



ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SU APLICACIÓN EN LA PLATAFORMA (TABLERO) DEL PUENTE YELCHO

PARA OPTAR AL TÍTULO DE CONSTRUCTOR CIVIL

- En Chile existen mas de 12 500 estructuras viales, 7250 de ellas son puentes.
- Gran inversión del Estado MQP. en el diseño, construcción y mantención.



Fuente: Recuperado, www.wsp.com/PuenteTrengTrengKayKay



Fuente: Recuperado, www.monumentos.gov.cl/PuenteCarlosIbañezDelCampo



Fuente: Recuperado, <http://losrios.mop.cl/PuentePedrodeValdivia>

DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA

- Como conocer, analizar, diagnosticar y evaluar las estructuras de puentes para evitar un colapso y caída de ellos.
- La ciencia de investigación industrial ha proveído a la ingeniería en construcción en tipos de ensayos:
 - A) Ensayos Destructivos
 - B) Ensayos No Destructivos.
- END - Tecnología e innovación efectividad y potencialidad en resultados.

Puente Cancura - Chile



Fuente: La tercera (2018), recuperado, www.latercera.com



OBJETIVO GENERAL

Analizar los métodos de END para reconocer el estado real de la estructura del puente Yelcho, enfocado en su plataforma (tablero).



OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Catastrar diferentes técnicas de los END
- Criterios de decisión para aplicación de los END
- Aplicación de los END al caso de estudio en el puente Yelcho.
- Evaluar los resultados de los END
- Cuantificar la vida útil en base a los Ensayos No Destructivos en los resultados.
- Comparar costos de END

Ensayos No Destructivos y su historia.





Fuente: Flickr.com Autor: Miguel A. Becks (2019)

CONCEPTO DE END “Se denomina ensayo no destructivo (END) a cualquier tipo de prueba practicada a un material que no altere de forma permanente sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales. Los diferentes métodos de ensayos no destructivos se basan en la aplicación de fenómenos físicos tales como ondas electromagnéticas, acústicas, elásticas, emisión de partículas subatómicas, capilaridad, absorción y cualquier tipo de prueba que no implique un daño considerable a la muestra examinada”

(Ferrer Dalmau, 2019).

METODO DE INSPECCIÓN

Inspección Visual (EV)
Patologías a simple vista

Líquidos y Partículas Penetrantes (LP).
Daños superficiales

Partículas Magnéticas (PM)
Corriente -Detección de discontinuidades superficiales

END Convencionales

Ultrasonido (US)

Ondas -Velocidad máxima de sonido y la densidad del Material.
(onda baja ↓ calidad del hormigón es baja)

Radiografía Industrial (RI)

Defectos no Visibles - Rayos X, Rayos gama y neutrones

Método de Corriente Inducida (CI).

Inducción de Corriente - Discontinuidades de volumen de profundidad.

ENSAYOS MÁS HABITUALES PARA ESTRUCTURAS DE PUENTES ENCHILE

- Magnéticos - Espesor de Recubrimiento
- Radars de Penetración GPR - para armaduras y hormigón
- Esclerométricos - Resistencia del Hormigón
- Potencial Eléctrico corrosión
- Velocidad de Corrosión
- Profundidad de Carbonatación
- Resistividad Superficial del Hormigón
- Ultrasonido - Profundidad de Grietas - Espesor de Aceros
- Condiciones Ambientales incluido nivel de CO₂ -
- Humedad Superficial
- Hormigón - Permeabilidad in-situ - Hormigón



Fuente: Flickr.com Autor: Miguel A. Becks (2019)

DESCRIPCION INSTRUMENTALES

1

Radiografía Equipo FerroScan PS200, scanner de alta tecnología electromagnética detecta profundidad, espaciamiento y dimensión de las barras de acero – posición y tamaño – corrosión.

Equipo FerroScan PS200



Fuente: EDL (2020), Recuperado de <http://www.dbl.cl>

Equipo FerroScan PS200



Fuente: EDL (2020), Recuperado de <http://www.dbl.cl>

Equipo FerroScan PS200



Fuente: EDL (2020), Recuperado de <http://www.dbl.cl>

2

Radiografía - Equipo FerroScan PS1000 con tecnología Ground Penetration Radar (GPR) - 2D -3D detecta, huecos, nidos, y cavidades.

Equipo FerroScan PS1000



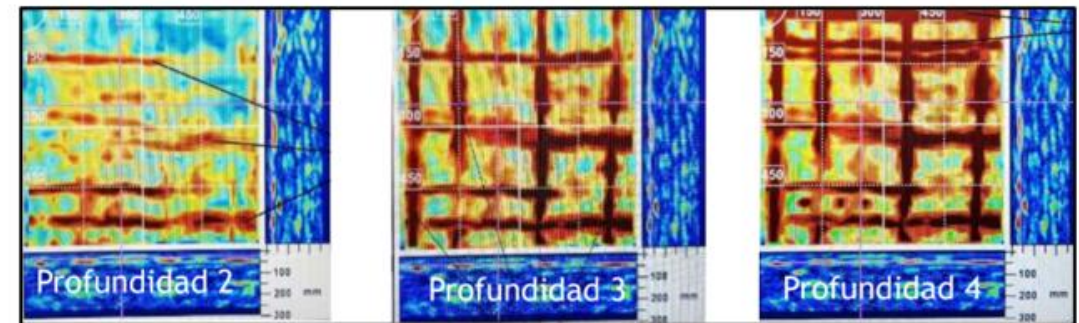
Fuente: EDL (2020), Recuperado de <http://www.dbl.cl>

Equipo FerroScan PS1000



Fuente: EDL (2020), Recuperado de <http://www.dbl.cl>

Equipo FerroScan PS1000



Fuente: EDL (2020), Recuperado de <http://www.dbl.cl>

3

Martillo Schmidt índice esclerométrico del hormigón

Estima la Resistencia al Hormigón / ASTM C805 (ASTM C805 (2018): "Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete") Y NCH-565 (2009)

Equipo Martillo Schmidt



Fuente: Proseq (2017), Recuperado de <http://screeningeagle.com>

Equipo Martillo Schmidt



Fuente: Proseq (2017), Recuperado de <http://screeningeagle.com>

4

Nivel de corrosión del acero Equipo Giatec Icor Tecnología Inalámbrica avanzada

- La tasa de corrosión de las barras de acero. (grado de corrosión)
- El potencial de corrosión de las barras de refuerzo, según ASTM C876. (posibilidad de corrosión)
- Resistividad Eléctrica superficial al hormigón.

Equipo Giatec Icor



Fuente: Giatec (2022), Recuperado de <http://www.giatecscientific.com>

Equipo Giatec Icor

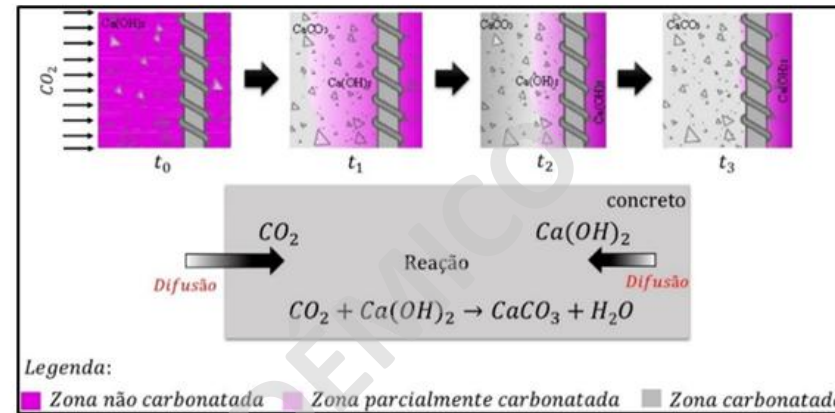


Fuente: Giatec (2022), Recuperado de <http://www.giatecscientific.com>

5

Ensayo de Carbonatación

Proceso Carbonatación



Fuente: Revista ALCONPAT, (2017), Recuperado <http://www.scielo.org>

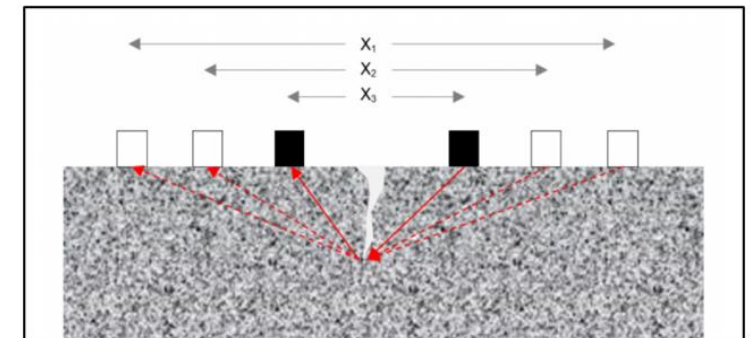
Equipo Ultrasonico



Fuente: EDL (2020), Recuperado de <http://www.bdl.cl>

Evaluación de la calidad y la uniformidad, y la estimación de profundidad de grietas.

Grieta Hormigón



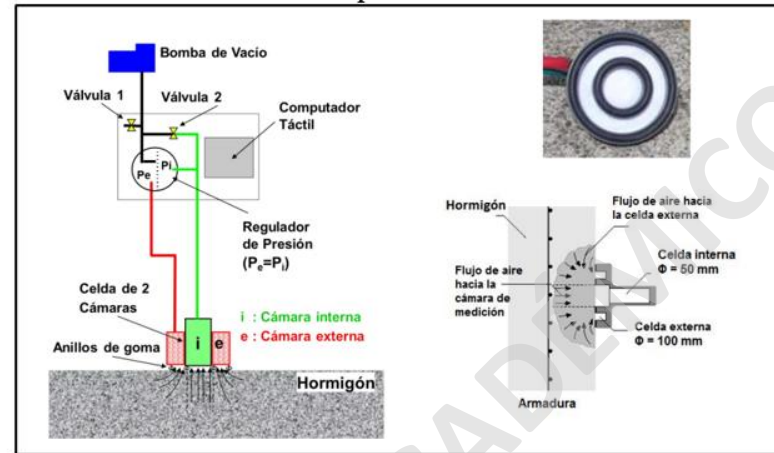
Fuente: EDL (2020), Recuperado de <http://www.bdl.cl>

METODO DE INSPECCIÓN

7

Permeabilidad al Aire Equipo PermeaTORR

Proceso Maquina PermeaTORR



Fuente: Construtechnik, (2021), <https://www.construtechnik.cl>

Equipo PermeaTORR



Fuente: Construtechnik, (2021), <https://www.construtechnik.cl>

8

Equipo de complemento a los ensayos - Condiciones Ambientales

Equipo AZ7755



Fuente: EOL (2020), Recuperado de <http://www.bdl.cl>

9

Equipo - Humedad Superficial para Hormigones

Equipo TRAMEX



Fuente: EDL (2020), Recuperado de <http://www.edl.cl>

10

Ensayo Espesor de Aceros. Elcometer 204 Gel Acoplante

Se basa en tiempo que tarda un pulso de sonido generado por el generador ultrasónico, atraviesa la pieza hasta que encuentra una discontinuidad.

Equipo Medición de Espesor



Fuente: EDL (2021), Recuperado de <http://www.edl.cl>

METODO DE INSPECCIÓN

CRITERIOS PARA APLICACIÓN DE END

Oportunidad

Proporcionan beneficios de información al desgaste

Adecuación

Deben ser vinculantes a la realidad que se requiere

Oferta tecnológica

Existen Varios - Investigar sobre el mas eficaz

Valores

Estudio de mercado y el tiempo que toma

Selección por naturaleza

Defectos y ensayos a utilizar

METODOS DE END PARA "TABLERO"- Puentes de Hormigon												
	INSPECCION VISUAL	PERMEABILIDAD AL AIRE DEL HORMIGON	NIVELES DE CORROSION ICOR	CARBONATACION	RADIOGRAFIA (ACERO) FERROSCAN P\$200	POTENCIAL DE CORROSION DEL HORMIGON	INDICE ESCLEROMETRICO DEL HORMIGON	RADIOGRAFIA P\$1000 (GPR)	RESISTIVIDAD ELECTRICA DEL HORMIGON	Velocidad de pulso ultrasónico	TERMLOGIA INFRAROJA	PROFOMETER
EVALUAR CONDICION GENERAL SUPERFICIAL	x											
LOCALIZACION DEL ACERO					x							x
PROFUNDIDA DEL ACERO					x							
DISTANCIAMIENTO DE BARRAS DE ACERO					x							
CORROSION DEL ACERO			x	x		x			x			
RECUBRIMIENTO DEL REFUERZO												
DIAMETRO DEL ACERO					x							x
GRIETAS: de esquina/ longitudinales / transversales	x										x	
FISURAS	x									x	x	
POROSIDAD	x	x							x			
RESISTENCIA A COMPRECION AL HORMIGON							x			x		
DURABILIDAD DEL HORMIGON		x										
NIDOS DE HORMIGON								x				
HUECOS DEL HORMIGON								x				
CAVIDADES DEL HORMIGON								x				
DESCASCARAMIENTO	x											
DESPRENDIMIENTO SUPERFICIAL		x									x	
DEFECTOS INTERNOS DEL HORMIGON		x										
DELAMINACIONES DEL HORMIGON								x		x	x	
DISCONTINUIDADES										x		
CLORUROS Y CARBONATACION				x								

Fuente: Elaboración propia

METODO DE INSPECCIÓN

CRITERIOS PARA APLICACIÓN DE ENSAYOS

- Selección por naturaleza

INSPECCIÓN PRELIMINAR DE LA ESTRUCTURA

Datos generales de la estructura:

Tipo de Estructura	Descripción básica de los componentes
Edificación	_____
Puente	_____
Muelle	_____
Muro de Contención	_____
Tanque de Almacenamiento	_____
Plataforma petrolera	_____
Silo	_____
Otro	_____

Fecha de construcción de la estructura: _____
 Uso general de la estructura: _____

Historial de Vida en Servicio de estructura.

- Fecha de puesta en servicio: _____
- Resistencia del hormigón a la compresión en obra: _____
- Anomalías observadas durante la construcción: _____

Edad de la construcción (años):

0 - 5 ☐ 6 - 10 ☐ 11 - 15 ☐ 16 - 20 ☐ Mayor a 21 ☐

Espesor promedio de recubrimiento de concreto en elementos (cm):

0 - 2.5 ☐ 2.6 - 5.0 ☐ Mayor a 5.0 ☐

Tipo de construcción:

Concreto reforzado ☐ Tabique rojo macizo ☐ Tabique de concreto ☐

Bloque de concreto hueco ☐ Bloque de concreto macizo ☐ Adobe ☐

Bloque de barro extruido ☐ Otro: _____

Forma de construcción:

Autoconstrucción ☐ Construcción formal ☐ Mixta ☐

Existen planos disponibles y sus cálculos:

Sí ☐ No ☐ No se sabe ☐

Agentes Físico - químicos en contacto con la estructura:

Ambiente:
 Rural ☐ Urbano ☐ Marino ☐ Industrial ☐

Marino-rural ☐ Marino-urbano ☐ Marino-industrial ☐

Otros: _____

Topografía del terreno

Plano ☐ Inclinado ☐ Modificaciones a taludes ☐
 Lomerío ☐ Cerca de río ☐ Zona de inundación ☐
 Otro: _____

Levantamiento de daños:

Tablero

Fecha probable de la aparición de daños: _____

Reparaciones anteriores:

Sí ☐ Fecha: _____ No ☐ No se sabe ☐

Tipo de daño

Grieta o fisura ☐ Red de grietas ☐ Gel de exudación ☐ Eflorescencia ☐
 Manchas de óxido ☐ Manchas de humedad ☐ Protuberancia ☐ Concreto Fofo ☐
 Delaminación ☐ Intemperismo ☐ Cangrejas ☐ Junta de dilatación ☐
 Junta de construcción ☐ Parcheo de reparación ☐ Otro: _____

Marcaje de grietas:

Sí ☐ Fecha: _____ no ☐

Tipo de grieta:

Longitudinal ☐ Transversal ☐ Cortante ☐

Combinación ☐ Especifique:

Ancho de grieta (mm):

0.08 - 0.15 ☐ 0.20 - 0.30 ☐ 0.33 - 0.50 ☐ 0.60 - 1.00 ☐ 1.25 o mayor ☐

Longitud de grieta (cm):

0 - 5 ☐ 6 - 10 ☐ 11 - 15 ☐ 16 - 20 ☐ mayor a 20 ☐

Causa del daño:

Ambiente ☐ Vicios constructivos ☐ Vibraciones ☐
 (Agentes físicoquímicos y biológicos) (malos materiales y mala supervisión)
 (Trepidante y/o oscilatorio)

Extensión y gravedad de los daños:

Ensayos mínimos a realizar

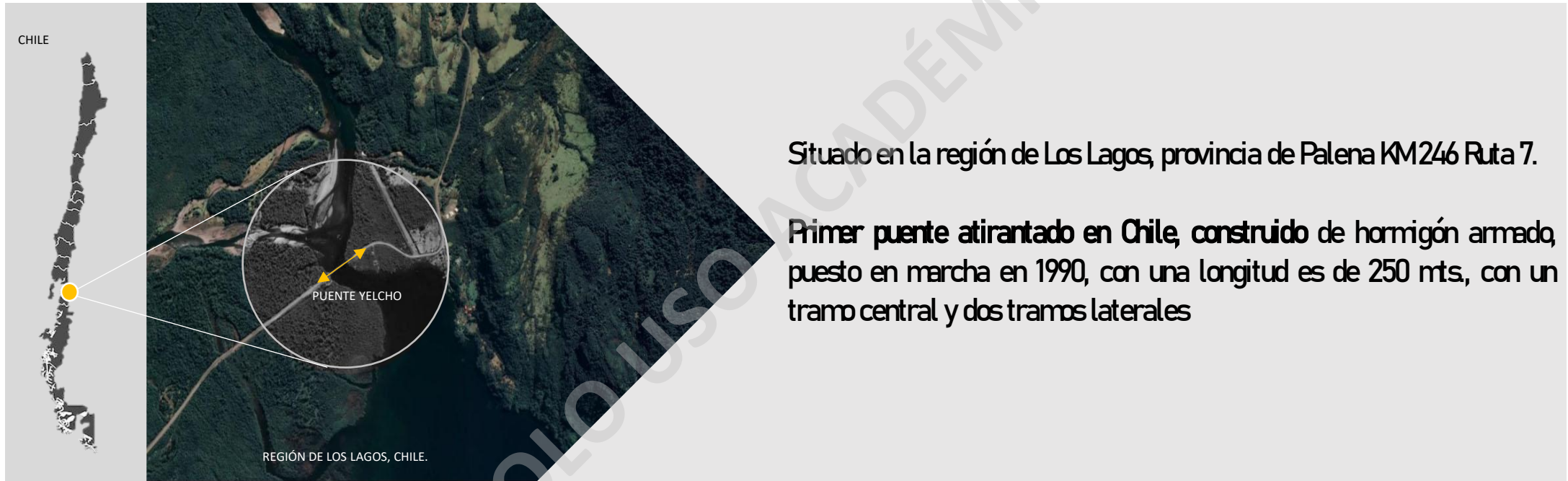
Croquis - Tipificación de daños y localización en la estructura.

Evaluator: _____ Fecha: _____

Fuente: Elaboración propia

CASO DE ESTUDIO
PUENTE YELCHO

LUGAR DE ESTUDIO: PUENTE YELCHO



LUGAR DE ESTUDIO: PUNTE YELCHO



VENTO

GRANZOS Y NEVE

LLUVA

HELO DESHELO



ALTA TEMPERATURA

VENTO

LLUVA



ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS – PUENTE YELCHO

Fuente: Flickr.com Autor: Ishi (2016)

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS – PUENTE YELCHO



Permeabilidad al Aire del Hormigón

La permeabilidad al aire es medida con el equipo Torrent de la marca Proceq, norma Suiza SIA 262/1.

Bomba de vacío con doble cámara (succión) se utiliza con una unidad de comando + Poroso expulsa mas aire
Entre mas profundo (L)- kt negativo malo.

Categoría de la calidad del hormigón

Categoría	Permeabilidad	$kT (10^{-16} m^2)$
Muy Malo	Muy Alta	> 10
Malo	Alta	$1.0 - 10$
Normal	Moderada	$0.1 - 1.0$
Bueno	Baja	$0.01 - 0.1$
Muy Bueno	Muy Baja	< 0.01

Fuente: Manual Durar (2000).

Los datos entregados por el equipo Torrent son el coeficiente de permeabilidad (kT) y la profundidad de penetración (L) del vacío.

Ensayo Permeabilidad Tablero parte inferior Puente Yelcho



Fuente: Archivo Área de Hormigones – LNW (2018).

2

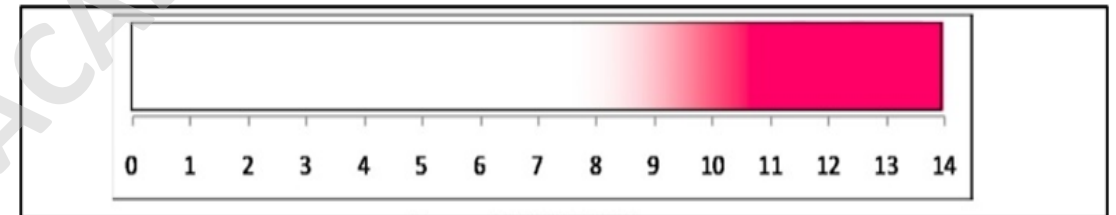
Carbonatación:

La Carbonatación es la reducción de la alcalinidad normal del hormigón por efecto del CO_2 presente en el ambiente que lo rodea. (pH normal del hormigón entre 12 y 14).

Norma ASTM E165.

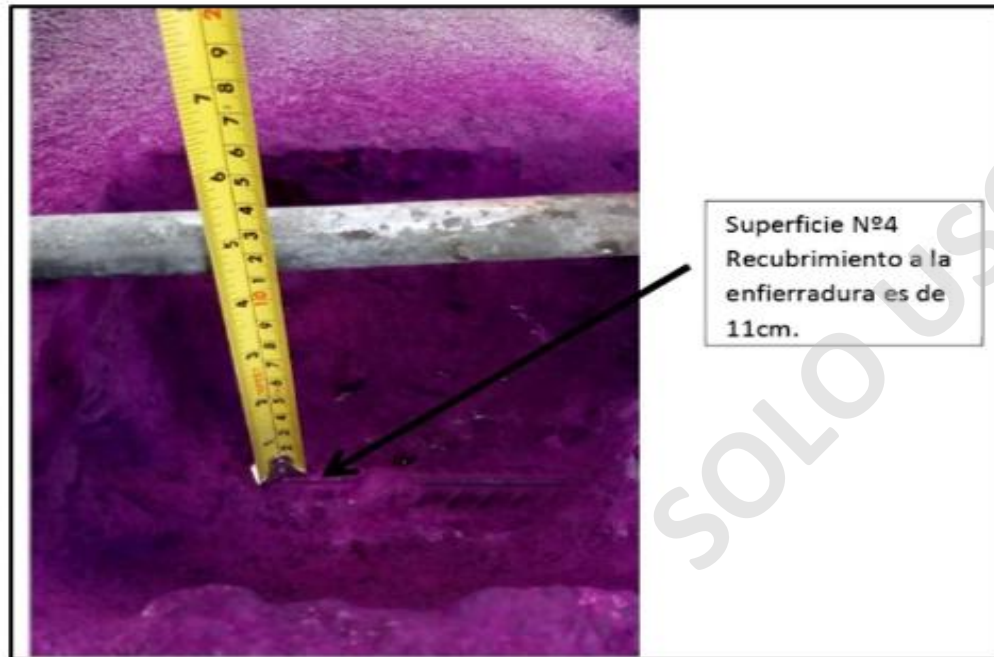
En ambientes húmedos, el CO_2 reacciona con los álcalis (hidróxidos de calcio, sodio y potasio), neutralizándolos y formando carbonatos disminuyendo el pH por debajo de 10, aumentando el riesgo de corrosión de las armaduras.

Escala de pH según color post aplicación de fenolftaleína



Fuente: Manual Durar (2000).

Ensayo de Carbonatación en losa



Fuente: Archivo Área de Hormigones – LNV (2018).

Ensayo Carbonatación Tablero del Puente Yelcho



Fuente: Archivo Área de Hormigones – LNV (2018).

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS – PUENTE YELCHO

3

Potencial de Corrosión

Potencial de corrosión Equipo llamado Carin + de la marca Suiza Proceq - Mapas expresados en mV

- Un campo electrostático para mover una carga positiva desde un puente al otro.

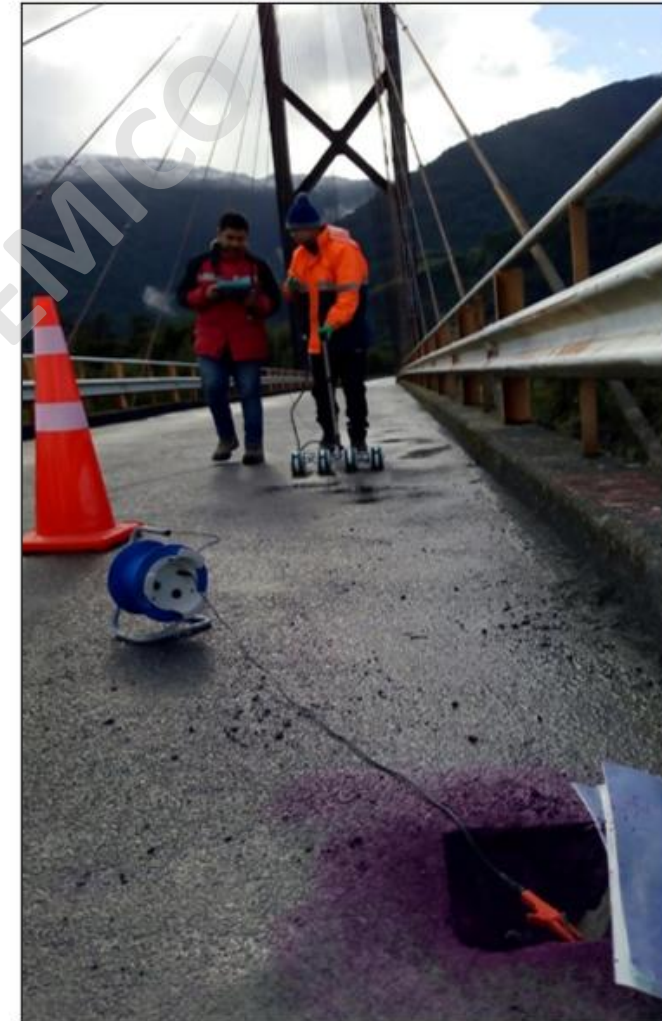
- Electrodo de 4 ruedas, abarca longitud de 25 mts x 0,60 ancho.
- Logra imágenes, estado de corrosión de la superficie de acero dentro del hormigón.
- Los Valores de Potencial mV mas altos, los que representan menos riesgo de corrosión en las armaduras.

Magnitudes típicas para potencial de Corrosión

Característica del Hormigón	Magnitud típica del potencial
Hormigón saturado de agua, sin presencia de O ₂	De -1000 a -900 mV
Hormigón húmedo contaminado con cloruro	De -600 a -400 mV
Hormigón húmedo sin cloruro	De -200 a +100 mV
Hormigón húmedo carbonatado	De -400 a +100 mV
Hormigón seco carbonatado	De 0 a +200 mV
Hormigón seco no carbonatado	De 0 a +200 mV

Fuente: Proceq (2007).

Potencial de Corrosión- Tablero del Puente Yelcho



Fuente: Archivo Área de Hormigones – LNV (2018).

Potencial de Corrosión

Fuente: Equipo Diagnóstico: No presentan corrosión las armaduras (2018).

Fuente: Archivo Área de Hermigones – LNV (2018).

Fuente: Archivo Área de Herminigones – LNW (2018).



Índice Esclerométrico mediante Martillo Schmidt.

Prueba no destructiva de la resistencia del hormigón. Norma ASTM C805

Siendo su valor “R” (índice de rebote).

Proporcionan una estimación de la resistencia a compresión del hormigón basándose en la correlación entre dicha resistencia con su dureza superficial.

Medición de Índice Esclerométrico al tablero de Puente Yelcho.



Fuente: Archivo Área de Hormigones – LNV (2018).

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS – PUENTE YELCHO



Índice Esclerométrico mediante Martillo Schmidt.

Método preliminar, cualitativo de la calidad y homogeneidad del hormigón.

Resultados: Índice Esclerométrico Puente Yelcho

Superficie	Índice Esclerométrico (Promedio 10 mediciones)	Observación
1	58	Promedio superficie Nº 1 = 58 Mpa
2	51	Promedio superficie Nº 2 = 51 Mpa
3	60	Promedio superficie Nº 3 = 60 Mpa
4	63	Promedio superficie Nº 4 = 63 Mpa
5	64	Promedio superficie Nº 5 = 64 Mpa
6	57	Promedio superficie Nº 6 = 57 Mpa
7	43	Promedio superficie Nº 7 = 43 Mpa
8	42	Promedio superficie Nº 8 = 42 Mpa
9	46	Promedio superficie Nº 9 = 46 Mpa
10	63	Promedio superficie Nº 10 = 63 Mpa
11	48	Promedio superficie Nº 11 = 48 Mpa
12	59	Promedio superficie Nº 12 = 59 Mpa
13	59	Promedio superficie Nº 13 = 59 Mpa

Fuente: LNV (2018).

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS - PUENTE YELCHO

5

Resistencia a la penetración mediante Pistola Windsor.

Sonda Windsor marca Norteamericana James Instruments ASTM C803. está diseñado para medir en terreno la resistencia a la compresión del hormigón

Resultado de Resistencia a la Penetración.

Nº	Superficie	Resistencia (Mpa)	Penetración (mm)
1	Superficie - Tablero	23.1 Mpa	44,3 mm
2	Superficie - Tablero	22.8 Mpa	44,1 mm
3	Superficie - Tablero	19.76 Mpa	42,7 mm
4	Superficie - Tablero	26.15 Mpa	45,7 mm

Fuente: LNW (2018).

Sonda impulsa carga explosiva, mide la penetración. La resistencia a la compresión del hormigón



Fuente: Archivo Área de hormigones LNW (2018)

6

Resistividad eléctrica del hormigón

Medida con el equipo Resipod de la marca Suiza Proceq, este equipo es una sonda Wénner y su funcionamiento consiste en aplicar una corriente a las dos sondas de prueba exteriores del equipo, y luego mide la diferencia del potencial entre las dos sondas de prueba interiores.

Mediciones de resistividad al Puente Yelcho.

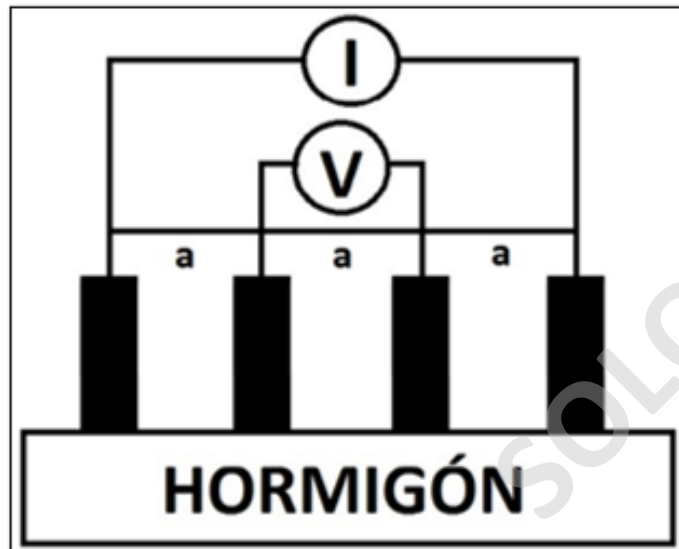


Fuente: Archivo Área de hormigones LNW (2018)



Resistividad eléctrica del hormigón

Funcionamiento Sonda Wenner.



Fuente: Archivo Área de hormigones LNV

Resultados Resistividad Puente Yelcho

Tramo o Sector	Promedio de la medición (kΩcm)	Observaciones
1	291	La resistividad promedio de la superficie nº 1 es 291 kΩcm, según el Manual Durar esto representa Poco Riesgo de Corrosión .
2	392	La resistividad promedio de la superficie nº 2 es 392 kΩcm, según el Manual Durar esto representa Poco Riesgo de Corrosión .
3	128	La resistividad promedio de la superficie nº 3 es 128 kΩcm, según el Manual Durar esto representa Riesgo Moderado de Corrosión .
4	239	La resistividad promedio de la superficie nº 4 es 239 kΩcm, según el Manual Durar esto representa Poco Riesgo de Corrosión .
5	211	La resistividad promedio de la superficie nº 5 es 211 kΩcm, según el Manual Durar esto representa Poco Riesgo de Corrosión .
6	317	La resistividad promedio de la superficie nº 6 es 317 kΩcm, según el Manual Durar esto representa Poco Riesgo de Corrosión .
7	284	La resistividad promedio de la superficie nº 7 es 284 kΩcm, según el Manual Durar esto representa Poco Riesgo de Corrosión .
8	211	La resistividad promedio de la superficie nº 8 es 211 kΩcm, según el Manual Durar esto representa Poco Riesgo de Corrosión .
9	324	La resistividad promedio de la superficie nº 9 es 324 kΩcm, según el Manual Durar esto representa Poco Riesgo de Corrosión .
10	321	La resistividad promedio de la superficie nº 10 es 321 kΩcm, según el Manual Durar esto representa Poco Riesgo de Corrosión .
11	323	La resistividad promedio de la superficie nº 11 es 323 kΩcm, según el Manual Durar esto representa Poco Riesgo de Corrosión .
12	362	La resistividad promedio de la superficie nº 12 es 362 kΩcm, según el Manual Durar esto representa Poco Riesgo de Corrosión .

Fuente: Archivo Área de hormigones LNV



EVALUACIÓN DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS AL HORMIGÓN ARMADO

Fuente: Rickr.com Autor: Ishi (2019)

EVALUACIÓN Y RESULTADOS DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS AL HORMIGÓN ARMADO



1. Permeabilidad del Hormigón

- 50% presentan permeabilidad Baja, categorizando el hormigón como Bueno.
- 50% presenta permeabilidad Moderada, categorizando el hormigón como Normal.
- El Tablero del Puente Yelcho es denso, poco poroso, el Kt de buenas características.

Resumen de resultados de los Ensayos de Permeabilidad al Aire - Tablero

Superficie	Descripción	Penetración Promedio L (mm) Promedio	Coefficiente Permeabilidad kT (10^{-16} m^2) Promedio	Categoría del Hormigón	Permeabilidad
Nº 1	Tablero parte superior O	31	0.230	Normal	Moderada
Nº 2	Tablero parte superior E	35	0.580	Normal	Moderada
Nº 3	Tablero Inferior O.	21	0.068	Bueno	Baja
Nº 4	Tablero Inferior E.	26	0.050	Bueno	Baja

2 Carbonatación del Hormigón

- Se establece categóricamente que ningún elemento medido del puente Yelcho presenta Carbonatación.
- El hormigón en su ambiente altamente alcalino sigue protegiendo la armadura de la estructura del Puente.

Resumen de Resultados de Carbonatación

Superficie	Profundidad de Recubrimiento (cm)	Profundidad de carbonatación (cm)	Profundidad sin carbonatación (cm)	Observaciones
1	6,5 cm	0 cm	6,5 cm	Sin Carbonatación
2	6,5 cm	0 cm	6,5 cm	Sin Carbonatación
3	10,0 cm	0 cm	10,0 cm	Sin Carbonatación
4	11,0 cm	0 cm	11,0 cm	Sin Carbonatación
5	14,5 cm	0 cm	14,5 cm	Sin Carbonatación
6	5,0 cm	0 cm	5,0 cm	Sin Carbonatación
7	8,0 cm	0 cm	8,0 cm	Sin Carbonatación

Fuente: Flickr.com Autor: Miguel A. Beck (2019)

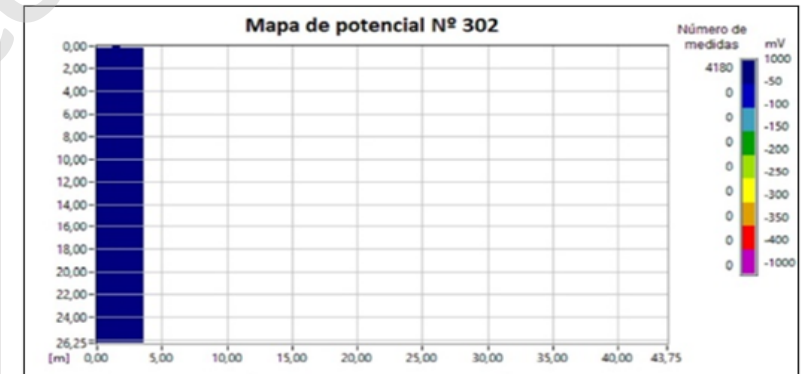
Fuente: LNV (2018).

EVALUACIÓN Y RESULTADOS DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS AL HORMIGÓN ARMADO

3. Potencial de Corrosión del Hormigón:

Se establece categóricamente, mediante mapa de potencial de corrosión obtenidos de los distintos elementos de la estructura, que **no existe corrosión presente en la armadura del puente Yelcho**.

Potencial de Corrosión tablero (punto central)



Fuente: Equipo Diagnóstico. No presentan corrosión las armaduras (2018).

4. Índice Esclerométrico del Hormigón

- Tablero:** La superficie de rodadura se observa un hormigón homogéneo con un índice esclerométrico normal en sus parámetros.

Resultados: Índice Esclerométrico Puente Yelcho

Superficie	Índice Esclerométrico (Promedio 10 mediciones)	Observación
1	58	Promedio superficie N° 1 = 58 Mpa
2	51	Promedio superficie N° 2 = 51 Mpa
3	60	Promedio superficie N° 3 = 60 Mpa
4	63	Promedio superficie N° 4 = 63 Mpa
5	64	Promedio superficie N° 5 = 64 Mpa
6	57	Promedio superficie N° 6 = 57 Mpa
7	43	Promedio superficie N° 7 = 43 Mpa
8	42	Promedio superficie N° 8 = 42 Mpa
9	46	Promedio superficie N° 9 = 46 Mpa
10	63	Promedio superficie N° 10 = 63 Mpa
11	48	Promedio superficie N° 11 = 48 Mpa
12	59	Promedio superficie N° 12 = 59 Mpa
13	59	Promedio superficie N° 13 = 59 Mpa

Fuente: LNV (2018).



Fuente: Rickr.com Autor: Nicolas Franco (2019)

5. Resistencia a la Penetración mediante Pistola Windsor.

Este método no sustituye el método de extracción de testigos y posterior ensaye a compresión, por tanto, este es un indicador, **cualitativo** de la calidad y homogeneidad del hormigón complementándose ambos ensayos (Windsor – esclerométrico).

- La superficie de tablero, se encuentra con un leve deterioro ya que, **expuesta** mayormente a los agentes climáticos, el viento, lluvia granizo y nieve.

Resultado de Resistencia a la Penetración.

Nº	Superficie	Resistencia (Mpa)	Penetración (mm)
1	Superficie - Tablero	23.1 Mpa	44,3 mm
2	Superficie - Tablero	22.8 Mpa	44,1 mm
3	Superficie - Tablero	19.76 Mpa	42,7 mm
4	Superficie - Tablero	26.15 Mpa	45,7 mm

Fuente: LNV (2018).

EVALUACIÓN Y RESULTADOS DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS AL HORMIGÓN ARMADO



Fuente: Flickr.com Autor: Juan Carlos Verdugo (2019)

6. Resistividad Eléctrica del Hormigón

La resistividad eléctrica es un parámetro importante que tiene directa relación con la velocidad de corrosión y el potencial de corrosión.

- En términos generales de las mediciones realizadas presentan valores altos indicando que existe poco riesgo de corrosión.

Resultados Resistividad Puente Yelcho

Tramo o Sector	Promedio de la medición (kΩcm)	Observaciones
1	291	La resistividad promedio de la superficie nº 1 es 291 kΩcm, según el Manual Durar esto representa Poco Riesgo de Corrosión.
2	392	La resistividad promedio de la superficie nº 2 es 392 kΩcm, según el Manual Durar esto representa Poco Riesgo de Corrosión.
3	128	La resistividad promedio de la superficie nº 3 es 128 kΩcm, según el Manual Durar esto representa Riesgo Moderado de Corrosión.
4	239	La resistividad promedio de la superficie nº 4 es 239 kΩcm, según el Manual Durar esto representa Poco Riesgo de Corrosión.
5	211	La resistividad promedio de la superficie nº 5 es 211 kΩcm, según el Manual Durar esto representa Poco Riesgo de Corrosión.
6	317	La resistividad promedio de la superficie nº 6 es 317 kΩcm, según el Manual Durar esto representa Poco Riesgo de Corrosión.
7	284	La resistividad promedio de la superficie nº 7 es 284 kΩcm, según el Manual Durar esto representa Poco Riesgo de Corrosión.
8	211	La resistividad promedio de la superficie nº 8 es 211 kΩcm, según el Manual Durar esto representa Poco Riesgo de Corrosión.
9	324	La resistividad promedio de la superficie nº 9 es 324 kΩcm, según el Manual Durar esto representa Poco Riesgo de Corrosión.
10	321	La resistividad promedio de la superficie nº 10 es 321 kΩcm, según el Manual Durar esto representa Poco Riesgo de Corrosión.
11	323	La resistividad promedio de la superficie nº 11 es 323 kΩcm, según el Manual Durar esto representa Poco Riesgo de Corrosión.
12	362	La resistividad promedio de la superficie nº 12 es 362 kΩcm, según el Manual Durar esto representa Poco Riesgo de Corrosión.

Fuente: LNW (2018).

RESUMEN GENERAL – ANÁLISIS PUENTE YELCHO



Fuente: Flickr.com/Autor: Juan Carlos Verdugo (2019)

Resumen

Resumiendo en base a los ensayos realizados por parte del Área de Hormigones del Laboratorio Nacional de Vialidad, se puede establecer que el estado general del Hormigón armado que fue auscultado en el Puente Yelcho se encuentra en buen estado de conservación, no observándose que ningún elemento de la estructura se encuentra con las armaduras corroídas, y tampoco presentan un riesgo alto de corrosión. Se sugiere tener presente y considerar como primera medida preventiva de conservación realizar evaluaciones y diagnósticos.

Metodología Integral CTK-ConDiag®

Índice de Deterioro – ID (Niveles de Criticidad)

Id	Propiedad	Unidad	ID = Índice de Deterioro			
			1	2	3	4
			BAJO	MEDIO	ALTO	CRÍTICO
Presencia de Grietas						
1	Visual	-	sin indicios	con fisuras	con grietas	atraviesan
2	Ancho	mm	< 0.05	0.05-0.30	0.30-1.0	> 1.0
3	Profundidad	mm	0	< c/2	<= c	> c
Ingreso de Cloruros						
4	Frente de Cloruros	mm	0	< c/2	<= c	> c
5	Cloruros al nivel de refuerzo	% peso hor.	< 0.020	0.020-0.030	0.030-0.040	> 0.040
Proceso de Carbonatación						
6	Nivel de CO ₂ ambiente	mm	< 400	< 500	< 600	> 600
7	Profundidad de Carbonatación	mm	0	< c/2	<= c	> c
8	Velocidad de Carbonatación	(mm/√a)	< 4	< 7	<= 10	> 10
Corrosión del Acero						
9	Visual	-	sin indicios	con manchas	descascaramiento	pérdida sección
10	Diámetro Aceros	mm	> 25	25 - 18	18-12	< 12
11	Resistividad	Ωm	> 200	200-100	100-50	< 50
12	Velocidad de Corrosión	(μm/año)	< 10	10 - 30	30 - 100	> 100
13	Potencial de 1/2 Celda	mV	> -200	-200 -350	-350 -450	< -450
14	Pérdida de masa	%	< 2	2 - 5	5 - 10	> 10
Resistencia del Hormigón						
15	Compresión Martillo Schmidt	MPa	> 45	> 35	> 25	< 20
16	Compresión de Testigos	MPa	> 45	> 35	> 25	< 20
17	Hielo/Deshielo, Contenido de Aire	%	> 6	6 - 4	4 - 2	< 2
Recubrimiento del Hormigón						
18	Visual	-	sin daño	desgaste	pérdida material	desprendimientos
19	Espesor	mm	> 65	60 - 40	40 - 20	< 20
20	Humedad Superficial	%	< 2	2-4	4-6	> 6
21	Permeabilidad al Aire	10 ⁻¹⁸ m ²	< 0.010	0.010-1.0	1-10	> 10

Metodología Integral CTK-ConDiag®

Índice de Exposición Ambiental – IEA (Niveles de Criticidad)

Clase	Fenomeno	Descripción del Ambiente	Nivel
XC1a	Carbonatación	Seco	4
XC1b		Siempre Húmedo	1
XC2		Mojado, a veces seco	2
XC3		Parcialmente húmedo	3
XC4	Cloruros Sales Descongelantes	Variable entre húmedo y seco	3
XD1		Parcialmente húmedo	2
XD2		Mojado, a veces seco	3
XD3	Cloruros Agua de Mar	Variable entre húmedo y seco	4
XS1		Aire salino	2
XS2		Sumergido	3
XS3	Hielo/Deshielo	Variable entre húmedo y seco	4
XF1		Saturación moderada sin sales	1
XF2		Saturación moderada con sales	2
XF3		Saturación alta sin sales	3
XF4		Saturación alta con sales	4
XA1	Ataque Químico	Ataque suave	2
XA2		Ataque moderado	3
XA3		Ataque fuerte	4

Fuente: Metodología Integra CTK-ConDiag, (Ebensperger , CONTRUTECHNIK, 2021).

Metodología Integral CTK-ConDiag®

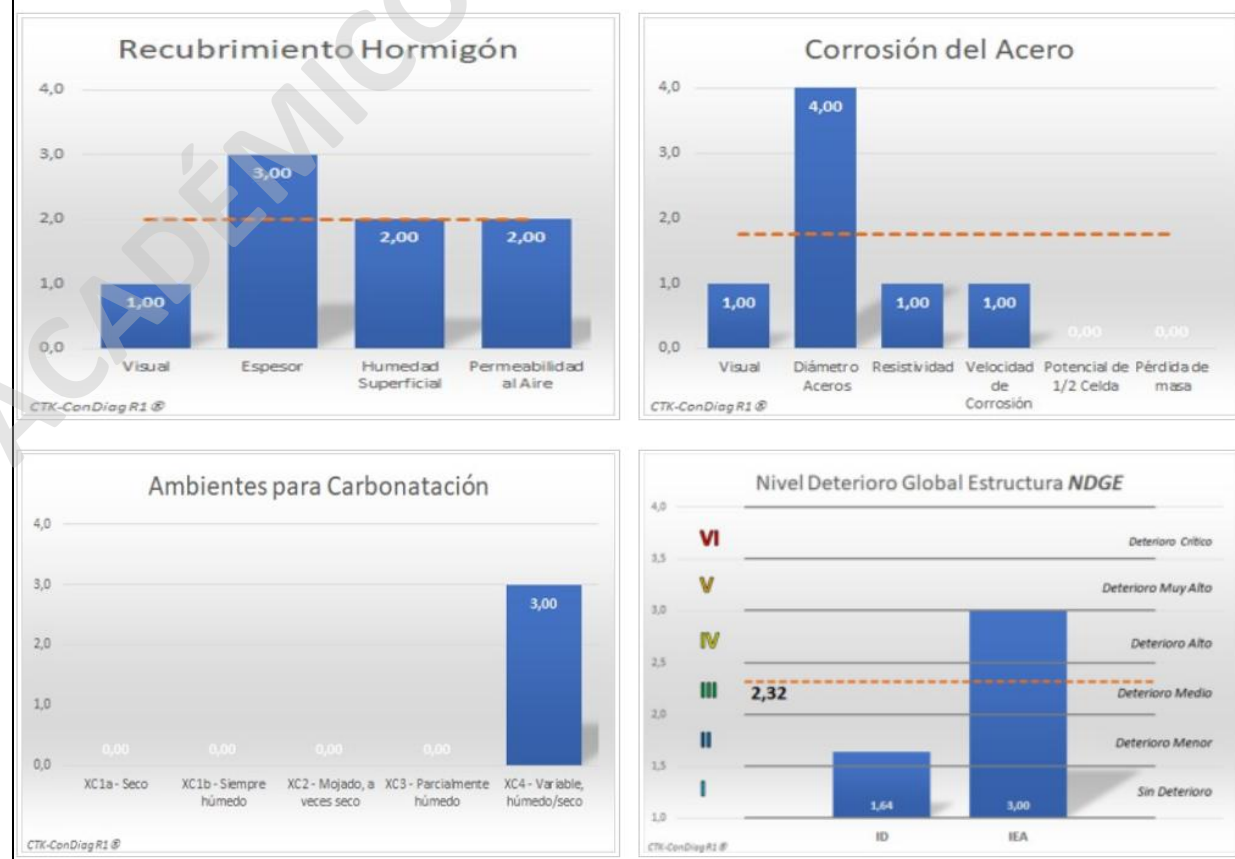
Nivel de Deterioro Global Estructura- NDGE

Nivel de Deterioro	Descripción	NDGE
I	Sin Deterioro	1.00 - 1.50
II	Deterioro Menor	1.50 - 2.00
III	Deterioro Medio	2.00 - 2.50
IV	Deterioro Alto	2.50 - 3.00
V	Deterioro muy Alto	3.00 - 3.50
VI	Deterioro Crítico	3.50 - 4.00

Donde,

$$NDGE = \text{Prom} (ID + IEA)$$

Nivel de Deterioro Global de la Estructura = 2,32



Fuente: Metodología Integral CTK-ConDiag, (Ebensperger, CONTRUTECH-NK, 2021).

COSTOS ACTUALIZADOS DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS REALIZADOS EN EL PUENTE YELCHO.

Costos entregados por la Empresa BDL-Rodney Bellido, 2022

COSTOS DE END EMPRESA DE DIAGNOSTICO DBL	
Ensayos	Monto en UF
Inspección Visual	20,00
Ensayos con Martillos Schmidt - Resistencia	30,00
Permeabilidad al Aire	55,00
Radiografía Estructural - PS1000	25,00
Radiografía Estructural - PS300	20,00
Ensayos Niveles de Corrosión - Icor	20,00
Potencial de Corrosión al Hormigón	30,00
Carbonatación	30,00
Gastos por traslado	20,00

Costos de END en Puente Yelcho

COSTOS DE END EN PUENTE YELCHO	
Evaluación - Ensayo	Monto en UF
Permeabilidad al Aire	55,00
Carbonatación al Hormigón	30,00
Potencial de Corrosión al Hormigón	30,00
Índice Esclerómetro del Hormigón Martillo Schmidt	30,00
Resistencia a la Penetración del Hormigón - Pistola Windsor	30,00
Resistencia Eléctrica del Hormigón	30,00
Total (END)	205,00

Fuente: Elaboración propia

COSTOS Y NUEVAS TECNOLOGÍAS DE ACTUALIZACIÓN DE END RELACIONADAS CON LAS ENSAYADAS EN EL PUENTE YELCHO

Costos Ensayos

COSTOS	
Evaluación - Ensayo	Monto en UF
Permeabilidad al Aire	55,00
Carbonatación al Hormigón	30,00
Potencial de Corrosión al Hormigón	30,00
Índice Esclerometrico del Hormigón Martillo Schmidt	30,00
Resistencia a la Penetración del Hormigón - Pistola windsor	30,00
Resistencia Eléctrica del Hormigón	35,00
ENSAYOS RECOMENDADOS	
Ensayos Niveles de Corrosión - Icor (5 puntos)	20,00
Radiografía Estructural PS1000	25,00

Fuente: Elaboración propia



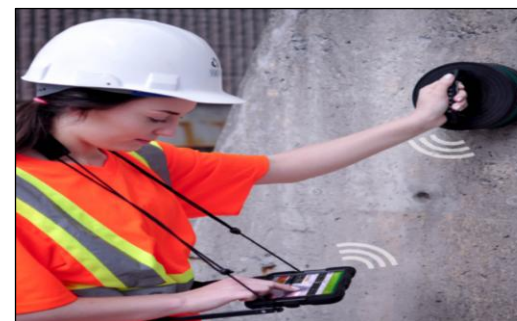
Fuente: Hilti, (2021), Recuperado de <https://www.hilti.cl>

Ejemplo: Cómo sería hoy analizar el puente Yelcho con respecto a los costos con nuevos END

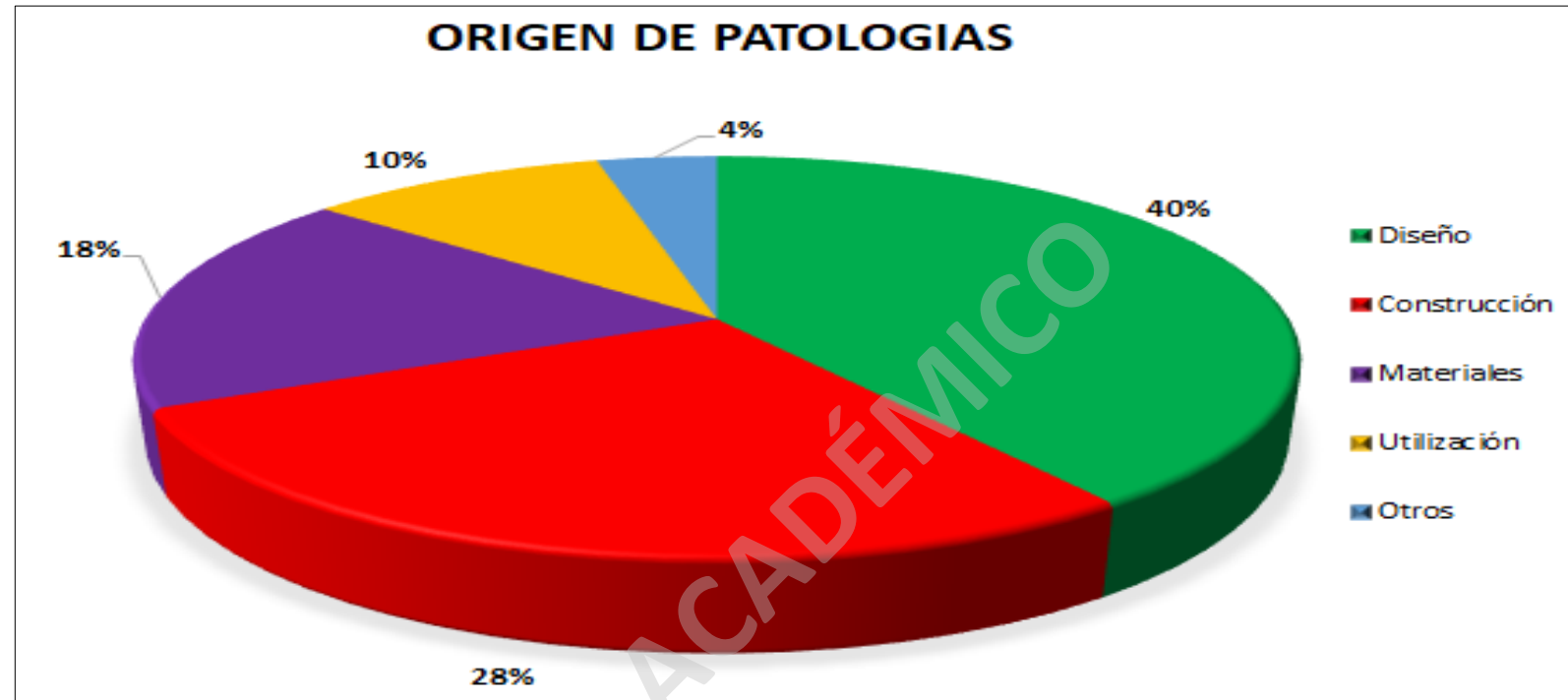
Evaluación de Costos propuestos para el Puente Yelcho

EVALUACION END - COSTOS	
Recomendación de Ensayos	Monto en UF
Permeabilidad al Aire	55,00
Carbonatación al Hormigón	30,00
Índice Esclerometrico del Hormigón Martillo Schmidt	30,00
Ensayos Niveles de Corrosión - Icor (5 puntos)	20,00
* Tasa de corrosión	
* Potencial de Corrosión	
* Resistividad eléctrica	
Radiografía Estructural PS1000	25,00
Total END	160,00
+ I.V.A.	

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Gatec (2021), Recuperado de <https://www.gatecscientific.com>



Fuente: Elene p, Pereira (2007), Recuperado de <https://www.construtechnik.cl>

- **Adecuarse** de las nuevas tecnologías e innovación de materiales y técnicas de construcción.
- **Optimización** de tiempo en mantenimiento de puentes es esencial con los END
- **Menos costes y mas eficiencia de control.**
- Los END en el Puente Yelcho un **ejercicio practico** que demuestra **efectividad y potencialidad** como **método de control.**

- Nos otorgan datos útiles, fiables para los procesos conservación y diagnostico de las estructuras
- Se realiza un mínimo impacto en la obra manteniendo completa su integridad.
- Mondito de replica en los puentes de difícil acceso para facilitar algunas pruebas.
- Los END de una necesidad a una exigencia para el desarrollo, merecen una atención más audaz de las políticas viales.