



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

Proyecto de Título para optar al Título de Constructor Civil

Estudiante:
Catherine Hellen González González

Profesor Guía:
Michael Silva Espinoza

Fecha:
Marzo 2022
Santiago, Chile

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo está dedicado a mi familia, mi pareja y todos quienes participaron de alguna u otra forma en este proceso. Agradezco a mi profesor Michael Silva por guiarme en el desarrollo de mi proyecto de título, también agradezco a la Universidad Mayor, por acogerme en este programa de continuidad de estudios y especialmente a mi abuela fallecida que me ha dado la fuerza espiritual para este gran camino.

SOLO USO ACADÉMICO

RESUMEN

La unidad de una obra estructural de ingeniería civil como lo es la de un puente está supeditada a como los materiales le dan forma en su adición sean como; ensamblaje, encaje, conexión y mezclas, este proceso de solapamiento continuo fuerza al todo a emerger como producto terminado dispuesto para su uso natural y extensivo, dejando en lo oculto sus partes integradas que sufren un deterioro fuera del control aparente.

Ha sido de mi interés de investigación indagar como tener información certera de esas zonas ocultas haciendo objeto de esta tesis los Ensayos No Destructivos, avocándome en describir su origen, naturaleza, tipologías y aplicaciones, y especialmente referirme en extenso a su manejo práctico, mediante una relación pormenorizada de una serie de ensayos no destructivos realizados a Superestructura – (Tablero) del Puente Yelcho.

El proceso de manejo de información en esta tesis deviene en un esquema inductivo de procesamiento lógico de exposición, ubicando en primer término los END en la geografía de los procesos constructivos, luego sigue una descripción general pero conducente de la tecnología básica aplicada, para luego informar en extenso de la conceptualización, características, tipologías y usos de estos, finalizando con una extensa y descriptiva relación de ensayos de campo.

Esta tesis se avoca en su desarrollo en servir como una herramienta de conexión entre el conocimiento de los Ensayos No Destructivos como métodos en abstracto y una aplicación material de ellos, conyugando teoría con aplicación práctica, posibilitando entender el cómo los procesos tecnológicos científicos tienen un efecto significativo en los proyectos industriales de edificación, en especial en puentes.

Palabras Claves: Ensayos No Destructivo, Puentes, Hormigón, Tablero, Discontinuidad, Estructura, Fallas, Auscultación.

SUMMARY

The unity of a civil engineering structural work such as a bridge is subject to how the materials shape it in their addition, be it assembly, fitting, connection and mixing, this process of continuous overlapping forces the whole to emerge as a finished product ready for its natural and extensive use, leaving its integrated parts hidden and suffering deterioration out of apparent control.

It has been of my research interest to investigate how to have accurate information of these hidden areas, making Non Destructive Testing the object of this thesis, focusing on describing its origin, nature, typologies and applications, and especially to refer extensively to its practical handling, through a detailed account of a series of non-destructive tests performed to the Superstructure - (Deck) of the Yelcho Bridge.

The process of information management in this thesis becomes an inductive scheme of logical processing of exposure, first locating the NDT in the geography of the construction processes, then follows a general but conducive description of the basic technology applied, to then report extensively on the conceptualization, characteristics, typologies and uses of these, ending with an extensive and descriptive list of field tests.

This thesis is focused in its development to serve as a connecting tool between the knowledge of Non Destructive Testing as abstract methods and a material application of them, combining theory with practical application, making it possible to understand how scientific technological processes have a significant effect on industrial building projects, especially in bridges.

Keywords: Non Destructive Testing, Bridges, Concrete, Deck, Discontinuity, Structure, Faults, Auscultation.

INDICE:	
INTRODUCCIÓN.....	8
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
OBJETIVO GENERAL	11
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
CAPITULO I: REFERENCIA TEMÁTICA	12
1.1 La inspección en obras de ingeniería en construcción.....	12
1.2 Inspección técnica de obras.....	13
1.3 Los ensayos.	13
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	14
2.1 Ensayos no destructivos su historia.....	14
2.1.1 Metodología de aproximación.....	15
2.1.2 Método de Exposición.....	15
2.1.3 Método de Vertido y Exudación.	16
2.1.4 Método Electromagnético.....	17
2.1.5 Método de ondas ultrasonidos.....	18
CAPITULO III: METODOS DE INSPECCIÓN.....	19
3.1 Concepto de END.....	19
3.2 Clasificación de los métodos de END.	20
3.3 Descripción END convencionales.....	22
3.3.1 Inspección Visual (EV).	22
3.3.2 Líquidos y Partículas Penetrantes (LP).	23
3.3.3 Partículas Magnéticas (PM).....	24
3.3.4 Ultrasonido (US).....	25
3.3.5 Radiografía Industrial (RI).	26
3.3.6 Método de Corriente Inducida (CI).....	26
3.4 Etapas básicas de la inspección en END.	27
3.5 Características generales sobre la metodología de aplicación END.....	28
3.6 Criterios para la aplicación entre los diferentes tipos de END.....	29
3.6.1 Oportunidad.	29
3.6.2 Adecuación.....	29
3.6.3 Oferta tecnológica.	30
3.6.4 Valores.....	30

3.6.5 Selección por naturaleza.....	30
3.7 Aplicación END en obras la construcción.....	34
3.8 END en puentes.	35
3.9 Ensayos más habituales para estructuras de puentes.	36
3.9.1 Descripciones Instrumentales Especificas.	37
3.9.2 Tabla de aplicación de ensayos de los END en Puentes.....	48
3.10 Deterioros.....	51
CAPITULO IV: ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS EN EL PUENTE YELCHO..	53
4.1 Descripción del puente Yelcho	53
4.2 Características de Estructura.	55
4.3 Desarrollo de las mediciones no destructivas al hormigón armando del Puente Yelcho.	56
4.4 Los ensayos realizados a la estructura del puente Yelcho fueron los siguientes:.....	57
4.5 Evaluación.....	80
4.6 Resumen y Recomendación.....	82
4.7 Nuevas tecnologías de actualización de END relacionadas con las ensayadas en su tiempo en el puente Yelcho.....	83
4.8 Costos actualizados de los ensayos no destructivos realizados en al Puente Yelcho.....	84
ANALISIS Y DISCUSIÓN.....	87
CONCLUSIONES.....	88
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	90
ANEXOS	93

ÍNDICE DE IMÁGENES

<u>Imagen N° 1:Formulario de Inspección</u>	32
<u>Imagen N° 2: Formulario de Inspección</u>	33
<u>Imagen N° 3: Formulario de Inspección</u>	34
<u>Imagen N° 4: Equipo FerroScan PS200</u>	37
<u>Imagen N° 5: Equipo FerroScan PS200</u>	38
<u>Imagen N° 6: Equipo FerroScan PS200</u>	38
<u>Imagen N° 7: Equipo FerroScan PS1000</u>	39
<u>Imagen N° 8: Equipo FerroScan PS1000</u>	39
<u>Imagen N° 9: Equipo FerroScan PS1000</u>	40
<u>Imagen N° 10: Equipo Martillo Schmidt</u>	40
<u>Imagen N° 11: Equipo Martillo Schmidt</u>	41
<u>Imagen N° 12: Equipo Giatec Icor</u>	42
<u>Imagen N° 13: Equipo Giatec Icor</u>	42
<u>Imagen N° 14: Proceso Carbonatación</u>	43
<u>Imagen N° 15: Equipo Ultrasonico</u>	43
<u>Imagen N° 16: Grieta Hormigón</u>	44
<u>Imagen N° 17: Equipo AZ7755</u>	44
<u>Imagen N° 18: Equipo TRAMEX</u>	45
<u>Imagen N° 19: Equipo Medición de Espesor</u>	45
<u>Imagen N° 20: Proceso Maquina PermeaTORR</u>	46
<u>Imagen N° 21: Equipo PermeaTORR</u>	47
<u>Imagen N° 22: Equipo PermeaTORR</u>	47
<u>Imagen N° 23: Equipo Pull Off</u>	48
<u>Imagen N° 24: Puente Yelch, Ruta 7, Región de los Lagos</u>	55
<u>Imagen N° 25: Vista general diseño puente Yelcho</u>	56
<u>Imagen N° 26: Vista sección transversal de la losa</u>	56
<u>Imagen N° 27: Detección de enfierraduras con Geo Radar</u>	57
<u>Imagen N° 28: Ensayo Permeabilidad Tablero parte inferior Puente Yelcho</u>	58
<u>Imagen N° 29: Ensayo de Permeabilidad</u>	60
<u>Imagen N° 30: Escala de pH según color post aplicación de fenolftaleína</u>	61
<u>Imagen N° 31: Ensayo de Carbonatación en losa</u>	61
<u>Imagen N° 32: Ensayo Carbonatación Tablero del Puente Yelcho</u>	63
<u>Imagen N° 33: Ensayo de Carbonatación Sector Sur</u>	63
<u>Imagen N° 34: Perforaciones al Tablero del Puente Yelcho</u>	64
<u>Imagen N° 35: Potencial de Corrosión en tablero del Puente Yelcho</u>	66
<u>Imagen N° 36: Potencial de Corrosión en cepa sur</u>	67
<u>Imagen N° 37: Potencial de Corrosión tablero (punto central)</u>	68
<u>Imagen N° 38: Potencial corrosión tablero (punto central sur)</u>	68
<u>Imagen N° 39: Potencial de corrosión tablero, (punto sur 28m hacia el sur)</u>	69
<u>Imagen N° 40: Potencial de Corrosión tablero, (desde punto sur 25m hacia el norte)</u> ..	69
<u>Imagen N° 41: Potencial de corrosión tablero, (desde punto norte 26m hacia el sur)</u>	70
<u>Imagen N° 42: Potencial de corrosión tablero, (desde punto 25m hacia el norte)</u>	70
<u>Imagen N° 43: Potencial de corrosión torre norte, (cara noroeste)</u>	71

<u>Imagen N° 44: Potencial de Corrosión cepa norte, (cara noroeste expuesta la lago).</u>	71
<u>Imagen N° 45: Potencial de Corrosión torre sur, (cara sureste expuesta al lago).</u>	72
<u>Imagen N° 46: Potencial de Corrosión torre sur, (cara expuesta al rio).</u>	72
<u>Imagen N° 47: Potencial de Corrosión torre norte, (cara noroeste expuesta al rio).</u>	73
<u>Imagen N° 48: Ejecución de la reparación a perforación realizada al tablero del Puente.</u>	73
<u>Imagen N° 49: Martillo Schmidt Proceq.</u>	74
<u>Imagen N° 50: Medición de Índice Esclerométrico al tablero de Puente Yelcho.</u>	74
<u>Imagen N° 51: Medición de resistencia a la Penetración Torre sur Puente Yelcho.</u>	77
<u>Imagen N° 52: Funcionamiento Sonda Wenner.</u>	77
<u>Imagen N° 53: Mediciones de resistividad al Puente Yelcho.</u>	79

ÍNDICE DE TABLAS

<u>Tabla N° 2: Metodología Integral de deterioro</u>	49
<u>Tabla N° 3: Metodología Integral Exposición Ambiental</u>	50
<u>Tabla N° 4: Metodología Integral Nivel de deterioro Global Estructura</u>	51
<u>Tabla N° 5: Origen de Patología- Deterioro</u>	52
<u>Tabla N° 6: Acciones agresiva sobre el hormigón- deterioro</u>	53
<u>Tabla N° 7: Categoría de la calidad del hormigón</u>	58
<u>Tabla N° 8: Resumen de los resultados de los ensayos de Permeabilidad del Aire</u>	59
<u>Tabla N° 9: Resumen de resultados Carbonatación</u>	62
<u>Tabla N° 10: Magnitudes típicas para potencial de Corrosión</u>	65
<u>Tabla N° 11: Escala de colores- Potencial de Corrosión</u>	67
<u>Tabla N° 12: Resultados índice Esclerométrico Puente Yelcho</u>	75
<u>Tabla N° 13: Resultados a la Penetración Puente Yelcho</u>	76
<u>Tabla N° 14: Resultados Resistividad Puente Yelcho</u>	79
<u>Tabla N° 15: Costos de END en Puente Yelcho</u>	84
<u>Tabla N° 16: Costos entregados por la Empresa BDL-Rodney Bellido, 2022</u>	85
<u>Tabla N° 17: Costos Ensayos</u>	85
<u>Tabla N° 18: Evaluación de Costos propuestos para el Puente Yelcho</u>	86

INTRODUCCIÓN

De la diversidad de obras que se construyen en Chile la geografía del país impone que sean los puentes proyectos fundamentales, porque de Norte a Sur se traza un solo y largo camino fraccionado por quebradas, ríos, esteros y canales, cuyos caudales descienden de los Andes al Océano Pacífico, tal configuración segmentada de nuestro territorio exige para darle unidad que se le dote de conexión artificial.

Cruzando el territorio nacional en su extensión se cuentan aproximadamente 12 mil estructuras viales, de las cuales 7.250 de ellas corresponden solo a puentes, en su mayoría bajo el control y supervigilancia del Ministerio de Obras Públicas del País (MOP , 2020).

Para tal objetivo nacional los proyectos de ingeniería de puentes devienen en una obra real y operativa asentada en algún lugar del país, está por fuerza será sometida a tensión en su integridad interna y superficial, sea por el intensivo uso civil que se le dé, sea por el impacto de la variación meteorológica o por sucesos de geodinámica que afecten la topografía de su emplazamiento. Atendiendo a esto resulta fundamental incorporar una metodología de control eficaz y oportuna tendiente a conocer el real estado de las estructuras, dada su gran importancia.

Para tal efecto se utilizan distintas formas de exploración e identificación de anomalías y desgastes, siendo la inspección visual el método tradicional de diagnóstico en los puentes, sin embargo, este presenta ciertos inconvenientes en su efectividad, al ser la experiencia de quien lo realiza determinante para su certeza, proporcionando datos relativizados por la subjetividad del inspector encargado, supone también este método limitaciones en la real captación de los niveles de degradación en la materia por las limitaciones físicas de los sentidos que se utilizan para las observaciones, además hay que tener en cuenta el efecto distorsionador en los resultados de las inspecciones cuando estas son a gran escala, porque implican jornadas extenuantes y repetitivas para el profesional que las realiza.

En afán de subsanar las limitaciones e inconvenientes de la inspección visual se han desarrollado con los avances de la ciencia, técnicas de exploración distintas para la evaluación estructural en las obras de construcción, estas adoptan la nomenclatura de ensayos no destructivos (END) que se tratan de pruebas practicadas a un material sin alterarlo de forma permanente en sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales. Estos métodos se basan en la aplicación de fenómenos físicos tales como ondas electromagnéticas, acústicas, elásticas, emisión de partículas subatómicas, capilaridad, absorción u otros capaces de proveer de información certera acerca de su estado sin que esto implique un daño considerable a la muestra examinada, basando sus resultados en análisis científicos.

Es en este ámbito del conocimiento que se enfoca esta tesis, tratando acerca en específico de ensayos no destructivos (END) en estructuras de tablero de puente, que se realizan al hormigón que los sostienen. Entendiendo estos como progresos tecnológicos, aun no estudiados en su sistematización y que requieren de un tratamiento que revele su impacto positivo en las necesidades y desafíos de la construcción moderna.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Al desarrollar un proyecto de ingeniería en construcción se tiene siempre como preocupación permanente el poder controlar la variedad de factores que determinan el éxito de la obra.

Sabemos que, respecto de algunos, el grado de verificación está supeditado a los límites de la materia y como esta se transforma al ser sometida a la industrialización constructiva, más aún la naturaleza estructural de una obra implica que esta expone una superficie de utilidad reconocible, pero esconde a la visibilidad inspectora el interior que la sustenta.

Acceder a tener mediciones fiables de estos factores en apariencia ocultos son fundamentales, porque mediante su adecuado conocimiento y validación es posible obtener datos que informen como se va consolidando la estructura a medida que la obra va construyéndose.

Para tal efecto la ingeniería constructiva ha debido dotarse de una serie de herramientas capaces de recabar tales datos mediante la realización de pruebas sobre los objetos producto de las obras, estas son metodológicamente denominadas ensayos que auscultan la materia a fin en develar sus propiedades.

Siendo que la materia se integra en uniones o mezclas en los objetos sometidos a un ensayo en el ámbito constructivo, cuales deben soportar la estructura fundacional como funcional, se requiere entonces de un análisis capaz en determinar la magnitud de las alteraciones moleculares producto de la reintegración, así como su aptitud de servicio, utilidad y durabilidad, esto exige que los ensayos sean pruebas aptas en someter a la materia a una carga de tensión en su integridad, limitada pero representativa.

La ciencia de investigación industrial ha proveído a la ingeniería en construcción de variados tipos de ensayos, agrupándose estos en relación al grado de afectación que sufre la materia al realizarlos, unos denominados Ensayos Destructivos (en adelante ED) que consisten en pruebas practicadas a un objeto que alteran de forma generalmente permanente e irreversible sus propiedades y otros denominados Ensayos No Destructivos (en adelante END) que indican pruebas practicadas a un objeto, pero con la particularidad de no alterarlo, dañarlo o destruirlo.

La pertinencia de los ensayos a realizar en una obra de ingeniería constructiva estará determinada en relación a su viabilidad y utilidad, pero también por su disponibilidad y acceso. Sin embargo, la selección del ensayo también está supeditado a otro factor muy relevante, cual es el nivel de innovación tecnológica que estos ofrecen, entendiendo por tal, como el proceso de búsqueda, reconocimiento, e implementación de una nueva tecnología para mejorar la eficiencia de las funciones de una determinada empresa. (Blough, 1983). En el área de la construcción y de los END a disposición la innovación representa un valor distintivo a estos, ser precisamente vanguardia en este sentido.

En toda época lo que implica innovación va aparejado de un periodo en el cual existe reticencia o desconocimiento para su uso, se requiere entonces que existan fuentes de información que den cuenta de su efectividad y potencialidad en el cambio, es en este sentido esta tesis se avocara en presentar a su consideración en evaluación y en su mérito como documento en servicio de la investigación, una descripción temática acerca de los END, con énfasis en los tipos de ensayos que la industria de la construcción comienza a incorporar con éxito, y con especial atención daré cuenta de aquellos cuyo objeto de prueba fueron las bases estructurales de hormigón armado en el puente Yelcho.

Este puente ubicado en la desembocadura del lago del mismo nombre en la provincia de Palena, Región de Los Lagos, que como obra se integra al Camino Longitudinal Austral, es un hito en la construcción civil de este tipo al ser el primero atirantado, además de también de ser el primer puente en usar el método constructivo de voladizos sucesivos. El cual fue sometido en su estructura a una serie de END con elevado desarrollo tecnológico y altos estándares de aplicación, que en su descripción y análisis nos permite dar mejor comprensión práctica y conveniencia a este tipo de ensayos.

OBJETIVO GENERAL

Analizar los métodos de Ensayos No Destructivos para reconocer el estado real de la estructura del puente Yelcho, específicamente enfocado en su plataforma (tablero), como herramienta válida de medición, rapidez y eficacia de los ensayos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Catastrar las diferentes técnicas de los Ensayos No Destructivos.
2. Establecer los criterios de decisión para aplicación de los Ensayos no Destructivos en estructura de puentes.
3. Aplicación de los Ensayos No Destructivos al caso de estudio en el puente Yelcho.
4. Evaluar los resultados de los Ensayos no Destructivos del puente Yelcho.
5. Cuantificar la vida útil en base a los Ensayos No Destructivos a base de los resultados.
6. Comparar costos de los Ensayos no destructivos que se utilizaron en el Puente Yelcho.

CAPITULO I: REFERENCIA TEMATICA

1.1 La inspección en obras de ingeniería en construcción.

La suficiencia de una acción estará relativizada por su pertinencia y efectividad, es decir, cuando gestionamos una actividad dirigida lo hacemos contando con que esta sea la adecuada para producir el efecto deseado, así entonces al proyectar una obra de naturaleza constructiva debemos considerar que para su materialización habrá que diseñar un proceso apto para conducir las diferentes acciones tendientes a la concreción final del objetivo.

Este proceso de planificación asigna funciones y distribuye recursos de forma tal que se advierta una conducción general suficiente en extensión y flexibilidad de gestión. Hay que considerar que esta disposición anticipada de actividad, si bien es general no hay que descuidar la especificidad de los objetivos intermedios que en nuestro ámbito es el constructivo, por tanto, el plan procedimental se diseña atendiendo a la dinámica del área productiva y como esta progresa operativamente hasta su resultado final. (Pastor, 2011).

Una obra de construcción modifica el espacio y trasciende al tiempo de tal manera que los procesos han de diseñarse atendiendo a la complejidad del proyecto, su magnitud y tiempo aproximado de ejecución, una adecuada lectura de estos factores previene la ralentización de las secuencias entre etapas y posibles bloqueos de acción por inconexión programática.

Dispuesta la estructura base de organización, la obra será un transcurrir continuo de construcción sucediéndose por etapas progresivas de avance dirigido, lo cual requiere que exista para su continuidad un control de cumplimiento programático, esto no solo se refiere a una consonancia entre lo supuesto en el plan previo con lo formalmente aparente, porque lo que importa para efectos constructivos en obras de ingeniería es la calificación técnica de lo realizado, para ello entonces deberá existir una certificación de suficiencia de lo materialmente obrado.

Esta evaluación programática de control exige identificar que se analiza y como, con tal propósito habrá que distinguir entre aquello que requiere una constatación simple de existencia y lo que deba ser objeto de un estudio minucioso y planificado, tanto para certificar el cumplimiento de la metodología constructiva prevista como también si la integridad material de los objetos resultantes cumple con los requisitos mínimos de calidad de la industria. (Santelices, Herrera, & Muñoz, 2019).

1.2 Inspección técnica de obras.

El requisito de control como reseñamos importa más que una formalidad, se trata de un análisis objetivo que basa sus resultados en la información obtenida mediante técnicas de inspección de obras.

Esta labor de inspección técnica de obras supone tres ejercicios básicos distintos; uno de contacto, que consiste en disponerse frente al objeto de análisis mediante algún método de aproximación ya sea directo de; observación, manipulación y auscultación o indirecto de apreciación a través de un objeto distinto, otro de interpretación de los datos que arrojen tales maniobras de inspección y un tercero de significación del resultado obtenido en relación a ciertos parámetros previos de usabilidad, consistencia y calidad (Ministerio de Vivienda , 2007).

Tales acciones inspectoras de control en las obras de construcción en su especialización han derivado en procesos metodológicos inductivos y analíticos científicos bajo formas ensayales técnicas, estas formas importan en cuanto aseguran una secuencia lógica básica procedimental.

1.3 Los ensayos.

Un ensayo como prueba de análisis consiste en someter al objeto a una exploración intensiva que permita advertir sus características esenciales y primordiales, tanto en su forma, integridad superficial, cohesión interna, elasticidad, tensión dinámica, formulación química activa y reactiva, para ello el examen debe realizarse bajo estrictos protocolos de realización que aseguren la certeza de los resultados que se obtengan, además de orientar una secuencia predeterminada de realización que funcione como factor diferenciador en los datos obtenidos respecto de mediciones que no se ajusten a la secuencia del ensayo.

Así cada etapa del procedimiento ensayar debe ajustarse a guías de acción previstas con anterioridad, cuyo diseño estará condicionado tanto por el tipo de ensayo y los materiales a examinar, esta secuencia predeterminada propia del método científico aplicado (Chaverri Quirós & Conejo Solis , 2017) asegura la objetividad, verificabilidad, fiabilidad, abstracción, contrastación, de los datos en el resultado obtenido.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Ensayos no destructivos su historia.

Indagar acerca de un tema aplica como la necesidad primaria de toda investigación en el entendido que antes de poder explicar determinada realidad es fundamental ir comprendiéndola.

La tesis a la cual me avoco en el contenido de estas páginas tiene a los END, (que en este punto hemos perfilado sucintamente) como elemento esencial, es por lo cual, que hare un ejercicio de aproximación sistemática hasta concretar conceptualmente.

Utilizar un objeto implica destinarlo a cierto uso, si bien hay infinidad de usos específicos posibles para los objetos dependiendo de sus particularidades, podemos sintetizarlos (en relación a la materia de esta tesis) en aquellos de tipo industrial general como son de:

- a- Preensión, entendiendo aquella utilidad que permite la sujeción superficial de un cuerpo o materia, con la finalidad de asirle sea para inmovilizarle o trasladarle.
- b- Fuerza, como la acción de uso ejercida en un cuerpo o materia capaz de producir cambios en su movimiento o estructura mediante un contacto de intensidad suficiente para afectar su inercia o integridad.
- c- Energía, como el uso de la capacidad de los cuerpos para realizar un trabajo y producir cambios en ellos mismos o en otros cuerpos
- d- Refracción y reflexión como la utilidad que permite ante el contacto superficial con ondas, el objeto permite en el caso de la refracción admitir que ingresen en un ángulo distinto, y rechazarlas en ángulo contrario en la reflexión.
- e- Deflexión, como la utilidad estructural de un objeto que se desplaza bajo la aplicación de una fuerza o carga.
- f- Extensión, como el uso de permitir alcanzar un objeto del cual nos separa una distancia sin desplazarse. (Canet, 2012)

La usabilidad de los objetos no solo implica contacto material que disponga la utilidad, si no también hay que considerar el tiempo, la intensidad y el tipo de contacto.

La exposición del objeto al contacto funcional le causa un deterioro superficial, interno o estructural, que en determinado punto provoca que su integridad se vea afectada, hasta un punto de inutilidad. La detección de estas anomalías sea de origen o de uso permiten mantener la secuencia operativa de la actividad relacionada al objeto, para tal efecto el desarrollo científico técnico industrial se planteó la necesidad de encontrar una forma de advertir preventivamente el deterioro del objeto mediante una auscultación informativa confiable de su condición. (Canet, 2012).

2.1.1 Metodología de aproximación.

La concreción de una idea como realización practica en operatividad y aplicación requiere de un proceso en desarrollo que integre los avances del conocimiento relacionado con las necesidades del área a que está dirigida, este proceso tradicionalmente se expresa con un relato de historicidad que cuenta lo que va sucediendo, sin embargo los antecedentes de referencia acerca de materias vinculadas a la tecnología muchas veces están determinados por impulsos que no obedecen necesariamente a una secuencia cronológicamente identificable, por tanto la aproximación descriptiva a los END tendrá como puntos de referencia descubrimientos significativos e inventos relacionados con su correspondiente aplicación práctica concreta . (Fernández Collado & Baptista Lucio , 2014)

Para efectos de mejor introducir la idea general de los END y su historia tomare en consideración el hecho de que los ensayos como acción presuponen la necesidad de someter a un objeto a un análisis. La cualidad de los END es que el objeto no sufra afectación en su integridad, por tanto, lo que importa es la manera de recabar información de este sin que suponga algún contacto destructivo de fractura, corrosión o pulverización. Para ello debemos informar como la ciencia encontró la forma de hacerlo, lo haremos tomando aquellas investigaciones pioneras que utilizaron métodos de mínimo contacto superficial con el objeto mediante técnicas de exposición, de vertido, magnéticas o de ondas.

2.1.2 Método de Exposición.

Puede considerarse como antecedente primigenio en materia de exposición las investigaciones de Williams Crookes científico ingles que a finales del siglo XIX experimentó con tubos al vacío y electrodos generando corrientes de alto voltaje que denomino rayos catódicos. Precisamente mientras estudiaba el poder de penetración de estos Wilhelm Conrad Röntgen físico alemán, observo que ante la exposición de estos rayos encendiendo el tubo que previamente había cubierto con una camisa de cartón fina de color negro, una placa cubierta de partículas de platino-cianuro de bario emitía una fluorescencia, que desaparecía desconectando el tubo, lo que le condujo a comprender que estos rayos a los que llamo “rayos x” atravesaban el cartón , en lo siguiente utilizo como cubierta otros materiales como madera, tela, aluminio, etc., descubriendo que los atravesaba igualmente, excepto cuando utilizo ante los rayos una cubierta de plomo. (Fresquet & Valecia).

Durante sus experimentos, entre otras cosas constato que placas fotográficas guardadas en su laboratorio se velaron, en un afán científico trajo otras y las protegió en una caja, ante la exposición de los rayos x luego de ser reveladas tales placas mostraban nítidamente partes reconocibles de la caja como su cerradura o bisagras, base a lo anterior expuso diversos objetos ante los rayos frente a placas fotográficas hasta que llego a un experimento clave, una mano (específicamente la de su esposa) fue expuesta antes los rayos x rodeada de un aro de plomo ante una placa fotosensible que al revelarse imprimió

la imagen de sus huesos , y así fue como nació la primera radiografía (Fresquet & Valecia) (Lindell, 2012).

Este descubrimiento replicado en los laboratorios científicos permitió progresivamente el desarrollo de equipos radiográficos con usos diversos de inspección no invasiva, derivando por cierto al ámbito industrial con la introducción de equipos de radiografía industrial con mayor intensidad de radiación posibilitando la inspección de partes mayores en la construcción de obras de infraestructura. (Chaverri Quirós & Conejo Solis , 2017)

2.1.3 Método de Vertido y Exudación.

También hacia finales del siglo XIX tiene desarrollo practico un método no invasivo de vertido de inspección que son antecedente tecnológico de los actuales END de líquidos penetrantes. Este vio surgimiento con la necesidad de asegurar la calidad en los ejes de las ruedas del ferrocarril que como medio de transporte estaba en pujante expansión. Ante la ocurrencia de fallos muchas veces catastróficos en los ejes al fracturarse en su uso, aun cuando estos previamente analizados no parecían presentar defectos evidentes, motivo la investigación en el campo de las fatigas por tensión.

Los primeros estudios sistemáticos sobre el fenómeno de la fractura por fatiga se deben a August Wöhler, ingeniero de ferrocarriles alemán, quien realizó entre 1852 y 1870 gran cantidad de ensayos de flexión rotativa sobre ejes de ferrocarril. Esto dieron entendimiento científico al fenómeno de la fractura, pero debían de hacerse sometiendo a los ejes a pruebas con cargas directas de fuerza y tensión hasta forzar su resistencia inutilizando los objetos de prueba, sin embargo, proveyeron valiosa información entre otras acerca de que antes de la lesión por fractura se producían una serie de fisuras superficiales casi imperceptibles a la vista. La necesidad de anticipar el fallo destructivo mediante la detección temprana de estas fisuras en los ejes, requirió contar con algún método de inspección distinto al visual, este ve sus primeros antecedentes en la última década del siglo XIX con un descubrimiento practico realizado en las maestranzas de ferrocarriles de Harford (EE.UU.) allí se advirtió por los técnicos que después de haber cubierto la superficie del metal en aceite con el objeto de lubricar sus partes movibles, al retirar los excesos del líquido viscoso para su montaje posterior reaparecía el aceite, precisamente donde se localizaba una fisura. (Andrade , Mosquera , & Vanegas, 2015)

“Lo descubierto permitió desarrollar un ensayo denominado de aceite y blanqueo que consistía en la inmersión de las partes en una mezcla caliente de aceite (25%) y queroseno (75%), quitando el exceso con trapos y papeles. El siguiente paso era el blanqueo aplicando polvo de cal o tiza blanca en una suspensión alcohólica sobre las piezas ensayadas. Por último, se observaba la posible exudación del aceite en la cal en las zonas defectuosas del elemento” (Cano Montoya, 2007, pag 34).

Este tipo de END permitía advertir fisuras superficiales, pero requería como hemos descrito de un proceso lento de preparación, además de no ser tan eficaz en detectar

microfisuras, ni hacerlo respecto de otros materiales distintos del metal. Pero la inventiva humana expande el conocimiento, primero los hermanos Robert y Joseph Switzer para el año de 1941 desarrollaron una nueva clase de pigmentos fluorescentes que aplicados en las superficies reemplazaron el aceite como líquido penetrante, estos expuestos ante luz ultravioleta revelaban un espectro mayor de microfisuras y discontinuidades en diversos materiales no porosos, para luego dar paso en su lugar a tintes de coloración sintéticos que envasados como aerosol permitieron un fácil vertido de aspersión en finas capas.

2.1.4 Método Electromagnético.

Como he reseñado en los párrafos anteriores la causalidad en los inventos que posibilitan la realización de ensayos, devienen a propósito de la aplicación práctica de descubrimientos científicos, me referiré a continuación en aquellos relacionados con la fuerza electromagnética y su aplicación en métodos ensayales no destructivos.

Si bien las propiedades magnéticas de ciertos minerales en especial la magnetita ha sido conocida desde la antigüedad, su vinculación con la electricidad solo es descubierta científicamente a principios del siglo XIX, fue Christian Orested físico danés quien en 1820 al ubicar una brújula cerca de un alambre que conducía electricidad descubrió que la aguja dando una sacudida cambiaba de dirección apuntando perpendicularmente hacia el cable, y que al cerrar el flujo de corriente la aguja volvía a su lugar, deduciendo que la materia magnetizada de la aguja era atraída por campos magnéticos generados por la corriente eléctrica, más tarde el físico francés André Marie Ampere desarrolla este fenómeno determinando como una corriente eléctrica genera estos campos magnéticos y como estos también afectan a otros campos magnéticos generados por electricidad, luego será el inglés Faraday quien con sus investigaciones descubre en 1831 la inducción electromagnética e inventa el dinamo (precursor del generador eléctrico), así como estudios en electrotecnia y electroquímica (Perez de Landazabal & Varela Nieto , 2005). Pero será James Clerk Maxwell matemático, físico y astrónomo inglés que en 1864 desarrolla la Teoría dinámica sobre el electromagnetismo que simplifica y resume todas las leyes del electromagnetismo (Cordero S, 2014).

Esta breve reseña de los precursores del electromagnetismo me pareció necesaria tal vez no en cuanto a la relación utilitaria de lo que informa respecto de esta tesis, pero si como reconocimiento acerca de quienes trata, fundamentales científicos para el desarrollo de la humanidad.

Las propiedades electromagnéticas de la materia y su aplicación en los ensayos tiene como precedente reportes de pruebas realizadas en fundiciones de acero inglesas en 1870 que para detectar imperfecciones en tubos de cañones, estos se magnetizaban para posteriormente hacer mover una brújula desde su base y a lo largo, si hubiese discontinuidad en el material habría una distorsión en el flujo magnético y al pasar la brújula sobre estos puntos de fuga la aguja se movía para indicar los defectos.

Pero será hasta la segunda década del siglo XX que surge un método técnico ensayal electromagnético con el descubrimiento del ingeniero William Hoke, quien mientras rectificaba una pieza de acero duro sostenida por un mandril magnético noto que los residuos metálicos que se desprendían formaban patrones que seguían las grietas en la superficie de la pieza mecanizada, con tal antecedente repitió las condiciones en cuanto a magnetizar la pieza y aplico polvo ferromagnético fino a las piezas, acumulándose las partículas metálicas donde había discontinuidades superficiales y sub superficiales.

2.1.5 Método de ondas ultrasonidos.

La posibilidad de captar el sonido e interpretarlo es la característica base del método de ondas ultrasónicas. Desde un punto de vista físico, el sonido es una vibración que se propaga en un medio elástico (sólido, líquido o gaseoso), generalmente a través del aire. Para que se produzca un sonido se requiere la existencia de un cuerpo vibrante llamado "foco" y del medio elástico transmisor de esas vibraciones, las cuales se propagan a su través constituyendo la onda sonora.

El método de ondas ultrasónicas como sistema de inspección tiene antecedentes en ensayos básicos de percusión en los talleres siderúrgicos de finales del siglo XIX; los materiales eran golpeados con un martillo y un técnico escuchaba el sonido que emitía la pieza examinada, no era un sistema muy efectivo, pero permitía advertir diferencias en las piezas examinadas comparando el sonido que emitían con otras en estado optimo.

Será el doctor Dr. Sergei Sokolov quien desarrolla las primeras técnicas formales de inspección empleando las posibilidades del uso de ondas ultrasónicas. Los experimentos iniciales se basaron en la medición de la perdida de la intensidad de la energía acústica al viajar en un material. Para tal procedimiento se requería del empleo de un emisor y un receptor de la onda ultrasónica. Posteriormente, durante la Segunda Guerra Mundial, los ingenieros alemanes y soviéticos se dedicaron a desarrollar equipos de inspección ultrasónica para aplicaciones militares. En ese entonces la técnica seguía empleando un emisor y un receptor (técnica de transmisión) en la realización de los ensayos. No fue sino hasta la década de 1940 cuando el Dr. Floyd Firestone logró desarrollar el primer equipo que empleaba un mismo transductor como emisor y receptor, basando su técnica de inspección en la propiedad característica del sonido para reflejarse al alcanzar una interface acústica. Es así como nace la inspección de pulso eco; esta nueva opción permitió al ultrasonido competir en muchas ocasiones superar las limitaciones técnicas de la radiografía, ya que se podían inspeccionar piezas de gran espesor o de configuraciones que sólo permitían el acceso, por un lado. El perfeccionamiento del instrumento de inspección por ultrasonido se debe principalmente a los investigadores alemanes Josef y Herbert Krautkramer, quienes desde 1948 se han dedicado a desarrollar y mejorar el equipo de inspección ultrasónica. (Santos Villacrés, 2012)

CAPITULO III: METODOS DE INSPECCION

3.1 Concepto de END.

Descrito el desarrollo histórico básico de los END cabe en lo siguiente avocarse a conceptualizarlos, para ello nos asistiremos en diferentes textos que los definen.

En los manuales de estudio del Tema Introducción a los ensayos no destructivos publicados en el marco del proyecto Leonardo auspiciado por el programa de la Unión Europea de educación y formación permanente, se dice lo siguiente.

“Caracterizados por ser inofensivos para la integridad de los objetos ensayados, y están obligados por ello a adaptarse a sus exigencias” (Delojo Morcillo , pag 34, 2011).

“Todos los ensayos no destructivos son métodos físicos y se basan en verificar variaciones de alguna propiedad física en el objeto ensayado a la que el método es sensible. Si tal propiedad es relacionable con una característica tecnológica significativa del objeto, del seguimiento de aquella se podrá inferir la eventual idoneidad de éste” (Delojo Morcillo , pag 34, 2011).

“En todos los casos de Ensayos No Destructivos (END), el material objeto de ensayo se somete a la acción de cientos fenómenos físicos, que hacen que la energía bajo diferentes formas fluya a través del material” (Gómez de León, pag 13, 2009).

La norma ASTM E1316 (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales) (ASTM E1316, pag 5, 2019) define los ensayos no destructivos como sigue:

“El desarrollo y la aplicación de métodos técnicos para examinar materiales o componentes de modo que no se perjudique su funcionalidad y su futuro uso en servicio y con el fin de detectar, localizar, medir y evaluar fallas; para evaluar la integridad, propiedades y composición; y para medir características geométricas” (ASTM E1316, pag 5, 2019).

“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).

Los END son de acuerdo a estas definiciones pruebas de naturaleza no destructiva que permiten examinar la materia sin afectar su integridad ni funcionalidad mediante técnicas

que utilizan las propiedades físicas reactivas o de variabilidad de esta, cuando es sometida a métodos de exploración indirectos no invasivos.

Lo que identifica estos ensayos es que permiten indagar el estado de la materia sin comprometer sus cualidades con una exploración inocua, pero, lo suficiente mente capaz de entregar información relevante sobre discontinuidades, modificaciones estructurales, estado físico, dimensiones, propiedades, a través de la información que es captada por equipos tecnológicos al someterla a la acción de fenómenos físicos y posterior interpretación de los datos obtenidos.

Como aporte conceptual de acuerdo a lo investigado los END son pruebas de inspección de materiales que entregan valores de medición que resultan del uso de instrumentos de aplicación indirecta que mediante fenómenos físicos y químicos recaban información del estado de la materia emitiendo sobre ellos acciones de exploración emitiendo señales identificadoras de alteraciones que no importan marcas, degradación o deterioro.

3.2 Clasificación de los métodos de END.

Explicar un concepto requiere la necesaria categorización de los elementos que le aplican como recursos, en este caso serán métodos de ensayo y se ordenarán según su fundamento, aplicación o estado actual de desarrollo, podemos clasificar en cuatro grandes criterios:

1.- Según Método físico que interactúa en la Materia se puede clasificar en:

- Ondas electromagnéticas (comprendiendo fenómenos basados en las propiedades eléctricas y/o magnéticas de las muestras.) Rayos Gama, Rayos X, Rayos ultravioletas UV, Rayos Infrarrojos, microondas (Fontal , 2005).
- Ondas elásticas o acústicas como, por ejemplo: Radar, Ultrasónicas.
- Emisión de partículas subatómicas, análisis de neutrones, análisis por activación de neutrones, protones, partículas beta (López Luna & González Sandoval , 2017).
- Otros fenómenos, tales como los de capilaridad, estanqueidad, absorción líquidos, partículas filtradas.

2.- Según sus aplicaciones se puede clasificar en:

a) Defectología:

Permite la detección de heterogeneidades, evaluación de la corrosiones y deterioración por agentes ambientales.

b) Caracterización de los materiales:

Permite identificar propiedades químicas estructurales, mecánicas y técnicas.

c) Metrología:

Permite especificar el control de espesores (Fabricación). (Asociación Española de Ensayos no Destructivos , 2016)

3.- Según el estado actual del conocimiento se pueden clasificar en:

a) Métodos convencionales de END

Este método se enfoca en la tecnología de los equipos, los cuales ejercen un importante proceso de inspección permanente los cuales son de uso requerido en la producción y automatización que estos ofrecen.

El proceso que ofrece este método abarca varias aplicaciones, son muy sofisticados y de muy alto estándar. (Asociación Española de Ensayos no Destructivos , 2016).

Ensayos de Métodos END convencionales:

- Radiografía Industrial (RI)
- Ultrasonidos (US)
- Líquidos Penetrantes (LP);
- Partículas Magnetizables (PM)
- Corrientes Inducidas (CI)
- Visual (EV)

b) Métodos nuevos o no convencionales de END

Estos métodos podríamos definirlos con que aún no se utilizan de la manera generalizada. La tecnología avanza muy rápido en el área aeroespacial y nuclear, por lo que es necesario que tengan constante control de calidad en sus materiales.

Ensayos de métodos END no convencionales:

- Fuga
- Termografía
- Espectroscopía ultrasónica
- Emisión acústica
- Radiografía neutrónica

- Tensiones residuales
- Otros. (Berganza & Hernandez , 2007)

4.- Según el tipo de técnica de inspección se puede clasificar en:

- Inspección superficial
- Inspección volumétrica
- Inspección de la integridad o hermeticidad (Asociación Española de Ensayos no Destructivos , 2016)

3.3 Descripción END convencionales.

La convención acerca de los END se basa en que existe a nivel internacional coincidencia formal respecto de métodos cuyo desarrollo tecnológico es identificable como también lo es la comprobación empírica de su efectividad, habiéndose generado normas de certidumbre técnica o certificación que permiten que estos sean aplicables y reconocidos sus resultados mientras se mantenga el respeto por las disposiciones convenidas ensayales.

3.3.1 Inspección Visual (EV).

Este tipo de ensayo no destructivo convencional puede considerarse el primero en utilizarse sistemáticamente al ser más accesible económicamente y de fácil realización, consiste en la inspección visual por un profesional técnico entrenado en percibir las alteraciones superficiales en el objeto ensayado, complementado este método con el uso de elementos básicos que lo faciliten, como contar con iluminación adecuada de alta intensidad, así como también instrumentos de magnificación de imagen y de medición (Delajo Morcillo , Inspección Visual , 2009).

Método Superficial: Inspección visual.

Fenómeno Físico: Luz visible.

Ventajas

- Este ensayo visual permite la localización precisa de las discontinuidades.
- Se aplica a gran parte de los materiales.
- Su costo es bajo y sencillo de aplicar.
- Los profesionales o técnicos que aplican estos ensayos deben tener una experiencia profesional que facilite hallar las fallas con rapidez.

Desventajas

- Se evalúa superficialmente.
- Solo puede identificar discontinuidades superficiales.
- Se necesita una alta intensidad de iluminación en el área de trabajo.
- Los profesionales al realizar la inspección deben tener un acceso despejado al área de trabajo del ensayo, así como la posibilidad para desplazarse afín de mantener el contacto visual y tener una apreciación efectiva de la superficie.

3.3.2 Líquidos y Partículas Penetrantes (LP).

El método por líquido penetrante es uno de los métodos de ensayos no destructivos más utilizados, simple de aplicar en la identificación de discontinuidades superficiales, como grietas, defectos, tanto en materiales metálicos o no metálicos.

Este método como reseñamos en capítulo anterior acerca del desarrollo histórico de los END está fundamentado en la capacidad de penetración de un líquido en discontinuidades, por efectos de capilaridad. Primero el líquido se filtra en las grietas por capilaridad, después de un tiempo de penetración, se remueve el líquido sobrante y se aplica un revelador. El revelador extrae el penetrante de la discontinuidad incluye habitualmente un colorante o compuestos de fluorescentes, provocando una indicación en la superficie del posible defecto (AEND, Asociación Española de Ensayos No Destructivos , 2002).

El método de líquidos penetrantes es muy empleado en todo tipo de industrias debido a la versatilidad del mismo y usado para detectar todo tipo discontinuidades superficiales.

Método superficial: Líquidos y Partículas Penetrantes.

Fenómeno Físico: Capilaridad.

Ventajas

- Es de alta sensibilidad a las discontinuidades abiertas a las superficies haciéndolas de fácil percepción y control.
- Es un método de fácil empleo y alta usabilidad dada su capacidad de entregar información en variados tipos de materiales.
- Buen espectro de sensibilidad ante los defectos en la materia expuesta distintas a las discontinuidades abiertas.
- De valor medio en su costo como ensayo, de rápida aplicación y el equipo que se requiere para su implementación es de fácil traslado.
- Amplia variedad de líquidos penetrantes aptos para distintos tipos de materiales, así como condiciones ambientales.

Desventajas

- Son solo aplicables a defectos superficiales en materiales no porosos.
- Hay que procurar previo al ensayo realizar una exhaustiva limpieza del objeto al momento de la inspección.
- Los técnicos que realicen estos ensayos deben tener capacitación adecuada y adaptada al tipo de ensayo específico en especial al tipo de líquido penetrante.
- Resulta a posterior difícil de retirar de roscas, ranuras o huecos y superficies ásperas que hayan sido marcadas por el líquido en el proceso.

3.3.3 Partículas Magnéticas (PM).

Este método permite detectar defectos superficiales y sub superficiales en materiales ferromagnéticos como son el hierro o el acero.

El método se aplica en una pieza magnetizada, los campos magnéticos son atraídos y las discontinuidades que existan al momento de su aplicación causaran un campo de fuga, en dicho campo magnético, este campo de fuga, causado por las discontinuidades reveladas en la inspección, estas serán constatados por el uso de Ferromagnéticas, luego divididas, estas mismas partículas se agruparan por el campo de fuga, indicando de esta manera su localización específica, su forma y extensión (Ospina Lopez, Hernando Trujillo , & Parral L , 2011).

Los Materiales no ferrosos, metales como plata, platino y oro, aleaciones de aluminio, magnesio, cobre, plomo, titanio, níquel, platino y aceros no pueden ser inspeccionados por este método (AEND. Asociación Española de Ensayos No Destructivos , 2016).

Método Sub-Superficial: Partículas Magnéticas.

Fenómeno Físico: Campos Magnéticos.

Ventajas

- Requiere de un menor grado de limpieza en las piezas sometidas al ensayo.
- Este método en su aplicación es rápido y su índice de valor de coste es económico.
- Revela discontinuidades que no se encuentran a nivel superficial.
- Permite una vez realizado el ensayo en las piezas u objetos, limpiar la zona quedando sin rastros de este.

Desventajas

- Se aplica solo en materiales ferromagnéticos.
- No hay una gran capacidad de penetración.
- El equipo necesario para realizar el ensayo es de un alto valor
- Las proporciones del defecto debe ser menor 3:1.

3.3.4 Ultrasonido (US).

El ultrasonido es un fenómeno de reflexión de las ondas acústicas de un objeto, el método se realiza producto de vibraciones mecánicas, básicamente la onda ultrasónica se propaga por un material a través de ondas sonoras dentro de un objeto hasta que se refleja y luego vuelve la información de recorrido.

“Por medio de las interfaces se refleja el sonido, el cual se propaga por el material detectando y analizando la presencia y localización de las discontinuidades. El mismo elemento utilizado para generar y recibir las ondas es el palpador. Existen distintos tipos de palpadores con diferentes diámetros y frecuencias. Para que este elemento cumpla la función de emisor y receptor, tiene un cristal piezoeléctrico, que tiene la propiedad de deformarse cuando recibe una presión mecánica, produciendo un voltaje eléctrico” (Castillo Gonzalez & Inostroza Hernández , pag 9 , 2013).

Este método, principalmente reconoce discontinuidades o defectos del material.

Método Volumétrico: Ultrasonido

Fenómeno Físico: Ondas mecánicas elásticas

Ventajas

- Fácil aplicación, únicamente se necesita un lado o unas de las superficies del objeto.
- Capaz de tener los resultados al instante.
- Alta capacidad de penetración, aporta la información de todo el volumen.
- Mayor capacidad en la determinación de la posición detallada de su localización la discontinuidad, su orientación y el tamaño.
- Permite de detección de discontinuidades en grandes espesores de manera superficial y sub superficial.

Desventajas

- Se dificulta la inspección de discontinuidades de dimensiones que se presentan de menor tamaño y menor espesor.
- El operador requiere de mayor conocimientos y experiencia que en los demás métodos.
- No es recomendado cuando es limitado por el espesor, superficies mal terminadas.
- Es un método de alto costo económico.

3.3.5 Radiografía Industrial (RI).

El ensayo radiográfico es un método usado para encontrar defectos internos en los materiales, que se basa en la utilización de radiación penetrante X o Gama al material examinado.

La radiografía consiste en lo siguiente: la radiación electromagnética ionizante producido por la radiación penetrante X o Gamma, una vez que atraviesa el objeto, la radiación que entra no es la misma que vuelve a salir, se produce un cambio, en la masa, composición en la consistencia del objeto de las discontinuidades, generando lugares más oscuros y más claros en la radiografía, por lo tanto este método detecta a través de la radiografía defectos internos o externos, tales como fallas, corrosiones, cambios de espesor y fisuras, quedando de esta manera plasmado en la radiografía. (Franco Gimmeno & San Jose , 2000)

Método Volumétricos: Radiografía industriales.

Fenómeno Físico: Radiaciones ionizantes.

Ventajas.

- Este método ha evolucionado muy rápido en los últimos años.
- Se puede aplicar distintos tipos de materiales.
- Se puede obtener registro permanente interior del material.
- Puede reconocer errores de fabricación, pudiendo realizar acciones correctivas oportunas en caso de defectos.

Desventajas.

- Es casi impracticable en piezas de forma compleja en su geometría.
- Este método requiere de medidas de seguridad estrictas.
- La inspección de la pieza debe tener acceso por ambos lados.

3.3.6 Método de Corriente Inducida (CI).

El Método de Corriente Inducida también llamada Corriente Foucault o corrientes Eddy se basa en el principio de inducción electromagnética, esto se realiza sobre la pieza seleccionada donde un campo magnético alternante es recorrido a través corriente. Se emplean para identificar o diferenciar las propiedades físicas, estructurales o metalúrgicas en todas aquellas piezas de material conductor. (Gómez de León, 2009)

El ensayo de Corrientes Inducidas permite identificar problemas como, detección de discontinuidades (corrosión, segregación, grietas), medición de parámetros físicos (conductividad, permeabilidad, dureza), y propiedades de materiales.

Método Sub- Superficiales: Corrientes inducidas.

Fenómeno Físico: Corriente eléctrica de Foucault.

Ventajas

- Detecta heterogeneidades superficiales.
- Es un método muy sencillo rápido y evaluación instantánea.
- Se aplica en general en materiales no ferromagnéticos.

Desventajas

- Este método solo se aplica a materiales que conducen la electricidad.
- Es un método que requiere mucho tiempo para inspección de áreas grandes.
- Indispensable personal con experiencia y altamente calificado.

3.4 Etapas básicas de la inspección en END.

Los métodos de END se aplican de acuerdo a las siguientes etapas:

A – Elección del método y técnicas operatorias apropiadas.

B – Obtención de los resultados de medidas.

C – Interpretación de la indicación.

D – Evaluación de la indicación.

A- Elección del método y técnicas operatorias apropiadas

Para la elección del método y técnicas operatorias apropiadas, debemos considerar el tipo de metodología que vamos a utilizar, esta depende esencialmente de la naturaleza del material, el estado estructural, proceso de fabricación, forma del producto, dimensión, etc., debido a que todos los métodos presentan limitaciones al realizar la examinación del material. Por lo tanto, dependiendo de la pieza a examinar o el producto podremos establecer los criterios de los métodos y técnicas apropiados de los ensayos (Martínez Veadú, 2014).

B- Obtención de los resultados de medidas

Los métodos de ensayos no destructivos poseen una característica común, siguen procedimientos indirectos, esto quiere decir, que para determinar la característica examinada del material o pieza se debe realizar a través de cualquier otra propiedad que esté relacionada con ella.

En la obtención de los resultados de medidas es indispensable señalar que la limitación en la obtención de resultados se encuentra subordinada al tipo de discontinuidades o impurezas, al tipo de morfología, al tipo de superficie, tipo de tamaño, heterogeneidad y forma. Por lo que la misma pieza examinada puede tener discontinuidad, sin embargo, esta podrá ser visualizada de manera distinta con otro método de ensayo no destructivo aplicado (Martínez Veadú, 2014).

C- Interpretación de la indicación

La interpretación debe ser considerada de acuerdo a la observación de los resultados, dichas indicaciones deben tener relación con su morfología, superficie, tamaño, heterogeneidad y formas entre otras, de esta manera el método utilizado asegura la veracidad y validez del ensayo.

Debido a la importancia y responsabilidad de interpretar los resultados el personal debe ser calificado para el cargo (Martínez Veadú, 2014).

D- Evaluación de la indicación.

Después de la interpretación de las indicaciones obtenida, es preciso evaluar. Esta evaluación tiene relación directa con los resultados entre la heterogeneidad detectada, la morfología, superficie, forma y tamaño, de esta manera se puede proceder obtener los datos necesarios para saber las propiedades del material, pieza o producto examinado, es decir, la evaluación resultante nos da las herramientas necesarias para saber cuál es el motivo de la indicación hecha por el personal calificado (Martínez Veadú, 2014).

3.5 Características generales sobre la metodología de aplicación END.

Todos los métodos de ensayos no destructivos son fáciles y rápidos de aplicar, en general la aplicación de las diferentes técnicas no requiere detener el área para su aplicación, además no son invasivas ni alternan las propiedades químicas, físicas o de los materiales.

- Cada método utilizado garantiza el producto examinado, mantiene su calidad desde el inicio de la inspección hasta el final.

- Cada método utiliza propiedades físicas y fisicoquímicas, distintos campos de energía, materiales metálicos y no metálicos, los ensayos se pueden aplicar durante y después de los procesos de fabricación.
- Cada método utilizado se aplica a ciertas características específicas, distintas técnicas, determinado alcance y limitaciones de acuerdo a cada método.
- Cada método requiere siempre un resultado del procedimiento por escrito (informe).
- Todos los métodos requieren de personal calificado y equipamiento específico.
- Los métodos END son económicos, rentables y rápidos de aplicar.

3.6 Criterios para la aplicación entre los diferentes tipos de END.

En este punto resulta evidente que la selección del tipo de ensayo a utilizar tendrá relación con parámetros de evaluación previa que tendrán necesariamente tenidos en cuenta, esto porque se trata de tomar decisiones de ejecución que involucran tener a la vista distintos factores de interés para la obra que será objeto de pruebas.

3.6.1 Oportunidad.

Los ensayos tienen una significación como dato cuando se entrega, es decir, el valor de la evaluación tendrá una pertinencia de tiempo, por tanto deberá tenerse en cuenta el momento en el que los resultados que se obtengan tengan un beneficio de información conducente con sentido, por tanto habrá que ponderar si resulta fundamental tener cierta información de control en determinado momento o si tal no es tan esencial pudiéndose continuar con el proyecto sin estos, ponderando otros ensayos en el futuro que tengan otro alcance y magnitud. Alcanzar un mínimo nivel de información puede proveer indicios acerca de algo que se tiene que conservar, pero es requisito para un programa útil de mantenimiento disponer de series programadas y en continuidad de ensayos coordinados de acuerdo a los factores de desgastes general.

3.6.2 Adecuación.

Como hemos ido analizando los END, están dispuestos en una amplia gama de posibilidades de aplicación y estas son operativas de acuerdo a las características de lo objeto de evaluación, entonces debe existir una adecuada relación entre lo que se requiere y lo que se dispone, para ello el ensayo debe ser vinculante entre realidad que se requiere

atender, y el instrumento tecnológico disponible, de manera de adecuar lo requerido con lo que se tiene efectivamente a disposición.

3.6.3 Oferta tecnológica.

En relación al criterio anterior debe tenerse en cuenta el mercado de opciones tecnológicas a disposición, porque si bien los servicios de inspección suponen estándares básicos de ejecución con instrumentos adecuados en su uso y obtención de resultados, estos muchas veces presentan en sus ofertas de mercado distintas tecnologías que cubren la necesidad en abstracto pero que en lo concreto son equipos distintos, por tanto, hay que ponderar e investigar cual es el más probado en su eficacia.

3.6.4 Valores.

Cuando se trata de obras de ingeniería cuyos costes por la naturaleza misma de estos son elevados es fundamental previo a la decisión de llevar a ejecución ensayos el encarecimiento que esto genera, debiéndose tener una aproximación de estudio general del mercado en cuanto a un conocimiento general de valores de los ensayos, así como el tiempo general que toma su implementación.

3.6.5 Selección por naturaleza.

Es fundamental tener una visión clara de conexión entre los posibles defectos y el tipo de ensayo a utilizar, para ello resulta necesario un proceso indiciario de posibilidades y cómo y con que detectarlas mediante fórmulas de tabulación y orden como el que a continuación se expresa mediante tablas de uso práctico.

A continuación, se muestra como tabla N°1 que permite facilitar el proceso de selección por naturaleza los END. De esta manera se podrá decidir dependiendo de las discontinuidades o fallas, el ensayo correspondiente.

Tabla N.º 1: Criterio de Método END

CRITERIOS PARA APLICACIÓN DE END - PUENTES DE HORMIGÓN (TABLERO)										
	INSPECCIÓN VISUAL	PERMEABILIDAD AL AIRE DEL HORMIGÓN	NIVELES DE CORROSIÓN ICOR	CARBONATACIÓN	RADIOGRAFÍA (ACERO) FERROSCAN P200	POTENCIAL DE CORROSIÓN DEL HORMIGÓN	ÍNDICE ESCLEROMÉTRICO DEL HORMIGÓN	RADIOGRAFÍA P1000 (GPR)	RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DEL HORMIGÓN	Velocidad de pulso ultrasónico
										TERMOLOGÍA INFRAROJA
										PROFÓMETRO
EVALUAR CONDICIÓN GENERAL SUPERFICIAL	X									
INDICACIÓN DE UNIFORMIDAD Y CALIDAD DEL HORMIGÓN										
LOCALIZACIÓN DEL ACERO				X	X					X
PROFUNDIDAD DEL ACERO					X					
DISTANCIAMIENTO DE BARRAS DE ACERO					X					
CORROSIÓN DEL ACERO			X	X		X			X	
RECUBRIMIENTO DEL REFUERZO										
DIÁMETRO DEL ACERO					X					X
GRIETAS: de esquinas/ longitudinales / transversales	X									X
FISURAS	X									X
POROSIDAD	X	X							X	X
RESISTENCIA A COMPRESIÓN AL HORMIGÓN							X		X	
DURABILIDAD DEL HORMIGÓN		X								
NIDOS DE HORMIGÓN								X		
HUECOS DEL HORMIGÓN								X		
CAVIDADES DEL HORMIGÓN								X		
DESCASCARAMIENTO	X									
DESPRENDIMIENTO SUPERFICIAL		X								X
DEFECTOS INTERNOS DEL HORMIGÓN		X								
DELAMINACIONES DEL HORMIGÓN								X		X
DISCONTINUIDADES									X	
CLORUROS Y CARBONATACIÓN								X		

Fuente: Elaboración Propia (2022)

A continuación, se muestra un formulario en la numeración N°2-N°3- N°4, que ilustran una inspección al tablero de la estructura de puente, mediante el cotejo de varios formularios que están en el Anexo1, que son parte de evaluación general de estructuras de hormigón armado, con el fin de facilitar la inspección.

Imagen N.º 1 Criterio de Inspección.

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.	
1. Fecha de puesta en servicio: _____	
2. Resistencia del hormigón a la compresión en obra: _____	
3. 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: _____	

Fuente: Elaboración Propia

Imagen N.º 2: Criterio de Inspección

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:
 Si ☐ 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 ☐ Cangrejeras ☐ Junta de dilatación ☐
 Junta de construcción ☐ Parcheo de reparación ☐ Otro: _____

Marcaje de grietas:
 Si ☐ 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 fisicoquímicos y biológicos) (malos materiales y mala supervisión)
 (Trepidante y/o oscilatorio)

Extensión y gravedad de los daños:

Ensayos mínimos a realizar

Fuente: Elaboración Propia

Imagen N.º 3: Criterio de Inspección

The image shows a form titled "Croquis - Tipificación de daños y localización en la estructura." (Sketch - Typification of damages and localization in the structure). It features a large, empty rectangular box for drawing or sketching. Below this box, there are two horizontal lines for text entry, labeled "Evaluador:" (Evaluator) and "Fecha:" (Date). A large, diagonal watermark reading "USO ACADÉMICO" is overlaid across the center of the form.

Fuente: Elaboración propia.

3.7 Aplicación END en obras la construcción.

Construir implica establecer una forma estructural que se asentara en el espacio y se pretende su permanencia en el tiempo, pero bien sabemos que las obras no son indemnes a diferentes factores que las deterioran, sean por los efectos de la naturaleza o por el uso humano, siendo esto así resulta evidente que se busquen los medios de prevenir que tales defectos puedan transformarse en desgastes traumáticos que causen eventos de inutilidad destructiva. Para ello tradicionalmente la industria constructiva ha utilizado métodos de control y análisis aptos para evaluar en terreno los posibles defectos que presente la materia, para ello la ingeniería ha desplegado sus capacidades técnicas e intelectuales para desarrollar métodos de ensayo útiles para la inspección técnica de obras.

Tradicionalmente se han utilizado los ensayos destructivos para tal objetivo, pero con el desarrollo de los END estos aparecen más viables y efectivos y en las distintas aéreas de la construcción estos son cada vez más difundidos y más solicitados, por tener una mínima afectación a la estructura. Estos ensayos ayudan a ingenieros, arquitectos, contratistas, a analizar las estructuras de manera de verificar la integridad de ellas, lo cual se podrá,

identificar los defectos y anomalías, registrando los daños causados por el tiempo o por los trabajos mal hechos. (Grattasat , 2012).

El método de los END son una opción posible y necesaria, estos nos permiten obtener una valiosa información sobre las estructuras y los materiales que la componen, los END son utilizados en diferentes sectores como lo ha sido en todo el sector de la construcción y sus áreas, acá se logra una evaluación integra de las estructuras de concreto entre otras sin que sean intervenidas, evitando posibles debilitamientos de las mismas (Centragolo de Castro , 2017).

El sector de la construcción a modo de reseña comprende tanto las actividades de construcción de edificaciones y obras civiles. Las actividades pueden estar relacionadas a obras nuevas, reparaciones, construcciones de carácter temporal, entre otras. Estas acciones pueden agruparse en aquellas relacionadas a la edificación (habitacional y no), construcción de obras de ingeniería y actividades especializadas (anexas).

La edificación comprende las actividades de construcción y desarrollo inmobiliario. Las de obras de ingeniería consideran proyectos de infraestructura de uso público o privado, por ejemplo, proyectos mineros, obras viales, obras hidráulicas, instalaciones deportivas, y otras. Por último, las actividades especializadas comprenden la construcción de partes de edificación y obras civiles sin ser los responsables directos de la ejecución del proyecto (Productividad, 2020).

Tratándose de obras civiles de gran envergadura, los puentes representan en especial para nuestro país dada su configuración geográfica agreste y sinuosa, la vía más importante de comunicación y continuidad territorial, por lo que su mantenimiento es vital, necesario y permanente.

3.8 END en puentes.

Si nos elevamos para apreciar desde el aire las formas superficiales de la geografía terrestre rápidamente nos enteramos que existen áreas trazadas en geometrías organizadas por el hombre para el tránsito y otras naturales onduladas o en quebradas que lo dificultan generando irregularidades en el terreno de diversas formas y magnitudes. Para salvarlas la técnica en construcción a través del tiempo ha imaginado y diseñado estructuras aptas para tales fines de continuidad y comunicación, de entre ellas destaca una forma cuyo origen seguramente se remonta a la prehistoria cuando nuestros ancestros utilizaron troncos para vadear vías de aguas, replicándose y evolucionando hasta los puentes que hoy conectan el tránsito humano.

Un puente como obra de ingeniería suponen la integración de una variedad de elementos en cuyo proceso de ensamblaje le dan forma y sustento, tal complejo requiere de permanente control en su construcción que tienden a ser previstos como parte integral del proyecto, pero que sucede a posterior cuando la obra pasa a formar parte del sistema de tránsito continuo y sufre el impacto del clima al cual está expuesto así como el deterioro por su uso continuo o incluso tensiones no previstas accidentales.

Frente a esta cuestión de inspección posterior a la entrega de la obra a su uso, los END proporcionan los medios aptos e idóneos para la evaluación precisa de la condición y monitoreo del estado de las partes que le forman en cuanto permiten; rapidez de gestión en proveerlos y aplicarlos lo que resulta muy adecuado por la urgencia en poder conocer la situación del puente y que decisiones que tomar en caso de fallos, diversidad de opciones en los tipos de ensayos posibles lo que esta positivamente relacionado con los diferentes materiales y estructuras que le hacen parte, aseguran el no deterioro de los materiales ensayados manteniendo la integridad de la obra y sus perfiles y reducen significativamente el tiempo de interrupción del tráfico de uso durante las operaciones inspectoras. (Carrión Viramontes , Lomelí González, Quintana Rodríguez, & Martínez Madrid , 2003)

Estas mediciones proveídas por END permiten una caracterización más precisa de la condición presente del puente, y mejoran notablemente la predicción de la progresión del deterioro y una mejor evaluación de las necesidades de corrección y rehabilitación.

Además, los datos recopilados de las pruebas no destructivas en las partes de los puentes son complementarias y no excluyentes con otra información que se tenga de los mismos, facilitando la comprensión del ciclo de vida útil, los mecanismos de deterioro y la efectividad de las técnicas de conservación en las distintas etapas del proceso de envejecimiento y lo que es más importante, la información obtenida puede evitar la falla prematura e inesperada de los puentes.

3.9 Ensayos más habituales para estructuras de puentes.

Es importante mencionar que existe una variada gama de equipos y marcas que los proveen, en esta descripción se eligieron los más usuales.

- Magnéticos - Espesor de Recubrimiento
- Radares de Penetración GPR - para armaduras
- Esclerómetros - Resistencia del Hormigón
- Potencial Eléctrico de Media Celda- corrosión
- Velocidad de Corrosión
- Profundidad de Carbonatación
- Resistividad Superficial del Hormigón
- Profundidad de Carbonatación - Hormigón
- Penetración de Cloruros – Hormigón
- Ultrasonido – Profundidad de Grietas
- Ultrasonido – Espesor de Aceros
- Condiciones Ambientales incluido nivel de CO₂
- Humedad Superficial – Hormigón
- Permeabilidad in-situ - Hormigón

(Ebensperger, 2021)

ENSAYOS MENOS FRECUENTES

- Adhesión (Pull-Out)
- Emisiones Acústicas
- Velocidad del Pulso
- Eco de Pulsos
- Impacto-Eco-Frecuencia
- Termografía Infrarroja
- Métodos Radioactivos
- Métodos Nucleares
-

3.9.1 Descripciones Instrumentales Específicas.

1. Radiografía PS200 Equipo FerroScan PS200, equipo de auscultación. (localización de armaduras).

Este ensayo consiste en ver la homogeneidad del hormigón, nos genera información inmediata, localiza y detecta de manera sonora a base de pulsos magnéticos la localización de barras de armadura que encuentran insertas en el hormigón, tiene la capacidad de visualizar, determinar profundidad y distanciamientos de las armaduras, por otra parte, agrega de forma inmediata ver el diámetro de los metales ferrosos. La manera de aplicación de este scanner sobre la estructura de hormigón es moverlo directamente sobre la superficie, los datos se almacenan en este escanear para luego traspasarlos al monitor, estos datos se traspasan mediante un software, este ofrece un análisis completo de los informes registrados (Ebensperger, 2021).

Imagen N.º 4: Equipo FerroScan PS200



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

Imagen N.º 5: Equipo FerroScan PS200



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

Imagen N.º 6: Equipo FerroScan PS200



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

2. Radiografía - Equipo FerroScan PS1000 equipo de auscultación.

Este sistema moderno de auscultación genera una radiografía al hormigón permitiendo una vista en tiempo real del interior de las estructuras de concreto, genera

automáticamente el traspaso de la información con todos los detalles de la armadura existentes en la estructura.

Este scanner posee la última tecnología Ground Penetration Radar (GPR) portátil, muestra una vista superior y transversal de la exploración en 2D y 3D, detecta, huecos, nidos, y cavidades que no se aprecian a simple vista y que se encuentran oculto al interior de los elementos estructurales. De color azul se muestra el hormigón, tanto la radiografía PS200 equipo FerroScan como el PS1000 se rigen según norma BS1881-204. BS 1881-204 (1988): “Testing concrete. Recommendations on the use of electromagnetic covermeters” (Ebensperger, 2021).

Imagen N.º 7: Equipo FerroScan PS1000



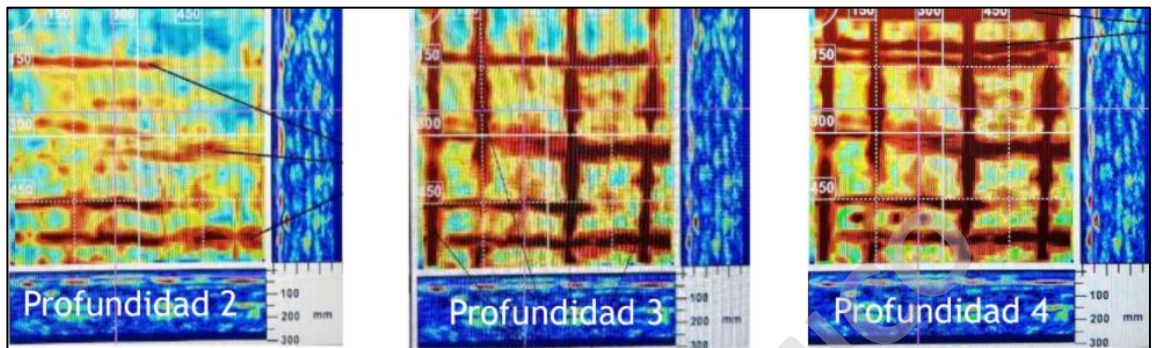
Fuente: Hilti (2020), Recuperado de <http://www.bdl.cl>

Imagen N.º 8: Equipo FerroScan PS1000



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

Imagen N.º 9: Equipo FerroScan PS1000



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

3. Martillo Schmidt - índice esclerómetro del hormigón endurecido.

El esclerómetro o martillo Smith evalúa y genera una estimación no destructiva de propiedades a la resistencia a compresión y a la homogeneidad mediante una correlación con tablas calibradas, estimando el desarrollo de resistencia in situ.

Este Martillo de acero impulsado por resorte se basa en la resistencia que se mide al dar un golpe y registrar el rebote, apto para ensayos con amplia variedad de hormigón, es importante corregir los resultados si en la estructura existe corrosión, se rige por la norma ASTM C805 (ASTM C805 (2018): “Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete”) Y NCH1565 (NCh1565 (2009): “Hormigón - Determinación del índice esclerométrico”). (Ebensperger, 2021).

Imagen N.º 10: Equipo Martillo Schmidt



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

Imagen N.º 11: Equipo Martillo Schmidt



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

4. Nivel de corrosión del acero - Equipo Giatec Icor.

Este equipo es una novedosa herramienta inalámbrica de última generación que permite estimar detalladamente la tasa de corrosión de barras de refuerzo a través de un enfoque no invasivo, es decir, sin necesidad de tener una conexión eléctrica a la barra de refuerzo. Este equipo es un dispositivo conveniente de medición de velocidad de corrosión en terreno, también es una herramienta de investigación innovadora para estudios de laboratorio.

Es de alta precisión, también se utilizar para análisis de:

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

Entrega información precisa, se aplica corriente a dos sondas externas y se mide con la diferencia que hay entre las otras dos sondas interiores. La corriente pasa por iones en el líquido de poros, la resistividad calculada depende de la distancia entre las sondas. Resistividad $\rho = 2\pi aV/I$ [kΩcm]

Este método está enlazado directamente con la probabilidad de corrosión y la velocidad de corrosión, existen estudios recientes que han demostrado que existe una correlación directa entre la resistividad y la velocidad de difusión de cloruro (Ebensperger, 2021)

Imagen N.º 12: Equipo Giatec Icor



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

Imagen N.º 13: Equipo Giatec Icor

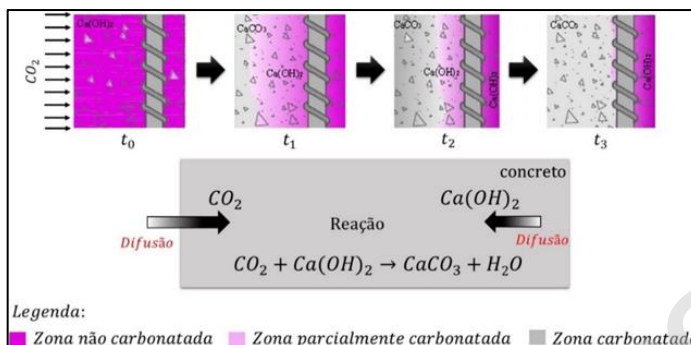


Fuente: Giatec (2022), Recuperado de <http://www.giatecscientific.com>

5. Ensayo de Carbonatación.

Este ensayo, tiene como objetivo determinar el avance de carbonatación en el hormigón por método vía húmeda con solución de indicador acido-base. La carbonatación es la reducción de la alcalinidad normal (pH entre 12 – 14) del hormigón por defecto del CO₂ que difunde desde el ambiente que lo rodea, en presencia de humedad, el CO₂ reacciona a los álcalis (usualmente hidróxidos de calcio, sodio, y potasio), neutralizándolos para formar carbonatos disminuyendo el pH, cuando la carbonatación empieza adquirir profundidad del refuerzo, la capa de oxido protectora deja de ser estable, a este nivel de pH por debajo de 9, es muy probable que entre corrosión dando como resultado agrietamiento y fisuramientos del concreto (DURAR, 2004).

Imagen N.º 14: Proceso Carbonatación



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

6. Ensayo Pulso ultrasónico.

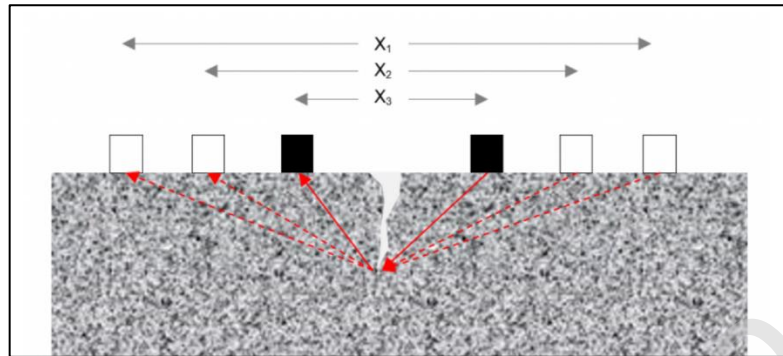
Equipo en base a ultrasonido, es muy eficaz para el control de calidad del hormigón y detección de daños en una estructura, las pruebas ultrasónicas permiten en forma simple estimar la profundidad cuando se detecta una grieta en el hormigón. Requiere de una calibración previa en una superficie cercana del mismo elemento, pero sin grietas. En este ensayo cada transductor debe colocarse a un lado de la grieta por una distancia determinada, entonces la distancia entre transductores cambia en la misma trayectoria, esta medida se repetirá para otros dos espaciamientos y se analiza en resultado de según ASTM C597 (ASTM C597 - “Standard Test Method for Pulse Velocity through Concrete”).

Imagen N.º 15: Equipo Ultrasónico



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

Imagen N.º 16: Grieta Hormigón



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

7. Equipo de complemento a los ensayos - Condiciones Ambientales.

Equipo Portátil, es un instrumento muy necesario para saber cómo se encuentra la calidad del aire antes de realizar cualquier ensayo. Este que mide 3 factores ambientales de interés al momento de la ejecución de ensayos in-situ:

- Temperatura del aire.
- Humedad del aire.
- Nivel de la concentración de CO₂.

Imagen N.º 17: Equipo AZ7755



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

8. Humedad Superficial.

Equipo que en base a la medición de la impedancia eléctrica determina mediante 8 puntos de contacto el nivel de humedad del hormigón de recubrimiento. Se requiere para validar la medición de Permeabilidad al Aire según ASTM F2659 (SIA 261/1 – Anexo E (2003, 2013): “Permeabilidad al Aire en Obra”).

Imagen N.º 18: Equipo TRAMEX



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

9. Ensayo Espesor de Aceros.

Equipo en base a ultrasonido, permite en forma simple medir el espesor de elementos de acero, se necesita para complementar el trabajo.

Imagen N.º 19: Equipo Medición de Espesor

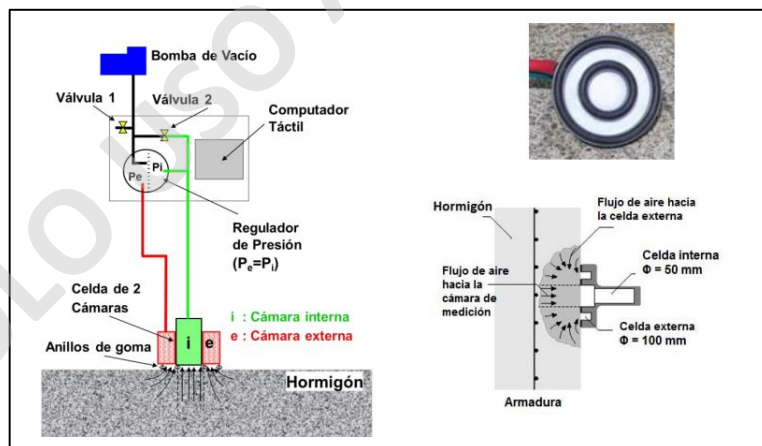


Fuente: BDL (2021), Recuperado de <http://www.bdl.cl>

10. Permeabilidad al Aire - Equipo PermeaTORR.

El ensayo de permeabilidad al aire del hormigón tiene una influencia decisiva sobre la durabilidad de las estructuras, el tipo de encofrado, la composición del hormigón, el proceso de colocación y el curado son procedimientos claves para determinar la calidad del hormigón, este funciona mediante la creación de un vacío sobre la superficie del hormigón, este equipo mide de acuerdo a la normativa suiza SIA 261/1 Anexo E, el aumento de presión que ocurre en una celda doble cámara, en un lapso de 6 minutos. La velocidad con que aumenta esta presión debido al efecto de la presión atmosférica se relaciona con la permeabilidad del recubrimiento del hormigón. Esta metodología fue desarrollada para su aplicación in-situ y como control de hormigones en obra en cuanto a su desempeño de durabilidad. Para un buen resultado requiere de la medición de lotes compuestos de 6 puntos de medición. (SIA 261/1 – Anexo E (2003, 2013): “Permeabilidad al Aire en Obra ”.) (CONTRUTECHNIK , 2015).

Imagen N.º 20: Proceso Máquina PermeaTORR



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

Imagen N.º 21: Equipo PermeaTORR



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

Imagen N.º 22: Equipo PermeaTORR



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

11. Ensayo de adherencia Pull Off.

Este ensaye determina la fuerza de tracción, trasmite la tensión triaxial directa con un equipo portátil a un disco previamente adherido al concreto; siempre después de transcurrido un tiempo suficiente para que se haya curado la resina o material adhesivo usado en la fijación del disco.

Este ensaye (semi destructivo) se realiza bajo la norma ASTM D – 7234-21 “Pull off”, es uno de los métodos de ensayo a tensión que, a diferencia de otros métodos para ensayar la adherencia, puede realizarse tanto en laboratorio, como “in situ”; basta solamente disponer de una cara expuesta del elemento a ensayar, siendo aplicable a vigas, losas u otro elemento. (CONCRETERepar , 2015).

Imagen N° 23: Equipo Pull Off



Fuente: Concretos (2020), Recuperado de www.concrete-repar.es

3.9.2 Tabla de aplicación de ensayos de los END en Puentes.

El siguiente cuadro describe el deterioro de la estructura mediante una metodología integral llamada CTK-ConDiag.

Tabla N.º 2: Metodología Integral de deterioro

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 ⁻¹⁶ m ²	< 0.010	0.010-1.0	1-10	> 10

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

Tabla N.º 3: Metodología Integral Exposición Ambiental

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		Variable entre húmedo y seco	3
XD1	Cloruros Sales Descongelantes	Parcialmente húmedo	2
XD2		Mojado, a veces seco	3
XD3		Variable entre húmedo y seco	4
XS1	Cloruros Agua de Mar	Aire salino	2
XS2		Sumergido	3
XS3		Variable entre húmedo y seco	4
XF1	Hielo/Deshielo	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 Integral CTK-ConDiag, (Ebensperger , CONTRUTECHNIK , 2021)

Tabla N.º 4: Metodología Integral Nivel de deterioro Global Estructura

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,

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

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

3.10 Deterioros.

Los deterioros en los puentes y estructuras son provocados por causas naturales tales como: agentes climáticos, sismos, aluviones, corrosión, escurrimientos a las corrientes de agua como también el desgaste del tránsito vehicular.

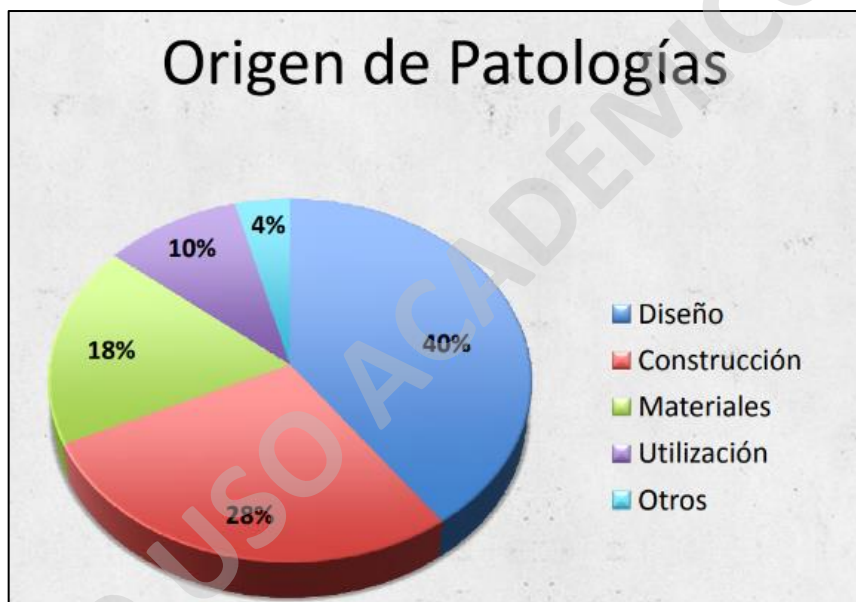
Los escurrimientos naturales comúnmente son provocados por el aumento de las crecidas de los ríos y aluviones, estos provocan graves daños a los puentes y estructuras. En nuestro país es habitual los escurrimientos del tipo torrente, generándose los socavones en torno a las fundaciones, provocando asentamientos que generan grietas y fisuras graves a la estructura.

Los daños estructurales más comunes se provocan en la superestructura del puente, específicamente en el tablero, por el tránsito vehicular, los impactos o choques en alta o baja velocidad destruyen las barandas y parapetos de puentes, la alta circulación provoca desgaste del pavimento, ahuellamiento, fisuras, grietas, alabeos entre otros, de tal manera que dañan las juntas de extensión.

Otra causa importante son los sismos que permanentemente afectan la estructura de los puentes provocando grietas, fisuras y en casos extremos colapso parcial o total de la estructura.

Los agentes climáticos como las variaciones térmicas, la humedad, las lluvias, corrientes marinas, el calor, nieve, estos provocan graves deterioros, los hormigones con falla de grietas sufren corrosión de las armaduras, es por este motivo que se desprenden trozos de hormigón quedando la armadura a la vista. (Dirección de Vialidad Ministerio de Obras Publicas, 2014).

Tabla N.º 5: Origen de Patología- Deterioro



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

Tabla N.º 6: Acciones agresivas sobre el hormigón- deterioro



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

CAPITULO IV: ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS EN EL PUENTE YELCHO

Este capítulo en extenso tiene como fundamento un detallado informe técnico realizado en la estructura de hormigón del Puente Yelcho, que me fue facilitado por su autor y gestor el Señor Rodolfo Jeria Henríquez quien se desempeña profesionalmente como jefe de la Unidad Regional Laboratorio y Gestión de Calidad, Departamento de Vialidad Región de los Lagos, Ministerio de Obras Públicas, dirección electrónica Rodolfo.jeria@mop.gov.cl. Es menester y de urgencia dar los créditos que le corresponden en cuanto gran parte de este capítulo está basado en su informe, entendiendo que para el objeto de esta tesis entregar el contenido en su integridad, me pareció esencial para dar cuenta de la realización práctica de una serie de ensayos en una obra en Chile realizada por profesionales nacionales que ilustran e informan con certera exactitud y veracidad acerca de la cualidad y calidad de la aplicación de una serie de ensayos no destructivos. Si bien consideré usar algunos elementos de forma referencial, dada las características de lo observado en las páginas que tuve acceso me resultó evidente que era mejor mantener su integridad y solo adicionar elementos de análisis, de redacción y de orden.

4.1 Descripción del puente Yelcho

El puente Yelcho es un puente de tipo atirantado, construido en Chile, específicamente en la X Región de los Lagos. Su ubicación se encuentra en la provincia de Palena, en el kilómetro 246 de la ruta 7, a unos 47 km al sur de Chaitén y unos 280 km de Puerto Montt. Sus coordenadas son -43.17° y -72.43° , y se ubica en la zona cordillerana, en el nacimiento del río Yelcho.

La construcción del puente Yelcho, se inició en 1989, bajo la necesidad de generar conectividad vía terrestre en el camino longitudinal Austral (ruta 7), para reducir la dependencia que existe entre los transbordadores y permitir un tránsito vehicular lineal e interrumpido.

Su principal función es acercar el transporte entre zonas aisladas que hasta la década 1980, se identificaban como inexploradas, dada la dificultad para acceder a ellas. Dada la problemática, la idea inicial se atribuye a la necesidad de conectar rutas existentes, que de pronto, generaría diversos beneficios a localidades rurales, a través de un aumento económico y poblacional.

El puente Yelcho posee una longitud total de 250 metros, con un tramo central y dos tramos laterales, su materialidad es de hormigón armado y es sujeto por tirantes de acero. La envergadura de la obra, significó el apremio ingenieril al ser el primer puente en Chile con características estructurales superiores, que conlleva el método de voladizos sucesivos en su magnitud estructural, aplicando nuevas tecnologías en su ejecución. El proyecto fue diseñado por la empresa Diwidag, de Alemania, y construido por la empresa constructora nacional Sical Ltda.

Se emplaza sobre la desembocadura del lago Yelcho, que da origen al río del mismo nombre, la cual corresponde a una zona montañosa, y dada su condición geológica, presenta fiordos y canales, dándole características insulares e irregulares a través de su territorio.

El clima tiene características térmicas homogéneas, con lógicas variaciones impuestas por la altura y la cercanía del mar o grandes lagos. En la región se pueden distinguir dos tipos de climatización: Templado lluvioso con influencia Mediterránea y Templado frío de Costa Occidental. Las precipitaciones anuales promedios presentes en las localidades cercanas son entre 2.000 a 3.000 mm.

Debido a la zona geográfica donde se ubica este puente y las condiciones climáticas de dicha zona, su estructura se ve expuesta a agentes climáticos como vientos, lluvias, granizos y nieve, los cuales pueden provocar deterioros que, si no son estudiados y solucionados a tiempo, se verían afectadas las características estructurales de este puente, disminuyendo su vida útil estimada (DIRECCION DE VIAVILIDAD MOP).

Imagen N.º 24: Puente Yelch, Ruta 7, Región de los Lagos

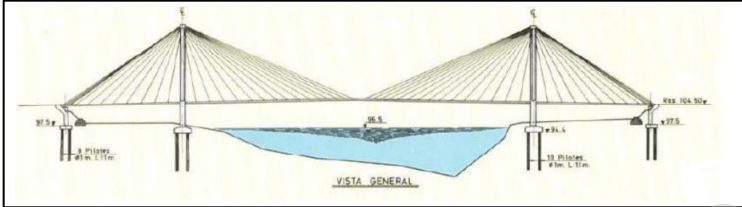


Fuente: Archivo Área de Hormigones – LNV (2018).

4.2 Características de Estructura.

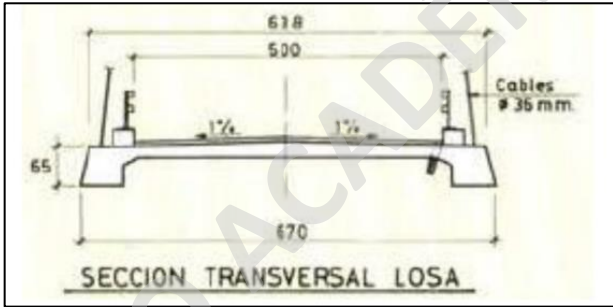
- Tipo de puente: Atirantado.
 - Longitud: 250 mts.
 - Tramos: Un tramo central de 150 mts. y dos tramos laterales de 50 mts. cada uno.
 - Calzada: 5 mts. de ancho con losa de hormigón.
 - Infraestructura: Fundaciones basadas en pilotes in situ de 1 mt de diámetro y 11 mts. de longitud, con elevaciones y torres de hormigón armado de 42 mts. de altura aproximadamente (DIRECCION DE VIALIDAD MOP , 2014).
-
- La resistencia cilíndrica especificada a los 28 días son:
 - Pilotes: 240 kg/cm²
 - Fundaciones y estribos: 300 kg/cm²
 - Torres: 320 kg/cm²
 - Superestructura: 320 kg/cm²

Imagen N.º 25: Vista general diseño puente Yelcho



Fuente: Reyes, R. & Yáñez, B. (2014)

Imagen N.º 26: Vista sección transversal de la losa



Fuente: Reyes, R. & Yáñez, B. (2014)

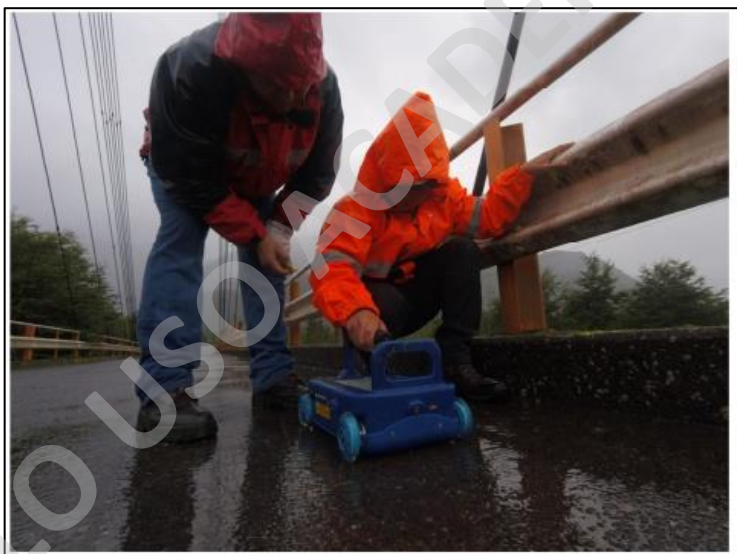
4.3 Desarrollo de las mediciones no destructivas al hormigón armado del Puente Yelcho.

Para la ejecución de los ensayos realizados a la estructura general del puente Yelcho fueron necesarios implementar una serie de equipos y soluciones químicas, los cuales se identifican a continuación:

1. Equipo de Permeabilidad al Aire Torrent de la marca Suiza Proceq, permite determinar el coeficiente de permeabilidad del hormigón y categorizarlo de acuerdo a su grado de porosidad.
2. Martillo Schmidt (Marca Proceq), el cual relaciona la dureza superficial del hormigón con su resistencia.
3. Equipo Canin+ de la marca Suiza Proceq, este equipo mide el potencial de corrosión que presentan las enfierraduras del hormigón armado.
4. Para el ensayo de carbonatación se utiliza una solución de fenoltaleína diluida con alcohol y agua destilada.

5. Pistola Windsor de la marca Norteamericana James Instruments, esta mide la resistencia del hormigón a la penetración de una sonda de acero.
6. Instrumento Resipod de la marca Suiza Proceq, este mide la resistividad eléctrica del hormigón.
7. Geo Radar de la marca Estadounidense Us Radar Inc. Este equipo se utiliza para la detección de enfierraduras y medición de recubrimiento, con una profundidad de medición máxima de 1,5 mts.
8. Profometer Proceq, este equipo al igual que el Geo Radar se utiliza para la localización de barras de acero y medir su recubrimiento, pero con una profundidad máxima de medición de 150 mm.
9. Generador eléctrico marca Flowmak, utilizado en el lugar de las mediciones.

Imagen N.º 27: Detección de enfierraduras con Geo Radar



Fuente: Archivo Área de Hormigones - LNV.

4.4 Los ensayos realizados a la estructura del puente Yelcho fueron los siguientes:

1. Permeabilidad al Aire del hormigón.

La permeabilidad al aire es medida con el equipo Torrent de la marca Proceq, este equipo proporciona una medición rápida, fiable y no destructiva de la permeabilidad al aire de estructuras de hormigón, según el método descrito en la norma Suiza SIA 262/1.

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

Con el valor de kT se podrá conocer la calidad del hormigón como se muestra en la tabla N.º 7.

Tabla N.º 7: 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: DURAR (2000)

Para la determinación puntual del lugar para el ensayo de Permeabilidad se requiere utilizar el detector de enfierradura ó georradar para realizar el ensayo solo hormigón, sin la influencia de la armadura.

Por sector auscultado se realizó un mínimo de 2 mediciones de permeabilidad en cada superficie del Puente, con el fin de tener la mayor cantidad de datos que nos permita categorizar la calidad del hormigón.

Imagen N.º 28: Ensayo Permeabilidad Tablero parte inferior Puente Yelcho



Fuente: Archivo Área de Hormigones - LNV.

Tabla N.º 8: Resumen de los resultados de los ensayos de Permeabilidad del Aire

Superficie	Descripción	Penetración Promedio L (mm) Promedio	Coefficiente Permeabilidad kT (10^{-10} m^2) Promedio	Categoría del Hormigón	Permeabilidad
Nº 1	Cepa Sur, Cara Sureste (Hacia el lago)	26	0.050	Bueno	Baja
Nº 2	Cepa Sur, Cara Suroeste (Hacia el río)	35	0.580	Normal	Moderada
Nº 3	Estribo Sur	13	0.034	Bueno	Baja
Nº 4	Tablero parte inferior	21	0.068	Bueno	Baja
Nº 5	Torre Sur, Cara Suroeste (Hacia el río)	31	0.230	Normal	Moderada
Nº 6	Torre Sur, Cara Sureste (Hacia el lago)	11	0.230	Bueno	Baja
Nº 7	Torre Norte, Cara Noroeste (Hacia el río)	23	0.091	Bueno	Baja
Nº 8	Torre Norte, Cara Noreste (Hacia el lago)	49	0.760	Normal	Moderada
Nº 9	Cepa Norte, Cara Noroeste (Hacia el río)	49	0.850	Normal	Moderada
Nº 10	Cepa Norte, Cara Noreste (Hacia el lago)	40	0.320	Normal	Moderada

Fuente: LVN (2018)

Imagen N.º 29: Ensayo de Permeabilidad



Fuente: Archivo Área de Hormigones – LNV (2018)

2. Carbonatación.

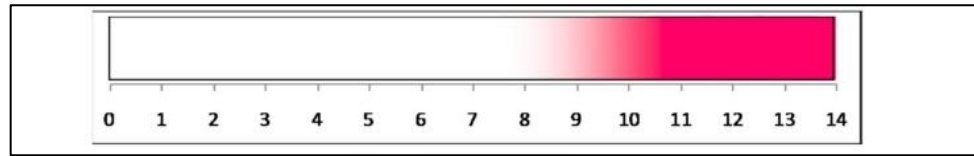
La Carbonatación es la reducción de la alcalinidad normal del hormigón por efecto del CO_2 presente en el ambiente que lo rodea. (pH normal del hormigón entre 12 y 14).

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.

La determinación del avance de la Carbonatación en el hormigón es mediante el método de vía húmeda con solución de indicador acido-base, específicamente fenolftaleína.

El método consiste en realizar una perforación hasta llegar a la enfierradura, por lo que se requiere utilizar el detector de enfierradura ó georadar para realizar el ensayo. Generalmente se utiliza la misma perforación para ejecutar el ensayo de potencial de corrosión. Adicionalmente la perforación servirá para determinar cuál es el recubrimiento del hormigón. Posteriormente realizada la perforación se rocía la solución de fenolftaleína, si se torna un color violeta indica que el pH se encuentra entre 9 y 14 (sin carbonatación), en cambio si no torna de ningún color, indica que el pH está bajo 8,5 (hormigón carbonatado).

Imagen N° 30: Escala de pH según color post aplicación de fenolftaleína



Fuente: DURAR (2000).

Imagen N° 31: Ensayo de Carbonatación en losa



Fuente: Archivo Área de Hormigones – LNV(2018)

Se realizaron mediciones de carbonatación a distintos sectores y elementos del Puente Yelcho, el resumen de los resultados y la clasificación de las superficies se establecen en la Tabla N° 9 que se muestra a continuación:

Tabla N.º 9:Resumen de resultados 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: LVN (2018)

La clasificación de las superficies es la siguiente:

- Superficie N° 1: Cepa Sur, Cara Sureste (Hacia el lago).
- Superficie N° 2: Cepa Sur, Cara Suroeste (Hacia el río).
- **Superficie N° 3: Losa, punto central.**
- **Superficie N° 4: Losa, punto cercano a torre Sur.**
- **Superficie N° 5: Losa, Punto cercano a torre Norte.**
- Superficie N° 6: Torre Norte, Cara Noroeste (Hacia el río).
- Superficie N° 7: Torre Sur, Cara Suroeste (Hacia el río).

A continuación, se muestran algunas fotografías del ensayo anteriormente descrito:

Imagen N.º 32: Ensayo Carbonatación Tablero del Puente Yelcho



Fuente: Archivo Área de Hormigones – LNV (2018)

Imagen N.º 33: Ensayo de Carbonatación Sector Sur



Fuente: Archivo Área de Hormigones – LNV (2018)

Cabe destacar que una vez finalizados los ensayos de Carbonatación y Potencial de Corrosión se procedió inmediatamente a tapar las perforaciones con mortero de alta resistencia y puente de adherencia, como muestra la imagen a continuación:

Imagen N° 34: Perforaciones al Tablero del Puente Yelcho



Fuente: Archivo Área de Hormigones – LNV (2018)

3. Potencial de Corrosión.

La idea básica de la medición del potencial de corrosión consiste en medir los potenciales en la superficie del hormigón para lograr una imagen característica del estado de la corrosión de la superficie de acero dentro del hormigón.

Potencial Eléctrico: Es el trabajo que debe realizar un campo electrostático para mover una carga positiva desde un punto hasta otro punto de referencia.

El potencial que se puede medir en la superficie se vuelve más positivo con un recubrimiento del hormigón mayor, mientras que, si la enfierradura tiene un recubrimiento menor, el potencial se vuelve más negativo.

Las magnitudes típicas para el potencial de corrosión se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla N.º 10: 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).

Este ensayo se efectúa con un equipo llamado Canin + de la marca Suiza Proceq, y efectúa mapas de potencial de corrosión expresados en mV, siendo las superficies con valores negativos las más propensas a corrosión, mientras que los valores más positivos presentan menor riesgo de corrosión.

Dicho equipo tiene 3 formas de medición: la primera es de forma puntual, esto mediante un electrodo de barra que debe ubicarse en la intersección de las enfierraduras, la segunda forma de medición es mediante el electrodo de una rueda que realiza un mapa de barrido de hasta 25 mts de largo y 15 cm de ancho, y finalmente la tercera forma de medición es mediante el electrodo de 4 ruedas, abarcando una longitud de medición máxima de 25 mts de largo y 60 cm de ancho. Este último fue utilizado para medir los mapas de potencial de corrosión del tablero del Puente Yelcho, mientras que el electrodo de una rueda fue utilizado para medir las torres, cepas y estribos de dicha estructura.

Este equipo debe ser conectado a la armadura de la estructura, por lo cual es necesario utilizar el detector de enfierradura ó georadar para su ubicación y realizar la perforación del hormigón, tal como se muestra en la figura.

Imagen N.º 35: Potencial de Corrosión en tablero del Puente Yelcho



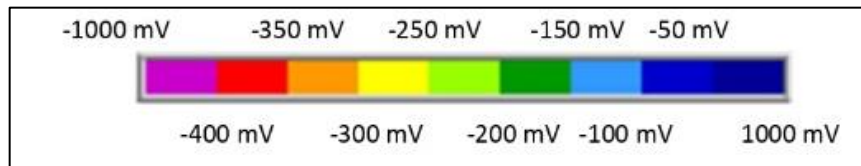
Fuente: Archivo Área de Hormigones – LNV (2018)

Los mapas de potencial de corrosión tienden a señalar distintas tonalidades que se relacionan con los valores obtenidos por el equipo Canin +, siendo:

- Los valores de potencial (mV) más altos, los que representan menos riesgo de corrosión en las armaduras.
- Mientras que los valores de (mV) más bajos, representan mayor riesgo de corrosión en las armaduras.

A continuación, se muestra la escala de colores según el potencial de corrosión medido.

Tabla N.º 11: Escala de colores- Potencial de Corrosión



Fuente: Archivo Área de Hormigones – LNV (2018)

Se realizaron mediciones de potencial de corrosión a distintos sectores de la estructura del puente.

A continuación, se muestran los mapas de potencial de corrosión de cada una de las zonas estudiadas.

Imagen N.º 36: Potencial de Corrosión en cepa sur



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

Imagen N.º 37: Potencial de Corrosión tablero (punto central)



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

Imagen N.º 38: Potencial corrosión tablero (punto central sur)



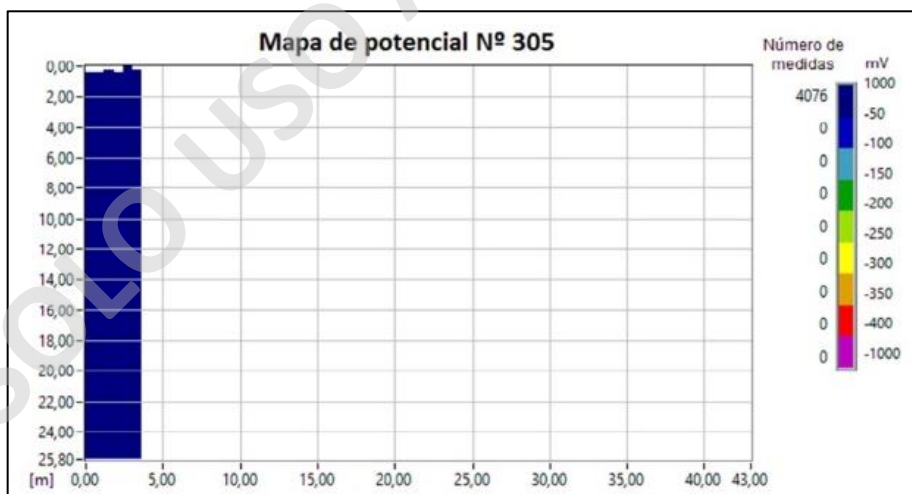
Fuente: Equipo Diagnóstico: No presentan corrosión las armaduras (2018).

Imagen N.º 39: Potencial de corrosión tablero, (punto sur 28m hacia el sur)



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

Imagen N.º 40: Potencial de Corrosión tablero, (desde punto sur 25m hacia el norte).



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

Imagen N.º 41: Potencial de corrosión tablero, (desde punto norte 26m hacia el sur)



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

Imagen N.º 42: Potencial de corrosión tablero, (desde punto 25m hacia el norte).



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

Imagen N.º 43: Potencial de corrosión torre norte, (cara noroeste)



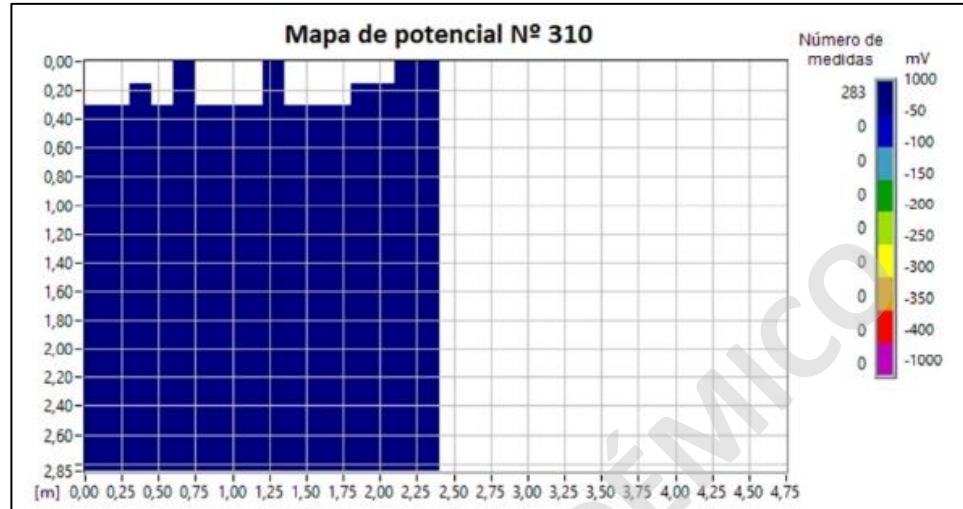
Fuente: Equipo Diagnóstico - No presentan corrosión las armaduras (2018).

Imagen N.º 44: Potencial de Corrosión cepa norte, (cara noroeste expuesta la lago).



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

Imagen N.º 45: Potencial de Corrosión torre sur, (cara sureste expuesta al lago).



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

Imagen N.º 46: Potencial de Corrosión torre sur, (cara expuesta al río).



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

Imagen N.º 47: Potencial de Corrosión torre norte, (cara noroeste expuesta al río).



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

Como se mencionó anteriormente una vez finalizados el ensayo de Potencial de Corrosión se procedió inmediatamente a tapar las perforaciones con mortero de alta resistencia y puente de adherencia, como muestra la imagen a continuación:

Imagen N.º 48: Ejecución de la reparación a perforación realizada al tablero del Puente.



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

4. Índice Esclerométrico mediante Martillo Schmidt.

El ensayo esclerométrico o índice de rebote mediante esclerómetro es una prueba no destructiva de la resistencia del hormigón. La diseñó y desarrolló el ingeniero suizo Ernest Schmidt en los años 40, patentándolo como martillo SCHMIDT, siendo su valor “R” (índice de rebote) una unidad adimensional que relaciona la dureza superficial del hormigón con su resistencia de modo experimental, proporcionando elementos para la evaluación de la calidad del mismo en su estado endurecido.

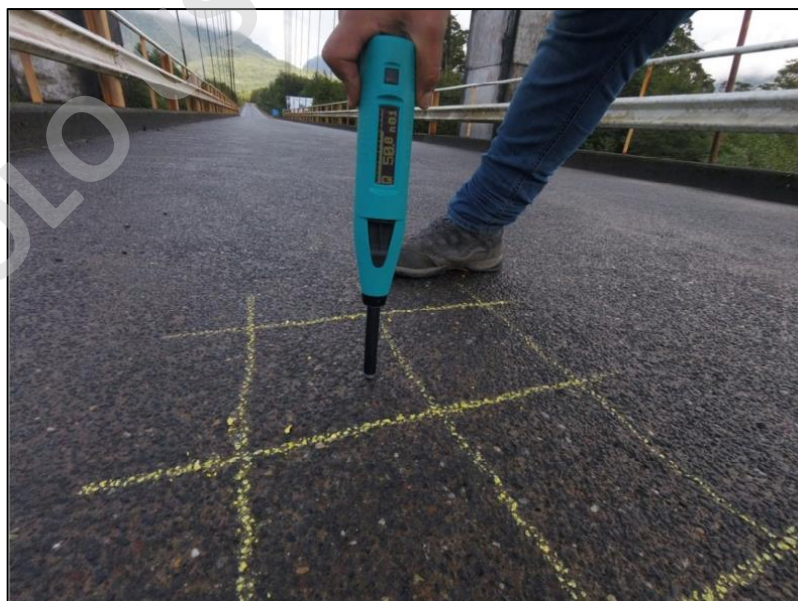
El Martillo Schmidt utilizado en la medición del Puente Yelcho es de la marca Suiza Proceq, idéntico al que se muestra a continuación:

Imagen N.º 49: Martillo Schmidt Proceq.



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

Imagen N.º 50: Medición de Índice Esclerométrico al tablero de Puente Yelcho.



Fuente: Archivo Área de Hormigones – LNV (2018)

Para la realización del ensayo del índice esclerométrico se requiere utilizar el detector de enfierradura ó georadar para realizar el ensayo solo hormigón, sin la influencia de la armadura, ya que realizar el ensayo sobre la armadura se pueden esperar valores de índice más altos y no ser representativos del hormigón.

Se realizaron mediciones de índice esclerométrico a distintos sectores del Puente Yelcho, el resumen de los resultados y la clasificación de las superficies se establecen en la Tabla N° 12 que se muestra a continuación:

Tabla N° 12: 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)

Cabe mencionar que el método del índice esclerométrico no sustituye el método de extracción de testigos y posterior ensaye a compresión, sino como un método preliminar, cualitativo de la calidad y homogeneidad del hormigón.

5. Resistencia a la penetración mediante Pistola Windsor.

El sistema de sonda Windsor está diseñado para medir en terreno la resistencia a la compresión del hormigón. Este ensayo no es destructivo y puede utilizarse en superficies tanto horizontales como verticales, siempre que la sonda este perpendicular o en ángulo recto con la superficie a medir.

La sonda está hecha de una aleación de acero endurecido, esta sonda se impulsa en el hormigón a una velocidad alta por medio de una carga explosiva y posteriormente se mide la penetración de esta. La resistencia a la compresión del hormigón tiene una relación directa con la resistencia a penetración del agregado y de la matriz de cemento: esto se determina por la distancia necesaria para absorber la cantidad específica de energía cinética de la sonda. La resistencia a la compresión del hormigón tiene una relación empírica con la penetración que varía según la dureza del agregado. Esta relación es reconocida mediante la determinación de la escala Moh de dureza del agregado y aplicando un factor de corrección a la penetración.

Para la realización del ensayo se requiere utilizar el detector de enfierradura ó georadar para realizar el ensayo solo sobre el hormigón, sin la influencia de la armadura, ya que realizar el ensayo sobre la armadura se pueden alterar los valores y no ser representativos de la calidad del hormigón.

Se realizaron mediciones de resistencia a la penetración las 4 torres del Puente Yelcho, el resumen de los resultados y la clasificación de las superficies se establecen en la Tabla N° 13 que se muestra a continuación:

Tabla N° 13: Resultados a la Penetración Puente Yelcho

Nº	Superficie	Resistencia (Mpa)	Penetración (mm)
1	Torre Norte, Cara Noroeste (Hacia el rio)	23.1 Mpa	44,3 mm
2	Torre Norte, Cara Noreste (Hacia el lago)	22.8 Mpa	44,1 mm
3	Torre Sur, Cara Sureste (Hacia el lago)	19.76 Mpa	42,7 mm
4	Torre Sur, Cara Suroeste (Hacia el rio)	26.15 Mpa	45,7 mm

Fuente: LNV (2018)

Imagen N.º 51: Medición de resistencia a la Penetración Torre sur Puente Yelcho.

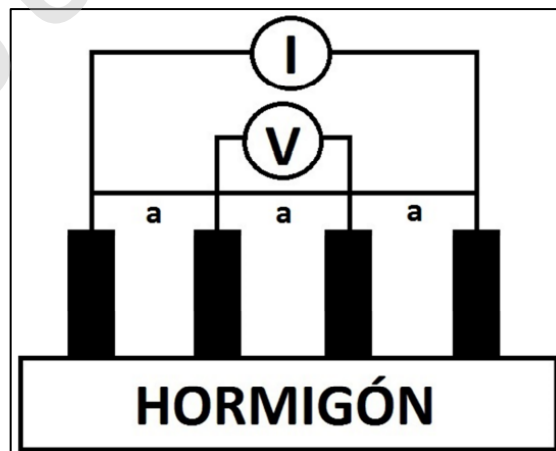


Fuente: Archivo Área de Hormigones – LNV(2018).

6. Resistividad eléctrica del hormigón.

La resistividad eléctrica del puente Yelcho fue medida con el equipo Resipod de la marca Suiza Proceq, este equipo es una sonda Wenner 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.

Imagen N° 52: Funcionamiento Sonda Wenner.



Fuente: Archivo Área de Hormigones - LNV

Resistividad: Es la resistencia eléctrica específica de un determinado material. Se especifica con el símbolo (ρ).

Según el manual del equipo Resipod - Proceq:

- Si $\rho \geq 12 \text{ k}\Omega\text{cm}$ es probable que NO exista corrosión.
- Si $8 < \rho < 12 \text{ k}\Omega\text{cm}$ es posible que exista corrosión.
- Si $\rho \leq 8 \text{ k}\Omega\text{cm}$ es muy probable que exista corrosión.

Según el manual DURAR (Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado):

- Si $\rho \geq 200 \text{ k}\Omega\text{cm}$ existe poco riesgo de corrosión.
- Si $200 < \rho < 10 \text{ k}\Omega\text{cm}$ existe un riesgo moderado de corrosión.
- Si $\rho \leq 10 \text{ k}\Omega\text{cm}$ existe un alto riesgo de corrosión.

Esta medición basa su principio en la Ley de Ohm, la cual afirma que la corriente I a través de un conductor dado es directamente proporcional a la diferencia de potencial V entre sus puntos extremos.

La Ley de Ohm permite definir la Resistencia o Resistividad (R) y escribir las siguientes formas de la ley:

$$I = V/R$$

$$V = I \cdot R$$

$$R = V/I$$

Dónde:

I = Corriente V = Diferencia de potencial R
= Resistencia o Resistividad

Cuando la resistividad eléctrica del hormigón:

- **Es baja**, indica que es un buen conductor, por lo cual el índice de corrosión aumenta (potenciales más negativos).
- **Es alta**, indica que el material es mal conductor, por lo cual el índice de corrosión disminuye. (potenciales más positivos).

Imagen N.º 53: Mediciones de resistividad al Puente Yelcho.



Fuente: Archivo Área de Hormigones – LNV (2018)

Se realizaron mediciones de resistividad a los distintos elementos del Puente Yelcho, estos resultados se encuentran en el resumen de los resultados se encuentra en la Tabla N.º 14 que se muestra a continuación:

Tabla N.º 14: Resultados Resistividad Puente Yelcho

Tramo o Sector	Promedio de la medición (kΩcm)	Observaciones
1	291	La resistividad promedio de la superficie n° 1 es 291 kΩcm, según el Manual Durar esto representa Poco Riesgo de Corrosión .
2	392	La resistividad promedio de la superficie n° 2 es 392 kΩcm, según el Manual Durar esto representa Poco Riesgo de Corrosión .
3	128	La resistividad promedio de la superficie n° 3 es 128 kΩcm, según el Manual Durar esto representa Riesgo Moderado de Corrosión .
4	239	La resistividad promedio de la superficie n° 4 es 239 kΩcm, según el Manual Durar esto representa Poco Riesgo de Corrosión .
5	211	La resistividad promedio de la superficie n° 5 es 211 kΩcm, según el Manual Durar esto representa Poco Riesgo de Corrosión .
6	317	La resistividad promedio de la superficie n° 6 es 317 kΩcm, según el Manual Durar esto representa Poco Riesgo de Corrosión .
7	284	La resistividad promedio de la superficie n° 7 es 284 kΩcm, según el Manual Durar esto representa Poco Riesgo de Corrosión .
8	211	La resistividad promedio de la superficie n° 8 es 211 kΩcm, según el Manual Durar esto representa Poco Riesgo de Corrosión .
9	324	La resistividad promedio de la superficie n° 9 es 324 kΩcm, según el Manual Durar esto representa Poco Riesgo de Corrosión .
10	321	La resistividad promedio de la superficie n° 10 es 321 kΩcm, según el Manual Durar esto representa Poco Riesgo de Corrosión .
11	323	La resistividad promedio de la superficie n° 11 es 323 kΩcm, según el Manual Durar esto representa Poco Riesgo de Corrosión .
12	362	La resistividad promedio de la superficie n° 12 es 362 kΩcm, según el Manual Durar esto representa Poco Riesgo de Corrosión .

4.5 Evaluación.

Los ensayos no destructivos realizados al Hormigón Armado, a los distintos elementos del Puente Yelcho son de carácter cualitativo, cuya finalidad es determinar el estado de una estructura que tiene 32 años de uso y que además está expuesta a agentes climáticos agresivos y determinantes.

A continuación, se realizará una evaluación de la información recogida de cada uno de los ensayos realizados a los distintos elementos que conforman el Puente Yelcho:

- **Permeabilidad del Hormigón:** Un parámetro importantísimo para determinar la durabilidad de una estructura de Hormigón armado es la permeabilidad, por tanto, el recubrimiento juega un papel primordial manteniendo y protegiendo la armadura de la estructura. Analizando los resultados de coeficiente de permeabilidad obtenidos en el ensayo de Permeabilidad al Aire, si se consideran como un total de un 100 % de los distintos elementos medidos del puente Yelcho, podemos decir porcentualmente que:
 - 50% presentan permeabilidad Baja, categorizando el hormigón como Bueno.
 - 50% presenta permeabilidad Moderada, categorizando el hormigón como Normal.
- **Carbonatación del Hormigón:** De los resultados obtenidos correspondientes a las ubicaciones informadas y de acuerdo al método de ensayo de vía húmeda, se establece categóricamente que ningún elemento medido del puente Yelcho presenta Carbonatación. Por lo tanto, el hormigón en su ambiente altamente alcalino sigue protegiendo la armadura de la estructura del Puente.
- **Potencial de Corrosión del Hormigón:** De los resultados obtenidos de los ensayos realizados correspondientes a las ubicaciones informadas, se establece categóricamente, mediante los mapas de potencial de corrosión obtenidos de los distintos elementos de la estructura, que no hay corrosión presente en la armadura del puente Yelcho.
- **Índice Esclerométrico del Hormigón:** Cabe mencionar que el método del índice esclerométrico no sustituye el método de extracción de testigos y posterior ensaye a compresión, sino como un método preliminar, cualitativo de la calidad y homogeneidad del hormigón. De los resultados obtenidos de los ensayos realizados correspondientes a las ubicaciones informadas se tiene:

- **Tablero:** La superficie de rodadura (Ensayos N°7, N°8 y N°9) se observa un hormigón homogéneo con un índice esclerométrico más bajo respecto al ensayo N°4 del tablero que se realizó por debajo. Esto debido a que la superficie de rodadura del puente está expuesta directamente a los agentes climáticos, lo que afecta este parámetro.
- Torres Sur y Norte: Visualmente se observa un deterioro superficial en ambas torres, especialmente las caras que tienen orientación Este (Lado Lago). Esto se ve reflejado a través de los ensayos N°6 y N°11 que presentan índices esclerométricos más bajos respecto de los ensayos N°5 y N°10 que tienen orientación Oeste (Hacia el Río). Esto debido a que esta superficie con deterioro superficial con orientación Este está expuesta mayormente a los agentes climáticos, el viento, lluvia granizo y nieve, que castigan en esta dirección la estructura del puente.
- **Resistencia a la Penetración mediante Pistola Windsor:** El presente método, así como el índice esclerométrico 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).
 - Torres Sur y Norte: Visualmente se observa un deterioro superficial en ambas torres, especialmente las caras que tienen orientación Este (Lado Lago). Esto se ve reflejado en los ensayos N°2 y N°3 que presentan Resistencias menores respecto de los ensayos N°1 y N°4 que tienen orientación Oeste (Hacia el Río). Esto debido a que esta superficie con deterioro superficial con orientación Este está expuesta mayormente a los agentes climáticos, el viento, lluvia granizo y nieve, que castigan en esta dirección la estructura.
- **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.
 - Sin embargo, se mantiene la tendencia respecto a la orientación geográfica (**Este**) del puente, donde en los ensayos N°1, N°5, N°7 y N°8 presentan valores más bajos respecto de los realizados por las superficies con orientación Oeste.

4.6 Resumen y Recomendación.

Resultados 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 objetando ningún elemento de la estructura que se encuentra con las armaduras corroídas, y tampoco se presenta un riesgo de alta corrosión, sin embargo, considerando el análisis recién expuesto sobre las superficies de hormigón con orientación geográfica hacia el Este, los distintos ensayos presentan una tendencia a índices más bajos debido a que son arremetidas con mayor fuerza por los agente climáticos predominantes de la zona, se sugiere tener presente y considerar como primera medida preventiva de conservación de la estructura del Puente Yelcho las zonas mencionadas con anterioridad.

Resulta de vital importancia cumplir con todas las recomendaciones y especificaciones declaradas en este ensayo a fin de respetar las solicitudes requeridas, por lo general, para obtener una resistencia estructural en su amplia longitudinalidad.

Es necesario usar una relación uniforme que permita una óptima distribución de cargas de peso propio y cargas móviles a través de toda la estructura soportante. Es por esto, que las acciones de mantención y conservación del Hormigón Armado sobre la superficie del pavimento consisten en el sellado de grietas, de diminutivo grosor, y el aumento de capas finas a base de lechadas asfálticas que regeneran las características superficiales y a la vez, mejoran la impermeabilidad de las losas como estructura soportante a través de todo su desplazamiento. Esto busca mejorar el espacio de uso, vinculado al traspaso de cargas de Norte a Sur, mediante el transporte terrestre. Por consecuencia, el Hormigón armado dañado podría, eventualmente, generar notables barreras accesibles en su desplazamiento, y posteriormente, a la estructura central del puente. Esto siempre y cuando el pavimento no se presente una notable disminución de sus características fundamentales –estructurales- para soportar las cargas, ya que en este caso es necesario eliminar el pavimento existente y extender una nueva capa asfáltica.

Finalmente, los ensayos realizados condicionan el estado del puente, que genera una recepción a cerca de su actual estado de conservación, reparación y/o reforzamiento. Se pretende que los puentes cuenten con un nivel de servicios que se acerque a lo más posible a su condición estructural inicial, es decir, que cuenta con las condiciones estructurales y de confort necesarias para un buen y seguro uso por parte de los usuarios. Si bien, el puente Yelcho se ubica en una zona que tiene condiciones completamente adversas, su imperativa magnitud genera estabilidad estructural y conducción de cargas de alta resistencia, siendo de vital importancia hacia localidades rurales e interconexión en el territorio nacional.

4.7 Nuevas tecnologías de actualización de END relacionadas con las ensayadas en su tiempo en el puente Yelcho.

Los procesos tecnológicos avanzan en continuo desarrollo, modificando paulatinamente no solo los materiales objeto de ensayos si no también los equipos instrumentales, es por esto, que al final de este capítulo y en base a los actuales conocimientos y adelantos hago una función de adecuación temporal al sustituir como posibles ensayos los realizados por otros de actual adelanto, eliminar otro por no conducente, además de incorporar otro de alto impacto potencial en el nivel de información proveída.

Como se observó en la descripción de los ensayos realizados en el Puente Yelcho, se utilizaron el ensayo de Potencial de Corrosión al Hormigón y el de Resistencia Eléctrica, para el primero se utilizó el equipo Canin de la marca Proceq y para el segundo el equipo Resipod de la misma marca.

Estos en su uso suponen un elevado costo así como un tiempo de ejecución considerable ante lo cual a manera didáctica con la tecnología a disposición actual los sustituiría por el ensayo denominado Niveles de Corrosión Icor, que hacen uso de un equipo Giatec Icor que es de forma compacta, de muy fácil manejo y transporte, desarrollado con alta tecnología considerándose un equipo de última generación el cual permite hacer una estimación precisa de la velocidad de corrosión de las barras de acero insertas en el hormigón, este equipo realiza es un ensayo no invasivo total , ya que, no es necesario conectar el dispositivo a la barra de acero, en comparación del ensayo “potencial de corrosión” que se realizó en el puente Yelcho, que allí se debió perforar para conectarse físicamente y llegar a la armadura para pasar corriente.

Icor es un equipo con sensores de alta precisión que nos entrega un mapeo de la tasa de corrosión de la barra de refuerzo, resistencia eléctrica real in situ del hormigón y temperatura ambiente y humedad relativa.

Por otra parte, el ensayo que se realizó en el puente Yelcho “Resistencia a la Penetración del Hormigón - Pistola Windsor” es un ensayo a mi parecer equivoco en su utilidad , ya que este ensayo se realiza para optimizar su uso en hormigones nuevos o frescos, normalmente se utiliza en shotcrete y debería estar entre 1 a 5 MPa, y en relación al puente Yelcho es una estructura con 30 años de antigüedad con un hormigón endurecido de valores alrededor de los 25 MPa, por lo tanto este ensayo no resulta ser el más adecuado. Y en relación a lo anterior tomando en cuenta que el puente Yelcho es una estructura con un hormigón envejecido, propongo analizar su estructura con el ensayo, “Radiografía PS1000”, este consiste en la utilización de un escáner de última tecnología Ground Penetration Radar (GPR), este equipo es capaz de detectar nidos, huecos y cavidades que se encuentran ocultos en la estructura. Esta muestra una vista en 3D del interior de las estructuras de hormigón en tiempo real lo cual podemos evaluar in situ.

4.8 Costos actualizados de los ensayos no destructivos realizados en el Puente Yelcho.

Para mejor ilustrar el sentido práctico de lo investigado y en base a ciertos parámetros de costos entregados por la empresa BDL en voz de Rodney Bellido de la Luna, Gerente y fundador, bajo una entrevista personal y comunicación de correos electrónicos en los cuales me facilitó información sobre precios y tecnologías de END que se utilizan en Chile, el cual, puedo analizar los costos reales que se generaron en los trabajos de auscultación del Puente Yelcho.

Tabla N.º 15: 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

A continuación, en la tabla N.º 16, detallaré los precios de END entregados por la empresa de diagnóstico estructural BDL.

Tabla N° 16: 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 en testigo de 1"	30,00
Índice Esclerometrico del Hormigón Martillo Schmidt	30,00
Gastos por traslado	20,00

*10 puntos se analizan con cada ensaye - por 1 jornada de trabajo.

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se realiza una tabla con precios los ensayos recomendados para el análisis del puente Yelcho. (que se muestran de color azul). Tabla N°17.

Tabla N.º 17: 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

*** En color rojos los ensayos que no son necesarios**

*** En color azul - Ensayo que se propone**

Considerar que los precios son más I.V.A.

Fuente: Elaboración Propia

A continuación: ejemplo de cómo sería hoy analizar el puente Yelcho con respecto a los costos con nuevos END.

Tabla N.º 18: 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

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

A partir de esta investigación y su análisis me resultan los siguientes aspectos:

Existe en base a la aproximación metodológica de análisis del tema investigado de que el desarrollo de los END ha posibilitado una amplia gama de tipos de ensayos no destructivos que eran inimaginables en años anteriores, porque han introducido la era de la digitalización extensiva dotando a los equipos con microprocesadores de gran capacidad de almacenamiento y análisis de datos.

Una de las particularidades de las obras de ingeniería moderna en la construcción es el uso de nuevos materiales, estos más allá de su natural complejidad y diversidad plantean un gran desafío, cual es, como detectar los procesos de degradación y deterioro, allí los END pueden ofrecer soluciones de adaptación e innovación pues precisamente es una de sus características principales.

Resulta significativo que los END por sí mismos han provocado un cambio en la forma de enfrentar los desafíos constructivos, transformando la industria, al ofrecer una metodología eficaz y por sobre todo veloz, haciendo que los procesos antes ralentizados por periodos altos de incertidumbre acerca de los estados de las obras hoy prácticamente se han eliminado, teniéndose constantemente informaciones periódicas de las obras.

Necesariamente un desarrollo tecnológico expuesto en esta tesis acarrea dificultades de adaptación académica y profesional, una de ellas es la excesiva especialización que se requiere haciendo que los profesionales del área deban dirigir sus esfuerzos formativos aun tipo de ensayo, porque, estos dada su complejidad requieren su mayor atención. Lo que provoca que el necesario conocimiento general de la materia pueda quedar relegado por unidades específicas restringiendo la necesaria omnicomprensión de un área productiva.

CONCLUSIONES

Atendiendo al proceso industrial extensivo que requieren los países para su desarrollo se debe estar en permanente actualización en especial cuando se trata de obras de ingeniería en la construcción que utilizan nuevos materiales y herramientas tecnológicas.

Sobre aún más cuando estas obras de carácter civil se consideran fundamentales para un país como son las viales, en especial los puentes que funcionan como ejes estructurales para el desarrollo.

Tratándose de obras de uso extensivo y utilidad inestimable como los puentes deben mantenerse óptimos y habilitados, para lo cual existen diversas formas para su estudio y mantenimiento, de las cuales destacan los ensayos en especial los ensayos no destructivos. Estos son áreas técnicas de aplicación práctica que ofrecen un amplio margen de desarrollo y aprecio, al ofrecer un abanico extenso de opciones que permiten mantener la integridad de las obras aun cuando se les someta a variadas pruebas en su materia.

La utilidad de algo está en directa relación con el uso que se le dé y los resultados que se obtengan y los END de acuerdo a lo investigado representan el paso decisivo en la moderna optimización y actualización de los procesos de control con pruebas ensayales, haciéndolos más rápidos en su ejecución, más dúctiles en cuanto a sus opciones, más específicos en sus resultados.

Además en un contexto de realidad profesional ejecutada se puede observar que una aplicación práctica de métodos ensayales no destructivos en específico los realizados a la estructura del puente Yelcho se configuran como un proceso metódico, profesional, extensivo y secuencial que se escribe en un lenguaje técnico y adaptativo a las necesidades que plantea el proyecto, haciendo que las probabilidades previas a los ensayos se transforme en certezas producto de un método científico aplicado, lo cual, hace que un futuro, que muchas obras lo viven en la incertidumbre del que pasara con su consistencia estructural, mediante los END se transforman en evaluaciones efectivas que alertan, previenen e informan del estado de las cosas, asegurando en lo posible se tomen las medidas conservativas que aseguran su permanencia en utilidad en el tiempo.

Los END realizados en tablero del puente Yelcho exponen en sus resultados el alcance exitoso de sus procedimientos de prueba, así como el valor de sus mediciones, dando una visión general de evaluación del estado de conservación de la estructura, que permitió en su tiempo conocer con certidumbre científica de aplicación tecnológica los posibles deterioros que hubiese sufrido.

Mediante estos ensayos no destructivos se captó que, en ciertas áreas expuestas al impacto medio ambiental más agresivo por la orientación de la obra, el deterioro corrosivo presentaba más altas tasas de incidencia en los valores obtenidos que con otro tipo de

mediciones eran imperceptible, que da a concluir que mediante estas pruebas de no destrucción es posible explorar con mayor exactitud los vestigios del deterioro y su progreso de degradación en la materia producida.

Estos ensayos tuvieron un mínimo impacto en la obra manteniendo esta su integridad y su funcionalidad proporcionando datos sectorizados sin que esto significase afectar las distintas zonas ensayadas, lo que me permite concluir que su utilización garantiza variedad de posible área de contacto, sin que esta sufra detrimento alguno.

Los puntos ensayados y sus mediciones han sido fundamentales para el proceso de diagnóstico del estado del puente Yelcho, permitiendo concentrar los esfuerzos de mantenimiento en las zonas que más así lo requieran, cuestión que ha resultado en un exitoso programa de conservación y modernización, haciendo que esta obra con ya más de 30 años de servicio está perfectamente operativa, manteniendo su integridad y usabilidad para la cual fue diseñada en su origen como proyecto.

Un elemento diferenciador y relevante en la selección como ensayo de los no destructivos para la inspección de puentes, es el aspecto de costo, entendiendo como tal el valor asignado por la industria para cada prueba, estos a nivel referencial de acuerdo a los realizados en el puente Yelcho el año 2018 sumaron en su tiempo de acuerdo a la tecnología de equipos a su disposición un costo aproximado a los \$6.500.000 pesos, si estos mismos se realizaran de acuerdo al valor actual pero utilizando los equipos hoy a disposición distintos en tecnología y capacidad a los anteriores el precio de tales ensayos sería aproximadamente de \$5.000.000 de pesos. Entonces vemos que los avances tecnológicos en el campo de los END significan, menos costo y más eficiencia en el análisis.

La posibilidad que aledaño al puente construido, hacer de él una réplica en pequeña escala que pueda ser objeto de ensayos no destructivos sin tener que hacerlos propiamente en la obra mayor, dado lo complejo que a veces esto resulta, sea por la ubicación geográfica de difícil acceso o lo inclemente del clima en su entorno, atendiendo además que el MOP operativamente solo cuenta con dos camiones articulados para tales efectos que no dan abasto para todos los requerimientos de inspección.

Los END merecen una atención más audaz en las políticas viales, teniéndolo como métodos fundamentales para la evaluación sistemática de las obras construidas, dotando de un programa extensivo de adopción de estas nuevas tecnologías.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 7, M. d. (s.f.). *Superestructura y infraestructura (7.201.402)*. Obtenido de file:///C:/Users/Hp/Documents/Nueva%20carpeta/disco%20externo/manual%20de%20carreteras/Volumen_N%C2%B07_Jun.2021.pdf
- AEND, Asociación Española de Ensayos No Destructivos . (2002). *Ensayos No Destructivos Líquidos Penetrantes, Nivel II*.
- AEND. Asociación Española de Ensayos No Destructivos . (2016). *Ensayos No Destructivos Partículas Magnéticas. Nivel 11*.
- Andrade , A., Mosquera , W., & Vanegas, L. (2015). Modelos de crecimiento de grietas por fatiga. *Ciencia e Ingeniería*, 39-48. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/ecei/v9n18/v9n18a06.pdf>
- Asociación Española de Ensayos no Destructivos . (2016). *INTRODUCCION A LOS END*.
- ASTM E1316, N. (pag 5, 2019). E1316, Norma. Obtenido de https://kupdf.net/download/e-1316-terminologia-estandar-para_5cc114ede2b6f56c37c5095a_pdf
- Berganza , A., & Hernandez , O. (2007). *ESTRUCPLAN* . Obtenido de <https://estrucplan.com.ar/ensayos-no-destructivos/>
- Blough, R. (1983). *MORE CONSTRUCTION*. Obtenido de <http://faculty.ce.berkeley.edu/tommelein/BRTMoreConstructionForTheMoney.pdf>
- Canet, J. (2012). *Resistencia de Materiales y Estructurales*. Obtenido de file:///C:/Users/HP/Desktop/ABES%20CAT%20TESIS/Resistencia%20de%20materiales%20y%20estructuras.pdf
- Cano Montoya, M. (2007, pag 34). Elavoración de la Documentación para la Certificación de personal en ensayos no destructivos de Liquidos Penetrantes con Base en las normas ISO 17024 y ASNT CP 189-2021. *Universidad Tecnológica de Pereira Facultad de Ingeniería Mecánica , Risaralda Pereira*(34). Obtenido de <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/1df38cf0-2a5e-4f3f-ac51-47b1e9c3134a/content>
- Carrión Viramontes , F., Lomelí González, M., Quintana Rodríguez, J., & Martinez Madrid , M. (2003). *LA EVALUACIÓN NO DESTRUCTIVA DE MATERIALES ESTRUCTURALES Y PUENTES* .
- Castillo Gonzalez , S., & Inostroza Hernández , M. (pag 9 , 2013). Ensayos No Destructivos Mediante Ultrasonido en Equipos Termicos. 9. Obtenido de file:///C:/Users/HP/Desktop/ABES%20CAT%20TESIS/Castillo_Gonzalez_Sergio.pdf
- Centragolo de Castro , G. (2017). Ensayos no destructivos aplicados a la caracterización de estructuras y materiales de construcción. Obtenido de <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/22429/1/Cet19.pdf>

Chaverri Quirós , O., & Conejo Solis , M. (2017). Radiografía Industrial: Comparación entre el Método tradicional y digital empleando rayos X. *Tecnología en Marcha*, 30, 119-128. Obtenido de file:///C:/Users/HP/Downloads/Radiografia_Industrial_comparacion_entre_el_metodo.pdf

CONCRETERepar . (2015). Obtenido de <https://www.concrete-repar.es/>

CONTRUTECHNIK . (2015). Obtenido de <https://www.construtechnik.cl/>

Cordero S, P. (2014). ELECTROMAGNETISMO. En D. d. Chile. Obtenido de https://www.cec.uchile.cl/cinetica/pcordero/todos/EM_2014b.pdf

Delojo Morcillo , G. (pag 34, 2011). *Inspección Visual Niveles II y III*. FC EDITORIAL.

Delojo Morcillo , G. (2009). *Inspección Visual* .

Delojo Morcillo , G. (pag 40 ,2009). *Inspección Visual*.

Destructivos, A. E. (2016). INTRODUCCION A LOS END. Obtenido de <https://congresomantenimientocanarias.com/wp-content/uploads/2018/11/D-Introducti%C3%B3n-ensayos-no-destructivos.pdf>

Dirección de Vialidad Ministerio de Obras Publicas. (2014). *Mantenimiento Vial* (Vol. 7). Obtenido de https://portal.ondac.com/601/articles-59862_doc_pdf.pdf

DIRECCION DE VIALIDAD MOP . (2014). PUNTE YELCHO. ESTRUCTURAL Y PROCESO DE CONSTRUCCIÓN .

DIRECCION DE VIAVILIDAD MOP. (s.f.). CÁMARA CHILENA DE LA CONSTRUCCIÓN. Obtenido de <https://extension.cchc.cl/datafiles/4729.pdf>

DURAR, M. (2004). *Descripcion de metodos de ensayo*.

Ebensperger , L. (2021). CONTRUTECHNIK . Obtenido de <https://www.construtechnik.cl/>

Ebensperger, L. (2021). Metodología Integral del Diagnósticos de Puentes de Hormigón Armado con Técnicas no Destructivas., (págs. 1-7).

Fernández Collado , C., & Baptista Lucio , P. (2014). *Metodologia de la Investigación*.

Ferrer Dalmau, R. (2019). *SoloIndustria*. Recuperado el enero de 2022, de <https://soloindustria.com/ensayos-no-destructivos-end-que-son/>

Fontal , B. (2005). *El Espectro Electromagnético y sus Aplicaciones*. Obtenido de http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/16746/espectro_electromagnetico.pdf;jsessionid=602EA719335966B17BCA4522066D637C?sequence=1

Franco Gimmeno , J., & San Jose , J. (2000). *Ensayos no Destructivos para Industrias y Construcción* .

Fresquet, J. L., & Valecia, U. d. (s.f.). *Epónimos Médicos* . Obtenido de <https://www.historiadelamedicina.org/Roentgen.html>

Gómez de León. (2009). *ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS CORRIENTES INDUCIDAS, Nivel II*.

Gómez de León, E. (pag 13, 2009). *END. Corrientes inducidas. Nivel II*. FC Editorial.

Grattasat , G. (2012). *Vida Util de Puentes*. Obtenido de file:///C:/Users/HP/Downloads/2055-Texto%20del%20art%C3%ADculo-2696-2-10-20120328.pdf

- Lindell, B. (2012). *Historia de la Radiación la Radiactividad y la Radioprotección Tomo I*. Obtenido de <https://radioproteccionsar.org.ar/downloads/la-caja-de-pandora-bo-lindell.pdf>
- López Luna, S., & González Sandoval , N. (2017). Partículas subatómicas y supercomputadoras. *RDU Revista Digital Universitaria*, 18(17). Obtenido de <https://www.revista.unam.mx/vol.18/num7/art55/index.html>
- Luna, R. B. (Noviembre de (2020)). *bdl*. Obtenido de <https://www.bdl.cl/>
- Martínez Veadú, J. (2014). *Fundamento General de Ensayos No Destructivos* . Ministerio de Vivienda . (2007). *Manual de Inspeccion Tecnicas de Obra*. Obtenido de https://www.minvu.cl/wp-content/uploads/2019/05/DS_N_85_Manual_ITO_2007.pdf
- MOP . (2020). Obtenido de <https://www.mop.cl/CentrodeDocumentacion/Documents/Otros/puentes-2020.pdf>
- Ospina Lopez, R., Hernando Trujillo , C., & Parral L , H. (2011). Aplicación y Selección de Ensayos No Destructivos Para la Evaluación de Uniones Soldadas. 16 (48), 195-201. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84922622035>
- Pastor, R. T. (2011). Planificación y programación de operaciones. *Revista Perspectivas*, 28, 7-32. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/4259/425941257002.pdf>
- Perez de Landazabal , M., & Varela Nieto , P. (2005). ORÍGENES DEL ELECTROMAGNETISMO. OERSTED Y AMPÈRE. *Eureka sobre Enseñanza y*, 118-119. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92020114>
- Productividad, C. N. (2020). *Productividad en el Sector de la Construcción*. Obtenido de <https://www.comisiondeproductividad.cl/wp-content/uploads/2020/11/Comisi%C3%B3n-Nacional-de-Productividad-Informe-Productividad-en-la-Construccion.pdf>
- Programa Iberoamericana de Ciencias y Tecnologia para el Desarrollo . (2000). *DURAR* .
- Santelices, C., Herrera, R., & Muñoz, F. (2019). Problemas en la gestión de calidad e inspección técnica de. *Ingeniería de Construcción*, 34, 242-251. Obtenido de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ric/v34n3/0718-5073-ric-34-03-242.pdf>
- Santos Villacrés, A. (2012). Desarrollo e Implementación de un Sistema de Control de Calidad de Soldadura con el uso de Ensayos No Destructivos en Puente Metálicos Utilizando la Norma AWS D1.5. Obtenido de <https://1library.co/article/ultrasonido-ut-m%C3%A9todos-de-ensayos-no-destructivos.y6e4ge5z>
- STUARDO PÉREZ, K. J. (2008). *METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN ESTRUCTURAL*. INFORME DE PROYECTO DE TÍTULO. Obtenido de <http://www.civil.ucsc.cl/investigacion/memorias/kstuardo.pdf>

ANEXOS

Formulario de Libro Manual de Inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión de las estructuras de corrosión DURAR.

Se considera necesario para recolectar la información sobre las inspecciones previas a la realización de los END, para registro de deterioros de la estructura.

Componentes estructurales, eventuales cambios de uso (Formulario 1).

Formulario 1

FICHA DE DESCRIPCION Y ANTECEDENTES DE LA ESTRUCTURA

I. Datos Generales de la Estructura

I.1 Tipo de Estructura

☐ Edificación

☐ Puente

☐ Muelle

☐ Muro de Contención

☐ Tanque de Almacenamiento

☐ Plataforma Petrolera

☐ Otro

Descripción básica de los componentes

I.2. Fecha de construcción de la estructura: _____

I.3. Uso general de la estructura: _____

I.4. Croquis de ubicación, coordenadas de la fachada, orientación y dirección del viento indicando el medio de exposición:

II. Datos Particulares de la Estructura

II.1. Propiedades de los materiales.

Tipos de cemento: _____ Tipo de Agua: _____

Naturaleza de los áridos: _____

II.2. Diseño del hormigón.

Resistencia característica a la compresión: _____

Dosificación en cemento: _____ Dosificación de agregados: _____

Relación agua/cemento: _____ Uso de aditivos: _____

II.3 Propiedades de los materiales.

☐ En obra

☐ Hormigón reforzado

☐ Prefabricado

☐ Pretensado

☐ Postensado

Tecnología de fabricación en obra: _____

Método de compactación: _____

Método de curado: _____

FICHA DE DESCRIPCION Y ANTECEDENTES DE LA ESTRUCTURA

III. Historial de Vida en Servicio de la Estructura.

III.1. Fecha de puesta en servicio: _____
III.2. Resistencia del hormigón a la compresión en obra: _____
III.3. Anomalías observadas durante la construcción: _____

III.4. Anomalías anteriormente detectadas:

III.5. Ensayos y mantenimiento.

Resultados de la prueba de carga: _____

Inspecciones rutinarias: _____

Ensayos Particulares: _____

Tipos de mantenimiento: _____

III.6. Reparaciones.

IV. Información adicional.

Fecha: _____ Elaborado por: _____

Nombre de la Institución: _____

Formulario 2

FICHA DE DESCRIPCION DEL MEDIO

I. Agentes físico - químicos en contacto con la estructura.

☐ Atmósfera	☐ Agua	☐ Suelo	☐ Otro medio
☐ rural	☐ natural ☐ dulce ☐ salobre	☐ natural	☐ alta temperatura
☐ urbana	☐ doméstica ☐ potable ☐ residual	☐ relleno	☐ agentes químicos
☐ marina	☐ industrial		☐ corrientes de interferencia
☐ industrial			☐ atmósfera específica

II. Propiedades físicas y químicas del medio.

☐ Atmósfera*	☐ Agua	☐ Suelo
☐ humedad relativa: _____	☐ cloruros: _____	☐ cloruros: _____
☐ temperatura: _____	☐ sulfatos: _____	☐ sulfatos: _____
☐ régimen de vientos: _____	☐ pH: _____	☐ pH: _____
	☐ temperatura: _____	☐ potencial redox: _____
		☐ resistividad eléctrica: _____
		☐ humedad: _____
		☐ nivel freático: _____

* Si es posible, obtener datos meteorológicos promedio.

Tabla II.1. Inspección Visual - Clasificación simplificada de daños

Código	Daño	Interpretación	Causas	Detalles que deben ser dados por la Inspección
A1	Quiebre o fisura	Rozos del hormigón, superficie o profundo.	Intemperias, contaminación, corrosión.	Dimensión, ancho, longitud y profundidad.
A2	Red de grietas	Graves extensiones y extensiones formando una red.	Cambio de volumen de hormigón superficial e interno.	Ancho de grietas, tamaño de red y superficie afectada.
B1	Red de arañazos	Red de arañazos delado o fondo de la parte del hormigón.	Exposición excesiva a agentes.	Superficie afectada, cantidad de arañazos.
B2	Microfisuras	Como líneas en la superficie del hormigón.	Exposición de agregados más o menos de hormigón.	Superficie afectada, cantidad de microfisuras.
B3	Manchas de color	Manchas de color amarillo-rosado.	Corrosión de la armadura, presencia de óxido.	Localización, intensidad, posible daño asociado.
B4	Manchas de humedad	Manchas de humedad con manchas de humedad.	Humidificación excesiva o humedad ambiental.	Superficie afectada.
C1	Presión (Pop-Out)	Daño superficial del hormigón con manchas de humedad.	Desmoronamiento de la superficie de hormigón.	Localización, profundidad.
C2	Exposición de la armadura	Exposición de la armadura.	Corrosión del acero de refuerzo, o congelación.	Superficie afectada, grietas asociadas.
C3	Exposición de la armadura	Exposición de la armadura.	Presión interna por expansión de la armadura, o por otros factores como agentes.	Superficie afectada, profundidad.
C4	Exposición de la armadura	Exposición de la armadura.	Exposición de la armadura.	Superficie afectada, profundidad.
D1	Exposición de la armadura	Exposición de la armadura.	Exposición de la armadura.	Superficie afectada, profundidad.
E1	Exposición de la armadura	Exposición de la armadura.	Exposición de la armadura.	Superficie afectada, profundidad.
E2	Exposición de la armadura	Exposición de la armadura.	Exposición de la armadura.	Superficie afectada, profundidad.

Observación: Para cualquier dato reportado se deberá evaluar además el grado de deterioro del acero de refuerzo de esta a la vista, aplicando la pérdida de adherencia del refuerzo y el recubrimiento. En el caso de cubrirse acciones de la superficie del hormigón los datos reportados en esta, se deberá además cuantificar el número de puntos.

INSPECCION VISUAL GENERAL DE LA ESTRUCTURA

Tipo de Estructura: _____ Edad: _____
Ubicación: _____ Ambiente: _____
Orientación: _____ Fecha de inspección: _____

a) Tipificación de daños y localización en la estructura.

Croquis de la estructura con levantamientos de daños generales
(Para nomenclatura de daños generales ver Tabla IL 1)

b) Registro Fotográfico

c) Extensión y gravedad de los daños:

d) Ensayos mínimos a realizar:

ENSAYO
Determinación de
cloruros o sulfatos

LUGAR

RESULTADO

Profundidad de
carbonatación

Espesor de
recubrimiento

e) Prediagnóstico:
