

**Estudio de Patología Geriátrica y propuesta de intervención del módulo 4 del
nuevo mercado público de Lórica – Córdoba
Trabajo profesional integrado (TPI)**

Pablo Andrés Chaves Torres

Roosvelt Sneider Sánchez Gómez

José Leonardo Díaz Molina

Universidad Santo Tomás de Aquino

Facultad de Ciencias y Tecnologías

Especialización Patología de la Construcción

Bogotá D.C., abril 2019

**Estudio de Patología Geriátrica y propuesta de intervención del módulo 4 del
nuevo mercado público de Lórica – Córdoba**

Trabajo profesional integrado (TPI)

**Trabajo para optar al título de
Especialista en Patología de la Construcción**

Walter Mauricio Barreto Castillo

Arquitecto Magister

Revisor del Trabajo de Grado

Universidad Santo Tomás de Aquino.

Facultad de Ciencias y Tecnologías.

Especialización Patología de la Construcción.

Bogotá D.C., abril 2019

Nota de aceptación:

Aprobado en cumplimiento de los requisitos exigidos
por la Universidad Santo Tomás de Aquino para optar
al título de Especialista en Patología de la
Construcción

Walter Mauricio Barreto Castillo

Revisor

Arquitecto Magister

Bogotá D.C., abril de 2019

Bogotá D.C, 9 de abril de 2019

Señores

Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación, CRAI-USTA

Universidad Santo Tomás

Ciudad

Estimados Señores:

Nosotros, José Leonardo Díaz Molina, identificado con Cédula de Ciudadanía No. 9.725.027, Pablo Andrés Chávez Torres identificado con Cédula de Ciudadanía No. 13.070.510 y Roosevelt Sneider Sánchez Gómez identificado con Cédula de Ciudadanía No. 86.050.386, autores del trabajo de grado titulado:

Estudio de Patología Geriátrica y propuesta de intervención del módulo 4 del nuevo mercado público de Lorica – Córdoba

Presentado y aprobado en el año 2019 como requisito para optar al título de Especialistas en Patología de la Construcción, autorizamos al Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación, CRAI-USTA de la Universidad Santo Tomás, para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad representado en este trabajo de grado, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo de grado / tesis en buscadores de indexación del país, del exterior y del CRAI-USTA, con las cuales tenga convenio la Universidad Santo Tomás.

- Se permite la consulta, reproducción parcial, total o cambio de formato con fines de conservación, a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, siempre y cuando mediante la correspondiente cita bibliográfica se le dé crédito al trabajo de grado y a su autor. De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

Cordialmente,



José Leonardo Díaz Molina

C.C. 9725.027 de Armenia

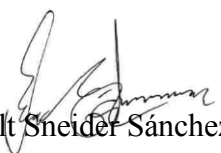
Correo electrónico: joseledimo@hotmail.com



Pablo Andrés Chávez Torres

C.C. 13.070.510 de Pasto

Correo electrónico: pacto1@gmail.com



Roosevelt Sneider Sánchez Gómez

C.C. 86.050.386 de Villavicencio

Correo electrónico: ingarq08@gmail.com

Resumen

En este documento se muestran los resultados generales y detallados del estudio de patología geriátrica, vulnerabilidad sísmica y diseño de alternativas de tratamiento e intervención recomendadas para el módulo 4 del nuevo mercado público de Lorica – Córdoba, cuyo nivel de avance constructivo corresponde a la estructura y actualmente se encuentra en estado de abandono.

Se diagnosticó que el nivel de daño de la edificación por lesiones típicas del concreto reforzado tales como humedades, erosiones, fisuras, oquedades, hormigueros, desprendimientos y delaminaciones, entre otras, asciende al 75% aproximadamente. Además, presenta un avance del frente de carbonatación que alcanzó el refuerzo en su mayoría y un proceso de corrosión con un nivel de pérdida de sección del 15%, por lo cual, en los términos de la NTC 5551 – “Durabilidad”, ya terminó la vida útil del proyecto e inició la fase de propagación del daño o vida residual.

Las causas primarias de las lesiones y patologías se fundamentan en los defectos intrínsecos de la estructura causados durante el proceso constructivo y al deficiente o nulo mantenimiento que ha tenido desde su construcción. Estas lesiones desencadenaron en efectos secundarios como la carbonatación, corrosión y nuevas lesiones asociadas a dicho fenómeno. De otro lado, el estudio de vulnerabilidad indicó que la edificación no cumple con los requisitos de flexibilidad (derivadas) y resistencia exigidas por la NSR-10.

La primera alternativa viable para tratar la edificación es la intervención integral de todas las lesiones y patologías, así como su reforzamiento estructural, cuyo costo asciende a \$542.824.400 (\$452.353/m²). La segunda alternativa corresponde a la demolición y reconstrucción total y la cuantía requerida es de \$456.220.594 (\$380.184.00/m²), por lo cual se considera que la alternativa que representa un mejor costo/beneficio y favorabilidad técnica corresponde a ésta última.

Tabla de Contenido

RESUMEN	VI
LISTA DE TABLAS	XII
LISTA DE FIGURAS	XV
LISTA DE PLANOS	XVIII
CAPÍTULO 1.....	1
INTRODUCCIÓN E INFORMACIÓN GENERAL	1
CAPÍTULO 2.....	3
OBJETIVOS	3
OBJETIVO GENERAL.....	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
CAPÍTULO 3.....	4
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, JUSTIFICACIÓN, ALCANCE Y	
METODOLOGÍA	4
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
JUSTIFICACIÓN	4
ALCANCE	5
METODOLOGÍA.....	5
<i>Planificación</i>	5
<i>Equipo de trabajo</i>	6

<i>Metodología para levantamiento y calificación de lesiones y captura de la información en campo</i>	7
<i>Grado de Severidad</i>	9
<i>Tipo de afectación de la lesión o síntoma</i>	9
<i>Causa probable</i>	10
CAPÍTULO 4	13
MARCO REFERENCIAL	13
TEÓRICO.....	13
<i>Lesiones</i>	14
<i>Causa u origen</i>	17
<i>Patología del Hormigón</i>	17
LEGAL	20
HISTÓRICO	21
CAPÍTULO 5	24
HISTORIA CLÍNICA	24
DATOS GENERALES Y ESPECÍFICOS DEL PACIENTE	24
CONDICIONES GENERALES DEL ENTORNO	26
ANTECEDENTES.....	27
<i>Evaluación Patológica</i>	28
<i>Ensayos Realizados</i>	29
<i>Estudio geotécnico:</i>	33
LEVANTAMIENTO Y CALIFICACIÓN DE LESIONES	34

<i>Resultados generales frente a las lesiones encontradas</i>	37
<i>Módulo 4:</i>	44
RESULTADOS DE ENSAYOS Y SU RELACIÓN CON LESIONES, SÍNTOMAS Y CAUSAS	45
<i>Esclerómetro</i>	49
<i>Extracción y ensayo a compresión de núcleos de concreto</i>	54
<i>Regatas</i>	57
<i>Carbonatación</i>	57
<i>Cloruros</i>	61
<i>Estado del acero de refuerzo</i>	62
RESULTADOS METODOLOGÍA CUALITATIVA ADOPTADA POR LOS AUTORES	64
<i>Metodología cualitativa:</i>	66
<i>Metodología simplificada (adaptada):</i>	69
ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA Y REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL	74
<i>Estado actual de la estructura</i>	77
<i>Intervención de la estructura</i>	82
CAPÍTULO 6	92
DIAGNÓSTICO	92
CAUSAS COMPROBADAS DE LAS LESIONES	92
<i>Descripción y principales consecuencias</i>	95
<i>Características y afectaciones específicas</i>	96
<i>Extensión o grado de avance y afectación de la patología</i>	97
<i>Causas</i>	98
<i>Posibilidades de tratamiento</i>	99

PROPUESTAS DE ENSAYOS, PRUEBAS O SEGUIMIENTOS COMPLEMENTARIOS.....	99
MEDIDAS PREVENTIVAS MIENTRAS SE DECIDE INTERVENIR.....	99
DEFINICIÓN DEL TIPO DE INTERVENCIÓN REQUERIDA.....	99
<i>TIPO I</i>	100
<i>TIPO II</i>	105
<i>TIPO III</i>	107
<i>TIPO IV</i>	109
<i>TIPO V</i>	109
<i>TIPO VI</i>	111
<i>TIPO VII</i>	111
<i>Especificaciones de productos</i>	113
CAPÍTULO 7	116
PROPUESTA DE INTERVENCIÓN.....	116
<i>Descripción general de la intervención planteada</i>	116
<i>Alternativa terapéutica de demolición y reconstrucción total</i>	116
<i>Alternativa terapéutica de intervención para saneamiento de lesiones y reforzamiento estructural</i>	117
<i>Evaluación de las posibilidades de intervención</i>	118
<i>Evaluación técnica, tecnológica y ambiental incluyendo la programación de obra de cada alternativa</i>	118
<i>Evaluación económica a partir de presupuesto de intervención de cada alternativa planteada</i>	120
<i>Alternativa seleccionada</i>	124

CAPÍTULO 8.....	126
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES	126
CAPÍTULO 9.....	132
RECOMENDACIONES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	132
REFERENCIAS	133
APÉNDICE	135
VITA.....	136

Lista de tablas

Tabla 1 Datos generales del paciente de estudio	26
Tabla 2 Resultados de Carbonatación para módulos 1 y 2 (BENEDETTI, 2014, pág. 25)	29
Tabla 3 Resultados de núcleos para módulos 1 y 2 (BENEDETTI, 2014, págs. 19-22)	31
Tabla 4 Coeficiente de variabilidad de los datos obtenidos	32
Tabla 5 Ficha de calificación de cada una de las lesiones consolidada	36
Tabla 6 Nomenclatura de las lesiones observadas	38
Tabla 7 Porcentaje (%) y número de lesiones observadas según grado de severidad- Módulo 4 ..	42
Tabla 8 Extensión general del daño por tipo de lesión- Módulo 4	44
Tabla 9 Número de ensayos realizados	46
Tabla 10 Porcentaje (%) elementos investigados.....	46
Tabla 11 Resultados del ensayo de esclerometría	51
Tabla 12 Factor de Corrección para ensayo esclerométrico	52
Tabla 13 Resistencia aproximada mediante la implementación de una curva de correlación- Esclerometría.....	53
Tabla 14 Promedio de resistencia para los elementos evaluados- Esclerometría	53
Tabla 15 Promedio de resistencia para los elementos evaluados- Esclerometría	55
Tabla 16 Comparación entre resistencias obtenidas en los estudios antecedentes y los obtenidos en este estudio	56
Tabla 17 Profundidad de carbonatación- Módulo 4.....	60
Tabla 18 Porcentaje (%) de acero de refuerzo encontrado con proceso de corrosión	63
Tabla 19 Estado del refuerzo- Pérdida de sección	65
Tabla 20 Calificación cualitativa del estado del acero de refuerzo.....	66
Tabla 21 Indicadores cualitativos, según grado de corrosión	69

Tabla 22 Indicadores de corrosión (pág. 22).....	70
Tabla 23 Valores del factor de agresividad ambiental (pág. 23).....	71
Tabla 24 Índice de corrosión y nivel de corrosión (pág. 23).....	72
Tabla 25 Índice de armado transversal (pág. 24)	72
Tabla 26 Índice estructural (vigas) (Versión simplificada) (pág. 25)	73
Tabla 27 Índice estructural (columnas) (Versión simplificada) (pág. 26)	73
Tabla 28 Índice de daño estructural (pág. 27).....	74
Tabla 29 Urgencia de intervención (pág. 29).....	74
Tabla 30 Valores de ϕ_c y ϕ_e	76
Tabla 31 Característica de los materiales implementadas.....	78
Tabla 32 Comparación del cortante dinámico en cada dirección, y el cortante estático- Estado actual	78
Tabla 33 Determinación del índice de flexibilidad de la estructura.....	78
Tabla 34 Pérdida del área de refuerzo por la presencia de corrosión en el acero de refuerzo	80
Tabla 35 Índice de sobreesfuerzo-Vigas Nivel 2- Módulo 4	81
Tabla 36 Comparación del cortante dinámico en cada dirección, y el cortante estático- Intervención.....	84
Tabla 37 Elementos que deben diseñarse y/o reforzarse.....	84
Tabla 38 Tipos de reforzamiento planteados para columnas	84
Tabla 39 Tipos de reforzamiento planteados para vigas	86
Tabla 40 PRODUCTO A- Puente de adherencia o de unión	114
Tabla 41 PRODUCTO B- Concreto fluido de baja retracción para reparación estructural	114
Tabla 42 PRODUCTO C- Mortero para reparación de estructuras de concreto.....	114

Tabla 43 PRODUCTO D- Recubrimiento para acero, con inhibidor de corrosión y puente de adherencia.....	115
---	-----

Lista de figuras

Figura 1 Fotografía superficial de los módulos- “Nuevo Mercado Público de Lorica – Mercaplaza”	1
Figura 2 Fotografía aérea de los módulos (Google Earth, 2014)	2
Figura 3 Organigrama de equipo de trabajo para la realización del estudio	6
Figura 4 Fichas metodológicas para la identificación, levantamiento y calificación de lesiones	8
Figura 5 Procesos de producción de obras civiles (Helene & Pereira, 2003, pág. 5)	14
Figura 6 Patologías del Hormigón	18
Figura 7 Localización del Módulo de estudio	24
Figura 8 Ficha de calificación	34
Figura 9 Delaminaciones o desprendimiento del concreto de recubrimiento por corrosión del refuerzo y esfuerzo mecánico antrópico.....	35
Figura 10 Acero de refuerzo expuesto y oxidado/corroído	35
Figura 11 Planos de levantamiento de lesiones.....	36
Figura 12 Extensión general del daño respecto al área total del Módulo	39
Figura 13 Extensión general del daño por tipo de afectación respecto al área total del Módulo...	40
Figura 14 Extensión general del daño por grado de severidad respecto al área total del Módulo.	41
Figura 15 Extensión general del daño por causa probable respecto al área total del Módulo	42
Figura 16 Porcentaje (%) de lesiones observadas según grado de severidad- Módulo.....	43
Figura 17 Extensión general del daño por tipo de lesión respecto al área total- Módulo 4	43
Figura 18 Extracción de núcleos de concreto.....	47
Figura 19 Ensayo de esclerometría realizado por los estudiantes	47
Figura 20 Regata para ensayo de carbonatación	48
Figura 21 Regata para medición del diámetro del acero de refuerzo	48
Figura 22 Ensayo para determinación de cloruros	48
Figura 23 Ejemplo del formato para el ensayo esclerométrico	49
Figura 24 Plano de localización de los ensayos	54
Figura 25 Regatas y toma de mediciones realizadas.....	57
Figura 26 Velocidad de Carbonatación vs. Resistencia a la compresión del concreto	59
Figura 27 Registro fotográfico- Ensayo de carbonatación.....	60
Figura 28 Registro fotográfico- Ensayo de cloruros	61

Figura 29 Consecuencias de la corrosión en el acero de refuerzo (pág. 76)	63
Figura 30 Registro fotográfico- Medición de acero de refuerzo	65
Figura 31 Refuerzo para la categoría: Corrosión superficial (4,0).....	66
Figura 32 Refuerzo para la categoría: Parcialmente oxidado (2,0).....	67
Figura 33 Refuerzo para la categoría: Corrosión superficial (4,0).....	67
Figura 34 Refuerzo para la categoría: Oxidado-Superficialmente oxidado (3,0)	68
Figura 35 Refuerzo para la categoría: Corrosión Severa (5,0).....	68
Figura 36 Ecuación del índice de corrosión	69
Figura 37 Ecuación de los indicadores de daños por corrosión (pág. 22).....	71
Figura 38 Modelación de la estructura mediante ETABS- Módulo 4.....	77
Figura 39 Modelación de la cubierta mediante SAP 2000- Módulo 4.....	77
Figura 40 Determinación del índice de sobrefuerzo de las columnas- Módulo 4	79
Figura 41 Determinación del índice de sobrefuerzo de las columnas-Eje A- Módulo 4.....	80
Figura 42 Determinación del índice de sobrefuerzo de las columnas con presencia de corrosión- Eje A- Módulo 4.....	80
Figura 43 Sección A.10.9.2.2-NSR-10 (AIS, 2010)	82
Figura 44 Modelación de la estructura intervenida mediante ETABS- Módulo 4.....	83
Figura 45 Localización y tipo de reforzamiento en columnas	85
Figura 46 Índice de sobrefuerzo obtenido luego del reforzamiento- Columnas	85
Figura 47 Localización de vigas que necesitan reforzamiento	87
Figura 48 Localización de vigas diseñadas	87
Figura 49 Localización de muros pantalla diseñados.....	88
Figura 50 Pantalla T1	89
Figura 51 Pantalla T2	89
Figura 52 Resultados del diseño de la cimentación de las pantallas T1	90
Figura 53 Procedimiento de tratamiento: delimitación del área (Emmons, 2012, pág. 5).....	100
Figura 54 Procedimiento de tratamiento: corte del área (pág. 5)	101
Figura 55 Procedimiento de tratamiento: demolición (pág. 5).....	101
Figura 56 Procedimiento de tratamiento: limpieza del óxido o corrosión (pág. 5).....	102
Figura 57 Reparación del acero de refuerzo (Helene & Pereira, 2003, pág. 230)	102
Figura 58 Reparación del acero de refuerzo (pág. 230)	103

Figura 59 Reparación del acero de refuerzo (pág. 241)	103
Figura 60 Procedimiento de tratamiento: vaciado de concreto (Emmons, 2012, pág. 7)	104
Figura 61 Procedimiento de tratamiento: curado y acabados (Emmons, 2012, pág. 7)	105
Figura 62 Procedimiento de tratamiento: demarcación del área (pág. 5)	106
Figura 63 Procedimiento de tratamiento: corte del área (pág. 5)	106
Figura 64 Procedimiento de tratamiento: demolición (pág. 5)	106
Figura 65 Procedimiento de tratamiento: puente de adherencia (Registrocdt.cl, 2013, pág. s.n)	107
Figura 66 Procedimiento de tratamiento: corte del área (Emmons, 2012, pág. 5)	108
Figura 67 Procedimiento de tratamiento: demarcación del área (pág. 5)	110
Figura 68 Procedimiento de tratamiento: demolición (pág. 5)	110
Figura 69 Procedimiento de tratamiento: hidrodemolición (pág. 1)	112
Figura 70 Valoración económica de alternativa de intervención y reforzamiento	122
Figura 71 Valoración económica de alternativa de demolición y reconstrucción total	124

Lista de planos

1. 161107 Lorica Levantamiento-Fachada Y Cortes
2. 161107 Lorica Levantamiento-Fachadas
3. 161107 Lorica Levantamiento-Planta Cimentación
4. 161107 Lorica Levantamiento-Planta Viga 2.85
5. 161107 Lorica Levantamiento-Planta Corona
6. Calificación lesiones PL-01
7. Calificación lesiones PL-02
8. Calificación lesiones PL-03
9. Calificación lesiones PL-04
10. Calificación lesiones PL-05
11. Calificación lesiones PL-06
12. Calificación lesiones PL-07
13. Intervención PL-01
14. Intervención PL-02
15. Intervención PL-03
16. Intervención PL-04
17. Intervención PL-05
18. Intervención PL-06
19. Intervención PL-07
20. Localización de ensayos PL-01

Capítulo 1

Introducción e información general

En el municipio de Lorica – Córdoba inició en el año 1995, presumiblemente, la ejecución del proyecto “Nuevo Mercado Público de Lorica – Mercaplaza”, sin embargo, dicho proyecto no fue terminado, únicamente alcanzándose a construir cinco (5) Módulos, de los cuales solo se cuenta con el armazón de la estructura, las vías perimetrales de acceso y su circulación vial interna.

Por lo anterior, desde aproximadamente el año 1997, dichas estructuras quedaron expuestas a la intemperie y sin someterse a algún tipo de mantenimiento periódico y/o rutinario. En la figura 1 se observa el estado de las estructuras a nivel de superficie, y en las cuales se evidencia su estado inconcluso y de abandono; de izquierda a derecha tenemos: Módulos 1, 2, 3, 4 y 5. En la figura 2 se observa la fotografía aérea tomada de Google Earth en la cual se observan las estructuras actualmente construidas; de abajo hacia arriba tenemos: Módulos 1, 2, 3, 4 y 5.



Figura 1 Fotografía superficial de los módulos- “Nuevo Mercado Público de Lorica – Mercaplaza”



Figura 2 Fotografía aérea de los módulos (Google Earth, 2014)

En la actualidad, pasados aproximadamente 22 años luego de su construcción, se posee la necesidad de atender los problemas sanitarios y de espacio público que en el centro de la ciudad, han generado las ventas de perecederos, frutas, verduras, cárnicos, pollos y pescados, entre otros. Esta situación se puede resolver mediante la rehabilitación o reconstrucción del “Nuevo Mercado Público de Lorica – Mercaplaza”.

Este documento muestra los resultados del estudio de diagnóstico, análisis patológico, análisis de vulnerabilidad y propuesta de intervención llevado a cabo para el Módulo 4. Con lo anterior, se planteará una solución viable para resolver los problemas actuales que aquejan a la estructura y a su vez, permitirá ayudar a resolver el problema de espacio público presente en el municipio de Lorica.

Capítulo 2

Objetivos

Objetivo general

Adelantar el trabajo profesional integrado de patología, en un paciente real (Módulo 4 del Mercado Público de Lorica) cuyo requerimiento de evaluación, diagnóstico e intervención es evidente y necesario, para el desarrollo de un nuevo proyecto de infraestructura de equipamiento municipal.

Objetivos específicos

1. Realizar el levantamiento topográfico y estructural de la edificación en su estado actual.
2. Levantar la historia clínica, inventario y calificación de lesiones que evidencia el paciente.
3. Diagnosticar el paciente definiendo las características, causas probables, consecuencias y tratamientos posibles de cada una de las lesiones identificadas.
4. Evaluar la vulnerabilidad sísmica estructural del paciente, de conformidad con lo establecido en el capítulo A.10 de la NSR-10.
5. Integrar los resultados del estudio de patología y vulnerabilidad estructural, con el fin de generar un diagnóstico integrado del estado de la edificación y las posibles alternativas de tratamiento.
6. Diseñar una alternativa técnicamente viable de tratamiento y/o intervención de la estructura.
7. Evaluar desde el punto de vista económico, a partir de presupuestos a nivel de factibilidad, la mejor alternativa de tratamiento de la estructura: a) Demolición total y construcción nueva, o, b) intervención de la estructura a partir del diseño realizado.

Capítulo 3

Planteamiento del problema, justificación, alcance y metodología

Planteamiento del problema

En la actualidad, existe la necesidad de un espacio público en el municipio de Lorica-Córdoba, destinada a una zona de venta de perecederos y productos de alimentación básica. Se había asignado un lote para la construcción de 5 módulos para satisfacer dicha necesidad de la comunidad, sin embargo, estos no están en servicio, encontrándose en estado inconcluso y en abandono.

La administración del municipio implementó un estudio patológico a los módulos 1, 2 y 3, correspondiente a una fase inicial de investigación, sin embargo, no se ha realizado dicho estudio a los dos módulos restantes, lo cual genera incertidumbre sobre el estado de los módulos y la posibilidad y necesidad de intervención o alternativa para la finalización del proyecto, “Nuevo Mercado Público de Lorica – Mercaplaza”.

Justificación

Dada la recalcada necesidad que requiere el municipio y la inexistencia de información del estado de los módulos 4 y 5, se implementarán los estudios y análisis necesarios para obtener el diagnóstico y estado general del módulo 4. Así como la realización de un análisis de vulnerabilidad estructural, y la implementación de aquellos tratamientos necesarios para su rehabilitación y/o solución. Adicionalmente se determinará cual es la alternativa viable práctica y económicamente.

Este estudio a nivel de patología y vulnerabilidad, es supremamente necesario, ya que no se puede acometer la terminación de las edificaciones, sin conocer el verdadero estado de los elementos estructurales debido al evidente deterioro que presenta, así como su capacidad frente a las solicitaciones de diseño de la norma actualmente vigente (NSR-10), pero tampoco, sin justificación técnica alguna, puede tomarse la decisión de demoler los elementos, ya que podría

generarse un detrimento al patrimonio del estado que podrían endilgar los respectivos entes de control.

De tal forma, mediante este estudio se obtienen los fundamentos técnicos y económicos suficientes que justifican la decisión más conveniente para adelantar la terminación del Módulo 4 de Mercaplaza, ya sea demoliendo y construyendo de nuevo o interviniendo los elementos estructurales para tratar las lesiones y síntomas evidentes y reforzar la estructura para cumplir las exigencias de la NSR-10.

Alcance

Se realizará el estudio patológico, análisis de vulnerabilidad estructural y planteamiento de las posibles alternativas, correspondientes al Módulo 4 del proyecto sin terminación y en estado de abandono del “Nuevo Mercado Público de Lorica – Mercaplaza”. Se desea obtener información verídica de la condición y estado de la estructura existente, así como de los posibles tratamientos o alternativas que permitan la ejecución y realización de este espacio público.

La comparación de la alternativa más viable se llevará a cabo teniendo en cuenta el estado de avance actual de la edificación, es decir que permita asimilar las alternativas de tratamiento en igualdad de condiciones.

Metodología

El estudio se adelantó cumpliendo las fases que normalmente se efectúan, desde la fase de planificación, historia clínica, diagnóstico y recomendación y diseño básico de la intervención.

Planificación

Para realizar el levantamiento patológico correspondiente al Módulo 4, se realizó una etapa de planificación, donde se definieron los aspectos logísticos y técnicos del estudio.

Equipo de trabajo.

Para la ejecución del estudio de patología del Módulo 4, se contó con el siguiente equipo de trabajo, cuyas funciones fueron asumidas transversalmente por los tres integrantes del grupo del trabajo profesional integrado (TPI):



Figura 3 Organigrama de equipo de trabajo para la realización del estudio

Para la ejecución del levantamiento e inspección en sitio, se implementó el organigrama mostrado arriba, donde se constata el equipo de trabajo y de coordinación para una inspección práctica y efectiva.

El equipo de coordinación, de toma de muestras, los profesionales de campo para el levantamiento de lesiones y los profesionales de oficina para llevar a cabo el análisis de información recolectada en campo y la realización de este documento están conformados por: Pablo Chaves, Roosvelt Sánchez y Leonardo Díaz.

Se contrató un equipo correspondiente al levantamiento topográfico de la estructura, ya que existía la necesidad de realizar planos de levantamiento de lesiones para el estudio. Adicionalmente existió el requerimiento de implementar una cuadrilla de campo, para adelantar la limpieza de la zona de estudio y en la extracción de algunas muestras, el cual se conformó por mano de obra local.

Metodología para levantamiento y calificación de lesiones y captura de la información en campo

Con el fin de estandarizar lo máximo posible los criterios de levantamiento y calificación, se diseñó una metodología para la identificación y criterios de calificación de lesiones a elementos estructurales.

Dicha metodología, define el criterio para identificar cada lesión, el código bajo la cual se debe capturar la misma, sus grados de severidad, la forma en que dicha lesión puede afectar a la estructura y los criterios bajo los cuales se debe medir la lesión. Todas las lesiones directamente relacionadas en la inspección visual, con elementos estructurales, inician con el prefijo E.

En la figura 4 se muestra un ejemplo de las fichas generadas por cada lesión relevante del estudio.

Igualmente, se diseñaron planos de levantamiento de lesiones, para cada tipo zona de las estructuras, es decir: perfiles en planta (inferior y superior), corte A-A', corte B-B' y las diferentes vistas de fachada (laterales, principal y posterior).

Para ello, se codificaron los diferentes ejes de la estructura, con lo cual cada lesión o síntoma evidenciado, puede ser perfectamente localizado, con respecto al sitio específico de la estructura. Para efectuar el levantamiento y registro de todas las lesiones observadas, para cada superficie, se generó un plano de levantamiento en planta o en perfil según el caso.

En cada plano de levantamiento, se registran las lesiones observadas físicamente, según la forma original y dimensión aproximada, ya que corresponde a una inspección visual y se califica según los criterios adoptados para tal fin.

Oquedades u hormigueros			Grietas		
Nombre	E4		Nombre	E1	
Código			Código		
Definición:	Corresponde a todas las cavidades o vacíos existentes en el exterior o interior de un elemento estructural, así: Oquedades, poros o vacíos (Air voids, bugholes): pequeñas regulares o irregulares cavidades, que usualmente no exceden 15 mm de diámetro, como resultado de burbujas de aire atrapado en la superficie del concreto durante su colocación y vibrado. Hormiguero: cavidades en el hormigón debido a la existencia del mortero o pasta de cemento o su poca efectividad para llenar los espacios entre el agregado.		Definición:	Son aberturas de más de un 1 milímetro (mm) de ancho que afectan a todo el espesor del material o del elemento constructivo, por lo que provocan la pérdida de su consistencia y de su integridad.	
					
	Fuente: ACI 201.1R-08 Guide for conducting a visual inspection of concrete in service.			Fuente: ACI 201.1R-08 Guide for conducting a visual inspection of concrete in service.	
	Criterios de calificación de la lesión			Criterios de calificación de la lesión	
Grado de severidad	Leve	Existencia de oquedades, poros o vacíos con diámetros y profundidades menores a 10 mm	Grado de severidad	Leve	Entre 1 y 2 mm o con afectación de la sección transversal del elemento menor al 10%
	Moderado	Oquedades u hormigueros con diámetros entre 10 y 50 mm de diámetro y/o profundidad.		Moderado	Mayor a 2 mm o con afectación de la sección transversal entre un 10 y un 50%
	Severo	Oquedades u hormigueros con diámetros mayores a 50 mm de diámetro y/o profundidad.		Severo	Mayor a 3 mm, afectación de la sección transversal del elemento mayor a un 50%, o con afectación total 100% (fractura) de la sección transversal del elemento estructural sin discriminar el ancho
Afectación de la lesión	Resistencia o capacidad	*Afecta de alguna manera la capacidad del elemento estructural para resistir esfuerzos de tracción, compresión, flexión, cortante o torsión. Esta afectación puede darse cuando la oquedad u hormiguero reduce considerable o significativamente la sección transversal o longitudinal del elemento estructural.	Afectación de la lesión	Resistencia o capacidad	*Afecta la capacidad del elemento estructural para resistir esfuerzos de tracción, compresión, flexión, cortante o torsión. *Compromete significativamente la rigidez del elemento y su aporte a la estructura en general. Nota: Las grietas generalmente afectarán la capacidad estructural del elemento.
	Servicio o funcionalidad	*Si la oquedad u hormiguero reduce considerablemente la sección transversal o longitudinal del elemento estructural reduciendo su rigidez e integridad pudiendo llevar incluso a socamentar o generar deformaciones en el elemento. *Normalmente se afectará la durabilidad del acero de refuerzo como evolución posterior de la lesión. *Afecta de alguna manera la función del elemento desde el punto de vista de su necesidad no estructural dentro de la edificación. *Afecta notablemente la sensación de seguridad de la estructura que deben sentir sus ocupantes.		Servicio o funcionalidad	*Afecta la rigidez del elemento en cualquier grado generando o pudiendo generar deformaciones o deflexiones a nivel local o global en la estructura. *Afecta la durabilidad del elemento estructural, incluyendo el acero de refuerzo. *Afecta de alguna manera la función del elemento desde el punto de vista de su necesidad no estructural dentro de la edificación. *Afecta notablemente la sensación de seguridad de la estructura que deben sentir sus ocupantes.
	Aspecto o confort	Afecta el aspecto de acabado del elemento estructural y/o el confort para el uso de la edificación		Aspecto o confort	Afecta el aspecto de acabado del elemento estructural y/o el confort para el uso de la edificación
Magnitud aproximada	Medida 1	Profundidad estimada (mm) - (cuando sea posible)	Magnitud aproximada	Medida 1	Ancho (mm)
	Medida 2	Área estimada (mm ²) - (cuando sea posible)		Medida 2	Profundidad, en caso que sea posible estimarla visualmente (mm)
	Medida 3 (extensión del daño)	% del muro o elemento estructural afectado por la lesión considerando los parámetros de afectación de la lesión y su severidad, así como el área o porcentaje de elemento que habría intervenir eventualmente.		Medida 3 (extensión del daño)	% del muro o elemento estructural afectado por la lesión considerando los parámetros de afectación de la lesión y su severidad

Figura 4 Fichas metodológicas para la identificación, levantamiento y calificación de lesiones

Cada una de las lesiones cuenta con un número de consecutivo con el fin de identificar debidamente la lesión tanto en el plano como en el cuadro de calificación. Con esta información se prosiguió a digitalizar los planos de levantamiento, con la información especificada y obtenida en campo. Para el registro de lesiones se definió una codificación para cada grupo o tipo, con lo cual fuese más fácil la lectura e interpretación de esta información.

Si bien en las fichas de cada lesión se establecen debidamente los criterios para llevar a cabo la calificación por cada aspecto, en este documento se consigna la definición general o marco referencial del levantamiento y calificación de lesiones.

En el apéndice 1 se incluyen las fichas de metodología de levantamiento y calificación diseñadas.

Grado de Severidad

Para este estudio se definieron tres categorías de severidad: leve, moderado y severo. El grado de severidad dependerá de aspectos propios de la lesión o síntoma observado como: dimensiones de la lesión (ancho, longitud, profundidad), extensión del daño y combinación con otros tipos de lesiones o tipos de afectación.

Tipo de afectación de la lesión o síntoma

Para este estudio se definieron tres tipos de afectación de la lesión o síntoma en el elemento estructural o en la lesión, así:

-Resistencia o Capacidad: Se define como la afectación a la capacidad del elemento estructural para resistir esfuerzos de tracción, compresión, flexión, cortante o torsión. Igualmente, puede comprometer significativamente la rigidez del elemento y su aporte a la estructura en general.

-Servicio, funcionalidad o durabilidad del elemento: Se define como la afectación a los siguientes aspectos intrínsecos de la estructura:

- o Afecta la rigidez del elemento en cualquier grado generando o pudiendo generar deformaciones o deflexiones que afectan la sensación de seguridad a nivel local o global en la estructura.
- o Afecta la durabilidad del elemento estructural, incluyendo el acero de refuerzo.
- o Afecta notablemente la sensación de seguridad de la estructura que deben sentir quienes realizan el paso por esta.

- Aspecto o confort: Corresponde a aquella afectación que afecta el aspecto de acabado del elemento estructural y/o el confort.

Causa probable

Para este estudio se tendrán en cuenta las siguientes causas probables y su definición se efectúa con base en la Enciclopedia Broto de Patologías de la Construcción. Vale la pena indicar, que, si bien se citan algunas lesiones incluidas en el estudio con su código correspondiente, se puede llegar el caso que una lesión se encuentre vinculada a cualquiera o varias de las otras causas.

-Causas Directas: “Cuando son el origen inmediato del proceso patológico, como los esfuerzos mecánicos, agentes atmosféricos, contaminación, etc.”. “(...) Son acciones que ponen en marcha los procesos patológicos iniciando la degradación de los materiales”. Se dividen en causas mecánicas, físicas, químicas y en lesiones previas (consecuencia de una anteriormente clasificada) (Broto, 2006, pág. 35).

Dentro de las causas directas se tienen:

- Físicas: Generan cambios o alteraciones físicas en un material, implicando una alteración de la distribución interna de su estructura y normalmente provocan una modificación de la forma o apariencia. En general se producen por la acción de agentes externos como el agua, el viento, el sol, el hielo o congelamiento y los procesos biofísicos causados por organismos vegetales o animales.

Las principales lesiones que tienen relación con las causas físicas se encuentran con el código utilizado para este estudio son:

1. Humedades (E11)
 2. La erosión por agentes atmosféricos (E15)
 3. Los procesos biofísicos (E20)
- Mecánicas: Corresponden a todas aquellas acciones que implican un esfuerzo mecánico sobre el elemento estructural que no se había previsto, controlado o que

resulta superior al que se había calculado, pero en definitiva superior al que puede soportar.

Las acciones mecánicas normalmente provocan movimientos, deformaciones y roturas. La manifestación más crítica corresponde a la rotura, a pesar de que corresponde al proceso o estado final de un mecanismo de colapso que no es común que se presente.

Existen otro tipo de roturas que se manifiestan en forma de fisuras, grietas o desprendimientos parciales más frecuentes, cuya afectación es crítica, ya que además de desgastar el material disminuyendo su capacidad funcional, favorecen la entrada de agentes agresores como el aire o agua, generando lesiones secundarias de carácter físico o químico, por ejemplo.

Entre las principales lesiones que tienen relación con las causas mecánicas se encuentran:

1. Fisuras (E2 y A2)
2. Deformaciones (E6, E7 y E22)
3. Erosiones por agentes mecánicos (E16)
4. Delaminaciones o desprendimientos (E18)
- Químicas: Corresponden a aquellas que pueden consistir en reacciones químicas de sales, ácidos o álcalis, que acaban produciendo algún tipo de descomposición del material afectado. Evolucionará afectando su integralidad y su durabilidad de manera notable.

Entre las principales lesiones que tienen relación con las causas químicas se encuentran:

1. Eflorescencias (E19)
2. Oxidaciones y corrosiones (E3 y E13)
3. Erosión por agente químico (E17)
4. Procesos bioquímicos por causa de organismos vegetales o animales (E20)

- Indirectas: “Cuando se trata de errores y defectos de diseño o de construcción. Son las que primero se deben tener en cuenta a la hora de prevenir” (pág. 35).

Se pueden clasificar en errores de diseño o selección de técnicas en el proyecto en general, la ejecución, el material o el mantenimiento.

Para este estudio específico cuyo paciente corresponde a una estructura de concreto reforzado, dentro de las causas indirectas se encontrarán aquellas relacionadas con la construcción del hormigón y el concreto reforzado, tales como:

1. Patologías derivadas de los componentes del hormigón: cemento, agregados y agua.
2. Patologías derivadas de la fabricación y ejecución: dosificación, colocación, vibrado y compactación, afectación en las dimensiones y forma del elemento, procesos inadecuados de curado, recubrimientos insuficientes, colocación y oxidación o corrosión del refuerzo.

Entre las principales lesiones que tienen relación con las causas indirectas se encuentran:

1. Oquedades y hormigueros (E4)
2. Alteraciones en la forma, dimensión y alineamiento de los elementos estructurales (E5 y E21)
3. Pérdida de verticalidad o desplomes (E7)
4. Defectos o lesiones por juntas de construcción (E8)
5. Segregaciones, blistering u otros defectos en el concreto (E10)

En el estudio se incluyó la categoría de lesiones previas, para calificar y establecer en campo, cuando una lesión observada, esta originada en un proceso o lesión original que desencadenó afectaciones secundarias o adicionales.

Capítulo 4

Marco Referencial

Teórico

En la actualidad existen problemas o fallos en la construcción de las edificaciones, ya sea por problemas durante su etapa de diseño, ejecución o mantenimiento necesario. Estos problemas ocasionan una serie de complicaciones que pueden llegar a afectar el aspecto o estética y en el peor de los casos la durabilidad y la resistencia estructural. La necesidad de realizar un estudio de los fallos presentes en una estructura con el fin de encontrar una solución adecuada da origen a la patología estructural.

La patología estructural, en términos generales, consiste en el estudio de las enfermedades o problemas constructivos que surgen en la edificación luego de su ejecución y recetar o diseñar el tratamiento más adecuado. Con el fin de solucionar dichos problemas, es necesario conocer los procesos involucrados, sus causas y orígenes, los síntomas que pueden llegar a presentar y su estado actual.

En el proceso de producción y realización de cualquier tipo de estructura y/o edificación, existe la posibilidad de una inadecuada ejecución de sus diferentes procesos, lo que da pie al origen de diversos problemas o enfermedades. Los fallos de un proceso constructivo pueden surgir desde su concepción (diseño/planos), la calidad y tipo de materiales empleados, y desde las técnicas y procesos constructivo de la estructura. Luego de su ejecución, los problemas serán visibles durante el uso de ésta. Un esquema resumido de los procesos necesarios para la producción de un proyecto de construcción se puede evidenciar a continuación:

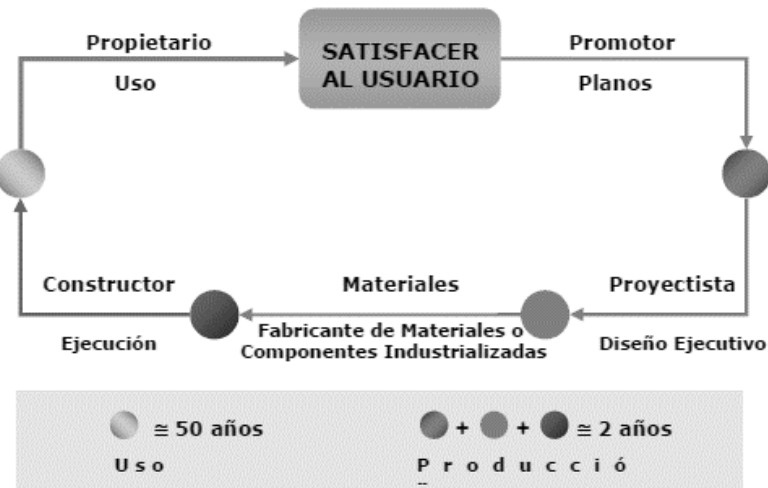


Figura 5 Procesos de producción de obras civiles (Helene & Pereira, 2003, pág. 5)

Durante el estudio, es posible obtener una secuencia temporal de los procesos patológicos, la cual consiste en: su origen, evolución y resultado final. Esta secuencia, debe evaluarse de manera inversa, ya que durante la recolección de información o durante su inspección, el resultado es lo primero que se evalúa, seguido por los síntomas evidenciados y así obtener su causa u origen (Broto, 2006, pág. 31).

Siguiendo la secuencia temporal mencionada en el párrafo anterior, es posible realizar una definición de cada una, las cuales serán expresadas y definidas en los siguientes títulos.

Lesiones

Se pueden considerar como el resultado final de un proceso patológico, las cuales se pueden subdividir en diferentes categorías. La categorización de las lesiones dependerá directamente de su causa primaria y el tipo de afectación sobre la estructura.

Para la realización de este documento se decide implementar la metodología de evaluación de lesiones, descrita en la Enciclopedia Broto de Patologías de la Construcción, en el capítulo de “Aspectos generales del diagnóstico y reconocimiento de lesiones.

Son tres subcategorías en las cuales se pueden dividir las lesiones:

- **Físicas**

Estas lesiones se generan a partir de procesos o fenómenos físicos, es decir, las acciones ambientales y/o de su entorno que afectan y actúan sobre la estructura. Las lesiones físicas, por lo general ocasionan un desgaste o un cambio estético de la superficie de la estructura.

Los ejemplos más significativos pueden ser:

- o **Humedad**: La humedad es producida por la presencia activa o cíclica de agua, la cual puede causar una alteración de las características físicas del material, así como contribuir a su deterioro y desencadenar en otras lesiones que pueden afectar la durabilidad y resistencia de la estructura.
- o **Erosión**: Esta se produce por la acción física de los diferentes agentes atmosféricos, ocasionando una “meteorización” de materiales pétreos (pág. 32).
- o **Manchas**: Pueden resultar ser el tipo de lesión de mayor incidencia, y resultan de una acumulación de partículas sobre el material. Las manchas pueden ser el resultado de un proceso ambiental externo como eflorescencias u organismos, o de un proceso de deterioro interno como la corrosión.

- **Mecánicas**

Son aquellas ocasionadas por un componente mecánico, correspondiente a movimientos estáticos o dinámicos a los que está sometida la estructura. Este tipo de lesión se puede considerar como una de las principales causas de la formación de fisuras o grietas en una estructura.

Los ejemplos más significativos pueden ser:

- o **Deformaciones**: Se identifican como una variación en la forma o geometría de un elemento, generada por esfuerzos mecánicos.

- o Fisuras/Grietas: Son aberturas de carácter longitudinal, que afectan la superficie o la totalidad del espesor del elemento. Se generan principalmente por esfuerzos de tracción que el material no es capaz de soportar o resistir. La principal diferencia entre estas, radica en la magnitud de profundidad, es decir, las fisuras son aquellas que tienen una profundidad parcial, mientras que las grietas atraviesan la totalidad del espesor del elemento.
- o Desprendimientos: Se identifican como una separación, o desunión, de los materiales contenidos dentro de un elemento. Un ejemplo notable se puede considerar en una estructura de concreto reforzado, donde existe un desprendimiento del concreto del elemento ocasionado por la acción mecánica y expansiva del acero de refuerzo corroído.
- o Erosión: Se considera como una pérdida del material superficial del elemento, ocasionada por esfuerzos mecánicos.

- **Químicas**

Este tipo de lesión se genera a partir de un proceso químico, ya sea por la presencia de sales, ácidos o álcalis que al reaccionar ocasionan descomposiciones que pueden afectar la integridad y durabilidad del material (pág. 34).

Los ejemplos más significativos pueden ser:

- o Eflorescencias: Por lo general son ocasionadas como causa directa de la presencia de humedad en el elemento. Dado que los materiales, por lo general, contienen sales solubles, estas son llevadas al exterior por procesos de evaporación. Una vez en el exterior estas sales se cristalizan, dando como resultado a las eflorescencias.
- o Óxido y corrosión: *“Son un conjunto de transformaciones moleculares que tiene como consecuencia la pérdida de material en la superficie de metales como el acero”* (pág. 35).

- o Organismos: Afectan principalmente la superficie de los elementos, donde se considera que generan sustancias que pueden afectar la estructura química del material.
- o Erosión: Se pueden generar como consecuencia de procesos químicos y que afectan la superficie del material de los elementos.

Causa u origen

Uno de los principales objetivos de un estudio de patología estructural, es identificar la causa u origen primordial de las lesiones. Su identificación permitirá optar por una intervención que no solo se limite a solucionar la lesión en sí, sino que permita solucionar el problema de raíz y así evitar futuras apariciones del mismo tipo de lesión.

Ya que muchas lesiones pueden tener más de una causa u origen, es posible dividir las en dos categorías. Estas son las directas e indirectas. Según la Enciclopedia Broto, estas son:

“Causas directas: cuando son el origen inmediato del proceso patológico, como los esfuerzos mecánicos, agentes atmosféricos, contaminación etc.”.

“Causas indirectas: cuando se trata de errores y defectos de diseño o ejecución. Son las que primero se deben tener en cuenta a la hora de prevenir.” (pág. 35)

Patología del Hormigón

Se debe realizar un énfasis a las patologías y afectaciones más comunes que se presentan en el hormigón, ya que la estructura evaluada en este documento está compuesta principalmente de este material. Las bases para el estudio y el análisis de las patologías presentes en el hormigón se obtuvieron de la Enciclopedia Broto. Dichas afectaciones pueden ser enmarcadas en un mapa conceptual, que se muestra a continuación:

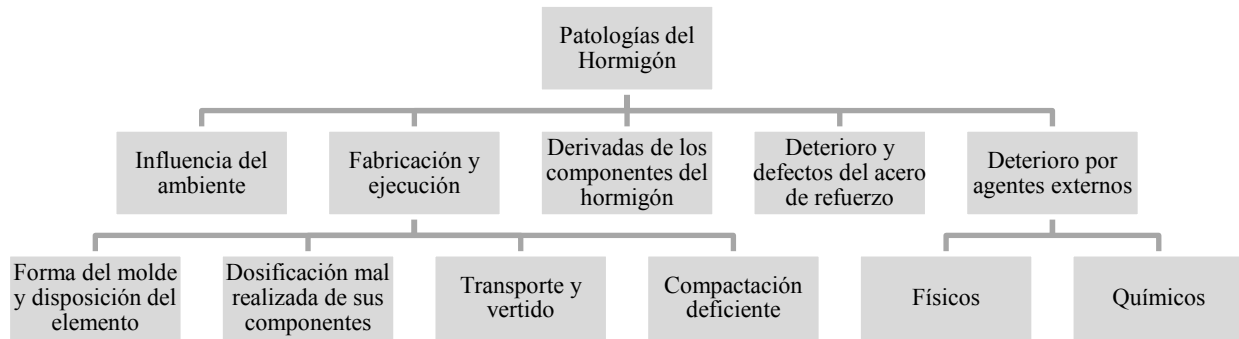


Figura 6 Patologías del Hormigón

- Influencia del ambiente: Este factor depende, no solo de las condiciones en las que se encontrará expuesto el hormigón sino también de las características que posee en cuanto a sus agregados y a su dosificación. La agresividad del entorno estará asociada con las acciones físicas y químicas, que afectan directamente la durabilidad y vida útil del hormigón.
- Fabricación y ejecución: Estos dos factores impactan directamente la calidad del hormigón, que a su vez es capaz de afectar su durabilidad y resistencia. Durante la fabricación y ejecución se pueden resaltar los siguientes defectos:
 - o Forma del molde y disposición del elemento: Puede afectar la geometría de los elementos de hormigón, ya sea en recrecimientos, secciones de menor espesor, pérdidas de verticalidad, etc., que afectarán la durabilidad y resistencia de estos.
 - o Dosificación mal realizada de sus elementos: Se puede obtener una dosificación inadecuada del hormigón causadas por mano de obra no calificada, o por deficiencia de los sistemas y equipos de medición.

- o Transporte y vertido: Pueden generar segregación del material y puede afectar la homogeneidad de este, lo que ocasionaría la generación de zonas con baja compactación y/o la formación de hormigueros.
- o Compactación deficiente: Esta afectación estaría ligada a la afectación de transporte y vertido, en la cual se pueden generar problemas de oquedades, hormigueros y deficiencias en la resistencia de los elementos de hormigón.
- Derivadas de los componentes de hormigón: Dado que el hormigón está compuesto de una mezcla entre cemento, áridos, agua, ocasionalmente aditivos y la incorporación de acero, la calidad e implementación adecuada de estos insumos es un factor predominante en la aparición de defectos en el hormigón.
- Deterioro y defectos del acero de refuerzo: Los principales defectos que se pueden generar en el acero de refuerzo son las impurezas (de su aleación), defectos superficiales (forja incorrecta) y la formación de corrosión (como consecuencia de inadecuado almacenamiento, protección dentro del elemento o exposición a un ambiente corrosivo o agresivo).
- Deterioro por agentes externos: Este deterioro afectará principalmente la durabilidad y vida útil de los elementos compuestos de hormigón. Este deterioro puede dividirse en dos grupos:
 - o Físicos: La principal causa de este deterioro del hormigón es la interacción con el agua, viento y la temperatura.
 - o Químicos: Generan una afectación sobre el hormigón causada por la interacción de procesos químicos internos o externos. En estos se pueden

destacar: erosiones químicas, ataques ácidos, carbonatación y corrosión del acero de refuerzo.

Legal

Este documento toma como base fundamental, lo descrito en el “*Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10*”, expedida por medio del Decreto 926 del 19 de marzo del 2010, así como algunas normas técnicas colombianas (NTC) sobre la evaluación e inspección de estructuras de concreto endurecido existentes (NTC 3693 y NTC 2275), durabilidad (NTC 5551) y todas las normas técnicas para realización de ensayos.

En la NSR-10, específicamente en el capítulo A.10, que define los requisitos para la evaluación e intervención de las edificaciones construidas antes de la vigencia de esa versión del reglamento, se establece el índice de flexibilidad de la estructura y se define como: “*la susceptibilidad de la estructura de tener deflexiones o derivas excesivas, con respecto a las permitidas...*”.

En el mismo sentido debe evaluarse el índice de sobre resistencia, que corresponderá al cociente entre las fuerzas o esfuerzos que generan las solicitaciones de diseño calculadas conforme a las cargas de la NSR-10 y la resistencia efectiva de los elementos frente a cada tipo de esfuerzo.

Aquellos elementos o porciones de la estructura que resulten con índices mayores a la unidad deberán ser intervenidos para llevarlos a un punto donde su resistencia sea adecuada conforme a los lineamientos generales y específicos de la NSR-10.

Teniendo en cuenta que en este estudio de patología se evalúa una edificación existente que se encuentra inconclusa y abandonada, y que debe tomarse una decisión frente al mejor tratamiento a implementar que justifique, entre otros aspectos, la intervención que genere menores detrimentos al patrimonio, es conveniente traer a colación los conceptos básicos de la Ley 610 de 2000 sobre responsabilidad fiscal.

En la mencionada norma en su artículo 6, se consigna que para los efectos de dicha Ley “*se entiende por daño patrimonial al estado la lesión del patrimonio público, representada por el menoscabo, disminución, perjuicio, detrimento, pérdida, deterioro de los bienes públicos o a los intereses patrimoniales del estado, producida por una gestión antieconómica, ineficaz, ineficiente e inoportuna, que en términos generales, no se aplique al cumplimiento de los cometidos y fines esenciales del estado...*”.

Igualmente, con respecto a la pérdida, daño o deterioro de bienes, la norma en su artículo 7 indica que en aquellos casos distintos al desgaste natural que sufren los bienes en servicio, la responsabilidad fiscal será procedente cuando el hecho tenga relación directa con el ejercicio de actos propios de la gestión fiscal por parte de los presuntos responsables.

Histórico

La elaboración de este marco histórico no se dirige a recopilar o mencionar como ha sido el desarrollo de las bases técnicas y científicas que fundamentan los estudios de patología, ya que, por la transversalidad e integralidad del trabajo realizado, sería complejo y dispendioso su realización.

Por ello se ha enfocado en describir brevemente la situación en Colombia de los denominados “elefantes blancos” u obras públicas inconclusas, que corresponde al problema que da origen a este estudio de patología.

El término de los elefantes blancos, según la Secretaría de Transparencia es “... *una obra pública de construcción, mantenimiento o instalación de un bien inmueble, la cual tiene un impacto negativo para la comunidad debido a que ha sido abandonada o está inconclusa, sus costos superan los beneficios de su funcionamiento, no es utilizada, o su uso es diferente para aquel que fue creada.*”

Estos elefantes blancos pueden presentarse en vías de infraestructura, acueductos, colegios, centros médicos, entre otros, que obtienen recursos cuantiosos del rubro de inversión, pero finalmente no otorgan ningún beneficio a la sociedad y generar un detrimento patrimonial (Soto, 2018, pág. s.n).

En el sector de la construcción estos “elefantes blancos”, suelen afectar a las comunidades para las cuales iban dirigidos los proyectos inicialmente. Muchas de las obras que iniciaron, pero no culminaron, iban encaminadas a una necesidad esencial de los municipios y de la comunidad en general, y una vez se detienen estos procesos, los principales afectados son los que verdaderamente las necesitaban.

En Colombia existe un número alarmante de estos elefantes blancos, de los cuales RCN Radio, realizó un “Top 5 de los “elefantes blancos” que actualmente se encuentran en el país. Estos están conformados por: un edificio inteligente que serviría como Comando de la Policía Metropolitana en Bogotá, los escenarios de los Juegos Nacionales en Ibagué, una represa sobre el río Ranchería en La Guajira, la reconstrucción del municipio de Gramalote en Norte de Santander y siete obras diferentes correspondientes a puentes, centros de asistencia médica, coliseos, entre otros (RCN Radio, 2016, pág. s.n).

El estado en respuesta a dicha problemática ha intentado implementar regulaciones y normas tendientes a mejorar la planificación de la inversión pública y la contrataciones de obras, a través de los planes de desarrollo, la generación de proyectos de inversión y su evaluación y viabilización por los bancos de programas y proyectos de inversión y la aplicación de normas de contratación más estrictas como la Ley 80 y estatuto anticorrupción (Ley 1474 de 2011), entre otras.

Igualmente intenta penalizar fiscal, disciplinaria y penalmente a los responsables de la pérdida del patrimonio público causado por deficiente planificación o inadecuada aplicación de los

recursos en las obras público, pero éstas acciones no han sido completamente eficaces, por lo cual, aún se observan obras inconclusas y técnicamente deficientes en el país.

El proyecto de “Nuevo Mercado Público de Lorica – Mercaplaza” es un claro ejemplo de estos elefantes blancos, por lo que se decidió continuar con un estudio de patología del Módulo 4 y obtener una alternativa viable para la terminación del proyecto.

Capítulo 5

Historia clínica

Datos generales y específicos del paciente

La edificación del nuevo mercado público “Merca-Plaza” está desarrollada dentro del casco urbano del municipio de Santa Cruz de Lorica, en el barrio Nuevo Oriente. El Lote donde se desarrolla el proyecto es de propiedad del municipio, y se encuentra situado sobre la calle 12 entre carreras 15 y 16. Ver figura 7. MUNICIPIO DE SANTA CRUZ DE LORICA – CORDOBA.

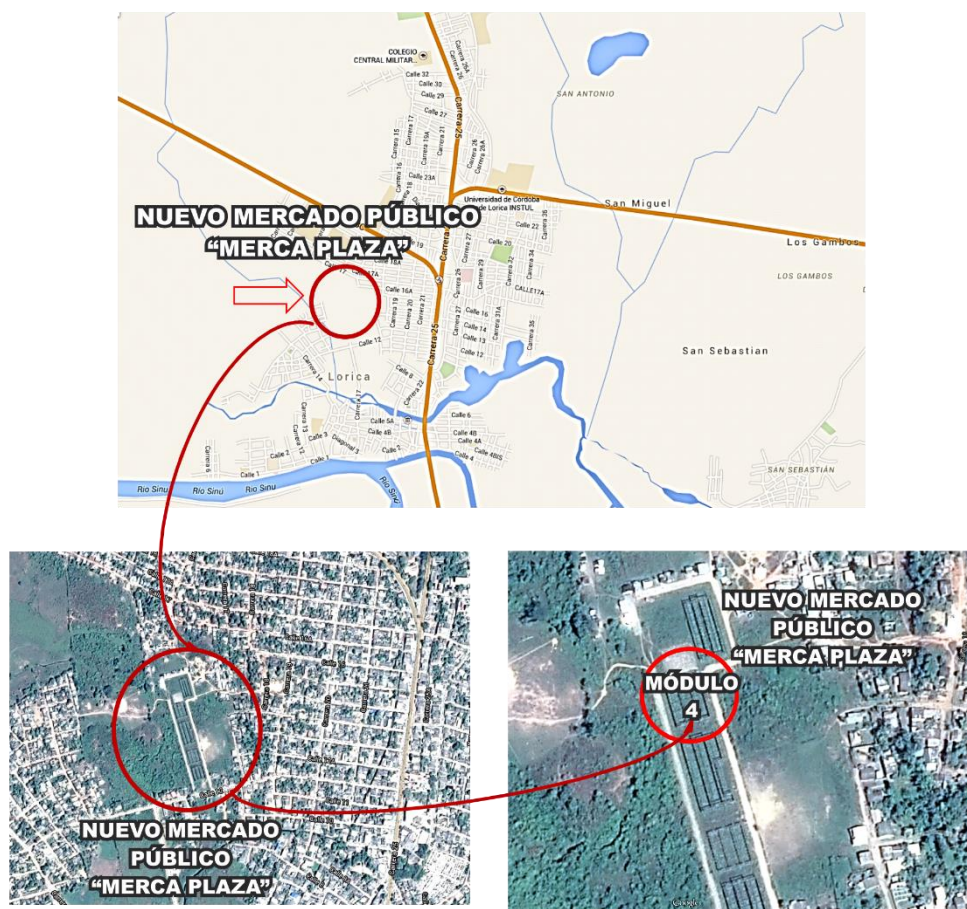


Figura 7 Localización del Módulo de estudio

El módulo se encuentra actualmente en una condición de estructura inconclusa y abandonada. Consiste en un pórtico resistente a momento compuesto por vigas y columnas apoyadas sobre zapatas aisladas. Las dimensiones generales de los diferentes elementos estructurales son: vigas de 0.25x0.35m, columnas de 0.3x0.3m y zapatas 1.6x1.6m. Adicionalmente posee una placa a nivel de mezanine, correspondiente a la entrada principal del módulo. Al igual que los módulos vecinos, este no posee cubierta ni elementos no estructurales como: muros, acabados o fachadas.

La información general del paciente se puede encontrar en la siguiente tabla:

DATOS GENERALES DEL PACIENTE	
NOMBRE DE LA OBRA:	Módulo 4 Merca plaza
LOCALIZACIÓN (País, ciudad, etc.).	Santa cruz de Lorica (Córdoba)
DIRECCIÓN:	Calle 12 entre carreras 15 y 16
BARRIO:	Nuevo oriente
PROPIETARIO:	Administración municipal de lórica-córdoba
USO ACTUAL:	Abandono total
USO PREVISTO:	Plaza de mercado
CON VOLADIZOS Y BALCONES	Sin voladizo ni balcones
FECHA DE CONSTRUCCIÓN:	Aproximadamente 1997 (21 años)
IMPORTANCIA (Edif. Histórico, edif. Público, teatro, etc.).	Edificio público de uso comercial
NORMATIVA (Técnica, Urbana, etc.). Aplicada según la fecha de construcción.	De acuerdo al año de construcción, pudo ser diseñada y construida mediante la aplicación del decreto 1400 de 1984 (Primer código de construcción sismo resistente=
CUBIERTA:	Sin cubierta
VIGAS, COLUMNAS Y LOSAS:	Mixta entre pórticos viga/columna y pórticos en concreto reforzado. Presenta discontinuidades de elementos estructurales

SISTEMA ESTRUCTURAL	Pórticos resistentes a momento de concreto reforzado tanto para cargas gravitacionales, como para el sistema de resistencia sísmica y resistencia de cargas de viento.
TUBERÍAS SANITARIAS SUBTERRANEAS	Sin acometidas
FACHADA:	Solo estructura en concreto reforzado
MUROS INTERNOS:	Sin mampostería
CIMENTACIÓN:	Zapatas aisladas
TIPO DE TRANSFORMACIÓN:	Sin transformaciones
FECHA DE REALIZACIÓN:	1997
LOCALIZACIÓN DE LA TRANSF.	Se observan puntos de la edificación con anomalías técnicas que permiten diferenciar posibles etapas constructivas.
ALCANCES DEL ESTUDIO (con o sin ensayos destructivos, aplica que tipo de análisis de vulnerabilidad)	El estudio comprenderá la realización de ensayos destructivos y no destructivos que sean necesarios para lograr un diagnóstico. Aplica la realización de estudio y análisis de vulnerabilidad, así como la propuesta y evaluación de la alternativa de tratamiento viable.
INFORMACIÓN A RECOPILAR:	La edificación no cuenta con información técnica registrada en planos, por lo cual se verificará la información en sitio. Dentro del estudio se deberá realizar el levantamiento arquitectónico y estructural. Se recopilarán estudios de suelos de edificaciones vecinas ya que estos no se contemplan dentro del TPI
PERMISOS NECESARIOS:	Del propietario

Tabla 1 Datos generales del paciente de estudio

Condiciones generales del entorno

El municipio de Santa Cruz de Lorica está en el sector norte del departamento de Córdoba. Se encuentra alrededor de 7 m.s.n.m., donde posee una temperatura promedio de 28°C (SANTA CRUZDE LORICA-HISTORIA, 2014), una precipitación anual promedio de 1200mm (CLIMATE-DATA.ORG, 2015, pág. s.n) y una humedad relativa promedio entre el 80 % y el 90%.

Al encontrarse con una cercanía de aproximadamente 30km del borde costero y sumando la alta humedad relativa de la zona, se puede considerar el entorno como altamente agresivo. Esto es especialmente perjudicial para la durabilidad de los elementos estructurales compuestos de concreto armado. Adicionalmente se puede prever cierto grado de inundaciones en época de lluvia sobre la zona, debido a la planicie, baja altura del terreno sobre el que se encuentra la estructura y ausencia de sistemas de recolección y transporte de aguas lluvias.

Todo lo mencionado con anterioridad, generará una afectación en el aspecto y funcionalidad de la estructura, así como la durabilidad de los elementos, y puede llegar a afectar la resistencia de estos, lo que llegará a comprometer la seguridad de sus usuarios.

Antecedentes

En el mes de abril del 2014, se llevaron a cabo dos estudios de patología preliminar sobre los módulos 1, 2 y 3 del nuevo mercado público “Merca Plaza”. Los cuales fue llevado a cabo por el Fondo Financiero de Proyectos de Desarrollo (FONADE) y el municipio de Lorica, a petición de la administración de ese periodo. Se cuenta con un informe adicional del estudio de suelo, correspondiente a esos módulos vecinos o adyacentes.

Para ese año, el gobierno nacional a través del Departamento para la prosperidad Social – DPS, apropió un recurso aproximado de \$5.000 millones, con el cual presentaría diseños arquitectónicos e hidrosanitarios para retomar la estructura existente y darle terminación al proyecto. Sin embargo, no se poseían estudios previos de la condición actual de las estructuras, en términos de patología y vulnerabilidad.

Según lo dicho en el párrafo anterior y con base en los recursos apropiados, se priorizó la ejecución del proyecto en los módulos 1 y 2, para lo cual se realizaron dos estudios de patología preliminar (realizado por FONADE) y profunda (realizado por el municipio) a dichos módulos. De estos informes la alcaldía determinó que la mejor solución era realizar una demolición de las

estructuras existente y reconstruir el nuevo espacio público. No obstante, no se realizó un estudio detallado de las alternativas de tratamiento, como intervenciones, o reforzamientos para una posible rehabilitación de los módulos existentes. (FONADE, 2014, pág. 40)

A continuación, se presentan los resultados de dichos estudios:

Evaluación Patológica

- o *Corrosión:* Se encontró evidencia de agrietamientos y desprendimientos del concreto, generados por la acción expansiva del acero. Se calificó la lesión general en la estructura como severa y con afectación al aspecto, durabilidad o servicio y resistencia.
- o *Fisuras por flexión:* Se evidenciaron fisuras en la parte superior de las vigas aéreas, localizadas en la zona adyacente a los nudos. Generadas por esfuerzos negativos sobre el concreto. Se catalogaron como severas.
- o *Oquedades:* Generadas por la falta de compactación del concreto, catalogadas como severas.
- o *Manchas por escurrimiento:* Afectan el aspecto y servicio o durabilidad del concreto, se catalogaron como moderadas.
- o *Erosión por materiales abrasivos:* Estas lesiones fueron principalmente encontradas en los pedestales de las vigas aéreas de apoyo. Se encontró que la zona sufre de inundaciones periódicas y que afectan directamente la durabilidad del concreto. Se catalogó como Severa
- o *Desalineamientos:* Existe una pérdida de alineación vertical y horizontal de los elementos estructurales, los cuales se generaron durante el proceso constructivo. Se catalogaron como moderadas.

Ensayos Realizados

- o *Esclerometría:* Se realizaron 12 ensayos, que corresponden a 8 en columnas y 4 en vigas. Existió un alto descarte de los datos (8), debido a la alta dispersión de los datos. Esto se explica debido al sobretamaño de los agregados encontrados durante la inspección. Se dedujo, dada la información ya mencionada, que el índice de rebote no permite correlacionar la homogeneidad del concreto de las estructuras.
- o *Ferrosan:* Se encontró que el recubrimiento se encontró entre 40 y 50mm, el cual cumple con lo descrito en la sección C.7.7.1 de la NSR-10. Por lo que no se consideró el recubrimiento como un problema que pueda afectar la durabilidad de los elementos estructurales. Sin embargo, los problemas encontrados por corrosión indicaron que su procedencia se debe a una baja compactación del concreto.
- o *Carbonatación:* La profundidad del frente de carbonatación, es tal que se ve comprometida la pasivación del refuerzo. Se encontró que cerca del 95% de los ensayos realizados poseen un alto avance del frente de carbonatación.

Del estudio realizado por la alcaldía se encontraron los siguientes resultados:

ELEMENTO	CONSTANTE DE CARBONATACIÓN (mm/año)	RESISTENCIA A LA CARBONATACIÓN	ELEMENTO	CONSTANTE DE CARBONATACIÓN (mm/año)	RESISTENCIA A LA CARBONATACIÓN
Regata columna A-1	9.39	Baja	Regata columna A1	12.30	Baja
Regata viga A 1-2	10.06	Baja	Regata columna A-5	10.06	Baja
Regata columna A-5	7.16	Baja	Regata columna A-8	13.42	Baja
Regata columna A-12	11.18	Baja	Regata viga D 2-3	4.47	Alta
Regata viga A 11-12	12.30	Baja	Regata columna E-1	8.94	Baja
Regata viga 12 A-B	7.83	Baja	Regata columna D-8	13.42	Baja
Regata columna E-1	10.06	Baja	Regata viga D 10-11	10.06	Baja
Regata columna I-1	10.06	Baja	Regata viga 8 F-I	10.06	Baja
Regata columna D-5	8.94	Baja	Regata viga 12 M-N	5.59	Alta
Regata columna D-8	7.83	Baja	Regata columna J-12	11.18	Baja
Regata viga G 2-3	19.01	Baja	Regata viga 5 I-K	6.71	Baja
Regata columna G-5	6.71	Baja	Regata columna N-12	11.18	Baja
Regata columna I-8	10.06	Baja	Regata viga K 6-7	7.83	Baja
Regata viga I 3-4	14.53	Baja	Regata columna N-9	14.53	Baja
Regata columna K-12	6.71	Baja	Regata viga 5 K-N	6.71	Baja
Regata viga 12 L-N	8.94	Baja	Regata columna K-1	14.53	Baja
Regata viga superior 1 A-D	14.53	Baja	Regata viga superior 1 A-D	13.42	Baja
Regata viga superior 5 D-G	13.42	Baja	Regata viga superior 5 D-F	12.30	Baja
			Regata viga superior 8 D-F	16.77	Baja
			Regata viga superior 12 A-D	14.53	Baja

Tabla 2 Resultados de Carbonatación para módulos 1 y 2 (BENEDETTI, 2014, pág. 25)

- o *Extracción de núcleos:* Se realizó la extracción de 58 núcleos de 3” de diámetro. En las zapatas se encontró una resistencia a la compresión promedio de 5000psi (34Mpa), tomada de la extracción de 5 núcleos. Se tomaron 19 núcleos de las columnas, donde cerca del 85% de las muestras poseían una resistencia superior a 3000psi (21Mpa). Para las vigas, aproximadamente, el 26% de las muestras poseían una resistencia superior a 3000psi (21Mpa).

Los resultados de este estudio se condensaron en las siguientes tablas, para efectos de contar con los antecedentes sobre la calidad de los concretos empleados en las estructuras, que presumiblemente fueron construidas por el mismo contratista de obra, iguales materiales y mismo periodo de tiempo.

ELEMENTO	LOCALIZACIÓN	RESISTENCIA OBTENIDA (PSI)	RESISTENCIA OBTENIDA (MPA)
ZAPATA	A-1	5136,24	35,41
	G-5	5246,33	36,17
	I-8	5659,87	39,02
	A-5	2502,85	17,26
	D-5	6530,12	45,02
COLUMNA	A-1	2797,09	19,29
	D-1	1931,04	13,31
	I-8	2155	14,86
	A-6	3949,05	27,23
	A-12	4421,58	30,49
	D-8	5033,5	34,70
	D-5	5948,79	41,02
	G-5	3735,08	25,75
	I-1	3588,96	24,75
	I-8	3284,71	22,65
	Ñ-5	3955,66	27,27
	K-12	3658,22	25,22
	A-1	3510	24,20
	A-5	3201	22,07
	N-6	4822	33,25
	A-12	3701	25,52
	D-8	3234	22,30
	D-5	3629	25,02
	E-1	3805	26,23
VIGA	A1-2	2649	18,26
	A4-5	2345	16,17
	A11-12	1948	13,43
	12A-B	2352	16,22
	G1-3	1322	9,11
	L9-10	2534	17,47
	Ñ7-8	2771	19,11
	L6-7	2334	16,09
	12L-M	2524	17,40
	1A-D	2259	15,58
	5D-G	2572	17,73
	8I-L	2310	15,93
	12L-Ñ	1558	10,74
	A2-3	2425,81	16,73
	5A-C	2900,34	20,00
	A6-7	2420,26	16,69
	A9-10	2405,56	16,59
	A11-12	2827,27	19,49
	D10-11	2354,74	16,24
	D6-7	2473,86	17,06
	D2-3	2505,23	17,27
	F6-7	2315,03	15,96
	5I-K	2425,81	16,73
	12A-D	2623,17	18,09
	8D-F	2755	19,00
	I3-4	3027	20,87
	L4-5	3367	23,21
	8J-K	3477	23,97
	A1-2	5783,2	39,87
	N6-7	3492	24,08
	I9-11	3097,69	21,36
	1K-M	3602,79	24,84
	I6-7	3331,18	22,97
	12L-M	5878,9	40,53

Tabla 3 Resultados de núcleos para módulos 1 y 2 (BENEDETTI, 2014, págs. 19-22)

De los datos previamente mostrados, se puede obtener la siguiente información o análisis:

RESISTENCIA	PSI	MPA
PROMEDIO (ZAPATAS)	5015,08	34,58
PROMEDIO (COLUMNAS)	3703,19	25,53
PROMEDIO (VIGAS)	2793,14	19,26
PROMEDIO GENERAL (VIGAS-COLUMNAS)	3119,39	21,51
DESVIACIÓN ESTANDAR (ZAPATAS)	1507,53	10,39
DESVIACIÓN ESTANDAR (COLUMNAS)	936,3	6,5
DESVIACIÓN ESTANDAR (VIGAS)	917,6	6,3
DESVIACIÓN ESTANDAR GENERAL (VIGAS-COLUMNAS)	1015,845	7,004
COEFICIENTE DE VARIABILIDAD (ZAPATAS)	0,301	
COEFICIENTE DE VARIABILIDAD (COLUMNAS)	0,253	
COEFICIENTE DE VARIABILIDAD (VIGAS)	0,329	
COEFICIENTE DE VARIABILIDAD GENERAL (VIGAS-COLUMNAS)	0,326	

Tabla 4 Coeficiente de variabilidad de los datos obtenidos

De esta tabla se puede determinar un relativo alto grado de variabilidad entre los datos obtenidos de la extracción de núcleos. Se puede apreciar cerca de un 30% de variación de resistencia del concreto obtenido. Esto ayuda a demostrar la carencia de uniformidad que se encontró durante el ensayo de esclerometría.

La resistencia de las zapatas presentó datos positivos. Sin embargo, para el caso de las vigas a pesar de contar con una edad superior a los 20 años, no alcanzaron a obtener una resistencia esperada de 21MPa. Al verificar el promedio de resistencia, para todo el grupo de elementos estructurales tipo columna y vigas, se obtiene que supera los 21 MPa en un 3%.

En el estudio realizado por la alcaldía para los módulos 1 y 2, no se realizó un análisis de vulnerabilidad estructural. No obstante, con los datos obtenido se puede deducir la resistencia de concreto que se pudo implementar en dicho análisis. El valor sería tomado como el f_c del elemento menos su desviación estándar, lo que permite obtener un análisis que tienda a parámetros de

seguridad. De lo anterior se optarían las siguientes resistencias: 19 Mpa para columnas, 13 Mpa para vigas y 24 Mpa para zapatas.

Estudio geotécnico:

Para llevar a cabo el diseño del nuevo mercado de Lorica en su nueva fase, la administración municipal realizó un nuevo estudio geotécnico para los módulos 1 y 2, el cual se considera válido para aplicar en el TPI. Los resultados principales de ese estudio son los siguientes:

- o *Geología:* El municipio de Lorica se encuentra entre 3 regiones geotécnicas: Cinturón de San Jacinto, Anticlinorio de San Jerónimo y Cinturón del Sinú. (Sandoval, 2014).
- o *Parámetros sísmicos:* El municipio, según la NSR-10, se encuentra ubicado en una zona de amenaza intermedia y con un perfil de suelo Tipo E.
- o *Sondeos:* Se realizaron 4 sondeos a aproximadamente 7 metros de profundidad, donde en uno de los cuatro, se encontró el nivel freático a 1 metro de profundidad.
- o *Licuação:* Se descarta la probabilidad de licuação en el suelo, ya que el material presentado en los sondeos, corresponden principalmente a materiales finos, donde el 90% pasan el tamiz N°200.
- o *Expansividad:* Existe una alta susceptibilidad a la expansión del suelo evaluado, “...al no presentar un estado de saturación completa, que garantice una fluctuación tolerable en el contenido de humedad.” (Sandoval, 2014, pág. 14)
- o *Suelos colapsables:* Existe la presencia de suelos con potencial de colapso, para los sondeos realizados, donde en algunos casos se encuentra por encima del nivel de desplante de la cimentación.



Figura 9 Delaminaciones o desprendimiento del concreto de recubrimiento por corrosión del refuerzo y esfuerzo mecánico antrópico



Figura 10 Acero de refuerzo expuesto y oxidado/corroído

De toda la información obtenida mediante la observación visual del Módulo, se digitalizó y consolidaron dos aspectos importantes: la tabla de calificación de lesiones y los planos de

levantamiento patológico. Esta información se encuentra en los planos “Calificación lesiones PL-01 a 07”, contenidos en el APÉNDICE 3. Un ejemplo de lo mencionado anteriormente se puede observar en las siguientes figuras:

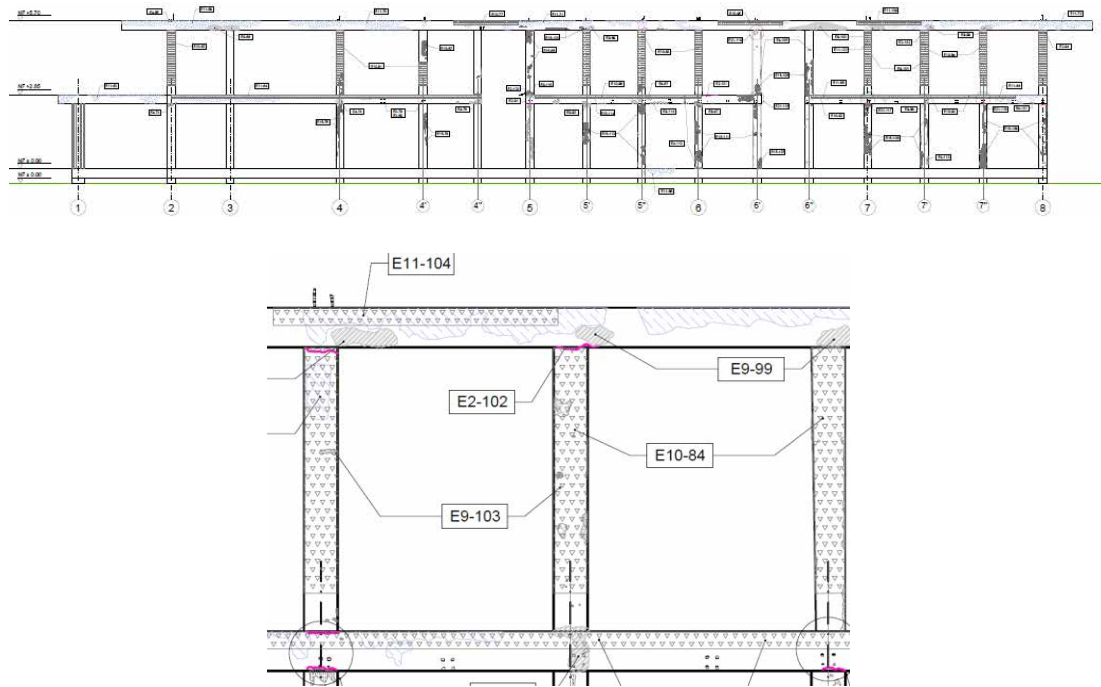


Figura 11 Planos de levantamiento de lesiones

Código de lesión	Consecutivo de lesión	Localización	Eje1	Eje 2	Severidad	Afectación de la lesión			Magnitud aproximada			Causa probable				
						Resistencia o capacidad	Servicio, funcionalidad o durabilidad	Aspecto o confort	Medida 1 (mm)	Medida 2 (mm)	Área afectada (%)	Física	Mecánica	Química	Lesión previa	Indirecta
E11	1	C	A		Moderado		1	1	250	3300	80%	1				
E11	2	C	2		Moderado		1		250	1650	60%	1				
E11	3	C	4		Moderado	1	1		250	1654	60%	1				
E11	4	C	6		Moderado	1	1		250	821	90%	1				
E11	5	C	8		Moderado	1	1		280	2622	90%	1				
E11	6	C	B		Moderado	1	1		250	3870	10%					
E18	7	C	C		Moderado	1	1		9770	250	10%		1			
E18	8	C	4		Moderado	1	1		4680	250	10%		1			
E18	9	C	4		Moderado	1	1		4680	250	5%		1			
E10	10	C	D		Moderado			1	6230	250	80%					
E18	11	C	D		Moderado	1	1		6230	250	10%		1			
E18	12	C	2		Moderado	1	1		250	4670	50%		1			
E10	13	C	0		Moderado			1	250	6230	10%					
E3	14	C	1		Moderado		1	1	4480	250	10%	2		3		1
E18	15	C	1		Moderado		1	1	4480	250	5%		1			
E18	16	C	1		Moderado		1	1	4480	250	20%		2		1	
E11	17	C	6		Moderado		1		250	1640	90%	1				
E11	18	C	B		Moderado		1		250	2722	80%	1				
E11	19	C	E		Moderado		1		250	3350	80%	1				
E11	20	C	5		Moderado		1		250	2622	80%	1				
E11	21	C	7		Moderado		1		250	2622	80%	1				
E11	22	C	F		Moderado		1		3349	250	70%	1				
E18	23	C	1		Moderado		1	1	250	4480	20%		2		1	
E3	24	C	1		Moderado		1	1	250	4480	10%	2		3		1

Tabla 5 Ficha de calificación de cada una de las lesiones consolidada

Resultados generales frente a las lesiones encontradas

A partir del levantamiento y calificación de síntomas y lesiones, se obtiene el panorama general de afectaciones visibles de la estructura.

Inicialmente en este documento se analizan los resultados generales obtenidos, permitiendo obtener un diagnóstico de la situación actual de las estructuras, desde varios puntos de vista. Este análisis se lleva a cabo, mediante el parámetro de extensión del daño, que muestra cuanta área aproximadamente presenta algún tipo de lesión, daño o síntoma visible.

Para la nomenclatura de los elementos inspeccionados, se aclara lo siguiente: las caras o vistas de las vigas aéreas en la base se denominan C, las caras o vistas de las vigas del segundo y cubierta se denominan P2 y P3 respectivamente, las columnas se denominan CO y la placa como Placa P2.

La extensión del daño superficial general (sin clasificar en tipo de afectación) para toda el área afectada del Módulo 4 es del 75,43%. En general el módulo presenta un porcentaje muy elevado, con lo cual se puede catalogar o clasificar con una condición muy deficiente. Posteriormente se analizará la extensión del daño con respecto a los criterios de tipo de afectación (estético, servicio, durabilidad y resistencia).

Los elementos que presentaron el mayor porcentaje (%) de daño, corresponde a las vigas del segundo piso y de cubierta, y a la placa de concreto. Este porcentaje oscila entre el 89% y el 100% de las áreas observadas. Sin embargo, es importante recalcar que no existió elemento evaluado, donde por lo menos el 50% de su área no estuviese afectada por algún tipo de lesión.

Se mostrará a continuación los códigos de lesión y sus respectivos nombres, donde solo se mostrarán aquellas lesiones que fueron encontradas durante la inspección:

Tipo de lesión	Nombre de la lesión
E2	Fisuras
E3	Aceros descubiertos y/o oxidación
E4	Oquedades u Hormigueros
E5	Alteración en forma y/o dimensión de elementos estructurales
E9	Resanes o reparaciones estructurales no conformes
E10	Otros defectos de instalación o fabricación de elementos estructurales
E11	Humedades
E13	Corrosión
E15	Erosión por agente atmosférico
E18	Desprendimientos o delaminaciones
E21	Desalineamientos
E26	Otras lesiones estructurales

Tabla 6 Nomenclatura de las lesiones observadas

En las siguientes figuras se puede visualizar el daño total del módulo y la discriminación de porcentaje daños o lesiones por cada tipo de elemento con respecto al daño total observado y se compara con el porcentaje de área que le corresponde a cada elemento específicamente.

Por ejemplo, para el Módulo 4, se tiene un porcentaje de área con lesiones o daños del 75.4% con respecto a su área total superficial (100%); del mismo modo, se identifica que los elementos CO cuya área superficial representa el 19.7% con respecto a toda el área del módulo, tienen una extensión del daño del 9.8% frente al área total de daño observada en toda la estructura.

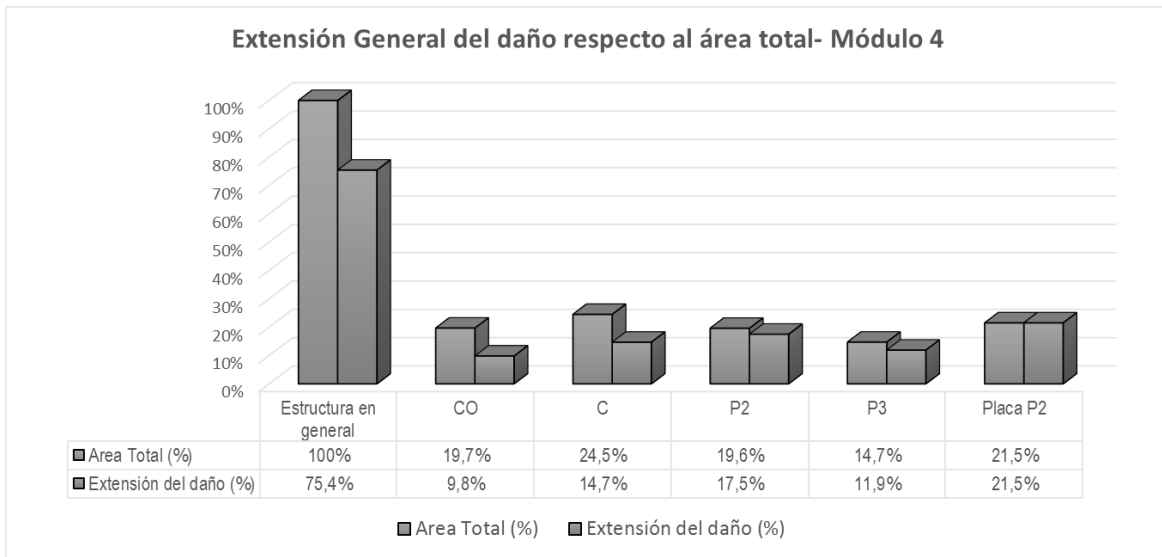


Figura 12 Extensión general del daño respecto al área total del Módulo

Frente al daño analizado desde los diversos criterios de calificación utilizados en el estudio se obtienen los siguientes resultados.

En primera instancia, se analiza el daño relacionando la lesión con respecto al tipo de afectación que puede generar, es decir, confort, aspecto, servicio, funcionalidad, durabilidad y resistencia o capacidad. Los datos mostrados corresponden a la extensión del daño por cada criterio con respecto al área total del Módulo.

En la siguiente figura se puede observar el análisis por tipo de afectación para el caso del Módulo en general, encontrando que la afectación por aspecto o confort es del 24%, el impacto a las condiciones de durabilidad alcanza el 73% y la afectación a la resistencia - capacidad alcanza el 45% debido a las lesiones existentes.

Esto indica que existe un porcentaje de daño general de cierta magnitud, donde las lesiones están afectando el parámetro principal de la estructura correspondiente a su resistencia y que, además, hay una alta afectación a la durabilidad (73%), por lo cual necesariamente se requiere una intervención asociada a estas lesiones.

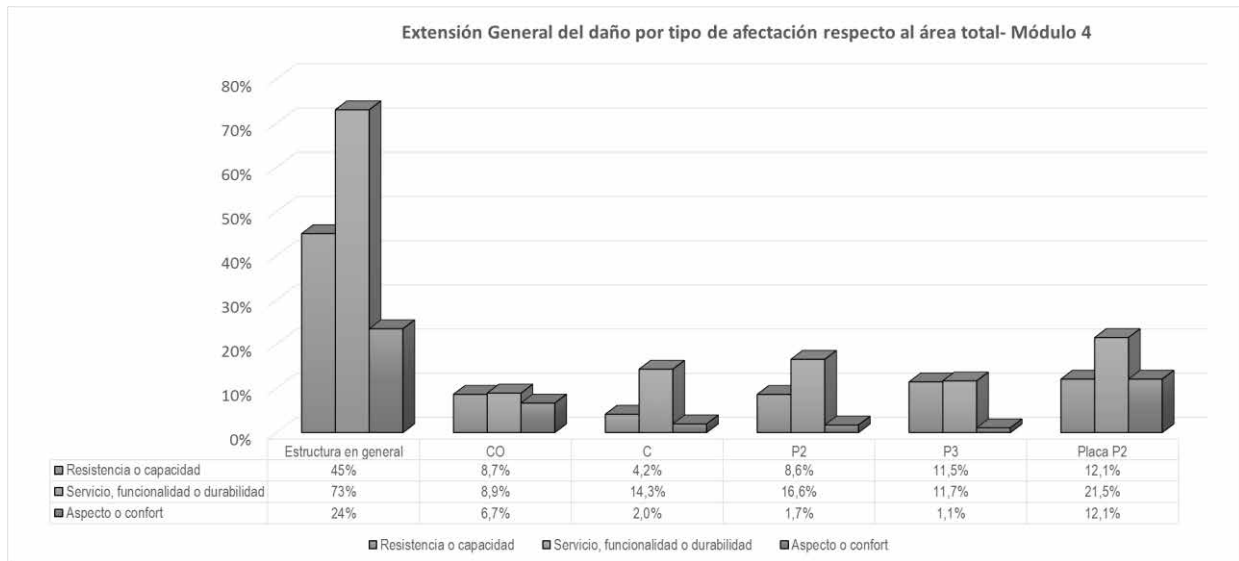


Figura 13 Extensión general del daño por tipo de afectación respecto al área total del Módulo

Como puede notarse, la afectación para los parámetros de resistencia y durabilidad son prominentes, situación que se debe a un daño evidente encontrado en la gran mayoría de los elementos estructurales inspeccionados.

Con respecto al grado de severidad de las lesiones encontradas en el módulo, se obtiene que el 66% y 7% se catalogaron como moderadas y severas respectivamente, es decir que más de un 73% del daño general evidenciado presenta un grado de severidad que amerita atención y algún tipo de intervención. Al verificar la severidad de las lesiones a nivel de cada elemento de la estructura, se resalta la Placa P2, cuyos porcentajes de afectación por encima del grado moderado corresponden al 21%.

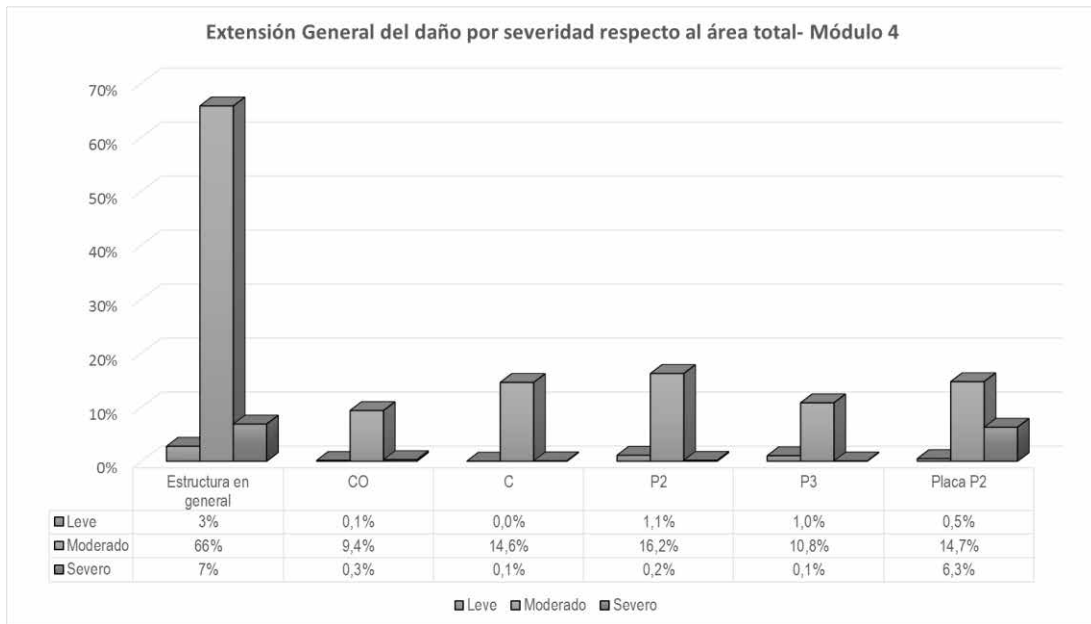


Figura 14 Extensión general del daño por grado de severidad respecto al área total del Módulo

Luego, conviene analizar la extensión del daño, con respecto a la causa o causas probables asociadas, con la que se calificó cada lesión. A partir de dicho tamizaje, se obtiene que sin importar el conjunto de datos que se analice, la causa física corresponde a la causa más probable asociada al daño. Le siguen en orden de magnitud la causa indirecta y mecánica.

Como se mencionó en el párrafo anterior, la causa predominante, a nivel general, es la física con un porcentaje de afectación (%) del 54,5%, que corresponde lesiones que afectan más predominantemente la durabilidad de los elementos estructurales. A esta causa le sigue la indirecta, con un porcentaje (%) de 17,3%, que indican deficiencias y defectos durante el proceso constructivo del módulo.

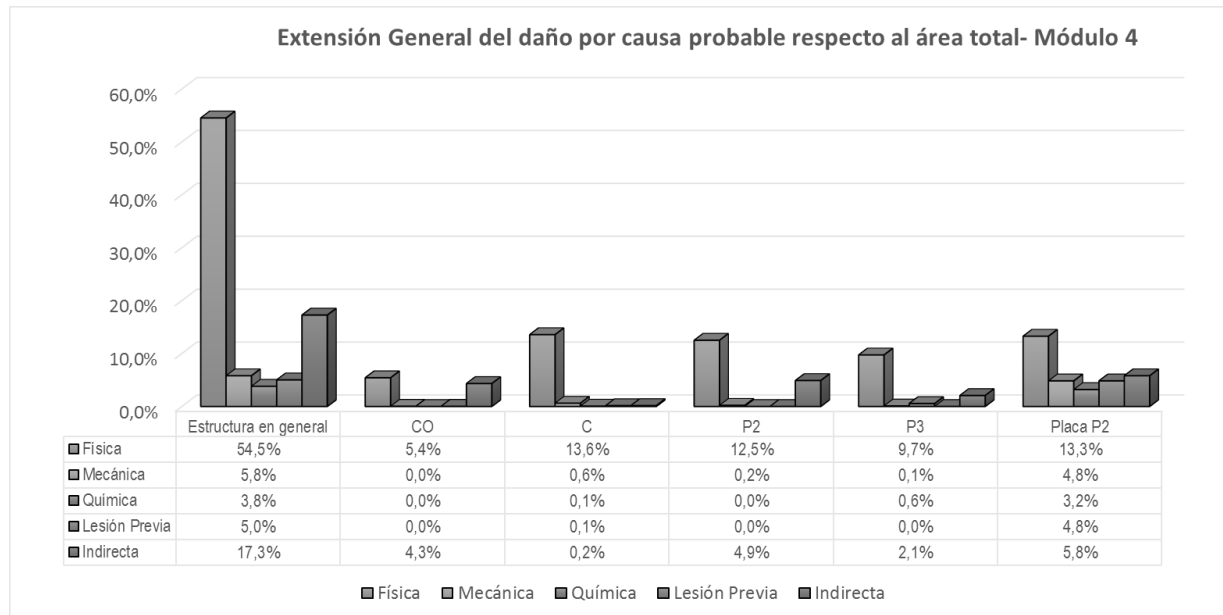


Figura 15 Extensión general del daño por causa probable respecto al área total del Módulo

Ahora es pertinente observar la distribución y número de lesiones encontradas en las estructuras, independientemente de la extensión del daño, aspecto que se analizó previamente.

En el Módulo 4 se detectaron 364 lesiones, de las cuales aproximadamente un 70% se catalogó como moderadas o severas, ratificando las conclusiones obtenidas anteriormente frente a la necesidad de intervenir la estructura, para garantizar su durabilidad o vida útil.

% de lesiones observadas según grado de severidad- Módulo 4		
Grado de severidad	Nº Lesiones	% sobre el total
Leve	71	19,5%
Moderada	252	69,2%
Severa	41	11,3%

Tabla 7 Porcentaje (%) y número de lesiones observadas según grado de severidad- Módulo 4

En la siguiente figura se observa que la mayor cantidad de lesiones catalogadas como moderadas y severas se concentraron en la Placa y en las vigas aéreas.

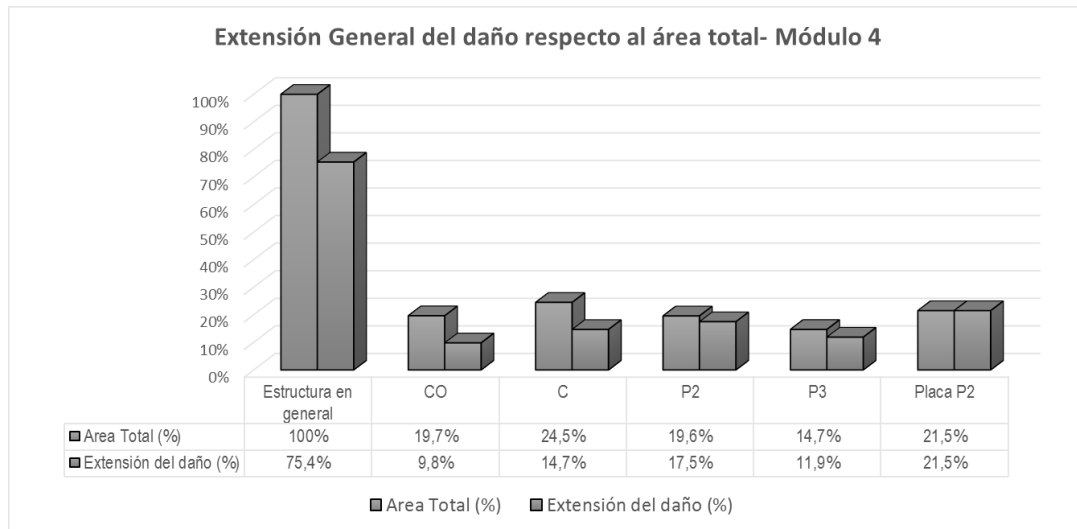


Figura 16 Porcentaje (%) de lesiones observadas según grado de severidad- Módulo

Con la información obtenida con el tamizaje de las lesiones, se verifican cuales corresponden a las más concurrentes y que afectan la estructura. Para el módulo en general, las lesiones más predominantes fueron las humedades y la erosión por agentes atmosféricos, esto permite confirmar que las lesiones encontradas afectan directamente la durabilidad de los elementos estructurales. Las siguientes lesiones que tienen algún impacto o extensión del daño, son los defectos de instalación o fabricación de elementos estructurales y desprendimientos o delaminaciones.

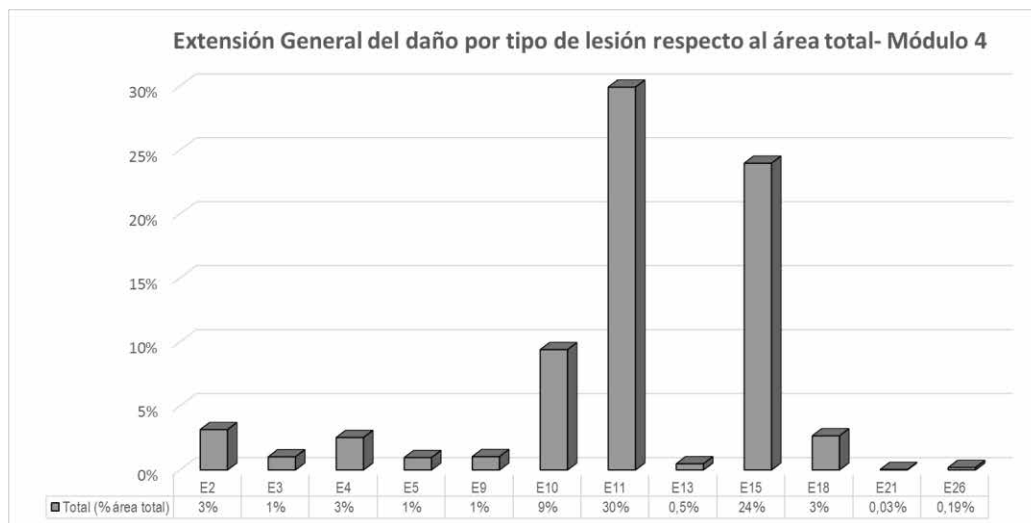


Figura 17 Extensión general del daño por tipo de lesión respecto al área total- Módulo 4

Tipo de lesión	Nombre de la lesión	Total (% área total)	Total (% área afectada)
E2	Fisuras	3%	4%
E3	Aceros descubiertos y/o oxidación	1%	1%
E4	Oquedades u Hormigueros	3%	3%
E5	Alteración en forma y/o dimensión de elementos estructurales	1%	1%
E9	Resanes o reparaciones estructurales no conformes	1%	1%
E10	Otros defectos de instalación o fabricación de elementos estructurales	9%	12%
E11	Humedades	30%	40%
E13	Corrosión	0,5%	1%
E15	Erosión por agente atmosférico	24%	32%
E18	Desprendimientos o delaminaciones	3%	4%
E21	Desalineamientos	0,03%	0,04%
E26	Otras lesiones estructurales	0,19%	0,26%

Tabla 8 Extensión general del daño por tipo de lesión- Módulo 4

Del análisis de las lesiones levantadas y calificadas en campo se resumen las siguientes conclusiones:

Módulo 4:

- Se evidenció un porcentaje bastante significativo de lesiones que afectan la condición de resistencia de la estructura (43%).
- Existe una extensión del daño del 73% que han afectado y continúan afectando actualmente las condiciones de durabilidad.
- Un porcentaje del 73% corresponde a lesiones catalogadas como moderadas o severas y por lo tanto requieren algún tipo de intervención para resolver los problemas que aquejan actualmente a la estructura en los sitios lesionados.
- Las causas de las afectaciones principalmente se originan por la condición de abandono y exposición a un ambiente altamente abrasivo, así como a evidentes defectos durante la ejecución y construcción de los elementos estructurales.
- Las lesiones predominantes que generan la extensión del daño observado corresponden esencialmente a humedades, que a su vez generan erosiones por agente atmosférico. Esa

lesión desencadenó corrosión del acero de refuerzo (aunado al alto grado de despasivación del refuerzo como se explicará en la siguiente sección), lo cual se evidenció en sitio.

- Las lesiones observadas que en total correspondieron a 364, en general afectan o se concentran en la placa, y en las vigas aéreas y en menor proporción en las columnas.
- El porcentaje referente a corrosión es bajo, debido a que se evalúa respecto el porcentaje (%) del área total, lo que obviamente disminuye su porcentaje de participación. En las secciones subsiguientes se evalúa el índice de corrosión realizado a partir de las lesiones encontradas y exploraciones o regatas realizadas, que generan un diagnóstico definitivo de la corrosión del refuerzo de la estructura.
- Debe indicarse que dado los antecedentes y lo encontrado mediante la inspección visual y toma de muestras y ensayos, se puede concluir que el acero de refuerzo tendría un porcentaje considerablemente alto, alrededor del 90 al 100%, el cual se puede considerar como corroído.

Resultados de ensayos y su relación con lesiones, síntomas y causas

Con el fin de determinar las características de los materiales que componen la estructura se realizaron los siguientes ensayos efectuados con recursos propios de los estudiantes que realizaron este TPI. Para el caso de la extracción de los núcleos, se subcontrató una empresa de la zona y los elementos fueron ensayados en la ciudad de Bogotá D.C. Para el ensayo de esclerometría se usó un equipo de propiedad de uno de los estudiantes.

Ensayo	Cantidad
Núcleos de columnas (NC#)	4
Núcleos de vigas (NV#)	3
Esclerómetro Columnas (E#)	16
Esclerómetro Vigas (EV#)	4
Carbonatación	8
Cloruros	2

Tabla 9 Número de ensayos realizados

El plano de localización de los ensayos realizados se puede encontrar en el APÉNDICE 2: “Localización de ensayos PL-01”.

Con respecto a los elementos principales de la estructura de la edificación que conforman los pórticos, en la siguiente tabla se observa la cantidad de columnas y vigas investigadas de la edificación y su porcentaje con respecto al número estimado de elementos existentes.

Elemento	Existentes	Ensayados	% investigado
Columna	60	16	26.67
Vigas	41	4	9.76

Tabla 10 Porcentaje (%) elementos investigados

Con respecto a las zapatas, la edificación cuenta con 32 zapatas aisladas concéntricas, de las cuales se realizaron ensayos a tres (3) de ellas por lo cual el porcentaje de elementos estudiados sería del 9,37%.

A continuación, se mostrará registro fotográfico de los ensayos realizados:



Figura 18 Extracción de núcleos de concreto



Figura 19 Ensayo de esclerometría realizado por los estudiantes



Figura 20 Regata para ensayo de carbonatación



Figura 21 Regata para medición del diámetro del acero de refuerzo



Figura 22 Ensayo para determinación de cloruros

En el presente capítulo se realiza el análisis de los ensayos realizados a los elementos estructurales y se establecen parámetros de evaluación y/o calificación de su estado de conservación, que adicionalmente en etapas subsiguientes sirven como base para establecer el pronóstico de la estructura, su capacidad estructural y el nivel de urgencia para su intervención.

Esclerómetro

El ensayo siguió los lineamientos de la NTC 3692. Para los ensayos con esclerómetro se realizaron en promedio 12 lecturas para cada uno de los sitios donde se realizó dicho ensayo. Esto con el fin de obtener información de la uniformidad del concreto de los elementos estructurales, y si es posible, realizar una correlación de los datos para obtener su resistencia. Se puede apreciar un ejemplo del formato de recolección de datos durante la visita técnica para este ensayo a continuación:

FORMATO DE ENSAYO PARA MEDIR EL NUMERO DE REBOTE DEL CONCRETO ENDURECIDO.
NTC 3692

FECHA VISITA: 16-09-2014 CIUDAD: LORICA

1. IDENTIFICACION DE LA ESTRUCTURA

1.1 NOMBRE PACIENTE: Modulo 4 Mercado Publico

1.2 DIRECCION: Calle 12 entre Cua 15 y 16

1.3 COMPONENTE DE LA ESTRUCTURA A ANALIZAR: Estructura Modulo 4

3. DESCRIPCION DEL CONCRETO

3.1 COMPOSICION (Si se conoce):

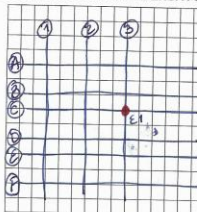
3.2 RESISTENCIA DE DISEÑO:

3.3 EDAD: 20-30 años.

3.4 CONDICION DE CURADO (Si se conoce):

3.5 TIPO FORMALETA (Si se conoce):

2. LOCALIZACION AREA DE ENSAYO



Elemento: Columna

Ejes: 3 C

4. NUMERO DE REBOTE

	1	2	3	4
A	35	28	26	27
B	~~22~~	30	32	~~34~~
C	32	32	27	22
D	30	~~48~~	30	

1er Promedio: 30.3

2do Promedio: 29.8

NOTA:
Descarte las lecturas que difieran del promedio de 10 lecturas en más de 7 unidades y determine el promedio de las lecturas remanentes. Si más de 2 lecturas difieren del promedio en 7 unidades, descarte el conjunto completo de lecturas

Marque así: ☒ los valores descartados

5. TIPO DE MARTILLO Y NUMERO DE SERIE

ESCLEROMETRO ANALOGO MARCA: CONTROLS Model 58-CO181/N
Serial: N°14002982

Figura 23 Ejemplo del formato para el ensayo esclerométrico

La totalidad de los reportes por cada ensayo de medición del índice de rebote se incluye en el apéndice 2.

Este ensayo permite determinar un índice de dureza superficial, se puede calificar directamente la uniformidad de los concretos de los diferentes elementos o componentes de la estructura. Para este caso, es posible verificar que tan variable o no fue la calidad del concreto entre éstos.

Dicha información permite, entre otros aspectos, definir si es posible trabajar para los análisis de durabilidad y capacidad de carga con un solo dato característico para toda la estructura, o si, por el contrario, es necesario definir más de una zona homogénea, como lo recomienda por ejemplo la guía ACI-228.1 R-03 “In place methods to estimate concrete strength”.

En la tabla 11 se observan los resultados de esclerometría según su promedio general, la desviación estándar y el coeficiente de variación.

Se debe considera una corrección de los datos obtenidos durante el ensayo, que por criterio de los autores descarta las lecturas que difieran del promedio de 10 lecturas en más o menos de 7 unidades.

Se observa que el promedio del índice de rebote, corregido, corresponde a 27,05, con una desviación estándar de 5.35 y un coeficiente de variación de 0.2 (20%). Este porcentaje demuestra un valor considerable en cuanto a la uniformidad del concreto, sin embargo, no logra ser tan significativo. Para obtener un análisis simplificado no se considera necesario determinar diferentes zonas homogéneas de concreto dentro del análisis de vulnerabilidad.

Los resultados expresados con anterioridad se reflejan en la siguiente figura:

	Código	Índice de rebote R
COLUMNAS	E1	29,25
	E2	22,25
	E3	34,08
	E4	25,00
	E5	30,83
	E6	28,67
	E7	30,00
	E8	21,70
	E9	31,92
	E10	22,29
	E11	26,25
	E12	34,92
	E13	26,36
	E14	31,14
	E15	18,57
	E16	18,92
VIGAS	EV1	22,73
	EV2	35,92
	EV3	20,75
	EV4	29,53
Promedio (General)		27,05
Desviación Estandar		5,347
Coeficiente de Variabilidad		0,20

Tabla 11 Resultados del ensayo de esclerometría

Se debe considerar un factor adicional de corrección, para implementar dentro de las curvas de correlación del índice de rebote y la resistencia del concreto aproximada. Este factor dependerá de la profundidad de carbonatación que tiene el elemento ensayado. El fenómeno de carbonatación aumenta la dureza superficial del concreto y por ende puede sobre estimar la resistencia a la compresión del elemento hasta en un 50% en caso de utilizar dichos resultados para correlacionar su valor (PROCEQ, 2016, pág. 12). Con lo anterior es necesario determinar un factor de corrección, según lo obtenido de los ensayos de carbonatación.

Es posible determinar el factor para cada caso particular, para lo cual debe tomarse una lectura antes y después de remover la capa carbonatada. Esta condición no pudo realizarse, ya que en la mayoría de los casos la profundidad de carbonatación superaba la profundidad de recubrimiento.

Del párrafo anterior se decide aplicar un factor de corrección de 0.68, según una profundidad de carbonatación promedio de 5 cm basado en la tabla propuesta en Patología Rehabilitación y construcción (2013, pág. s.n).

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

Tabla 12 Factor de Corrección para ensayo esclerométrico

Con esta información se puede realizar una correlación entre el índice de rebote y la resistencia del concreto. Para este estudio se implementaron 3 curvas de correlación, provenientes de: La Universidad Nacional (Gomez Cortes, 1987, págs. 31-38), La Universidad de Nariño (Delgado Estrada & Guerrero Benavides, 2015, pág. 76) y la proveniente del esclerómetro implementado (CONTROLS, 2015, pág. s.n). Obtenidos estos datos, se obtiene la desviación estándar, con la que se obtiene el valor máximo y mínima de la resistencia aproximada del concreto.

Las ecuaciones implementadas fueron las siguientes:

1. Universidad Nacional:

$$0.7506 * e^{0.108 * (\text{índice promedio})} * (\text{Factor de corrección})$$

2. Universidad de Nariño:

$$7.4492 * e^{(0.0357 * (\text{índice promedio}))} * (\text{Factor de corrección})$$

3. Esclerómetro implementado:

$$(1.6567 * \text{índice promedio} - 24.268) * \text{Factor de corrección}$$

Utilizando estas ecuaciones se obtuvo un valor de resistencia promedio, y se obtienen los valores máximos y mínimos determinados mediante la desviación estándar. Se evidenciarán los resultados obtenidos de los ensayos 1 a 4, y los promedios para cada elemento:

	E1	E2	E3	E4
Investigación 1 (Nariño)	14,39	11,21	17,10	12,37
Curva Gabriel Gomez (UN)	12,02		20,26	
Esclerometro controls	16,45	8,56	21,89	11,66
Promedio (Mpa)	14,29	9,89	19,75	12,01
Desviación estándar	2,22	1,87	2,44	0,50
Valor máximo (Mpa)	16,50	11,76	22,19	12,51
Valor mínimo (Mpa)	12,07	8,02	17,32	11,52

Tabla 13 Resistencia aproximada mediante la implementación de una curva de correlación- Esclerometría

Promedio Resistencia- Columnas (Mpa)	13,5
Promedio Resistencia- Vigas (Mpa)	14,7

Tabla 14 Promedio de resistencia para los elementos evaluados- Esclerometría

Por otro lado, se intentó realizar una curva de correlación entre los datos obtenidos entre el ensayo esclerométrico o de medición del índice de rebote y los núcleos extraídos en campo durante este estudio específicamente, que corresponde a la metodología técnicamente más adecuada.

No obstante, no fue posible obtener una curva que permita obtener datos confiables, debido a la baja resistencia y la relativa baja homogeneidad obtenida mediante este ensayo. Adicionalmente los resultados de resistencia obtenidos dan muy por debajo a lo esperado y lo obtenido en los antecedentes, por lo que se decidió implementar la resistencia directamente obtenida a partir del ensayo de extracción de núcleos, como parámetro para el análisis de vulnerabilidad estructural.

Extracción y ensayo a compresión de núcleos de concreto

La extracción y ensayo de núcleos de compresión del concreto se efectúan siguiendo en la medida de lo posible la NTC 3658 “*Método para la obtención y ensayo de núcleos extraídos y vigas de concreto aserradas*”.

Se llevaron a cabo 7 extracciones de núcleos en elementos tipo columna y viga. En el APÉNDICE 2 se adjuntan los resultados de laboratorio de las pruebas a compresión. La ubicación de donde se realizaron los diversos ensayos se puede encontrar en el APÉNDICE 2 “Localización de ensayos PL-01”. Se evidencia dicho plano a continuación:

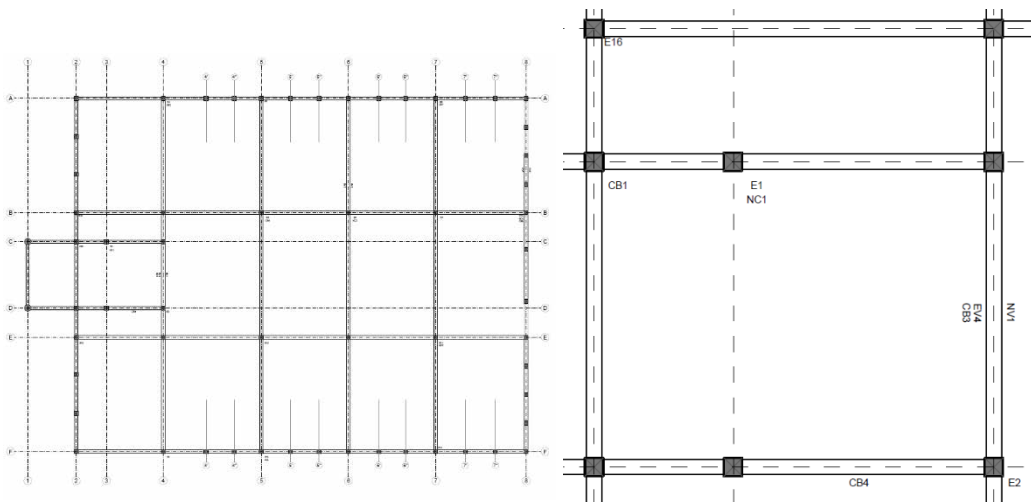


Figura 24 Plano de localización de los ensayos

Como se indicó anteriormente, se realizaron 7 extracciones de núcleos, los cuales fueron debidamente ensayados por la empresa “Diseño Civil Y Estructural Inteligente S.A.S.”.

Para la extracción de los núcleos y la evaluación de la resistencia se aplica lo especificado en C.20.2.3 de la NSR-10 y las recomendaciones de sus comentarios. Con el fin de establecer la resistencia real in situ a la compresión, se aplican los factores de corrección recomendados por la ACI 214.R-10 “*Guide for obtaining cores and interpreting compressive strength results*”.

La expresión necesaria para calcular la resistencia real in-situ equivalente (American Concrete Institute, 2011, pág. 9) es la siguiente:

$$f_c = F_{l/d} F_{dia} F_{mc} F_d f_{core}$$

Las variables que se consideran son:

- $F_{l/d}$ = Longitud diámetro del testigo
- F_{dia} = Diámetro del testigo
- F_{mc} = Contenido de Humedad del testigo
- F_d = Daño del testigo durante la extracción
- F_{core} = resistencia directa a compresión del núcleo sin corregir.

En la Tabla 15 se presentan los resultados arrojados por cada uno de los núcleos, los factores de corrección aplicados y la estimación de la resistencia real in situ equivalente. No se aplica el factor de corrección por longitud diámetro ya que ésta fue aplicada por el laboratorio.

N°	Elemento	Núcleo f_c (Mpa) (Incluye factor $F_{l/d}$)	Altura (mm)	Diámetro (mm)	F (dia)	F mc	F daños	Fc corregido (MPa)	G (Desviación estandar)	Fc-G
NC1	COLUMNA	20	129,2	64,6	1,042	1	1,06	22,1	3,15	18,95
NC2	COLUMNA	14,3	129,2	64,6	1,042	1	1,06	15,8		12,65
NC3	COLUMNA	17,2	222	111	0,987	1	1,06	18,0		14,84
NC4	COLUMNA	19	222	111	0,987	1	1,06	19,9		16,72
NV1	VIGA	14,2	129,2	64,6	1,042	1	1,06	15,7		12,54
NV2	VIGA	20,8	129,2	64,6	1,042	1	1,06	23,0		19,83
NV3	VIGA	21,7	222	111	0,987	1	1,06	22,7		19,54
Promedio f_c sin corregir (General)		18,2	Mpa						Promedio(General)	16,44
Promedio f_c sin corregir (Columnas)		17,6							Promedio(Columna)	15,79
Promedio f_c sin corregir (Vigas)		18,9							Promedio(Vigas)	17,30
Promedio f_c corregido (General)		19,6								
Promedio f_c corregido (Columnas)		18,9								
Promedio f_c corregido (Vigas)		20,5								

Tabla 15 Promedio de resistencia para los elementos evaluados- Esclerometría

Con los resultados obtenidos, se aprecia una resistencia a la compresión ya corregida del concreto de 18.9 Mpa para columnas y 20.5 Mpa para vigas. Para la realización del análisis de vulnerabilidad se implementará una resistencia acorde a parámetros de seguridad, y que consiste

en restar la desviación estándar a la resistencia corregida. De lo anterior se obtienen las siguientes resistencias para implementar en el análisis de vulnerabilidad: 15,8 MPa para columnas y 17,3 MPa para vigas.

Al realizar una comparación entre los valores mencionados y los encontrados en los antecedentes, se pueden concluir dos aspectos. El primero es una disminución en la calidad de los materiales entre los módulos anteriores (Nº 1 y 2) y el de estudio correspondiente al Nº 4.

Una tabla comparativa fue realizada, obteniendo un porcentaje de reducción de resistencia entre los antecedentes y los valores obtenidos en este estudio, la cual se muestra en la tabla 16. Se puede observar de esta tabla, que existe una disminución en la calidad del concreto, siendo los elementos más críticos las columnas, con una disminución del 26% de la resistencia, comparada con los módulos anteriores. Las vigas resultaron siendo las menos afectadas, en términos de resistencia, con una disminución apenas del 4%.

	Antecedente	Estudio	Variación
Elemento	Mpa	Mpa	%
Columnas	25,5	18,9	26%
Vigas	21,3	20,5	4%
Zapata	35	-	-

Tabla 16 Comparación entre resistencias obtenidas en los estudios antecedentes y los obtenidos en este estudio

No fue posible la extracción de núcleos en las zapatas para la realización de la extracción de núcleos. No obstante, para el análisis de vulnerabilidad estructural, se implementará una resistencia de las zapatas de cimentación de 21 Mpa. Este valor fue optado, considerando lo descrito en el título de Antecedentes-Extracción de núcleos, con una resistencia supuesta de 24 Mpa para un posible análisis de vulnerabilidad.

Debido a que existe cierta disminución de calidad en los materiales, se consideró utilizar una resistencia para las zapatas de 21 Mpa. Esto permite tener un mejor factor de seguridad y

consideraría ciertos defectos intrínsecos del material y las deficiencias encontradas referentes al proceso constructivo.

Regatas

Mediante la realización de 10 regatas se realizaron mediciones y recolección de información referente a los siguientes aspectos:

- Tipo, localización, recubrimiento, diámetro y separación del acero de refuerzo.
- Estado de conservación o nivel de oxidación o corrosión del acero de refuerzo.
- Profundidad del frente de carbonatación en el concreto.

Por cada uno de los ensayos se realizó el respectivo registro fotográfico.



Figura 25 Regatas y toma de mediciones realizadas

Carbonatación

La carbonatación en el concreto se puede definir como el proceso que ocurre cuando el dióxido de carbono atmosférico (CO_2) reacciona con la humedad dentro de los poros del concreto y convierte el hidróxido de calcio (con alto pH) a carbonato de calcio que tiene un pH más neutral, lo que ocasiona que el pH general disminuya hasta valores cercanos a neutros (7 - 8).

Se llevaron a cabo 8 mediciones de carbonatación en las regatas realizadas, donde se efectuó la medición de la profundidad del frente de carbonatación, a partir del uso de un indicador del pH del concreto utilizando una disolución al 1% de fenolftaleína en alcohol etílico o en agua destilada.

La zona incolora muestra que el pH se encuentra por debajo de 8 y puede considerarse como totalmente “carbonatada”.

Las zonas que muestran coloración dependiendo de la tonalidad de este, definirán que el pH se encuentra por encima de 9 y 11.5, que, según algunos investigadores, pueden definirse como parcialmente o nada carbonatadas (Chang & Chen, 2006, pág. 1760).

o *Frente de carbonatación*

El concreto originalmente presenta alta alcalinidad lo que promueve la formación de óxidos pasivantes sobre el acero, al efectuarse las reacciones de carbonatación, el acero pierde la protección dejando a la armadura en condición que permiten la corrosión activa.

El proceso se va presentando de forma progresiva desde el exterior hacia el interior del elemento estructural, a una velocidad que depende de varios factores tales como la porosidad, tipo y cantidad de cemento, nivel de compactación, tipo y tiempo de curado, relación agua/cemento y condiciones ambientales (Galán, 2011, págs. 3-5).

En términos generales un concreto presenta una menor velocidad de carbonatación entre mayor sea la resistencia a compresión de este. De otro lado, las condiciones de humedad o ambientales también impactan en mayores o menores velocidades del proceso de carbonatación, ya que el bloqueo parcial de los poros por efecto de la lluvia o humedad atmosférica impide el avance del CO₂.

En la Figura 26 se observan las relaciones anteriormente acotadas, comparando la tasa o velocidad de carbonatación con la resistencia y la exposición ambiental (Galán, 2011, pág. 121). Se observa que a mayor resistencia menor tasa, y que los elementos situados en exteriores protegidos a la lluvia, tienen mayor velocidad que exteriores no protegidos o elementos en el interior de la edificación.

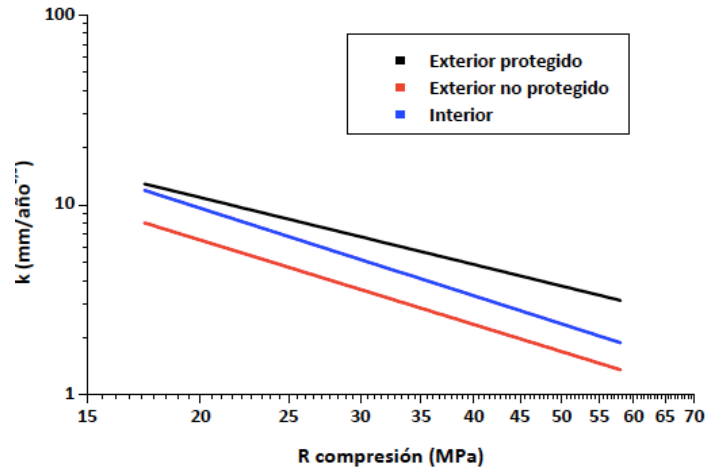


Figura 26 Velocidad de Carbonatación vs. Resistencia a la compresión del concreto

Para el caso de estudio, se resalta que los elementos estructurales siempre se han encontrado en ambiente exterior no protegido.

o Profundidad de carbonatación

Para la edificación se efectuaron las medidas de profundidad carbonatación en 8 regatas, lo que permite obtener información técnica suficiente para caracterizar el estado de la estructura frente a dicho agresor. Así mismo, considerando la edad de la edificación se puede calcular la velocidad de carbonatación para cada sector, nivel de la edificación, tipo de elemento y en general para la estructura en su conjunto.

En el APÉNDICE 2, se observan los resultados de profundidad del frente de carbonatación para cada ensayo realizado, donde se evidencia una profundidad que supera al recubrimiento en 6 de los 8 ensayos realizados. Lo que permite confirmar la presencia de un proceso de corrosión general sobre la estructura.

De los ensayos realizados, se puede constatar un ejemplo del registro fotográfico, así como una tabla resumen de lo encontrado.



Figura 27 Registro fotográfico- Ensayo de carbonatación

En la tabla 17, se aprecia el resultado del ensayo de medición de frente de carbonatación o pérdida de pH. Se encontró que en el 75% de los casos, la afectación había superado el recubrimiento disponible del acero de refuerzo y en los dos casos restantes, el frente de carbonatación estaba a menos de 10 mm del refuerzo.

Carbonatación	
Ensayo	mm
1	43,75
2	54
3	>60
4	38
5	>50
6	35
7	>60
8	>60

Tabla 17 Profundidad de carbonatación- Módulo 4

De lo observado en campo y lo obtenido de los ensayos de carbonatación implementados, es posible confirmar el deterioro y afectación de la durabilidad presente de los elementos estructurales del Módulo 4.

No se considera necesario realizar los análisis correspondientes a la velocidad de carbonatación, así como la estimación de la vida residual de la estructura, ni análisis complementarios, debido al estado de avance de este proceso que indican que la vida útil de la estructura por agresor tipo CO₂ (según las definiciones contenidas en la NTC 5551) ya fue superada y que el periodo de propagación del daño por fenómeno de corrosión ya se encuentra avanzando, como se pudo comprobar mediante la inspección visual y ensayos realizados.

Cloruros

Se intentó implementar un ensayo para verificar la presencia de cloruros en el concreto, a partir de un indicador mediante Nitrato de plata, el cual marca el frente de ataque con un color blanco o lechoso, sin embargo, no se obtuvo información alguna que fuera de utilidad, ya que no se presentó coloración alguna como se observa en las siguientes imágenes.



Figura 28 Registro fotográfico- Ensayo de cloruros

Estado del acero de refuerzo

Se define la corrosión como la reacción química o electroquímica entre un material, usualmente un metal y su medio ambiente, que produce un deterioro del material y de sus propiedades (NRMCA, 2014, pág. 1). El mecanismo de la corrosión de los materiales metálicos es de naturaleza electroquímica, lo que implica que la oxidación del metal esta compensada por la reducción de otra sustancia en otra región metálica, generando dos zonas con diferente potencial electroquímico (ánodo y cátodo).

En disoluciones neutras o alcalinas, en la región anódica el metal se oxida, mientras que en la región catódica el material se reduce. En el caso del hormigón, la disolución (electrolito) está constituida por la solución de los poros, que es de naturaleza alcalina. Así, el acero embebido en el hormigón está protegido naturalmente de la corrosión por dos efectos, la alta alcalinidad del medio y el efecto barrera que proporciona el propio hormigón.

Dos causas se consideran fundamentales en la pérdida de capacidad protectora del hormigón: la carbonatación del recubrimiento y la presencia de iones cloruros.

Para el acero embebido en el concreto, la corrosión da como resultado la formación de óxido que tiene 2 a 4 veces el volumen del acero original y la pérdida de sus óptimas propiedades mecánicas. La corrosión produce además descascaramiento y vacíos en la superficie del acero de refuerzo, reduciendo la capacidad resistente como resultado de la reducción de la sección transversal (2014, págs. 1-2).

En términos generales la corrosión ocasiona la afectación de la capacidad estructural del elemento debido a cuatro efectos del proceso (CONTECVET, pág. 76).

- Reducción de la sección de la armadura
- Reducción de la ductilidad de las barras

- Reducción de la adherencia
- Pérdida de la sección efectiva del hormigón debido a la fisuración y al estallido del recubrimiento.

En la siguiente figura se resumen los efectos gráficamente.

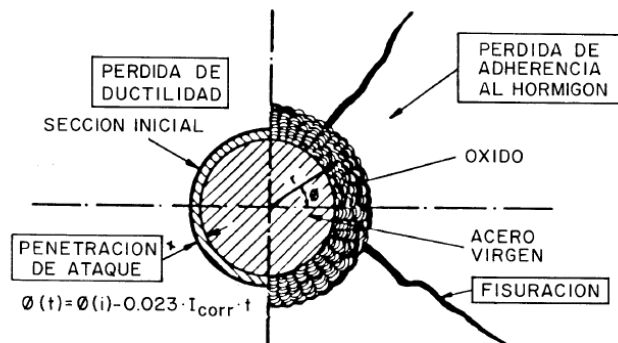


Figura A.16 Consecuencias de la corrosión de las armaduras en el comportamiento estructural.

Figura 29 Consecuencias de la corrosión en el acero de refuerzo (pág. 76)

A partir de la inspección y calificación realizada en campo, se define el porcentaje en el cual se encontró el acero en buen estado, o en su defecto con algún proceso de corrosión, pero para este análisis, sin discriminar su grado de severidad o afectación.

Lo anterior es importante ya que genera un indicativo del porcentaje de refuerzo en los cuales ha iniciado el proceso de corrosión y/o ya se encuentra en etapa de propagación.

En la siguiente tabla se incluye el número de barras de refuerzo que pudieron ser observadas, ya sea por inspección directa o mediante las regatas realizadas, a partir de la cual se concluye que la totalidad del refuerzo de la estructura está iniciando el proceso de corrosión.

Concepto	Cantidad	%
N° de inspecciones realizadas	65	100
Refuerzo sano	0	0
Refuerzo con proceso de corrosión	65	100

Tabla 18 Porcentaje (%) de acero de refuerzo encontrado con proceso de corrosión

La calificación del nivel o avance de la corrosión se estableció mediante dos metodologías a saber:

1. Metodología cualitativa adoptada por los autores del proyecto.
2. Metodología simplificada (adaptada) propuesta en el manual de evaluación de estructuras afectadas por corrosión de la armadura para la estructura de forma global publicado por de CONTECVET.

Resultados metodología cualitativa adoptada por los autores

El estado del acero de refuerzo se calificó cualitativamente de menor a mayor avance en la propagación, con base en la siguiente escala adoptada de forma intrínseca o propia por los autores del informe:

- Buen estado = No presenta síntomas de oxidación o corrosión
- Ligeramente oxidado = Presenta entre un 1 a un 25% de superficie oxidada aproximadamente
- Picaduras = Presenta corrosión u oxidación localizada, típica de las picaduras en refuerzo.
- Parcialmente oxidado = Presenta entre un 25% a 50% de superficie oxidada aproximadamente.
- Oxidado / Superficialmente oxidado = Presenta entre un 51 a un 75% de superficie oxidada aproximadamente.
- Corrosión superficial = Presenta entre un 76 a un 100% de superficie oxidada aproximadamente
- Corrosión severa = Se evidencia delaminación y/o pérdida de sección transversal del acero de refuerzo. En algunos casos se evidencia agrietamiento o descascaramiento del concreto de recubrimiento.

Con base en dichas calificaciones en la sección siguiente se explicarán la adjudicación de una calificación para obtener el índice de corrosión.

De otro lado en ocho (8) regatas, debido al estado avanzado en el proceso de corrosión, en el cual se presenta delaminación y/o exudación de productos del proceso, se verificó la disminución del diámetro en la barra inspeccionada.



Figura 30 Registro fotográfico- Medición de acero de refuerzo

Los resultados de las ocho (8) mediciones realizadas se presentan en la Tabla 18

Tipo de Ensayo	Tipo de elemento	Ejes	Localización	Dia. Inicial (mm)	Dia. Actual (mm)	% de pérdida de diametro
Regata	Columna	B-4	Zona 1	15.9	13.6	14.47
Regata	Columna	F-5	Zona 4	15.9	13.8	13.21
Regata	Columna	A-7	Zona 2	15.9	13.4	15.72
Regata	Columna	E-8	Zona 3	15.9	13.8	13.21
Regata	Viga	D-2-3	Zona 1	15.9	14	11.95
Regata	Viga	A-5-6	Zona 2	15.9	13.5	15.09
Regata	Viga	F-4-5	Zona 4	15.9	13.5	15.09
Regata	Viga	B-6-7	Zona 3	15.9	13.6	14.47

Tabla 19 Estado del refuerzo- Pérdida de sección

Este porcentaje de pérdida de la sección de la barra de refuerzo es considerable, y tendrá un impacto en la capacidad y resistencia de la estructura en general. Por lo cual, la estructura en su condición actual no debe ser puesta a cargas de servicio. Dicho porcentaje se empleará durante el

análisis de vulnerabilidad de la estructura, lo que afectará la condición de resistencia de los elementos estructurales.

Metodología cualitativa:

Mediante esta metodología adoptada por parte de los autores del proyecto se estableció una escala de 0 a 5 en el nivel de corrosión del refuerzo a partir de la calificación cualitativa indicada en campo y según la escala indicada en la Tabla 20:

Calificación cualitativa	Calificación cuantitativa
Buen estado	0
Ligeramente oxidado	1
Picaduras	1,5
Parcialmente oxidado	2
Oxidado - Superficialmente oxidado	3
Corrosión superficial	4
Corrosión severa	5

Tabla 20 Calificación cualitativa del estado del acero de refuerzo

En las siguientes figuras se observan ejemplos del estado de refuerzo y la calificación otorgada al refuerzo.



Figura 31 Refuerzo para la categoría: Corrosión superficial (4,0)



Figura 32 Refuerzo para la categoría: Parcialmente oxidado (2,0)



Figura 33 Refuerzo para la categoría: Corrosión superficial (4,0)



Figura 34 Refuerzo para la categoría: Oxidado-Superficialmente oxidado (3,0)



Figura 35 Refuerzo para la categoría: Corrosión Severa (5,0)

En la Tabla 21 se presenta el resultado obtenido por cada tipo de elemento, en el cual se puede observar que para el caso de las zapatas el grado de corrosión es nulo o mínimo, aspecto considerado en los puntos anteriores, para no tener en cuenta dicho elemento en el análisis de la información. El promedio general entre columnas y vigas es de 3,0 (Oxidado-Superficialmente oxidado).

Tipo de elemento	Indicador cualitativo del grado de corrosión de la estructura
Columna	3,3
Viga	2,7
Zapata	0,7

Tabla 21 Indicadores cualitativos, según grado de corrosión

Metodología simplificada (adaptada):

El manual de evaluación del Instituto Eduardo Torroja recomienda metodologías (simplificada y detallada) para la evaluación de estructuras afectadas por corrosión, desde el diagnóstico hasta la evaluación del pronóstico de evolución de la afectación y la calificación de la urgencia de intervenir la estructura.

Una de las etapas dentro de la metodología, permite establecer el índice de corrosión de un (1) elemento o grupo de elementos.

Como un parámetro indicativo y adicional del análisis, se calculará el índice para el grupo total de elementos de la estructura, adoptando parcialmente la metodología propuesta de acuerdo con la información disponible.

El índice de corrosión (IC) se calcula a partir de los índices de agresividad ambiental (AA) y el índice de daños por corrosión (IDC) según la siguiente expresión (pág. 23):

$$\text{Indice de corrosion} = \frac{AA + IC}{2}$$

Figura 36 Ecuación del índice de corrosión

El IDC se calcula a partir de los indicadores de corrosión que se muestran en la Tabla 22

Tabla 3.1 Indicadores de corrosión

Indicador	Nivel I	Nivel II	Nivel III	Nivel IV
Profundidad de carbonatación [X_{CO_2}]	$X_{CO_2} = 0$	$X_{CO_2} < c$	$X_{CO_2} = c$	$X_{CO_2} > c$
Nivel de cloruros [X_{Cl}]	$X_{Cl} = 0$	$X_{Cl} < c$	$X_{Cl} = c$	$X_{Cl} > c$
Fisuración por corrosión en el recubrimiento [W]	Sin fisuras	Fisuras < 0.3 mm	Fisuras > 0.3 mm	Fisuración generalizada y estallidos
Resistividad (Ωm) [ρ]	> 1000	500-1000	100-500	< 100
Pérdida sección [ϕ]	< 1 %	1 - 5 %	5 - 10 %	> 10 %
Intensidad de corrosión ($\mu A/cm^2$) [I_{CORR}]	< 0.1	0.1-0.5	0.5-1	>1

Tabla 22 Indicadores de corrosión (pág. 22)

Dependiendo del nivel en el que caiga la estructura se asigna una calificación de 1 a 4.

Para el caso en estudio se tiene información de los siguientes indicadores:

- Profundidad de carbonatación (X_{CO_2}): De acuerdo con los resultados obtenidos la profundidad de carbonatación de la estructura (X_{CO_2}) ha superado el recubrimiento del refuerzo (c), por lo cual el nivel para dicho indicador es IV (4).
- Nivel de cloruros (X_{CL}): No se tiene establecido la profundidad de ataque de cloruros. En la inspección se encontró que algunos elementos tenían proceso de corrosión por picaduras, lo cual es indicativo de un ataque localizado por cloruros. Sin embargo, en la investigación antecedente se estableció que el contenido de cloruros en el concreto es mínimo con respecto a los márgenes aceptables, por lo tanto, se puede calificar dicho parámetro en el nivel II (2).
- Fisuración por corrosión en el recubrimiento (W): A nivel general se presentan elementos estructurales con fisuración por corrosión, esta situación es muy generalizada en la estructura. Por lo anterior se calificará la estructura en el nivel III (3). Es claro que en una evaluación elemento a elemento, la calificación individual podría dar un resultado diferente.

- Pérdida de sección (Fi): De acuerdo con los resultados de la inspección, la gran mayoría de elementos y refuerzo presenta una pérdida de sección aproximadamente del 15%, por lo cual el indicador se califica en el nivel III (3).

En las pruebas de campo no se evaluaron los indicadores de resistividad e intensidad de corrosión.

El IDC (Indicadores de daños por corrosión) se calcula mediante la siguiente expresión, que para el presente caso se adapta a 4 indicadores:

$$IDC = \frac{\sum_{i=1}^6 \text{Nivel del indicador}_i}{6}$$

Figura 37 Ecuación de los indicadores de daños por corrosión (pág. 22)

El IDC general para el grupo de elementos de toda la estructura sería:

$$IDC = \frac{4 + 2 + 3 + 3}{4} = 3$$

El índice por agresividad ambiental se calcula de acuerdo con la exposición ambiental, o el valor de agresividad ambiental (AA), de la estructura y los factores definidos en la siguiente tabla:

Tabla 3.2 Valores del factor AA.

Class	X0	X1	XC3	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XS1	XS2	XS3
Weight	0	1	1	2	3	2	3	4	2	3	4

Tabla 23 Valores del factor de agresividad ambiental (pág. 23)

Para la edificación en análisis, aplica el tipo de exposición XC3 correspondiente a corrosión inducida por carbonatación con humedad moderada, con lo cual el índice AA es igual a 2.

Por lo anterior el Índice de Corrosión será igual a dos punto cinco (2,5).

$$IC = \frac{IDC + AA}{2} = \frac{3 + 2}{2} = 2.5$$

Según la metodología adoptada el nivel de corrosión de la estructura estaría en media. Calificación consistente con la evaluación realizada anteriormente.

Tabla 3.3. Índice de corrosión y nivel de corrosión

Nivel de corrosión	Valor del índice
Corrosión muy baja	0 – 1
Corrosión baja	1 – 2
Corrosión media	2 – 3
Corrosión alta	3 – 4

Tabla 24 Índice de corrosión y nivel de corrosión (pág. 23)

Luego de determinar el índice de corrosión se prosigue a determinar el índice estructural siguiendo el procedimiento descrito en el documento de CONTECVET.

Se determina el índice de armado transversal según lo especificado en la siguiente tabla:

Tabla 3.4 Índice de armado transversal

ϕ_t	Separación de los cercos			Sin cercos
	$s_t \leq 0.5 d$	$s_t > 0.5 d$ (4 ramas)	$s_t > 0.5 d$	
$> 8 \text{ mm}$	1	1	2	1
$\leq 8 \text{ mm}$	2	2	3	

Tabla 25 Índice de armado transversal (pág. 24)

Se opta por una separación de estribos, tanto para vigas como columnas de 10 a 15 cm, según algunas de las mediciones tomadas durante la inspección. Dado el diámetro encontrado superior a 8mm y una separación de estribos $s_t < 0.5d$ (canto), el índice de armado transversal optado es de 1. Sin embargo, al no tener toda la información precisa del armado del refuerzo estructural, se opta por implementar las tablas simplificadas.

Para determinar el índice estructural para vigas, implementando la tabla de versión simplificada es posible considerar un índice de armado transversal de alta densidad, y se evaluará para la sección central del vano. Por lo que se obtiene un índice estructural para vigas de 3.

Tabla 3.6. Índice estructural (vigas) (Versión simplificada)

Armado transversal	Viga plana (h < b)		Vigas de canto, losas, viguetas	
	Sección de apoyo	Sección de centro de vano	Sección de apoyo	Sección de centro de vano
Sin cercos	---	---	I	II
Alta densidad	II	III	III	IV
Baja densidad	III	IV	IV	IV

Tabla 26 Índice estructural (vigas) (Versión simplificada) (pág. 25)

Se sigue el mismo procedimiento para determinar el índice estructural de las columnas, teniendo en cuenta la dimensión mínima del soporte (a) inferior a 400mm, los estribos poco espaciados y con barras verticales poco espaciadas. Obteniendo un índice estructural para columnas de 4.

Tabla 3.9 Índice estructural (soportes) (Tabla simplificada)

Armado transversal	Dimensión mínima del soporte a			
	a > 400 mm		a ≤ 400 mm	
	Alta separación de barras verticales	Barras verticales poco espaciadas	Alta separación de barras verticales	Barras verticales poco espaciadas
Estribos poco espaciados	I	II	III	IV
Estribos muy espaciados	II	III	IV	IV

Tabla 27 Índice estructural (columnas) (Versión simplificada) (pág. 26)

Se determinan cuáles serían las consecuencias posibles del fallo de la estructura. Al considerarse como una estructura abandonada y que no está puesta en servicio, esta consecuencia será leve.

Utilizando el mismo procedimiento para determinar los índices de corrosión contenidos en esta misma sección, se determina el índice de estructural (IE)

$$IE = \frac{3 + 4}{2} = 3.5$$

El valor obtenido de índice de daño estructural y el índice de corrosión permiten determinar el estado actual de la estructura, según el índice de daño estructural (IDE). De los valores cuantitativos, es posible obtener una condición cualitativa. El índice de corrosión da un valor de

2.5 y el índice estructural da un valor de 3.5. De estos valores se puede determinar un índice severo, según lo descrito en la siguiente tabla:

Tabla 3.11 Índice de daño estructural (IDE)

ISC	INDICE ESTRUCTURAL							
	I		II		III		IV	
	Consecuencias del posible fallo							
	Leves	Signif	Leves	Signif	Leves	Signif	Leves	Signif
0 – 1	D	D	D	D	D	M	M	M
1 – 2	M	M	M	M	M	S	M	S
2 – 3	M	S	M	S	S	MS	S	MS
3 – 4	S	MS	S	MS	S	MS	MS	MS

IDE: D: Despreciable, M: Medio, S: Severo, MS: Muy severo.

Tabla 28 Índice de daño estructural (pág. 27)

Finalmente, este índice permite determinar la urgencia de intervención en años, que para los datos obtenidos sería de entre 2 a 5 años, lo que resultaría en una intervención poco urgente, y se recomienda implementar una evaluación detallada.

Sin embargo, el procedimiento simplificado y que fue implementado resulta satisfactorio por la condición actual de abandono de la estructura y se considera que la información recolectada es suficiente, no siendo necesario realizar más estudios y ensayos para tomar decisiones frente a la intervención del paciente.

Tabla 3.13 Urgencia de intervención (años)

IDE	Urgencia de intervención
Despreciable	> 10
Medio	5 – 10
Severo	2 – 5
Muy Severo	0 – 2

Tabla 29 Urgencia de intervención (pág. 29)

Estudio de vulnerabilidad sísmica y reforzamiento estructural

En este título se presentará los resultados y conclusiones del análisis de vulnerabilidad sísmica estructural de manera resumida. El análisis en su totalidad se encuentra en el APÉNDICE 4.

Para el desarrollo del estudio de vulnerabilidad sísmica estructural se siguieron los lineamientos descritos en el capítulo A-10 de la NSR-10, con el fin de diagnosticar la resistencia y flexibilidad del proyecto denominado estudio de evaluación plaza de mercado en el barrio Nuevo Oriente del Municipio de Lorica, Córdoba.

El edificio actualmente cuenta con la cimentación y los pórticos en concreto, presenta lesiones de tipo físicas, mecánicas y químicas evidentes. A demás cuenta con una losa en la fachada principal de la estructura. Las especificaciones técnicas de los materiales para los diferentes elementos estructurales, según lo descrito en los Resultados de ensayos y su relación con lesiones, síntomas y causas, son:

- Columnas: Concreto 15,8 MPa
- Vigas: Concreto de 17,3 MPa.
- Zapatas: 21 MPa

El nivel superior no cuenta con una cubierta a pesar de que el tipo de estructura y su uso la hace necesaria. Las fachadas no tienen elementos verticales que eviten el flujo de aire libre dentro del edificio.

Teniendo en cuenta lo anterior, se revisará el diseño en general de la estructura (Columnas, vigas, cimentación), constatando que cumpla con los requisitos que establece la NSR-10; en el caso que deba realizarse algún tipo de reforzamiento estructural se planteará y diseñará para posteriormente ser construido.

Se verificó la estructura existente, la cual en términos generales es bastante visible, encontrando que corresponde a la estructura de pórticos resistente a momentos. Adicionalmente se realizó una verificación de sus ejes, las dimensiones de columnas y de secciones transversales de los elementos estructurales.

De lo obtenido de la inspección visual realizada, las constataciones de dimensiones de elementos, medidas entre ejes y los documentos técnicos de los diseños estructurales y los resultados de los ensayos realizados, la información se considera suficiente para efectuar la evaluación estructural y obtener aproximación a la realidad del comportamiento estructural de la edificación en su estado actual, tanto en resistencia del concreto, como para determinar las diferentes condiciones de frontera.

Una vez verificada la edificación original en cuanto a su diseño, se encuentra que en términos generales la calidad se puede catalogar como regular, ya que algunos requisitos de la norma sismo resistente vigente en el momento, correspondiente a la NSR-10 no se cumplieron, por ejemplo el espaciamiento de los estribos en la zona confinada.

Frente al estado de conservación la estructura presenta fisuras y algunos tipos de lesiones lo que hace que se pueda considerar como inadecuada.

Por lo anterior se puede definir que los coeficientes ϕ_c y ϕ_e especificados en la tabla A.10.4-1 de la NSR-10 se tomarán igual a 0.8 para un estado de la edificación regular (AIS, 2010, págs. A-105).

Tabla A.10.4-1
Valores de ϕ_c y ϕ_e

	Calidad del diseño y la construcción, o del estado de la edificación		
	Buena	Regular	Mala
ϕ_c o ϕ_e	1.0	0.8	0.6

Tabla 30 Valores de ϕ_c y ϕ_e

La evaluación detallada de cargas, y su implementación para la realización del modelo computacional, se encuentran en el APÉNDICE 4. Se consideraron todas las posibles cargas que puedan actuar sobre la estructura como: cargas de viento, cargas sísmicas, cargas muertas (incluye la cubierta y muros perimetrales) y cargas vivas. Si bien actualmente la edificación no cuenta con

la cubierta y con los elementos de la fachada, estos se tienen en cuenta, dado que dichas cargas estarán presentes en la edificación una vez sea terminada.

Estado actual de la estructura

Se realizó un análisis dinámico modal elástico-espectral, implementando una modelación de la estructura, utilizando dos softwares de diseño, llamados ETABS y SAP 2000. Con el cual se realiza el análisis de la estructura actual y determinar si necesita reforzamiento estructural, la ubicación exacta del mismo, y definir el tipo de reforzamiento si aplica.

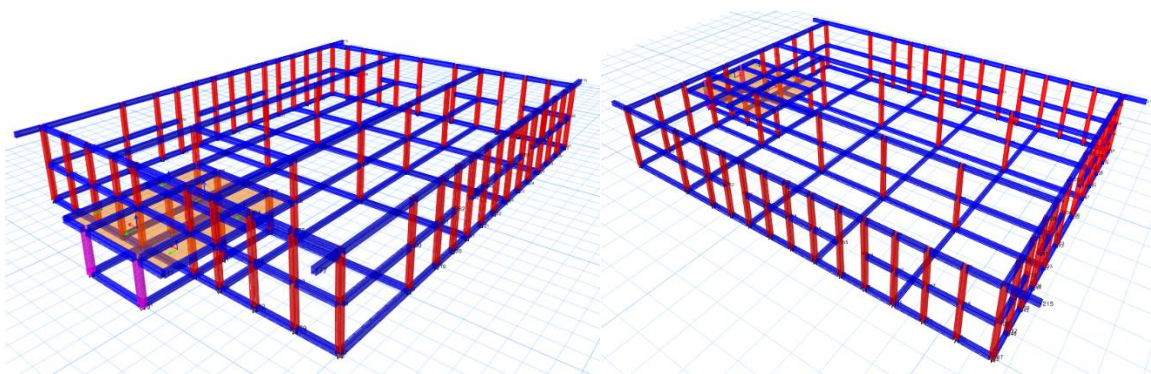


Figura 38 Modelación de la estructura mediante ETABS- Módulo 4

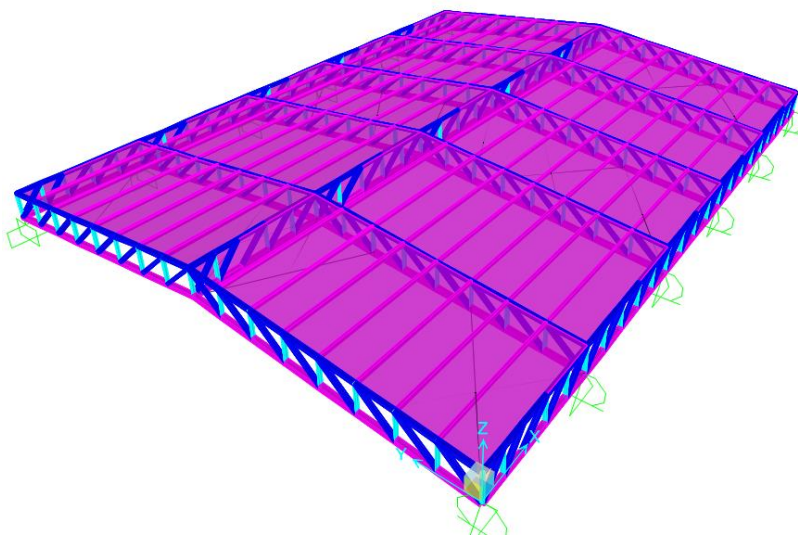


Figura 39 Modelación de la cubierta mediante SAP 2000- Módulo 4

Las características de los materiales implementados para el análisis fueron las siguientes:

Elemento	F'c (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)
Columnas	15,8	18682
Vigas	17,3	19548
Zapatas	21,0	21538
$E = 4700 * \text{raíz}(f'c)$		

Tabla 31 Característica de los materiales implementadas

De las cargas implementadas se obtiene el cortante dinámico en cada dirección, y con la respectiva comparación con el cortante estático, luego del respectivo ajuste de resultados:

Tipo	KN	Porcentaje
Cortante estático	2960,91	
Cortante en X	2367,95	80,0%
Cortante en Y	2426,86	81,9%

Tabla 32 Comparación del cortante dinámico en cada dirección, y el cortante estático- Estado actual

Adicionalmente se verifican las condiciones de frontera (apoyo) de cada uno de los nudos y se hacen las siguientes observaciones importantes:

- La estructura original fue construida mediante un sistema de pórticos resistentes a momento con disipación moderada de energía (DMO) en ambos sentidos, si se compara con los sistemas permitidos por la NSR-10.
- En segunda instancia se considera que las columnas se encuentran empotradas en la base.
- De otro lado, al no existir placas de entrepiso no se generan un diafragma rígido.

Del cálculo del índice de flexibilidad de la estructura se obtuvo lo siguiente:

Etiquetas de Columna		Nivel	Sismo X Max			Sismo Y Max			Deriva Maxima mm	Deriva Max. NSR-10 mm	Indice de Flexibilidad
			Der. X	Der. Y	Result. Der	Der. X	Der. Y	Result. Der			
		m									
C51	Cimentación	0									
	Base	0.55	0.0	0.2	0.2	0.1	0.4	0.4	0.4	5.5	0.07
	Story1	3.4	8.1	47.8	48.5	13.8	82.1	83.3	83.3	28.5	2.92
	Story2	6.25	7.6	93.9	94.2	13.1	161.4	161.9	161.9	28.5	5.68

Tabla 33 Determinación del índice de flexibilidad de la estructura

Lo anterior muestra que la estructura presenta índices de flexibilidad muy altos en las columnas centrales debidos principalmente a la falta de un diafragma rígido. A demás como consecuencia de no contar con vigas en el sentido Y, las columnas no cuentan con restricciones en este sentido que generen desplazamientos más pequeños.

En conclusión, los desplazamientos o derivas de la estructura no cumplen los requisitos establecidos en la NSR-10 siendo más crítico el sentido Y.

Se llevó acabo el análisis y cálculo del índice de sobre esfuerzo de las columnas de la estructura. Encontrando que cerca del 85%, poseen un índice de sobreesfuerzo superior a la unidad (1.0), lo que indica que el refuerzo longitudinal no cumple las solicitaciones de la estructura. Adicionalmente, según lo encontrado en los antecedes, los módulos anteriores no cumplen con el requisito actual de cuantía mínima para los elementos evaluados.

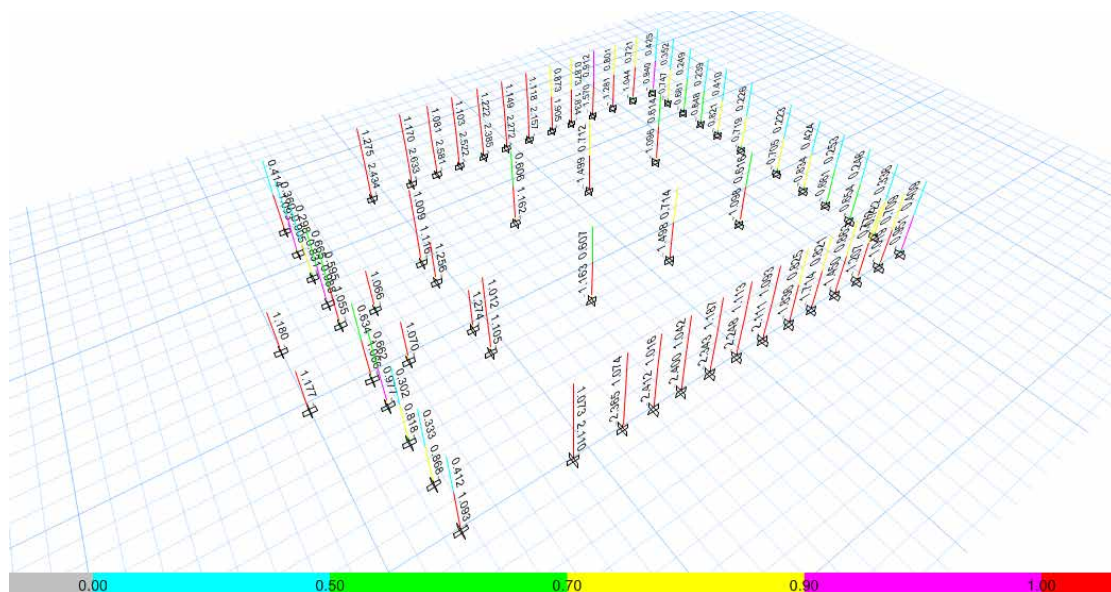


Figura 40 Determinación del índice de sobreesfuerzo de las columnas- Módulo 4

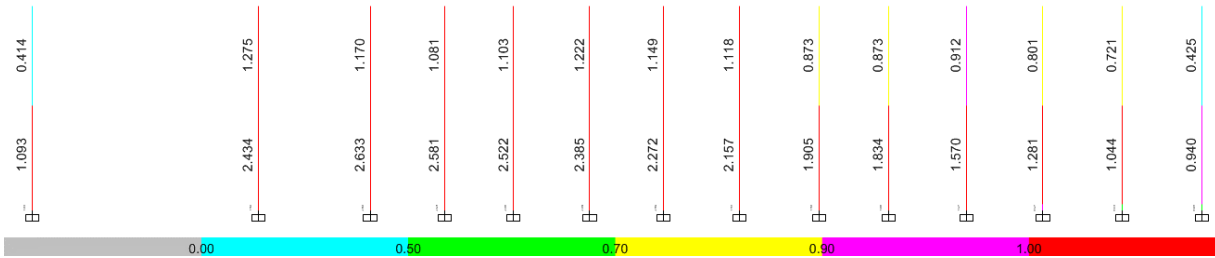


Figura 41 Determinación del índice de sobreesfuerzo de las columnas-Eje A- Módulo 4

La condición anterior, no tiene en cuenta la pérdida de sección del acero de refuerzo (de aproximadamente 15%), por lo que este análisis también fue desarrollado y se muestra a continuación:

Refuerzo longitudinal	Área total (mm ²)
6 N°5 (Sin Corrosión)	1200
6 N°5 (Con Corrosión)	1020

Tabla 34 Pérdida del área de refuerzo por la presencia de corrosión en el acero de refuerzo

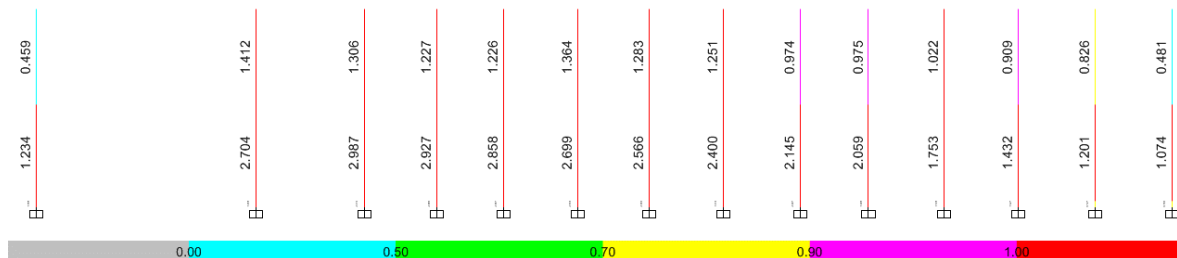


Figura 42 Determinación del índice de sobreesfuerzo de las columnas con presencia de corrosión-Eje A- Módulo 4

Después de comparar los resultados obtenidos considerando la corrosión, como era de esperarse, se observó que el índice de sobreesfuerzo aumentó levemente.

Es posible concluir, que las columnas requieren reforzamiento, tanto por la condición de flexibilidad como de resistencia.

Se realiza también el análisis de las vigas de la estructura, encontrando que las únicas vigas que necesitan reforzamiento son las perimetrales del “Story 1” (Vigas referentes al Piso o Nivel 2).

En las vigas de color rojo se tienen momentos torsionales muy altos para los cuales la sección no cumple.

LEVEL	VIGA	SECTION	Refuerzo Solicitado			Refuerzo Estructura Existente						INDICE SOBRE ESFUERZO		
			M- (mm ²)	M+ (mm ²)	M- (mm ²)	M- (mm)		M+ (mm)		M- (mm)		M-	M+	M-
						Cant. Var.	Area (mm ²)	Cant. Var.	Area (mm ²)	Cant. Var.	Area (mm ²)			
Story 1	B2	35X25	521	256	524	2#5	398	2#5	398	2#5	398	1.31	0.64	1.32
Story 1	B3	35X25	442	250	298	2#5	398	2#5	398	2#5	398	1.11	0.63	0.75
Story 1	B4	35X25	376	444	461	2#5	398	2#5	398	2#5	398	0.94	1.12	1.16
Story 1	B6	35X25	441	264	366	2#5	398	2#5	398	2#5	398	1.11	0.66	0.92
Story 1	B7	35X25	300	269	321	2#5	398	2#5	398	2#5	398	0.75	0.68	0.81
Story 1	B8	35X25	324	264	288	2#5	398	2#5	398	2#5	398	0.81	0.66	0.72
Story 1	B9	35X25	332	408	463	2#5	398	2#5	398	2#5	398	0.83	1.03	1.16
Story 1	B11	35X25	454	416	336	2#5	398	2#5	398	2#5	398	1.14	1.05	0.84
Story 1	B12	35X25	278	266	330	2#5	398	2#5	398	2#5	398	0.70	0.67	0.83
Story 1	B13	35X25	312	267	313	2#5	398	2#5	398	2#5	398	0.78	0.67	0.79
Story 1	B14	35X25	355	416	427	2#5	398	2#5	398	2#5	398	0.89	1.05	1.07
Story 1	B27	35X25	91	189	282	2#5	398	2#5	398	2#5	398	0.23	0.47	0.71
Story 1	B28	35X25	309	204	40	2#5	398	2#5	398	2#5	398	0.78	0.51	0.10
Story 1	B30	35X25	109	228	333	2#5	398	2#5	398	2#5	398	0.27	0.57	0.84
Story 1	B31	35X25	334	240	299	2#5	398	2#5	398	2#5	398	0.84	0.60	0.75
Story 1	B32	35X25	309	218	298	2#5	398	2#5	398	2#5	398	0.78	0.55	0.75
Story 1	B33	35X25	295	203	290	2#5	398	2#5	398	2#5	398	0.74	0.51	0.73
Story 1	B34	35X25	319	250	318	2#5	398	2#5	398	2#5	398	0.80	0.63	0.80
Story 1	B40	35X25	446	284	270	2#5	398	2#5	398	2#5	398	1.12	0.71	0.68
Story 1	B41	35X25	250	156	250	2#5	398	2#5	398	2#5	398	0.63	0.39	0.63
Story 1	B43	35X25	286	250	250	2#5	398	2#5	398	2#5	398	0.72	0.63	0.63
Story 1	B53	35X25	445	284	269	2#5	398	2#5	398	2#5	398	1.12	0.71	0.68
Story 1	B54	35X25	250	156	250	2#5	398	2#5	398	2#5	398	0.63	0.39	0.63
Story 1	B56	35X25	286	250	250	2#5	398	2#5	398	2#5	398	0.72	0.63	0.63
Story 1	B62	35X25	90	188	280	2#5	398	2#5	398	2#5	398	0.23	0.47	0.70
Story 1	B63	35X25	302	200	42	2#5	398	2#5	398	2#5	398	0.76	0.50	0.11
Story 1	B65	35X25	109	228	332	2#5	398	2#5	398	2#5	398	0.27	0.57	0.83
Story 1	B66	35X25	333	239	300	2#5	398	2#5	398	2#5	398	0.84	0.60	0.75
Story 1	B67	35X25	308	217	298	2#5	398	2#5	398	2#5	398	0.77	0.55	0.75
Story 1	B68	35X25	294	202	289	2#5	398	2#5	398	2#5	398	0.74	0.51	0.73
Story 1	B69	35X25	317	250	318	2#5	398	2#5	398	2#5	398	0.80	0.63	0.80
Story 1	B82	35X25	523	257	523	2#5	398	2#5	398	2#5	398	1.31	0.65	1.31
Story 1	B83	35X25	446	250	296	2#5	398	2#5	398	2#5	398	1.12	0.63	0.74
Story 1	B84	35X25	380	448	456	2#5	398	2#5	398	2#5	398	0.95	1.13	1.15
Story 1	B86	35X25	446	438	362	2#5	398	2#5	398	2#5	398	1.12	1.10	0.91
Story 1	B87	35X25	303	272	317	2#5	398	2#5	398	2#5	398	0.76	0.68	0.80
Story 1	B88	35X25	328	266	284	2#5	398	2#5	398	2#5	398	0.82	0.67	0.71
Story 1	B89	35X25	337	412	456	2#5	398	2#5	398	2#5	398	0.85	1.04	1.15
Story 1	B91	35X25	461	411	331	2#5	398	2#5	398	2#5	398	1.16	1.03	0.83

Tabla 35 Índice de sobreesfuerzo-Vigas Nivel 2- Módulo 4

Se realizó la verificación del refuerzo transversal de las vigas. En capítulo C.21.3.4.6 de la NSR-10 (AIS, 2010) se establecen los espaciamientos máximos que deben tener en refuerzo transversal en las vigas y este debe ser:

En la zona confinada debe ser igual a 2H, o el mínimo entre:

- $d/4 = 75 \text{ mm}$
- 8 veces el diámetro longitudinal más pequeño = 127 mm
- 24 veces el diámetro del estribo = 228 mm
- 300 mm

En la zona no confinada:

- $d/2 = 150 \text{ mm}$

Dados los requisitos establecidos en la NSR-10 el espaciamiento de los estribos no cumple en la zona confinada ni en la no confinada, según lo obtenido de la inspección técnica realizada.

Para la cimentación de la edificación se compone zapatas aisladas concéntricas cuadradas de 1,6X 1,6m.

Las combinaciones de servicio se utilizaron para verificar las dimensiones de las zapatas concéntricas tal como se muestra en el APÉNDICE 4 dando un resultado satisfactorio para todas las combinaciones de carga a las cuales sería sometida la estructura. Para el refuerzo de dichas zapatas se utilizaron las combinaciones de resistencia como se evidencia a continuación:

Con base en los resultados del estudio de vulnerabilidad estructural, es recomendable reforzar la estructura en algunos puntos específicos para mejorar su respuesta y comportamiento sísmico.

Intervención de la estructura

La intervención se plantea acogida a los términos planteados en A.10.9.2.2 de la NSR-10, que dice lo siguiente:

A.10.9.2.2 — Intervención de edificaciones diseñadas y construidas dentro de la vigencia del Reglamento NSR-98 de la Ley 400 de 1997 — Las estructuras según A.10.9.1, diseñadas y construidas con posterioridad al 19 de febrero de 1998, dentro de la vigencia de la Ley 400 de 1997, deben intervenir cumpliendo los requisitos establecidos en A.10.4.2.1 con el fin de lograr un nivel de seguridad equivalente al de una edificación nueva y tratarse de acuerdo con los criterios y requisitos del presente Reglamento, de tal manera que la edificación una vez intervenida quede con un índice de sobreesfuerzo y un índice de flexibilidad menores que la unidad.

Figura 43 Sección A.10.9.2.2-NSR-10 (AIS, 2010)

Como principio orientador de la intervención requerida por reforzamiento estructural, se tendrá la inclusión de muros de cortante en los dos sentidos principales de la edificación que logran dos objetivos:

- Reducir la flexibilidad de la estructura y cumplir los límites de deriva máximos establecidos por la NSR-10.

- Dada la mayor rigidez de los muros de cortante en comparación con las columnas existentes, estos nuevos elementos tomarán mayor cortante sísmico y aliviarán los esfuerzos en las columnas, generando una menor necesidad de reforzamiento de dichos elementos.

El reforzamiento de la estructura implica el diseño y construcción de 8 pantallas en los ejes centrales de la edificación con un espesor igual a 25 cm. Adicionalmente se requiere el reforzamiento de las vigas y la modificación geométrica de las zapatas para anclar los nuevos muros de cortante.

Las especificaciones técnicas principales de los materiales a utilizar en el reforzamiento corresponden a las siguientes:

Sistema de resistencia sísmica principal: Sistema combinado. Muros de concreto y pórticos de concreto con capacidad moderada de disipación de energía tipo DMO.

- Acero de refuerzo: $F_y = 420$ MPa (Refuerzo longitudinal)
- Alambre para amarres: galvanizado mínimo número 16 o 1.3 mm
- Concreto $f'_c = 21$ MPa

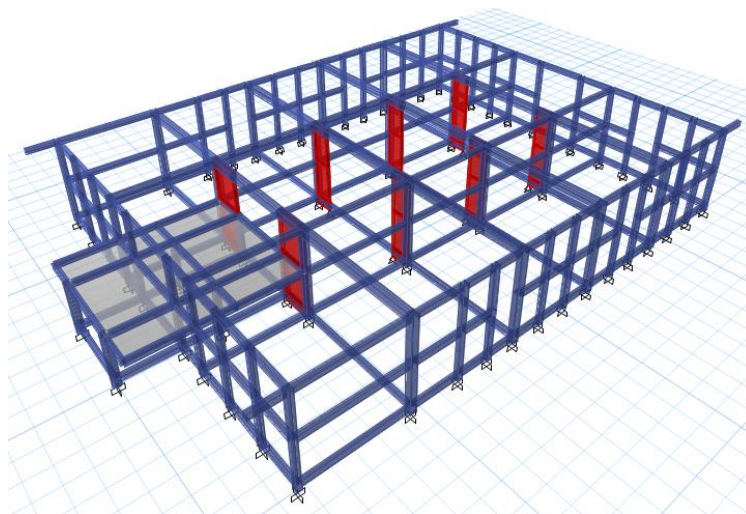


Figura 44 Modelación de la estructura intervenida mediante ETABS- Módulo 4

Las irregularidades de la estructura son las mismas que aplican para la estructura inicial ya que no afectan la geometría en general de la edificación. De acuerdo con los resultados del análisis de irregularidades se trata de una estructura clasificada como Regular.

En el siguiente cuadro se observa el resultado del cortante dinámico en cada dirección en comparación con el cortante estático después de realizar el respectivo ajuste de resultados con lo cual se logra que en cada dirección sea mayor al 80%:

Tipo	KN	Porcentaje
Cortante estático	3722.83	
Cortante en X	3123.93	83.9%
Cortante en Y	3333.76	80.5%

Tabla 36 Comparación del cortante dinámico en cada dirección, y el cortante estático- Intervención

Según los resultados obtenidos de la vulnerabilidad de la estructura, es necesario el diseño y/o reforzamiento de algunos elementos que componen el edificio, como se puede observar en la siguiente tabla:

Cantidad	Elemento	Diseño	Reforzamiento
18	Columnas	No	Si
28	Vigas	Si	Si
8	Muros Estructurales	Si	No
8	Cimentación	Si	No

Tabla 37 Elementos que deben diseñarse y/o reforzarse

Con el fin de garantizar que el índice de sobreesfuerzo de las columnas sea menor a 1 y teniendo en cuenta la corrosión presente en el refuerzo longitudinal, se presentan cuatro (4) tipos de reforzamiento.

Elemento	Tipo de Reforzamiento	Cant.	Características
Col 30X30	T1 (○)	8	Agregar 2 barras N°4
Col 30X30	T2 (○)	6	Agregar 2 barras N°6
Col 30X30	T3 (○)	16	Recalzar o recrecer columna a 40X40 y Agregar 6 barras N°4
Col 49 cm	T4 (○)	2	Agregar 4 barras N°5

Tabla 38 Tipos de reforzamiento planteados para columnas

A continuación, se presentan la posición y el tipo de reforzamiento para cada una de las columnas.

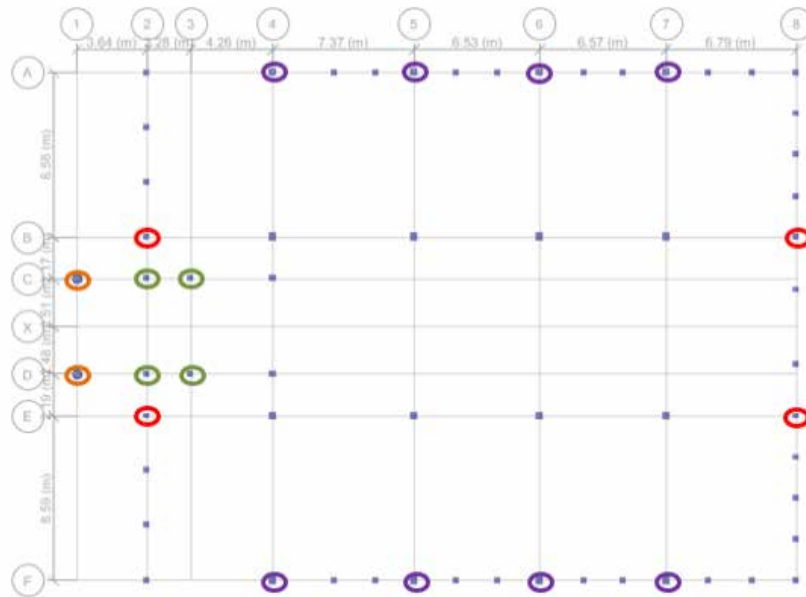


Figura 45 Localización y tipo de reforzamiento en columnas

Luego de implementar los reforzamientos necesarios en las columnas especificadas, se obtienen índices de sobreesfuerzo inferiores a 1 en todas las columnas. Lo que se puede apreciar en la siguiente figura:

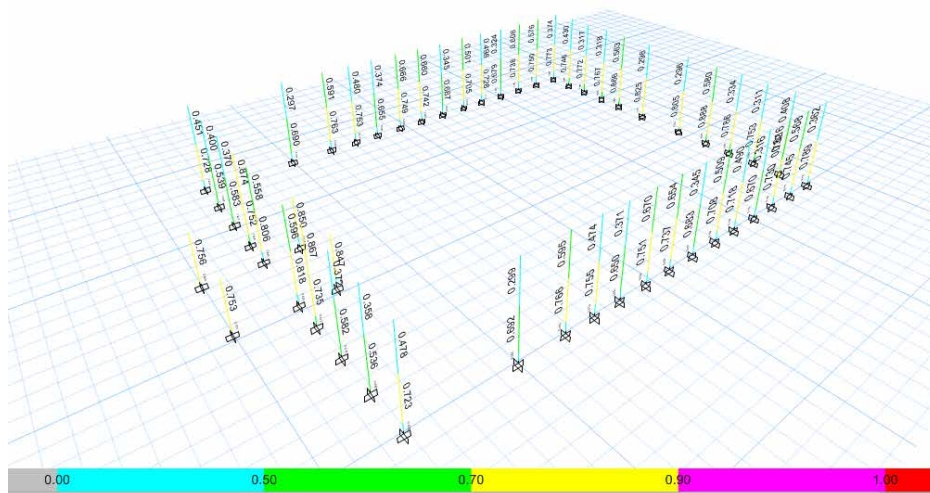


Figura 46 Índice de sobreesfuerzo obtenido luego del reforzamiento- Columnas

El diseño del reforzamiento estructural en vigas se realiza a partir de los resultados obtenidos en el software ETABS y de los cuales se presentaron los resultados anteriormente. El reforzamiento realizado se presenta en el siguiente cuadro:

LEVEL	VIGA	SECTION	Refuerzo Solicitado			INDICE SOBRE ESFUERZO ANTES DE REFORZAMIENTO			REFORZAMIENTO PLANTEADO						INDICE SOBRE ESFUERZO DESPUÉS DE REFORZAMIENTO		
									Area Faltante (mm²)			Varillas a Colocar					
			M- (mm²)	M+ (mm²)	M- (mm²)	M-	M+	M-	M-	M+	M-	M-	M+	M-	M-	M+	M-
Story 1	B2	35X25	521	256	524	1,31	0,64	1,32	123	0	126	1#4		1#4	0,99	0,64	0,99
Story 1	B3	35X25	442	250	298	1,11	0,63	0,75	44	0	0	1#3			0,94	0,63	0,75
Story 1	B4	35X25	376	444	461	0,94	1,12	1,16	0	46	63		1#3	1#3	0,94	0,95	0,98
Story 1	B6	35X25	441	264	366	1,11	0,66	0,92	43	0	0	1#3			0,94	0,66	0,92
Story 1	B9	35X25	332	408	463	0,83	1,03	1,16	0	10	65		1#3	1#3	0,83	0,87	0,99
Story 1	B11	35X25	454	416	336	1,14	1,05	0,84	56	18	0	1#3	1#3		0,97	0,89	0,84
Story 1	B14	35X25	355	416	427	0,89	1,05	1,07	0	18	29		1#3	1#3	0,89	0,89	0,91
Story 1	B40	35X25	446	284	270	1,12	0,71	0,68	48	0	0	1#3			0,95	0,71	0,68
Story 1	B53	35X25	445	284	269	1,12	0,71	0,68	47	0	0	1#3			0,95	0,71	0,68
Story 1	B82	35X25	523	257	523	1,31	0,65	1,31	125	0	125	1#4		1#4	0,99	0,65	0,99
Story 1	B83	35X25	446	250	296	1,12	0,63	0,74	48	0	0	1#3			0,95	0,63	0,74
Story 1	B84	35X25	380	448	456	0,95	1,13	1,15	0	50	58		1#3	1#3	0,95	0,96	0,97
Story 1	B86	35X25	446	438	362	1,12	1,10	0,91	48	40	0	1#3	1#3		0,95	0,93	0,91
Story 1	B89	35X25	337	398	456	0,85	1,00	1,15	0	0	58			1#3	0,85	1,00	0,97
Story 1	B91	35X25	461	411	331	1,16	1,03	0,83	63	13	0	1#3	1#3		0,98	0,88	0,83
Story 1	B94	35X25	361	423	420	0,91	1,06	1,06	0	25	22		1#3	1#3	0,91	0,90	0,90

Tabla 39 Tipos de reforzamiento planteados para vigas

Nota: El refuerzo adicional corresponden a la columna “varillas a colocar” allí se determina si es en la parte superior o inferior de la viga que debe colocarse, y posteriormente se revisa el índice de sobreesfuerzo en las vigas incluyendo el acero de reforzamiento.

Se debe realizar un total de 16 reforzamientos a vigas aéreas localizadas en el “Story 1” o nivel 2 de la estructura. El reforzamiento, como se indicó en la nota anterior, consiste en la adición de barras de refuerzo adicionales, con el fin de que sea capaz de soportar las solicitaciones correspondientes a la NSR-10. En la siguiente figura es posible localizar las vigas que deben ser reforzadas, según la nomenclatura utilizada en la tabla anterior:

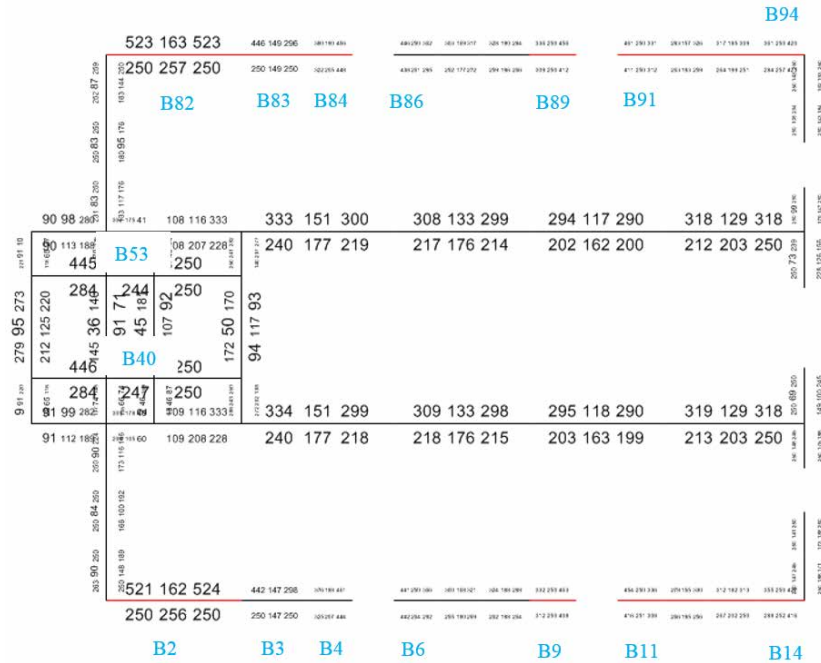


Figura 47 Localización de vigas que necesitan reforzamiento

Las vigas que requieren de su diseño corresponden a las centrales del “Story 2” o nivel 3 y las cuales se señalan en la siguiente figura. Dicho diseño se realizó con la ayuda del software ETABS V.16 y con los requisitos establecidos en el título C. de la NSR-10.

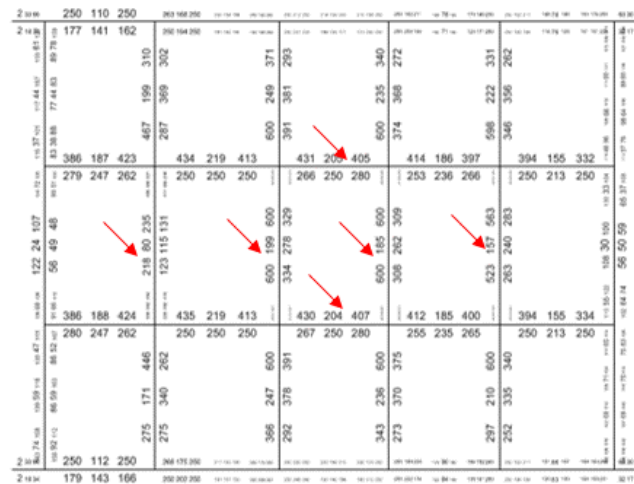


Figura 48 Localización de vigas diseñadas

De acuerdo a la dirección de las vigas (Horizontal o Vertical) se plantearon dos vigas tipo. Las verticales (VG-1, Cant. 4) tienen 3 barras N°5 en la parte superior y en la parte inferior 2 N°5 en toda su longitud y los estribos en la zona confinada tienen un espaciamiento de 8,5 cm y en la zona no confinada de 17 cm.

Las vigas horizontales (VG-2, Cant. 2) tienen 2 barras N°5 en la parte superior e inferior en toda su longitud y los estribos N°3 una separación de 7,5 cm en la zona confinada y 15 cm en la no confinada.

Como se planteó anteriormente, es necesario el diseño de 8 pantallas de concreto ubicados en la parte central de la edificación con el fin de disminuir los desplazamientos en sentido Y producidos por el sismo. Su ubicación se muestra a continuación:

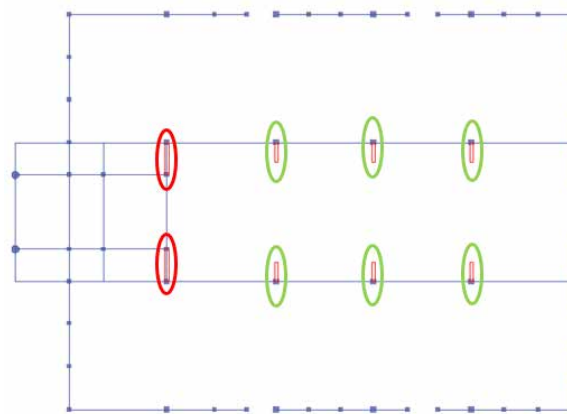


Figura 49 Localización de muros pantalla diseñados

Gracias a la ubicación de las pantallas se diseñan dos (2) tipos de pantallas aprovechando las columnas como elementos de borde. Las pantallas de tipo T1, corresponden a las seleccionadas de color rojo, y las pantallas tipo T2, a las seleccionadas de color verde. Los datos de su geometría se evidencian en las siguientes figuras:

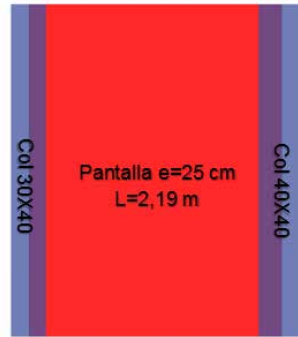


Figura 50 Pantalla T1

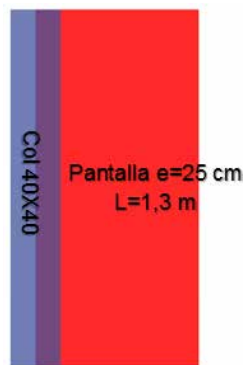


Figura 51 Pantalla T2

Del análisis de vulnerabilidad, contenido en el APÉNDICE 4, se encontró que el mayor índice demanda/capacidad obtenido, según la condición más crítica, para las pantallas fue de 0,87 por lo que todas las demás se encuentran en el rango adecuado de diseño. Las columnas de las pantallas se deben recalzar y agregar refuerzo longitudinalmente de la siguiente forma:

En la pantalla T1, las columnas pasan de 30X30 a 30X40 y 40X40, y se adicionan 2 barras N°6 en cada una de ellas.

En la pantalla T2 la columna pasa de 30X30 a 40X40 y se adicionan 2 barras N°6. En el otro extremo se coloca un elemento de borde de 25X25 con 4 barras N°7 confinadas con sus respectivos flejes N°3.

Debido a que algunas columnas fueron recalzadas y a la adición de nuevos elementos en la edificación, es necesario revisar las zapatas concéntricas de las columnas centrales; por otro lado

debido al diseño de pantallas es necesario modificarlas por zapatas excéntricas (en el caso de las pantallas T2) en algunos casos y en otros por una zapata combinada (en el caso de las pantallas T1).

Con el análisis se determinó que la cimentación de las columnas centrales no requiere ningún tipo de modificación en la geometría ni adición de refuerzo.

Para el diseño de la cimentación de las pantallas T1 se plantea una cimentación combinada como se presenta en la siguiente figura:

DISEÑO DE ZAPATAS COMBINADAS			
Características de Columnas			
	Columna 1	Columna 2	
h	0.4	0.4	m
b	0.3	0.4	m
f'c	21	21	Mpa
fy	420	420	Mpa
P servicio	283	339	KN
Pu	376	445	KN
Dimensiones de Zapata			
L1	0.8		m
L2	2.19		m
H zapata	0.4		m
Recubrim.	0.075		m
d zapata	0.325		m
Qadm	81		KN/m2
Revisión de la presión de contacto			
Columna 1			
Pu max	1499.4		KN
CUMPLE			
Columna 2			
Pu max	1999.2		KN
CUMPLE			
Longitud de zapata			
Resultante Pu	821.00		KN
Cg	1.19		m
L zap sugerido	3.97		m
L zap final	4.00		m
Ancho de zapata			
Result Servicio	622.00		KN
Area de Zapata	7.68		m2
B zap Sugerido	1.93		m
B zap final	1.60		m
Armadura longitudinal			
Vu	205.25		KN/m
1. Momentos de Diseño			
M Col 1	65.68		KN/m
M Luz	43.60		KN/m
M Col 2	94.04		KN/m
p1	0.0010		
p2	0.0007		
p3	0.0015		
As1	1716.000		mm2
As2	1716.000		mm2
As3	1716.000		mm2
Altura de Cimiento			
1. Refuerzo a Corte			
Vu (d)	213.93		KN
Fi Vc	303.82		KN
CUMPLE			
2. Momento promedio			
Mu	68.82		KN.m
a	0.042		
p	0.0011		OK
Armadura Transversal			
Ancho vig 1			
qt 1	235.00		KN/m
Vu (borde) 1	141.00		KN
Fi Vc	180.40		KN
CUMPLE			
M (Borde) 1	106.04		KN.m
p	0.00289		
As	893.72		mm2
Ancho vig 2			
qt 1	278.13		KN/m
Vu (borde) 1	166.88		KN
Fi Vc	199.39		KN
CUMPLE			
M (Borde) 1	153.32		KN.m
p	0.003830		
As	1307.07		mm2

Figura 52 Resultados del diseño de la cimentación de las pantallas T1

Nota: Las cargas P servicio y Pu se obtuvieron a partir del modelo tridimensional de ETABS para los casos más desfavorables.

De acuerdo con el diseño anteriormente presentado se tiene una zapata combinada con las siguientes dimensiones: Largo=4,0m, Ancho=1,6m y un espesor de 0,4m. El refuerzo longitudinal de la zapata combinada es de 9 barras N°5 cada 20 cm y el transversal barras N°4 y N°5 cada 20 y 15 cm respectivamente.

Para el diseño de la cimentación de las pantallas T2 se plantea una zapata excéntrica aprovechando las columnas perimetrales como contrapeso. Las cargas resultantes y momentos se obtuvieron a partir de los resultados de ETABS.

El diseño de la zapata excéntrica con viga de enlace es el siguiente:

- Las dimensiones de la zapata son: Largo=2,7m, Ancho=1,6m, espesor=0,3m, y de la viga de enlace: 40X50 cm.
- El refuerzo longitudinal de la zapata son 8 barras N°4 cada 20 cm y el transversal 20 barras N°3 cada 14 cm únicamente en parte inferior.
- El refuerzo de la viga son 5 barras N°8 y 1N°5 en la parte superior, en la parte inferior 4 barras N°4, los estribos N°3 tienen una separación de 10 cm en la zona confinada y de 20 cm en la no confinada.

Capítulo 6

Diagnóstico

Causas comprobadas de las lesiones

Luego de realizar el análisis general de los datos, se puede determinar que el Módulo en general se encuentra en un estado entre regular y deficiente. Se puede conceptuar que la calidad de los materiales empleados no fue óptima, debido a los sobre tamaños del agregado grueso del concreto y la falta de control de calidad durante el proceso constructivo.

Las lesiones encontradas durante el levantamiento e inspección visual fueron sustanciales y alrededor del 70% se consideran como moderadas, lo que da un indicio certero del estado actual de esta estructura.

Las lesiones que más preocupación generaron durante la inspección técnica fueron las referentes al avanzado proceso de corrosión que se encuentra en toda la estructura en general. Aquellas lesiones que impactan el aspecto o estética de las estructuras, no se considera que deban ser intervenidas de manera prioritaria, ya que la mayoría serán tratadas durante una intervención general debido a las lesiones severas y el estado de avance del frente de carbonatación. Aquellas referentes a manchas por humedades o la existencia de organismos, si se recomiendan tratar dentro de un proceso de mantenimiento periódico normal.

Todas aquellas lesiones que se consideran como moderadas o severas, y afectan las condiciones de resistencia y durabilidad deben ser tratadas. Se considera importante su intervención, debido a que ponen en riesgo la integridad de quienes puedan hacer uso de la estructura (luego de la ejecución del proyecto) y pueden afectar las condiciones de los materiales, especialmente frente al actual problema de corrosión.

Las humedades resultaron ser el tipo de lesión más recurrente. Lo que es de esperarse debido al estado de exposición al que se encuentra la estructura. Esto desencadena en la segunda

lesión más recurrente, que son las erosiones causadas por agentes atmosféricos. La combinación y alto porcentaje de aparición dentro de la estructura han contribuido con el avanzado proceso de corrosión que afecta y seguirá afectando la estructura de no ser tratadas.

En cuanto a las fisuras, sus causas son variadas, encontrando aquellas causadas por esfuerzos mecánicos excesivos con respecto a la resistencia del elemento, como pudo comprobarse con el análisis de vulnerabilidad que encontró deficiencias. También se encontraron fisuras causadas por el estado avanzado del proceso de corrosión de las armaduras, que ya han causado, incluso, desprendimientos y delaminaciones. Otras fisuras fueron causadas por defectos de construcción originales, ya sea durante el proceso de fraguado o curado del concreto y por esfuerzos térmicos no atendidos.

Muchas de las lesiones encontradas se deben a un mal manejo de control de calidad durante el proceso constructivo. Las oquedades encontradas se deben principalmente a una falta de vibración durante el vaciado del concreto. Así como el uso de agregado grueso de gran tamaño, que terminó impactando y afectando la resistencia del concreto, y la durabilidad de este.

La avanzada profundidad de carbonatación actual encontrada corresponde a la baja compacidad del concreto (poros y vacíos), causada durante la etapa de construcción que ocurrió con deficiencias de colocación y vibrado, lo que permitió una mayor penetración del agente agresor CO₂.

Igualmente, en algunos casos se observó que la resistencia a la compresión del concreto no fue adecuada, lo cual puede depender de defectos en la dosificación del concreto, especialmente en la relación Agua/cemento, o en otros con la colocación y poco cuidado durante el fraguado y el curado. Esta situación pudo coadyuvar, para los casos de bajo contenido de cemento en una mayor velocidad de avance del frente de carbonatación o pérdida de pH. Es de recordar que el recubrimiento de los elementos estaba dentro de los límites mínimos establecidos por las normas,

pero el avance del frente alcanzó el refuerzo, en un periodo de 22 años, es decir que no garantizó una durabilidad mínima de la estructura de al menos 50 años como periodo normalmente establecido en edificaciones.

Según el resultado de los levantamientos y calificación de lesiones, resultados de ensayos y análisis específico de corrosión realizado, se puede determinar que cerca del 90% del módulo se encuentra en etapa de propagación del fenómeno de corrosión del acero de refuerzo, que actualmente está afectando la resistencia y capacidad de la estructura, siendo la lesión más prominente e importante para determinar el tratamiento y solución adecuada de la estructura.

La causa del estado del avance de la corrosión, se fundamenta en una deficiente protección de los elementos con respecto al fenómeno de carbonatación o pérdida de pH, la alta facilidad para el ingreso de agresores hasta la profundidad del acero y elementos necesarios para generar la pila de corrosión (oxígeno y humedad), la inexistente protección de los elementos de concreto frente a la intemperie y humedad y el poco o nulo mantenimiento realizado a la edificación de su construcción dado su estado de abandono.

A partir de la historia clínica realizada y especificada anteriormente, se diagnóstica que las estructuras del Módulo 4, en términos generales, posee las siguientes patologías o enfermedades:

- Afectación moderada a severa de cerca del 80%, según el caso, de las condiciones de servicio y durabilidad de la estructura, así como de afectación a su condición de resistencia o capacidad. Son principalmente originadas por su condición de exposición al ambiente y por deficiencias originales o intrínsecas generadas durante los procesos constructivos.
- Fisuras leves a moderadas generadas por esfuerzos mecánicos, que las secciones de concreto armado no son capaces de resistir.
- Fisuras moderadas a severas generadas por el proceso de corrosión del acero de refuerzo.

- Deficiencia en el proceso constructivo, generando oquedades u hormigueros, desalineamientos y otros defectos de la instalación o fabricación de elementos estructurales, que impactaron la durabilidad e impactan la resistencia de la estructura.

A continuación, se describen las patologías a modo general pero explicativo que tienen afectación estructural de acuerdo con su causa principal. Se entiende que sus características, magnitudes exactas y otras características están descritos con detalle en el capítulo de historia clínica y aún de forma más específica en los planos de levantamiento y calificación de lesiones.

Descripción y principales consecuencias

Consiste en la manifestación patológica de defectos constructivos en la fabricación y ejecución de los elementos estructurales, que actualmente aquejan a la estructura y desencadenaron en afectaciones a todas las características de la estructura tales como:

- Aspecto: afectación a la estética de los elementos estructurales, lo que impacta la sensación de calidad, seguridad y servicio de la misma.
- Servicio: Afecta las condiciones de los elementos estructurales dentro de límites admisibles para la prestación del servicio de la estructura en condiciones de sensación de seguridad y usabilidad adecuada. Las afectaciones o condiciones se van degradando con el paso del tiempo, hasta desencadenar en el corto, mediano o largo plazo en impactos sobre la durabilidad del elemento.
- Durabilidad: Afecta la duración normal del elemento estructural en sí mismo, disminuyendo en algún grado su vida útil esperada leve, moderada o severamente. Las condiciones de degradación del elemento se van agravando con el paso del tiempo, hasta desencadenar en afectaciones que impactan la capacidad o resistencia del elemento.

- Resistencia o capacidad estructural: Las condiciones intrínsecas o defectos son de tal magnitud que afectaron la capacidad del elemento localizado o de la estructura en general, para resistir las solicitaciones que debe resistir.

Características y afectaciones específicas

El módulo evidencio procesos patológicos primarios y secundarios consistentes en:

- Fisuras en elementos estructurales: Generan pérdida de monolitismo, reducen la rigidez, impactan la protección del elemento para la penetración de agresores o elementos del medio ambiente que inician o aceleran los procesos de degradación del material con afectaciones a la resistencia estructural en el mediano y largo plazo. Igualmente impactan las condiciones de servicio y estética de la estructura. Normalmente se degradan en lesiones, síntomas y afectaciones más críticas.
- Oquedades y Hormigueros: Afectan principalmente la integridad y monolitismo del elemento estructural impactando la resistencia y capacidad estructural y severamente la durabilidad de este, dado que permiten con facilidad la penetración de los agresores y agentes que inician o aceleran el deterioro. De otro lado, afectan las condiciones de servicio pues no generan condiciones adecuadas de impermeabilidad o protección frente a humedades o filtraciones.
- Desalineamientos: Para el módulo, corresponde a una pérdida de verticalidad u horizontalidad de los elementos estructurales, que pueden afectan el comportamiento estructural de los elementos.
- Aceros descubiertos, corroídos: Dejados probablemente expuestos por proceso constructivo, que afecta directamente el servicio y durabilidad de la estructura. Para la placa

del módulo se encontró una falta de recubrimiento en la parte inferior que dejó totalmente descubierto el refuerzo y propenso a procesos de corrosión.

- Humedades: Generados como consecuencia de la exposición al ambiente, evidenciando manifestaciones o defectos anteriormente citados y que afectan y seguirán afectando actualmente a la estructura.
- Avance prematuro del frente de carbonatación o pérdida de PH: De acuerdo con el diagnóstico general, el frente de carbonatación ya se encuentra presente en el acero de refuerzo, e incluso, existieron 5 casos donde la carbonatación ya supero incluso la posición del acero de refuerzo, no obstante la estructura no ha cumplido su vida útil mínima esperada de 50 años.

Extensión o grado de avance y afectación de la patología

El Módulo 4, presenta una afectación general derivada de algunas deficiencias ocurridas durante el proceso constructivo o por exposición a un ambiente agresivo. Se resalta que el porcentaje del área afectada respecto al total es considerablemente alto (75,4%), con cerca del 70% de las lesiones catalogadas como moderadas. De igual forma la extensión del daño que podría impactar el parámetro de resistencia es de aproximadamente 45% y un 73% para el caso de la durabilidad.

Este módulo, comparado con los anteriores evaluados, presenta lesiones similares entre sí, en cuanto al tipo, causa probable y tipo de afectación, situación esperable por tipo de diseño, materiales utilizados y proceso constructivo empleado. Las afectaciones se derivan principalmente en los aspectos de durabilidad de los elementos, encontrando un número considerable de lesiones que puedan afectar la resistencia o capacidad de la estructura.

Causas

De la determinación lo más precisa posible de las causas que generan la problemática depende la definición de un tratamiento efectivo que solucione los problemas de raíz.

A partir del análisis integral de los resultados de la inspección visual, levantamiento y calificación de cada una de las lesiones y de los reportes de los ensayos de campo y laboratorio, se puede concluir que la causa principal se encuentra relacionada con deficiencias durante el proceso constructivo de los elementos estructurales. Para estos casos, el tratamiento que se requiere puede implementarse sin preocupación por la reaparición de la lesión observada.

Para el caso de las fisuras, la causa se encuentra comprendida y corresponde a aspectos de esfuerzos mecánicos. Por lo general estas lesiones serían intervenidas durante la intervención de otros tipos de lesiones, y dependerá directamente del tipo de intervención o solución recomendada.

Varias de las lesiones tienen como causa el proceso de corrosión que avanza en la estructura, debido primordialmente a la despasivación del refuerzo, debido al frente de carbonatación que alcanzó el refuerzo, así como a los defectos intrínsecos de la estructura. Es decir que cualquier tratamiento que se implemente, debe resolver dichas problemáticas de raíz, incluyendo el retiro y reemplazo de las capas de concreto carbonatadas, el acero de refuerzo corroído y la corrección de las lesiones que permiten el fácil ingreso de los agresores.

Como causa original de las lesiones y síntomas presentes en la estructura, se establece las deficiencias o defectos intrínsecos de la estructura, aunadas al deficiente o nulo mantenimiento que ha tenido debido a su estado de abandono. Esto desencadenó las lesiones primarias tales como humedades, erosiones, fisuras, hormigueros y oquedades, y posteriormente dichas lesiones generaron otras secundarias como el fenómeno de carbonatación y corrosión y finalmente en nuevas lesiones como fisuras, delaminaciones y desprendimientos.

Posibilidades de tratamiento

La viabilidad de tratar las lesiones observadas en la estructura depende directamente de la intervención o solución más adecuada para el estado actual de la misma. Dado el hecho de que la gran mayoría de las lesiones encontradas se encuentran en un estado avanzado, y puede requerir de procedimientos que intervengan en un porcentaje significativo del elemento, es probable que la relación costo/beneficio, no sea la mejor. Sin embargo, esta conclusión se obtendrá en el título “Alternativa Seleccionada”.

El criterio de intervención será tratar la totalidad de las lesiones, ya que actualmente, se ve comprometida la integridad estructural de los elementos que componen la estructura.

Propuestas de ensayos, pruebas o seguimientos complementarios

De la información obtenida durante la inspección técnica y los antecedentes de los módulos anteriores, sumado al estado actual de la estructura, no es necesario realizar ensayos, pruebas o seguimientos complementarios.

Medidas preventivas mientras se decide intervenir

Dado el estado actual de la estructura, donde se encuentra en abandono y no esta puesta en servicio, no se necesita la implementación de medida de intervención alguna mientras se decide qué tipo de intervención se implementará.

Definición del tipo de intervención requerida

A continuación, se describen los tratamientos requeridos según cada tipo de lesión. Se adjuntan planos de intervención en el APÉNDICE 5, en los cuales se definen los procedimientos y especificaciones que se deben seguir para tal efecto.

En este capítulo y sección se muestran los procedimientos específicos que se pueden implementar para tratar cada uno de los tipos de lesiones encontradas, sin embargo, en el capítulo 7 se establece a nivel general, como será el tratamiento de toda la estructura dado que, por la

cantidad y extensión del daño encontrado, muchas de las lesiones se traslapan y la intervención llega a ser envolvente, global o generalizada.

TIPO I

Este tipo de tratamiento se utiliza para intervenir las lesiones de aceros descubiertos y/o oxidados. Esta actividad debe realizarse conforme a las recomendaciones del ACI en sus documentos: Boletín 4 del RAP y el manual de rehabilitaciones de concreto.

1. Marque el perímetro del área con las lesiones y de las cuales se debe realizar la reparación. El trazado debe ser de forma cuadrada o rectangular. En esta actividad es importante, demarcar un área mayor que la zona afectada para efectuar una reparación adecuada que no vaya a generar inconvenientes de calidad y/o estabilidad, entre otras razones.

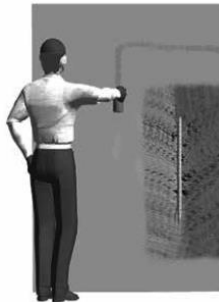


Figura 53 Procedimiento de tratamiento: delimitación del área (Emmons, 2012, pág. 5)

2. Generar el corte del área mayor demarcada mediante máquina con disco de corte diamantado, teniendo la precaución de no cortar el acero de refuerzo.



Figura 54 Procedimiento de tratamiento: corte del área (pág. 5)

3. Demoler de forma controlada todo el contorno demarcado, así como el concreto alrededor de las barras de refuerzo en las cuales se haya presentado algún tipo de afectación por corrosión/oxidación. Así mismo, se debe demoler por detrás de las barras de refuerzo afectadas al menos 25 mm.



Figura 55 Procedimiento de tratamiento: demolición (pág. 5)

4. Generar el tratamiento sobre cada una de las barras de refuerzo que presente algún tipo de afectación.

El tratamiento consiste, inicialmente, en retirar manualmente mediante lijado o grata metálica o mediante chorro de arena (si el espacio y ambiente lo permite), cualquier producto de oxidación o corrosión del elemento.



Figura 56 Procedimiento de tratamiento: limpieza del óxido o corrosión (pág. 5)

Una vez se efectúe la respectiva limpieza, se debe verificar mediante herramienta adecuada el diámetro de la barra de refuerzo. Como el acero presenta una pérdida de sección, y esta no satisface los parámetros necesarios en las condiciones evaluadas en el análisis de vulnerabilidad, debe ser reemplazada o reforzada, según sea el caso y la facilidad de operación. También debe considerarse la adición de barras de refuerzo, en el caso de ser necesario.

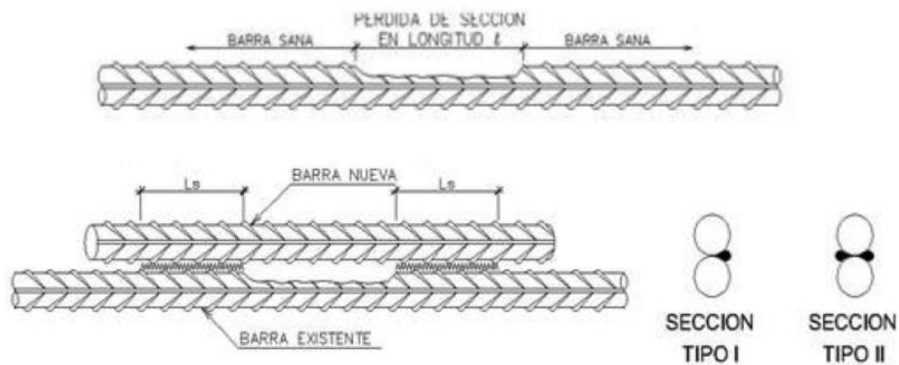


Figura 57 Reparación del acero de refuerzo (Helene & Pereira, 2003, pág. 230)

En caso de que la barra presente un diámetro adecuado conforme lo evaluado en el análisis de vulnerabilidad, esta se puede mantener y dejar en la estructura.

Para el caso de las barras que hayan presentado algún tipo de doblamiento o soldadura que la haya afectado, esta se debe limpiar hasta el perfil de limpieza adecuado. En el sitio se debe decidir si es requerido su corte o reemplazo, o si por el contrario se deja en el sitio (sin contar con

su aporte estructural) y se refuerza mediante una nueva barra de refuerzo debidamente empalmada, y anclada para garantizar su respectivo desarrollo.

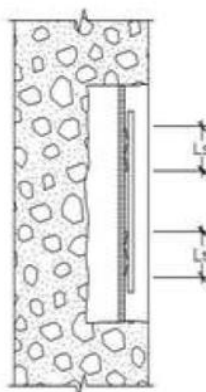


Figura 58 Reparación del acero de refuerzo (pág. 230)

5. Posteriormente se debe generar el perfil de anclaje adecuado para garantizar la correcta adherencia entre el concreto viejo y el concreto nuevo, y asegurar que el elemento estructural sigue trabajando de forma monolítica al igual que el recubrimiento trabajará de forma eficiente. Para dicha labor se recomienda la utilización de sandblasting, realizando en todo caso ensayos de adherencia o tracción sobre el producto final.

6. Una vez se ha garantizado el perfil de anclaje, se debe realizar el encofrado de las áreas a vaciar y a restituir, definiendo adecuadamente el punto de entrada de la mezcla de acuerdo con el tipo de fluidez de esta. Esta puede ser ascendente o descendente.

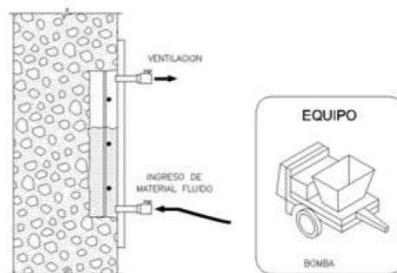


Figura 59 Reparación del acero de refuerzo (pág. 241)

Antes de colocar debidamente el encofrado se debe aplicar el puente de adherencia, la selección del puente debe ser basado en las siguientes condiciones:

- I) Insensibilidad a la humedad
- II) Adherencia entre superficies húmedas
- III) Resistencias mecánicas altas (Mínimo 40 Mpa)

Se recomienda implementar un producto que cumpla con las especificaciones del “Producto A- Puente de adherencia o de unión”, definidas más adelante en el título “Especificaciones de productos para la intervención de lesiones”. La aceptación del puente de adherencia permite la unión entre concreto viejo y nuevo. Se debe tener especial cuidado con el tiempo máximo de colocación de la mezcla de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.



Figura 60 Procedimiento de tratamiento: vaciado de concreto (Emmons, 2012, pág. 7)

7. Una vez se haya colocado el encofrado se debe realizar el respectivo vaciado de la mezcla, la cual deberá corresponder a un producto con las siguientes características:

- I) Concreto fluido
- II) Baja retracción
- III) Alta manejabilidad (Diámetro 58+- 3 cm)
- IV) Resistencia a la carbonatación

Se recomienda implementar un producto que cumpla con las especificaciones contenidas en el “Producto B- Concreto fluido de baja retracción para reparación estructural”, definidas más adelante en el título “Especificaciones de productos para la intervención de lesiones”.

Se debe efectuar adecuadamente la vibración de la mezcla para garantizar su vaciado adecuado y su colocación.



Figura 61 Procedimiento de tratamiento: curado y acabados (pág. 7)

Finalmente se debe aplicar y llevar a cabo un juicioso curado de las superficies reparadas.

TIPO II

Este tipo de tratamiento se utiliza para intervenir las lesiones de oquedades u hormigueros.

1. Marque el perímetro del área con las lesiones y de las cuales se debe realizar la reparación. El trazado debe ser de forma cuadrada o rectangular.

En esta actividad es importante, demarcar un área mayor que la zona afectada para efectuar una reparación adecuada que no vaya a generar inconvenientes de calidad y/o estabilidad, entre otras razones.

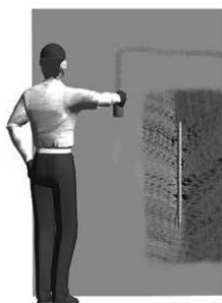


Figura 62 Procedimiento de tratamiento: demarcación del área (pág. 5)

2. Generar el corte del área mayor demarcada mediante máquina con disco de corte diamantado, teniendo la precaución de no cortar el acero de refuerzo sano y protegido.



Figura 63 Procedimiento de tratamiento: corte del área (pág. 5)

3. Demoler de forma controlada todo el contorno demarcado, y elimine el hormigón segregado hasta llegar al hormigón sano. Esta actividad se puede realizar de forma manual o mecánica (Chorro de arena, Corte con disco).



Figura 64 Procedimiento de tratamiento: demolición (pág. 5)

4. Limpie la superficie con aire o agua a presión.

5. Aplicar un puente de adherencia con brocha, cepillo o escoba para garantizar la correcta unión entre el concreto viejo y el nuevo, para esto se recomiendan los productos del paso 6 del tratamiento **TIPO-I**.



Figura 65 Procedimiento de tratamiento: puente de adherencia (Registrocdt.cl, 2013, pág. s.n)

6. Después de aplicar el puente de adherencia y cumpliendo las especificaciones técnicas del producto seleccionado, se procede a la reparación, esta actividad debe realizarse con productos que cumplan con las siguientes características técnicas:

- I) Adherencia al concreto ≥ 1.5 Mpa
- II) Alta densidad ($>1.95\text{kg/l}$) y viscosidad

Se recomienda implementar un producto que cumpla con las especificaciones contenidas en el “Producto C- Mortero para reparación de estructuras de concreto”, definidas más adelante en el título “Especificaciones de productos para la intervención de lesiones”.

La aplicación del producto se debe realizar mediante llana o por proyección, y deber ser mientras que el puente de unión se encuentre fresco.

7. Finalmente se debe aplicar y llevar a cabo un juicioso curado de las superficies reparadas.

TIPO III

Este tipo de tratamiento se utiliza para intervenir las lesiones de alteraciones en forma y/o dimensión de elementos estructurales

Las alteraciones en forma de elementos estructurales se pueden clasificar en dos (2) grupos:

- **Grupo 1:** Cuando la alteración en forma corresponde a aumentos significativos de la sección transversal del elemento ocasionando el aumento de las cargas muertas.
- **Grupo 2:** Cuando las alteraciones son reducciones o disminuciones de la sección transversal que afecta la durabilidad del elemento.

Dependiendo de la clasificación de la lesión se deben realizar dos pasos adicionales mencionados a continuación:

1. Si la lesión se clasifica en el grupo 1, se debe marcar el perímetro del área con la alteración en forma y realizar el corte de dicho perímetro mediante máquina con disco de corte diamantado, teniendo la precaución de no cortar el acero de refuerzo sano y protegido.



Figura 66 Procedimiento de tratamiento: corte del área (Emmons, 2012, pág. 5)

2. Demoler de forma controlada todo el contorno demarcado hasta tener una sección transversal de elemento deseada o adecuada. (Únicamente para Grupo 1). Se recomienda que tenga una sección mínimamente menor a la sección final.

Los pasos mencionados posteriormente se deben realizar para las lesiones de los grupos 1 y 2.

3. Limpiar la superficie de hormigón existente o la resultante después de realizar los pasos 1 y 2 de esta intervención.

Esta actividad debe realizarse para asegurar la adhesión adecuada entre el hormigón original y el material de nivelación o reperfilado.

Debe realizarse con chorro de agua a alta presión (Mayor a 3000 PSI), chorro de arena o escarificación de mano hasta obtener una superficie rugosa.

4. Después de tener la superficie rugosa se procede a realizar la respectiva reparación de la zona afectada.

Para esta actividad los materiales a utilizar son los mismos recomendados en paso 5 del tratamiento **TIPO-II** teniendo como límite un espesor de **30 mm**.

5. Si los espesores son mayores a 30 mm se deben realizar los pasos **6 a 7** mencionados en la intervención del tratamiento **TIPO-I** incluyendo los materiales utilizados allí.

TIPO IV

Este tipo de tratamiento se utiliza para intervenir las lesiones de defectos o lesiones por juntas frías de construcción

Los defectos o lesiones en juntas frías producen otras lesiones anteriores, como: Fisuras o grietas, hormigueros y humedades. Por tal motivo se debe realizar la respectiva intervención de acuerdo con la lesión que produce no haber ejecutado la junta fría en debida forma. Por lo tanto, se deberán aplicar los diversos procedimientos descritos en este mismo documento.

TIPO V

Este tipo de tratamiento se utiliza para intervenir las lesiones de resanes o reparaciones estructurales no conformes.

1. Las reparaciones en elementos estructurales se deben realizar siguiendo los procedimientos establecidos en la intervención del tratamiento **TIPO-II o TIPO III**.

2. Si son resanes marque el perímetro del área con la lesión. El trazado debe ser de forma cuadrada o rectangular.

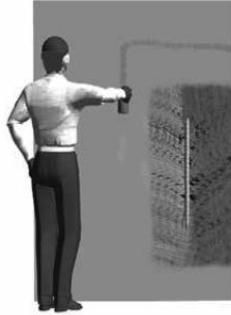


Figura 67 Procedimiento de tratamiento: demarcación del área (pág. 5)

3. Realice la demolición de la zona demarcada. Esta actividad se puede realizar de forma manual o mecánica.



Figura 68 Procedimiento de tratamiento: demolición (pág. 5)

4. Limpie la superficie con aire o agua a presión.

5. Humedezca la superficie y aplique un estuco que cumpla con las siguientes condiciones:

- I) No se fisura
- II) Acabado color blanco

Se recomienda implementar un producto que cumpla con las especificaciones contenidas en el “Producto C- Mortero para reparación de estructuras de concreto”, definidas más adelante en

el título “Especificaciones de productos para la intervención de lesiones”. La aplicación del producto debe ser con llana metálica.

TIPO VI

Este tipo de tratamiento se utiliza para intervenir las lesiones de otros defectos de instalación o fabricación de elementos estructurales. Realice el mismo procedimiento estipulado para el tratamiento **TIPO-II o TIPO-III**.

TIPO VII

Este tipo de tratamiento se utiliza para intervenir las lesiones de carbonatación y/o corrosión

La durabilidad del concreto armado depende de la acción protectora que el concreto ejerce sobre el acero. Esto se debe a que el concreto forma una barrera que evita el contacto de agentes agresores con el acero de refuerzo. Al existir una reacción entre el dióxido de carbono (CO₂) encontrado en la atmósfera con el concreto, genera una disminución progresiva en el pH de este.

Este proceso, denominado carbonatación, depende de dos factores fundamentales: el primero corresponde al ambiente y exposición del material y el segundo de las características del concreto, ya sea su resistencia, agregados y el espesor de la capa protectora del acero de refuerzo.

El procedimiento consiste en eliminar la capa de concreto, ya sea por un método manual o de hidrodemolición, que se encuentra afectada por carbonatación. Así como el concreto ubicado en la parte posterior del refuerzo afectado por la corrosión. Con esto se pretende: fundir una capa de concreto sana, recubrir el acero de refuerzo que se encuentra en la estructura para evitar la continuación del proceso de corrosión, y eliminar aquellas otras lesiones que se encuentren en el concreto (VanOcker & Winkler, 2010, págs. 4-7).

Este procedimiento puede realizarse en los procedimientos ya mencionados en esta sección, donde se requiera la intervención de elementos de concreto.

A continuación, se detallará el procedimiento para remover la capa de concreto deteriorada, así como el procedimiento para su reparación:

1. La hidrodemolición consiste en bombas hidráulicas de alta presión, que van removiendo las capas de concreto a medida que se aplica el chorro de agua.

2. Dependiendo del elemento que requiera de este tratamiento, debe haber una evaluación de los posibles elementos de reforzamiento temporal, con el fin de evitar una pérdida de resistencia de la estructura y su posible colapso. Lo anterior es necesario, ya que, al eliminar una cantidad importante de concreto, la capacidad portante de los elementos se verá afectada.

3. Se elimina la capa de recubrimiento del elemento, así como el concreto que se encuentra en la parte posterior del acero de refuerzo; alrededor de 25mm. Si la maquinaria no permite su fácil retiro, debe implementarse un método manual para retirar el concreto necesario para su rehabilitación.

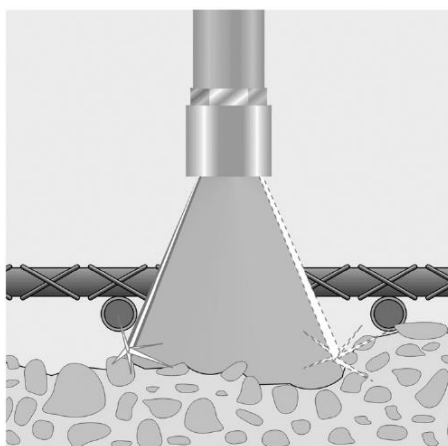


Figura 69 Procedimiento de tratamiento: hidrodemolición (pág. 1)

4. Se debe implementar un sistema de recolección de aguas para evitar la contaminación y problemas ambientales o de los sistemas hidrosanitarios.

5. Luego de la remoción del concreto se debe realizar una inspección que confirme la ausencia de suciedad, polvo, aceites o cualquier elemento que pueda afectar la adherencia del nuevo concreto.

6. Se eliminará la capa de óxido y corrosión que se encuentra en el acero de refuerzo, ya sea por métodos manuales o mecánicos.

7. Una vez el área se encuentre limpia, se recomienda implementar, un puente de adherencia, que sirva como un recubrimiento de protección, que sirva para inhibir la corrosión en el acero de refuerzo.

Se recomienda implementar un producto que cumpla con las especificaciones contenidas en el “Producto D- Recubrimiento para acero, con inhibidor de corrosión y puente de adherencia”, definidas más adelante en el título “Especificaciones de productos para la intervención de lesiones”.

8. Se puede implementar lo descrito en el procedimiento del tratamiento **TIPO-I** para la rehabilitación del acero de refuerzo, donde sea necesario, así como los procedimientos de vaciado del nuevo concreto.

Este tipo de tratamiento puede implementarse con mano de obra y sin necesidad de maquinaria adicional. Sin embargo, los tiempos de rehabilitación se incrementarán sustancialmente.

Especificaciones de productos

Con la finalidad de enmarcar los productos necesarios, según el tratamiento, se realizaron unas tablas que engloban las características más importantes de estos. Se deben implementar cuatro tipos de productos diferentes los cuales se muestran a continuación:

PRODUCTO A- Puente de adherencia o de unión		
Densidad aproximada	1,3-1,7	Kg/L
Resistencia de adherencia a tensión mínima aproximada	1,5	Mpa
Resistencia a compresión aproximada (28 días)	70	Mpa
Módulo de elasticidad a compresión aproximado	1650-1800	Mpa
Temperatura mínima de aplicación	5°	°C
Temperatura máxima de aplicación	30°	°C
Condición de aplicación	Seca/Humeda	

Tabla 40 PRODUCTO A- Puente de adherencia o de unión

PRODUCTO B- Concreto fluido de baja retracción para reparación estructural		
Módulo elástico a compresión mínimo aproximado	2000	Mpa
Resistencia a Compresión mínima aproximada (28 días)	32	Mpa
Resistencia a Flexión mínima aproximada (28 días)	5,8	Mpa
Espesor de capa aproximado	20-50	mm
Temperatura mínima de aplicación	5°	°C
Temperatura máxima de aplicación	30°	°C

Tabla 41 PRODUCTO B- Concreto fluido de baja retracción para reparación estructural

PRODUCTO C- Mortero para reparación de estructuras de concreto		
Densidad aproximada	2	Kg/L
Resistencia a Compresión mínima aproximada (28 días)	32	Mpa
Resistencia a Flexión mínima aproximada (28 días)	5,8	Mpa
Adherencia al concreto mínima aproximada (28 días)	15	Mpa
Expansión máxima aproximada	4%	
Temperatura mínima de aplicación	5°	°C
Temperatura máxima de aplicación	35°	°C

Tabla 42 PRODUCTO C- Mortero para reparación de estructuras de concreto

PRODUCTO D- Recubrimiento para acero, con inhibidor de corrosión y puente de adherencia		
Densidad aproximada	2	Kg/L
Módulo de elasticidad a Compresión	16000	Mpa
Resistencia a la adherencia a Tensión mínima	1	Mpa
pH mínimo	10	
Temperatura mínima de aplicación	8°	°C
Temperatura máxima de aplicación	35°	°C

Tabla 43 PRODUCTO D- Recubrimiento para acero, con inhibidor de corrosión y puente de adherencia

Capítulo 7

Propuesta de intervención

Descripción general de la intervención planteada

Dentro de los capítulos de historia clínica y diagnóstico, así como teniendo en cuenta lo evaluado en los antecedentes y la inspección técnica, existen dos tipos de intervención que pueden llegar a implementarse sobre la estructura del Módulo 4 de “Merca Plaza”.

La primera consistirá en una rehabilitación de aquellos elementos estructurales que lo requieran. En esta alternativa también se incluye lo referente a un reforzamiento estructural, ya sea la construcción de los elementos nuevos necesarios, así como de aquellos que requieren un incremento de sección y/o refuerzo adicional para cumplir los lineamientos contenidos en la NSR-10.

La segunda alternativa, consiste en una demolición de los elementos que componen al Módulo 4 y su reconstrucción total desde cero, pero hasta el mismo avance o punto en el que se encuentra actualmente la estructura para fines de comparación con el mismo estándar.

La elección de la alternativa seleccionada se discutirá más adelante, y dependerá directamente de dos factores: la relación costo/beneficio y la complejidad de los procedimientos y tratamientos necesarios para su rehabilitación.

Alternativa terapéutica de demolición y reconstrucción total

Esta alternativa podría ser seleccionada una vez se realice el análisis económico y del nivel de complejidad que se requiera para su ejecución.

Consiste en la demolición total de la estructura existente, y el rediseño y ejecución de una estructura totalmente nueva. Se plantea la demolición de la totalidad de las vigas, columnas y losa de fachada, al igual que las zapatas de cimentación.

Esta demolición debe aplicarse si los procesos de tratamiento y reforzamiento resultan ser más costosos y requieran de una complejidad alta, comparado con un total rediseño del Módulo 4 de “Merca Plaza”.

Los lineamientos y parámetros que se deben seguir durante el proceso de esta alternativa, no se encuentran dentro del alcance de este documento. No obstante, se realizará el cálculo aproximado de su costo y posible duración.

Alternativa terapéutica de intervención para saneamiento de lesiones y reforzamiento estructural

Esta alternativa podría ser seleccionada una vez se realice el análisis económico y del nivel de complejidad que se requiera para su ejecución.

Luego del análisis de lesiones evidenciadas, se determinó que la totalidad de los elementos estructurales poseen un grado significativo de carbonatación, y que a su vez presentan un avance del fenómeno de corrosión. De acuerdo con lo anterior, se decide plantear una alternativa que ayude a solucionar este problema que se encuentra presente, y permite tratar las demás lesiones presentes en la estructura.

Se recomienda implementar el tratamiento TIPO VII. El cual consiste en retirar el concreto de recubrimiento del acero de refuerzo y parte del concreto que se encuentra en la parte posterior del mismo. Luego, se implementará un recubrimiento al acero de refuerzo que inhiba los procesos de corrosión. La finalidad de realizar este tratamiento es solucionar de raíz el problema actual de carbonatación y de corrosión que aquejan a la estructura y al mismo tiempo se corrigen todas las demás lesiones correspondientes a fisuras, hormigueros u oquedades, desalineamientos, etc.

El procedimiento resulta ser totalmente invasivo, ya que se está eliminando una porción considerable del concreto de los elementos estructurales. Adicionalmente, se deben realizar

reforzamientos temporales del elemento tratado para evitar colapsos parciales, y que resulten en procedimientos más costosos y complejos para su posterior reparación.

Una ventaja de implementar el tratamiento TIPO VII, resulta en el tratamiento indirecto de todas las demás lesiones presentes en los elementos estructurales, ya que la gran mayoría se concentran en problemas o lesiones presentes en el concreto.

Para el reforzamiento del Módulo 4 de “Merca Plaza”, según el análisis de vulnerabilidad estructural, plantea lo siguiente: la ejecución de 8 nuevos muros pantalla, con su cimentación, el reforzamiento de 18 columnas y el diseño y reforzamiento de un total de 22 vigas. De esta ejecución se garantizará la integridad y seguridad estructural una vez el Módulo sea puesto en servicio de la comunidad.

El procedimiento de reforzamiento puede realizarse, según sea el caso, en conjunto con el previsto para el tratamiento y saneamiento de lesiones descrito con anterioridad.

Evaluación de las posibilidades de intervención

El costo tendrá un impacto alto en la elección de la alternativa seleccionada, sin embargo, se debe contemplar que, aunque una de las alternativas sea más económica, su grado de complejidad puede ser mayor con respecto a la otra alternativa existente.

Por lo tanto, se realizará una evaluación de cada alternativa, desde el punto de vista técnico, temporal y económico. Lo que permitirá determinar cuál de las dos alternativas planteadas resulta ser más viable y se recomienda implementar.

Evaluación técnica, tecnológica y ambiental incluyendo la programación de obra de cada alternativa

Dentro de la alternativa de tratamiento y reforzamiento se debe considerar la utilización de equipos específicos para ciertas labores, mano de obra calificada y con experiencia para implementar los tratamientos necesarios para la rehabilitación de la estructura.

En la zona en la que se encuentra la estructura, es posible que la mano de obra calificada para las labores específicas de tratamientos no sea fácil de encontrar. Se debe tener en cuenta que los procedimientos de dichas rehabilitaciones no son usuales, y que por lo general requieren de conocimientos precisos y específicos para cada labor que deba ser realizada. Ahora, en términos de equipos y herramientas, no se considera como un factor importante y se considera que pueden ser obtenidos e implementados con facilidad.

Es recomendable tener principal cuidado con el apuntalamiento temporal de cada elemento que deba ser intervenido, ya que existe un riesgo alto de que los elementos estructurales fallen o colapsen durante el proceso de rehabilitación. Lo que resalta nuevamente la necesidad de tener mano de obra calificada y un profesional idóneo para esa alternativa de intervención.

Para la alternativa de tratamiento y reforzamiento estructural, es posible estimar un tiempo prudente de 4 meses para su ejecución. Durante este tiempo es posible realizar la implementación total del tratamiento necesario para los elementos estructurales, los reforzamientos requeridos y la construcción de los nuevos elementos que se requieran.

Ahora, para la alternativa de demolición y reconstrucción total, la dificultad de realizar dicha alternativa es mínima. Debido a que esta estructura es típica, tanto a nivel general como a nivel local, no es necesaria la implementación de insumos, equipos, herramientas y mano de obra que requieran de un grado significativo de especificidad. El tiempo requerido sería el mismo para la intervención y reforzamiento, constando de 4 meses que corresponderían a la demolición de la estructura existente y la reconstrucción hasta el mismo punto en la que se encuentra actualmente.

Desde el punto de vista ambiental y de sostenibilidad, se encuentra que ambas alternativas tienen diversos impactos negativos que deben ser mitigados durante la ejecución de cualquiera de las dos opciones.

Para el caso de la alternativa de rehabilitación y reforzamiento, se pueden generar impactos significativos en el suelo, aire y agua durante las actividades de demolición parcial de concreto, limpieza con sand blasting o hidrodemolición del refuerzo afectado por corrosión y del concreto, así como al manejo de productos químicos requeridos para los anclajes, puentes de adherencia y otras actividades.

En el caso de la alternativa de demolición y reconstrucción total de la estructura, el impacto negativo y significativo de los recursos aire, agua y suelo, se presentará durante la etapa de demolición completa, transporte y disposición final de los escombros, lo cual requiere la redacción de un programa o plan de manejo ambiental. Durante la etapa de obra se presentarán los impactos normalmente esperados en la construcción de una obra nueva, pero que deben ser correcta y debidamente mitigados con la implementación de un plan de gestión integral de obra (PGIO) que incluya el componente de salud y seguridad en el trabajo, calidad de obra y el aspecto ambiental.

Dado que ambas alternativas tienen impactos en el ambiente, pero que pueden ser debidamente mitigados, este aspecto no inclina la balanza para la selección de una u otra propuesta de intervención.

Evaluación económica a partir de presupuesto de intervención de cada alternativa planteada

Se realiza el análisis económico de las alternativas planteadas, en el cual se tiene en cuenta los diferentes materiales, procesos y herramientas que se requieren para su implementación. Al realizar la comparación de costos entre ambas alternativas, se consideró como punto de referencia el estado en el que se encuentra la estructura actualmente, es decir, la reconstrucción se lleva hasta el armazón con la implementación de los nuevos elementos estructurales necesarios, sin la implementación de cubierta, muros e instalaciones (para fines de comparación en condiciones iguales).

Con lo mencionado en el párrafo anterior es posible obtener una comparación directa de los costos y cual resultaría ser la alternativa más viable, en términos económicos. Se debe considerar que aquellos elementos estructurales que requieran de trabajo en alturas serán más costosos que aquellos que se realicen a nivel de cimentación.

Para la alternativa de Intervención y reforzamiento, se obtuvieron 3 capítulos, así: preliminares, cimentación y estructura aérea. Se implementa un porcentaje (%) de imprevistos del 15%, ya que al ser labores de tratamientos y reforzamiento se pueden presentar un número elevado de imprevistos durante su ejecución y mayores cantidades de obra. El costo total para esta alternativa es de quinientos cuarenta y dos millones ochocientos veinticuatro mil cuatrocientos pesos M/CTE. (\$542.824.400.00), con un costo por metro cuadrado (m^2) de cuatrocientos cincuenta y dos mil trescientos cincuenta y tres pesos M/CTE. (\$452.353.00).

De cada capítulo se obtuvo un costo total, según el ítem o actividad que dicho capítulo requiera, obteniendo los siguientes valores:

- Preliminares: Nueve millones seiscientos veintiocho mil novecientos cincuenta pesos M/CTE. (\$9.628.950.00).
- Cimentación: Setenta y dos millones seiscientos treinta y ocho mil setecientos siete pesos M/CTE. (\$72.638.707.00)
- Estructura aérea: Trescientos diecinueve millones ochocientos veinticuatro mil cuatrocientos noventa y dos pesos M/CTE. (\$319.824.492.00).

Es de resaltar que los detalles correspondientes al reforzamiento, así como los procedimientos para tratar las lesiones existentes se observan en los planos de intervención 1 al 7 incluidos en el apéndice 5.

Los resultados obtenidos del análisis para la alternativa de intervención y reforzamiento estructural del módulo 4, se muestran en la siguiente figura:

VALORACION ECONOMICA NUEVO MERCADO DE LORICA MERCAPLAZA - MODULO 4

Valoración costo de intervención para corrección de patologías y reforzamiento estructural

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	SUB TOTAL
I. Preliminares					
1.1	Cerramiento provisional en polisombra (3 veces)	ML	220,00	\$ 15.000	\$ 3.300.000
1.2	Campamento de obra y almacén	Un	1,00	\$ 1.500.000	\$ 1.500.000
1.3	Retiro y disposición de escombros	M3	98,55	\$ 49.000	\$ 4.828.950
					\$ 9.628.950
II. Cimentación					
2.1	Recrecimiento de zapatas f'c = 21 Mpa	M3	5,00	\$ 650.000	\$ 3.250.000
2.2	Concreto de limpieza	M3	4,35	\$ 450.000	\$ 1.958.625
2.3	Excavación manual para alcanzar nivel de cimientos	M3	87,05	\$ 20.000	\$ 1.741.000
2.4	Acero de refuerzo para elementos en concreto cimentación	Kg	1240,00	\$ 5.000	\$ 6.200.000
2.5	Vigas de amarre en concreto de 21 Mpa (nuevas)	M3	9,77	\$ 1.000.000	\$ 9.768.000
2.6	Localización y replanteo	M2	1200,00	\$ 5.000	\$ 6.000.000
2.7	Implementación de tratamiento tipo VII - Remoción de concreto afectado y restitución mediante concreto fluido y de baja retracción según procedimiento I	M3	7,95	\$ 2.500.000	\$ 19.875.000
2.8	Implementación de tratamiento tipo VII - Saneado de refuerzo afectado por óxido y corrosión (paso 6) y tratamiento tipo I	M2	113,00	\$ 65.588	\$ 7.411.482
2.9	Implementación de tratamiento tipo VII - Puente de adherencia (paso 7) y tratamiento tipo I	M2	113,00	\$ 23.000	\$ 2.599.000
2.10	Demolición de vigas de amarre (por completo)	M3	9,82	\$ 80.000	\$ 785.600
2.11	Anclaje mediante resina epóxica tipo estructural TDF mínima 50 °C Diámetros desde 3/8 a 7/8" (incluye perforación)	Un	290,00	\$ 45.000	\$ 13.050.000
					\$ 72.638.707
III. Estructura aérea					
3.1	Muros en concreto reforzado f'c = 21 Mpa	M3	18,0	\$ 1.200.000	\$ 21.600.000
3.2	Recrecimiento de columnas con concreto de baja retracción (En alturas)	M3	6,4	\$ 3.000.000	\$ 19.200.000
3.3	Vigas aéreas de concreto f'c = 21 Mpa (Nuevas)	M3	29,3	\$ 1.200.000	\$ 35.100.000
3.4	Acero de refuerzo para elementos en concreto estructura aérea (reforzamiento)	Kg	9529,5	\$ 5.000	\$ 47.647.500
3.5	Demolición de concreto reforzado de vigas a reconstruir por completo	M3	5,3	\$ 300.000	\$ 1.575.000
3.6	Implementación de tratamiento tipo VII - Remoción de concreto afectado y restitución mediante concreto fluido y de baja retracción según procedimiento I (En altura)	M3	40,6	\$ 3.000.000	\$ 121.800.000
3.7	Implementación de tratamiento tipo VII - Saneado de refuerzo afectado por óxido y corrosión (paso 6) y tratamiento tipo I (En altura)	M2	507,5	\$ 74.143	\$ 37.627.742
3.8	Implementación de tratamiento tipo VII - Puente de adherencia (paso 7) y tratamiento tipo I (En altura)	M2	507,5	\$ 29.900	\$ 15.174.250
3.9	Apuntalamiento temporal de elementos estructurales	Gl	1,0	\$ 12.000.000	\$ 12.000.000
3.10	Anclaje mediante resina epóxica tipo estructural TDF mínima 50 °C Diámetros desde 3/8 a 7/8" (incluye perforación)	Un	180,0	\$ 45.000	\$ 8.100.000
					\$ 319.824.491,7
Sub Total					\$ 402.092.148
Administración (15%)				15%	\$ 60.313.822
Utilidad (5%)				5%	\$ 20.104.607
Imprevistos, actividades no previstas y mayores cantidades de obra (15%)				15%	\$ 60.313.822
TOTAL					\$ 542.824.400
Area aproximada (m2)					1200
Costo/m2					\$ 452.353,7

Figura 70 Valoración económica de alternativa de intervención y reforzamiento

Para la alternativa de demolición y reconstrucción total, se obtuvieron 3 capítulos, así: preliminares y demolición general, cimentación y estructura aérea. Se implementa un porcentaje (%) de imprevistos del 5%, ya que las labores y actividades, por lo general, no suelen ser considerables o de gran magnitud durante su ejecución. El costo total para esta alternativa es de cuatrocientos cincuenta y seis millones doscientos veinte mil quinientos noventa y cuatro pesos M/CTE. (\$456.220.594.00), con un costo por metro cuadrado (m^2) de trescientos ochenta mil ciento ochenta y cuatro pesos M/CTE. (\$380.184.00).

De cada capítulo se obtuvo un costo total, según el ítem o actividad que dicho capítulo requiera, obteniendo los siguientes valores:

- Preliminares y demolición general: Treinta y siete millones trescientos ochenta y dos mil pesos M/CTE. (\$37.382.000.00).
- Cimentación: Noventa y seis millones seiscientos veintiséis mil seiscientos pesos M/CTE. (\$96.626.600.00)
- Estructura aérea: Doscientos treinta millones novecientos sesenta y siete mil ochocientos setenta y cinco pesos M/CTE. (\$230.967.875.00).

Los resultados obtenidos del análisis para la alternativa de intervención y reforzamiento estructural del módulo 4, se muestran en la siguiente figura:

VALORACION ECONOMICA NUEVO MERCADO DE LORICA MERCAPLAZA - MODULO 4

Valoración costo de intervención demolición y reconstrucción total

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	SUB TOTAL
I. Preliminares y demolición general					
1.1	Cerramiento provisional en polisombra (3 veces)	ML	220,00	\$ 15.000	\$ 3.300.000
1.2	Campamento de obra y almacén	Un	1,00	\$ 1.500.000	\$ 1.500.000
1.3	Retiro y disposición de escombros	M3	143,00	\$ 49.000	\$ 7.007.000
1.4	Demolición mediante maquinaria pesada y cuadrilla de apoyo	Gl	1,00	\$ 25.575.000	\$ 25.575.000
					\$ 37.382.000
II. Cimentación					
2.1	Concreto de limpieza	M3	4,52	\$ 450.000	\$ 2.035.800
2.2	Excavación manual para alcanzar nivel de cimientos	M3	90,48	\$ 20.000	\$ 1.809.600
2.3	Acero de refuerzo para elementos en concreto cimentación	Kg	5763,54	\$ 5.000	\$ 28.817.700
2.4	Concreto para zapatas f'c = 21 Mpa	M3	36,19	\$ 650.000	\$ 23.523.500
2.5	Concreto para pedestales f'c = 21 Mpa	M3	4,80	\$ 1.200.000	\$ 5.760.000
2.6	Vigas de amarre en concreto de 21 Mpa	M3	28,68	\$ 1.000.000	\$ 28.680.000
2.7	Localización y replanteo	M2	1200,00	\$ 5.000	\$ 6.000.000
					\$ 96.626.600
III. Estructura aérea					
3.1	Muros en concreto reforzado f'c = 21 Mpa	M3	18,8	\$ 1.200.000	\$ 22.560.000
3.2	Columnas en concreto reforzado f'c = 21 Mpa	M3	33,1	\$ 1.200.000	\$ 39.720.000
3.3	Vigas aéreas de concreto f'c = 21 Mpa	M3	53,3	\$ 1.200.000	\$ 63.960.000
3.4	Placa de entrepiso en concreto reforzado f'c = 21 Mpa	M2	106,6	\$ 150.000	\$ 15.994.875
3.5	Acero de refuerzo para elementos en concreto	Kg	17746,6	\$ 5.000	\$ 88.733.000
					\$ 230.967.875,0
Sub Total					\$ 364.976.475
Administración (15%)				15%	\$ 54.746.471
Utilidad (5%)				5%	\$ 18.248.824
Imprevistos (5%)				5%	\$ 18.248.824
TOTAL					\$ 456.220.594

Area aproximada (m2)	1200
Costo/m2	\$ 380.184

Figura 71 Valoración económica de alternativa de demolición y reconstrucción total

Alternativa seleccionada

Del análisis y los resultados obtenidos del título anterior, es posible determinar la alternativa más favorable en términos económicos y técnicos. La demolición y reconstrucción total del Módulo 4, resultó ser la alternativa más económica con un total de \$456.220.594.00 pesos M/CTE. comparado con la intervención y reforzamiento, la cual obtiene un total de \$542.824.400.00 pesos M/CTE.

El costo de demolición y reconstrucción total resulta ser un dieciséis por ciento (16%) menor que la intervención y reforzamiento, siendo la alternativa que resulta ser más viable.

Dado que los tiempos de ejecución resultarían ser los mismos para cada alternativa (de 4 meses aproximadamente) y, como se menciona en el párrafo anterior, la diferencia entre los costos totales es del 16%, es posible considerar dos factores adicionales para determinar la alternativa seleccionada. El factor de dificultad de ejecución y el estado final son factores que se deben considerar y que resultarían ser importantes para la elección de las alternativas propuestas.

Como se menciona en el título “Evaluación técnica y tecnológica incluyendo la programación de obra de cada alternativa”, los procedimientos de tratamientos requieren de mano de obra calificada y con experiencia en el área, materiales, herramientas y equipos específicos, que conlleva a una complejidad mayor para su ejecución. Adicionalmente se debe tener en cuenta un mayor riesgo de la integridad estructural y del personal durante la implementación del tratamiento patológico seleccionado. Por el incremento de complejidad de ejecución para la alternativa de intervención y reforzamiento, la alternativa que resulta ser más viable es la demolición y reconstrucción total.

Para la condición de estado final de la estructura, según cada alternativa, se considera la estructura luego de la finalización de su ejecución. De la rehabilitación del módulo existente es importante resaltar que se trataría de una estructura que tiene un grado alto de intervención, teniendo como base una estructura antigua y diseñada según una normativa anterior. Ahora, de la demolición y reconstrucción se obtiene una estructura totalmente nueva y que cumplirá con los requisitos mínimos para la normativa vigente.

Teniendo en cuenta todos estos factores, la alternativa seleccionada y recomendada para la ejecución del Módulo 4 del Nuevo Mercado de Lorica “Merca Plaza”, es su demolición y reconstrucción total.

Capítulo 8

Conclusiones y recomendaciones generales

1. Se llevó a cabo el estudio de patología geriátrica del módulo 4 del nuevo mercado público Merca-Plaza de la ciudad de Lorica en el departamento de Córdoba, abarcando la realización de la respectiva historia clínica que incluyó, la realización de topografía, el levantamiento y calificación de lesiones, ensayos destructivos y no destructivos, análisis detallado de estado del frente de carbonatación y corrosión del acero de refuerzo, el análisis estructural para la determinación de la vulnerabilidad sísmica estructural, el diagnóstico integrado, el diseño de una alternativa de intervención y la elección de la más recomendable para la intervención de la edificación desde el punto de vista técnico y de costo/beneficio.

En este documento se muestran los resultados detallados de cada uno de los aspectos verificados y sus respectivas conclusiones.

2. Al tratarse de un estudio de trabajo profesional integrado con limitaciones en el número de ensayos, se verificaron los resultados de estudios de patología realizados a los módulos 1, 2 y 3 del nuevo mercado de Lorica construidos en el mismo tiempo y condiciones que el número 4, para tener como referencia sus hallazgos y así realizar un diagnóstico integral.

Resultados del levantamiento y calificación de lesiones

3. La extensión general del daño correspondió a un 75.43%, el cual es severo y significativo, encontrando que todos los elementos a nivel específico presentan un daño igual o mayor al 50% de su área superficial.
4. Del total del área o extensión del daño, un 73% impacta las condiciones de servicio, funcionalidad y durabilidad de la estructura y un 45% del mismo, se considera que afecta el aspecto de resistencia o capacidad estructural, lo que muestra el grado significativo de deterioro y afectación de los elementos estructurales y la perentoria necesidad de realizar algún tipo de intervención.
5. El 73% del daño o lesiones evidenciadas en la estructura, fueron catalogadas con un grado moderado o severo, es decir que solo un 27% corresponde a afectaciones leves que no generan mayores impactos en la durabilidad y resistencia de la estructura. Nuevamente, este aspecto muestra que la estructura se diagnostica con una afectación significativa y un pronóstico muy negativo en caso de no ser intervenida.

6. Las causas de las lesiones visibles en la edificación principalmente corresponden a las físicas con un porcentaje del 54.5% de extensión del daño asociado, seguidas de las causas indirectas y mecánicas.
7. Se detectaron un total de 364 lesiones en los elementos estructurales, siendo un 70% catalogadas como severas.
8. Las lesiones que mayor área o extensión del daño presentan con respecto al área total superficial inspeccionada, corresponden a las humedades (30%), seguidas por la erosión por agente atmosférico (24%), otros defectos de instalación o fabricación de elementos estructurales (9%), las fisuras (3%), oquedades y hormigueros (3%) y los desprendimientos y delaminaciones (3%), entre otras.

Resultados de ensayos destructivos y no destructivos y su relación con lesiones, síntomas y causas

9. Se realizaron 12 ensayos de medición del índice de rebote mediante esclerómetro, encontrando un valor de 27.05, con una desviación estándar de 5.35 y un coeficiente de variación de 0.2 (20%), lo que refleja cierto nivel de variabilidad en la calidad y características del concreto, sin embargo, no es tan significativa que requiera la definición de más de una zona homogénea para la caracterización de los materiales.
10. No fue posible correlacionar la resistencia a compresión real del concreto, a partir de los resultados de índice de rebote, ya que no se obtuvo una curva consistente o satisfactoria a partir de los ensayos de esclerometría vs núcleos realizados para este estudio específicamente. En el mismo sentido, otras curvas o correlaciones existentes para ensayos en Colombia o la propia del esclerómetro de marca controls, no mostraron resultados consistentes con los resultados de los núcleos o con los resultados de los estudios antecedentes por lo cual no fueron consideradas. Por lo tanto, los ensayos de esclerometría solo se usaron para fines cualitativos con respecto a la uniformidad del concreto entre los diversos elementos estructurales.
11. Se realizaron 7 ensayos de extracción, corte y compresión de núcleos de concreto, correspondientes a 4 en columnas y 3 en vigas y sus resultados se ajustaron conforme a la metodología recomendada por la guía ACI 214.R-10.

Con base en estos se encontró que la resistencia del concreto a compresión es de 18.9 MPa para columnas y 20.5 MPa para vigas y si se tiene en cuenta la desviación estándar, se puede tomar un valor de 15.8 MPa para las columnas y de 17.3 MPa para las vigas.

12. Se decidió caracterizar la resistencia a compresión del concreto a partir de la resistencia promedio menos la desviación estándar, ya que de esta forma se obtiene un valor conservador que garantiza que los cálculos de resistencia en realidad superan los valores mínimos esperados.
13. Se llevaron a cabo 10 regatas en la estructura que permitieron verificar el tipo, localización, recubrimiento, diámetro, separación y estado del acero de refuerzo, así como la medición del frente de carbonatación en el concreto.
14. Mediante un indicador de fenolftaleína al 1% en agua destilada, se encontró que de 8 ensayos realizados, en 6 puntos, el frente de carbonatación había superado el recubrimiento disponible y en 2 puntos éste se encontraba a 10 mm o menos de alcanzar el acero de refuerzo. Por ello se puede concluir que, en términos generales, la estructura ya cumplió la vida útil del proyecto para agresor tipo CO₂ según las definiciones contenidas en la NTC 5551 “Durabilidad” y ha ingresado en la etapa de propagación del fenómeno de corrosión correspondiente a la vida útil de servicio o residual de la estructura.
15. De acuerdo con los resultados obtenidos, no se consideró necesario obtener la velocidad de carbonatación de la estructura y con base en ello estimar la vida útil esperada de la estructura. No obstante, puede concluirse que el fenómeno de carbonatación es prematuro, considerando la vida de la estructura correspondiente a 22 años y la esperada de 50 años para una edificación de este tipo.
16. A partir de la inspección realizada al acero de refuerzo, mediante una metodología cualitativa - cuantitativa propia de los autores se catalogó que el 100% del refuerzo de la estructura ya muestra algún avance del proceso de corrosión y su grado se catalogó en un grado de 3.0, en una escala de 1 a 5. Mediante las inspecciones y mediciones se estimó, que la pérdida de sección en el acero de refuerzo es aproximadamente del 15%.
17. Se aplicó la metodología simplificada propuesta por el Instituto Eduardo Torroja para evaluar la corrosión en una estructura, utilizando 4 de los 6 parámetros estipulados, correspondientes a profundidad de carbonatación (XCO₂), nivel de cloruros (XCL),

fisuración por corrosión en el recubrimiento (W) y pérdida de sección (Fi), encontrando que el indicador de daño por corrosión es de 3. En consecuencia, si tiene en cuenta que el tipo de exposición es XC3 correspondiente a corrosión inducida por carbonatación con humedad moderada, se obtiene que el índice de corrosión es de 2.5, lo que cataloga a la edificación con una corrosión media según el criterio establecido en la tabla 3.3 del manual.

18. Utilizando la misma metodología indicada en la conclusión anterior, se estableció que el índice de daño estructural correspondió a 3.5, con lo cual, si se considera el índice de corrosión, se obtiene que las consecuencias del posible fallo debido a este fenómeno serán severas o muy severas. Bajo este concepto y según los criterios de la misma metodología, la urgencia en la intervención de la edificación esta entre 0 y 5 años como máximo o de lo contrario se esperaría un probable colapso.

Estudio de vulnerabilidad sísmica estructural

19. A partir del estudio de vulnerabilidad estructural realizado bajo los lineamientos del capítulo A.10 de la NSR-10, se encontró que el índice de flexibilidad de la edificación es de 5.68, con una debilidad principal en el sentido corto o débil. El índice de sobre resistencia se estimó en 2.72. Por lo tanto, la edificación requiere ser intervenida para efectos de dar cumplimiento a los requisitos de la normativa actualmente vigente.
20. En consecuencia, se diseñó a nivel básico, incluyendo el análisis, cálculo estructural y planos básicos, la intervención requerida para subsanar la vulnerabilidad de la edificación, planteando la construcción de 8 pantallas de 25 cm de espesor, el recrecimiento de algunas vigas y columnas, la construcción de nuevas vigas en el sentido corto y la adición de refuerzo longitudinal y transversal de algunos elementos.

La intervención genera que el sistema cambie de pórticos resistentes a momento a un sistema combinado, en el cual, los muros de cortante asumirán la mayor parte del cortante sísmico y los pórticos principalmente la carga gravitacional y algún porcentaje del sismo.

En planos anexos incluidos en el apéndice 5 se describe la intervención requerida para tal fin y en el apéndice 4 se encuentran las memorias de cálculo del estudio de vulnerabilidad y diseño de la intervención planteada.

Diagnóstico

21. La edificación presenta un número significativo de lesiones que representan una alta extensión del daño con un grado de severidad moderado con impactos significativos en la durabilidad, resistencia y aspecto de la estructura. Las lesiones más recurrentes correspondientes a humedades, manchas y erosiones son causadas por factores físicos que se agravan por el estado de abandono de la edificación sin mantenimiento alguno.

Otras lesiones primarias como hormigueros, oquedades y fisuras se generaron principalmente por causas indirectas debido a los deficientes procesos constructivos originales.

Estas lesiones primarias y falta de mantenimiento han desencadenado dos patologías secundarias en orden cronológico y causal a saber: la carbonatación prematura del concreto de recubrimiento debido a la baja compacidad del concreto, la existencia de puntos de fácil acceso del agresor CO_2 y las deficiencias intrínsecas del concreto con deficiente dosificación, colocación y cuidado durante las etapas de fraguado y curado.

La carbonatación del concreto y la existencia de caminos de fácil ingreso del agresor y los demás factores requeridos como la humedad y el oxígeno, desencadenaron en la propagación del fenómeno de corrosión del acero de refuerzo, que se catalogó a nivel general con un grado de avance medio, pero que genera una probabilidad de fallo severo o muy severo y con una necesidad de intervención urgente en un lapso no mayor a 5 años.

Finalmente, el proceso de corrosión desencadenó en nuevas fisuras, delaminaciones y desprendimientos y por ende en la agravación del fenómeno.

Alternativas de tratamiento y su evaluación

Se identificaron dos posibles alternativas de tratamiento de la edificación:

22. Tratamiento integral de las lesiones y patologías de la edificación y la intervención simultánea de la estructura para fines de reforzamiento estructural según los diseños realizados en el estudio de vulnerabilidad sísmica. En esta alternativa N° 1 se apuntalan todos los elementos aéreos, se efectúa el retiro del 100% de los recubrimientos de la edificación incluyendo 3 cm detrás de las barras de refuerzo, se tratan las lesiones con mayor profundidad tales como fisuras, hormigueros u oquedades, se lleva a cabo el saneamiento del refuerzo afectado por corrosión, se instala el refuerzo adicional requerido

por reforzamiento donde éste aplica, se restituye el recubrimiento o recrece el elemento según el caso, y se construyen los nuevos elementos requeridos por efectos de reforzamiento, tales como muros de cortante, nuevas vigas y zapatas.

Todos los procedimientos y productos necesarios para realizar el tratamiento e intervención se encuentran en los planos incluidos en el apéndice 5 y en el cuerpo de este documento.

23. La segunda alternativa consiste en la demolición y reconstrucción integral y desde cero de toda la edificación.
24. Ambas alternativas son viables desde el punto de vista técnico, sin embargo, se considera que la alternativa 1, correspondiente al tratamiento y reforzamiento de los elementos existentes, requiere un mayor nivel de especialidad y experticia para su implementación, por lo cual en ese sentido la alternativa 2, tiene mayor favorabilidad.

Desde el punto de vista ambiental y de sostenibilidad, ambas alternativas podrían generar impactos negativos similares, por lo cual no es un aspecto determinante en la definición de las propuestas de intervención, sin embargo y, en cualquier caso, durante la ejecución se debe evaluar este aspecto implementando un plan de manejo ambiental y/o un plan de gestión integral de obra (PGIO) para efectuar su mitigación.

Desde el punto de vista económico, la alternativa 1 se valoró en \$542.824.400 (\$452.353/m²) aproximadamente, mientras que la alternativa 2 se estimó en un valor de \$456.220.594 (\$380.184.00/m²).

De acuerdo con lo anterior, se considera que la alternativa que representa un mejor costo/beneficio y favorabilidad técnica, corresponde a la demolición y reconstrucción total de la estructura.

Capítulo 9

Recomendaciones de mantenimiento preventivo

Considerando el estado actual de abandono de la estructura, no se prevén recomendaciones de mantenimiento preventivo más allá de la propia intervención integral de la estructura existente, a partir de la demolición y su reconstrucción total.

Es válido indicar que debido a que el pronóstico es muy negativo, donde se espera que la estructura, sin intervención, podría colapsar en un periodo no mayor a cinco (5) años, se recomienda su intervención o demolición de forma prioritaria o restringir por completo el acceso de personas al sector y su interior.

Referencias

- ACI, A. C. (2003). *ACI RAP Bulletin 4, Field Guide to Concrete Repair Application Procedures*.
- AS, (. C. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10)*.
- American Concrete Institute. (2011). *Guide to Evaluation of Stregngth Test Results of Concrete*.
- BENEDETTI, I. J. (2014). *ESTUDIO DE PATOLOGIA ESTRUCTURAL DE LOS BLOQUES A Y B DEL NUEVO MERCADO PÚBLICO, MUNICIPIO DE LORICA, DEPARTAMENTO DE CORDOBA*.
- Broto, C. (2006). *Enciclopedia Broto de las Patologías de la Construcción*. STRUCTURE.
- Chang, C. F., & Chen, J.-W. (2006). The experimental investigation of concrete carbonation depth. *Cement and Concrete Research*, 1760-1767.
- CLIMATE-DATA.ORG. (2015). *Clima Lorica: Temperatura, Climograma y Tabla climática para Lorica - Climate-Data.org*. Recuperado el 20 de octubre de 2014 de <https://es.climate-data.org/america-del-sur/colombia/cordoba/lorica-31111/>.
- CONTECVET. (n.d.). *Manual de evaluación de estructuras afectadas por corrosión de la armadura*. Madrid: GEOCISA.
- CONTROLS. (2015). *MANUAL DE INSTRUCCIONES; ESCLERÓMETRO C0181-C0181/N*.
- Delgado Estrada, F. J., & Guerrero Benavides, J. L. (2015). *CORRELACIÓN ENTRE EL NÚMERO DE REBOTE (NTC 3692) Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (NTC 673) EN CILINDROS DE CONCRETO, UTILIZANDO MATERIALES DE LA MINA "EL ESPINO" Y LA CANTERA "PABÓN" Y "PILCUAN"*. UNIVERSIDAD DE NARIÑO.
- Emmons, P. (2012). *Reparación de Superficies de Concreto Mediante Técnicas de Encofrado y Vaciado*. ACI, American Concrete Institute.
- FONADE. (2014). *INFORME DE PATOLOGIA PRELIMINAR A LOS MODULOS 1, 2 Y 3 DE LA EDIFICACION DEL NUEVO MERCADO PÚBLICO "MERCA PLAZA" DEL MUNICIPIO DE SANTA CRUZ DE LORICA – DEPARTAMENTO DE CORDOBA*. Lorica, Córdoba.
- Galán, I. (2011). *Carbonatación del hormigón: combinación de CO2 con las fases hidratadas del cemento y frende de cambio de pH*. Madrid.
- Gomez Cortes, J. G. (1987). Determinación del índice esclerométrico en hormigones: factores que lo afectan. *Ingeniería e Investigación; No 16 (1987): Edición especial primer encuentro de ingenieros civiles egresados de la Universidad Nacional*, 31-38.
- Google Earth. (2014).
- Helene, P., & Pereira, F. (2003). *Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón, Reparación, Refuerzo y Protección*. São Paulo: CYTED.

- NRMCA, (. R. (2014). *CIP 23-Corrosion of Steel in Concrete*. Recuperado el 30 de abril de 2016 de www.nrmca.org
- Patología Rehabilitación Construcción. (2013). *Resistencia del hormigón mediante esclerómetro. Ensayo y valores de Fc*. Patología+Rehabilitación+Construcción; Web de información y formación para profesionales y estudiantes. Recuperado el 8 de junio de 2017 de <https://www.patologiasconstruccion.net/2013/11/resistencia-del-hormigon-mediante-esclerometro-2-ensayo-y-valor-fc/>
- PROCEQ. (2016). *Manual de operación, SilverSchmidt y Hammerlink*. Proceq SA.
- RCN Radio. (2016). *El top 5 de los 'elefantes blancos' del país*. Recuperado el 11 de enero de <https://www.rcnradio.com/colombia/top-5-los-elefantes-blancos-del-pais>
- Registrocdt.cl. (2013). *Puentes de Adherencia - Colmafix 32 Puente de Adherencia Epóxico Sika*. Recuperado el 20 de noviembre de 2018 de <http://www.registrocdt.cl/registrocdt/www/adminTools/fichaDeProductoDetalle.aspx?idFichaPro=438>
- Sandoval, R. M. (2014). *ESTUDIO DE SUELO PARA EL NUEVO MERCADO PUBLICO DEL MUNICIPIO DE SANTA CRUZ DE LORICA, DEPARTAMENTO DE CORDOBA*.
- (2014). *SANTA CRUZ DE LORICA-HISTORIA*. <http://www.angelfire.com/nt/ars/lorica/historia.html>.
- Soto, U. O. (2018). *¡Elefantes blancos y obras inconclusas!* El Espectador. Recuperado el 10 de enero de <https://www.elespectador.com/opinion/elefantes-blancos-y-obras-inconclusas-columna-814432>
- VanOcker, D. A., & Winkler, P. M. (2010). *Concrete Removal Using Hydrodemolition*. ACI, American Concrete Institute.

Apéndice

Apéndice 1: Fichas para levantamiento y calificación de lesiones

Apéndice 2: Localización y resultados de los ensayos realizados

Apéndice 3: Planos de levantamiento y calificación de lesiones

Apéndice 4: Análisis de vulnerabilidad estructural y reforzamiento

Apéndice 5: Planos de intervención y reforzamiento

Apéndice 6: Registro fotográfico

Apéndice 7: Estudio de suelos tomado como referencia

Vita

Los realizadores de este Trabajo Profesional Integrado – TPI y su experiencia relacionada con el área del proyecto específico, corresponde a la siguiente:

Roosvelt Sánchez. Ingeniero Civil – Especialista en Gerencia de Proyectos, con experiencia y desempeño en el diseño y construcción de obras civiles.

Pablo Chávez. Arquitecto – Estudiante de Maestría en restauración de edificaciones, con experiencia en estudios de patología, diagnóstico, intervención y construcción de edificaciones patrimoniales.

José Leonardo Díaz. Ingeniero Civil – Especialista en Análisis y Diseño de Estructuras, con experiencia en estudios de patología, vulnerabilidad sísmica y diseño de reforzamiento estructural, así como la evaluación, peritaje y estructuración de proyectos públicos y privados.