



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCION**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**TÉCNICAS Y EQUIPOS EMPLEADOS PARA LA DETECCIÓN DE
PATOLOGÍAS EN MATERIALES QUE CONFORMAN LAS
ESTRUCTURAS**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO CIVIL**

AUTOR: DIEGO ANDRES ACERO DUY

DIRECTOR: ING. MSC. EDUARDO DONEY PALMA ZAMBRANO

CUENCA – ECUADOR

2022

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TÉCNICAS Y EQUIPOS EMPLEADOS PARA LA DETECCIÓN DE
PATOLOGÍAS EN MATERIALES QUE CONFORMAN LAS ESTRUCTURAS

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO CIVIL**

AUTOR: DIEGO ANDRES ACERO DUY

DIRECTOR: ING. MSC. EDUARDO DONEY PALMA ZAMBRANO

CUENCA - ECUADOR

2022

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

Declaratoria de Autoría y Responsabilidad

Diego Andres Acero Duy portador de la cédula de ciudadanía N° **0302734603**. Declaro ser el autor de la obra: **"Técnicas y equipos empleados para la detección de patologías en materiales que conforman las estructuras"**, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, **08 de septiembre de 2022**

F: 
Diego Andres Acero Duy
0302734603

CERTIFICACIÓN

Yo, Ing. M.s.C. Eduardo Palma Zambrano certifico que la presente tesis realizada por el Sr. Diego Andres Acero Duy egresado de la UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN, se desarrolló bajo mi supervisión y tutoría, siendo un trabajo realizado de manera personal bajo el tema **“TÉCNICAS Y EQUIPOS EMPLEADOS PARA LA DETECCIÓN DE PATOLOGÍAS EN MATERIALES QUE CONFORMAN LAS ESTRUCTURAS”**.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad



Ing. M.s.C. Eduardo Palma Zambrano

DIRECTOR

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado salud y vida, permitiéndome cumplir este sueño.

A mis padres Juana y José, que a pesar de la distancia siempre están presente con sus consejos, que a pesar de mis errores nunca han dejado de amarme.

A mi esposa Ruth, por estar siempre a mí lado de forma incondicional, apoyándome en cada momento a seguir adelante y alcanzar esta meta.

A mi hija Isabella, por ser mi fuente de inspiración, dándome la fuerza para seguir adelante.

A mis abuelitos Asencion y Antonio de manera muy especial, por ser mis padres de crianza y todo lo que eso conlleva.

Diego Acero

AGRADECIMIENTO

A Dios por permitirme llegar a este punto de mi vida.

A mis hermanos Daniel y Edgar, por el apoyo brindado en todo este tiempo a pesar de la distancia.

A todos y cada uno de mis familiares gracias por siempre brindarme su apoyo incondicional y han creído en mí siempre.

A la Universidad Católica de Cuenca a todos y cada uno de los docentes de la carrera de Ingeniería Civil que impartieron sus conocimientos y fueron parte de mi formación académica, de manera especial al Ing. Eduardo Palma, director de esta investigación quien con su paciencia y profesionalismo supo orientarme para culminar de la mejor manera este trabajo.

A mis amigos que a lo largo de la vida universitaria compartimos tantos momentos, gracias por brindarme su amistad y cariño, esta etapa de mi vida lo recordare por el resto de mi vida.

Diego Acero

RESUMEN

Dentro del ámbito de la ingeniería civil, el estudio patológico cumple un rol importante en la evaluación de estructuras existentes o en proceso de construcción, por cuanto permite identificar, cualquier anomalía en los materiales que conforman una estructura. Ante esta realidad, resulta fundamental, conocer las técnicas e instrumentos que son utilizados en la ejecución de estos procesos, a fin de garantizar un diagnóstico preciso y confiable.

El objetivo del presente trabajo es: generar una base de datos, con las técnicas y equipos empleados para medir y/o detectar patologías en los materiales como: madera, acero, hormigón, pétreos y cerámicos, que forman parte de una estructura cualquiera. Esta información se adjuntará a un banco de datos macro, obteniendo una herramienta fiable para identificar patologías.

La recolección de información, se desarrolló mediante revisión bibliográfica - documental, proceso que contempló un minucioso análisis, de diferentes fundamentos teóricos en artículos, libros, protocolos y otros documentos científicos, que permitan sustentar la temática de manera concisa; además, se complementó con una recolección de campo mediante visitas técnicas y toma de registros fotográficos, arrojando una serie de datos que fueron debidamente categorizados, organizados y documentados, con la ayuda de la herramienta digital NOTION.

De acuerdo con el estudio realizado, el diagnóstico de patologías en estructuras, puede llevarse a cabo mediante análisis destructivo y no destructivo. El primero, conlleva pruebas que afectan la estructura, pudiendo alterar su funcionamiento y forma original; en cambio el segundo, no implica ningún daño sobre dichas estructuras.

Palabras claves: Base de datos, patologías, técnicas de detección, estructuras, medición

ABSTRACT

In the field of civil engineering, pathological study plays an essential role in the evaluation of existing installations or structures under construction, as it allows the identification of any anomaly in the materials that make up a structure. Given this reality, it is essential to know the techniques and instruments used in executing these processes, to ensure an accurate and reliable diagnosis.

This work aims to generate a database with the techniques and equipment used to measure and/or detect pathologies in materials such as wood, steel, concrete, stone, and ceramic, which are part of any structure. This information will be attached to a macro data bank, providing a reliable tool to identify pathologies.

The collection of information was carried out using a bibliographic-documentary review, a process that included a thorough analysis of different theoretical foundations in articles, books, protocols and other scientific documents that allow us to support the subject matter concisely. It was also complemented with a field collection through technical visits and the taking of photographic records, resulting in a series of data duly categorized, organized, and documented with the help of the digital tool NOTION.

According to the study, the diagnosis of pathologies in structures can be made by employing destructive and non-destructive analysis. The former involves tests that affect the structure and may alter its original shape and function, while the latter does not include any damage to the design.

Keywords: database, pathologies, detection techniques, structures, measurement, detection techniques

ÍNDICE DE CONTENIDOS

-CAPÍTULO I.....	1
1.EL PROBLEMA	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. Formulación del problema	2
1.3. Delimitación del problema.....	3
1.4. Justificación.....	3
1.5. Objetivos	4
1.5.1. General.....	4
1.5.2. Específicos	4
-CAPÍTULO II.....	5
2.MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Las patologías en estructuras de ingeniería civil.....	5
2.1.1 Definición de patología.....	5
2.1.2 Patología estructural.....	5
2.1.3 Causas de las patologías estructurales	6
2.2 Diagnóstico de las patologías en obras civiles.....	7
2.3 Metodología contemplada en el diagnóstico de patologías.....	8
2.3.1 Análisis no destructivo.....	9
2.3.1.1 Métodos de diagnóstico dentro del análisis no destructivo	12
2.3.1.1.1 Tipología constructiva.....	13
2.3.1.1.2 Deformaciones, tensiones y desplazamientos	15
2.3.1.1.3 Medio ambiente.....	17
2.3.2 Análisis destructivo.....	18
2.4 Equipos de detección.....	21
2.4.1 Equipos utilizados en los análisis no destructivos	21
2.4.1.1 Equipos para técnicas Volumétricas	21
2.4.1.2 Equipos para técnicas superficiales	26
2.4.1.3 Equipos para realizar mediciones de deformación	28
2.4.1.4 Equipos para medir tensión.....	29
2.4.1.5 Equipos utilizados en la medición de desplazamientos	33
2.4.1.6 Equipos utilizados en la medición de la aceleración	35
2.4.2 Equipos utilizados en los análisis destructivos	35

2.5	Códigos y normas de referencia	37
2.6	Métodos y equipos aplicados para la detección de patologías en las estructuras de Acero 39	
2.6.1	Patologías en el acero.....	40
2.6.2	Métodos No Destructivos (END).....	41
2.6.2.1	Método de inspección visual detallada	41
2.6.2.2	Método por radiografía industrial	43
2.6.2.3	El método de inspeccionar por ultrasonido.....	44
2.6.2.4	Método de inspección por medio de líquidos penetrantes	44
2.6.2.5	Método de inspección por partículas magnéticas	45
2.6.2.6	Método de inspección mediante galgas extensométricas.....	46
2.6.3	Métodos Destructivos	48
2.6.3.1	Ensayo de tracción en metales	48
2.6.3.2	Ensayo de flexión en metales.....	49
2.7	Métodos y equipos aplicados para la detección de patologías en las estructuras de hormigón	49
2.7.1	Patologías en el hormigón.....	50
2.7.2	Métodos No Destructivos (END).....	51
2.7.2.1	Método de inspección visual detallada	51
2.7.2.2	Método de ultrasonido	53
2.7.2.3	Método de extensometría.....	53
2.7.2.4	Método de Esclerómetro	54
2.7.2.5	Método de resistencia a la penetración.	55
2.7.2.6	Método potencial de media celda	56
2.7.2.7	Ensayo complementario.....	58
2.7.3	Métodos semidestructivos.....	59
2.7.3.1	Inspección mediante ensayo Pull-out.....	59
2.7.3.2	Método de extracción de núcleos.....	60
2.8	Métodos y equipos aplicados para la detección de patologías en las estructuras de madera	61
2.8.1	Patologías en la madera	62
2.8.2	Métodos No Destructivos (END).....	63
2.8.2.1	Método de inspección visual detallada	63
2.8.2.2	Método inspección por ultrasonido.....	64
2.8.2.3	Método de Penetrometría o Pilodyn.....	65

2.8.3	Métodos destructivos	66
2.9	Métodos y equipos aplicados para la detección de patologías en los materiales cerámicos y pétreos	66
2.9.1	Patologías en los materiales pétreos y cerámicos.	67
2.9.2	Métodos No Destructivos (END).....	68
2.9.2.1	Inspección visual detallada	68
2.9.2.2	Método de ultrasonido	69
2.9.2.3	Inspección por Líquidos Penetrantes	70
2.10	Base de datos.....	71
CAPÍTULO III.....		72
3.METODOLOGÍA		72
3.1	Tipo de información	72
3.2	Recolección de información.....	72
3.2.1	Información bibliográfica	73
3.2.2	Información de campo	73
3.3	Generación de Base de Datos.....	73
3.3.1	Organización, clasificación y documentación de la información recolectada	73
3.4	Vinculación con otras Bases de Datos	77
CAPÍTULO IV.....		78
4.RESULTADOS GENERADOS		78
4.1	Técnicas y equipos utilizados para la detección de patologías en los diferentes materiales	78
4.2	Presentación de la base de datos generada	83
4.3	Ejemplos de aplicación.....	84
4.3.1	Caso 1.....	84
4.3.2	Caso 2.....	94
4.3.3	Caso 3.....	103
4.3.4	Caso 4.....	110
CAPÍTULO V.....		121
5.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		121
5.1	Conclusiones	121
5.2	Recomendaciones.....	122
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		1
ANEXOS.....		7

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros tomados en cuenta para el primer paso	11
Tabla 2. Parámetros tomados en cuenta para el segundo paso.....	11
Tabla 3. Técnicas para detectar patologías de tipología constructiva.....	13
Tabla 4. Técnicas para detectar patologías superficiales	14
Tabla 5. Métodos para medir deformaciones	15
Tabla 6. Métodos para medir tensión	16
Tabla 7. Métodos para medir desplazamiento.....	16
Tabla 8. Métodos para medir humedad.....	18
Tabla 9. Especificaciones técnicas del detector ultrasónico de fallas	22
Tabla 10. Especificaciones técnicas del medidor ultrasónico de espesores	23
Tabla 11. Especificaciones técnicas del equipo radiográfico fijo	24
Tabla 12. Especificaciones técnicas del equipo de radiografía portátil	25
Tabla 13. Especificaciones técnicas del termógrafo	25
Tabla 14. Especificaciones técnicas del endoscopio.....	26
Tabla 15. Especificaciones técnicas del boroscopio	27
Tabla 16. Factor de corrección por profundidad de carbonatación.....	33
Tabla 17. Características de estación total	34
Tabla 18. Patologías en el acero.....	40
Tabla 19. Patologías en hormigón.....	50
Tabla 20. Patologías en elementos de madera	62
Tabla 21. Patologías en materiales pétreos y cerámicos	67
Tabla 22. Métodos y equipos utilizados para la detección de patologías en el acero	79
Tabla 23. Métodos y equipos utilizados para la detección de patologías en el hormigón.	80
Tabla 24. Métodos y equipos utilizados para la detección de patologías en la madera	81
Tabla 25. Métodos y equipos utilizados para la detección de patologías en los materiales pétreos y cerámicos.	82
Tabla 26. Análisis de la cuantía mínima	89
Tabla 27. Resultado del esclerómetro	89
Tabla 28. Resultados del ensayo de Resistencia a la Compresión de núcleos de concreto	114
Tabla 29. Resultados del ensayo de esclerómetro.....	117

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Origen de las causas del deterioro de las estructuras.....	7
Ilustración 2. Método de dos niveles para la detección de patologías	9
Ilustración 3. Nivel 1 Análisis no destructivo	10
Ilustración 4. Procedimiento del análisis destructivo	19
Ilustración 5. Detector ultrasónico	21
Ilustración 6. Medidor de espesor ultrasónico.....	23
Ilustración 7. Instalaciones fijas de radiografía industrial.....	24
Ilustración 8. Instalaciones móviles de radiografía industrial	24
Ilustración 9. El termógrafo.....	25
Ilustración 10. El endoscopio	26
Ilustración 11. El boroscopio.....	27
Ilustración 12. Kit de líquidos penetrantes	28
Ilustración 13. Partículas magnéticas	28
Ilustración 14. Extensómetro mecánico	29
Ilustración 15. Extensómetro de cuerda vibrante	29
Ilustración 16. Procedimiento para realizar el ensayo de gatos planos	30
Ilustración 17. Gato plano simple.....	31
Ilustración 18. Martillo de rebote	32
Ilustración 19. Factor de forma para el ensayo esclerométrico	32
Ilustración 20. Estación total	33
Ilustración 21. Nivel	34
Ilustración 22. Transductor de desplazamiento inductivo.....	35
Ilustración 23. Acelerómetro.....	35
Ilustración 24. Ensayo a compresión.....	36
Ilustración 25. Equipo de flexión	36
Ilustración 26. Máquina de tracción	36
Ilustración 27. Tipos de medición por ultrasonido.....	53
Ilustración 28. Estructuración de la Base de Datos	74
Ilustración 29. Estructuración de la Base de Datos	76
Ilustración 30. Esquema para el uso de la Base de Datos	83
Ilustración 31. Ubicación del caso de estudio 1	84
Ilustración 32. Vista en planta de la estructura	85
Ilustración 33. Vista frontal de la estructura	85
Ilustración 34. Ubicación del caso de estudio 2	94
Ilustración 35. Caso de estudio 2.....	94
Ilustración 36. Ubicación caso de estudio 3	103
Ilustración 37. Caso de estudio N-4	110
Ilustración 38. Ubicación del caso de estudio	111

-CAPÍTULO I

1. EL PROBLEMA

1.1. INTRODUCCIÓN

La evaluación y tratamiento de los defectos que tiene una obra civil se remonta a épocas tan antiguas como las primeras construcciones humanas, así se tiene conocimiento de las calzadas romanas que unían todo el imperio romano y que anualmente eran motivo de remodelaciones y mantenimiento, de igual forma se hacía con los acueductos que surtían de agua fresca a Roma, ya que de una u otra forma estas estructuras tenían defectos, fallas o deterioro por el paso del tiempo por lo cual fueron reparados o modificados, lo mismo sucedió en el mundo andino, específicamente en la ciudad de Machu Picchu en sus diferentes instalaciones. En la actualidad a este proceso se la conoce como estudio patológico, este término es adoptado de la medicina, que en este caso vendría a ser las enfermedades de las estructuras o de las obras civiles en general (Suárez & Bastián, 2018) .

Las patologías en los materiales que conforman las estructuras civiles son muy frecuentes, pues existe una gran cantidad de causas que provocan dichos defectos, como acciones de tipos mecánicos, biológicos, físicos y/o químicos. Las estructuras por su naturaleza y los materiales con los que son conformados son susceptibles a tener fallas provocadas al momento de su construcción o deterioro luego de puesta en servicio, dichos defectos pueden disminuir notablemente la durabilidad y en algunos casos representa un riesgo a la seguridad de sus ocupantes.

El detectar correctamente las patologías de una estructura puede ayudar a definir actividades que requieran poca o nula intervención y en el peor de los casos dar en desahucio la estructura.

En la presente investigación se tratarán las técnicas y equipos empleados para la detección de las patologías en cuatro materiales que conforman las estructuras, como son: madera, acero, concreto y cerámicos; esta investigación y conjuntamente con LOS TRABAJOS DE TITULACIÓN “GENERACIÓN DE BASE DE DATOS SOBRE PATOLOGÍAS EN ESTRUCTURAS DE ACERO” realizado por Jiménez (2021), “GENERACIÓN DE BASE DE

DATOS SOBRE PATOLOGÍAS EN ESTRUCTURAS DE MADERA” realizado por Portoviejo (2022), “GENERACIÓN DE BASE DE DATOS SOBRE PATOLOGÍAS EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN” realizado por Cordero (2021), y “GENERACIÓN DE BASE DE DATOS SOBRE PATOLOGÍAS EN ESTRUCTURAS DE MATERIALES PÉTREOS Y CERÁMICOS” desarrollado por Illescas (2022), tienen como objetivo la generación del banco de datos macro sobre patologías en las estructuras, que puede servir de base para la identificación de patologías mediante procesamiento de imágenes.

Para el desarrollo del presente trabajo, partiremos planteando una metodología para el diagnóstico de patologías, la cual contempla dos niveles; el primero un *análisis no destructivo* y el segundo un *análisis destructivo*, cada uno de ellos dividida en tres etapas, donde se abordarán superficialmente las técnicas y equipos utilizados para la detección de patologías, utilizando una clasificación general por tipo de lesión que detecta un determinado método. Posteriormente se realiza una clasificación de las patologías por el material afectado mencionados anteriormente, y se dan a conocer los métodos como también los equipos utilizados para detectar dichas anomalías de una forma más detallada que en apartados anteriores.

1.2. Formulación del problema

La Ingeniería Civil tiene un campo de aplicación muy amplio y es históricamente una de las disciplinas más antiguas dedicadas al diseño, construcción y monitoreo de estructuras, cuando en dichos procesos se presentan escenarios que son síntomas de un problema (patología), la ingeniería empieza a tener un rol más protagónico para solventar dichos problemas, las patologías en los materiales de construcción suelen presentarse con mucha frecuencia, ya que existen gran variedad de factores que los provocan.

Los estudios patológicos se utilizan con frecuencia en dos casos principales: primero para evaluar situaciones durante la construcción y la segunda, en estructuras existentes. En todo caso, este proceso radica su importancia en conocer los factores que provocan procesos patológicos en los diferentes materiales que conforman una estructura, con el objeto de escoger el o los apropiados

equipos y métodos para detectar fallas en los elementos de una edificación, procediendo de inmediato a solventarlos en caso de ser posible. Detectar correctamente una patología es de suma importancia ya que de ello depende el éxito de los procesos de rehabilitación.

1.3. Delimitación del problema

La presente investigación se limita en dar a conocer las técnicas y equipos utilizados para la detección de patologías en las estructuras elaboradas con materiales de hormigón, acero, madera, materiales pétreos y cerámicos. Para la intervención de inmuebles patrimoniales, la NEC-SE-RE, establece los lineamientos mínimos que deberá cumplir un proyecto de rehabilitación estructural, estos lineamientos deben cumplir con lo estipulado en la norma chilena NCh 3352: 2013, en lo que sea aplicable a nuestro País (NEC.2015, 2016).

1.4. Justificación

La ingeniería civil posee diversos campos de acción que van desde el diseño de una estructura hasta la materialización de la misma y el posterior monitoreo en el ciclo de vida de una edificación, en dicho proceso ocurren defectos en las obras civiles tales como errores en el proceso constructivo, baja calidad de los materiales, y la agresión ambiental entre otras causas. Por lo que se hace inminente la generación de un plan de diagnóstico para corregir estos fallos estructurales y de los materiales de construcción.

La presente investigación se enfocará en estudiar las diferentes técnicas y equipos utilizados para la detección de patologías en los diferentes materiales con los que puede estar elaborada una estructura.

Los equipos necesarios para la detección de patologías son muy variados como las causas que generan dichos defectos, por ello es importante caracterizar los equipos utilizados para las diferentes patologías de cada uno de los materiales en estudio.

1.5. Objetivos

1.5.1. General

Generar una base de datos con las técnicas y equipos empleados para medir y/o detectar patologías en los materiales como: madera, acero, hormigón, pétreos y cerámicos, que pueden formar parte de una estructura.

1.5.2. Específicos

- Determinar las técnicas y equipos utilizados para detectar patologías en los materiales que conforman una estructura.
- Determinar un proceso que ayude a la recolección de información sobre las técnicas y equipos, para posteriormente organizarla, clasificarla y compilarla en una base de datos.
- Recolectar información complementaria en campo y adjuntar casos de estudio para mostrar las técnicas y equipos que pueden ser utilizados.

-CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Las patologías en estructuras de ingeniería civil

2.1.1 Definición de patología

En el ámbito de la ingeniería civil, se refiere al estudio de las diferentes fallas o deterioros que puede presentar cualquier infraestructura, durante su proceso de edificación o después de haberla puesto al servicio pretendido desde un principio. Este proceso se lleva a cabo de manera ordenada, lógica y secuencial, con el objetivo de determinar las causas, consecuencias y posibles procedimientos que permitan dar solución a los defectos o deficiencias encontradas en una obra de carácter civil (Serrano, 2020).

Por consiguiente, el estudio patológico como parte de la ingeniería civil, contempla un análisis desarrollado de manera metódica y consecuente de los diferentes elementos que hacen parte de una estructura determinada, al momento de que presentara alguna falla o deterioro que incidan en su seguridad, a consecuencia de diversos factores presentes en el entorno interno o externo de la edificación (Andrade, 2020).

2.1.2 Patología estructural

La patología estructural es referida como un proceso científico, valido y efectivo, que permite determinar las enfermedades que pueden presentar las estructuras que conforman cualquier edificación, contemplando el análisis de sus causas y respectivos síntomas. En este sentido, aborda el análisis de la manera en que se comporta una estructura, al momento que deje entrever ciertas fallas, con la finalidad de identificar las razones de dichas condiciones, en base lo cual, se propongan las medidas de corrección oportuna o la demolición general (Avendaño & Londoño, 2017).

Es el estudio de las enfermedades como procesos anormales de causas conocidas o desconocidas. Para probar la existencia de una enfermedad, se examina la existencia de una lesión en los elementos estructurales. Se entiende, entonces, por patología estructural como el estudio del comportamiento de las estructuras cuando presentan evidencias de fallas, buscando detectar sus causas y proponer acciones correctivas en caso de ser posible (Alzate, 2017)

Finalmente, la detección de estas patologías, contempla un proceso metódico, que empieza con la observación directa de la estructura en abordaje, con la finalidad de determinar los diferentes daños o lesiones que pudiera presentar, definiendo a la par, las posibles causas que han incidido en su respectiva aparición. En este hecho, se puede recurrir al desarrollo de ensayos de laboratorio, donde se recolecte las muestras necesarias para realizar estudios complementarios y proceder con la elaboración de un informe final (Toirac, 2018).

2.1.3 Causas de las patologías estructurales

En la actualidad, se ha podido identificar un sin número de patologías, que pueden presentarse en cualquier edificación a corto, mediano o largo plazo, estas condiciones son nocivas para una estructura civil, dejando entrever características y causas únicas, por ello, a pesar de los notables avances en la ciencia y la tecnología, el hecho de predecir su aparición con certeza y fiabilidad, es algo difícil de concretar; no obstante, varios expertos concuerdan que los procesos de origen químico, mecánico y físico, son los principales aspectos causantes de las patologías (López & Gutiérrez, 2018).

- a. **Químicas.** – contemplan una serie de daños producidos por las reacciones químicas que tienen lugar, entre los diversos elementos químicos que conforman los componentes que hacen parte de una construcción y los agentes atmosféricos, sumado al accionar de los organismos vivos y los efectos propios de los contaminantes, tal es el caso de la oxidación, carbonatación y corrosión (Peirén, 2017).

- b. **Mecánicas.** - son todas las lesiones que derivan de cualquier intervención mecánica, que causen esfuerzos internos en los diferentes componentes que hacen parte de una estructura; tales como fisuras, grietas, deformaciones, entre otras (Peirén, 2017).
- c. **Físicas.** – son aquellas fallas ocasionadas por el accionar de elementos externos como el agua, el viento, la erosión e inclusive, la carencia de mantenimiento sobre la construcción; dando paso a situaciones como humedades, suciedad o fisuras en las estructuras (Peirén, 2017).

Las patologías pueden aparecer también por defectos que son características intrínsecas de la estructura tales como un mal diseño, una construcción mal elaborada, materiales de mala calidad o defectuosos, incumplimiento de la normativa y por falta de mantenimiento de la edificación. Estas causantes se pueden evidenciar en la siguiente ilustración (Figuroa & Palacio, 2018).

Ilustración 1 Origen de las causas del deterioro de las estructuras.



Fuente: (Figuroa & Palacio, 2018)

En la ilustración anterior podemos observar que el mayor porcentaje de causas que provocan patologías en estructuras son por malos procesos constructivos.

2.2 Diagnóstico de las patologías en obras civiles

El diagnóstico de patologías, aborda en primer lugar, el desarrollo de una *inspección preliminar*, proceso enfocado en analizar la geometría del diseño de la infraestructura, los materiales que son empleados en su desarrollo y el registro de las fallas que hayan sido detectados,

con el objetivo de tener una perspectiva clara y detallada de la realidad que contempla la construcción (Echeverri, 2021).

Durante el desarrollo del diagnóstico, es fundamental recolectar toda la información existente en torno al proyecto, poniendo énfasis en los datos que derivan del diseño de la obra, los planos de la estructura e inclusive ciertos informes de calidad o inspecciones de la construcción, historial de intervenciones anteriores, para posterior a ello, contrastarlos con la realidad de la edificación (Avendaño & Londoño, 2017).

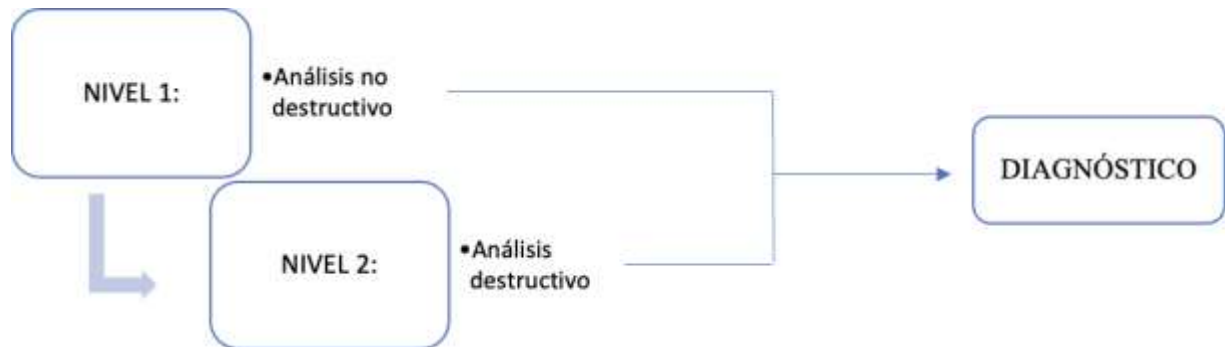
En base a esta información, se procedería a realizar un plan de inspección y ensayos pertinentes, donde se contemple una serie de acciones y/o procedimientos que ayuden a definir la estructura conforme al diseño original y conservarla en la medida que sea posible. Además, en esta etapa se puede realizar mediciones sencillas, como desniveles, presencia de fisuras y desplomes (Echeverri, 2021).

La inspección preliminar, no arroja información precisa sobre la situación de la estructura, más bien nos brinda una mejor perspectiva de los daños que tiene dicha edificación ya sea en fase de construcción o ya esté en servicio, por lo que posterior al paso preliminar se debe realizar un estudio más detallado para conocer anomalías que pudiera poner en jaque la obra civil a corto, mediano o largo plazo (Begoña, 2018).

2.3 Metodología contemplada en el diagnóstico de patologías

Una vez realizada la inspección preliminar, es necesario proceder con estudios más detallados, para lo cual la metodología utilizada contempla dos niveles para llevar a cabo el diagnóstico de patologías en una estructura, en cada uno de ellos, se contempla tres etapas, cuyo desarrollo tiene lugar de manera ordenada y secuencial, por cuanto, la información que se obtenga en una fase anterior, es necesaria para afrontar la venidera, hasta concretar un diagnóstico certero y fiable (Begoña, 2018).

Ilustración 2 Método de dos niveles para la detección de patologías



Fuente: por el Autor (2022)

El método para el diagnóstico de patologías considera dos niveles de desarrollo: en primer lugar, se encuentra el denominado *Análisis no destructivo*; y, por otro lado, está el *Análisis destructivo*.

2.3.1 Análisis no destructivo

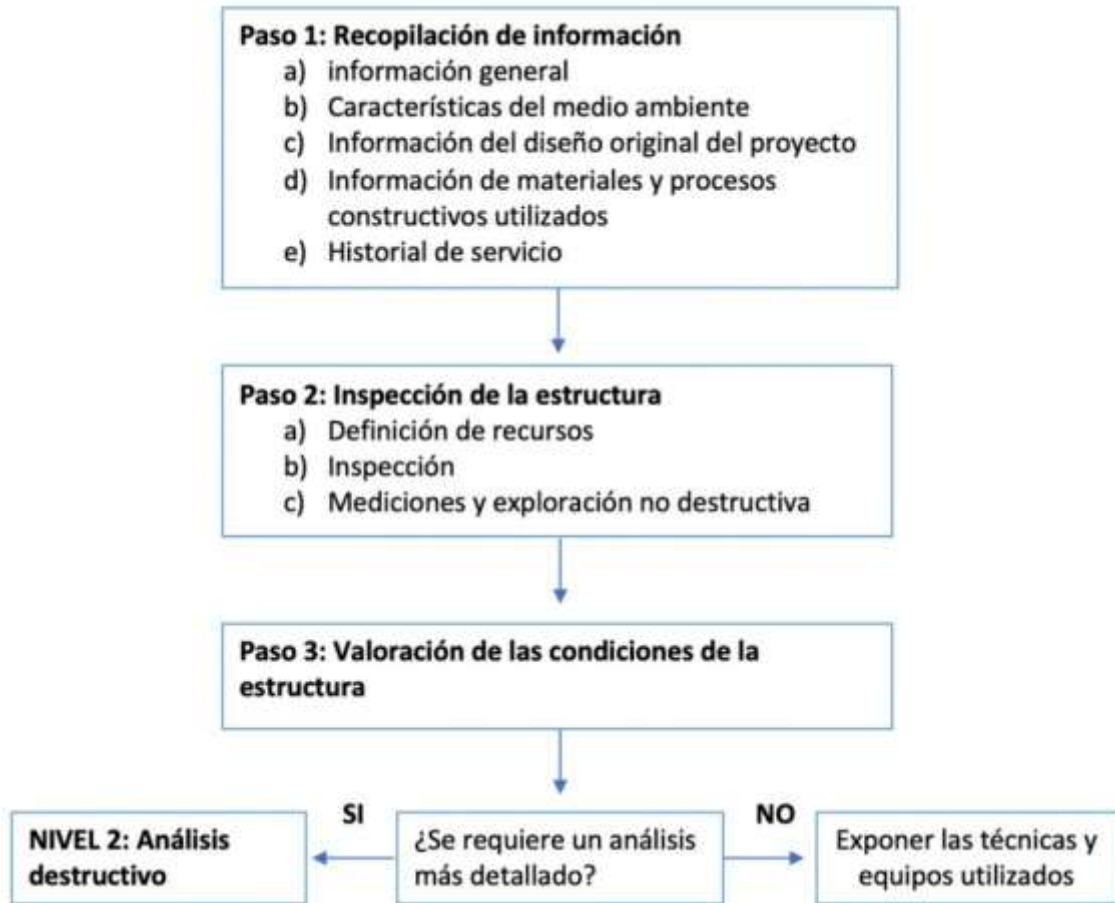
Este tipo de análisis, contempla un procedimiento que no produce ningún daño o desgaste, sobre el elemento que se halla en estudio, por cuanto, su desarrollo, se basa en los resultados obtenidos, tras aplicar diferentes pruebas y ensayos insitu de la categoría no destructiva. No obstante, gran parte de estos estudios, necesitan que la muestra sea preparada de manera minuciosa, con excesivos índices de limpieza, lo que ha incidido para que su aplicación no sea factible en servicio (Ferrer & Payares, 2021).

En caso de que este análisis no evidencie información certera, que permita determinar la presencia o ausencia de alguna patología en una obra civil, se procederá con el desarrollo de pruebas destructivas, sin embargo, hay que recalcar, que casi todos los abordajes llevados a cabo en el primer nivel, permiten concretar de manera efectiva, el diagnóstico pretendido.

En el desarrollo del análisis no destructivo, se considera los siguientes pasos: recopilación de información; inspección de la estructura y valoración de las condiciones en las que se encuentra la misma (Chávez & Álvarez, 2018).

A continuación, se detalla las diferentes actividades o detalles que son contemplados en cada uno de ellos:

Ilustración 3. Nivel 1 Análisis no destructivo



Fuente: Detección, Tratamiento y Prevención de Patologías en sistemas de concreto estructural utilizados en infraestructuras industrial (Avendaño & Londoño, 2017)

1. Primer paso: *Recopilación de información*, se procede a compilar una serie de datos, en relación a aspectos como la *información general de la edificación, características del entorno ambiental, del diseño base del proyecto arquitectónico, de los materiales y procesos de construcción y el respectivo historial de servicio.*

En la siguiente tabla se detallan los parámetros que se deben tomar en cuenta en cada uno de los apartados del primer paso.

Tabla 1. Parámetros tomados en cuenta para el primer paso

Información General	Características del medio ambiente	Información del diseño original del proyecto	Información de los materiales y proceso constructivo utilizado	Historial de servicio
Nombre de la obra	Humedad relativa, presión, régimen de lluvia y viento	Estudios preliminares: geotécnicos, topográficos, hidrológicos (en caso de ser necesario)	Verificar la calidad de los materiales especificados en el diseño y los utilizados en obra	Realizar entrevistas con los encargados de mantenimiento de la obra
Localización de la estructura	Temperaturas extremas	Memoria de cálculo estructural	Revisar las características de los recubrimientos o tratamientos superficiales utilizados	Caracterizar los usos de la estructura
Sistema estructural y de cimientos	Características básicas del agua presente en la región	Planos arquitectónicos, estructurales y electromecánicas	Características del concreto, acero y los aditivos utilizados	Reparaciones, remodelaciones y eventos operativos inesperados y eventos sísmicos
Propietarios	Frecuencia y duración de la exposición a agentes agresivos	Especificaciones constructivas y de materiales	Libro de obra, registro fotográfico, reportes técnicos	Procesos operativos: abrasivos, erosivos, cambios de humedad, temperatura
Fecha de diseño, construcción y puesta en servicio	Tipo de contacto entre los elementos y las sustancias agresivas	Normativa de diseño empleado (en nuestro país NEC)	Modificación de elementos estructurales	Estudios de durabilidad, vulnerabilidad y patología que se hallan realizado con anterioridad

Fuente: (Avenidaño & Londoño, 2017)

- 2. Segundo paso:** *Inspección de la estructura*, se procede a compilar una serie de datos, en relación a aspectos como los recursos *a contemplar en la edificación, el proceso de inspección, y la medición y/o exploración no destructiva.*

Tabla 2. Parámetros tomados en cuenta para el segundo paso

Definición de recursos	Inspección	Medición y exploración No Destructiva
Definir los recursos humanos adecuados para realizar el análisis e inspección in situ; tales como: personal especializado en servicios de topografía, técnicos de laboratorio y manejo de equipo y operadores de maquinaria.	Determinar el requerimiento de permisos especiales y documentos para el ingreso de equipo y la remoción de los elementos mencionados en el punto anterior.	Tipología constructiva
Definir el tipo de equipo a utilizar en la inspección de acuerdo a las condiciones del sitio.	Identificar y ubicar los fenómenos patológicos en los elementos de la estructura como: desplomes, fallas, fisuras, grietas, cambios de aspecto de material, aplastamiento, erosión, descascaramiento, cristalización en las superficies, hinchamiento,	Técnicas para medir Deformaciones

	decoloración, lixiviación, corrosión, pudrición y deterioros biológicos.	
Determinar el periodo de tiempo en el que se puede llevar a cabo el análisis sin provocar interrupciones en la operación o incomodidades a los usuarios del inmueble.	Describir las condiciones de carga que soportan los elementos estructurales. Esto incluye la ubicación de los puntos de transmisión de las cargas gravitacionales, impuestas o vivas, impactos, vibraciones y cargas dinámicas.	Técnicas para medir Tensiones y Desplazamientos

Fuente: (Avendaño & Londoño, 2017)

3. Tercer paso: *Valoración de las condiciones de la estructura*, en este proceso se procede a desarrollar una minuciosa valoración de los siguientes aspectos, para lo cual, es fundamental, considerar la información generada en las etapas previas que fueron abordadas:

Verificar si la edificación del proyecto arquitectónico, se ajusta a los requerimientos estructurales previstos en el diseño de la edificación, lo cual implica determinar:

- Si tiene la capacidad de soportar la carga que conlleva ciertas utilidades.
- Si su desarrollo cumple con las normativas de construcción estructural y de sismo, que se encuentren vigentes en el territorio donde se ejecuta la obra.
- Si las fallencias encontradas, conllevan riesgosos para la estructura.
- Si toda la información obtenida con estas etapas, son suficientes para poder identificar la presencia de alguna patología, en la estructura; caso contrario, resulta es pertinente recurrir a las técnicas utilizadas en el análisis destructivo (Chávez & Álvarez, 2018).

2.3.1.1 Métodos de diagnóstico dentro del análisis no destructivo

Ensayos no destructivos; Son aquellos ensayos que no alteran la forma ni las propiedades de los elementos estudiados, no producen ningún tipo de daño o el daño es prácticamente imperceptible, este tipo de ensayos sirven para estudiar propiedades físicas, químicas o mecánicas de algunos materiales (Ferrovia, 2018).

Bajo esta premisa, en este apartado se dan a conocer a breves rasgos las técnicas no destructivas utilizadas para la detección de anomalías en general en los elementos estudiados. Los ensayos no destructivos pueden medir diferentes tipos de anomalías, entre algunas de ellas tenemos: *de tipología constructiva; las deformaciones, tensiones y desplazamientos; y el medio ambiente* (Avendaño & Londoño, 2017).

2.3.1.1.1 Tipología constructiva

Es un procedimiento que se centra en el análisis minucioso de los problemas constructivos que aparecen en las edificaciones después de su ejecución o en el proceso de construcción, esto abarca todas las imperfecciones, visibles o no, para lo cual, resulta fundamental, desarrollar diferentes ensayos que aporten con información clave, que permita conseguir un diagnóstico confiable y efectivo, de todas las patologías que pudieran encontrarse en la construcción. Para este tipo de patologías se pueden aplicar técnicas de detecciones volumétricas o superficiales.

- a. **Las técnicas volumétricas;** incluyen el uso de georradar, velocidad de propagación de sonido y termografía.

Tabla 3. Técnicas para detectar patologías de tipología constructiva

Georradar	Se basa en la propagación de las ondas electromagnéticas en el rango de las microondas, se aplica para el análisis del estado de pavimentos, puentes, túneles, edificios, etc (Campillo, 2018)
Métodos basados en la velocidad de propagación del sonido	Se basa en un procedimiento, donde se procede a propagar ondas ultrasónicas, que presentan una frecuencia que se encuentra por encima de los 20KHz detectado mediante transductores, la propagación de la misma depende de la anisotropía del material analizado (Campillo, 2018). Según el tipo de transmisión se puede realizar de forma: <i>directa, semidirecta e indirecta.</i>
Termografía por infrarrojos	Es una técnica que se utiliza al momento de realizar cartografías o mapeo de humedades; además, facilita la detección de pérdidas de cohesión (Campillo, 2018).

Elaborado: por el Autor (2022)

- b. *Técnicas superficiales*, contempla el desarrollo de una inspección visual directa o indirecta que se puede realizar con endoscopia o microscopía, tenemos también el método esclerométrico, líquidos penetrantes y el uso de partículas magnéticas.

Tabla 4. Técnicas para detectar patologías superficiales

Método esclerométrico	Se utiliza en el estudio de estructuras de hormigón, siendo aplicado sobre ensayos superficiales de una construcción. En este procedimiento, se procede a golpear en diversos puntos de la superficie del elemento abordado, la cantidad de energía que se recupere en el rebote generado tras el golpe, es percibido como un indicador de la dureza que presente dicho material (Campillo, 2018).
La endoscopia	Es un procedimiento realizado por medio de un endoscopio, que es un tubo de fibras ópticas, que posee en uno de sus extremos, un lente – ocular, y en el otro, una entrada de luz. Este elemento es ingresado al interior de una construcción, para lo cual se procede a realizar un pequeño orificio o identificar alguna grieta sobre la misma (Arqhys, 2019).
Microscopía	Procedimiento utilizado principalmente en la caracterización de materiales analizando propiedades químicas, físicas y funcionales en los materiales
Microsonda electrónica	Es un procedimiento que contempla el análisis químico de las zonas muy reducidas de la muestra.
Método de análisis térmico	Es una técnica antigua, donde se procede a modificar las características físicas y químicas de los minerales de una construcción, aplicándoles cierta intensidad de calor (Campillo, 2018).
Intrusión de mercurio	Procedimiento que permite caracterizar el sistema poroso de los materiales, definiendo el volumen que presentan los poros.
Líquidos penetrantes	Según Campillo (2018), es un procedimiento de notable efectividad dentro de las construcciones civiles, por cuanto permiten detectar cualquier falla superficial que pudiera presentar, un elemento magnético o no magnético, siendo fácil de adaptarlo al tamaño y forma del componente que está siendo analizado.
Partículas magnéticas	Es un procedimiento que se utiliza con la finalidad de identificar las posibles grietas, que se encuentren cercanamente a la superficie de los materiales ferromagnéticos; para lo cual se procede a magnetizar cierta área en abordaje y aplicar partículas ferromagnéticas, hecho que daría paso a la aparición de patrones en las grietas, con patrones de tipo discontinuados (Campillo, 2018).

Elaborado: por el Autor (2022)

2.3.1.1.2 Deformaciones, tensiones y desplazamientos

Las consecuencias que derivan de las cargas puestas de manifiesto con una larga duración, son establecidas por medio de técnicas que presenten características estables a largo plazo, para lo cual se puede utilizar las siguientes técnicas que nos permita medir: deformación, tensión y células de medida.

Medidas de deformación; se utilizan extensómetros de cuerda vibrante, extensómetros mecánicos y bandas extensométricas:

Tabla 5. Métodos para medir deformaciones

Extensómetros de cuerda vibrante	Consisten esencialmente en un alambre delgado sometido a tracción, con sus extremos unidos a dos partes rígidas de la estructura que se estiran electromagnéticamente con la consecuente vibración. Pueden utilizarse en superficie o embebidos en hormigón en el interior del material (Broto & Mostaedi, 2012).
Extensómetros mecánicos	Se basan en la medida de la variación de la longitud sobre una medida base "l". Como estos valores son muy pequeños, estos aparatos llevan dispositivos mecánicos para lograr la amplificación de dicha variación de longitud de base, logrando así la detección precisa por parte del aparato (Broto & Mostaedi, 2012).
Bandas extensométricas	Son toda una serie de transductores de deformación basados en la variación de la resistencia eléctrica de un hilo conductor al ser sometido a una deformación. Existen dos tipos: de hilo o lámina metálica y de semiconductores (Broto & Mostaedi, 2012).

Elaborado: por el Autor (2022)

Medidas de tensión; son utilizadas en estructuras de fábrica, aquellas que se obtengan como resultado de este procedimiento, son referidas como el inicio de la medición; por ello, es fundamental conocer las deformaciones preexistentes, para conseguir una valoración total de la deformación (FLC, 2018).

Tabla 6. Métodos para medir tensión

Célula de medida	Son aplicadas en materiales homogéneos de la construcción, donde se procede a instalar un equipo de bandas de medida, el cual se ubica al interior de la estructura, con la finalidad de registrar alguna deformación; posterior a ello, se procede a extraer un testigo y se realiza la medición respectiva, obteniendo la situación libre de deformaciones (Broto & Mostaedi, 2012).
Gatos planos	Se pueden utilizarse para medir la tensión de una estructura en una zona cercana a la superficie.
Emisión acústica	Permite registrar la energía elástica que deriva de las tensiones internas, a las que se haya expuesto toda la estructura o cierto elemento de la misma (Broto & Mostaedi, 2012).

Elaborado: por el Autor (2022)

Por otro lado, se encuentran las medidas de *desplazamiento*, entre las cuales se encuentran las siguientes:

Tabla 7. Métodos para medir desplazamiento

Colocación de testigos	Sirven para controlar el crecimiento de las grietas, se utiliza morteros de yeso cuando sean localizados en el interior de la obra; y morteros de cemento, cuando vayan a ir en la parte externa. Se colocan sobre fisuras o grietas para determinar si el movimiento del edificio ha cesado o no, comprobando si el testigo se rompe o no al pasar el tiempo (Broto & Mostaedi, 2012).
Aparatos topográficos	Son utilizados con la finalidad de determinar si una estructura, ha sufrido de algún tipo de desplazamiento, con una precisión de 0,01 mm (Broto & Mostaedi, 2012).
Lupas micrométricas	Es un elemento que se utiliza con el objetivo de averiguar cuanto ha variado la anchura de una fisura (Broto & Mostaedi, 2012).
Flexímetros	Son sistemas mecánicos que transforman, amplificándolo, el movimiento de un vástago en el giro de una aguja sobre una escala circular graduada (Broto & Mostaedi, 2012).

Flexígrafo láser	Componente utilizado para realizar mediciones de los movimientos que se pongan de manifiesto de firma vertical y los desplazamientos en una estructura (Broto & Mostaedi, 2012).
Fotogrametría	<p>La fotogrametría es una técnica que utiliza la fotografía para definir con precisión la forma, las dimensiones y la posición de un objeto cualquiera. Entre las ventajas que ofrece este método incipiente están la representación digital completa de cualquier objeto y la obtención objetiva, instantánea, cómoda y económica de la información; por sus ventajas, los investigadores lo han empleado para obtener modelos en 2D y en 3D de zonas arqueológicas y para el estudio de edificios patrimoniales (Orenday, 2019).</p> <p>La virtualización y modelado en 3D aporta una visión global del inmueble y muestra detalles importantes en zonas de difícil acceso. Esta técnica permite obtener información de las patologías, la ubicación, las medidas y las formas desde una perspectiva global o local: su metodología consta de la obtención de información (por fotogrametría terrestre y aérea, escáner láser terrestre y aéreo, drones), el procesamiento de aquella y de los resultados, obteniendo así un gemelo digital del elemento en estudio (Orenday, 2019).</p>
Acelerómetro	Miden las fuerzas de inercia que tienen lugar en un punto de la estructura sometido a aceleraciones. Se han empleado para realizar medidas comparativas de los efectos de distintas cargas sobre una estructura, o del efecto de un tipo de carga en diferentes estructuras (Campillo, 2018).

Elaborado: por el Autor (2022)

2.3.1.1.3 Medio ambiente

El análisis de las condiciones ambientales que se presenta en el entorno de la construcción, es un aspecto fundamental para prever cualquier situación de riesgo que pudiera condicionar el efectivo desarrollo del proyecto de construcción, a corto, mediano o largo plazo. En este sentido, se debe empezar determinando las variaciones de temperatura, presión y humedad al que se encuentran expuestos los materiales que serían utilizados en la edificación (Arenas, 2018).

En lo que concierne a la medición de la humedad que se presenta en los elementos de las estructuras, se puede establecer mediante los siguientes métodos (Humitat , 2021):

Tabla 8. Métodos para medir humedad

Método químico de carburo	Es referido como una técnica de alta efectividad y confiabilidad para medir el grado de humedad que se presenta en una estructura (Humitat , 2021).
Método gravimétrico	Contempla la medición del peso que se pierde en un testigo, posterior a ser calentado bajo una temperatura que oscila entre los 100 – 110 °C (Broto & Mostaedi, 2012).
Método eléctrico	Permiten obtener una medición directa del contenido de humedad existente en una estructura, haciendo uso de medidores de conductividad y de capacitancia (Broto & Mostaedi, 2012).
Higrómetro, termohigrógrafo y termohigrómetro	Son esenciales para la medida de la temperatura del aire, del muro a humedad relativa y la determinación del punto de rocío (Broto & Mostaedi, 2012).
Termómetro con sonda de superficie	Para medir temperatura en las superficies.

Elaborado: por el Autor (2022)

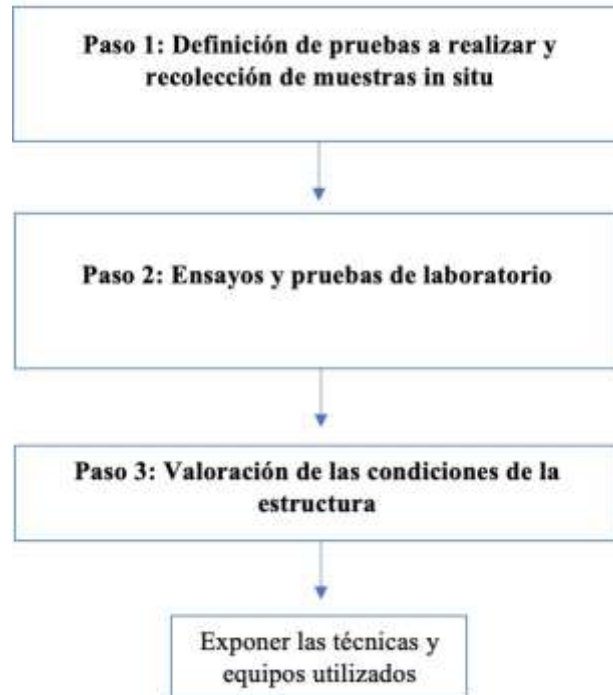
2.3.2 Análisis destructivo

El desarrollo de este análisis, deriva de los resultados que se hayan obtenido en el primer nivel, tras la valoración realizada sobre las condiciones de la estructura.

En caso de que se requiera un informe más detallado y minucioso, se procedería a describir las diferentes características evidenciadas por los mecanismos de deterioro, haciendo uso de distintos métodos de medición y ensayos destructivos, cuya ejecución utilizaría como sustento principal, la información generada en el Nivel 1 (Applus, 2019).

A continuación, se expone el procedimiento a seguir, en caso de que el estudio requiera un análisis destructivo.

Ilustración 4 Procedimiento del análisis destructivo



Fuente: Detección, Tratamiento y Prevención de Patologías en sistemas de concreto estructural utilizados en infraestructuras industrial (Avendaño, 2017)

- 1. Primer paso:** se procede a definir las pruebas que se deben realizar y la manera en que se recolectarían las muestras in situ.

Los puntos de donde se obtenga las respectivas muestras, serán localizados en base a las siguientes características: el patrón de los daños, tamaño de la estructura y la desviación que presentan los resultados obtenidos en los ensayos respectivos.

Además, las muestras de sustancias que se recolecten, deben estar en contacto con los componentes de la estructura, que fueran afectados por algún ataque químico, por cuanto, esto facilitaría el hecho de describir las características físicas y químicas de mayor relevancia.

Extraer muestras para realizar ensayos en laboratorio, dichas pruebas se definen tomando en cuenta el análisis de los ensayos no destructivos (Applus, 2019).

2. Segundo paso: Desarrollo de pruebas de laboratorio y ensayos

Una vez que se haya recolectado las muestras pertinentes, se procede a utilizarlas en los ensayos respectivos, los cuales pueden clasificarse de la siguiente manera:

- *Microscópicos*; contempla un análisis petrográfico del concreto.
- *Biológicos*; contenla el análisis de cultivos microbiológicos.
- *Físicos*; contempla el análisis de la densidad, peso, porosidad y permeabilidad de una estructura.
- *Químicos*; contenido de cemento, de sales de sodio, de potasio, de sulfatos y la difracción de rayos X.
- *Mecánicos*; determinar el nivel de resistencia que presenta la estructura, a fenómenos de comprensión, flexión y tracción (Applus, 2019).

3. Tercer paso: Evaluación de las condiciones de la estructura

Los datos generados tras el desarrollo de las pruebas destructivas y no destructivas, permitirían valorar las condiciones actuales, que presenta la estructura, para ello, se debe considerar los siguientes aspectos:

- El comportamiento evidenciado por la estructura; se atiende las dimensiones y estado de los materiales utilizados en la edificación.
- Las dimensiones y geometría de los componentes estructurales; se procede a realizar una comparación de las secciones críticas, atendiendo al diseño que guía el desarrollo del proyecto estructural (Arqhys, 2019).

Ahora bien, en caso de que el procedimiento realizado, no permite determinar algún deterioro o patología en la estructura, es necesario aplicar un complejo análisis de laboratorio y/o matemático especializado.

2.4 Equipos de detección

En la actualidad, tras el continuo avance de la ciencia y la tecnología, se cuenta con equipos más sofisticados, que facilitan la detección de cualquier patología o anomalía que se encuentre presente, en una estructura determinada, los cuales pueden adecuarse a diversas técnicas y métodos de diagnóstico.

2.4.1 Equipos utilizados en los análisis no destructivos

Los análisis no destructivos, contemplan el desarrollo de una serie de pruebas o técnicas que no generan daños o afectan la posible utilidad del material analizado. Esto permite diagnosticar ciertas fallas, que derivan de condiciones como el desgaste, la corrosión, la fatiga entre otros aspectos (Eliem, 2018).

2.4.1.1 Equipos para técnicas Volumétricas

Detector ultrasónico de fallas; es un equipo potente que permite establecer la localización y detección de fallas como rechupes, inclusiones, porosidades o fisuras en el interior de muestras sólidas, en función del tiempo y de la velocidad con la que el sonido viaja en el material estudiado. El instrumento pesa aproximadamente 1.4 kg que permite usar el detector como un equipo de mesa o de mano, tiene el ajuste de la frecuencia entre 0.5 y 20 MHz. El sistema de inspección consta de las siguientes partes: instrumento ultrasónico, cable axial, transductor y acoplante (PCE Instruments, 2017).



Ilustración 5 Detector ultrasónico
Fuente: (Serrano, 2020)

Entre las principales especificaciones técnicas de este equipo tenemos los siguientes:

Tabla 9. Especificaciones técnicas del detector ultrasónico de fallas

Rango de detección	Velocidad	Modo de trabajo	Error lineal X	Error lineal Y	Temperatura operativa	Clase de protección
0.5 ... 9999 mm en acero	1000 ... 1500 m/s	Simple o dual	≤0.1 %	≤3 %	-10 ... +50 °C	IP54

Fuente: (PCE Instruments, 2017).

No todos los equipos ultrasónicos con iguales, depende de qué tipo de material, o la configuración del elemento con que estamos trabajando, para ello los transductores varían según la propiedad que se requiera registrar. Existen múltiples transductores:

- *Haz recto;* introduce el sonido de manera perpendicular a la pieza de inspección.
- *Haz angular;* introduce el sonido a un ángulo diferente de 90 °, mediante el principio de refracción y conversión de modo para inducir ondas transversales en el material.
- *Línea de retardo;* produce un retardo de tiempo entre la generación de ondas y el regreso de cualquier onda reflejada para mejorar la resolución cercana.
- *Dual;* consta de dos cristales un emisor y un recetor.
- *De inmersión;* como su nombre lo indica, trabajan sumergidas en agua.
- *De altas temperaturas;* ofrecen un trabajo continuo hasta 538 °C, el tiempo de enfriamiento entre las medidas es de solo 1 minuto.

La estandarización o calibración de este equipo está estipulado en la norma ASTM 797.

El medidor de espesor ultrasónico; es un instrumento manual, que puede acoplarse a una serie de transductores de elemento simple y doble, ideal para casi todas las aplicaciones que van desde la medición de espesores finos de tuberías internamente corroídas, mediciones muy precisas de espesores en materiales delgados, o en materiales de múltiples capas (EVIDENT, 2019).



Ilustración 6 Medidor de espesor ultrasónico
Fuente: (Eliem, 2018)

En la siguiente tabla se detallan características principales de este equipo.

Tabla 10. Especificaciones técnicas del medidor ultrasónico de espesores

Rango de detección	Velocidad	Resolución de medida	Peso	Temperatura operativa	Clase de protección
0.080 ... 635 mm en acero	0.508 ... 13.998 mm/ μ s	0.1 ... 0.001 mm	0.814 kg	-10 ... +50 °C	IP67

Fuente: (EVIDENT, 2019)

Los transductores utilizados para este instrumento que sirve para medir espesores, pueden ser:

- *Haz recto;* generan ondas longitudinales a 0 °.
- *Línea de retardo;* genera un retardo mediante un acoplante o un polímero en la superficie de contacto, ideal para apreciar espesores pequeños.
- *Duales;* para espesores muy pequeños necesita una corrección especial.

Este equipo, además de medir el espesor de los elementos, mide también el espesor de los recubrimientos que generalmente son de otro material, al igual que el equipo anterior la calibración está estipulada en la norma ASTM 797.

Equipos de radiografía industrial; son instrumentos que permiten determinar si los elementos presentan alguna discontinuidad interna o externa, que condicione su uso y funcionamiento esperado. Entre estos se encuentran: los de instalación fija y los de instalación móvil (Eliem, 2018).

- *Las instalaciones fijas,* son bunkers que permiten realizar trabajos radiográficos, ejecutados mediante equipos de Gammagrafía y equipos de rayos X, con aceleradores, los resultados se pueden observar en 2D y 3D.

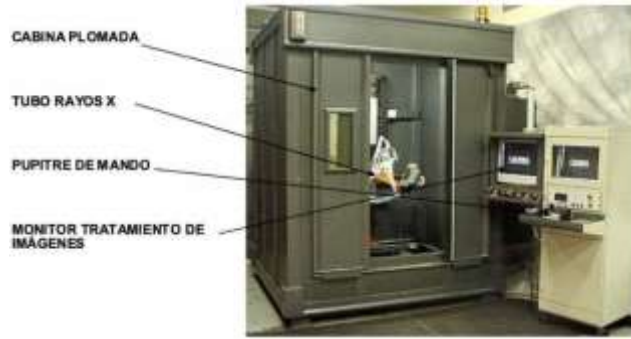


Ilustración 7 Instalaciones fijas de radiografía industrial
Fuente: (Eliem, 2018)

En la siguiente tabla podemos observar las especificaciones técnicas de este equipo.

Tabla 11. Especificaciones técnicas del equipo radiográfico fijo

Dimensiones de la cabina	Rango de inspección	Movimiento del eje X/Y	Movimiento del eje Z	Peso máximo de la muestra	Potencia
2590 mm X 2330 mm X 2336 mm	600 mm de diámetro x 900 mm de alto	Recorrido de 600 mm, 15 m/min	900 mm, 15 m/min	60 kg	208 V/ 220 V/ 230 V

Fuente: (Eliem, 2018)

- *Las instalaciones móviles*, entre las más comunes tenemos: gammagrafía, tubo inserto de rayos X con su unidad de control, los analizadores XRF y XRD conocidos también como espectrómetros. Pueden ser utilizados en cualquier parte que se crea oportuno, respetando los protocolos respectivos que permitan salvaguardar el bienestar del operario y la población que se encuentre en el entorno próximo (EVIDENT, 2019).



Ilustración 8 Instalaciones móviles de radiografía industrial
Fuente: (Eliem, 2018)

En la siguiente tabla se detallan características principales de los equipos para radiografía de instalaciones móviles.

Tabla 12. Especificaciones técnicas del equipo de radiografía portátil

Accesorio	Rango KV	Peso	Rango MAmp	Temperatura operativa	Alimentación	Clase de protección
Tubo inserto de rayos X	15 ... 350 KV	18 kg	0.1 ... 5 mA	Max + 70 °C	180 ... 260 V	SF6 Gas
Unidad de control	-	13 kg	-	-10 ... +50 °C	170 ... 260 V	IP54
Control remoto	1 KV	-	1 ... 10 mA según el cabezal	-10 ... +50 °C	Batería 2.5 A	IP54

Fuente: (TECNITEST, 2020).

El termógrafo; también conocido como cámara térmica, es un instrumento que permite determinar la temperatura que presenta una estructura cualquiera, sin la necesidad de ponerlo en contacto directo, ya que todos los cuerpos emiten cierta cantidad de radiación de cuerpo negro en forma de infrarrojo que varían con la temperatura (Ferrovial , 2018).



Ilustración 9 El termógrafo

Fuente: (Ferrovial , 2018)

A continuación, se detallan las especificaciones técnicas más relevantes de este equipo

Tabla 13. Especificaciones técnicas del termógrafo

Rango de temperatura detectada	Precisión	Sistema de enfoque	Peso	Temperatura operativa	Clase de protección
-20 ... +550 °C	± 2 °C o 2% la mayor de ambas	1 m	2.27 kg	-10 ... +50 °C	IP54

Fuente: (Ferrovial , 2018)

2.4.1.2 Equipos para técnicas superficiales

Entre los instrumentos que pueden ser utilizados para realizar inspecciones visuales directas o indirectas sobre algún elemento o la construcción en su totalidad, se encuentran las que se detalla a continuación:

El endoscopio; es un equipo portátil que permite realizar inspecciones visuales indirectas, es decir, sin la necesidad de desmontar el objeto a analizar, obteniendo imágenes claras de su interior, las cuales pueden ser grabadas en un dispositivo determinado, para posteriormente, analizar de manera minuciosa o detallada los resultados obtenidos.



Ilustración 10 El endoscopio
Fuente: (PCE , 2019)

En la siguiente tabla se detallan características principales de este equipo.

Tabla 14. Especificaciones técnicas del endoscopio

Zoom	Longitud de sonda	Diámetro de sonda	Peso	Temperatura operativa	Clase de protección
Hasta 4 aumentos	1 m	4.5 mm	2.27 kg	-10 ... +50 °C	IP67

Fuente: (PCE , 2019)

Este dispositivo nos permite observar detalladamente el interior de elementos que estén difícilmente accesibles, mediante una cámara, las imágenes que se capturan con este instrumento se pueden analizar de forma sencilla, obteniendo dimensiones exactas e imágenes en 3D de las fallas observadas. Se puede importar documentos de Word con los nombres de las patologías y guardar imágenes con nombre de las patologías encontradas.

El boroscopio; es un equipo que tiene un diseño parecido al de una varilla alargada, que posee una cámara en uno de sus extremos, por ello, es utilizada para realizar inspecciones visuales, en áreas de difícil acceso o tubulares.



Ilustración 11 El boroscopio
Fuente: (Zaragosa, 2020)

En la siguiente tabla podemos observar las especificaciones técnicas de este instrumento.

Tabla 15. Especificaciones técnicas del boroscopio

Longitud de cable	Distancia de visión	Diámetro de sonda	Peso	Temperatura operativa	Clase de protección
1 ... 10 m	1.5 ... 10 cm	5.5 mm	4.25 kg	-0 ... +60 °C	IP67

Fuente: (PCE Instruments, 2017)

Los líquidos penetrantes; es un elemento utilizado para el desarrollo de un ensayo no destructivo, que permite identificar cualquier imperfección que se encuentre sobre la superficie de materiales metálicos, no metálicos y porosos, este ensayo se puede realizar con tintes penetrantes que se pueden observar a simple visto o con tintes penetrantes fluorescentes, para este caso se requiere la mínima presencia de luz y la lámpara uv.

- *Las lámparas uv magnaflux; es un equipo que permite realizar el ensayo referido anteriormente, utilizando líquidos fluorescentes, este equipo debe trabajar por lo menos con 1000 microwatts/cm².*



Ilustración 12 Kit de líquidos penetrantes
Fuente: (Zaragosa, 2020)

Las partículas magnéticas; se utilizan en el desarrollo de ensayos que permiten identificar la presencia de discontinuidades, tanto en la superficie de una pieza, como en sus proximidades, el método se basa en la atracción de un polvo metálico aplicado sobre una superficie hacia las discontinuidades presentes en el elemento ensayado, el equipo de electrodos o el yugo debe tener hasta 2000 A para generar un campo magnético (PCE Instruments, 2017).



Ilustración 13 Partículas magnéticas
Fuente: (PCE Instruments, 2017)

2.4.1.3 Equipos para realizar mediciones de deformación

Extensómetro mecánico; es un sensor que permite establecer el grado de deformación que presenta una probeta, tras someterla a una sollicitación axial. Estos elementos pueden aplicarse en ensayos dinámicos y estáticos, de tracción y compresión, de flexión, de fatiga de alto y bajo ciclo. Tiene un rango de medición de 0 a 3 mm, un recuento mínimo de 0.01 mm, longitud de referencia ajustable desde 30 hasta 120 mm, el instrumento tiene un diámetro de 20 mm (Esquer, 2018).



Ilustración 14 Extensómetro mecánico
Fuente: (Esquer, 2018)

Extensómetro de cuerda vibrante; es un equipo de alta precisión, que permite obtener mediciones fiables en torno a las deformaciones que puede presentarse en el hormigón o cualquier otro material de una estructura, siendo capaz de registrar deslizamiento de hasta un milímetro. La resistencia de la galga va desde 120 ohm hasta 350 ohm dependiendo del modelo, tiene un factor de galga de 1.5 a 2.5, deformaciones de fondo de escala $50,000 \mu\epsilon / 5\%$ (PCE Instruments, 2017).



Ilustración 15 Extensómetro de cuerda vibrante
Fuente: (Esquer, 2018)

2.4.1.4 Equipos para medir tensión

El proceso que conlleva la medición de la tensión en una estructura, puede llevarse a cabo por medio de los ensayos de gatos planos, que consiste en un ensayo no destructivo, de mayor uso y efectividad. Su desarrollo contempla ser aplicado de manera directa e insitu, requiriendo únicamente, el vaciado de una porción de mortero de las juntas. Esta técnica se puede realizar por medio de un gato plano simple o doble.

Gato plano simple; este equipo permite obtener una estimación gradual, del nivel de tensión a nivel de comprensión, que presente un punto cualquiera, dentro de la estructura. Este ensayo está

basado en el principio de liberación parcial de tensiones. Implica la eliminación local de tensiones, seguida de una restitución controlada del nivel de tensiones eliminado. Inicialmente se colocan sobre la estructura unas bases verticales midiéndose la distancia d_i entre puntos por medio de un extensómetro. A continuación, se realiza un corte normal entre los dos puntos mencionados empleando una sierra con disco de diamante. Debido al reajuste tensional, la distancia d existente entre dichos puntos será menor que la inicial: $d < d_i$. Con posterioridad se coloca un gato plano en el corte realizado, conectándose a una bomba hidráulica para, seguidamente, incrementar gradualmente la presión en el gato hasta que se recupera la distancia original existente entre los puntos de medida $d = d_i$ (Lombillo et al., 2017).

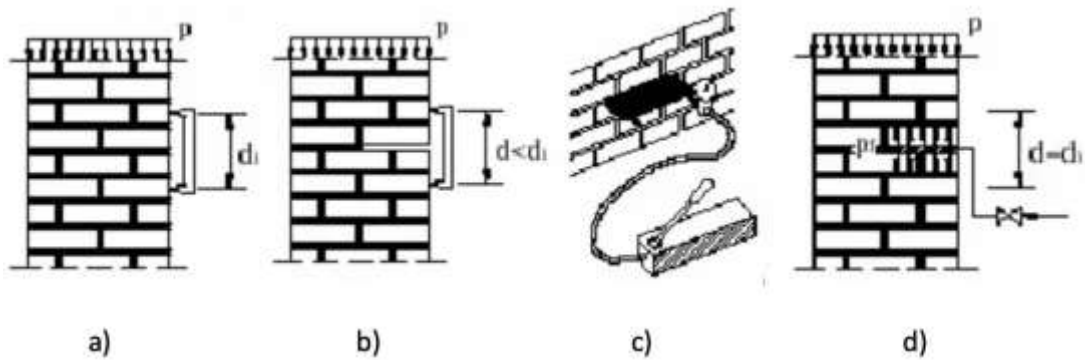


Ilustración 16 Procedimiento para realizar el ensayo de gatos planos
Fuente: (Lombillo et al., 2017)

Dicho estado tensional en un punto de la estructura se calcula según la siguiente expresión:

$$\sigma = p * Km * Ka$$

Donde:

- p : Presión comunicada al gato plano por la bomba hidráulica, en Kp/cm^2 .
- Km : Constante adimensional propia de cada gato plano.
- Ka : Relación entre el área del gato plano y el área media del corte realizado en la estructura ($Ka < 1$).



Ilustración 17 Gato plano simple

Fuente: (IncoSuma , 2018)

Martillo de rebote o esclerómetro; equipo utilizado en el desarrollo de la prueba que se basa en el principio de rebote de una masa elástica, depende del grado de dureza que presenta la superficie de la masa sobre la que se golpea, los factores que influyen en esta medición son las siguientes (PCE Instruments, 2017):

- Tipo de cemento; la finura de molido del cemento puede ocasionar variaciones en torno al 10%.
- Tipo de agregado; depende del tipo de agregado utilizado la cual puede variar el resultado entre 6-7 N/mm².
- Masa del elemento; el área de ensayo debe ser de aproximadamente 30X30 cm, el elemento debe tener un espesor mínimo de 10 cm.
- Edad; hasta los 90 días de edad no existe influencia, a partir de ese tiempo pueden obtenerse valores sobrestimados.
- Carbonatación; con presencia de carbonatación superficial (hasta unos 5 mm) el estudio no muestra errores, en caso de carbonatación profunda podremos sobrestimar la resistencia hasta un 50%.
- Humedad y temperatura; un hormigón húmedo reduce la dureza superficial, el uso del instrumento se limita entre 10 y 35°C.



Ilustración 18 Martillo de rebote
Fuente: (IncoSuma , 2018)

Para determinar la resistencia a compresión (f^c) del hormigón mediante el esclerómetro se debe analizar los resultados obtenidos del esclerómetro; el instrumento nos brinda el índice de rebote que es un valor adimensional que se representa con la letra R o Q. Un factor importante a tener en cuenta es el ángulo con el que colocamos el martillo con respecto a la superficie de contacto para realizar el ensayo; vertical hacia abajo, horizontal, vertical hacia arriba o con cualquier otro ángulo, para ello los fabricante nos brinda una gráfica ANEXO 2, con diferentes curvas para diferentes posiciones, donde podemos relacionar en índice de rebote para obtener la resistencia mecánica, este valor se multiplica por el factor de forma y este sería la respuesta de nuestro ensayo.

Otro factor importante para tener en cuenta es el factor de forma que oscila en valores de 0.8 a 1.2 dependiendo del fabricante del instrumento.

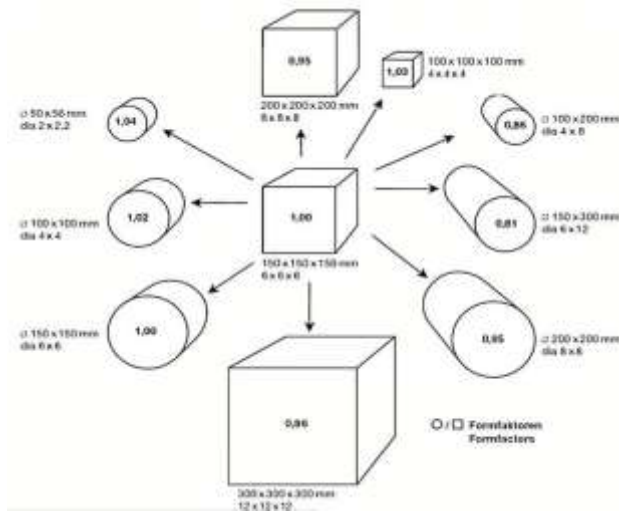


Ilustración 19 Factor de forma para el ensayo esclerométrico

La carbonatación afecta a los resultados obtenidos por este instrumento, por lo que se aplica también un factor de carbonatación esta vez aplicada al factor de forma, mientras más profunda

sea la capa carbonatada mayor reducción presenta a los resultados. Los factores se multiplican a los resultados para no subestimarlos o sobrevalorarlos.

Tabla 16. Factor de corrección por profundidad de carbonatación

Profundidad de carbonatación (cm)	Factor de corrección
0,5	0,97
1,0	0,94
1,5	0,90
2,0	0,87
2,5	0,84
3,0	0,80
3,5	0,78
4,0	0,74
4,5	0,72
5,0	0,68
5,5	0,65
6,0 ó mayor	0,62

2.4.1.5 Equipos utilizados en la medición de desplazamientos

Entre los *aparatos topográficos*, se puede utilizar una estación total, un nivel y el transductor de desplazamiento inductivo.

Estación total; equipo que permite obtener una lectura efectiva de los ángulos y distancias, dejando entrever los posibles desplazamientos que pueden manifestarse en los elementos de la construcción, a más de sus respectivas dimensiones.



Ilustración 20 Estación total
Fuente: (Arqhys, 2019)

En la actualidad existe muchos modelos y marcas dentro el mercado, entre algunas características principales de una de ellas tenemos:

Tabla 17. Características de estación total

Distancia de levantamiento	Precisión	Tiempo de medir	Temperatura de operación	Peso	Protección
Primas: 5000m Hoja reflectante: 1000m No-primas: 1000m	Primas: 2mm + 2ppm Hoja reflectante: 3mm + 2ppm No-primas: 3mm + 2ppm	Prisma bien: 0.3 s Rastreo de prisma: 0.1 s	-20°C a +50°C	5.2 kg	IP55

Fuente: (Arqhys, 2019)

Nivel; es un instrumento utilizado para tener una referencia exacta del plano que guía el desarrollo de una estructura; además, permite diferenciar la elevación entre dos puntos cualquiera. Este instrumento ofrece un aumento de hasta x24 veces, con una precisión ± 2.0 mm en 1km con doble nivelación, tiene un peso con estuche de 1.7 kg, con protección del agua y polvo de IP56 (Arqhys, 2019).



Ilustración 21 Nivel
Fuente: (Arqhys, 2019)

Transductor de desplazamiento inductivo; conocido como transductor de desplazamiento lineal variable, es un instrumento eléctrico utilizado para medir la variación lineal en milímetros o pulgadas, este valor puede ser positivo o negativo. Tiene un rango de disposición desde 2 a 200mm, linealidad de 0.5 % en la versión estándar y 0.25 % o 0.1 % opcional, protección IP65 estándar, IP67 y IP68 opcional (Arqhys, 2019).



Ilustración 22 Transductor de desplazamiento inductivo
Fuente: (Arqhys, 2019)

2.4.1.6 Equipos utilizados en la medición de la aceleración

Acelerómetro; es un componente que permite medir la vibración o el movimiento que presente una estructura cualquiera. Las versiones completas pueden medir la aceleración en una dirección diferente, en los planos X, Y y Z. Rangos de medición del acelerómetro ± 2 , ± 4 , ± 8 g; la temperatura de trabajo es de $-40 \dots +85^\circ\text{C}$ y tiene un peso de 1.84 gramos (Avendaño & Londoño, 2017).



Ilustración 23 Acelerómetro
Fuente: (Avendaño & Londoño, 2017)

2.4.2 Equipos utilizados en los análisis destructivos

Los análisis destructivos, contemplan el desarrollo de una serie de técnicas que pueden generar daño sobre el material analizado, por ello, se debe extraer una muestra de la estructura, la cual sería expuesta a las pruebas pertinentes. Estos ensayos son utilizados para comprobar si las características de los materiales utilizados en la construcción, cumplen con las especificaciones de diseño, que vienen determinadas por ciertas normas u organismos reguladores.

Ensayos a compresión; la máquina de ensayo de materiales hidráulica viene en versiones de 2000 kN, 3000 kN o 5000 kN de capacidad, para ensayos en materiales como hormigón, rocas, bloques, ladrillos, adoquines, madera, entre otros, con la finalidad de determinar su resistencia, la cual debería cumplir con la resistencia de compresión que se encuentra estipulada en los diseños estructurales. Tiene una carrera de pistón de 60 mm y distancia libres entre planos de compresión de 340 mm (Morales, 2019).



Ilustración 24 Ensayo a compresión
Fuente: (Morales, 2019)

Resistencia a la flexión; este ensayo se puede realizar de tres formas, dependiendo de los números de apoyos utilizados en función del material a ensayar, estos son de dos puntos, tres puntos y cuatro puntos, aplicando cargas normales al plano de la viga, hasta que en un momento se produzca la rotura del elemento ensayado, midiendo así la deformación y la carga máxima soportada (Morales, 2019).



Ilustración 25 Equipo de flexión
Fuente: (Morales, 2019)

Resistencia a la tracción; consiste en aplicar un esfuerzo de tracción creciente, sobre la probeta en dirección axial, hasta que se rompa, con el objetivo de establecer sus propiedades mecánicas, tiene una fuerza de tracción que van desde los 330 kN hasta 2500 kN (Morales, 2019).



Ilustración 26 Máquina de tracción
Fuente: (Morales, 2019)

2.5 Códigos y normas de referencia

Los principales códigos y normas de referencia, utilizados para la presente investigación, son las siguientes:

AISC-360; Es una normativa propuesta por el Instituto Americano de Construcción de Acero, que indica la necesidad de desarrollar un plan de garantía, que permita avalar la calidad de la construcción, el cual debe ser diseñado por un fiscalizador. En este documento, se reúnen diferentes recomendaciones, en torno a aspectos como: los productos de acero que van a ser utilizados; la manera en que deben ser construidas las estructuras sismorresistentes; las fórmulas para determinar la mejor relación posible, entre la anchura y el espesor de un producto determinado; el proceso a considerar en la construcción de lozas o azoteas, mediante estructuras diagonales hechas con maderas o vigas; los procesos que permitan concretar sistemas mixtos (concreto – acero), y otras operaciones o especificaciones a contemplar en los acabados (Gómez, 2018).

ASME-V; es una normativa utilizada para diseñar, construir y fiscalizar construcciones de calderas o recipientes elaborados a presión. En este código, se describen los diferentes requerimientos y métodos que deben ser contemplados, al momento de realizar algún ensayo de carácter no destructivo, con el objetivo de identificar cualquier imperfección superficial o fallas internas, así como las soldaduras, los componentes prefabricados y otros materiales utilizados en la construcción (Balkey, 2018).

Esta normativa, contempla los siguientes procedimientos: análisis radiográficos y de ultrasonido, reconocimiento visual directo e indirecto, exámenes sobre las sustancias penetrantes y partículas magnéticas, abordaje de la corriente de Foucault, ensayos que permitan determinar la presencia de alguna fuga y emisión acústica.

AWS 1.1; es una normativa donde se contempla las diversas especificaciones que deben ser consideradas, al momento de ejecutar ciertas técnicas en la construcción de una estructura determinada. En este documento se expone también, las responsabilidades que tiene que cumplir

el inspector, tras el desarrollo de los procedimientos no destructivos, así como los indicadores para que un resultado sea debidamente aceptado (INEN, 2017).

NEC; estas siglas hacen alusión a la Norma Ecuatoriana de la Construcción, la cual fue promovida por el organismo estatal denominado, Subsecretaria de Hábitat y Asentamientos Humanos que hace parte del Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. En esta normativa, se establece un sin número de requerimientos básicos, que garanticen la consecución de una edificación segura y de calidad, para lo cual se debe contemplar, las características de la construcción, el uso que se le espera brindar y los mantenimientos a desarrollar (MIDUVI, 2020).

Los diferentes procedimientos y criterios contemplados en esta normativa, deben ser acatados al pie de la letra, en todo el territorio ecuatoriano, por ello, todo proyecto arquitectónico, llevado a cabo por cualquier profesional u organización que se desenvuelva en el área de la construcción, sean de carácter pública o privada, debe regirse de manera obligatoria, a los distintos parámetros y criterios establecidos en el NEC (MIDUVI, 2020).

NEC-SE-AC; según esta normativa, el desarrollo de cualquier construcción, debe contemplar un plan que garantice la calidad de la edificación, en el cual se tiene que atender diversas especificaciones con relación a las técnicas no destructivas a desarrollar (Viera, 2018).

NEC-SE-RE; esta esta normativa contempla la Rehabilitación y evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de estructuras, los riesgos evaluados incluyen, daños por movimiento del suelo, inestabilidad del terreno, ruptura de la falla y deslizamientos (NEC, 2015).

NTE INEN-ISO; la Norma Técnica Ecuatoriana proporciona detalles de la aplicación de los diferentes métodos ya sean no destructivos como también destructivos.

ASTM; fundada en 1989, la American Society for Testing and Materials es uno de los cuerpos normativos más grandes del mundo, cuenta con un liderazgo sólido en cuanto a la definición de los materiales y métodos de pruebas que es el objetivo de esta investigación.

UNE EN; estas normas son todas aquellas pautas europeas adquiridas al marco español, contiene un rango de aplicación amplio en cuanto a los métodos utilizados para determinar calidad de materiales y detalla los ensayos que se deben tener en cuenta.

ACI 318; el American Concrete Institute, presenta los requisitos para el diseño y la construcción de hormigón estructural que son necesarios para garantizar la salud y la seguridad de las edificaciones (Vivanco, 2021).

2.6 Métodos y equipos aplicados para la detección de patologías en las estructuras de Acero

En este apartado para acoplarse a la base de datos macro, se aborda el tema desde un nuevo punto de vista, mediante la clasificación de las patologías por el material afectado. Para detallar los métodos y equipos utilizados para la detección de patologías en el acero, se expone el resumen de todas las patologías que afectan a este material, dicha información es tomada de la investigación que se lleva a cabo en paralelo, del trabajo de titulación denominado “*Generación de base de datos sobre patologías en estructuras de Acero*” (Jiménez, 2021).

Esta información está clasificada principalmente por el material en estudio y estos por los procesos que generan patologías.

2.6.1 Patologías en el acero.

Tabla 18. Patologías en el acero

Procesos Patológicos Mecánicos

- Deformación por impacto
- Deformación por sobrecarga
- Deformación térmica
- Rotura por fatiga
- Rotura frágil
- Desgarre laminar

Procesos Patológicos Físicos

- Erosión física
- Suciedad

Procesos Patológicos Químicos

- Corrosión por picadura
- Corrosión por tensión
- Corrosión por oxidación previa
- Corrosión por par galvánico
- Corrosión por aireación diferencial
- Corrosión por inmersión
- Erosión química

Procesos Patológicos Constructivos

- Soldadura incorrecta
- Uniones incorrectas
- Montaje no conforme a los planos
- Errores de fabricación
- Malas prácticas constructivas

Fuente: (Jiménez, 2021)

Para la detección de las patologías expuestas en la tabla 18 se aplican diversos métodos cada una con su instrumentación necesaria, las cuales se abordan a continuación.

2.6.2 Métodos No Destructivos (END)

Entre los métodos no destructivos aplicables en la detección de patologías en estructuras de acero tenemos las siguientes:

- Método de inspección visual detallada (VT)
- Método por radiografía industrial (RT)
- Método de inspección por ultrasonido (UT)
- Método de inspección por líquidos penetrantes (PT)
- Método de inspección por partículas magnéticas (PM)
- Método de inspección mediante galgas extensométricas

2.6.2.1 Método de inspección visual detallada

En este método, se procede a inspeccionar de manera minuciosa y detallada, cada uno de los componentes que hacen parte de una construcción, con el objetivo de diferenciar ciertas fallencias o defectos, que pueden ocasionar daños significativos sobre la fachada, cubiertas u otros acabados. La persona encargada de esta inspección, debe tener experiencia en la temática, por cuanto se requiere de ciertas habilidades, destrezas y conocimientos que ayuden a establecer relaciones causa – efecto (Marin, 2018).

Ahora bien, en el caso de las soldaduras, el inspector debe ser un profesional certificado y cualificados por alguna de estas normativas reguladoras como ISO, ASME, ASNT, entre otras.

El desarrollo de esta inspección preliminar, debe considerar los siguientes **pasos**: analizar planos existentes, diferenciar las diferentes partes de la edificación, dividir la inspección en diferentes unidades, y finalmente, registrar en una matriz, todas las muestras de las patologías que se vayan encontrando en la estructura, para realizar la inspección visual de forma ordenada se puede rellenar la ficha del ANEXO 1 (Marin, 2018).

Para la inspección visual directa además de la vista se puede utilizar diferentes equipos como el flexómetro, la lupa, galgas, espejo, equipos topográficos, entre otros instrumentos que faciliten la inspección.

Para la inspección visual remota se pueden realizar con los siguientes equipos:

La inspección visual realizada en base a sistemas endoscópicos; contempla el uso de una pequeña cámara, que permitiría acceder a lugares complejos e inspeccionar de manera remota, todo el panorama de un elemento de la construcción. Los endoscopios pueden dividirse atendiendo a las siguientes características: el diámetro y largo del cable; flexibilidad de la sonda endoscópica; tamaño de almacenamiento; calidad de imágenes; formato de archivos que soporta; conectividad con otros dispositivos y el nivel de asistencia que tiene el equipo (PCE , 2019).

La inspección visual con microscopio USB; en este procedimiento, el inspector procede a utilizar una cámara de inspección, que exhibe las características de cierto elemento de la construcción, en el monitor de una computadora, a una escala superior al panorama original, lo que facilita su análisis respectivo (PCE , 2019).

El dispositivo utilizado en este proceso, a más de tener la facilidad de conectarse mediante USB a un ordenador de mesa o portátil, debe presentar las siguientes características: acercamiento de zoom que llega hasta 800 aumentos; el brillo del Led alto; una resolución que alcanza los 1600x1200 pixeles; disponer de un vasto registro de audio e imágenes, las cuales pueden ser transferidas por USB.

Finalmente, la norma que podemos utilizar para el desarrollo de este método, es la NEC-SE-AC (Marin, 2018).

2.6.2.2 Método por radiografía industrial

Este procedimiento es muy común dentro del sector de la construcción, por cuanto permite diagnosticar cualquier tipo de irregularidad, utilizado también en la comprobación de las soldaduras, diagnóstico de tuberías metálicas que hacen parte de la infraestructura. Además, su uso facilita la identificación de deformaciones en el interior de los metales, los tipos de corrosión que puede experimentar un material en específico y la composición de los mismos (IAEA, 2020).

En el desarrollo de este método, se contempla los rayos X, gammagrafía y la difracción de rayos X, que es una tecnología portátil que permite diferenciar la mineralogía de las incrustaciones producidas por la corrosión (Chaverri, 2018).

Este procedimiento se lo realiza con el objetivo de la verificación de la integridad de estructuras metálicas, para realizar estos ensayos se debe seguir rigurosos controles de seguridad, los equipos que se pueden utilizar son los siguientes:

- ***Sistemas radiográficos de instalación fija***
- ***Sistemas radiográficos de instalación móvil***

Entre las normas y especificaciones que regulan el desarrollo de este procedimiento, se encuentran las siguientes:

- ASME V, Art. 2
- NTE INEN-ISO 11699-1
- ASME I, Caldera
- ASME VIII, Recipientes a Presión
- ASME B31.1, Tubería de alimentación
- ASME B31.3, Tubería petroquímica
- AWS D1.1, Código de soldadura de acero estructural

2.6.2.3 El método de inspeccionar por ultrasonido

El origen de este procedimiento, tuvo lugar en el territorio alemán y data de la década de los treinta, donde se pudo determinar que el ultrasonido, es una tecnología que puede ser utilizada de manera efectiva, en el desarrollo de ensayos no destructivos (Urich, 2018).

La aplicación de esta técnica, empieza con el desarrollo de una minuciosa inspección visual, donde se detalle de manera precisa y fiable, los diámetros promedios y la corrosión, que presente los elementos analizados.

El procedimiento de este método, contempla los siguientes pasos: prender y calibrar el equipo de inspección, realizar la inspección capturar los eco pulsos, extraer y analizar los datos, elaborar y comparar los patrones encontrados, y finalmente, exponer los defectos o falencias encontradas en los elementos analizados (Álvarez et al. 2018).

Entre los equipos que se requiere para el abordaje de este método, denotan los que se detallan a continuación:

- ***El medidor ultrasónico de defectos***

- ***El medidor ultrasónico de espesores***

Las normativas que regulan el desarrollo del análisis por ultrasonido, son las siguientes:

- AWS D1.1
- NTE INEN – ISO 2400
- ASTM G46-95.

2.6.2.4 Método de inspección por medio de líquidos penetrantes

En este procedimiento, se utiliza un líquido especial, el cual es vertido sobre la superficie del elemento analizado, posterior a ello, las propiedades de esta sustancia, le permite penetrar en las

imperfecciones, las cuales serán percibidas como poros o fisuras, luego de limpiar todos los excesos que se hayan podido retener en la pieza (Fuentes, 2020).

En ciertos procesos, se utiliza líquidos penetrantes fluorescentes, lo que permite evidenciar con mayor claridad cualquier imperfección encontrada en la superficie, siendo fundamental que el área de trabajo se encuentre completamente limpia y seca (Fuentes, 2020).

Entre los materiales que se utilizan para el desarrollo de estos ensayos, se encuentran las sustancias de los siguientes tipos: visibles y fluorescentes; las penetrantes que pueden ser eliminadas con agua y aquellas que requieren de disolvente para su eliminación; las reveladoras en seco y húmedas (AeIsA, 2019).

Por otro lado, cuando se utilice alguna sustancia penetrante de carácter fluorescente, se requiere una lámpara UV magna flux.

Las normativas y especificaciones que rigen el desarrollo de este procedimiento son las siguientes:

- ASTM-E165-02
- NTE INEN-ISO 12706
- ASME V, Art. 6
- ASME I y VIII

2.6.2.5 Método de inspección por partículas magnéticas

Este procedimiento es utilizado para diagnosticar cualquier defecto o falencia que se encuentre a nivel superficial o sub superficial, en materiales como el hierro o el acero. Las partículas magnéticas, son vertidas de manera directa en la pieza que hace parte del análisis, dando paso a la magnetización, que permitiría atraer los campos magnéticos de la fuga creados por las discontinuidades (Applus, 2019).

Esta técnica no puede ser utilizada, cuando se proceda a inspecciones materiales no ferrosos, realizadas en base a aluminio, cobre, plomo, titanio, magnesio y aceros inox austeníticos.

Las partículas a utilizar en este método de análisis, están las secas y las húmedas; la primera contempla el uso de polvo seco, material que permite identificar a simple vista, cualquier imperfección que se encuentre en un material de construcción cualquiera.

En el desarrollo de este procedimiento, se utilizan los siguientes equipos e instrumentos:

- ***Yugo electromagnético;*** es un dispositivo portátil que puede crear campos magnéticos, los cuales serían utilizados para detectar indicaciones superficiales, al momento de desarrollar un ensayo con partículas magnéticas.
- ***Entre los agentes reveladores, están:*** las partículas magnéticas método seco, la pintura blanca de contraste, partículas magnéticas no fluorescentes y fluorescentes de método húmedo.
- ***La lámpara de Luz UV;*** permite realizar el ensayo con partículas fluorescentes, poseen una extensión de onda que oscila entre los 320 a 400 milímetros y una onda larga; por lo que la luz que emite, es visiblemente, mínima (Galvez, 2020).

Las normativas y especificaciones que regulan el desarrollo de este método, son las siguientes (Galvez, 2020):

- ISO 9934-3
- ASMEV, Art. 7
- ASME B31.1
- AWS D1.1
- ASTM E709

2.6.2.6 Método de inspección mediante galgas extensométricas

Las galgas extensiométricas, son sensores que permiten medir la magnitud física que posee cierta deformación, el esfuerzo que evidencia la tensión, la comprensión del material, los posibles

desplazamientos, las fuerzas, los momentos, las vibraciones, la temperatura, las aceleraciones, entre otros aspectos que puede presentar un material (Omega , 2021).

El desarrollo de este método, según Omega (2021), contempla dos etapas, en primera instancia, se procede a preparar la superficie, y luego se adhieren las galgas.

a. Preparación de la superficie

- ***Desengrasado;*** se procede a limpiar la superficie en base a un desengrasante, eliminando cualquier resto de pintura, corrosión, óxido o grasa que pudiera encontrarse.
- ***Lijado;*** en base a lijas de grano de 320 y 400, se procede a pulir la superficie, eliminando toda imperfección o protuberancia mecánica.
- ***Marcado;*** finalmente se marca el lugar donde la galga será ubicada, debiendo estar alineada con la fibra neutra de la barra.

b. Adhesión de las galgas

- ***Posicionamiento;*** en primer lugar, se desinfecta las galgas, manejándolas cuidadosamente con pinzas y cristales limpios, para luego posicionarlo en el lugar previamente marcado.
- ***Alineación;*** se procede a pegar una cinta sobre la superficie de aluminio, haciendo que coincida las marcas hechas previamente, procurando que la alineación sea exacta.
- ***Adhesión;*** se procede a colocar gotas del adhesivo en la unión de la cinta con la superficie, y luego se despegó la cinta y se adhiere la galga de manera cuidadosa, con una ligera tensión, manteniendo la alineación respectiva.
- ***Aplicación de presión;*** cuando la galga y los terminales estén pegados de manera correcta, con el dedo se presiona durante un minuto, lo cual favorece a la polimerización del adhesivo.

- ***Retiramiento de la cinta;*** una vez que todo este pegado sobre la superficie, se procede a quitar la cinta adhesiva, de manera lenta, cuidadosa y sin hacer alguna fuerza innecesaria.

Entre los equipos que se utilizan en el desarrollo de este método, están las siguientes:

Las galgas extensométricas utilizadas para la medición de deformaciones, siendo necesario, trabajar de manera conjunta, con ciertos Software y Hardware, que permitan ejecutar los programas necesarios, para analizar los resultados obtenidos. Entre estos se encuentran precisamente el NiLab y el CompactDaQ (Esquer, 2018).

Las galgas extensométricas en sensores de presión; equipo utilizado para realizar mediciones de presiones y vacío.

Los sensores de torque; permiten obtener la medición de la fuerza correcta que se debe aplicar a un tornillo.

2.6.3 Métodos Destructivos

2.6.3.1 Ensayo de tracción en metales

Este ensayo es el más común en el mundo entero, para trabajar con estructuras de metal, permitiendo determinar las propiedades de resistencia y deformación que posee cualquier elemento, por cuanto son aspectos claves para garantizar el efectivo desarrollo de un proyecto de construcción (Zwick, 2020).

Las normas y especificaciones que regulan el desarrollo de este procedimiento, se encuentran las siguientes:

- ISO 6892-1 Método de ensayo a temperatura ambiente
- ISO 6892-2 Método de ensayo a temperatura elevada
- ISO 6892-3 Método de ensayo a temperatura baja

- NTE INEN 109:2009
- EN ISO 6892-1
- ASTM E 8.

La máquina necesaria para realizar este ensayo es: *maquina universal*

2.6.3.2 Ensayo de flexión en metales

El desarrollo de esta prueba, tiene lugar sobre la viga de cualquier material, la cual estaría ubicada entre dos puntos estables, sobre la misma, se aplicaría una carga de flexión hasta el punto de rotura. La normativa que rige el desarrollo de este procedimiento es la ASTM E 290 y la ISO 7438. El equipo fundamental a considerar, es la *máquina de flexión* (IIC, 2020).

2.7 Métodos y equipos aplicados para la detección de patologías en las estructuras de hormigón

Para detallar los métodos y equipos utilizados para la detección de patologías en estructuras de hormigón, se expone una tabla de resumen mostrando todas las patologías que afectan a este material, dicha información es tomada de la investigación que se lleva a cabo en paralelo, del trabajo de titulación denominado “*Generación de base de datos sobre patologías en estructuras de Hormigón*” (Cordero, 2021).

2.7.1 Patologías en el hormigón.

Esta información está clasificada principalmente por el tipo de material y por los procesos que generan patologías, ya sea de tipos mecánicos, físicos o biológicos, químicos y constructivos.

Tabla 19. Patologías en hormigón

<i>Procesos Patológicos Físicos</i>
<ul style="list-style-type: none">• Fisuras Capilares• Fisuras por dilatación y contracción
<i>Procesos Patológicos Físicos de origen Biológico</i>
<ul style="list-style-type: none">• Bacterias• Hongos• Algas, líquenes y musgos
<i>Procesos Patológicos Mecánicos</i>
<ul style="list-style-type: none">• Flechas• Pandeos• Desplomes• Alabeos• Grietas por dilatación y contracción higrotérmica• Grietas por contracción Plástica• Grietas por secado• Grietas por asentamiento diferencial• Fisuras por tracción• Fisuras por flexión• Fisuras por cortante• Fisuras por adherencia• Fisuras por torsión• Fisuras por punzonamiento• Fisuras por compresión• Desprendimientos• Erosiones mecánicas
<i>Procesos Patológicos Químicos</i>
<ul style="list-style-type: none">• Eflorescencias• Aluminosis• Oxidación y corrosión• Carbonatación
<i>Procesos Patológicos Constructivos</i>
<ul style="list-style-type: none">• Coqueras• Junta fría

Fuente: (Cordero, 2021)

Para la detección de las patologías expuestas en la tabla 19 se aplican diversas técnicas cada una con su instrumentación necesaria, las cuales se abordan a continuación.

2.7.2 Métodos No Destructivos (END)

Entre los métodos no destructivos aplicables en la detección de patologías en estructuras de hormigón tenemos las siguientes:

- Método de inspección visual detallada (VT)
- Método de inspección por ultrasonido (UT)
- Método de extensometría
- Método de esclerómetro
- Método de resistencia a la penetración
- Método de potencial de media celda

2.7.2.1 Método de inspección visual detallada

Este procedimiento permite determinar la existencia de ciertas fallencias en las estructuras de hormigón, para lo cual se contempla el siguiente procedimiento, conformado por una serie de acciones, que deben ejecutarse de manera ordenada y secuencial:

- Observar toda la estructura de manera directa y minuciosa.
- Diferenciar los elementos de la estructura, en base al plano del diseño considerada en la construcción.
- Clasificar la edificación en unidades menores de inspección, para facilitar el proceso de observación.
- Establecer las unidades de observación y las zonas donde se podrá realizar las respectivas pruebas o ensayos.
- Diferenciar materiales y los posibles daños, información que deberá estar expuesta en la matriz respectiva.
- Registrar las fallas encontradas, mediante fotografías debidamente anexadas a la matriz respectiva.

Las **normativas** utilizadas para este método son las siguientes:

- ACI (201.1R, 207.3R, 228.1R, 437R)
- ASME V, Art. 9.

Entre los equipos necesarios para el abordaje de este método, se encuentran los que se detallan a continuación:

Distanciómetros; permite determinar la distancia entre dos puntos cualquiera.

Nivel laser; es un instrumento que permite determinar la presencia de una deflexión en la estructura analizada.

Medidores y sonda eléctrica de humedad; son equipos que permiten determinar la presencia de humedad en la estructura analizada.

Fisurómetro plegable o digital; es un instrumento que permite determinar la evolución y posibles desplazamientos, evidenciados por las grietas o juntas de dilatación.

Pachómetro; Es un equipo muy utilizado ya que permite detectar elementos ocultos, tales como tubos metálicos, tubos de PVC con agua en su interior, cables con electricidad y barras de refuerzo como es el caso de hormigón armado. Hay varios modelos, los más sencillos nos informan sobre la posición de la barra y su dirección, y los más sofisticados que nos proporcionan una estimación del diámetro y del recubrimiento de la barra. Es un equipo complementario para realizar un análisis más exacto de una edificación, su rango de alcance es de máximo 150 mm. El equipo debe ser utilizado en superficies sin humedad, el operador debe estar libre de elementos que puedan alterar las lecturas tales como anillos, relojes, pulseras o celulares muy cercanos (PCE Instruments, 2017).

2.7.2.2 Método de ultrasonido

Este procedimiento permite determinar inclusiones, fisuras, profundidad de grietas y otras patologías en las estructuras de hormigón, en base al principio físico pulso-eco, es decir, considerando el tiempo que tarda en atravesar el eco pulso, la estructura de un material analizado.

En este sentido, según la posición de los transductores en el elemento que se pretende analizar, este método puede darse de forma directa, semidirecta e indirecta o superficial.

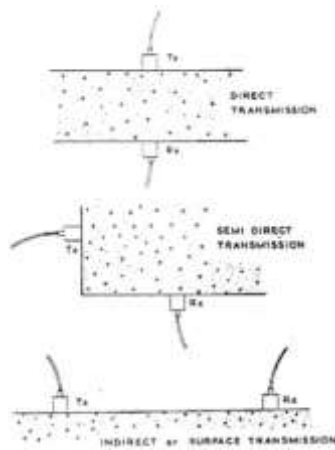


Ilustración 27 Tipos de medición por ultrasonido

Fuente: (Arqhys, 2019)

El desarrollo de este procedimiento contempla las siguientes acciones: preparar la muestra, dejándola estable y libre de suciedad; acto seguido, se procede a medir el espesor de este elemento; prender el equipo y conexasarlo; aplicar la técnica del ultrasonido que estime conveniente; validar resultados obtenidos. Ahora bien, las normativas que regulan el desarrollo de este método, son:

- NTE INEN – ISO 2400
- ASTM C597
- ASTM C1383

Los equipos de podemos utilizar para realizar los ensayos son: *detectores ultrasónicos de defecto* y *detectores de espesor*

2.7.2.3 Método de extensometría

Este procedimiento se lleva a cabo, mediante el uso de una galga extensométrica de lámina, referida como un sensor que permite medir el grado de irregularidad, que presente una deformación, a consecuencia de las fuerzas que haya recibido el elemento analizado; por ello, los sensores son colocados en las barras y embebidas del hormigón, por lo que resulta fundamental, seleccionar galgas compensadas, que reúnan las propiedades necesarias para contrarrestar los efectos producidos por el proceso de dilatación térmica (Tdx Cat , 2018).

A manera general, el desarrollo de este método contempla los siguientes pasos: adecuar la superficie donde se va a colocar las galgas, dejarla limpia y uniforme; preparar el pegado de los sensores, de manera tal, que queden seguras al elemento analizado; comprobar que los cables y conexiones eléctricas se encuentren funcionando de forma pertinente; y finalmente, verificar las resistencias nominales de cada galga.

En lo que concierne a las regulaciones técnicas de este procedimiento, se considera la normativa:

- ASTM E83 Clase B1

Los equipos a utilizar son: *el extensómetro axial convencional y el extensómetro laser.*

2.7.2.4 Método de Esclerómetro

Es una prueba de carácter no destructiva, que permite obtener una estimación exacta, del nivel de resistencia que posee el elemento de hormigón analizado, dentro de la estructura, para lo cual, relaciona la dureza de la superficie, al recibir los rebotes del martillo, abordando un valor que oscila entre 10 a 100 (Vivanco, 2021).

El desarrollo de esta prueba, se utiliza con el objetivo de: identificar las zonas que presentan una baja resistencia; detectar elementos que se pueden desencofrar; exponer aquellos materiales que poseen una calidad resistente, en aquellos casos donde se carezca de información; y facilitar el proceso que conlleva la valoración de las estructuras.

Para llevar a cabo este ensayo se debe eliminar de la superficie cualquier tipo de impureza, se debe pulir la zona de prueba de 5 a 10 mm dependiendo de la edad del concreto, se deben tomar 10 lecturas o puntos para obtener el promedio y eliminar las lecturas muy alejadas, dichos puntos deben estar alejados mínimo 50 mm de las barras de refuerzo como también de los bordes del elemento en estudio y equidistantes 25 mm entre los puntos.

La normativa que regula el desarrollo de este procedimiento es:

- ASTM C805M-13

El equipo principal a considerar en esta prueba, es el *martillo de rebote o esclerómetro*, el cual es una barra de acero, que recibe los impactos de una pieza de acero, impulsado por un resorte (Vivanco, 2021).

2.7.2.5 Método de resistencia a la penetración.

Este procedimiento permite determinar la resistencia que posee el hormigón endurecido, al acto de penetrar una sonda rod o pin aguja, por medio de una pistola mecánica con ciertas características en específico. El desarrollo de este método ayuda a determinar si la estructura es homogénea o presenta zonas en deterioro; estos resultados derivan del nivel de profundidad al que llegue la sonda (Vivanco, 2021).

La normativa que regula el desarrollo de este método es:

- ASTM C803

Para ejecutar esta técnica se plantea el siguiente procedimiento: preparar la superficie de tal manera que quede lisa o uniforme; situar el dispositivo de posicionamiento en la superficie de ensayo; colocar el conductor en este instrumento y disparar la probeta; retirar el dispositivo y golpear de forma ligera la probeta; valorar resultados (Vivanco, 2021).

Los equipos que son utilizados en el desarrollo de este procedimiento son:

La unidad conducida; es el equipo que permitirá direccionar la probeta dentro del elemento de concreto analizado, el cual debe ser utilizado de manera correcta, para prever descargas que alteren el desarrollo del ensayo.

El dispositivo explosivo; elemento que se ajusta a las especificaciones de la normativa ANSI A10.3 y permite concretar el proceso de penetración respectivo.

La probeta; es un cilindro hecho de acero, que cuenta con un robustecimiento que le brinda la protección necesaria, ante la corrosión.

Instrumentos de medición; son elementos que permiten determinar la longitud promedio a la que se encuentran expuestas las probetas, entre ellos se encuentran los calibradores, medidores de espesores y otros dispositivos mecánicos o electrónicos.

2.7.2.6 Método potencial de media celda

Es una prueba que se desarrolla en base a un dispositivo electroquímico, que permite obtener información fiable, sobre la presencia de corrosión, en el acero de refuerzo existente en elementos de concreto reforzado. Además, el desarrollo de este procedimiento, posterior a una inspección visual directa, ayuda también a generar un mapeo probabilístico de aquellas zonas corroídas, dentro de una estructura determinada.

El desarrollo de esta prueba, está regida por la normativa estándar:

- ASTM C876

La norma antes mencionada considera el siguiente procedimiento: Establecer posición y diámetro de las barras de refuerzo; desarrollar grillas de prueba en la superficie del elemento a analizar; en caso de que la superficie este sumamente seca, se debe pre humedecer; realizar las incisiones en el elemento analizado, con el fin de que se pueda conectar la punza a la armadura; conectar los cables respectivos y ejecutar el programa respectivo; sincronizar la Tablet con la

sonda; ejecutar las mediciones pertinentes; validar resultados y sellar las incisiones con un mortero expansivo (Redondo & González, 2018).

Los equipos que se utilizan en la realización de este ensayo son los siguientes (Redondo & González, 2018):

La sonda de medición; instrumento que permite determinar el grado de corrosión existente en el material analizado.

Las pinzas del circuito; instrumento utilizado para conectar el voltímetro a la armadura, lo que permitiría cargar el sistema que se requiere.

Las esponjas de contacto; componente necesario para humedecer la superficie y controlar el nivel de resistencia entre el contacto con la sonda y la superficie del elemento analizado.

La solución de almacenamiento del electrodo; elemento necesario para aumentar la vida útil del electrodo o la sonda utilizada en el procedimiento.

La Tablet y Software; programa que permite procesar la información y generar el mapa de probabilidad donde se expongan las zonas corroídas.

La extensión para la sonda; permiten que el equipo logre alcanzar puntos de difícil acceso.

Este ensayo se complementa con el ensayo de carbonatación que se realiza mediante la aplicación de fenoltaleína y observando el cambio o no de color del elemento en estudio.

2.7.2.7 Ensayo complementario

Ensayo de Penetración Estándar o SPT

Si bien no es un ensayo que se realiza a la estructura en sí, es una técnica importante para complementar la información requerida en la detección correcta de la patología relacionada con las características de suelos y plantear tratamientos adecuados.

El ensayo S.P.T (Standard Penetration Test) consiste básicamente en contar el número de golpes (N) que se necesita para introducir dentro de un estrato de suelo, un toma-muestra de 30 cm de largo, a diferente profundidad (generalmente con variación de metro a metro). La toma-muestra es golpeado bajo energía constante, con una maza en caída libre de 140 lb (33.5 kg) y a una altura de caída de 76.2 cm (30 plg)

Los elementos y las características relevantes del método propuestas por la ASTM son las siguientes:

Cabeza de golpe; es una pieza cilíndrica que el martillo o pesa golpea y a través del cual la energía se transmite a las varillas de perforación.

Malacate de rotación; tambor de rotación o tornillo, alrededor del cual el operador enrolla un cable para subir y dejar caer el martillo.

Varilla o tubo de perforación; son utilizados para transmitir hasta abajo la fuerza y el giro de la broca de perforación.

Martinete; conjunto de equipos consistentes en un martillo o pesa, guía para la caída de éste, cabezote o cualquier sistema que haga caer el martillo.

Guía para la caída del martillo o pesa; sistema que sirve para dirigir la caída del martillo.

Valor de N_{spt} ; es la cuenta del número de golpes que representa la resistencia a la penetración del toma-muestras en el suelo.

Para realizar este ensayo se aplica las siguientes normas:

- ASTM D 1586 Ensayo de Penetración estándar
- Perforación y muestreo ASTM D 1452; ASTM D 1587; ASTM D 4220

2.7.3 Métodos semidestructivos

2.7.3.1 Inspección mediante ensayo *Pull-out*

Es una prueba que permite determinar el nivel de adherencia que se presenta, entre los hormigones que hayan sido utilizados en el desarrollo de una estructura determinada, proceso que se lleva a cabo, atendiendo a las especificaciones establecidas en la normativa ASTM C900 (Dávalos, 2018).

El desarrollo de este ensayo, contempla el siguiente procedimiento: se procede a colocar un dispositivo de metal, en la parte interna del concreto que se encuentre en estado fresco, caso contrario, se lo instala en el material endurecido; posterior a ello, se debe atender a los escenarios que se detalla a continuación:

- Cuando se pretende determinar la medida de resistencia, a la extracción por deslizamiento en sitio, el dispositivo es tirado a través de un pistón hidráulico, que se encuentra apoyado en un anillo de reacción.
- Cuando se quiera determinar la resistencia de extracción por deslizamiento, se procede a medir la fuerza máxima que se necesita, para extraer el dispositivo de la masa de concreto (Dávalos, 2018).

El desarrollo de este procedimiento, está regido por las especificaciones técnicas, expuestas en la normativa:

- ASTM C31
- ASTM C900

Para la ejecución de este método se requiere los siguientes equipos: *el dispositivo de extracción por deslizamiento, el sistema de carga y el sistema de medición de carga*. En el caso de los dispositivos que se encuentren post instalados, se necesitan los instrumentos adicionales que se

detallan a continuación: *una perforadora de núcleos, herramientas que sirvan en la nivelación y preparación de la superficie que ser usada como apoyo, una pulidora y un expansor.*

2.7.3.2 Método de extracción de núcleos

Este procedimiento consiste en obtener los núcleos perforados de concreto, prepararlos y exponerlos a un ensayo que permita determinar la resistencia a la compresión y tracción indirecta que evidencie el elemento analizado.

Este método se lleva cabo, en aquellos casos donde haya alguna duda sobre la calidad del concreto utilizado o se pretenda determinar la resistencia que poseen las estructuras antiguas de una estructura determinada.

Los equipos que se requieren para el desarrollo de este procedimiento son: *un taladro de núcleos, con una broca hueca de borde diamantado*, que permita obtener la muestra respectiva; *una sierra que facilite el corte en forma de vigas*, a un tamaño que facilite su manejo y análisis respectivo.

Los núcleos extraídos deben ser capinados y cortados cumpliendo con la relación diámetro altura que es la siguiente (ASTM C42, 2010):

- Diámetro recomendable es de tres veces el tamaño máximo nominal de agregado grueso.
- Diámetro mínimo es de dos veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso.
- La altura del espécimen debe ser lo más cercano posible al doble de su diámetro.
- Un espécimen que tenga una altura menos de 95% de su diámetro antes del refrentado o una altura menor que su diámetro después del refrentado, no debe ser ensayado.

Para el desarrollo de esta prueba, los pasos referidos se sustentan en la normativa:

- ASTM C42
- ACI 214.4R

- ASTM C642.

2.8 Métodos y equipos aplicados para la detección de patologías en las estructuras de madera

Para detallar los métodos y equipos utilizados para la detección de patologías en estructuras conformadas por madera, se expone inicialmente una tabla de resumen mostrando todas las patologías que afectan a este material, dicha información es tomada de la investigación que se lleva a cabo en paralelo, del trabajo de titulación denominado *“Generación de base de datos sobre patologías en estructuras de Madera”* (Portoviejo, 2022).

2.8.1 Patologías en la madera.

Esta información está clasificada inicialmente por el tipo de material y éste por los procesos que generan patologías.

Tabla 20. Patologías en elementos de madera

Procesos Patológicos Mecánicos

- Rotura de elementos estructurales
- Deformaciones
- Aplastamiento Transversal
- Deformación diferencial

Procesos Patológicos Físicos

- Infección de la madera por insectos xilófagos de ciclo larvario
- Infección de la madera por insectos xilófagos de ciclo larvario
- Agrietamiento
- Aplastamiento Transversal o desintegración de la superficie de apoyo
- Disminución de la sección
- Pudrición blanca, corrosivas fibrosas o deslignificantes
- Envejecimiento de la madera
- Putrefacción
- Ataque Biológico. Microorganismos vegetales
- Infección por hongos cromógenos
- Carbonización superficial
- Hinchazón o esponjamiento
- Infección de la madera por insectos xilófagos marinos
- Pudrición Parda o cúbica
- Pudrición suave o blanda
- Pudrición seca
- Capilaridad

Procesos Patológicos Químicos

- Fotodegradación
- Oxidación o Corrosión de la madera
- Degradación Química

Procesos Patológicos Constructivos

- Defectos de crecimiento
- Defectos de interrelación de los elementos (Uniones)

Fuente: (Portoviejo, 2022)

Para la detección de las patologías expuestas en la tabla 20 se utilizan diversos métodos los cuales necesitan equipos específicos, los cuales se detallan a continuación.

2.8.2 Métodos No Destructivos (END)

Entre los métodos no destructivos aplicables en la detección de patologías en estructuras de madera tenemos las siguientes:

- Método de inspección visual detallada (VT)
- Método por ultrasonido industrial (UT)
- Método de penetrometría o Pilodyn

2.8.2.1 Método de inspección visual detallada

Este método denota por ser el de mayor uso en las estructuras de madera, permitiendo identificar hasta el 80% de fallas que se encuentren en los materiales que hacen parte de una construcción, inclusive, dicho porcentaje puede aumentar en caso de se utilice un equipo que facilite el acceso a zonas difíciles (CiDe, 2020).

El desarrollo de una inspección visual detallada, contempla la realización de un plan donde se prevea las acciones y recursos necesarios, para asegurar que el proceso se lleve a cabo de manera fiable, con un mínimo esfuerzo y tiempo para el inspector que lo lleve a cabo. En este sentido, el procedimiento puede ejecutarse de dos maneras:

- *Directa*; es un escenario donde el inspector y el elemento analizado, se encuentran a una distancia corta, por lo que se aprovecha al máximo la capacidad visual.
- *Indirecta*; se lleva a cabo cuando los elementos que se pretenden analizar, tienen un diseño complejo de acceder para analizarlos de manera pertinente (CiDe, 2020).

El procedimiento que contempla el desarrollo de esta prueba, requiere la participación de un técnico con experiencia que reúna ciertas habilidades teóricas y técnicas que faciliten la

identificación de las degradaciones producidas en la madera estructural, a consecuencia de factores bióticos o abióticos (Reyes, 2018).

Los pasos a considerar son los siguientes:

En primer lugar, se procede a observar una falla o defecto en específico, luego se procede a analizar si es pertinente abordarlo como una anomalía de riesgo, en base al conocimiento del inspector y otras especificaciones expuestas en el diseño de la estructura; finalmente, se valora esta falla y se registra en una matriz, para implementar las acciones pertinentes (Reyes, 2018).

El desarrollo de esta prueba, está regulada por las normativas:

- UNE 56544
- UNE 41805-11
- UNE 41805-14
- NEC-SE-MD 2015.

En lo que concierne a los equipos que se utilizan en **Inspecciones directas** están: flexómetro, lupa, lámpara, linterna, regla, nivel, detectores de humedad, equipo termográfico y resistógrafo. Y en las **Inspecciones indirectas**, se contemplan: videoscopios, vibroscopios, endoscopios flexibles y baroscopios (Reyes, 2018).

2.8.2.2 Método inspección por ultrasonido

Esta prueba permite medir el tiempo de vuelta de una onda de ultrasonido y la velocidad que demora en propagarse por la pieza de madera, información que evidencia la condición del módulo de elasticidad dinámico, la resistencia a la flexión y la vulnerabilidad a posibles ataques de xilófagos, dependiendo el grado de deterioro interno que presente el material analizado (Balmori et al. 2018).

En lo que concierne al procedimiento que conlleva el desarrollo de esta prueba, se contempla los siguientes pasos (Salvatorre, 2018):

- Especificar los componentes que requieren un análisis detallado.
- Calibrar el equipo que se va a utilizar en el análisis de los puntos seleccionados anteriormente.
- Aplicar el gel acoplante y el sensor que permita transmitir el sonido, sin error alguno.
- Tomar las medidas respectivas de 5 a 10 veces, para obtener un promedio de los resultados.
- Realizar el informe de los resultados obtenidos con la inspección, conjuntamente con los gráficos pertinentes, que corroboren con la valoración realizada.

Las normativas que regulan el desarrollo de este procedimiento, son:

- UNE 41805-8
- UNE-EN 17121.

En lo que concierne a los equipos necesarios para este ensayo, se encuentran los siguientes:

Un generador electrónico, un transductor, un acoplador para la transferencia de energía y ondas de sonido, un dispositivo electrónico que permita amplificar y modificar las señales del transductor, un dispositivo de salida, un reloj electrónico o un cronometro.

2.8.2.3 Método de Penetrometría o Pilodyn

El desarrollo de este ensayo, permite medir la densidad y dureza que presentan las estructuras de madera, mediante el uso de un penetrómetro, instrumento que tiene una forma cilíndrica, diseñado en base a metal, alojando en su interior, una especie de muelle que puede ser comprimido de manera manual, hasta que la energía potencial se acumule (Balmori et al. 2018).

Este método puede ser considerado pseudo no destructivo, por cuanto su desarrollo, contempla un pequeño orificio de 2.5 milímetros en la superficie del elemento analizado, y una profundidad que no alcanza los 25 milímetros, en función de la capacidad de resistencia de la madera (Alvarez, 2018).

El desarrollo de esta prueba, contempla el siguiente procedimiento: Cargar la varilla metálica; introducir la baqueta cargadora por el Pilodyn; retirar la baqueta cargadora del interior del aparato;

apretar de manera firme contra la superficie analizada; disparar la varilla sobre la madera; revisar resultados en la leyenda numérica; estimar la densidad y dureza de la madera (Cañas, 2018).

Este procedimiento se encuentra regulado por la normativa:

- UNE-EN 384:2016.

El equipo utilizado en esta prueba, es *el pilodyn*, herramienta de medición local no destructiva.

2.8.3 Métodos destructivos

El desarrollo de estas pruebas, contemplan la rotura de las piezas del material de madera analizada, con el objetivo de determinar las características físico – mecánicas de la misma; para ello se utiliza una maquina universal denominada IberTest, que permite valorar el nivel de resistencia a la flexión, a la tracción y el módulo de la elasticidad, atendiendo a las especificaciones establecidas en las normativas:

- NTE INEN 1158 (1984) Maderas. Selección y colección de muestras.
- NTE INEN 1161 (2013) Madera. Acondicionamiento para ensayos tecnológicos
- NTE INEN 1164 (2013) Madera. Determinación de la contracción
- ASTM D143 Métodos de ensayo estándar para muestras pequeñas de madera.
- ASTM D198 Ensayo de la madera en tamaños ensayos-estructurales.
- ASTM D3043 Métodos de ensayo estándar para paneles estructurales en flexión.
- ASTM D4761 Determinación de las propiedades mecánicas de la madera aserrada y otros materiales estructurales a base de madera.

2.9 Métodos y equipos aplicados para la detección de patologías en los materiales cerámicos y pétreos

Para detallar los métodos y equipos utilizados para la detección de patologías en estructuras construidos con materiales cerámicos y pétreos, se expone primero una tabla de resumen mostrando todas las patologías que afectan estas estructuras, dicha información es tomada de la investigación que se lleva a cabo en paralelo, del trabajo de titulación denominado “*Generación*

de base de datos sobre patologías en estructuras de materiales Pétreos y Cerámicos” (Illescas, 2022)

2.9.1 Patologías en los materiales pétreos y cerámicos.

Esta información se clasifica por medio de los factores o procesos que generan las patologías, como es el caso de procesos mecánicos, físicos-ambientales, químicos y procesos constructivos.

Tabla 21. Patologías en materiales pétreos y cerámicos

Procesos Patológicos Mecánicos

- Deformaciones
- Fisuras y grietas

Procesos Patológicos Físicos-Ambientales

- Erosión
- Expansión por humedad
- Fisuras
- Pátinas de envejecimiento
- Costras y lesiones
- Costras y Depósitos
- Alveolización
- Deformaciones, compuestos orgánicos volátiles, alteraciones
- Descamación
- Alteraciones del material petreo
- Microfisuras y descohesiones
- Pátinas negras

Procesos Patológicos Químicos

- Eflorescencia blanca
- Eflorescencia amarillenta
- Corazón negro
- Corrosión
- Oxidación de sales solubles
- Desplacación
- Costras bióticas

Procesos Patológicos Constructivos

- Efectos del terreno

Fuente: (Illescas, 2022)

Para la detección de las patologías expuestas en la tabla 21 se aplican diversos métodos cada una con su instrumentación necesaria, las cuales se abordan a continuación.

2.9.2 Métodos No Destructivos (END)

Entre los métodos no destructivos aplicables en la detección de patologías en estructuras de materiales pétreos y cerámicos tenemos las siguientes:

- Método de inspección visual detallada (VT)
- Método de inspección por ultrasonido (UT)
- Método de inspección por líquidos penetrantes (PT)

2.9.2.1 Inspección visual detallada

Es un ensayo utilizado para determinar un sin número de características in situ de un material en específico, pudiendo complementarlo con pruebas de laboratorio, a fin de obtener resultados de mayor fiabilidad.

El desarrollo de esta inspección, permite obtener datos concretos en relación a la composición o ciertas fallas que pueden presentarse en los materiales utilizados en una construcción, ya sea que su aparición haya tenido lugar, durante el proceso de edificación o en su vida útil.

Al respecto, en estos materiales se puede realizar inspecciones visuales directas e indirectas, en ambos escenarios se contempla el siguiente procedimiento: Analizar el entorno donde se lleva a cabo la construcción, revisar los planos y características del diseño en desarrollo, localizar los datos observados y registrar posibles fallas en la matriz respectiva, de forma escrita y visual mediante fotografías (Carracedo, 2018).

Las normativas que regulan el desarrollo de este procedimiento son:

- UNE-EN 14411
- NTE INEN 645:2000

- ISO 10545-2-8.

En lo que concierne a la *inspección visual directa*, se necesitan los siguientes equipos: herramientas menores, lámparas o linternas, microscopios, flexómetros, cepillo de acero, cartografías y fisurómetros. Por el contrario, en las *inspecciones visuales indirectas*, se utilizan los que se detallan a continuación: endoscopios rígidos y flexibles, videoscopios, fibroscopios y detectores de humedad (Carracedo, 2018).

2.9.2.2 Método de ultrasonido

Es un ensayo no destructivo de mayor utilidad, por cuanto permite tener resultados fiables, en relación a las variaciones que presenta la velocidad con la que se propagan las ondas, al momento de pasar por el interior del elemento analizado. Este procedimiento determina la existencia de anisotropías, niveles de alteración y posibles daños causados por otros ensayos que se enfocan en la durabilidad de la estructura (Buitrago, 2019).

Al igual que en los materiales analizados previamente, este método puede ser aplicada de tres maneras: directa, indirecta y semidirecta. En general, este ensayo contempla el siguiente procedimiento: realizar un reconocimiento visual de los puntos que se pretende evaluar; proceder con la preparación de la muestra, medir la distancia existente entre los transductores, verificar conexiones eléctricas del equipo, conectar los transductores, seleccionar la frecuencia requerida para el proceso, aplicar una pequeña cantidad de acoplante en la zona que se va a inspeccionar, colocar el transductor sobre la probeta, ajustar el control de retardo, ajustar las amplitudes, introducir el valor de la distancia recorrida por la onda, valorar e interpretar resultados (Durán, 2018).

La normativa técnica que regula el desarrollo de este procedimiento es:

- ASTM E 494-95

Para llevar a cabo este método se consideran los siguientes equipos:

- *Transductores ultrasónicos*

- *Equipo de ultrasonido*
- *Medio acoplante y oscilante.*

2.9.2.3 Inspección por Líquidos Penetrantes

El desarrollo de esta prueba, permite identificar cualquier discontinuidad que se encuentren en la superficie del material analizado, entre estas fallas se encuentran las grietas, costuras, cierra fríos, contracciones, laminaciones o vueltas. Este ensayo utiliza un líquido penetrante, el cual puede ser visible a simple vista o fluorescente.

Este método contempla el siguiente procedimiento: limpiar y secar la superficie del elemento a analizar, aplicar el líquido penetrante, retirar el exceso de esta sustancia, secar la el área analizada, inspeccionar e interpretar los resultados obtenidos. La normativa que regula el desarrollo de este método, son las siguientes (Hidalgo, 2018):

- ASTM E-165
- ASTM E-1209
- ASTM E-1208
- ASTM E-1219
- ASTM E-1210
- ASTM E-1418
- ASTM E-1220

Los equipos y/o materiales utilizados en este procedimiento son: *los emulsionantes, el líquido penetrante, un solvente removedor, el desarrollador, una lámpara y lentes adecuados para revisar resultados.*

2.10 Base de datos

Las bases de datos son el producto de la necesidad humana de almacenar la información, es decir, preservarla contra el tiempo y el deterioro, para poder acudir a ella posteriormente. La base de datos es la colección o depósito de datos integrados, almacenados en soporte secundario y con redundancia controlada. Los datos, que han de ser compartidos por diferentes usuarios y aplicaciones, deben mantenerse independientes de ellos y su definición (estructura de la BD), única y almacenada junto con los datos, se ha de apoyar en un modelo de datos, el cual ha de permitir captar las interrelaciones y restricciones existentes en el mundo real (Mendoza & López, 2018).

La base de datos es un almacenamiento de datos formalmente definido, controlado centralmente para intentar servir a múltiples y diferentes aplicaciones. La base de datos es una fuente de datos que son compartidos por numerosos usuarios para diversas aplicaciones (Portilla & Bernal , 2017).

En la actualidad gracias al internet acceder a diferentes bases de datos es relativamente sencilla, en el ámbito de la ingeniería civil es frecuente encontrar estas bases de datos que son utilizados para almacenar información como registros, análisis de precios unitarios, etc.

-CAPITULO III

3. METODOLOGÍA

3.1 Tipo de información

Para realizar el presente trabajo se utilizará una investigación de tipo documental y complementada con recolección de información en campo mediante registro fotográfico de las patologías encontradas en ciertas estructuras. La investigación de tipo documental corresponde a toda la información que provendrá de la revisión de artículos científicos, tesis, libros, bibliografías, folletos, etc., es decir cualquier otro material que aporte a este estudio que tenga carácter científico. De esta manera se garantiza que la información expuesta en este documento es validada y respaldada.

Además, se realiza una recolección de información en campo, que nos permite respaldar la información de la investigación documental, en otras palabras, obtener datos de fuentes primarias, esto es importante para el presente trabajo ya que pueden ser respaldadas y complementadas con la investigación documental.

La información expuesta en el capítulo anterior, es importante para conocer las principales patologías que afectan a los distintos materiales en estudio como son: acero, hormigón, madera, cerámicos y pétreos. Con esa base, partimos analizando los diferentes métodos que existen para la detección de enfermedades en estructuras, los equipos utilizados y normativas utilizadas.

Para la presentación de la información recolectada ya sea documental o de campo, se utiliza la plataforma de NOTION que permite ordenar la información de una forma sencilla y rápida mediante la formación de una base de datos clasificada por los distintos materiales.

3.2 Recolección de información

La recolección de información necesaria para este trabajo se realizó de dos formas que se detallan a continuación:

3.2.1 Información bibliográfica

La recolección de información bibliográfica se lo realizo mediante búsqueda en línea, en libros, monografías, tesis, portales digitales, revistas o cualquier otro documento estrictamente de carácter científico que ofrezca información acerca de los métodos y equipos utilizados para la detección de patologías en las estructuras. Mediante el uso de estos documentos se garantiza que la información expuesta sea verídica y confiable.

Esto es importante para el análisis complementario en campo, ya que nos brinda un entorno más claro acerca de los métodos que se pueden utilizar para detectar una patología en particular.

3.2.2 Información de campo

Posterior a la investigación bibliográfica, se procedió a realizar la recolección de información de campo que se llevará a cabo mediante la visita técnica a diferentes edificaciones, donde se precederá a la búsqueda de patologías, para analizar los métodos aplicables que servirán para detectar esas patologías correctamente, conjuntamente con la técnica se detallarán los equipos a utilizar, se toma registros fotográficos, para complementar la información recolectada.

3.3 Generación de Base de Datos

3.3.1 Organización, clasificación y documentación de la información recolectada.

Posterior a la revisión bibliográfica como también la recolección de información de campo se procedió a organizar y clasificar, para este proceso se utilizó la plataforma privada NOTION que es un organizador de tarea de multiplataforma, con las diversas opciones que nos brinda este espacio de trabajo, se procedió a la creación de una base de datos de patologías en estructuras, que serán una mezcla de tipo jerárquico y relacional, la cual tendrá como conformación principal las tablas de registro. Los registros tienen un dominio alfanumérico y en algunos casos especiales reciben imágenes.

En la parte de atributos de la base de datos macro, se complementará la información recolectada en la presente investigación que son las técnicas de reconocimiento y también las de equipo utilizados, para cada patología descrita por las investigaciones llevadas a la par de este trabajo. En banco de datos macro tiene la siguiente distribución:

BASE DE DATOS DE PATOLOGÍAS

Patología	Descripción	Características...	Etiqueta	Referencia
A.1- Corrosión por picadura	Se produce cuando la capa protectora de óxido de la superficie del acero inoxidable se rompe, permitiendo que el metal se haga susceptible a la pérdida de electrones.	<ul style="list-style-type: none"> *Pequeñas cavidades *Picaduras *Lágrimas de óxido *Pérdida de color *Puntos de óxido 	Acero	<ul style="list-style-type: none"> *Artículo 1 "Detección de la corrosión por picadura en aceros inoxidables empleando ultrasonidos" By: Rodríguez Cristina. *Artículo 2 "Influencia de la composición química en la resistencia a la corrosión por picadura de los aceros inoxidables" By: Otero, E., Utrilla, M. V., Ureña, A., & Muñes, C. J. (2004)

Ilustración 28. Estructuración de la Base de Datos

- **Patología**

En este primer campo se encuentra el nombre de cada patología, clasificado en función al material, y designada con la letra inicial de dicho material:

A -Patologías en acero

H -Patologías en el hormigón

M- Patologías en la madera

C – Patologías en los cerámicos y pétreos

- ***Descripción***

En la siguiente columna se describe de forma resumida el origen y comportamiento de cada patología.

- ***Características principales***

En este campo se detallan aspectos principales que distinguen a cada patología, muchas patologías pueden tener características similares, pero hay siempre un factor distintivo.

- ***Etiqueta***

En esta columna se menciona el material al que pertenece.

- ***Referencia***

En el siguiente campo se detalla la referencia bibliográfica, la cual sirve para indagar información base de la patología en mención.

- ***Imágenes***

En la siguiente columna se encuentra el link que dirigirá al usuario a la base de datos fotográficos, para observar los principales rasgos de las patologías.

- ***Enlaces de referencia***

Esta columna contiene la misma referencia bibliográfica en formato BibTex, que es un método de búsqueda de la información en línea.

Equipo de medición	Técnica para reconocimiento	Tratamiento
Ultrasonido automático	Inspección por ultrasonido	Existen algunos tratamientos para combatir la corrosión en elementos estructurales, los cuales se pueden encontrar en el siguiente documento Tratamientos anticorrosivos
Visual	Inspección visual detallada	

Ilustración 29. Estructuración de la Base de Datos

- ***Tratamiento***

En este campo se menciona los tratamientos que se pueden realizar para contrarrestar el proceso patológico en caso de ser posible. En el cual también se añade documentos bibliográficos para revisión más detallada.

- ***Equipo de medición***

En este campo se detallarán los equipos necesarios para la detección de patologías, esta información va conjuntamente a la técnica utilizada.

- ***Técnica para reconocimiento***

En esta columna se detalla la técnica que se utiliza para el reconocimiento de la patología, que se llevó a cabo en la presente investigación.

Con el fin de dar cumplimiento al objetivo planteado en esta investigación, los campos que se completaran en la base de datos son netamente de Equipos y técnicas utilizados para el reconocimiento de cada una de las patologías, que se dividen por el material afectado.

3.4 Vinculación con otras Bases de Datos

La base de datos generada en la presente investigación, sobre las técnicas y equipos utilizados para la detección de patologías en los diferentes materiales, forma parte de un estudio más detallado y profundo, que conforman un banco de datos macro, conjuntamente con las investigaciones que se detallan a continuación: la Generación de base de datos sobre patologías en estructuras de Acero (Jiménez, 2021); de la misma manera, la Generación de base de datos sobre patologías en estructuras de Hormigón (Cordero, 2021); la Generación de base de datos sobre patologías en estructuras de Madera (Portoviejo, 2022); y finalmente la Generación de base de datos sobre patologías en estructuras con materiales Pétreos y Cerámicos (Illescas, 2022).

Este conjunto de bases tiene el mismo formato de desarrollo que es por medio de la revisión bibliográfica más la recolección de información en campo, que es organizada y clasificada en la plataforma NOTION. La información recolectada en la presente investigación, que son las técnicas y equipos para la detección de patologías, se complementa a la base de datos macro generada por las investigaciones realizadas a la par mencionadas anteriormente, en los atributos correspondientes. La información descrita en el banco de datos se divide por materiales, para distinguir las patologías de cada material se generó etiquetas con la inicial del material, la cual nos permite organizar la información en grupos.

Por medio de la base datos creado y organizado por cada material, se pueden generar nuevas investigaciones como es el caso de la “Identificación de Patologías Estructurales Mediante Procesamiento de Imágenes” la cual se desarrolla con la biblioteca fotográfica de cada base de datos (Castro & Contreras, 2021).

-CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS GENERADOS

4.1 Técnicas y equipos utilizados para la detección de patologías en los diferentes materiales

En las siguientes tablas se detallan las técnicas, equipos y la normativa utilizada para detectar los procesos patológicos que afectan a las estructuras:

Para patologías en el acero.

Tabla 22. Métodos y equipos utilizados para la detección de patologías en el acero

MÉTODOS		MÉTODOS NO DESTRUCTIVOS						MÉTODOS DESTRUCTIVOS					
		VT	RT	UT	PT	PM	GALGAS	NORMAS	EQUIPOS UTILIZADOS	ENSAJO DE TRACCIÓN	ENSAJO DE FLEXIÓN	NORMAS	EQUIPOS UTILIZADOS
Proc. Pat. Mecánicas	Deformación por impacto	•	•					VT: AWS B1.1; NEC-SE-AC RT: ASME V, Art. 2; NTE INEN-ISO 11699-1	VT: Distanciómetro, sistema endoscópico, microscopio USB RT: Sistema XRF portátil, Sistema XRD.				
	Deformación por sobrecarga	•	•				•	VT: AWS B1.1; NEC-SE-AC RT: ASME V, Art. 2	VT: Sistema endoscópico, equipos topográficos, distanciómetro RT: Sistema XRF portátil GALGAS: Galgas extensométricas para medir deformaciones		•	E. de Flexión: ASTM E290, ISO 7438	E. de Flexión: Maquina de flexión universal
	Deformación térmica	•	•				•	VT: AWS B1.1; NEC-SE-AC	VT: Sistema Endoscópico, equipos topográficos GALGAS: Galgas extensométricas para medir deformaciones	•		E. de Tracción: ASTM E8, ISO 6892-1, ISO 6892-2, ISO 6892-3	E. de Tracción: Maquina de tracción
	Rotura por fatiga	•	•					VT: AWS B1.1; NEC-SE-AC. RT: ASME V, Art. 2; NTE INEN-ISO 11699-1	VT: Sistema endoscópico, microscopio USB RT: Sistema XRF portátil, Sistema XRD.	•	•	E. de Tracción: NTE INEN 109, EN ISO 6892-1, ASTM E8M E. de Flexión: ASTM E290	E. de Flexión: Maquina de flexión universal E. de Tracción: Maquina de tracción
	Rotura frágil	•	•					VT: AWS B1.1; NEC-SE-AC RT: ASME V, Art. 2; NTE INEN-ISO 11699-1	VT: Sistema Endoscópico, Microscopio USB RT: Sistema XRF portátil, Sistema XRD.	•	•	E. de Tracción: NTE INEN 109, EN ISO 6892-1, ASTM E8 E. de Flexión: ASTM E290, ISO 7438	E. de Flexión: Maquina de flexión universal E. de Tracción: Maquina de tracción
	Desgarre laminar	•	•	•	•	•		VT: AWS B1.1; NEC-SE-AC RT: ASME V, Art. 2; NTE INEN-ISO 11699-1 UT: AWS D1.1; NTE INEN-ISO 2400; ASTM G46-95 PT: ASTM E165-02; ASME V, Art. 6 PM: ASME V, Art. 7	VT: Sistema endoscópico, calibrador, distanciómetro RT: Sistema XRF portátil, Sistema XRD UT: Equipo ultrasónico, acoplante PT: Kit de líquidos penetrantes, lámpara UV PM: Yugo electromagnético, polvo magnético, lámpara UV	•	•	E. de Tracción: NTE INEN 109, EN ISO 6892-1, ASTM E8M	E. de Tracción: Maquina de tracción
Proc. Pat. Físicos	Erosión física	•	•	•				VT: AWS B1.1; NEC-SE-AC RT: ASME V, Art. 2; NTE INEN-ISO 11699-1 UT: AWS D1.1; NTE INEN-ISO 2400; ASTM G46-95	VT: Distanciómetro, sistema endoscópico RT: Sistema XRF portátil, Sistema XRD UT: Equipo ultrasónico, acoplante				
	Suciedad	•						VT: AWS B1.1; NEC-SE-AC	VT: Sistema Endoscópico, equipos topográficos.				
Procesos Patológicos Químicos	Corrosión por picadura	•	•	•				VT: AWS B1.1; NEC-SE-AC; ASTM G48-03 RT: ASME V, Art. 2; NTE INEN-ISO 11699-1 UT: AWS D1.1; NTE INEN-ISO 2400; ASTM G46-95	VT: Sistema endoscópico, calibrador, distanciómetro, microscopio USB RT: Sistema XRF portátil, Sistema XRD UT: Equipo ultrasónico, acoplante.				
	Corrosión por tensión	•	•	•	•	•		VT: AWS B1.1 RT: ASME V, Art. 2; NTE INEN-ISO 11699-1 UT: AWS D1.1; NTE INEN-ISO 2400; ASTM G46-95 PT: ASTM E165-02; ASME V, Art. 6 PM: ASME V, Art. 7	VT: Sistema endoscópico, calibrador, distanciómetro RT: Sistema XRF portátil, Sistema XRD UT: Equipo ultrasónico, acoplante PT: Kit de líquidos penetrantes, Lámpara UV PM: Yugo electromagnético, Polvos				
	Corrosión por oxidación previa	•	•	•				VT: AWS B1.1; NEC-SE-AC; ASTM E1217 RT: ASME V, Art. 2 UT: AWS D1.1; NTE INEN-ISO 2400; ASTM G46-95	VT: Sistema endoscópico, microscopio USB RT: Sistema XRF portátil, Sistema XRD UT: Equipo ultrasónico, acoplante.				
	Corrosión por par galvánico	•	•	•				VT: AWS B1.1; NEC-SE-AC; ASTM G82 RT: ASME V, Art. 2; NTE INEN-ISO 11699-1 UT: AWS D1.1; NTE INEN-ISO 2400; ASTM G46-95	VT: Sistemas endoscópico, microscopio USB RT: Sistema XRF portátil, Sistema XRD UT: Equipo ultrasónico, acoplante.				
	Corrosión por aireación diferencial	•	•	•				VT: AWS B1.1; NEC-SE-AC; ASTM G48-03 RT: ASME V, Art. 2; NTE INEN-ISO 11699-1 UT: AWS D1.1; NTE INEN-ISO 2400	VT: Sistema endoscópico, microscopio USB RT: Sistema XRF portátil, Sistema XRD UT: Equipo ultrasónico, acoplante.				
	Corrosión por inmersión	•	•	•				VT: AWS B1.1; NEC-SE-AC; ASTM G48-03 RT: ASME V, Art. 2; NTE INEN-ISO 11699-1 UT: AWS D1.1; NTE INEN-ISO 2400	VT: Sistema endoscópico, Microscopio USB RT: Sistema XRF portátil, Sistema XRD UT: Equipo ultrasónico, acoplante.				
Proc. Pat. Constructivos	Erosión química	•	•	•				VT: AWS B1.1; NEC-SE-AC; ASTM G48-03 RT: ASME V, Art. 2; NTE INEN-ISO 11699-1 UT: AWS D1.1; NTE INEN-ISO 2400	VT: Sistema endoscópicos, microscopio USB RT: Sistema XRF portátil, Sistema XRD UT: Equipo ultrasónico, acoplante.				
	Soldadura incorrecta	•	•	•	•	•		VT: AWS B1.1; NEC-SE-AC RT: ASME V, Art. 2; NTE INEN-ISO 11699-1 UT: AWS D1.1; NTE INEN-ISO 2400; ASTM G46-95 PT: ASTM E165-02; ASME V, Art. 6 PM: ASME V, Art. 7	VT: Sistema endoscópico, calibrador, lupa, lente de aumento RT: Sistema XRF portátil, Sistema XRD UT: Equipo ultrasónico, acoplante PT: Kit de líquidos penetrantes, lámpara UV PM: Yugo electromagnético, polvo magnético, lámpara UV	•	•	E. de Tracción: ISO 9017:2018, ASTM E8M E. de Flexión: ASTM E290, UNE-EN ISO 9016: 2016	E. de Flexión: Maquina de flexión universal E. de Tracción: Maquina de tracción
	Uniones incorrectas	•	•	•	•	•		VT: AWS B1.1; NEC-SE-AC RT: ASME V, Art. 2; NTE INEN-ISO 11699-1 PT: ASTM E165-02; ASME V, Art. 6 PM: ASME V, Art. 7	VT: Sistema endoscópico, calibrador, distanciómetro RT: Sistema XRF portátil, Sistema XRD PT: Kit de líquidos penetrantes, lámpara UV PM: Yugo electromagnético, polvo magnético, lámpara UV	•		E. de Tracción: NTE INEN 109, EN ISO 6892-1, ASTM E8M	E. de Tracción: Maquina de tracción
	Montaje no conforme a los planos	•	•	•	•	•		VT: AWS B1.1; NEC-SE-AC.	VT: Sistema endoscópico, microscopio USB, equipos Topográficos				
	Errores de fabricación	•	•	•				VT: AWS B1.1; NEC-SE-AC; ASTM G48-03 RT: ASME V, Art. 2; NTE INEN-ISO 11699-1 UT: AWS D1.1; NTE INEN-ISO 2400; ASTM G46-95	VT: Sistema endoscópico, microscopio USB RT: Sistema XRF portátil, Sistema XRD UT: Equipo ultrasónico, acoplante.	•	•	E. de Tracción: NTE INEN 109, EN ISO 6892-1, ASTM E8M E. de Flexión: ASTM E290	E. de Flexión: Maquina de flexión universal E. de Tracción: Maquina de tracción
Malas prácticas constructivas	•	•	•				VT: AWS B1.1; NEC-SE-AC.	VT: Sistema endoscópico, microscopio USB, equipos topográficos					

Nota: Para llevar a cabo todos los métodos expuestos, es necesario utilizar equipo de protección personal y herramientas menores; además, de llevar un registro fotográfico continuo, que corrobore la información expuesta en el informe pertinente.

Para patologías en el hormigón

Tabla 23. Métodos y equipos utilizados para la detección de patologías en el hormigón.

PATOLOGÍAS	MÉTODOS NO DESTRUCTIVOS						MÉTODOS SEMI-DESTRUCTIVOS Y DESTRUCTIVOS					
	VT	UT	Potencial media celda	Res. a la Penetración	Esclerómetro	Extensometría	NORMAS	EQUIPOS UTILIZADOS	PULL-OUT	EXTRACCIÓN DE NÚCLEOS	NORMAS	EQUIPOS UTILIZADOS
Procesos patológicos mecánicos	Flechas, pandeo, desplomes, alabeos	•				•	VT: ASME V, Art 9; ACI 201.1R Extensometría: ASTM E83	VT: Distanciómetro, nivel laser, equipos topográficos Extensometría: Extensómetro axial convencional o extensómetro laser				
	Grietas por dilatación y contracción higrotérmica	•	•				VT: ASME V, Art 9; ACI 201.1R UT: NTE INEN-ISO 2400; ASTM C597 Penetración: ASTM C803	VT: Distanciómetro, boroscopio, endoscopio, fisurómetro, calibrador UT: Detector ultrasónico de defectos Penetración: Unidad conducida, dispositivo explosivo, probeta o pin, instrumento de medición.				
	Grietas por contracción plástica	•	•				VT: ASME V, Art 9; ACI 201.1R UT: NTE INEN-ISO 2400; ASTM C597; ASTM C1383	VT: Distanciómetro, boroscopio, endoscopio, fisurómetro, calibrador UT: Detector ultrasónico de defectos				
	Grietas por secado	•	•				VT: ASME V, Art 9; ACI 201.1R UT: NTE INEN-ISO 2400; ASTM C597; ASTM C1383	VT: Distanciómetro, boroscopio, endoscopio, fisurómetro, calibrador UT: Detector ultrasónico de defectos				
	Grietas por asentamiento diferencial	•	•		•		VT: ASME V, Art 9; ACI 201.1R-207.3R-437R UT: NTE INEN-ISO 2400; ASTM C597 Penetración: ASTM C803	VT: Distanciómetro, boroscopio, endoscopio, fisurómetro, calibrador UT: Detector ultrasónico de defectos Penetración: Unidad conducida, dispositivo explosivo, probeta o pin, instrumento de medición.				
	Fisuras por tracción	•	•		•		VT: ASME V, Art 9; ACI 201.1R-207.3R-437R UT: NTE INEN-ISO 2400; ASTM C597 Penetración: ASTM C803	VT: Distanciómetro, boroscopio, endoscopio, fisurómetro, calibrador UT: Detector ultrasónico de defectos Penetración: Unidad conducida, dispositivo explosivo, probeta o pin, instrumento de medición.	•	•	Pull-Out: ASTM C900; ASTM C31 Ext. Núcleos: ASTM C42; ASTM C642; ACI 214.4R	Pull-Out: Dispositivo de extracción, sistema de carga, sistema de medición de carga, perforadora de núcleos, herramienta niveladora Ext. Núcleos: Taladro de núcleos, sierra, máquinas para realizar ensayos en laboratorio
	Fisura por Flexión	•	•		•		VT: ASME V, Art 9; ACI 201.1R-207.3R-437R UT: NTE INEN-ISO 2400; ASTM C597 Penetración: ASTM C803	VT: Distanciómetro, boroscopio, endoscopio, fisurómetro, calibrador UT: Detector ultrasónico de defectos Penetración: Unidad conducida, dispositivo explosivo, probeta o pin, instrumento de medición.		•	Ext. Núcleos: ASTM C42; ASTM C642; ACI 214.4R	Ext. Núcleos: Taladro de núcleos, sierra, máquinas para realizar ensayos en laboratorio
	Fisura por cortante	•	•				VT: ASME V, Art 9; ACI 201.1R-207.3R-228.1R UT: NTE INEN-ISO 2400; ASTM C597; ASTM C1383	VT: Distanciómetro, boroscopio, endoscopio, fisurómetro, calibrador UT: Detector ultrasónico de defectos		•	Ext. Núcleos: ASTM C42; ASTM C642; ACI 214.4R	Ext. Núcleos: Taladro de núcleos, sierra, máquinas para realizar ensayos en laboratorio
	Fisura por adherencia	•	•		•		VT: ASME V, Art 9; ACI 201.1R-207.3R-437R UT: NTE INEN-ISO 2400; ASTM C597 Penetración: ASTM C803 Escler: ASTM C805M 13a	VT: Distanciómetro, boroscopio, endoscopio, fisurómetro, calibrador UT: Detector ultrasónico de defectos Penetración: Unidad conducida, dispositivo explosivo, probeta o pin, instrumento de medición Escler: Martillo de rebote o esclerómetro	•		Pull-Out: ASTM C900; ASTM C31	Pull-Out: Dispositivo de extracción, sistema de carga, sistema de medición de carga, perforadora de núcleos, herramienta niveladora
	Fisura por torsión	•	•		•		VT: ASME V, Art 9; ACI 201.1R-207.3R-437R UT: NTE INEN-ISO 2400; ASTM C597 Penetración: ASTM C803	VT: Distanciómetro, boroscopio, endoscopio, fisurómetro, calibrador UT: Detector ultrasónico de defectos Penetración: Unidad conducida, dispositivo explosivo, probeta o pin, instrumento de medición.	•	•	Pull-Out: ASTM C900; ASTM C31 Ext. Núcleos: ASTM C42; ASTM C642; ACI 214.4R	Pull-Out: Dispositivo de extracción, sistema de carga, sistema de medición de carga, perforadora de núcleos, herramienta niveladora Ext. Núcleos: Taladro de núcleos, sierra, máquinas para realizar ensayos en laboratorio
	Fisura por punzonamiento	•	•				VT: ASME V, Art 9; ACI 201.1R-207.3R-228.1R UT: NTE INEN-ISO 2400; ASTM C597; ASTM C1383	VT: Distanciómetro, boroscopio, endoscopio, fisurómetro, calibrador UT: Detector ultrasónico de defectos		•	Ext. Núcleos: ASTM C42; ASTM C642; ACI 214.4R	Ext. Núcleos: Taladro de núcleos, sierra, máquinas para realizar ensayos en laboratorio
	Fisura por compresión	•	•		•		VT: ASME V, Art 9; ACI 201.1R-207.3R-437R UT: NTE INEN-ISO 2400; ASTM C597 Penetración: ASTM C803	VT: Distanciómetro, boroscopio, endoscopio, fisurómetro, calibrador UT: Detector ultrasónico de defectos Penetración: Unidad conducida, dispositivo explosivo, probeta o pin, instrumento de medición.	•	•	Pull-Out: ASTM C900; ASTM C31 Ext. Núcleos: ASTM C42; ASTM C642; ACI 214.4R	Pull-Out: Dispositivo de extracción, sistema de carga, sistema de medición de carga, perforadora de núcleos, herramienta niveladora Ext. Núcleos: Taladro de núcleos, sierra, máquinas para realizar ensayos en laboratorio
	Desprendimiento	•	•			•	VT: ACI 201.1R-207.3R-437R UT: ASTM C597 Escler: ASTM C805M 13a Extensometría: ASTM E83	VT: Distanciómetro, boroscopio, endoscopio, fisurómetro, calibrador UT: Detector ultrasónico de defectos Escler: Martillo de rebote o esclerómetro Extensometría: Extensómetro axial convencional o laser	•		Pull-Out: ASTM C900; ASTM C31	Pull-Out: Dispositivo de extracción, sistema de carga, sistema de medición de carga, perforadora de núcleos, herramienta niveladora
	Erosiones mecánicas	•	•				VT: ACI 201.1R-207.3R-437R UT: ASTM C597 Extensometría: ASTM E83	VT: Distanciómetro, boroscopios, endoscopios, fisurómetros, calibrador UT: Detector ultrasónico de defectos Extensometría: Extensómetro axial convencional o laser		•	Ext. Núcleos: ASTM C42; ASTM C642; ACI 214.4R	Ext. Núcleos: Taladro de núcleos, sierra, máquinas para realizar ensayos en laboratorio
Proc. Pat. Físicos	Fisuras capilares	•				VT: ASME V, Art 9; ACI 201.1R-207.3R-437R Penetración: ASTM C803	VT: Distanciómetro, boroscopio, endoscopio, fisurómetro, calibrador Penetración: Unidad conducida, dispositivo explosivo, probeta o pin, instrumento de medición.		•	Ext. Núcleos: ASTM C42; ASTM C642; ACI 214.4R	Ext. Núcleos: Taladro de núcleos, sierra, máquinas para realizar ensayos en laboratorio	
	Fisuras por dilatación y contracción	•				VT: ASME V, Art 9; ACI 201.1R-207.3R-437R Penetración: ASTM C803	VT: Distanciómetro, boroscopio, endoscopio, fisurómetro, calibrador Penetración: Unidad conducida, dispositivo explosivo, probeta o pin, instrumento de medición.					
Procesos Patológicos Químicos	Eflorescencias	•	•		•	VT: ACI 201.1R-207.3R-437R UT: ASTM C597 Media celda: ASTM C876 Escler: ASTM C805M 13a	VT: Distanciómetro, detector de humedad, pachometro, calibrador UT: Detector de espesor ultrasónico Media celda: Sonda de medición, pinzas de circuito, esponjas de contacto, kit de cables Escler: Martillo de rebote o esclerómetro		•	Ext. Núcleos: ASTM C42; ASTM C642; ACI 214.4R	Ext. Núcleos: Taladro de núcleos, sierra, máquinas para realizar ensayos en laboratorio	
	Aluminosis	•	•		•	VT: ASME V, Art 9; ACI 201.1R-207.3R-437R UT: ASTM C597; ASTM C1383 Media celda: ASTM C876 Escler: ASTM C805M 13a	VT: Distanciómetro, detector de humedad, pachometro, calibrador UT: Detector de espesor ultrasónico Media celda: Sonda de medición, pinzas de circuito, esponjas de contacto, kit de cables Escler: Martillo de rebote o esclerómetro		•	Ext. Núcleos: ASTM C42; ASTM C642; ACI 214.4R	Ext. Núcleos: Taladro de núcleos, sierra, máquinas para realizar ensayos en laboratorio	
	Oxidación y corrosión	•	•		•	VT: ASME V, Art 9; ACI 201.1R-207.3R-437R UT: ASTM C597; ASTM C1383 Media celda: ASTM C876 Escler: ASTM C805M 13a	VT: Distanciómetro, detector de humedad, pachometro, calibrador UT: Detector de espesor ultrasónico Media celda: Sonda de medición, pinzas de circuito, esponjas de contacto, kit de cables Escler: Martillo de rebote o esclerómetro					
	Carbonatación	•	•		•	VT: ASME V, Art 9; ACI 201.1R-207.3R-437R UT: ASTM C597; ASTM C1383 Media celda: ASTM C876 Escler: ASTM C805M 13a	VT: Distanciómetro, detector de humedad, pachometro, calibrador UT: Detector de espesor ultrasónico Media celda: Sonda de medición, pinzas de circuito, esponjas de contacto, kit de cables Escler: Martillo de rebote o esclerómetro		•	Ext. Núcleos: ASTM C42; ASTM C642; ACI 214.4R	Ext. Núcleos: Taladro de núcleos, sierra, máquinas para realizar ensayos en laboratorio	
Proc. Pat. Físicos de origen Biológico	Bacterias	•	•			VT: ACI 201.1R-207.3R-437R UT: ASTM C59 Escler: ASTM C805M 13a	VT: Distanciómetro, detector de humedad, pachometro, calibrador UT: Detector ultrasónico de defectos Escler: Martillo de rebote o esclerómetro		•	Ext. Núcleos: ASTM C42	Ext. Núcleos: Taladro de núcleos, sierra, máquinas para realizar ensayos en laboratorio	
	Hongos	•	•			VT: ACI 201.1R-207.3R-437R UT: ASTM C597 Escler: ASTM C805M 13a	VT: Distanciómetro, detector de humedad, pachometro, calibrador UT: Detector ultrasónico de defectos Escler: Martillo de rebote o esclerómetro		•	Ext. Núcleos: ASTM C42	Ext. Núcleos: Taladro de núcleos, sierra, máquinas para realizar ensayos en laboratorio	
	Algas, líquenes y musgos	•	•			VT: ACI 201.1R-207.3R-437R UT: ASTM C597 Escler: ASTM C805M 13a	VT: Distanciómetro, detector de humedad, pachometro, calibrador UT: Detector ultrasónico de defectos Escler: Martillo de rebote o esclerómetro		•	Ext. Núcleos: ASTM C42	Ext. Núcleos: Taladro de núcleos, sierra, máquinas para realizar ensayos en laboratorio	
Proc. Pat. Constructivos	Coquearas	•	•			VT: ACI 201.1R-207.3R-437R UT: ASTM C597 Escler: ASTM C805M 13a	VT: Distanciómetro, boroscopios, endoscopios, fisurómetros, calibrador UT: Detector de espesor ultrasónico manual Escler: Martillo de rebote o esclerómetro		•	Ext. Núcleos: ASTM C42; ASTM C642; ACI 214.4R	Ext. Núcleos: Taladro de núcleos, sierra, máquinas para realizar ensayos en laboratorio	
	Junta fría	•	•			VT: ASME V, Art 9; ACI 201.1R-207.3R-228.1R UT: NTE INEN-ISO 2400; ASTM C597; ASTM C1383	VT: Distanciómetro, boroscopios, endoscopios, fisurómetros, calibrador UT: Detector ultrasónico de defectos		•	Ext. Núcleos: ASTM C42; ASTM C642; ACI 214.4R	Ext. Núcleos: Taladro de núcleos, sierra, máquinas para realizar ensayos en laboratorio	

Nota: Para llevar a cabo todos los métodos expuestos, es necesario utilizar equipo de protección personal y herramientas menores; además, de llevar un registro fotográfico continuo, que corrobore la información expuesta en el informe pertinente.

Para patologías en la madera

Tabla 24. Métodos y equipos utilizados para la detección de patologías en la madera.

PATOLOGÍAS	MÉTODOS			MÉTODOS NO DESTRUCTIVOS		MÉTODOS DESTRUCTIVOS	
	VT	UT	PILODYN	NORMAS	EQUIPOS UTILIZADOS	ENSAYO DE TRACCIÓN Y COMPRESIÓN	ENSAYO DE FLEXIÓN
Procesos Patológicos Mecánicos	Rotura de elementos estructurales	●	●	VT: NEC-SE-MD 2015; ASTM D143 UT: UNE 41805-8	VT: Distanciómetro, nivel laser, boroscopio, endoscopio flexible UT: Sistema de almacenamiento de registro, unidad de control, palpadores, acoplante	●	●
	Deformaciones	●		VT: NEC-SE-MD 2015; UNE 41805-3; UNE 41805-14	VT: Distanciómetro, nivel laser, equipos topográficos, linterna	●	●
	Aplastamiento Transversal	●		VT: NEC-SE-MD 2015; UNE 41805-3; ASTM D143; UNE 41805-14	VT: Distanciómetro, nivel laser, equipos topográficos, linterna, boroscopio, endoscopio flexible	●	
	Deformación diferencial	●	●	VT: NEC-SE-MD 2015; UNE 41805-3; UNE 41805-14 UT: UNE 41805-8	VT: Distanciómetro, nivel laser, boroscopio, endoscopio flexible, equipos topográficos UT: Sistema de almacenamiento, unidad de control, palpadores, acoplante	●	
Procesos Patológicos Físicos	Infección de la madera por insectos xilófagos de ciclo larvario	●	●	VT: NEC-SE-MD 2015; UNE 41805-3; UNE 56544; UNE 41805-14 UT: UNE 41805-8	VT: Distanciómetro, lupa, micrómetro, barrena Pressler, boroscopio, endoscopio flexible UT: Sistema de almacenamiento de registro, palpadores, acoplante		
	Agrietamiento	●	●	VT: NEC-SE-MD 2015; UNE 41805-4; UNE 56544; UNE 41805-14 UT: UNE 41805-8	VT: Distanciómetro, lupa, linterna, micrómetro, barrena Pressler, boroscopio, endoscopio flexible, georradar UT: Sistema de almacenamiento, unidad de control, palpadores, acoplante		
	Aplastamiento transversal o desintegración de la superficie de apoyo	●		VT: NEC-SE-MD 2015; UNE 41805-3; UNE 41805-14	VT: Distanciómetro, nivel laser, boroscopio, endoscopio flexible, equipos topográficos	●	
	Disminución de la sección	●		VT: NEC-SE-MD 2015; UNE 41805-3; UNE 41805-14	VT: Distanciómetro, nivel laser, micrómetro, boroscopio, endoscopio flexible, equipos topográficos		
	Pudrición blanca, corrosivas fibrosas o deslignificantes	●	●	VT: NEC-SE-MD 2015; NTE INEN 1163; UNE 41805-14 UT: UNE 41805-8 PILODYN: UNE-EN 384:2016	VT: Distanciómetro, lupa, micrómetro, barrena Pressler, boroscopio, endoscopio flexible, detector de humedad UT: Sistema de almacenamiento, unidad de control, palpadores, acoplante PILODYN: Penetrómetro, aguja de acero		
	Envejecimiento de la madera	●	●	VT: NEC-SE-MD 2015; NTE INEN 1163; UNE 56544; UNE 41805-14 UT: UNE 41805-8 PILODYN: UNE-EN 384:2016	VT: Distanciómetro, lupa, micrómetro, barrena Pressler, boroscopio, endoscopio flexible, detector de humedad, georradar UT: Sistema de almacenamiento de registro, unidad de control, palpadores, acoplante PILODYN: Penetrómetro, aguja de acero	●	●
	Putrefacción	●	●	VT: NEC-SE-MD 2015; NTE INEN 1163; UNE 56544; UNE 41805-14 UT: UNE 41805-8 PILODYN: UNE-EN 384:2016	VT: Distanciómetro, lupa, micrómetro, barrena Pressler, boroscopio, endoscopio flexible, detector de humedad UT: Sistema de almacenamiento de registro, unidad de control, palpadores, acoplante	●	●
	Ataque biológico, microorganismos vegetales	●	●	VT: NEC-SE-MD 2015; NTE INEN 1163; UNE 41805-4; UNE 56544; UNE 41805-14 UT: UNE 41805-8	VT: Distanciómetro, lupa, micrómetro, barrena Pressler, boroscopio, endoscopio flexible, detector de humedad, detector de termitas, georradar UT: Unidad de almacenamiento de registro, unidad de control, palpadores, acoplante		
	Infección por hongos cromógenos	●		VT: NEC-SE-MD 2015; NTE INEN 1163; UNE 41805-4; UNE 56544; UNE 41805-14	VT: Distanciómetro, lupa, micrómetro, barrena Pressler, boroscopio, endoscopio flexible, microscopio USB, georradar, resistógrafo		
	Carbonización superficial	●		VT: NEC-SE-MD 2015; UNE 56544; UNE 41805-4; UNE 41805-14 PILODYN: UNE-EN 384:2016	VT: Distanciómetro, lupa, micrómetro, barrena Pressler, boroscopio, resistógrafo, endoscopio flexible PILODYN: Penetrómetro, aguja de acero	●	●
	Hinchazón o esponjamiento	●		VT: NEC-SE-MD 2015; UNE 56544; UNE 41805-4; UNE 41805-14 PILODYN: UNE-EN 384:2016	VT: Distanciómetro, lupa, micrómetro, barrena Pressler, boroscopio, resistógrafo, endoscopio flexible PILODYN: Penetrómetro, aguja de acero		
	Infección de la madera por insectos xilófagos marinos	●	●	VT: NEC-SE-MD 2015; NTE INEN 1163; UNE 41805-4; UNE 56544; UNE 41805-14 UT: UNE 41805-8	VT: Distanciómetro, lupa, micrómetro, barrena Pressler, boroscopio, endoscopio flexible, detector de humedad, georradar UT: Unidad de almacenamiento de registro, unidad de control, palpadores, acoplante		
	Pudrición parda o cúbica, suave o blanca, seca	●	●	VT: NEC-SE-MD 2015; NTE INEN 1163; UNE 56544; UNE 41805-14 UT: UNE 41805-8 PILODYN: UNE-EN 384:2016	VT: Distanciómetro, lupa, micrómetro, barrena Pressler, boroscopio, endoscopio flexible, equipo termográfico, detector de humedad, georradar UT: Unidad de almacenamiento de registro, unidad de control, palpadores, acoplante PILODYN: Penetrómetro, aguja de acero	●	●
	Capilaridad	●		VT: NEC-SE-MD 2015; UNE 41805-3; UNE 41805-14	VT: Distanciómetro, lupa, micrómetro, equipo termográfico, detector de humedad, georradar		
Procesos Patológicos Químicos	Fotodegradación	●	●	VT: NEC-SE-MD 2015; NTE INEN 1163; UNE 56544; UNE 41805-14 UT: UNE 41805-8 PILODYN: UNE-EN 384:2016	VT: Distanciómetro, lupa, micrómetro, barrena Pressler, boroscopio, endoscopio flexible, equipo termográfico, detector de humedad, georradar UT: Unidad de almacenamiento de registro, unidad de control, palpadores, acoplante PILODYN: Penetrómetro, aguja de acero	●	●
	Oxidación o corrosión de la madera	●	●	VT: NEC-SE-MD 2015; NTE INEN 1163; UNE 41805-4; UNE 41805-14 UT: UNE 41805-8 PILODYN: UNE-EN 384:2016	VT: Distanciómetro, lupa, micrómetro, equipo termográfico, detector de humedad, georradar UT: Unidad de almacenamiento de registro, unidad de control, palpadores, acoplante PILODYN: Penetrómetro, aguja de acero	●	●
	Degradación química	●	●	VT: NEC-SE-MD 2015; NTE INEN 1163; UNE 41805-4; UNE 41805-14 UT: UNE 41805-8 PILODYN: UNE-EN 384:2016	VT: Distanciómetro, lupa, micrómetro, equipo termográfico, detector de humedad, georradar UT: Unidad de almacenamiento de registro, unidad de control, palpadores, acoplante PILODYN: Penetrómetro, aguja de acero		
Proc. Pat. Constructivos	Defectos de crecimiento	●	●	VT: NEC-SE-MD 2015; UNE-EN 14081-3; UNE 41805-14 UT: UNE 41805-8 PILODYN: UNE-EN 384:2016	VT: Distanciómetro, lupa, micrómetro, barrena Pressler, fonendoscopio, resistógrafo georradar UT: Unidad de almacenamiento de registro, unidad de control, palpadores, acoplante PILODYN: Penetrómetro, aguja de acero	●	●
	Defectos de uniones	●		VT: UNE 41805-3; NEC-SE-MD 2015; UNE 41805-14	VT: Distanciómetro, lupa, micrómetro, barrena Pressler, georradar, equipos topográficos, videocópio		

Nota: Para llevar a cabo todos los métodos expuestos, es necesario utilizar equipo de protección personal y herramientas menores; además, de llevar un registro fotográfico continuo, que corrobore la información expuesta en el informe pertinente. Finalmente, en el abordaje de los ensayos destructivos, es indispensable hacer uso de una maquina universal de ensayos.

Para los materiales pétreos y cerámicos

Tabla 25. Métodos y equipos utilizados para la detección de patologías en los materiales pétreos y cerámicos.

MÉTODOS PATOLOGÍAS		MÉTODOS NO DESTRUCTIVOS				
		VT	UT	PT	NORMAS	EQUIPOS UTILIZADOS
Pro. Pat. Mecánicos	Deformaciones	●			VT: NTE INEN 645:2000; NTE INEN-ISO 10545-2; UNE 41805-14	VT: Distanciómetro, lámpara o linterna, endoscopios rígidos o flexibles, lentes de aumento.
	Fisuras y Grietas	●	●	●	VT: NTE INEN 645:2000; NTE INEN-ISO 10545-8; UNE 41805-14 UT: ASTM E494-95 PT: ASTM E165; ASTM E1209	VT: Distanciómetro, lámpara o linterna, endoscopios rígidos o flexibles, lente de aumento, fisurómetro. UT: Equipo de ultrasonido, transductor ultrasónico, medio acoplante, oscilante. PT: Líquido penetrante fluorescente o visible, emulsionantes, solvente removedor, desarrollador.
Procesos Patológicos Físico-Ambientales	Erosión	●			VT: NTE INEN 645:2000; NTE INEN-ISO 10545-2; NTE INEN-ISO 10545-7; UNE 41805-14	VT: Distanciómetro, lámpara o linterna, endoscopios rígidos o flexibles, lentes de aumento, cepillo de acero.
	Expansión por humedad	●	●		VT: NTE INEN 645:2000; NTE INEN-ISO 10545-3; NTE INEN-ISO 10545-10; UNE 41805-14 UT: ASTM E494-95	VT: Distanciómetro, lámpara o linterna, endoscopios, detectores de humedad, fisurómetros. UT: Equipo de ultrasonido, transductores ultrasónicos, medio acoplante, oscilante.
	Pátinas de envejecimiento, negras	●	●		VT: NTE INEN 645:2000; NTE INEN-ISO 10545-7; UNE 41805-14 UT: ASTM E494-95	VT: Distanciómetro, lámpara o linterna, endoscopios, detectores de humedad, fisurómetros. UT: Equipo de ultrasonido, transductores ultrasónicos, medio acoplante, oscilante.
	Costras y Lesiones	●	●		VT: NTE INEN 645:2000; NTE INEN-ISO 10545-5; NTE INEN-ISO 10545-14; UNE 41805-14 UT: ASTM E494-95	VT: Distanciómetro, lámpara o linterna, endoscopios, detectores de humedad, fisurómetros. UT: Equipo de ultrasonido, transductores ultrasónicos, medio acoplante, oscilante.
	Costras y Depósitos	●			VT: NTE INEN 645:2000; NTE INEN-ISO 10545-9; NTE INEN-ISO 10545-14; UNE 41805-14	VT: Distanciómetro, lámpara o linterna, cepillo de acero, detector de humedad, fisurómetro.
	Alveolización	●	●		VT: NTE INEN 645:2000; NTE INEN-ISO 10545-6; NTE INEN-ISO 10545-7; UNE 41805-14 UT: ASTM E494-95	VT: Distanciómetro, lámpara o linterna, endoscopio, videoscópio. UT: Equipo de ultrasonido, transductor ultrasónico, medio acoplante, oscilante.
	Deformaciones, compuestos orgánicos volátiles, alteraciones	●			VT: NTE INEN 645:2000; NTE INEN-ISO 10545-2; NTE INEN-ISO 10545-14; UNE 41805-14	VT: Distanciómetro, lámpara o linterna, endoscopio rígido o flexible, lentes de aumento, cepillo de acero.
	Descamación	●			VT: NTE INEN 645:2000; NTE INEN-ISO 10545-7; NTE INEN-ISO 10545-14; UNE 41805-14	VT: Distanciómetro, lámpara o linterna, endoscopio rígido o flexible, lente de aumento, cepillo de acero.
	Alteraciones del material pétreo	●	●		VT: NTE INEN 645:2000; NTE INEN-ISO 10545-2; NTE INEN-ISO 10545-13; UNE 41805-14 UT: ASTM E494-95	VT: Distanciómetro, lámpara o linterna, endoscopio, detector de humedad, cepillo de acero. UT: Equipo de ultrasonido, transductor ultrasónico, medio acoplante, oscilante.
	Microfisuras y descohesiones	●	●	●	VT: NTE INEN 645:2000; NTE INEN-ISO 10545-11; UNE 41805-14 UT: ASTM E494-95 PT: ASTM E165; ASTM E1209	VT: Distanciómetro, lámpara o linterna, endoscopios rígidos o flexibles, lentes de aumento, fisurómetros, microscopio USB UT: Equipo de ultrasonido, transductores ultrasónicos, medio acoplante, oscilante PT: Líquido penetrante fluorescente o visible, emulsionantes, solvente removedor, desarrolladores
Procesos Patológicos Químicos	Eflorescencia blanca, amarillenta	●			VT: NTE INEN 645:2000; NTE INEN-ISO 10545-13; UNE 41805-14	VT: Distanciómetro, lámpara o linterna, endoscopios rígidos o flexibles, lentes de aumento, cepillo de acero.
	Corazón negro	●	●		VT: NTE INEN 645:2000; NTE INEN-ISO 10545-11; NTE INEN-ISO 10545-13; UNE 41805-14 UT: ASTM E494-95	VT: Distanciómetro, detectores de humedad UT: Equipo de ultrasonido, transductores ultrasónicos, medio acoplante, oscilante.
	Corrosión	●	●		VT: NTE INEN 645:2000; NTE INEN-ISO 10545-13; UNE 41805-14 UT: ASTM E494-95	VT: Distanciómetro, lámpara o linterna, endoscopios, detectores de humedad, cepillo de acero UT: Equipo de ultrasonido, transductores ultrasónicos, medio acoplante, oscilante.
	Oxidación de sales solubles	●	●		VT: NTE INEN 645:2000; NTE INEN-ISO 10545-13; UNE 41805-14 UT: ASTM E494-95	VT: Distanciómetro, lámpara o linterna, endoscopios, detectores de humedad, cepillo de acero UT: Equipo de ultrasonido, transductores ultrasónicos, medio acoplante, oscilante.
	Desplacación	●			VT: NTE INEN 645:2000; NTE INEN-ISO 10545-11; UNE 41805-14	VT: Distanciómetro, lámpara o linterna, endoscopios rígidos o flexibles, lentes de aumento, cepillo de acero.
	Costras bióticas	●	●		VT: NTE INEN 645:2000; NTE INEN-ISO 10545-13; UNE 41805-14 UT: ASTM E494-95	VT: Distanciómetro, lámpara o linterna, endoscopios, detectores de humedad, cepillo de acero UT: Equipo de ultrasonido, transductores ultrasónicos, medio acoplante, oscilante.
Constructivos	Efectos del terreno	●	●	●	VT: NTE INEN 645:2000; NTE INEN-ISO 10545-2; UNE 41805-14 UT: ASTM E494-95 PT: ASTM E165; ASTM E1209	VT: Distanciómetro, lámpara o linterna, endoscopios rígidos o flexibles, lentes de aumento, fisurómetros, microscopio USB UT: Equipo de ultrasonido, transductores ultrasónicos, medio acoplante, oscilante PT: Líquido penetrante fluorescente o visible, emulsionantes, solvente removedor, desarrolladores

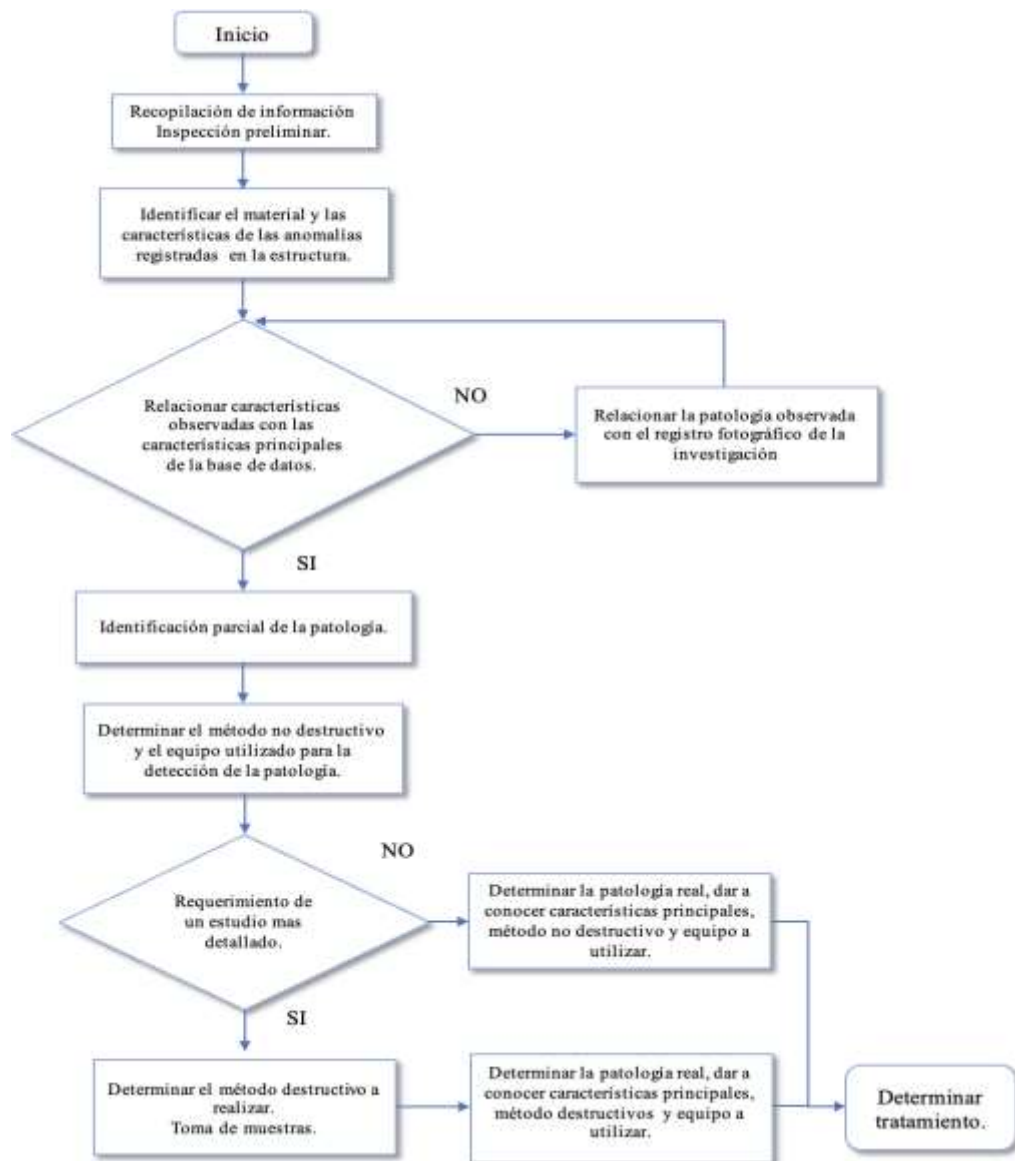
Nota: Para llevar a cabo todos los métodos expuestos, es necesario utilizar equipo de protección personal y herramientas menores; además, de llevar un registro fotográfico continuo, que corrobore la información expuesta en el informe pertinente.

4.2 Presentación de la base de datos generada

Para acceder a la base de datos completa de las patologías de todos los materiales mencionados en esta investigación, ingresamos en el siguiente link: <https://bit.ly/3xKaqKc>

En el siguiente esquema se detalla el procedimiento para usar correctamente la base de datos, haciendo mención especial en las métodos y equipos utilizados para detectar patologías.

Ilustración 30. Esquema para el uso de la Base de Datos



Fuente: Elaboración propia (2022)

4.3 Ejemplos de aplicación

Con el fin de cumplir los objetivos de esta investigación, se expone a continuación tres casos prácticos del estudio acerca de procesos patológicos en diferentes estructuras. Para lo cual se realizó visita técnica a estas obras, para tomar registros fotográficos y aplicar la información de la base de datos generada. Para completar la información recolectada en campo se recopiló estudios realizados por profesionales de la localidad a dichas estructuras, obteniendo resultados más eficientes.

4.3.1 Caso 1

Edificación del Centro de Desarrollo Comunitario de los Barrios del Sur, Cantón Cañar.



Ilustración 31. Ubicación del caso de estudio 1

Descripción general: Actualmente, la construcción de la edificación del Centro de Desarrollo Comunitario de los Barrios del Sur se encuentra constituido por sótano, planta baja y losa de entrepiso. Está conformado de estructura de hormigón armado y divisiones de bloque. El sótano se encuentra formado por un muro de hormigón ciclópeo, que a su vez sirve de sostenimiento de la vía. El edificio se encuentra formado por 5 ejes en el sentido x y 3 ejes en el sentido y, visto desde la fachada frontal de la edificación.

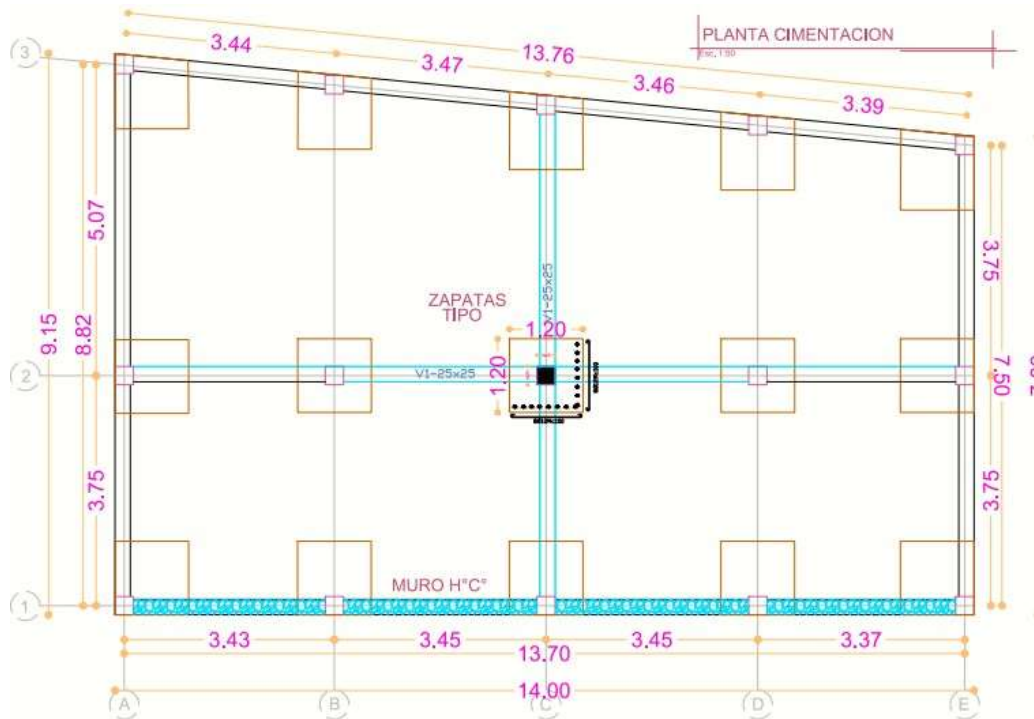


Ilustración 32 Vista en planta de la estructura

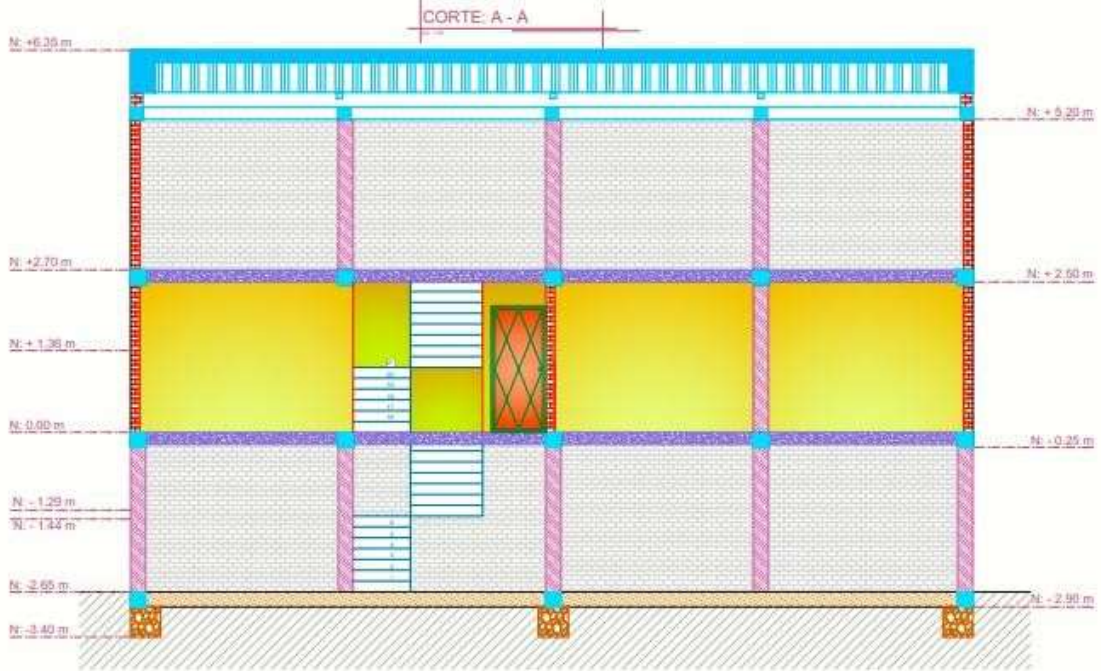



Ilustración 33 Vista frontal de la estructura.


La construcción está ubicada en la calle José Crespo y Av. Cristóbal Colón de la ciudad de Cañar provincia de Cañar, tiene las siguientes coordenadas: Latitud: -2,5677888; Longitud: -78,9345201 y Altitud: 3.173 msnm.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA-CARRERA DE INGENIERIA CIVIL										
FICHA DE ESTUDIO PATOLÓGICO "CASO DE ESTUDIO 1"										
ESTUDIO REALIZADO POR: Diego Acero					FECHA DE ESTUDIO: 2021					
INFORMACIÓN DE LA EDIFICACIÓN					LESIÓN: Fisuras en las paredes					
PROPIETARIO: Centro de Desarrollo Comunitario de los Barrios del Sur					UBICACIÓN EN LA ESTRUCTURA: Mampostería en general					
LOCALIZACIÓN: Calle José Crespo y Av. Cristóbal Colón, ciudad de Cañar					SEVERIDAD: ALTA		X MODERADA		BAJA	
USO: Comercial					TEMPERATURA: 16 °C		TIPO AMBIENTE: Templado			
FECHA DE CONSTRUCCIÓN: 2018-2019					HUMEDAD RELATIVA: S/N		INTENSIDAD DE USO: 2 veces a la semana			
SISTEMA CONSTRUCTIVO: Estructura aporticada de hormigón armado y divisiones con bloque de pómez					TIPOLOGIA DE LA LESIÓN					
MATERIAL AFECTADO: Hormigón, acero de refuerzo					FÍSICA	QUÍMICA		MECÁNICA	X BIOLÓGICA	
ELEMENTO AFECTADO:					CAUSA DE LA LESIÓN					
CIMENTACIÓN	X	PLACA ENTREPISO		CUBIERTA	DIRECTA					
PLACA PISO		VIGA CONFINAMT.		ESCALERA						
DOVELA		MAMPOSTERIA		X	ACABADO	X				
MURO ANTEPHO.		OTROS: Columnas			X					
DEFECTO Y/O DAÑO (ENFERMEDAD)										
CONGÉNICO		CONTRAIDO		ACCIDENTAL						
CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES PATOLÓGICA N- 1:										
Fisuras finas					FÍSICA	HUMEDAD	SUCIEDAD	EROSIÓN		
Desprendimiento del recubrimiento					QUÍMICA	ATAQUE FUEGO	ABRASIÓN	AMBIENTE		
Fisuras en diagonal					MECÁNICA	EFLORESCENCIA	LIXIVIACIÓN	MANCHAS		
					BIOLÓGICO	CORROSIÓN	MANCH. ORGNICA			
					MECÁNICA	FISURA	X	GRIETA	X	FRACTURA
						TRACIÓN	FLEXIÓN	LONGITUDINAL		
						TORSIÓN	PUNZONAMIENTO	CIZALLAMIENTO		
						COMPR. SIMP	CORTANTE	DESPRENDIMIENTO		X
						ASENT. SUELO	X	PERDIDA ELEMENTO	DEFLEXIÓN	
						ANIMAL	VEGETAL	MUSGO		
					INDIRECTA					
					PROYECCIÓN		X	MATERIALES	X	USO INDEBIDO
					CONSTRUCCIÓN		X	MANTENIMIENTO		

Imagen patología N-1	Ubicación:
	<p>Pared en el sótano de la edificación</p> <p>Determinación de la técnica y el equipo a utilizar: La anomalía por su ubicación y accesibilidad se puede observar a simple vista, por lo tanto, se realizó inspección visual directa</p>
Patología identificada	H.13- Grietas por asentamiento diferencia

Tipo de patología	Proceso patológico mecánico
Técnica de reconocimiento	Inspección visual detallada
Equipo de reconocimiento	Esta inspección se realizó a simple vista ya que las grietas están accesibles y visibles directamente.
Tratamiento	<p>Para conocer los elementos más afectados es necesario realizar un estudio a profundidad como es el diseño de la edificación aplicando todas las condiciones y cargas que exige la normas.</p> <p>En el siguiente enlace podemos encontrar más soluciones de refuerzo a las estructuras de hormigón: https://bit.ly/3N96KHz pág. 81.</p> <p>Una vez solucionado el problema estructural, podemos dar solución a las fisuras en la mampostería.</p>
Referencia bibliográfica acerca de la patología	Tesis: “Diseño de una edificación de 3 pisos en una Ladera Poco Estable en la Comuna Montañita Cantón Santa Elena”. By: Andrade, Henry.
Enlace de referencia (BipTex)	<pre>@mastersthesis{andrade2017diseno, title={Diseño de una Edificación de 3 Pisos en una Ladera Poco Estable en la Comuna Montañita Cantón Santa Elena}, author={Andrade Llorente, Henry Elizardo and Solano León, Dazlyn Katania and others}, type={B.S. thesis}, year={2017} }</pre>
Recomendaciones	Para evitar este tipo de fallas en las edificaciones se debe tomar en cuenta el tipo de suelo en donde se va emplazar la edificación y utilizar un tipo de cimentación adecuado.

Identificación de patología 2, Caso de estudio 1

<p>Imagen:</p> 	<p>Características principales:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Fisuras en dirección vertical ▪ Dividen en dos al elemento estructural <p>Ubicación:</p> <p>Columna en el sótano</p> <p>Determinación del método y equipo de detección:</p> <p>Se partió con el análisis de las columnas, mediante la estimación de la resistencia del hormigón utilizando el martillo de rebote o esclerómetro, posteriormente complementada con el análisis del cumplimiento de la cuantía en estos elementos, ya que en el nivel superior quedó expuesto su armado y se puede verificar.</p>
<p>Patología identificada</p>	<p>H.20- Fisuras por compresión</p>
<p>Tipo de patología</p>	<p>Procesos patológicos mecánicos</p>
<p>Técnica de reconocimiento</p>	<p>Inspección visual detallada Inspección mediante esclerómetro</p>
<p>Equipo de reconocimiento</p>	<p>Para la detección de esta patología se utilizó dos métodos, la primera por inspección visual directa debido a que los elementos estudiados estaban accesibles, la segunda, mediante el uso de esclerómetro que nos permite estimar la resistencia del concreto puesto en obra, cuyos cálculos y resultados se exponen a continuación.</p>



Resultado del análisis de la cuantía mínima

Tabla 26. Análisis de la cuantía mínima

b (cm)	h (cm)	Área (cm ²)	Cuantía	Área requerida(cm ²)	Diámetro (mm)	# acero	Área diseño	Verificación Área diseño >= Área requerida
30	30	900	0.01	9	12	6	6.78	No cumple

Resultado obtenido en el ensayo del esclerómetro

Tabla 27. Resultado del esclerómetro


ELEMENTO	REBOTES	VALOR f'c kg/cm ² REFERENCIAL
Columna 1	22	123
Columna 2	23	126
Columna 3	24	134
Columna 4	23	126
Muro frontal estación 1	22	123
Muro frontal estación 2	24	134
Muro frontal estación 3	22	123
Muro frontal estación 4	23	126
Muro frontal estación 5	22	123
Muro frontal estación 6	22	123
Muro frontal estación 7	22	123
Muro frontal estación 8	22	123

Fuente: (Ordoñez, 2021)

En promedio la resistencia a la compresión del hormigón simple es de 130 kg/cm², este valor está lejos de cumplir con lo que estipula la norma NEC-SE-HM en el capítulo 3, recordando que

<p>para diseño sismorresistente se requiere una resistencia mínima de hormigón normal de 21 Mpa o 210 kg/cm².</p>	
<p>Tratamiento</p>	<p>Reforzar los elementos estructurales afectados mediante la colocación de planchas de acero adheridos exteriormente, también se puede utilizar perfiles de acero para reforzar la estructura.</p> <p>En el siguiente enlace podemos encontrar más soluciones de refuerzo a las estructuras de hormigón: https://bit.ly/3N96KHz pág. 81.</p>
<p>Referencia bibliográfica acerca de la patología</p>	<p>Tesis: “Diseño de una edificación de 3 pisos en una Ladera Poco Estable en la Comuna Montañita Cantón Santa Elena”. By: Andrade, Henry.</p>
<p>Enlace de referencia (BipTex)</p>	<pre>@mastersthesis{andrade2017diseño, title={Diseño de una Edificación de 3 Pisos en una Ladera Poco Estable en la Comuna Montañita Cantón Santa Elena}, author={Andrade Llorente, Henry Elizardo and Solano León, Dazlyn Katania and others}, type={B.S. thesis}, year={2017} }</pre>
<p>Recomendaciones</p>	<p>Verificar que la dosificación del hormigón colocado en obra se cumpla acorde a los diseños.</p> <p>Verificar las cuantías mínimas para el diseño sismorresistente que viene expuesta en la Norma Ecuatoriana de la Construcción, además examinar la colocación correcta en obra.</p>

Identificación de patología 3, Caso de estudio 1

<p>Imagen:</p> 	<p>Características principales:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Grietas a 45 ° de los fillos de la ventana <p>Ubicación: Paredes del sótano</p>
<p>Patología identificada</p>	<p>H.13- Grietas por asentamiento diferencia</p>
<p>Tipo de patología</p>	<p>Procesos patológicos mecánicos</p>
<p>Técnica de reconocimiento</p>	<p>Para detectar la patología se realizó inspección visual detallada.</p> <p>Para complementar la información de las posibles causas que generan esta patología se realizó un ensayo SPT.</p>
<p>Equipo de reconocimiento</p>	<p>Para la detección de la patología se realizó inspección visual directa. Para analizar las causas que genera esta patología se realizó el ensayo SPT, un sondeo a 6.5 m de profundidad.</p>



Resultados del ensayo

La Qadm del suelo de fundación a una profundidad de 1.50 m es de 7 ton/m², según el numeral 6.3 de la Norma Ecuatoriana de la Construcción con este esfuerzo los asentamientos totales probables son de 8 cm.

La cimentación está conformada por plintos aislados de 1.20x1.20x0.2 m (fuente: Municipio de Cañar), con un desplante de 1.45 m y transmitiendo al suelo un esfuerzo de 14 ton/m², con un asentamiento de 2.49 cm. Según el cuerpo normativo el asentamiento permitido para este tipo de edificaciones es de 10 cm, pero se conoce que el asentamiento máximo que debe tener estas edificaciones es de $L/300 = 1.5$ cm, por lo que 2.49 cm supera el máximo valor permitido.

Tratamiento

Se debe realizar un reforzamiento estructural general, en especial a la cimentación de las columnas, estas se deberán calzar por debajo del plinto existente mediante un dado de hormigón ciclópeo 60% hormigón simple $f'c$ 180kg/cm² 40% piedra, de dimensiones 1.2 veces las dimensiones de cada lado del cimiento y de profundidad 1m, de manera de alcanzar el estrato más resistente que presenta una capacidad admisible de 24ton/m² a una profundidad de 2.50m con respecto del piso del subsuelo

También se puede utilizar otro método como el recalzado que se detalla en el siguiente enlace: <https://bit.ly/3N96KHz> pág. 56 y 58.

Referencia bibliográfica acerca de la patología

Artículo: “Evolución de esfuerzos y asentamientos diferenciales en platea de

	cimentación de viviendas sociales-importantes del modelo de análisis empleado”. By: reinert, Hugo.
Enlace de referencia (BipTex)	<pre>@article{reinert2013evaluacion, title={Evaluaci{\o}n de esfuerzos y asentamientos diferenciales en platea de cimentaci{\o}n de viviendas sociales- Importancia del modelo de an{\a}lisis empleado}, author={Reinert, Hugo O and Duarte, Javier A and Lugo, Angel A and De Sousa, Gabriel A}, journal={Mec{\a}nica Computacional}, volume={32}, number={42}, pages={3797--3615}, year={2013} }</pre>
Recomendaciones	Para realizar o empezar un proyecto se debe llevar a cabo un estudio de suelos, para evitar este tipo de problemas a futuro.

4.3.2 Caso 2

Edificación patrimonial del Sr. Francisco Guamán



Ilustración 34. Ubicación del caso de estudio 2

Descripción general: Esta edificación patrimonial inicialmente tenía una estructura de madera, divisiones de bahareque y cubierta de teja de barro, luego de múltiples intervenciones sin ningún control, nos encontramos con una estructura mixta de madera, acero, hormigón y cubierta de zinc, debido a las malas prácticas constructivas en conjunto con el deterioro de los materiales el peligro de colapso era latente.





Ilustración 35 Caso de estudio 2

La vivienda está ubicada en las calles 3 de noviembre y Bolívar esquina, En la ciudad de Cañar del Cantón y Provincia del mismo nombre, las coordenadas de la ubicación son las


siguientes: Latitud: -2,5613461; Longitud: -78,9378212; Altitud: 3.137,48 msnm. Según datos históricos emitida por dueños anteriores, la vivienda data de la época republicana, 1824-1960.


UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA-CARRERA DE INGENIERIA CIVIL										
FICHA DE ESTUDIO PATOLÓGICO "CASO DE ESTUDIO 2"										
ESTUDIO REALIZADO POR: Diego Acero					FECHA DE ESTUDIO: 2021					
INFORMACIÓN DE LA EDIFICACIÓN					LESIÓN: Elementos de la estructura de madera rotas, cubierta con corrosión, fisuras en hormigón					
PROPIETARIO: Edificio patrimonial del Sr. Francisco Guamán					UBICACIÓN EN LA ESTRUCTURA: Columnas, placa de entrepiso, cubierta					
LOCALIZACIÓN: Calle 3 de Noviembre y Bolívar, Cañar					SEVERIDAD: ALTA		MODERADA		BAJA	
USO: Residencial, comercial					TEMPERATURA: 16 °C			TIPO AMBIENTE: Templado		
FECHA DE CONSTRUCCIÓN: 1824-1960 (estimado)					HUMEDAD RELATIVA: S/N			INTENSIDAD DE USO: Todos los días		
SISTEMA CONSTRUCTIVO: Estructura de madera, hormigón, divisiones de bahareque, cubierta de planchas de zinc					TIPOLOGIA DE LA LESIÓN					
MATERIAL AFECTADO: Madera, hormigón y zinc					FÍSICA	X	QUÍMICA		MECÁNICA	X
ELEMENTO AFECTADO:					CAUSA DE LA LESIÓN					
VIGA CIMENT.	PLACA ENTREPISO	X	CUBIERTA	X	DIRECTA					
PLACA PISO	VIGA CONFINAMT.	X	ESCALERA	X	FÍSICA	HUMEDAD	X	SUCIEDAD	X	EROSIÓN
DOVELA	MAMPOSTERIA	X	ACABADO	X	QUÍMICA	ATAQUE FUEGO	X	ABRASIÓN	X	AMBIENTE
MURO ANTEPHO.	OTROS:	X			MECÁNICA	EFLORESCENCIA	X	LIXIVIACIÓN	X	MANCHAS
DEFECTO Y/O DAÑO (ENFERMEDAD)					BIOLÓGICO	CORROSIÓN	X	MANCH. ORGNICA	X	
CONGÉNICO	X	CONTRAIDO	X	ACCIDENTAL	MECÁNICA	FISURA	X	GRIETA	X	FRACTURA
CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES PATOLOGÍA N-1:					QUÍMICA	TRACIÓN	X	FLEXIÓN	X	LONGITUDINAL
Procedimientos de colocación empíricos					MECÁNICA	TORSIÓN	X	PUNZONAMIENTO	X	CIZALLAMIENTO
Falta de criterio técnico					MECÁNICA	COMPR. SIMP	X	CORTANTE	X	DESPRENDIMIE.
Mala ejecución y presencia de agujeros					MECÁNICA	ASENT. SUELO	X	PERDIDA ELEMENTO	X	DEFLEXIÓN
Presencia de corrosión					BIOLÓGICO	ANIMAL	X	VEGETAL	X	MUSGO
					INDIRECTA					
					PROYECCIÓN	X	MATERIALES	X	USO INDEBIDO	X
					CONSTRUCCIÓN	X	MANTENIMIENTO	X		X

<p>Imagen patología N-1</p> 	<p>Ubicación: En la cubierta de zinc de la vivienda</p> <p>Determinación de la técnica y el equipo a utilizar: Debido a que la patología se encontraba visibles y de fácil acceso se realizó inspección visual detallada.</p>
Patología identificada	A.20- Malas prácticas constructivas
Tipo de patología	Procesos patológicos constructivos

Técnica de reconocimiento	Inspección visual
Equipo de reconocimiento	Inspección visual directa
Tratamiento 	<p>Para esta patología constructiva el tratamiento planteado fue el reemplazo total de las planchas onduladas de zinc por Eternit y vidrio. El cambio se da por dos motivos; la primera, la existencia de corrosión más presencia de agujeros y la segunda, por inexistencia de anclajes, como se puede observar en la imagen se sostiene por medio de adoquines.</p>
Referencia bibliográfica acerca de la patología	Tesis: “Identificación de errores comunes y soluciones según normas vigentes para estructuras de acero”. By: Velez, Santiago
Enlace de referencia (BipTex)	@mastersthesis{velez2017identificacion, title={IDENTIFICACION DE ERRORES COMUNES Y SOLUCIONES SEGUN NORMAS VIGENTES PARA ESTRUCTURAS DE ACERO.}, author={Velez Manrique, Santiago}, type={{B.S.} thesis}, year={2017} }
Recomendaciones	Para evitar las malas prácticas constructivas se recomienda tener profesionales capacitados que supervisen las actividades en la construcción y rigiéndose a normas constructivas de cada país.


Identificación de patología 2, Caso de estudio 2


<p>Imagen:</p> 	<p>Características principales:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Presencia de fendas en las columnas▪ Arriostramiento derecho roto▪ Arriostramiento no aporta a la estructura▪ Envejecimiento de la madera <p>Ubicación:</p> <p>Columna del piso 1</p>
<p>Patología identificada</p>	<p>M.10- Rotura de elementos estructurales</p>
<p>Tipo de patología</p>	<p>Procesos patológicos mecánicos</p>
<p>Técnica de reconocimiento</p>	<p>Inspección visual detallado</p>
<p>Equipo de reconocimiento</p>	<p>Se realizó inspección visual directa ya que el elemento estructural se encuentra totalmente visible.</p>

<p>Tratamiento</p> 	<p>Para el tratamiento de esta patología existe dos posibilidades de sustituir o reforzar los elementos afectados, debido al deterioro de la madera y el riesgo latente de colapso se opta la primera posibilidad que es la sustitución de los elementos estructurales por perfiles de acero.</p> <p>En el siguiente enlace se puede observar los procedimientos que se pueden adoptar: https://bit.ly/3xKEKEEn</p>
<p>Referencia bibliográfica acerca de la patología</p>	<p>Artículo: “Análisis de los elementos constructivos de madera de la casa de Jeán en Granada”. By: Romero, Isabel.</p>
<p>Enlace de referencia (BipTex)</p>	<pre>@article{romero2016analisis, title={Análisis de los elementos constructivos de madera deLa casa de Jeán en Granada}, author={Romero Polo, Isabel and Lafuente Bolívar, Francisco Javier and Santiago Zaragoza, Juan Manuel and others}, year={2016}, publisher={Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Granada} }</pre>
<p>Recomendaciones</p>	<p>Para realizar intervenciones en este tipo de edificaciones antiguas se debe realizar con profesionales conocedores del tema, ya que esta</p>



	vivienda fue intervenida anteriormente, pero las condiciones actuales eran precarias.
--	---

Identificación de patología 3, Caso de estudio 2

<p>Imagen:</p> 	<p>Características principales:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Desprendimiento de la superficie ▪ Olor a moho ▪ Decoloración de la madera ▪ La madera se desintegra fácilmente con el contacto con las manos ▪ Sonido hueco <p>Ubicación: Viga de entrepiso</p>
<p>Patología identificada</p>	<p>M.6- Pudrición blanca, corrosivas fibrosas o deslignificantes</p>
<p>Tipo de patología</p>	<p>Procesos patológicos físicos</p>
<p>Técnica de reconocimiento</p>	<p>Inspección visual detallada</p>
<p>Equipo de reconocimiento</p>	<p>Se realizó inspección visual directa ya que el elemento estructural se encuentra totalmente visible.</p>
<p>Tratamiento</p>	<p>El tratamiento utilizado para este elemento fue la sustitución de la viga de entrepiso por perfiles de acero como el resto de la estructura existente y para conservar el aspecto arquitectónico se recubrió con madera todo el contorno visible.</p>

	<p>En el siguiente enlace se puede ver a detalle los procesos que se deben realizar para este tratamiento total: https://bit.ly/3OnfGdk</p>
<p>Referencia bibliográfica acerca de la patología</p>	<p>Artículo: “Identificación y solución de las principales patologías presentes en estructuras de madera de edificios patrimoniales, localizadas en el Centro histórico de Cuenca-Ecuador”. By: Reyes, Jorge.</p>
<p>Enlace de referencia (BipTex)</p>	<pre>@article{reyesidentificacion, title={Identificaci{\o}n y soluci{\o}n de las principales patolog{\i}as presentes en estructuras de madera de edificaciones patrimoniales, localizadas en el Centro hist{\o}rico de Cuenca- Ecuador}, author={Reyes Ochoa, Jorge Andr{\e}s and Zaruma Mochas, Luis Andr{\e}s} }</pre>
<p>Recomendaciones</p>	<p>Los elementos de madera que estén a la intemperie se deben proteger con productos de buena calidad y procurar dar mantenimiento más continuo.</p>

Identificación de patología 4, Caso de estudio 2

<p>Imagen:</p> 	<p>Características principales:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Fisuras longitudinales abiertas en el entrepiso ▪ Fisuras paralelas distantes entre sí 35 cm <p>Ubicación: Losa de entrepiso de hormigón</p>
<p>Patología identificada</p>	<p>H.11- Grietas por contracción plástica</p>
<p>Tipo de patología</p>	<p>Procesos patológicos mecánicos</p>
<p>Técnica de reconocimiento</p>	<p>Inspección visual detallado</p>
<p>Equipo de reconocimiento</p>	<p>Para el reconocimiento de esta patología se realizó una inspección visual directa, es decir a simple vista ya que se puede acceder fácilmente al área de estudio.</p>
<p>Tratamiento</p> 	<p>El tratamiento para esta patología, debido al área de afectación pequeño se aplica la técnica de inyección de fisuras y/o grietas con resina epóxica o inyección de fisuras y/o grietas con lechada o mortero con base cemento.</p> <p>En el siguiente enlace se puede conocer el procedimiento a detalle: https://bit.ly/3xNyonx pág. 68 y 70.</p>

Referencia bibliográfica acerca de la patología	Artículo: “Agrietamiento por contracción plástica”. By: National Ready Mixer Concrete Association.
Enlace de referencia (BipTex)	@ARTICLE {nationalreadymixerconcreteassociation2020, author = "National Ready Mixer Concrete Association", title = "Agrietamiento por contracción plástica", year = "2020", pages = "2" }
Recomendaciones	Para este caso, la patología se encuentra dentro de la vivienda, para mejorar el aspecto luego del tratamiento se recomienda colocar algún tipo de recubrimiento como madera, cerámica, etc.

4.3.3 Caso 3


Mercado Central de Suscal



Ilustración 36. Ubicación caso de estudio 3


Descripción general: La estructura del mercado central de Suscal es una nave industrial la misma que tiene la siguiente distribución, zapatas de hormigón armado, columnas y cubierta de cerchas de acero estructural, largueros de perfil tipo C de acero y cubierta de planchas onduladas de fibrocemento. Presenta una edad de más de 17 años (Fuente TDR's consultoría). Está ubicado en las calles Manuel Martínez y Darío Machuca, Cantón Suscal de la Provincia de Cañar, las coordenadas de la ubicación son: Latitud. -2,4392952. Longitud. -79,0522618 Altitud. 2.692,4 msnm.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA-CARRERA DE INGENIERIA CIVIL											
FICHA DE ESTUDIO PATOLÓGICO "CASO DE ESTUDIO 3"											
ESTUDIO REALIZADO POR: Diego Acero					FECHA DE ESTUDIO: 2021						
INFORMACIÓN DE LA EDIFICACIÓN					LESIÓN: Corrosión en los elementos, uniones incorrectas						
NOMBRE: Mercado central de Suscal					UBICACIÓN EN LA ESTRUCTURA: Cercha y uniones						
LOCALIZACIÓN: Calle Manuel Martínez y Darío Machuca, Cantón Suscal					SEVERIDAD: ALTA		MODERADA		BAJA		
USO: Comercial					TEMPERATURA: 18 °C			TIPO AMBIENTE: Templado			
FECHA DE CONSTRUCCIÓN: 2005-2006					HUMEDAD RELATIVA: S/N			INTENSIDAD DE USO: Todos los días			
SISTEMA CONSTRUCTIVO: Nave industrial o galpón					TIPOLOGIA DE LA LESIÓN						
MATERIAL AFECTADO: Acero estructural					FÍSICA	X	QUÍMICA	X	MECÁNICA	X	BIOLÓGICA
ELEMENTO AFECTADO:					CAUSA DE LA LESIÓN						
VIGA CIMENT.	PLACA ENTREPISO		CUBIERTA		DIRECTA						
PLACA PISO	VIGA CONFINAMT.		ESCALERA		FÍSICA						
DOVELA	MAMPOSTERIA		ACABADO		HUMEDAD	X	SUCIEDAD	X	EROSIÓN	X	
MURO ANTEPHO.	OTROS: Cercha			X	ATAQUE FUEGO		ABRASIÓN		AMBIENTE	X	
DEFECTO Y/O DAÑO (ENFERMEDAD)					QUÍMICA						
CONGÉNICO	CONTRAÍDO	X	ACCIDENTAL		EFLORESCENCIA		LIXIVIACIÓN		MANCHAS		
CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES PATOLOGÍA N-1:					MECÁNICA						
Contacto con diferentes materiales					FISURA	X	GRIETA		FRACTURA		
					TRACIÓN		FLEXIÓN		LONGITUDINAL		
					TORSIÓN		PUNZONAMIENTO		CIZALLAMIENTO		
					COMPR. SIMP		CORTANTE		DESPRENDIMIE.		
Oxidación superficial					ASENT. SUELO		PERDIDA ELEMENTO		DEFLEXIÓN		
					BIOLÓGICO						
Oxidación en partes específicas					ANIMAL		VEGETAL		MUSGO		
					INDIRECTA						
Exposición parcial a la intemperie					PROYECCIÓN		MATERIALES		USO INDEBIDO		
					CONSTRUCCIÓN	X	MANTENIMIENTO			X	

	<p>Ubicación: Placa de unión entre zapata y columna</p> <p>Determinación de la técnica y el equipo a utilizar: Debido a que la patología se encontraba visible y de fácil acceso se utilizó inspección visual detallada.</p>
<p>Patología identificada</p>	<p>A.4-Corrosión por aireación diferencial</p>
<p>Tipo de patología</p>	<p>Proceso patológico Químico</p>
<p>Técnica de reconocimiento</p>	<p>Inspección visual detallada</p>
<p>Equipo de reconocimiento</p>	<p>Visual</p>
<p>Tratamiento</p>	<p>Descubrir la zona afectada y eliminar la corrosión mediante métodos de limpieza ya sea por chorro abrasivo o con el uso de disolventes, se puede ayudar de un cepillo de acero.</p> <p>Una vez limpio y seco el área afectada verificar si las tuercas cumplen con su función y cambiar en caso de ser posible.</p> <p>Aplicar un método de protección ya sea interna como la protección catódica o externa como son: esmalte vítreo, galvanización en caliente o pinturas anticorrosivas.</p>
<p>Referencia bibliográfica acerca de la patología</p>	<p>Artículo: “Convertidores de óxido para el tratamiento de la corrosión en estructuras metálica”. By: Balladares, Patricio.</p>
<p>Enlace de referencia (BipTex)</p>	<p>@article{balladares2017convertidores, title={Convertidores de {\o}xido para el tratamiento de la corrosi{\o}n en estructuras met{\a}licas}, author={Balladares Valenzuela, Patricio Ignacio}, year={2017},</p>


	publisher={Chile. Universidad Mayor} }
Recomendaciones	<p>Dependiendo de la complejidad de los métodos de detección, es necesario utilizar equipo de protección personal acorde. Se recomienda utilizar herramientas menores.</p> <p>Dar mantenimiento a la estructura, con mayor frecuencia a los elementos que están en contacto directo con otro tipo de material y el medio ambiente, para evitar la creación de óxidos y con esto al deterioro del elemento.</p>

Identificación de patología 2, Caso de estudio 3

<p>Imagen:</p> 	<p>Características principales:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Falta de homogeneidad ▪ Existencia de burbujas ▪ Presencia de poros ▪ Se observa Protuberancias en el material base <p>Ubicación:</p> <p>En las uniones de la cercha</p>
<p>Patología identificada</p>	<p>A.16- Soldadura incorrecta</p>
<p>Tipo de patología</p>	<p>Procesos patológicos Constructivos</p>


Técnica de reconocimiento	Inspección visual detallada (VT)
Equipo de reconocimiento	Se pueden utilizar los siguientes equipos: sistema endoscópico, calibrador, lupa, lente de aumento. Para este estudio en específico se realizó inspección visual directa.
Tratamiento	Para tratar este tipo de patología debemos partir por localizar y delimitar el área de trabajo. Luego de marcar el área debemos aplicar un método para la remoción del metal y alrededor de la grieta. Seleccionamos el procedimiento de soldadura como también el electrodo a utiliza. Ejecución de la soldadura con un apropiado precalentamiento y temperatura de entrapasos. Cabe recalcar que este procedimiento debe ser realizado por un soldador calificado. Para conocer el procedimiento más a detalle se puede revisar el siguiente link: https://bit.ly/3xKXR2o
Referencia bibliográfica acerca de la patología	Artículo: “Patología de las estructuras metálicas: lesiones”. By: Basset Salom, Luisa
Enlace de referencia (BipTex)	@article{basset2021patologia, title={Patolog{\i}a de las estructuras met{\a}licas: lesiones}, author={Basset Salom, Luisa}, year={2021} }
Recomendaciones	Dependiendo de la complejidad del método de detección, es necesario utilizar equipo de protección personal acorde. Se recomienda utilizar herramientas menores.

Identificación de patología 3, Caso de estudio 3

<p>Imagen:</p> 	<p>Características principales:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Unión sin continuidad ▪ Falta de soldadura en tramos de la placa de unión ▪ Placas colocadas empíricamente ▪ No genera confiabilidad, falta de simetría. <p>Ubicación: Unión de los elementos de la cercha</p>
<p>Patología identificada</p>	<p>A.17- Uniones incorrectas</p>
<p>Tipo de patología</p>	<p>Procesos patológicos Constructivos</p>
<p>Técnica de reconocimiento</p>	<p>Inspección visual detallada (VT)</p>
<p>Equipo de reconocimiento</p>	<p>Se pueden utilizar los siguientes equipos: cámara digital, calibrador, lupa, lente de aumento.</p> <p>Para este estudio en específico se utilizó una cámara digital de alta resolución (Inspección visual indirecta) por la dificultad de acceder al elemento en estudio.</p>
<p>Tratamiento</p>	<p>Para este tipo de patologías lo recomendable es diseñar correctamente la unión.</p> <p>Posterior a al diseño se debe analizar cómo se puede montar la nueva unión o encontrar la forma de reforzarla, para las dos posibilidades se debe remover partes de la soldadura existente.</p> <p>Para revisar el procedimiento más a detalle ingresar al siguiente link: https://bit.ly/3OhJs3b</p>

Referencia bibliográfica acerca de la patología	Artículo: “Patología de las estructuras metálicas: lesiones”. By: Basset Salom, Luisa
Enlace de referencia (BipTex)	<pre>@article{basset2021patologia, title={Patolog{\i}a de las estructuras met{\a}licas: lesiones}, author={Basset Salom, Luisa}, year={2021} }</pre>
Recomendaciones	<p>Al momento de ensamblar la estructura se debe llevar un control estricto de todo el procedimiento, colocación de los elementos y armado de las uniones acorde a los planos de diseño. La soldadura debe cumplir requisitos que exige la normativa.</p> <p>Para realizar los métodos de detección se recomienda utilizar equipo de protección personal y herramientas menores.</p>

Identificación de patología 4, Caso de estudio 3

<p>Imagen:</p> 	<p>Características principales:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Desgaste el material ▪ Reducción de la sección ▪ Costras de óxido <p>Ubicación:</p> <p>En los elementos de las cerchas</p>
<p>Patología identificada</p>	<p>A.7- Erosión química</p>
<p>Tipo de patología</p>	<p>Procesos patológicos químicos</p>
<p>Técnica de reconocimiento</p>	<p>Inspección visual detallada (VT)</p>
<p>Equipo de reconocimiento</p>	<p>Se pueden utilizar los siguientes equipos: calibrador, lupa, lente de aumento.</p> <p>Para este rubro se utilizó un calibrador para conocer con precisión las dimensiones de los perfiles de acero estructural de la cercha.</p>
<p>Tratamiento</p>	<p>Ningún tratamiento anticorrosivo combate la erosión química, la mejor solución está en reemplazar por completo el elemento afectado, una vez realizado este procedimiento se puede aplicar pinturas protectoras para prevenir futuras afectaciones. Se debe analizar los factores que iniciaron una erosión de este tipo y erradicarlos por completo.</p>

Referencia bibliográfica acerca de la patología	Artículo: “Patología de las estructuras metálicas: lesiones”. By: Basset Salom, Luisa
Enlace de referencia (BipTex)	@article{basset2021patologia, title={Patología de las estructuras metálicas: lesiones}, author={Basset Salom, Luisa}, year={2021} }
Recomendaciones	Es recomendable dar mantenimiento a estos elementos, ya que la excesiva reducción de sección puede ocasionar que el elemento estructural falle, corriendo el riesgo de un colapso.

4.3.4 Caso 4

Puente peatonal sobre la avenida 40 entre SENA y centro comercial VIVA, Villavicencio



Ilustración 37 Caso de estudio N-4

Descripción general: La estructura del puente peatonal tiene una longitud total de 84.73 metros dividido en cinco luces de 15 metros aproximadamente, conformado por pilas de 5.50 metros de altura y zapatas aisladas, tablero de concreto reforzado de 0.12X2.65 de sección transversal, además la superestructura consta con una viga de cajón metálico (Aranguren & Suarez, 2019).



Ilustración 38 Ubicación del caso de estudio

Se encuentra ubicado en sobre la avenida 40 de la ciudad de Villavicencio, departamento Meta, país Colombia, entre calles 7 y 5, en las siguientes coordenadas: Latitud norte $4^{\circ}07'35.62'' - 4^{\circ}07'34.43''$ Longitud oeste $73^{\circ}38'20.87'' - 73^{\circ}38'20.87''$, como se muestra en la ilustración 54 (Aranguren & Suarez, 2019).

Posterior a la visita de inspección se determinó los áreas donde se realizó los ensayos y pruebas con el propósito de identificar la calidad de los materiales, también se encontraron anomalías como: agrietamiento, desprendimiento, corrosión y exposición del acero de refuerzo, presencia de vegetación entre otros, las cuales varían en gravedad desde leves, moderadas hasta llegar en algunos casos a encontrarse daños muy severos; como consecuencia de la exposición prolongada, constante y directa al medio ambiente, desechos fisiológicos de humanos y animales y la falta de mantenimiento rutinario y preventivo (Aranguren & Suarez, 2019).

Las patologías encontradas se detallan a continuación:

UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA-CARRERA DE INGENIERIA CIVIL												
FICHA DE ESTUDIO PATOLÓGICO "CASO DE ESTUDIO 4"												
ESTUDIO REALIZADO POR: Ing. Ingrid Aranguren & Ing. Nestor suarez					FECHA DE ESTUDIO: 2017							
INFORMACIÓN DE LA EDIFICACIÓN					LESIÓN: Agrietamientos, desprendimientos, corrosión y exposición del acero de refuerzo							
NOMBRE: Puente peatonal en la ciudad de Villavicencio, Colombia					UBICACIÓN EN LA ESTRUCTURA: Pilas, tablero, escalera							
LOCALIZACIÓN: Av. 40 entre Sena y centro comercial Viva, Villavicencio, Met					SEVERIDAD: ALTA		MODERADA		X	BAJA		
USO: Puente peatonal					TEMPERATURA: 27 °C			TIPO AMBIENTE: Cálido y muy húmedo				
FECHA DE CONTRUCCIÓN: S/N					HUMEDAD RELATIVA: S/N			INTENSIDAD DE USO: Todos los días				
SISTEMA CONSTRUCTIVO: Pilas con zapatas aisladas y tablero de concreto reforzado y viga cajón metálica					TIPOLOGIA DE LA LESIÓN							
MATERIAL AFECTADO: Concreto y acero					FÍSICA	X	QUÍMICA	X	MECÁNICA	X	BIOLÓGICA	X
ELEMENTO AFECTADO:					CAUSA DE LA LESION							
VIGA CIMENT.	PLACA ENTREPISO		CUBIERTA		DIRECTA							
PLACA PISO	VIGA CONFINAMT.		ESCALERA		FÍSICA	HUMEDAD	X	SUCIEDAD	X	EROSIÓN	X	
DOVELA	MAMPOSTERIA		ACABADO		QUÍMICA	ATAQUE FUEGO		ABRASIÓN		AMBIENTE	X	
MURO ANTEPHO.	OTROS: Puente peatonal			X	EFLORESCENCIA		LIXIVIACIÓN		MANCHAS			
DEFECTO Y/O DAÑO (ENFERMEDAD)					CORROSIÓN	X	MANCH. ORGNICA					
CONGÉNICO	CONTRAIDO	X	ACCIDENTAL		MECÁNICA	FISURA	X	GRIETA		FRACTURA		
CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES PATOLOGÍA N-1:					TRACIÓN		FLEXIÓN		LONGITUDINAL			
Desmoronamiento del hormigón					TORSIÓN		PUNZONAMIENTO		CIZALLAMIENTO			
Corrosión de la armadura					COMPR. SIMP		CORTANTE		DESPRENDIMIE.			
Cambio del color del hormigón, más claro					ASENT. SUELO		PERDIDA ELEMENTO		DEFLEXIÓN			
Hormigón de aspecto poroso					BIOLÓGICO	ANIMAL	VEGETAL	X	MUSGO			
					INDIRECTA							
					PROYECCIÓN			MATERIALES		USO INDEBIDO		
					CONSTRUCCIÓN			MANTENIMIENTO				X

Imagen:



Ubicación:

Estos desprendimientos se encuentran en la columna n-2, columna n-3 y el muro de pantalla Sena.

Determinación de la técnica y el equipo a utilizar:

Debido a que la patología se encontraba visible y de fácil acceso se utilizó inspección visual detallada. Además, se realiza ensayos de extracción de núcleos para determinar la resistencia del hormigón.

Patología identificada

H.20 Desprendimientos

Tipo de patología

Proceso patológico mecánico

Técnica de reconocimiento

Para la detección de esta patología se optó por la inspección visual detallada, complementada con ensayo de extracción de núcleos para determinar la resistencia del hormigón.



Equipo de reconocimiento



Inspección visual directa.

Extracción de núcleos: herramienta niveladora, perforadora de núcleos, dispositivo de extracción de núcleos y herramientas menores.

Máquina para realizar ensayo de compresión de los núcleos extraídos.

Resultados obtenidos en el laboratorio:

Tabla 28. Resultados del ensayo de Resistencia a la Compresión de núcleos de concreto

COD. INTERNO DEL NÚCLEO	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE EXTRACCIÓN	RESISTENCIA OBTENIDA A LA FECHA * FACTOR(Mpa)
N-1	Columna 1	14/09/2017	22.7
N-2	Columna 2	14/09/2017	22.7
N-3	Placa puente Viva	14/09/2017	23.8
N-4	Placa puente Viva	14/09/2017	22.9
N-5	Placa puente Viva	14/09/2017	20.0
N-6	Placa puente Viva	15/09/2017	17.0
N-7	Placa puente Viva	15/09/2017	18.2
N-8	Placa puente Viva	15/09/2017	17.2


Fuente: (Aranguren & Suarez, 2019)

Según el informe del estudio, la resistencia de diseño es de 20.68 Mpa que equivalen a 210 kg/cm². Hay valores muy por debajo de la resistencia de diseño como 17 Mpa o 173.35 kg/cm², valor que no cumple con el diseño. Promediando los valores obtenidos en los ensayos de compresión se obtiene un valor de 20.56 Mpa o 209.65 kg/cm² que en lo general está dentro del rango de diseño.

Tratamiento	Para esta patología el tratamiento recomendable es la limpieza total de las varillas de refuerzo mediante la técnica de limpieza con chorros abrasivos o raspado con agujas. Restitución de la superficie por medio de hormigón proyectado que se detalla en el siguiente documento https://bit.ly/3PSm9h6 pag. 63.
Referencia bibliográfica acerca de la patología	Artículo: “Estudio patológico del puente peatonal sobre la avenida 40 entre Sena y centro comercial Viva en la ciudad de Villavicencio (Meta)”. By: Aranguren Ingrid, Suarez Néstor.
Enlace de referencia (BipTex)	@article{arangurenestudio, title={Estudio patológico del puente peatonal sobre la avenida 40 entre Sena y centro comercial Viva en la ciudad de Villavicencio (Meta)},

	<p>author={Aranguren Bejarano, Ingrid Johanna and Suarez Quiñones, Nestor Hernán},</p> <p>publisher={Universidad Santo Tomás}</p>
Recomendaciones	<p>Para prevenir este tipo de patologías se debe realizar un control estricto al momento de fabricar el hormigón cumpliendo con la dosificación para alcanzar la resistencia de diseño.</p> <p>Cumplir con el recubrimiento de las barras de acero de refuerzo según el ambiente donde se emplaza la estructura.</p>

Identificación de patología 2, Caso de estudio 4

<p>Imagen:</p> 	<p>Características principales:</p> <ul style="list-style-type: none"> Pérdida de sección de la armadura Fisuras del hormigón siguiendo la dirección de las barras de acero de refuerzo Desprendimiento de la capa protectora de la estructura (recubrimiento) Manchas color herrumbre en las superficies de contacto entre el hormigón y el acero de refuerzo. <p>Ubicación:</p> <p>Esta anomalía se encuentra en las escaleras de acceso y muros de pantalla.</p> <p>Determinación de la técnica y el equipo a utilizar:</p> <p>Debido a que la patología se encontraba visible y de fácil acceso se utilizó inspección visual detallada. Además, del ensayo de extracción de núcleos para este apartado se realizó ensayo de</p>
---	--



	<p>esclerómetro para estimar la resistencia del hormigón.</p>
<p>Patología identificada</p>	<p>H.25- Oxidación y corrosión</p>
<p>Tipo de patología</p>	<p>Proceso patológico químico</p>
<p>Técnica de reconocimiento</p>	<p>La detección de esta patología se realizó mediante inspección visual detallada, complementada con ensayo de esclerómetro para estimar la resistencia del hormigón puesta en obra.</p>
<p>Equipo de reconocimiento</p> 	<p>Inspección visual directa.</p> <p>Utilización del martillo de rebote o esclerómetro.</p>
<p>Resultados obtenidos en el laboratorio</p>	

Tabla 29. Resultados del ensayo de esclerómetro

ID	ELEMENTO	RESISTENCIA DE DISEÑO (PSI)	RESISTENCIA DE DISEÑO (MPa)	RESISTENCIA ESTIMADA (PSI)	RESISTENCIA ESTIMADA (MPa)
1	Columna #1	3000		5689	39.2
2	Muro Pantalla #1 Primer Piso Sena	3000		5405	37.2
3	Muro Pantalla #1 Segundo Piso Sena	3000		4551	31.4
4	Muro Pantalla #1 Segundo Piso Sena	3000		5689	39.2
5	Columna #2	3000		3385	23.3
6	Columna #3	3000		3698	25.4
7	Columna #4	3000		4978	34.3
8	Columna #5	3000		4836	33.3
9	Columna #5	3000		3385	23.3
10	Bordillo Costado Sena	3000	21	<1500	<10.3
11	Placa Costado Sena	3000		<1500	<10.3
12	Bordillo Costado Central	3000		1565	10.8
13	Placa Costado Central	3000		<1500	<10.3
14	Bordillo Costado Viva	3000		2347	16.2
15	Placa Costado Viva	3000		<1500	<10.3
16	Muro Pantalla # 2 Segundo Piso Viva	3000		4836	33.3
17	Muro Pantalla # 2 Segundo Piso Viva	3000		4836	33.3
18	Muro Pantalla # 2 Primer Piso Viva	3000		3556	24.5

Fuente: (Aranguren & Suarez, 2019)

En los resultados obtenidos se puede observar que la resistencia de diseño es de 3000 PSI o 210 kg/cm², las resistencias estimadas en columnas cumplen con resistencias muy variadas con un promedio de 29.8 Mpa o 303.87 kg/cm², los muros de pantalla presentan una resistencia alta muy superior a la de diseño, los bordillos y placas de costado no cumplen con la resistencia de diseño siendo menores a 10.3 Mpa o 105 kg/cm².


Tratamiento

Apuntalamiento de los elementos afectados, en este caso la escalera de acceso, que presenta mayor afectación. Reforzar o sustitución de la armadura cuyo procedimiento se detalla en el siguiente link: <https://bit.ly/3PSm9h6> pág. 74

En elementos con menor daño se puede proteger la armadura y reparar el hormigón mediante concreto proyectado cuyo procedimiento se detalla en el siguiente enlace: <https://bit.ly/3PSm9h6> pág. 63.

Referencia bibliográfica acerca de la patología	Artículo: “Estudio patológico del puente peatonal sobre la avenida 40 entre Sena y centro comercial Viva en la ciudad de Villavicencio (Meta)”. By: Aranguren Ingrid, Suarez Néstor.
Enlace de referencia (BipTex)	<pre>@article{arangurenestudio, title={Estudio patológico del puente peatonal sobre la avenida 40 entre Sena y centro comercial Viva en la ciudad de Villavicencio (Meta)}, author={Aranguren Bejarano, Ingrid Johanna and Suarez Quiñones, Néstor Hernán}, publisher={Universidad Santo Tomás} }</pre>
Recomendaciones	<p>Proteger las armaduras con anticorrosivos u otros métodos que se pueden revisar los siguientes enlaces:</p> <p>https://bit.ly/3PB6SRX</p> <p>https://bit.ly/3PUqqjX</p>

Identificación de patología 3, Caso de estudio 4

<p>Imagen:</p> 	<p>Características principales:</p> <p>Manchas de color verde, blanca u oscura</p> <p>Se distingue a simple vista la presencia de plantas adheridas a la superficie de hormigón</p> <p>Ubicación:</p> <p>Junta de dilatación entre el tablero y las escaleras de acceso, en la columna.</p> <p>Determinación de la técnica y el equipo a utilizar:</p> <p>Para esta patología se aplicó inspección visual detallada, ya que las enfermedades se encuentran accesibles y visibles.</p>
<p>Patología identificada</p>	<p>H.5- Algas, helechos, líquenes y musgos</p>
<p>Tipo de patología</p>	<p>Procesos patológicos físicos de origen biológico</p>
<p>Técnica de reconocimiento</p>	<p>Por el tipo de patología, la ubicación y la accesibilidad al área afectado se opta por una inspección visual detallada.</p>
<p>Equipo de reconocimiento</p>	<p>Inspección visual directa</p>
<p>Tratamiento</p>	<p>Limpieza se la superficie por medio de hidrolavadoras</p> <p>Uso de detergente</p> <p>Uso de protectores hidrorrepelentes</p> <p>Para el tratamiento de helechos es preciso desprenderlos destruyendo una parte o la capa de</p>

	<p>la superficie. Se recomienda la técnica de raspado con aguja o con chorros abrasivos.</p> <p>Debido a que estas técnicas de limpieza causan daño a la superficie se detallan algunas consideraciones en el siguiente enlace: https://bit.ly/3vFwxBl pág. 7.</p>
<p>Referencia bibliográfica acerca de la patología</p>	<p>Artículo: “Estudio patológico del puente peatonal sobre la avenida 40 entre Sena y centro comercial Viva en la ciudad de Villavicencio (Meta)”. By: Aranguren Ingrid, Suarez Néstor.</p>
<p>Enlace de referencia (BipTex)</p>	<pre>@article{arangurenestudio, title={Estudio patológico del puente peatonal sobre la avenida 40 entre Sena y centro comercial Viva en la ciudad de Villavicencio (Meta)}, author={Aranguren Bejarano, Ingrid Johanna and Suarez Quiñones, Néstor Hernán}, publisher={Universidad Santo Tomás} }</pre>
<p>Recomendaciones</p>	<p>Para este tipo de patologías la única solución son los mantenimientos periódicos, evitando el crecimiento de estas plantas.</p>

-CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Con la culminación del presente estudio se pudo llegar a las siguientes conclusiones:

- El diagnóstico de las patologías en una estructura, puede llevarse a cabo mediante un análisis destructivo y no destructivo. El primero, implica una serie de pruebas que afectan la estructura, pudiendo alterar su funcionamiento y forma original; en cambio el segundo, no implica daños o afecciones sobre dichas estructuras.
- Entre las técnicas no destructivas, empleadas para detectar una patología en los materiales que conforman las estructuras, están las siguientes: la inspección visual detallada, la radiografía industrial, esclerómetro, inspección por ultrasonido, inspección por medio de líquidos penetrantes, pilodyn, inspección por partículas magnéticas e inspección mediante galgas extensométricas.
- Entre las técnicas destructivas, empleadas para detectar una patología en los materiales que conforman las estructuras de una construcción, están las siguientes: ensayo de tracción, ensayo de flexión, ensayo de compresión simple, extracción de núcleos.
- Los principales equipos que se utilizan para detectar patologías en los materiales que conforman una estructura, son: los sistemas endoscópicos, microscopio, sistema SRF portátil, sistema XRD, el medidor ultrasónico, kit para ensayo de líquidos penetrantes, para las partículas magnéticas el yugo electromagnético, la lámpara de Luz UV, las galgas extensométricas, los distanciómetros, el nivel laser, los medidores de humedad y sonda eléctrica de humedad, el fisurómetro plegable o digital, el pachómetro, taladro de núcleos, herramientas menores que permitan abordar los ensayos destructivos y/o no destructivos.

- El proceso elegido para recolectar, organizar y categorizar la información bibliográfica y de campo en la base de datos arrojó resultados muy positivos. La base de datos tiene una estructura que serán una mezcla de tipo jerárquico y relacional que ordena la información de forma simple y organizada. El software NOTION fue la herramienta digital elegida para desarrollar este proceso.
- En los casos de estudio con la aplicación del ensayo de esclerómetro, se concluye que los resultados obtenidos; en el caso de estudio N-1 los valores son similares entre sí, y coinciden con la gráfica del ANEXO 2 del índice de rebote y la resistencia; los resultados obtenidos por este ensayo en el caso de estudio N-4 varían mucho entre sí, ya que los resultados obtenidos por este ensayo dependen de muchos factores como la profundidad de carbonatación, factor de forma, edad del hormigón, presencia de varillas de refuerzo, humedad y si se encuentra un agregado grueso cerca de la superficie de contacto con el martillo.

5.2 Recomendaciones

- Es fundamental utilizar materiales de calidad, que se ajusten a las normativas que regulan el desarrollo de un proyecto arquitectónico cualquiera.
- El diagnóstico de patologías, debería ser abordado mediante técnicas no destructivas, para garantizar la estabilidad, funcionamiento y forma original de la estructura, mucho más si se trata de edificaciones antiguas.
- Es necesario brindar un continuo seguimiento y control al proceso de construcción, poniendo énfasis en el diseño de la edificación, los materiales que son utilizados, las técnicas de construcción y la experiencia profesional.
- Es recomendable utilizar la base de datos propuesta, para ahorrar tiempo al momento de diagnosticar una patología, los equipos y técnicas que permiten detectar anomalías en estructuras de acero, hormigo, madera y pétreos/cerámicos.

- Para llevar a cabo los métodos planteados en la presente investigación es imprescindible la utilización de equipo de protección personal, para evitar accidentes laborales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- NEC.2015, N. E. (2016). *Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras*. Quito: Imprenta activa .
- Rodríguez, A. (2020). Definición de patología y su campo de estudio. *Access Medicina*, 8(11), 8-13.
<https://accessmedicina.mhmedical.com/content.aspx?bookid=1493§ionid=102867681>
- Suárez, B., & Bastián, L. (2018). La historia de la anatomía patológica universal. *Rev Archivo Médico de Camagüey*, 11(4), 25-36.
<https://www.redalyc.org/pdf/2111/21111855014.pdf>
- Serrano, A. (15 de Agosto de 2020). *La patología estructural* . Piping Specialists International : <http://www.psi-sas.com/sabes-que-es-patologia-estructural/>
- Andrade, G. (08 de Julio de 2020). *¿Qué es la Patología?* BRS Ingenieros SA:
<https://brsingenieros.com/patologias-comunes/>
- Avendaño, E. (13 de Abril de 2018). *Revista Construcción y Tecnología en concreto*. Detección, tratamiento y prevención de patologías en sistemas de concreto estructural: <https://www.davinci.com.co/consultoria/que-es-una-patologia-estructural/>
- Peirón, S. (2017). Rehabilitación estructural de un sector afectado por corrosión severa en vigas de entrepiso en una curtiembre. *Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción*, 1(3), 236-244.
<https://www.redalyc.org/pdf/4276/4276395006.pdf>
- Toirac, J. (2018). Patología de la construcción grietas y fisuras en obras de hormigón ; origen y prevención. *Ciencia y Sociedad*, 29(1), 72-114.
<https://www.redalyc.org/pdf/870/870104.pdf>
- López, D., & Gutiérrez, O. (2018). Patología estructural de las iglesias de Boyacá. *Rev Facultad de Ingeniería*, 18(27), 15-28.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=4139460003>
- Figueroa, T., & Palacio, R. (2018). Patologías, causas y soluciones. *Revista EIA Escuela de Ingeniería de Antioquia*, 18(10), 121-130.
<https://www.redalyc.org/pdf/1492/1492844009.pdf>
- Gómez, J. (13 de Febrero de 2018). *Código AISC 360*. Aula SeproInca:
<https://aulaseproinca.com/2018/02/codigo-aisc-360-16-gratis.html>
- ALACERO. (2018). *Asociación Latinoamericana de Acero* . Requisitos de Diseño:
http://www.construccionenacero.com/sites/construccionenacero.com/files/publicacion/especificacion_ansi-aisc_360-10_para_construcciones_de_acero.pdf
- Balkey, K. (2018). *Normas de certificación ASME*. Códigos y las Normas ASME para Estudiantes de:
[https://www.asme.org/wwwasmeorg/media/resourcefiles/aboutasme/standards_and_certification/scstudentbr_aug15r3-\(002\).pdf](https://www.asme.org/wwwasmeorg/media/resourcefiles/aboutasme/standards_and_certification/scstudentbr_aug15r3-(002).pdf)
- INEN. (2017). *Instituto Nacional Estadounidense de Normalización*. Código de soldadura estructural: https://pubs.aws.org/download_pdfs/d1.1-2017-spa-pv.pdf
- MIDUVI. (2020). *Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda*. Normativa ecuatoriana para la Construcción: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>

- Viera, P. (2018). *NEC-SE-AC- Estructuras de Acero*. Construcciones UCE:
<https://construccionesuce.wordpress.com/nec-se-ac-estructuras-de-acero/>
- Basset, L. (2018). *Universitat Politècnica de València*. Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras:
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/168000/Basset/estructurales>.
- Avendaño, C., & Londoño, A. (2017). Patologías por la humedad en los materiales para construcción. *Scientia Et Technica*, 8(36), 343-347.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=8490361>
- Lima, H., & Ribeiro, R. (2019). Análisis de manifestaciones patológicas del concreto en viaductos urbanos. *Revista ALCONPAT*, 9(2), 247 – 259.
<https://www.redalyc.org/journal/4276/427657986015/suppl3.pdf>
- Tena, L., & Pérez, F. (2017). Propuesta de mejora de mezclas para producir piezas de mampostería de concreto empleando materiales comúnmente disponibles en el Valle de México. *Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción*, 7(1), 36-56.
<https://www.redalyc.org/pdf/4276/4276496564.pdf>
- Ercolani, G., & Ortega, N. (2017). Metodologías para la localización de daño en vigas de hormigón pretensado. *Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción*, 7(3), 262-273.
<https://www.redalyc.org/pdf/4276/427652775005.pdf>
- Echeverri, P. (13 de Enero de 2021). *¿Qué es una patología en la construcción?*
 Construcciones y más : <https://www.echeverrimontes.com/que-es-patologia-construccion>
- Begoña, L. (2018). *Guía para la Inspección y Evaluación Preliminar de estructuras de hormigón en edificios existentes* . Valencia: Instituto Valenciano de la Edificación .
- Ferrer, R., & Payares, F. (2021). Identificación, estudio e intervención de patologías edificio Smart Clarisas. *Trabajo Profesional Integrado*. Bucaramanga , Colombia : Universidad Santo Tomás.
- Chávez, J., & Álvarez, O. (2018). Metodología para el diagnóstico y restauración de edificaciones. *Revista de la Construcción*, 4(2), 47-54.
<https://www.redalyc.org/pdf/1276/127619745006.pdf>
- Arqhys. (15 de Diciembre de 2019). *Características de los materiales de construcción*. Arqhys Construcción: <https://www.arqhys.com/construccion/materiales-construccion-caracteristicas.html>
- Organización Internacional del Trabajo [OIT]. (2018). *Servicio de Administración del Trabajo*. Inspección del Trabajo y Seguridad y Salud en el Trabajo:
https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_dialogue/---lab_admin/documents/publication/wcms_625586.pdf
- SCI. (15 de Junio de 2018). *Ensayo no destructivo: Tipos y funciones* . Control & Inspección: <https://scisa.es/ensayo-no-destructivo/>
- Zaragoza, I. (08 de Octubre de 2020). *Ensayos no destructivos y cuándo aplicarlos*. Infinitia Industrial Consulting: <https://www.infinitiaresearch.com/noticias/ensayos-no-destructivos-definicion-aplicacion/>
- Mazer, W., Silva, L., Lucas, E., & Santos, F. (2018). Evaluación de manifestaciones patológicas en edificios en función de la orientación geográfica. *Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de*

- la Construcción*, 6(2), 145-156.
<https://www.redalyc.org/pdf/4276/42764671301.pdf>
- Valles, J., Olaya, M., & Mago, M. (2018). Análisis de fallas en transformadores de distribución utilizando ensayos no destructivos y pruebas de tensión mecánicas. *Rev Ingeniería UC*, 18(2), 23-32. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=7072354003>
- Ferrovial . (09 de Julio de 2018). *¿Qué son los materiales de construcción?* . Materiales de Construcción: <https://www.ferrovial.com/es/recursos/materiales-construccion/>
- Salvatorre, A. (2018). *Introducción a las técnicas volumétricas / Curso de Análisis Químico*. Buenos Aires - Argentina : Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales .
- Campillo, S. (2018). *Introducción al análisis volumétrico*. Murcia - España: Universidad de Murcia.
- Balart, C. (2018). En la búsqueda de soluciones constructivas para prevenir patologías en las viviendas sociales. *Revista de la Construcción*, 4(1), 91-93.
<https://www.redalyc.org/pdf/1276/12761936011.pdf>
- Morales, R. (2019). Deformaciones de las estructuras. *Rev de la Univ de Mendoza*, 8(17), 1-14. <https://core.ac.uk/download/pdf/268219527.pdf>
- FLC. (15 de Junio de 2018). *Criterios preventivos para trabajos con riesgo eléctrico en obras de construcción*. Fundación Laboral de la Construcción:
<https://www.trabajoenconstruccion.com/resources/subirarchivos/00071383archivo.pdf>
- Sanjuan, C. (08 de Enero de 2018). *Instrumentación aplicada a la edificación (9) Células de presión*. Patología, Rehabilitación, Construcción:
<https://www.patologiasconstruccion.net/2018/01/instrumentacion-aplicada-la-edificacion-9-celulas-presion/>
- Arenas, F. (17 de Marzo de 2018). *Los materiales de construcción y el medio ambiente*. Estudios : https://huespedes.cica.es/gimadus/17/03_materiales.html
- Humitat . (05 de Marzo de 2021). *Como medir correctamente las humedades en las paredes*. Medir las humedades en las paredes según normas DIN:
<https://www.humitat-stop.com/blog/como-medir-correctamente-las-humedades-en-las-paredes-y-suelos>
- Applus. (09 de Agosto de 2019). *Ensayos destructivos de materiales*. Servicios en Construcción: <https://www.applus.com/global/es/what-we-do/sub-service-sheet/ensayos-destructivos-de-materiales>
- Eliem, N. (10 de Agosto de 2018). *Tipos de Ensayos No Destructivos*. Nucleom:
<https://nucleom.ca/es/aprendizaje/tipos-de-ensayos-no-destructivos/>
- Marin, I. (2018). Tesis de Grado. *Causas y soluciones de patologías presentes en la Cabaña villa Lujan*. Bogotá, Colombia: Universidad Católica de Colombia.
- PCE . (2019). *Endoscopia industrial*. PCE Instruments Ibérica SL: <https://www.pce-instruments.com/espanol/f/espanol/media/endoscopia-industria-construccion.pdf>
- IAEA. (10 de Enero de 2020). *Radiografía industrial*. Organismo Internacional de Energía Atómica : <https://www.iaea.org/es/temas/radiografia-industrial>
- Chaverri, O. (2018). Radiografía Industrial: comparación entre el método tradicional y digital empleando rayos X. *Revista Tecnología en Marcha*, 30(3), 119-129.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18845/tm.v30i3.3278>
- Urich, A. (17 de July de 2018). *Experiencias en el Uso del Ultrasonido para la Evaluación Post-Sismo de Estructuras de Concreto Reforzado*. Research Gate :
https://www.researchgate.net/publication/339851366_Experiencias_en_el_Uso_del

- _Ultrasonido_para_la_Evaluacion_Post-Sismo_de_Estructuras_de_Concreto_Reforzado
- Álvarez, V., Jimbo, C., Medina, G., & Ordoñez, A. (2018). Metodología para la aplicación de ensayos no destructivos mediante ultrasonido. *Tesis de Grado*. Loja, Ecuador: Universidad Nacional de Loja.
- Fuentes, C. (10 de Agosto de 2020). *Ensayos por líquidos penetrantes*. SCI Control & Inspección: <https://scisa.es/ensayos-no-destructivos-y-laboratorio-metalurgico/ensayos-no-destructivos/inspeccion-por-liquidos-penetrantes/#:~>
- AeIsA. (15 de Junio de 2019). Asesoría y Equipos de Inspección SA de CV: <https://www.aeisa.com.mx/liquidos-penetrantes-todo-lo-que-tenes-que-saber-sobre-esta-prueba-no-destructiva/>
- Galvez, H. (09 de Febrero de 2020). *Ensayos por partículas magnéticas*. SCI Control & Inspección : <https://scisa.es/ensayos-no-destructivos-y-laboratorio-metalurgico/ensayos-no-destructivos/inspeccion-por-particulas-magneticas/>
- Omega . (23 de Septiembre de 2021). *Galgas extensiométricas*. OMEGA Aspects Company: <https://es.omega.com/prodinfo/galgas-extensiometricas.html>
- Esquer, G. (2018). Determinación de la sensibilidad y efectos de agentes externos en galgas extensométricas. *Tesis de Grado*. México: ESIME.
- Zwick, R. (13 de Agosto de 2020). *Ensayo de tracción*. Análisis en construcciones: <https://www.zwickroell.com/es/sectores/ensayo-de-materiales/ensayo-de-traccion/#:~>
- IIC. (23 de Abril de 2020). *Ensayo de tracción y su aplicación en materiales*. Infinita Industrial Consulting : <https://www.infinitiaresearch.com/noticias/ensayo-de-traccion-y-su-aplicacion-en-materiales/>
- IncoSuma . (10 de Abril de 2018). *Ensayo de gatos planos* . Ingeniería de la Construcción: <http://www.incosuma.es/ensayo-de-gatos-planos/>
- Jiménez, J. (2021). Generación de base de datos sobre patologías en estructuras de acero. *Tesis de Grado* . Cuenca , Azuay , Ecuador: Universidad Católica de Cuenca.
- Cordero, L. (2021). Generación de Base de Datos sobre patologías en estructuras de hormigón . *Tesis de Grado* . Cuenca , Azuay , Ecuador : Universidad Católica de Cuenca .
- Illescas, C. (2022). Generación de base de datos sobre patologías en estructuras de materiales pétreos y cerámicos . *Tesis de Grado* . Cuenca , Azuay , Ecuador : Universidad Católica de Cuenca.
- Portoviejo, W. (2022). Generación de Base de Datos sobre patologías en estructuras de madera . *Tesis de Grados* . Cuenca , Azuay , Ecuador : Universidad Católica de Cuenca.
- Tdx Cat . (2018). *Realización de ensayos experimentales* . Bogotá: Ciencia y Visión .
- Vivanco, A. (2021). Análisis comparativo de ensayos destructivos y no destructivos en estructuras de concreto, Puerto Casma, 2021. *Tesis de Grado*. Lima , Perú: Universidad César Vallejo.
- Realpe, G. (Noviembre de 2018). *Métodos de ensayo in situ utilizados en la evaluación de estructuras de hormigón armado* . Laboratorio de Materiales de Construcción Pontificia Universidad Católica del Ecuador: <https://www.camicon.ec/wp-content/uploads/2018/11/ENSAYOS-NO-DESTRUCTIVOS-EN-LA-EVALUACION-DEL-HORMIGON.pdf>

- Redondo, E., & González, D. (2018). Procedimiento para la evaluación de corrosión en elementos de concreto reforzado. *Tesis de Grado*. Cartago, Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica .
- Dávalos, A. (2018). *Standard Test Method for Pullout Strength of Hardened Concrete*. Designation: C 900 – 06: <https://pdfcoffee.com/qdownload/astm-c900-pullout-strengthpdf-pdf-free.html>
- CiDe. (28 de Diciembre de 2020). *Técnica de inspección visual en elementos de madera*. CIDE Madera: <https://cidemadera.com/index.php/tecnica-de-inspeccion-visual-en-elementos-de-madera>.
- Reyes, L. (7 de Septiembre de 2018). *Estado estructural y de biodegradación de los elementos constructivos de madera*. AIDIMME Instituto Tecnológico: https://contrataciondelestado.es/wps/wcm/connect/8c2d10b8-5725-4da9-b13d-df99cfd3014f/DOC20201123145551AIDIME_informe+cubierta+teatro+guimera+firmado.pdf?MOD=AJPERES
- Balmori, J., Acuña, L., & Basterra, A. (2018). Estudio de la influencia de la dirección de la fibra en la velocidad de propagación de ultrasonido en madera. *Rev Rehanbend*, 24(31), 746-755.
- Alvarez, M. (2018). *Estimación de la densidad de la madera mediante técnicas pseudo no destructivas* . España : Universidad de Valladolid.
- Cañas, I. (2018). Capacidad de predicción del penetrómetro Pilodyn en la determinación de la densidad de la madera. *Tekman Education*, 18(23), 1-118.
- Maldonado, I., Iñiguez, G., Arriaga, F., & Herrero, M. (2018). *Técnicas no destructivas en la inspección de estructuras de madera* . InfoMadera: https://infomadera.net/uploads/articulos/archivo_5505_2606671.pdf
- Carracedo, S. (2018). Estudio de patologías, técnicas de diagnóstico, restauración y conservación de materiales pétreos. *Trabajo de fin de grado* . Coruña, España: Universidad de Coruña .
- Buitrago, B. (Julio de 2019). Caracterización mediante técnicas de ultrasonido de un laminado de fibra de vidrio . *Tesis de Grado* . Madrid , España : Universidad Carlos III de Madrid .
- Durán, N. (24 de Octubre de 2018). *Método del ultrasonido* . Trabajo Documental, Metodología II. Primer Corte: https://issuu.com/nelianaduran/docs/ultrasonido_trabajo_final
- Hidalgo, R. (2018). *Norma-e-165-95 Líquidos Penetrantes Español*. Academia : https://www.academia.edu/11632642/238491318_Norma_e_165_95_Liquidos_Penetrantes_Espanol_1_
- NEC. (2015). RIESGO SÍSMICO, EVALUACIÓN, REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS. *Dirección de comunicación social, MIDUVI*, 25.
- Castro , A., & Contreras, J. (2021). Identificación de patologías estructurales mediante procesamiento de imágenes. *Universidad Católica de Cuenca*.
- Broto , C., & Mostaedi, A. (2012). *Enciclopedia Broto de patologías de la construcción* . Links International.
- Aranguren, I., & Suarez, N. (2019). ESTUDIO PATOLÓGICO DEL PUENTE PEATONAL SOBRE LA AVENIDA 40 ENTRE SENA Y CENTRO COMERCIAL VIVA EN LA CIUDAD DE VILLAVICENCIO (META). *Universidad Santo Tomás* , 1, 24-48.
- ASTM C42. (2010). *Extracción de núcleos*. ASTM International.

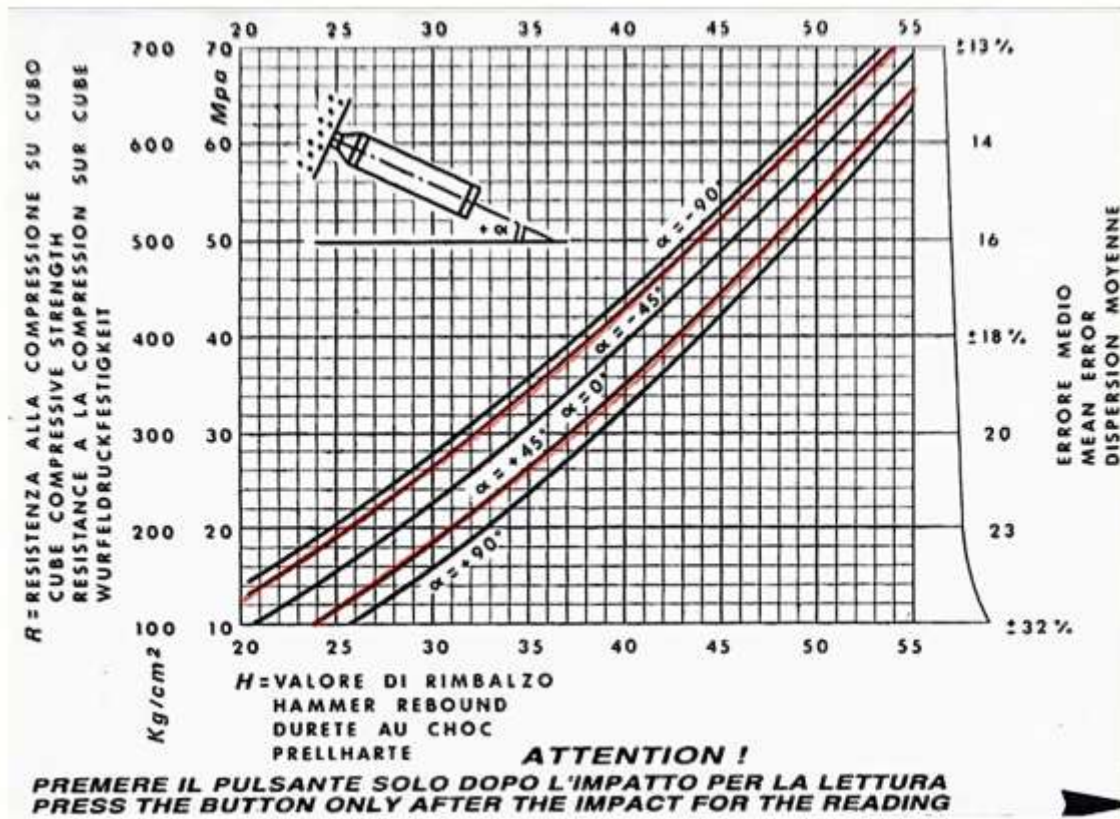
- Alzate, A. (2017). *IDENTIFICACIÓN DE PATOLOGÍAS ESTRUCTURALES EN EDIFICACIONES INDISPENSABLES DEL MUNICIPIO DE SANTA ROSA DE CABAL (SECTOR EDUCATIVO)*. Universidad Libre Seccional Pereira.
- Orenday, E. (2019). *Intervenciones no destructivas para el diagnóstico de la salud estructural de dos templos de Aguascalientes, en México*. Universidad Autónoma de Aguascalientes.
- PCE Instruments. (2017). *PCE Inst*. <https://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/instrumento-de-espesores/detector-fallas-pce-usc-20.htm>
- EVIDENT. (2019). *olympus-ims*. [https://www.olympus-ims.com/es/38dl-plus/#!/cms\[focus\]=cmsContent11056](https://www.olympus-ims.com/es/38dl-plus/#!/cms[focus]=cmsContent11056)
- TECNITEST. (2020). *Tecnitestndt.net*. TecniTest NDT: <https://www.tecnitestndt.net/equipos-de-rayos-x-fijos-y-portatiles/>
- Lombillo, I., Villegas, L., & Hoppe, C. (2017). *Evaluación no destructiva del patrimonio construido*. Universidad de Cantabria.
- Mendoza, A., & López, R. (2018). *Base de datos*.
- Portilla, j., & Bernal , W. (2017). *Diseño de base de datos*. Universidad del Norte.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz para realizar una inspección visual detallada

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA-CARRERA DE INGENIERIA CIVIL														
FICHA DE ESTUDIO PATOLÓGICO														
CLASIFICACIÓN Y TIPIFICACIÓN DE LESIONES					FICHA No.:									
ESTUDIO REALIZADO POR:					FECHA DE ESTUDIO:									
INFORMACIÓN DE LA EDIFICACIÓN														
NOMBRE:					UBICACIÓN:		ESPACIO No.:							
LOCALIZACIÓN:					SEVERIDAD:		MODERADA		BAJA					
USO:					TEMPERATURA:		TIPO AMBIENTE:							
FECHA DE CONTRUCCIÓN:					HUMEDAD RELATIVA:			NIVEL:						
SISTEMA CONSTRUCTIVO:					TIPOLOGIA DE LA LESION									
MATERIAL AFECTADO:					TIPO:		P: PRIMARIA		S: SECUNDARIA					
ELEMENTO AFECTADO:					FÍSICA	QUÍMICA		MECÁNICA	BIOLÓGICA					
VIGA CIMENT.	PLACA ENTREPISO		CUBIERTA		CAUSA DE LA LESIÓN									
PLACA PISO	VIGA CONFINAMT.		ESCALERA		DIRECTA									
DOVELA	MAMPOSTERIA		ACABADO		FÍSICA	HUMEDAD	SUCIEDAD	EROSIÓN						
MURO ANTEPHO.	OTROS:					ATAQUE FUEGO	ABRASIÓN	AMBIENTE						
DEFECTO Y/O DAÑO (ENFERMEDAD)					QUÍMICA	EFLORESCENCIA	LIXIVIACIÓN	MANCHAS						
CONGÉNICO	CONTRAIDO		ACCIDENTAL		CORROSIÓN	MANCH. ORGNICA								
DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO AFECTADO					MECÁNICA	FISURA	GRIETA	FRACTURA						
						TRACIÓN	FLEXIÓN	LONGITUDINAL						
						TORSIÓN	PUNZONAMIENTO	CIZALLAMIENTO						
						COMPR. SIMP	CORTANTE	DESPRENDIMIENTO						
					BIOLÓGICO	ASENT. SUELO	PERDIDA ELEMENTO	DEFLEXIÓN						
						ANIMAL	VEGETAL	MUSGO						
					INDIRECTA						PROYECCIÓN	MATERIALES	USO INDEBIDO	
											CONSTRUCCIÓN	MANTENIMIENTO		
					LOCALIZACIÓN DEL ESPACIO					REPRESENTACIÓN GRAFICA O VISUAL DE LA LESIÓN				
					FOTOS:					OBSERVACIONES:				
RECOMENDACIONES:														

AEXO 2. Gráfica para determinar la resistencia mecánica del hormigón por el método esclerométrico.



AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, Diego Andres Acero Duy portador de la cédula de ciudadanía N.º 0302734603. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “Técnicas y equipos empleados para la detección de patologías en materiales que conforman las estructuras” de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 08 de septiembre de 2022

F: 
Diego Andres Acero Duy
0302734603