

Entibación y desarrollo de colectores en zonas urbanas. Aplicación de Tunnel liner. Una solución eficiente y sin impacto en la superficie. Shoring and development of collectors in urban areas. Application of Tunnel liner. An efficient solution with no impact on the surface

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historial del
artículo:

Recibido
13-07-2024
Aceptado
12-12-2025
Publicado
30-12-2025

Palabras Clave:
Túnel
Pique
Alcantarilla en
túnel

Article history:

Received
13-07-2024
Accepted
12-12-2025
Available
30-12-2025

Keywords:
Tunnel
Shaft
Sewer in tunnel

Resumen

La construcción de la futura línea 7 del Metro, define el emplazamiento de la estación Isidora Goyenechea en el sector oriente de Santiago ubicada en el triángulo formado por las Avenidas Andrés Bello, Vitacura e Isidora Goyenechea, quedando al frente de la embajada de Estados Unidos y del edificio Titanium. Dado que la profundidad de la estación Isidora Goyenechea alcanzará los 33(m), esto obliga a Aguas Andinas a reposicionar un colector pequeño de aguas servidas y el importante colector San Cristóbal de agua potable a un nuevo trazado que permita la construcción de la estación de Metro y que además no cauce un impacto en la comunidad, tanto para los peatones como para el importante tránsito vehicular del sector. Como el Colector San Cristóbal se encuentra aproximadamente a 8(m) de profundidad desde la calzada al piso del colector, se concluye que lo más indicado es hacer un bypass en túnel bajo la Av. Isidora Goyenechea por el frente del edificio Titanium, partiendo desde el Bosque Norte y bajando al poniente por debajo de Andrés Bello para salir finalmente a un costado de la embajada de Estados Unidos, usando el método de alcantarilla en túnel. Se hizo un estudio cuidadoso de la geometría y ubicación de los piques de trabajo con el objetivo de cumplir dos funciones, en primer lugar, satisfacer las necesidades de manejo de materiales del proyecto y en segundo lugar no afectar el entorno para no provocar tacos y embotellamientos vehiculares.

Abstract

The construction of the future Metro Line 7 defines the location of the Isidora Goyenechea station in the eastern sector of Santiago, located in the triangle formed by Andrés Bello, Vitacura, and Isidora Goyenechea avenues, opposite the US Embassy and the Titanium building. Given that the depth of the Isidora Goyenechea station will reach 33 meters, this requires Aguas Andinas to reposition a small sewage collector and the important San Cristobal drinking water collector to a new route that allows for the construction of the Metro station and that also does not impact the community, both for pedestrians and for the significant vehicular traffic in the sector. As the San Cristobal collector is approximately 8 meters deep from the road surface to the collector floor, it was concluded that the best solution was to build a tunnel bypass under Isidora Goyenechea Avenue in front of the Titanium building, starting from Bosque Norte and going down westward under Andrés Bello to finally exit next to the U.S. Embassy, using the tunnel culvert method. A careful study was conducted of the geometry and location of the work pits with the aim of fulfilling two functions: first, to meet the project's material handling needs and, second, to avoid affecting the surrounding area so as not to cause traffic jams and congestion.

* Corresponding author at: Claudio Poblete, Tecnovial S.A., Santiago, Chile. E-mail address; cpoblete@tecnovial.cl

RIOCI

journal homepage: <https://revistas.ufro.cl/ojs/index.php/rioc/index>

Vol. 13, no. 03, pp. 105–112, Diciembre 2025

1. Introducción

La construcción de la futura línea 7 del Metro, define el emplazamiento de la estación Isidora Goyenechea en el sector oriente de Santiago ubicada en el triángulo formado por las Avenidas Andrés Bello, Vitacura e Isidora Goyenechea, quedando al frente de la embajada de Estados Unidos y del edificio Titanium. La Figura 1 ilustra la ubicación de la estación y como convergen a ella las líneas 6 y 7.



Figura 1. Futura estación Isidora Goyenechea, frente a la Torre Titanium, a ella convergen las líneas 6 y 7 de Metro.

La profundidad de la estación Isidora Goyenechea alcanzará los 33(m), esto obliga a Aguas Andinas a reposicionar un colector pequeño de aguas servidas y el importante colector San Cristóbal de agua potable a un nuevo trazado que permita la construcción de la estación de Metro y que además no cauce un impacto en la comunidad, tanto para los peatones como para el importante tránsito vehicular del sector. La Figura 2 muestra en planta la ubicación exacta de la estación de Metro y como su construcción intercepta el colector de aguas servidas que baja de Vitacura y al acueducto San Cristóbal que viene desde el Bosque Norte (Aguas Andinas, 2020 y 2022)

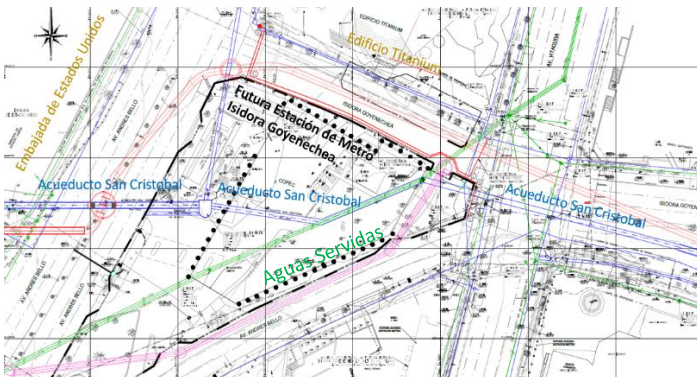


Figura 2. Vista en planta de la estación Isidora Goyenechea y los colectores existentes que deben ser modificados.

El Colector San Cristóbal se encuentra aproximadamente a 8(m) de profundidad desde la calzada al piso del colector. El proyecto define que lo más indicado es hacer un bypass por la Av. Isidora Goyenechea por el frente del edificio Titanium, partiendo desde el Bosque Norte y bajando al poniente por Andrés Bello para salir a un costado de la embajada de Estados Unidos. Como la construcción normal en zanja requiere de paredes apuntalas horizontalmente contra la cara opuesta de la excavación, esta metodología provoca una labor esencialmente peligrosa tanto para los trabajadores como para los vecinos y además genera un tremendo impacto vial en la superficie. Estas características de la obra hicieron que los consultores del proyecto (Aguas Andinas, 2020, 2022) decidieran evaluar la alcantarilla en túnel como método constructivo, cuyas características y virtudes son ampliamente conocidas en el caso de terraplenes altos donde se hace muy difícil la excavación.

La mecánica de suelos del sector (Geocav, 1999), muestra que para un horizonte de profundidades mayores a 6.5(m) el suelo está constituido por una grava arenosa o una grava areno limosa de color café, humedad media, compacidad alta, estructura homogénea con presencia de bolones y clastos de tamaño máximo 14 pulgadas. Estas características confirman el suelo como la grava típica de Santiago, producto de la segunda depositación del río Mapocho cuyo comportamiento es ampliamente conocido y validado por las construcciones de edificios como por los mismos túneles ejecutados por Metro.

Se hizo un estudio cuidadoso de la geometría y ubicación de los piques de trabajo usando alcantarilla en túnel, con el objetivo de cumplir dos funciones, en primer lugar, satisfacer las necesidades de manejo de materiales del proyecto y en segundo lugar no afectar el entorno para no provocar tacos y embotellamientos vehiculares.

En el siguiente capítulo se describe la verificación estructural de la alcantarilla en túnel en su aplicación como túnel para el uso del colector y también para el uso de los piques o pozos de ataque desarrollando una entibación segura desde donde se iniciarán las faenas de tuneleo. También se describe la fabricación de casquetes especiales de túnel para poder generar las curvas necesarias definidas por el trazado.

2. Metodología

2.1 Descripción de las planchas de alcantarilla en túnel y su ventaja en la construcción de túneles y entibaciones

La gran ventaja de la plancha de alcantarilla en túnel, más conocidas como Tunnel liner (Tecnovial, 2023) es que tiene un borde que se transforma en una pestaña que permite apernar la estructura íntegramente por dentro. Por otra parte, los extremos de la plancha definidos como “punta” y “cola” en la

Figura 3, tiene agujeros cuadrados de tal forma que en esa zona se coloquen pernos con cuello cuadrado, estos pernos se ponen en la “cola” de la plancha y se afirman a la estructura por medio de unos clips, tal como lo destaca la figura 4 y 5.

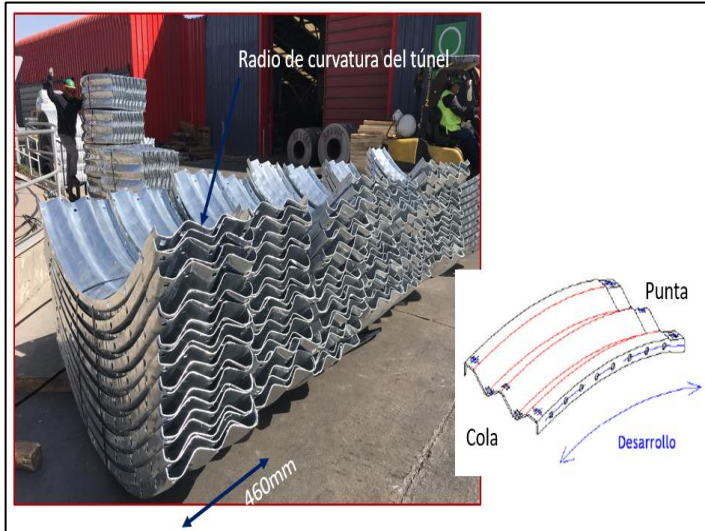


Figura 3. Plancha Tunnel liner con pestaña que define la costura perimetral y el concepto de “Punta” y “Cola”.



Figura 4. Colocación de pernos de cuello cuadrado en los agujeros cuadrados de la “cola” de la plancha y fijados por el clip.



Figura 5. Todos los pernos de cuello cuadrado están colocados en la cola de la plancha y fijados con su clip. La plancha está lista para ingresar al túnel o pique y ser colocada en su posición.

Como la plancha tiene un avance de solo 0.46 m, es esa la cantidad de suelo que se debe remover tanto en el túnel como en el pique, lo que, en la mayoría de los suelos, permite un manejo de la plancha en su colocación en un tiempo suficientemente breve como para que el suelo no se desestabilice.

La principal ventaja es que se logran faenas limpias y seguras, evitando que el trabajador tenga que introducir sus manos por detrás de la plancha en la zona que está en contacto con el suelo.

Sin embargo, para que se cumpla la teoría del anillo de compresión y evitar los esfuerzos de momento flector en la plancha, es necesario hacer una inyección de lechada que rellene toda la sobre excavación que se produjo en la faena propia de movimiento de tierra y retiro de marina. La teoría de cálculo se describe en el siguiente capítulo.

En la mayoría de los túneles y piques desarrollados con Tunnel liner, la velocidad de avance queda definido por el movimiento de tierra general de la obra más que por la colocación de las planchas.

2.2 Disposición final del túnel de bypass bajo Isidora Goyenechea

El proyecto definitivo se ilustra en la Figura 6, que muestra los piques y el trazado final del túnel con sus curvas de ajuste.

Se definen 3 piques de manera estratégica, para no generar impacto en la comunidad. El pique 1, de sección elíptica de 12x7 (mxm). El pique 2 circular de un diámetro de 5 (m) y el pique 3 circular en diámetro de 7(m).

Además, el túnel para el acueducto quedo en 2.14(m)

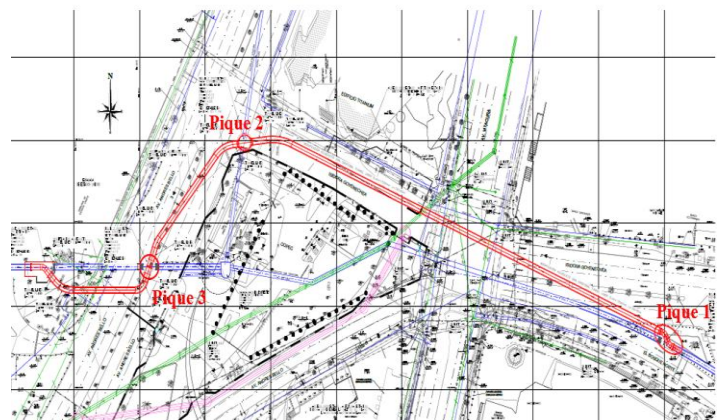


Figura 6. Disposición definitiva de los piques y el túnel del acueducto.

2.3 Metodología de cálculo de un túnel con Tunnel liner.

En un túnel construido con Tunnel liner, se define la presión que ejerce el suelo en la clave del túnel según la fórmula de Marston, (AASHTO, 2017), indicado en la Ecuación (1):

$$P_d = C_{dt} \cdot \gamma \cdot D \quad (1)$$

Donde:

- P_d : Presión en la clave del túnel debida al peso del suelo, expresada en kPa.
- C_{dt} : Coeficiente de Marston, definido según la Figura 7
- γ : Peso unitario del suelo, en kN/m^3 .
- D : Diámetro del Tunnel liner, en metros (m).

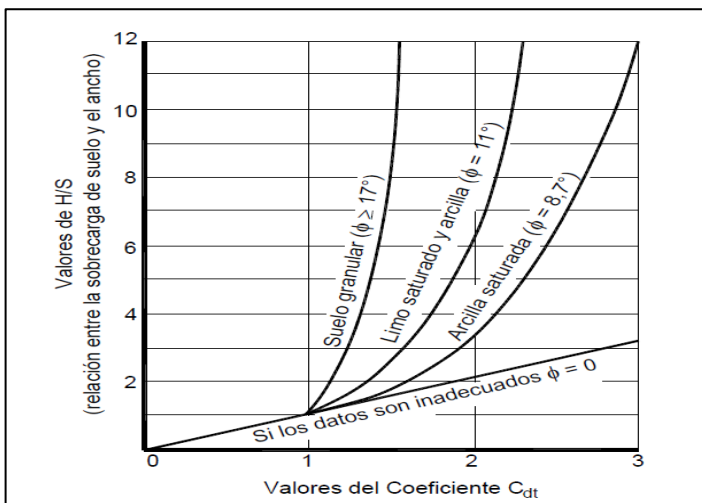


Figura 7. Coeficiente de Marston C_{dt} .

La presión final es P_d más todas las cargas vivas que se presenten, en combinación apropiada con las cargas sísmicas. Según la zona sísmica definida por el Manual de Carreteras. (Manual de Carreteras, 2017).

Tal como lo indica AASHTO (AASHTO, 2017), son tres las verificaciones mínimas que se hacen en un diseño de Tunnel liner:

- Verificación de la unión apernada, es decir la resistencia de los 5 pernos de cuello cuadrado
- La rigidez mínima para la instalación
- Pandeo crítico de la pared de Tunnel liner

La figura 8 muestra como en el proceso constructivo el Tunnel liner está sometido a cargas desbalanceadas. Por lo tanto, algunas planchas tienen un agujero para la inyección de lechada que dispuestas apropiadamente aseguren un perfecto llenado de todos los intersticios, para generar una presión uniforme en el perímetro.

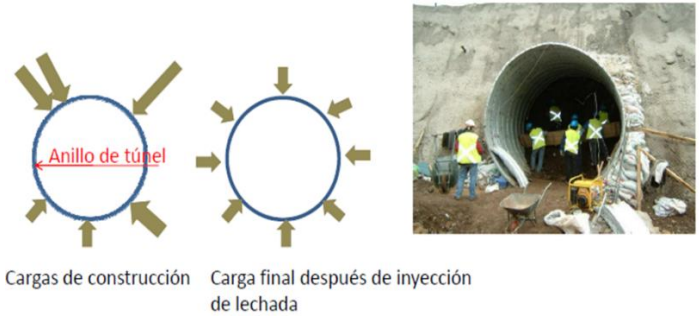


Figura 8. Ilustración de cómo la inyección de lechada entre el Tunnel liner y el suelo genera una presión uniforme.

2.4 Condiciones de cálculo del túnel

Las condiciones de cálculo consideradas para el análisis del túnel se detallan a continuación. Las propiedades mecánicas del acero adoptadas corresponden a valores superiores a los mínimos exigidos por el Manual de Carreteras (MOP, 2017).

Propiedades del acero

- Calidad: ASTM A36
- Tensión de fluencia, $f_y = 250 \text{ MPa}$
- Tensión última de rotura, $f_u = 410 \text{ MPa}$
- Módulo de elasticidad, $E = 200\,055,7 \text{ MPa}$

Propiedades geométricas y estructurales

- Diámetro del tunnel liner, $D = 2,14 \text{ m}$
- Espesor de la plancha, $e = 3,0 \text{ mm}$
- Resistencia de la unión empernada: $534,74 \text{ kN/m}$

Condiciones sísmicas

- Zona sísmica: 2
- Aceleración efectiva, $A_0 = 0,3 g$

Propiedades geotécnicas del suelo

- Profundidad de cobertura, $H = 8 \text{ m}$
- Peso unitario del suelo, $\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$
- Ángulo de fricción interna, $\phi = 25^\circ$

Los resultados obtenidos para las combinaciones de carga más desfavorables se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Análisis de resultados para la combinación de carga más desfavorable.

Verificación	Carga Resistente		Carga solicitante	Criterio
Pandeo crítico de la pared	646.6 kN/m	$\geq$	230.7 kN/m	Cumple
Unión apernada	358.3 kN/m	$\geq$	230.7 kN/m	Cumple
Rigidez mínima	39.91 N/mm	$\geq$	8.75 N/mm	Cumple

La Figura 9, muestra la configuración final de plancha para el

bypass Acueducto San Cristóbal. El diámetro del túnel quedo definido por el diámetro útil del colector San Cristóbal original (1800mm) más 250(mm) de recubrimiento de hormigón con el fin de mejorar el coeficiente de Manning y aumentar la vida útil del Tunnel liner por la protección contra la abrasión.

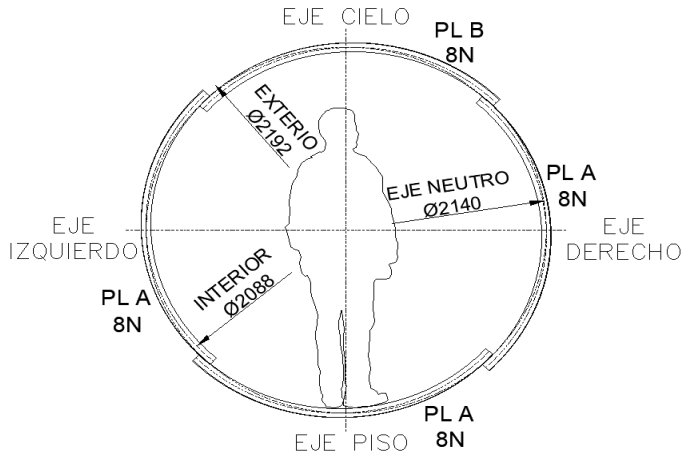


Figura 9. Tunnel liner D=2140mm, espesor de plancha e=3.0mm. Galvanizado

2.5 Metodología de cálculo de un Pique en Tunnel liner.

En el caso de los piques, la carga sobre la pared del Tunnel liner corresponde a la presión horizontal que ejerce el suelo a través del empuje activo. Además, cualquier sobrecarga o tránsito de vehículos cercanos a la excavación también van a generar una presión horizontal en el manto del pique.

Para el análisis de carga sísmica se utilizó el método de Mononobe y Okabe, explicado detalladamente el volumen 3 del Manual de Carreteras, ocupando las mismas ecuaciones del modelo para un muro en cantiléver. Este análisis va por el lado de la seguridad puesto que la pared del pique no es infinitamente larga.

El pique 1, correspondiente a la elipse, tiene la dificultad que al llegar al colector San Cristóbal existente hay que desestabilizar la pared del Tunnel liner dejando espacio al colector y luego hay que materializar el corte de la pared para dar inicio a la construcción del túnel que formará el by-pass propiamente tal.

Tomando en cuenta estas dificultades, se definió hacer un refuerzo interior a modo de costilla, tanto arriba como debajo de la intersección. Estas costillas estarán unidas por columnas, las que tomarán las cargas horizontales de la tierra y la transmitirán a las costillas.

La Figura 10 muestra las costillas de refuerzo y las columnas de conexión para la zona en que se pierde la continuidad de la pared del pique elíptico.

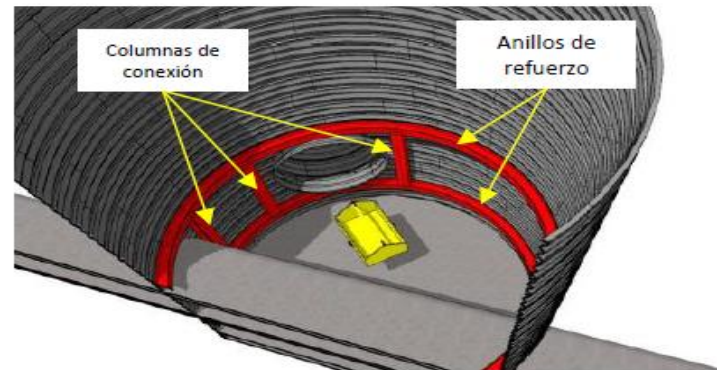


Figura 10. Anillos de refuerzo y columnas de conexión.

La Figura 11 muestra la etapa de colocación de planchas e inyección de lechada. El Tunnel liner con un espesor adecuado, permite tener paredes verticales limpias y seguras.



Figura 11. Montaje de planchas Tunnel liner del pique 1 de configuración elíptica.

La Figura 12 ilustra claramente el montaje de las costillas de refuerzo y el inicio del corte de la pared para comenzar con el túnel de diámetro D=2140mm.

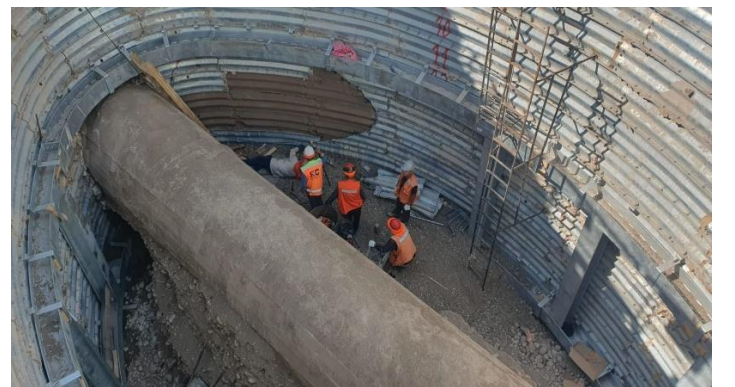


Figura 12. Montaje de las costillas de refuerzo e inicio del corte de la pared para comenzar con el túnel del bypass del colector San Cristóbal.

La Figura 13 entrega una visión completa del pique 1 elíptico, los refuerzos dan estabilidad a la pared de Tunnel liner cuya continuidad ha sido interrumpida por el colector original.



Figura 13. Vista cenital del pique elíptico con todos sus refuerzos.

3. Análisis de resultados

Finalmente, la figura 14 muestra el desarrollo del proyecto completo:

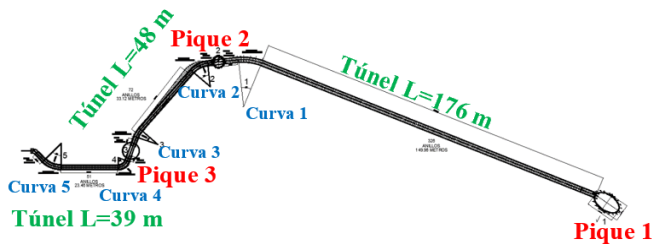


Figura 14. Vista en planta del proyecto completo.

La Tabla 2, muestra el resumen de todos los componentes principales del proyecto indicando las dimensiones de los piques y túneles. También describe la profundidad de excavación de los piques y el largo de los túneles que se ejecutaron.

Tabla 2. Resumen de todos los componentes del proyecto

Descripción	Dimensiones	Profundidad	Longitud
Pique 1. Sección Elíptica	12x7 m	8.68 m	
Túnel Circular bajo Isidora Goyenechea	2.14 m		167 m
Pique 2. Sección circular	5.0 m	8.76 m	
Túnel Circular bajo Andrés Bello	2.14 m		48 m
Pique 3. Sección circular	7.0 m	9.09 m	
Túnel Circular bajo Andrés Bello	2.14 m		39 m

En vista del gran desarrollo de la ciudad de Santiago y muy en particular el lugar en el que se emplazó el proyecto del by-pass del colector San Cristobal, la mejor solución de ingeniería fue hacer toda la obra de manera subterránea.

El Tunnel liner es un producto maduro y conocido por consultores y contratistas. Por lo tanto, el diámetro del túnel fue fácil definirlo en función del colector original. A solicitud del mandante principal, Aguas Andinas, el colector debía ser revestido con hormigón, por lo tanto, se aprovechó de suministrar ganchos especiales que irían apernados en los mismos pernos de la pestaña perimetral del Tunnel liner con el fin de sujetar la malla ACMA.

Se construyeron más de 160 m de túnel bajo la importante Avenida Isidora Goyenechea pasando delante del edificio Titanium, sin que el tráfico de la superficie se enterara de los trabajos que se estaban efectuando a una profundidad de 8 m. A su vez, bajo la Avenida Andrés Bello si hicieron más de 80 m de túnel con las mismas ventajas anteriores.

Por otra parte, el túnel bajo ambas avenidas requirió la confección de curvas con planchas Tunnel liner, las que fueron fabricadas a similitud de un gajo de naranja permitiendo avanzar en curva en porciones de 5°. La Figura 15 muestra ese detalle.



Figura 15. Casquete en Tunnel liner para hacer giro en 5°.

El diseño de la forma de los piques quedo condicionado por su función y el área disponible en superficie para lograr la menor intervención posible. Por ejemplo, el Pique 1, el lugar donde se va a materializar el corte del colector San Cristóbal y el traspaso al Bypass, se ubicó justo en la bifurcación del Bosque Norte con Isidora Goyenechea en una zona de jardines de un bandejón central. Además, la dimensión del Pique 1, fue definida por el requerimiento de tener un área de trabajo que permitiera hacer el túnel y todas las obras de conexión entre el colector original y el nuevo túnel.

4. Conclusiones

Este artículo mostró la aplicación de la alcantarilla en túnel como entibación y desarrollo de colectores en zonas urbanas, en particular el proyecto del Bypass del Colector San Cristóbal de Aguas Andinas, el cual se hizo necesario por la construcción de la futura estación de Metro.

Se puede concluir lo siguiente:

- Conclusión 1. Se confirma que las planchas para alcantarilla en túnel son la solución más eficiente para la construcción de túneles especialmente en zonas urbanas. Estas planchas ya eran conocidas en los proyectos viales con grandes terraplenes, sin embargo, en zonas urbanas o vías importantes de muy alto tráfico la alcantarilla en túnel es la mejor solución para hacer una obra sin impacto en la superficie.
- Conclusión 2. La alcantarilla en túnel tiene la versatilidad de incluir en su construcción el desarrollo de curvas prefabricadas con el mismo material.
- Conclusión 3. Los piques en alcantarilla en túnel permiten construir una entibación segura y limpia logrando paredes verticales que conservan su plomada y cuya verificación estructural también considera las cargas sísmicas de la zona en cuestión.
- Conclusión 4. Las distintas geometrías de los piques, circulares o elípticas permiten atender casi cualquier necesidad de área trabajo definida por el mandante, las necesidades del proyecto y las condiciones de borde impuestas por la interferencia de la superficie.
- Conclusión 5. La verificación estructural de la alcantarilla en túnel está ampliamente validada, sin embargo, falta tener una metodología de cálculo para aquellos túneles de baja cobertura o bien en suelos extremadamente inestables. Se sugiere hacer un trabajo independiente dedicado íntegramente a este tema.
- Conclusión 6. Los resultados son tangibles por las obras ejecutadas y muestran que la alcantarilla en túnel no tiene riesgos en su ejecución y resulta ser una solución económica en zonas urbanas o en terraplenes altos.

5. Referencias

- AASHTO LRFD 8th (2017). *Sec. 12.13 Steel Tunnel liner Plate*.
- AGUAS ANDINAS. *Modificaciones de redes de AS y AP, por Proyecto Estaciones de Metro Pedro de Valdivia e Isidora Goyenechea. Futura Línea 7 de Metro. Ingeniería de detalle. IFARLE Ingenieros Civiles Consultores Ltda. Enero 2020. CODAM, Ingeniería y Construcción. Abril 2022*
- GEOCAV LTDA. *Cabello y Vargas Ingenieros Civiles. Informe Mecánica de Suelos. Modificación trazado acueducto San Cristobal – Cámara Mapocho. Las Condes. Mayo 1999*
- MANUAL DE CARRETERAS (2017). *Sec. 5.603.1 Alcantarillas en Túnel*.
- Memoria de cálculo IP-067-MC-08. TECNOVIAL (2021). *Tunnel liner Acueducto San Cristobal*
- TECNOVIAL. *Tunnel liner, catálogo técnico. 2023*