

ENSAYO COMO OPCIÓN DE GRADO DEL DIPLOMADO EN GESTIÓN DE
PROCESOS Y SISTEMAS DE GESTIÓN DE CALIDAD



TEMA

GESTIÓN DE CALIDAD EN ESTUDIOS DE PATOLOGIA ESTRUCTURAL EN
COLOMBIA

PRESENTADO POR

IRIANA LICETH LIZARAZO TELLEZ

CÓDIGO

D7303218

TUTORA

YURI ALEJANDRA CAICEDO PÁEZ

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

BOGOTÁ

2021

GESTIÓN DE CALIDAD EN ESTUDIOS DE PATOLOGIA ESTRUCTURAL EN COLOMBIA

RESUMEN

En este ensayo, se presenta paso a paso el proceso que se lleva a cabo para realizar un estudio patológico en Colombia; se enumeran y describen los ensayos de laboratorio y las muestras tomadas, relacionándolos con la gestión de la calidad y sus principios. Se menciona la normativa vigente para los estudios de patología estructural y posteriormente, se describen los tipos de patologías que pueden presentarse en una edificación. Se clasifican y se relacionan los errores cometidos en el proceso de toma de las respectivas muestras, presumiendo que en la recolección de las muestras se presentan errores que alteran los resultados de los estudios. Finalmente, se presenta un caso de estudio para el sector educación, realizado en el departamento de Risaralda – Colombia. La investigación y recolección de los datos se hace a través de documentos y textos publicados en las bases de datos tanto de revistas indexadas como de bibliotecas universitarias.

Palabras clave: Calidad, Procesos, Falla, Patología, Errores constructivos.

INTRODUCCIÓN

Un estudio patológico, realizado a una edificación o estructura, debe hacerse siguiendo los parámetros y lineamientos exigidos; ya que con el paso del tiempo, se va perdiendo formalidad al realizar los protocolos y los procedimientos de toma de muestras, esto conlleva a cometer errores. Es importante mantener actualizados los sistemas de gestión de calidad, máxime tratándose del relevante tema de la patología estructural, puesto que analiza a profundidad todos los elementos de una construcción y determina el rumbo de la edificación; lo cual, debe cumplir con todo lo estipulado en la Norma NSR-10.

El objetivo de realizar un estudio de patología estructural, es conocer el estado real e interno de una edificación, para valorar el grado de vulnerabilidad en que se encuentra y determinar las decisiones que se deben tomar. Con el paso del tiempo toda estructura puede verse afectada y verse comprometida su estabilidad, por efecto del clima, es uso, el peso y diferentes factores externos. Estructuras como las edificaciones de primer nivel, deben estar lejos de ser estructuras vulnerables; ya que, por definición una edificación esencial presta un servicio comunal, durante y posteriormente de algún evento inesperado y no puede ser trasladada con rapidez a otro lugar. (Asociación colombiana de ingeniería sísmica, 2010).

Alrededor del mundo, en lo corrido entre enero y abril del 2020 se registraron más de 9,800 terremotos, la magnitud registra entre 4 – 7,9 grados en la escala sismológica de magnitud de momento¹ (M_w) (The IRIS consortium, 2020). Es por esto que la humanidad debe prepararse para afrontar eventos impredecibles como sismos, inundaciones o huracanes y sobre todo, mantener las estructuras en buen estado.

En Colombia, mediante resolución 976 del 2009 el ministerio de protección social (antes era conocido como ministerio de salud y protección social), se adhirió a la iniciativa “Hospital seguro frente a los desastres” para la reducción de riesgo sísmico. Esto significa *“que todos los hospitales nuevos se construyan con un nivel de resiliencia que le permita seguir funcionando en situaciones de desastre y se implementen medidas de mitigación para reforzar los establecimientos de salud existentes, en particular los que son prioritarios en la atención en salud.”* El plazo fijado para realizar los análisis de vulnerabilidad sísmica fue a diciembre de 2021 y para el reforzamiento diciembre de 2025, la resolución por medio de la cual se estipulo es la 5240 de 2017 (Oviedo, 2018).

¹ La escala sismológica de magnitud de momento es una escala logarítmica usada para medir y comparar terremotos, basada en la medición de la energía total que se libera durante un sismo. Esta comenzó a utilizarse en 1979. La magnitud de momento no se satura, permite describir eficazmente sismos muy grandes o muy pequeños. (Tarbuck & Lutgens, 2001)

Escenarios de riesgo, como el eje cafetero son constantemente monitoreados, por lo que la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres-UNGRD implementó en esta zona cuatro modelos tipo, para fortalecer la Estrategia Nacional de Reducción del Riesgo Sísmico, en el marco de la campaña “Desarrollando Ciudades Resilientes: Mi Ciudad se está Preparando” (UNGRD, 2019).

En este documento y con el fin de poner en contexto, se presenta el concepto de lo que es patología estructural tanto a nivel nacional como internacional; se muestra ¿cómo se realiza el proceso de un estudio patológico en Colombia paso a paso?, los análisis de laboratorio, las pruebas realizadas y las muestras tomadas, todo esto relacionado con la gestión de calidad y sus 10 principios, resaltando la importancia que tiene aplicarlo en la evaluación patológica.

Los tipos de patologías que se encuentran se enumeran y describen; así como los errores más comúnmente cometidos en la toma y manejo de muestras. Es de vital importancia mencionar la normatividad vigente y el concepto de vulnerabilidad, estrechamente relacionado con la capacidad de resistir de una edificación. Y para finalizar, se presenta un caso de estudio, en una estructura indispensable del sector educación, realizado en el departamento de Risaralda – Colombia.

Después de analizar toda la información recolectada para el desarrollo del trabajo, se puede confirmar que la aplicación de las normas y de la gestión de la calidad, garantiza el correcto tratamiento de una falla en una estructura y la ampliación de la vida útil de una edificación. Esto es muy importante pues conlleva a prevenir incidentes que involucren la integridad de las personas que habitan dichas infraestructuras; lo cual, es una de las misiones del ingeniero civil, garantizar estructuras sólidas, útiles, de calidad y sobretodo seguras. En términos generales se puede decir que el estudio patológico, es una herramienta que contribuye a salvaguardar la vida de las personas.

ESTUDIO DE PATOLOGIA ESTRUCTURAL

Después de realizar la investigación acerca del tema, en la bibliografía se encuentran dos palabras muy recurrentes al definir patología, enfermedad y síntoma. Por definición, una patología estructural es el estudio del comportamiento de los elementos que presentan fallas, o lo que se denomina “enfermedad”, indagando acerca de las causas conformando el diagnóstico de la estructura, para plantear las medidas respectivas que logren recuperar las condiciones de seguridad y el funcionamiento de la edificación (Panozo, 2007).

Una patología estructural, puede ser provocada desde el inicio de la construcción o puede formarse conforme se va dando uso a la edificación, independientemente del origen, los efectos no son positivos; lo cual implica un grado de vulnerabilidad. La vulnerabilidad es definida como una predisposición específica que puede provocar ciertos daños en el momento de la ocurrencia de algún evento sísmico. Esta predisposición está asociada directamente con el diseño y las características físicas. Los efectos nocivos, se manifiestan como daños pequeños ó como grandes deformaciones y esto conlleva al colapso de alguna parte de la estructura, o incluso el colapso total (Orozco González, Murillo Vargas, & Lopez Betancur, 2017).

Las patologías pueden provenir de diferentes fuentes, catalogadas en tres grupos: los provenientes de defectos, por daños y por deterioro. Las patologías por defecto, son las que se generan debido a un mal diseño, una mala configuración estructural, una mala construcción o materiales de baja calidad (Parra Samaniego & Vásquez Flores, 2014).

Los daños pueden ser causados por terremotos, inundaciones, avalanchas o por sobrecarga de la estructura; también, pueden ser provocados por el deterioro proporcionado por el tiempo, al estar expuestas a la intemperie o a agentes químicos se van formando lesiones en la estructura paulatinamente (Orozco González, Murillo Vargas, & Lopez Betancur, 2017).

Debido a que toda estructura presenta fallas o lesiones en alguna etapa de su vida útil y esto puede poner en riesgo la vida de personas, es que a mediados del siglo XX, se empezaron a implementar los análisis patológicos a nivel mundial.

En Brasil, han hecho estudios patológicos a los puentes, pues para el país, es de vital importancia la malla vial y el transporte, con el fin de aumentar sus exportaciones y mejorar la economía (Tadeu Mascia & Lenz Sartorti, 2011).

En Colombia, se empiezan a aplicar a principios del año 1970, al inicio de la implementación se derribaron muchas edificaciones que no cumplían con los requisitos mínimo; sin embargo, estas edificaciones pudieron ser restauradas y reforzadas. En la actualidad, se cuenta también con la norma NSR-10, que determina las condiciones mínimas de aceptación para una edificación (Cruz Herrera & Perez, 2017).

Las modificaciones que son realizadas sin supervisión profesional, con llevan al debilitamiento de los elementos transformados y provocan desastres, especialmente cuando se presenta un evento inesperado, por ejemplo un sismo. Los efectos negativos que se registran se dan por torsión, por concentración de esfuerzos en los elementos estructurales, por el incremento de fuerzas sísmicas, entre otros factores. Las principales patologías estructurales que se registran son efecto de esquina, irregularidad en planta, irregularidad en elevación, efecto de columna corta, planta baja débil, sobrepeso, golpeteo, modificaciones y daños previos (Buendía Sánchez & Reinoso Angulo, 2019).

El efecto de esquina se presenta en el momento en que las estructuras se localizan en las esquinas, y están conformadas por dos muros contiguos y dos fachadas con grandes aberturas para ubicar las puertas y las ventanas. Esta configuración hace que el edificio rote sobre su eje longitudinal, generando esfuerzos de torsión adicionales, porque una de sus partes es más rígida y provoca una fuerza sísmica.

Las Irregularidades en planta, se generan por diseños modernos o “artísticos”, con formas irregulares.

Las Irregularidades en elevación se dan porque hay un cambio abrupto en la geometría de los entrepisos, la distribución del peso varía y el cálculo de su comportamiento puede ser impreciso en el evento de un sismo. En cuanto a la estabilidad de la estructura, se ve comprometida cuando se presenta el efecto de columna corta; es decir, cuando en la estructura se tienen columnas con muros de relleno que están ligados a ellas, pero los muros no llenan completamente el espacio entre las columnas, por lo que la distancia libre entre las columnas es más corta (Buendía Sánchez & Reinoso Angulo, 2019).

Cuando la planta baja es mucho más alta que el resto de los pisos, se obtiene una patología conocida como planta baja débil; ante las fuerzas laterales, los desplazamientos se absorben totalmente por la planta baja, esto compromete la estabilidad de toda la construcción. Generalmente, se da por la necesidad de construir parqueaderos por la alta demanda de estos. (Buendía Sánchez & Reinoso Angulo, 2019).

Cada estructura está diseñada con un objetivo que a su vez está relacionado con la función que debe cumplir, el análisis contempla el peso al cual se somete cada estructura; por ello, el sobrepeso constituye uno de los riesgos que afecta “invisiblemente” a las estructuras. Las modificaciones que se realizan sin asistencia técnica o supervisión profesional también representan riesgos. La resistencia de una estructura también se va resintiendo por el efecto de sismos de baja intensidad, quizá constantes, que se agravan al no realizar mantenimiento de posibles micro fallas que van apareciendo a lo largo de la vida del edificio (Buendía Sánchez & Reinoso Angulo, 2019).

Las principales patologías y con más porcentaje de ocurrencia son las grietas, estas pueden clasificarse como físicas, químicas, térmicas o estructurales, cuando el

concreto esta endurecido; pero, cuando el concreto está en un estado plástico; se pueden clasificar como plásticas y/o de construcción. Por lo que respecta al comportamiento de la falla, se clasifica como viva o muerta (CIGIR, 2009), el espesor es clasificado como microfisuras, fisuras y macrofisuras. El inconveniente con las grietas es que con el paso del tiempo provocan humedades, filtraciones en paredes y pisos (Parra Samaniego & Vásquez Flores, 2014), descascaramientos, variaciones en la temperatura y la humedad, entre muchos otros efectos perjudiciales (Orozco González, Murillo Vargas, & Lopez Betancur, 2017).

En estructuras de hormigón, las fisuras se presentan por momento flector, fuerzas cortantes, fuerzas axiales, compresión axial torsión, punzonamiento, flexión compuesta e impactos. Las fuerzas aplicadas a la sección de una viga y los esfuerzos producidos son variadas. El esfuerzo cortante depende en principio del módulo de la fuerza que se aplica, mientras que el momento flector produce un esfuerzo normal en la sección de la viga; en los extremos el momento flector es máximo y es cero en el eje neutro (DIMEC, 2011). En la Imagen 1, se ilustra un fallo por momento flector.

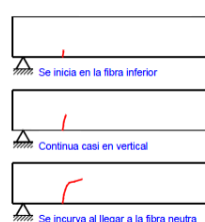


Imagen 1. Fallo por Momento flector (Parra Samaniego & Vásquez Flores, 2014)

La fuerza cortante es la suma de todas las fuerzas externas perpendiculares al eje de una viga y actúan a un lado de determinada sección. Es positiva cuando la parte que está a la

izquierda, tiende a subir con respecto a la parte derecha (Jaramillo S., s.f.). en la Imagen 2 se presenta un esquema del fallo por fuerza cortante.

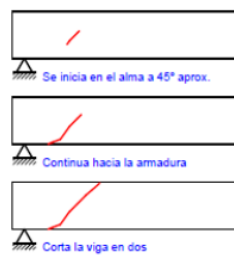


Imagen 2. Fallo por fuerza cortante. (Parra Samaniego & Vásquez Flores, 2014)

La tracción axial puede provocar fallos poco frecuentes en elementos de hormigón armado, si no se verifica su estado último, puede producir fisuras a lo largo de todo el elemento. Generalmente se localizan generalmente en la misma posición de los estribos. En la Imagen 3 se muestra un fallo por tracción axial (Parra Samaniego & Vásquez Flores, 2014).



Imagen 3. Fallo por tracción axial. (Parra Samaniego & Vásquez Flores, 2014)

La evolución de un fallo por compresión axial es muy rápida, por lo cual, es peligrosa. A través de probetas de hormigón y ensayos en prensa, se pueden identificar diferentes tipos de fisuras. Eliminando el rozamiento generado entre la prensa y la probeta, se provoca una rotura con fisuras paralelas a la dirección del esfuerzo, en presencia del rozamiento, la falla que ocurre es de forma transversal e inclinada. Dependiendo de la esbeltez del elemento se pueden presentar otras configuraciones de falla a lo largo del elemento. Debido al pandeo del elemento estructural, se presentan fisuras finas, juntas, que implican un gran peligro. Hay fisuras que se presentan justo antes de la rotura cuando la capacidad de

resistencia de una columna a superado el 85 o 90% (Imagen 4) (Parra Samaniego & Vásquez Flores, 2014).

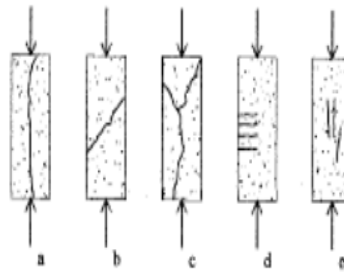


Imagen 4. Fallo por compresión axial. (Parra Samaniego & Vásquez Flores, 2014)

Otra falla peligrosa que se desarrolla rápidamente es la falla por torsión, se puede ocasionar por un anclaje insuficiente, por mal posicionamiento del acero de refuerzo, por sobrecargas no previstas, entre otros factores. Son muy similares a las presentadas por cortante, se distinguen porque forman distintas inclinaciones en cada cara del elemento. En la Imagen 5 se muestra un fallo por torsión (Parra Samaniego & Vásquez Flores, 2014).

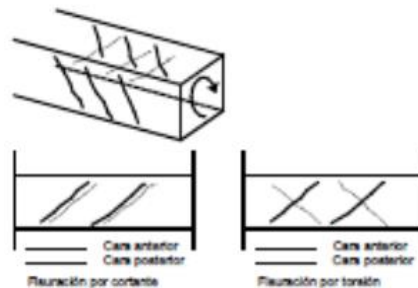


Imagen 5. Fallo por torsión. (Parra Samaniego & Vásquez Flores, 2014)

Cuando se introduce una carga perpendicular al plano medio de una estructura plana, se presenta punzonamiento. Generalmente, se da por lo general en las uniones de vigas planas con pilares. En la Imagen 6 se observa un fallo por punzonamiento (Parra Samaniego & Vásquez Flores, 2014).

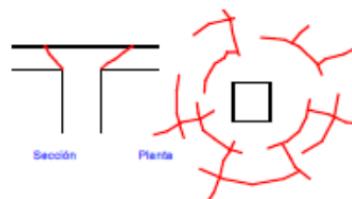


Imagen 6. Fallo por punzonamiento. (Parra Samaniego & Vásquez Flores, 2014)

En cuestión de maderas, las fallas pueden darse por sección insuficiente, puntos críticos como las uniones, arriostramientos deficientes y agrietamiento de la madera; los principales componentes que generan fallas en la madera son la humedad, el fuego, la lluvia la radiación solar y toda la actividad biológica.

Conocer y manejar a profundidad cada concepto, cada material y cada equipo, mencionado anteriormente, produce un efecto positivo en el resultado del estudio patológico y por consecuencia, en las decisiones que se tomen frente al tratamiento que se realice posteriormente. El conocimiento y la experiencia, aumentan la calidad tanto del estudio como del proceso de reparación de las estructuras. Igualmente, todo debe estar parametrizado y enmarcado en la normativa vigente. Un aspecto muy importante es la capacitación constante y la actualización permanente de los profesionales y colaboradores que intervengan en cualquier obra.

ESTUDIO PATOLÓGICO

En el estudio de una obra, se hacen diferentes ensayos y se toman múltiples muestras, cada una con los concernientes protocolos para su elaboración y con las diferencias propias de cada país. Sin embargo, existen diferentes métodos planteados para el progreso de un estudio de patología estructural. Algunos métodos son los propuestos por: Carl Broto, Calavera, Juan Monjo, Paulo Helene, Enlo Pazini Figueiredo, Antonio Aguado, William Lobo Dugarte, Harold Muñoz y Milton Mena (Diaz Barreiro, 2014). No obstante, independientemente del método que se siga para hacer el estudio patológico, se debe responder a las necesidades de la estructura y garantizar su correcta ejecución.

Para que se considere que una estructura fue construida siguiendo los principios básicos de la sismo resistencia, se debe tener en cuenta que, al edificar se utilicen formas regulares, se debe procurar tener un bajo peso (*entre más liviana sea la edificación, soportara menor fuerza en un evento sísmico*), buena rigidez y buena

estabilidad, suelos firmes, buena cimentación y estructura (Rodriguez Suarez & Castro Sosa, 2015).

Una buena estructura es considerada como simétrica, sólida, uniforme, continua o que este bien conectada, se debe también utilizar materiales de buena calidad, la edificación debe poder disipar la energía, debe tener una buena fijación de instalación y acabados, la simetría de planta se debe conservar, hay que evitar las irregularidades de altura, y por último, se deben distribuir apropiadamente las cargas (evitar las redundancias) (Rodriguez Suarez & Castro Sosa, 2015).

En términos generales, hacer una construcción juiciosa y de calidad en todos los sentidos, con responsabilidades civiles, profesionales y sociales. Esto contribuye a minimizar las patologías y posteriormente los riesgos de colapso de las edificaciones (Rodriguez Suarez & Castro Sosa, 2015).

En Colombia se aplican diferentes protocolos o métodos para ejecutar una patología estructural, cada uno se enfoca en un aspecto diferente y se ajustan de manera diferente a la norma ISO 9001:2015 (Diaz Barreiro, 2014).

El método de Antonio Aguado, se enfoca en el uso de la tecnología y las diferentes técnicas para identificar el riesgo de cada elemento estructural; por lo cual, sugiere que el número de muestreos sea lo suficientemente amplio con el fin de definir el riesgo en cualquiera de las fases del proceso constructivo (Diaz Barreiro, 2014).

Mientras que el método de Enio Pazini Figueiredo, hace énfasis en el mejoramiento de la calidad de los materiales con el empleo de adiciones de materiales, como por ejemplo residuos de otros procesos industriales, que puedan generar un concreto más durable. El método de Harold Muñoz, resalta sobremanera la fase de diagnóstico, y considera que es lo más importante como punto de partida para las siguientes fases, que son muy similares a las de los demás autores (Diaz Barreiro, 2014).

El método propuesto por Milton Mena, se enfoca en la evaluación del riesgo, desde el punto de vista sísmico, sus análisis y resultados se obtuvieron a raíz de la matriz DOFA, que es una de las herramientas de la gestión de la calidad de la norma ISO 9001:2015. Este método, está basado en la teoría del análisis de riesgos, la que se puede interpretar como la relación entre la frecuencia de un evento, el impacto y el grado de daño en la edificación, Así como también si es posible intervenirla o no (Díaz Barreiro, 2014).

Los métodos de Calavera, Mojo, Lobo Dugarte y Helene, no se especializan en algún aspecto; sin embargo, se puede inferir que cada una procura cumplir con los estándares de calidad de procesos de la norma colombiana (Díaz Barreiro, 2014).

En la **Tabla 1** se presentan las características del método de Calavera, en la **Tabla 2** se presentan las características del método de Juan Monjo, en la **Tabla 3** se presentan las características del método de Dugarte y en la **Tabla 4** se presentan las características del método de Helene.

Tabla 1. Método propuesto por Calavera para aplicar un estudio de patología estructural.

Calavera	
Información verbal y escrita	Tomada del técnico
Personal adecuado.	Especialista en estructuras, geotecnia y albañilería
Equipo	Equipo fotográfico, topográfico, prismático, útiles de medidas, reglas de fisura, etc.
Registro de datos	Está a cargo del técnico
Mediciones durante la inspección	Dimensiones generales y medidas de elementos concretos.
Inspección de tallada.	Fijación de bases metálicas con resina, instalación de testigos.
Análisis de datos y diagnóstico	Si el diagnóstico es correcto la solución del problema vendrá por sí sola.
Estructura básica de un informe preliminar	Antecedentes, Información disponible, Resultado, inspección y Análisis del problema

Conclusiones
Plan de acción
Ensayos necesarios
Redacción del informe definitivo

Tabla 2. Método propuesto por Juan Monjo para aplicar un estudio de patología estructural.

Juan Monjo	
Observaciones de campo	Detectar lesiones Identificar la lesión Independizar lesiones y procesos distintos
Toma de datos	Identificación de la lesión Constructivos, relativos a los materiales o elementos afectados por la lesión. Ambientales, según la situación del edificio y la localización de la lesión en él.
Análisis del proceso y diagnóstico	Causas, que han originado el proceso, distinguiendo entre las directas e indirectas Evolución del proceso patológico. Estado actual, que debe recoger la situación del proceso, su posible vigencia o su desaparición.
Propuesta de actuación	Propuestas de reparación: de las causas y de los efectos. Propuestas de mantenimiento

Tabla 3. Método propuesto por William Lobo Dugarte para aplicar un estudio de patología estructural.

William Lobo Dugarte	
Evaluación primaria	siguiendo las normas, AASHTO, ACI, ASTM, ATC
Evaluación detallada o secundaria.	Análisis estático. Análisis dinámico. Pruebas de caracterización en laboratorio. Aplicación de tecnologías no destructivas al Diagnóstico del Patrimonio Construido.
El proyecto de rehabilitación.	Una obra civil debe volver a tener las mismas o mejores condiciones de servicio que las que tenía cuando comenzó su vida útil

Tabla 4. Método propuesto por Paulo Helene para aplicar un estudio de patología estructural.

Paulo Helene
Síntomas
Mecanismo

origen
Causas
Pronostico
Terapia
Procedimiento

Independientemente de cual sea el método utilizado, se realizan ensayos que son comunes para todos. Existen ensayos destructivos, ensayos no destructivos, pruebas de laboratorio y pruebas para servicio o carga. Las pruebas destructivas, son los de extracción y rotura de probetas testigos de hormigón, toma de muestras de armaduras y profundidad de carbonatación. Los no destructivos son el ensayo esclerométrico o de rebote, ensayos de corrosión y ensayos ultrasónicos. Los de laboratorio son densidad, permeabilidad, contenido de cloruros y contenido de sulfatos (también son llevadas al laboratorio otras muestras resultado de los ensayos destructivos y no destructivos, depende cada una de su protocolo de realización) (Porto Quitian, Capítulo II. Técnicas de investigación, dictamen e intervención en las estructuras de hormigón, s.f.).

Según la información consignada en la enciclopedia Broto de las patologías de la construcción, un proceso patológico tiene como fin, la reparación de una unidad constructiva dañada y devolverle tanto la funcionalidad como su arquitectura inicial. Por lo cual, el estudio patológico se hace relevante para definir el tipo de análisis y el proceso a seguir. Todos los autores concuerdan en que el análisis debe ser metódico, exhaustivo y preciso. Se analiza la capacidad resistente y sus coeficientes de seguridad admisibles, la integridad para ver que no haya rupturas, que se conserve la forma inicial, el aspecto de los elementos estructurales para determinar su durabilidad (Broto Comerma, s.f.).

El primer paso para hacer un estudio de patología estructural es hacer observación simple, de ahí se toman los datos iniciales para posteriormente ampliar y complementar con análisis puntuales y detallados. Una vez detectada una lesión(es), se identifica la lesión y se aísla con el objetivo de hacer seguimiento

adecuado en cada caso. Antes de comenzar, también es importante hacer un estudio histórico de la construcción; esto permite obtener información importante acerca de los materiales, posibles modificaciones, sistema de construcción, cimentación, entre otros. En ocasiones es necesario hacer un levantamiento planimétrico. (Broto Comerma, s.f.).

Una vez terminada la fase de observación, se procede a tomar datos, para ello existen diferentes metodologías; no obstante, sea cual sea esta, debe hacerse rigurosa y estrictamente (Broto Comerma, s.f.).

1. Localización de la lesión en los elementos constructivos del edificio.
2. Identificación de la lesión: observación del grado y el nivel de deterioro.
3. Materiales afectados.
4. Elemento constructivo dañado.
5. Sistema y detalles constructivos.
6. Toma de muestras:
 - ✓ Fisuras, aberturas de menos de 1 mm de ancho.
 - ✓ Grietas, aberturas de más de 1 mm de ancho.
 - ✓ Distorsión e inclinación.
 - ✓ Perdida de materiales.
 - ✓ Deterioro diferencial.
 - ✓ Deplacado, expoliación y descamación.
 - ✓ Alteración cromática.
 - ✓ Patinas de suciedad.
 - ✓ Película y moteado.
 - ✓ Arenización y disgregación granular.
 - ✓ Pulverización.
 - ✓ Deposito superficial.
 - ✓ Eflorescencias.
 - ✓ Alveolización.
7. Ensayos
 - ✓ Físicos.
 - a. Densidad aparente real.
 - b. Porosidad.
 - c. Color.
 - d. Dilatación térmica.
 - e. Conductividad eléctrica
 - f. Absorción de agua.
 - g. Succión – capilaridad.
 - h. Expansión por humedad.

- i. Eflorescencias.
- j. Permeabilidad del agua.
- l. Del contenido de agua en el muro.
- ✓ Mecánicos.
 - a. Ensayo de resistencia a compresión.
 - b. Ensayo de resistencia a flexión.
- ✓ Químicos, métodos.
 - a. General.
 - b. Astm
 - c. Jedrzejewska.
 - d. Cliver.
 - e. Dupas.
- ✓ Medioambientales
 - a. Envejecimiento artificial acelerado.
 - b. Termohídrico de los ciclos de humedad-resequedad.
 - c. Helacidad.
 - d. Ciclo de cristalización de sales.
 - e. Ciclos de exposición a radiación ultravioleta.
 - f. Ensayo de niebla salina.
- ✓ Biológicos
 - a. Morfológicos y estructurales.
 - b. Microbiológicos.
- c. Bioquímicos.
- d. Histoquímicos

✓ Evaluación y control de los tratamientos de control.

8. Análisis del proceso patológico (determinar origen, causas, evolución y estado actual).

a. Causas:

i. Directas: (inciden directamente en la degradación de los materiales)

✓ Mecánicas, físicas, químicas y previas.

ii. Indirectas:

✓ De proyecto, de ejecución, del material y de mantenimiento.

b. Medidas.

i. De deformación.

ii. De tensión.

iii. De desplazamiento.

iv. De aceleración.

c. Evolución y seguimiento

9. Momento de actuar.

a. Reparación.

b. Intervención.

10. Tratamiento.

11. Mantenimiento.

Incluyen fachadas, cubiertas, tabiquerías, acabados e instalaciones contra incendios,

La instrumentación que se requiere para el estudio de la patología de una construcción, incluye equipos de fotogrametría e instrumentos de medida.

El equipo de fotogrametría está compuesto por cámaras métricas, estereométricas, individuales, Plotters estéreo-fotogramétricos y analógicos, rectificadores fotogramétricos y ortoproectores. Las técnicas fotográficas son un instrumento muy importante y útil, pues permite documentar y hacer seguimiento del estudio

gráficamente. Se utilizan microfotografías, radiografías, fotos ultravioleta y macrofotografías. (Broto Comerma, s.f.)

La endoscopía se utiliza para observar el interior de las cavidades, utiliza luz y cámaras con el fin de que todo quede documentado. También se utilizan técnicas como la microscopia electrónica de barrido, de transición, la micro sonda electrónica, difracción de rayos X, métodos de análisis térmicos, espectrometría de absorción atómica, porosimetría por inyección o intrusión de mercurio, microscopia óptico de polarización y de fluorescencia, con el fin de estudiar meticulosamente la lesión y que quede perfectamente documentada (Broto Comerma, s.f.).

Para medir las deformaciones se cuenta con los extensómetros de cuerda vibrante, extensores mecánicos y bandas extenso métricas; para medir tensión, se utilizan células de medida, células foto elásticas de tensión, gatos planos, emisiones acústicas (Broto Comerma, s.f.).

Para medir desplazamientos, se utilizan flexigrafos laser, se hace uso de testigos, aparatos topográficos, lupas micrométricas, flexímetros; también de la fotogrametría, de un transductor de desplazamiento inductivo y sondas de capacitancia; para medir la aceleración se utilizan acelerómetros (Broto Comerma, s.f.).

Las condiciones medioambientales se miden a través del método gravimétrico, eléctrico y método químico del carburo. Para la medida de la humedad relativa y la temperatura ambiente, se utiliza el higrómetro giratorio (Imagen 7. Higrómetro giratorio digital. Imagen 7), el digital con sonda de aire, higrómetro de filamento y un termohigrómetro (Broto Comerma, s.f.).



Imagen 7. Higrómetro giratorio digital.

Imagen tomada de: <https://www.pce-instruments.com/colombia/>

En cuanto a la gestión de la calidad y para contextualizar, la estructura de la Norma modificada ISO 9001:2015 está compuesta por 10 principios básicos. 1) Alcance, 2) Referencias normativas, 3) Términos y definiciones, 4) Contexto de la organización, 5) Liderazgo, 6) Planificación, 7) Soporte, 8) Operaciones 9) Evaluación del desempeño y 10) Mejora continua. Los principios están orientados a aplicarlos en las organizaciones para ser implementados en los sistemas de calidad para cada organización y área. Los sistemas de gestión de la calidad son el conjunto de elementos que se relacionan entre si interactuando para establecer los objetivos, las políticas y los procesos con el fin de lograr las metas.

Se pueden definir para cualquier disciplina, proyecto o asunto; es decir, para un estudio patológico, se puede ejecutar e implementar un sistema de gestión de la calidad. No obstante, se deben tener en cuenta los límites de aplicabilidad, algunos requisitos se pueden aplicar y otros no; por ello, es importante determinar lo que se incluye y lo que no se incluye. Existen algunas herramientas que permiten desarrollar cada ítem; por ejemplo, en el caso de la planeación y la estrategia, se encuentran la matriz DOFA, la MEFI, la MEFE y la MPC, entre otras (Escuela Europea de Excelencia, 2017).

La aplicación del liderazgo en los sistemas de gestión de calidad, implica promover la mejora, la responsabilidad y asegurar el logro de los resultados. El soporte es muy importante ya que este, tiene en cuenta los recursos tanto internos como externos; esto significa la aparición del concepto de servicios subcontractados, proveedores.

La gestión de la calidad también requiere de contar con el personal suficiente para el excelente funcionamiento y el cumplimiento de las metas de manera constante, respetando los requisitos legales y los del cliente; estos deben tener las competencias y experiencia para asegurar el desempeño y la eficiencia con calidad. Las competencias, se entienden como la suma de los conocimientos y las habilidades que permitan lograr los objetivos. Un aspecto importante que pretende mejorar la norma es la comunicación, pretende hacerla más eficiente. (Escuela Europea de Excelencia, 2017).

La ISO 9001:2015 está estandarizada internacionalmente, permite que, sin importar la entidad, se pueda evaluar la gestión de la calidad en cualquier organización. A partir de la expedición de la norma, se ha tomado conciencia de la importancia de la implementación y el cumplimiento del sistema de gestión de calidad y, de las consecuencias de no cumplirlas, es así como la mejora continua es el resultado del buen desempeño que se realice del sistema de gestión de la calidad (Escuela Europea de Excelencia, 2017).

En todo proceso de gestión de calidad, es importante tener documentado, implementado, socializado y evaluado; como lo sugieren los ciclos PHVA en calidad (*Planear, Hacer, Verificar y Actuar, basados en el principio de mejora continua*) cada uno de los procedimientos debe hacerse con rigurosidad. No obstante, las edificaciones indispensables, merecen mayor atención dada su importancia para la comunidad en general. Por ejemplo, en Colombia se existe un Manual de uso, conservación y mantenimiento específicamente para infraestructuras educativas, este fue publicado en diciembre de 2015; el cual, tiene como objetivo alcanzar la conservación de la infraestructura educativa en Colombia (Ministerio de Educación Nacional de Colombia, 2015).

En el momento en que se realizan los estudios de patología, se debe tener en cuenta, el obligatorio cumplimiento de los estándares de recolección de muestras y los ensayos elaborados, cumplan con los protocolos que garanticen un resultado

veraz. En algunos casos, se cometen errores al tomar las muestras, al manejarlas, o al transportarlas, esto genera resultados alterados, un mal diagnóstico y por supuesto, las decisiones que se tomen al final del estudio no cumplen con los requerimientos; lo cual, se refleja directamente en la calidad del trabajo.

La calidad también contempla la normatividad vigente que se rige en cada país, aun cuando haya similitudes en la normatividad mundial; en el caso colombiano, el reglamento de construcción sismo resistente NSR-10, es la norma con la cual se diseña. Las medidas frecuentemente aplicadas en el mejoramiento de una estructura son el reforzamiento, la rigidización, los disipadores sísmicos, la disminución de masas, entre otras. No obstante, cualquier medida aplicada debe ser congruente con el análisis y ensayos “in situ” de la edificación. (Buendía Sánchez & Reinoso Angulo, 2019).

Toda estructura puede ser sometida a un estudio patológico, incluso las estructuras nuevas, para garantizar su funcionamiento, calidad y vida útil. Según el Artículo 20 de la Ley 400 de 1997, las edificaciones de los grupos III y IV (edificaciones indispensables) deben ser sometidas a la supervisión técnica, dada su importancia para la comunidad. (Asociación colombiana de ingeniería sísmica, 2010). Para que los resultados sean de recomendables y de excelente calidad, los procedimientos deben realizarse apropiadamente. En el momento de la toma de muestras, suelen cometerse algunos errores comunes, que alteran el resultado final y no garantizan la veracidad de la información; por lo cual, es importante estudiar e incluir la gestión de la calidad en esta práctica.

Cada país tiene sus propias normas con respecto a este tema, en México, por ejemplo, a través de la ley de régimen del suelo y ordenación urbana del 12 de mayo de 1956, el propietario del inmueble es quien está obligado a mantener y conservar el estado de la construcción con el fin de evitar algún inconveniente. El 13 de abril de 1998, se hicieron algunas modificaciones a esta ley, y quedó incluido también el mantenimiento a terrenos. Se deben garantizar las condiciones de seguridad,

salubridad y ornato; se pueden realizar obras de conservación, mantenimiento, reparación, restauración, acondicionamiento y reestructuración.

En este documento se recopila la información básica y pertinente para llevar a cabo un estudio de patología estructural, teniendo en cuenta los errores de factor humano, para que sirva como marco de referencia en estudios posteriores. Y que también sea el punto de partida para continuar recopilando errores que se presenten en el tratamiento de las muestras, bien sea en la toma, manejo, etiquetado, transporte de las muestras o en el análisis de los resultados. Todo con el fin de garantizar siempre la mejor calidad, a través de los sistemas de gestión.

CASO DE ESTUDIO

En el año 2017, en el municipio de Santa Rosa de Cabal en Risaralda, se ejecutó la inspección patológica de 5 instituciones educativas, el colegio Lorencita Villegas de Santos, Colegio Santa María Goretti, colegio cooperativo COODESCAR, la escuela de guacas La Inmaculada y la escuela Antonia Santos. Dicha evaluación se efectuó utilizando la *Ficha técnica de identificación de Patologías Estructurales*, que investiga sobre los datos generales de la edificación, el sistema estructural y las patologías como tal; las demás variables consideradas fueron geología, localización, climatología, antecedentes históricos y construcción (Cortes Henao & Perilla Morales, 2017).

Rememorando, los departamentos del Quindío y Risaralda, soportaron el terremoto del 25 de enero de 1999, marcando u

n momento importante en la historia de la infraestructura de la zona y del país; por eso la evaluación patológica en la región es importante y debe ser periódica (Cortes Henao & Perilla Morales, 2017). De acuerdo a la NSR-10, Título A.2.3. Zonas de amenaza sísmica, el municipio de santa rosa de cabal se encuentra en una zona de actividad sísmica alta. (Asociación colombiana de ingeniería sísmica, 2010)

En la identificación visual que se hizo a la escuela Antonia Santos, se identificó que habían grietas en la losa, formadas seguramente por la presencia de restos biológicos, materia orgánica, químicos, minerales y sedimentos presentes en el agua interior del suelo, pues la edificación está construida sobre un depósito lacustre. Se evidencia problemas de humedad y asentamientos diferenciales. Adicionalmente la institución tiene forma de L, un lado es más pesado que el otro y contribuye con el asentamiento diferencial. En el caso de las columnas se encontraron pérdidas de material, manchas de humedad, agrietamientos y en algunos de los casos se presenta fenómeno de columna corta; puede excederse la resistencia por cortante antes que por flexión (Cortes Henao & Perilla Morales, 2017).

Al interior de la institución, se encontraron columnas discontinuas, apuntaladas con bloques de madera. Se observó corrosión en el sistema metálico que soporta toda la cubierta, el techo presenta goteras en un 45% de toda la institución, no hay canales ni bajantes, esto ocasiona inundaciones y filtraciones en toda la edificación. También se presenta planta débil, y no hay continuidad en las columnas de los entrepisos. Algunas vigas tienen el acero expuesto y otras están perforadas y atravesadas por instalaciones hidráulicas. Los muros presentan manchas y pérdida de material; sin embargo, la presencia de grietas es poca. Los elementos anclados como puertas y ventanas, presenta pérdida de material lo cual es un riesgo inminente de desprendimiento. En general, se presentan

múltiples “cráteres” y daños en la mayoría de los acabados como vidrios, puertas, plafones, ventanas y la fachada en general (Cortes Henao & Perilla Morales, 2017).

También en 2017, en el municipio de Dosquebradas (Risaralda) se realizó el estudio de patología estructural de la institución educativa Enrique Millán Rubio, esta institución fue construida en 1960; por lo cual, no fue construida con normas sísmo resistentes. Se observó que la edificación presenta diferentes sistemas estructurales como mampostería estructural, pórticos y muros confinados, lo cual

muestra diferentes épocas constructivas. En esta edificación se identificó deterioro general, problemas en elementos estructurales, falta de material en columnas y vigas, deterioro de la pintura de toda la edificación en general. A través del ensayo de ferrosacan, se determinó que existen varillas de refuerzo por debajo del límite que se requiere. La edificación no cumple con las derivas y los elementos estructurales deben ser reforzados; pues algunos elementos están sobre esforzados (Cruz Herrera & Perez, 2017).

Para llevar a cabo el estudio de patología es imprescindible, tomar muestras y hacer ensayo, bien sea in situ o en laboratorio para hacer un correcto análisis de la estructura. Por ello, un aspecto importante en la patología estructural es la toma de muestras, la forma en que se toman, los resultados y por consiguiente los errores que se cometen al conseguir y manipular los testigos. Los ensayos o muestras pueden ser de tipo destructivo, no destructivo y ensayos de laboratorio. (Porto Quitian, s.f.)

Las muestras destructivas pueden ser la extracción y rotura de probetas testigo de hormigón (también llamadas núcleos), toma de muestras de armaduras, regatas, profundidad de carbonatación, entre otros. Los ensayos no destructivos más utilizados son ensayo esclerómetro o índice de rebote, ensayos ultrasónicos, carbonatación y corrosímetro. En laboratorio se evalúa densidad, permeabilidad, contenido de cloruros, y contenido de sulfatos. En casos específicos, se aplican otros ensayos. (Porto Quitian, s.f.)

En el caso de los núcleos, es de vital importancia su preservación para la exactitud de los resultados, se debe tener especial cuidado en el proceso de corte, al recuperarlos y al transportarlos. Es posible que el taladro, no sea bien anclado, por tanto, se mueve y la muestra no es pareja. Otro error comúnmente cometido, es que el núcleo no es lo suficientemente largo debe cumplir que el largo debe ser dos veces el diámetro. El tamaño de la broca debe ajustarse al requerimiento del ensayo (Porto Quitian, s.f.).

Otro error que en la práctica se ve, es que la cantidad de muestras no es suficiente, como para ser una muestra representativa. Con respecto a la rotulación o marcado de los especímenes extraídos, estos deben llevar nombre del proyecto, del elemento, la ubicación y la fecha de extracción, ojalá documentar también el nombre del responsable. La manipulación de la muestra debe ser tan delicada como sea posible, para evitar ser golpeadas y que se vean alterados los resultados.

El ensayo de carbonatación, también puede dañarse por el simple hecho de no limpiar correctamente el polvo de la regata, pues contiene polvo de cemento y se adhiere a la superficie donde se hace la muestra, esto genera cambios en la coloración y por supuesto el resultado no es correcto.

Con respecto a las regatas, no se hace un buen destapado del acero de refuerzo lo cual impide una buena visualización de este, y esto no permite determinar su diámetro real. Quizá por confianza, por tiempo o por presupuesto, no se realizan la suficiente cantidad de regatas que permitan una idea cercana a lo realmente existente.

En el caso de la reparación, debe hacerse con un concreto especial de reparación, el cual, debe ser de mayor resistencia a la del elemento explorado, para que no genere un punto débil.

CONCLUSIONES

Toda estructura merece ser estudiada patológicamente para garantizar y preservar la vida de quienes allí conviven. Entre más patologías tenga un edificio, más vulnerable es. Dicha vulnerabilidad pone en riesgo la integridad de las personas que la habitan y posiblemente los habitantes que la usan no son conscientes de algunos riesgos que se ocasionan al sobre cargar una edificación que tiene problemas estructurales.

Teniendo en cuenta la clasificación de las estructuras en la NSR-10, hay unas estructuras que son más indispensables que otras, por su función; por ejemplo, las construcciones de primer orden deben ser construidas o reforzadas de tal manera que en presencia de un sismo deben quedar en pie, funcionales y operativas, en buenas condiciones para acoger y ayudar a quien necesite. Por lo tanto, es muy importante dar especial cuidado al estudio patológico de una edificación que este en esta clasificación. Por otra parte, cabe mencionar que las edificaciones indispensables construidas antes de la implementación de la NSR-10, son más vulnerables en presencia de un evento sísmico.

En el caso de la conservación de la infraestructura educativa en Colombia, es necesario cumplir con los lineamientos estipulados en el manual de uso, conservación y mantenimiento de infraestructura educativa. A partir de 2010, toda edificación tiene que cumplir con dicha norma.

Cada edificación se construye por un motivo, y se diseña cumpliendo las necesidades intrínsecas o que se presenten a lo largo del tiempo. No obstante, una edificación nueva puede presentar síntomas sin que se vea a simple vista, esto reduce la vida útil de las construcciones. En una edificación es posible encontrar múltiples patologías combinadas, puede tener sistemas estructurales diferentes, columnas y vigas averiadas, humedades, falta de material, entre muchos otros factores.

Para realizar un buen estudio patológico, es necesario poseer equipos bien calibrados (en el caso que lo requiera), tener buenos conocimientos del comportamiento de la estructura y respetar los patrones de calidad y límites permitidos dentro de las normas vigentes. Es importante mantener al capital humano actualizado y capacitado con respecto a todos los elementos que intervienen en la labor. Esto minimiza los factores de riesgo para cometer errores.

Los errores perpetrados en el momento de la toma de las muestras, primordialmente son de factor humano; por ello, es importante cumplir en su totalidad con los protocolos diseñados para ello. La manipulación de la muestra y el transporte también debe tener protocolos de seguridad que garanticen buenos resultados. Al cumplir correctamente los protocolos, se evitará tener concepciones equivocadas y finalmente se tomarán buenas decisiones frente a las obras a realizar.

Posiblemente los errores provienen de otros factores como el tiempo o dinero; sin embargo, en estos análisis, no se debe caer en imprecisiones y mucho menos reducción de costos que no tengan en cuenta la calidad y que pongan en peligro cualquier edificación; finalmente, es la vida de quienes permanecen allí la que se pone en riesgo. Por eso, el Ingeniero Civil está en la obligación de mantener siempre estándares de calidad muy altos, debe ser muy ético, profesional y tener muy claro su deber para con la sociedad.

Las estrategias de gestión de la calidad, no solo es aplicable en términos de patología, es aplicable para cualquier actividad o área.

Para garantizar la calidad y el mejoramiento continuo de los procesos en la identificación de cualquier patología estructural, es necesario identificar los errores cometidos durante la toma de muestras, hacer seguimiento y brindar soluciones. Adicionalmente los resultados son un referente para futuros estudios de patología estructural.

Con la aplicación de la norma 9001:2015 se pueden reducir errores en cualquier organización, empresa o proyecto, esto es de gran beneficio en cuanto se traduce en un aumento de la productividad y minimización de costos.

Es importante también que se garantice que los conceptos de gestión serán utilizados en los procesos, la manipulación y el transporte de las muestras, para no

perder el trabajo realizado en las etapas iniciales; cualquier falla en el proceso hará que se pierda el trabajo realizado en las etapas previas y los resultados se alterarán.

BIBLIOGRAFÍA

- Asociación colombiana de ingeniería sísmica. (2010). *Reglamento colombiano de construcción sísmo resistente. NSR-10*. Bogotá, Colombia. Recuperado el 2020, de <https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/titulo-a-nsr-100.pdf>
- Broto Comerma, C. (s.f.). *Enciclopedia Broto de patologías de la construcción* (Vol. 1). Recuperado el Octubre de 2020, de https://www.academia.edu/34656373/Enciclopedia_broto_de_patologias_de_la_construcion_Unlocked_by_www_freemypdf_com_1_
- Buendía Sánchez, L. M., & Reinoso Angulo, E. (1 de Enero de 2019). Patologías estructurales. *Revista Mexicana de la construcción*, 50-57. Recuperado el 2020, de https://issuu.com/helios_comunicacion/docs/rmc_637
- CIGIR. (2009). *Patologías en las edificaciones*. Recuperado el Septiembre de 2020, de http://chacao.gob.ve/eduriesgo/vulnerabilidad_archivos/04_patologias_en_las_edificaciones.pdf
- Cortes Henao, B., & Perilla Morales, K. (2017). Identificación de patologías estructurales en edificaciones indispensables del municipio de santa rosa de cabal (Sector educativo). *Trabajo de grado como requisito para optar al título de ingeniero civil*, 1-79. Pereira, Risaralda, Colombia. Recuperado el 10 de Septiembre de 2020, de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/16981/IDENTIFICACION%20DE%20PATOLOGIAS%20ESTRUCTURALES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cruz Herrera, W. A., & Perez, G. J. (2017). Pasantía internacional universidad nacional autonoma de Mexico - Estudio de la patologia estructural Institución Educativa Enrique Millan Rubio. 1-74. Pereira, Risaralda, Colombia. Recuperado el 9 de Septiembre de 2020, de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/17011/ESTUDIO%20DE%20PATOLOGIA%20ESTRUCTURAL%20DE%20LA%20ESCUELA%20ENRIQUE%20MILLAN%20RUBIO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cruz Herrera, W. A., & Perez, G. J. (2017). Pasantía Internacional Universidad Nacional Autonoma de Mexico - Estudio de patologia estructural. Institución Educativa Enrique Millán Rubio. *Documento*, 1-74. Pereira, Risaralda, Colombia. Recuperado el Octubre de 2020, de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/17011/ESTUDIO%20DE%20PATOLOGIA%20ESTRUCTURAL%20DE%20LA%20ESCUELA%20ENRIQUE%20MILLAN%20RUBIO.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=Un%20estudio%20de%20patolog%C3%ADa%20estructural,y%20hagan%20segura%20>

- Díaz Barreiro, P. (2014). Protocolo para los estudios de patología de la construcción en edificaciones de concreto reforzado en Colombia. 1-170. Bogotá, Bogotá, Colombia. Recuperado el Septiembre de 2020
- DIMEC. (2011). Curso "Resistencia de Materiales Aplicada". *Apuntes*. Santiago de Chile, Chile. Recuperado el Marzo de 2021, de https://mecanica-usach.mine.nu/media/uploads/Apuntes_curso_RMA_clase_4.pdf
- Escuela Europea de Excelencia. (25 de Julio de 2017). *Nueva ISO 9001:2015*. Recuperado el 29 de Septiembre de 2020, de <https://www.nueva-iso-9001-2015.com/2017/07/principios-de-gestion-de-la-calidad/>
- Jaramillo S., N. (s.f.). Fuerza Cortante y Momento flector. 18. Recuperado el Marzo de 2021, de http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/nayive/Temario/Tema6_Fuerza_cortante_momento_Flector.pdf
- Ministerio de Educación Nacional de Colombia. (2015). *Manual de uso conservación y mantenimiento de infraestructura educativa* (Primera ed.). (M. d. Nacional, Ed.) Bogotá, Bogotá, Colombia: Ministerio de Educación Nacional. Recuperado el 30 de Septiembre de 2020, de <https://sedsanandres.gov.co/index.php/planeacion-educativa/105-manual-de-uso-y-mantenimiento-de-infraestructuras-educativas/file>
- Orozco González, F., Murillo Vargas, P., & Lopez Betancur, D. (2017). Evaluación de la vulnerabilidad estructural de las edificaciones indispensables de los grupos III y IV, según la NSR-10, en el municipio de Dosquebradas, Risaralda. *Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Civil*. Pereira, Risaralda, Colombia. Recuperado el 9 de Septiembre de 2020, de <http://repositorio.unilibrepereira.edu.co:8080/pereira/bitstream/handle/123456789/852/EVALUACION%20DE%20LA%20VULNERABILIDAD%20ESTRUCTURAL.pdf?sequence=1>
- Oviedo, J. A. (17 de Mayo de 2018). Reforzamiento sísmico estructural: ¿cuándo y cómo hacerlo? *publicacion en pagina web*. Colombia. Recuperado el 21 de Septiembre de 2020, de <https://www.efepimace.co/reforzamiento-sismico-estructural/>
- Panozo, M. A. (12 de abril de 2007). Patología de las estructuras. *Presentación*. Recuperado el Octubre de 2020, de <https://es.slideshare.net/angelcaido666x/patologia-de-las-estructuras>
- Parra Samaniego, B., & Vásquez Flores, P. (2014). Patología, Diagnostico y propuestas de rehabilitación de la vivienda de la familia Bermeo Alarcón. 1- 157. Cuenca, Ecuador. Recuperado el Septiembre de 2020, de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/5528/1/Tesis.pdf>
- Porto Quitian, J. M. (s.f.). Capítulo II. Técnicas de investigación, dictamen e intervención en las estructuras de hormigón. En *Manual de patologías en las estructuras de hormigón armado* (págs. 1-89). Recuperado el 2020, de

https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/13853/PortoQuintian_JesusManuel_PFC_2005_02de5.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Porto Quitian, J. M. (s.f.). *Manual de patologías en las estructuras de hormigón armado. Capítulo II. Técnicas de investigación, dictamen e intervención en las estructuras de hormigón*. Recuperado el Septiembre de 2020

Rodriguez Suarez, E., & Castro Sosa, J. S. (2015). Caracterización de las condiciones estructurales en viviendas estruturales en viviendas residenciales del barrio ciudad jardín sur en Bogotá según NSR-10. *Trabajo de grado*, 1-95. Bogotá, Bogotá. Recuperado el 12 de Septiembre de 2020, de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2782/1/TRABAJO%20DE%20GRADO%20CARACTERIZACI%C3%93N%20DE%20LAS%20CONDICIONES%20ESTRUCTURALES%20EN%20VIVIENDAS%20RESIDENCIALES%20DEL%20BARRIO%20CIUDAD%20JARDIN%20SUR%20EN%20BOGOTA%20SEG%C3%9AN%20NSR-10.pdf>

Tadeu Mascia, N., & Lenz Sartorti, A. (Abril de 2011). Identificación y análisis de patologías en puentes de carreteras urbanas y rurales. *Revista Ingeniería de construcción*, 26(1), 5-24. Recuperado el Noviembre de 2020, de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732011000100001

Tarbuck, E., & Lutgens, F. (2001). *Ciencias de la tierra: una introducción a la geología física* (6 ed.). Madrid, España: Prentice Hall. Recuperado el Abril de 2021

The IRIS consortium. (20 de Septiembre de 2020). *IRIS*. Recuperado el 20 de Septiembre de 2020, de Incorporated Research Institutions for Seismology: http://www.iris.washington.edu/latin_am/evlist.phtml?region=mundo

UNGRD. (25 de Enero de 2019). *Unidad Nacional para la Gestión del riesgo de Desastres*. Recuperado el 10 de Octubre de 2020, de Unidad Nacional para la Gestión del riesgo de Desastres: <http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Noticias/2019/Implementacion-de-la-estrategia-nacional-de-reduccion-del-riesgo-sismico-fortalecera-la-region-del-Eje-Cafetero.aspx>