Clave De Túnel Para Revestimiento Definitivo L3 A L3-A  
Fuente. Lumbra 5 Túnel Emisor Oriente**



**Fig.10.7. Interior De La Cimbra Metálica Durante El Revestimiento Definitivo En El Tramo L3 A L3-A  
Fuente. Lumbra 5 Túnel Emisor Oriente**

Se debe cuidar que durante la colocación de la cimbra metálica no se presente deformación en el acero de refuerzo antes colocado, así como evitar el contacto en cualquier punto del acero con la cara exterior de la cimbra metálica, es por eso que se deben colocar separadores de concreto para garantizar el recubrimiento de proyecto.

### **X.5 Colado De Revestimiento Definitivo**

El colado del Revestimiento Definitivo se realiza por medio de una bomba estacionaria en superficie, trasladando el concreto por medio de línea de tubería de 5 “, el concreto<sup>29</sup> debe de fabricarse conforme al proyecto establecido, concreto de clase 1 estructural con resistencia a la compresión de  $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días, tamaño máximo de agregados de  $\frac{3}{4}$  “ 19 mm, el concreto se suministra de planta llegando a obra se realiza la toma de revenimientos para su posterior colocación, para el inicio del colado se realiza el suministro de mortero según la distancia existente entre la bomba y el snorkel de la cimbra para la colocación de concreto, se realiza el vaciado de lechada para la lubricación de bomba y línea de concreto posterior al vaciado de lechada se continua con el vaciado de concreto, primeramente se realiza el llenado de la cimbra metálica en la parte de la cubeta, posteriormente se debe realiza cambio de boquilla de inyección para el llenado de los hastiales ya sea derecho y después izquierdo o viceversa, al último se procede al cambio de boquillas en clave para un llenado uniforme, el colado no debe para hasta concluir con el 100 % de llenado de la cimbra metálica, para la correcta colocación de concreto se realiza el vibrado mientras se realiza el vaciado de concreto para liberar cualquier espacio de aire, se debe cuidar el sobre vibrado del concreto lo anterior puede provocar segregación en el concreto colocado, el suministro debe ser constante de lo contrario se pueden presentar taponamientos en la línea de suministro de

---

<sup>29</sup> anexo 3 Especificaciones Generales Y Particulares Túnel Emisor Oriente, Secretaria Del Medio Ambiente Y Recursos Naturales, Conagua, Subdirección General De Agua Potable Drenaje Y Saneamiento, Gerencia De Infraestructura Hidráulica Pluvial, México. Pág.140.

concreto, si la presión de la bomba llega arriba de los 350 bar se debe realizar un cambio de boquilla con la finalidad de tener un espacio libre en el interior de la cimbra para que el concreto fluya, una vez que se concluye con la colocación de concreto por zonas se deben ir retirando los troqueles y las piernas de flotación para evitar que el concreto dificulte su retiro después de su fraguado, al concluir con la colocación de concreto, se realiza el lavado del equipo utilizado, el concreto se deja 8 horas después del cierre del colado, posterior a este tiempo se puede realizar el descimbre y cimbrado del siguiente colado.

Para el retiro de la cimbra metálica, se realiza previo a la revisión de las condiciones del concreto por medio de las ventanas existentes, lo anterior para garantizar que el concreto es capaz de auto soportarse, si el concreto está en condiciones se procede a el movimiento de cimbra para el siguiente colado, es importante realizar limpieza en la zona a cimbrar, así como el escarificado en la unión del concreto entre colados, este proceso se realiza para generar adherencia entre los dos colados y evitar falla al corte.

El concreto debe de colocarse antes de los 90 min después de su mezclado en planta, para evitar se encuentre en su fraguado inicial.



**Fig.10.8. Vista De Cimbra Tapón Al Final Del Módulo No 5 De La Cimbra Metálica**  
Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente



**Fig.10.9. Recorrido Del Snorkel Para El Cambio De Boquilla Durante El Desarrollo Del Colado Del Revestimiento Definitivo De Túnel**  
**Fuente. Lumbra 5 Túnel Emisor Oriente**



**Fig.10.10 Movimiento De Cimbra Cubeta Por Medio De Jumbo**  
**Fuente. Lumbra 5 Túnel Emisor Oriente**



**Fig.10.10 Vista Interior de la Cimbra Metálica Durante Los Trabajos Complementarios**  
Fuente. Lumbreira 5 Túnel Emisor Oriente



**Fig.10.11 Acero De Refuerzo Dos Lechos Y Separadores De Concreto Para Revestimiento Definitivo**  
Fuente. Lumbreira 5 Túnel Emisor Oriente



**Fig.10.12 Revestimiento Primario, Endovelado.**  
**Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente**



**Fig.10.13 Revestimiento Definitivo**  
**Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente**

## CAPITULO XI INSTRUMENTACIÓN

<sup>30</sup>La instrumentación geotécnica es la herramienta que permite obtener información cuantitativa y cualitativa para adecuar y corregir las obras civiles de manera racional, obteniendo seguridad y eficiencia por lo que se le reconoce una gran utilidad.

La instrumentación tienen como fin conocer el comportamiento de estructuras, desde la etapa de construcción, para verificar hipótesis y criterios de diseño, para ajustar especificaciones de materiales y su colocación; y durante la vida útil de la estructura, para detectar oportunamente cualquier anomalía que se presente, este conocimiento permite evaluar en todo momento las condiciones de seguridad de las estructuras, particularmente durante etapas específicas de construcción y después de la ocurrencia de cargas extraordinarias como pueden ser de sismos o tormentas intensas y, sobre todo, observar la tendencia a largo plazo, durante la vida útil de la obra, de las variables que pueden indicar un comportamiento anormal.

<sup>31</sup>Los piezómetros son instrumentos diseñados para medir la presión del agua en el subsuelo a través de un transductor. El transductor seleccionado es del tipo de cuerda vibrante y consta de un alambre unido al diafragma por el interior y en el otro extremo a una pieza fija. Cuando el alambre es excitado por una bobina eléctrica, este comienza a vibrar; esta vibración produce una señal de frecuencia en la bobina que se transmite a un dispositivo de salida, la presión del agua al empujar sobre el diafragma cambia la tensión del alambre y por consiguiente la frecuencia de vibración.

---

<sup>30</sup> Anexo 10, Términos De Referencia, Proyecto Ejecutivo Para La Construcción Del Túnel Emisor Oriente Localizado En El Distrito Federal, Estado De México, Dentro De La Cuenca Del Valle De México Y El Estado De Hidalgo, Editado Por Conagua, Noviembre 08.pag.43-46.

<sup>31</sup> Anexo 3 Especificaciones Generales Y Particulares Túnel Emisor Oriente, Secretaria Del Medio Ambiente Y Recursos Naturales, Conagua, Subdirección General De Agua Potable Drenaje Y Saneamiento, Gerencia De Infraestructura Hidráulica Pluvial, México. Pág.155.

La unidad de salida registra los valores de las frecuencias aplicando algunos factores de calibración se obtiene la presión de agua.

Este instrumento es medido desde la superficie por medio de cables y terminales, los cabezales y tuberías permiten el acceso para hacer la medición.

<sup>32</sup>Los extensómetros de barra vertical sirven para medir las variaciones de la distancia entre dos puntos de referencia, uno ubicado en la boca del barreno en el cual se ubica un cabezal de medición, y otro ubicado a determinada profundidad del mismo barreno, en donde se posiciona y cementa un ancla conectada a una serie de barras que se prolongan desde el interior hasta el cabezal mencionado, en donde se detecta cualquier variación de posición del ancla respecto a la superficie de referencia del cabezal mediante un medidor de profundidades; cualquier diferencia registrada representa movimientos de la zona de interés donde se localiza el o las anclas. Básicamente un extensómetro se compone de cabezal de referencia, barras con tubería de protección, tapa de protección, anclas y aparato de medición.

Los deformímetros unidireccionales para acero de refuerzo y también de concreto son instrumentos conocidos como “strain gauge” que sirven para medir esfuerzos en las barras de acero de refuerzo del recubrimiento del túnel, a través de un transductor del tipo de cuerda vibrante.

Los inclinómetros como su nombre lo indica son instalaciones por medio de tubería que sirven para medir las inclinaciones presentadas en el terreno, la tubería tiene 4 ranuras o guías longitudinales interiores para el paso del Inclinómetro o sonda, ubicadas en dos planos ortogonales; estas ranuras afectan la repetitividad de la sonda, por lo cual están maquinadas al ancho de las ruedas de la sonda y con el filete necesario para optimizar su funcionamiento, así como

---

<sup>32</sup> Anexo 3 especificaciones generales y particulares Túnel Emisor Oriente, Secretaria del medio Ambiente y Recursos Naturales, CONAGUA, subdirección general de agua potable drenaje y saneamiento, gerencia de infraestructura hidráulica pluvial, México. Pág.155.

para minimizar los errores de recorrido, y controlar la torsión de las ranuras a través del tubo.

La tubería es de pared gruesa y en sus extremos tiene arosellos ( o-ring) para soportar presiones hasta de 12.4 bar (12.6 kg/cm<sup>2</sup> ; para sus ensamble entre tubo y tubo utiliza un sistema de conexión rápida. El material plástico ABS ofrece flexibilidad necesaria para soportar movimientos en la estructura sin tener fractura.

<sup>33</sup>La sonda inclino-métrica es utilizada conjuntamente con la unidad de medición para determinar la geometría de la tubería guía a diferentes profundidades y en diferentes fechas. El cable de señales, permite introducir la sonda y controlar las profundidades de medición. Este cable debe tener en el interior un alma de acero o ser de material resistente y poco deformable, ser flexible y fácil de manejar, asilamiento de neopreno resistente a la abrasión y agentes químicos; también debe de tener marcas exteriores de graduación en el sistema métrico, dispuestas de manera permanente sobre el aislamiento del cable

## **XI.1 Instalación De Instrumentación**

Para la instalación de los equipos el diseño específico del tipo, número y localización de los aparatos, se establecerá en función de los detalles del diseño definitivo de cada lumbrera y tramo de túnel, considerando de manera especial las condiciones sísmicas hidráulicas, geotécnicas, geológicas, topográficas y los equipos y procedimientos a utilizar según el proyecto ejecutivo.

Para la lumbrera 3-A se realiza la colocación de instrumentación en túnel y superficie de lumbrera, en túnel se colocan anillos instrumentados por medio de deformímetros de acero y de concreto, así como celdas de presión, en superficie

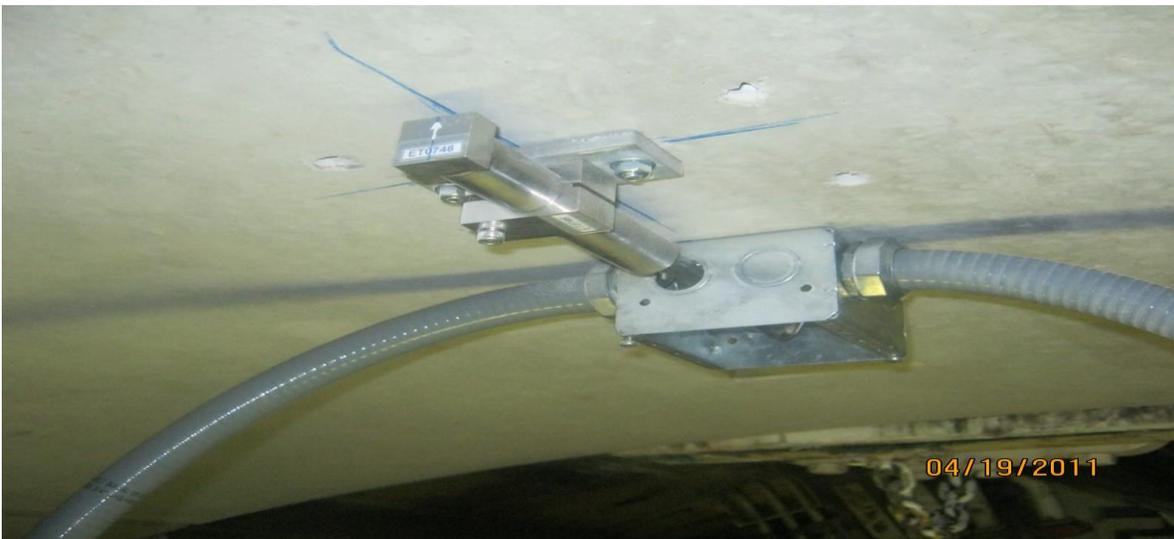
---

<sup>33</sup> Anexo 3 especificaciones generales y particulares Túnel Emisor Oriente, Secretaria del medio Ambiente y Recursos Naturales, CONAGUA, subdirección general de agua potable drenaje y saneamiento, gerencia de infraestructura hidráulica pluvial, México. Pág.185.

de lumbrera se realiza la colocación de inclino-metros y piezómetros para verificar el comportamiento del sitio antes durante y después de la ejecución de los trabajos



**Fig.11.1. Instalación De Piezómetro En Superficie De Lumbrera 3-A Antes Del Inicio De Los Trabajos  
Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente**



**Fig.11.2. Deformimetro De Concreto Instalado En La Clave De Túnel  
Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente**

## XI.2 Monitoreo De Instrumentación Instalada

La frecuencia para la toma de mediciones o parámetros para la verificación de las condiciones de los elementos, se toma en base a las actividades realizadas en cierto frente es decir en lumbrera 3-A se instalaron piezómetros e inclinómetros en la parte superficial, los cuales después de instalados se realiza la primer lectura tomando como el primer parámetro, subsecuente a esto se realiza su verificación diariamente debido a que las maniobras constructivas por el momento serán constantes en este frente, antes durante y después de cada actividad se debe monitorear la presión que ejerce el agua y la inclinación que se pueda presentar derivado de alguna excavación o carga de equipo en la parte de la superficie, después de concluidos los trabajos se debe monitorear constantemente hasta la salida del escudo, de no presentarse movimientos significativos la toma de lecturas se realizan de manera eventual, se realiza con equipo especial del fabricante, existen diferentes tipos de equipos todo depende de las condiciones que se presenten en la estratigrafía y en los requerimientos que la obra demande.



**Fig.11.3. Toma de Lecturas Por Medio De la sonda en Inclinómetro  
Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente**

## **CAPITULO XII NUESTRA SEGURIDAD DURANTE EL DESARROLLO DEL PROYECTO.**

El personal obrero contratado para la ejecución de los trabajos, se incorpora a las labores una vez recibida la inducción al Sistema de Calidad, Seguridad y Medio Ambiente, al reglamento interno de seguridad laboral de la empresa, así como la concientización sobre los riesgos de trabajos inherentes a las actividades que ejecutarán.

<sup>34</sup>Se debe contar en obra con el equipo necesario para el personal de visita en los diferentes frentes, informar al personal sobre los riesgos y las zonas previas de seguridad, contar con equipo médico y la ubicación de los extintores en sitio, de la misma forma con la señalización adecuada para seguridad del personal

Asimismo, el adiestramiento y capacitación sobre la utilización de los equipos y herramientas propias para de la excavación y tratamientos de la lumbrera, para la previsión de accidentes.

El equipo de protección personal será reemplazado cuando se observe deteriorado. En el almacenamiento de materiales y productos se aplicarán las acciones de prevención de derrames, contaminaciones y accidentes, en particular, con los materiales peligrosos.

Los desperdicios y basura se recopilarán en depósitos identificados y se dispondrá periódicamente en los tiraderos municipales.

---

<sup>34</sup> Anexo 10, Términos De Referencia, Proyecto Ejecutivo Para La Construcción Del Túnel Emisor Oriente Localizado En El Distrito Federal, Estado De México, Dentro De La Cuenca Del Valle De México Y El Estado De Hidalgo, Editado Por Conagua, Noviembre 08 pag.24.

Se colocarán letrinas portátiles con mantenimiento continuo para evitar que el personal realice sus necesidades fisiológicas en otros sitios, que operarán mientras se implementan los servicios de baños y vestidores definitivos durante el desarrollo de los trabajos para la lumbrera 3-A y el proyecto en general, se realiza el constante cuidado del personal brindando una plática de seguridad diaria a la entrada de turno, esta charla tiene una duración de 5 a 10 min donde se les enseña al personal las diferentes etapas sobre la seguridad personal, primeros auxilios, así como la utilización de equipos, cabe mencionar que se les capacita para saber cómo trabajar en equipo en caso de presentarse algún accidente.

En el caso de la Lumbrera 3-A y el Túnel, los principales factores que se deben tomar en cuenta para garantizar la seguridad son

- Que el método constructivo que se adopte garantice la seguridad en las paredes de los elemento y equipos necesarios previstos, para que durante la excavación y operación de las diferentes etapas de presión del suelo y el agua (si la hay), todos estos mantengan la estabilidad de la estructura.
- Que durante la eventual presencia de fenómenos naturales como sismos y lluvias intensas, sigan siendo seguras y estables la excavación, la construcción y las mismas estructuras de lumbreras y túnel.
- Que durante la vida útil de la obra se presente un comportamiento que de manera razonable siga los supuestos de diseño, principalmente en las zonas de cambios de material y contactos túnel-lumbreras.
- Obtener información técnica adicional para el diseño y construcción del proyecto que permita mejorar los procedimientos constructivos y el diseño de las estructuras conforme avance el proyecto ejecutivo y la obra misma.
- Conocer el impacto real de las lumbreras y el túnel sobre las estructuras ubicadas en la vecindad, como son el gran canal, los puentes, tuberías y construcciones existentes para tomar las debidas precauciones para evitar daños en ellas o en la obra.

Durante los trabajos de excavación en túnel, así como las intervenciones en la cámara de mezclado también llamado mamparo estanco se realiza la previa toma de lecturas de gases y temperatura por personal de seguridad calificado por medio del equipo de respiración autónomo y un detector de gases, una vez que el personal libera la zona de trabajo es posible el acceso del personal de lo contrario se necesaria la ventilación de la zona para aumentar el suministro de oxígeno y retirar los gases presentes.

<sup>35</sup>La TBM ofrece una serie de dispositivos y mecanismos de seguridad que deben asegurar la seguridad e integridad de las personas, de la propia máquina de otros bienes. Cualquier daño material puede provocar daños secundarios o situaciones de peligro en la máquina.

Las instrucciones de seguridad deben asegurar el funcionamiento seguro, fiable y económico de la maquina, advirtiéndolo ante las posibles situaciones o estados de peligro y permitiendo que el personal operario maneje adecuadamente la maquina en todas las fases de la vida útil de la misma.

<sup>36</sup>La máquina cumple todos los requerimientos de la Directiva 98/37 CEE sobre “maquinas” anexo I, Instrucciones generales sobre seguridad y sanidad.

Utilizando la maquina conforme a las instrucciones sobre el uso proyectado, no se puede producir ninguna situación de peligro conocida.

No obstante, es imprescindible respetar siempre las instrucciones generales sanitarias y sobre la seguridad en el trabajo durante el funcionamiento de la máquina.

El uso indebido de la TBM, cualquier componente defectuoso u otro defecto puede provocar situaciones muy peligrosas, está prohibido desarmar o desactivar los dispositivos y mecanismos de seguridad existentes en la máquina.

---

<sup>35</sup> Manual Instrucciones de Seguridad S497, 498 , Herrenknecht editado marzo 2009, pag.III-12



**Fig.12.1. Toma De Temperatura Ambiente, Lectura De Gases, Niveles De Oxígeno En Frente De Excavación**  
**Fuente. Lumbra 5 Túnel Emisor Oriente**



**Fig.12.2. Carros Para El Traslado De Personal De Lumbra Al Frente De Excavación**  
**Fuente. Lumbra 5 Túnel Emisor Oriente**

Toda persona en obra debe de contar con casco y botas como equipo mínimo, posterior a esto según la actividad de cada persona es necesario agregar gafas, guantes, conchas auditivas respiradores etc.

Es importante evitar el uso de audífonos en cualquier parte o actividad que se desarrolle, durante todo el turno se cuenta con servicio de ambulancia en la parte superficial.

Las locomotoras en Túnel cuentan con carros especiales para el transporte de personal esto evita que el personal interfiera con las maniobras de trabajo o suba al equipo en zonas que ponga en riesgo su bienestar.

En la zona de superficie, Lumbrera y Túnel frecuentemente se realiza la colocación de carteles de seguridad para hacer conciencia en el personal para que la seguridad sea primero antes que cualquier actividad.

Constantemente se verifica el estado de los equipos, así como de las eslingas y estobos de presentar daño o rebasar la fecha de caducidad se procede a sustituirlos.

El cableado eléctrico se tiene identificado, se le explica al personal en obra sobre los voltajes manejados y donde es posible cancelar el suministro en caso de algún accidente o emergencia presentada.

El personal solo debe enfocarse a su área asignada, no se deben realizar trabajos sin tener el conocimiento previo sin importar las posibles excusas existentes.



**Fig.12.3. Verificación De Niveles De Oxígeno Y Gas En El Frente De Excavación Por Medio De Equipo De Respiración Autónomo**  
**Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente**



**Fig.12.4. Instalación De Andadores De Seguridad Para El Personal**  
**Fuente. Lumbrera 5 Túnel Emisor Oriente**

## **CAPITULO XIII PUESTA EN MARCHA DE LOS PRIMEROS 10 KM DEL TÚNEL EMISOR ORIENTE <sup>37</sup>**

El 13 de junio del 2013, el Gobierno de la República, a través de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), puso en operación el primer tramo de 10 kilómetros del Túnel Emisor Oriente (TEO) para ampliar la capacidad del sistema de drenaje y disminuir el riesgo de inundaciones en México en la Zona Metropolitana del Valle de México, en beneficio de sus más de 20 millones de habitantes

Se pone en operación el primer tramo de 10 kilómetros del Túnel Emisor Oriente junto con la planta de bombeo el Caracol con capacidad de 40 mil litros por segundo.

Este tramo inicia en la Lumbreira 0 que se ubica en la Colonia san Felipe de Jesús de la Delegación Gustavo A. Madero en Ciudad de México y concluye en la Lumbreira 5 en Ecatepec, Estado de México.

Fue excavado con 2 tuneladoras de frente presurizado, maquinas que al mismo tiempo instalaron el recubrimiento primario también conocido como anillo de dovelas.

El Recubrimiento Definitivo del Túnel, de Concreto Armado, fue colocado mediante Cimbra Metálica.

La Plana de Bombeo el Caracol, con capacidad de 40 mil litros por segundo es una obra indispensable para el funcionamiento del primer tramo del TEO.

---

<sup>37</sup> Boletín, puesta en operación del primer tramo de 10 Kilómetros del Túnel Emisor Oriente, editado por CONAGUA-SEMARNAT

Recibe el caudal del Túnel y lo bombea al Gran Canal de Desagüe, en donde la pendiente de este no se encuentra afectada por los hundimientos del suelo.

Tiene una Lumbrera de rejillas para retener la basura y dos cárcamos de bombeo para vencer el desnivel de 50 metros, un Túnel de Interconexión con Lumbrera 5 del TEO, así como obras auxiliares y de edificación

Al trabajar en coordinación con las Plantas de Bombeo 11+600, 18+500 y Canal de Sales, permitirá recuperar la capacidad de desalojo del Gran Canal de Desagüe.

Cuando el TEO opere en sus 62 kilómetros, la Planta de Bombeo el Caracol mantendrá sobre el gran Canal de Desagüe el caudal de 8 mil litros por segundo, demandado por los Distritos de Riego, y permitirá absorber aguaceros extraordinarios que se presente en el Valle de México tanto en estiaje como en la temporada de lluvias.

Se construyeron captaciones para recibir las Aguas Residuales y de lluvias de los colectores ubicados en los Municipios de Ecatepec y Nezahualcóyotl en el Estado de México y de la Delegación Gustavo A. Madero en la Ciudad de México para enviarlas sin bombeo al TEO.

Las captaciones cuentan con cajas de derivación, control, deflexión y vertedor, lumbreras de caída y adosadas, micro Túneles e Interconexiones al TEO.



Fig.12.2. Mapa Del Sistema De Drenaje En La Zona Oriente

Fuente. Boletín, puesta en operación del primer tramo de 10 Kilómetros del Túnel Emisor Oriente, editado por CONAGUA-SEMARNAT.

## CONCLUSIONES

Con la construcción de la lumbrera 3-A se lograron agilizar los tiempos para concluir el primer Tramo del Túnel Emisor Oriente, la construcción de la Lumbrera 3-A, fue la solución para la salida de los equipos en tiempo y forma ya que de ver continuado la excavación de Túnel, con un solo equipo los tiempos de ejecución se hubiesen incrementado.

Es importante concluir que siempre se debe de tener un trabajo en equipo, analizar los riesgos posibles de cualquier situación presente durante el desarrollo de los trabajos, realizar lo necesario para dar soluciones optimas y evitar poner en riesgo el factor Humano, la naturaleza siempre será un factor que puede sorprendernos por lo anterior es importante saber trabajar en equipo para generar las mejores resultados en el menor tiempo posible, el compromiso de cada uno de los integrantes de un equipo siempre es fundamental durante una contingencia.

Pese al tiempo y la presión por la salida y llegada de las Tuneladoras, en ningún momento se realizaron trabajos sin calidad ni evadiendo los Procedimientos de construcción, es importante que para tener resultados satisfactorios se necesita un trabajo en equipo y el compromiso de todo el personal involucrado, conocer la estratigrafía actualizada del terreno, realizar los estudios necesarios y correspondientes para no dejar posibles faltas de información que posteriormente puedan complicar el desarrollo del proyecto.

Con los trabajos realizados para la Construcción de la Lumbrera 3-A se logró excavar de Lumbrera 0 hasta Lumbrera 3-A con la Tuneladora Hk-S497 y de Lumbrera 5 a Lumbrera 3-A con la Tuneladora Robbins Morelos, pero como objetivo principal, se logró poner en Operación el Primer Tramo del Túnel Emisor Oriente en el año 2013 y que actualmente se encuentra en funcionamiento en conjunto con la Planta de Bombeo el Caracol.

Cabe mencionar que desde la planeación emergente de esta Lumbrera se cuidaron los Procedimientos de Construcción, para realizarlos en el menor tiempo posible y permitir no tener que realizar re trabajos que pudiesen generar pérdida de tiempos o rendimientos, de la misma forma se cuidó la inversión de los recursos de forma detallada con lo que fue posible concluir el tramo en las mejores condiciones.

## **RECOMENDACIONES.**

Para el desarrollo de la una obra de Túnel o cualquier otro tipo de estructura es importante conocer a detalle la Estratigrafía con la que se trabajara durante el desarrollo del proyecto, de esto depende en la mayoría de ocasiones la toma de decisiones en la maquinaria para la ejecución y/o los Procedimientos más factibles para el cumplimiento de un objetivo y la utilización de los recursos necesarios, la limpieza y la debida planeación son parte importante para evitar realizar re trabajos que afecten el tiempo y los recursos que se tienen en obra, todos formamos partes del mismo barco, sin importar el área que maneje cierto ingeniero sea el frente o no, debe estar enterado de la geología, del procedimiento, del área de seguridad, de la existencia de herramienta y almacén, de la instrumentación por nombrar algunas no se puede cerrar solo a atender su área debido a que lo anterior comienza a realizar divisiones en el desarrollo del proyecto lo que provoca malas ejecuciones o tomas de decisiones erróneas por la falta de información.

Se debe llevar un orden en la ejecución de los trabajos evitar evadir los Procedimientos de Construcción establecidos, el trato con el personal de obra es importante se debe tener un ambiente cómodo de trabajo, el personal de sentirse incomodo se vuelve una carga de trabajo lejos de ser una ayuda.

Es importante manejar tiempos para el cumplimiento preciso de las actividades, si por cuestión ajena no es posible continuar, se deben atender trabajos faltantes con la finalidad de ahorra tiempos y recursos.

La seguridad en el personal es lo más importante después de todas las recomendaciones realizadas, el factor humano es irremplazable por lo que sin importar las actividades sean o no de alto riesgo se debe tener al personal de obra con el equipo de seguridad necesario y nunca pensar “no pasa nada”.

Es necesario tener un criterio bien establecido para poder tomar decisiones en caso de presentarse algo fuera de lo planeado, la naturaleza es un factor importante el cual en múltiples ocasiones es imposible predecir, por lo que se tienen que estar preparados por cualquier evento que se presente.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- 1.- Boletín, puesta en operación del primer tramo de 10 Kilómetros del Túnel Emisor Oriente, editado por CONAGUA-SEMARNAT.
- 2.- Boletín, Programa de sustentabilidad hídrica de la cuenca del valle de México, editado por CONAGUA-SEMARNAT.
- 3.- Boletín, Abasto, drenaje y saneamiento hídrico en el valle de México, editado por CONAGUA-SEMARNAT.
- 4.- Boletín, con más obras, la Conagua protege de inundaciones a la población del oriente-sur del Valle de México editado por CONAGUA-SEMARNAT.
- 5.- Boletín, con más obras, la Conagua protege de inundaciones a la población del oriente-centro del Valle de México editado por CONAGUA-SEMARNAT.
- 6.- Revisión al proyecto del muro Milán y muro convencional, Dirac, S.A., febrero 2010
- 7.-Coordinación de Supervisión, archivo fotográfico, 2008 – 2010, Dirac S.A.
- 8.- Tesis procedimiento constructivo de la lumbrera 5 en suelos mixtos para la construcción del túnel emisor oriente, Refugio Emilio Ortiz Cervantes, Ciudad de México junio 2016.
- 9.- Excavación de núcleo Lumbrera 3, COMISSA – CONAGUA, febrero 2011.
- 10.- Estudio de factibilidad técnica del Túnel Emisor Oriente, editado por la Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil de CFE.
- 11.- Anexo 10, Términos de referencia, Proyecto Ejecutivo para la construcción del túnel emisor oriente localizado en el distrito federal, estado de México, dentro de la cuenca del valle de México y el estado de hidalgo, editado por CONAGUA, noviembre 08.
- 12.- Reportes de campo de lumbrera 3-A, Dirac enero – diciembre 2011.
- 13.- Procedimiento constructivo Lumbrera L05 KM 10+061.340 Túnel Emisor Oriente, editado por COMISSA noviembre 2008.
- 14.- Términos de referencia, Túnel Emisor Oriente, editado por CONAGUA, octubre 08.
- 15.- Manual de operación S497, 498, Herrenknecht editado marzo 2009.

- 16.- Manual Datos Técnicos S497, 498, Herrenknecht editado marzo 2009.
- 17.- Manual Instrucciones de Seguridad S497, 498 , Herrenknecht editado marzo 2009.
- 18.- Manual General S497, 498, Herrenknecht, editado marzo 2009.
- 19.- Manejo S497, 498, Herrenknecht, editado marzo 2009.
- 20.- Diseño Constructivo y Funcionamiento, S497, 498, Herrenknecht editado marzo 2009.
- 21.- Análisis y Memoria de Cálculo Geotécnico Protección del Gran Canal considerando Inclusiones mediante tableros lumbrera L-3A Túnel Emisor Oriente, Ing. Sergio A. Martínez Galván, editado 11 nov 2011.
- 22.- Análisis estructural 3ª edición R.C. Hibbeler, México 1997
- 23.- Anexo 3 Especificaciones generales y particulares Túnel Emisor Oriente, Secretaria del medio Ambiente y Recursos Naturales, CONAGUA, subdirección general de agua potable drenaje y saneamiento, gerencia de infraestructura hidráulica pluvial, México.
- 24.- Análisis, diseño y construcción de la subestructura como elemento de contención con base en muro Milán, de un edificio con 12 sótanos, ubicado en av. Paseo de la reforma, cd de México, Sergio Daniel Villar Solares, noviembre 2014.
- 25.- Memoria Descriptiva Del Procedimiento Para La Entrada De Escudos Y Salida De Equipo En Lumbrera L-3, Ing. Arq. Víctor Daniel Tapia R. y Ing. Luis Enrique Gutiérrez M. Comissa, Mexico,04 septiembre 2012.

## **GLOSARIO** <sup>38394041</sup>

**Aguachine.** Estropear una comida por exceso de agua.

**Escarificado.** Consiste en la disgregación del terreno existente, efectuada por medios mecánicos, eventual retirada o adición de materiales y posterior compactación de la caja así obtenida. La escarificación se llevará a cabo en las zonas y con la profundidad que se estipule en el proyecto de referencia o que, en su defecto, señale el director de las obras.

**Esclusa.** Compuerta.

**Estiaje.** El estiaje es el nivel de caudal mínimo que alcanza un río o laguna en algunas épocas del año, debido principalmente a la sequía

**Fluencia.** Deformación irrecuperable de la probeta, a partir de la cual sólo se recuperará la parte de su deformación correspondiente a la deformación elástica, quedando una deformación irreversible.

**Inmersión.** Acción de introducir algo o introducirse en un fluido

**Izaje.** Forma de levantar o mover objetos con ayuda de algunos dispositivos, el cual se hace de una forma segura, controlada y bien calculada

**Lecho.** Cama que por su cara sirve de apoyo o base para el siguiente

**Pemex.** Petróleos Mexicanos

---

<sup>38</sup> Análisis estructural 3ª edición R.C. Hibbeler, México 1997

<sup>39</sup> Enciclopedia Encarta 2009

<sup>40</sup> Manual de Cimentaciones Profundas, Sociedad Mexicana de Suelos, México, 2001

<sup>41</sup> Mecánica de suelos, Juárez Badillo Rico Rodríguez Tercera Edición, ed. Limusa 1975.

**Permeabilidad.** capacidad que tiene un material de permitirle a un flujo que lo atraviese sin alterar su estructura interna. Se afirma que un material es permeable si deja pasar a través de él una cantidad apreciable de fluido en un tiempo dado, e impermeable o no permeable si la cantidad de fluido es despreciable.

**Prueba proctor.** Prueba con la cual es posible determinar la densidad seca máxima de un terreno en relación con su grado de humedad, a una energía de compactación determinada.

**Prueba Marsh.** Prueba por medio de embudo Marsh que sirve para medir la viscosidad en diferentes lodos.

**Rezaga.** Material producto de excavación.

**Segregación.** En concreto, separación de sus componentes una vez amasado provocando que la mezcla de hormigón fresco presente una distribución de sus partículas no uniforme.

**Snorkel.** Equipo utilizado para el transporte de concreto y su colocación.

**TBM.** Tierra a presión balanceada.

**Truck.** Conjunto de dos o tres pares de ruedas, según modelo, montadas sobre sendos ejes próximos, paralelos y solidarios entre sí, que se utilizan en ambos extremos de los vehículos de gran longitud destinados a circular sobre carriles

**Viscosidad.** Resistencia que tienen las moléculas que conforman un líquido para separarse unas de otras, es decir, es la oposición de un fluido a deformarse y esta oposición es debida a las fuerzas de adherencia que tienen unas moléculas de un líquido o fluido con respecto a las otras moléculas del mismo líquido.

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>CAPITULO I. MARCO DE REFERENCIA .....</b>	<b>4</b>
Fig.1.1. Estratigrafía del Túnel Emisor Oriente .....	7
Fig.1.2. Inundación 03 de febrero 2010 Lumbrera 5 Túnel Rio de los Remedios .....	10
Fig.1.3. Zona Exterior De Lumbrera 0 Durante La Inundación 04 De Febrero 2010 .....	10
Fig.1.4. Vista Planta Lumbrera 0 Durante La Inundación, TEO .....	11
Fig.1.5. Lumbrera 5 Túnel Interceptor Rio De Los Remedios .....	11
<b>CAPITULO II TRABAJOS PREVIOS .....</b>	<b>12</b>
Fig.2.1. Trazo De Lumbrera 3-A.....	12
Fig.2.2. Verificación De Ductos De 24 “ De Pemex Para Su Extracción.....	13
Fig.2.3. Canalización Para Desvió De Líneas Eléctricas.....	14
Fig.2.4. Construcción De Registros Para Desvió De Líneas Eléctricas .....	15
Fig.2.5. Excavación Para Reubicación De Poste De Alta Tensión .....	16
Fig.2.6. Izaje Para La Colocación De Escantillón Para El Hincado De Tablestaca .....	17
Fig.2.7. Hincado De Tablestaca En Talud Para Extensión De la Plataforma De Trabajo .....	18
Fig.2.8. Hincado De Tablestaca En Talud.....	18
Fig.2.9. Planta De Localización De Tablestacado y Viga Madrina En Lumbrera 3-A.....	19
Fig.2.10. Detalle De La Colocación De La Viga Madrina Con el Tablestacado.....	20

Fig.2.11. Relleno Y Compactado Para Mejoramiento De Plataforma De Trabajo .....	21
Fig.2.12. Ubicación De Tensores, Tablestaca Y Viga Madrina .....	22
Fig.2.13. Detalle De Conexión De Tensores Y Viga Madrina.....	23

### **CAPITULO III CONSTRUCCIÓN DE LUMBRERA 3-A POR**

<b>MEDIO DE MURO MILÁN .....</b>	<b>24</b>
Fig.3.1. Detalle Brocal Interior Y Exterior Lumbrera 3-A .....	24
Fig.3.2. Excavación Para La Construcción Del Brocal Interior .....	25
Fig.3.3. Compactación De Plantilla En Excavación Para La Construcción De Brocales En L3-A .....	25
Fig.3.4. Detalle De Armado De Acero De Refuerzo Para Brocales L3-A .....	26
Fig.3.5. Armado De Acero De Refuerzo Para Brocal Interior L3-A.....	26
Fig.3.6. Colocación De Cimbra En Brocal Interior .....	27
Fig.3.7. Colado De Brocal Interior L3-A .....	28
Fig.3.8. Colocación Y Vibrado De Concreto Para El Colado De Brocal Interior .....	28
Fig.3.9. Armado De Acero De Refuerzo Del Brocal Exterior L3-A .....	29
Fig.3.10. Detalle Del Brocal Interior y Exterior L3-A .....	29
Fig.3.11. Tanque Chino Utilizado Para La Hidratación Del Lodo Bentonítico .....	32
Fig.3.12. Planta De Lodos En Lumbrera 3-A .....	32
Fig.3.13. Planta, Tableros A Excavar Para Construcción De Muro Milán L3-A .....	35
Fig.3.14. Excavación Del Muro Milán Tablero No 20 L3-A .....	35
Fig.3.15. Verificación De Verticalidad De La Excavación Por Medio De Boyas .....	36
Fig.3.16. Colocación De Clavos En Junta Metálica.....	37

Fig.3.17. Empate De Las Dos Secciones De Armado Para Muro Milán L3-A .....	40
Fig.3.18. Izaje De Armado De Acero De Refuerzo Para Muro Milán De L3-A .....	41
Fig.3.19. Colado Con 2 Líneas De Tubería Tremie Para Muro Milán L3-A .....	43
Fig.3.20. Detalle De La Trabe De Coronamiento .....	44
Fig.3.21. Retiro Y Demolición Del Brocal Exterior L3-A .....	45
Fig.3.22. Colado De La Trabe De Coronamiento .....	46
Fig.3.23. Trabe de coronamiento l3-A.....	47

#### **CAPITULO IV MEJORAMIENTO DEL TERRENO, PLATAFORMA DE TRABAJO..... 48**

Fig.4.1. Tableros Para Sustitución Del Suelo Por Lodo Fraguante .....	49
Fig.4.2. Excavación Con Lodo Fraguante Para Mejoramiento Del Terreno.....	50

#### **CAPITULO V CONSTRUCCIÓN DE LUMBRERA 3-A ..... 53**

Fig.5.1. Excavación Del Núcleo De Lumbrera 3-A .....	53
Fig.5.2. Planta Excavación Del Núcleo De Lumbrera 3-A .....	54
Fig.5.3. Detalle Del Nivel Del Anillo De Rigidez L3-A .....	55
Fig.5.4. Anclaje Del Muro Milán Con El Acero De Refuerzo Del Anillo De Rigidez .....	56
Fig.5.5. Planta, Armado De Acero De Refuerzo Y Cimbrado Del Anillo De Rigidez .....	57
Fig.5.6. Armado De Acero De Refuerzo Losa De Fondo L3-A.....	59
Fig.5.7. Planta, Armado De Acero De Refuerzo Losa De Fondo L3-A.....	60

Fig.5.8. Colado De Losa De Fondo De Lumbrera 3-A.....	61
Fig.5.9. Vibrado Para La Colocación De Concreto De La Losa De Fondo De Lumbrera 3-A .....	62

**CAPITULO VI REVESTIMIENTO DEFINITIVO DE LUMBRERA 3-A ..... 63**

Fig.6.1. Planta, Armado De Acero De Refuerzo Del Revestimiento Definitivo De L3-A.....	64
Fig.6.2. Estructura De Soporte De Gatos Hidráulicos En Superficie De Lumbrera .....	65
Fig.6.3. Colado Del Revestimiento Definitivo Con Cimbra Deslizante En L3-A .....	66
Fig.6.4. Colado Del Revestimiento Definitivo De Lumbrera .....	67
Fig.6.5. Chuleado Del Revestimiento Definitivo En L3-A .....	68

**CAPITULO VII CONSTRUCCIÓN DE PORTALES PARA  
LLEGADA DE TUNELADORAS Y CUNA  
DE ARRASTRE..... 69**

Fig.7.1. Corte, Proyección Portal De Salida De Lumbrera .....	69
Fig.7.2. Planta Armada De Acero De Refuerzo Portal De Salida L3-A .....	70
Fig.7.3. Planta, Construcción Del Portal De Entrada L3-A.....	72
Fig.7.4. Colocación De Cimbra De Contacto Portal De Entrada L3-A .....	72
Fig.7.5. Descimbre Del Portal De Entrada L3-A.....	74
Fig.7.6. Planta, Ubicación De La Cuna De Arrastre En Fondo De Lumbrera 3-A .....	75

**CAPITULO VIII EXCAVACIÓN DE TÚNEL POR MEDIO DE  
TUNELADORA HK- 497 PARA LA LLEGADA**

<b>A LUMBRERA 3-A.....</b>	<b>76</b>
Fig.8.1. Llegada Del Escudo Hk-S497 .....	76
Fig.8.2. GENERALIDADES ESCUDO HK-S497 .....	77
Fig.8.3. PERFIL DEL ESCUDO EPB HK-S497 .....	80
Fig.8.4. Pantalla De La Cabina De Control De Avance Del Escudo Hk-S497 .....	81
Fig.8.5. Pantalla Donde Se Muestra El Monitoreo Detallado De La Rueda De Corte, Tornillo Sinfín, Y Bombas De Material .....	83
Fig.8.6. Pantalla Que Muestra El Sistema De Inyección De Espuma Y Funcionamiento De Las Bombas De Rezaga De Material .....	84
Fig.8.7. Pantalla Del Sistema De Guiado De Escudo Hk-S497 .....	85
Fig.8.8. Rezagado de material de excavación por medio de banda de transporte .....	87
Fig.8.9. Traslado de material de rezaga por medio de vagonetas al fondo de lumbrera .....	87
Fig.8.10. Extracción de rezaga del fondo de lumbrera a superficie .....	88
Fig.8.11. Sección Del Anillo De Dovelas Colocado Y Apoyado Por Los Cilindros De Empuje Del Escudo.....	89
Fig.8.12. Anillo Erector Succionando Por Medio De Vacío Dovela Cuña Para Su Colocación .....	90
Fig.8.13. Vista Del Endovelado Del Túnel De L3 A L3-A .....	90
Fig.8.14. Descenso De Dovelas Al Fondo De Lumbrera 3 Para Su Traslado Al Frente De Trabajo .....	92

Fig.8.15. Colocación De Juntas De Estanqueidad En El Endovelado .....	92
--	----

## **CAPITULO IX EXTRACCIÓN DE TUNELADORAS ROBBINS Y**

### **HERRENKNECHT S-497 ..... 81**

Fig.9.1. Apertura De Ventana Para Detectar La Distancia De La Nariz Del Escudo Hk-S497 .....	93
Fig.9.2. Salida De Los Escudos Hk-S497 Y Robbins Morelos En Lumbrera 3-A .....	95
Fig.9.3. Mantenimiento, Revisión De Soldadura Deteriorada En La Rueda De Corte En Lumbrera 7 .....	95
Fig.9.4. Extracción De La Rueda De Corte Del Escudo Robbins Morelos .....	97
Fig.9.5. Extracción De La Rueda De Corte Del Escudo Hk-S497 .....	97
Fig.9.6. Extracción De La Estructura Del Carro No 3 Del Escudo Hk-S497 .....	98
Fig.9.7. Preparativos Para El Izaje Del Tornillo Sinfín Del Escudo Hk-S497 .....	98

## **CAPITULO X REVESTIMIENTO DE TÚNEL POR MEDIO**

### **DE CIMBRA TELESCÓPICA POSTERIOR A**

### **LA EXTRACCIÓN DE LOS ESCUDOS ..... 99**

Fig.10.1. Limpieza Fina Del Revestimiento Primario Del Túnel .....	100
Fig.10.2. Armado De Acero De Refuerzo De Túnel Tramo L3-L3A.....	102

Fig.10.3. Armado De Acero De Refuerzo Primer Lecho Cubeta Para El Revestimiento Definitivo De Túnel L3 A L3-A .....	103
Fig.10.4. Armado De Acero De Refuerzo Segundo Lecho Sección Completa Para El Revestimiento Definitivo De Túnel L3 A L3-A .....	103
Fig.10.5. Cimbrado De Cubeta De Túnel Para Revestimiento Definitivo L3 A L3-A .....	105
Fig.10.6. Cimbrado De Clave De Túnel Para Revestimiento Definitivo L3 A L3-A.....	106
Fig.10.7. Interior De La Cimbra Metálica Durante El Revestimiento Definitivo En El Tramo L3 A L3-A .....	106
Fig.10.8. Vista De Cimbra Tapón Al Final Del Módulo No 5 De La Cimbra Metálica .....	108
Fig.10.9. Recorrido Del Snorkel Para El Cambio De Boquilla Durante El Desarrollo Del Colado Del Revestimiento Definitivo De Túnel .....	109
Fig.10.10. Movimiento de Cimbra Cubeta por Medio de Jumbo .....	109
Fig.10.11. Vista Interior de La Cimbra Metálica Durante Los Trabajos Complementarios .....	110
Fig.10.12. Acero de Refuerzo dos Lechos y Separadores de concreto para Revestimiento Definitivo .....	110
Fig.10.13. Revestimiento Primario Endovelado .....	111
Fig.10.14. Revestimiento Definitivo .....	111

**CAPITULO XI INSTRUMENTACIÓN..... 112**

Fig.11.1. Instalación De Piezómetro En Superficie De Lumbrera 3-A Antes Del Inicio De Los Trabajos .....	115
--	-----

Fig.11.2. Deformimetro De Concreto Instalado En La Clave Del Túnel.....	115
Fig.11.3. Toma De Lecturas Por Medio De La Sonda En Inclínómetro .....	116

**CAPITULO XII NUESTRA SEGURIDAD DURANTE EL  
DESARROLLO DEL PROYECTO ..... 117**

Fig.12.1. Toma De Temperatura Ambiente, Lectura De Gases, Niveles De Oxígeno En Frente De Excavación .....	120
Fig.12.2. Carros Para El Traslado De Personal De Lumbrera Al Frente De Excavación.....	120
Fig.12.3. Verificación De Niveles De Oxígeno Y Gases En El Frente De Excavación Por Medio De Equipo De Respiración Autónomo.....	122
Fig.12.4. Instalación De Andadores De Seguridad Para El Personal .....	122

**CAPITULO XIII PUESTA EN MARCHA DE LOS PRIMEROS 10 KM DEL TÚNEL  
EMISOR ORIENTE ..... 123**

Fig.13.1. Mapa del sistema de drenaje en la zona oriente .....	125
--	-----