

Tema: Innovación Tecnológica en Infraestructura Vial

Subtema: Trabajos Prácticos

**Título: RELINING: REFUERZO ESTRUCTURAL PARA OBRAS
PREEXISTENTES MEDIANTE TUNNEL LINER**

Autores:

Luis Almendra, *Lalmendra@tecnovial.cl*

Claudio Poblete, *cpoblete@tecnovial.cl*

**TECNOVIAL S.A.
Departamento de Ingeniería,
Santa Marta 1717, Maipú, Santiago de Chile
*Tel 56223510800***

**III InterCISEV
“CARRETERAS Y EQUIPAMIENTO: PIEZA CLAVE DEL SISTEMA
SEGURO”**

18 y 19 de Septiembre de 2019, Buenos Aires

RESUMEN

El mantenimiento y refuerzo de obras civiles es de suma importancia para que éstas puedan perdurar en el tiempo sin presentar problemas en su estructura y sin afectar a la sociedad.

Este documento describe el sistema de refuerzo mediante el método de *Relining* para la reposición del cauce de la Avenida Argentina, en Valparaíso.

El *Relining* consiste en un revestimiento interior para una estructura preexistente usando planchas de acero tipo tunnel liner. Este producto, de gran capacidad estructural y versatilidad de diseño, se puede instalar desde el interior de la obra, evitando el método de “zanja abierta”, lo que disminuye costos materiales, de construcción y sociales. Otras ventajas del tunnel liner son que es económico, fácil de transportar y construir, de gran vida útil y requiere de una mínima mantención.

La metodología de cálculo estructural se desarrolla primordialmente de acuerdo a la norma AASHTO. Se deben conocer los parámetros de diseño de la obra: calidad del acero, densidad y alturas de relleno sobre la estructura, características geométricas del refuerzo, sismicidad del terreno, entre otros.

El proyecto descrito en el documento cumple con los requerimientos de resistencia y rigidez y queda con una apariencia estética.

INTRODUCCIÓN

El presente documento describe el sistema de mantenimiento correctivo para la estructura de protección de canal que circula bajo la Avenida Argentina, ubicada en Valparaíso, principal área portuaria y económica de Chile.

Al momento que se evidencian en la obra agrietamientos, pérdida de recubrimiento, oxidación, entre otras patologías debido a la antigüedad de la estructura, superior a 75 años, también se observa una creciente deformación estructural que podría haber terminado en colapso, afectando la circulación vehicular, peatonal, el comercio de la zona y las actividades urbanas propias de la región.

Para recuperar la resistencia y rigidez requerida para el buen funcionamiento de la obra, se utilizó la metodología de *Relining*: revestimiento interior de la estructura usando planchas de acero tipo Tunnel Liner.

La construcción y obras civiles son necesarias e importantes para la sociedad, ya que con su ejecución se logra el desarrollo de ciudades, países y el mundo entero. Por lo tanto, es necesario hacerles mantenimiento para que no se deterioren en un corto plazo y puedan perdurar sin presentar problemas en su estado físico e interno.

Existen distintos tipos de mantenimiento, por ejemplo:

- Preventivo: las medidas tomadas con antelación y se realizan durante el período de uso y mantenimiento de la estructura. Por ejemplo; limpieza de fachadas, aplicación de pinturas etc.
- Correctivo: corresponde a trabajos de diagnóstico, pronóstico, reparación y protección de las estructuras que presentan manifestaciones patológicas, o sea corrección de problemas evidentes.

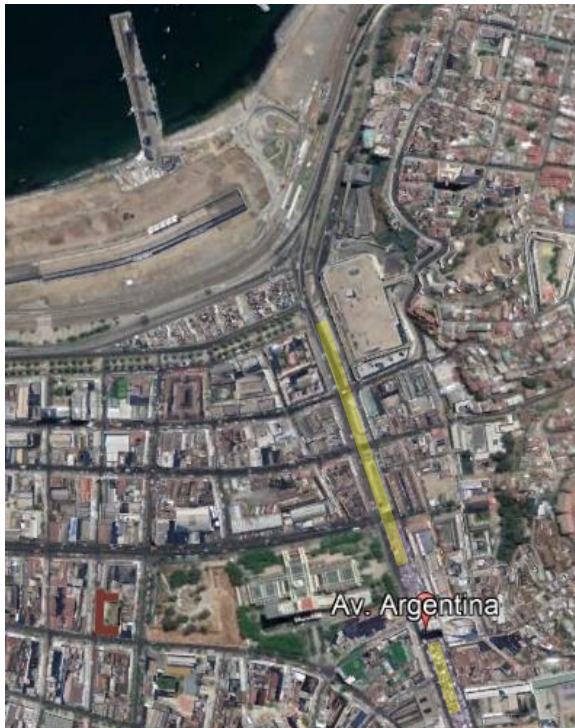


FIGURA 1 Avenida Argentina, Valparaíso



FIGURA 2 Obra por reforzar

Descripción del Tunnel Liner

Este producto de gran capacidad estructural, se compone por planchas de acero corrugado conectadas mediante pernos y tuercas. La instalación se hace desde dentro de la excavación o estructura preexistente, lo cual evita usar el método de “zanja abierta”. De esta forma se eluden las interferencias de tránsito, inconvenientes relacionados con el comercio y la industria, gastos en destrucción y reemplazo de pavimentos y redes de servicio público, etc. disminuyéndose costos materiales, de construcción y sociales

Entre sus ventajas, se debe añadir que el producto es económico y fácil de transportar, no requiere de personal especializado para su construcción, tiene una gran vida útil y requiere de una mínima mantención.



FIGURA 3 Estructura de Tunnel Liner

El Tunnel Liner tiene distintos espesores y se puede construir en distintas geometrías de acuerdo a los requerimientos del proyecto. Este producto se puede construir en dirección horizontal, como túnel o en dirección vertical, como pique.

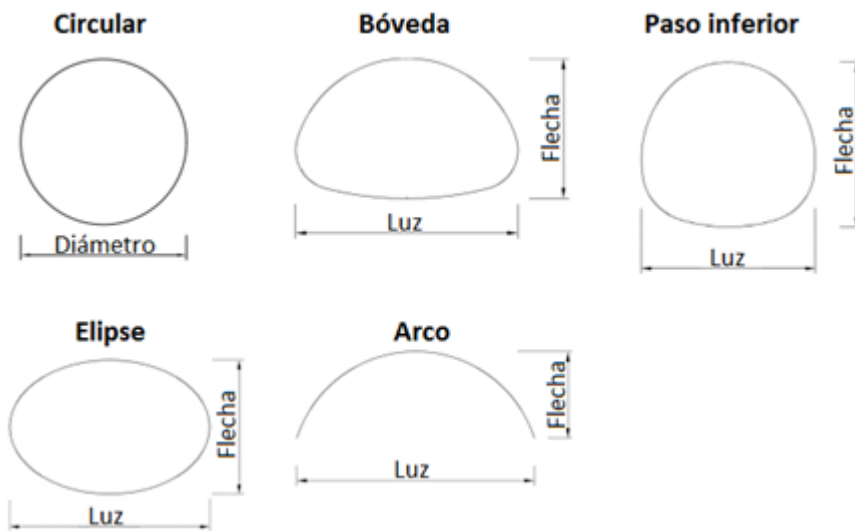


FIGURA 4 Ejemplos de geometrías de diseño

Metodología de Instalación

Las planchas se traslapan por sus extremos mediante pernos de cuello cuadrado, los que se mantienen en posición gracias a clips de fijación, formando un anillo. Después, se procede armando el siguiente anillo, el cual se une al anterior a través de las pestañas del Liner usando pernos de cabeza hexagonal.

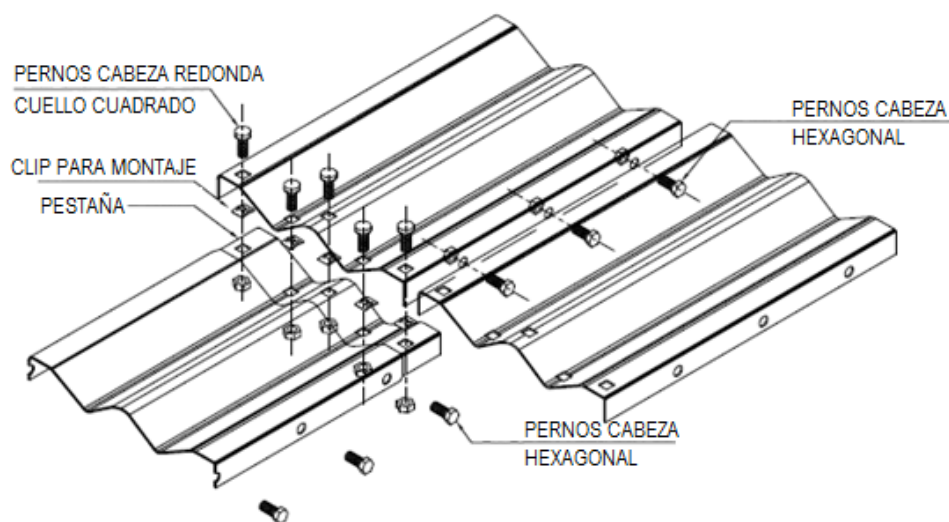


FIGURA 5 Armado de Tunnel Liner

En caso de tuneleo, la excavación se debe realizar lo más cerca posible de la conformación exterior de las planchas para revestimiento. En el caso de *Relining* (para reforzar estructuras preexistentes), la geometría de diseño se debe adaptar lo mejor posible a la obra. El espacio entre las planchas y la tierra o estructura deberá rellenarse rápidamente con enlechado de hormigón. Algunas de las planchas deberán estar provistas con agujeros para permitir el enlechado. El relleno mencionado permite una transferencia uniforme de cargas hacia el Tunnel Liner.

Para el caso de la reposición del cauce de la Avenida Argentina, en Valparaíso, se desarrolló un *Relining* en forma de arco de radio variable, añadiéndose relleno de hormigón de densidad controlada RDC3 entre el Liner y la obra como indica el siguiente esquema.

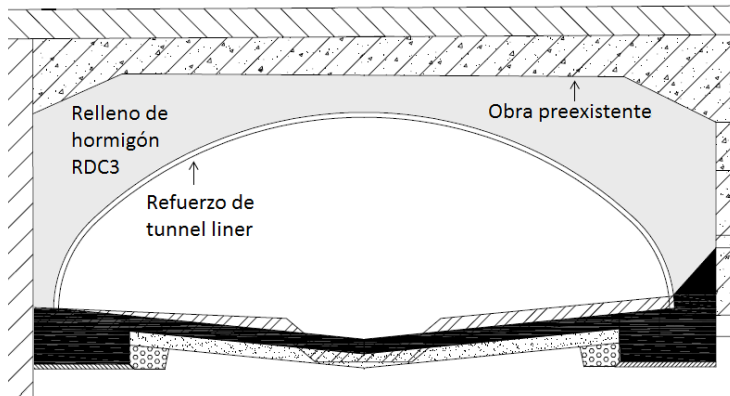


FIGURA 6 Esquema de *Relining* para la estructura bajo la Avenida Valparaíso

Planchas Especiales de Tunnel Liner.

Según los requerimientos del cliente, se pueden generar planchas especiales de Tunnel Liner. Para el caso del proyecto de refuerzo para la obra bajo Avenida Argentina, se necesitaban sumideros para coleccionar agua desde la superficie de la calle al canal. Para lo cual, se generaron planchas adaptadas de la siguiente manera:



FIGURA 7 Plancha especial adaptada para ser sumidero



FIGURA 8 Plancha especial instalada en Obra

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Cálculo de la Estructura

El diseño del tunnel liner deberá regirse por las normas, códigos y estándares siguientes, cada una en la última revisión:

- AASHTO American Association of State Highway and Transportation Officials
LRFD Bridge Design Specifications
- ASTM American Society for Testing and Materials
- A 449 Standard Specification for Hex Cap Screws, Bolts and Stud, Steel, Heat Treated, 120/105/90 ksi Minimum Tensile Strength, General Use.
- A 761/A Corrugated Steel Structural Plate, Zinc-Coated, for Field-Bolted Pipe,
761M-04 Pipe-Arches, and Arches.

Para el cálculo estructural requiere conocer la calidad de las planchas de acero, la densidad y alturas de relleno para el material de relleno y el asfalto sobre la estructura, características geométricas de la estructura, sismicidad del terreno, etc.

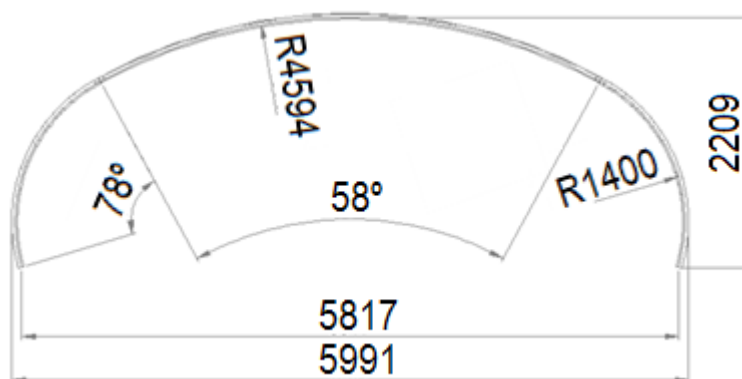


FIGURA 8 Geometría elegida según requerimiento del cliente, arco de radio variable

El refuerzo estructural para la obra bajo la Avenida Argentina, de Valparaíso, tiene los siguientes datos de entrada:

TABLA 1 Parámetros de diseño

Acero		Estructura	
Calidad	ASTM A36	Luz, L (m)	5.817
f_y (MPa)	250	Flecha, F (m)	2.209
f_u (MPa)	410	Luz efectiva, D_h (m)	5.991
E (MPa)	200055.7	Flecha efectiva, D_v (m)	2.209
γ_{acero} (KN/m ³)	76.93	Luz de diseño, $S = 2R_t$ (m)	9.188
Relleno		Radio Tapa, R_t (m)	4.594
$\gamma_{relleno}$ (KN/m ³)	21	Radio esquina, R_e (m)	1.4
Altura de relleno, h (m)	1.286	Ángulo central superior, A_s (°)	58°
Asfalto		Corrugación	Tunnel liner
$\gamma_{asfalto}$ (KN/m ³)	24	Espesor, e (m)	6.5
Altura de relleno, h' (m)	0.5	Área, A (mm ² /mm)	8.383
Datos sísmicos		Radio de giro, r (mm)	15.5
Zona sísmica	3→ $A_o=0.4g$	Inercia, I (mm ⁴ /mm)	2010.19
		Resistencia de las Juntas, R_j (N/mm)	1464.97

El refuerzo, considerado de gran ancho (con algún radio de curvatura mayor a 4000 mm), debe cumplir con los requisitos geométricos indicados según la AASHTO.

TABLA 2 Requerimientos geométricos de diseño

Requerimiento	Valor	Estado
Espesor mínimo (mm), para radio de tapa, R_t , entre 4.5 y 5.2 m	3.56	OK
Máximo radio de la placa (mm)	7600	OK
Máximo ángulo central superior ($^\circ$)	80	OK
Mínima relación entre el radio de tapa, R_t y el radio de esquina, R_e	2	OK
Máxima relación entre el radio de tapa, R_t y el radio de esquina, R_e	5	OK
Recubrimiento mínimo de relleno(m), para habilitar tránsito del equipo de compactación CAT D 4	1.1	OK

Se consideran dos tipos de cargas para el diseño:

- Carga muerta, P_p : corresponde al peso sobre la estructura, es decir el peso del pavimento, más el peso del relleno y el peso propio la estructura, igual a 39.5 KN/m².
- Carga viva, P_s : corresponde a la carga generada por un camión HS20, que a una profundidad de 1.5 m produce una sobrecarga de 20.03 kPa basada en una distribución de tipo Boussinesq. Se considera además, según lo establecido en la normativa un incremento del 20% en la carga, debido al efecto de impacto, quedando una carga viva de 24.04 kPa.

Se debe escoger la combinación de carga entregada por la AASHTO más desfavorable.

TABLA 3 Combinaciones de carga

Resistencia 1	$P_t = 1.95 * P_p + 1.75 * P_s * (1 + IM)$
Resistencia 2	$P_t = 1.95 * P_p + 1.35 * P_s * (1 + IM)$
Servicio 1	$P_t = 1 * P_p + 1 * P_s$
Extremo 1	$P_t = 1.95 * P_p + 0.5 * P_s * (1 + IM) + \frac{2}{3g} * A_o * P_p$
$IM = 33 * (1 - 4.1 * 10^{-4} * h) \geq 0$	

Donde el estado límite predominante se obtiene de la combinación Extremo 1. Entonces la carga de diseño, P_t , es 125.8 kPa.

Las presiones laterales del relleno impiden que la estructura se deforme frente a las cargas verticales (relleno superior), por lo que la estructura trabaja solamente a compresión.

El esfuerzo normal, sobre la obra se realizó utilizando la fórmula presentada en la Ecuación 1:

$$C_t = \frac{P_t D}{2} \quad (1)$$

Luego, el esfuerzo normal, C_t , es igual a 577.92 kN/m.

Chequeo de resistencia a la compresión

Según AASHTO LRFD, la resistencia nominal a la compresión se calcula mediante la Ecuación 2:

$$R_n = \phi * A * f_y \quad (2)$$

Donde ϕ es el coeficiente de reducción de resistencia, igual a 0.67, A es el área de la sección transversal del tunnel liner y f_y es la resistencia de fluencia del acero.

Entonces, la resistencia nominal a la compresión, R_n , es igual a 1404.15 kN/m.

En efecto, el diseño verifica que $R_n > C_t$, por lo que se cumple la resistencia a la compresión.

Chequeo de resistencia a las costuras.

La resistencia de las costuras apernadas debe ser superior a la compresión en la pared del conducto, según la Ecuación 3:

$$R_{jn} = \phi * R_j > C_t \quad (3)$$

Donde ϕ es el coeficiente de reducción de resistencia, igual a 0.67 y R_j la resistencia de las juntas del tunnel liner.

Entonces, la resistencia nominal de las juntas a compresión, R_{jn} , es igual a 981.53 kN/m.

Luego, el diseño verifica que $R_{jn} > C_t$, por lo que se cumple la resistencia a las costuras.

Chequeo de manipuleo e instalación

De acuerdo a la AASHTO, para estructuras de gran ancho, no se deben considerar los requisitos para el manipuleo y la instalación.

Estructura Reforzada

A continuación, se muestra la obra de hormigón, construida bajo la Avenida Argentina, de Valparaíso, reforzada mediante el método de *Relining*.



FIGURA 9 Estructura reforzada mediante el método de *Relining*

En la figura se observa la instalación de una malla de acero, la cual cubrirán de hormigón dejando la superficie interior lisa.

CONCLUSIONES

Este artículo explica el mecanismo de refuerzo de obras preexistentes llamado *Relining*. Se hace una descripción del material de refuerzo, tunnel liner, se enseña su metodología de instalación y se muestra cómo se realizan los cálculos estructurales.

Se puede concluir lo siguiente respecto al mecanismo de *Relining*:

- Este mecanismo permite un mantenimiento correctivo de la estructura dañada, de tal manera que aumenta su vida útil. Su revestimiento hecho de planchas de tunnel liner requiere de una mínima mantención.
- Es importante destacar, que esta metodología, al no requerir realización de zanjas ni movimientos de tierras, evita interrumpir las actividades en la superficie, mientras se lleva a cabo la obra, disminuyendo costos y molestias, ya sea en zonas urbanas o rurales.
- El tunnel liner al ser económico, de fácil transporte e instalación, resulta altamente competitivo, independiente del diámetro, forma o tipo de carga requerida.
- El acero estructural, al ser un material de alta resistencia, es durable. Para mayor duración, puede complementarse con una terminación magnelis y revestimientos como galvanizado y epóxico.
- El tunnel liner se puede construir en distintas geometrías, pudiéndose adaptar a una diversa cantidad de obras. También se pueden generar piezas especiales de este producto de acuerdo a los requerimientos del cliente.
- Este tipo de refuerzo es ecológico y reutilizable, donde las estructuras pueden ser fácilmente desmontadas y transportadas en casos de traslado de faenas. A su vez, el acero es 100% reciclable, lo que lo convierte en una solución amigable con el medioambiente.
- El relleno en el espacio entre las planchas de acero y la estructura, permite una adecuada transferencia de cargas, de forma uniforme, desde la superficie.
- El sistema de refuerzo para el proyecto bajo la Avenida Argentina, de Valparaíso, cumple con los requerimientos geométricos de diseño, las resistencias a la compresión y a las costuras requeridas y los requisitos de manipuleo e instalación de acuerdo a la norma AASHTO.
- Este refuerzo, aparte de ayudar a la obra a cumplir con los requerimientos estructurales de rigidez y resistencia, termina con un acabado estético.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a quienes han participado del proyecto de reposición del cauce Avenida Argentina, de Valparaíso. Entre ellos, la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) como sponsor del proyecto, la oficina IRH Ingenieros Consultores Ltda. a cargo del proyecto, la constructora Nadic S.A., quien está ejecutando el proyecto y a Tecnovial S.A., quien da las condiciones para que se presente el trabajo.

REFERENCIAS

1. AASHTO. *Design Specifications*. American Association of State Highway and Transportation Officials, USA, 2012.
2. ARMCO, *Manual de Productos de Acero para Drenaje y Construcción*, USA, 1981.
3. Cruz Miranda, A. *Folleto sobre mantenimiento en edificaciones*, La Habana, 2011.
4. *Handbook of Steel & Drainage Highway Construction*, Canada, 2009.