



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ingeniería

Carrera de Ingeniería Civil

“Evaluación patológica de estructuras de hormigón mediante métodos no destructivos y semi-destructivos: aplicaciones en el Ecuador”

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil.

Autores:

Kevin Paulo Ochoa Machuca

CI: 0107395360

Correo electrónico: kevin.ochoa.mach@gmail.com

Marcela Nicole Pazmiño Vintimilla

CI: 0105011654

Correo electrónico: marcepv02@gmail.com

Director:

Ing. Daniel Estuardo Mogrovejo Carrasco

CI: 0301500476

Cuenca-Ecuador

12-abril-2022



Resumen

Tras realizar una lectura y un estudio exhaustivo del “MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI-DESTRUCTIVOS”, realizado por Ortega M. y Vanegas J. en el año 2021, se vio la necesidad de complementar estos fundamentos teóricos, con el desarrollo de la parte práctica y didáctica del mismo, enfocados en el buen ejercicio de la Ingeniería Forense. Por este motivo, en el presente trabajo de titulación se ejemplifican tres evaluaciones patológicas realizadas en el Ecuador, cuyo contenido se adaptó al formato del Manual, con el fin de conocer su aplicabilidad en diversas obras civiles. A su vez, se realiza la aplicación práctica del Manual, mediante el desarrollo de una evaluación patológica en una obra civil deteriorada de la ciudad de Cuenca, siguiendo los lineamientos presentados en el mismo. De las evaluaciones patológicas se presentan dos informes: el preliminar, correspondiente a la inspección visual, identificación de patologías, y determinación de los ensayos requeridos mediante los árboles de soluciones. El técnico, que presenta los ensayos realizados, sus resultados, análisis y posibles soluciones de rehabilitación y mantenimiento.

Palabras clave: Estructura de hormigón. Ingeniería Forense. Evaluación de la condición de la infraestructura. Ensayos no destructivos. Ensayos semi-destructivos. Ensayos in situ. Aplicación práctica. Vida útil. Rehabilitación. Patología. Manual. Mantenimiento.



Abstract

After reading and exhaustively studying the "PRACTICAL MANUAL OF PATHOLOGICAL EVALUATION AND CONTROL OF THE CONDITION IN CONCRETE STRUCTURES THROUGH NON-DESTRUCTIVE AND SEMI-DESTRUCTIVE TESTS", made by Ortega M. and Vanegas J. in the year of 2021, it was seen the need to complement these theoretical foundations, with the development of the practical and didactic part of it, focused on the proper exercise of Forensic Engineering. For this reason, three pathological evaluations are carried out in Ecuador which are also exemplified, whose content was adapted to the format of the Manual, in order to know its applicability in different civil works. Therefore, the practical application of the Manual is carried out, through the development of a pathological evaluation in a deteriorated civil work in the city of Cuenca, following the guidelines presented in it. From the pathological evaluations, two reports are presented: First, the preliminary, corresponding to the visual inspection, identification of pathologies, and determination of the required tests through the solution trees. Second, the technician, who presents the carry out tests plus their results, analysis and possible rehabilitation and maintenance solutions.

Key words: Concrete structure. Forensic Engineering. Infrastructure condition assessment. Non-destructive testing. Semi-destructive testing. In-place testing. Practical application. Useful life. Rehabilitation. Pathology. Manual. Maintenance.



ÍNDICE DE CONTENIDO

Resumen.....	2
Abstract	3
CAPÍTULO I: CAPÍTULO INTRODUCTORIO	17
1.1. Introducción	18
1.2. Antecedentes	19
1.3. Definición del problema.....	19
1.4. Justificación	20
1.5. Objetivos	20
1.5.1. Objetivo principal	20
1.5.2. Objetivos específicos	20
1.6. Alcance	21
1.7. Metodología.....	21
CAPÍTULO II: ADAPTACIONES DE EVALUACIONES PATOLÓGICAS EN EL ECUADOR	23
2.1. DIAGNOSIS DE LAS PATOLOGÍAS: PROYECTO AZUD OCAÑA.....	24
INFORME PRELIMINAR.....	25
Nombre del proyecto.....	26
Ubicación geográfica	26
Zona de amenaza sísmica	27
Descripción del problema.....	27
Fase de documentación.....	28
Inspección visual.....	29
Clasificación de patologías identificadas en la inspección visual	33
Daños determinados en la inspección visual.....	34
Árboles de soluciones	35
INFORME TÉCNICO.....	37
Objetivo	38
Evaluación de la estructura	38
Alcance	38
Ensayos realizados.....	38
Resultados de la evaluación	39
Ensayo de Carbonatación	39
Ensayo de Núcleos perforados	40
Ensayo de Esclerometría.....	41



Ensayo de Adherencia	43
Detección de Armaduras	44
Levantamiento de patologías varias	44
Análisis de resultados	45
Carbonatación	45
Núcleos perforados	45
Esclerometría.....	46
Adherencia.....	46
Detección de armaduras.....	46
Levantamiento de patologías varias	46
Recomendaciones de rehabilitación	46
2.2. DIAGNOSIS DE LAS PATOLOGÍAS: PROYECTO PUENTE SOBRE EL RÍO YANUNCAY	48
INFORME PRELIMINAR.....	49
Nombre del proyecto.....	50
Ubicación geográfica	50
Zona de amenaza sísmica	51
Descripción del problema.....	51
Fase de documentación.....	52
Inspección visual.....	53
Clasificación de patologías identificadas en la inspección visual	56
Daños determinados en la inspección visual.....	57
Árboles de soluciones	58
INFORME TÉCNICO.....	62
Objetivo	63
Evaluación de la estructura	63
Alcance	63
Ensayos realizados.....	63
Resultados de la evaluación	63
Potencial de Corrosión	63
Ensayo de Carbonatación	65
Núcleos perforados	68
Esclerometría.....	69
Relación entre Esclerometría y Núcleos Perforados	70
Adherencia.....	70
Detección de armaduras.....	72
Levantamiento de fisuras	73



Ultrasonido	74
Análisis de resultados	75
Potencial de corrosión	75
Carbonatación	75
Núcleos perforados y Esclerometría.....	78
Adherencia.....	78
Levantamiento de fisuras y Ultrasonido.....	78
Recomendaciones de rehabilitación.....	78
2.3. DIAGNOSIS DE LAS PATOLOGÍAS: PROYECTO PRESA DE LA HIDROELÉCTRICO MINAS – SAN FRANCISCO	80
INFORME PRELIMINAR.....	81
Nombre del proyecto.....	82
Ubicación geográfica	82
Zona de amenaza sísmica	83
Descripción del problema.....	84
Fase de documentación.....	85
Inspección visual.....	86
Clasificación de las patologías identificadas durante la inspección visual.....	90
Daños determinados en la inspección visual.....	91
Árboles de soluciones.....	92
INFORME TÉCNICO.....	94
Objetivo	95
Evaluación de la estructura.....	95
Alcance	95
Ensayos realizados.....	95
Resultados de la evaluación.....	95
Levantamiento geométrico de fisuras y ensayo de Ultrasonido	95
Análisis de resultados	97
Levantamiento geométrico de fisuras y ensayo de Ultrasonido	97
Recomendaciones de rehabilitación.....	98
CAPÍTULO III: DIAGNOSIS DE LAS PATOLOGÍAS: PROYECTO PUENTE SOBRE EL RÍO TOMBAMBA, ENTRE AV. 12 DE ABRIL Y AV. 3 DE NOVIEMBRE	101
INFORME PRELIMINAR.....	102
Nombre del Proyecto.....	103
Ubicación Geográfica.....	103
Zona de amenaza Sísmica.....	104



Descripción del problema.....	104
Fase de documentación.....	105
Inspección Visual	106
Clasificación de patologías identificadas en la inspección visual	110
Daños determinados en la inspección visual.....	111
Arboles de soluciones	112
INFORME TÉCNICO.....	120
Objetivo	121
Evaluación de la estructura	121
Alcance	121
Ensayos realizados.....	121
Resultados de la Evaluación.....	124
Ensayo de detección de armaduras.....	124
Ensayo de Esclerometría.....	126
Carbonatación	127
Levantamiento de fisuras	128
Ensayo de Ultrasonido.....	129
Ensayo de Potencial de Corrosión	130
Análisis de resultados	132
Ensayo de detección de armaduras.....	132
Ensayo de Esclerometría.....	132
Ensayo de Carbonatación	132
Levantamiento de fisuras y grietas.....	134
Ensayo de Ultrasonido.....	134
Ensayo de Potencial de corrosión.....	134
Recomendaciones de rehabilitación	134
CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	141
4.1. Conclusiones generales.....	142
4.2. Conclusiones de las adaptaciones de evaluaciones patológicas en el Ecuador	142
4.3. Conclusiones de la aplicación práctica.....	143
4.4. Recomendaciones	144
Bibliografía	146
Anexos.....	148



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Pesos propuestos para evaluar el estado del azud	29
Tabla 2 Patologías generales y específicas del azud	33
Tabla 3 Daños visibles del azud identificados en la inspección visual	34
Tabla 4 Aspectos generales sobre los ensayos realizados en el azud.....	38
Tabla 5 Resultados ensayo de Carbonatación, azud Ocaña.....	39
Tabla 6 Resultados ensayo de Núcleos perforados, azud Ocaña.....	40
Tabla 7 Resultados ensayo de Esclerometría, azud Ocaña	41
Tabla 8 Factor de correlación ensayos de Esclerometría y Núcleos perforados, azud Ocaña. 41	
Tabla 9 Resistencia a compresión asociada con el índice esclerométrico corregido, azud Ocaña.	42
Tabla 10 Resultados ensayo de Adherencia, azud Ocaña	43
Tabla 11 Resultados ensayo de Detección de armaduras, azud Ocaña.....	44
Tabla 12 Resultados del levantamiento de los daños por abrasión, azud Ocaña.....	44
Tabla 13 Resultados y valores aceptados del ensayo de Núcleos perforados, azud Ocaña	45
Tabla 14 Pesos propuestos para evaluar el estado del puente sobre el Río Yanuncay.	53
Tabla 15 Patologías generales y específicas del puente sobre el Río Yanuncay.	56
Tabla 16 Daños visibles del puente sobre el Río Yanuncay identificados en la inspección visual	57
Tabla 17 Ensayos realizados en el puente sobre el Río Yanuncay de acuerdo al tipo de ensayo	63
Tabla 18 Resultados ensayo de Potencial de corrosión, puente sobre el Río Yanuncay.	65
Tabla 19 Resultados ensayo de Carbonatación, puente sobre el Río Yanuncay.....	68
Tabla 20 Resultados ensayo de Núcleos perforados, puente sobre el Río Yanuncay.....	68
Tabla 21 Resultados ensayo de Esclerometría, puente sobre el Río Yanuncay.	69
Tabla 22 Resistencia a compresión asociada con el índice esclerométrico corregido, puente sobre el Río Yanuncay.	70
Tabla 23 Resultados ensayo de Adherencia, puente sobre el Río Yanuncay.....	71
Tabla 24 Resultados del Levantamiento de fisuras, puente sobre el Río Yanuncay.....	74
Tabla 25 Resultados del ensayo de Ultrasonido, puente sobre el Río Yanuncay.	75
Tabla 26 Análisis de la vida remanente por carbonatación en las vigas del puente sobre el Río Yanuncay.	76
Tabla 27 Análisis de la vida remanente por carbonatación en la losa del puente sobre el Río Yanuncay.	77
Tabla 28 Pesos propuestos para evaluar el estado de los vertederos de la presa sobre el Río Jubones	86
Tabla 29 Patologías generales y específicas, vertederos de la presa sobre el Río Jubones.....	90
Tabla 30 Daños visibles encontrados durante la inspección visual, vertederos de la presa sobre el Río Jubones	91
Tabla 31 Resultados del Levantamiento geométrico y ensayo de Ultrasonido, fisuras horizontales en el vertedero central de la presa sobre el Río Jubones	95



Tabla 32 Resultados del Levantamiento geométrico y ensayo de Ultrasonido, fisuras verticales en el vertedero central de la presa sobre el Río Jubones	96
Tabla 33 Resultados del Levantamiento geométrico y ensayo de Ultrasonido, fisuras diagonales s en el vertedero lateral de la presa sobre el Río Jubones	96
Tabla 34 Resultados del Levantamiento geométrico y ensayo de Ultrasonido, fisuras horizontales en el vertedero lateral de la presa sobre el Río Jubones	96
Tabla 35 Resultados del Levantamiento geométrico y ensayo de Ultrasonido, fisuras verticales en el vertedero lateral de la presa sobre el Río Jubones.....	97
Tabla 36 Guía para anchos de fisuras razonables, hormigón armado bajo cargas de servicio. Fuente: (ACI 224R-01, 2001).	97
Tabla 37 Ancho promedio de los distintos tipos de fisuras, vertederos de la presa sobre el Río Jubones	97
Tabla 38 Recomendaciones para rehabilitación de los vertederos de la presa sobre el Río Jubones	100
Tabla 39 Pesos propuestos para evaluar el estado del puente sobre el Río Tomebamba	106
Tabla 40 Patologías generales y específicas del puente sobre el río Tomebamba.....	110
Tabla 41 Daños visibles identificados en la inspección visual, puente sobre el Río Tomebamba.	111
Tabla 42 Elementos en los que se realizaron ensayos, puente sobre el Río Tomebamba	124
Tabla 43 Resultados ensayo de Esclerometría.....	126
Tabla 44 Resultados ensayo de Carbonatación	127
Tabla 45 Resultados ensayo de Ultrasonido	129
Tabla 46 Criterio de probabilidad de corrosión según ASTM, ensayo de potencial de media celda. Fuente: (Norma ASTM C876, 2015).....	130
Tabla 47 Potenciales de corrosión como criterio de la condición de la varilla, ensayo de potencial de media celda. Fuente: (A. A. Torres et al., 2006, como se citó en Ortega M. y Vanegas J., 2021).....	130
Tabla 48 Resultados de Ensayo de Potencial de Corrosión	131
Tabla 49 Análisis de la vida remanente por Carbonatación, puente sobre el Río Tomebamba.	133



Cláusula de Propiedad Intelectual

Kevin Paulo Ochoa Machuca, autor del trabajo de titulación "Evaluación patológica de estructuras de hormigón mediante métodos no destructivos y semi-destructivos: aplicaciones en el Ecuador", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 12 de abril de 2022

Kevin Paulo Ochoa Machuca

C.I: 0107395360



Cláusula de Propiedad Intelectual

Marcela Nicole Pazmiño Vintimilla, autora del trabajo de titulación "Evaluación patológica de estructuras de hormigón mediante métodos no destructivos y semi-destructivos: aplicaciones en el Ecuador", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 12 de abril de 2022

Marcela Nicole Pazmiño Vintimilla

C.I: 0105011654



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Kevin Paulo Ochoa Machuca en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Evaluación patológica de estructuras de hormigón mediante métodos no destructivos y semi-destructivos: aplicaciones en el Ecuador", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 12 de abril de 2022

Kevin Paulo Ochoa Machuca

C.I: 0107395360



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Marcela Nicole Pazmiño Vintimilla en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Evaluación patológica de estructuras de hormigón mediante métodos no destructivos y semi-destructivos: aplicaciones en el Ecuador", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 12 de abril de 2022

Marcela Nicole Pazmiño Vintimilla

C.I: 0105011654



AGRADECIMIENTO

Primeramente, a Dios por toda esta etapa de nuestras vidas.

Al Ingeniero Daniel Mogrovejo, quien fue el director de este trabajo de titulación y nos guio paso a paso para poder desarrollar y concluir de la mejor forma posible, dejando en nosotros un sentimiento de agradecimiento permanente.

A todos los docentes quienes formaron parte de este tránsito en la Universidad de Cuenca, especialmente a aquellos que supieron siempre primero ser seres humanos y luego cumplir con su rol; y de esta forma permitieron estrechar lazos de amistad que fue lo más valioso dentro de esta etapa. A su vez al personal de la Facultad de Ingeniería, Fer, Linita, Patricio, Pablo C., Rodri, por su apoyo incondicional y los gratos momentos vividos.

A nuestras familias, quienes fueron testigos de todo el arduo trabajo de esta carrera y que siempre estuvieron brindando el apoyo en los momentos más necesarios.

Y a las amistades que formaron parte de este proceso.



DEDICATORIA

A mi familia, por siempre brindarme su apoyo y alentarme a seguir adelante en este camino.

Y en especial a mi madre, por enseñarme desde pequeño a trabajar por mi crecimiento personal y acompañarme en todo momento.

Kevin Ochoa Machuca



DEDICATORIA

A Dios, por ser el motor de todo en mi vida.

A mis padres, que han sido la base fundamental para que todo mi proceso académico haya llegado hasta aquí, que han sabido estar conmigo día a día; a su vez a mis hermanos que siempre han estado presentes en todo este caminar.

Y a mis amigas que han estado prestas a ayudarme y darme ánimos para terminar exitosamente este camino.

Marcela Pazmiño Vintimilla



CAPÍTULO I: CAPÍTULO INTRODUCTORIO



1.1. Introducción

La correcta aplicación de la Ingeniería Forense permite asegurar que las estructuras cumplan con una vida útil igual o mayor a la esperada y proporcionen un buen servicio para sus usuarios, sin causar preocupación por su deteriorado estado físico o sea un riesgo por su potencial colapso. Por lo tanto, el ingeniero forense debe tener un sustento teórico y práctico, para estar en capacidad de identificar las patologías de una estructura, sus causas, gravedad y medidas de actuación más favorables. Además, debido a la existencia de una significativa cantidad de estructuras que requieren trabajos de mantenimiento o rehabilitación, es necesario que el Ingeniero forense sea capaz de seguir una metodología adecuada tanto en campo como en oficina, para resolver los problemas que se encuentren en las estructuras de hormigón.

El trabajo de titulación propuesto consiste en presentar tres ejemplos de evaluaciones patológicas desarrolladas por profesionales de esta rama, y realizar una evaluación patológica en una estructura de la ciudad, con un enfoque práctico y didáctico. De esta forma se busca exponer las partes de una evaluación patológica, los ensayos y sus aportes al conocimiento del estado de una estructura, el análisis que se debe dar a la información obtenida, y propuestas de rehabilitación oportunas. Las evaluaciones que se van a desarrollar son:

- Adaptación de evaluaciones patológicas:
 - Diagnóstico de las patologías: proyecto azud Ocaña
 - Diagnóstico de las patologías: proyecto puente sobre el Río Yanuncay
 - Diagnóstico de las patologías: proyecto presa de la Hidroeléctrica Minas-San Francisco
- Aplicación práctica de una evaluación patológica:
 - Diagnóstico de las patologías: proyecto puente sobre el Río Tomebamba, entre Av. 12 de Abril y Av. 3 de Noviembre.

Esto se realiza con el propósito de ampliar el componente práctico del Manual desarrollado por Ortega M. y Vanegas J. en el año de 2021, el cual es principalmente de índole teórico, que proponen que una evaluación patológica se realice en dos partes:

- La primera, un Informe Preliminar, en el que se recoge información sobre la estructura y se ejecuta una inspección visual, para luego, seleccionar los ensayos más apropiados mediante árboles de soluciones.
- La segunda, un Informe Técnico, que trata la aplicación de ensayos no destructivos y semi-destructivos, análisis de los resultados obtenidos y la recomendación de medidas de rehabilitación.

De esta manera, se busca que el estudiante o profesional interesado en la Ingeniería Forense tenga una base teórica y práctica; reforzando sus conocimientos, aumentando la fuerza laboral en este campo, y aportando a su buena práctica.



1.2. Antecedentes

Tras varios fallos e incluso el mismo colapso de estructuras civiles; se empieza a investigar métodos de evaluación que puedan cuantificar el deterioro de las estructuras, dando inicio al estudio de la Ingeniería Forense. Hoy en día, estos estudios ganan más relevancia, y consisten en aplicar ensayos cuyos resultados indiquen cuan deteriorada está la estructura. El ACI 228 clasifica estos ensayos en métodos no destructivos y métodos in situ, también conocidos como in situ. Mientras otros autores añaden los métodos semi-destructivos.

A su vez, si bien es cierto, en el Ecuador existe la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), que se ha dispuesto ser aplicada obligatoriamente en construcciones para resistir sismos, mas, se conoce que existe un alto porcentaje de construcciones informales en el país. No obstante, en el Ecuador aún no existe una guía, normativa o manual para poder cuantificar los daños presentes en las estructuras de hormigón. A pesar de que ya se ha propuesto elaborar una ordenanza para normar de cierta forma las construcciones civiles, o también, crear una entidad independiente para que se encargue de fiscalizar; nada se ha concretado hasta la actualidad (Castillo, 2016).

Es por ello que en el 2020 se plantea el “MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI-DESTRUCTIVOS”, el mismo que expone algoritmos a seguir para poder realizar una evaluación patológica óptima que permita obtener un estudio de la estructura civil, conocer las causas de sus fallas, realizar los ensayos correspondientes, determinar de forma cualitativa y cuantitativa los daños y a su vez proponer una posible solución, que permitan seguir haciendo uso de la estructura analizada.

1.3. Definición del problema

A pesar de que actualmente, en nuestro medio, se ha dado mayor importancia a la Ingeniería Forense; se presenta cierta problemática debido al bajo porcentaje de personas capacitadas y con experticia para realizar un estudio patológico; que aseguren la vida útil de la estructura. Aunque, existen parámetros cualitativos y cuantitativos que indiquen el deterioro de la estructura; las personas ignoran los mismos, y no se maneja la información de forma adecuada. A su vez, si es correcto que en el Ecuador existen normativas, o métodos para realizar las evaluaciones patológicas, no existe una buena difusión de información, ni de bibliografías contundentes, relevantes y de rigor, que permita realizar un estudio exhaustivo y una evaluación patológica completa de la construcción civil a analizar. Quedando sin muchos recursos para realizar de manera ordenada, correcta y completa la evaluación patológica de la estructura.

El “MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI-DESTRUCTIVOS”, comprende un desarrollo de aspectos teóricos y establece un algoritmo para una buena aplicación de evaluaciones patológicas en estructuras civiles. Lo que supone,



facilitaría su uso a las personas que deseen involucrarse en este tipo de estudio. Sin embargo, debido a la complejidad de esta rama, es necesario sumar a estas bases teóricas un componente práctico que complemente y ejemplifique la aplicación del algoritmo para realizar una buena evaluación. El desarrollo de los ejemplos prácticos, permite observar casos reales, de los criterios utilizados y de los retos propios del ejercicio de la Ingeniería Forense.

1.4. Justificación

El poco conocimiento en el área de la Ingeniería Forense, específicamente en realizar evaluaciones patológicas que permitan observar el deterioro de una estructura civil, de forma cualitativa y cuantitativa; y a su vez dar soluciones a las mismas. Nos lleva a conocer el “MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI-DESTRUCTIVOS”, el mismo que tiene una importancia en el ámbito de la Ingeniería Forense, ya que su desarrollo comprende las bases necesarias y algorítmicas para una buena evaluación, sin embargo, es necesario ampliar el alcance práctico del Manual.

Siendo así, el presente trabajo de titulación plantea el estudiar detalladamente dicho Manual para que, permita el correcto desarrollo complementario de la parte práctica. Con ello, se brinda una edición más completa con adaptaciones de distintas obras civiles, y a su vez el desarrollo de una evaluación patológica de una estructura civil, siguiendo el algoritmo del Manual.

Brindando además de una base teórica, una mayor familiaridad con el ejercicio de la ingeniería forense. Asimismo, el lector puede consultar el conjunto, teórico y práctico, a manera de fuente bibliográfica o como una guía. Con ello, se aporta la fuerza laboral de la ingeniería forense en nuestro medio, y, promulga el mantenimiento y/o rehabilitación de las estructuras de hormigón.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo principal

Fomentar la cultura de la buena práctica de la Ingeniería Forense; dar reforzamiento práctico y didáctico de manuales disponibles y plantear soluciones adecuadas para el mejoramiento, rehabilitación o restauración del estado estructural de edificaciones existentes.

1.5.2. Objetivos específicos

- Realizar una revisión exhaustiva de la bibliografía referente a evaluación patológica de estructuras de hormigón, en base a los manuales disponibles, para sustentar tanto la parte teórica como práctica del estudio.
- Adquirir la experticia necesaria para el adecuado ejercicio de la Ingeniería Forense en el ámbito profesional.



- Desarrollar evaluaciones patológicas en base a los lineamientos de el “MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI-DESTRUCTIVOS”, para proponer soluciones de mejoramiento, rehabilitación y/o restauración, para los casos prácticos a evaluar; y a su vez implementar de forma didáctica la parte práctica de dichos manuales.

1.6. Alcance

Al desarrollar el trabajo de titulación se logra tener como resultado cuatro capítulos, de los cuales:

- En la sección de adaptaciones se muestran evaluaciones patológicas de tres diferentes obras civiles realizadas en el Ecuador, las mismas que han sido pasadas al formato del Manual, para poder ejemplificar la parte teórica del mismo. En estas evaluaciones se aplican ensayos no destructivos, semi-destructivos e in situ según corresponda.
- En el capítulo tercero, se presenta la aplicación práctica de una evaluación patológica siguiendo el algoritmo que presenta el Manual, es decir desde inspección visual, los ensayos a realizados (no destructivos, semi-destructivos e in situ) según los árboles de soluciones, hasta las recomendaciones de rehabilitación que se plantean para la obra civil estudiada.
- En la sección final se concluye todo el trabajo de titulación, de forma que permita tener una retroalimentación al lector y a nosotros mismos como autores. A su vez, se presenta recomendaciones que se vieron necesarias tomar en cuenta durante todo el desarrollo del mismo.

1.7. Metodología

El presente trabajo de titulación se divide en cuatro capítulos:

CAPÍTULO I: Capítulo Introductorio

En este capítulo se expone que es lo que se va a conseguir con la realización de este trabajo de titulación, se explica los antecedentes que son de gran importancia para entender el contraste del antes y el ahora, y la definición del problema con su justificación correspondiente que motivó a desarrollar este trabajo y dar un aporte a la sociedad ingenieril.

CAPÍTULO II: Adaptaciones de evaluaciones patológicas en el Ecuador

Se presenta una recopilación de evaluaciones patológicas realizadas en el Ecuador por profesionales en esta rama de la ingeniería, las cuales se adaptaron al formato del “MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI-DESTRUCTIVOS”.



CAPÍTULO III: Aplicación Práctica

Se desarrolla todo el proceso de inicio a fin, de una evaluación patológica realizada por los autores, la misma que sigue estrictamente la línea del formato del “MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI-DESTRUCTIVOS”. De esta forma se da a conocer la utilidad del Manual para realizar una evaluación patológica de una estructura civil, presentar el análisis de resultados y las debidas recomendaciones, de una forma correcta.

Es importante indicar que para el desarrollo de los Capítulos II y III se ocuparon las plantillas, formatos y algoritmos del Manual de Ortega M. y Vanegas J. (2021), donde se detalla sus fundamentos teóricos y metodología de aplicación.

CAPÍTULO IV: Conclusiones

Se expone el cumplimiento tanto de los objetivos generales como específicos, mediante los aprendizajes alcanzados y la síntesis de los resultados obtenidos en la adaptación y realización de evaluaciones patológicas en el Ecuador. Y se recomienda aspectos importantes presenciados en el desarrollo del presente trabajo.



CAPÍTULO II: ADAPTACIONES DE EVALUACIONES PATOLÓGICAS EN EL ECUADOR



2.1. DIAGNOSIS DE LAS PATOLOGÍAS: PROYECTO AZUD OCAÑA



INFORME PRELIMINAR

Diagnosis de las patologías: proyecto azud Ocaña

Kevin Paulo Ochoa Machuca

Marcela Nicole Pazmiño Vintimilla

Cuenca, junio de 2018

Nombre del proyecto

Diagnóstico de las patologías: proyecto azud Ocaña

Ubicación geográfica

El azud se encuentra sobre el río Cañar y forma parte del Proyecto Hidroeléctrico Ocaña ubicado en el recinto Javín, parroquia San Antonio, cantón Cañar, provincia de Cañar. Las coordenadas Estándar UTM del azud en estudio son:

Zona:	17 M
Coordenada Este:	702031.00 m E
Coordenada Norte:	9724358.00 m S

Gráfico 1 Coordenadas del azud del Proyecto Hidroeléctrico Ocaña. Fuente: (Google Earth)

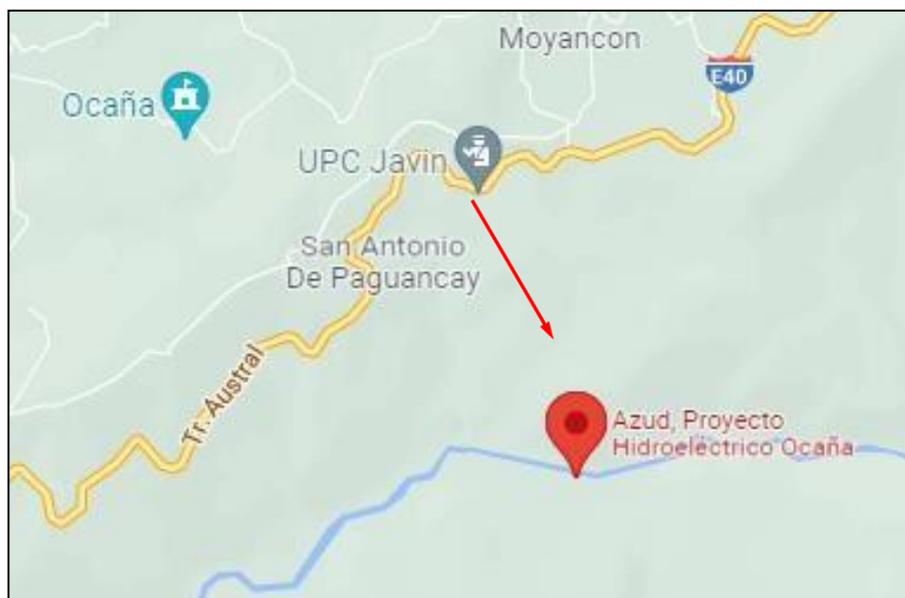


Gráfico 2 Ubicación del azud del Proyecto Hidroeléctrico Ocaña. Fuente: (Google Maps, Google Earth)

Zona de amenaza sísmica

De acuerdo al mapa de zonificación sísmica y factor Z del Ecuador, el Proyecto Hidroeléctrico Ocaña se encuentra en la zona sísmica IV, con un factor Z de 0,35 y una peligrosidad sísmica Alta.

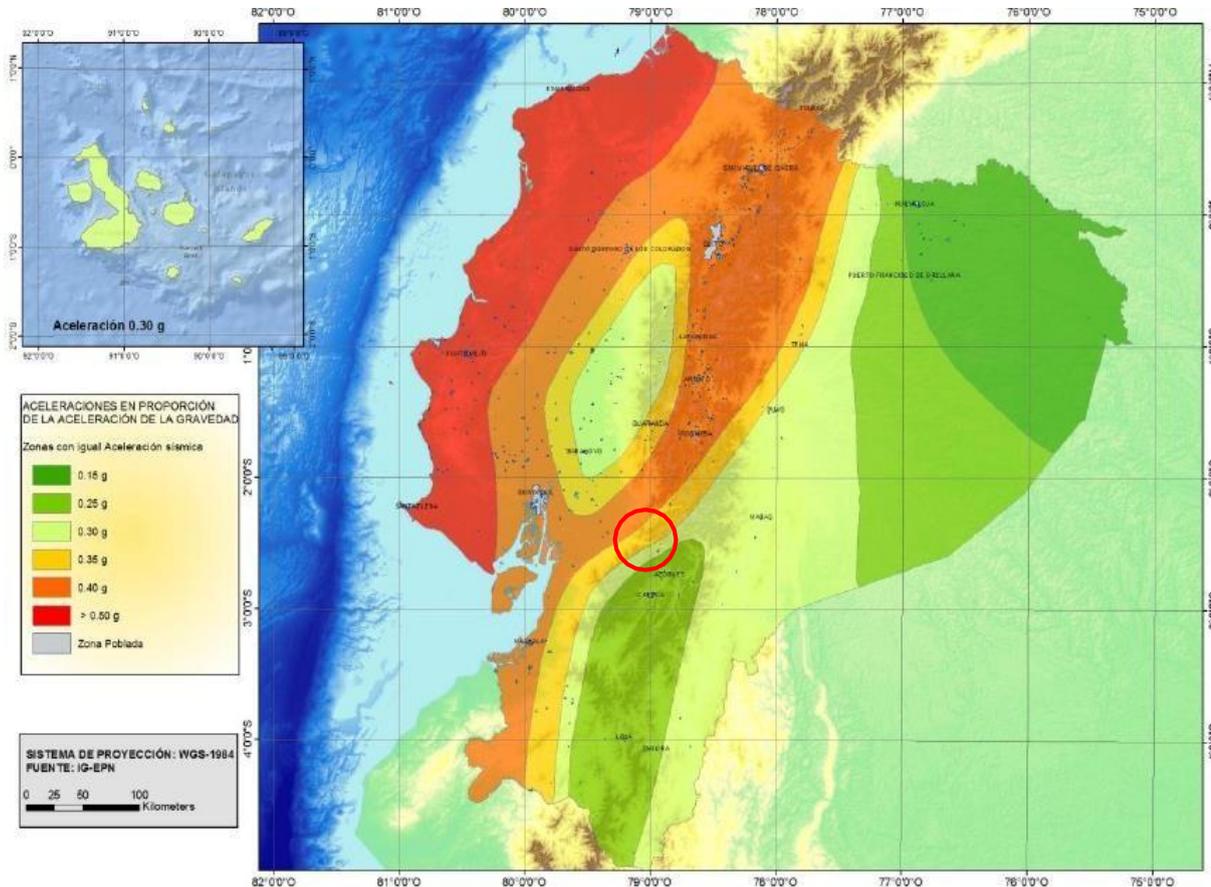


Gráfico 3 Zona sísmica Proyecto Hidroeléctrico Ocaña. Fuente: (NEC-SE-DS, 2014).

Descripción del problema

La Central Hidroeléctrica Ocaña se construyó para generar un total de 26,1 MW de energía que contribuyan a satisfacer la demanda del país. El primer componente de esta central es la obra de cierra, la cual cuenta con un azud de hormigón de 5 m de alto que, entre sus diferentes funciones, sirve para elevar el nivel del agua del río Cañar, garantizando la derivación requerida. (Informe cam-ger-361-inf-029, como se citó en Gómez y Méndez, 2011).

En el 2018, a seis años de la puesta en funcionamiento de la hidroeléctrica, se vio la necesidad de realizar estudios de patología estructural en el azud debido a la presencia de problemas como abrasión, pérdida de sección en el acero, falta de mantenimiento, reparaciones en mal estado, etc. De esta manera, se busca definir medidas de saneamiento, rehabilitación y repotenciación, que permitan alcanzar una nueva vida útil y asegurar el correcto funcionamiento de la Hidroeléctrica Ocaña.



Fase de documentación

Para esta fase se utilizó la plantilla END01_FD (Ortega M. y Vanegas J., 2021). La información se obtuvo de los documentos proporcionados por ElecAustro sobre el azud Ocaña.

 UNIVERSIDAD DE CUENCA Facultad de Ingeniería		MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI- DESTRUCTIVOS		CÓDIGO
				END01_FD
INSTITUCIÓN	Universidad De Cuenca	HORA	FECHA	
PROYECTO	Azud Ocaña Ecuador		Jun/2018	
UBICACIÓN	Río Cañar, sector Ocaña	ZONA SÍSMICA	IV	
FASE PRELIMINAR				
Variable		Sí	No	Observaciones
Tipo de estructura				
Tipo de cimentación			X	
Sistema estructural			X	
Irregularidades			X	
Diseños estructurales no recomendados			X	
Diseñadores				
Arquitecto			X	
Ingeniero de suelos			X	
Ingeniero estructural			X	
Ingeniero asesor de materiales			X	
Especificaciones del proyecto				
Constructor		X		Sevilla y Martínez Ingenieros C.A.
Fiscalizador		X		Caminos y Canales C.LTDA.
Proveedor de materiales			X	
Historial de la estructura				
Fechas de diseño y cumplimiento de normas			X	
Construcción y puesta en servicio		X		La construcción inicia en el 2009 y se pone en servicio en el 2012.
Vida útil proyectada			X	
Área construída			X	
Propietarios y usos		X		La central hidroeléctrica está a cargo de ElecAustro y contribuye a la producción energética local y nacional, y al monitoreo del río Cañar.
Registros de actividad sísmica, actividad geológica y estudios de suelos			X	
Información sobre el funcionamiento, ocupación y límites de carga			X	
Planes de alteración y órdenes de cambio			X	
Revisión del proyecto original y registros de construcción				
Planos de diseño, especificaciones y cálculos		X		De acuerdo a los planos se prevé un hormigón de 320 kg/cm ² .
Libro de obra			X	
Colocación de armadura de concreto			X	
Códigos de construcción			X	
Materiales de construcción y datos de ensayo			X	
Control de calidad e informes de inspección en campo			X	
Fotografías del proceso constructivo			X	

Inspección visual

Para la inspección visual se utilizó la plantilla END01 (Ortega M. y Vanegas J., 2021) y los pesos que se muestran en la Tabla 1, los cuales se seleccionaron de acuerdo al nivel de importancia de cada patología en la estructura según los rangos indicados a continuación:

- Nivel de importancia bajo: [0 a 2]
- Nivel de importancia medio: [3 a 5]
- Nivel de importancia alto: [6 a 8]

En la plantilla END01 se incluye la variable “Erosión” debido a que es una patología importante en obras hidráulicas.

Variable	Peso (%)
Fisuras y agrietamientos en elementos estructurales	4
Fisuras en mampostería	0
Deformaciones y desviaciones visibles	4
Asentamientos en la cimentación	4
Erosión (Abrasión y Cavitación)	8
Nivel freático	4
Patologías por efecto humano	6
Patologías de materiales	2
Humedad relativa	4
Temperatura	3
Tipo de agua presente	5
Sustancias agresivas y concentración	5
Corrosión del acero de refuerzo	4
Problemas ocultos	3
Fuego	0
Viento	3
Sismos	5
Vibraciones no naturales	0
Inundaciones	5
Expansión del suelo	5
Empuje del suelo	5
Modificaciones de elementos estructurales	4
Modificaciones de uso de la estructura	5
Incumplimiento de especificaciones técnicas	7
Actualización de normas	5
Total	100

Tabla 1 Pesos propuestos para evaluar el estado del azud.



 UNIVERSIDAD DE CUENCA Facultad de Ingeniería		MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI-DESTRUCTIVOS			CÓDIGO		
					END01		
INSTITUCIÓN	Universidad de Cuenca			HORA	FECHA		
PROYECTO	Azud Ocaña, Ecuador				Jun /2018		
UBICACIÓN	Río Cañar, sector Ocaña			ZONA SÍSMICA	IV		
INSPECCIÓN VISUAL							
Variable	Sí	No	Observaciones	Bueno	Regular	Malo	
Agrietamientos en elementos estructurales		X					
Fisuras en mampostería		X					
Deformaciones y desviaciones visibles		X					
Asentamientos en la cimentación		X					
Erosión (Abrasión y/o Cavitación)	X		Debido a la falta de recubrimiento contra la abrasión: 1. La superficie del azud ha perdido su geometría regular. 2. Se ha perdido parcial o totalmente la sección de algunas varillas expuestas. También existen anclajes expuestos con pérdida total de acero fuera de la incrustación.			8	
Nivel freático		X					
Geometría y materiales estructurales							
Patologías por efecto humano	X		Mano de obra defectuosa: 1. En extracciones de núcleos realizadas en los muros se cortaron varillas y no se colocó relleno de reparación. 2. Algunas de las reparaciones anteriores se encuentran en mal estado.		6		
Patologías de materiales		X					
Corrosión del acero de refuerzo		X					
Condiciones ambientales							
Humedad relativa		X					
Temperatura		X					
Tipo de agua presente		X					
Sustancias agresivas y concentración		X					
Problemas ocultos		X					
Condiciones de exposición especiales							
Fuego		X					
Viento		X					
Sismos		X					
Vibraciones no naturales		X					
Inundaciones		X					
Expansión del suelo		X					
Empuje del suelo		X					
Verificación de la construcción conforme a obra							
Modificaciones de elementos estructurales		X					
Modificaciones de uso de la estructura		X					
Incumplimiento de especificaciones técnicas	X		El hormigón no cumple con la resistencia prevista.			7	
Actualización de normas		X					
Total				0	6	15	
Estado de la estructura				MALA			

Después de realizar la inspección visual se concluyó que el estado general de la estructura es “Mala”. Sin embargo, las patologías comprometen la parte funcional de la obra, no la estructural, y se considera intervenir el azud para que cumpla con su propósito hasta alcanzar por lo menos su vida útil de diseño.

El mayor daño presente es la pérdida de la superficie regular del azud, que afecta en su funcionalidad. Además, no se observa un recubrimiento adecuado para evitar la abrasión.



Gráfico 4 Efecto de la abrasión en la superficie del azud.

La pérdida de la superficie en algunas zonas dejó varillas expuestas, algunas de las cuales han perdido parcial o totalmente su sección.



Gráfico 5 Varillas expuestas y con pérdida de sección.

Existen extracciones de núcleos anteriores sin un adecuado relleno de reparación. En el Gráfico 6 se observa que la extracción se realizó hasta afectar a una varilla.



Gráfico 6 Perforación sin relleno, producto de la extracción de un núcleo.

En ciertas zonas se observan recubrimientos con hormigón en mal estado.



Gráfico 7 Recubrimiento en mal estado.

Clasificación de patologías identificadas en la inspección visual

En la Tabla 2 se indican las patologías generales y específicas presentes en el azud.

Patologías Generales	Patologías Específicas
Patologías por intervención humana	Corte de varillas
	Falta de relleno posterior a la extracción de núcleos
	Reparaciones en mal estado
	Hormigón de menor resistencia a la prevista en planos
Patologías por efectos térmicos	No
Patologías por efectos de humedad	No
Proceso de desintegración	Erosión
Corrosión del acero de refuerzo	No
Patologías por efecto de cargas	No
Patologías por acción sísmica	No
Otras patologías	No

Nota: Las patologías por intervención humana indicadas no se encuentran en el Manual de Ortega M. y Vanegas J. (2021), pero se colocaron en este tipo de patología general considerando que encajan con su descripción.

Tabla 2 Patologías generales y específicas del azud.

Con la clasificación anterior, se calcula el porcentaje de participación de cada patología general. Para esto se considera que todas las patologías generales tienen la misma ponderación, y dependiendo del número de patologías específicas varía el respectivo porcentaje. Es decir, se considera el número de patologías específicas que ocurren dentro de cada patología general.

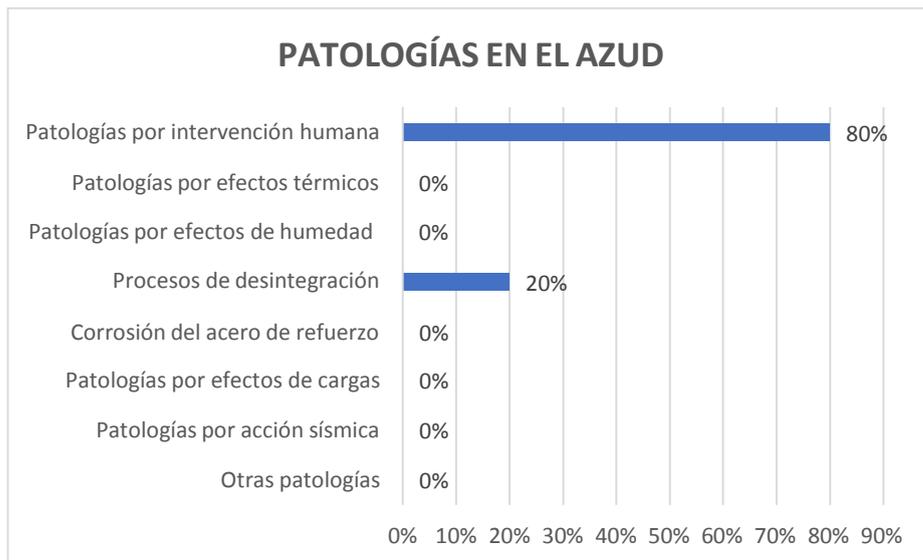


Gráfico 8 Porcentaje de tipos de patologías presentes en el azud.

Daños determinados en la inspección visual

Teniendo en consideración la plantilla END01, en la Tabla 3 se muestran los daños presentes en la estructura.

Daños visibles en inspección visual	Existencia
Agrietamientos en elementos estructurales	No
Fisuras en mampostería	No
Deformaciones visibles	No
Asentamientos en la cimentación	No
Erosión (Abrasión y/o Cavitación)	Si
Nivel freático	No
Patologías por intervención humana	Si
Patologías de materiales	No
Sustancias agresivas y concentración	No
Corrosión del acero de refuerzo	No
Problemas ocultos	No
Fuego	No
Sismos	No
Inundaciones	No
Expansión del suelo	No
Empuje del suelo	No
Modificaciones de elementos estructurales	No
Modificaciones de uso de la estructura	No

Tabla 3 Daños visibles del azud identificados en la inspección visual.

Árboles de soluciones

Una vez que se identifican las patologías y los daños, se procede a utilizar los árboles de soluciones;

Gráfico 9 que se elaboró de acuerdo a los lineamientos del Manual para considerar los daños específicos del azud.

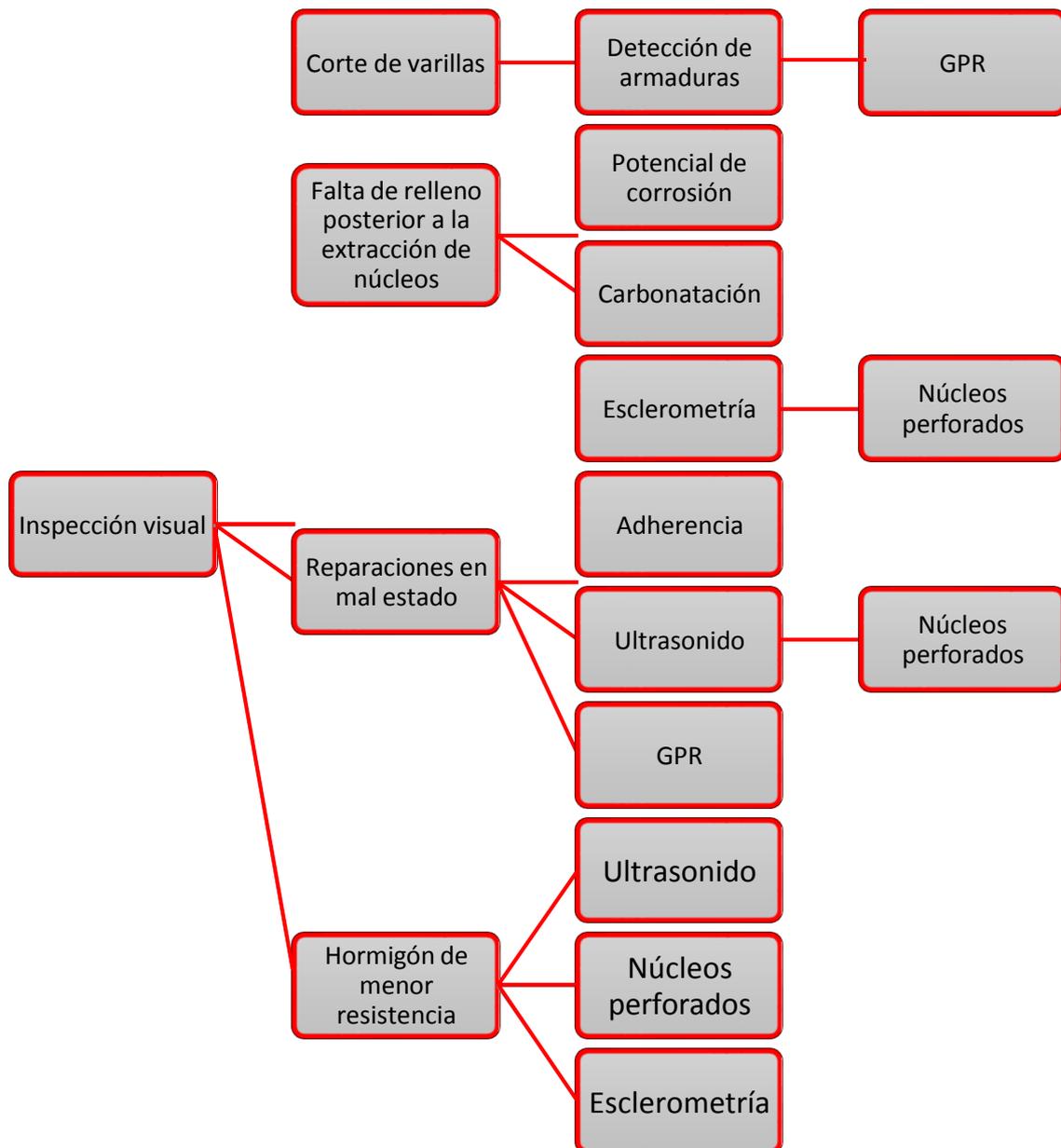


Gráfico 9 Árbol de solución para los daños por Intervención Humana.

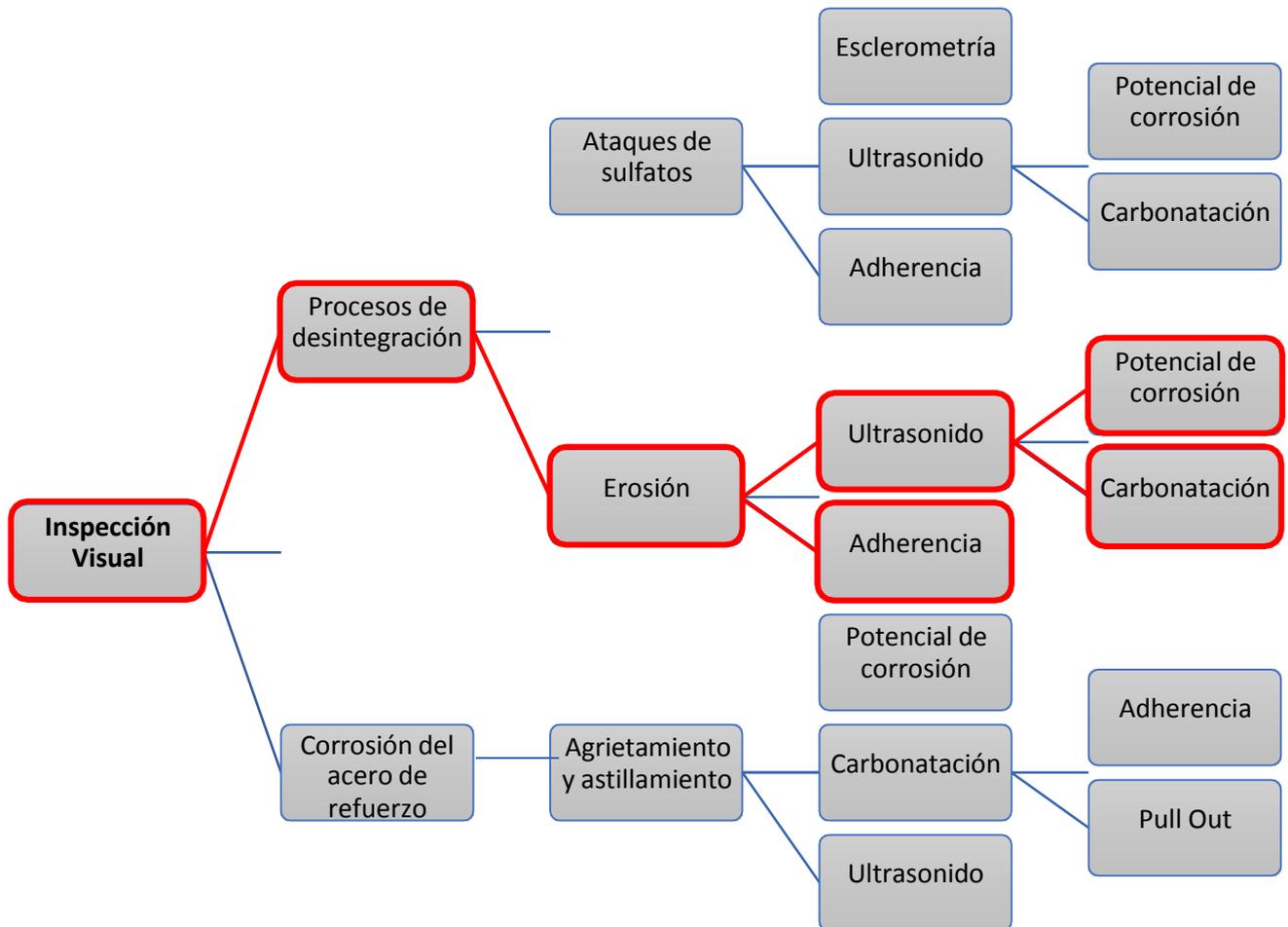


Gráfico 10 Árbol de solución para Erosión. (Ortega M. y Vanegas J., 2021).

De esta manera, se obtiene la siguiente lista de ensayos:

- Ultrasonido
- Adherencia
- Potencial de corrosión
- Carbonatación
- Detección de armaduras
- GPR
- Núcleos perforados
- Esclerometría

De los cuáles únicamente se ocupan los que sean factibles y pertinentes para el estudio del azud:

- Adherencia
- Carbonatación
- Detección de armaduras
- Núcleos perforados
- Esclerometría

También se incluye el Levantamiento de patologías varias, para garantizar una evaluación integral del azud.



INFORME TÉCNICO

Diagnosis de las patologías: proyecto azud Ocaña

Kevin Paulo Ochoa Machuca

Marcela Nicole Pazmiño Vintimilla

Cuenca, junio de 2018

Objetivo

El objetivo principal de la evaluación es determinar la calidad de los estratos de hormigón del azud, para conocer el estado actual de la estructura y dar respaldo técnico para la determinación del alcance, urgencia, métodos y materiales de rehabilitación requeridos. La propuesta de intervención que se formule puede ser de recrecimiento del azud o de recuperación de los recubrimientos, de acuerdo a lo que indique el estudio hidráulico.

Evaluación de la estructura

Alcance

Se realizaron ensayos semi-destructivos, ensayos no destructivos y ensayos in situ, tanto en la superficie del azud como en los muros laterales, siguiendo un proceso de muestreo para tener una visión global del estado de la obra a partir de una cantidad reducida de pruebas. Los elementos a evaluar fueron consensuados por el grupo de trabajo, tomando en cuenta el alcance de la evaluación, los tipos de ensayos y el número de muestras requeridas.

Ensayos realizados

En la Tabla 4 se resumen los ensayos realizados, indicando el número de puntos donde se llevaron a cabo las pruebas y las observaciones pertinentes.

Ensayo	Número de puntos	Observación
Carbonatación	4	Se consideraron las zonas con situaciones similares de exposición al CO ₂ . El cuarto punto se encuentra en un muro.
Esclerometría	27	Para definir estos puntos se trazó una cuadrícula sobre el azud. Por cada punto se tomaron 12 lecturas.
Núcleos perforados	7	En 6 de los 7 puntos se llevaron a cabo ensayos tanto en el estrato superior como inferior. Varios de estos puntos son cercanos a los lugares donde se realizaron los ensayos de Esclerometría.
Adherencia	27	Corresponden a los puntos de la cuadrícula.
Detección de armaduras	6	Estos puntos son cercanos a los lugares donde se realizaron los ensayos de Esclerometría y Núcleos Perforados. En la mayoría de casos bastó con realizar un mapeo de las armaduras expuestas.
Levantamiento de patologías varias		Se observan varios puntos tanto en el azud como en los muros laterales donde existe abrasión, pérdida de acero, anclajes expuestos, etc.

Tabla 4 Aspectos generales sobre los ensayos realizados en el azud.

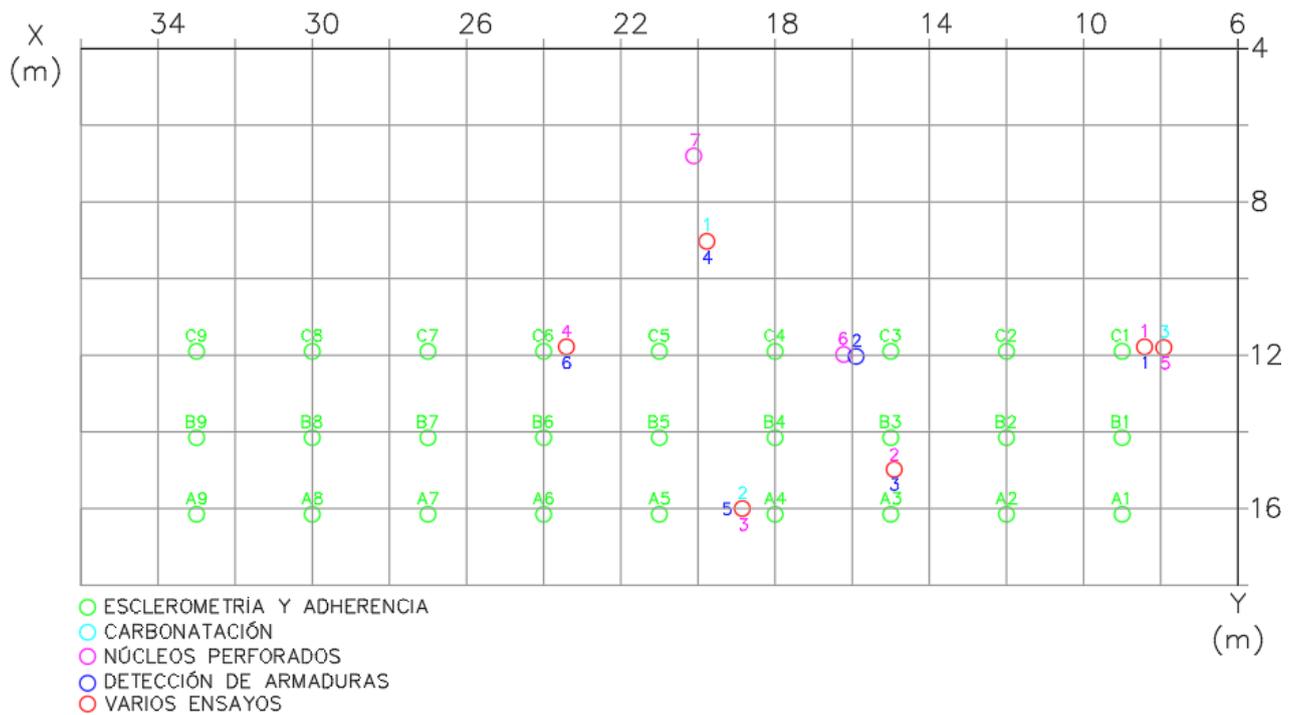


Gráfico 11 Ubicación de los ensayos realizados en el azud.

Resultados de la evaluación

Ensayo de Carbonatación

En la Tabla 5 se indican los resultados obtenidos del ensayo de Carbonatación. (Plantilla ESD01 (Ortega M. y Vanegas J., 2021), Anexo 2)

N°	Elemento	Ubicación (m)	Profundidad de carbonatación (mm)	Recubrimiento actual (mm)	Recubrimiento de diseño (mm)	Observaciones
1	Azud	X 19,77 Y 9,03	0,0	65	70	Carbonatación alcanza el 0%
2	Azud	X 18,85 Y 16	3,0	0	70	Carbonatación alcanza el 4,28%
3	Azud	X 7,92 Y 11,8	2,0	0	70	Carbonatación alcanza el 2,86%
4	Muro lateral	X 33 Y 5	8,4	70	70	Carbonatación alcanza el 12%

Tabla 5 Resultados ensayo de Carbonatación, azud Ocaña.

Ensayo de Núcleos perforados

En la Tabla 6 se indican los resultados obtenidos del ensayo de Núcleos perforados. (Plantilla ESD03 (Ortega M. y Vanegas J., 2021), Anexo 3)

Elemento	N° Ensayo	Ubicación (m)	Altura (cm)	Diámetro (cm)	L/D	Área (cm ²)	Carga de rotura (kN)	Resistencia (kg/cm ²)	Factor de corrección	Resistencia corregida (kg/cm ²)	Observaciones
1A	1	X 8,42	10,00	6,96	1,44	38,05	78,90	211,47	0,95	200,90	Menor al 75% de f'c
		Y 11,78									
1B	2	X 8,42	8,74	6,98	1,25	38,26	89,30	237,97	0,93	221,32	Mayor al 75% de f'c
		Y 11,78									
2A	3	X14,91	10,10	6,95	1,45	37,94	106,00	284,92	0,95	270,68	Mayor al 75% de f'c
		Y 14,98									
2B	4	X14,91	9,33	6,96	1,34	38,05	86,85	232,78	0,94	218,81	Mayor al 75% de f'c
		Y 14,98									
3A	5	X 18,85	10,93	6,98	1,57	38,26	101,00	269,15	0,97	261,08	Mayor al 75% de f'c
		Y 16,00									
3B	6	X 18,85	10,72	6,95	1,54	37,94	96,04	258,15	0,96	247,82	Mayor al 75% de f'c
		Y 16,00									
4A	7	X23,41	11,24	6,93	1,62	37,72	71,90	194,38	0,97	188,55	Menor al 75% de f'c
		Y 11,78									
4B	8	X23,41	9,27	6,91	1,34	37,50	54,50	148,19	0,94	139,30	Mayor al 75% de f'c
		Y 11,78									
5A	9	X 7,92	10,65	6,95	1,53	37,94	76,50	205,63	0,96	197,40	Menor al 75% de f'c
		Y 11,80									
6A	10	X16,22	13,58	6,95	1,95	37,94	55,82	150,04	1,00	150,04	Menor al 75% de f'c
		Y 11,98									
6B	11	X16,22	13,90	6,97	1,99	38,16	83,60	223,42	1,00	223,42	Mayor al 75% de f'c
		Y 11,98									
7A	12	X 201,11	12,70	6,97	1,82	38,16	60,70	162,22	1,00	162,22	Menor al 75% de f'c
		Y 6,8									
7B	13	X 201,11	11,57	6,96	1,66	38,05	83,60	224,07	0,97	217,34	Mayor al 75% de f'c
		Y 6,8									

Tabla 6 Resultados ensayo de Núcleos perforados, azud Ocaña.

Ensayo de Esclerometría

En la Tabla 7 se indican los resultados obtenidos de los ensayos de Esclerometría realizados en la superficie del azud. (Plantilla EIP01 (Ortega M. y Vanegas J., 2021), Anexo 4).

Punto	Ubicación (m)	Orientación	Q mín.	Q más	Q Prom	Desv. Est	Resistencia (kg/cm ²)	Observaciones
A1	X9 Y 16,15	A	36	58	47	16	555	Sector núcleo 5
B1	X9 Y 14,15	AB	34	48	41	10	488	Sector núcleo 5
C1	X9 Y 11,90	B	34	54	44	14	591	Sector núcleo 5
C2	X12 Y 11,90	B	31	56	44	18	509	Sector núcleo 1
B2	X12 Y 14,15	AB	40	60	50	14	580	Sector núcleo 1
A2	X12 Y 16,15	A	30	48	39	13	387	Sector núcleo 1
C3	X 15 Y 11,90	B	32	48	40	11	488	Sector núcleo 2
B3	X 15 Y 14,15	A	38	53	46	11	484	Sector núcleo 2
A3	X15 Y 16,15	A	32	60	46	20	458	Sector núcleo 2
C4	X18 Y 11,90	B	32	59	46	19	484	Sector núcleo 3
B4	X 18 Y 14,15	AB	36	58	47	16	540	Sector núcleo 3
A4	X 18 Y 16,15	A	38	48	43	7	458	Sector núcleo 3
C5	X 21 Y 11,90	B	44	59	52	11	660	Sector núcleo 3
B5	X 21 Y 14,15	AB	36	54	45	13	540	Sector núcleo 3
A5	X 21 Y 16,15	A	34	50	42	11	448	Sector núcleo 3
C6	X 24 Y 11,90	B	33	50	42	12	458	Sector núcleo 4
B6	X 24 Y 11,90	AB	30	42	36	8	395	Sector núcleo 4
A6	X 24 Y 16,15	A	34	43	39	6	408	Sector núcleo 4
C7	X 27 Y 11,90	B	38	41	40	2	458	
B7	X27 Y 14,15	AB	34	44	39	7	418	
A7	X27 Y 16,15	A	30	44	37	10	387	
C8	X30 Y 11,90	B	34	42	38	6	438	
B8	X30 Y 14,15	AB	34	42	38	6	413	
A8	X30 Y 16,15	A	34	48	41	10	448	
C9	X33 Y 11,90	B	32	39	36	5	367	
B9	X33 Y 14,15	AB	32	42	37	7	377	
A9	X33 Y 16,15	A	35	44	40	6	408	

Tabla 7 Resultados ensayo de Esclerometría, azud Ocaña.

La resistencia obtenida con este ensayo tiene un margen de error y suele presentar valores altos (sobre la media real) si, por ejemplo, existe carbonatación en el sustrato o la matriz del hormigón presenta agregado grueso de una elevada dureza. Para corregir esta resistencia se relaciona con los resultados del ensayo de Núcleos perforados, considerando que se puede utilizar un factor de corrección único para todo el azud al tratarse de un solo cuerpo.

Rcp promedio (kg/cm ²)	Re promedio (kg/cm ²)	Ki
230,44	468.33	0.49

Tabla 8 Factor de correlación ensayos de Esclerometría y Núcleos perforados, azud Ocaña.



Donde:

Rcp: Resistencia a compresión probeta testigo o núcleos

Re: Resistencia a compresión asociada con el índice esclerométrico sin corregir.

ki: Rcp/Re

De esta manera, se calcula la resistencia a compresión asociada con el índice esclerométrico corregido (Rac). Los resultados se muestran en la Tabla 9.

Punto	Ubicación (m)	IE	Re (kg/cm ²)	Ki	Rac (kg/cm ²)
A1	X9, Y16,15	48	555	0,49	273,09
B1	X9 Y14,15	43	488	0,49	240,12
C1	X9 Y 11,90	47	591	0,49	290,80
C2	X12 Y 11,90	43	509	0,49	250,45
B2	X12 Y 14,15	48	580	0,49	285,39
A2	X12 Y 16,15	39	387	0,49	190,42
C3	X 15 Y 11,90	42	488	0,49	240,12
B3	X 15 Y 14,15	48	484	0,49	238,15
A3	X15 Y 16,15	46	458	0,49	225,36
C4	X18 Y 11,90	43	484	0,49	238,15
B4	X 18 Y 14,15	46	540	0,49	265,70
A4	X 18 Y 16,15	43	458	0,49	225,36
C5	X 21 Y 11,90	51	660	0,49	324,75
B5	X 21 Y 14,15	46	540	0,49	265,70
A5	X 21 Y 16,15	42	448	0,49	220,44
C6	X 24 Y 11,90	40	458	0,49	225,36
B6	X 24 Y 11,90	38	395	0,49	194,36
A6	X 24 Y 16,15	40	408	0,49	200,75
C7	X 27 Y 11,90	40	458	0,49	225,36
B7	X27 Y 14,15	39	418	0,49	205,68
A7	X27 Y 16,15	39	387	0,49	190,42
C8	X30 Y 11,90	39	438	0,49	215,52
B8	X30 Y 14,15	39	413	0,49	203,22
A8	X30 Y 16,15	42	448	0,49	220,44
C9	X33 Y 11,90	35	367	0,49	180,58
B9	X33 Y 14,15	37	377	0,49	185,50
A9	X33 Y 16,15	40	408	0,49	200,75

Tabla 9 Resistencia a compresión asociada con el índice esclerométrico corregido, azud Ocaña.

Ensayo de Adherencia

En la Tabla 10 se indican los resultados obtenidos del ensayo de Adherencia. (Plantilla ESD02 (Ortega M. y Vanegas J., 2021), Anexo 5)

Punto	Ubicación (m)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Carga Tensión (kN)	Resistencia (MPa)	Resistencia (kg/cm ²)
A1	X 9 Y 16,15	5	19,63	6,76	3,40	35,10
B1	X 9 Y 14,15	5	19,63	6,01	3,00	31,20
C1	X 9 Y 11,90	5	19,63	5,90	3,00	30,60
C2	X 12 Y 11,90	5	19,63	6,84	3,40	35,50
B2	X 12 Y 14,15	5	19,63	8,57	4,30	44,50
A2	X 12 Y 16,15	5	19,63	6,20	3,10	32,20
C3	X 15 Y 11,90	5	19,63	6,13	3,10	31,80
B3	X 15 Y 14,15	5	19,63	6,68	3,40	34,70
A3	X15 Y 16,15	5	19,63	5,12	2,60	26,60
C4	X 18 Y 11,90	5	19,63	5,63	2,80	29,20
B4	X 18 Y 14,15	5	19,63	6,35	3,20	33,00
A4	X 18 Y 16,15	5	19,63	6,10	3,10	31,70
C5	X 21 Y 11,90	5	19,63	9,37	4,70	48,70
B5	X 21 Y 14,15	5	19,63	5,44	2,70	28,30
A5	X 21 Y 16,15	5	19,63	5,51	2,80	28,60
C6	X 24 Y 11,90	5	19,63	6,03	3,00	31,30
B6	X 24 Y 11,90	5	19,63	5,15	2,60	26,80
A6	X 24 Y 16,15	5	19,63	5,25	2,60	27,30
C7	X 27 Y 11,90	5	19,63	5,05	2,50	26,20
B7	X 27 Y 14,15	5	19,63	5,20	2,60	27,00
A7	X 27 Y 16,15	5	19,63	5,30	2,70	27,50
C8	X 30 Y 11,90	5	19,63	7,33	3,70	38,10
B8	X 30 Y 14,15	5	19,63	5,36	2,70	27,80
A8	X 30 Y 16,15	5	19,63	5,61	2,80	29,10
C9	X 33 Y 11,90	5	19,63	5,50	2,80	28,60
B9	X 33 Y 14,15	5	19,63	7,07	3,60	36,70
A9	X 33 Y 16,15	5	19,63	6,22	3,10	32,30

Tabla 10 Resultados ensayo de Adherencia, azud Ocaña.

Detección de Armaduras

En la Tabla 11 se indican los resultados obtenidos del ensayo de Detección de armaduras. (Plantilla END02 (Ortega M. y Vanegas J., 2021)).

Punto	Ubicación (m)	Acero X-X				Acero Y-Y			
		Diámetro Hierro X (mm)	Pérdida de sección (mm)	Sep. (mm)	Recub. (mm)	Diámetro Hierro Y (mm)	Pérdida de sección (mm)	Sep. (mm)	Recub. (mm)
1	X 8,42 Y 11,78	12	0	200	25	12	0	210	0
2	X 15,90 Y 12,03	12	0	180	30	12	0	180	12
3	X 14,91 Y 14,98	12	0	210	24	12	0	180	6
4	X 19,77 Y 9,03	12	0	210	81	12	0	210	65
5	X 18,85 Y 16,00	12	0	200	0	12	0	200	0
6	X 23,41 Y 11,78	0	12	0	0	0	12	0	0

Tabla 11 Resultados ensayo de Detección de armaduras, azud Ocaña.

Levantamiento de patologías varias

1.- Abrasión

Se observa abrasión en:

- La cresta del azud donde el acero está parcialmente expuesto.
- Las paredes laterales.
- La zona de transición entre la elipse y el zampeado, donde la armadura superior está expuesta y lisa, incluso con pérdida de sección.

En la Tabla 12 se indican los datos recolectados respecto al fenómeno de abrasión.

N	Coordenadas (m)	Abrasión (mm)	Ubicación
1	X 0.00 Y 5.00	68	Muro lateral
2	X.00 Y 7.00	76	
3	X 0.00 Y 9.00	50	
4		90	Zona de transición entre la elipse y el zampeado

Tabla 12 Resultados del levantamiento de los daños por abrasión, azud Ocaña.



2.- Pérdida de sección del acero

En algunas partes del azud el acero ha perdido su recubrimiento y, posteriormente, parte o la totalidad de su sección debido a procesos abrasivos. Esto se observa tanto en el refuerzo transversal como longitudinal. Además, en los muros se observa que en extracciones de núcleos anteriores se cortó el acero.

3.- Anclajes expuestos

Existen anclajes expuestos que han perdido total la sección del acero fuera de la incrustación.

4.- Reparaciones

Las reparaciones con calces de hormigón realizadas en trabajos anteriores presentan problemas como fisuramiento, delaminación parcial o pérdida del material.

5.- Daños congénitos

Se concluye que no se dio un tratamiento con endurecedores de cuarzo para evitar la abrasión de la superficie del azud, ya que no se ha encontrado restos de este de material.

6.- Falta de mantenimiento

No se observa un mantenimiento preventivo en respuesta al importante proceso abrasivo.

Análisis de resultados

Carbonatación

La carbonatación actualmente no representa un problema importante en el azud, siendo el valor más alto de 4,28%, incluso en las zonas donde se espera mayor carbonatación por la falta total de recubrimiento. Por lo que la carbonatación no es el principal parámetro que define la vida remanente del azud. Sin embargo, es apropiado recomendar el uso de un recubrimiento de protección para mantener en lo posible esta condición.

Núcleos perforados

En la Tabla 13 se comparan los valores obtenidos con los de diseño y los aceptados como estructuralmente adecuados por el ACI 318S (2014).

Estrato	f'c promedio obtenido (kg/cm ²)	f'c promedio de diseño (kg/cm ²)	f'c aceptado (kg/cm ²) (85% f'c de diseño)
15 cm	230,44	320,00	272,00
5 cm	191,53	180,00	153,00

Tabla 13 Resultados y valores aceptados del ensayo de Núcleos perforados, azud Ocaña.

Los resultados nos indican que el hormigón del estrato superior tiene una resistencia debajo de la requerida, mientras que en el estrato inferior la resistencia es mayor a la requerida. En

este caso se concluye que el déficit en la resistencia del hormigón superior permite el desgaste del azud y debe ser corregida utilizando recubrimientos que lo protejan.

Esclerometría

Con mayor alcance que el ensayo de Núcleos perforados, los resultados nos indican que efectivamente la resistencia del hormigón superficial es menor a la requerida en la mayor parte de los puntos analizados. Por lo tanto, la intervención debe ser integral.

Adherencia

La resistencia promedio obtenida es de 3,1 MPa y supera los 1,4 MPa requeridos como mínimo para que el hormigón reciba refuerzos adheridos. Esto permite considerar el uso de materiales compuestos FRP para reforzar la obra o recubrimientos de protección. Sin embargo, para fines de cálculos estructurales se recomienda realizar un análisis con los resultados más desfavorables y analizar si se requiere ocupar anclajes.

Detección de armaduras

Se observa que la pérdida de recubrimiento ha avanzado en poco tiempo, por lo tanto, la falta de una intervención a corto o mediano plazo puede significar un aumento considerable en la magnitud del daño.

Levantamiento de patologías varias

Se considera que de momento la abrasión es la patología que determina la vida útil de la estructura, afectando tanto a los muros laterales como a la superficie del azud. Se debe considerar que el fluido y los materiales que transporta generan fricción sobre el perfil, la cual es mayor en las áreas sometidas a flujos de alta velocidad. Además, la abrasión empeora si el hormigón no es sano y presenta fisuras.

Recomendaciones de rehabilitación

Las recomendaciones de rehabilitación se presentan en el orden que se debe seguir:

- **Limpieza y rehabilitación del sustrato:**

Se debe preparar el sustrato previo a la limpieza de la superficie y a la colocación de materiales como nuevo hormigón. En este caso se requiere:

- Remoción de recubrimientos y contaminantes superficiales.
- Lijado manual del acero y el hormigón en zonas poco accesibles.
- Cepillado.
- De ser posible, preparación de la superficie mediante chorro de arena proyectada.
- Eliminar el material inservible hasta llegar al hormigón sano.

A continuación, se pasa a la limpieza del sustrato para remover suciedad, material suelto, polvo, etc. Se recomienda el uso de agua a presión y aire comprimido.

- **Pérdida de sección del acero**

Una vez limpiado el acero y su perímetro, se recomienda reponer las secciones perdidas y reemplazar los aceros que sean necesarios, realizando empalmes adecuados con nuevas varillas. A continuación, cubrir los aceros con un producto que garantice la adherencia. Se puede ocupar adhesivos:

- A base de polímeros modificados e inhibidores de corrosión.
- A base de cemento modificado con resina epóxica e inhibidores de corrosión. Que cumpla con los requerimientos de la norma EN 1504-7.

También se plantea el uso de materiales compuesto adheridos y anclados que provean la resistencia prevista en los diseños finales, tomando en cuenta que el anclaje debe alcanzar el estrato inferior.

- **Agujeros y pérdida de recubrimiento**

En las zonas donde se ha perdido hormigón se recomienda colocar un adhesivo de “hormigón fresco a endurecido” y mortero de reparación y relleno.

Para las recomendaciones indicadas se podría usar:

- Adhesivo de “hormigón fresco a endurecido” que puede ser un adhesivo epóxico imprimante de alta resistencia. Que cumpla con la norma ASTM C-881 Tipo II, grado 2, clase B y C y la especificación AASTHO M-235.
- Mortero para reparación y relleno. Que cumpla con los requerimientos de la clase R4 de la UNE-EN 1504-3.

Con esto se logrará:

- Recuperar el perfil del azud.
- Cerrar los espacios por donde pueden ingresar agentes dañinos.
- Recuperar el recubrimiento del acero.

- **Abrasión y baja resistencia a compresión del hormigón**

Debido a que el daño por abrasión está directamente relacionado con la baja resistencia del estrato superior, se recomienda que se coloque recubrimiento en toda la superficie sujeta a desgaste hidráulico, y a su vez tratar los muros laterales del azud.

Para las recomendaciones indicadas se podría usar:

- Adhesivo epóxico de alta resistencia que sirva como imprimante para tratamientos epóxicos sobre superficies húmedas. El adhesivo debe cumplir con la Norma ASTM C-881 Tipo II, Grado 2, Clase B y C; y la especificación AASTO M-235.
- Mortero epóxico que sirva como acabado de alta resistencia a la abrasión en estructuras hidráulicas. El mortero debe cumplir con la Norma ASTM C 881-90, Tipo 1, Grado 3, Clase B y C.

Con esto se logrará:

- Proporcionar al azud una superficie resistente a la abrasión.

- **Carbonatación:**

Se espera que el recubrimiento recomendado para la abrasión también disminuya el avance de la carbonatación.



2.2. DIAGNOSIS DE LAS PATOLOGÍAS: PROYECTO PUENTE SOBRE EL RÍO YANUNCAY



INFORME PRELIMINAR

Diagnosis de las patologías: proyecto puente sobre el Río Yanuncay

Kevin Paulo Ochoa Machuca

Marcela Nicole Pazmiño Vintimilla

Cuenca, agosto de 2014

Nombre del proyecto

Diagnos de las patologías: proyecto puente sobre el Río Yanuncay

Ubicación geográfica

El puente se encuentra en la ciudad de Cuenca, Ecuador, y se ubica en la Av. de las Américas en el tramo comprendido entre la Av. Primero de Mayo y la calle Cantón Paute. Las coordenadas Estándar UTM son:

Zona:	17 M
Coordenada Este:	718605.31 m E
Coordenada Norte:	9678529.01 m S

Gráfico 12 Coordenadas del Puente sobre el Río Yanuncay. Fuente: (Google Earth).

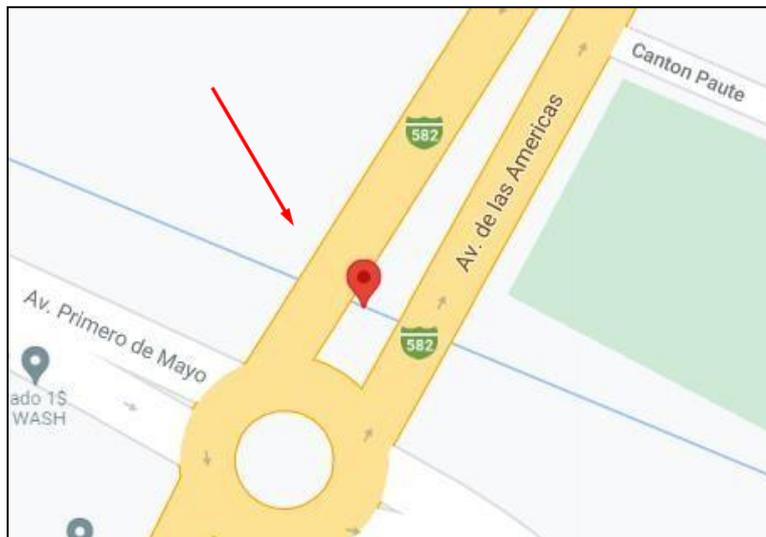


Gráfico 13 Ubicación del Puente sobre el Río Yanuncay. Fuente: (Google Maps, Google Earth).

Zona de amenaza sísmica

De acuerdo al mapa de zonificación sísmica y factor Z del Ecuador el puente se encuentra en la zona sísmica II, con un factor Z de 0,25 y una peligrosidad sísmica Alta.

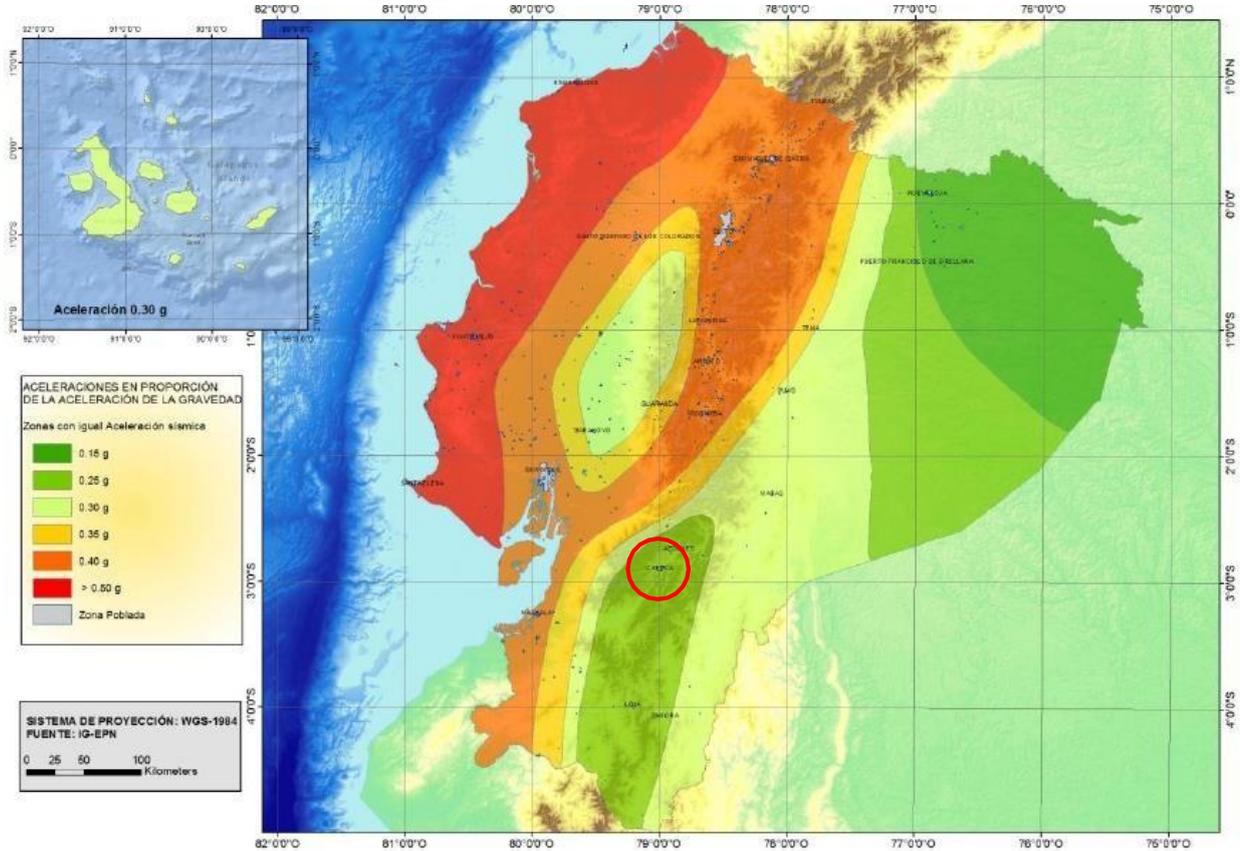


Gráfico 14 Zona sísmica ciudad de Cuenca. Fuente: (NEC-SE-DS, 2014)

Descripción del problema

El presente diagnóstico fue desarrollado por el contrato con Tranvía de 4 ríos de la Ciudad de Cuenca, que tiene como propósito prestar servicios especializados en patología estructural para el estudio y la evaluación del fenómeno y la formulación de la metodología requeridas para el saneamiento, rehabilitación y repotenciación del Puente sobre el Río Yanuncay.

Según el Ministerio de Transporte y Obras Públicas de Ecuador, las estructuras de puentes con 30-35 años de edad han tenido un comportamiento adecuado en su vida; se espera analizar la perpetuación y repotenciación a fin que la estructura cumpla con las condiciones actuales que se exigen. Esta estructura no ha recibido mantenimiento alguno durante su vida.



Fase de documentación

Para la fase de documentación se utilizó la plantilla END01_FD (Ortega M. y Vanegas J., 2021).

 UNIVERSIDAD DE CUENCA Facultad de Ingeniería		MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI- DESTRUCTIVOS		CÓDIGO END01
INSTITUCIÓN	Universidad De Cuenca		HORA	FECHA
PROYECTO	Diagnos de las patologías, Puente sobre Río Yanuncay		13:00	08/2014
UBICACIÓN	Av de las Américas y Av Primero de Mayo		ZONA SÍSMICA	II
FASE PRELIMINAR				
Variable		Sí	No	Observaciones
Tipo de estructura				
Tipo de cimentación			X	
Sistema estructural			X	
Irregularidades			X	
Diseños estructurales no recomendados			X	
Diseñadores				
Arquitecto			X	
Ingeniero de suelos			X	
Ingeniero estructural			X	
Ingeniero asesor de materiales			X	
Especificaciones del proyecto				
Constructor			X	
Fiscalizador			X	
Proveedor de materiales			X	
Historial de la estructura				
Fechas de diseño y cumplimiento de normas			X	
Construcción y puesta en servicio		X		Año 1980 aproximadamente
Vida útil proyectada		X		100 años
Área construida		X		Alrededor de 1600 m ²
Propietarios y usos		X		Uso de la población
Registros de actividad sísmica, actividad geológica y estudios de suelos			X	
Información sobre el funcionamiento, ocupación y límites de carga			X	
Planes de alteración y órdenes de cambio			X	
Revisión del proyecto original y registros de construcción				
Planos de diseño, especificaciones y cálculos			X	
Libro de obra			X	
Colocación de armadura de concreto			X	
Códigos de construcción			X	
Materiales de construcción y datos de ensayo			X	
Control de calidad e informes de inspección en campo			X	
Fotografías del proceso constructivo			X	
Calidad del diseño y la construcción de la estructura original				Buena

Inspección visual

Para la inspección visual se utilizó la plantilla END01 (Ortega M. y Vanegas J., 2021) y los pesos que se muestran en la Tabla 14, los cuales se seleccionaron de acuerdo al nivel de importancia de cada patología en la estructura según los rangos indicados a continuación:

- Nivel de importancia bajo: [0 a 2]
- Nivel de importancia medio: [3 a 5]
- Nivel de importancia alto: [6 a 8]

Variable	Peso (%)
Agrietamientos en elementos estructurales	8
Deformaciones y desviaciones visibles	4
Asentamientos en la cimentación	2
Nivel freático	6
Patologías por efecto humano	2
Patologías de materiales	3
Corrosión del acero de refuerzo	5
Humedad relativa	5
Temperatura	8
Tipo de agua presente	8
Sustancias agresivas y concentración	8
Problemas ocultos	2
Eflorescencias	4
Viento	2
Sismos	5
Vibraciones no naturales	2
Inundaciones	4
Expansión del suelo	2
Empuje del suelo	2
Modificaciones de elementos estructurales	5
Modificaciones de uso de la estructura	5
Incumplimiento de especificaciones técnicas	4
Actualización de normas	4
Total	100

Tabla 14 Pesos propuestos para evaluar el estado del puente sobre el Río Yanuncay.



 UNIVERSIDAD DE CUENCA Facultad de Ingeniería		MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI-DESTRUCTIVOS				CÓDIGO	
						END01	
INSTITUCIÓN	Universidad de Cuenca				HORA	FECHA	
PROYECTO	Diagnóstico de las patologías, Puente sobre Río Yanuncay				9:15	08/2014	
UBICACIÓN	Av de las Américas y Av. Primero de Mayo				ZONA SÍSMICA	II	
INSPECCIÓN VISUAL							
Variable	Sí	No	Observaciones	Bueno	Regular	Malo	
Agrietamientos en elementos estructurales	X		Fisuras en las vigas, de 0.4 a 0.7 mm	8			
Fisuras en mampostería		X					
Deformaciones y desviaciones visibles		X					
Asentamientos en la cimentación		X					
Cavitación y abrasión		X					
Nivel freático	X		Por cercanía al Río Yanuncay, tendrá nivel freático alto		6		
Geometría y materiales estructurales							
Patologías por efecto humano		X					
Patologías de materiales		X					
Corrosión del acero de refuerzo		X	No se observa a simple vista, pero se debe realizar ensayos.				
Condiciones ambientales							
Humedad relativa		X					
Temperatura	X		Temperatura de 17°C	8			
Tipo de agua presente	X		Agua con color y baja turbiedad		8		
Sustancias agresivas y concentración	X		Cloruros y pequeñas descargas clandestinas de aguas residuales industriales			8	
Problemas ocultos		X					
Condiciones de exposición especiales							
Fuego		X					
Viento		X					
Sismos		X					
Vibraciones no naturales		X					
Inundaciones		X					
Expansión del suelo		X					
Empuje del suelo		X					
Verificación de la construcción conforme a obra							
Modificaciones de elementos estructurales		X					
Modificaciones de uso de la estructura		X					
Incumplimiento de especificaciones técnicas		X					
Actualización de normas		X					
Total				16	14	8	
Estado de la estructura				Buena			

Una vez realizada la inspección visual, se llega a la conclusión que el estado general de la estructura es “Buena”. Por lo tanto, la intervención en la obra es viable.

Entre las principales patologías que tiene el puente se observa la presencia de segregación, que es un problema causado durante su construcción.



Gráfico 15 Segregación en una de las vigas del puente.

Existen varias zonas con pérdida de recubrimiento y varillas expuestas.



Gráfico 16 Ejemplos de pérdida de recubrimiento.

Los elementos estructurales también tienen fisuras y grietas de diferentes tamaños.



Gráfico 17 Grieta vertical que atraviesa el elemento.

El agua que se filtra en el puente provoca problemas de humedad.



Gráfico 18 Eflorescencias por filtraciones de agua.

Clasificación de patologías identificadas en la inspección visual

En la Tabla 15 se indican las patologías generales y específicas presentes en el puente.

Patologías generales	Patologías específicas
Patologías por intervención humana	Segregación
Patologías por efectos térmicos	No
Patologías por efecto de humedad	No
Procesos de desintegración	Agentes químicos agresivos
	Ataque de sulfatos
Corrosión del acero de refuerzo	Agrietamiento y astillamiento
	Penetración de cloruros
	Carbonatación
Patologías por efectos de cargas	No
Patologías por acción sísmica	No
Otras patologías	No

Tabla 15 Patologías generales y específicas del puente sobre el Río Yanuncay.

Con la clasificación anterior, se calcula el porcentaje de participación de cada patología general. Para esto se considera que todas las patologías generales tienen la misma ponderación, y dependiendo del número de patologías específicas varía el respectivo porcentaje. Es decir, se considera el número de patologías específicas que ocurren dentro de cada patología general.

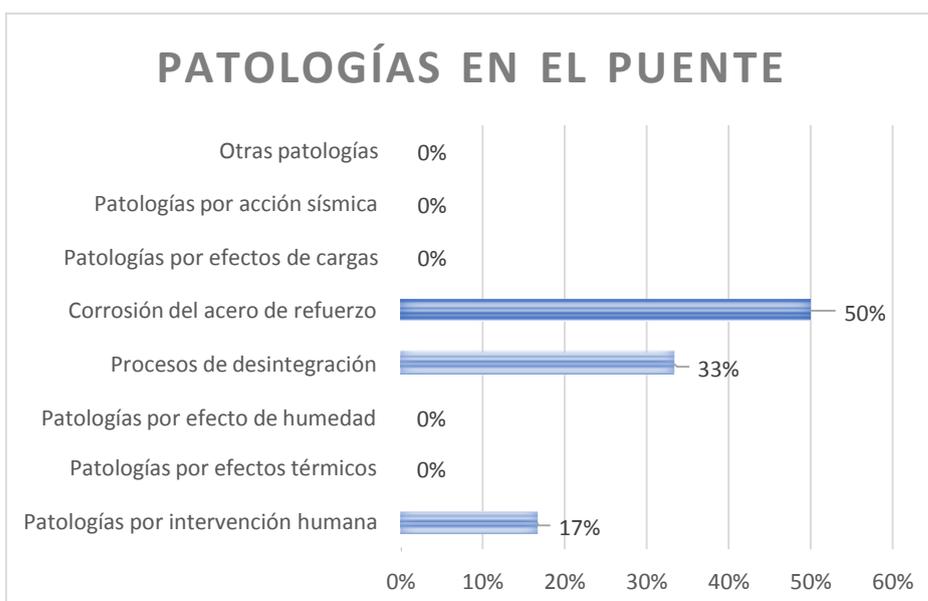


Gráfico 19 Porcentaje de tipos de patologías presentes en el puente.

Daños determinados en la inspección visual

Teniendo en consideración la plantilla END01, en la Tabla 16 se muestran los daños presentes en la estructura.

Daños visibles en inspección visual	Existencia
Agrietamientos en elementos estructurales	Si
Fisuras en mampostería	No
Deformaciones visibles	No
Asentamientos en la cimentación	No
Nivel freático	Si
Patologías por intervención humana	No
Patologías de materiales	No
Corrosión del acero de refuerzo	Si
Sustancias agresivas en el hormigón	Si
Problemas ocultos	No
Fuego	No
Sismos	No
Inundaciones	No
Expansión del suelo	No
Empuje del suelo	No
Modificaciones de elementos estructurales	No
Modificaciones de uso de la estructura	No

Tabla 16 Daños visibles del puente sobre el Río Yanuncay identificados en la inspección visual

Árboles de soluciones

Una vez que se ubican las patologías y los daños visibles, se procede a utilizar los árboles de soluciones; los mismos que indicarán los ensayos que se debe realizar.

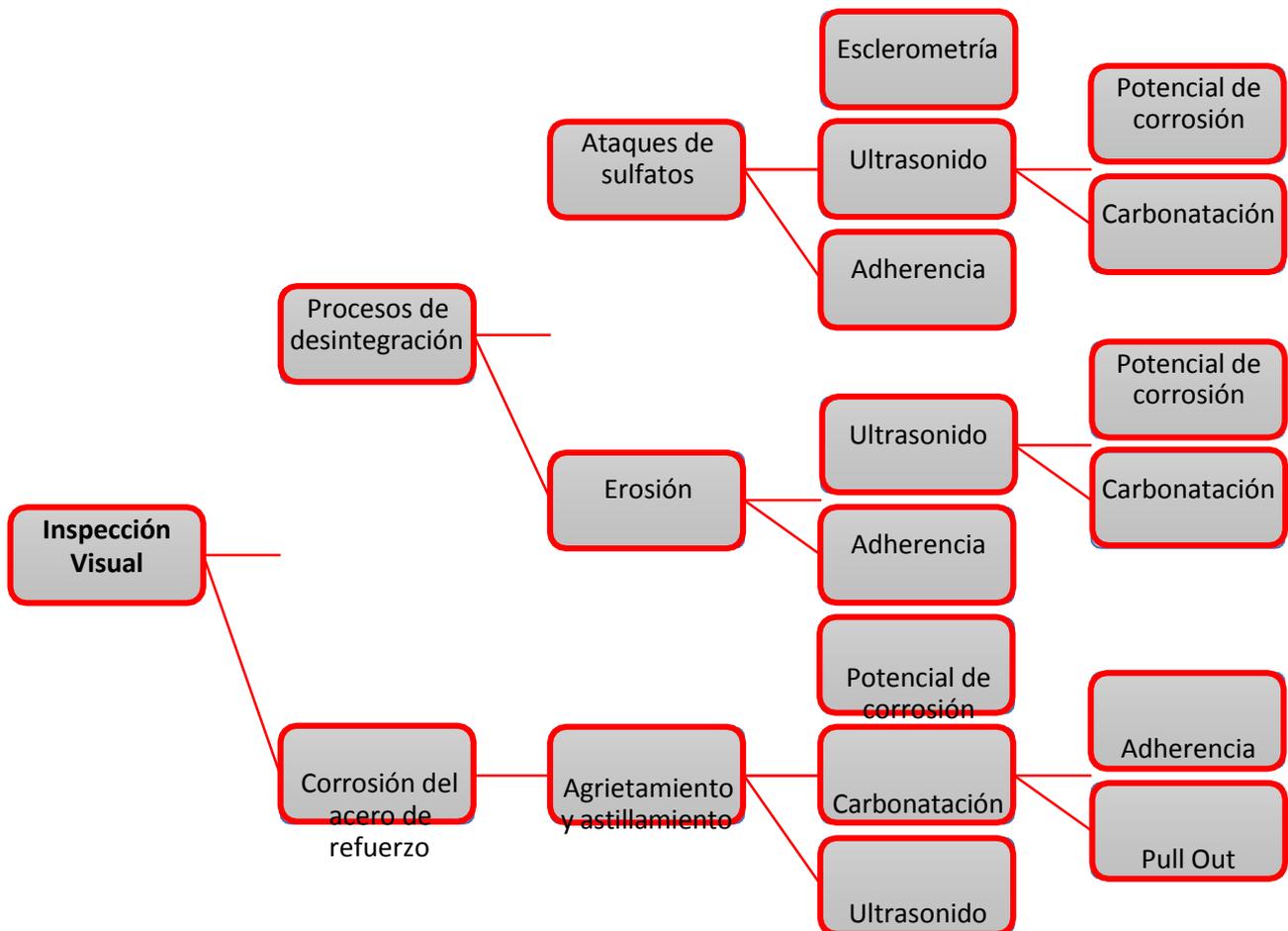


Gráfico 20 Árbol de solución para Procesos de desintegración y Corrosión del acero de refuerzo

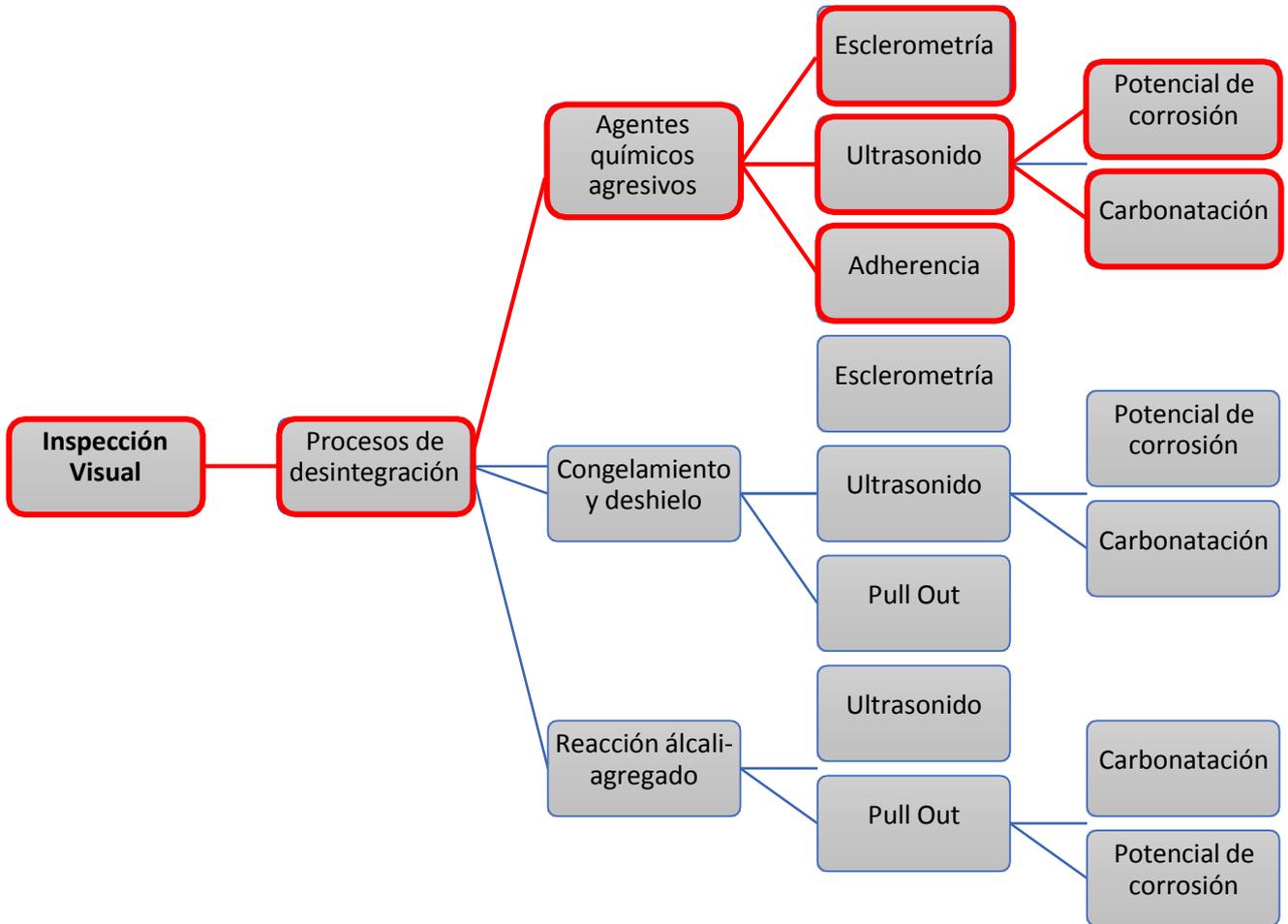


Gráfico 21 Árbol de solución para Agentes químicos.

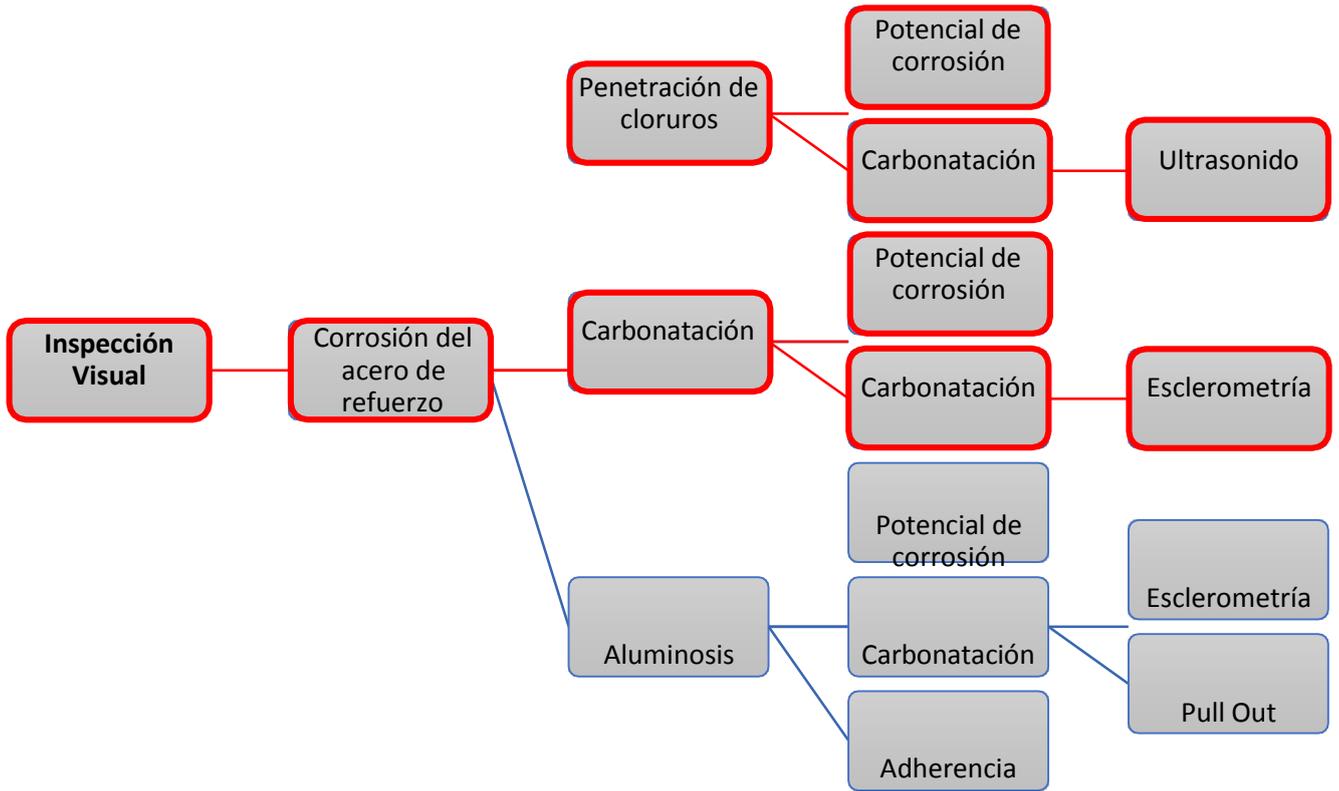


Gráfico 22 Árbol de solución para daño por Corrosión del acero de refuerzo.

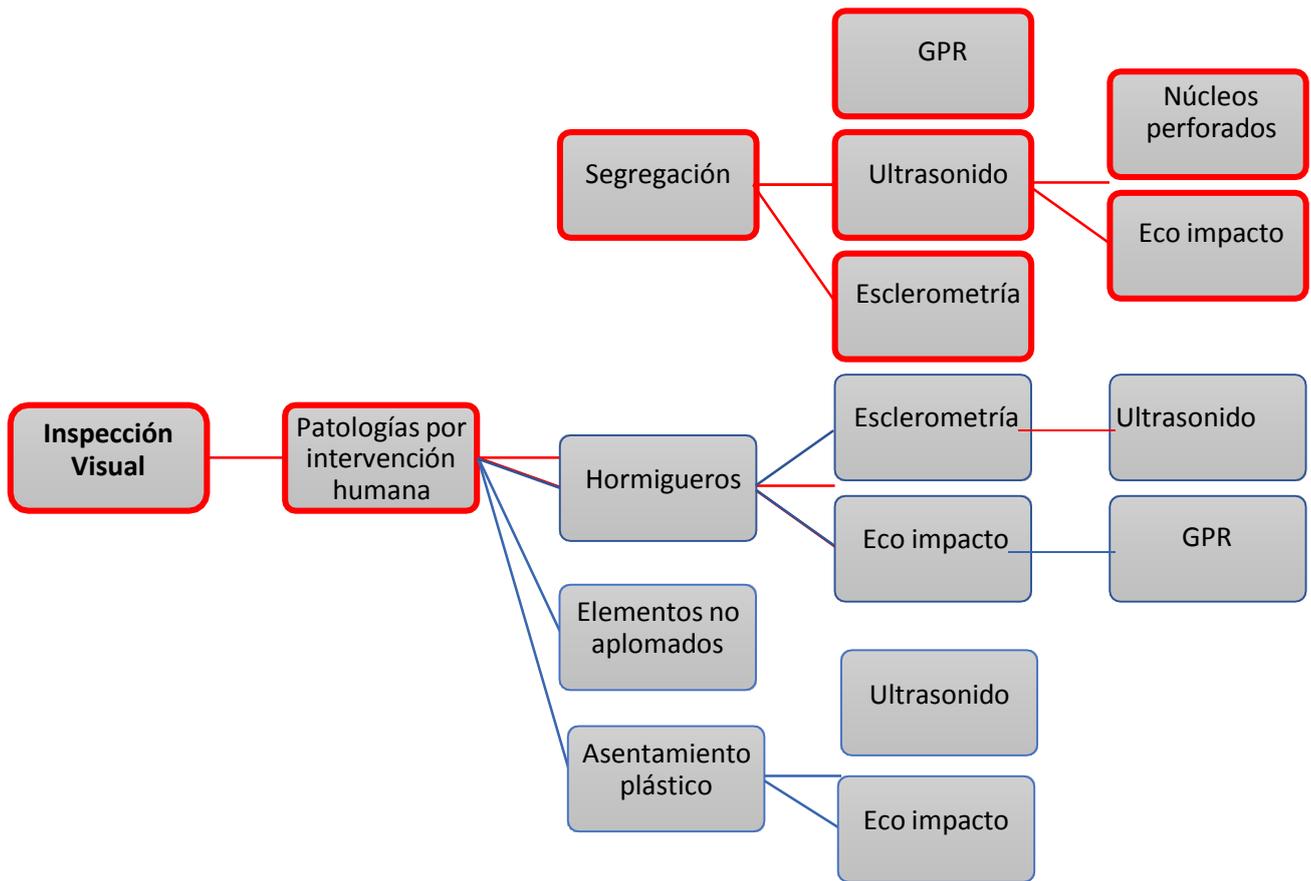


Gráfico 23 Árbol de solución para Segregación.



Con los árboles de soluciones mostrados, se concluye que se deberían realizar los ensayos siguientes:

- GPR
- Ultrasonido
- Esclerometría
- Núcleos Perforados
- Eco impacto
- Adherencia
- Potencial de corrosión
- Carbonatación
- Pull Out
- Detector de armaduras

De los ensayos que se deberían realizar, con los árboles de soluciones, se considera: factibilidad, presupuesto, disponibilidad de realizar cada ensayo, por lo que definiendo dichos aspectos u otros que se consideren necesarios, se opta por realizar los siguientes ensayos:

- Potencial de corrosión
- Carbonatación
- Núcleos perforados
- Esclerometría
- Adherencia
- Detector de armaduras
- Ultrasonido

Además, es recomendable realizar levantamiento de fisuras.



INFORME TÉCNICO

Diagnosis de las patologías: proyecto puente sobre el Río Yanuncay

Kevin Paulo Ochoa Machuca

Marcela Nicole Pazmiño Vintimilla

Cuenca, agosto de 2014

Objetivo

Recolectar información que permita, mediante su interpretación, análisis de evaluaciones anteriores, y de pruebas de carga en la estructura, definir el estado actual de conservación de los diferentes elementos de la estructura evaluada desde el punto de vista de su durabilidad.

Evaluación de la estructura

Alcance

La evaluación del puente, comprendió el estudio de los elementos estructurales, como vigas, estribos y losas; dichos elementos fueron escogidos considerando el alcance de la evaluación, así como el tipo de ensayos a practicar y el número de muestras.

Para la evaluación de los elementos estructurales del Puente Yanuncay, se llevaron a cabo ensayos de tipo semi-destructivo, no destructivo e in situ.

Ensayos realizados

Los ensayos se realizaron en los elementos estructurales antes mencionados. En la Tabla 17 se indica su clasificación.

Ensayos	
Ensayos semi-destructivos	Carbonatación
	Núcleos Perforados
	Adherencia
Ensayos no destructivos	Ultrasonido
	Detector de armaduras
	Potencial de corrosión
Ensayos in situ	Esclerometría

Tabla 17 Ensayos realizados en el puente sobre el Río Yanuncay de acuerdo al tipo de ensayo

Resultados de la evaluación

Potencial de Corrosión

En la Tabla 18 se indica la probabilidad de corrosión de cada elemento estructural. Considerando la norma ASTM C876. (Plantilla END05 (Ortega M. y Vanegas J., 2021), Anexo 6)



Elemento	Ubicación	Lectura (mV)	Probabilidad de corrosión	Condición
Viga 1 / Estribo	Aguas Arriba	-256	Incierto	Uniforme
Viga 2 / Estribo	Aguas Arriba	-137	10%	Pasiva
Viga 5 / Estribo	Aguas Arriba	-436	90%	Activa
Viga 4 / Estribo	Aguas Abajo	-294	Incierto	Activa
Viga 2 / Estribo	Aguas Abajo	-238	Incierto	Incierto
Diafragma	Aguas Arriba	-192	10%	Pasiva
Cara Viga 1	1m del Estribo	-139	10%	Pasiva
Cara Viga 1	2.5 del Estribo	-166	10%	Pasiva
Cara Viga 1	4m del Estribo	-113	10%	Pasiva
Cara Viga 2	1m del Estribo	-100	10%	Pasiva
Cara Viga 3	1m del Estribo	-130	10%	Pasiva
Cara Viga 4	1m del Estribo	-238	Incierto	Uniforme
Cara Viga 4	1.5m del Estribo	-175	10%	Pasiva
Cara Viga 4	4m del Estribo	-186	10%	Pasiva
Cara Viga 6	1m del Estribo	-176	10%	Pasiva
Cara Viga 6	2.5m del Estribo	-205	Incierto	Pasiva
Cara Viga 6	4m del Estribo	-212	Incierto	Pasiva
Cara Viga 6	6.4m del Estribo	-155	0,1	Pasiva
Cara Viga 6	8.15m del Estribo	-186	0,1	Pasiva
Cara Viga 6	9.65m del Estribo	-165	0,1	Pasiva
Cara Viga 5	1m del Estribo	-252	Incierto	Uniforme
Cara Viga 5	2.5m del Estribo	-207	Incierto	Pasiva
Cara Viga 7	1m del Estribo	-220	Incierto	Uniforme
Cara Viga 8	1m del Estribo	-122	10%	Pasiva
Cara Viga 9	1m del Estribo	-217	Incierto	Pasiva
Cara Viga 10	1m del Estribo	-199	10%	Pasiva
Cara Viga 11	1m del Estribo	-250	Incierto	Uniforme
Cara Viga 12	1m del Estribo	-233	Incierto	Uniforme

Elemento	Ubicación	Lectura (mV)	Probabilidad de corrosión	Condición
Cara Viga 1	1m del Estribo	-214	Incierto	Pasiva
Cara Viga 2	1m del Estribo	-190	10%	Pasiva
Cara Viga 3	1m del Estribo	-187	10%	Pasiva
Cara Viga 3	2.5m del Estribo	-300	Incierto	Activa
Cara Viga 4	1m del Estribo	-255	Incierto	Uniforme
Cara Viga 4	1m del Estribo	-253	Incierto	Uniforme
Cara Viga 5	1m del Estribo	-217	Incierto	Pasiva
Cara Viga 5	2.5 del Estribo	-222	Incierto	Uniforme
Cara Viga 5	4m del Estribo	-241	Incierto	Uniforme
Cara Viga 5	6.4m del Estribo	-100	10%	Pasiva
Cara Viga 5	7.5m del Estribo	-134	10%	Pasiva
Cara Viga 5	9.45m del Estribo	-186	10%	Pasiva
Cara Viga 6	1m del Estribo	-168	10%	Pasiva
Cara Viga 6	2.5m del Estribo	-227	Incierto	Uniforme
Cara Viga 7	1m del Estribo	-182	10%	Pasiva
Cara Viga 7	2.5m del Estribo	-204	Incierto	Pasiva
Cara Viga 8	2.5m del Estribo	-150	10%	Pasiva
Cara Viga 9	1m del Estribo	-186	10%	Pasiva
Cara Viga 9	2.5m del Estribo	-233	Incierto	Uniforme
Cara Viga 10	1m del Estribo	-220	Incierto	Uniforme
Cara Viga 10	2.5m del Estribo	-247	Incierto	Uniforme
Cara Viga 11	1m del Estribo	-228	Incierto	Uniforme
Cara Viga 11	2.5m del Estribo	-192	10%	Pasiva
Cara Viga 12	1m del Estribo	-285	Incierto	Activa
Cara Viga 12	2.5m del Estribo	-215	Incierto	Pasiva
Losa/Viga 2 y 3	1.5m del Estribo	-135	Incierto	Pasiva
Losa/Viga 4 y 5	1.5m del Estribo	-80	10%	Pasiva
Losa/Viga 6 y 7	1.5m del Estribo	-207	Incierto	Pasiva

Elemento	Ubicación	Lectura (mV)	Probabilidad de	Condición	Elemento	Ubicación	Lectura (mV)	Probabilidad de	Condición
Losa/Viga 4 y 8	1.5m del Estribo	-119	10%	Pasiva	Cara Viga 6	6.4m del Estribo	-155	10%	Pasiva
Losa/Viga 10 y 11	1.5m del Estribo	-162	10%	Pasiva	Cara Viga 6	8.15m del Estribo	-186	10%	Pasiva
Losa/Viga 3 y 4	1.5m del Estribo	-149	10%	Pasiva	Cara Viga 6	9.65m del Estribo	-165	10%	Pasiva
Losa/Viga 5 y 6	1.5m del Estribo	-155	10%	Pasiva	Cara Viga 5	1m del Estribo	-252	Incierto	Uniforme
Losa/Viga 7 y 8	1.5m del Estribo	-158	10%	Pasiva	Cara Viga 5	2.5m del Estribo	-207	Incierto	Pasiva
Losa/Viga 9 y 10	1.5m del Estribo	-108	10%	Pasiva	Cara Viga 7	1m del Estribo	-220	Incierto	Uniforme
Losa/Viga 11 y 12	1.5m del Estribo	-112	10%	Pasiva	Cara Viga 8	1m del Estribo	-122	10%	Pasiva
Cara Viga 4	1m del Estribo	-238	Incierto	Uniforme	Cara Viga 9	1m del Estribo	-217	Incierto	Pasiva
Cara Viga 4	1.5m del Estribo	-175	10%	Pasiva	Cara Viga 10	1m del Estribo	-199	10%	Pasiva
Cara Viga 4	4m del Estribo	-186	10%	Pasiva	Cara Viga 11	1m del Estribo	-250	Incierto	Uniforme
Cara Viga 6	1m del Estribo	-176	10%	Pasiva	Cara Viga 12	1m del Estribo	-233	Incierto	Uniforme
Cara Viga 6	2.5m del Estribo	-205	Incierto	Pasiva	Cara Viga 1	1m del Estribo	-214	Incierto	Pasiva
Cara Viga 6	4m del Estribo	-212	Incierto	Pasiva					

Tabla 18 Resultados ensayo de Potencial de corrosión, puente sobre el Río Yanuncay.

Ensayo de Carbonatación

En la Tabla 19 se indica los datos obtenidos mediante el ensayo realizado de Carbonatación. (Plantilla ESD01 (Ortega M. y Vanegas J., 2021), Anexo 7).

Elemento	Ubicación	Profundidad (mm)		Recub. (mm)	Observaciones	Elemento	Ubicación	Profundidad (mm)		Recub. (mm)	Observaciones
		máx	mín					máx	mín		
Viga 1	inferior aguas arriba	5	0	00	Carbonatación alcanza 10%	Viga 3	superior aguas abajo	0	0	42	Carbonatación alcanza 0%
Viga 1	superior aguas abajo	0	0	55	Carbonatación alcanza 0%	Viga 4	superior aguas arriba	0	0	42	Carbonatación alcanza 0%
Viga 2	aguas abajo	80	60	100	Carbonatación alcanza 80%	Viga 4	inferior aguas abajo	0	0	40	Carbonatación alcanza 0%
Viga 2	aguas arriba	60	40	60	Carbonatación alcanza 100%	Viga 5	aguas abajo	20	0	32	Carbonatación alcanza 63%
Viga 3	inferior aguas arriba	0	0	37	Carbonatación alcanza 0%	Viga 5	aguas arriba	0	0	45	Carbonatación alcanza 0%



Elemento	Ubicación	Profundidad (mm)		Recub. (mm)	Observaciones
		máx	mín		
Viga 6	inferior aguas arriba	0	0	50	Carbonatación alcanza 0%
Viga 6	cara de la base	47	31	47	Carbonatación alcanza 100%
Viga 6	superior aguas abajo	30	0	65	Carbonatación alcanza 46%
Viga 7	superior aguas abajo	0	0	46	Carbonatación alcanza 0%
Viga 7	inferior aguas arriba	65	48	65	Carbonatación alcanza 100%
Viga 8	superior aguas arriba	0	0	58	Carbonatación alcanza 0%
Viga 8	inferior aguas abajo	22	20	32	Carbonatación alcanza 69%
Viga 9	inferior aguas abajo	0	0	39	Carbonatación alcanza 0%
Viga 9	superior aguas arriba	0	0	35	Carbonatación alcanza 0%
Viga 10	inferior aguas abajo	25	20	56	Carbonatación alcanza 45%
Viga 10	superior aguas arriba	0	0	25	Carbonatación alcanza 0%
Viga 11	superior aguas abajo	0	0	30	Carbonatación alcanza 0%
Viga 11	inferior aguas arriba	75	60	75	Carbonatación alcanza 100%
Viga 12	superior aguas abajo	0	0	43	Carbonatación alcanza 0%
Viga 12	inferior aguas arriba	0	0	32	Carbonatación alcanza 0%
Losa 1	entre viga 1 y 2	0	0	31	Carbonatación alcanza 0%
Losa 2	entre viga 2 y 3	0	0	40	Carbonatación alcanza 0%
Losa 3	entre viga 3 y 4	0	0	28	Carbonatación alcanza 0%
Losa 4	entre viga 4 y 5	0	0	33	Carbonatación alcanza 0%
Losa 5	entre viga 5 y 6	60	40	60	Carbonatación alcanza 100%
Losa 6	entre viga 6 y 7	38	25	50	Carbonatación alcanza 76%

Elemento	Ubicación	Profundidad (mm)		Recub. (mm)	Observaciones
		máx	mín		
Losa 6	entre viga 6 y 7	38	25	38	Carbonatación alcanza 100%
Losa 7	entre viga 7 y 8	25	25	39	Carbonatación alcanza 64%
Losa 8	entre viga 8 y 9	30	30	43	Carbonatación alcanza 70%
Losa 9	entre viga 9 y 10	0	0	46	Carbonatación alcanza 0%
Losa 10	entre viga 10 y 11	5	5	23	Carbonatación alcanza 22%
Losa 11	entre viga 11 y 12	25	25	45	Carbonatación alcanza 56%
Viga 5	aguas abajo	0	0	70	Carbonatación alcanza 0%
Viga 6	aguas abajo	0	0	40	Carbonatación alcanza 0%
Viga 1	aguas arriba	36	36	36	Carbonatación alcanza 100%
Viga 1	aguas arriba	15	10	33	Carbonatación alcanza 45%
Viga 1	aguas arriba	0	0	35	Carbonatación alcanza 0%
Viga 1	medio viga, aguas abajo	0	0	31	Carbonatación alcanza 0%
Viga 1	superior viga, aguas abajo	0	0	33	Carbonatación alcanza 0%
Viga 2	base viga, aguas arriba	56	56	56	Carbonatación alcanza 100%
Viga 2	medio viga, aguas arriba	17	12	17	Carbonatación alcanza 100%
Viga 2	superior viga, aguas arriba	10	5	24	Carbonatación alcanza 42%
Viga 2	base viga, aguas abajo	0	0	56	Carbonatación alcanza 0%
Viga 2	medio viga, aguas abajo	15	15	57	Carbonatación alcanza 26%
Viga 2	superior viga, aguas abajo	12	5	24	Carbonatación alcanza 50%
Viga 3	base viga, aguas arriba	30	20	32	Carbonatación alcanza 94%
Viga 3	medio viga, aguas arriba	20	5	26	Carbonatación alcanza 77%



Elemento	Ubicación	Profundidad (mm)		Recub. (mm)	Observaciones
		máx	mín		
Viga 3	superior viga, aguas abajo	32	30	32	Carbonatación alcanza 100%
Viga 3	base viga, aguas abajo	45	25	55	Carbonatación alcanza 82%
Viga 3	medio viga, aguas abajo	25	15	48	Carbonatación alcanza 52%
Viga 3	superior viga, aguas arriba	35	18	51	Carbonatación alcanza 69%
Viga 4	base viga, aguas arriba	0	0	22	Carbonatación alcanza 0%
Viga 4	medio viga, aguas arriba	15	5	37	Carbonatación alcanza 41%
Viga 4	superior viga, aguas abajo	45	22	54	Carbonatación alcanza 83%
Viga 4	base viga, aguas abajo	32	19	50	Carbonatación alcanza 64%
Viga 4	medio viga, aguas abajo	20	12	65	Carbonatación alcanza 31%
Viga 4	superior viga, aguas arriba	52	52	52	Carbonatación alcanza 100%
Viga 5	base viga, aguas arriba	27	20	39	Carbonatación alcanza 69%
Viga 5	medio viga, aguas arriba	20	7	50	Carbonatación alcanza 40%
Viga 5	superior viga, aguas abajo	0	0	50	Carbonatación alcanza 0%
Viga 5	base viga, aguas abajo	45	13	45	Carbonatación alcanza 100%
Viga 5	medio viga, aguas abajo	25	12	25	Carbonatación alcanza 100%
Viga 5	superior viga, aguas arriba	20	20	20	Carbonatación alcanza 100%
Viga 6	base viga, aguas arriba	56	44	60	Carbonatación alcanza 93%
Viga 6	medio viga, aguas arriba	0	0	36	Carbonatación alcanza 0%

Elemento	Ubicación	Profundidad (mm)		Recub. (mm)	Observaciones
		máx	mín		
Viga 6	superior viga, aguas abajo	0	0	36	Carbonatación alcanza 0%
Viga 6	base viga, aguas abajo	25	14	36	Carbonatación alcanza 69%
Viga 6	medio viga, aguas abajo	0	0	36	Carbonatación alcanza 0%
Viga 6	superior viga, aguas arriba	0	0	34	Carbonatación alcanza 0%
Viga 7	base viga, aguas arriba	26	25	38	Carbonatación alcanza 68%
Viga 7	medio viga, aguas arriba	0	0	38	Carbonatación alcanza 0%
Viga 7	superior viga, aguas arriba	17	5	38	Carbonatación alcanza 45%
Viga 7	base viga, aguas abajo	50	50	50	Carbonatación alcanza 100%
Viga 7	medio viga, aguas abajo	0	0	50	Carbonatación alcanza 0%
Viga 7	superior viga, aguas abajo	17	5	32	Carbonatación alcanza 53%
Viga 8	base viga, aguas arriba	42	10	50	Carbonatación alcanza 84%
Viga 8	medio viga, aguas arriba	0	0	36	Carbonatación alcanza 0%
Viga 8	superior viga, aguas arriba	13	5	36	Carbonatación alcanza 36%
Viga 8	base viga, aguas abajo	46	30	46	Carbonatación alcanza 100%
Viga 8	medio viga, aguas abajo	0	0	46	Carbonatación alcanza 0%
Viga 8	superior viga, aguas abajo	19	3	36	Carbonatación alcanza 53%
Viga 9	base viga, aguas arriba	20	7	50	Carbonatación alcanza 40%
Viga 9	medio viga, aguas arriba	45	45	45	Carbonatación alcanza 100%

Elemento	Ubicación	Profundidad (mm)		Recub. (mm)	Observaciones	Elemento	Ubicación	Profundidad (mm)		Recub. (mm)	Observaciones
		máx	mín					máx	mín		
Viga 9	superior viga, aguas abajo	45	45	45	Carbonatación alcanza 100%	Viga 11	medio viga, aguas arriba	21	5	31	Carbonatación alcanza 68%
Viga 9	base viga, aguas abajo	50	27	56	Carbonatación alcanza 89%	Viga 11	superior viga, aguas abajo	50	50	50	Carbonatación alcanza 100%
Viga 9	medio viga, aguas abajo	0	0	35	Carbonatación alcanza 0%	Viga 11	base viga, aguas abajo	23	10	40	Carbonatación alcanza 58%
Viga 9	superior viga, aguas arriba	12	5	35	Carbonatación alcanza 34%	Viga 11	medio viga, aguas abajo	35	20	52	Carbonatación alcanza 67%
Viga 10	base viga, aguas arriba	42	30	56	Carbonatación alcanza 75%	Viga 11	superior viga, aguas arriba	0	0	40	Carbonatación alcanza 0%
Viga 10	medio viga, aguas arriba	40	40	40	Carbonatación alcanza 100%	Viga 12	base viga, aguas arriba	32	20	54	Carbonatación alcanza 59%
Viga 10	superior viga, aguas abajo	18	5	40	Carbonatación alcanza 45%	Viga 12	medio viga, aguas arriba	28	12	36	Carbonatación alcanza 78%
Viga 10	base viga, aguas abajo	54	3	54	Carbonatación alcanza 100%	Viga 12	superior viga, aguas abajo	50	22	54	Carbonatación alcanza 93%
Viga 10	medio viga, aguas abajo	0	0	48	Carbonatación alcanza 0%	Viga 12	base viga, aguas abajo	35	20	52	Carbonatación alcanza 67%
Viga 10	superior viga, aguas arriba	48	48	48	Carbonatación alcanza 100%	Viga 12	medio viga, aguas abajo	22	10	30	Carbonatación alcanza 73%
Viga 11	base viga, aguas arriba	14	13	30	Carbonatación alcanza 47%	Viga 12	superior viga, aguas arriba	23	22	30	Carbonatación alcanza 77%

Tabla 19 Resultados ensayo de Carbonatación, puente sobre el Río Yanuncay.

Núcleos perforados

Los resultados obtenidos en el ensayo de Núcleos perforados se indican en la Tabla 20. (Plantilla ESD03 (Ortega M. y Vanegas J., 2021), Anexo 8)

Elemento	Ubicación	Altura		Diámetro		L/D	Área		Resistencia		F.C.	Resistencia corregida	
		u	cm	u	cm		u	cm ²	u	kg/cm ²		u	kg/cm ²
Viga 6	Aguas arriba	15,64	8,50	1,841	56,7	230	1,02	235					
Viga 7	Aguas abajo	14,73	8,50	1,734	56,7	462	1,02	471					
Viga 8	Aguas arriba	16,80	8,42	1,995	55,7	412	1,00	412					
Viga 8	Aguas arriba	16,05	8,47	1,894	56,4	429	1,01	433					
Losa	-	9,00	8,50	1,059	56,7	540	1,13	610					

Tabla 20 Resultados ensayo de Núcleos perforados, puente sobre el Río Yanuncay.

**Esclerometría**

En la Tabla 21 se muestran los valores obtenidos en el ensayo de Esclerometría. (Plantilla EIP01 (Ortega M. y Vanegas J., 2021), Anexo 9)

Elemento	Ubicación	Orientación	Lecturas					Q Prom	Desv. Est	Resistencia (Kg/cm ²)
			43	42	42	42	47			
Viga 1	Aguas arriba	Horizontal	43	42	42	42	47	43	2.168	469
Viga 1	Aguas abajo	Horizontal	36	44	38	40	40	42	2.966	449
Viga 2	Aguas arriba	Horizontal	38	40	44	43	42	43	2.408	469
Viga 2	Aguas abajo	Horizontal	48	46	40	41	43	40	3.362	408
Viga 3	Aguas arriba	Horizontal	36	38	38	40	39	38	1.483	338
Viga 3	Aguas abajo	Horizontal	36	38	37	36	40	39	1.673	393
Viga 4	Aguas arriba	Horizontal	36	40	48	42	46	42	4.775	449
Viga 4	Aguas abajo	Horizontal	40	38	35	39	36	38	2.074	373
Viga 5	Aguas arriba	Horizontal	42	40	42	40	44	42	1.673	449
Viga 5	Aguas abajo	Horizontal	40	40	48	42	48	44	4.099	484
Viga 6	Aguas arriba	Horizontal	43	46	40	43	47	45	2.775	505
Viga 6	Aguas abajo	Horizontal	42	44	40	43	45	43	1.924	469
Viga 7	Aguas arriba	Horizontal	41	46	44	48	43	45	2.702	505
Viga 7	Aguas abajo	Horizontal	44	42	43	44	45	44	1.14	484
Viga 8	Aguas arriba	Horizontal	43	47	48	40	39	44	4.037	484
Viga 8	Aguas abajo	Horizontal	41	45	48	43	48	45	3.082	505
Viga 9	Aguas arriba	Horizontal	46	48	48	45	46	45	1.342	505
Viga 9	Aguas abajo	Horizontal	44	48	43	46	43	44	2.168	484
Viga 10	Aguas arriba	Horizontal	45	48	43	39	43	44	3.286	484
Viga 10	Aguas abajo	Horizontal	40	38	39	36	33	40	2.775	408
Viga 11	Aguas abajo	Horizontal	43	42	47	45	43	39	2	393
Viga 11	Aguas arriba	Horizontal	38	36	38	40	42	41	2.28	428
Viga 12	Aguas abajo	Horizontal	44	38	52	47	45	44	5.07	484
Viga 12	Aguas arriba	Horizontal	40	36	38	33	35	37	2.702	363
Viga 5	Aguas abajo	Horizontal	46	47	50	48	39	45	4.183	505
Viga 6	Aguas arriba	Horizontal	50	47	50	43	45	43	3.082	469
Losa 1	Entre viga 1 y 2	Vertical hacia arriba	52	48	45	52	46	48	3.286	500
Losa 3	Entre viga 3 y 4	Vertical hacia arriba	55	49	49	50	50	48	2.51	500
Losa 5	Entre viga 5 y 6	Vertical hacia arriba	48	42	43	43	55	46	5.45	460
Losa central	Entre viga 6 y 7	Vertical hacia arriba	47	50	43	46	51	47	3.209	479
Losa 7	Entre viga 7 y 8	Vertical hacia arriba	58	55	50	60	52	53	4.123	580
Losa 9	Entre viga 9 y 10	Vertical hacia arriba	50	59	59	58	56	54	3.782	596
Losa 11	Entre viga 11 y 12	Vertical hacia arriba	56	64	49	58	55	55	5.413	612
Losa 2	Entre viga 1 y 2	Vertical hacia arriba	42	47	46	44	48	44	2.408	418
Losa 4	Entre viga 3 y 4	Vertical hacia arriba	44	54	50	46	49	48	3.847	500
Losa Central	Entre viga 6 y 7	Vertical hacia arriba	48	55	42	45	45	46	4.95	460
Losa 8	Entre viga 8 y 9	Vertical hacia arriba	50	55	59	54	47	52	4.637	564
Losa 10	Entre viga 9 y 10	Vertical hacia arriba	44	48	55	55	53	52	4.848	564
Losa 5	Entre viga 5 y 6	Vertical hacia arriba	52	58	50	53	55	53	3.05	580

Tabla 21 Resultados ensayo de Esclerometría, puente sobre el Río Yanuncay.



Relación entre Esclerometría y Núcleos Perforados

Es posible relacionar los resultados del ensayo de Núcleos perforados con el ensayo de Esclerometría; con ello se obtiene un valor de resistencia a compresión corregido para cada elemento estructural (Tabla 22).

Elemento	IE	Re (Kg/cm ²)	Rcp (Kg/cm ²)	Ki	K	Rac (Kg/cm ²)
Viga 6	45	505	235	0,46	0,88	442,98
Viga 7	44	484	471	0,97	0,88	424,56
Viga 8	45	505	412	0,82	0,88	442,98
Viga 8	45	505	433	0,86	0,88	442,98
Losa	47	479	610	1,27	0,88	420,17

Tabla 22 Resistencia a compresión asociada con el índice esclerométrico corregido, puente sobre el Río Yanuncay.

Donde:

IE: Índice Esclerométrico.

Re: Resistencia a compresión asociada con el índice esclerométrico sin corregir.

Rcp: Resistencia a compresión del núcleo.

ki: R_{cp}/R_e

Rac: Resistencia a compresión asociada con el índice esclerométrico corregida.

Adherencia

Los resultados se muestran en la Tabla 23. (Plantilla ESD02 (Ortega M. y Vanegas J., 2021), Anexo 10)



Elemento	Resistencia (Mpa)	Tipo De Falla	Elemento	Resistencia (Mpa)	Tipo De Falla
Viga 1 Aguas Arriba	3.3	100% Hormigón	Viga 9 Aguas Abajo	4.9	100% Hormigón
Viga 1 Aguas Abajo	3.1	100% Hormigón	Viga 9 Aguas Arriba	3.5	100% hormigón
Viga 2 Aguas Ariba	3	100% Hormigón	Viga 10 Aguas Abjo	3.8	100% hormigón
Viga 2 Aguas Abajo	2.4	100% Hormigón	Viga 10 Aguas Arriba	2.9	100% hormigón
Viga 3 Aguas Arriba	3.2	100% Hormigón	Viga 11 Aguas Abajo	4.4	100% hormigón
Viga 3 Aguas Abajo	5.3	100% Hormigón	Viga 11 Aguas Arriba	2.2	100% hormigón
Viga 4 Aguas Arriba	4.1	100% Hormigón	Viga 12 Aguas Abajo	2.2	100% hormigón
Viga 4 Aguas Abajo	2	100% Hormigón	Viga 12 Aguas Arriba	1.6	100% hormigón
Viga 5 Aguas Arriba	2.4	100% Hormigón	Losa 1 Entre Viga1-Viga2	2.6	100% hormigón
Viga 5 Aguas Abajo	3	100% Hormigón	Losa 2 Entre Viga2-Viga3	1.2	100% hormigón
Viga 6 Aguas Ariba	4.4	100% Hormigón	Losa 3 Entre Viga 3 Viga 4	4.7	100% hormigón
Viga 6 Aguas Abajo	1.6	100% Hormigón	Losa 4 Entre Viga 4 Viga 5	2.6	100% hormigón
Viga 5 Aguas Abajo Tercio Medio	4.8	100% Hormigón	Losa 5 Entre Viga 5 Viga 6	5.1	100% hormigón
Viga 6 Aguas Arriba Tercio Medio	3.9	100% Hormigón	Losa 6 Central Entre Viga 6 - Viga 7	4.3	100% hormigón
Viga 7 Aguas Abajo	5	100% Hormigón	Losa 7 Entre Viga 7-Viga 8	4.1	100% hormigón
Viga 7 Aguas Arriba	4.8	100% Hormigón	Losa 8 Entre Viga 8-Viga 9	4.5	100% hormigón
Viga 8 Aguas Abajo	3.9	100% Hormigón	Losa 9 Entre Viga 9 Viga 10	3.9	100% hormigón
Viga 8 Aguas Arriba	5.1	100% Hormigón	Losa 10 Entre Viga 10-Viga 11	5	100% hormigón
Viga 9 Aguas Abajo	4.9	100% Hormigón	Losa 11 Entre Viga 11-Viga 12	5.2	100% hormigón
Viga 8 Aguas Arriba	5.1	100% Hormigón			

Tabla 23 Resultados ensayo de Adherencia, puente sobre el Río Yanuncay.

Detección de armaduras

Después de obtener la disposición y medidas de las varillas de acero de la estructura, se realizaron los siguientes diagramas. (Plantilla END02 (Ortega M. y Vanegas J., 2021), Anexo 11)

1.- Losa:

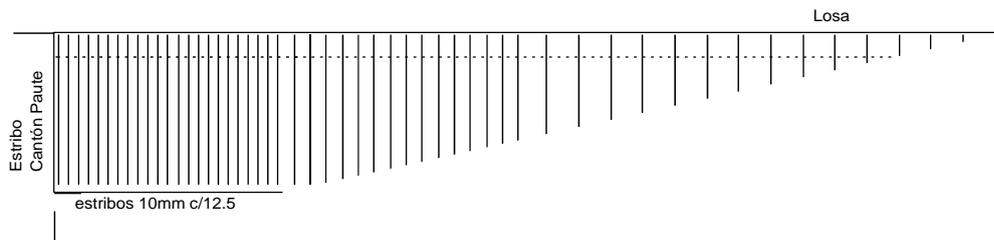


Gráfico 24 Acero de refuerzo detectado en la losa del puente sobre el Río Yanuncay.

2.- Apoyo:

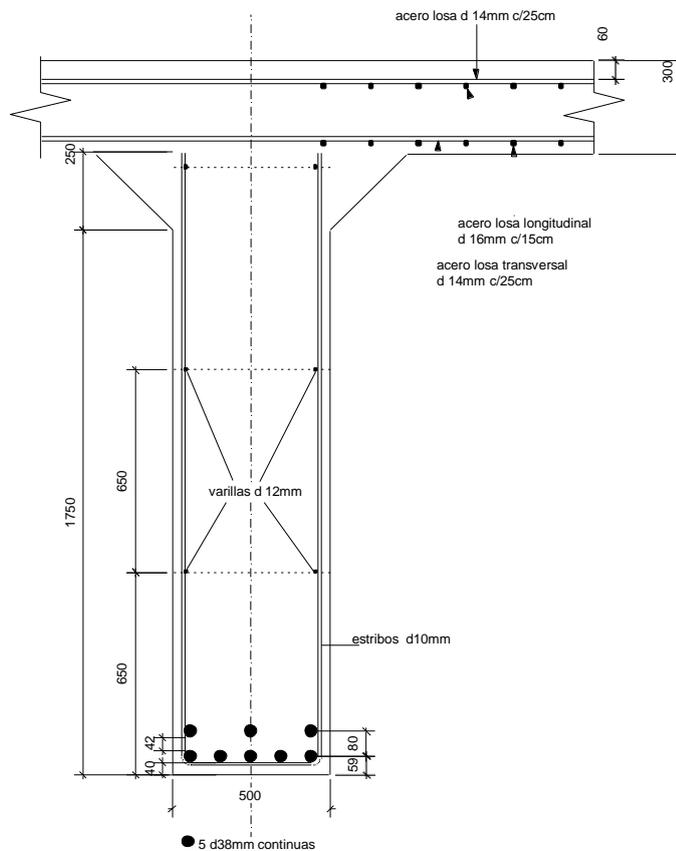


Gráfico 25 Acero de refuerzo detectado en el apoyo del puente sobre el Río Yanuncay.



Levantamiento de fisuras

Es importante conocer la cantidad y tamaño de las fisuras existentes en el puente. Por su tamaño, las fisuras no pueden causar un colapso estructural, pero deben ser tratadas a tiempo para evitar inconvenientes de gran magnitud. Los resultados se muestran en la Tabla 24.

Elemento		Estribo	Distancia Estribo (m)	Espesor (mm)	Observaciones	
Viga 1	Aguas Abajo	1° De Mayo	3,5	0,5 a 0,7	Diagonal	Pasante
Viga 1	Aguas Arriba	1° De Mayo	3,5	0,5 a 0,7	Diagonal	Pasante
Viga 1	Aguas Arriba	1° De Mayo	1,6	0,4	Diagonal	A Exposición No Importa
Viga 1	Aguas Abajo	Cantón Paute	0,5	0,5-0,7	Diagonal	Pasante
Viga 1	Aguas Arriba	Cantón Paute	0,5	0,5-0,7	Diagonal	Pasante
Viga 1	Aguas Arriba	Cantón Paute	1	0,4	Diagonal	A Exposición No Importa
Viga 1	Aguas Arriba	Cantón Paute	1,9	0,4	Diagonal	A Exposición No Importa
Viga 1	Aguas Arriba	Cantón Paute	2,7	0,4	Diagonal	A Exposición No Importa
Viga 2	Aguas Arriba	1° De Mayo	3,5	0,5 a 0,7	Diagonal	A Exposición No Importa
Viga 2	Aguas Arriba	Cantón Paute	3,5	0,4	Diagonal	A Exposición No Importa
Viga 3	Aguas Arriba	1° De Mayo	4,1	0,5 a 0,7	Diagonal	A Exposición No Importa
Viga 3	Aguas Arriba	Cantón Paute	0,5	0,5 a 0,7	Diagonal	A Exposición No Importa
Viga 4	Aguas Arriba	1° De Mayo	1,5	0,5	Diagonal	A Exposición No Importa
Viga 4	Aguas Arriba	Cantón Paute	2,1	0,4	Diagonal	Pasante
Viga 4	Aguas Abajo	Cantón Paute	2,1	0,5-0,7	Diagonal	Pasante
Viga 4	Aguas Arriba	Cantón Paute	3	0,5-1	Diagonal	A Exposición No Importa
Viga 5	Aguas Arriba	1° De Mayo	1,8	0,4	Diagonal	A Exposición No Importa
Viga 5	Aguas Arriba	1° De Mayo	1,7	0,4	Diagonal	Pasante
Viga 5	Aguas Abajo	1° De Mayo	1,7	0,4	Diagonal	Pasante
Viga 5	Aguas Arriba	Cantón Paute	2	0,4	Diagonal	A Exposición No Importa



Viga 6	Aguas Abajo	1° De Mayo	0,5	0,4	Diagonal	A Exposición No Importa
Viga 7	Aguas Abajo	1° De Mayo	3,2	0,5 a 0,7	Diagonal	Pasante
Viga 7	Aguas Arriba	1° De Mayo	3,2	0,5 a 0,7	Diagonal	Pasante
Viga 8	Aguas Abajo	1° De Mayo	3,2	0,4	Diagonal	A Exposición No Importa
Viga 8	Aguas Abajo	Cantón Paute	1,5	0,4	Diagonal	A Exposición No Importa
Viga 9	Aguas Abajo	1° De Mayo	1,5	0,4	Diagonal	Pasante
Viga 9	Aguas Arriba	1° De Mayo	1,5	0,4	Diagonal	Pasante
Viga 9	Aguas Arriba	Cantón Paute	2	0,4	Diagonal	A Exposición No Importa
Viga 10	Aguas Arriba	Cantón Paute	3,1	0,4	Diagonal	A Exposición No Importa
Viga 11	Aguas Arriba	1° De Mayo	2	0,4	Diagonal	A Exposición No Importa
Viga 12	Aguas Abajo	1° De Mayo	2	0,4	Diagonal	A Exposición No Importa

Tabla 24 Resultados del Levantamiento de fisuras, puente sobre el Río Yanuncay.

Ultrasonido

El ensayo de Ultrasonido se aplicó para medir la profundidad de las fisuras y grietas, obteniendo los resultados que se indican en la Tabla 25. (Plantilla END06 (Ortega M. y Vanegas J., 2021), Anexo 12)

Elemento	Ubicación	Tiempo el (μ s)	Distancia (cm)	Tiempo rc (μ s)	Profundidad (mm)
Viga 1	Aguas arriba	60	20	113,7	36,90
Viga 1	Aguas arriba	65,4	20	116,8	34,72
Viga 1	Aguas arriba	47,4	20	112	46,26
Viga 2	Aguas arriba	61,4	20	229,5	73,76
Viga 2	Aguas arriba	45,2	20	112,7	48,87
Viga 3	Aguas arriba	67,1	20	167,5	48,93
Viga 3	Aguas arriba	62,6	20	122,2	38,04
Viga 4	Aguas arriba	59,5	20	145,3	47,86



Viga 4	Aguas arriba	94,8	20	229	47,31
--------	--------------	------	----	-----	-------



Viga 4	Aguas abajo	57,3	20	104,2	35,37
Viga 5	Aguas arriba	87,7	20	121,8	26,78
Viga 5	Aguas abajo	108,5	20	256,1	46,21
Viga 6	Aguas abajo	76,8	20	130,5	32,98
Viga 7	Aguas abajo	70,2	20	155,3	43,25
Viga 7	Aguas abajo	84,5	20	182,1	42,10
Viga 7	Aguas arriba	34,5	20	82,1	46,59
Viga 8	Aguas abajo	90	20	142,5	30,67
Viga 8	Aguas abajo	55,2	20	112,1	39,62
Viga 8	Aguas arriba	48,2	20	102,2	41,41
Viga 9	Aguas arriba	99,5	20	180,1	35,20
Viga 9	Aguas abajo	43,4	20	105,4	47,57
Viga 10	Aguas arriba	45,2	20	103,5	44,80
Viga 11	Aguas arriba	87,2	20	114	25,15
Viga 12	Aguas abajo	84,9	20	132,2	30,14

Tabla 25 Resultados del ensayo de Ultrasonido, puente sobre el Río Yanuncay.

Análisis de resultados

Potencial de corrosión

Los ensayos realizados en los elementos estructurales, dan como resultado un valor promedio de aproximadamente 198mV. Por lo tanto, se puede catalogar al daño como despreciable en estado pasivo; sin embargo, la corrosión está cercana a los 200mV, lo que significaría un daño uniforme en la estructura.

Teniendo en consideración la normativa ASTM C 876, la probabilidad de corrosión activa es menor que el 10% pero está al límite de llegar a un estado de corrosión activa.

Carbonatación

Los resultados obtenidos en la Tabla 19, indican que la carbonatación si alcanza en ciertos casos al 100% del recubrimiento de diseño. También existen otros porcentajes menores de carbonatación, pero no se podría descuidar la corrosión por la presencia de humedad.

Se puede estimar la vida útil de los elementos estructurales en estudio para el ensayo de Carbonatación, considerando el tiempo en que la carbonatación alcanzará el acero de refuerzo. El recubrimiento es variable en este caso y se consideró un promedio de los mismos. La estructura en el momento que se realizó el ensayo tenía una vida de 34 años.

Se realizó el análisis de la vida útil, para las vigas y las losas estudiadas.

- Vigas

t (años)	34				
Elemento	Carbonatación (mm)	Recubrimiento (mm)	KCO2 (mm/año 0,5)	t (años)	Vida remanente (años)
Viga 1	36	36	6,174	34	0
Viga 2	56	56	9,604	34	0
Viga 3	32	32	5,488	34	0
Viga 4	52	52	8,918	34	0
Viga 5	45	45	7,717	34	0
Viga 6	47	47	8,060	34	0
Viga 7	65	65	11,147	34	0
Viga 8	46	46	7,889	34	0
Viga 9	45	45	7,717	34	0
Viga 10	48	48	8,232	34	0
Viga 11	50	50	8,575	34	0
Viga 12	50	54	8,575	40	6

Tabla 26 Análisis de la vida remanente por carbonatación en las vigas del puente sobre el Río Yanuncay.

El Gráfico 26 muestra la profundidad de carbonatación a lo largo de los años en cada viga. La línea roja indica el límite de la vida útil, debido a que la carbonatación alcanzaría el acero de refuerzo.

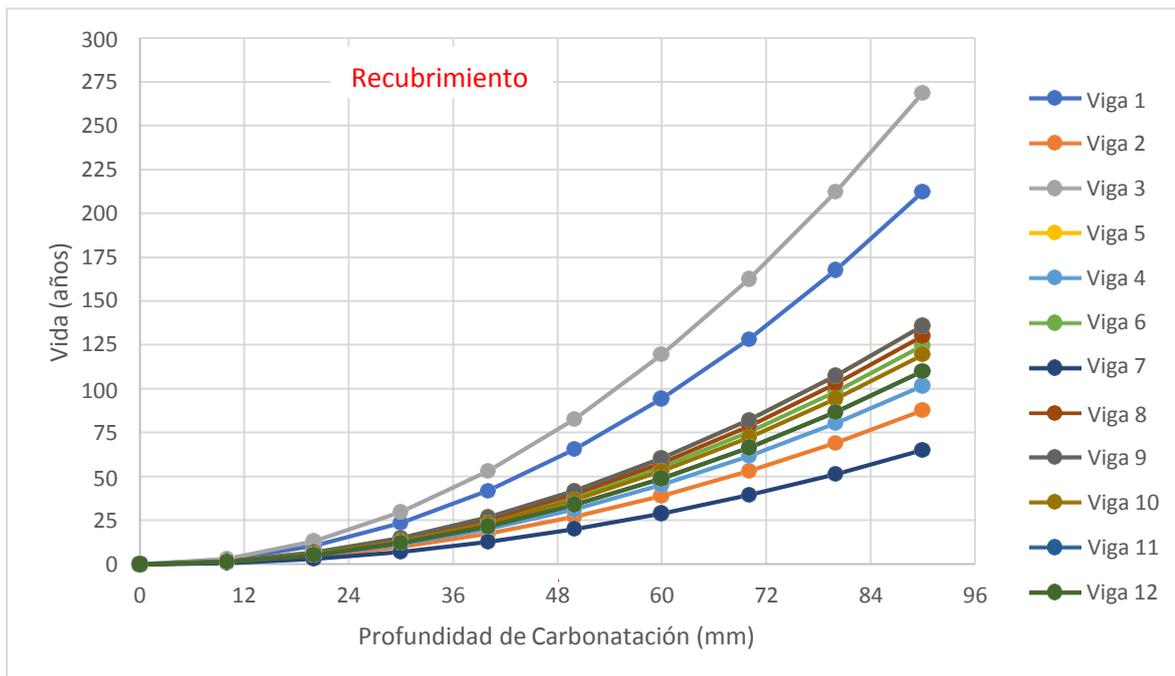


Gráfico 26 Análisis de la vida remanente por carbonatación en las vigas del puente sobre el Río Yanuncay.

La vida remanente de las vigas ya llegó a su vida útil, según las condiciones más desfavorables que se consideró para cada viga.

- Losa

t (años)	34				
Elemento	Carbonatación (mm)	Recubrimiento (mm)	KCO2 (mm/año 0.5)	t (años)	Vida remanente (años)
Losa 1	0	31	0.000	0	34
Losa 2	0	40	0.000	0	34
Losa 3	0	28	0.000	0	34
Losa 4	0	33	0.000	0	34
Losa 5	60	60	10.290	34	0
Losa 6	38	38	6.517	34	0
Losa 7	25	39	4.287	83	49
Losa 8	30	43	5.145	70	36
Losa 9	0	46	0.000	0	34
Losa 10	5	23	0.857	719	685
Losa 11	25	45	4.287	110	76

Tabla 27 Análisis de la vida remanente por carbonatación en la losa del puente sobre el Río Yanuncay.

El Gráfico 27 muestra la profundidad de carbonatación a lo largo de los años en cada viga. La línea roja indica el límite de la vida útil, debido a que la carbonatación alcanzaría el acero de refuerzo.

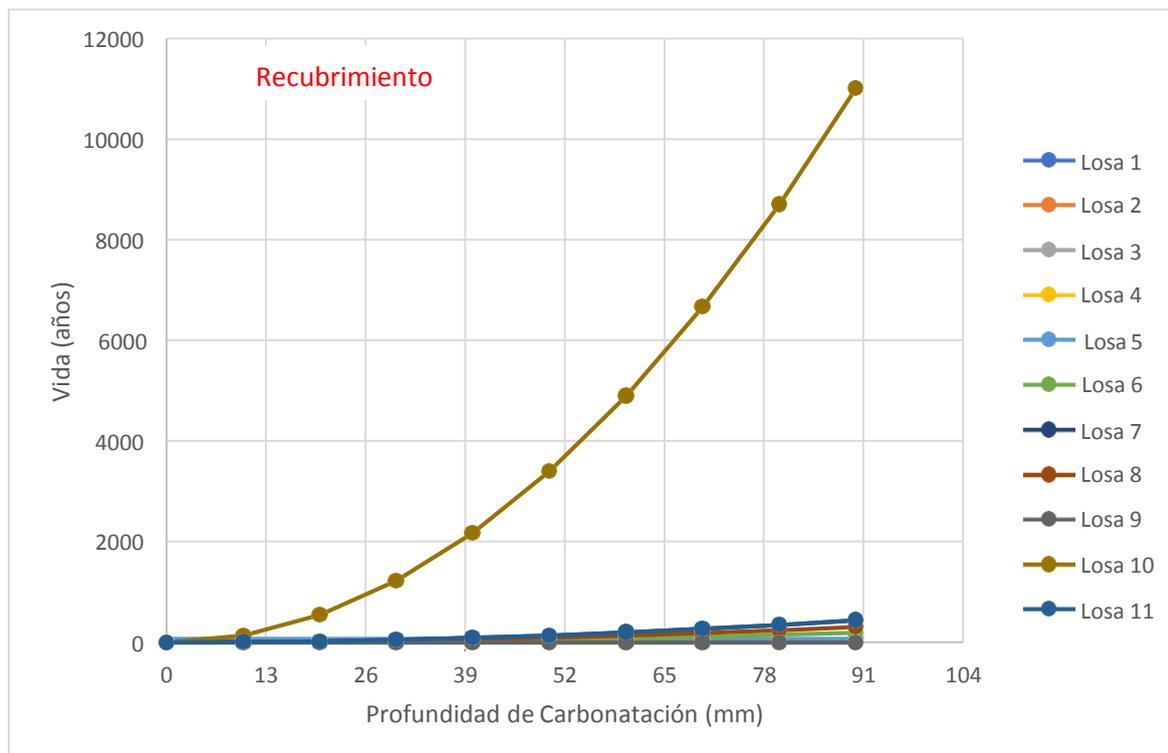


Gráfico 27 Análisis de la vida remanente por carbonatación en la losa del puente sobre el Río Yanuncay.

La vida remanente de las losas más afectadas ya llegó a su vida útil.



Núcleos perforados y Esclerometría

- Con ensayos de núcleos perforados, se obtuvo una resistencia cilíndrica, en laboratorio de $f'c= 388 \text{ Kg/cm}^2$. Y la resistencia en la losa es de $f'c=610 \text{ Kg/cm}^2$.
- Con ensayos de esclerometría, se obtuvo una resistencia promedio para las vigas de $f'c=500 \text{ kg/cm}^2$. Mientras que la resistencia en la losa es $f'c=479 \text{ Kg/cm}^2$.
- Utilizando la correlación entre los ensayos, se obtiene una resistencia a compresión corregida promedio de $f'c=438 \text{ Kg/cm}^2$ para las vigas, y una resistencia a compresión $f'c=420 \text{ Kg/cm}^2$ para la losa.

Adherencia

- Se obtuvo un promedio de 3.9 MPa; bajo criterios de ACI 440 2R mínimo para refuerzos adheridos se indican 1,4 MPa.
- Esta resistencia a tensión indirectamente nos da un parámetro de la resistencia $f_c= 401 \text{ Kg/cm}^2$.
- Este Hormigón es excelente para comportamiento estructural para repotenciar la estructura.

Levantamiento de fisuras y Ultrasonido

Las fisuras presentadas tienen una manifestación típica, en general paralelas, con un diagnóstico probable de esfuerzos de corte. La viga 1 tiene este tipo de fisuras en ambos lados, las vigas 4-5-7-9 tienen fisuras pasantes solo a un extremo y las vigas 2-3-6-8-10-11-12 presentan fisuras menores 0,4mm; por lo tanto, no representan mayor problema para efectos de durabilidad de la estructura.

Recomendaciones de rehabilitación

Para realizar el reforzamiento estructural se realizarán los siguientes procesos:

- Picado de zonas de acero con corrosión, y limpieza del acero.
- Tratamiento con recubrimiento anticorrosivo de acero de refuerzo: recubrimiento protector tipo SikaTop Armatec-108 o similar, cementoso, modificado con resina acrílica, de dos componentes, con inhibidor de corrosión que impide la oxidación del acero de refuerzo.
- Preparación de superficies inicial y tratamiento con Inhibidores de Corrosión – Hidrolavado: Colocación de un aditivo líquido, inhibidor, pasivador de corrosión del hormigón reforzado ya endurecido, aplicado en forma de impregnación, que penetra en el hormigón hasta formar una capa de protección sobre el acero de refuerzo.



- Recuperación de secciones con mortero estructural: Consiste en la reparación de las zonas picadas de la superficie con mortero de reparación de 2 componentes tipo SikaTop-122 o similar, en elementos estructurales de hormigón, vigas, columnas, para recuperar las secciones; posterior al tratamiento en el acero de refuerzo y del tratamiento inhibidor de corrosión.
- Instalación de Mantos de Carbono de 600gr/m²: Se utilizará SikaWrap-600 C o similar, el cual es un tejido de fibra de carbono unidireccional para aplicación en húmedo con el sistema epóxico Slikadur-301 o similar.
- Impregnación del puente y recubrimiento de Mantos con mortero de protección.



2.3. DIAGNOSIS DE LAS PATOLOGÍAS: PROYECTO PRESA DE LA HIDROELÉCTRICO MINAS – SAN FRANCISCO



INFORME PRELIMINAR

Diagnosis de las patologías: proyecto presa de la Hidroeléctrica Minas – San Francisco

Kevin Paulo Ochoa Machuca

Marcela Nicole Pazmiño Vintimilla

Cuenca, enero de 2020

Nombre del proyecto

Diagnóstico de las patologías: proyecto presa de la Hidroeléctrico Minas – San Francisco

Ubicación geográfica

La Central Hidroeléctrica Minas-San Francisco se ubica entre las provincias de Azuay y El Oro, en los cantones Pucará, Zaruma y Pasaje. Una de las obras de este proyecto es la presa sobre el río Jubones, cuyo eje se encuentra en el sector de San Francisco, aguas abajo de la confluencia con el río San Francisco. Sus coordenadas Estándar UTM son:

Zona:	17 M
Coordenada Este:	668702.10 m E
Coordenada Norte:	9633382.22 m S

Gráfico 28 Coordenadas de la presa sobre el río Jubones. Fuente: (Google Earth).

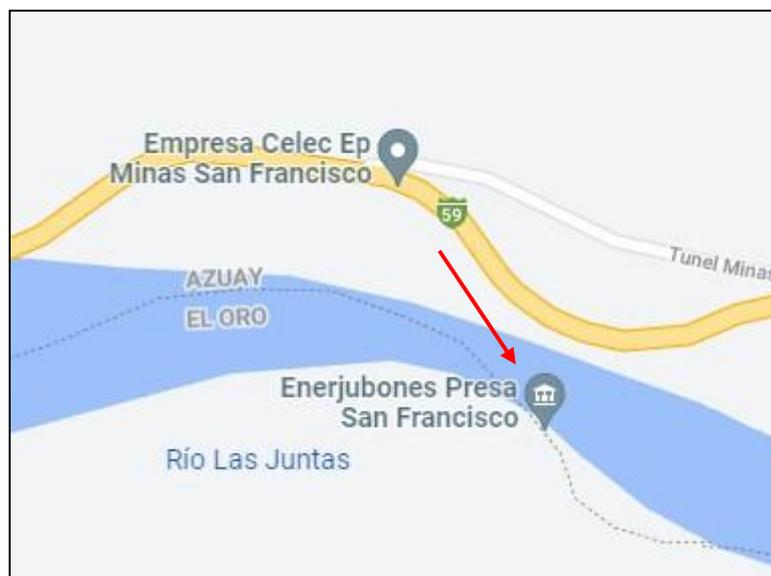


Gráfico 29 Ubicación de la presa sobre el río Jubones. Fuente: (Google Maps, Google Earth).

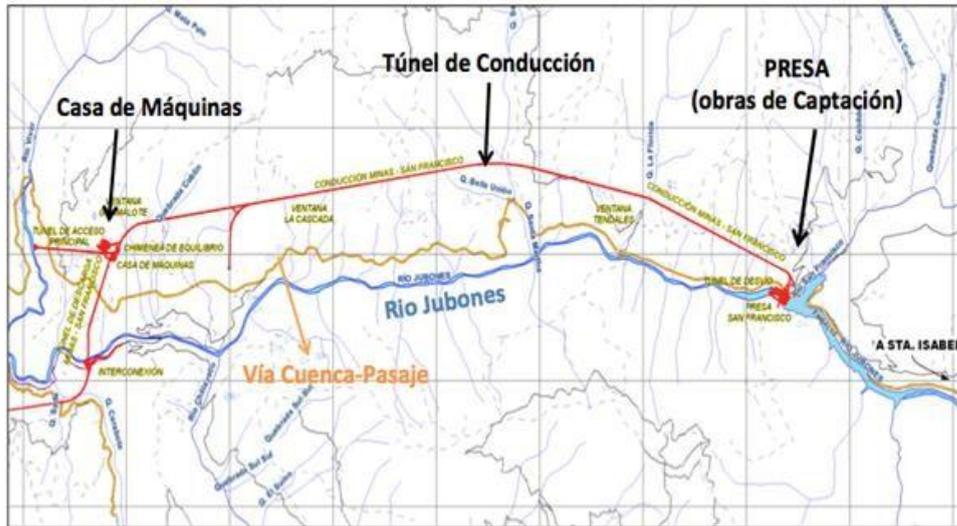


Gráfico 30 Implantación general de obras. Fuente: (Ministerio de Energía y Recursos no Renovables, 2021)

Zona de amenaza sísmica

De acuerdo al Mapa de Zonificación Sísmica del Ecuador de la NEC, el proyecto está ubicado en una zona sísmica II, con un alto peligro sísmico y un factor Z de 0,25.

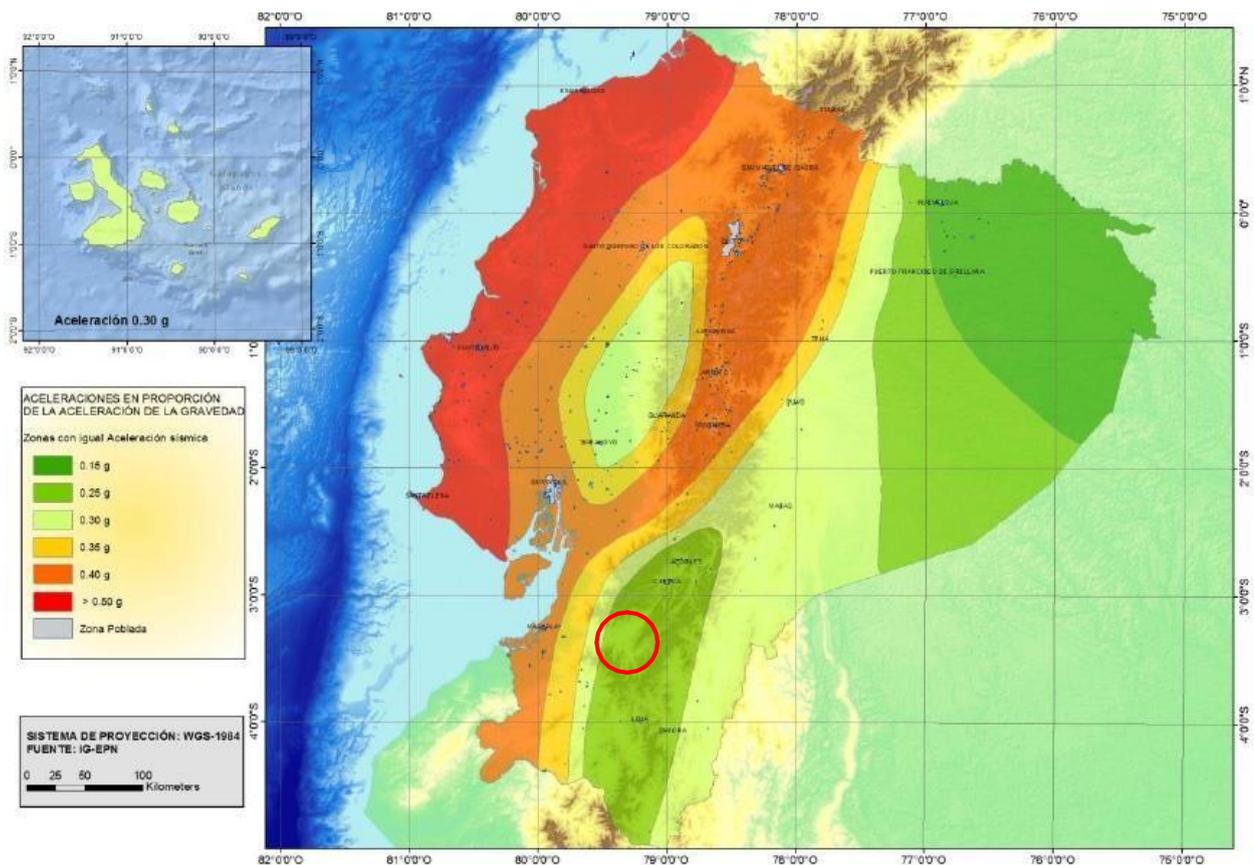


Gráfico 31 Zona sísmica Proyecto Hidroeléctrico Minas-San Francisco. Fuente: (NEC-SE-DS, 2014).

Descripción del problema

De acuerdo a la información administrada por el Ministerio de Energía y Recursos no Renovables (2021), la central hidroeléctrica inició su construcción en marzo de 2012 y se encuentra en funcionamiento desde noviembre de 2018. La misma aprovecha el caudal del río Jubones, que tiene un valor medio anual de 48,26 m³/s.

La presa es de tipo Gravedad y está construida en hormigón rodillado, con 80 m de altura medida desde la cimentación (CELEC EP, 2018). Según la información recopilada por Buñay C. y Pacheco F. (2014) la altura total libre es de 54,00 m y el cuerpo de la presa se desarrolla sobre la elevación 741,00 m.s.n.m.

A aproximadamente dos años de la puesta en funcionamiento de la central hidroeléctrica se observan fisuras de distintas dimensiones extendidas a lo alto y ancho de los vertederos central y lateral izquierdo, algunas de las cuales alcanzan varios metros de longitud y presentan desconchamiento. Por este motivo, se da paso a la evaluación de los vertederos cuyo objetivo es determinar las causas de las patologías y una metodología apropiada de reparación y/o repotenciación de la obra.



Gráfico 32 Presa sobre el río Jubones, hidroeléctrica Minas-San Francisco. Fuente: (CELEC EP, 2018).



Fase de documentación

Para la fase de documentación se utilizó la plantilla END01_FD (Ortega M. y Vanegas J., 2021).

 UNIVERSIDAD DE CUENCA Facultad de Ingeniería		MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI-DESTRUCTIVOS		CÓDIGO END01
INSTITUCIÓN	Universidad De Cuenca	HORA		FECHA
PROYECTO	Presas Minas-San Francisco			Enero-Febrero 2020
UBICACIÓN	Río Jubones, sector San Francisco	ZONA SÍSMICA		II
FASE PRELIMINAR				
Variable	Sí	No	Observaciones	
Tipo de estructura				
Tipo de cimentación		X		
Sistema estructural		X		
Irregularidades		X		
Diseños estructurales no recomendados		X		
Diseñadores				
Arquitecto		X		
Ingeniero de suelos		X		
Ingeniero estructural		X		
Ingeniero asesor de materiales		X		
Especificaciones del proyecto				
Constructor	X		Harbin Electric International CO. LTD	
Fiscalizador	X		CONSORCIO HIDROJUBONES	
Proveedor de materiales		X		
Historial de la estructura				
Fechas de diseño y cumplimiento de normas		X		
Construcción y puesta en servicio	X		Se inicia la construcción en diciembre de 2011 y se pone en servicio en noviembre de 2018	
Vida útil proyectada		X		
Área construída		X		
Propietarios y usos	X		CELEC EP	
Registros de actividad sísmica, actividad geológica y estudios de suelos		X		
Información sobre el funcionamiento, ocupación y límites de carga	X		La presa produce un embalse aproximado de 14 millones de m ³ en el nivel máximo de operación, con un volumen útil de 6100000,00 m ³ .	
Planes de alteración y órdenes de cambio		X		
Revisión del proyecto original y registros de construcción				
Planos de diseño, especificaciones y cálculos		X		
Libro de obra		X		
Colocación de armadura de concreto		X		
Códigos de construcción		X		
Materiales de construcción y datos de ensayo	X		Hormigón rodillado.	
Control de calidad e informes de inspección en campo		X		
Fotografías del proceso constructivo		X		

Inspección visual

Para la inspección visual se utilizó la plantilla END01 (Ortega M. y Vanegas J., 2021) y los pesos que se muestran en la Tabla 28, los cuales se seleccionaron de acuerdo al nivel de importancia de cada patología en la estructura según los rangos indicados a continuación:

- Nivel de importancia bajo: [0 a 2]
- Nivel de importancia medio: [3 a 5]
- Nivel de importancia alto: [6 a 8]

Se incluye la variable “Erosión” debido a que es una patología importante en obras hidráulicas.

Variable	Peso (%)
Fisuras y agrietamientos en elementos estructurales	7
Fisuras en mampostería	0
Deformaciones y desviaciones visibles	4
Asentamientos en la cimentación	4
Nivel freático	3
Erosión (Abrasión y cavitación)	7
Patologías por efecto humano	6
Patologías de materiales	3
Corrosión del acero de refuerzo	5
Humedad relativa	3
Temperatura	5
Tipo de agua presente	5
Sustancias agresivas y concentración	5
Problemas ocultos	3
Fuego	0
Viento	2
Sismos	6
Vibraciones no naturales	0
Inundaciones	6
Expansión del suelo	5
Empuje del suelo	5
Modificaciones de elementos estructurales	4
Modificaciones de uso de la estructura	5
Incumplimiento de especificaciones técnicas	4
Actualización de normas	3
Total	100

Tabla 28 Pesos propuestos para evaluar el estado de los vertederos de la presa sobre el Río Jubones.



**MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL
DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE
ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI-DESTRUCTIVOS**

CÓDIGO

END01

INSTITUCIÓN	Universidad de Cuenca	HORA	FECHA
PROYECTO	Presa Minas-San Francisco		Enero- Junio 2020
UBICACIÓN	Río Jubones, sector San Francisco	ZONA SÍSMICA	II

INSPECCIÓN VISUAL

<u>Variable</u>	Sí	No	Observaciones	Bueno	Regular	Malo
Fisuras y/o agrietamientos en elementos estructurales	X		Fisuras en el vertedero central y lateral izquierdo, de tipo vertical, horizontal y diagonal. Microfisuras.		7	
Fisuras en mampostería		X				
Deformaciones y desviaciones visibles		X				
Asentamientos en la cimentación		X				
Nivel freático		X				
Erosión (Abrasión y/o cavitación)	X				7	
Geometría y materiales estructurales						
Patologías por efecto humano	X		Mal manejo del hormigón masivo. Falta de junta de construcción.			6
Patologías de materiales		X				
Corrosión del acero de refuerzo		X				
Condiciones ambientales						
Humedad relativa		X				
Temperatura		X				
Tipo de agua presente		X				
Sustancias agresivas y concentración		X				
Problemas ocultos		X				
Condiciones de exposición especiales						
Fuego		X				
Viento		X				
Sismos		X				
Vibraciones no naturales		X				
Inundaciones		X				
Expansión del suelo		X				
Empuje del suelo		X				
Verificación de la construcción conforme a obra						
Modificaciones de elementos estructurales		X				
Modificaciones de uso de la estructura		X				
Incumplimiento de especificaciones técnicas		X				
Actualización de normas		X				
Total				0	14	6
Estado de la estructura					Regular	

A partir de la inspección visual se concluye que el estado de la estructura es “Regular”. El principal daño es la presencia de fisuras y grietas de diferentes dimensiones que se extienden en ambos vertederos. Tomando en cuenta los patrones de las fisuras y su ubicación, se considera que fueron provocadas por los fenómenos de agrietamiento térmico y contracción por secado, que a su vez se deben a un mal manejo del hormigón masivo.

A continuación, se muestran ejemplos de las patologías encontradas y otras particularidades de interés:

Existen fisuras y grietas de diferentes tamaños y orientación. Algunas se extiende pocos centímetros mientras que otras cubren gran parte de las presas o se ramifican.



Gráfico 33 Grieta horizontal (la grieta es paralela a la compuerta).



Gráfico 34 Fisura diagonal.

También se observa una fisura vertical que se extiende en el vertedero central. Esto nos indica que el diseño del vertedero debía contar con una junta de construcción para responder a fenómenos como el agrietamiento térmico y la contracción por secado.



Gráfico 35 Junta de construcción sin inducir corte en el vertedero central.

El avance de las fisuras y grietas se evidencia por la presencia de desconchamientos y superficies con piel de cocodrilo.



Gráfico 36 Proceso de desconchamiento.



Gráfico 37 Fisuras tipo piel de cocodrilo.

Desprendimiento del hormigón



Gráfico 38 Desprendimiento de hormigón y cinta PVC expuesta.

La funcionalidad de la presa está amenazada por los daños causados por el agua.



Gráfico 39 Proceso erosivo en los vertederos.

Clasificación de las patologías identificadas durante la inspección visual

En la Tabla 29 se indican las patologías generales y específicas presentes en los vertederos.

Patologías Generales	Patologías Específicas
Patologías por intervención humana	No
Patologías por efectos térmicos	Agrietamiento térmico en concreto recién colocado
Patologías por efectos de humedad	Contracción por secado
Proceso de desintegración	Erosión
Corrosión del acero de refuerzo	No
Patologías por efecto de cargas	No
Patologías por acción sísmica	No
Otras patologías	No

Tabla 29 Patologías generales y específicas, vertederos de la presa sobre el Río Jubones.

Con la clasificación anterior, se calcula el porcentaje de participación de cada patología general. Para esto se considera que todas las patologías generales tienen la misma ponderación, y dependiendo del número de patologías específicas varía el respectivo porcentaje. Es decir, se considera el número de patologías específicas que ocurren dentro de cada patología general.

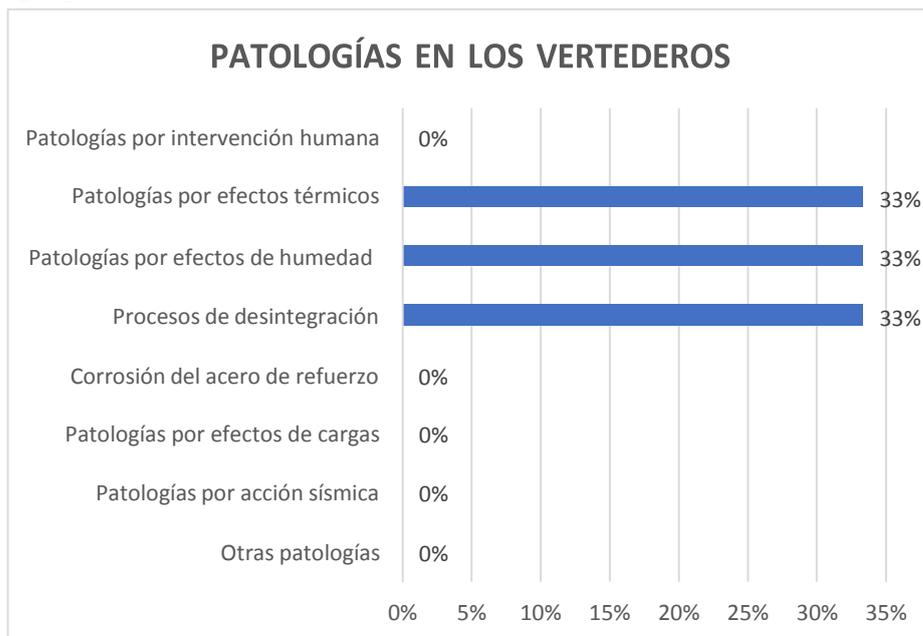


Gráfico 40 Porcentaje de tipos de patologías presentes en los vertederos.

Daños determinados en la inspección visual

Teniendo en consideración la plantilla END01, en la Tabla 30 se muestran los daños presentes en la estructura.

Daños visibles en la inspección visual	Existencia
Agrietamientos en elementos estructurales	Si
Fisuras en mampostería	No
Deformaciones visibles	No
Asentamientos en la cimentación	No
Nivel freático	No
Erosión (Abrasión y cavitación)	Si
Patologías por intervención humana	No
Patologías de materiales	No
Corrosión del acero de refuerzo	No
Sustancias agresivas y concentración	No
Problemas ocultos	No
Fuego	No
Viento	No
Sismos	No
Inundaciones	No
Expansión del suelo	No
Empuje del suelo	No
Modificaciones de elementos estructurales	No
Modificaciones de uso de la estructura	No

Tabla 30 Daños visibles encontrados durante la inspección visual, vertederos de la presa sobre el Río Jubones.

Árboles de soluciones

Una vez que se ubican las patologías y los daños visibles, se procede a utilizar los árboles de soluciones; los mismos que indicarán los ensayos que se debe realizar.

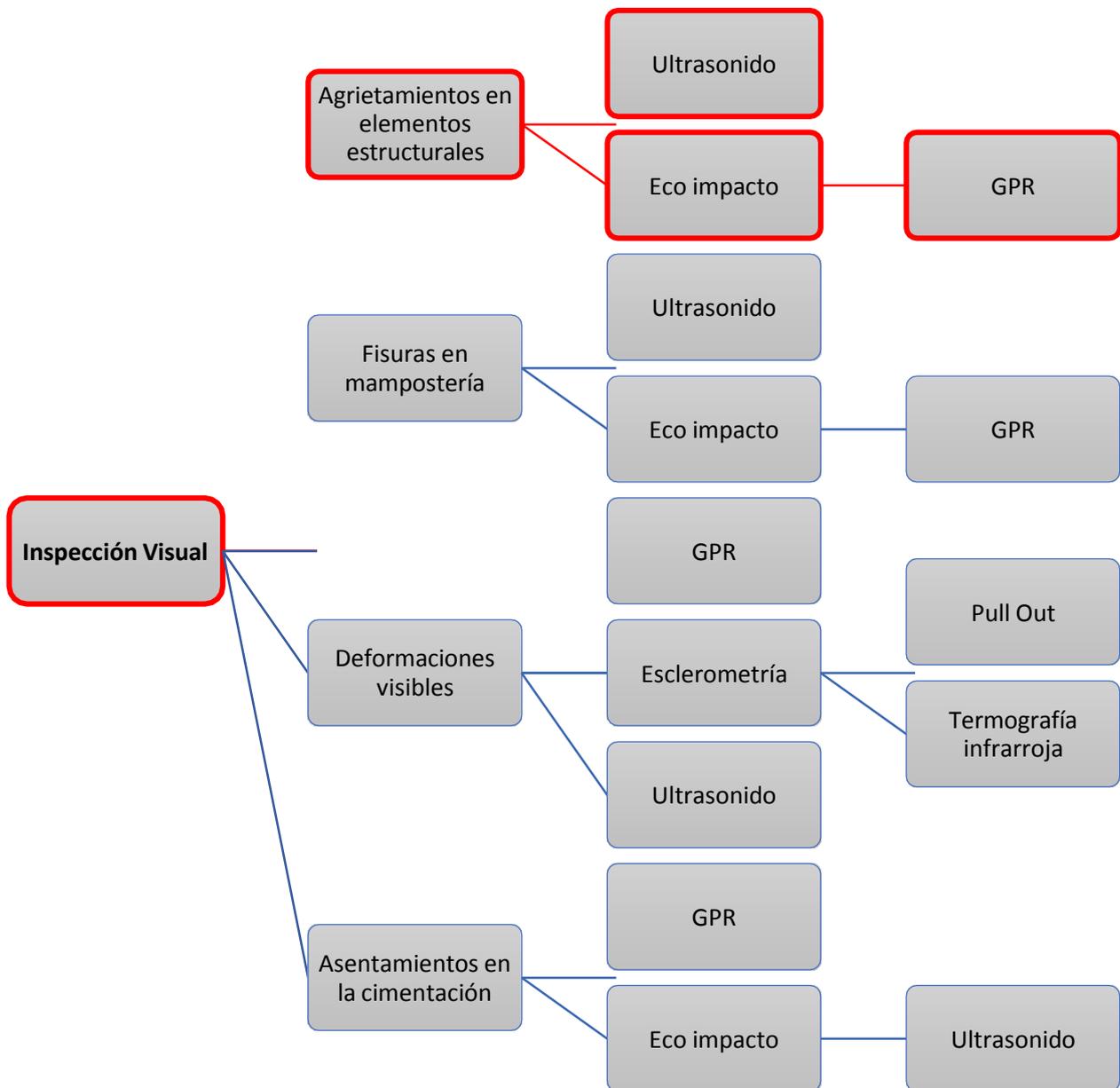


Gráfico 41 Árbol de soluciones para Agrietamientos y Fisuras en Elementos Estructurales.

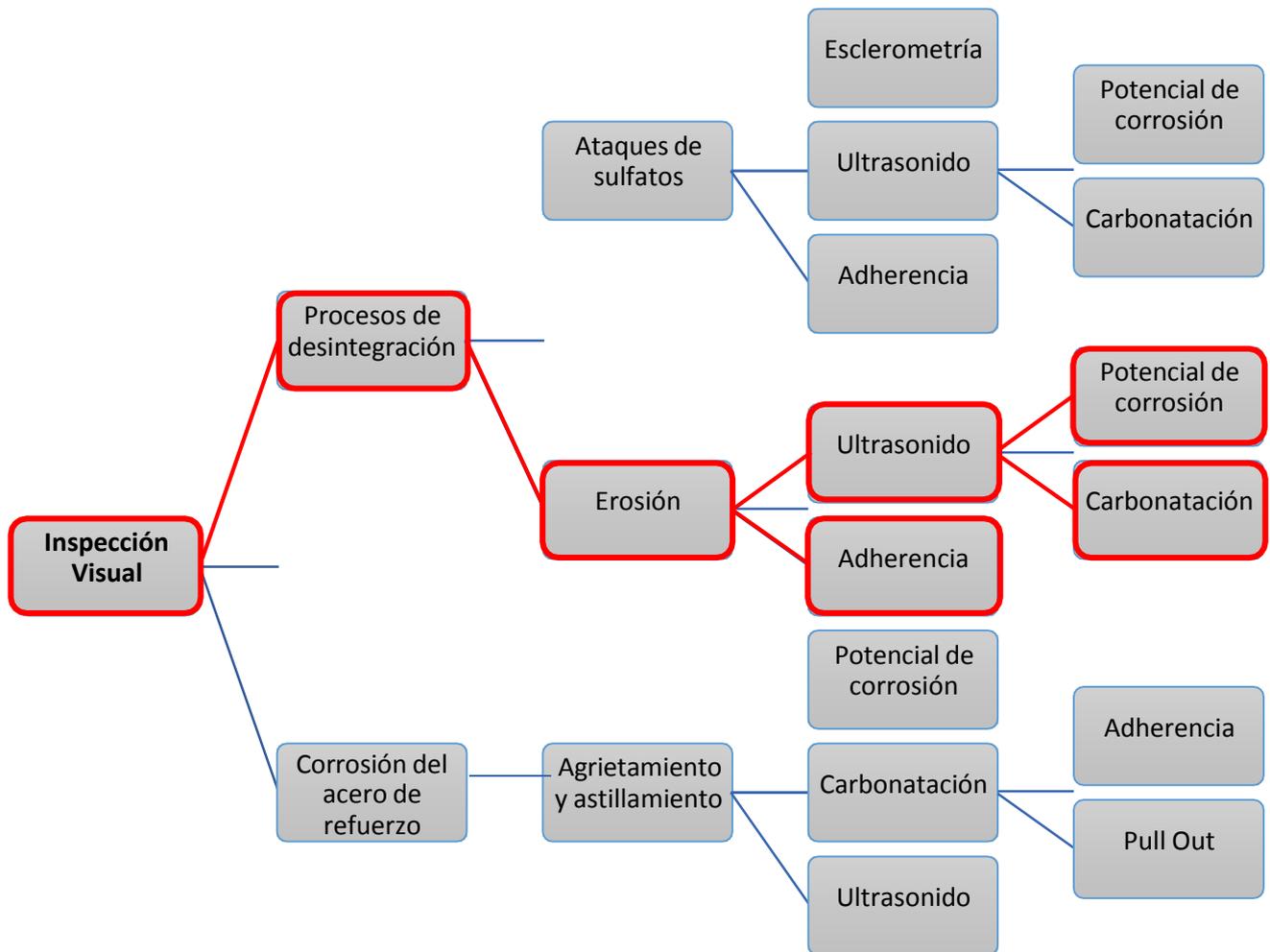


Gráfico 42 Árbol de soluciones para Erosión.

Con los árboles de soluciones se tiene el siguiente listado de ensayos

- Ultrasonido
- Eco Impacto
- GPR
- Adherencia
- Potencial de corrosión
- Carbonatación

De la lista indicada anteriormente se seleccionan los ensayos que cumplan con criterios de factibilidad, accesibilidad, economía y pertinencia. De esta manera, se optó por realizar el

- Ultrasonido

Complementado con un levantamiento geométrico de las fisuras.



INFORME TÉCNICO

Diagnosis de las patologías: proyecto presa de la Hidroeléctrica Minas – San Francisco

Kevin Paulo Ochoa Machuca

Marcela Nicole Pazmiño Vintimilla

Cuenca, enero de 2020

Objetivo

Establecer las causas de las fisuras y la abrasión presentes en los vertederos central y lateral izquierdo de la presa del proyecto Minas-San Francisco y la metodología de reparación que permita mejorar su situación actual, evitando un mayor desgaste del hormigón superficial.

Evaluación de la estructura

Alcance

La evaluación abarca el vertedero central y lateral izquierdo de la presa, donde existen patologías como fisuras y desconchamiento. Respecto al daño por abrasión se indican las normas y características que debe cumplir el recubrimiento a utilizarse en los vertederos, acorde a las condiciones de la obra. Los resultados obtenidos se suman al diagnóstico realizado por profesionales hidráulicos y estructurales para definir los objetivos y estrategias de rehabilitación de los vertederos, acordes a las especificaciones propuestas por Helene P. y Pereira F. (2007) en el libro "Rehabilitación y Mantenimiento de Estructuras de Concreto".

Ensayos realizados

En los dos vertederos se realizó en conjunto el levantamiento geométrico de las fisuras y el ensayo de Ultrasonido para definir su ubicación, tipo, profundidad y espesor. Únicamente se registraron las fisuras con dimensiones posibles de medir, sin considerar la microfisuración.

Resultados de la evaluación

Levantamiento geométrico de fisuras y ensayo de Ultrasonido

A continuación, se presentan las fisuras tabuladas de los vertederos central y lateral izquierdo (Tabla 31 a Tabla 35). Por medio del levantamiento de fisuras se obtuvo el espesor, y en el ensayo de Ultrasonido se obtienen el resto de resultados. (Plantilla END06 (Ortega M. y Vanegas J., 2021), Anexo 13).

1. Fisuras en el vertedero central

1.1. Fisuras horizontales

PRUEBA N°	Distancia (mm)	Tiempo rl (μ S)	Tiempo rc (μ S)	Profundidad (mm)	Espesor (mm)
1	100	102,0	181,0	62	0,71
2	100	71,9	135,1	43	0,81
3	100	112,9	151,1	167	0,81
4	100	69,8	132,0	41	0,81
5	100	122,7	166,9	159	0,81
6	100	110,0	173,1	102	0,81
7	100	105,9	192,7	55	0,81
			PROMEDIO	89,86	0,80

Tabla 31 Resultados del Levantamiento geométrico y ensayo de Ultrasonido, fisuras horizontales en el vertedero central de la presa sobre el Río Jubones.

99.2. Fisuras

PRUEBA N°	Distancia (mm)	Tiempo rl (μ S)	Tiempo rc (μ S)	Profundidad (mm)	Espesor (mm)
8	100	111,6	138,8	212	2,45
9	100	0,97	145,2	119	2,00
10	100	115,9	212,0	53	3,20
11	100	188,7	300,0	98	3,10
12	100	122,0	220,0	58	3,60
13	100	127,0	181,0	116	4,00
14	100	124,1	188,6	114	4,00
			PROMEDIO	110,00	3,19

Tabla 32 Resultados del Levantamiento geométrico y ensayo de Ultrasonido, fisuras verticales en el vertedero central de la presa sobre el Río Jubones.

2. Fisuras en el vertedero lateral

2.1. Fisuras diagonales

PRUEBA N°	Distancia (mm)	Tiempo rl (μ S)	Tiempo rc (μ S)	Profundidad (mm)	Espesor (mm)
15	100	121,8	208,0	75	0,90
16	100	121,6	178,4	127	0,90
17	100	106,3	199,6	43	2,20
18	100	137,4	205,0	120	3,00
			PROMEDIO	91,25	1,75

Tabla 33 Resultados del Levantamiento geométrico y ensayo de Ultrasonido, fisuras diagonales s en el vertedero lateral de la presa sobre el Río Jubones.

2.2. Fisuras horizontales

PRUEBA N°	Distancia (mm)	Tiempo rl (μ S)	Tiempo rc (μ S)	Profundidad (mm)	Espesor (mm)
19	100	117,7	203,0	72	0,90
20	100	87,3	171,7	21	0,90
21	100	105,3	140,2	170	0,90
22	100	82,4	176,3	20	0,90
23	100	936,0	175,0	43	0,90
24	100	99,3	217,0	19	0,90
25	100	104,0	161,4	106	0,90
26	100	116,0	176,4	113	3,00
27	100	132,4	228,0	73	5,00
28	100	89,3	186,6	19	0,90
29	100	126,2	212,0	80	0,77
			PROMEDIO	66,91	1,45

Tabla 34 Resultados del Levantamiento geométrico y ensayo de Ultrasonido, fisuras horizontales en el vertedero lateral de la presa sobre el Río Jubones.

2.3. Fisuras verticales

PRUEBA N°	Distancia (mm)	Tiempo rl (μ S)	Tiempo rc (μ S)	Profundidad (mm)	Espesor (mm)
30	100	112,8	207,0	52	3,0
31	100	95,2	171,5	58	0,9
32	100	119,3	236,0	17	1,2
33	100	97,3	179,6	50	0,9
34	100	129,0	187,3	131	0,9
35	100	127,4	176,5	150	0,9
			PROMEDIO	76,33	1,30

Tabla 35 Resultados del Levantamiento geométrico y ensayo de Ultrasonido, fisuras verticales en el vertedero lateral de la presa sobre el Río Jubones.

Análisis de resultados

Levantamiento geométrico de fisuras y ensayo de Ultrasonido

El ACI 224R-01 “Control de la Fisuración en Estructuras de Hormigón” presenta los siguientes parámetros para aceptación de desempeño de un hormigón respecto al espesor de las fisuras:

Condición de exposición	Ancho de la fisura*	
	in.	Mm
Aire seco o membrana protectora	0,016	0,41
Humedad, aire húmedo, suelo	0,012	0,30
Productos químicos descongelantes	0,007	0,18
Agua de mar y rocío de agua de mar, humedecimiento y secado	0,006	0,15
Estructuras para retención de agua**	0,004	0,10

*Es de esperar que una parte de las fisuras de la estructura superarán estos valores. Con el tiempo; el porcentaje de fisuras que superan estos valores puede ser significativo. Estos son lineamientos generales para el diseño, que se deben utilizar justamente con un sólido juicio profesional.
**Excluyendo tuberías a presión.

Tabla 36 Guía para anchos de fisuras razonables, hormigón armado bajo cargas de servicio. Fuente: (ACI 224R-01, 2001).

Al tratarse de una obra de retención de agua, el ancho máximo permitido es de 0,10 mm. Este valor se compara con cada uno de los promedios de los diferentes tipos de fisuras encontradas en los vertederos.

Vertedero	Tipo de fisura	Ancho promedio (mm)	¿Cumple el parámetro de aceptación del ACI 224R-01?	Observación
Central	Horizontal	0,80	NO	También hay microfisuración que no se ha medido debido al espesor mínimo.
	Vertical	3,19	NO	
Lateral izquierdo	Diagonal	1,75	NO	
	Horizontal	1,45	NO	
	Vertical	1,30	NO	

Tabla 37 Ancho promedio de los distintos tipos de fisuras, vertederos de la presa sobre el Río Jubones.



El ACI 224.1R.93 (1993) explica que antes de reparar las fisuras se debe conocer sus causas, y determinar si estas reducen la resistencia, rigidez y durabilidad de la presa, o si su función se ve seriamente perjudicada; esto para considerar el tipo de tratamiento.

En este caso, se concluye que las fisuras del vertedero lateral son producto de un mal manejo de los hormigones masivos y son de origen congénito, mientras que en el vertedero central la principal causa es un inadecuado manejo de la junta de construcción.

Por lo que es preciso reparar las fisuras; y las medidas que se apliquen deben centrarse en mitigar los daños que afecten su durabilidad, considerando el desgaste hidráulico al que está sometido.

Recomendaciones de rehabilitación

Se presentan los procedimientos recomendados para los vertederos.

Elementos a intervenir	Limpieza inicial y preparación del sustrato	Patología particular	Tipo de daño	Tratamiento recomendado
		Preliminares limpieza del hormigón expuesto Presenta contaminación de lodo, depósitos propios generados por el paso del agua	Limpieza para mantenimiento	Preparación de superficies. Se debe liberar cualquier recubrimiento, lechada de exudación, contaminación del hormigón por lodo o depósitos propios por circulación del agua, hasta llegar al hormigón sano.
	Para la aplicación de	Cinta PVC expuesta	Congénito	Aplicación inicial de similar a Sikadur 32 Primer N como adherente epóxico de hormigón viejo a nuevo, en caso de requerir tiempo adicional se debe usar Colma Fix 32 primer, reparación con mortero epóxico Sikadur 31 Adhesivo.

Vertederos	cualquier producto de reparación y/o mejoramiento, se deberá realizar una limpieza integral de los elementos, es decir remover todo resto de pinturas o empastes hasta llegar a hormigón, especialmente para reparaciones de tipo estructural hasta conseguir perfiles de anclaje adecuados para los reforzamientos planteados entre CFP 3 y 4.	Desconchamientos	Ocasionado por fisuras Congénito	Corte apertura de caja en zona a desprenderse o deprendida para alojar producto de reparación. Limpieza con aire a presión. Relleno con mortero epóxico Sikadur 31 Adhesivo.
		Oquedades, reparación de hormigón	Por falta de recubrimiento protector al desgaste hidráulico y congénito	Aplicación inicial de similar a Sikadur 32 Primer N como adherente epóxico de hormigón viejo a nuevo, en caso de requerir tiempo adicional se debe usar Colma Fix 32 primer, reparación con mortero epóxico Sikadur 31 adhesivo.
		Fisuras	Congénito Piel cocodrilo Control de hormigones masivos	Emboquillados para puertos de inyección, anclados con producto dentro de kit Sikadur Crack Repair o con boquillas de cobre ancladas con Sikadur 31 Adhesivo FF. Relleno entre boquillas de fisuras. Se utilizará producto de kit Sikadur Crack Repair o Sikadur 31 Adhesivo FF. Realizar inyección de resina de epóxico líquido con similar a Sikadur Crack Repair o Sikadur 35 Hi Mod LV que son de grado estructural.
		Junta longitudinal	No se cortó 1/3 de elementos para inducir fisura longitudinal Congénito	Rectificar junta en fisura. Componer labios de Junta. Instalar Sikadur Crack Fix que viene dentro del kit Sikadur Crack Repair.
	Microfisuración		Poner sobrecapa epóxica.	



		Desgaste por Abrasión	Baja durabilidad de la obra Falta proteger a desgaste hidráulico Problema que se apeora debido al fisuramiento	Recubrir toda la superficie sujeta a desgaste hidráulico con mortero epóxico Sikadur 31 adhesivo.
--	--	--------------------------	---	--

Tabla 38 Recomendaciones para rehabilitación de los vertederos de la presa sobre el Río Jubones.



**CAPÍTULO III:
DIAGNOSIS DE LAS
PATOLOGÍAS:
PROYECTO PUENTE
SOBRE EL RÍO
TOMBAMBAMBA, ENTRE
AV. 12 DE ABRIL Y
AV. 3 DE NOVIEMBRE**



INFORME PRELIMINAR

**Diagnosis de las patologías: proyecto puente sobre el Río
Tomebamba, entre Av. 12 de Abril y Av. 3 de Noviembre.**

Kevin Paulo Ochoa Machuca

Marcela Nicole Pazmiño Vintimilla

Cuenca, noviembre de 2021

Nombre del Proyecto

Diagnóstico de las patologías: proyecto puente sobre el Río Tomebamba, entre Av. 12 de Abril y Av. 3 de Noviembre.

Ubicación Geográfica

El puente se ubica en la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay, Ecuador. Se encuentra en la calle Simón Bolívar, entre la Av. 12 de Abril y la Av. 3 de Noviembre, y cruza el Río Tomebamba.

Zona:	17 M
Coordenada Este:	720596.00 m E
Coordenada Norte:	9679740.00 m S

Gráfico 43 Coordenadas del puente. Fuente: (Google Earth).



Gráfico 44 Ubicación del puente sobre el Río Tomebamba. Fuente: (Google Earth, 2021)

Zona de amenaza Sísmica

La ciudad de Cuenca, ubicada en Ecuador; está situada, según la norma NEC-SE-DS, en la zona sísmica II, teniendo de esta forma un peligro sísmico muy alto, con su respectivo factor Z de 0.25.

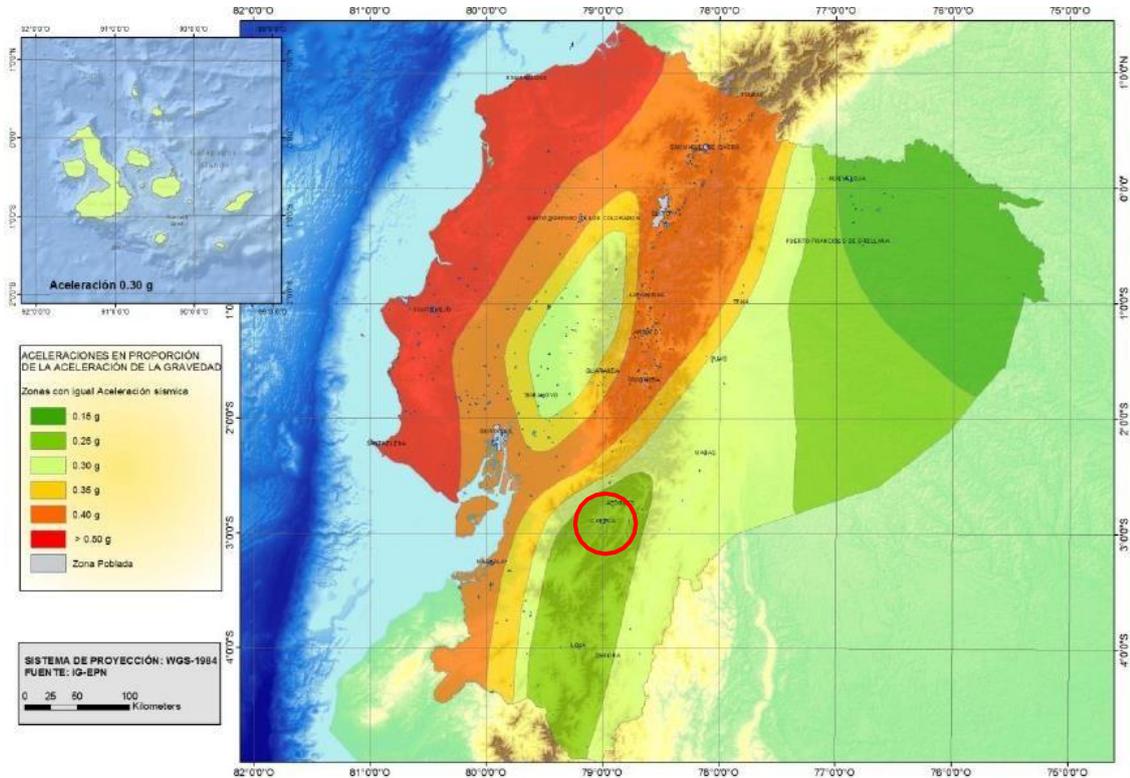


Gráfico 45 Zona sísmica de la ciudad de Cuenca.

Descripción del problema

El puente en estudio permite que diariamente una significativa cantidad de vehículos tengan acceso a vías urbanas importantes, como la Av. 12 de Abril, la Av. 3 de Noviembre y la calle Simón Bolívar. Los vehículos que circulan por este puente son principalmente particulares y de transporte público, siendo los buses urbanos los de mayor carga. Además, debido a la presencia de instituciones en el sector, como la Unidad Educativa Sagrados Corazones y el Colegio Ecuador, el tráfico es mayor durante las horas de ingreso y salida de las mismas. Por otra parte, este puente salva una luz de aproximadamente 36 m sobre en el Río Tomebamba, el cual ha llegado a registrar caudales mayores a los 100 m³ y tiene problemas de desbordamiento.

A pesar de la importancia de este puente, se observan fisuras, grietas, corrosión, humedad, pérdida de material en elementos estructurales e incluso existen algunos indicadores de que el proceso constructivo no fue adecuado, como la presencia de segregación del hormigón y elementos del encofrado incrustados en el tablero, vigas y columnas. Además, no existen signos de intervenciones estructurales recientes o trabajos de mantenimiento.



Fase de documentación

Se utilizó la plantilla END01_FD (Ortega M. y Vanegas J., 2021). Sin embargo, no se dispone de mayor información sobre el puente debido a su antigüedad y la falta de estudios.

 UNIVERSIDAD DE CUENCA Facultad de Ingeniería		MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI-DESTRUCTIVOS			CÓDIGO END01_FD
INSTITUCIÓN	Universidad De Cuenca	HORA	10:00	FECHA	23/11/2021
PROYECTO	Diagnóstico del Puente sobre el Río Tomebamba	ZONA SÍSMICA	II		
UBICACIÓN	Entre Av. 12 de Abril y Av. 3 de Noviembre				
FASE PRELIMINAR					
Variable	Sí	No	Observaciones		
Tipo de estructura					
Tipo de cimentación	X		Estribos.		
Sistema estructural	X		Arco de tablero superior.		
Irregularidades		X			
Diseños estructurales no recomendados		X			
Diseñadores					
Arquitecto		X			
Ingeniero de suelos		X			
Ingeniero estructural		X			
Ingeniero asesor de materiales		X			
Especificaciones del proyecto					
Constructor		X			
Fiscalizador		X			
Proveedor de materiales		X			
Historial de la estructura					
Fechas de diseño y cumplimiento de normas		X			
Construcción y puesta en servicio		X			
Vida útil proyectada		X			
Área construída		X			
Propietarios y usos	X		GAD Municipal Cuenca. Uso público.		
Registros de actividad sísmica, actividad geológica y estudios de		X			
Información sobre el funcionamiento, ocupación y límites de carga		X			
Planes de alteración y órdenes de cambio		X			
Revisión del proyecto original y registros de construcción					
Planos de diseño, especificaciones y cálculos		X			
Libro de obra		X			
Colocación de armadura de concreto		X			
Códigos de construcción		X			
Materiales de construcción y datos de ensayo		X			
Control de calidad e informes de inspección en campo		X			
Fotografías del proceso constructivo		X			
Calidad del diseño y la construcción de la estructura original				Regular, se evidencia un inadecuado proceso constructivo.	

Inspección Visual

Para la inspección visual se utilizó la plantilla END01 (Ortega M. y Vanegas J., 2021) y los pesos que se muestran en la Tabla 39, los cuales se seleccionaron de acuerdo al nivel de importancia de cada patología en la estructura según los rangos indicados a continuación:

- Nivel de importancia bajo: [0 a 2]
- Nivel de importancia medio: [3 a 5]
- Nivel de importancia alto: [6 a 8]

PESOS EN INSPECCIÓN VISUAL	
Variable	Peso (%)
Agrietamientos en elementos estructurales	7
Deformaciones y desviaciones visibles	0
Asentamientos en la cimentación	5
Nivel freático	6
Patologías por efecto humano	7
Patologías de materiales	2
Corrosión del acero de refuerzo	8
Humedad relativa	6
Temperatura	3
Tipo de agua presente	4
Sustancias agresivas y concentración	4
Problemas ocultos	3
Eflorescencias	7
Viento	0
Sismos	5
Vibraciones no naturales	3
Inundaciones	5
Expansión del suelo	2
Empuje del suelo	2
Modificaciones de elementos estructurales	5
Modificaciones de uso de la estructura	5
Incumplimiento de especificaciones técnicas	6
Actualización de normas	5
Total	100

Tabla 39 Pesos propuestos para evaluar el estado del puente sobre el Río Tomebamba.

MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE
HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI-DESTRUCTIVOS

CÓDIGO

END01

INSTITUCIÓN	Universidad de Cuenca			HORA	FECHA	
PROYECTO	Diagnóstico de las patologías, Puente sobre río Tomebamba.			10:00	12/2021	
UBICACIÓN	Entre Av. 12 de Abril y Av 3. de Noviembre			ZONA SÍSMICA	II	
INSPECCIÓN VISUAL						
Variable	Sí	No	Observaciones	Bueno	Regular	Malo
Agrietamientos en elementos estructurales	X				7	
Fisuras en mampostería		X				
Deformaciones y desviaciones visibles		X				
Asentamientos en la cimentación		X				
Cavitación y abrasión		X				
Nivel freático	X			6		
Geometría y materiales estructurales						
Patologías por efecto humano	X		Fallas en vertido del material, malos retiros de encofrados.		7	
Patologías de materiales		X				
Corrosión del acero de refuerzo	X		Se observa a simple vista		8	
Condiciones ambientales						
Humedad relativa	X		Existe presencia de humedad en ciertos elementos, y en paredes.		6	
Temperatura		X				
Eflorescencias	X		Manchas blancas en la parte interna del puente	7		
Sustancias agresivas y concentración		X				
Problemas ocultos		X				
Condiciones de exposición especiales						
Fuego		X				
Viento		X				
Sismos		X				
Vibraciones no naturales		X				
Inundaciones		X				
Expansión del suelo		X				
Empuje del suelo		X				
Verificación de la construcción conforme a obra						
Modificaciones de elementos estructurales		X				
Modificaciones de uso de la estructura		X				
Incumplimiento de especificaciones técnicas	X		Se ha dejado encofrados, o pedazos de madera en elementos estructurales		6	
Actualización de normas		X				
Total				13	34	0
Estado de la estructura				Regular		

Con el análisis de la inspección visual se concluye que el estado de la estructura es “Regular”, por lo que, con una intervención adecuada, seguida de mantenimientos preventivos regulares, la estructura mantendrá un estado entre Regular y Bueno, considerando el desempeño que ha tenido hasta el momento.

Se encontraron varillas que han perdido su recubrimiento y presentan corrosión, principalmente en los costados del tablero.



Gráfico 46 Varilla expuesta y con corrosión ubicada en el costado del tablero.

Se pudo observar mediante inspección visual, la presencia de juntas frías.



Gráfico 47 Junta fría en uno de los arcos.

Existen problemas de segregación y hormigueros, en gran parte de la estructura del puente.



Gráfico 48 Segregación y hormigueros en uno de los arcos.

Debido a un mal drenaje se tiene presencia de agua infiltrada en los estribos del puente.



Gráfico 49 Humedad en estribo del puente.

Una de las columnas muestra una grieta por cortante.



Gráfico 50 Grieta diagonal formada en una de las columnas del puente (Columna 1).

Se observan eflorescencias de gran extensión, principalmente en la parte inferior del tablero.



Gráfico 51 Eflorescencia causada por la humedad que se filtra desde la calzada.

En una de las vigas existe pérdida de hormigón considerable alrededor del acero de refuerzo.



Gráfico 52 Daño importante en una de las vigas de arriostramiento.

Clasificación de patologías identificadas en la inspección visual

En la Tabla 40 se indican las patologías generales y específicas presentes en el puente.

Patologías Generales	Patologías Específicas
Patologías por intervención humana	Segregación
	Hormigueros
	Juntas frías
	Encofrados
Patologías por efectos térmicos	No
Patologías por efecto de humedad	Humedad relativa
	Eflorescencias
Procesos de desintegración	No
Corrosión del acero de refuerzo	Agrietamiento y astillamiento
	Carbonatación
	Pérdida de recubrimiento
Patologías por efectos de cargas	Cortante en columna
Patologías por acción sísmica	No
Otras patologías	No

Tabla 40 Patologías generales y específicas del puente sobre el río Tomebamba.

Con la clasificación anterior, se calcula el porcentaje de participación de cada patología general. Para esto se considera que todas las patologías generales tienen la misma ponderación, y dependiendo del número de patologías específicas varía el respectivo porcentaje. Es decir, se considera el número de patologías específicas que ocurren dentro de cada patología general.

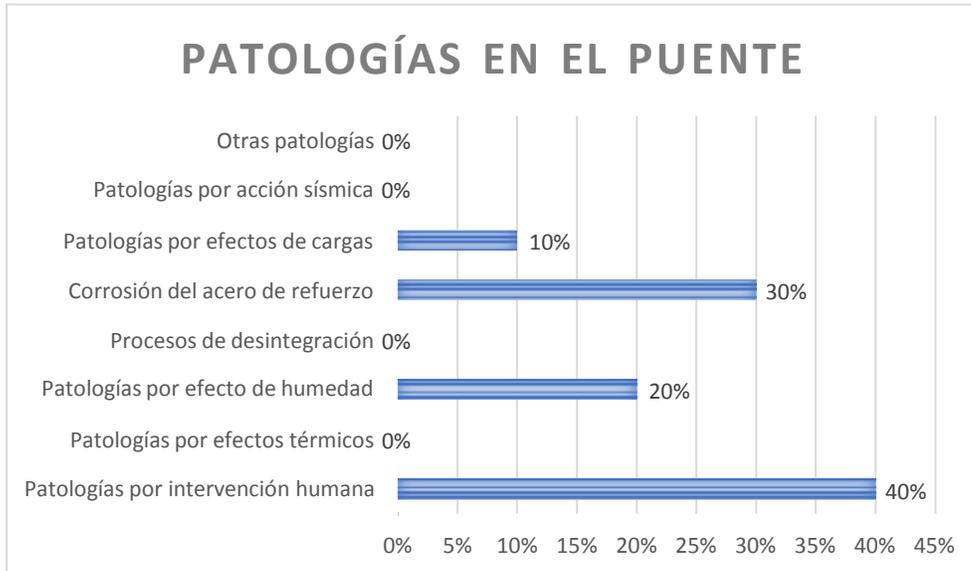


Gráfico 53 Porcentaje de tipos de patologías presentes en el puente.

Daños determinados en la inspección visual

Teniendo en consideración la plantilla END01, en la Tabla 41 se muestran los daños presentes en la estructura.

Daños visibles en inspección visual	Existencia
Agrietamientos en elementos estructurales	Si
Fisuras en mampostería	No
Deformaciones y desviaciones visibles	No
Asentamientos en la cimentación	No
Nivel freático	Si
Patologías por efecto humano	Si
Patologías de materiales	No
Sustancias agresivas y concentración	No
Corrosión del acero de refuerzo	Si
Problemas ocultos	No
Fuego	No
Sismos	No
Inundaciones	No
Expansión del suelo	No
Empuje del suelo	No
Modificaciones de elementos estructurales	No
Modificaciones de uso de la estructura	No

Tabla 41 Daños visibles identificados en la inspección visual, puente sobre el Río Tomebamba.

Arboles de soluciones

Una vez que se ubican las patologías y los daños visibles, se procede a utilizar los árboles de soluciones; los mismos que indicarán los ensayos que se debe realizar.

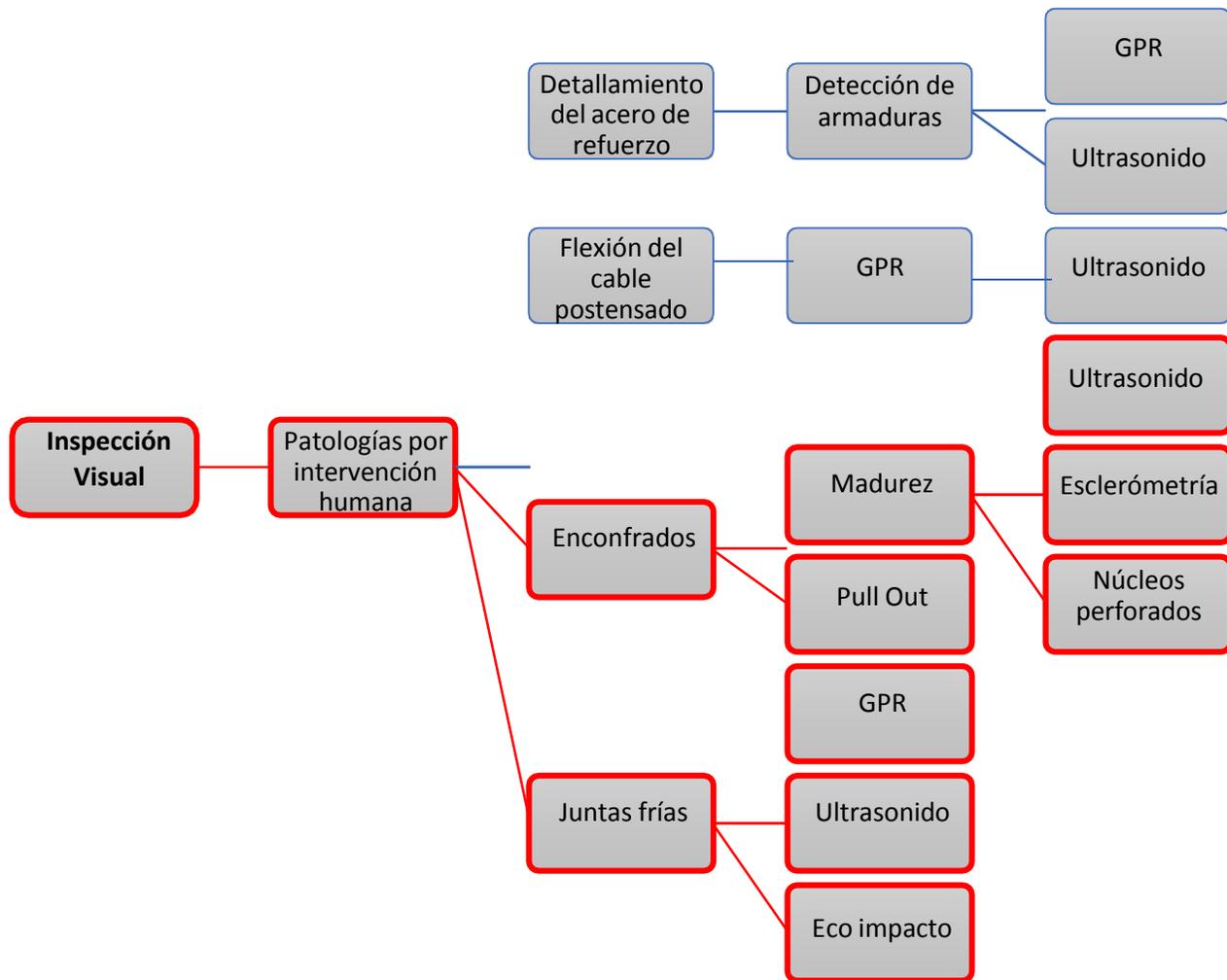


Gráfico 54 Árbol de solución para Encofrados y Juntas frías.

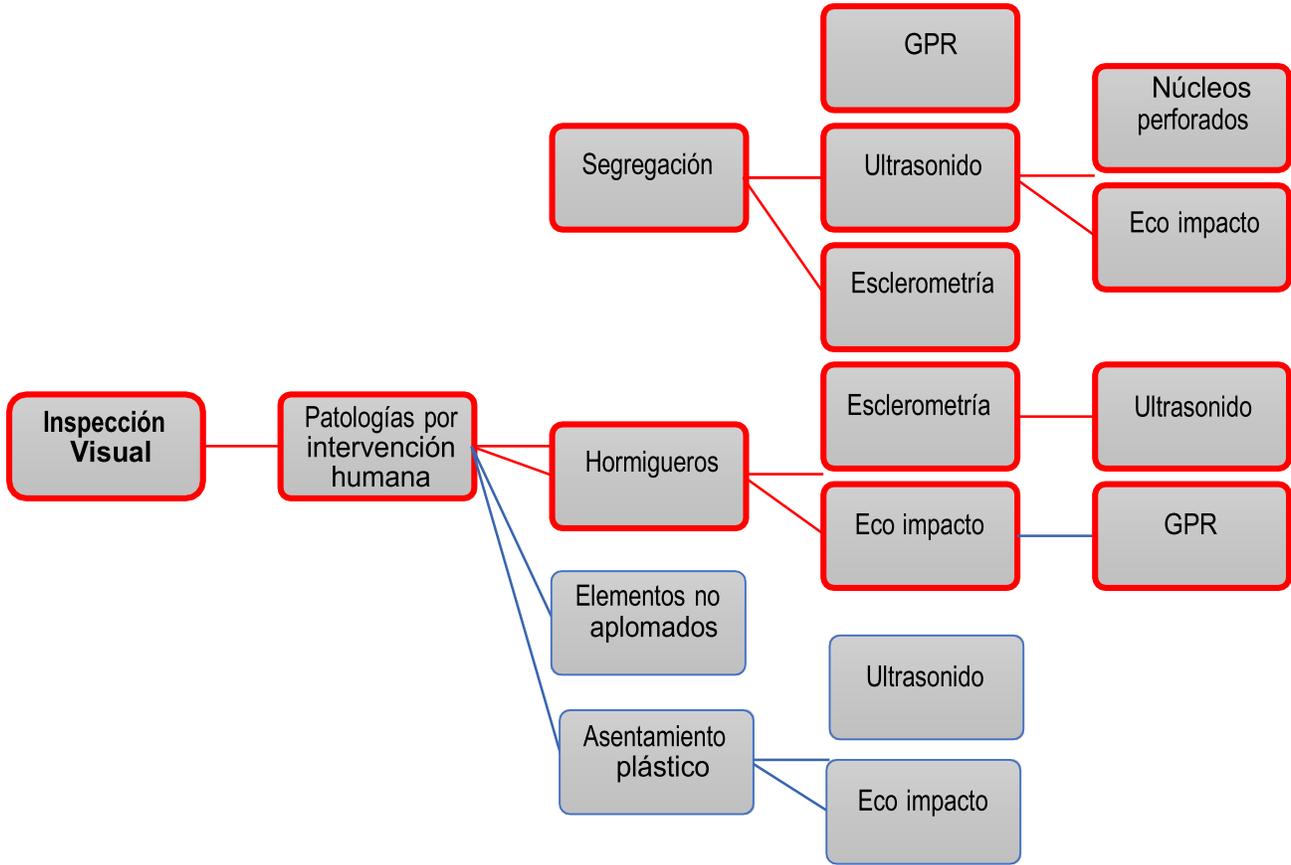


Gráfico 55 Árbol de solución para Segregación y Hormigueros.

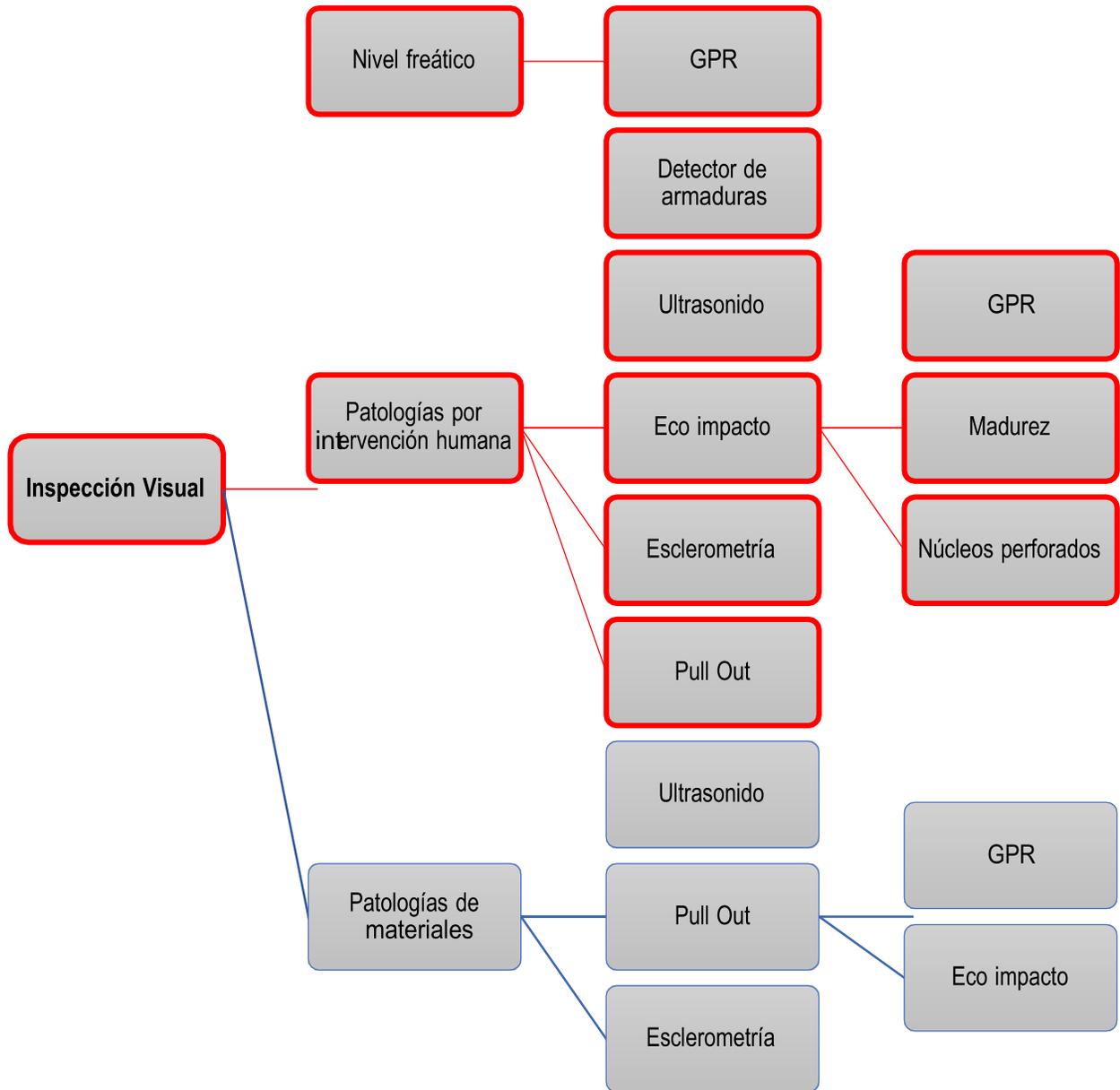


Gráfico 56 Árbol de solución para Nivel freático y Patologías por intervención humana.

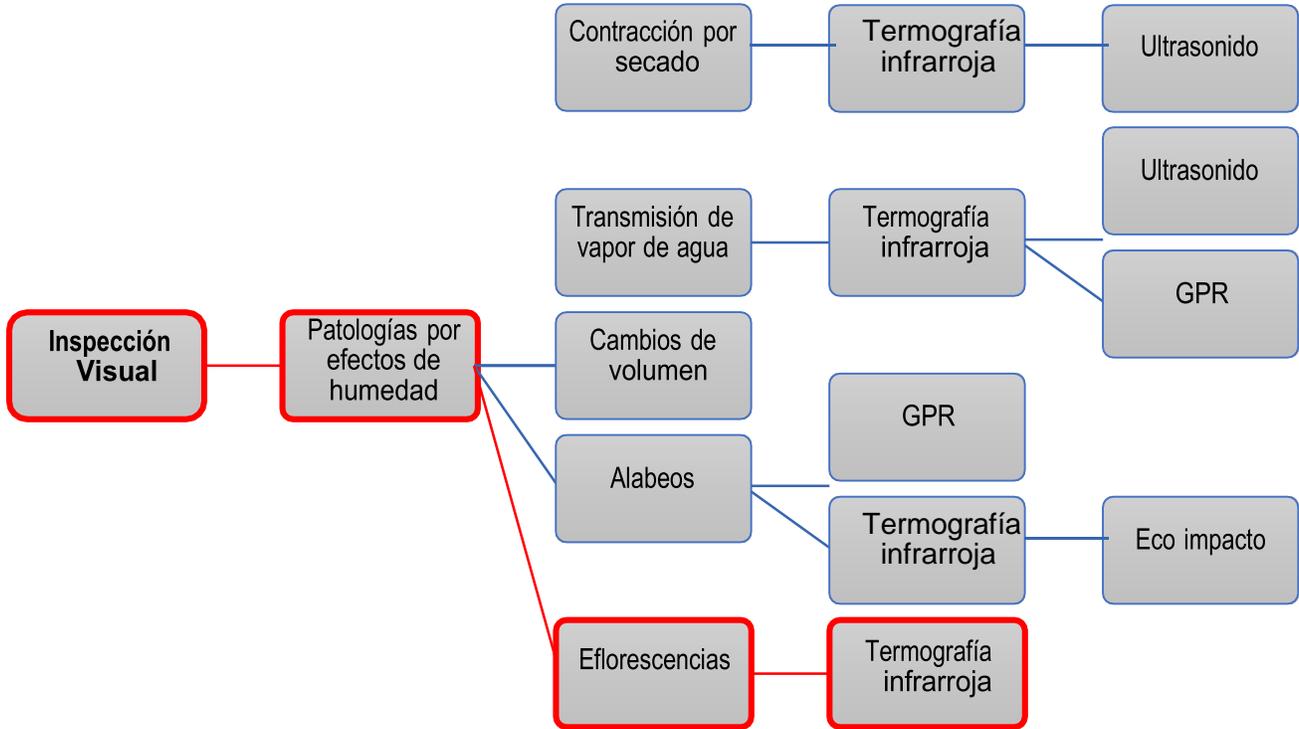


Gráfico 57 Árbol de solución para Eflorescencias.

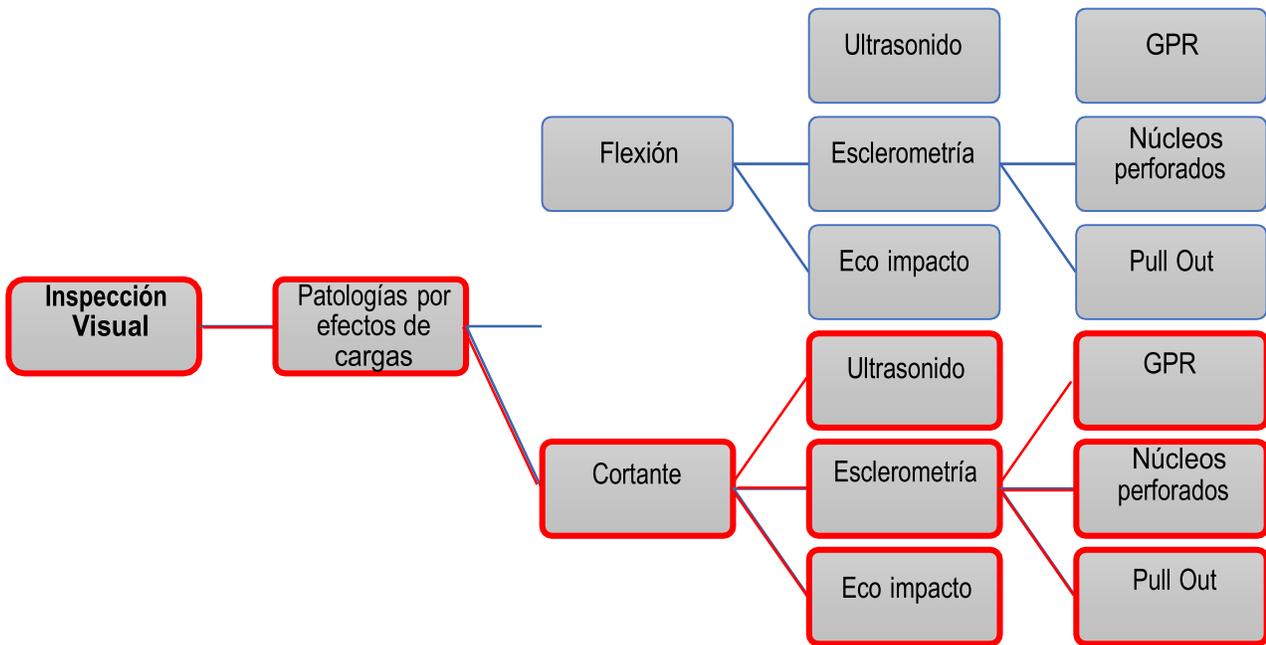


Gráfico 58 Árbol de solución para Cortante.

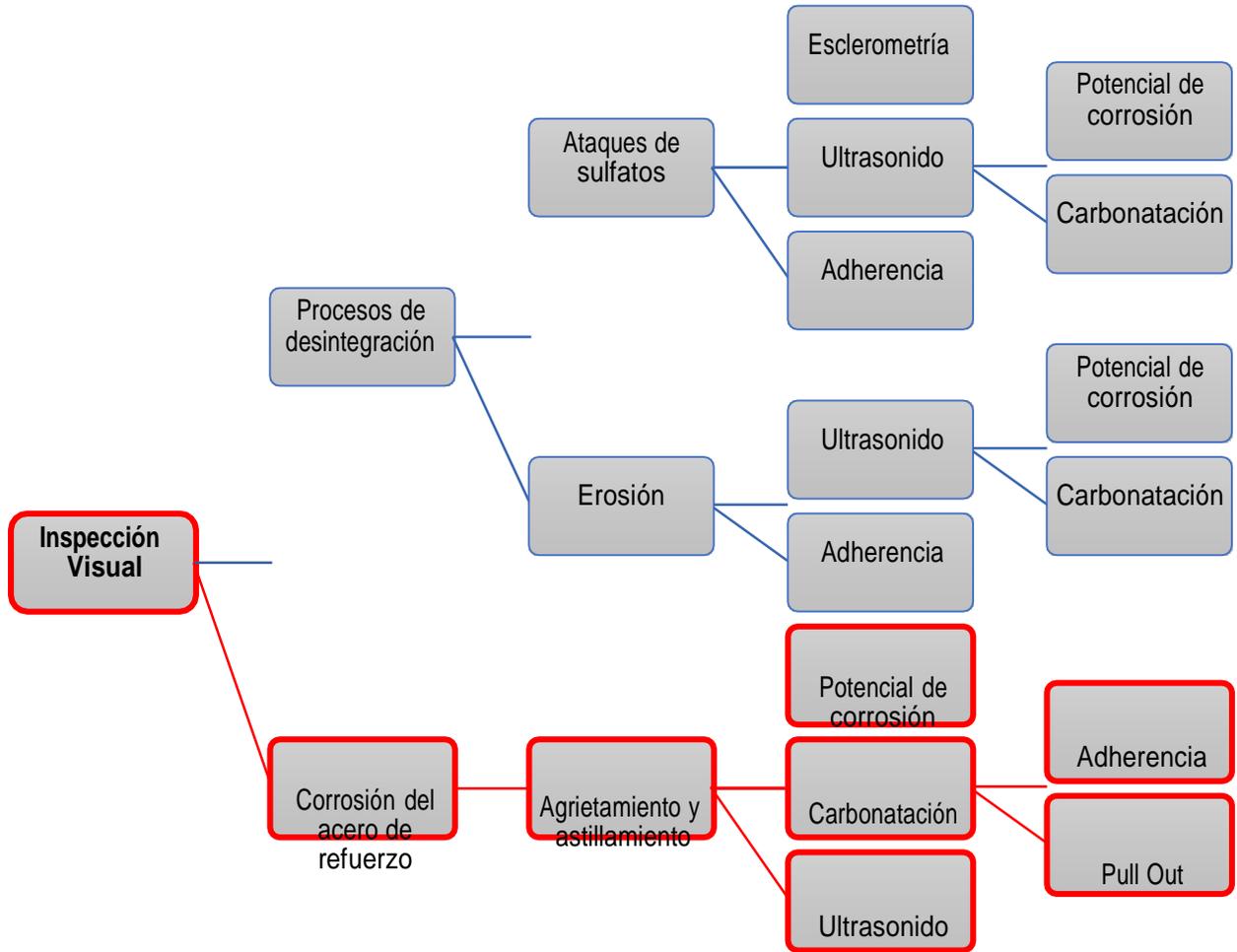


Gráfico 59 Árbol de solución para daño por Agrietamiento y astillamiento.

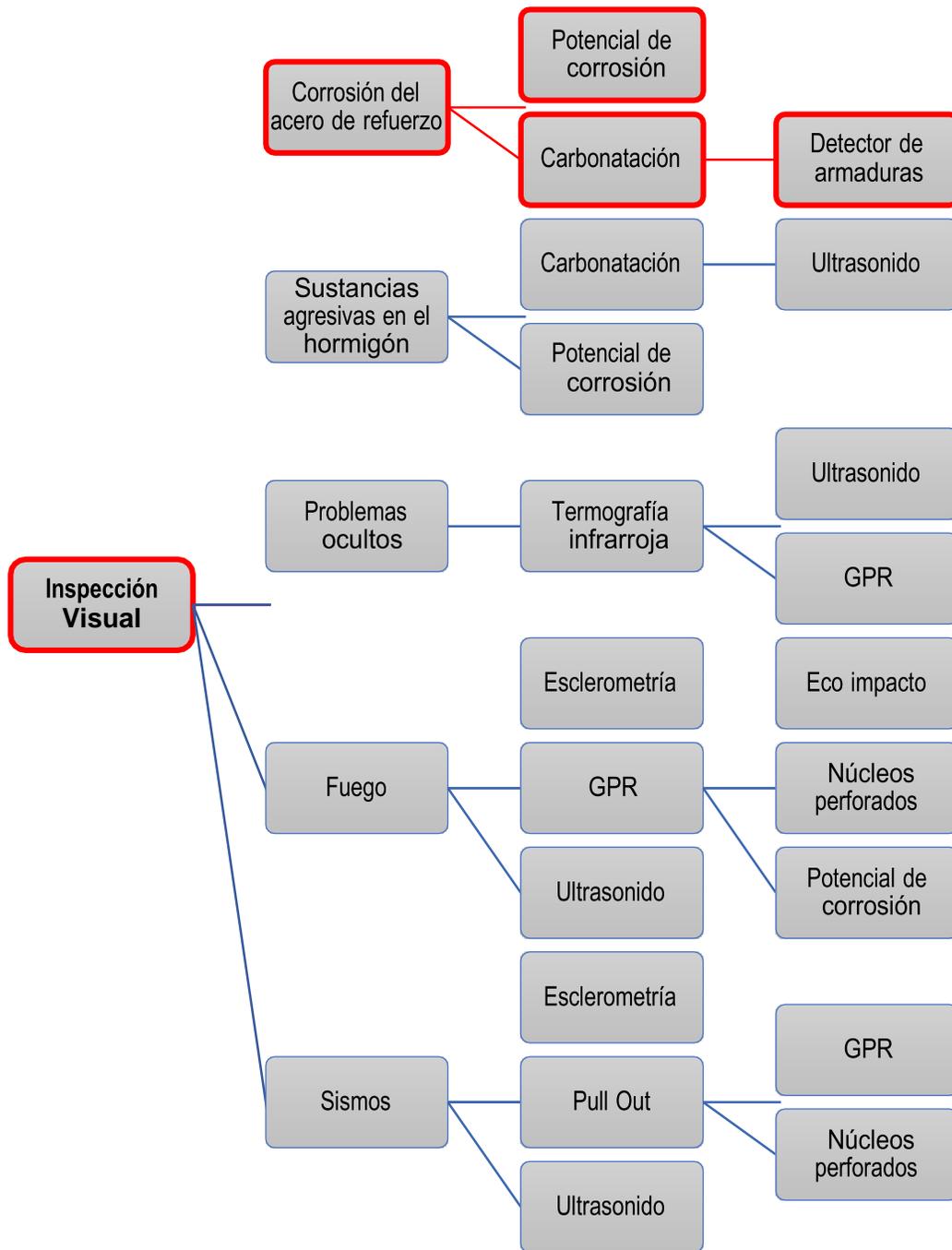


Gráfico 60 Árbol de solución para Corrosión del acero de refuerzo.

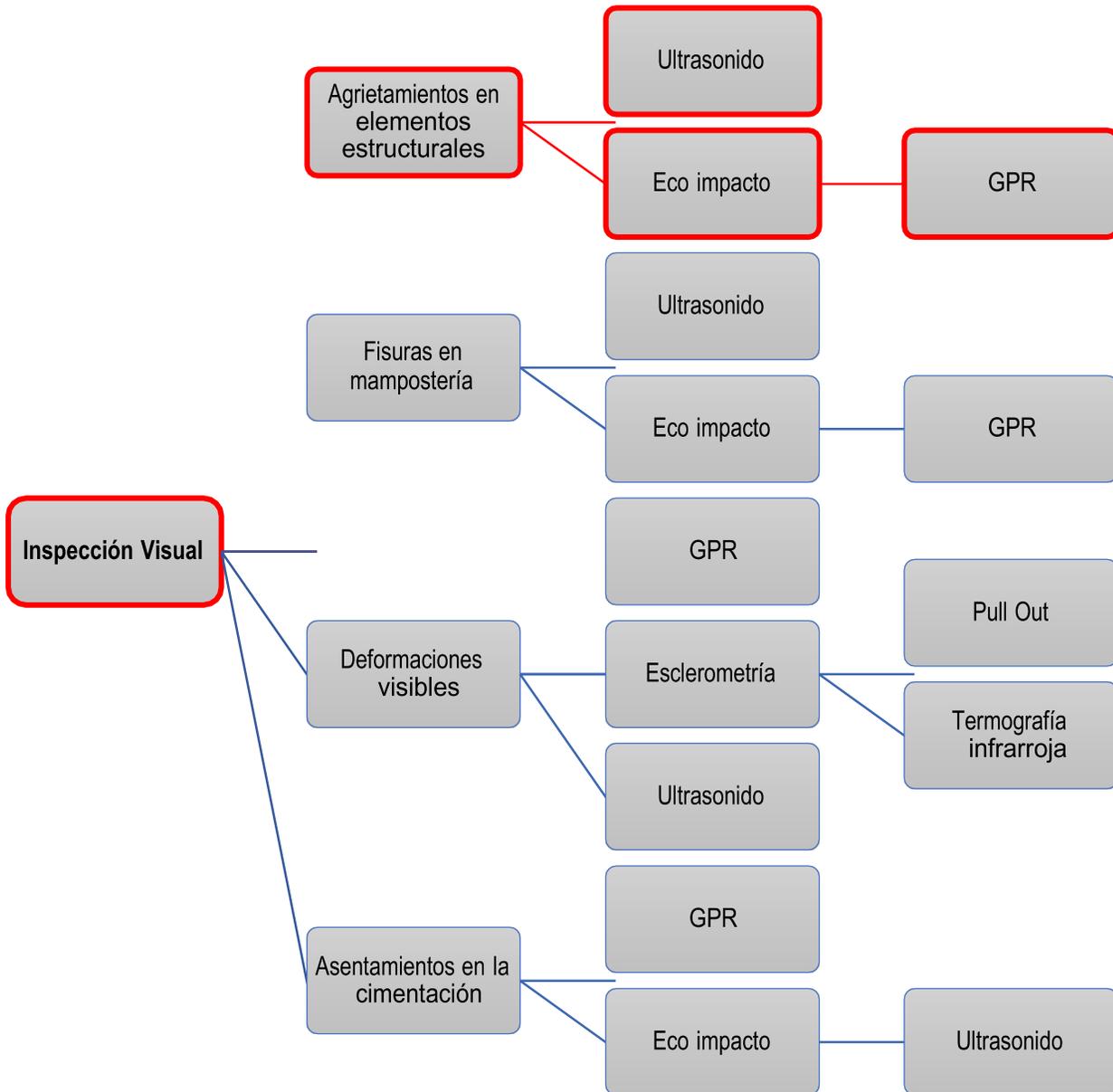


Gráfico 61 Árbol de solución para Agrietamientos en elementos estructurales.



Con los árboles de soluciones, presentados, se obtiene la siguiente lista de ensayos que se deberían realizar:

- Esclerometría
- Ultrasonido
- Núcleos perforados
- GPR
- Eco impacto
- Termografía infrarroja
- Potencial de corrosión
- Carbonatación
- Detector de armaduras
- Pull out

De la lista indicada de ensayos, por factibilidad, economía, disponibilidad de equipos, tiempo de presentación de trabajo, y pertinencia de cada ensayo, se sugiere realizar:

- Esclerometría
- Ultrasonido
- Potencial de corrosión
- Carbonatación
- Detector de armaduras

Y se realizará el Levantamiento de fisuras y grietas, para complementar la información sobre el estado actual del puente.



INFORME TÉCNICO

**Diagnosis de las patologías: proyecto puente sobre el Río Tomebamba,
entre Av. 12 de Abril y Av. 3 de Noviembre.**

Kevin Paulo Ochoa Machuca

Marcela Nicole Pazmiño Vintimilla

Cuenca, diciembre de 2021

Objetivo

El objetivo de la diagnosis del puente en estudio, es poder reconocer y registrar patologías presentes en elementos de la infraestructura mencionada. A su vez, con esa información, realizar ensayos no destructivos o semi-destructivos según sea el caso, para realizar un análisis que proponga alternativas de solución para las diversas patologías presentes en la infraestructura.

Evaluación de la estructura

Alcance

A partir de la inspección visual se concluyó que los elementos más afectados son: el tablero, los arcos, las vigas transversales de arriostamiento y las columnas. Por este motivo, los ensayos se centran principalmente en estos elementos. También se consideró que, debido a la homogeneidad de los factores ambientales, y el alcance del presente trabajo de titulación es apropiado analizar un número reducido de elementos que sean representativos, mediante ensayos no destructivos, semi – destructivos, e in situ.

Por último, es importante indicar que no se aplicaron ensayos en varios de los elementos ubicados al lado de la Av. 3 de Noviembre, desde la mitad del puente hacia aguas abajo, debido a impedimentos en el acceso y por motivos de seguridad.

Ensayos realizados

Las partes del puente se muestran en los Gráficos Gráfico 62 a Gráfico 67. Los ensayos se realizaron en diferentes elementos estructurales representativos del puente, con respecto a los daños observados, que se detallan en la Tabla 42.

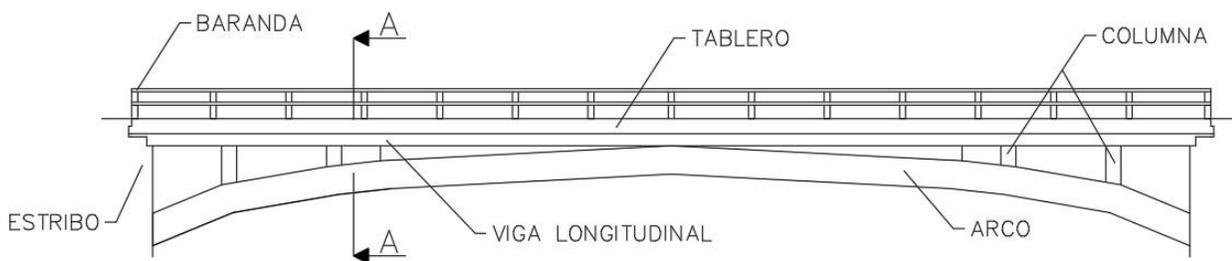


Gráfico 62 Vista lateral del puente.

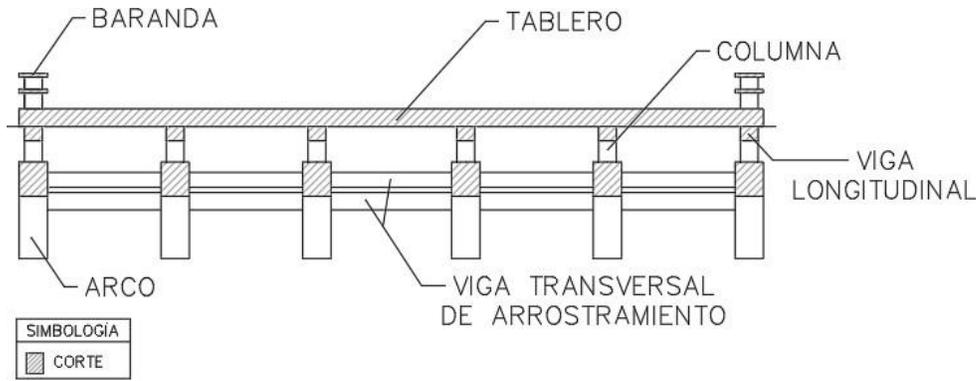


Gráfico 63 Vista transversal del puente (Corte A-A).

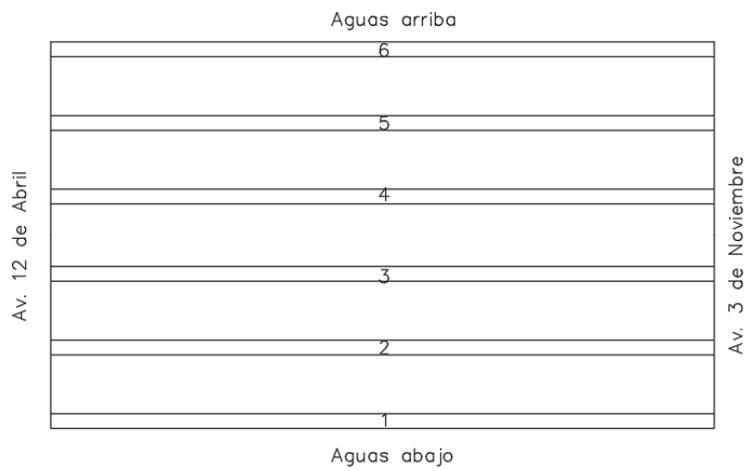


Gráfico 64 Arcos numerados.

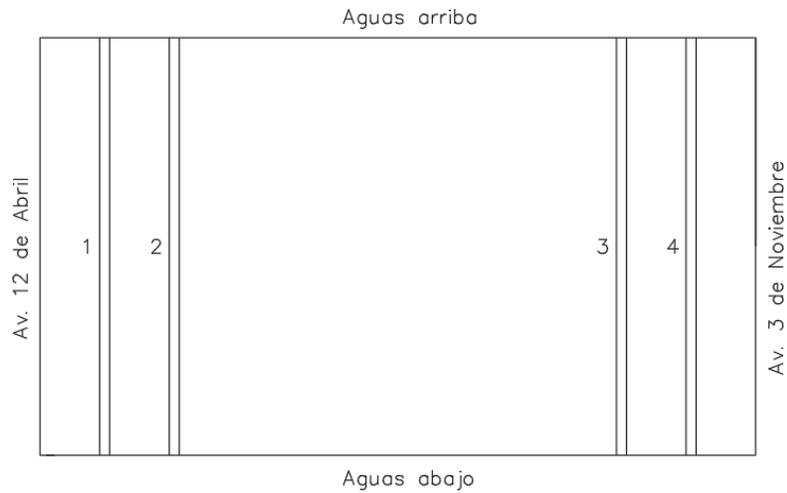


Gráfico 65 Vigas transversales de arrostramiento numeradas.

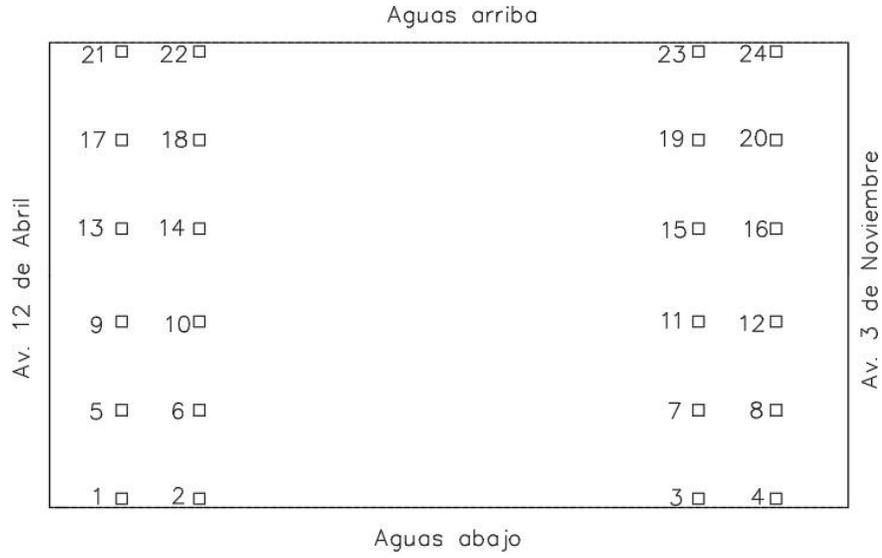


Gráfico 66 Columnas numeradas



Gráfico 67 Vigas longitudinales numeradas.

Ensayos		V1	V2	V4	VL1	C1	C2	C6	C24	A1	A2	A5	A6	T
Ensayos semi-destructivos	Carbonatación	X	X	X		X	X			X			X	
	Ultrasonido	X			X		X							
Ensayos no destructivos	Potencial de corrosión			X										X
	Detector de armaduras		X			X					X			
Ensayos in situ	Esclerometría	X	X	X		X		X	X		X	X		

Tabla 42 Elementos en los que se realizaron ensayos, puente sobre el Río Tomebamba.

Donde:

V se refiere a una viga transversal de arrojamiento

VL se refiere a una viga longitudinal

C se refiere a una columna

A se refiere a un arco

T se refiere al tablero

Resultados de la Evaluación

Considerar que los resultados de evaluación se presentan a modo de resumen de cada ensayo y que los ensayos completos se presentan en la sección de los Anexos.

Ensayo de detección de armaduras

Este ensayo se realizó para determinar la posición del acero de refuerzo y poder aplicar los diferentes ensayos. Por facilidad se obtuvieron datos únicamente en el medio de las vigas y columnas, por lo que los resultados no se pueden ocupar para otras zonas como los nodos.

Debido a que el equipo no mide el diámetro de las varillas y que en las vigas y columnas el refuerzo no está expuesto, únicamente se presentan esquemas de la distribución de las armaduras en cada elemento, información que es suficiente para los fines de este ensayo. (Plantilla END02 (Ortega M. y Vanegas J., 2021), Anexo 15).

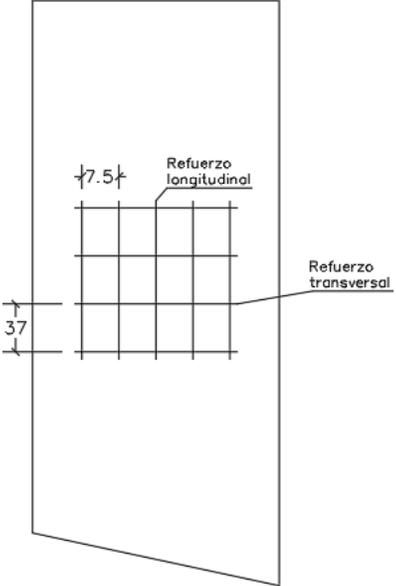
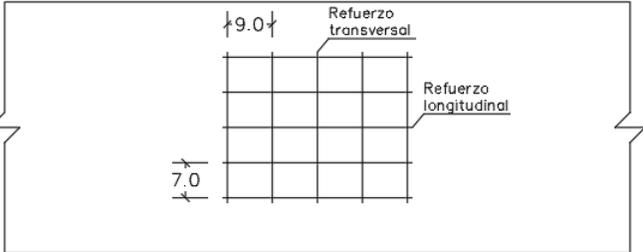
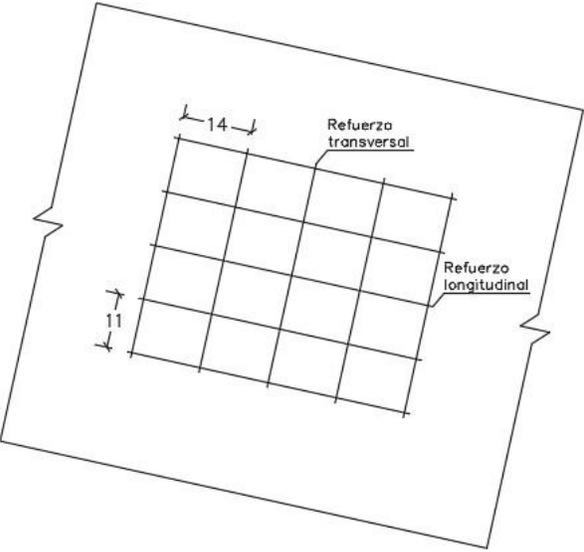
	<p>(a) Refuerzo columnas.</p>
	<p>(b) Refuerzo vigas.</p>
	<p>(c) Refuerzo arcos.</p>

Gráfico 68 Esquemas de las armaduras correspondientes a cada uno de los elementos estructurales (longitudes en cm).

Ensayo de Esclerometría

En la Tabla 43, se presentan resultados del ensayo de Esclerometría. (Plantilla EIP01 (Ortega M. y Vanegas J., 2021), Anexo 16).

Elemento	Ubicación	Orientación	Lecturas					Q Prom.	Desv. Est	Resistencia kg/cm ²
			1	2	3	4	5			
Viga 2	Av, 12 de Abril	Horizontal	40,5	45,0	41,5	42,5	45,5	42,25	2,30	390
Viga 2	Av, 12 de Abril	Horizontal	52,0	49,5	50,5	55,0	51,5	51,80	2,20	535
Viga 1	Av, 12 de Abril	Horizontal	56,0	51,5	55,0	54,0	51,5	52,85	2,15	550
Viga 1	Av, 12 de Abril	Horizontal	53,5	55,0	58,0	52,0	54,0	54,35	2,10	581
Arco 2	Parte interna	Horizontal	53,0	55,5	49,5	55,0	55,0	53,25	2,37	571
Arco 5	Parte interna	Horizontal	56,0	50,0	54,0	50,0	56,0	53,30	2,28	571
Columna 1	Parte externa	Horizontal	51,5	49,0	49,5	49,0	49,0	50,30	1,67	515
Columna 6	Parte externa	Horizontal	56,0	53,5	56,0	52,0	50,0	53,05	2,23	566
Viga 4	Av, 3 de Nov	Horizontal	47,5	46,5	48,5	45,0	49,0	48,30	1,70	480
Columna 24	Av, 3 de Nov	Horizontal	49,0	47,5	48,5	50,0	46,5	47,30	1,89	470

Tabla 43 Resultados ensayo de Esclerometría, puente sobre el Río Tomebamba.

Carbonatación

En la Tabla 44, se ilustran los datos obtenidos con el ensayo de Carbonatación. (Plantilla ESD01 (Ortega M. y Vanegas J., 2021), Anexo 17).

En los elementos con varillas expuestas el recubrimiento se midió directamente. Se debe indicar que estos recubrimientos son mínimos e incluso en el arco 5 se observó una varilla colocada a menos de 2 cm de la superficie.

Elemento	Ubicación	Profundidad (mm)		Recubrimiento (mm)	Observaciones
		máx.	mín.		
Viga 2	Parte interna inicial	18	10	50	Carbonatación alcanza el 36 %
Viga 2	Parte interna inicial	25	14	50	Carbonatación alcanza el 50%
Viga 1	Parte interna inicial	17	9	50	Carbonatación alcanza el 34%
Viga 1	Parte interna inicial	15	10	50	Carbonatación alcanza el 30%
Viga 4	Parte interna final	25	25	50	Carbonatación alcanza el 50%
Columna 1	Av. 12 de Abril	18	11	50	Carbonatación alcanza el 36%
Columna 2	Av. 3 de Nov	50	50	50	Carbonatación alcanza el 100%
Arco 1	Externo	22	9	50	Carbonatación alcanza el 44%
Arco 2	Interno	21	9	50	Carbonatación alcanza el 42%

Tabla 44 Resultados ensayo de Carbonatación, puente sobre el Río Tomebamba.

Levantamiento de fisuras

Se realizó el levantamiento de fisuras, para conocer su ubicación, dimensiones, y definir las medidas de rehabilitación necesarias (Tabla 45), evitando que se conviertan en un problema mayor a futuro. Se aplicó el ensayo de Ultrasonido en las fisuras más relevantes para definir su profundidad.

Elemento	Ubicación	Longitud (cm)	Ancho izquierdo (mm)	Ancho medio (mm)	Ancho derecho (mm)	Ancho promedio (mm)
Columna 2	Aguas abajo	20	2	2	1	1,67
Columna 1	Aguas abajo	35	10	3	2	5,00
Viga Longitudinal 1	Aguas abajo	25	0,05	1	0,5	0,52
Viga 1	Entre arco 1 y 2	35	0,05	3	1	1,35
Columna 6	Aguas abajo	20	1	1	0,5	0,83
Columna 5	Aguas abajo	10	1	0,5	0,5	0,67
Viga 2	Entre arco 2 y 3	16	0,1	0,5	0,2	0,27
Arco 4	Aguas abajo	48	0,2	0,5	0,2	0,30
Viga 2	Entre arco 3 y 4	28	0,2	0,5	0,2	0,30
Viga 1	Entre arco 3 y 4	25	0,1	0,5	0,2	0,27
Viga 2	Entre arco 3 y 4	25	0,1	0,5	0,1	0,23
Viga 2	Entre arco 4 y 5	13	0,25	0,55	0,2	0,33
Viga 2	Entre arco 4 y 5	16	0,24	0,5	0,2	0,31
Viga 2	Entre arco 5 y 6	17	0,2	1	0,1	0,43
Viga 2	Entre arco 5 y 6	95	0,7	1	0,5	0,73
Viga 2	Entre arco 5 y 6	60	0,5	1	0,7	0,73
Viga 2	Entre arco 5 y 6	20	0,1	0,5	0,5	0,37
Columna 24	Aguas abajo	15	0,2	0,6	0,3	0,37
Columna 23	Aguas arriba	13	0,5	0,6	0,3	0,47
Tablero	Aguas abajo	20	0,2	0,8	0,1	0,37
Columna 17	Aguas arriba	10	0,2	0,5	0,1	0,27

Tabla 45 Resultado Levantamiento de fisuras y grietas, puente sobre el Río Tomebamba.

Ensayo de Ultrasonido

En la Tabla 46, se indican los valores obtenidos del ensayo de Ultrasonido por Transmisión Indirecta. (Plantilla END06 (Ortega M. y Vanegas J., 2021), Anexo 18)

El ensayo se aplicó en los elementos que se consideraron más relevantes, según el levantamiento geométrico de fisuras. No se ocupó en micro fisuras debido a sus profundidades extremadamente pequeñas y en grietas que se extienden en toda la sección, como en la grieta por cortante de la Columna 1, debido a que en estos casos el ensayo resulta innecesario e inaplicable.

Por último, en cada ensayo se probaron distintas distancias del transductor a la fisura, buscando que los transductores se encontraran totalmente sobre el elemento.

N°	Elemento	Ubicación	Ancho (mm)	Longitud (cm)	Tiempo t_l (μs)	Distancia (cm)	Tiempo t_c (μs)	Profundidad (cm)
1	Viga 1, entre Arcos 1 y 2.	Cara superior. A 50 cm del Arco 1.	1,35	35	105,4	5	147,6	7,3
2	Viga 2, entre Arcos 5 y 6.	Cara Av. 12 de Abril. A 7,5 cm de la cara superior.	0,73	95	47,6	2,5	88,9	1,1
3	Viga longitudinal 1.	Cara aguas abajo. A la izquierda de la unión con la Columna 2.	0,52	25	102,3	5	141,6	7,5
4	Columna 2.	Cara aguas abajo. Se extiende desde la mitad del elemento.	1,67	20	139,4	5	233	4,1

Tabla 46 Resultados ensayo de Ultrasonido, puente sobre el Río Tomebamba.

Ensayo de Potencial de Corrosión

La probabilidad de corrosión y la condición del acero se correlacionan de acuerdo a los valores de las Tabla 47 y Tabla 48, respectivamente.

Ecor (V) vs ESC	Probabilidad de corrosión
> -0,2	10% que se presente
-0,2 a -0,35	Zona incierta
< -0,35	90% que se presente

Tabla 47 Criterio de probabilidad de corrosión según ASTM, ensayo de potencial de media celda. Fuente: (Norma ASTM C876, 2015)

Ecor (mV) vs ESC	Condición
< -270	Activa
> -220	Pasiva
- 220 a -270	Activa o Pasiva

Tabla 48 Potenciales de corrosión como criterio de la condición de la varilla, ensayo de potencial de media celda. Fuente: (A. A. Torres et al., 2006, como se citó en Ortega M. y Vanegas J., 2021)

Donde:

Ecor: Medición de potencial de media celda.

ESC: Electrodo Saturado de Cobre.

En la Tabla 49 se indican los valores obtenidos al realizar el ensayo de Potencial de Corrosión. (Plantilla END05 (Ortega M. y Vanegas J., 2021), Anexo 19).

Elemento	N° Ensayo	Ubicación	Lectura (V)	Probabilidad corrosión	Condición
Tablero, cara superior. Esquina ubicada en la Av.	1	1	-0,079	10%	Pasiva
	2	2	-0,048	10%	Pasiva
	3	3	-0,047	10%	Pasiva
	4	4	-0,054	10%	Pasiva
	5	5	-0,062	10%	Pasiva
	6	6	-0,01	10%	Pasiva

12 de Abril, aguas abajo.	7	7	-0,022	10%	Pasiva
	8	8	-0,03	10%	Pasiva
	9	9	-0,034	10%	Pasiva
	10	10	-0,041	10%	Pasiva
	11	11	-0,041	10%	Pasiva
	12	12	-0,017	10%	Pasiva
Viga 4, entre Arcos 5 y 6. Cara superior.	13	1	-0,079	10%	Pasiva
	14	2	-0,033	10%	Pasiva
	15	3	-0,118	10%	Pasiva
	16	4	-0,152	10%	Pasiva
	17	5	-0,139	10%	Pasiva
	18	6	-0,052	10%	Pasiva
	19	7	-0,056	10%	Pasiva
	20	8	-0,115	10%	Pasiva
	21	9	-0,168	10%	Pasiva
	22	10	-0,122	10%	Pasiva

Tabla 49 Resultados de Ensayo de Potencial de Corrosión, puente sobre el Río Tomebamba.

Los resultados también se muestran en los Gráficos Gráfico 69 y Gráfico 70.

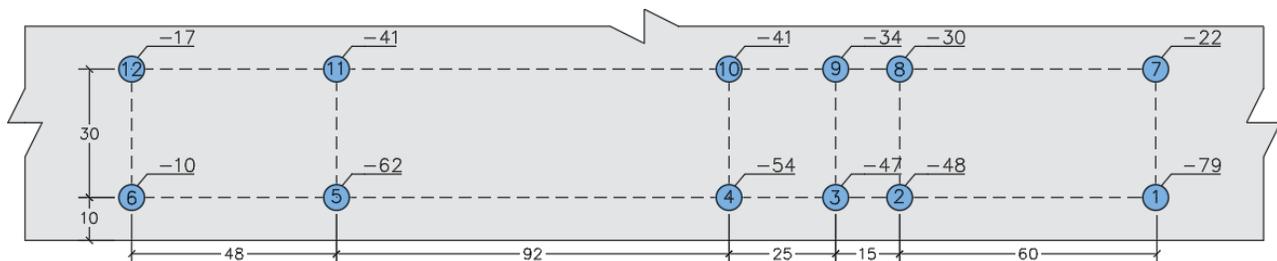


Gráfico 69 Resultados ensayo de Potencial de Corrosión realizado en el tablero (distancias en cm y potenciales eléctricos en mV).

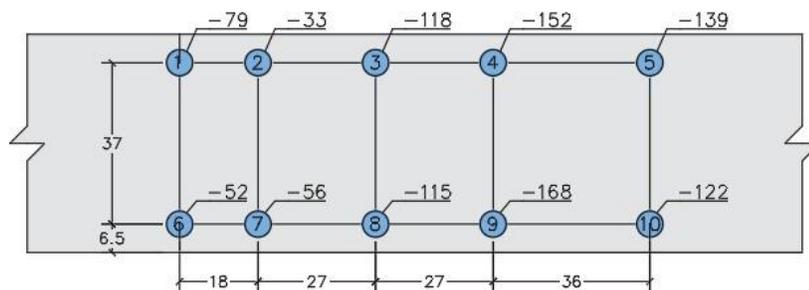


Gráfico 70 Resultados ensayo de Potencial de Corrosión realizado en la viga 4 (distancias en cm y potenciales eléctricos en mV).



Análisis de resultados

Ensayo de detección de armaduras

El equipo de detección de armaduras permitió ubicar de manera aproximada la posición de los aceros en cada uno de los elementos para aplicar los demás ensayos de manera apropiada. Sin embargo, en algunas ocasiones las lecturas fueron inconsistentes con lo que se esperaba, porque se detectó la presencia de varillas en zonas donde no correspondía, también pudo haber interferencia de otros metales en diferentes partes de los elementos. Considerando esto, se optó por no aplicar algunos de los ensayos en estos puntos para evitar que los resultados se vieran afectados.

Ensayo de Esclerometría

Teniendo en cuenta la Tabla 43 se puede observar a modo general que la resistencia de los elementos estructurales se encuentra en un rango correcto de resistencia alta, la misma que es mayor o igual a 300kg/cm^2 (NEC-SE-HM). La resistencia más baja que se obtuvo es de la Viga 2, sin embargo, dicha resistencia sigue siendo mayor al valor indicado, por lo que no se tiene un riesgo de colapso estructural.

Es importante recalcar que al tener resistencias altas bajo el ensayo de Esclerometría, no fue necesario aplicar el ensayo complementario de núcleos perforados, puesto que, en caso de que la resistencia fuese menor a las obtenidas, no podrá variar en un valor que ponga en riesgo a la estructura ni a su resistencia.

Ensayo de Carbonatación

Los resultados obtenidos en la Tabla 44 indican que la carbonatación alcanza valores muy bajos, incluso menores al 50%. Sin embargo, no se debe descartar la corrosión debido a que, por su medio, la presencia de humedad es significativa en la estructura.

Se puede estimar la vida útil de los elementos estructurales en estudio para el ensayo de carbonatación, considerando el tiempo en que la carbonatación alcanzará el acero de refuerzo. El recubrimiento de los elementos estructurales analizados es de 50 mm, y el tiempo actual de vida de la estructura no se dispone un dato fidedigno, pero se tiene una aproximación de 50 años.

Se realizó el análisis de la vida útil, para los elementos estructurales que se muestran en la Tabla 50.

t (años)	50				
Elemento	Carbonatación (mm)	Recubrimiento (mm)	KCO2 (mm/año 0,5)	t (años)	Vida remanente (años)
Viga 2	18	50	2,55	385,80	335,80
Viga 2	25	50	3,54	200,00	150,00
Viga 1	17	50	2,40	432,53	382,53
Viga 1	15	50	2,12	555,56	505,56
Viga 4	25	50	3,54	200,00	150,00
Columna 1	18	50	2,55	385,80	335,80
Columna 2	22	50	7,07	258,26	258,26
Arco 1	22	50	3,11	258,26	208,26
Arco 2	21	50	2,97	283,45	233,45

Tabla 50 Análisis de la vida remanente por Carbonatación, puente sobre el Río Tomebamba.

El Gráfico 71 muestra la profundidad de carbonatación a lo largo de los años en cada elemento estructural. La línea roja indica el límite de la vida útil, debido a que la carbonatación alcanzaría el acero de refuerzo.

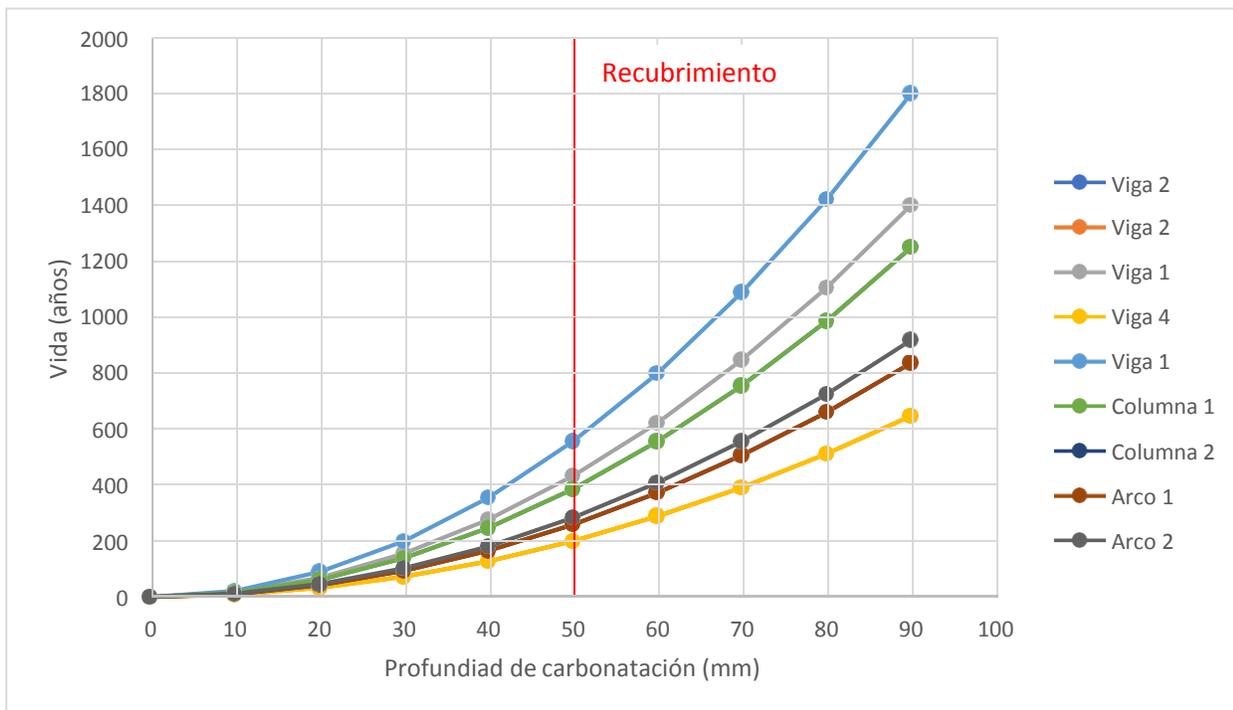


Gráfico 71 Análisis de la vida remanente por Carbonatación, puente sobre el Río Tomebamba.

Con el Gráfico 71 y la Tabla 50, se puede observar que la vida remanente de los elementos estructurales analizados es muy alta, y ya que la vida útil de un puente de longitud mayor a 10 metros es de 100 años, los datos medidos nos indican que en general el puente se encuentra en buen estado y llegará a su período de diseño.

Levantamiento de fisuras y grietas

Se observa que los datos levantados corresponden principalmente a fisuras que no se extienden por completo a lo largo o ancho de los elementos, y pocos elementos han sufrido un daño mayor. Es importante conocer las dimensiones de las fisuras y grietas presentes en los diferentes elementos estructurales donde se puede acceder tomando en cuenta que, a pesar de que no representan un riesgo de colapso estructural inminente, es necesario que sean tratadas a tiempo para evitar inconvenientes a largo plazo. Además, se debe considerar los anchos de las fisuras, ya que el sistema de inyección depende de si las fisuras tienen un ancho mayor o menor a 2 mm.

Ensayo de Ultrasonido

Las profundidades de las grietas evaluadas no pasan de los pocos centímetros, comparado con las dimensiones de los elementos, por lo que en la mayoría de casos este tipo de daño no ha llegado a una etapa crítica y las medidas de rehabilitación serán acordes a esto. No obstante, se debe notar que en la Columna 1, donde no se pudo realizar el ensayo, se requieren medidas más específicas.

Ensayo de Potencial de corrosión

El proceso de corrosión tiene una probabilidad del 10 % y corresponde a un caso pasivo. Sin embargo, por la presencia de varillas expuestas a los alrededores, el avance de la carbonatación y la presencia de fisuras, se recomendarán medidas que eviten el desarrollo de corrosión en las zonas sanas.

Respecto a las varillas expuestas, estas se encuentran en zonas puntuales como los costados del tablero y la viga 4, es decir, no son un problema que engloba todos los elementos del puente. Para estos casos se requerirán medidas extras para eliminar la corrosión y recuperar el recubrimiento de hormigón.

Recomendaciones de rehabilitación

Las medidas de rehabilitación necesitan que la persona encargada de suministrar los materiales proporcione información técnica sobre los mismos, considerando los requerimientos de las patologías existentes. Y las medidas de reforzamiento se deben complementar con el criterio de un ingeniero estructural que tenga experticia en el tema y conozca los materiales recomendados.

Se debe indicar que los productos y procedimientos de aplicación deben cumplir las normas citadas o, de ser necesario, otras análogas que sean reconocidas.

Limpieza y rehabilitación del sustrato:

Se debe preparar el sustrato previo a la limpieza de la superficie y a la colocación de materiales. En este caso se requiere:

- Escarificación manual en zonas puntuales
- Remoción de recubrimientos y contaminantes superficiales
- Lijado manual del acero y el hormigón en zonas poco accesibles
- Lijado del hormigón con equipo eléctrico
- Cepillado
- De ser posible, preparación de la superficie mediante chorro de arena proyectada
- Corte del hormigón.

La limpieza del sustrato tiene por objetivo remover la suciedad, recubrimientos, material suelto o adherido, polvo, etc. Se recomienda el uso de agua a presión y aire comprimido.

Fisuras y grietas:

Se recomienda inyectar las fisuras y grietas con resinas epóxicas. En este caso, para anchos de fisuras < 2 mm, se requiere inyecciones de reparación a presión, y para anchos de fisuras > 2 mm, inyecciones por gravedad. Cabe recalcar que si la inyección se va a aplicar en pared o sobre cabeza la misma sería a presión sin importar su ancho. Para completar la intervención, se recomienda realizar trabajos de reparación, relleno y afinado de la superficie.

Para las recomendaciones indicadas se podría usar:

- Para la inyección, un sistema de dos componentes con base de resina epóxica, de baja viscosidad, que sea insensible a la humedad y tenga alta resistencia. Debe cumplir las especificaciones de la norma ASTM C-881 y AASHTO-235, Tipo 1, Grado 1, Clase B y C.
- Mortero de reparación y relleno estructural que cumpla con los requerimientos de la clase R4 de la UNE-EN 1504-3.
- Adhesivo epóxico para pega de elementos estructurales que cumpla la Norma ASTM C 881. Tipo 1, GRADO 3, CLASE B y C.
- Mortero epoxi-cemento de afinado que cumpla con UNE-EN 1504-2 2004 y EN 1504-3 2005.

Con esto se obtendrá como resultado:

- Reparar y tapar las fisuras y grietas estructurales.

- Cerrar las vías de acceso del agua.
- Restaurar la capacidad portante de los elementos.

Carbonatación:

Se recomienda una reparación con inhibidores de corrosión a base de aminas orgánicas e inorgánicas y no agresivas para el ambiente.

A continuación, aplicar un recubrimiento de protección con base en resinas acrílicas que capaz de puentear fisuras pasivas.

Para las recomendaciones indicadas se sugiere utilizar:

- Inhibidor de corrosión tipo impregnación para hormigones endurecidos y de impregnación directa. El Inhibidor debe ser eficaz tanto en laboratorio (ASTM G109) como en campo, y adecuado para el método 11.3 (aplicar inhibidor al hormigón) definido por UNE-EN 1504-9 para el Principio 11 (control anódico).
- Base en resinas acrílicas que cumpla con la norma UNE-EN 1504-2 [14].

Con esto se logrará:

- Evitar que los agentes corrosivos como el CO₂ ingresen en la armadura, tanto para el acero que ha quedado visible, como para el que aún tiene recubrimiento.
- Proteger el concreto de agentes agresivos que generan fenómenos como la carbonatación.
- Cubrir y proteger las microfisuras.

Corrosión:

Para asegurar que este problema no avance, se requiere curar las fisuras, inhibir la corrosión, recuperar el material perdido e impermeabilizar el hormigón. En las zonas donde ya se observa la pérdida de recubrimiento y varillas con corrosión es necesario, además, limpiar el hormigón y el óxido, y colocar un recubrimiento anticorrosivo al acero.

Para las recomendaciones indicadas se podría usar:

- Hidro-lavado para limpiar el hormigón.
- Chorro de arena, grata metálica o lija, para limpiar el acero.
- Inhibidores de corrosión a base de aminas orgánicas e inorgánicas y no agresivas para el ambiente. Para ello, se podría utilizar un inhibidor de corrosión tipo impregnación para hormigones endurecidos y de impregnación directa. El Inhibidor debe ser eficaz tanto en laboratorio (ASTM G109) como en campo, y

- adecuado para el método 11.3 (aplicar inhibidor al hormigón) definido por EN 1504-9 para el Principio 11 (control anódico).
- Recubrimiento anticorrosivo que proteja el acero de refuerzo y garantice la adherencia con el hormigón nuevo. Puede ser:
 - A base de polímeros modificados e inhibidores de corrosión.
 - A base de cemento modificado con resina epóxica e inhibidores de corrosión. Que cumpla con los requerimientos de la norma UNE-EN 1504-7.
 - Adhesivo de hormigón fresco a endurecido. Puede ser:
 - Adhesivo epóxico imprimante de alta resistencia. Que cumpla con la norma ASTM C-881 Tipo II, grado 2, clase B y C y la especificación AASTHO M-235.
 - Mortero para reparación y relleno estructural. Que cumpla con los requerimientos de la clase R4 de la UNE-EN 1504-3.
 - Impermeabilizante que sirva como recubrimiento de protección. Si es a base de resinas acrílicas debe cumplir con la norma UNE-EN 1504-2 [14] y ser capaz de puentear fisuras pasivas.

Con esto se llegará a tener como resultado:

- Proteger el acero de refuerzo e impermeabilizar el recubrimiento.
- Evitar el ingreso de agentes corrosivos como el CO₂ en la armadura, tanto para el acero que ha quedado visible, como para el que aún tiene recubrimiento.
- Garantizar una vida útil adecuada si la corrosión permanece en estado pasivo.

Segregación y hormigueros:

Este problema es visible en todo el puente por lo que se requiere una intervención completa. Para esto se empieza con la limpieza y el saneado del hormigón, luego se coloca un adhesivo de hormigón fresco a hormigón endurecido y finalmente se rellena con mortero.

Para las recomendaciones indicadas se sugiere:

- Adhesivo de hormigón fresco a endurecido. Puede ser:
 - Adhesivo epóxico imprimante de alta resistencia. Que cumpla con la norma ASTM C-881 Tipo II, grado 2, clase B y C y la especificación AASTHI M-235.
- Mortero para reparación y relleno estructural. Que cumpla con los requerimientos de la clase R4 de la UNE-EN 1504-3.

Con esto se tendrá de resultado:

- Garantizar el sellado del hormigón.

Humedad:

La humedad presente en los estribos y la parte inferior del tablero es principalmente causada por la filtración de agua a través de las juntas y la masa de material, por lo tanto, se recomienda:

- Eliminar el origen de estos problemas con acciones como el sellado de las juntas de dilatación, la limpieza del drenaje existente y la implementación de un nuevo drenaje donde sea necesario.
- Impermeabilizar los elementos afectados con un recubrimiento a base de resinas acrílicas.
- Rellenar o sellar las fisuras de la capa de pavimento asfáltico como una opción para disminuir el deterioro del hormigón inferior.

Se sugiere utilizar:

- Juntas de dilatación de caucho comprimido, betún modificado o elastómero armado.
- Base de resinas acrílicas que deben cumplir con la norma UNE-EN 1504-2 [14].
- Relleno de fisuras del pavimento con cemento asfáltico, asfalto líquido, asfalto cortado o emulsión asfáltica que se pueda mezclar con arena; o sellado con materiales especializados, como selladores elastoméricos de poliuretano y productos a base de asfalto aplicado en caliente.

Con esto se podrá tener como resultado:

- La disminución de las filtraciones, principalmente en los estribos y en la parte inferior del tablero.
- Reducir la presencia de moho y de afecciones por la presencia del agua.

Eflorescencias:

La eflorescencia es un indicador de que existe un movimiento de sales hacia el exterior del hormigón causado principalmente por la presencia de agua infiltrada. Para combatir este problema se debe eliminar las causas de la infiltración y posteriormente se procede a remover las eflorescencias existentes, de manera que la superficie esté lista para la aplicación de un recubrimiento impermeabilizante. La remoción puede ser con la ayuda de agua a presión y un cepillo, o con una lija que uniformice la superficie.



Juntas frías:

Las juntas frías se extienden a lo largo de las vigas y los arcos, formando discontinuidades en la parte superior de estos elementos. Además, tienen espesores menores a 1 mm. Por lo tanto, se recomienda aplicar el mismo tratamiento propuesto para las fisuras.

Cortante en columna:

Previo al reforzamiento de la columna el ingeniero estructural debe evaluar la resistencia residual del elemento y realizar los cálculos correspondientes de acuerdo al tipo de intervención y las condiciones de la estructura. De ser oportuno el reforzamiento, se procede a sellar las fisuras y grietas siguiendo el mismo procedimiento mencionado anteriormente. Los métodos disponibles para el reforzamiento se basan en materiales como morteros de diferentes bases, hormigón armado, láminas metálicas adheridas con epoxi y Polímeros Reforzados con Fibra (sistemas FRP).

En este caso, se recomienda el uso de encamisados cobertores que pueden ser de:

- Láminas metálicas.
- Materiales CFRP (Polímero Reforzado con Fibra de Carbono) que cumplan con la norma UNE-EN 1504.

Ambos materiales requieren un tratamiento previo de limpieza y preparación de la superficie, seguido de la aplicación de un adhesivo apropiado:

- Para las láminas se puede utilizar un adhesivo a base de resinas epoxi.
- Para los materiales CFRP se puede utilizar una resina epóxica de impregnación que tenga resistencia y módulo altos. Debe cumplir la norma ASTM C 881 y estar aprobado por ICBO/ICC ER 5558.

Como resultado se tendrá:

- Restauración de la capacidad de carga
- Asegurar las solicitaciones de diseño de los elementos restantes

Medidas de mantenimiento:

Dentro de las medidas de mantenimiento, se puede tener medidas rutinarias, preventiva y de emergencia; dependiendo del grado de afección: bajo, medio y alto, respectivamente.

Para esto se propone:



- Realizar una limpieza general del puente (con énfasis en el sistema de drenaje) que incluya la remoción de materiales extraños y vegetación. Se puede realizar antes de cada periodo de lluvia o con mayor frecuencia, si se observa un rápido deterioro.
- El recubrimiento impermeabilizante se debe renovar de acuerdo al tiempo de duración del producto. Específicamente, las resinas acrílicas tienen duraciones que van de 3 a 10 años, dependiendo del producto.
- Lo óptimo es que la frecuencia de mantenimiento de la capa asfáltica disminuya la formación de baches, zonas blandas e irregularidades; que impliquen una intervención mayor. En este sentido, las intervenciones menores se pueden realizar de acuerdo al tiempo de duración del producto utilizado en las grietas, que es mayor en el caso de los selladores especializados. Lo preferible es realizar las intervenciones en épocas cálidas y evitar que el daño se agrave hasta provocar empozamiento y dificultades en el tráfico.
- Se recomienda realizar inspecciones técnicas por lo menos una vez al año, siendo recomendable que se realicen después de la época de lluvia para aprovechar la disminución del nivel del agua.
- Por último, las inspecciones especiales se deben realizar cuando ocurran casos extraordinarios.



CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones generales

- El trabajo de titulación constituyó un buen ejercicio práctico de la Ingeniería Forense, ya que se revisó normativas de esta rama, y especialmente el “MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI- DESTRUCTIVOS”; se adaptó evaluaciones patológicas realizadas en diferentes obras del Ecuador y se ejecutó la evaluación patológica en una estructura civil de la ciudad de Cuenca.
- Se logró plantear soluciones adecuadas para el mejoramiento, rehabilitación o restauración, según sea el caso, del estado estructural de obras civiles en el Ecuador. Reconociendo que cada patología se puede tratar con diferentes técnicas y/o productos, de acuerdo al criterio técnico de cada profesional.
- Se reforzó de forma práctica y didáctica la teoría disponible en manuales de Ingeniería Forense, haciendo énfasis en el “MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI- DESTRUCTIVOS”

4.2. Conclusiones de las adaptaciones de evaluaciones patológicas en el Ecuador

- Para comprender la estructura y contenido de los documentos originales de las evaluaciones patológicas, estos se analizaron en conjunto con el “MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI- DESTRUCTIVOS”. De esta manera, se relacionaron los procedimientos propuestos en el Manual con los procedimientos que habitualmente aplican profesionales experimentados en la evaluación de estructuras de hormigón.
- Se revisó las normas citadas para verificar que sean apropiadas y analizar su uso en otras evaluaciones patológicas.



- Se logró la adaptación de las evaluaciones patológicas al formato del Manual, siguiendo los lineamientos requeridos que ejemplifiquen de mejor forma, en las diferentes obras civiles.
- En los tres ejemplos se constató que la mayoría de patologías identificadas en las estructuras corresponden a casos típicos que ya se han estudiado y recopilado. Sin embargo, cada estructura también tiene problemas específicos que se deberán analizar de acuerdo al criterio y la experiencia del profesional encargado.

4.3. Conclusiones de la aplicación práctica

- Se revisó de manera exhaustiva el “MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI- DESTRUCTIVOS” a fin de conocer los lineamientos y pasos a seguir para la evaluación patológica de una obra civil.
- Se cumplió el objetivo del desarrollo práctico y didáctico mediante la evaluación patológica para el puente sobre el Río Tomebamba, ubicado en la calle Simón Bolívar, entre Av. 12 de abril y Av. 3 de noviembre, como sigue:
 - En la inspección visual, se identificó patologías; en base a los conocimientos adquiridos durante la formación académica y de la revisión del Manual.
 - Se analizó los árboles de soluciones más adecuados para dichas patologías, teniendo de esta forma, lo ensayos a realizarse en el puente.
 - Se realizó los ensayos no destructivos, semi-destructivos e in situ, correspondientes para las patologías identificadas. Los mismos que son: Esclerometría, Ultrasonido, Potencial de corrosión, Carbonatación, Detector de armaduras y a su vez, se complementó con levantamiento geométrico de fisuras.
 - Se procesó y estudió los resultados obtenidos mediante los ensayos realizados. Del ensayo de Esclerometría se obtiene resistencias mayores a 390 kg/cm^2 , la misma que indica buenas condiciones de resistencia del hormigón. El ensayo de Carbonatación refleja que la carbonatación alcanza porcentajes menores al 50% y

con ello la vida útil remanente se encuentra dentro de lo esperado para la obra civil. Con el levantamiento de fisuras, se ve que no existe gravedad en las mismas, sin embargo, se debe considerar para evitar inconvenientes a posteriori. El ensayo de Ultrasonido reveló que las fisuras y grietas encontradas tienen poca profundidad, siendo la mayor de 7,5 cm en la viga longitudinal 1, y únicamente la columna 1 tiene una grieta pasante. Finalmente, el ensayo de Potencial de corrosión muestra que la corrosión se encuentra en estado pasivo (probabilidad menor al 10%) y no se ha desarrollado en los alrededores de las zonas donde se ha perdido el recubrimiento.

- Se propuso medidas de rehabilitación y mantenimiento correspondientes al estado de la estructura y con el respectivo análisis realizado anteriormente.
- Se redactó un informe preliminar y un informe técnico en donde se encuentra a detalle y de forma ordenada toda la evaluación patológica realizada en la estructura de estudio.

En cada actividad, donde fue necesario, se llenó las plantillas correspondientes

4.4. Recomendaciones

- Realizar una lectura detallada del “MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI- DESTRUCTIVOS” para familiarizarse con los lineamientos y pasos que sugiere para una adecuada evaluación patológica de una estructura civil.
- Se recomienda capacitarse previamente a cerca de las patologías que se pueden presentar en obras civiles, para reconocerlas en el momento de la inspección visual; sin embargo, si es que no se tiene dicho conocimiento o experiencia, la recomendación anterior facilitará la correcta evaluación patológica en el momento de la práctica.
- Se recomienda fomentar la aplicación práctica del Manual, ya que de esta manera se pasaría de tener resultados cualitativos (basados meramente en la experiencia) a resultados



cuantitativos (basados en fundamentos técnicos y estandarizados) permitiendo así dar soluciones a tiempo y adecuadas.

- Se recomienda hacer un estudio previo de las normativas actuales para realizar la evaluación patológica de la forma más adecuada.
- Una vez que se tenga la lista de ensayos que se requiere realizar de acuerdo a los árboles de soluciones, se debe analizar cuáles son aplicables al caso de estudio, y cuáles probablemente no sean realizados, por diversos motivos que se consideren. Y de esta forma, crear una nueva lista de ensayos que se van a realizar.
- Una vez que se tiene los ensayos que se van a realizar dependiendo de las patologías encontradas en la inspección visual, se debería leer detenidamente cada ensayo y sus respectivas especificaciones ya sean de materiales necesarios en el momento de proceder a la aplicación del ensayo, uso correcto del equipo a ocupar, cuidados que se deben tener con el equipo, etc.
- Al momento de obtener los resultados, constatar que los mismos sean congruentes. Caso contrario, realizar nuevamente el ensayo o investigar la causa del error para posteriormente argumentarla.
- Se recomienda realizar ensayos complementarios si existe la necesidad, o si es que la envergadura de la obra lo exige. A fin de complementar y cumplir con requisitos mínimos de la evaluación.
- Mantenerse en constante innovación a cerca de productos que salen en el mercado para mantenimiento, rehabilitación o reforzamiento de obras civiles, para que de esta forma se cuente con tecnologías nuevas y mejoras continuas.
- Mantenerse en constante innovación a cerca de equipos de evaluación patológica que faciliten su proceso y proporcionen resultados más precisos y confiables.
- Se recomienda hacer uso de la evaluación sísmica en casos como: un mal diseño conceptual a nivel tipológico, el incumplimiento de códigos de sismo resistencia actualizados, aumento del nivel de amenaza sísmica, entre otros. Su importancia es mayor en zonas con alto peligro sísmico, como lo es la ciudad de Cuenca.



Bibliografía

- AASTHO M-235. (2013). *Especificación estándar para adhesivos de resinas epóxicas*.
- ACI 224. 1R. (1993). *Causas, Evaluación y Reparación de Fisuras en Estructuras de Hormigón*.
- ACI 224R. (2001). *Control de la Fisuración en Estructuras de Hormigón*.
- ACI 318S. (2014). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural*.
- ACI 440 2R. (2017). *Guía para el diseño y construcción de sistemas de FRP con adherencia externa para el refuerzo de estructuras de hormigón*.
- ASTM G109. (2021). *Métodos de prueba estándar para determinar los efectos de las mezclas químicas sobre la corrosión del acero de refuerzo empotrado en concreto expuesto a ambientes de cloruro*.
- Buñay, C., y Pacheco, F. (2014). *Estudio hidráulico de las obras anexas del proyecto hidroeléctrico Minas San Francisco mediante un modelo matemático de flujo de tres dimensiones*. [Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Civil]. Universidad de Cuenca. Recuperado de: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/20902/1/tesis.pdf>
- Castillo, L. (2016). En Cuenca se detectaron fallas en las construcciones. El Comercio. Recuperado de: <https://www.elcomercio.com/actualidad/cuenca-estudio-fallasconstrucciones-sismos.html>
- CELEC EP. (2018). *Central hidroeléctrica Minas-San Francisco*. Recuperado de: <https://www.celec.gob.ec/celecsur/index.php/generacion/minas-san-francisco>
- CRAFCO INC. (2021). *Sellado de la grieta del pavimento*. Recuperado de: <https://es.crafco.com/pavement-preservation/cracks-joints/pavement-crack-sealing/>
- ElecAustro. (2010). *Proyecto hidroeléctrico Ocaña. (Boletín informativo N°2010-01)*. Recuperado de: <https://www.elecaustro.gob.ec/jdownloads/Boletines%20Proyecto%20Ocaa/boloca13.pdf>
- ElecAustro. (2019). *Central Hidroeléctrica Ocaña*. Recuperado de: <https://www.elecaustro.gob.ec/centrales-y-represas/central-hidroelectrica-ocana-1/>
- García G. (2014). *Diagnosis de las patologías puente sobre Río Yanuncay*.
- García G. y Íñiguez A. (2020). *Estudio de fisuras en los vertederos central y lateral izquierdo de la presa del proyecto hidroeléctrico Minas-San Francisco*.
- Gómez, G., y Méndez, G. (2011). *Propuesta para la gestión de mantenimiento de la Central Hidroeléctrica Ocaña*. Universidad Politécnica Salesiana. Recuperado de: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1099>



- Helene, P., y Pereira, F. (2007). *Rehabilitación y Mantenimiento de Estructuras de Concreto*.
- ICBO/ICC ER-5558. (2004). *Fortalecimiento de concreto y mampostería utilizando el sistema compuesto estructural HEX-3R*.
- ICRI 310-2R. (2013). *Selección y especificación de la preparación de superficies de concreto para selladores, revestimientos, revestimientos poliméricos y reparación de concreto*.
- ICRI. (2013). *Selección y Especificación de la preparación de superficies de concreto para selladores, revestimientos, Revestimientos Poliméricos*. Guía N° 310.2R-2013.
- Íñiguez A. (2018). *Diagnóstico de las patologías Azud Ocaña*.
- Ministerio de Energía y Recursos No Renovables. (2021). Central Hidroeléctrica “Minas San Francisco”. Recuperado de: <https://www.recursosyenergia.gob.ec/proyectohidro-electrico-minas-san-francisco/>
- MTC República del Perú. (2006). *Guía para inspección de puentes*. Recuperado de: https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/otras/GUIA%20PARA%20INSPECCION%20DE%20PUENTES.pdf
- NEC-SE-DS (2014). *Peligro Sísmico, diseño sismo resistente parte 1*. Recuperado de: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-DS-Peligro-S%C3%ADsmico-parte-1.pdf>
- Norma ASTM C 881. (2015). *Especificación estándar de sistemas adhesivos para concreto a base de resinas epóxicas*.
- Norma ASTM C876. (2015). *Método de prueba estándar para potenciales de corrosión de acero de refuerzo sin recubrimiento en concreto*.
- Ortega, M., y Vanegas, J. (2021). *Manual práctico de evaluación patológica y control de la condición en estructuras de hormigón mediante ensayos no destructivos y semi-destructivos* [Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Civil]. Universidad de Cuenca. Recuperado de: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/35958>
- UNE-EN 1504-2. (2005). *Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón, parte 2: Sistemas de protección superficial para el hormigón*.
- UNE-EN 1504-3. (2005). *Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón, parte 3: Reparación estructural y no estructural*.
- UNE-EN 1504-7. (2007). *Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón, parte 7: Protección contra la corrosión de armaduras*.
- UNE-EN 1504-9. (2011). *Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón, parte 9: Principios generales para el uso de productos y sistemas*.

Anexos

Anexos “Diagnosis de las patologías: proyecto azud Ocaña”

Anexo 1: Fotografías

Ensayo de Esclerometría:



Ensayo de Núcleos perforados:



Ensayo de Adherencia:



Varillas expuestas:



Anexo 2: Plantilla Ensayo de Carbonatación:

 UNIVERSIDAD DE CUENCA Facultad de Ingeniería		MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI-DESTRUCTIVOS			CÓDIGO ESD01	
INSTITUCIÓN		Universidad de Cuenca			HORA	FECHA
PROYECTO		Azud Ocaña, Ecuador			-	jun-18
UBICACIÓN		Río Cañar, sector Ocaña				
ENSAYO DE CARBONATACIÓN						
N° Ensayo	Elemento	Ubicación (m)	Profundidad de carbonatación (mm)	Recubrimiento actual (mm)	Recubrimiento de diseño (mm)	Observaciones
1	Azud	X 19,77 Y 9,03	0,0	65	70	Carbonatación alcanza el 0,00 % del recubrimiento de diseño
2	Azud	X 18,85 Y 16	3,0	0	70	Carbonatación alcanza el 4,28% del recubrimiento de diseño
3	Azud	X 7,92 Y 11,8	2,0	0	70	Carbonatación alcanza el 2,86% del recubrimiento de diseño
4	Muro lateral	X 33 Y 5	8,4	70	70	Carbonatación alcanza el 12,00 % del recubrimiento de diseño



Anexo 3: Plantilla Ensayo de Núcleos perforados:

		MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI- DESTRUCTIVOS										CÓDIGO					
												ESD03					
INSTITUCIÓN		Universidad de Cuenca										FECHA	HORA				
PROYECTO		Azud Ocaña, Ecuador										jun-18	-				
UBICACIÓN		Río Cañar, sector Ocaña															
ENSAYO DE NÚCLEOS PERFORADOS - ENSAYO DE COMPRESIÓN																	
Elemento	N° Ensayo	Ubicación (m)	Altura		Diámetro		L/D	Área		Carga rotura		Resistencia		F.C. ASTM C42 2004	Resistencia corregida		Observaciones
			u	cm	u	cm		u	cm ²	u	kN	u	kg/cm ²		u	kg/cm ²	
1A	1	X 8,42	10,00	6,96	1,44	38,05	78,90	211,47	0,95	200,90	-						
		Y 11,78															
1B	2	X 8,42	8,74	6,98	1,25	38,26	89,30	237,97	0,93	221,32	-						
		Y 11,78															
2A	3	X14,91	10,10	6,95	1,45	37,94	106,00	284,92	0,95	270,68	-						
		Y 14,98															
2B	4	X14,91	9,33	6,96	1,34	38,05	86,85	232,78	0,94	218,81	-						
		Y 14,98															
3A	5	X 18,85	10,93	6,98	1,57	38,26	101,00	269,15	0,97	261,08	-						
		Y 16,00															
3B	6	X 18,85	10,72	6,95	1,54	37,94	96,04	258,15	0,96	247,82	-						
		Y 16,00															
4A	7	X23,41	11,24	6,93	1,62	37,72	71,90	194,38	0,97	188,55	-						
		Y 11,78															
4B	8	X23,41	9,27	6,91	1,34	37,50	54,50	148,19	0,94	139,30	-						
		Y 11,78															
5A	9	X 7,92	10,65	6,95	1,53	37,94	76,50	205,63	0,96	197,40	-						
		Y 11,80															
6A	10	X16,22	13,58	6,95	1,95	37,94	55,82	150,04	1,00	150,04	-						
		Y 11,98															
6B	11	X16,22	13,90	6,97	1,99	38,16	83,60	223,42	1,00	223,42	-						
		Y 11,98															
7A	12	X 201,11	12,70	6,97	1,82	38,16	60,70	162,22	1,00	162,22	-						
		Y 6,8															
7B	13	X 201,11	11,57	6,96	1,66	38,05	83,60	224,07	0,97	217,34	-						
		Y 6,8															



Anexo 4: Plantilla Ensayo de Esclerometría:



Anexo 5: Plantilla Ensayo de Adherencia:



MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI-DESTRUCTIVOS

CÓDIGO

ESD02

**INSTITUCIÓN
PROYECTO**

Universidad de Cuenca
Azud Ocaña, Ecuador

HORA

FECHA

UBICACIÓN

Río Cañar, sector Ocaña

-

jun-18

ENSAYO DE ADHERENCIA (PULL OFF)

Punto	Coordenadas (m)	Diámetro		Área		Carga Tensión		Resistencia (MPa)	Resistencia (kg/cm ²)	Observaciones
		u	cm	u	cm ²	u	kN			
A1	X 9 Y 16,15	5	19,63	6,76	3,40	35,10	-			
B1	X 9 Y 14,15	5	19,63	6,01	3,00	31,20	-			
C1	X 9 Y 11,90	5	19,63	5,90	3,00	30,60	-			
C2	X 12 Y 11,90	5	19,63	6,84	3,40	35,50	-			
B2	X 12 Y 14,15	5	19,63	8,57	4,30	44,50	-			
A2	X 12 Y 16,15	5	19,63	6,20	3,10	32,20	-			
C3	X 15 Y 11,90	5	19,63	6,13	3,10	31,80	-			
B3	X 15 Y 14,15	5	19,63	6,68	3,40	34,70	-			
A3	X 15 Y 16,15	5	19,63	5,12	2,60	26,60	-			
C4	X 18 Y 11,90	5	19,63	5,63	2,80	29,20	-			
B4	X 18 Y 14,15	5	19,63	6,35	3,20	33,00	-			
A4	X 18 Y 16,15	5	19,63	6,10	3,10	31,70	-			
C5	X 21 Y 11,90	5	19,63	9,37	4,70	48,70	-			
B5	X 21 Y 14,15	5	19,63	5,44	2,70	28,30	-			
A5	X 21 Y 16,15	5	19,63	5,51	2,80	28,60	-			
C6	X 24 Y 11,90	5	19,63	6,03	3,00	31,30	-			
B6	X 24 Y 11,90	5	19,63	5,15	2,60	26,80	-			
A6	X 24 Y 16,15	5	19,63	5,25	2,60	27,30	-			
C7	X 27 Y 11,90	5	19,63	5,05	2,50	26,20	-			
B7	X 27 Y 14,15	5	19,63	5,20	2,60	27,00	-			
A7	X 27 Y 16,15	5	19,63	5,30	2,70	27,50	-			
C8	X 30 Y 11,90	5	19,63	7,33	3,70	38,10	-			
B8	X 30 Y 14,15	5	19,63	5,36	2,70	27,80	-			
A8	X 30 Y 16,15	5	19,63	5,61	2,80	29,10	-			
C9	X 33 Y 11,90	5	19,63	5,50	2,80	28,60	-			
B9	X 33 Y 14,15	5	19,63	7,07	3,60	36,70	-			
A9	X 33 Y 16,15	5	19,63	6,22	3,10	32,30	-			



Anexos "Diagnosis de las patologías: proyecto puente sobre el Río Yanuncay"

Anexo 6: Plantilla Ensayo de Potencial de corrosión

UNIVERSIDAD DE CUENCA Facultad de Ingeniería		MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI-DESTRUCTIVOS				CÓDIGO
INSTITUCIÓN		Universidad de Cuenca			HORA	FECHA
PROYECTO		Diagnosis de las patologías, Puente sobre Río Yanuncay			11:11	8/8/2014
UBICACIÓN		Av. de las Américas y Av. Primero de Mayo				
ENSAYO DE POTENCIAL DE CORROSIÓN						
N° Ensayo	Elemento	Ubicación	Lectura (mV)	Probabilidad corrosión	Condición	Observaciones
1	Viga 1 / Estribo	Aguas Arriba	-256	Incierto	Uniforme	-
2	Viga 2 / Estribo	Aguas Arriba	-137	10%	Pasiva	-
3	Viga 5 / Estribo	Aguas Arriba	-436	90%	Activa	-
4	Viga 4 / Estribo	Aguas Abajo	-294	Incierto	Activa	-
5	Viga 2 / Estribo	Aguas Abajo	-238	Incierto	Incierto	-
6	Diafragma	Aguas Arriba	-192	10%	Pasiva	-
7	Cara Viga 1	1m del Estribo	-139	10%	Pasiva	Ubicación: Aguas Abajo
8	Cara Viga 1	2.5 del Estribo	-166	10%	Pasiva	Ubicación: Aguas Abajo
9	Cara Viga 1	4m del Estribo	-113	10%	Pasiva	Ubicación: Aguas Abajo
10	Cara Viga 2	1m del Estribo	-100	10%	Pasiva	Ubicación: Aguas Abajo
11	Cara Viga 3	1m del Estribo	-130	10%	Pasiva	Ubicación: Aguas Abajo
12	Cara Viga 4	1m del Estribo	-238	Incierto	Uniforme	Ubicación: Aguas Abajo
13	Cara Viga 4	1.5m del Estribo	-175	10%	Pasiva	Ubicación: Aguas Abajo
14	Cara Viga 4	4m del Estribo	-186	10%	Pasiva	Ubicación: Aguas Abajo
15	Cara Viga 6	1m del Estribo	-176	10%	Pasiva	Ubicación: Aguas Abajo
16	Cara Viga 6	2.5m del Estribo	-205	Incierto	Pasiva	Ubicación: Aguas Abajo
17	Cara Viga 6	4m del Estribo	-212	Incierto	Pasiva	Ubicación: Aguas Abajo
18	Cara Viga 6	6.4m del Estribo	-155	10%	Pasiva	Ubicación: Aguas Abajo
19	Cara Viga 6	8.15m del Estribo	-186	10%	Pasiva	Ubicación: Aguas Abajo
20	Cara Viga 6	9.65m del Estribo	-165	10%	Pasiva	Ubicación: Aguas Abajo
21	Cara Viga 5	1m del Estribo	-252	Incierto	Uniforme	Ubicación: Aguas Abajo
22	Cara Viga 5	2.5m del Estribo	-207	Incierto	Pasiva	Ubicación: Aguas Abajo
23	Cara Viga 7	1m del Estribo	-220	Incierto	Uniforme	Ubicación: Aguas Abajo
24	Cara Viga 8	1m del Estribo	-122	10%	Pasiva	Ubicación: Aguas Abajo
25	Cara Viga 9	1m del Estribo	-217	Incierto	Pasiva	Ubicación: Aguas Abajo
26	Cara Viga 10	1m del Estribo	-199	10%	Pasiva	Ubicación: Aguas Abajo
27	Cara Viga 11	1m del Estribo	-250	Incierto	Uniforme	Ubicación: Aguas Abajo
28	Cara Viga 12	1m del Estribo	-233	Incierto	Uniforme	Ubicación: Aguas Abajo
29	Cara Viga 1	1m del Estribo	-214	Incierto	Pasiva	Ubicación: Aguas Arriba



UNIVERSIDAD DE CUENCA Facultad de Ingeniería		MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI-DESTRUCTIVOS				CÓDIGO
						ENDO
						F
INSTITUCIÓN		Universidad de Cuenca				HORA
PROYECTO		Diagnos de las patologías, Puente sobre Río Yanuncay				11:33
UBICACIÓN		Av. de las Américas y Av. Primero de Mayo				
ENSAYO DE POTENCIAL DE CORROSIÓN						
N° Ensayo	Elemento	Ubicación	Lectura	Probabilidad	Condición	Observa
30	Cara Viga 2	1m del	(mV)	corrosión	Pasiva	Ubicació
31	Cara Viga 2	Estribo 2.5 del	-190	10%	Uniforme	Ubic
32	Cara Viga 3	Estribo 1m del	-222	Incierto	Pasiva	U
33	Cara Viga 3	Estribo 2.5m del	-187	10%	Activa	
34	Cara Viga 4	Estribo 1m del	-300	Incierto	Uniforme	
35	Cara Viga 4	Estribo 1m del	-255	Incierto	Uniform	
36	Cara Viga 5	Estribo 1m del	-253	Incierto	Pa	
37	Cara Viga 5	Estribo 2.5 del	-217	Incierto		
38	Cara Viga 5	Estribo 4m del	-222	Incierto		
39	Cara Viga 5	Estribo 6.4m del	-241	Incierto		
40	Cara Viga 5	Estribo 7.5m del	-100	10		
41	Cara Viga 5	Estribo 9.45m del	-134			
42	Cara Viga 6	Estribo 1m del	-186			
43	Cara Viga 6	Estribo 2.5m del	-16			
44	Cara Viga 7	Estribo 1m del				
45	Cara Viga 7	Estribo 2.5m del				
46	Cara Viga 8	Estrib 1m				
47	Cara Viga 8	Es 2				
48	Cara Viga 9					
49	Cara Viga 9					
50	Cara Vi					
51	Car					
52						
53						





Anexo 7: Plantilla Ensayo de Carbonatación

		MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI-DESTRUCTIVOS				CÓDIGO
INSTITUCIÓN		Universidad de Cuenca			HORA	ESD01
PROYECTO		Diagnóstico de las patologías, Puente sobre Río Yanuncay			9:30	10/8/2014
UBICACIÓN		Av. de las Américas y Av. Primero de Mayo				
ENSAYO DE CARBONATACIÓN						
N° Ensayo	Elemento	Ubicación	Profundidad (mm)		Recubrimiento (mm)	Observaciones
			máx	mín		
1	Viga 1	inferior aguas arriba	5	0	50	Carbonatación alcanza 10% del espesor del recubrimiento
2	Viga 1	superior aguas abajo	0	0	55	Carbonatación alcanza 0% del espesor del recubrimiento
3	Viga 2	aguas abajo	80	60	100	Carbonatación alcanza 80% del espesor del recubrimiento
4	Viga 2	aguas arriba	60	40	60	Carbonatación alcanza 100% del espesor del recubrimiento
5	Viga 3	inferior aguas arriba	0	0	37	Carbonatación alcanza 0% del espesor del recubrimiento
6	Viga 3	superior aguas abajo	0	0	42	Carbonatación alcanza 0% del espesor del recubrimiento
7	Viga 4	superior aguas arriba	0	0	42	Carbonatación alcanza 0% del espesor del recubrimiento
8	Viga 4	inferior aguas abajo	0	0	40	Carbonatación alcanza 0% del espesor del recubrimiento
9	Viga 5	aguas abajo	20	0	32	Carbonatación alcanza 63% del espesor del recubrimiento
10	Viga 5	aguas arriba	0	0	45	Carbonatación alcanza 0% del espesor del recubrimiento
11	Viga 6	inferior aguas arriba	0	0	50	Carbonatación alcanza 0% del espesor del recubrimiento
12	Viga 6	cara de la base	47	31	47	Carbonatación alcanza 100% del espesor del recubrimiento
13	Viga 6	superior aguas abajo	30	0	65	Carbonatación alcanza 46% del espesor del recubrimiento
14	Viga 7	superior aguas abajo	0	0	46	Carbonatación alcanza 0% del espesor del recubrimiento
15	Viga 7	inferior aguas arriba	65	48	65	Carbonatación alcanza 100% del espesor del recubrimiento
16	Viga 8	superior aguas arriba	0	0	58	Carbonatación alcanza 0% del espesor del recubrimiento
17	Viga 8	inferior aguas abajo	22	20	32	Carbonatación alcanza 69% del espesor del recubrimiento
18	Viga 9	inferior aguas abajo	0	0	39	Carbonatación alcanza 0% del espesor del recubrimiento
19	Viga 9	superior aguas arriba	0	0	35	Carbonatación alcanza 0% del espesor del recubrimiento
20	Viga 10	inferior aguas abajo	25	20	56	Carbonatación alcanza 45% del espesor del recubrimiento
21	Viga 10	superior aguas arriba	0	0	25	Carbonatación alcanza 0% del espesor del recubrimiento
22	Viga 11	superior aguas abajo	0	0	30	Carbonatación alcanza 0% del espesor del recubrimiento
23	Viga 11	inferior aguas arriba	75	60	75	Carbonatación alcanza 100% del espesor del recubrimiento
24	Viga 12	superior aguas abajo	0	0	43	Carbonatación alcanza 0% del espesor del recubrimiento
25	Viga 12	inferior aguas arriba	0	0	32	Carbonatación alcanza 0% del espesor del recubrimiento
26	Losa 1	entre viga 1 y 2	0	0	31	Carbonatación alcanza 0% del espesor del recubrimiento
27	Losa 2	entre viga 2 y 3	0	0	40	Carbonatación alcanza 0% del espesor del recubrimiento
28	Losa 3	entre viga 3 y 4	0	0	28	Carbonatación alcanza 0% del espesor del recubrimiento



29	Losa 4	entre viga 4 y 5	0	0	33	Carbonatación alcanza 0% del espesor d recubrimiento Carbonatación alcanza 100% recub Carbonatació
30	Losa 5	entre viga 5 y 6	60	40	60	
31	Losa 6	entre viga 6 y 7	38	25	50	
32	Losa 6	entre viga 6 y 7	38	25		
33	Losa 7	entre viga 7 y 8	25	25		
34	Losa 8	entre viga 8 y 9				
35	Losa 9	entre viga y 1				
36						
3						

		MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI-DESTRUCTIVOS				CÓDIGO ESDO
INSTITUCIÓN		Universidad de Cuenca			HORA	
PROYECTO		Diagnos de las patologías, Puente sobre Río Yanuncay			9:30	
UBICACIÓN		Av. de las Américas y Av. Primero de Mayo				
ENSAYO DE CARBONATACIÓN						
N° Ensayo	Elemento	Ubicación	Profundidad (mm)		Recubrimiento (mm)	Obser
			máx	mín		
38	Viga 5	aguas abajo	0	0	70	Carbonatació
39	Viga 6	aguas abajo	0	0	40	Carbonata
40	Viga 1	aguas arriba	36	36	36	Carbon
41	Viga 1	aguas arriba	15	10	33	C
42	Viga 1	aguas arriba	0	0	35	
43	Viga 1	aguas abajo	0	0	47	
44	Viga 1	medio viga, aguas abajo	0	0		
45	Viga 1	superior viga, aguas	0	0		
46	Viga 2	base viga, aguas arriba	56			
47	Viga 2	medio viga, aguas arriba	17			
48	Viga 2	superior viga, aguas arriba				
49	Viga 2	base vig agua				
50	Viga 2	m				
51	Vi					
52						
53						



55	Viga 3	base viga, aguas abajo	45	25	55	Carbonatación alcanza 82% del espesor del recubrimiento
56	Viga 3	medio viga, aguas abajo	25	15	48	Carbonatación alcanza 52% del espesor d recubrimiento
57	Viga 3	superior viga, aguas arriba	35	18	51	Carbonatación alcanza 69% del es recubrimiento
58	Viga 4	base viga, aguas arriba	0	0	22	Carbonatación alcanza 0% recubrimi
59	Viga 4	medio viga, aguas arriba	15	5	37	Carbonatación alcanz recu
60	Viga 4	superior viga, aguas abajo	45	22	54	Carbonatación
61	Viga 4	base viga, aguas abajo	32	19	50	Carbon
62	Viga 4	medio viga, aguas abajo	20	12	65	C
63	Viga 4	superior viga, aguas arriba	52	52		
64	Viga 5	base viga, aguas arriba	27	20		
65	Viga 5	medio viga, aguas arriba	20	7		
66	Viga 5	superior viga, aguas abajo	0			
67	Viga 5	base viga, aguas abajo				
68	Viga 5	medio viga, aguas abajo				
69	Viga 5	superior viga, a arr				
70	Viga 6					
71	Vig					
72						
73						

 UNIVERSIDAD DE CUENCA Facultad de Ingeniería		MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI-DESTRUCTIVOS			CÓDIGO ESD01		
INSTITUCIÓN Universidad de Cuenca		PROYECTO Diagnos de las patologías, Puente sobre Río Yanuncay		HORA 9:30		FECHA 10/8/2014	
UBICACIÓN Av. de las Américas y Av. Primero de Mayo		ENSAYO DE CARBONATACIÓN					
N° Ensayo	Elemento	Ubicación	Profundidad (mm)		Recubrimiento (mm)	Observaciones	
			máx	mín			
75	Viga 6	superior viga, aguas arriba	0	0	34	Carbonatación alcanza 0% del espesor del recubrimiento	
76	Viga 7	base viga, aguas arriba	26	25	38	Carbonatación alcanza 68% del espesor del recubrimiento	
77	Viga 7	medio viga, aguas arriba	0	0	38	Carbonatación alcanza 0% del espesor del recubrimiento	
78	Viga 7	superior viga, aguas	17	5	38	Carbonatación alcanza 45% del espesor del recubrimiento	
79	Viga 7	base viga, aguas abajo	50	50	50	Carbonatación alcanza 100% del espesor del recubrimiento	



80	Viga 7	medio viga, aguas abajo	0	0	50	Carbonatación alcanza 0% del espesor del recubrimiento
81	Viga 7	superior viga, aguas	17	5	32	Carbonatación alcanza 53% del espesor del recubrimiento
82	Viga 8	base viga, aguas arriba	42	10	50	Carbonatación alcanza 84% del espesor del recubrimiento
83	Viga 8	medio viga, aguas arriba	0	0	36	Carbonatación alcanza 0% del espesor del recubrimiento
84	Viga 8	superior viga, aguas	13	5	36	Carbonatación alcanza 36% del espesor del recubrimiento
85	Viga 8	base viga, aguas abajo	46	30	46	Carbonatación alcanza 100% del espesor del recubrimiento
86	Viga 8	medio viga, aguas abajo	0	0	46	Carbonatación alcanza 0% del espesor del recubrimiento
87	Viga 8	superior viga, aguas abajo	19	3	36	Carbonatación alcanza 53% del espesor del recubrimiento
88	Viga 9	base viga, aguas arriba	20	7	50	Carbonatación alcanza 40% del espesor del recubrimiento
89	Viga 9	medio viga, aguas arriba	45	45	45	Carbonatación alcanza 100% del espesor del recubrimiento
90	Viga 9	superior viga, aguas abajo	45	45	45	Carbonatación alcanza 100% del espesor del recubrimiento
91	Viga 9	base viga, aguas abajo	50	27	56	Carbonatación alcanza 89% del espesor del recubrimiento
92	Viga 9	medio viga, aguas abajo	0	0	35	Carbonatación alcanza 0% del espesor del recubrimiento
93	Viga 9	superior viga, aguas arriba	12	5	35	Carbonatación alcanza 34% del espesor del recubrimiento
94	Viga 10	base viga, aguas arriba	42	30	56	Carbonatación alcanza 75% del espesor del recubrimiento
95	Viga 10	medio viga, aguas arriba	40	40	40	Carbonatación alcanza 100% del espesor del recubrimiento
96	Viga 10	superior viga, aguas abajo	18	5	40	Carbonatación alcanza 45% del espesor del recubrimiento
97	Viga 10	base viga, aguas abajo	54	3	54	Carbonatación alcanza 100% del espesor del recubrimiento
98	Viga 10	medio viga, aguas abajo	0	0	48	Carbonatación alcanza 0% del espesor del recubrimiento
99	Viga 10	superior viga, aguas arriba	48	48	48	Carbonatación alcanza 100% del espesor del recubrimiento
100	Viga 11	base viga, aguas arriba	14	13	30	Carbonatación alcanza 47% del espesor del recubrimiento
101	Viga 11	medio viga, aguas arriba	21	5	31	Carbonatación alcanza 68% del espesor del recubrimiento
102	Viga 11	superior viga, aguas abajo	50	50	50	Carbonatación alcanza 100% del espesor del recubrimiento
103	Viga 11	base viga, aguas abajo	23	10	40	Carbonatación alcanza 58% del espesor del recubrimiento
104	Viga 11	medio viga, aguas abajo	35	20	52	Carbonatación alcanza 67% del espesor del recubrimiento
105	Viga 11	superior viga, aguas arriba	0	0	40	Carbonatación alcanza 0% del espesor del recubrimiento
106	Viga 12	base viga, aguas arriba	32	20	54	Carbonatación alcanza 59% del espesor del recubrimiento
107	Viga 12	medio viga, aguas arriba	28	12	36	Carbonatación alcanza 78% del espesor del recubrimiento
108	Viga 12	superior viga, aguas abajo	50	22	54	Carbonatación alcanza 93% del espesor del recubrimiento
109	Viga 12	base viga, aguas abajo	35	20	52	Carbonatación alcanza 67% del espesor del recubrimiento
110	Viga 12	medio viga, aguas abajo	22	10	30	Carbonatación alcanza 73% del espesor del recubrimiento
111	Viga 12	superior viga, aguas arriba	23	22	30	Carbonatación alcanza 77% del espesor del recubrimiento



Anexo 8: Plantilla Ensayo de Núcleos perforados

		MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI-DESTRUCTIVOS				CÓDIGO
INSTITUCIÓN		Universidad de Cuenca				
PROYECTO		Diagnosis de las patologías, Puente sobre Río				
UBICACIÓN		Av. de las Américas y Av. Pri				
ENSAYO DE NÚCLEOS PERFORADOS - ENS						
Elemento	N° Ensayo	Ubicación	Altura		Diámetro	L/D
			u	cm		
Viga 6	1	Aguas arriba	15			
Viga 7	2	Aguas aba				
Viga 8	3					
Viga 8						
Lo						

Anexo 9: Plantilla Ensayo de Esclerometría

		MANUAL PRÁCTICO DE INGENIERÍA FORENSE Y PATOLOGÍA PARA ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN											CÓDIGO				
INSTITUCIÓN		Universidad de Cuenca											END03				
PROYECTO		Diagnosis de las patologías, Puente sobre Río Yanuncay											FECHA	HORA			
UBICACIÓN		Av. de las Américas y Av. Primero de Mayo											14/8/2014	11:00			
Resistencia de diseño		Nombre Martillo		-		Serie Martillo		-		-		Clima	Soleado				
u	-	Valor															
ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA																	
Elemento	Ubicación	Orientación	Lecturas										Q Prom	Desv Est	Factor de Corrección	Resistencia u Kg/cm ²	Observaciones
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
Viga 1	Aguas arriba	Horizontal	43	42	42	42	47	42	43	48	46	40	43	2.59	-	469	
Viga 1	Aguas abajo	Horizontal	36	44	38	40	40	48	46	43	41	49	42	4.28	-	449	
Viga 2	Aguas arriba	Horizontal	38	40	44	43	42	48	41	43	46	48	43	3.3	-	469	
Viga 2	Aguas abajo	Horizontal	48	46	40	41	43	38	35	37	39	38	40	4.09	-	408	
Viga 3	Aguas arriba	Horizontal	36	38	38	40	39	36	38	36	40	38	38	1.52	-	338	
Viga 3	Aguas abajo	Horizontal	36	38	37	36	40	43	46	42	40	39	39	3.23	-	393	
Viga 4	Aguas arriba	Horizontal	36	40	48	42	46	44	43	38	39	42	42	3.68	-	449	
Viga 4	Aguas abajo	Horizontal	40	38	35	39	36	41	38	40	39	38	38	1.84	-	373	
Viga 5	Aguas arriba	Horizontal	42	40	42	40	44	42	43	42	40	39	42	1.58	-	449	
Viga 5	Aguas abajo	Horizontal	40	40	48	42	48	48	45	45	43	38	44	3.68	-	484	
Viga 6	Aguas arriba	Horizontal	43	46	40	43	47	47	46	47	42	48	45	2.69	-	505	Se extrae núcleo
Viga 6	Aguas abajo	Horizontal	42	44	40	43	45	48	42	42	38	46	43	2.91	-	469	
Viga 7	Aguas arriba	Horizontal	41	46	44	48	43	48	47	44	47	43	45	2.42	-	505	
Viga 7	Aguas abajo	Horizontal	44	42	43	44	45	42	46	45	46	45	44	1.48	-	484	Se extrae núcleo
Viga 8	Aguas arriba	Horizontal	43	47	48	40	39	45	47	38	47	46	44	3.74	-	484	
Viga 8	Aguas abajo	Horizontal	41	45	48	43	48	45	46	46	49	46	45	2.41	-	505	Se extrae núcleo
Viga 9	Aguas arriba	Horizontal	46	48	48	45	46	45	46	44	43	43	45	1.78	-	505	
Viga 9	Aguas abajo	Horizontal	44	48	43	46	43	44	38	45	50	41	44	3.39	-	484	
Viga 10	Aguas arriba	Horizontal	45	48	43	39	43	46	42	47	45	46	44	2.67	-	484	
Viga 10	Aguas abajo	Horizontal	40	38	39	36	33	48	40	36	42	40	40	4.05	-	408	
Viga 11	Aguas abajo	Horizontal	43	42	47	45	43	42	44	41	48	44	39	2.23	-	393	
Viga 11	Aguas arriba	Horizontal	38	36	38	40	42	42	40	41	39	42	41	2.04	-	428	
Viga 12	Aguas abajo	Horizontal	44	38	52	47	45	50	39	45	41	36	44	5.21	-	484	
Viga 12	Aguas arriba	Horizontal	40	36	38	33	35	32	33	41	40	38	37	3.27	-	363	
Viga 5	Aguas abajo	Horizontal	46	47	50	48	39	44	43	41	38	49	45	4.2	-	505	
Viga 6	Aguas arriba	Horizontal	50	47	50	43	45	40	49	48	46	50	43	3.36	-	469	
Losa 1	Entre viga 1 y 2	Vertical hacia arriba	52	48	45	52	46	46	51	44	50	53	48	3.3	-	500	
Losa 3	Entre viga 3 y 4	Vertical hacia arriba	55	49	49	50	50	44	45	45	47	48	48	3.22	-	500	
Losa 5	Entre viga 5 y 6	Vertical hacia arriba	48	42	43	43	55	44	45	45	50	48	46	4	-	460	
Losa	Entre viga 6 y 7	Vertical hacia arriba	47	50	43	46	51	45	49	48	46	46	47	2.42	-	479	Se extrae núcleo
Losa 7	Entre viga 7 y 8	Vertical hacia arriba	58	55	50	60	52	53	57	55	44	51	53	4.6	-	580	
Losa 9	Entre viga 9 y 10	Vertical hacia arriba	50	59	59	58	56	51	49	55	46	55	54	4.54	-	596	
Losa 11	Entre viga 11 y 12	Vertical hacia arriba	56	64	49	58	55	56	57	54	51	56	55	4.03	-	612	
Losa 2	Entre viga 1 y 2	Vertical hacia arriba	42	47	46	44	48	47	42	46	41	47	44	2.54	-	418	
Losa 4	Entre viga 3 y 4	Vertical hacia arriba	44	54	50	46	49	44	50	53	43	53	48	4.12	-	500	
Losa Centra	Entre viga 6 y 7	Vertical hacia arriba	48	55	42	45	45	44	52	42	46	45	46	4.2	-	460	
Losa 8	Entre viga 8 y 9	Vertical hacia arriba	50	55	59	54	47	49	52	48	53	49	52	3.72	-	564	
Losa 10	Entre viga 9 y 10	Vertical hacia arriba	44	48	55	55	53	50	42	55	55	53	52	4.85	-	564	
Losa 5	Entre viga 5 y 6	Vertical hacia arriba	52	58	50	53	55	56	52	54	49	57	53	2.95	-	580	



Anexo 10: Plantilla Ensayo de Adherencia

 UNIVERSIDAD DE CUENCA Facultad de Ingeniería		MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI- DESTRUCTIVOS						CÓDIGO ESD02		
INSTITUCIÓN		Universidad de Cuenca						HORA	FECHA	
PROYECTO		Diagnosis de las patologías, Puente sobre Río Yanuncay						10:00	18/8/2014	
UBICACIÓN		Av. de las Américas y Av. Primero de Mayo								
ENSAYO DE ADHERENCIA (PULL OFF)										
N° Ensayo	Elemento	Diámetro		Área		Carga Tensión		Resistencia (Mpa)	Tipo de Falla	Observaciones
		u	cm	u	cm ²	u	kg			
1	VIGA 1 AGUAS ARRIBA	5		19.63		666.36		3.3	100% hormigón	Cumple ACI 440 refuerzo externo
2	VIGA 1 AGUAS ABAJO	5		19.63		624.09		3.1	100% hormigón	Cumple ACI 440 refuerzo externo
3	VIGA 2 AGUAS ARRIBA	5		19.63		597.73		3	100% hormigón	Cumple ACI 440 refuerzo externo
4	VIGA 2 AGUAS ABAJO	5		25		600.45		2.4	100% hormigón	Cumple ACI 440 refuerzo externo
5	VIGA 3 AGUAS ARRIBA	5		25		809.55		3.2	100% hormigón	Cumple ACI 440 refuerzo externo
6	VIGA 3 AGUAS ABAJO	5		19.63		1068.64		5.3	100% hormigón	Cumple ACI 440 refuerzo externo
7	VIGA 4 AGUAS ARRIBA	5		19.63		822.73		4.1	100% hormigón	Cumple ACI 440 refuerzo externo
8	VIGA 4 AGUAS ABAJO	5		19.63		404.55		2	100% hormigón	Cumple ACI 440 refuerzo externo
9	VIGA 5 AGUAS ARRIBA	5		19.63		473.64		2.4	100% hormigón	Cumple ACI 440 refuerzo externo
10	VIGA 5 AGUAS ABAJO	5		19.63		597.73		3	100% hormigón	Cumple ACI 440 refuerzo externo
11	VIGA 6 AGUAS ARRIBA	5		19.63		878.18		4.4	100% hormigón	Cumple ACI 440 refuerzo externo
12	VIGA 6 AGUAS ABAJO	5		19.63		319.55		1.6	100% hormigón	Cumple ACI 440 refuerzo externo
13	VIGA 5 AGUAS ABAJO TERCIO MEDIO	5		19.63		965.45		4.8	100% hormigón	Cumple ACI 440 refuerzo externo
14	VIGA 6 AGUAS ARRIBA TERCIO MEDIO	5		19.63		782.73		3.9	100% hormigón	Cumple ACI 440 refuerzo externo
15	VIGA 7 AGUAS ABAJO	5		19.63		1007.73		5	100% hormigón	Cumple ACI 440 refuerzo externo
16	VIGA 7 AGUAS ARRIBA	5		19.63		960		4.8	100% hormigón	Cumple ACI 440 refuerzo externo
17	VIGA 8 AGUAS ABAJO	5		19.63		777.73		3.9	100% hormigón	Cumple ACI 440 refuerzo externo
18	VIGA 8 AGUAS ARRIBA	5		19.63		1029.09		5.1	100% hormigón	Cumple ACI 440 refuerzo externo
19	VIGA 9 AGUAS ABAJO	5		19.63		984.09		4.9	100% hormigón	Cumple ACI 440 refuerzo externo
20	VIGA 9 AGUAS ARRIBA	5		19.63		706.36		3.5	100% hormigón	Cumple ACI 440 refuerzo externo
21	VIGA 10 AGUAS ABAJO	5		19.63		764.55		3.8	100% hormigón	Cumple ACI 440 refuerzo externo
22	VIGA 10 AGUAS ARRIBA	5		19.63		587.27		2.9	100% hormigón	Cumple ACI 440 refuerzo externo
23	VIGA 11 AGUAS ABAJO	5		19.63		888.64		4.4	100% hormigón	Cumple ACI 440 refuerzo externo
24	VIGA 11 AGUAS ARRIBA	5		19.63		430.91		2.2	100% hormigón	Cumple ACI 440 refuerzo externo
25	VIGA 12 AGUAS ABAJO	5		25		558.18		2.2	100% hormigón	Cumple ACI 440 refuerzo externo



26	VIGA 12 AGUAS ARRIBA	5	19.63	320	1.6	100% hormigón	Cumple ACI 440 refuerzo externo
27	LOSA 1 ENTRE VIGA1-VIGA2	5	19.63	513.18	2.6	100% hormigón	Cumple ACI 440 refuerzo externo
28	LOSA 2 ENTRE VIGA2-VIGA3	5	19.63	248.64	1.2	100% hormigón	Cumple ACI 440 refuerzo externo
29	LOSA 3 ENTRE VIGA 3 VIGA 4	5	19.63	941.82	4.7	100% hormigón	Cumple ACI 440 refuerzo externo
30	LOSA 4 ENTRE VIGA 4 VIGA 5	5	19.63	513.18	2.6	100% hormigón	Cumple ACI 440 refuerzo externo
31	LOSA 5 ENTRE VIGA 5 VIGA 6	5	19.63	1026.36	5.1	100% hormigón	Cumple ACI 440 refuerzo externo
32	LOSA 6 CENTRAL ENTRE VIGA 6 - VIGA 7	5	19.63	862.27	4.3	100% hormigón	Cumple ACI 440 refuerzo externo
33	LOSA 7 ENTRE VIGA 7-VIGA 8	5	19.63	825.45	4.1	100% hormigón	Cumple ACI 440 refuerzo externo
34	LOSA 8 ENTRE VIGA 8-VIGA 9	5	19.63	910	4.5	100% hormigón	Cumple ACI 440 refuerzo externo
35	LOSA 9 ENTRE VIGA 9 VIGA 10	5	19.63	782.73	3.9	100% hormigón	Cumple ACI 440 refuerzo externo
36	LOSA 10 ENTRE VIGA 10-VIGA 11	5	19.63	997.27	5	100% hormigón	Cumple ACI 440 refuerzo externo
37	LOSA 11 ENTRE VIGA 11-VIGA 12	5	19.63	1039.55	5.2	100% hormigón	Cumple ACI 440 refuerzo externo

Anexo 11: Plantilla Ensayo de Detección de armaduras

		MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI-DESTRUCTIVOS		CÓDIGO END02	
INSTITUCIÓN		Universidad de Cuenca		HORA	
PROYECTO		Diagnóstico de las patologías, Puente sobre Río Yanuncay		15:25	
UBICACIÓN		Av. de las Américas y Av. Primero de Mayo		1/8/2021	
ENSAYO DE DETECCIÓN DE ARMADURAS					
Elemento	Losa	Ubicación	-	Recubrimiento (cm)	-
Diagrama de varillas					



	UNIVERSIDAD DE CUENCA Facultad de Ingeniería	MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI-DESTRUCTIVOS		CÓDIGO
				END02
INSTITUCIÓN	Universidad de Cuenca	HORA	FECHA	
PROYECTO	Diagnos de las patologías, Puente sobre Río Yanuncay	15:25	1/8/2021	
UBICACIÓN	Av. de las Américas y Av. Primero de Mayo	ENSAYO DE DETECCIÓN DE ARMADURAS		
Recubrimiento				
Elemento	Apoyo del Puente	Ubicación	(cm)	
Diagrama de varillas				
acero losa d 14mm c/25cm				
acero losa longitudinal d 16mm c/15cm				
acero losa transversal d 14mm c/25cm				
varillas d 12mm				
estribos d10mm				
500				



Observaciones



Anexo 12: Plantilla Ensayo de Ultrasonido

INSTITUCIÓN		MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI-DESTRUCTIVOS								CÓDIGO	
UNIVERSIDAD DE CUENCA Facultad de Ingeniería		Universidad de Cuenca								END06	
PROYECTO		Diagnóstico de las patologías, Puente sobre Río Yanuncay								FECHA	HORA
UBICACIÓN		Av. de las Américas y Av. Primero de Mayo								25/8/2014	10:40
ENSAYO DE ULTRASONIDO - INDIRECTA											
Elemento	N° Ensayo	Ubicación	Tiempo rl (μ s)	Distancia (cm)	Tiempo rc (μ s)	V corregida (m/s)	Calidad	Espesor capa	Profundidad fisura	Inclinación fisura	
Viga 1	1	Aguas arriba	60	20	113.7	-	-	-	36.9	-	
Viga 1	2	Aguas arriba	65.4	20	116.8	-	-	-	34.72	-	
Viga 1	3	Aguas arriba	47.4	20	112	-	-	-	46.26	-	
Viga 2	4	Aguas arriba	61.4	20	229.5	-	-	-	73.76	-	
Viga 2	5	Aguas arriba	45.2	20	112.7	-	-	-	48.87	-	
Viga 3	6	Aguas arriba	67.1	20	167.5	-	-	-	48.93	-	
Viga 3	7	Aguas arriba	62.6	20	122.2	-	-	-	38.04	-	
Viga 4	8	Aguas arriba	59.5	20	145.3	-	-	-	47.86	-	
Viga 4	9	Aguas arriba	94.8	20	229	-	-	-	47.31	-	
Viga 4	10	Aguas abajo	57.3	20	104.2	-	-	-	35.37	-	
Viga 5	11	Aguas arriba	87.7	20	121.8	-	-	-	26.78	-	
Viga 5	12	Aguas abajo	108.5	20	256.1	-	-	-	46.21	-	
Viga 6	13	Aguas abajo	76.8	20	130.5	-	-	-	32.98	-	
Viga 7	14	Aguas abajo	70.2	20	155.3	-	-	-	43.25	-	
Viga 7	15	Aguas abajo	84.5	20	182.1	-	-	-	42.1	-	
Viga 7	16	Aguas arriba	34.5	20	82.1	-	-	-	46.59	-	
Viga 8	17	Aguas abajo	90	20	142.5	-	-	-	30.67	-	
Viga 8	18	Aguas abajo	55.2	20	112.1	-	-	-	39.62	-	
Viga 8	19	Aguas arriba	48.2	20	102.2	-	-	-	41.41	-	
Viga 9	20	Aguas arriba	99.5	20	180.1	-	-	-	35.2	-	
Viga 9	21	Aguas abajo	43.4	20	105.4	-	-	-	47.57	-	
Viga 10	22	Aguas arriba	45.2	20	103.5	-	-	-	44.8	-	
Viga 11	23	Aguas arriba	87.2	20	114	-	-	-	25.15	-	
Viga 12	24	Aguas abajo	84.9	20	132.2	-	-	-	30.14	-	



Anexos “Diagnosis de las patologías: proyecto presa de la Hidroeléctrico Minas-San Francisco”:

Anexo 13: Plantilla Ensayo de Ultrasonido

 UNIVERSIDAD DE CUENCA Facultad de Ingeniería			MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI-DESTRUCTIVOS					CÓDIGO			
INSTITUCIÓN			Universidad de Cuenca					FECHA		HORA	
PROYECTO			Vertederos, Presa Minas-San Francisco					ene-20			
UBICACIÓN			Río Jubones, Sector San Francisco								
ENSAYO DE ULTRASONIDO - INDIRECTA											
Elemento	N° Ensayo	Ubicación	Tiempo rl (μs)	Distancia (mm)	Tiempo rc (μs)	V corregida (m/s)	Calidad	Espesor capa	Profundidad fisura (mm)	Inclinación fisura	
Vert. central	1	-	102,0	100	181,0	-	-	-	62	-	
Vert. central	2	-	71,9	100	135,1	-	-	-	43	-	
Vert. central	3	-	112,9	100	151,1	-	-	-	167	-	
Vert. central	4	-	69,8	100	132,0	-	-	-	41	-	
Vert. central	5	-	122,7	100	166,9	-	-	-	159	-	
Vert. central	6	-	110,0	100	173,1	-	-	-	102	-	
Vert. central	7	-	105,9	100	192,7	-	-	-	55	-	
Vert. central	8	-	111,6	100	138,8	-	-	-	212	-	
Vert. central	9	-	1,0	100	145,2	-	-	-	119	-	
Vert. central	10	-	115,9	100	212,0	-	-	-	53	-	
Vert. central	11	-	1887,0	100	300,0	-	-	-	98	-	
Vert. central	12	-	122,0	100	220,0	-	-	-	58	-	
Vert. central	13	-	127,0	100	181,0	-	-	-	116	-	
Vert. central	14	-	124,1	100	188,6	-	-	-	114	-	
Vert. lateral	15	-	121,8	100	208,0	-	-	-	75	-	
Vert. lateral	16	-	121,6	100	178,4	-	-	-	127	-	
Vert. lateral	17	-	106,3	100	199,6	-	-	-	43	-	
Vert. lateral	18	-	137,4	100	205,0	-	-	-	120	-	
Vert. lateral	19	-	117,7	100	203,0	-	-	-	72	-	
Vert. lateral	20	-	87,3	100	171,7	-	-	-	21	-	
Vert. lateral	21	-	105,3	100	140,2	-	-	-	170	-	
Vert. lateral	22	-	82,4	100	176,3	-	-	-	20	-	
Vert. lateral	23	-	936,0	100	175,0	-	-	-	43	-	
Vert. lateral	24	-	99,3	100	217,0	-	-	-	19	-	
Vert. lateral	25	-	104,0	100	161,4	-	-	-	106	-	
Vert. lateral	26	-	116,0	100	176,4	-	-	-	113	-	
Vert. lateral	27	-	132,4	100	228,0	-	-	-	73	-	
Vert. lateral	28	-	89,3	100	186,6	-	-	-	19	-	
Vert. lateral	29	-	126,2	100	212,0	-	-	-	80	-	
Vert. lateral	30	-	112,8	100	207,0	-	-	-	52	-	
Vert. lateral	31	-	95,2	100	171,5	-	-	-	58	-	
Vert. lateral	32	-	119,3	100	236,0	-	-	-	17	-	
Vert. lateral	33	-	97,3	100	179,6	-	-	-	50	-	
Vert. lateral	34	-	129,0	100	187,3	-	-	-	131	-	
Vert. lateral	35	-	127,4	100	176,5	-	-	-	150	-	

Anexos “Diagnosis de las patologías: proyecto puente sobre el Río Tomebamba, entre Av. 12 de Abril y Av. 3 de Noviembre.”:

Anexo 14: Fotografías

Ensayo de Carbonatación:



Ensayo de Esclerometría:



Ensayo de Ultrasonido:



Ensayo de Potencial de corrosión:



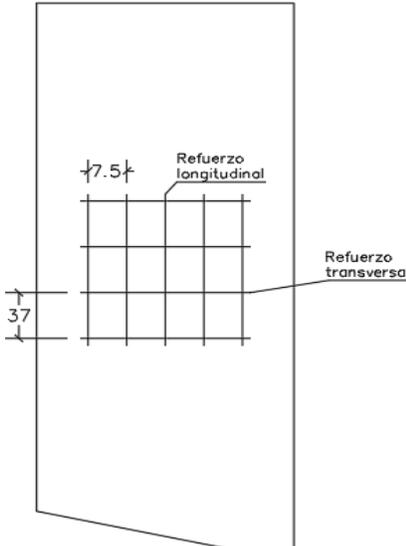
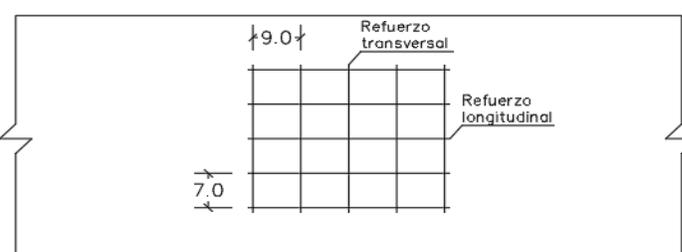


Ensayo de Detector de Armaduras

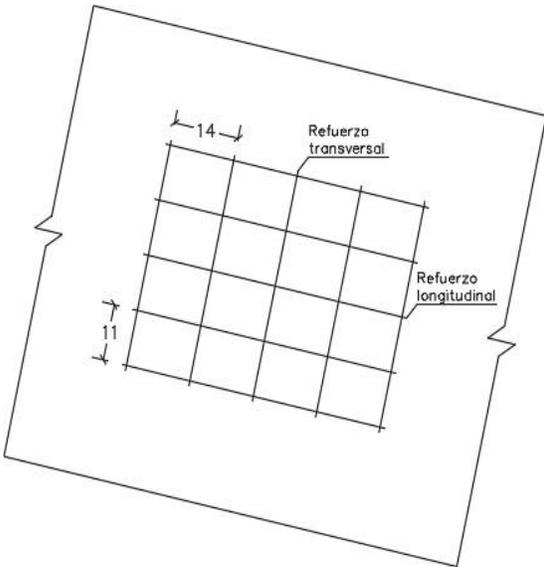




Anexo 15: Plantilla Ensayo Detección de armaduras

 UNIVERSIDAD DE CUENCA Facultad de Ingeniería		MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI-DESTRUCTIVOS		CÓDIGO END02	
INSTITUCIÓN		Universidad de Cuenca		HORA	
PROYECTO		Diagnosis del Puente sobre el Río Tomebamba		9:00	
UBICACIÓN		Entre Av. 12 de Abril y Av. 3 de Noviembre		15/12/2021	
ENSAYO DE DETECCIÓN DE ARMADURAS					
Elemento	Columna	Ubicación	-	Recubrimiento (cm)	5
Diagrama de varillas					
					
Observaciones		El equipo no indica el diámetro de la varilla			
Elemento	Viga	Ubicación	-	Recubrimiento (cm)	5
Diagrama de varillas					
					
Observaciones		El equipo no indica el diámetro de la varilla			



 UNIVERSIDAD DE CUENCA Facultad de Ingeniería		MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI-DESTRUCTIVOS		CÓDIGO END02	
INSTITUCIÓN	Universidad de Cuenca	HORA	FECHA		
PROYECTO	Diagnos del Puente sobre el Río Tomebamba	9:00	15/12/2021		
UBICACIÓN	Entre Av. 12 de Abril y Av. 3 de Noviembre				
ENSAYO DE DETECCIÓN DE ARMADURAS					
Elemento	Arco	Ubicación	-	Recubrimiento (cm)	5
Diagrama de varillas					
					
Observaciones	El equipo no indica el diámetro de la varilla				



Anexo 16: Plantilla Ensayo de Esclerometría

UNIVERSIDAD DE CUENCA Facultad de Ingeniería		MANUAL PRÁCTICO DE INGENIERÍA FORENSE Y PATOLOGÍA PARA ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN												CÓDIGO				
INSTITUCIÓN		Universidad de Cuenca												FECHA	HORA			
PROYECTO		Diagnosis del Puente, sobre el río Tomebamba												8/12/2021	9:00			
UBICACIÓN		Entre Av. 12 de Abril y Av. 3 de Noviembre												Clima	Soleado			
Resistencia de diseño		Nombre Martillo		PROCEQ.SA				Serie Martillo										
u	Valor																	
ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA																		
Elemento	Ubicación	Orientación	Lecturas										Q Prom	Desv Est	Factor de Corrección	Resistencia		Observaciones
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				u	kg/cm ²	
Viga 2	Av. 12 de Abril	Horizontal	40.5	45	41.5	42.5	45.5	40	40	42	45.5	46	42.9	2.43	-	390	-	
Viga 2	Av. 12 de Abril	Horizontal	52	49.5	50.5	55	51.5	54	55	50	49	51.5	51.8	2.2	-	535	-	
Viga 1	Av. 12 de Abril	Horizontal	56	51.5	55	54	51.5	51	55.5	50	53	51	52.9	2.15	-	550	-	
Viga 1	Av. 12 de Abril	Horizontal	53.5	55	58	52	54	56	57	52.5	52	53.5	54.4	2.1	-	581	-	
Arco 2	Parte interna	Horizontal	53	55.5	49.5	55	55	51.5	52	50	55.5	55.5	53.3	2.37	-	571	-	
Arco 5	Parte interna	Horizontal	56	50	54	50	56	53	53.5	52	52.5	56	53.3	2.28	-	571	-	
Columna 1	Parte externa	Horizontal	51.5	49	49.5	49	49	51.5	49.5	51	54	49	50.3	1.67	-	515	-	
Columna 6	Parte externa	Horizontal	56	53.5	56	52	50	52.5	50	51.5	55	54	53.1	2.23	-	566	-	
Viga 4	Av. 3 de Nov	Horizontal	47.5	46.5	48.5	45	49	48.5	49	51	48	50	48.3	1.7	-	480	-	
Columna 24	Av. 3 de Nov	Horizontal	49	47.5	48.5	50	46.5	48.5	46	44	45	48	47.3	1.89	-	470	-	

Anexo 17: Plantilla Ensayo de Carbonatación

UNIVERSIDAD DE CUENCA Facultad de Ingeniería		MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI-										CÓDIGO	
INSTITUCIÓN		Universidad de Cuenca										HORA	FECHA
PROYECTO		Diagnosis del Puente, sobre el río Tomebamba.										12:00	11/12/2021
UBICACIÓN		Entre Av. 12 de Abril y Av. 3 de Noviembre											
ENSAYO DE CARBONATACIÓN													
N° Ensayo	Elemento	Ubicación	Profundidad (mm)		Recubrimiento (mm)	Observaciones							
			máx	mín									
1	Viga 2	Av. 12 de Abril	18	10	50	Carbonatación alcanza 36% del espesor del recubrimiento							
2	Viga 2	Av. 12 de Abril	25	14	50	Carbonatación alcanza 50% del espesor del recubrimiento							
3	Viga 1	Av. 12 de Abril	17	9	50	Carbonatación alcanza 34% del espesor del recubrimiento							
4	Viga 1	Av. 12 de Abril	15	10	50	Carbonatación alcanza 30% del espesor del recubrimiento							
5	Viga 4	Av. 3 de Nov	25	25	50	Carbonatación alcanza 50% del espesor del recubrimiento							
6	Columna 1	Av. 12 de Abril	18	11	50	Carbonatación alcanza 36% del espesor del recubrimiento							
7	Columna 2	Av. 3 de Nov	22	50	50	Carbonatación alcanza 44% del espesor del recubrimiento							
8	Arco 1	Av. 12 de Abril	22	9	50	Carbonatación alcanza 44% del espesor del recubrimiento							
9	Arco 2	Av. 3 de Nov	21	9	50	Carbonatación alcanza 42% del espesor del recubrimiento							



Anexo 18: Plantilla Ensayo de Ultrasonido

UNIVERSIDAD DE CUENCA Facultad de Ingeniería		MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI-DESTRUCTIVOS					CÓDIGO
							END06
INSTITUCIÓN		Universidad de Cuenca			FECHA	HORA	
PROYECTO		Diagnóstico del Puente sobre el Río Tomebamba			16/12/2021	16:00	
UBICACIÓN		Entre Av. 12 de Abril y Av. 3 de Noviembre					
ENSAYO DE ULTRASONIDO - INDIRECTA							
Elemento	N° Ensayo	Ubicación	Tiempo rl (μ s)	Distancia (cm)	Tiempo rc (μ s)	Profundidad fisura (cm)	Observaciones
Viga 1, entre Arcos 1 y 2.	1	Cara superior. A 50 cm del Arco 1.	105,4	5	147,6	7,3	Fisura transversal.
Viga 1, entre Arcos 5 y 6.	2	Cara Av. 12 de Abril. A 7,5 cm de la cara superior.	47,6	2,5	88,9	1,1	Fisura longitudinal.
Viga longitudinal correspondiente al Arco 1.	3	Cara aguas abajo. A la izquierda de la unión con la Columna 2.	102,3	5	141,6	7,5	Fisura transversal.
Columna 2.	4	Cara aguas abajo. Se extiende desde la mitad del elemento.	139,4	5	233	4,1	Fisura longitudinal.



Anexo 19: Plantilla Ensayo de Potencial de corrosión

 UNIVERSIDAD DE CUENCA Facultad de Ingeniería		MANUAL PRÁCTICO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y CONTROL DE LA CONDICIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SEMI-DESTRUCTIVOS				CÓDIGO
						END05
INSTITUCIÓN		Universidad de Cuenca			HORA	FECHA
PROYECTO		Diagnóstico del Puente sobre el Río Tomebamba			10:30	15/12/2021
UBICACIÓN		Entre Av. 12 de Abril y Av. 3 de Noviembre				
ENSAYO DE POTENCIAL DE CORROSIÓN						
Elemento	N° Ensayo	Ubicación	Lectura (V)	Probabilidad corrosión	Condición	Observaciones
Tablero, cara superior. Esquina ubicada en la Av. 12 de Abril, aguas abajo.	1	1	-0,079	10%	Pasiva	-
	2	2	-0,048	10%	Pasiva	-
	3	3	-0,047	10%	Pasiva	-
	4	4	-0,054	10%	Pasiva	-
	5	5	-0,062	10%	Pasiva	-
	6	6	-0,010	10%	Pasiva	-
	7	7	-0,022	10%	Pasiva	-
	8	8	-0,030	10%	Pasiva	-
	9	9	-0,034	10%	Pasiva	-
	10	10	-0,041	10%	Pasiva	-
	11	11	-0,041	10%	Pasiva	-
	12	12	-0,017	10%	Pasiva	-
Viga 4, entre Arcos 5 y 6. Cara superior.	13	1	-0,079	10%	Pasiva	-
	4	2	-0,033	10%	Pasiva	-
	15	3	-0,118	10%	Pasiva	-
	16	4	-0,152	10%	Pasiva	-
	17	5	-0,139	10%	Pasiva	-
	18	6	-0,052	10%	Pasiva	-
	19	7	-0,056	10%	Pasiva	-
	20	8	-0,115	10%	Pasiva	-
21	9	-0,168	10%	Pasiva	-	