

## **CAPÍTULO IV SISTEMA DE SOPORTE DEL TÚNEL**

El revestimiento de un túnel es básicamente una estructura instalada dentro del túnel. La función del revestimiento puede ser estructural (soporte del terreno), funcional (como evitar el flujo de agua a través de este), o puede proporcionar un acabado arquitectónico. La mayoría de los revestimientos de túneles son de concreto aunque en ciertas condiciones se usa el acero. El concreto a su vez puede ser vaciado en obra, instalado usando segmentos prefabricados o proyectado como en el caso del shotcrete.

El revestimiento puede estar integrado por un primario más un final o solo un revestimiento único, el revestimiento primario es el sistema de soporte de un túnel que debe garantizar la estabilización de la excavación a corto plazo, así como la seguridad de los trabajadores hasta la colocación del revestimiento final, el revestimiento final, es el sistema de soporte definitivo de un túnel que debe garantizar una adecuada seguridad estructural, absorbiendo las cargas de servicio de acuerdo con los criterios establecidos en el diseño; el revestimiento único como su nombre lo dice, hace el trabajo tanto del revestimiento primario como del final.

Para el proyecto del túnel de la Línea 12 del Metro de Ciudad de México, ICA encargó a IMM (Maidl+Maidl) el diseño y dimensionamiento de las dovelas del revestimiento del túnel. Con base al Predimensionamiento realizado por IMM y a las consideraciones del fabricante Robbins, se acordaron las siguientes condiciones de contorno para la definición de las dovelas:

Concepto para el diseño del anillo:

- Partición: 7 dovelas más dovela llave, Anillo universal (Figura 4.1).

El sistema de revestimiento está formado por anillos universales, en donde las dovelas se atornillan entre sí formando un anillo troncocónico. La construcción del túnel con revestimiento por anillos universales permite el trazado de curvas, tanto en trazo como en perfil. Esto es debido a que los anillos son troncos de conos, y colocando las caras convergentes contiguas se consigue obtener una alineación curva, esto se logra gracias a las 14 posiciones en las que se puede colocar la llave de cierre.

En el anexo 1.c. "Posiciones de la dovela de cierre" se encuentra el plano que muestra las 14 posiciones de la llave de cierre, así como las correcciones que se pueden hacer con dichas posiciones.

La tabla 4.1 desglosa el tipo, la cantidad y el peso de cada dovela que conforman a un anillo.

PESO TOTAL POR ANILLO			
Descripción	Piezas	Volumen[m <sup>3</sup> ]	Peso [kg]
A1	1	2.548	6369
A2	1	2.598	6494
A3	1	2.620	6549
A4	1	2.598	6494
A5	1	2.548	6369
B	1	2.096	5239
C	1	2.096	5239
K	1	0.824	2060
TOTAL		17.928	44813

Tabla 1.1 "Peso total por anillo de dovelas"

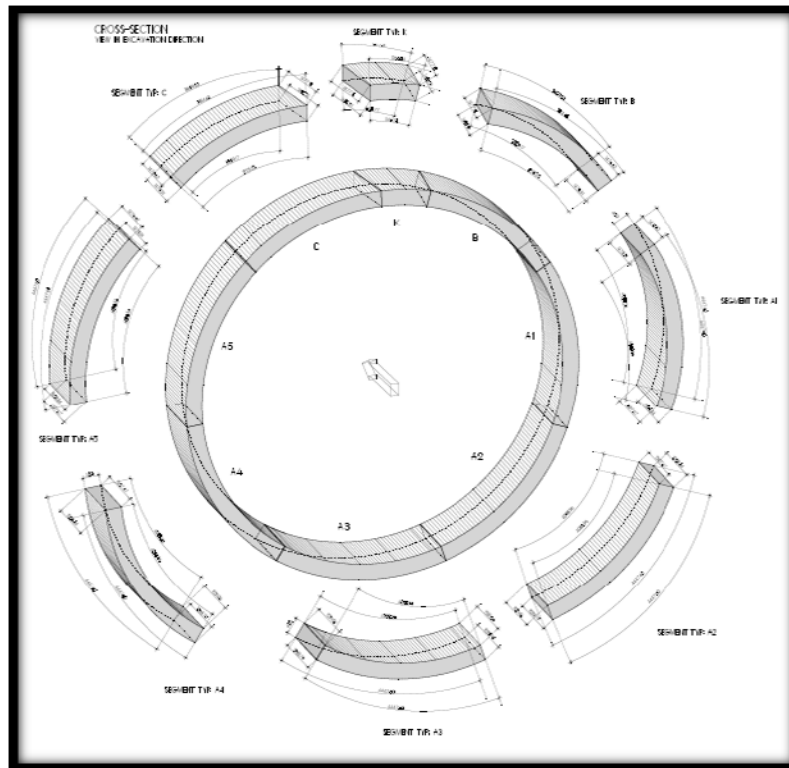


Figura 4.1 Partición del anillo universal en 7 dovelas +1 de cierre.

- Dimensiones:
  - 9910 mm diámetro exterior
  - 9110 mm diámetro interior
  - 400 mm espesor de las dovelas
  - 1500 mm longitud de las dovelas.

Las dovelas son elementos estructurales de concreto reforzado con una resistencia de proyecto de  $450 \text{ kg/cm}^2$ , elaboradas con cemento CPC 40RS (resistencia a sulfatos), prefabricadas de forma geométrica tal que en conjunto forman un anillo circular de 9.91m de diámetro exterior, 9.11m de diámetro interior y 40 cm de espesor. El ancho del anillo formado es de 1.50 m, cabe mencionar que este ancho es el que se encuentra en el eje del anillo, ya que su sección transversal del anillo es troncocónica.

Las dovelas son fabricadas por la empresa alemana Herrenknecht que para la construcción de la Línea 12 del Metro en su tramo sección tipo túnel, ejecutado con escudo tienen que el compromiso de fabricar aproximadamente de 4248 anillos de dovelas.

#### 4.1 Junta de Sellado

El revestimiento del túnel será simple. La estanqueidad del revestimiento se garantizará mediante 2 juntas de sellado elastoméricas colocadas alrededor del perfil de la dovela, una de ellas que es la de mayor espesor es colocada en la planta, mientras la otra de menor espesor es colocada por personal de la empresa ICA.

Estas juntas están diseñadas para poder soportar la presión de agua actuante a la profundidad de la solera del túnel que será como máximo de aproximadamente 2 bar a 2,5 bar.

#### 4.2 Acoplamiento entre Anillos

Con objeto de limitar los desplazamientos relativos entre anillos de dovelas, se diseñó un sistema de acoplamiento mecánico de tipo machihembrado en las juntas transversales de los anillos, Fig. 4.2. En cada uno de los segmentos se colocaron 2 puntos de acoplamiento, de manera que en total existen 14 puntos acoplamiento por anillo, ver figura 4.4. El sistema de macho y hembra en las juntas se arma con varillas de acero con objeto de aumentar el refuerzo ante la transmisión de las fuerzas de acoplamiento.

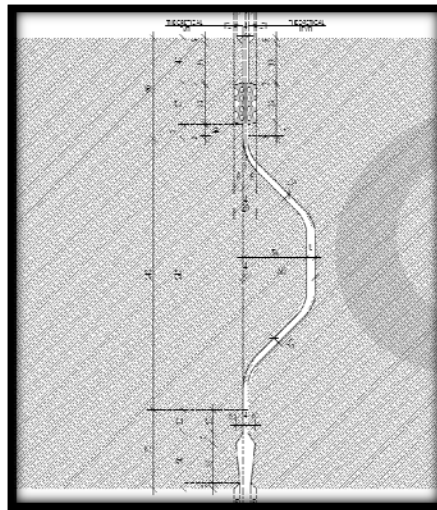


Figura 4.2 Acoplamiento tipo Machihembrado

### 4.3 Conexiones Atornilladas

Además del acoplamiento mecánico de tipo machihembrado, se diseñaron conexiones atornilladas, ver figura 4.3, tanto en las juntas transversales como en las juntas longitudinales. Los tornillos se dimensionaron para la fuerza de reacción máxima de las juntas de sellado elastomérica. En cada una de las juntas transversales y longitudinales de las dovelas se diseñaron dos conexiones atornilladas, figura 4.4.

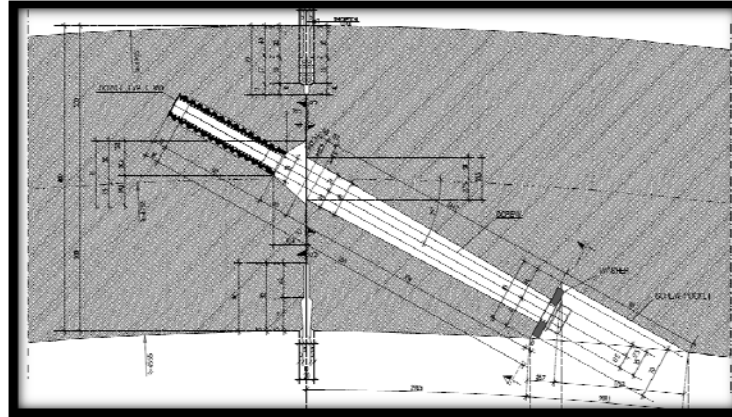


Figura 4.3 Conexión atornillada.

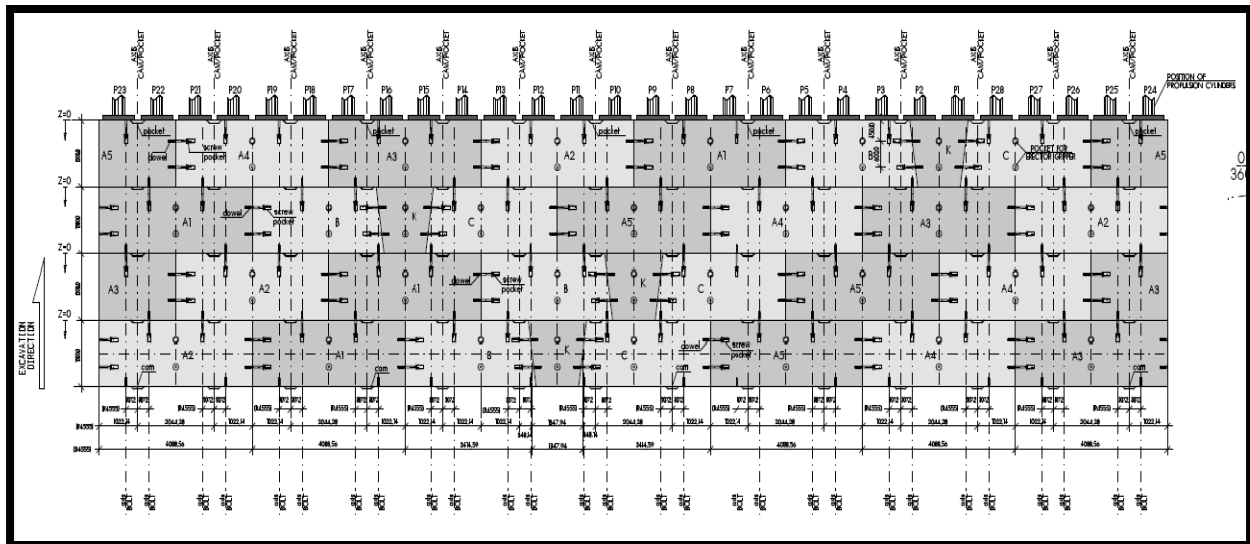


Figura 4.4 Sistemas de acoplamiento longitudinal y transversal.

### 4.4 Transmisión de la fuerza de los cilindros de empuje

En la junta transversal delantera, donde apoyan las zapatas los cilindros de empuje de la EPB, ver figura 4.5, se diseñaron resaltes en la superficie de concreto con objeto de transmitir de forma controlada las fuerzas de empuje hacia las zonas reforzadas con varillas de armado. De esta manera se evita transmitir solicitaciones a los bordes y esquinas de las dovelas.

En la junta transversal trasera en cambio, se diseñó una superficie plana de concreto (sin resaltes) con objeto de aumentar las tolerancias para la transmisión adecuada de las fuerzas hacia la dovela trasera. La transmisión de las fuerzas de empuje tiene lugar mediante contacto concreto-concreto.

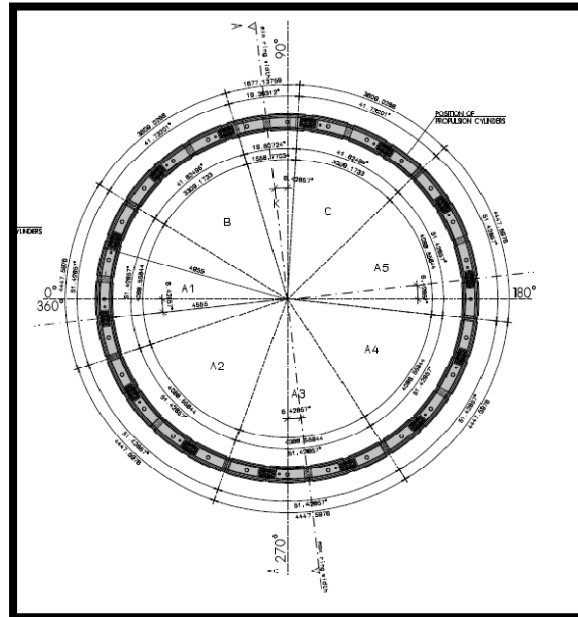


Figura 4.5 Posición de las zapatas de los cilindros de empuje de la EPB