

Diseño de Puente en Acero de Corrugación Profunda: Aplicación de Estándares del Manual de Carretera y Normas Chilenas

Deep Corrugated Steel Bridge Design: Application of Highway Manual Standards and Chilean Standards

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historial del
artículo:

Recibido
14-11-2023
Aceptado
03-12-2024
Publicado
30-04-2025

Palabras Clave:
Puentes
Túneles
Acero
Corrugación

Article history:

Received
14-11-2023
Accepted
03-12-2024
Available
30-04-2025

Keywords:
Bridges
Tunnels
Steel
Corrugation

Luis Almendra¹, Claudio Poblete²

¹ Tecnovial S.A., Santiago, Maipú, lalmendra@tecnovial.cl

² Tecnovial S.A., Santiago, Maipú, cpoblete@tecnovial.cl

Resumen

El presente documento indica las características esenciales para el procedimiento cálculo de estructuras de acero en corrugación profunda, sistema que se utiliza para el diseño de estructuras de grandes luces como lo son puentes y túneles de gran diámetro. Una de las normas que más impera al momento del diseño de cálculo es la norma AASHTO LRFD, la cual entrega indicaciones especiales para estructuras armadas en base a planchas de acero de corrugación profunda debido a su capacidad a soportar solicitaciones flexurales además de la solicitud a carga axial que soportan sus pares corrugados de menor tamaño. Entre las características más importantes que se incorporan en el estudio de estructuras de acero de corrugación profunda de grandes dimensiones es el requerimiento de estudiar el diseño por medio de un programa de elementos finitos; en el caso de Tecnovial se usa para el estudio de sus trabajos el software FLAC 2D en su séptima versión. El aporte de este tipo de soluciones en el campo de la infraestructura vial es la de generar diseños para cruce de caminos que puedan ser armados en tiempos rápidos que van afín con las necesidades actuales de nuestra industria.

Abstract

This document indicates the essential characteristics for the calculation procedure of deep corrugated steel structures, a system used for the design of large span structures such as bridges and large diameter tunnels. One of the most prevailing standards at the time of calculation design is the AASHTO LRFD standard, which provides special indications for reinforced structures based on deep corrugated steel plates due to their capacity to withstand flexural stresses in addition to the axial load request supported by their smaller corrugated counterparts. Among the most important characteristics incorporated in the study of large deep corrugated steel structures is the requirement to study the design by means of a finite element program; in the case of Tecnovial, the seventh version of the FLAC 2D software is used for the study of its works. The contribution of this type of solutions in the field of road infrastructure is to generate designs for road crossings that can be assembled in quick times that are in line with the current needs of our industry.

* Corresponding author at: Luis Almendra, Tecnovial S.A., Santiago, Chile.
E-Mail address: lalmendra@tecnovial.cl

RIOC

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

Vol. 13, no. 01, pp. 1–10, Abril 2025

1. Introducción.

La necesidad de emplazar puentes frente a la actualidad del país ha exigido tiempos acotados para su instalación; una de las soluciones que ayuda a reducir considerablemente los tiempos es la realización de estas estructuras por medio de elementos modulares como lo son las planchas de acero corrugado.

Sin embargo, cada vez se requiere trabajar con dimensiones de estructuras que puedan satisfacer la necesidad de abordar luces de gran tamaño, lo que implica el desafío de utilizar elementos cada vez más resistentes.

Para esta necesidad es que Tecnovial realiza estructuras abarcando este desafío por medio de planchas de acero corrugado, cuya distancia entre crestas es de 381 mm y una altura de corrugación mayor a 140mm. Este tipo de corrugación se le conoce como “corrugación profunda”, la que dada sus dimensiones posee, a diferencia de sus familiares más pequeñas, una mayor inercia y, por ende, mayor resistencia a flexión. Dicha resistencia ayuda a que las estructuras basadas en este tipo de planchas corrugadas abarquen luces que permiten el diseño de puentes conformados por planchas con este tipo especial de corrugación. Todas estas geometrías de corrugación se encuentran estandarizadas en la norma ASTM A796M, aceptada a nivel mundial para el diseño de estructuras enterradas.

Según el Manual de carreteras Chileno en su volumen 3 (MOP, 2022), en su apartado 3.1003.809 se refiere a los criterios de diseño que indica el código AASHTO, el que incluye el estudio de una solicitación combinada a flexo-compresión por lo indicado en el primer párrafo, la que, si bien en algunos casos puede estimarse de manera empírica, es requisito que la obtención de todo tipo de carga aplicada se determine mediante un programa de modelación de elementos finitos. Además, por ser Chile un país sísmico, se aplica la NCh203 que garantiza la utilización de un acero estructural dúctil para el diseño de estos puentes.

En el presente trabajo se abordarán los criterios y bases que sostienen el diseño de puentes de acero de corrugación profunda considerando lo establecido por la norma AASHTO LRFD (AASHTO 2020) y utilizando el software de modelación de elementos finitos FLAC 2D 7.00.424 usando modelo de suelos de Mohr-Coulomb.

2. Metodología

2.1 Recomendaciones de Ingeniería Básica

Para el diseño de este tipo de estructuras, se requiere de estudios básicos de ingeniería (Manual de Carreteras 3.1002, 2022); donde los estudios de Geodesia, Topografía, Hidráulica y ambientales aportan a definir la geometría base de la solución, mientras que la Geotecnia y Demanda de características del Tránsito permiten establecer los criterios del diseño que se desarrollan en los siguientes apartados

2.2 Parámetros de diseño

Para la evaluación de una estructura de grandes dimensiones primero se requieren conocer los criterios de entrada, los que parten por las dimensiones de la estructura, que son la luz y la flecha una estructura tipo arco, donde los extremos se consideran apoyados en fundaciones de hormigón y la parte exterior del arco cubierta por suelo compactado, los que esquemáticamente se presentan como en la Figura 1. Tal como se menciona en el acápite 2.1, estos criterios geométricos vienen dados luego de los estudios de Geodesia, Topografía, Hidráulicos y ambientales.

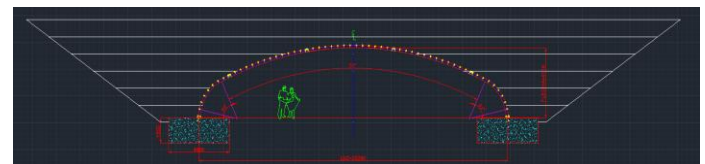


Figura 1. Esquema de proyecto a evaluar. Vista en elevación.

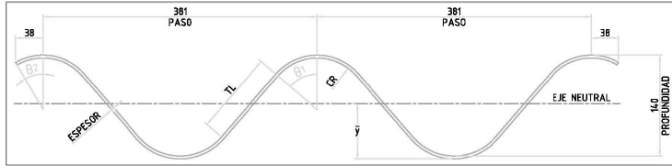
Luego de los criterios en macro de la estructura es necesario conocer las características de los elementos que compondrán la estructura:

Para la realización del proyecto, Tecnovial S.A. opta por la construcción de un puente de acero corrugado en base a planchas de configuración TV381; asociada a la distancia de 381 mm que existe entre dos crestas consecutivas en cada corrugación y profundidad entre crestas de ondas de 140 mm (Manual de Carreteras, 2022) para el acero estructural de corrugación profunda (ver Figura 2)

3.1003.9 ACERO ESTRUCTURAL DE CORRUGACIÓN PROFUNDA

Se entiende por corrugación profunda aquella cuya ondulación tiene profundidad de corrugación mayor que 120 mm, como por ejemplo, la indicada en la Figura 3.1003.9.A.

FIGURA 3.1003.9.A
EJEMPLO DE CORRUGACIÓN PROFUNDA (381 X 140 mm)



El acero estructural de corrugación profunda puede ser empleado en estructuras de puentes, pasos bajo nivel y sobre nivel, túneles excavados en suelo, y similares. Estas estructuras deberán ser diseñadas y especificadas de acuerdo con AASHTO LRFD Bridge Design Specification - Section 12. Los requerimientos para el diseño sísmico deberán ser aprobados por la Dirección de Vialidad.

Figura 2. Definición de acero estructural de corrugación profunda.
Nota: Tomado del Manual de Carreteras Chileno, Volumen 3, 2022.

Debido a la complejidad de construir estructuras en territorios de alta demanda sísmica, es necesario diseñar proyectos capaces de controlar módulos de falla frágiles, por pandeos globales/locales y de conexiones. Dicho esto, el acero a trabajar debe ser de calidad igual o superior, en términos de composición química y proceso siderúrgico, a la exigida por la normativa vigente; siendo certificado únicamente ante entidades reconocidas por la misma norma (NCh203, 2006). Las propiedades consideradas para estas estructuras cumplen con las exigencias indicadas en la Tabla 1 de norma (ASTM, 2018) y respecto a las propiedades dimensionales de la plancha para su evaluación, se apuntan en la Tabla 2.

Tabla 1. Propiedades de acero mínimas requeridas para plancha de corrugación profunda.

Calidad acero	Simbología	Valor
Módulo de elasticidad	E :	200000 MPa
Tensión de fluencia	f_y :	275 MPa
Tensión de ruptura	f_u :	380 MPa

Nota: Tomada de ASTM A761M, 2018.

Tabla 2. Propiedades a considerar para planchas de corrugación profunda.

TV381	Simbología	Unidad de Medida
Espesor	e	mm
Área de sección transversal	A	mm ² /mm
Momento de inercia	I	mm ⁴ /mm
Radio de giro	r	mm
Momento plástico	M_p	kN/m
Diámetro de perno	d_p	mm
Resistencia juntas	SS	kN/m

Si bien el arco de acero es un elemento estructural importante, este trabaja en complemento con el suelo que también cumple un desempeño estructural y del que cuyas propiedades se trabaja considerando la literatura recomendada para evaluación de modelos de estructuras de acero corrugado enterradas según se expone en Figura 3 y Figura 4 (Nelson et al., 2010 como se cita en AASHTO, 2020, como cita en Manual de carreteras, 2022), la que para efectos de modelación en software recomienda para una arena gravosa al 95% del Proctor modificado las propiedades expuestas en la Tabla 3 y Tabla 1:

Tabla 3. Propiedades a considerar para suelos en modelos computacionales.

Material	Peso unitario [tf/m ³]	Ángulo fricción [°]	Cohesión [tf/m ²]	Módulo de deformación [tf/m ²]	Coef. Poisson [-]
Suelo base	2.00	35	0	4.07.E+05	0.3
Relleno compactado	2.20	48	1.E-04	Criterios de Tabla 2-8 NCHRP	

In 1986, the Subcommittee submitted a request to the AASHTO Standing Committee on Research to undertake an assessment of U.S. bridge design specifications, to review foreign design specifications and codes, to consider design philosophies alternative to those underlying the Standard Specifications, and to render recommendations based on these investigations. This work was accomplished under the National Cooperative Highway Research Program (NCHRP), an applied research program directed by the AASHTO Standing Committee on Research and administered on behalf of AASHTO by the Transportation Research Board (TRB). The work was completed in 1987, and, as might be expected with a standard incrementally adjusted over the years, the Standard Specifications were judged to include discernible gaps, inconsistencies, and even some conflicts. Beyond this, the specification did not reflect or incorporate the most recently developing design philosophy, load-and-resistance factor design (LRFD), a philosophy which has been gaining ground in other areas of structural engineering and in other parts of the world such as Canada and Europe.

Figura 3. Mención Norma AASHTO a norma NCHRP.
Nota: Tomado de AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 2020, AASHTO.

2.2.2 Soil Properties

Development of soil constitutive models and properties has been addressed in preceding sections (and in Appendix A). Major decisions include use of the Mohr-Coulomb soil, soil property variations with depth, and the use of soil friction angles representative of high-stress conditions.

All models used one of four soil materials: well-graded or gravelly sand at 85% standard compaction (SW85), well-graded or gravelly sand at 95% standard compaction (SW95), inorganic silts and fine sands at 85% standard compaction (ML85), and inorganic clays at 85% standard compaction (CL85). Mohr-Coulomb soil parameters for SW95, SW85, ML85, and CL85 are provided in Tables 2-7 through 2-10.

Figura 4. Recomendación de modelación de suelos en softwares.
Nota: Tomado de NCHRP Report 647 por Nelson et al., National Academies Press, 2010.

La ecuación asociada al módulo de deformación de la estructura tiene relación con la variación de propiedades producto del confinamiento del suelo en función a la profundidad. La determinación de estos valores se realiza mediante la interpolación de datos entregados en la tabla 2-8 del mismo reporte 647 de la NCHRP según se muestra en la Figura 5:

Table 2-8. Parameters for linear-elastic and Mohr-Coulomb models for SW95.

Depth (ft)	Modulus of Elasticity E (psi)	Poisson's Ratio ν	Angle of Friction ϕ (deg)	Dilatation Angle ψ (deg)	Cohesion c (psi)
0 to 1	1,600	0.40	48.0	18.0	0.001
1 to 5	4,100	0.29	48.0	18.0	0.001
5 to 10	6,000	0.24	48.0	18.0	0.001
10 to 18	8,600	0.23	48.0	18.0	0.001

Figura 5. Parámetros para modelo Mohr-Coulomb en grava arenosa al 95%.
Nota: Tomado de NCHRP Report 647 por Nelson et al., National Academies Press, 2010.

Otro antecedente a considerar para el diseño de la estructura corresponde a los criterios sísmicos del emplazamiento de la estructura. Este se relaciona con la zona sísmica y si correspondiente aceleración de gravedad, A_o , la cual se usará posteriormente para mayoraciones por carga sísmica.

2.3 Análisis computacional

Para el análisis de la estructura se requiere de un estudio mediante elementos finitos para estructuras de corrugación profunda (AASHTO, 2020). Es por ello que se recurre a la modelación de la sección más crítica del proyecto en el software FLAC 2D, considerando las propiedades estructurales tanto del sistema de corrugación profunda como de las distintas capas de suelo compactado, presentándose modelos como los de la Figura 6:

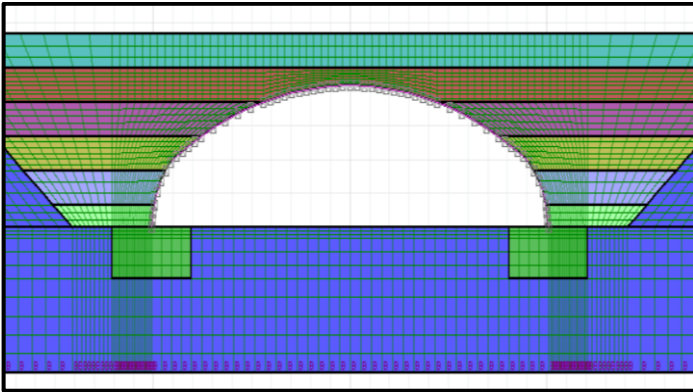


Figura 6. Proyecto de puente hecho en planchas de acero de corrugación profunda modelado en FLAC 2D.

Para la evaluación del diseño se extraen los resultados del modelo sin carga viva y con la aplicación de un camión AASHTO HS20-44 +20% (Manual de Carreteras Chileno, 2022) y que se muestra en la Figura 7.

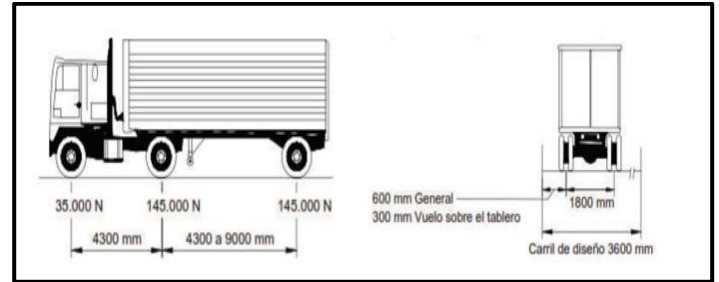


Figura 7. Camión AASHTO HS20-44
Nota: Tomado de Manual de Carreteras chileno, 2022.

Debido a que el software de análisis FLAC 2D sólo evalúa esfuerzos en dos dimensiones, se considera la aplicación de carga dependiendo de la proyección de presiones por el modelo de Boussinesq, según la altura de relleno a la estructura hasta la rasante del camino donde la rueda circula. La Figura 8 muestra gráficamente el criterio de corrección de cargas vivas para efectos de modelación en 2D.

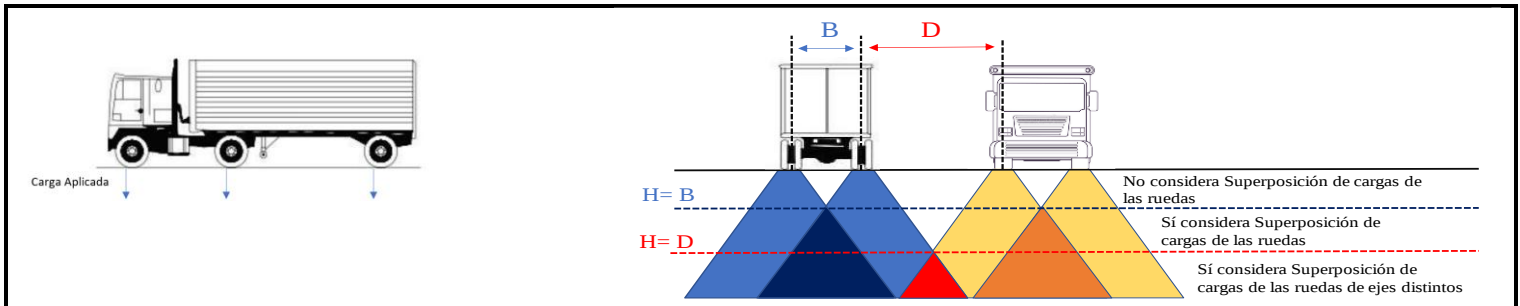


Figura 8. Modelo de distribución de carga viva mediante el modelo de Boussinesq

En base a este criterio, la carga puntual a ubicar en el modelo FLAC 2D se calcula de la siguiente forma para cuando se considera el avance de un vehículo por el puente:

$$\text{Carga aplicada} = \begin{cases} \frac{L}{2(\text{Ancho Rueda} + H_c)} & H_c < 1800 \text{ mm} \\ \frac{L}{(\text{Ancho Rueda} + H_c)} & H_c \geq 1800 \text{ mm} \end{cases} \quad (1)$$

Siendo $L = 145 \text{ kN}$ o 35 kN según corresponda y Ancho de rueda = 500 mm .

Los datos de salida que se extraen del modelo ya analizado son los de solicitaciones por carga axial, solicitaciones de momento y la deformación de la estructura en el sentido vertical. El mismo software otorga la posibilidad de visualizar de manera gráfica las solicitaciones presentes en la estructura tal como se presentan en la Figura 9.

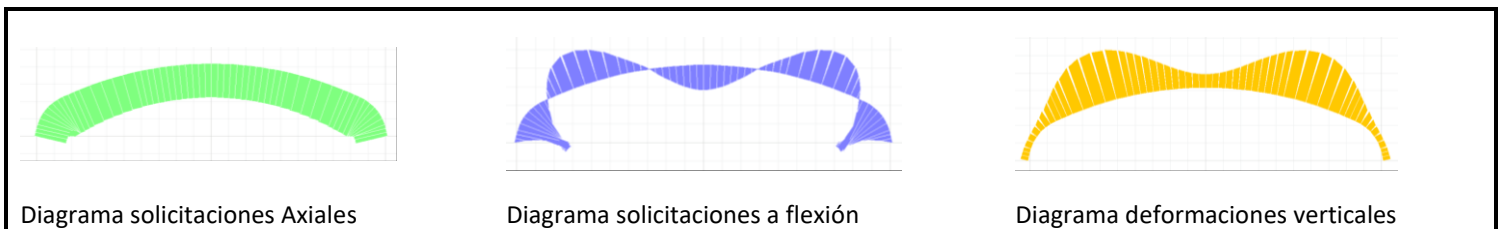


Figura 9. Diagramas de resultados para modelo de puente entregados por FLAC 2D

Cada una de las secciones con forma de barra que muestran los gráficos representan los puntos estudiados en la estructura y son los que se extraen para la evaluación del diseño y se comparan sobre las resistencias críticas de la estructura.

2.4 Evaluación de resistencia del diseño

2.4.1 Criterio de resistencia a compresión y pandeo

La resistencia compresión de pandeo se calculan mediante las siguientes expresiones (AASHTO, 2020):

$$R_n = \min(\phi R_t; R_b) \quad (2)$$

Con:

$$R_t = \phi A F_y \quad (3)$$

$$R_b = 1,2 \phi_b C_n (E_p I_p)^{\frac{1}{3}} (\phi_s M_s K_b)^{\frac{2}{3}} R_h \quad (4)$$

$$R_h = \frac{11,4}{11 + \frac{S}{H}} \quad (5)$$

$$K_b = \frac{1-2\nu}{1-\nu^2} \quad (6)$$

Donde:

Símbolo	Significado
R_n	Resistencia nominal a la compresión [kN/m].
R_t	Resistencia factorizada a tensión [kN/m].
R_b	Resistencia crítica de pandeo [kN/m].
ϕ	Coeficiente de reducción de resistencia AASHTO. [-]
A	Área de sección transversal. [mm ² /mm]
F_y	Resistencia a la fluencia de del acero. [MPa]
C_n	Factor de pandeo. [-]
ϕ_b	Factor de calibración por efectos no lineales. [-]
E_p	Módulo de elasticidad del acero. [MPa]
I_p	Inercia sección transversal del acero. [mm ⁴ /mm]
ϕ_s	Factor de resistencia del suelo. [-]
M_s	Módulo de empotramiento restringido.
K_y	Módulo de Poisson. [-]
	Factor en fundación del módulo de Poisson del suelo masivo vaciado. [-]
S	Span de la estructura. [m]
H	Profundidad enterramiento sobre punto más alto de la estructura. [m]
R_h	Factor de corrección de geometría de relleno. [-]

2.4.2 Criterios de resistencia de costuras del sistema.

La resistencia de las costuras empernadas debe ser superior a la compresión de la pared del conducto, según la siguiente expresión.

$$R_s = \phi R_j \quad (7)$$

Donde:

Símbolo	Significado
R_s	Resistencia nominal de las costuras [kN/m].
	Coefficiente de reducción de la resistencia. [-]
	Resistencia de la junta (ASTM A796, 2017). [kN/m]

2.4.4 Criterios de resistencia a flexión

La resistencia a la flexión admisible se calcula según la siguiente expresión.

$$M_n = \phi M_p \quad (8)$$

Donde:

Símbolo	Significado
M_p	Resistencia de la flexión admisible [kNm/m].
ϕ	Coefficiente de reducción de la flexión. [-]
M_n	Momento plástico de la sección. [kNm/m].

2.4.5 Criterios de resistencia considerando efecto sísmico.

Para la verificación de resistencia frente a las solicitaciones se estudia el factor de uso de cada una de las resistencias de manera individual en base a la mayor solicitación presente en la estructura siendo mayorada. Donde se ha de cumplir:

$$FU = \frac{\text{Mayor Carga Solicitante} \left(1,5 + \frac{2}{3} A_0\right)}{\text{Resistente}} \leq 1 \quad (9)$$

Donde:

Símbolo	Significado
C_u	: Compresión máxima última sobre la estructura. Considerando mayoración estática y sísmica. (Determinado en la evaluación de resistencia a compresión y pandeo)
M_u	: Momento máximo último sobre la estructura. Considerando mayoración estática y sísmica.

R_t y M_n determinados anteriormente.

Esto se evalúa para cada partición generada en el modelo para el perímetro del arco. La posterior parte del análisis del diseño abarca la evaluación del modelo al ser sometido a las cargas vivas mencionadas previamente en este documento.

Donde el aporte de mayoración 1,5 es producto de criterios de evaluación por diseño LRFD (AASHTO, 2020) y el factor de mayoración 2/3 A_0 corresponde al aporte sísmico de aceleración horizontal (CSA Group, 2019). Siendo A_0 el valor de la aceleración efectiva máxima según la zonificación sísmica (NCh2369, 2023).

Asimismo, el aporte de la carga muerta debe considerarse como la suma de la carga muerta ya factorizada y el aporte sísmico horizontal (CSA, 2019), lo que genera la solicitación por carga axial.

Dado a que las estructuras a diseñar son de carácter enterrado no se consideran efectos horizontales, sólo los verticales

2.4.6 Criterio por Flexo-compresión

Debido a la alta inercia de las planchas de corrugación profunda, las estructuras constituidas por este tipo de planchas reciben una alta solicitación a la flexión; para analizar la resistencia de la estructura frente a este tipo de fenómenos, se evalúa un factor de utilización para la estructura (AASHTO, 2020) combinando cargas de momento y compresión de la siguiente manera:

$$FU = \left(\frac{C_u}{R_t}\right)^2 + \left|\frac{M_u}{M_n}\right| \quad (10)$$

El factor de utilización se calcula de manera análoga a las consideraciones de carga muerta; pero modificando las combinaciones de carga considerando el aporte de LL.

Finalmente se evalúa el criterio de deformación admisible para el correcto comportamiento de la estructura, el cual posee un

valor máximo de 2% de su luz o flecha según (AASHTO 2017). Las deformaciones igualmente se obtienen de los resultados provenientes del software FLAC 2D y evaluando los valores máximos de deformación resultantes.

2.5 Fundaciones

Junto con la evaluación de los puentes también se estudia el diseño de las fundaciones donde se apoyarán las estructuras con geometría de arco. El análisis del diseño considera el estudio de una fundación corrida.

Las cargas sobre la fundación consideran la columna de suelo sobre la zona de la fundación que queda fuera de la estructura

Donde:

Símbolo	Significado
$F.S.:$	: Factor de seguridad, igual a 3 para el caso estático y 2 para el caso sísmico
$c:$	: Cohesión del suelo de fundación [kPa].
$\gamma_s:$	: Peso específico del suelo [kN/m ³].
$D_f:$	: Distancia cota terreno a sello fundación [m].
$B:$	: Ancho de la fundación [m].
$N_c, N_q, N_\gamma:$	: Factores de modificación de la capacidad por tipo de suelo.
$d_c, d_q, d_\gamma:$	: Factores de profundidad para modificación de la capacidad.
$i_c, i_q, i_\gamma:$	: Factores de inclinación de carga para modificación de la capacidad.

El diseño de la obra civil de hormigón se considerando primero la evaluación de armadura longitudinal, la cual se diseña para evitar problemas en el hormigón por retracción y temperatura, ya que no recibe grandes solicitaciones en dicha dirección. La cuantía de diseño se calcula considerando la sección transversal

3. Análisis de Resultados

En base a los análisis realizados para distintos proyectos en los que se ha solicitado la participación de Tecnovial S.A. los resultados más utilizados son los de estructuras con formas de arcos, de las que se destacan dos geometrías:

Box Culvert: Arco con razón de aspecto flecha:luz baja, logrando minimizar la altura del puente sin perjudicar su ancho de escurrimiento. Se conforma de un radio de clave muy superior al radio de los hombros, además de un tramo recto de poca en sus apoyos.

Doble radio: Arco de gran sección compuesta por un radio mayor en la clave y uno menor en los costados, alcanzando

del arco y el aporte asociado a la carga viva tributándose a lo largo de la fundación.

Para la capacidad de soporte es obtenida de la siguiente manera a partir de la teoría planteada por Terzaghi (1943) y modificada por Meyerhof (1963) para cargas con inclinación, quien propone la siguiente expresión (Terzaghi,1943, como se cita en Meyerhof, 1963):

$$q = \frac{1}{F.S.} (c N_c d_c i_c + \gamma_s D_f N_q s_q d_q + 0,5 \gamma_s B N_\gamma D_\gamma I_\gamma) \quad (11)$$

completa. (ACI-318, 2019)

Los estribos son los encargados de tomar la flexión provocada por reacción del suelo sobre la fundación, por lo que dentro de las verificaciones realizadas se encuentra la cuantía mínima a la flexión, la resistencia al corte y a la flexión de la fundación.

mayores alturas y maximizando el área transversal.

Arco Semicircular: Arco compuesto de un solo radio. Debido a su geometría regular, los esfuerzos flexurales se ven disminuidos, ayudando a optimizar el espesor de la plancha requerido.

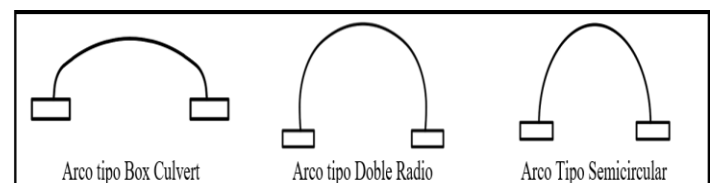


Figura 10. Geometrías de puentes usados por Tecnovial para planchas de corrugación profunda.

Las dimensiones que se pueden lograr con estas distintas geometrías, utilizando la corrugación profunda, permiten abarcar luces que van desde los 3 hasta los 35 metros, garantizando una gran versatilidad y rango de uso para estas soluciones. Por otra parte, los espesores dependerán de cada condición del proyecto, siendo posible utilizar acero en 4 mm y llegando hasta los 12 mm.

Las dimensiones de las fundaciones de H.A. dependerán de las cargas sobre el arco y la capacidad soportante del suelo. Para arco menores (hasta 8 m) es posible utilizar fundaciones metálicas prefabricadas que garantizan un rápido montaje por la prescindencia del hormigón. Para luces mayores, se utilizan fundaciones tradicionales de hormigón armado que típicamente van desde los 2 hasta los 5 m de ancho.

A continuación, se muestran algunos proyectos de puentes de acero de corrugación profunda realizados por Tecnovial en los últimos años:

Nombre y Ubicación: Puente Matilla, ubicado en la región de Tarapacá (Figura 11)

Mandante: Stradale - MOP

Luz · Flecha · Espesor: 20.1 m · 5.75 m · 8mm

Relleno sobre clave: 2.0 m



Figura 11. Puente Matilla.

Nombre y Ubicación: Puente El Membrillo, ubicado en la región del Maule (Figura 12)

Mandante: Barros y Barros

Luz · Flecha · Espesor: 17,5 m · 5.92 m · 8mm

Relleno sobre clave: 1.5 m



Figura 12. Puente El Membrillo

4. Conclusiones

Los puentes en acero de corrugación profunda son una solución práctica para las problemáticas de conectividad de nuestro país. La utilización del acero corrugado y su interacción con un relleno compactado garantizan una alta capacidad estructural y un bajo costo de insumos y materiales para su construcción. De este artículo podemos desprender las siguientes conclusiones:

- Los puentes en acero de corrugación profunda son una tipología de puentes que aparece en el Manual de Carreteras por lo que Vialidad está facultada para incorporarlos en sus proyectos. Sin embargo, el diseño de estas estructuras sigue estándares internacionales definidos en las normativas AASHTO, ASTM, CAN y ACI.
- Dada las condiciones sísmicas de Chile, se aplican las normativas del INN para el cálculo de los coeficientes sísmicos verticales que se utilizarán para el diseño. Por otra parte, las exigencias de la calidad del acero estructural utilizado para las planchas se rigen por la NCh203, que garantizan un comportamiento dúctil ante eventos telúricos, siguiendo los últimos lineamientos de Vialidad en esta materia.
- Los modelos en elementos finitos (FEM, por sus siglas en inglés) entregan información fidedigna para el diseño estructural de los arcos. Estos modelos son de rápida implementación y permiten dimensionar la estructura en poco tiempo.
- El relleno estructural es parte fundamental para el correcto desempeño de una estructura enterrada y, en particular, de los arcos de grandes luces en corrugación profunda. Es de vital importancia que se sigan las especificaciones de suelo compactado definidas en las bases de diseño de cada puente.

- La flexibilidad de estas estructuras les permite tener un gran desempeño ante asentamientos diferenciales, logrando redistribuir las tensiones internas ante deformaciones del terreno en las cimentaciones sin dañar la superestructura ni los caminos que sobre ellas pasen. Esto hace que sean soluciones óptimas para terrenos de mala calidad.

5. Referencias

- American Association of State Highway and Transportation Officials. (AASHTO). (2020). *LRFD Bridge Design Specifications*.
- AASHTO. (2017). *Standard Specification for Corrugated Steel Structural Plate, Zinc-Coated, for Field-Bolted Pipe, Pipe-Arches, and Arches*.
- American Concrete Institute (ACI). (2019). *Requisitos de reglamento para hormigón estructural (ACI 318-19)*.
- American Society for Testing and Materials (ASTM.) (2004). *Corrugated Steel Structural Plate, Zinc-Coated, for Field-Bolted Pipe, Pipe-Arches and Arches (A 761/A 761M-04)*.
- ASTM. (2010). *Standard Specification for Steel, Sheet and Strip, Hot-Rolled, Carbon, Structural, High-Strength*.
- ASTM. (2017). *Standard Practice for Structural Design of Corrugated Steel Pipe, Pipe-Arches, and Arches for Storm and Sanitary Sewers and other Buried Applications (A 796/A 796M-17a)*.
- CSA Group (2019) . *Canadian Highway Bridge Design Code (CSA S6-2019)*
- Instituto Nacional de Normalización (INN). (2006). *Acero para uso estructural - Requisitos (NCh203.Of2006)*.
- INN. (2010). *Hormigón - Requisitos generales (NCh170.Of2010)*.
- Karl Terzaghi (1943) *Theoretical Soil Mechanics*.
- Manual de Carreteras (MOP). (2022). *Volumen N°3: Instrucciones y criterios de diseño*.
- Meyerhof, G. C. (1963) *Some recent research on the bearing capacity of foundations*. *Canadian Geotechnical Journal* VI. N°1:16
- Nelson, C. R., McGrath, T. J., Kitane, Y., Li, G., & Petersen, D. L. (2010). *Recommended Design Specifications for Live Load Distribution to Buried Structures*. National Academies Press.