

**EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO
ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO, ACORDE AL REGLAMENTO NSR-
10. ESTUDIO DE CASO EDIFICIO INDUSTRIAL PUENTE ARANDA BOGOTÁ**

Héctor Andrés Quintero Becerra

Nelson Javier Castellanos Palacio

Germán Alonso Leal Olivos



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

Vigilada MINEDUCACIÓN

Especialización en Diseño y Construcción de Obras de Infraestructura y Edificaciones,

Facultad de Ingenierías

Universidad La Gran Colombia

Bogotá D.C.

2023

Evaluación de la patología, la vulnerabilidad y del diseño de reforzamiento estructural de la edificación afectada por incendio, acorde al reglamento vigente NSR-10 estudio de caso edificio industrial Puente Aranda Bogotá

Héctor Andrés Quintero Becerra

Nelson Javier Castellanos Palacio

Germán Alonso Leal Olivos

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de (Especialista en diseño y construcción de edificaciones e infraestructura)

Ing. Jenny Magaly Pira Ruiz

Director, Docente Universidad la Gran Colombia

Ing. Cesar Páez

Asesor metodológico



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

Vigilada MINEDUCACIÓN

Especialización en Diseño y Construcción de Obras de Infraestructura y Edificaciones,

Facultad de Ingenierías

Universidad La Gran Colombia

Bogotá D.C.

2023

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

3

Dedicatoria

"Para mi amada familia y cercanos,

Con cariño y gratitud, dedico este logro en Diseño y Construcción de Obras e Infraestructura. Su apoyo inquebrantable ha sido la fuerza detrás de cada paso. Que este conocimiento se traduzca en un futuro más sólido para todos nosotros.

Con amor,

Nelson Castellanos

Primero a Dios por la oportunidad de volver a cursar en esta universidad que pisaron algunos de mis familiares, en modalidad de post grado, a mi esposa Jeniffer Mogollón, por su apoyo incondicional, mis tías, Pilar Quintero, Esperanza Quintero, mi madre Victoria Becerra y a todos aquellos que se alegran de este nuevo logro, importante y bendito para el presente y futuro aporte de la ingeniería en un país que necesita de nosotros como pilar importante de desarrollo económico, social y de infraestructura.

Andrés Quintero

A mi esposa Gloria González a mi hija Valentina Leal, quienes han sido mi inspiración constante y mi mayor apoyo para retornar a mis estudios de posgrado. A los profesores por su dedicación y enseñanzas que han dejado una huella imborrable en mi formación profesional.

Germán Leal

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

4

Agradecimientos

Queremos expresar nuestros más sinceros agradecimientos a todos los que han sido parte de este viaje académico. A nuestros profesores, gracias por su guía y conocimientos compartidos. A nuestros compañeros, por el apoyo y la colaboración en cada paso. A nuestras familias y amigos, por su constante aliento. Este logro es de todos nosotros. ¡Gracias!

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

5

Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN	10
OBJETIVOS	11
OBJETIVO GENERAL	11
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
ANÁLISIS DEL INFORME DE PATOLOGÍA.....	12
MARCO REFERENCIAL.....	12
ENSAYOS REALIZADOS:	14
<i>Levantamiento Estructural</i>	<i>14</i>
<i>Fichas patológicas</i>	<i>15</i>
ANÁLISIS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS	20
<i>Extracción de cilindros de concreto</i>	<i>20</i>
<i>Tracción directa a barras de acero</i>	<i>23</i>
<i>Detección de refuerzo por medio de equipo ferroskan</i>	<i>24</i>
<i>Prueba de carbonatación.....</i>	<i>25</i>
DIAGNÓSTICO.....	28
<i>Columnas</i>	<i>28</i>
<i>Placas aéreas</i>	<i>28</i>
<i>Cimentación.....</i>	<i>29</i>
MATRIZ DE EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA	29

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

6

ANÁLISIS DEL INFORME LA VULNERABILIDAD	32
MARCO REFERENCIAL.....	32
<i>Análisis de daños</i>	<i>32</i>
<i>Proceso de Evaluación</i>	<i>33</i>
CRITERIOS ESTRUCTURALES EMPLEADOS	36
AVALÚO DE CARGAS	37
ANÁLISIS SÍSMICO	39
MODELO NUMÉRICO	40
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	41
RESISTENCIA DE LOS ELEMENTOS	42
DERIVAS	42
<i>Índice de flexibilidad</i>	<i>43</i>
MATRIZ DE ANÁLISIS DE ESTUDIO DE VULNERABILIDAD	44
EVALUACIÓN DEL INFORME DE DISEÑO DEL REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL	45
CRITERIOS ESTRUCTURALES EMPLEADOS	45
<i>Avalúo de cargas</i>	<i>45</i>
<i>Observaciones o hallazgos.....</i>	<i>47</i>
ANÁLISIS SÍSMICO.	47
<i>Concepto según informe.....</i>	<i>47</i>
<i>Clasificación del sistema estructural.....</i>	<i>48</i>
<i>Parámetros sísmicos</i>	<i>48</i>
CONCEPTO SEGÚN NSR-10.....	49
<i>Observaciones o hallazgos.....</i>	<i>51</i>
ANÁLISIS ESTRUCTURAL	51

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

7

<i>Concepto según informe</i>	51
CONCEPTO SEGÚN REGLAMENTO NSR-10	52
<i>Observaciones o hallazgos</i>	53
DISEÑO DE ELEMENTOS DE REFORZAMIENTO	53
<i>Concepto según informe</i>	53
<i>Concepto según reglamento NSR-10</i>	54
<i>Observaciones y hallazgos del informe de diseño de reforzamiento estructural</i>	54
DERIVAS	55
<i>Concepto según informe</i>	55
<i>Concepto según NSR-10</i>	55
<i>Observaciones o hallazgos</i>	56
MATRIZ DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL	57
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	58
LISTA DE REFERENCIA O BIBLIOGRAFÍA	60

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

8

Listado de tablas

Tabla 1 Resultado de los ensayos de compresión en las muestras extraídas	21
Tabla 2 Resultados del ensayo de tracción directa en las tres muestras extraídas para estudio .	23
Tabla 3 Resultados del ensayo de ferroskan en los diez primeros elementos analizados	25
Tabla 4 Resultados de los ensayos de carbonatación realizado a los primeros diez elementos...	27
Tabla 5 Matriz de análisis estudio de patología.....	31
Tabla 6 Cargas vivas	37
Tabla 7 B.4.2.1-1 Cargas vivas Fábricas Industria Pesadas. NSR-10.....	38
Tabla 8 B.4.2.1.-2 Cargas Vivas Cubierta NSR-10	39
Tabla 9 Coeficientes de importancia NSR-10.....	49
Tabla 10 A.2.2-1 Valores de Aa y de Av, según las regiones De los mapas de las figuras A.2.3-2 Y A.2.3-3.....	50
Tabla 11 Análisis dinámico.....	52
Tabla 12 Matriz de reforzamiento estructural.....	57

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

9

Lista de ilustraciones

Ilustración 1 Corresponde a la ficha patológica No. 9 columna eje c-7 segundos piso.....	17
Ilustración 2 Se observa la ficha patológica No 12 que corresponde a las vigas descolgadas tercer piso en el Eje C-D entre 5 – 8	18
Ilustración 3 Se observa la ficha patológica No 49 que corresponde a muros en mampostería segundo piso	19
Ilustración 4 Parámetros sísmicos estructura.....	40
Ilustración 5 Cargas del proyecto.....	46

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

10

Introducción

La evaluación del documento que trata de la patología, vulnerabilidad y reforzamiento estructural, que se llevó a cabo, pertenece a una edificación ubicada en la ciudad de Bogotá y cuya estructura estuvo expuesta a un evento de incendio. La construcción de esta edificación se dio en los años 90, y se diseñó con la Norma sismo resistente vigente en esa época correspondiente al año 1984. El edificio está ubicado en el sector de Puente Aranda destinado para uso industrial-textil, la cual tiene tres plantas a doble altura 15m. Esta estructura se vio expuesta a un incendio el 17 de enero de 2022 afectando principalmente el área del segundo piso.

En el estudio se realizará una evaluación del contenido técnico y estructurado sobre el estudio de vulnerabilidad, desarrollado por una firma de consultoría, quienes desarrollaron la patología existente, levantamientos y memorias de cálculo para la propuesta del reforzamiento estructural.

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

11

Objetivos

Objetivo General

Evaluar el contenido de la patología, la vulnerabilidad y el diseño del reforzamiento estructural de la edificación afectada por incendio, acorde al reglamento NSR-10.

Objetivos Específicos

1. Revisar el contenido técnico de los estudios de patología estructural, vulnerabilidad sísmica y propuesta de reforzamiento realizados para un edificio afectado por un evento de incendio que fue construido antes de la vigencia del actual reglamento NSR-10.
2. Identificar los parámetros normativos y de diseño aplicados en los estudios realizados para un edificio afectado por un evento de incendio que fue construido antes de la vigencia del actual reglamento NSR-10
3. Elaborar una matriz de evaluación comparativa de los parámetros utilizados en los estudios de patología, vulnerabilidad y reforzamiento de acuerdo con los parámetros de diseño utilizados y los requisitos establecidos en el reglamento vigente NSR-10.

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

12

Análisis del informe de Patología

Marco Referencial

El estudio de patología de estructuras desempeña un papel fundamental en la evaluación de las edificaciones que han estado expuestas a eventos adversos, como incendios. En este contexto, se convierte en una herramienta crucial para comprender la verdadera condición de una estructura, identificar los daños resultantes y en última instancia, definir estrategias de intervención que garanticen su seguridad y funcionalidad a largo plazo.

ESTUDIO DE “VULNERABILIDAD SÍSMICA Y PATOLÓGICO DE LA INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA, TECNOLÓGICO DE ANTIOQUIA” (T. de A.-IU) Quiroga, P. M., & Sarrazin, M. (2003). Estudio de patología en las edificaciones antiguas, describe claramente el proceso de estudio de patología de una estructura el cual se inicia con el levantamiento estructural, una recopilación exhaustiva de información relacionada con la edificación en cuestión que incluye planos, informes previos, diseños, estudios de ingeniería y cualquier documentación relevante, se realiza un levantamiento topográfico que proporciona una vista detallada de la estructura. La investigación de las causas del incendio se suma a este análisis, ya que comprender el origen y la propagación del fuego es fundamental para evaluar su impacto en la estructura. (Huincho Salvatierra, Mark, 2017) En su trabajo de tesis para la Universidad Nacional del Perú “Evaluación de la resistencia mecánica del concreto sometido a altas temperaturas por incidencia del fuego directo” logro evaluar la pérdida de masa, la pérdida de la resistencia en compresión, tracción y del módulo elástico.

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

13

El estudio de patología no se limita a la observación superficial; implica actividades y ensayos específicos que permiten un conocimiento más profundo de las condiciones y características del proceso constructivo. Esta evaluación exhaustiva es crucial, ya que a menudo los daños superficiales no reflejan completamente la extensión de los problemas estructurales.

Los ensayos de extracción de núcleos de concreto, la tracción directa a barras de acero, el ferroskan y los ensayos de carbonatación son técnicas para analizar los materiales y elementos estructurales afectados por el incendio. Estos ensayos proporcionan información precisa y objetiva sobre la integridad y la resistencia de la estructura. Además, permiten determinar si es necesario un refuerzo para restaurar la seguridad y la funcionalidad.

El estudio de patología no solo se enfoca en diagnosticar los daños, sino que también sirve como base para abordar las medidas de refuerzo estructural necesarias. En la evaluación de vulnerabilidad, se analizan los posibles riesgos futuros y se establecen estrategias para mitigarlos. Esto incluye la identificación de áreas críticas que requieren una atención inmediata y medidas de refuerzo.

En resumen, el estudio de patología de estructuras después de un incendio es un proceso técnico y minucioso que proporciona una comprensión profunda de los daños sufridos por la edificación.

Esta información es esencial para tomar decisiones informadas sobre la reparación, el mantenimiento o la rehabilitación de la estructura. Garantizar la seguridad y la integridad de los edificios es la máxima prioridad, y el estudio de patología desempeña un papel central en la preservación de edificaciones y la protección de quienes las ocupan.

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

14

Ensayos realizados:

En este capítulo, se llevará a cabo el análisis del estudio de patología estructural realizado en el edificio ubicado en la Calle 12 #60-57, Barrio Salazar Gómez, Bogotá. Este edificio consta de una estructura de concreto porticada de tres niveles, destinada a actividades industriales, en particular, en el área textil.

La mayor afectación en esta estructura se registró en el segundo nivel, donde ocurrió la conflagración. Como consecuencia, se evidencian daños significativos en las columnas y el recubrimiento inferior de la placa del tercer nivel.

Durante el estudio de patología, se realizó un levantamiento detallado de la estructura basado en la información disponible. Además, se llevaron a cabo ensayos tanto destructivos como no destructivos, los cuales desempeñan un papel esencial en la identificación de los daños estructurales. A continuación, se presenta la exposición del estudio de patología y se procede a analizar los resultados obtenidos.

Levantamiento Estructural

En Colombia, el levantamiento estructural necesario para el estudio de patología de un edificio dañado por un incendio no está específicamente regulado por una norma única. En cambio, el proceso general de evaluación de estructuras dañadas, incluido el levantamiento estructural, **se rige por las normas y prácticas de ingeniería estructural, así como por el reglamento Sismo Resistente Colombiano NSR-10, Título C, que se refiere a "Diagnóstico y Reforzamiento de Estructuras"**.

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

15

El levantamiento estructural se puso en marcha a partir de una minuciosa recopilación de datos, aprovechando información como los planos existentes y llevando a cabo inspecciones visuales, complementado con un detallado levantamiento topográfico.

Dentro del estudio de patología, se desarrolló un inventario minucioso abarcando todos los elementos que componen el edificio, tanto aquellos de carácter estructural como los no estructurales. Para lograrlo, se utilizó un formato especialmente diseñado para facilitar el registro de datos esenciales del edificio, abarcando aspectos como ubicación, uso, sistema constructivo y tipo de materiales empleados. A continuación, se realizó una inspección exhaustiva de los elementos estructurales y no estructurales, incluyendo la cimentación, muros, vigas, columnas, placas de entrepiso, cubierta y fachadas. Esta fase permitió identificar con precisión la ubicación de cada elemento y establecer sus características fundamentales.

Fichas patológicas

Un componente significativo de esta fase fue la creación de un total de 75 fichas patológicas. Cada ficha documenta el estado actual de los elementos, ya sean estructurales o no estructurales. Cada ficha se completa con un archivo de fotografías que permite visualizar de manera clara la condición de cada elemento, así como un esquema que muestra su ubicación precisa. Además, se especifica el tipo de lesión que presenta el elemento, se realiza una descripción detallada de la lesión y se asigna una calificación que refleja la gravedad de la misma.

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

16

Este proceso meticuloso de levantamiento estructural sienta las bases sólidas para el posterior análisis de patología y vulnerabilidad estructural, proporcionando información detallada y esencial para la toma de decisiones informadas en relación con la rehabilitación y reforzamiento de la estructura. A continuación, se presentan tres ejemplos de fichas patológicas.

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

17

Metodología cualitativa para valorar la patología y vulnerabilidad general de edificaciones		FICHA # 9 LEVANTAMIENTO DE LESIONES Y CALIFICACIÓN		Fecha : 23-12 2022 Formato : 5 Pagina : 01 de 01																																															
1	INFORMACIÓN DEL PACIENTE																																																		
INFORMACIÓN GENERAL	NOMBRE DEL PACIENTE		EDIFICIO ZONA INDUSTRIAL																																																
	DIRECCIÓN	CALLE 12 # 60 - 57	BARRIO	ZALAZAR GOMEZ																																															
2	INFORMACIÓN DEL ELEMENTO																																																		
INFORMACIÓN ELEMENTO	TIPO DE ELEMENTO		COLUMNA																																																
	UBICACIÓN (EJES U OTROS)		EJE C - 7 SEGUNDO PISO																																																
3	FOTOS REPRESENTATIVAS																																																		
FOTOGRAFÍAS																																																			
4	ESQUEMAS TRABAJO DE CAMPO																																																		
ESQUEMAS																																																			
5	TIPOS DE LESIÓN																																																		
TIPO DE LESIÓN	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Físicas</th> <th>Mecánicas</th> <th>Químicos</th> <th>Organismos vivos</th> <th>Antropogénicos</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>H. Ascendente</td> <td>Vibración</td> <td>Deformaciones</td> <td>Desniveles</td> <td>Eflorescencias</td> <td>Insectos Xilófagos</td> <td>Alteración volumétrica</td> </tr> <tr> <td>H. Descendente</td> <td>Empozamiento</td> <td>Grietas</td> <td>Alabeo/pandeo</td> <td>Putrefacción</td> <td>Mohos/hongos</td> <td>Alteración espacial</td> </tr> <tr> <td>H. Filtraciones</td> <td>Pandeos y abombamientos</td> <td>Fisuras</td> <td>Tapiado</td> <td>Oxidación/corrosión</td> <td>Plantas superficiales</td> <td>Carencia de mantenimiento</td> </tr> <tr> <td>Suciedad</td> <td>Decoloración / desgaste</td> <td>Rupturas</td> <td>hundimiento</td> <td>Exfoliación</td> <td>Animales / palomas</td> <td>Diseño inadecuado</td> </tr> <tr> <td>Erosión</td> <td>Descascaramiento</td> <td>Desprendimiento</td> <td>Fuego</td> <td>Costra negra</td> <td></td> <td>Instalaciones parasitas</td> </tr> <tr> <td>Manchas humedad</td> <td>Manchas</td> <td>Desplomes</td> <td></td> <td>Craquelada de pintura</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				Físicas	Mecánicas	Químicos	Organismos vivos	Antropogénicos	H. Ascendente	Vibración	Deformaciones	Desniveles	Eflorescencias	Insectos Xilófagos	Alteración volumétrica	H. Descendente	Empozamiento	Grietas	Alabeo/pandeo	Putrefacción	Mohos/hongos	Alteración espacial	H. Filtraciones	Pandeos y abombamientos	Fisuras	Tapiado	Oxidación/corrosión	Plantas superficiales	Carencia de mantenimiento	Suciedad	Decoloración / desgaste	Rupturas	hundimiento	Exfoliación	Animales / palomas	Diseño inadecuado	Erosión	Descascaramiento	Desprendimiento	Fuego	Costra negra		Instalaciones parasitas	Manchas humedad	Manchas	Desplomes		Craquelada de pintura		
	Físicas	Mecánicas	Químicos	Organismos vivos	Antropogénicos																																														
H. Ascendente	Vibración	Deformaciones	Desniveles	Eflorescencias	Insectos Xilófagos	Alteración volumétrica																																													
H. Descendente	Empozamiento	Grietas	Alabeo/pandeo	Putrefacción	Mohos/hongos	Alteración espacial																																													
H. Filtraciones	Pandeos y abombamientos	Fisuras	Tapiado	Oxidación/corrosión	Plantas superficiales	Carencia de mantenimiento																																													
Suciedad	Decoloración / desgaste	Rupturas	hundimiento	Exfoliación	Animales / palomas	Diseño inadecuado																																													
Erosión	Descascaramiento	Desprendimiento	Fuego	Costra negra		Instalaciones parasitas																																													
Manchas humedad	Manchas	Desplomes		Craquelada de pintura																																															
6	DESCRIPCIÓN DE LA LESIÓN																																																		
COMENTARIOS	La columna C-7 presenta desprendimiento de concreto y fisuras entre 0,75MM - 180MM en forma de craquelado. Debido a que el acero e los bordes está se tomaron diámetros de estribos de 9,6mm separación cada 20CM.																																																		
7	CALIFICACIÓN Y DIAGNOSTICO DE LA LESIÓN																																																		
CALIFICACIÓN	<table border="1"> <thead> <tr> <th>ESTADO</th> <th>AFECTACIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Muy Leve</td> <td>0% - 20</td> </tr> <tr> <td>Leve</td> <td>20% - 40%</td> </tr> <tr> <td>Severo</td> <td>40% - 60%</td> </tr> <tr> <td>Grave</td> <td>60% - 80%</td> </tr> <tr> <td>Muy Grave</td> <td>80% - 100%</td> </tr> </tbody> </table>		ESTADO	AFECTACIÓN	Muy Leve	0% - 20	Leve	20% - 40%	Severo	40% - 60%	Grave	60% - 80%	Muy Grave	80% - 100%	DIAGNOSTICO, INTERVENCIÓN, PREVENCIÓN COMENTARIO ADICIONAL: El elemento revisado presenta un craquelado en el concreto que la compone y la ausencia de este en las zonas de las barras longitudinales debido a las temperaturas que soporto durante el incendio.																																				
	ESTADO	AFECTACIÓN																																																	
Muy Leve	0% - 20																																																		
Leve	20% - 40%																																																		
Severo	40% - 60%																																																		
Grave	60% - 80%																																																		
Muy Grave	80% - 100%																																																		

Ilustración 1 Corresponde a la ficha patológica No. 9 columna eje c-7 segundos piso

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

18

Metodología cualitativa para valorar la patología y vulnerabilidad general de edificaciones		FICHA # 9 LEVANTAMIENTO DE LESIONES Y CALIFICACIÓN		Fecha : 23-12-2022 Formato : 5 Pagina : 01 de 01																																																	
1	INFORMACIÓN DEL PACIENTE																																																				
INFORMACIÓN GENERAL	NOMBRE DEL PACIENTE		EDIFICIO ZONA INDUSTRIAL																																																		
	DIRECCIÓN	CALLE 12 # 60 - 57	BARRIO	ZALAZAR GOMEZ																																																	
2	INFORMACIÓN DEL ELEMENTO																																																				
INFORMACIÓN ELEMENTO	TIPO DE ELEMENTO		VIGA DESCOLGADA DE TERCER PISO																																																		
	UBICACIÓN (EJES U OTROS)	EJE C - D ENTRE 5 - 8	SEGUNDO PISO																																																		
3	FOTOS REPRESENTATIVAS																																																				
FOTOGRAFÍAS																																																					
4	ESQUEMAS TRABAJO DE CAMPO																																																				
ESQUEMAS																																																					
	Desprendimiento de concreto dejando acero expuesto Desprendimiento de concreto sin caer Es posible que por el apantallamiento existente no se vea el desprendimiento a punto de caer																																																				
5	TIPOS DE LESIÓN																																																				
TIPO DE LESIÓN	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Físicas</th> <th colspan="2">Mecánicas</th> <th>Químicos</th> <th>Organismos vivos</th> <th>Antropogénicos</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>H. Ascendente</td> <td>Vibración</td> <td>Deformaciones</td> <td>Desniveles</td> <td>Eflorescencias</td> <td>Insectos Xilófagos</td> <td>Alteración volumétrica</td> </tr> <tr> <td>H. Descendente</td> <td>Empozamiento</td> <td>Grietas</td> <td>Alabeo/pandeo</td> <td>Pudrición</td> <td>Mohos/hongos</td> <td>Alteración espacial</td> </tr> <tr> <td>H. Filtraciones</td> <td>Pandeos y abombamientos</td> <td>Fisuras</td> <td>Tapiado</td> <td>Oxidación/corrosión</td> <td>Plantas superficiales</td> <td>Carencia de mantenimiento</td> </tr> <tr> <td>Suciedad</td> <td>Decoloración / desgaste</td> <td>Rupturas</td> <td>hundimiento</td> <td>Exfoliación</td> <td>Animales / palomas</td> <td>Diseño inadecuado</td> </tr> <tr> <td>Erosión</td> <td>Descascaramiento</td> <td>Desprendimiento</td> <td>Fuego</td> <td>Costra negra</td> <td></td> <td>Instalaciones parasitas</td> </tr> <tr> <td>Manchas humedad</td> <td>Manchas</td> <td>Desplomes</td> <td></td> <td>Craquelada de pintura</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				Físicas		Mecánicas		Químicos	Organismos vivos	Antropogénicos	H. Ascendente	Vibración	Deformaciones	Desniveles	Eflorescencias	Insectos Xilófagos	Alteración volumétrica	H. Descendente	Empozamiento	Grietas	Alabeo/pandeo	Pudrición	Mohos/hongos	Alteración espacial	H. Filtraciones	Pandeos y abombamientos	Fisuras	Tapiado	Oxidación/corrosión	Plantas superficiales	Carencia de mantenimiento	Suciedad	Decoloración / desgaste	Rupturas	hundimiento	Exfoliación	Animales / palomas	Diseño inadecuado	Erosión	Descascaramiento	Desprendimiento	Fuego	Costra negra		Instalaciones parasitas	Manchas humedad	Manchas	Desplomes		Craquelada de pintura		
	Físicas		Mecánicas		Químicos	Organismos vivos	Antropogénicos																																														
H. Ascendente	Vibración	Deformaciones	Desniveles	Eflorescencias	Insectos Xilófagos	Alteración volumétrica																																															
H. Descendente	Empozamiento	Grietas	Alabeo/pandeo	Pudrición	Mohos/hongos	Alteración espacial																																															
H. Filtraciones	Pandeos y abombamientos	Fisuras	Tapiado	Oxidación/corrosión	Plantas superficiales	Carencia de mantenimiento																																															
Suciedad	Decoloración / desgaste	Rupturas	hundimiento	Exfoliación	Animales / palomas	Diseño inadecuado																																															
Erosión	Descascaramiento	Desprendimiento	Fuego	Costra negra		Instalaciones parasitas																																															
Manchas humedad	Manchas	Desplomes		Craquelada de pintura																																																	
6	DESCRIPCIÓN DE LA LESIÓN																																																				
COMENTARIOS	La columna C-7 presenta desprendimiento de concreto y fisuras entre 0,75MM - 180MM en forma de craquelado. Debido a que el acero e los bordes está se tomaron diámetros de estribos de 9,6mm separación cada 20CM.																																																				
7	CALIFICACIÓN Y DIAGNOSTICO DE LA LESIÓN																																																				
CALIFICACIÓN	<table border="1"> <thead> <tr> <th>ESTADO</th> <th>AFECTACIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Muy Leve</td> <td>0% - 20</td> </tr> <tr> <td>Leve</td> <td>20% - 40%</td> </tr> <tr> <td>Severo</td> <td>40% - 60%</td> </tr> <tr> <td>Grave</td> <td>60% - 80%</td> </tr> <tr> <td>Muy Grave</td> <td>80% - 100%</td> </tr> </tbody> </table>		ESTADO	AFECTACIÓN	Muy Leve	0% - 20	Leve	20% - 40%	Severo	40% - 60%	Grave	60% - 80%	Muy Grave	80% - 100%	DIAGNOSTICO, INTERVENCIÓN, PREVENCIÓN COMENTARIO ADICIONAL: En la zona revisada se observa que hay un aumento de los síntomas de fisuración y desprendimiento teniendo en cuenta que esta mas cerca del conato de incendio.																																						
	ESTADO	AFECTACIÓN																																																			
Muy Leve	0% - 20																																																				
Leve	20% - 40%																																																				
Severo	40% - 60%																																																				
Grave	60% - 80%																																																				
Muy Grave	80% - 100%																																																				

Ilustración 2 Se observa la ficha patológica No 12 que corresponde a las vigas descolgadas tercer piso en el Eje C-D entre 5 – 8

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

19

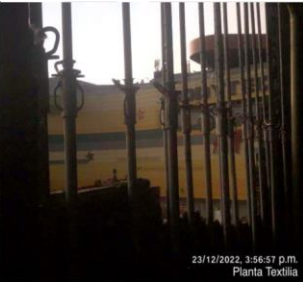
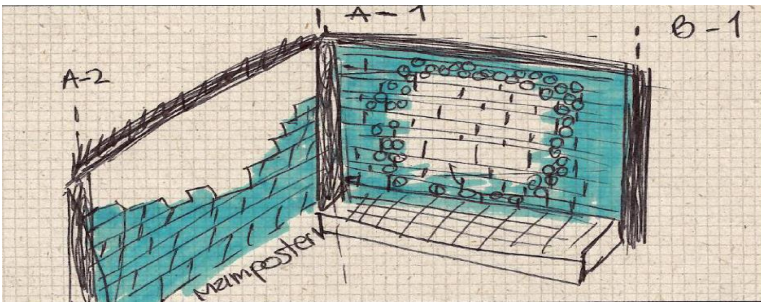
Metodología cualitativa para valorar la patología y vulnerabilidad general de edificaciones		FICHA # 49 LEVANTAMIENTO DE LESIONES Y CALIFICACIÓN		Fecha : 23-12 2022 Formato : 5 Pagina : 01 de 01			
1	INFORMACION DEL PACIENTE						
INFORMACIÓN GENERAL	NOMBRE DEL PACIENTE		EDIFICIO ZONA INDUSTRIAL				
	DIRECCIÓN	CALLE 12 # 60 - 57	BARRIO	ZALAZAR GOMEZ			
2	INFORMACION DEL ELEMENTO						
INFORMACIÓN ELEMENTO	TIPO DE ELEMENTO		MURO EN MAMPOSTERÍA				
	UBICACIÓN (EJES U OTROS)		EJE entre 1 y 2 y EJE 1 entre A y B SEGUNDO PISO				
3	FOTOS REPRESENTATIVAS						
FOTOGRAFÍAS	  						
4	ESQUEMAS TRABAJO DE CAMPO						
ESQUEMAS							
5	TIPOS DE LESIÓN						
TIPO DE LESIÓN	Físicas		Mecánicas		Químicos	Organismos vivos	Antropogénicos
	H. Ascendente	Vibración	Deformaciones	Desniveles	Eflorescencias	Insectos Xilófagos	Alteración volumétrica
	H. Descendente	Empozamiento	Grietas	Alabeo/pandeo	Pudrición	Mohos/hongos	Alteración espacial
	H. Filtraciones	Pandeos y abombamiento	Fisuras	Tapiado	Oxidación/corrosión	Plantas superficiales	Carencia de mantenimiento
	Suciedad	Decoloración / desgaste	Rupturas	hundimiento	Exfoliación	Animales / palomas	Diseño inadecuado
	Erosión	Descascaramiento	Desprendimiento	Fuego	Costra negra		Instalaciones parasitas
	Manchas humedad	Manchas	Desplomes		Craquelada de pintura		
6	DESCRIPCIÓN DE LA LESIÓN						
COMENTARIOS	Muro en mampostería entre eje A - 1 y B - 1 presenta fuertes descascaramientos del hollín en la pintura del muro, y el muro en bloque ubicado entre ejes A - 1 y A - 2, se encuentra sin bloques a la mitad del muro, posiblemente por el fuego o por los trabajos de apuntalamiento.						
7	CALIFICACIÓN Y DIAGNOSTICO DE LA LESIÓN						
CALIFICACIÓN	ESTADO		AFECTACIÓN		DIAGNOSTICO, INTERVENCIÓN, PREVENCIÓN COMENTARIO ADICIONAL: No hay comentarios adicionales.		
	Muy Leve	0% - 20					
	Leve	20% - 40%					
	Severo	40% - 60%					
	Grave	60% - 80%					
	Muy Grave	80% - 100%					

Ilustración 3 Se observa la ficha patológica No 49 que corresponde a muros en mampostería segundo piso

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

20

Análisis de los ensayos realizados

El proceso de exploración de la estructura se llevó a cabo mediante un conjunto integral de pruebas que abarcaron tanto ensayos destructivos como no destructivos. Esto permitió llevar a cabo una evaluación completa de la condición actual de los diferentes elementos estructurales y determinar el grado de afectación debido a la exposición al fuego. Se realizaron pruebas de extracción de núcleos en columnas y vigas, tracción directa a barras de acero, pruebas de carbonatación y la detección de refuerzo utilizando el ferroskan.

Este capítulo se enfocará en el análisis detallado de los resultados obtenidos de los ensayos e inspecciones realizados en la estructura. A continuación, se presentarán los análisis desarrollados con base en los resultados obtenidos en cada uno de los ensayos realizados, proporcionando un respaldo minucioso de todas las actividades ejecutadas en el marco del estudio de patología estructural. El objetivo es brindar una comprensión integral del estado actual de la estructura y los pasos a seguir en cuanto a su rehabilitación y reforzamiento.

Extracción de cilindros de concreto

La extracción de los núcleos de concreto se realizó para evaluar la resistencia del concreto en la estructura existente.

Se hizo en total la extracción de 38 núcleos en tres tipos de elementos estructurales así:

19 núcleos en columnas de primer y segundo piso

11 núcleos en vigas de segundo piso 8 núcleos en zapatas

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

21

los resultados obtenidos una vez fallados en laboratorio son los siguientes.

NÚCLEO	FICHA	NOMENCLATURA	ELEMENTO	UBICACIÓN	PISO	RESISTENCIA (MPa)	PROMEDIO	TIPO DE ROTURA
1	43	N1F43	Columna	B10	2	20,4	16,1	3
2	44	N2F44	Columna	C11	2	15		3
3	45	N3F45	Columna	C9	2	13,7		3
4	46	N4F46	Columna	B6	2	14,8		3
5	47	N5F47	Columna	A5	2	N.I		N.I
6	48	N6F48	Columna	D6	2	19,1		3
7	49	N7F49	Columna	C4	2	N.I		N.I
8	50	N8F50	Columna	B3	2	13,2		3
9	51	N9F51	Columna	A2	2	13,3		5
10	52	N10F52	Columna	C11	2	18,9		3
11	21	N11F21	Viga	12 entre A-B	2	14,2	13,7	3
12	22	N12F22	Viga	11 entre C-D	2	16		3
13	27	N13F27	Viga	9 entre C-D	2	13,4		5
14	23	N14F23	Viga	10 entre B-C	2	9,8		3
15	25	N15F25	Viga	9 entre A-B	2	14,8		2
16	30	N16F30	Viga	7 entre C-D	2	16,1		3
17	32	N17F32	Viga	6 entre A-B	2	11		3
18	34	N18F34	Viga	5 entre B-C	2	7,1		5
19	37	N19F37	Viga	4 entre C-D	2	20,6		6
20	38	N20F38	Viga	3 entre B-C	2	14,1		3
21	40	N21F40	Viga	2 entre A-B	2	N.I		N.I
22	16	N22F16	Columna	C2	1	20,3	19,4	3
23	18	N23F18	Columna	C3	1	23		5
24	19	N24F19	Columna	B3	1	16,7		5
25	12	N25F12	Columna	C5	1	16,2		5
26	7	N26F7	Columna	C7	1	20,2		3
27								
28	20	N28F20	Columna	C9	1	19,4		3
29	4	N29F4	Columna	C12	1	19,1		3
30	5	N30F5	Columna	C12A	1	18,2		3
31	7	N31F7	Columna	B10	1	21,9		3
32	2	N32F2	Zapata	C12	1	25,9	28,4	2
33	3	N33F3	Viga	C entre 11-12	1	29,1		3
34	6	N34F6	Zapata	B9	1	29,9		2
35	10	N35F10	Zapata	C5	1	24,2		2
36	11	N36F11	Viga	C entre 5-6	1	32,8		2
37	15	N37F15	Zapata	C2	1	27,4		2
38	14	N38F14	Viga	2 entre C-D	1	31,1		2
39	17	N39F17	Viga	D entre 9-10	1	27,1		5

Tabla 1 Resultado de los ensayos de compresión en las muestras extraídas

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

22

Los resultados de los ensayos de compresión a núcleos de concreto en este estudio de patología estructural revelan información crítica sobre la condición de la estructura afectada por el incendio. El promedio de la resistencia a la compresión de los concretos en las columnas del segundo piso, con un valor de 16.10 MPa, y en las vigas del segundo piso, con un promedio de 13.70 MPa, indican un deterioro significativo en la capacidad de carga de estos elementos. Este deterioro se relaciona directamente con el daño causado por el fuego en este nivel y la prolongada exposición al calor.

En contraste, los resultados de los ensayos en el primer piso son más alentadores. En las columnas, se obtuvo un promedio de resistencia de 19.40 MPa, y en las zapatas y vigas, el promedio fue más alto, llegando a 28.40 MPa. Estos valores superiores sugieren que las estructuras en el primer piso han mantenido una mayor integridad estructural, a pesar del incendio.

El criterio de análisis se basó en el numeral C.5.6.5.4 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), que establece que el concreto en la zona representada por los núcleos se considera estructuralmente adecuado si el promedio de tres núcleos es al menos igual al 85% de la resistencia a la compresión del concreto especificada en el diseño (f'_c), y si ningún núcleo tiene una resistencia inferior al 75% de f'_c .

La extracción de núcleos se realizó en cuatro zonas críticas:

1. En las zapatas.
2. Columnas del primer piso.
3. Vigas del segundo piso.
4. Columnas del segundo piso.

Este análisis es crucial para determinar la capacidad de carga remanente de la estructura y establecer las bases para el estudio de vulnerabilidad y el diseño de las estrategias de refuerzo y

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

23

rehabilitación estructural, cumpliendo así con los estándares exigidos por la norma NSR-10. Estos resultados servirán como base sólida para el desarrollo de las acciones necesarias para la recuperación y puesta en funcionamiento seguro de la edificación.

Tracción directa a barras de acero

El ensayo de tracción directa a barras de acero juega un papel crucial en la evaluación de la calidad del refuerzo empleado en la edificación y en la determinación del estado de las barras de acero después de haber sido sometidas a la exposición al fuego. Este procedimiento proporciona información vital sobre las propiedades mecánicas de las barras de acero, incluyendo su límite elástico, resistencia a la tracción y alargamiento antes de la rotura.

En el contexto de este estudio de patología estructural específico, se llevaron a cabo ensayos de tracción directa en barras de acero longitudinal extraídas de ciertos elementos estructurales. Los resultados de estos ensayos se detallan en la tabla a continuación:

TRACCIÓN DE BARRAS	FICHA	NOMENCLATURA	ELEMENTO	UBICACIÓN	PISO	RESISTENCIA FLUENCIA (fy) MPa
1	76	T1F76	Columna	C2	2	403
2	77	T2F77	Columna	D10	3	438
3	78	T3F78	Columna	A6	3	434

Tabla 2 Resultados del ensayo de tracción directa en las tres muestras extraídas para estudio

Los resultados indican que la barra extraída del segundo piso, particularmente en una zona cercana al incendio, experimentó una disminución significativa en su resistencia a la fluencia, con un valor de 403

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

24

MPa. Este descenso en la resistencia podría atribuirse al aumento de temperatura al que se vio expuesta durante el incendio. Por otro lado, las barras extraídas del tercer piso superan ampliamente los requisitos establecidos por el reglamento NSR-10, con valores de resistencia a la fluencia superiores a los 420 MPa.

Este análisis es de vital importancia para evaluar el impacto del incendio en la estructura y, en consecuencia, determinar la capacidad de carga remanente de los elementos estructurales. Además, sirve como punto de partida para establecer estrategias efectivas de refuerzo y rehabilitación estructural, garantizando que se cumplan con las normativas vigentes. Estos resultados proporcionan una base sólida para la toma de decisiones en el proceso de recuperación y la puesta en funcionamiento segura de la edificación.

Detección de refuerzo por medio de equipo ferroskan

La detección de refuerzo mediante el uso de equipos de ferroskan, comúnmente conocidos como ferroskan, se convierte en una herramienta esencial en la evaluación de estructuras existentes de acuerdo con la norma NSR-10. Esta técnica se utiliza con el fin de identificar la ubicación y el patrón del refuerzo de acero dentro de estructuras de concreto, un paso crucial para determinar la capacidad de carga, el estado de salud y la integridad estructural de la edificación.

En el marco de este estudio de patología estructural, se generaron 36 puntos de escaneo, seleccionados de manera aleatoria dentro de la edificación, con el objetivo de evaluar la cantidad y distribución del refuerzo de acero en elementos estructurales clave, como vigas, columnas y losas. Los resultados de estos escaneos se presentan en la tabla a continuación:

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

25

FERROSCAN	FICHA	NOMENCLATURA	ELEMENTO	UBICACIÓN	PISO	REF. LONG (#)	S (cm)	REF. TRANS (#)	S (cm)	TOMA	CARA
1	61	F1F61	Columna	D11	3	6, 5	20	3	18	Central	Sur
2	61	F2F61	Columna	D11	3	6	15	3	15	Inferior	Occidental
3	62	F3F62	Columna	D7	3	6, 5	20	3	18	Central	Sur
4	62	F4F62	Columna	D7	3	6	15	3	15	Inferior	Occidental
5	63	F5F63	Columna	B1	3	6	35	3	15	Central	Oriental
6	64	F6F64	Columna	A2	3	6, 5	15	3	10	Inferior	Norte
7	64	F7F64	Columna	A2	3	6	20	3	15	Central	Oriental
8	65	F8F65	Columna	A5	3	6, 5	20	3	15	Central	Norte
9	65	F9F65	Columna	A5	3	6	15	3	15	Inferior	Oriental
10	66	F10F66	Columna	C13	3	6, 4	18	3	15	Inferior	Oriental

Tabla 3 Resultados del ensayo de ferroskan en los diez primeros elementos analizados

La detección de refuerzo por ferroskan permitió identificar de manera precisa la ubicación y la cantidad de refuerzo de acero en las columnas y vigas de la edificación. Este análisis es esencial para evaluar el impacto del incendio en la estructura y determinar su capacidad de carga remanente. Los resultados obtenidos ofrecen una base sólida para la toma de decisiones en el proceso de rehabilitación refuerzo estructural de acuerdo con las normativas establecidas por la NSR-10, garantizando la seguridad y estabilidad de la edificación.

Prueba de carbonatación

Un recubrimiento adecuado en una estructura de concreto reforzado cumple un papel crucial al proteger la armadura de posibles procesos de corrosión, como la carbonatación. Este fenómeno natural tiene el potencial de hacer que el acero retorne a su estado inicial de óxido de hierro, lo que pone en peligro la integridad de la estructura. Mantener un nivel de pH suficientemente alcalino en el concreto es esencial para prevenir este proceso corrosivo y garantizar la colaboración efectiva de los materiales en la estructura, además de brindar protección adicional contra eventos como incendios.

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

26

Las fallas en el recubrimiento de concreto pueden dar lugar a la degradación de la estructura y, por lo tanto, comprometer su durabilidad. Dos problemas comunes que pueden surgir como resultado son la carbonatación y la penetración de cloruros, ambos contribuyendo a la corrosión del acero de refuerzo. La velocidad a la que el frente de carbonatación avanza generalmente depende de factores como la relación agua-cemento (A/C), la humedad ambiental y la cantidad de material carbonatable presente. En los elementos estructurales sujetos a ensayos de extracción de núcleos, se llevó a cabo la prueba para medir el avance del frente de carbonatación. Para ello, se empleó la fenolftaleína, que funciona como un indicador de pH. En soluciones ácidas, la fenolftaleína permanece incolora, pero en presencia de bases se torna violeta. En el contexto del concreto, cuando este se encuentra en buenas condiciones y posee un pH básico, la fenolftaleína adquiere un tono violeta. Sin embargo, si se mantiene transparente, se puede inferir que se ha producido una pérdida de alcalinidad, lo que indica que la capa de concreto de recubrimiento ya no protege eficazmente el acero subyacente.

El objetivo fundamental de esta prueba radica en determinar la pérdida de alcalinidad del concreto y evaluar la alteración superficial que ha experimentado debido a la exposición a la atmósfera. Esta alteración supone una disminución en la capacidad protectora del concreto sobre las armaduras de acero. Entre los resultados destacados, se observó que el valor más alto de avance de carbonatación fue de 50 mm en un elemento viga del segundo piso. Esto puede deberse a que la capa de acabado superior ha brindado una continua protección al concreto, lo que ha contribuido a conservar su alcalinidad y prevenir el proceso de carbonatación. Estos resultados son esenciales para evaluar la salud y la integridad de la estructura y, en consecuencia, para establecer estrategias de mantenimiento y refuerzo que cumplan con las normativas del reglamento NSR-10.

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

27

REGATA	FICHA	NOMENCLATURA	ELEMENTO	UBICACIÓN	PISO	CARBONATACIÓN FRONTAL (mm)	CARBONATACIÓN LATERAL (mm)	EDAD DE CARBONATACIÓN COMPLETA (años)
2	4	R2F4	Columna	C12	1	14.9	18	163.0
3	5	R3F5	Columna	A-12A	1	26	33.3	47.6
4	7	R4F7	Columna	B10	1	9.3	18.6	152.6
5	8	R5F8	Columna	C7	1	20.8	4.8	122.0
7	12	R7F12	Columna	C5	1	23.5	26.3	76.3
9	16	R9F16	Columna	C2	1	39.4	24.2	34.0
11	18	R11F18	Columna	C3	1	9.2	26	78.1
12	19	R12F19	Columna	B3	1	14.2	27.4	70.3
13	20	R13F20	Columna	C9	1	13.5	2.8	289.7
18	25	R18F25	Viga	9 entre A-B	2	0		

Tabla 4 Resultados de los ensayos de carbonatación realizado a los primeros diez elementos

En general, los resultados obtenidos de los ensayos de carbonatación revelan que la progresión de este fenómeno en la mayoría de los elementos analizados es relativamente baja. Solo en un número limitado de puntos se observa que la carbonatación ha alcanzado una profundidad cercana a la ubicación del refuerzo de acero. Es importante destacar que cuando la carbonatación comienza a alcanzar la profundidad del refuerzo, la capa protectora de óxido, que actúa como agente pasivador, deja de ser efectiva y estable.

En este punto, se produce una disminución significativa del pH del concreto, que desciende por debajo de 9, lo que aumenta el riesgo de corrosión del acero de refuerzo. La consecuencia directa de este proceso corrosivo es la formación de grietas y fisuras en el concreto, lo que compromete la integridad estructural de los elementos. La carbonatación, al llegar al nivel del refuerzo, representa una señal de alarma, ya que indica que las condiciones para la corrosión del acero están presentes, y esto puede tener efectos adversos en la durabilidad y la seguridad de la estructura.

En resumen, es fundamental llevar a cabo un seguimiento continuo de la carbonatación en los elementos estructurales, especialmente en aquellos donde se ha detectado su aproximación al refuerzo. Esta información es esencial para evaluar y abordar cualquier posible deterioro, garantizar la durabilidad

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

28

y la integridad de la estructura y tomar medidas preventivas para evitar la corrosión del acero de refuerzo. Cumplir con las directrices de la norma NSR-10 es fundamental para asegurar la seguridad y la vida útil de la estructura en cuestión.

Diagnóstico

Columnas

En cuanto a las columnas, estas están construidas en concreto reforzado y presentan secciones que varían en dimensiones, siendo las más comunes 60x60, 60x35, 50x35, 80x35 y 50x50 centímetros. Las columnas del segundo piso, que estuvieron expuestas al fuego, muestran las lesiones más significativas, incluyendo descascaramiento, hollín en su perímetro, golpes en las esquinas, desprendimiento parcial y fisuración total. Las fisuras en el sentido del acero longitudinal revelan la expansión del acero durante el incendio. En las fichas patológicas, estas lesiones se calificaron como graves, con una afectación superior al 80%. Siendo las columnas del segundo piso las más afectadas por el incendio y donde el estudio arrojó un valor bajo de resistencia a la compresión, con un promedio de 16.9Mpa. En cuanto a los aceros se vieron gravemente afectados en las columnas del segundo piso tanto así que el valor de la resistencia a la fluencia en el ensayo de tracción directa en barras de acero fue de f_y 403MPa

Placas aéreas

En cuanto a las placas aéreas, se observó que el sistema de entrepiso variaba entre los pisos. Mientras que la placa del segundo piso es un sistema de placa en una dirección, la del tercer piso se construyó utilizando un sistema de placa a dos direcciones. Los mezanines mantuvieron un sistema de

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

29

placa a una dirección, en concordancia con los planos originales encontrados en archivo. Las fichas patológicas revelaron que la mayor afectación se dio en la parte inferior de la placa del tercer piso, donde el fuego provocó la pérdida total de la torta inferior en algunos sectores, dejando el acero expuesto. Se presentaron grietas y humedades, estas lesiones fueron calificadas como grave, con una afectación mayor al 80%. Y los valores de resistencia a la compresión fueron los más bajos con un promedio de 13.7 MPa.

Cimentación

Este levantamiento estructural permitió determinar las principales características de la estructura, incluyendo parámetros de diseño clave. Por ejemplo, confirmamos que la cimentación está compuesta por zapatas aisladas, un hallazgo obtenido a través de la realización de cinco apiques de diferentes dimensiones y profundidades.

Con la finalización del levantamiento estructural, se logró establecer las dimensiones de las vigas, viguetas y columnas en cada piso y placa de entrepiso inspeccionada. La mayoría de los elementos estructurales pudieron ser verificados, lo que sienta una base sólida para el análisis posterior de patología, vulnerabilidad y reforzamiento estructural.

MATRIZ DE EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA

A continuación, se presenta una matriz de evaluación del cumplimiento de las normas en un estudio de patología de una edificación sometida a un incendio. Esta matriz tiene como objetivo proporcionar una herramienta analítica para determinar en qué medida los ensayos de extracción de núcleos, tracción

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

30

directa a barras de acero, ensayo de ferroskan y carbonatación cumplen con las normativas, en particular la del reglamento NSR-10.

Esta matriz de evaluación es una herramienta analítica que permite revisar de manera detallada el cumplimiento de las normas y procedimientos establecidos en el estudio de patología estructural. Cada aspecto de evaluación se califica como "Cumple" o "No Cumple" según el cumplimiento de las normas y procedimientos relevantes. Las observaciones pueden proporcionar detalles adicionales sobre los resultados de los ensayos y su cumplimiento con la normativa. Esto ayudará a garantizar la calidad y precisión del estudio, así como la toma de decisiones fundamentadas para la rehabilitación y el refuerzo estructural de la edificación.

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

31

Aspecto de cumplimiento	Requisito Normativo	Evaluación (Cumple/No Cumple)	Observaciones
Información inicial	Levantamiento estructural	Cumple	Como resultado del levantamiento estructural, el estudio presenta plano de planta general de cimentación, planta de mezanines 1 y 2, plantas piso 1 - 2 y 3, planta vigas en cubierta, elementos de cubierta, 4 planos de secciones transversales, y 2 planos de secciones longitudinales. En total 12 planos estructurales.
	Levantamiento arquitectónico	Cumple	Como resultado del levantamiento arquitectónico, en el estudio se presentan en total 4 planos que contienen: A-01 plantas de piso 1 piso 2, A-02 plantas pisos 3 piso 4, A-03 planta cubierta, A-04 corte longitudinal, corte transversal, fachada Kr 62 planta de localización y cuadro de áreas.
	Estudios y diseños	No cumple	En el estudio de patología no se evidencia que se haya utilizado información proveniente de estudios y diseños originales, contaron con 6 planos estructurales no muy legibles e incompletos en los que se pueden ver planta de cimentación, plantas de piso 1, planta cubierta.
Fichas patológicas	Inspección a cada uno de los elementos estructurales y no estructurales.	Cumple	En el estudio de patología se evidencia que se realizaron 74 fichas patológicas en las cuales se documenta el estado actual de los elementos, se especifica el tipo de lesión, se realiza una descripción detallada de la lesión y se asigna una calificación que refleja la gravedad de esta.
	Tipo de lesión Estado Afectación	Cumple	
Extracción de Núcleos	NTC 3658 Extracción de núcleos de concreto	Cumple	Se evidencia que para determinar el promedio de la resistencia a la compresión de los concretos en los diferentes elementos se tomaron los núcleos en grupos así: 10 núcleos en columnas de piso 2, 11 núcleos en vigas de piso 2, 9 núcleos en columnas piso 1, 4 núcleos en zapatas y 4 núcleos en vigas de cimentación.
	NTC 673 Ensayo de compresión	Cumple	Se evidencia que en el lote de 10 núcleos de columnas de piso 2 se descartaron 2 núcleos por presentar fisuras, por lo cual el promedio de 16.1 MPa se obtuvo con los 8 restantes. Se evidencia que los resultados de los ensayos de compresión estuvieron por debajo de los 21MPa los resultados más críticos se presentaron en el segundo piso en las vigas expuestas al fuego con un valor promedio de 13.7MPa, en este lote se descarto un núcleo por presentar fisuras.
Ensayo de tracción directa en barras de acero	Norma Técnica Colombiana (NTC) 2289-20. Esta norma establece los procedimientos y requisitos para realizar ensayos de tracción directa en barras de acero.	Cumple	Se evidencia que se tomaron tres muestras con las cuales se realizaron los 3 ensayos de tracción uno en columnas piso 2 con resultado de 403 Mpa siendo este sector el más afectado por el incendio y 2 en las columnas del piso 3 con valores de 434 MPa y 438 MPa
Ensayo de ferrosan	La Norma Técnica Colombiana (NTC) que trata sobre el ensayo de Ferrosan en Colombia es la NTC 4730.	Cumple	En el estudio de patología se evidencia la toma de 36 imágenes mediante el sistema de escaneo Ferrosan en las cuales se obtuvo la información del área de acero, la ubicación y distribución del refuerzo vertical y longitudinal dentro del elemento analizado.
Evaluación de carbonatación	Norma Técnica Colombiana (NTC) 3617. trata sobre la evaluación de carbonatación en concretos.	Cumple	En el estudio de patología se evidencia que realizaron el ensayo de carbonatación en 34 muestra obtenidas en los núcleos y concluyen que el avance de la carbonatación en la mayoría de los elementos no es elevado.

Tabla 5 Matriz de análisis estudio de patología

Análisis del informe la Vulnerabilidad

Marco Referencial

Cuando se lleva a cabo un estudio de vulnerabilidad para una estructura que ha experimentado un incendio, se busca comprender cómo el fuego ha afectado la integridad de la estructura y cuáles son los riesgos potenciales asociados con su estabilidad y seguridad a largo plazo. Este tipo de estudios son esenciales para evaluar los daños causados por el fuego y determinar la viabilidad de la estructura para su reparación, rehabilitación o demolición.

El proceso comienza con una evaluación inicial de la estructura por parte de expertos en ingeniería y seguridad contra incendios.

Se examinan las áreas afectadas por el fuego, la extensión del daño y la integridad estructural general.

Análisis de daños

Se lleva a cabo un análisis detallado de los daños causados por el incendio. Esto puede incluir la evaluación de daños a la estructura del edificio, las instalaciones eléctricas, las tuberías de agua, el sistema de climatización y otros sistemas críticos.

Se determina el grado de carbonización de las estructuras de madera y la pérdida de resistencia de otros materiales.

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

33

Proceso de Evaluación

Inspección de Daños:

Los ingenieros y expertos en estructuras realizan una inspección detallada para evaluar los daños causados por el incendio. Esto incluye verificar la integridad de las vigas, columnas, cimientos y otros componentes clave de la estructura.

Análisis Estructural:

Se lleva a cabo un análisis estructural para determinar cómo el calor ha afectado las propiedades físicas del material. Los materiales como el acero y el concreto pueden perder fuerza y resistencia debido a las altas temperaturas.

Se pueden realizar pruebas no destructivas, como el uso de ultrasonidos o radiografías, para evaluar la calidad del concreto y el acero.

Evaluación de Integridad:

Se evalúa la integridad estructural para determinar si la estructura es segura para su uso futuro. Esto implica considerar la capacidad de carga, la estabilidad y la resistencia al impacto del fuego.

Evaluación de la seguridad humana:

Se determina si la estructura representa un riesgo para la seguridad de las personas, incluyendo ocupantes, rescatistas y trabajadores involucrados en la recuperación o reparación.

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

34

Se evalúa si es seguro permitir el acceso a la estructura y bajo qué condiciones.

Recopilación de datos:

Se recopilan datos detallados sobre el incendio, como su origen, duración, temperatura alcanzada y la respuesta de los sistemas contra incendios.

Esto ayuda a comprender mejor cómo se desarrolló el incendio y qué impacto tuvo en la estructura.

Identificación de Riesgos:

Se identifican los posibles riesgos a largo plazo, como el colapso parcial o total de la estructura, y se evalúa la probabilidad de que estos riesgos se materialicen en el futuro.

Recomendaciones y Planificación:

Basándose en los hallazgos del estudio, se hacen recomendaciones para la reparación, refuerzo o demolición de la estructura. También se pueden proponer medidas de seguridad para prevenir futuros incidentes similares.

Documentación:

Todos los hallazgos, análisis y recomendaciones se documentan detalladamente en un informe. Este informe es crucial para los propietarios de la estructura, las autoridades reguladoras y las compañías de seguros.

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

35

Consideraciones Importantes:

Material de la Estructura: Los diferentes materiales responden de manera diferente al calor. Por ejemplo, el acero puede perder su resistencia a temperaturas relativamente bajas en comparación con el concreto.

Tiempo de Exposición al Fuego: La duración del incendio y la intensidad del calor son factores críticos que determinan los daños estructurales.

Compromiso de la Integridad: Incluso si una estructura no colapsa durante el incendio, el calor intenso puede comprometer su integridad a largo plazo, lo que puede no ser evidente de inmediato.

Evaluación de Cargas: Además de los daños directos por el fuego, se deben considerar las cargas estructurales para determinar la capacidad de carga restante de la estructura.

Informe de vulnerabilidad:

Se genera un informe detallado que resume todas las observaciones y conclusiones del estudio de vulnerabilidad.

Este informe proporciona recomendaciones para reparaciones, rehabilitación o demolición, junto con una evaluación de la seguridad actual de la estructura.

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

36

Un estudio de vulnerabilidad después de un incendio es un proceso detallado que implica una evaluación exhaustiva de los daños y una planificación cuidadosa para garantizar la seguridad continua de la estructura y las personas que pueden interactuar con ella.

Basándose en el informe de vulnerabilidad, se desarrolla un plan de acción que puede incluir reparaciones estructurales, reacondicionamiento de sistemas dañados y medidas de seguridad a corto y largo plazo.

Cumplimiento normativo

Las reparaciones y modificaciones realizadas deben cumplir con las normativas de seguridad y construcción locales y nacionales.

Un estudio de vulnerabilidad después de un incendio es esencial para garantizar la seguridad de las personas y la integridad de la estructura. Los expertos en ingeniería y seguridad contra incendios desempeñan un papel fundamental en este proceso, ya que su experiencia es crucial para evaluar el daño y tomar decisiones informadas sobre el futuro de la edificación.

Criterios estructurales empleados

Todo el análisis de vulnerabilidad estructural se realizó bajo los requisitos y exigencias dadas en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR – 10, Ley 400 de 1997 (Modificada Ley 1229 de 2008), Ley 1796 de 2016 y el Decreto-Ley 019 de 2012, Decreto 926 del 19 de marzo de 2010, Decreto 2525 del 13 de julio de 2010, Decreto 092 del 17 de enero de 2011, Decreto 340 del 13 de febrero de 2012 y Decreto 945 del 5 de junio de 2017.

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

37

La filosofía de diseño que se emplea para el diagnóstico de todos los elementos estructurales será el diseño por estados límites, el cual se basa en la disminución de la probabilidad de falla de la estructura para los estados límites últimos y de servicio a valores aceptables

$$\theta R_n \geq \sum \gamma_k Q_k$$

El análisis de toda la estructura consistió en determinar las fuerzas internas en los miembros, las deformaciones en los mismos y los desplazamientos en los nudos, para garantizar su estabilidad durante su construcción y después de verse sometida a las fuerzas externas de diseño entre las cuales están las fuerzas estáticas y las fuerzas dinámicas producidas por el sismo.

Para considerar los efectos ortogonales en la estructura se supuso la ocurrencia simultánea del 100% de las fuerzas sísmicas en una dirección y el 30% de las fuerzas sísmicas en la dirección perpendicular, adicionalmente se realizaron todas las verificaciones de irregularidades que se pueden presentar y que la norma exige deben revisarse, en la memoria anexa se podrá apreciar en detalle el chequeo de cada una de ellas.

Avalúo de Cargas

Basados en el documento ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA, se hará la evaluación de las pautas allí tenidas en cuenta.

En el numeral 1.2 mencionan las cargas vivas tenidas en cuenta así:

1.2 Cargas vivas debido al uso de la edificación

Industrias pesadas	10.00 kN/m ²
Cubierta liviana	0.50 kN/m ²

Tabla 6 Cargas vivas

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

38

De acuerdo con la NSR-10 Tabla B.4.2.1-1 se puede verificar que los datos usados para Industrias pesadas de 10.00kN/m2 son correctas y en la tabla.

Tabla B.4.2.1-1
Cargas vivas mínimas uniformemente distribuidas

Ocupación o uso		Carga uniforme (kN/m ²) m ² de área en planta	Carga uniforme (kgf/m ²) m ² de área en planta
Reunión	Balcones	5.0	500
	Corredores y escaleras	5.0	500
	Silletería fija (fijada al piso)	3.0	300
	Gimnasios	5.0	500
	Vestibulos	5.0	500
	Silletería móvil	5.0	500
	Áreas recreativas	5.0	500
	Plataformas	5.0	500
Oficinas	Escenarios	7.5	750
	Corredores y escaleras	3.0	300
	Oficinas	2.0	200
	Restaurantes	5.0	500
Educativos	Salones de clase	2.0	200
	Corredores y escaleras	5.0	500
	Bibliotecas		
	Salones de lectura	2.0	200
Fábricas	Estanterías	7.0	700
	Industrias livianas	5.0	500
	Industrias pesadas	10.0	1000
Institucional	Cuartos de cirugía, laboratorios	4.0	400
	Cuartos privados	2.0	200
	Corredores y escaleras	5.0	500

Tabla 7 B.4.2.1-1 Cargas vivas Fábricas Industria Pesadas. NSR-10

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

39

Tabla B.4.2.1-2
Cargas vivas mínimas en cubiertas

Tipo de cubierta	Carga uniforme (kN/m ²) m ² de área en planta	Carga uniforme (kgf/m ²) m ² de área en planta
Cubiertas, Azoteas y Terrazas	la misma del resto de la edificación (Nota-1)	la misma del resto de la edificación (Nota-1)
Cubiertas usadas para jardines de cubierta o para reuniones	5.00	500
Cubiertas inclinadas con más de 15° de pendiente en estructura metálica o de madera con imposibilidad física de verse sometidas a cargas superiores a la aquí estipulada	0.35	35
Cubiertas inclinadas con pendiente de 15° o menos en estructura metálica o de madera con imposibilidad física de verse sometidas a cargas superiores a la aquí estipulada	0.50	50

Tabla 8 B.4.2.1.-2 Cargas Vivas Cubierta NSR-10

1, 5 y anexos en donde se describen las cargas mínimas requeridas en la NSR10 en el cap. B.2.4. combinaciones, B.3 Cargas Muertas, B.4 cargas vivas y de granizo para este tipo de edificaciones y se comparó con los datos suministrados aplicados en el modelo (cargas), el cual es consistente con las memorias.

Análisis sísmico

De acuerdo con los parámetros sísmicos que nos muestra la NSR-10 en el apéndice 1 sección A.1.3, Cap. A.2.3. tabla A.2.3-2, A.4.3 y en general Título A, corresponden a los empleados en las memorias y el modelo matemático analizados.

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

40

1.1 Clasificación del sistema estructural

- Ciudad: Bogotá D.C.
- Zona de amenaza sísmica: Intermedia
- Sistema estructural: Pórticos de concreto – DMO
- Coef. De disipación de energía R_o : 3.75
- Coef. De sobrerresistencia Ω_o : 3.00

1.4 Parámetros sísmicos

- Método de análisis sísmico: Análisis dinámico elástico espectral
- Microzonificación sísmica: Aluvial – 200
- Grupo de uso de la edificación: II
- Coeficientes F_a y F_v : $F_a = 1.05$; $F_v = 2.10$
- Coeficientes A_a y A_v : $A_a = 0.15$; $A_v = 0.20$

Ilustración 4 Parámetros sísmicos estructura

Modelo Numérico

El análisis de la estructura fue realizado empleando el programa de computador ETABS 2020 v.20.3.0., el cual tiene en cuenta los efectos de segundo orden; las cargas muertas fueron introducidas al modelo matemático por medio de espesores equivalentes de concreto, es decir una vez se tiene el peso por m^2 de los acabados, cielos rasos, muros y peso propio de las placas se procede a determinar que espesor de placa maciza de concreto representa dicho peso y de esta manera se crea una sección tipo membrana para ser dibujada dentro del modelo, cabe resaltar que al crearse la sección de la placa como membrana, esta no proporcionara rigidez al sistema, únicamente se encargara de distribuir carga y masa de acuerdo con la dirección de carga que se le asigne, adicionalmente las cargas de muros perimetrales de fachada y las escaleras se introducen como cargas lineales sobre las vigas que

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

41

soporten las cargas impuestas por dichos elementos; el peso propio de las vigas y columnas las asume directamente el programa de acuerdo con la sección que se le asigne, no es necesario realizar un análisis adicional para determinar dichas cargas.

Análisis de resultados

Se verifican los índices de sobre esfuerzo que se obtuvieron en vigas y viguetas de segundo piso, columnas de primer piso y cimentación, evidencian la necesidad de plantear un sistema de reforzamiento que incremente la capacidad de carga a los elementos estructurales actuales para que se desempeñen de manera óptima, sin poner en riesgo la estabilidad e integridad global de la edificación.

Debido al grado de afectación que provocó la conflagración durante el tiempo que estuvo activa, las columnas de segundo piso y placa de tercer piso, disminuyeron significativamente la capacidad para soportar cargas al punto de tener la necesidad de generar un apuntalamiento total a la placa con el objetivo de que esta no colapsara súbitamente en cualquier momento, por lo tanto se ratifica la decisión de proponer la demolición total de las columnas de segundo piso y la placa aligerada de tercer piso, lo que a su vez obliga a la demolición de las columnas del tercer piso y desmonte total de la cubierta, por lo tanto en la propuesta de reforzamiento estructural plantean elementos totalmente nuevos del segundo piso hacia arriba y atendiendo el nuevo planteamiento arquitectónico.

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

42

Resistencia de los elementos

Se observa dentro del análisis de la vulnerabilidad los materiales utilizados:

Concreto	$F'c = 22.87$ MPa en columnas de primer piso
	$F'c = 18.88$ MPa en columnas de segundo y tercer piso
	$F'c = 16.13$ MPa en vigas y viguetas
Acero	$Fy = 420$ MPa para columnas de primer piso y vigas de segundo piso
	$Fy = 403$ MPa para columnas segundo piso y vigas de tercer piso

Derivas

Al evaluar el documento, los índices de flexibilidad de la estructura, este arroja como resultado un bajo grado de rigidez de la estructura, a lo que refiere, ocasionaría graves daños primordialmente a los muros no estructurales tanto de fachada como internos, por lo tanto, el tipo de reforzamiento que plantearan estará orientado entre otras cosas al incremento significativo de su rigidez, posiblemente bajo este escenario uno de los planteamiento que mejor desempeño proporciona es la ubicación estratégica de muros pantalla en concreto, que por su alto grado de rigidez que proporciona en su propio plano, permite que se concentre mayor fuerza sísmica en estos elementos, disminuyendo considerablemente la sollicitaciones en las columnas existentes.

Índice de flexibilidad

Para el chequeo de los índices de flexibilidad se verifica en el numeral A.6.2.1.2, de la NSR-10 donde se indica que independientemente del grupo de uso donde se clasifique la estructura, se podrá emplear un coeficiente de importancia I igual a la unidad ($I=1.0$) para la evaluación de la deriva máxima,

A.6.2.1.2 — *En las edificaciones pertenecientes a los grupos de uso II, III y IV, para la determinación de las fuerzas horizontales que se empleen para calcular los desplazamientos horizontales en el centro de masa, se permite que el coeficiente de importancia I , tenga un valor igual a la unidad ($I = 1.0$), y las fuerzas de diseño a emplear para obtener la resistencia de la estructura deben utilizar el valor del coeficiente de importancia I correspondiente al grupo de uso de la edificación, tal como se define en A.2.5.2.*

El chequeo lo realizaron de acuerdo con el numeral A.6.3.1.2.

A.6.3.1.2 — *En edificaciones que tengan irregularidades en planta de los tipos 1aP o 1bP (véase la tabla A.3-6) la deriva máxima en cualquier punto del piso i , se puede obtener como la diferencia entre los desplazamientos horizontales totales máximos, de acuerdo con A.6.2.4, del punto en el piso i y los desplazamientos horizontales totales máximos de un punto localizado en el mismo eje vertical en el piso.*

El índice global de flexibilidad es:

Máximo índice de flexibilidad.

Índice 6.22

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

44

Matriz de análisis de estudio de vulnerabilidad

Aspecto de Cumplimiento al reglamento NSR 10	Requerimiento conforme a la NSR-10	Evaluación (Cumple/NoCumple)	Observaciones
AVALÚO DE CARGAS	Se analiza que los criterios descritos en el documento cumplen con las especificaciones de resistencia sísmica según NSR 10.	Cumple	Se evidencia en el documento y bajo la NSR-10 Tabla B.4.2.1-1 que los datos usados para Industrias pesadas de 10.00kN/m2 son correctas.
ANÁLISIS SÍSMICO	Se analiza en el documento los daños sísmicos actuales y si determinan si cumplen con los parámetros de la NSR 10.	Cumple	Se evidencia en el documento que los coeficientes de importancia, aceleraciones y períodos están de acuerdo a la NSR-10
MODELO NUMÉRICO	Se verifica en el estudio existente los datos usados y analizados en el modelo matemático en la edificación y cumplen con las especificaciones de la NSR 10	Cumple	Se verifica que el documento cuenta con los cálculos para obtener los datos a introducir en ETABS 2020 de los elementos, los cuales son consistentes con la norma en los títulos A Y B de la NSR-10.
RESISTENCIA DE LOS MATERIALES	Se realiza una verificación bajo la NSR-10 todos los elementos estructurales de acuerdo al documento	Cumple	Se evidencia en el estudio que los materiales usados son: Concreto $F'c = 22.87$ MPa en columnas de primer piso $F'c = 18.88$ MPa en columnas de segundo y tercer piso $F'c = 16.13$ MPa en vigas y viguetas Acero $Fy = 420$ MPa para Columnas de primer piso y vigas de segundo piso $Fy = 403$ MPa para Columnas segundo piso y vigas de tercer piso
CIMENTACIÓN	Se verifica que el documento cuenta con un estudio geotécnico y chequeo bajo NSR-10	Cumple	Se evidencia en el documento un ajuste a los dados de cimentación (pilotes) teniendo en cuenta el título H de la NSR-10
DERIVAS	Se verifica en el documento que mediante la NSR-10 los parámetros usados para verificar los desplazamientos de la estructura fueron empleados.	Cumple	Se evidencia en el documento que la estructura es demasiado flexible permitiendo grandes deformaciones en los elementos afectando drásticamente los elementos no estructurales tales como muros de fachada y divisorios.

Tabla 9 Matriz de análisis de estudio de vulnerabilidad

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

45

EVALUACIÓN DEL INFORME DE DISEÑO DEL REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL

Criterios estructurales empleados

Avalúo de cargas

Concepto según informe

1. Evaluación de cargas estáticas, cargas lineales que hacen referencia a los muros en mampostería por cada piso, perimetrales e internos.
2. Análisis de placa maciza de mezanines, enchapes, entre pisos 2,3 y de cubierta metálica liviana.
3. El documento incluye cargas vivas según uso y ocupación, con sus respectivos anexos, donde se evidencian los cálculos de masa conforme al levantamiento estructural y arquitectónico realizado en sitio.
4. Cargas por viento, calculadas con software Arquimet, teniendo en cuenta y describiendo las ecuaciones y numerales correspondientes al reglamento normativo NSR-10 para este tipo de solicitaciones.
5. Realizan un esquema de la placa maciza conforme al levantamiento estructural, teniendo en cuenta las geometrías de vigas, viguetas y espesor de losa.
6. Se evidencia en el informe, las cargas vivas debido a uso de la edificación, Industrias pesadas.
7. Se evidencia en el informe, las cargas de granizo para una cubierta liviana, usando los parámetros normativos correspondientes.

1.2 Cargas vivas debido al uso de la edificación

- Industrias pesadas: 10.00 kN/m²
- Cubierta liviana: 0.50 kN/m²

1.3 Carga de granizo

- Cubierta liviana: 1.00 kN/m²

Ilustración 5 Cargas del proyecto

Evaluación del concepto según NSR-10

Según la tabla A.1.3.1 de la NSR-10, el análisis del informe corresponde a las solicitaciones de la norma, conforme se explica en los pasos descritos en el concepto según informe.

Se debe realizar la etapa 4 de A.10.1.4 donde, entre otros aspectos, se debe determinar una información real análoga a la exigida para edificaciones nuevas, pero con base en la edificación existente de acuerdo con lo indicado en A.10.4.2.6.

A.10.4.2.1 — Movimientos sísmicos para un nivel de seguridad equivalente al de una edificación nueva

— Se deben utilizar los movimientos sísmicos de diseño que prescribe el Capítulo A.2 para el lugar en que se encuentre la edificación, para el Grupo de Uso que va a tener una vez se lleve a cabo la modificación, con el fin de analizar la estructura como si fuera una edificación nueva.

A.2.1.1— Movimientos sísmicos prescritos — Para efectos del diseño sísmico de la estructura, ésta debe localizarse dentro de una de las zonas de amenaza sísmica, baja, intermedia o alta, y además deben utilizarse los movimientos sísmicos de diseño definidos en el presente Capítulo, los cuales se pueden expresar por medio del espectro elástico de diseño definido en A.2.6, o por medio de familias de acelerogramas que cumplan los requisitos de A.2.7.

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

47

Observaciones o hallazgos

- Se verificó en el informe y contiene el uso de las combinaciones de carga para revisión de la cimentación.
- Se verificó en el informe y contiene el uso de las combinaciones de carga para evaluar los índices de flexibilidad.
- Se verificó en el informe y contiene el uso de las combinaciones de carga, para el diseño a flexión en vigas y flexo compresión en columnas.
- Se verificó en el informe y contiene el uso de las combinaciones de carga, para el diseño a cortante en vigas.

Análisis sísmico.

Concepto según informe

En el informe se observa la inclusión archivos que corresponden al espectro elástico de diseño, para un grupo de uso I y factor de importancia $I=1.00$, según lo que se evidencia en el planteamiento, en la construcción del espectro se tuvo en cuenta todos los coeficientes que cita el reglamento NSR – 10 en su figura A.2.6-1, según el informe, este archivo se usó para el cálculo de las derivas por lo que no se redujo por el coeficiente de disipación

cálculo de las derivas por tanto no se encuentra reducido por el coeficiente de disipación

de energía R y su grupo de uso siempre será $I=1.00$, siguiendo lo permitido en A.6.2.1.2 del reglamento NSR – 10; también se evidencia que se utilizó el grupo de uso que corresponde la estructura y afectado por el coeficiente de disipación de energía R, es así como una vez cargados los dos espectros al modelo se contarán con los parámetros básicos para el cálculo de las fuerzas sísmicas para verificación de desplazamientos y las fuerzas sísmicas para la obtención de los índices de sobre esfuerzo.

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

48

Clasificación del sistema estructural

Se verifica el contenido sobre la clasificación del sistema estructural y coincide conforme al reglamento NSR-10, así como se describe a continuación:

- Ciudad: Bogotá
- Zona de amenaza sísmica: Intermedia.
- Sistema estructural: Combinado, pórticos y muros de concreto.
- Coeficiente de disipación de energía R_o : 4.5
- Coeficiente de sobre resistencia Ω_o : 2.5

Parámetros sísmicos

Se verifica el contenido sobre los parámetros sísmicos del sistema estructural y coincide conforme al reglamento NSR-10 conforme se describe a continuación:

- Método de análisis sísmico: Análisis dinámico elástico espectral
- Microzonificación sísmica: Aluvial – 200
- Grupo de uso de la edificación: II
- Coeficientes F_a y F_v : $F_a = 1.05$; $F_v = 2.10$
- Coeficientes A_a y A_v : $A_a = 0.15$; $A_v = 0.20$

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

49

Concepto según NSR-10

A.6.2.1.2 — En las edificaciones pertenecientes a los grupos de uso II, III y IV, para la determinación de las fuerzas horizontales que se empleen para calcular los desplazamientos horizontales en el centro de masa, se permite que el coeficiente de importancia I , tenga un valor igual a la unidad $I = 1.0$, y las fuerzas de diseño a emplear para obtener la resistencia de la estructura deben utilizar el valor del coeficiente de importancia I correspondiente al grupo de uso de la edificación, tal como se define en A.2.5.2.

A.2.5.2 — Coeficiente de importancia — El Coeficiente de Importancia, I , modifica el espectro, y con ello las fuerzas de diseño, de acuerdo con el grupo de uso a que esté asignada la edificación para tomar en cuenta que para edificaciones de los grupos II, III y IV deben considerarse valores de aceleración con una probabilidad menor de ser excedidos que aquella del diez por ciento en un lapso de cincuenta años considerada en el numeral A.2.2.1. Los valores de I se dan en la tabla A.2.5-1.

Tabla A.2.5-1
Valores del coeficiente de importancia, I

Grupo de Uso	Coeficiente de Importancia, I
IV	1.50
III	1.25
II	1.10
I	1.00

Tabla 9 Coeficientes de importancia NSR-10

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

50

A.2.2 — Movimientos sísmicos de diseño

A.2.2.1 — Los movimientos sísmicos de diseño se definen en función de la aceleración pico efectiva, representada por el parámetro A_a , y de la velocidad pico efectiva, representada por el parámetro A_v , para una probabilidad del diez por ciento de ser excedidos en un lapso de cincuenta años. Los valores de estos coeficientes, para efectos de este Reglamento, deben determinarse de acuerdo con A.2.2.2 y

A.2.2.3. A.2.2.2 — Se determina el número de la región en donde está localizada la edificación usando para A_a el mapa de la figura A.2.3-2 y el número de la región donde está localizada la edificación para A_v , en el mapa de la figura A.2.3-3. A.2.2.3 — Los valores de A_a y A_v se obtienen de la tabla A.2.2-1, en función del número de la región determinado en A.2.2.2. Para las ciudades capitales de departamento del país los valores se presentan en la tabla A.2.3-2 y para todos los municipios del país en el Apéndice A-4 incluido al final del presente Título. NSR-10 — Capítulo A.2 — Zonas de amenaza sísmica y movimientos sísmicos de diseño A-15.

Región N°	Valor de A_a o de A_v
10	0.50
9	0.45
8	0.40
7	0.35
6	0.30
5	0.25
4	0.20
3	0.15
2	0.10
1	0.05

Tabla 10 A.2.2-1 Valores de A_a y de A_v , según las regiones De los mapas de las figuras A.2.3-2 Y A.2.3-3

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

51

Observaciones o hallazgos

Conforme al título A.3.6.3. de la NSR-10 y lo referenciado en el informe, denota la zona de amenaza sísmica y corresponde a la ubicación del Proyecto objeto de estudio, también se incluyen las irregularidades en planta y los porcentajes de ocurrencia del sismo, conforme a la NSR-10.

Se verifica el contenido en el informe, de los efectos ortogonales en la estructura, se supuso la ocurrencia simultánea del 100% de las fuerzas sísmicas en una dirección y el 30% de las fuerzas sísmicas en la dirección perpendicular, adicionalmente se observa que realizaron todas las verificaciones de irregularidades que se pueden presentar y que la norma exige deben revisarse.

Análisis estructural

Concepto según informe

Según se observó en el informe, El análisis de toda la estructura consistió en determinar las fuerzas internas en los miembros, las deformaciones en los mismos y los desplazamientos en los nudos, para garantizar su estabilidad durante su construcción y después de verse sometida a las fuerzas externas de diseño entre las cuales están las fuerzas estáticas y las fuerzas dinámicas producidas por el sismo.

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

52

ANÁLISIS DINÁMICO

PARAMETROS BASICOS			
Grupo de uso según A.2.5.1: II			Zona de amenaza sísmica: Intermedia
Coef. de importancia para diseño: 1.10			Sistema estructural: Combinado
Coef. de importancia para derivas de acuerdo a A.6.2.1.2: 1.00			Capacidad de disipación energía: Moderada
Microzonificación sísmica: ALUVIAL-200			Coef. de disipación de energía Ro: 5.00
Aa: 0.15 Fa: 1.05 Tc: 1.28			Irregularidad en planta ϕ_p : 1.00
Av: 0.20 Fv: 2.10 TL: 3.50			Irregularidad en altura ϕ_a : 0.90
Ae: 0.13 Ad: 0.06 Ao: 0.16			Irregularidad aus. redundancia ϕ_r : 1.00
			Valor final de R para diseño: 4.50

T (s)	Sa (g) (Derivas)	Sa/R (g) (Diseño)
0.00	0.39	0.10
0.12	0.39	0.10
0.23	0.39	0.10
0.35	0.39	0.10
0.47	0.39	0.10
0.58	0.39	0.10
0.70	0.39	0.10
0.81	0.39	0.10
0.93	0.39	0.10
1.05	0.39	0.10
1.16	0.39	0.10
1.28	0.39	0.10
1.44	0.35	0.09
1.60	0.32	0.08

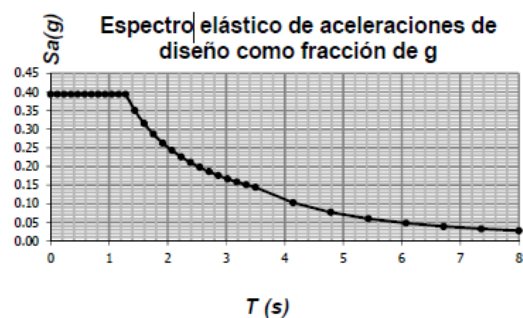


Tabla 11 Análisis dinámico

Concepto según reglamento NSR-10

- Combinaciones de carga, título B.2.
- Cargas muertas, título B.3.
- Cargas vivas, título B.4.
- Fuerzas de viento, título B.6.

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

53

Observaciones o hallazgos

Se verifica en el informe el análisis estático, el avalúo de cargas estáticas, de las placas aligeradas y de la relación del peso respectivo de la cubierta metálica, todas estas cargas muertas, y de cargas vivas según el uso y ocupación.

Se evidencia el uso del software Arquimet para incluir las diferentes cargas que van a cubierta conforme al reglamento NSR-10 y de los resultados correspondientes

Diseño de elementos de reforzamiento

Concepto según informe

Se evidencia en el informe, el cálculo del cortante basal y el ajuste de los resultados por el método de fuerza horizontal equivalente.

En el informe hay un anexo que hace referencia a los diagramas de cortantes y momentos correspondientes a las vigas, con las áreas de acero respectiva.

Se evidencia en el informe, el diseño de dados, tuvieron en cuenta los pilotes y el esfuerzo cortante que producen sobre los dados.

En los anexos se relaciona una tabla indicando las combinaciones de carga usadas en el modelo matemático, donde se observan las combinaciones a flexo compresión, cortante, rel col-viga.

Se evidencia en el informe, la distribución de estribos por columna, el diseño a cortante y flexión, en las zonas inferior, media y superior de cada columna, con la respectiva cuantía en la parte inferior, media y superior respectivamente en cada elemento, junto con los estribos.

Se evidencia en el informe, el diseño de los muros de reforzamiento conforme a NSR-10.

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

54

Se evidencia en el informe, el diseño a flexión de las placas aligeradas en dos direcciones, teniendo en cuenta parámetros normativos del reglamento NSR-10, donde se describe también, aparte de los aspectos geométricos, todas las cargas a tener en cuenta que actúan sobre esta, momentos positivos, negativos y relación de la carga ultima para el chequeo a cortante del elemento.

Concepto según reglamento NSR-10

- C.21.3.5.7 – Área total de la sección transversal del refuerzo de estribos cerrados de confinamiento.
- Tabla A.3.4. para coeficiente de disipación de energía, coeficiente de sobre Resistencia, Sistema estructural combinado, pórticos y muros de concreto y DMO.

Observaciones y hallazgos del informe de diseño de reforzamiento estructural.

- Según se evidenció en el informe, Los parámetros sísmicos usados para la propuesta de diseño de reforzamiento estructural, se analizaron bajo los requisitos y exigencias dadas en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR – 10.
- Conforme al informe y lo estipulado en el reglamento NSR-10, Conforme al título A.3.6.3. hay congruencia en la información, según la zona de amenaza sísmica que corresponde a la ubicación del Proyecto objeto de estudio, irregularidades en planta y los porcentajes de ocurrencia del sismo.
- Conforme se evidenció en el informe y en comparación con el reglamento NSR-10, Se realizó la clasificación estructural, cargas vivas debido al uso de la edificación, carga de granizo y parámetros sísmicos.
- Se evidenció en el informe y conforme al reglamento NSR-10, Los coeficientes de disipación de energía y sobre resistencia corresponden a los de la tabla A.3.1.

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

55

- El análisis integral de la estructura se realizó, conforme a lo observado en el informe, teniendo en cuenta las fuerzas internas de los miembros estructurales y las deformaciones de los mismos, al ser sometida a esfuerzos, por su propio peso, cargas muertas y con los efectos sísmicos correspondientes, análisis dinámico.
- Se observa en el informe, el análisis de diseño respectivo para los muros en concreto que se combinan con la estructura existente, como elementos que en cumplimiento del reglamento NSR-10, rigidizan y complementan la estructura para llevar conforme a su uso el comportamiento óptimo estructural con el cumplimiento del Reglamento.

Derivas

Concepto según informe

Se evidencia en el análisis dinámico, el cálculo y comprobación de derivas, anotando el numeral correspondiente a las condiciones de cumplimiento para el chequeo de estas solicitaciones en la estructura.

Se observa en el informe, con el uso del software ETABS V.20.3.0 los resultados luego de incluir en el modelo matemático la información resultado del análisis dinámico espectral, respecto a derivas, evaluado para los diferentes periodos de la estructura, cumpliendo con lo que permite el reglamento NSR-10.

Concepto según NSR-10

- Título A.6.2.1.2, coeficientes de importancia que modifica el espectro de diseño.
- Tabla A.2.5.1, Grupo de uso y coeficiente de importancia que corresponde.

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

56

Observaciones o hallazgos

Se evidenció en el informe el chequeo con cumplimiento conforme al reglamento NSR-10, con anexos referentes a cálculos y parámetros correspondientes, señalando el título correspondiente como base normativa para dar aprobación técnica de funcionamiento y cumplimiento para el diseño de reforzamiento estructural.

Estas derivas, conforme al documento, son producto del modelo matemático realizado y ejecutado en ETABS, teniendo en cuenta los parámetros de entrada conforme al reglamento NSR-10 en el espectro de diseño elástico calculado con base en la información propia del proyecto, ubicación y demás datos que se deben usar para el modelo.

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

57

Matriz de reforzamiento estructural

Aspecto de Cumplimiento del Reglamento NSR 10	Requerimiento conforme a la NSR-10	Evaluación (Cumple/Incumple)	Observaciones
AVALÚO DE CARGAS	Se verifica conforme al documento, el cumplimiento conforme a NSR 10, siguiendo criterios del título A y solicitaciones conforme al título B, en los criterios de análisis del avalúo de cargas, vivas, según uso y muertas conforme al levantamiento estructural y chequeos previos de dimensionamiento de la estructura para hallar su propio peso.	Cumple	Se evidencia en el documento, que evaluaron cargas de la super estructura incluida la cubierta y los elementos no estructurales, muros, enchapes etc., conforme al uso de esta, las auscultaciones y redimensionamientos previos conforme a los levantamientos realizados.
ANÁLISIS SÍSMICO	Se verifica en el documento, los datos clasificados para el correspondiente análisis dinámico espectral conforme a NSR-10, aceleraciones, coeficientes de sitio	Cumple	Los grupos de uso, coeficientes de importancia, aceleraciones y periodos, corresponden según NSR-10
MODELO NUMÉRICO	Se verifica en el informe, el uso de los resultados del análisis dinámico elástico espectral, junto a las aceleraciones máximas horizontales de diseño, para correr el modelo con estos datos de entrada y realizar el análisis de comportamiento de la estructura por medio del software ETABS, incluyendo los parámetros de combinaciones de cargas conforme lo dicta la NSR-10 en el título A.	Cumple	Se evaluaron los datos relacionados en los anexos, usados en el modelo conforme se afirma y coinciden a lo nombrado por NSR-10 en el análisis dinámico elástico espectral y datos conexos a tener en cuenta para correr el programa y generar la metodología de análisis correspondiente para dar cumplimiento al comportamiento de la estructura conforme a NSR-10.
ANÁLISIS ESTRUCTURAL	Se verifica en el informe, el uso del Espectro elástico de aceleraciones de diseño conforme a NSR-10, aceleraciones respecto a la zona sísmica respectiva, factores de aceleración, periodos estructurales, fuerzas y combinaciones de carga usadas para análisis posteriores de comportamiento y cumplimiento conforme a NSR-10.	Cumple	Se verifico la relación en el informe de las combinaciones de carga requeridas conforme a la NSR-10
DISEÑO DE ELEMENTOS DEL REFORZAMIENTO	Se verifica en el estudio de suelos, el resultado de análisis de la capacidad portante del suelo, el análisis de los elementos estructurales y se tuvo en cuenta el comportamiento dentro del análisis, parte de los conceptos para concluir las recomendaciones y temas técnicos a tener en cuenta en el diseño del reforzamiento, desde la cimentación para dar cumplimiento a los parámetros normativos según NSR-10.	Cumple	Se verifica en el informe, los aspectos metodológicos normativos tenidos en cuenta para la evaluación estructural de vigas, columnas, placas, muros en concreto, perimetrales, elementos existentes de cimentación, los elementos propuestos para reforzar la estructura en cimentación, como son pilotes, muros pantalla perimetrales cuyo objetivo según el informe es rigidizar la estructura, dados de diferentes geometrías y capacidades según describe el informe, análisis de comportamiento de la estructura con su propio peso y con las fuerzas sísmicas y diferentes combinaciones para ver los resultados sistemáticos y cumplimientos conforme a NSR-10.
CIMENTACIÓN	El documento incluye el análisis geotécnico, donde se describen los análisis respectivos, conforme a la auscultación, geometría de zapatas, análisis de cargas actuales actuantes y resistentes y se refiere al uso constructivo de pilotes para conformar la capacidad de resistencia de la estructura a su propio peso y a las fuerzas externas a las que va estar expuesta la estructura conforme a NSR-10.	Cumple	Se evidencia en el documento, el análisis respectivo con los ajustes conforme a la norma del cortante basal, el diseño de los dados de cimentación, conformados con pilotes "tipo muleta" con el fin de generar distribución uniforme de las cargas al suelo de cimentación, conforme al estudio geotécnico y sus respectivos parámetros conforme al título H de la NSR-10.
COMPROBACIÓN CUMPLIMIENTO DE DERIVAS Y RESISTENCIAS.	Se evidencia en el informe el cumplimiento de los análisis metodológicos de la comprobación de cumplimiento de derivas conforme a lo relacionado en el título A de la NSR-10.	Cumple	En el informe, se describe el cumplimiento normativo de las derivas correspondientes, luego del análisis matemático realizado en la estructura conforme a NSR-10.

Tabla 12 Matriz de reforzamiento estructural

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

58

Conclusiones y Recomendaciones

Lo evidenciado en el documento del estudio de patología fue un trabajo de campo muy completo, con los ensayos realizados en los elementos estructurales en general de la edificación, vigas, columnas, placas, auscultaciones de cimentación, pruebas de tracción en el acero, tanto de la zona afectada como las más distantes del foco de incendio, detalladas, con levantamiento de información llevado a la minucia, con fichas patológicas descriptivas de cada uno de los elementos y sus afectaciones directas, fáciles de identificar y entender el estado de la estructura.

Es de anotar que se realizó un trabajo muy completo de estudio del estado actual de la estructura para lo cual se hicieron en total 113 ensayos (39 de compresión, 3 de tracción directa, 36 de ferroskan y 35 de carbonatación). Se hicieron en total 74 fichas patológicas en las cuales se plasmó la información del estado actual de todos los elementos tanto estructurales como no estructurales.

Como resultado final de los diferentes ensayos, estudios y análisis se concluyó que la estructura en el segundo piso resulto ser la más afectada los valores de resistencia a la compresión fueron muy bajos con un promedio en columnas de 18.88 MPa y en vigas de 16.13 MPa, en cuanto a la calidad del acero no se vio tan afectada los resultados estuvieron muy cerca a los 420 MPa.

Debido a la afectación por tiempo activo ante el fuego, sugieren demoler las columnas del piso 2 y placa aligerada del piso 3 y hacer todos los elementos de los pisos dos para arriba.

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

59

Se analizaron los cálculos que tuvieron en cuenta para obtener los datos a introducir en ETABS 2020 de los elementos, los cuales son consistentes con la norma en los títulos A Y B de la NSR-10.

El documento contiene los parámetros de análisis necesarios y completos que conforme al reglamento NSR-10 se deben cumplir para complementar la estructura existente, realizando el diseño de reforzamiento correspondiente a su uso, geometría actual, espacios internos, ubicación y condiciones técnicas, se deben ejecutar para el comportamiento óptimo de la estructura frente a las fuerzas propias y externas a las que se expone la estructura llevadas al cumplimiento técnico de solicitudes en este proyecto.

EVALUACIÓN DE LA PATOLOGÍA, LA VULNERABILIDAD Y DEL DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN AFECTADA POR INCENDIO

60

Lista de Referencia o Bibliografía

Institución Universitaria Tecnológico de Antioquia (Tesis de grado). Recuperado de <https://docplayer.es/9964527-Estudio-de-vulnerabilidad-sismica-y-patologico-de-la-institucion-universitario-tecnologico-de-antioquia-t-de-a-iu.html>

Huincho Salvatierra, M. (2017). Evaluación de la resistencia mecánica del concreto sometido a altas temperaturas por incidencia del fuego directo (Tesis de grado). Universidad Nacional del Perú. Recuperado de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/6158>.

Universidad de Cartagena (tesis). Análisis de Vulnerabilidad de la Empresa Tubocaribe Ltda.

Autor: CARLOS ALBERTO MENDOZA PEÑA

Fecha de publicación: 2007

URL: <https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/762/192-%20TTG%20-%20AN%C3%81LISIS%20DE%20VULNERABILIDAD%20DE%20LA%20EMPRESA%20TUBOCARIBE%20LTDA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.