



IV. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL REVESTIMIENTO EN TÚNELES

El revestimiento de un túnel en general, consiste en la colocación de concreto armado o simple, prefabricado o colado en sitio, el tipo de revestimiento depende de las características del suelo sobre el cual se construirá el túnel, de ahí la importancia de conocer el tipo de suelo para la elección de algún método o la combinación de ellos para revestir un túnel.

La construcción de túneles para desalojo de agua residual es común revestir en dos fases:

Primera fase: revestimiento primario

Es el sistema de soporte inicial del túnel que garantiza la estabilidad de la excavación así como la seguridad de los trabajadores, puede ser a base de prefabricados (dovelas), o colado en sitio (concreto lanzado) la elección depende de las características estratigráficas del suelo sobre el que se construirá el túnel.

Segunda fase: revestimiento definitivo

Es un recubrimiento de concreto ya sea simple o armado colado en sitio por medio de una cimbra u otro medio mecánico, el revestimiento final se construye sobre el soporte inicial (en la actualidad por medio de dovelas de concreto), su función es proteger al túnel de las acciones destructivas derivadas de su uso, de tal forma que la construcción de un túnel culmina con el revestimiento definitivo dando este el acabado final y diámetro de proyecto.

4.1 COLOCACION DE DOVELAS (REVESTIMIENTO PRIMARIO)

En la actualidad son ampliamente utilizadas las dovelas como revestimiento primario en túneles construidos en suelos blandos, las dovelas son elementos prefabricados montados con la ayuda de un brazo erector localizado al interior de un escudo, el proceso consiste en la colocación secuencial de dovelas, de dimensiones y formas prescritas, que integran el soporte inicial estabilizando las paredes del túnel.

Para el caso de estudio un anillo se compone de cinco dovelas o segmentos más una de cierre o llave (sistema 5+1), cada dovela es identificada por una letra y un número lo que determina la posición que ocupara en el anillo, cada anillo se compone de seis elementos; tres son tipo A (A1, A2, A3), uno B, uno C y la cuña K.

Hoy en día son de uso común los anillos de tipo “universal” que permiten ajustarse a trazos rectos y curvos con solo rotar la posición de la dovela de cierre o segmento “k” y con esto el anillo, definiéndose así el tipo de anillo, en el caso de estudio los anillos son de tipo universal y van desde el U01 al U16, la configuración del anillo no cambia, lo que se modifica es el plano de empuje permitiendo al escudo la elección del anillo más adecuado según una secuencia determinada eligiendo alguna de las combinaciones que más convenga según la trayectoria de la tuneladora, esto es posible también gracias a la forma tronco-cónica de los anillos, sin embargo existe una restricción la cual no permiten las juntas entre dovelas consecutivas es decir debe existir un traslape con la finalidad de evitar líneas de debilidad.

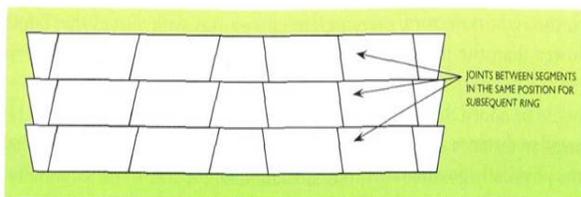


Fig. 4.1.1a Secuencia no permitida en la colocación de anillos

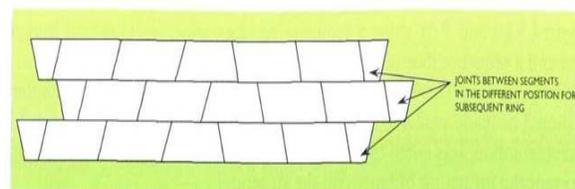


Fig. 4.1.1b Secuencia permitida en la colocación de anillos

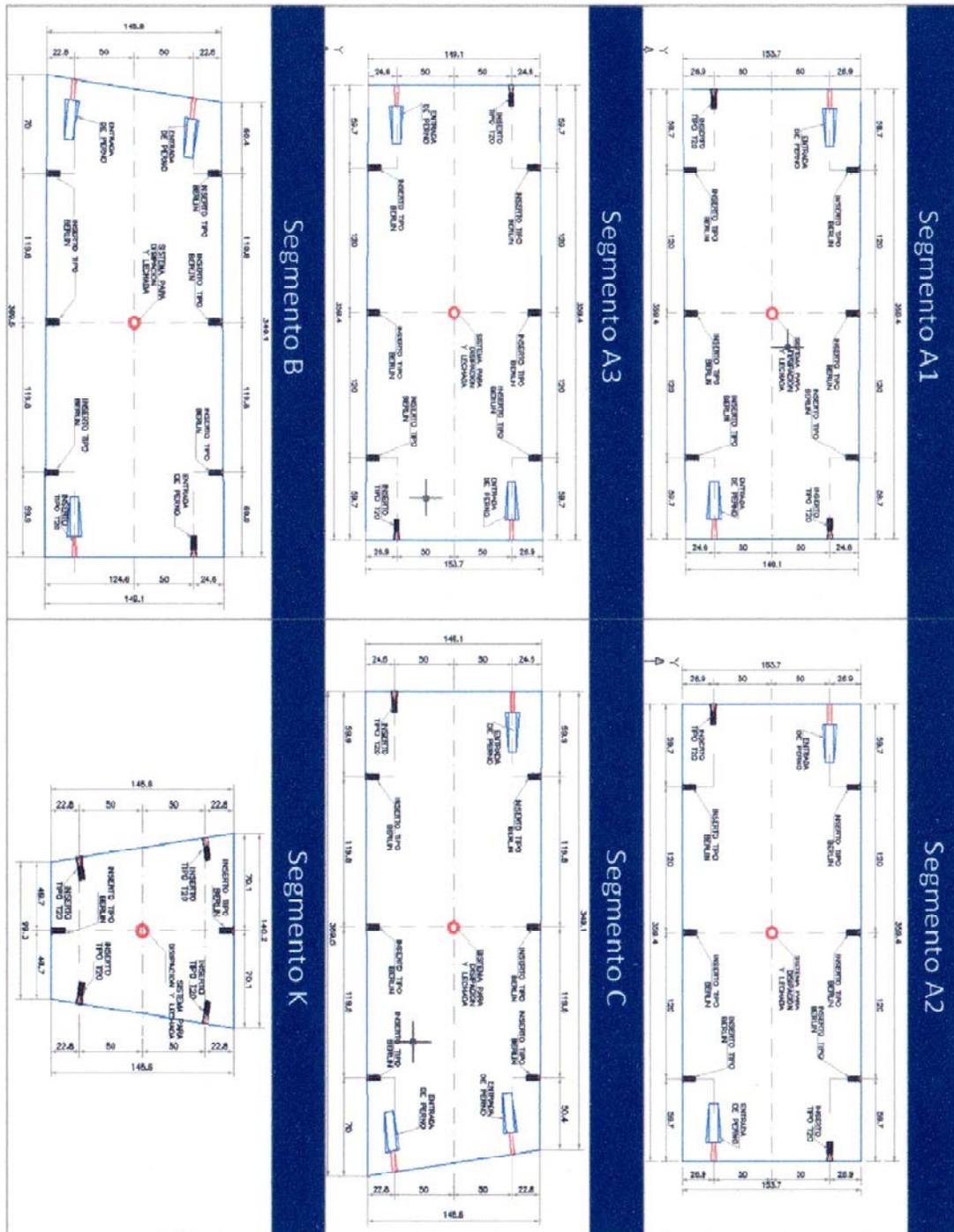


Fig. 4.1.2 Características geométricas de las dovelas



Fig. 4.1.3 Configuración de anillos en sus 16 posiciones

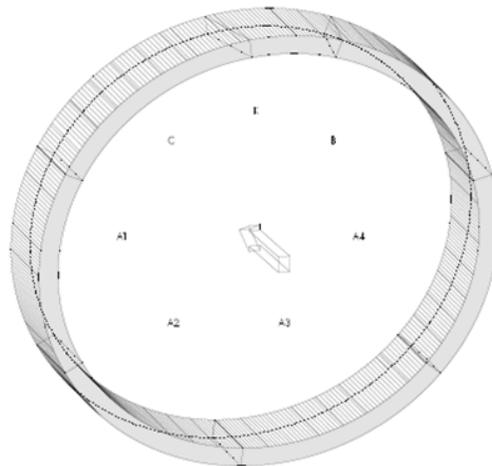


Fig. 4.1.4 Segmentos que componen un anillo de concreto

Cada dovela cuentan con una ranura perimetral sobre todo su espesor para la colocación de juntas de neopreno con la intención de dar hermeticidad entre las uniones de anillos para impedir el paso del agua y el mortero de inyección al interior del túnel.

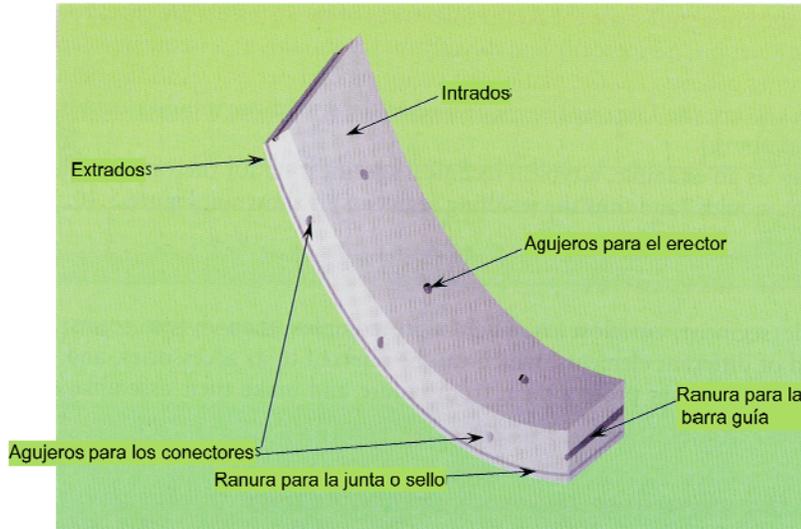


Fig. 4.1.5 dovela de concreto armado

Tipo	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16
01	N	S	S	N	S	S	N	N	S	N	N	S	S	N	S	S
02	S	N	S	S	N	S	S	N	N	S	N	N	S	S	N	S
03	S	S	N	S	S	N	S	S	N	N	S	N	N	S	S	N
04	N	S	S	N	S	S	N	S	S	N	N	S	N	N	S	S
05	S	N	S	S	N	S	S	N	S	S	N	N	S	N	N	S
06	S	S	N	S	S	N	S	S	N	S	S	N	N	S	N	N
07	N	S	S	N	S	S	N	S	S	N	S	S	N	N	S	N
08	N	N	S	S	N	S	S	N	S	S	N	S	S	N	N	S
09	S	N	N	S	S	N	S	S	N	S	S	N	S	S	N	N
10	N	S	N	N	S	S	N	S	S	N	S	S	N	S	S	N
11	N	N	S	N	N	S	S	N	S	S	N	S	S	N	S	S
12	S	N	N	S	N	N	S	S	N	S	S	N	S	S	N	S
13	S	S	N	N	S	N	N	S	S	N	S	S	N	S	S	N
14	N	S	S	N	N	S	N	N	S	S	N	S	S	N	S	S
15	S	N	S	S	N	N	S	N	N	S	S	N	S	S	N	S
16	S	S	N	S	S	N	N	S	N	N	S	S	N	S	S	N
	Permitido								No Permitido							

Fig. 4.1.6 Secuencia permitida y no permitida en función del tipo de anillo evitando

colocan los tornillos en los insertos y se aprietan con llave neumática, para la unión de dovelas contiguas se emplean dos tornillos por lo que para un anillo se emplean doce tornillos en total. La figura 4.1.7 muestra la unión con tornillo entre dovelas.

Para colocación de los tornillos, la caja debe contar con las dimensiones adecuadas que permitan el atornillado así como el agujero por donde entrara el tornillo de acero, el cual debe pasar libremente hasta el inserto.

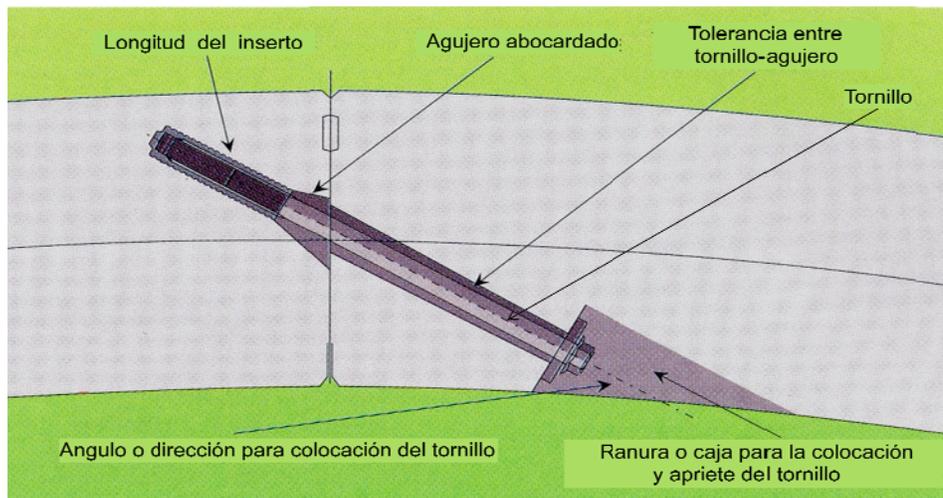


Fig. 4.1.8 Unión entre dovelas contiguas

La unión entre anillos es también por insertos, utilizando el sistema de unión Berlín con tornillos bicéfalo que permite la unión por medio de presión sin necesidad de atornillar.

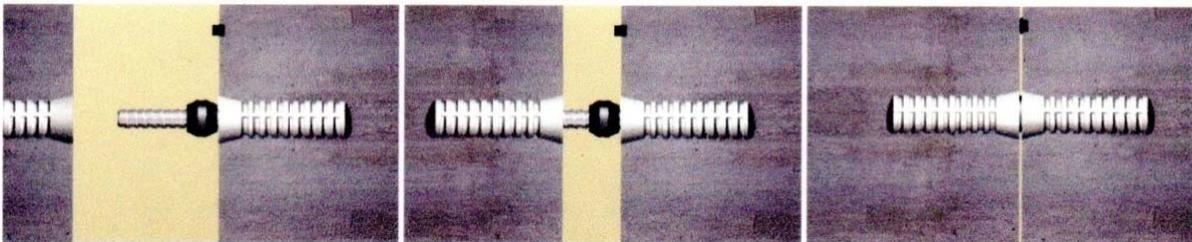
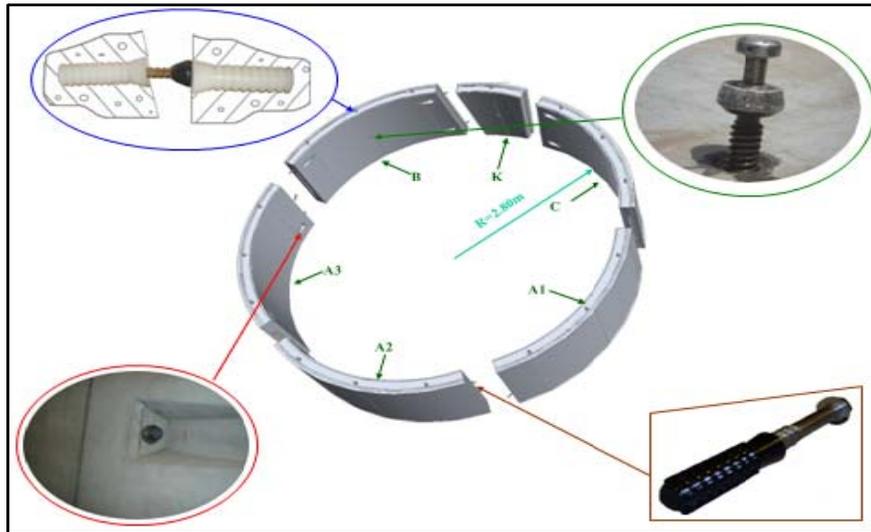
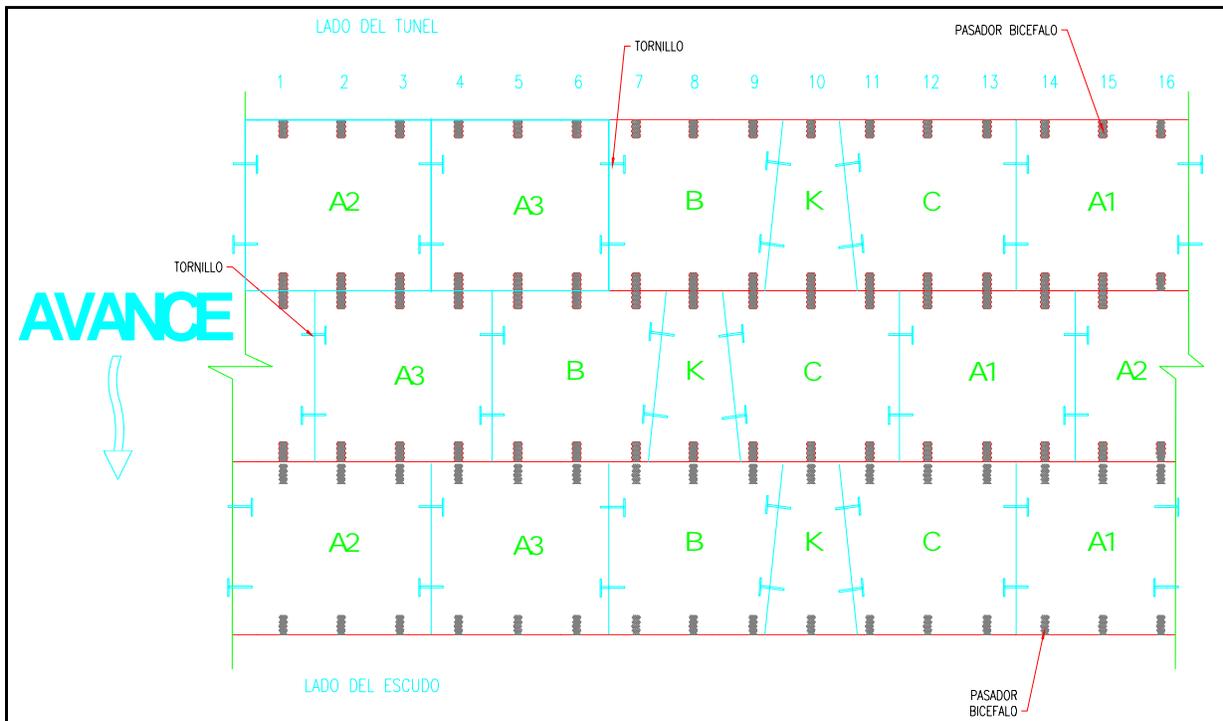


Fig. 4.1.9 Unión entre anillos por medio del sistema Berlín con tornillos bicéfalo



anillos



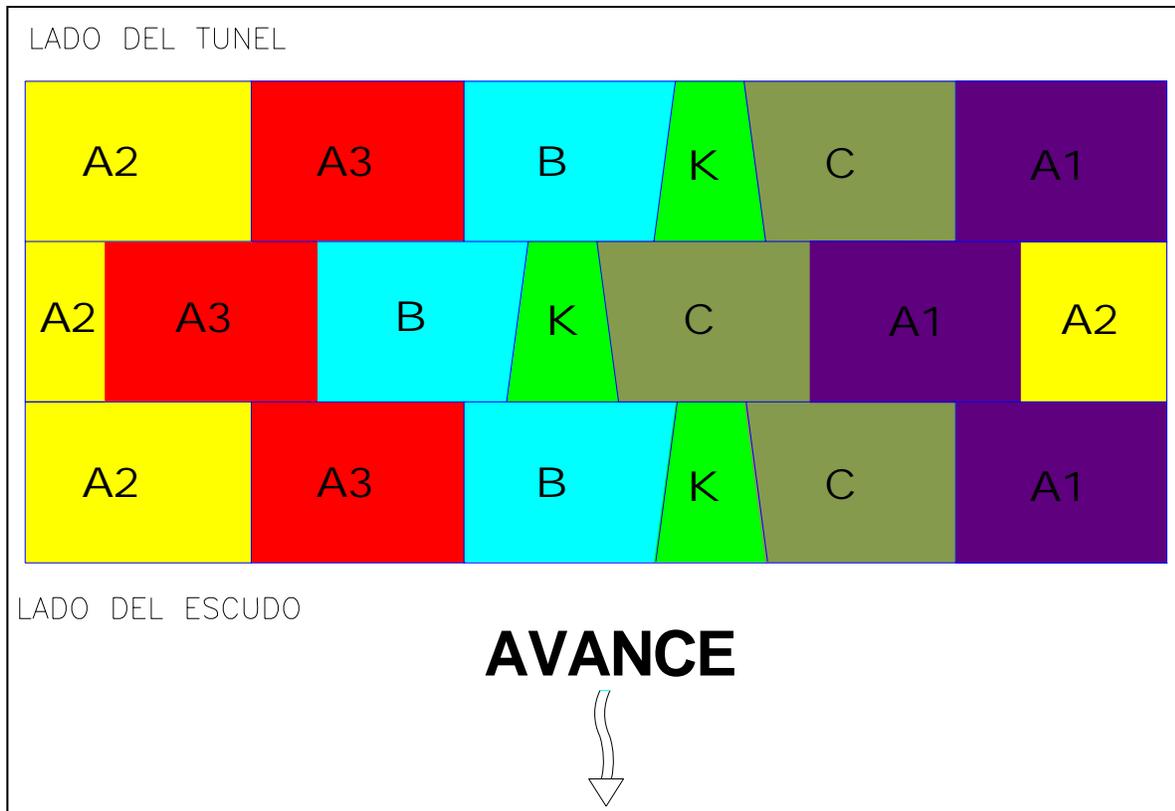


Fig. 4.1.12 Conectores para armado de dovelas y anillos.

Los trabajos del revestimiento primario inician cuando se tienen los primeros metros excavados, el proceso de montaje o colocación de las dovelas comienza con la maniobra de bajada hasta el portal de entrada del túnel, de donde son transportadas hasta el lugar de su colocación, aquí es importante mantener el orden adecuado en la llegada de dovelas al erector ya que se debe respetar la serie de montaje, de ahí la importancia de tenerlas identificadas para bajarlas en el orden correcto.

El orden de colocación de los segmentos del anillo es alternando las piezas una a la derecha y una a la izquierda de esa manera hasta llegar a la colocación de la última pieza la “K”, la figura 4.1.11 muestra las dovelas una vez colocadas.

El proceso de colocación se lleva a cabo mediante un brazo erector, como se ha mencionado anteriormente, integrado dentro del escudo él cual se encarga de

levantar la dovela mediante un perno o tornillo con la capacidad de soporte de la pieza, este perno se inserta en una rosca dejada para esa función en el centro del elemento llevándolo a la posición que le corresponda, una vez que se cuenta con las piezas al alcance del erector inicia el ciclo para el armado de los anillos, el proceso consiste en lo siguiente:

1. Se retraen los gatos necesarios para liberar espacio y poder colocar la dovela del siguiente anillo.
2. El erector coloca la dovela en el lugar previamente liberado, dependiendo de su posición se apoya uno o dos gatos sobre la dovela colocada para liberar el brazo y se dirige hacia la siguiente pieza a colocar.
3. Ya con la pieza lista en el erector nuevamente se retraen los gatos para poder colocar la segunda dovela misma que se monta en la zona liberada.
4. Se hacen coincidir los orificios del tornillo que une ambas dovelas y se atornillan.

Esta secuencia continúa hasta colocar la pieza “k” que completa el anillo, este ciclo se mantiene durante todo el proceso del revestimiento primario.



Fig. 4.1.12 Suministro de Dovelas al escudo



Conforme se avanza en la colocación de los anillos se requiere de una inyección a través de preparaciones que se dejan para este propósito en la clave del anillo, tal inyección es a base de mortero y bentonita, con la finalidad de rellenar los espacios anulares y limitar los asentamientos del terreno (efecto autonivelante) que quedan entre las dovelas y el terreno al liberar el faldón del escudo, la inyección también ayuda a impermeabilizar el túnel.

Es de esta manera se desarrollan los trabajos del revestimiento primario en cada tramo para finalmente y se da inicio al desmantelamiento de las instalaciones de la excavación y revestimiento primario, así como la limpieza del tramo para iniciar con los trabajos para el revestimiento definitivo.



4.2 REVESTIMIENTO DEFINITIVO

El revestimiento definitivo es la etapa final en el proceso de construcción de un túnel, consiste en la colocación de concreto armado o simple utilizando cimbras u otro sistema manual o mecánico, el cual constituye una protección adicional al túnel.

Para el caso de estudio, el revestimiento definitivo es construido sobre el primario a base de dovelas, entre las funciones más importantes del revestimiento definitivo está la de incrementar la resistencia del túnel a los esfuerzos que le provoca el terreno, así como la de proteger al túnel contra las acciones nocivas que le provocan las aguas residuales, más aún si se trata de terrenos lacustres, por otro lado minimiza las deformaciones que se pudieran presentar debido a las cargas que se manifestaran por la sección de la estructura.

Durante los trabajos previos al revestimiento se hacen las instalaciones en superficie y dentro del túnel para la ejecución de los trabajos en el frente, estos primeros trabajos comprenden las siguientes actividades:

- ❖ suministro de energía eléctrica
- ❖ iluminación
- ❖ comunicación
- ❖ talleres de soldadura, carpintería, electricidad y mecánicos,
- ❖ áreas de habilitado del acero de refuerzo.
- ❖ oficinas, almacén, cuarto de residuos peligrosos.

La primera etapa en los trabajos del revestimiento definitivo consiste en la colocación del acero de refuerzo, para lo cual es necesario el desmantelamiento del tramo, retiro de las instalaciones utilizadas durante los trabajos de excavación del tramo y que no son útiles para el revestimiento definitivo.

Una vez terminadas las actividades de desmantelamiento, se inician con los de limpieza, retirando toda la rezaga hasta dejar en condiciones óptimas para iniciar con el armado.



Fig. 4.2.1 Desmantelamiento y limpieza para iniciar los trabajos del revestimiento definitivo.

Concluida la limpieza del tramo y con las instalaciones necesarias preparadas, tales como iluminación y tendido de líneas de corriente de alto voltaje se inician los trabajos en el frente.

El primer paso es el trazo para colocación del acero que efectúa la topografía, en donde se especifica la distancia que se deben tener del paño interior de la dovela al acero tanto vertical como horizontal y apegarse a lo especifica en los planos, esta actividad se muestra en la Fig.4.2.2

Para el caso de estudio, el armado del revestimiento definitivo a lo largo del túnel se efectúa en dos secciones, como se verá más adelante, empleando varilla corrugada grado 42, a cada 0.15 m tanto longitudinal como anular, con traslapes de 1 m para la sección uno y de 0.8 m en la sección dos, en dos lechos, el primero con un diámetro de 5.5 m (lecho exterior) y el segundo con diámetro de 5.10 m (lecho interior).

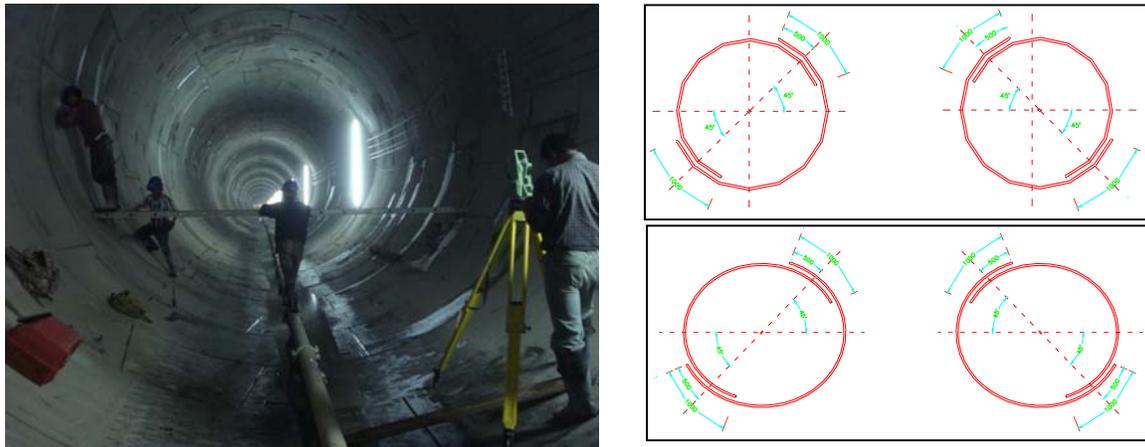


Fig. 4.2.2 Trazo para armado del acero

El armado se realiza conforme a las especificaciones del proyecto, consta de dos secciones como se menciono anteriormente, difiriendo en el calibre del acero y la longitud del armado de cada sección, teniéndose así:

En la sección 1, acero del #8 (1”), en una longitud de 12 m colocado en los extremos de cada tramo, es decir para los primeros 12 m a la entrada de cada lumbrera y 12 m antes de la llegada a la siguiente lumbrera (ya que requiere mayor resistencia a los esfuerzos en esa zona que en el resto del desarrollo del túnel).

Para la sección 2, es el armado en el resto del túnel exceptuando los extremos de cada tramo. el acero mantiene las mismas características de fluencia y separación, únicamente cambia el calibre del acero al #6 (3/4”), tanto longitudinal como anular, las secciones tipo 1 y 2 del armado, así como los arreglos del acero según su sección se muestran en la figura 4.2.3.

La primera actividad del armado para el revestimiento definitivo consiste en llevar el acero habilitado a la zona de colocación, el cual se deja cerca de la lumbrera para que se estrobe y baje al fondo de la lumbrera, por medio de



atados, también se toma en cuenta que conforme se avance en los trabajos será necesario acarrearlo dentro del túnel a una distancia mayor, con el fin de que no se vea afectado el rendimiento en la colocación del acero esta actividad se realiza mediante un tractor agrícola o un minicargador y una plataforma habilitada especialmente para este fin, la descarga del acero se hace manual lo más cerca posible del lugar de colocación depositándola en la cubeta del túnel.

Ya con el acero próximo al lugar de colocación, el tramo limpio y libre de materiales sueltos y los trazos listos se inicia el armado del acero de refuerzo, para ambas secciones el procedimiento de colocación es similar.

El primer lecho del armado tiene un radio promedio de 2.75 m. el acero longitudinal es de 12 m con traslapes de 1 m. con el acero de la sección 2, para el acero anular se utilizaron cerchas en combinaciones de 12.00 y 7.30 m, en el primer corte se colocaban una cercha de 12 m con una de 7.30 m y en el siguiente corte cambiaba y se colocaba primero la de 7.30 m y después la de 12 m.

El segundo lecho tenía un radio de 2.55 m, el acero longitudinal de 12 m y se traslapo un metro con el de la sección 2, para el acero anular, el perímetro es de 16.02 m la combinación usada es una cercha de 12 m con una de 6.20 m en un primer corte y en el siguiente corte se colocaba primero una de 6.20 m y posteriormente la de 12 m.

Para la sujeción y colocación del acero se utilizaron guías en cuatro puntos de la sección transversal, así como anclas y silletas que aseguraban la separación entre ambos lechos, además ayudan a evitar cualquier desplazamiento durante el proceso de colado y lograr un buen recubrimiento que de cumplimiento al proyecto.



La sección dos es armada con acero del No.6 (3/4") con separación longitudinal y anular como la de sección 1 a cada 0.15 m, así como el radio exterior e interior de 2.75 y 2.55 m respectivamente para esta sección los traslapes son de 0.8 m.

Con estos datos se calcularon las longitudes de las cerchas para el acero anular de cada lecho, obteniéndose las siguientes longitudes:

El Primer lecho de la **sección dos** se armo con dos tipos de cerchas, una de 12 m y una de 6.88 m que al sumarlas resulta un perímetro de 18.88 m y restando dos traslapes de 0.8 m se tiene 17.28 m que corresponde al perímetro del primer lecho.

El segundo lecho, de radio 2.55 m tiene un perímetro de 16.02 m para lo cual se emplean dos cerchas una de 12 m. y otra de 5.62 m. con traslapes de 0.8 m.

Al momento de terminar con los trabajos de armado del acero se debe despejar todos los residuos sueltos y dejar limpio el tramo para poder estar en condiciones de iniciar con el colado de dicho tramo.

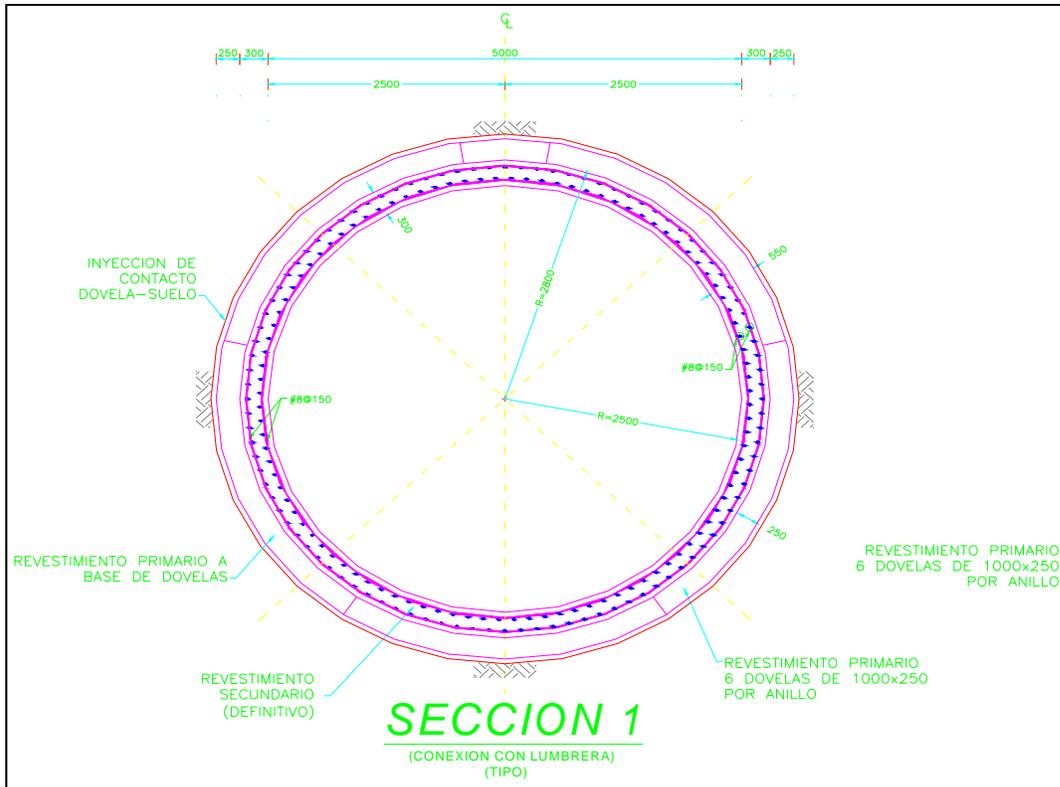


Fig. 4.2.4 Armado de la sección 1 del revestimiento definitivo con acero No.8

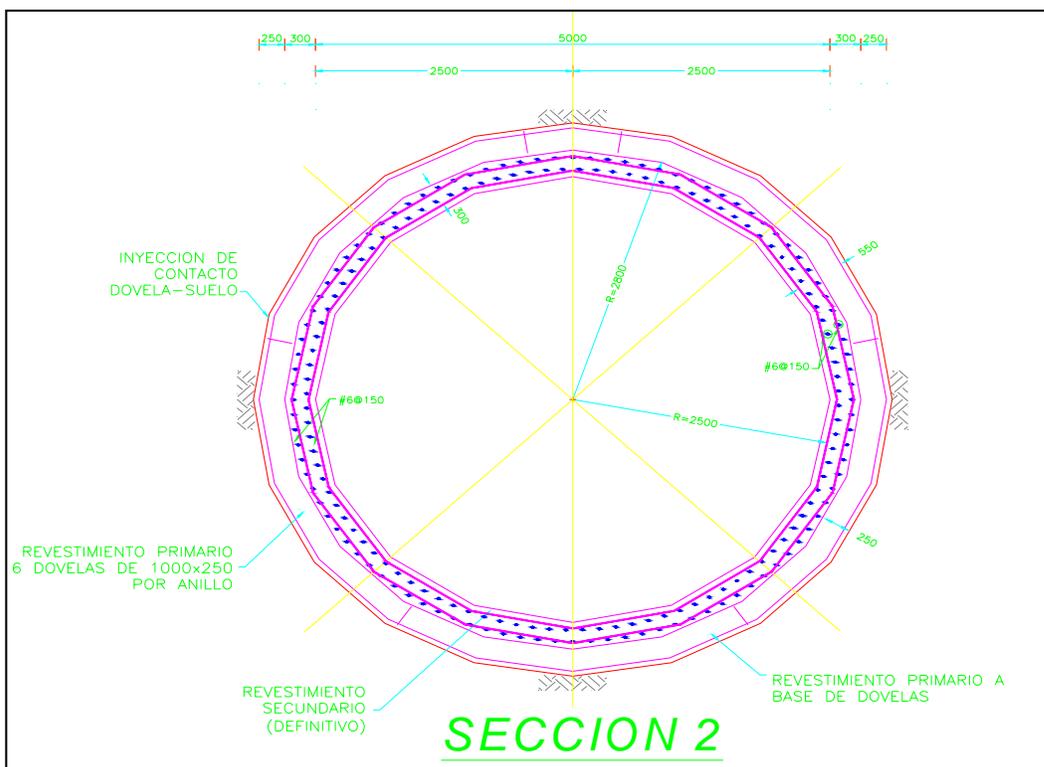


Fig. 4.2.5 Armado de la sección 2 del revestimiento definitivo con acero No.8

PRIMER LECHO

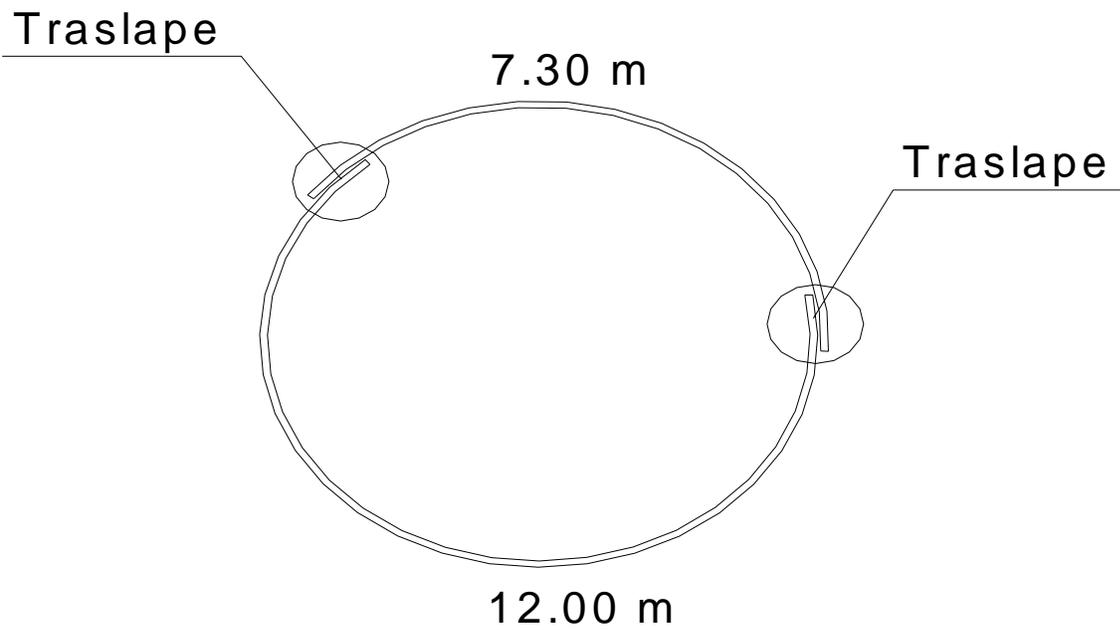


Fig. 4.2.6 Primer corte, armado del primer lecho

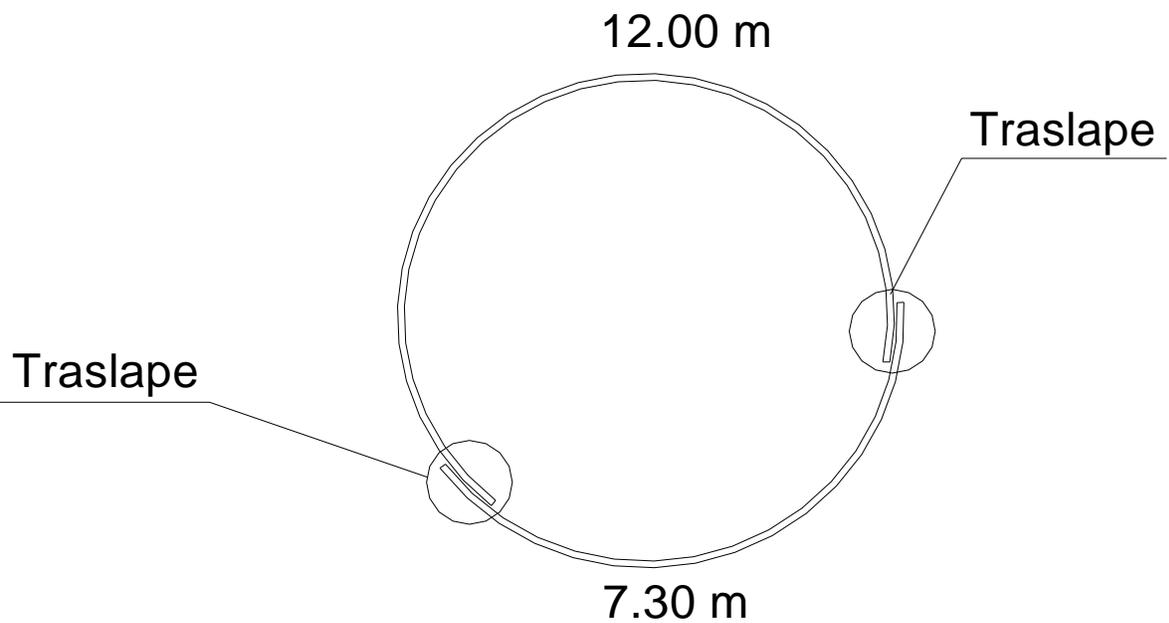


Fig. 4.2.7 Segundo corte, armado del primer lecho

SEGUNDO LECHO

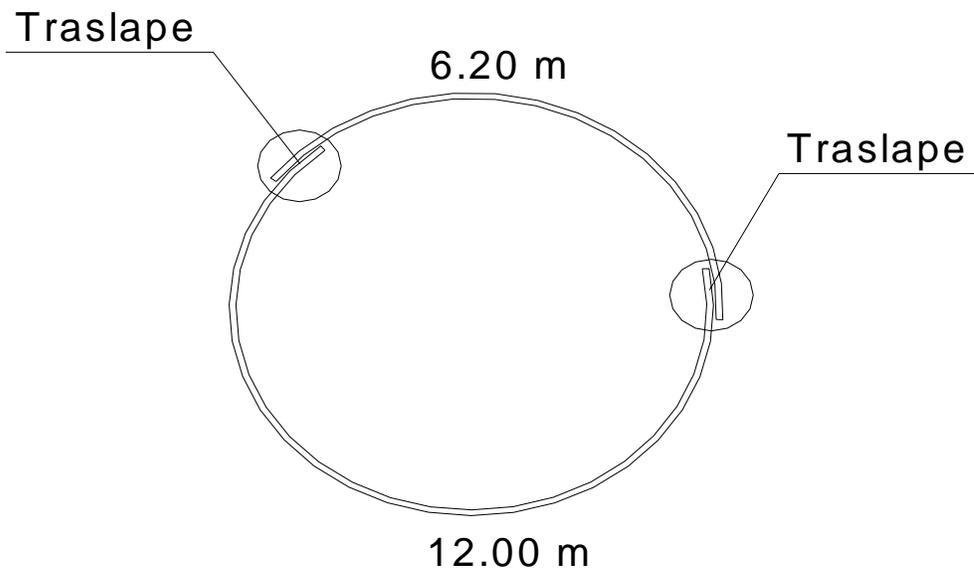


Fig. 4.2.8 Primer corte, armado del segundo lecho

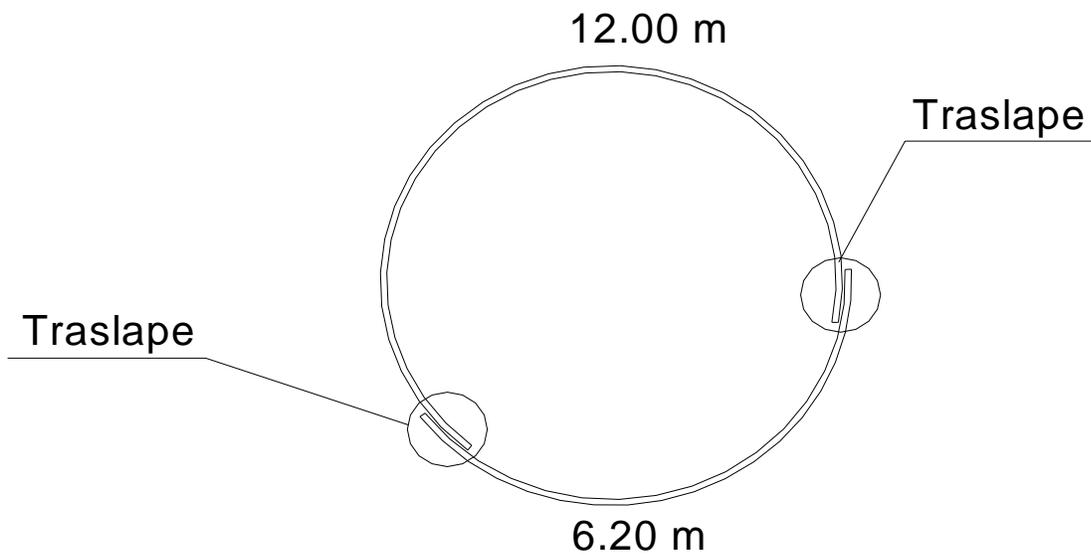


Fig. 4.2.9 Segundo corte, armado del segundo lecho

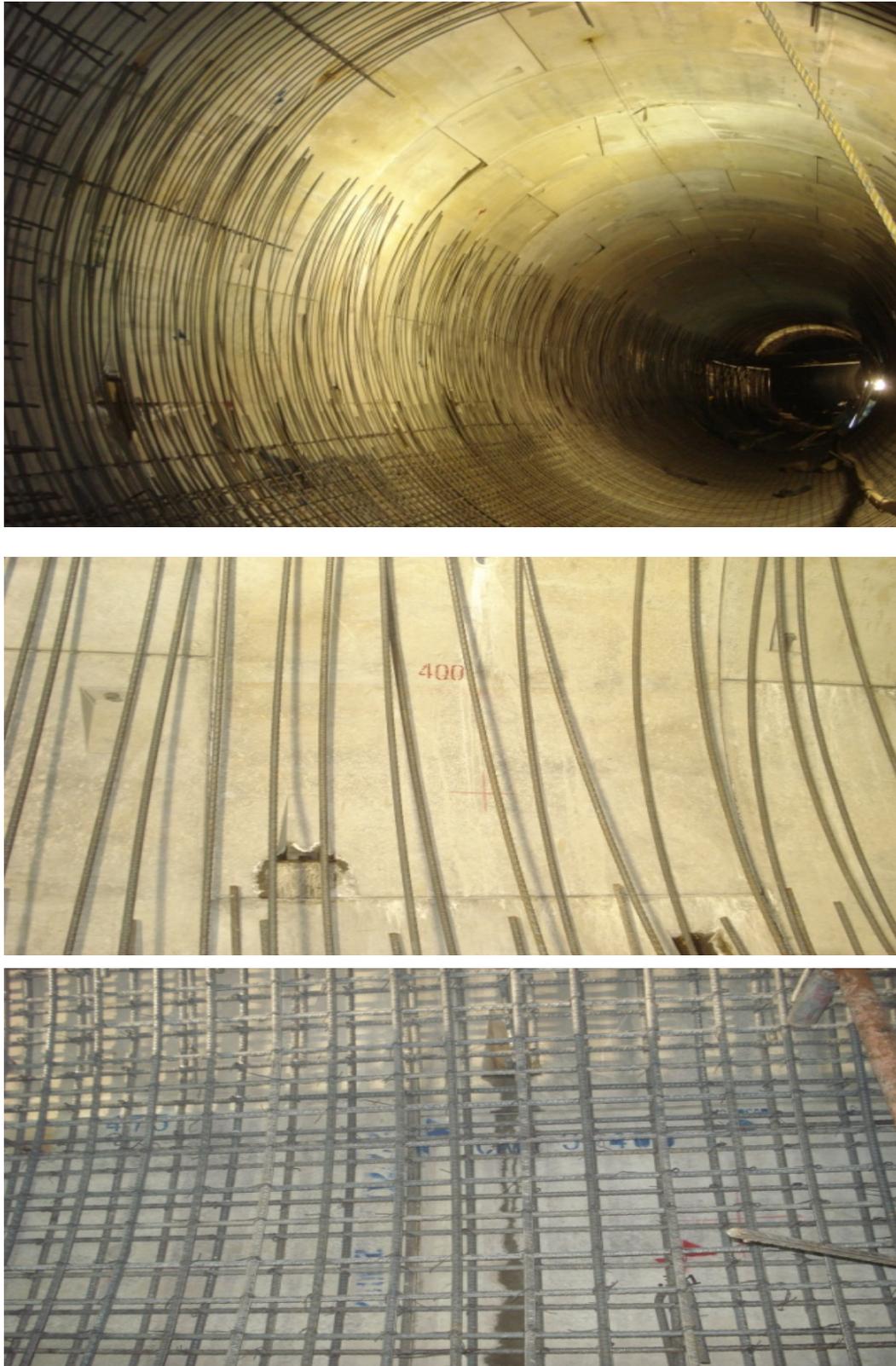


Fig. 4.2.11 Armado para la primer sección del túnel con acero No. 8



Al contarse con un tramo armado de acero al 100% cuya longitud sea apropiada (aprox.60m para colados de 45 ml y 50 m para los colados de 36 ml), se inician los preparativos para el colado de dicho tramo, cada colado debe ser aprobado por la supervisión, para ello se elabora una liberación del tramo a colar en el que se informaba la longitud que se liberara para el colado, definida por el cadenamamiento inicial y final del tramo, la supervisión verifica en el frente que se cumpla con las especificaciones del proyecto y condiciones adecuadas en el sitio tales como iluminación, comunicación adecuada hacia la superficie y limpieza del tramo, en cuanto a las especificaciones de proyecto; en el concreto es por medio del laboratorio; en donde la supervisión verifica que la dosificación de los materiales proporcionara la resistencia del proyecto, tipo de cemento, TMA, humedad de los materiales, etc., en el armado del acero verificaban tipo de sección, separación del acero y amarres adicionalmente se verifica que el tapón de madera esté listo para contener el empuje del concreto. Si se cumplían con la normatividad se firmaba dicha liberación y era posible dar inicio al colado.

La colocación del concreto se realizo de dos formas, en una se utilizo cimbra metálica telescópica con lo cual se ejecuto gran parte de los colados en el túnel, el segundo procedimiento consistía en la colocación de concreto lanzado por vía húmeda para clave y muros del túnel, completándose la sección con la colocación de concreto en la cubeta como se verá más adelante.

Los métodos anteriores requirieron la instalación tanto de la bomba para concreto como de las líneas para el suministro de concreto y aire comprimido hacia el interior del túnel este último utilizado tanto para la limpieza y achique de agua así como para el funcionamiento de los vibradores neumáticos de la cimbra metálica y el funcionamiento de la lanzadora, la instalación de la líneas para concreto y aire se hacían en la superficie y seguían sobre las paredes de cada lumbreras, también se colaban estas tuberías por los pozos auxiliares que



ayudaban a acortar la distancia de bombeo permitiendo que se esforzara menos la bomba y agilizando el tiempo de duración del colado y disminuyendo la probabilidad de que exista un tapón de concreto que complicaría la terminación del colado.

En el procedimiento de colado con cimbra metálica se verificó topográficamente las dimensiones de la misma, además de que se contara con todos sus accesorios y que funcionaran adecuadamente todos sus componentes, el envío a obra se hace de acuerdo al orden de armado, ya que en ese orden se bajó al túnel.

En obra ya se contaba con toda la herramienta para el ensamble y armado de la cimbra en fondo de lumbrera, así mismo se debía contar con la alimentación eléctrica para conectar el sistema de traslado (Transportador o Jumbo) y poder armar los módulos de la cimbra, por lo que se requerían los planos de ensamble de la cimbra y accesorios para suministro de: aire, vibrado e iluminación.

A medida que se bajó la cimbra se fue armando en la plataforma del fondo de lumbrera habilitada con durmientes y rieles para poder ingresar al túnel la cimbra, las actividades son las siguientes:



- ❖ Sobre la plataforma de recepción de la cimbra se arman dos secciones de cubeta, para poder recibir el Jumbo Transportador.
- ❖ Armadas las dos cubetas se baja y ensambla el jumbo transportador con todos sus accesorios, sistema electrohidráulico y gatos de descimbre.
- ❖ Con el Jumbo Transportador funcionando se continúa bajando el resto de las cubetas y trasladan al interior del túnel.
- ❖ Armadas las cubetas en el interior del túnel, se bajan las secciones de clave y laterales para completar los módulos e ir trasladándolos a su posición en cada cubeta.
- ❖ Finalmente, una vez armada la cimbra, se trasladara a la posición de inicio del colado, es importante mencionar que en la entrada y salida de cada lumbrera se tiene que dejar un tramo de aproximadamente 80 cm sin colar con la finalidad de anclar a ese acero las traveses de borde que fijarían al revestimiento definitivo con el muro de la lumbrera.

Terminados los trabajos de armado de la cimbra en el fondo de la lumbrera se inicia el traslado al sitio del colado alineando y nivelando cada uno de los módulos en cada movimiento con la finalidad de permitir el movimiento del transportador.

Mientras se realizan los trabajos de descenso y traslado de la cimbra, en superficie se determina la ubicación de la bomba de colado, orientándola en la dirección de suministro del concreto, una vez ubicada la bomba se procede a realizar los preparativos para construir el atraque que servirá como base de apoyo de la tubería (tubería de 5" de diámetro de alta resistencia HD) que le ayudaba soportar los empujes que le transmitía la bomba cuando esta trabajaba, dicho atraque se calculada para poder soportar presiones del concreto superiores a 120 bar.



Fig. 4.2.12 Bomba para transporte de concreto al sitio de colocación

Una vez colocado el atraque o también conocido como muerto, se instala la tubería de la salida de la bomba al muerto, hasta el punto donde se tiene un cambio de dirección por medio de un codo de diámetro largo (radio de 1.00 m) hacia el fondo de la lumbrera. La colocación y sujeción de la tubería desde la superficie hasta el fondo de la lumbrera se realizaba por medio de abrazaderas sujetas al muro de la lumbrera, en la parte inferior se instaló un distribuidor de concreto tipo guillotina con un sistema electrohidráulico, éste permite sacar la línea de tubería de forma horizontal hacia el túnel y cimbra telescópica.

A lo largo del túnel, conforme se avanzaba en los colados se requería de ir acoplando más tubería (lo que incrementa la longitud de la línea) para concreto la cual se apoyaba en la superficie de la cubeta, es importante contar con tuberías bien fijadas y con uniones rígidas que eviten que se giren durante el desarrollo del transporte del concreto.

Para el suministro de aire se empleó tubería de 3" de acero la cual se tenía conectada a un tanque de almacenamiento ubicado en la superficie de donde se suministraba el aire necesario para los colados, a la vez este tanque era abastecido por un compresor portátil de capacidad adecuada.



Fig. 4.2.12 Tramo revestido con un espesor de 30 cm

Debido a las inclemencias del tiempo por lluvia en ocasiones en el fondo de las lumbreras se tenía un acumulamiento de agua, la cual era desalojada por medio de bombas de agua de **diafragma** neumáticas a las cuales se les suministraba el aire por la misma tubería ya que se contaba con distribuidores que permitían elegir donde suministrar el aire.

Previo a la llegada de la cimbra a la zona del primer colado se realizaba una limpieza en el armado con aire comprimido para desalojar los residuos que quedaron durante el proceso de armado del acero dejando de esta manera el tramo limpio.

Ya con la cimbra en el lugar de colocación se aplica una capa de desmoldante a cada modulo y se está en condiciones de proceder con la colocación de los módulos de la cimbra.

El siguiente paso consiste en la colocación y nivelación de la cimbra lo cual se hace con ayuda de la topografía quienes se encargan de alinear y nivelar los módulos, considerando la posición de las secciones del túnel tanto en sentido vertical como horizontal, verifican también los espesores y separaciones del



acero de refuerzo, el posicionamiento y nivelación se controlaba con el sistema de pernos de fijación comúnmente llamados “piernas” las cuales están distribuidas en las secciones de cubeta, laterales y la clave, de tal forma que estas garantizarán la rigidez necesaria en la cimbra para evitar desplazamientos durante el proceso de colado, una vez nivelada la cubeta se colocaba el resto de los componentes del modulo (paredes laterales y clave) con lo cual se concluye la etapa de colocación de la cimbra e iniciar con la siguiente fase.

Concluido el posicionamiento y nivelación de la cimbra se iniciaba con la colocación de los tapones ya sea el frontal o el posterior dependiendo del caso, el tapón se hacía de madera y se reforzaba con acero soldado a la cimbra proporcionando mayor resistencia a la presión que ejercía el concreto durante su ascenso dentro de la cimbra y finalmente se calafateaba, para cada inicio de colado, esto es, cuando se cruzaba una lumbrera se utilizaban dos tapones uno aguas arriba y uno aguas abajo, siendo la única ocasión en la que se colaban cinco módulos, ya que para los colados consecutivos se quedaba un modulo de tapón y los cuatro restantes se movían para el siguiente colado.

A la vez que los carpinteros colocaban el o los tapones (según se requiriera), los maniobristas efectúan la conexión de la línea de colado que provenía desde la superficie, donde los bomberos hacían las conexiones de la línea con la bomba y los preparativos necesarios tales como la pruebas de la bomba y la línea de colado, asegurándose de esta manera que la tubería está libre de cualquier obstrucción, para lo cual utilizaban lo que conocen como “diablo” que consiste en un tapón de caucho que tiene el diámetro de la tubería, utilizado para la limpieza interna de la línea de colado, la pruebas consistía en llenar la tolva y la línea de tubería con agua, posteriormente se coloca el tapón o diablo al inicio de la línea de colado en la superficie, posteriormente se coloca a la boquilla que está conectada a el aire, se coloca la brida y se despeja el área dentro de túnel y se abre el aire para que el pistón de plástico salga cerca de la cimbra.



Posteriormente es regresado a superficie solo usando aire comprimido, una vez verificado que tanto la bomba como la tubería funcionan correctamente se inicia la conexión de la línea de colado con el snorkel, que es el que se encarga de inyectar el concreto hacia la cimbra, en esta etapa también se fijaban los vibradores de pared en el primer modulo donde se iniciará el colado, éstos deben estar equipados para poder retirar y ensamblar en sus base de forma rápida, por medio de tornillería que además garanticen su fijación durante el proceso de vibrado y se pueda quitar fácilmente.

Finalmente se verifica que las líneas de suministro de aire se encuentren conectadas en cada modulo ya que estas permitirán el funcionamiento de los vibradores que van sujetos en las paredes de la cimbra e irán conectando a los distribuidores de aire, existentes en cada sección de la cimbra, es entonces cuando se está en condiciones de iniciar el colado.

Cada colado se inicia con la solicitud de mortero y concreto, la función del mortero es impregnar las paredes de la tubería y que el concreto no perdiera humedad al pasar por ella, el volumen de mortero debe ser cuando menos el 20% del volumen total estimado de la tubería por utilizar, cada tubo para concreto de 5" de diámetro y 3m de longitud almacenaba 0.04 m³ que al multiplicar por el número de tubos que tiene la línea daba el volumen de concreto en dicha línea, por otro lado para un colado de 5 módulos (45 ml) se empleaban 225 m³ aproximadamente y para el más común de 4 módulos (36 ml) se utilizaba un volumen de 180 m³ aprox.

Cuando han llegado las dos primeras ollas, una con el mortero y la otra con el concreto a la obra, se verifica la documentación donde se especifica que se envía (concreto o mortero) así como sus características (agregados, tipo de cemento y revenimiento solicitado, etc.), volumen enviado y hora de salida de la planta.



Revisada la documentación se verifica por parte del laboratorio que se cumple con el revenimiento solicitado y por lo tanto con la fluidez y trabajabilidad necesarias para ser bombeado a la distancia requerida.

Ya que la prueba de revenimiento del concreto fue satisfactoria se inicia con el bombeo del mortero hasta que sale en la punta de la línea, al concluir el bombeo de mortero se inicia el vaciado de la primer olla y se da un seguimiento del avance del concreto bombeado a través de las líneas de colado por medio de sonidos de percusión (golpeando la tubería), hasta llegar a el distribuidor del concreto (snorkel) el cual conduce al concreto hasta su vaciado directo a través de las ventanas localizada en los laterales o las boquillas de la cimbra localizadas en la clave de esta.

Normalizado el bombeo del concreto, se confirma que la trabajabilidad sea la adecuada en el frente de colocación ya que de esto depende que no se tenga problemas durante el colado. El concreto se pedía a la planta en intervalos de 20 a 30 min. Aproximadamente, sin embargo dependía de la distancia a la que se encontraba la planta del lugar donde se llevaba a cabo la actividad y de los imprevistos que se pudieran presentar ya sea en la bomba, en la línea de conducción o el esnorkel.

En el interior del túnel la colocación del concreto se iniciaba cuando llegaba al esnorkel, elemento que se encargaba de la colocación ya sea por las ventanillas o las boquillas de la cimbra, el llenado de la cimbra se hacía en el sentido de avance de los colados, en primer lugar el concreto se suministraba por las ventanillas y se arrancaba el sistema de vibrado en la zona de cubetas, cuidándose que el nivel del concreto se encuentre por debajo de las ventanas y poco antes de llegar al nivel de estas se cerraban, entonces se hacía una pausa en el bombeo de concreto (las pausas en el bombeo se realizaba cada que se cambiaba de boquilla y se colocaba un tubo más), entonces el esnorkel se



giraba hacia la boquilla de la cimbra por donde se daba continuidad al colado y se arrancaba nuevamente los vibradores que aseguraban una mejor compactación del concreto, esta actividad se repitió para las boquillas radiales de la cimbra y en todo momento se vigilaba el ascenso radial del concreto.

Conforme avanza el colado y se acerca al final del tramo cimbrado se debe verificar que el tapón de la cimbra no tenga problemas de movimiento o desplazamiento de las cuñas, para evitar problemas de pérdida o salida de concreto en forma precipitada, es por esta razón que los carpinteros se encontraban atentos para reforzar el tapón en caso necesario.

Cuando el concreto está a punto de llenar la cimbra se realizaba una inspección visual y por medio de percusiones para conocer hasta donde se encontraba el concreto y determinar cuánto se pedirá de ajuste, para ello se tomaba en cuenta el concreto que se alojaba en la tubería y así evitar tener acumulamiento de material dentro del túnel.

Una vez colocado el concreto correspondiente al ajuste se da por terminada la actividad, y se inicia el lavado de la tolva y de la tubería. Para la limpieza de la tubería se desacopla la bomba de la tubería, se coloca la pelota de esponja, el tapón limpiador y se vuelve a acoplar la bomba a la tubería, posteriormente se llena la tolva con agua y se bombea hasta que sale en el frente de colado y se regresa por medio de aire hacia la superficie, quedando de esta manera limpia la línea de colado.

En cuanto el concreto inicia el fraguado se inicia el retiro del tapón de madera para escarificar la zona de contacto y exponer el agregado grueso en la junta de construcción con el siguiente colado proporcionando así la adherencia necesaria. Durante el desarrollo de las actividades anteriores se tiene la



precaución de estar aflojando los pernos de posicionamiento de todos los módulos para evitar problemas durante el descimbre.

Se debe tener especial cuidado en retirar y limpiar correctamente los vibradores de pared utilizados así como las boquillas de colado.

A la vez que se retira el tapón del último colado se inicia con la limpieza para colar el siguiente tramo de 36 ml (cuatro módulos), la limpieza se realiza por medio de aire a presión, quedando completamente libre de madera, alambre, varilla y todo aquello que afecte la calidad del concreto y su adherencia en el momento de la colocación.

Concluida la limpieza del siguiente tramo a colar se mantiene una secuencia de actividades bien definidas para continuar con el avance en la construcción del revestimiento definitivo, las cuales se mencionan a continuación:

1. Se verifica topográficamente que el armado cumple con las separaciones y espesores especificados en el proyecto.
2. El descimbre del primer modulo se realizara de 6 a 8 hrs. después de haber terminado el colado, para lo cual ya se abra retirado el tapón, el retiro de la cimbra iniciaba colapsando las secciones laterales y clave de la cimbra, recibándose directamente sobre el jumbo del transportador, posteriormente con el cantiléver y balancín se extrae los tableros correspondientes a la cubeta.
3. Una vez descimbrado el primer modulo se limpia perfectamente la superficie de contacto y se aplica el desmoldante.
4. Una vez aplicado el desmoldante en cada uno de los tableros del modulo se traslada hacia la zona de colocación correspondiente al siguiente colado, posicionando, nivelando y alineando



- topográficamente la cubeta del modulo, posteriormente se colocaran los laterales y clave, rectificando los espesores de recubrimiento.
5. Cuando se tenía presencia de curvas horizontales y/o verticales, los módulos presentaban una holgura entre ellos (discontinuidad), para solucionar esta situación y dar continuidad al cimbrado, la unión entre módulos se hacía por medio de cerchas de madera las cuales se calafateaban muy bien para evitar fuga de mortero y dar el acabado de proyecto.
 6. Para la colocación del resto de los módulos se repetirán cada uno de los pasos anteriores hasta el posicionamiento en el sitio correspondiente, finalmente se colocaba el tapón de cierre en el último módulo y de esta manera poder dar inicio a un nuevo colado.
 7. Finalmente el curado del concreto se realizó con aditivo, a partir de las ocho horas posteriores a su aplicación.

De esta forma se llevaron a cabo cada la colocación de concreto por medio de la cimbra telescópica, Sin embargo se tuvo la necesidad de aplicar otro procedimiento para el revestimiento definitivo, resuelto utilizando concreto lanzado vía húmeda.

Esta otra metodología empleada para el revestimiento definitivo fue la colocación de concreto lanzado, mediante el cual se revistieron las zonas Atípicas del túnel, entendiéndose como aquellas zonas que han presentado deformaciones excesivas en el revestimiento primario debido a la presencia de grietas de tensión por el mal comportamiento de los suelos blandos con problemas geológicos geotécnicos. Tales zonas previamente fueron reforzadas con marcos metálicos con diagonales para evitar el incremento de las deformaciones.

Anticipadamente se definieron las zonas de aplicación del procedimiento, iniciándose la colocación el acero de refuerzo de acuerdo a las especificaciones, la colocación se realizó en una sola etapa, colocando los dos lechos de acero de refuerzo, para así poder ir colocando capas de concreto lanzado hasta garantizar un espesor de 30 centímetros como esa especificado para el revestimiento definitivo

Concluida la colocación del acero de refuerzo se soldó a este de forma radial anclas fabricadas con acero de refuerzo del No. 6, las cuales funcionarían como sujetadoras de las cerchas guías para dar los 30 cm de espesor del revestimiento que especificaba el proyecto, estas anclas se colocaron con la finalidad de garantizar el posicionamiento y fijación de las guías. Sobre estas anclas se amarraban las guías que consistían en cerchas también hechas de acero de refuerzo colocadas anularmente cada 1.5 m de longitud. Al final se colocaron tapones de madera que delimitaban la longitud a colar.

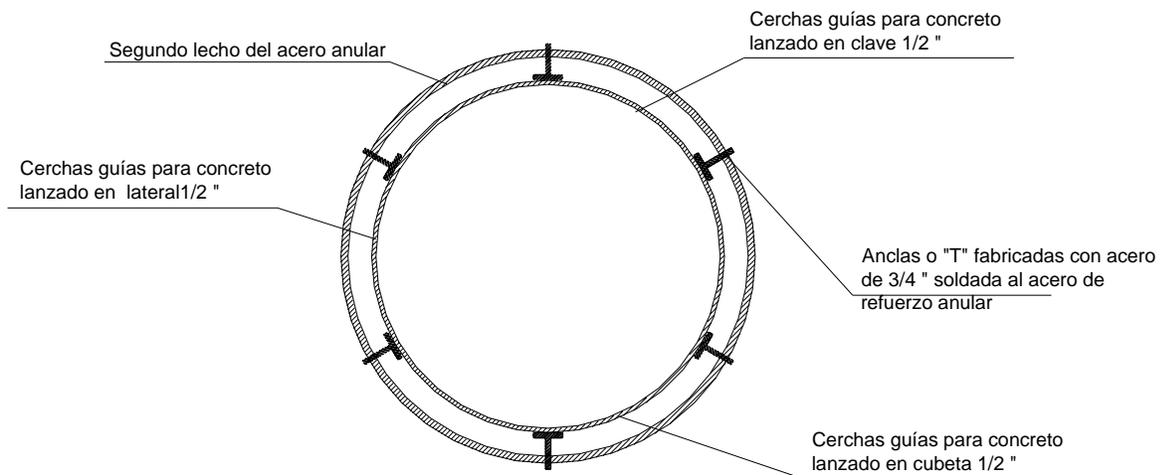


Fig. 4.2.13. Colocación de anclas y cerchas (guías) para revestimiento con concreto lanzado

Concluida la colocación de las anclas, se retirara todo el material suelto de la zona, y se hacían los preparativos necesarios para la colocación del concreto, se



verificaba que las líneas de suministro de concreto estén correctamente conectadas y en condiciones de funcionar adecuadamente.

Concluidas las actividades de armado, colocación de anclas y cerchas así como la limpieza y la instalación de la línea de conducción del concreto se está en condiciones de iniciar el colado de dicho tramo.

El procedimiento de colocación de concreto para revestimiento por medio mecánico, se efectuó en dos fases, en la primer fase se colocaba concreto en la zona de cubeta del túnel, (parte inferior del túnel) lo cual se hacía manualmente y con apoyándose en las guías para dar el espesor del recubrimiento de proyecto de 30 cm y posteriormente se hacía la colocación de concreto en los muros y clave del túnel por medio de concreto lanzado por vía húmeda.

Se iniciaba verificando que el equipo de lanzado contara con la instalación correcta de las líneas o mangueras para suministro de aditivo, de aire y que la boquilla este correctamente instalada, para dar inicio al lanzado.

El colado de la cubeta consiste en la colocación de concreto conforme este llega a la descarga de la línea de conducción sin el uso de cimbra de ningún tipo, el acomodo del concreto se hace por medio de palas con las que se da el espesor de proyecto y por medio de una llana dio el acabado final, la longitud transversal del colado de la cubeta correspondía aproximadamente de 4.5 m.

El procediendo consistió esencialmente de las siguientes actividades:

Liberada la zona de colado por la supervisión externa, se da inicio al colado de cubeta con concreto hidráulico $f'c$ 350 kg/cm², de forma similar que en el procedimiento con cimbra telescópica, inicialmente se suministra el mortero suficiente de acuerdo a la longitud de la tubería que exista hasta el lugar de

colocación, tanto el mortero como el concreto fueron enviados por medio de una bomba para concreto.

El concreto mantuvo un ángulo de reposo de 45° respecto a los ejes del túnel (horizontal y vertical), con la finalidad de que con este ángulo, se garantice la buena colocación durante el proceso de colado

Ya que el concreto ha llegado al frente de colocación, los oficiales albañiles proceden a la colocación por medio de palas, dándole la forma curva correspondiente al acabado del túnel, apoyándose en las cerchas guías colocadas previamente, conforme se va avanzando en el frente se va desacoplando la tubería y retira del frente y se va limpiando



Fig. 4.2.14. Colocación de concreto en zona de cubeta

Simultáneamente a la colocación del concreto se realiza el vibrado de concreto con un vibrador neumático con el fin de garantizar que la compactación del concreto sea la correcta. Transcurridos de 2 a 3 horas antes de su fraguado inicial, se procede a darle el acabado final de la cubeta, con una llana metálica para lograr el pulido requerido por proyecto.



El revestimiento mediante concreto lanzado se realizaba posterior al colado de la cubeta, enseguida se definirá que es el concreto lanzado y cuál fue el procedimiento de colocación.

Concreto lanzado.- consiste en la proyección a gran velocidad por medio de aire comprimido sobre una superficie de concreto, mediante lo cual se adhiere y compacta por sí mismo, el concreto debe llegar con un revenimiento bajo para poder colocarlo adecuadamente y que permita la fijación en la superficie de aplicación.

En el revestimiento por medio de concreto lanzado se realizaron los mismos preparativos que para el colado de la cubeta en cuanto al suministro de concreto al frente, sin embargo en el lanzado se emplea una lanzadora para lo cual se requieren consideraciones diferentes.

Como toda maquinaria, se debe verificar que esté en condiciones de operación, lo cual se hace en superficie, donde se prueban todos los mecanismos verificando que estos funcionen adecuadamente, concluida la inspección y realizada la aprobación para poder usar el equipo se procede a trasladarlo hacia el frente de lanzado, iniciando con la maniobra de bajada hacia el fondo de la lumbrera y posteriormente se transita hasta la zona donde iniciara el lanzado.

Durante el lanzado es muy importante mantener una distancia adecuada entre la boquilla y la superficie, la cual se ajustaba a la velocidad de descarga para lograr un mínimo de rebote, en general la distancia se mantuvo dentro de los límites de 0.5 a 1.5 metros y la boquilla en dirección normal a la superficie por tratar, de esta manera se llevaron a cabo los trabajos de aplicación del concreto lanzado, en capas hasta completar el espesor de proyecto.

Al finalizar el lanzamiento se da un afine con palas tanto en las paredes como en la clave del túnel para dar el acabado, para lo cual se colocan andamios, el acabado se va realizando conforme se avanza en el lanzamiento.



Fig. 4.2.15. Colocación de concreto lanzado

Estos dos procedimientos en general son aplicados en el revestimiento definitivo de túneles para desalajo de agua residual, principalmente en suelos blandos, sin embargo siempre se debe hacer un correcto estudio de la estratigrafía sobre la cual se construirá la estructura para poder determinar el método de revestimiento a emplear.