



FACULTAD DE INGENIERÍA

Maestría en Ingeniería Civil

Trabajo de Grado

Protocolo para los Estudios de Patología de la Construcción en Edificaciones de  
Concreto Reforzado en Colombia

Presentado por:

I.C. Patricia Díaz Barreiro

Director

Ph.D. Yesid A. Alvarado Vargas

Bogotá D.C.

2014

## **APROBACIÓN**

El Trabajo de grado con título “Protocolo para los Estudios de Patología de la Construcción en edificaciones de concreto reforzado en Colombia”, desarrollado por la estudiante Patricia Díaz Barreiro, en cumplimiento de uno de los requisitos depuestos por la Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería civil, para optar el Título de Magister en ingeniería Civil, fue aprobado por:

### **Director**

Yesid A. Alvarado Vargas

### **Jurado 1**

**Edgar E. Muñoz Díaz**

### **Jurado 2**

Milton Mena Serna

Protocolo para los Estudios de Patología de la Construcción en Edificaciones de  
Concreto Reforzado en Colombia

Patricia Díaz Barreiro

*La Pontificia Universidad Javeriana, no es responsable por los conceptos emitidos por los autores-investigadores del presente trabajo, por lo cual son responsabilidad absoluta de sus autores y no comprometen la idoneidad de la institución ni de sus valores.*

*"Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber."*

*Albert Einstein.*

*El presente trabajo de investigación no habría sido posible sin la colaboración de las personas; Profesionales, docentes, colaboradoras y amigos, a las que les agradezco profundamente su participación en las distintas etapas de su elaboración.*

**P.D.B**

## **RESUMEN**

La presente investigación plantea como problema la falta de unificación de criterios en los estudios de patología de la construcción en Colombia para la valoración del daño en edificaciones de concreto reforzado. Frente a esta situación, se propone como objetivo principal la elaboración de un protocolo para los estudios de patología de la construcción que genere un diagnóstico conclusivo en las edificaciones de concreto reforzado.

Para tal fin, se diseña la estructura metodológica del proceso, a través de cinco fases de investigación: la primera fase comprende la exploración y búsqueda de fuentes secundarias y bibliográficas, la segunda fase la recolección de datos a través de la implementación del Método DELPHI y la Matriz de Vester, la tercera fase la sistematización y análisis, la fase cuarta implementa la metodología aprobada en el proceso de investigación con la aplicación a un caso concreto de Estudio Patología de la Construcción. Por último, se diseña y construye una Guía para un Estudio de Patología de la Construcción en Edificaciones de Concreto Reforzado de mediana Altura.

Finalmente, se plantean los resultados del proceso investigativo, sus limitantes y conclusiones.

**Palabras Clave:** Patología de la Construcción, Protocolo, Diagnóstico.

## **ABSTRACT**

This research raises as a problem the lack of unified criteria in studies of pathology building in Colombia for the assessment of damage in reinforced concrete buildings. Given this situation, it is proposed as main objective the development of

a protocol for pathology studies construction that creates a conclusive diagnosis in reinforced concrete buildings.

To this end, the methodological structure of the process is designed, through five research phases: the first phase comprises the exploration and search and secondary literature sources, the second phase of data collection through the implementation of DELPHI method and expert judgment, the third phase the systematization and analysis using the matrix as a tool Vester, the fourth phase is implemented and validated the methodology adopted in the research process with the application to a specific case of Construction Pathology Study POLYUPROTEC SA de la Bodega. Finally, designs and builds a Guide to Pathology Study in Building Construction Reinforced Concrete Mid Height.

Finally, the results of the research process, its limitations and conclusions arise.

**Keywords:** Pathology of Construction, Protocol, Diagnostics.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b>	15
<b>1. CAPÍTULO I. ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE</b>	19
1.1 Justificación	21
1.2 Objetivos	21
1.2.1 General	21
1.2.2 Específicos	21
1.3 Aspectos conceptuales	21
1.3.1 Patología de la construcción	21
1.3.2 Protocolo	24
1.3.3 Diagnóstico	25
1.4 Comparación teórica entre diferentes métodos para el desarrollo de estudios de patología en la construcción	25
1.4.1 Método propuesto por Carles Broto	26
1.4.2 Método propuesto por Calavera	28
1.4.3 Método propuesto por Juan Monjo	30
1.4.4 Método propuesto por Paulo Helene	32
1.4.5 Método propuesto por Enio Pazini Figueiredo	33
1.4.6 Método propuesto por Antonio Aguado	34
1.4.7 Método propuesto por William Lobo Dugarte	36
1.4.8 Método propuesto por Harold Muñoz	37
1.4.9 Método propuesto por Milton Mena	38
1.5 Marco Normativo	39
1.5.1 Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. NSR-10.	39
1.5.2 Fondo de Prevención y Atención de Emergencias – FOPAE y Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica – AIS. Guía técnica para la Inspección después del sismo.	40
1.5.3 Método usado en el FEMA-154	41
1.5.4 Guide for Evaluation of Concrete Structures Prior to Rehabilitation ACI 364.1R-94.	42
1.5.5 Building Code Requirement for Structural Concrete ACI-318-2011.	44
1.5.6 Concrete Repair Guide ACI 546R-96	44
1.5.7 Sociedad Americana de Ensayos y Materiales -ASTM – E 632/82	45
<b>2. CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN</b>	46
2.1 Metodología del proceso de investigación	46
2.1.1 Revisión de la literatura	47
2.1.2 Recolección de datos	49

2.1.2.1	Método Delphi. Juicio de expertos	49
2.1.2.1.1	Etapas Planificación	50
2.1.2.1.2	Implementación.	51
2.1.2.1.3	Sistematización de la información	55
2.1.3	Definición de protocolo	56
2.1.4	Aplicación de la metodología diseñada a un estudio de caso	56
2.1.5	Guía para los estudios de patología de la construcción en edificaciones de mediana altura.	57
<b>3.</b>	<b>CAPITULO III. RESULTADOS</b>	58
3.1.1	Sistematización matriz de comparación teórica	58
3.1.2	Sistematización de la información matriz de vester	58
3.1.3	Criterios y rangos de calificación de acuerdo con los resultados De la matriz de vester..	74
<b>4</b>	<b>CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	76
<b>5.</b>	<b>CAPITULO V. DISCUSIÓN FRENTE A LOS RESULTADOS</b>	104
<b>6</b>	<b>CAPÍTULO VI. PROTOCOLO PARA LOS ESTUDIOS DE PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN EN EDIFICACIONES DE CONCRETO REFORZADO DE MEDIANA ALTURA</b>	111
6.1	Principios de actuación en Estudios de Patología de la Construcción en edificaciones de concreto reforzado de mediana altura.	111
6.1.1	Principio General	111
6.1.2	Principios Institucionales Básicos.	111
6.2	Condiciones para realizar un Estudio de Patología de la Construcción en edificación de concreto reforzado de mediana altura	111
6.3	Objetivos protocolo de actuación para los estudios de patología de la construcción en edificaciones de concreto reforzado de mediana altura	112
6.4	Secuencia de actuación en los estudios de patología de la construcción en edificaciones de concreto reforzado de mediana altura	112
6.4.1	Investigación preliminar	113
6.4.1.1	Fase de documentación	113
6.4.1.2	Fase observación de campo	113
6.4.1.3	Fase de toma de datos	115
6.4.1.4	Informe preliminar.	116
6.4.2	Investigación detallada	116
6.4.2.1	Fase documentación	116
6.4.2.2	Fase observación de campo	117
6.4.2.3	Fase muestreo y material de prueba	117

6.4.2.4	Fase de evaluación	117
6.4.2.5	Informe final	118
<b>7 CAPÍTULO VII. ESTUDIO DE PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN. BODEGA INDUSTRIAL.</b>		120
7.1	Investigación preliminar	120
7.1.1	Alcance	120
7.1.2	Fase documentación	121
7.1.2.1	Identificación general del proyecto	122
7.1.2.2	Información general de la construcción	123
7.1.2.3	Propietarios y usos	124
7.1.2.4	Diseñadores y especificadores del proyecto	124
7.1.2.5	Historial de la estructura	124
7.1.3	Fase observación de campo	125
7.1.3.1.	Daño visible	126
7.1.3.2	Geometría y materiales estructurales	128
7.1.3.3	Cargas y medio ambiente	128
7.1.4	Fase Toma de Datos	129
7.1.4.1	Descripción del sistema estructural	129
7.1.4.2	Levantamiento Planimétrico	130
7.1.4.3	Levantamiento gráfico de daños	130
7.1.4.4	Recuento fotográfico	130
7.1.4.5	Fichas de calificación del daño	130
7.1.4.6	Planeamiento y definición de ensayos de materiales	132
7.1.4.7	Informe preliminar	132
7.2	Investigación detallada	132
7.2.1	Fase documentación	132
7.2.1.1	Información del diseño	132
7.2.1.2	Información de la construcción	135
7.2.1.3	Información complementaria	135
7.2.2	Fase observación de campo	139
7.2.2.1	La preparación y planificación	136
7.2.2.2	Determinar pruebas destructivas	139
7.2.2.3	La verificación de la construcción conforme a la obra	140
7.2.2.4	Condición de valoración de la estructura	141
7.2.3	Muestreo y material de prueba	142
7.2.3.1	Prácticas y procedimientos para evaluar el estado y propiedades de los materiales	142
7.2.3.2	Técnicas de muestreo	143
7.2.3.2.1	Prueba de esclerómetro	143
7.2.3.2.2	Aspecto químico (Baja de Ph y carbonatación)	144
7.2.3.2.3	Scanner prueba de detección de refuerzos y recubrimientos en la estructura	144

7.2.3.2.4 Procedimientos para evaluar las fuerzas de tracción y compresión en el acero.	144
7.2.4 Evaluación	144
7.2.4.1 Evaluación del proceso patológico	145
7.2.4.2 Evaluación de la capacidad de la estructura	145
7.2.4.3 Evaluación de alternativas de rehabilitación	158
7.2.4.4 Evaluación de los costos	159
7.2.4.5 Conclusiones y recomendaciones.	162
7.2.4.6 Cronograma de proyecto de rehabilitación	162
<b>8 CAPÍTULO VIII CONCLUSIONES</b>	163
<b>9 CAPÍTULO IX. RECOMENDACIONES</b>	166
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	168

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. El proceso Delphi. Esquema global	49
Figura 2. Matriz de vester- Investigación preliminar-fase toma de datos	53
Figura 3. Mapa de dispersión de variables investigación preliminar-fase documentación.	54
Figura 4. Árbol de priorización de variables fase documental para el tipo de investigación preliminar.	59
Figura 5. Matriz teórica de comparación - fase documentación	61
Figura 6. Resultados matriz teórica de comparación - fase observación	61
Figura 7. Resultados matriz teórica de comparación - fase toma de datos- investigación preliminar.	63
Figura 8. Resultados matriz teórica de comparación - fase muestreo y material de prueba	64
Figura 9. Resultados matriz teórica de comparación - fase evaluación	65
Figura 10. Resultados matriz teórica de comparación - fase informe final	66
Figura 11. Árbol de priorización de variables – fase documentación	67
Figura 12. Árbol de priorización de variables – fase observación	69
Figura 13. Árbol de priorización de variables – toma de datos	70
Figura 14. Árbol de Priorización de variables – fase documentación- investigación detallada.	71
Figura 15. Árbol de priorización de variables – fase observación-investigación detallada	72
Figura 16. Árbol de priorización de variables – fase muestreo y material de prueba.	74
Figura 17. Ensayo de carbonatación del concreto – fase muestreo y material de Prueba. Zona 1 de la Bodega caso de estudio	83
Figura 18. Ensayo de carbonatación del concreto – fase muestreo y material de prueba. Zona 1 de la bodega caso de estudio	84
Figura 19. Ensayo de esclerometria del concreto – fase muestreo y material de prueba. Zona 1 de la bodega caso de estudio.	85
Figura 20. Ensayo de esclerometria del concreto – fase muestreo y material de prueba. Zona 1 de la bodega caso de estudio.	86

Figura 21. Ensayo de núcleos del concreto – fase muestreo y material de prueba. Zona 1 de la bodega caso de estudio.	87
Figura 22. Ensayo microscopia del concreto – fase muestreo y material de prueba. Zona 1 de la bodega caso de estudio	88
Figura 23. Ensayo carbonatación del concreto – fase muestreo y material de prueba. zona 1 de la bodega caso de estudio	90
Figura 24. Ensayo esclerometria del concreto – fase muestreo y material de prueba. Zona 2 de la bodega caso de estudio	91
Figura 25. Ensayo de escáner del concreto – fase muestreo y material de prueba. Zona 2 de la bodega caso de estudio.	92
Figura 26. Ensayo de escáner del concreto – fase muestreo y material de prueba. Zona 2 de la bodega caso de estudio.	93
Figura 27. Ensayo de núcleos del concreto – fase muestreo y material de prueba. Zona 2 de la bodega caso de estudio	94
Figura 28. Ensayo de termografía del concreto – fase muestreo y material de prueba. Zona 2 de la bodega caso de estudio.	95
Figura 29. Ensayo de microscopia del concreto – fase muestreo y material de prueba. Zona 2 de la bodega caso de estudio	96
Figura 30. Ensayo de termo grafía del concreto – fase muestreo y material de prueba. Zona 2 de la bodega caso de estudio.	99
Figura 31. Ensayo de esclerometria del concreto – fase muestreo y material de prueba. Zona 3 de la bodega caso de estudio.	100
Figura 32. Ensayo de esclerometria del concreto – fase muestreo y material de prueba. Zona 3 de la bodega caso de estudio.	101
Figura 33. Ubicación de la Localidad de Fontibón en la ciudad de Bogotá	122
Figura 34. Zona pueblo viejo	122
Figura 35. Ubicación Bodega POLYUPROTEC S.A.	122
Figura 36. Información Geotécnica de Precisión del SIRE	123
Figura 37. Zonas del estudio de campo, cada sector se divide en 4 subsectores, para la recolección de información	126
Figura 38. Tipo de lesiones en estructura portante	131
Figura 39. Tipos de lesión en cubierta	131
Figura 40. Localización de apiques para la verificación de la cimentación superficial a 1.20 metros de profundidad.	134
Figura 41. Localización de sondeos a 6 m de profundidad	136
Figura 42. Compromiso de la edificación por componentes	141
Figura 43. Modelo matemático estructural Zona I	146
Figura 44. Modelo matemático estructural Zona 2	146
Figura 43. Modelo matemático zona 3	

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tipología causas proceso patológicos	28
Tabla 2. Convenciones matriz teórica de comparación	58
Tabla 3. Matriz teórica de comparación - Fase documentación	59
Tabla 4. Matriz teórica de comparación – Fase observación de campo.	60

Tabla 5. Matriz teórica de comparación - Fase toma de datos.	62
Tabla 6. Matriz teórica de comparación – muestreo y material de prueba – Investigación detallada	62
Tabla 7. Matriz teórica de comparación - Fase evaluación	64
Tabla 8. Matriz Teórica de Comparación - Informe final	65
Tabla 9. Cuadro comparativo de la matriz de vester, fase documentación	67
Tabla 10. Cuadro comparativo de la matriz de vester, fase observación	68
Tabla 11. Cuadro comparativo de la matriz de vester, fase toma de datos	70
Tabla 12. Cuadro comparativo de la matriz de vester, fase documentación- investigación detallada.	71
Tabla 13. Cuadro comparativo de la matriz de vester, fase observación- investigación detallada.	72
Tabla 14. Cuadro comparativo de la matriz de vester, fase muestreo y material de prueba	73
Tabla 15. Rangos de calificación de variables - fase de la investigación Preliminar	75
Tabla 16. Cuadro explicativo de los resultados de ensayos de esclerometria para el sector 1 de la bodega, caso de estudio.	89
Tabla 17. Cuadro explicativo de los resultados de ensayo de núcleos para el sector 1 de la bodega, caso de estudio.	89
Tabla 18. Cuadro explicativo de los resultados de ensayo de esclerometria, para el sector 2 de la bodega, caso de estudio.	97
Tabla 19. Cuadro explicativo de los resultados de ensayo de núcleos, para el sector 2 de la bodega, caso de estudio.	98
Tabla 20. Cuadro explicativo de los resultados de ensayo de esclerometria, para el sector 3 de la bodega, caso de estudio.	102
Tabla 21. Distribución del daño según etapa constructiva	105
Tabla 22. Cuadro comparativo entre metodología consensuada en la investigación y la ACI 364/94	107
Tabla 23. Lista de chequeo	121
Tabla 24. Tipo de lesiones	126
Tabla 25. Total de lesiones según tipo físico, químico, mecánico y antropogénicas	127
Tabla 26. Columna estratigráfica sondeo No1	137
Tabla 27. Columna estratigráfica sondeo No 2	138
Tabla 28. Columna estratigráfica sondeo No.3	139
Tabla 29. Columna estratigráfica sondeo No.4	140
Tabla 30. Combinaciones de carga	149
Tabla 31. Índice de sobreesfuerzo para columnas sector 1	153
Tabla 32. Índice de sobreesfuerzo para columnas sector 2	154
Tabla 33. Índice de sobreesfuerzo para columnas sector 3	155
Tabla 34. Índice de sobreesfuerzo para vigas sector 1	156
Tabla 35. Índice de sobreesfuerzo para vigas sector 2	153
Tabla 36. Índice de sobreesfuerzo para vigas sector 3	157
Tabla 37. Estructura de costos zona 1.	160

Tabla 38. Estructura de costos zona 2.	161
Tabla 39. Estructura de costos zona 3.	161

## **ANEXOS**

Anexo 1 Matriz teórica de comparación

Anexo 2 I Encuesta para determinar las variables dentro de un Estudio de patología de la construcción en edificaciones Concreto Reforzado de Mediana Altura en Colombia.

Anexo 3 II Encuesta para determinar las variables dentro de un Estudio de patología de edificaciones de concreto reforzado de mediana altura en Colombia.

Anexo 4. Guía para los estudios de patología de la construcción para edificaciones de concreto reforzado de mediana altura

Anexo 5. Fichas de calificación

Anexo 6. Recuento fotográfico

Anexo 7. Fichas de localización

Anexo 8. Planos de calificación

Anexo 9. Levantamiento planimétrico

Anexo 10. Estudio de materiales

Anexo 11. Estudio de suelos

Anexo 12. Planos de reforzamiento estructural

## **INTRODUCCIÓN.**

La motivación de la inspección y reconocimiento de una estructura puede estar determinada por la necesidad de comprobar ciertas características asociadas a procesos patológicos en donde se presentan dudas sobre su funcionalidad, seguridad o durabilidad. De esta manera, es necesario establecer los procesos de reconocimiento donde se determinen las causas de los daños que originan las lesiones, a través de los procedimientos para su correcta intervención. Sin embargo, en Colombia no existe un protocolo que unifique criterios para la valoración del daño y diagnóstico adecuado en edificaciones de concreto reforzado en estudios de patología de la construcción.

Los referentes teóricos y metodológicos para estos estudios se encuentran a nivel internacional, los cuales establecen diferentes procedimientos que responden a diseños y sistemas constructivos propios que dependen de las normas que los regulan. Por tal motivo, es necesario unificar criterios para orientar la práctica de los especialistas de la patología de la construcción en Colombia, considerando que la única norma que regula los procesos de evaluación es el título A-10 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente –NSR10, que establece los criterios y procedimientos que se deben seguir para evaluar la vulnerabilidad sísmica y adicionar, modificar o remodelar el sistema estructural de edificaciones existentes. Lineamientos que no son lo suficientemente amplios para proporcionar las herramientas técnicas que intervienen en una correcta interpretación de la valoración del daño en las edificaciones de concreto reforzado y de su intervención.

En este sentido, existe la necesidad de realizar estudios de patología de la construcción con unos procedimientos claros y sistemáticos que permitan hacer diagnósticos apropiados, considerando que en Colombia existen más de trescientos profesionales especializados en patología de la construcción que no

cuentan con una norma para realizar estudios de patología en edificaciones, si bien es cierto, existen diferentes experiencias en la práctica profesional de la ingeniería que han permitido implementar metodologías para elaborar un diagnóstico del estado de las edificaciones y realizar recomendaciones de actuación, es importante contar con un documento que sirva de guía para la valoración del daño y estipule el perfil profesional que garantice el manejo y aplicación de los conceptos y conocimientos tecnológicos, de tal manera que permita realizar rigurosos estudios de las deficiencias técnicas en la edificación inspeccionada.

Con base en lo anterior, se establece como objetivo general la elaboración de un protocolo para los estudios de patología de la construcción en Colombia que genere un diagnóstico conclusivo en las edificaciones de concreto reforzado; para la consecución de este objetivo general fue necesario concretarlo en unos objetivos específicos:

- Elaborar el marco teórico a través del estado del arte, tanto conceptual y normativo, sobre los procesos de diagnóstico para los estudios de patología de la construcción.
- Definir la metodología para elaborar un diagnóstico conclusivo en los estudios de patología de la construcción.
- Aplicar la metodología propuesta a un estudio de patología de la construcción en una edificación de concreto reforzado de mediana altura.

La estructura y contenido del trabajo se desarrolló en seis capítulos, ordenados según un proceso lógico y sistemático acorde al cumplimiento de los objetivos de la investigación.

El capítulo uno constituye los antecedentes y el estado del arte, desde los aspectos conceptuales fundamentales para acercarse al tema de la Patología de la Construcción y la comparación teórica entre diferentes métodos para estudios de patología de la construcción.

El capítulo dos recoge la estructura metodológica del proceso de investigación, la que permite definir las variables a través de la implementación del Método DELPHI, juicio de expertos y su posterior análisis utilizando como instrumento la Matriz de Vester. Este proceso establece las variables que se deben priorizar para desarrollar la metodología en un Estudio de Patología de la Construcción.

El capítulo tres expone los resultados del proceso investigativo, se resalta que la revisión del estado del arte presentó gran cantidad de documentos sin ajustarse a un enfoque teórico establecido, pero sí con una importante evidencia empírica, basada en estudios de Patología de la Construcción en pacientes con procesos patológicos en su funcionalidad y aspecto, lo que evidencia la falta de consenso en el alcance de las variables presentes en las fases de cada uno de los métodos propuestos por los teóricos referenciados. Por otro lado, la implementación de la estrategia de análisis de las variables desde la matriz de Vester permitió establecer las fases y variables críticas imprescindibles para realizar un estudio de Patología de la Construcción.

El capítulo cuatro presenta el Protocolo para los estudios de Patología de la Construcción en Edificación de Concreto Reforzado de Mediana Altura.

El capítulo cinco ofrece una perspectiva general de las conclusiones del proceso de investigación y establece una serie de recomendaciones para profundizar en posteriores investigaciones.

El capítulo seis plantea la aplicación de la metodología consensuada desde el juicio de expertos en un estudio de caso.

Finalmente, se anexa como entregable la Guía para un Estudio de Patología de la Construcción en Edificaciones de Concreto Reforzado de Mediana Altura,

documento que sirve como herramienta metodológica que facilita el registro y la sistematización de los procesos patológicos, a través de un instrumento de calificación que tiene por objetivo evaluar de una manera rápida y sencilla los criterios para pasar de una fase de investigación preliminar a una fase de investigación detallada para un diagnóstico conclusivo y la factibilidad de una rehabilitación, reforzamiento o sustitución.

# **1. CAPÍTULO I. ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE**

En este capítulo se describe brevemente los principales elementos teóricos y conceptuales que han generado esta investigación, es decir, las diversas actividades postuladas y aprobadas inicialmente en la propuesta de investigación, las que se considera importante desglosar en los componentes que fundamentan dicho desarrollo.

## **1.1. Justificación**

Colombia es un país que presenta una problemática sísmica, terremotos como el ocurrido en la ciudad de Popayán en 1983 y el que afectó al eje cafetero en 1999 obligan al gobierno nacional a reglamentar el diseño y construcción de las edificaciones con mayores niveles de seguridad, ya que las víctimas humanas que se presentan durante los sismos, en su gran mayoría están asociadas con problemas en las construcciones, así lo determinó la ley 400 de 1997 en Colombia. Sin embargo, la implementación de procedimientos normativos son recientes, teniendo como referente el año de 1984 donde apareció el primer Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes, seguido del Decreto Ley 1400 del 19 de agosto de 1997 que establecen las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistentes – NSR-98 (Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo- Resistentes. NSR-98. Bogotá D.C.: 1997), la que se actualiza en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (Reglamento Colombiano de construcción Sismo- Resistentes. NSR-10. Bogotá D.C.: 2010). Siendo el propósito de las normas incrementar la seguridad estructural frente a este tipo de eventualidades. Desafortunadamente, los problemas de patología de la construcción no se encuentran reglamentados en nuestro país, las normas están previstas para el proyecto y ejecución de construcciones futuras y para evaluar el comportamiento sísmico y el diseño de la intervención, reparación y refuerzo de la estructura de edificaciones existentes, dejando de lado otros factores que generan daño en las edificaciones propios de

los estudios de la patología constructiva, como: agentes atmosféricos, mecánicos, químicos, elección de material, la importancia que tienen los elementos no estructurales (instalaciones eléctricas y sanitarias), la falta de mantenimiento, entre otros; razones por las cuales es factible y necesario realizar un protocolo desde la perspectiva de los estudios de la patología constructiva y preventiva, que contenga con el máximo posible de detalle y claridad pertinente el plan de manejo para elaborar un diagnóstico conclusivo que identifique el problema de funcionalidad de la estructura y procedimientos para analizar las diferentes causas del proceso patológico que generan lesiones en las edificaciones de concreto reforzado.

En Colombia existen más de trecientos profesionales especializados en patología de la construcción que no cuentan con una norma para realizar estudios de patología en edificaciones, si bien es cierto, existen diferentes experiencias en la práctica profesional de la ingeniería que han permitido implementar metodologías para elaborar un diagnóstico del estado de las edificaciones y realizar recomendaciones de actuación, es importante contar con un documento que sirva de guía para la valoración del daño y estipule el perfil profesional que garantice el manejo y aplicación de los conceptos y conocimientos tecnológicos, de tal manera que permita identificar de forma visual y realizar rigurosos estudios de las deficiencias técnicas en la edificación inspeccionada.

La aplicabilidad del estudio orientada a dar respuesta a la solicitud de la NSR10, de dar una calificación del estado actual de la estructura de la edificación, diseño y construcción en bueno, regular o malo.

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. General

Elaborar un protocolo para los estudios de patología de la construcción que permitan dar un diagnóstico y evaluación estructural en las edificaciones de concreto reforzado.

### 1.2.2. Específicos

- ▶ Elaborar el estado del arte del el marco teórico, conceptual y normativo sobre los procesos de diagnóstico en los estudios de patología de la construcción.
- ▶ Definir metodologías para elaborar un diagnóstico conclusivo en los estudios de patología de la construcción.
- ▶ Aplicar la metodología a un estudio de patología para el diagnóstico y evaluación estructural en una edificación de concreto reforzado.
- ▶ Realizar una guía que describa de manera detallada y sistemática los elementos a desarrollar para la evaluación y diagnóstico de un edificio de mediana altura.

## 1.3. Aspectos conceptuales.

### 1.3.1. Patología de la construcción

Patología procede según la Real Academia Española (1983) del griego “*pathos*” enfermedad y “*logos*” estudio, al trasladar el término “patología” al campo del conocimiento de la ingeniería civil se mantiene la relación semántica, de forma similar como se presentan las dolencias en los seres vivos se observan daños en las edificaciones, frente a estos problemas se estudian los síntomas, mecanismos, las causas y los orígenes de los defectos en las edificaciones para establecer un diagnóstico.

En general, *la patología de la construcción* es la ciencia que estudia e identifica los problemas que presentan los sistemas constructivos en su aspecto y funcionalidad.

En el tratado Broto de la construcción se encuentra la definición de patología constructiva como “la ciencia que estudia los problemas constructivos que aparecen en el edificio o en alguna de sus unidades con posterioridad a su ejecución” (Broto, 2006, p. 31). La presente definición establece que el profesional debe intervenir cuando la edificación presenta algún signo visible que evidencia un tipo de anomalía o existencia de un defecto en la construcción, concepción que deja de lado acciones preventivas en la fase del diseño, cálculos estructurales, estudio de características geomorfológica de los suelos, condiciones climáticas, calidad de los materiales, la percepción de los espacios habitacionales, etc., aspectos esenciales para el buen desempeño de las estructuras en el ciclo de su vida útil y la funcionalidad para la cual ha sido diseñada.

Con relación a lo anterior, es necesario traer a colación la definición presentada en la tesis de grado de Margarita María Díaz et al. (1996), quien expone que la patología estructural debe estudiar los fallos, defectos y enfermedades que sufren los sistemas estructurales, pero además resalta que para comprender el deterioro y conservación de las obras se debe tener en cuenta dos aspectos fundamentales: “prevenir y reparar, siendo el primero el más importante, ya que se puede realizar en las fases de proyecto y ejecución teniendo en cuenta básicamente cuatro puntos: la calidad de los materiales, la calidad de los planos de construcción, calidad de la ejecución y calidad de supervisión técnica”(Díaz, et al., 1996, p.4).

No obstante, Carles Broto (2006) establece una distinción entre patología constructiva y patología preventiva, definiendo la última como “(...) la funcionalidad constructiva de los elementos y unidades que componen un edificio, su durabilidad e integridad” (Broto, 2006, p.31), abordando la prevención desde una perspectiva de la conservación y el mantenimiento de las edificaciones. Frente a esta postura

existen normas a nivel internacional que establecen que los edificios deberán incluir, una vez concluida la obra, un manual de uso y mantenimiento.

Es fundamental tener presente que un gran porcentaje de las manifestaciones patológicas en las construcciones tienen origen en las etapas de proyecto y ejecución (Helene, 2007), su reconocimiento permite reducir costos en una posible intervención; sin embargo, resulta útil considerar la prevención en todas las etapas del proceso constructivo, con estudios geomorfológicos previos para la evaluación de terrenos, idoneidad de suelos y estudios previos de estabilidad de taludes, evaluar la capacidad portante de estructuras existentes, la revisión de proyectos y control de ejecución de estructuras, para la etapa de la construcción se debe tener presente la instrumentación y el seguimiento de las estructuras, la asistencia técnica de defectos detectados en la ejecución de las obras junto con el mantenimiento de la obra cuando se encuentra en uso.

Acorde con la definición de Broto la investigadora Ana María Elguero (2004) ve en la patología de la construcción la posibilidad de estudiar "... el compendio de alteraciones más o menos graves, que se manifiestan en la totalidad o en una o varias partes de un edificio. [Es decir], que se produce un desequilibrio entre la función deficiente que esa construcción está desempeñando, y la instancia para la cual fue creada" (Elguero, 2004, p. 9).

De manera similar, pero desde la arquitectura Enrique Zanni (2008) encuadra la patología de la construcción como una sub-especialidad dentro de otra especialidad mayor que es la tecnología, formando ambas parte de las ciencias del diseño. Así, la define como "la especialidad dentro de la Tecnología, que estudia las alteraciones que se producen en el estado ideal de equilibrio, de funcionamiento o de servicio de un edificio" (Zanni, 2008, p. 25). La perspectiva arquitectónica también contempla la patología como un estudio prospectivo para el desarrollo de un proyecto, es decir, permite establecer cómo se articula el proceso de deterioro de una edificación desde su concepción, considerando la manera en que se va a comportar en cuanto a su durabilidad.

Se puede inferir que las definiciones expuestas hasta el momento consideran que la patología de la construcción debe estar orientada a lo que Broto llama “el proceso patológico” como los aspectos que se deben tener en cuenta para afrontar un problema constructivo, como son: conocer su origen, sus causas, su evolución, sus síntomas y su estado. De esta forma, el encuentro con un proceso patológico suele tener como objetivo su solución, la que implica la reparación de la unidad constructiva dañada para devolver estabilidad, funcionalidad y aspecto, esto a través de un estudio de patología que se define como “el análisis exhaustivo del proceso patológico con el objeto de alcanzar las conclusiones que nos permitan proceder a la reparación consiguiente” (Monjo, 1997, p. 39).

Sin embargo, se considera que más allá de los aspectos relacionados con el proceso patológico de la edificación se debe observar el sistema constructivo, funcionalidad y uso, ya que no sólo se realizan estudios de patología en edificaciones contemporáneas, sino también en edificios de patrimonio histórico-arquitectónico y de arquitectura vernácula, por tal motivo es necesario una perspectiva holística para abordar los problemas constructivos, Felipe Monk (2004) aborda la definición de patología de la construcción de manera integral cuando la define como “la explicación científica de las causas de los deterioros y las enfermedades de la construcción, dando bases de determinación simple o compleja de los fenómenos físicos, químicos, biológicos y de meteorización entroncados con una racional convergencia histórica, cultural y antropológica” (Monk, 2004, p. 109).

### 1.3.2. Protocolo

La definición más precisa y concisa aparece en el diccionario de la Real Academia Española: “Acta o cuaderno de actas relativas a un acuerdo, conferencias o congreso diplomático” (Real Academia Española, 1983, p. 1075).

Para el propósito de la presente investigación se define Protocolo de tratamiento para estudios de patología de la construcción como el documento que establece las líneas generales útiles para orientar acciones, procedimientos y estudios de laboratorio para edificaciones con sistemas constructivos determinados, a diferencia del manual que es una guía que intenta describir de manera detallada y sistemática los elementos a desarrollar en el proceso o procedimiento.

### 1.3.3. Diagnóstico

Es el resultado de un estudio previo que determina el grado de afectación y las causas del proceso patológico en relación con su estabilidad, funcionalidad, seguridad y aspecto en una edificación.

Para obtener un adecuado *diagnóstico* se debe tener claridad sobre el alcance del estudio de patología de la construcción, el que contempla el desarrollo de diferentes fases según el tipo de investigación (preliminar y detallada), que de manera ordenada y sistemática, establece una valoración desde la inspección visual con un *diagnostico preliminar* que determina el grado de afectación de la estructura hasta una auscultación profunda; la que contrasta información documental exhaustiva, procedimientos de levantamiento del daño, ensayos de materiales, evaluación del proceso patológico y de la capacidad estructural para obtener un *diagnostico conclusivo* que determine el origen de las lesiones y las propuestas de actuación.

### 1.4. Comparación teórica entre diferentes métodos para el desarrollo de estudios de patología de la construcción

En este apartado se resaltan las investigaciones previas y antecedentes presentes en los aportes de algunos teóricos que por su experticia en los estudios de patología de la construcción establecen unos procedimientos analíticos, siendo éstos metódicos y exhaustivos, permiten identificar las causas y hacer las

propuestas de actuación necesarias para solucionar los procesos patológicos en una edificación.

#### 1.4.1. Método propuesto por Carles Broto

Para Carles Broto (2006), el estudio patológico de una edificación debe analizar la capacidad resistente, la integridad, la forma y el aspecto. Criterios que requieren de un procedimiento sistemático basado en un análisis del proceso patológico con fases que van desde la observación del síntoma o efecto, pasando por el análisis de su evolución para identificar el origen o causa.

##### a) Fase observación del síntoma o efecto

- *Detectar la lesión*
- *Identificar la lesión*
- *Aislar la lesión*

Broto (2006) divide las lesiones en tres grandes familias en función del carácter y la tipología del proceso patológico:

- Lesiones físicas: humedad de obra, humedad capilar, filtración, condensación, accidental, erosión atmosférica por meteorización, ensuciamiento por depósito, ensuciamiento por lavado diferencial
- Lesiones mecánicas: deformaciones (flechas, pandeos, desplomes, alabeos), fisuras (reflejo del soporte e inherente al acabado), grietas (exceso de carga, por dilatación y contracciones higroterómicas, desprendimiento).
- Lesiones químicas: eflorescencias (sales cristalizadas que no proceden del material, sales cristalizadas bajo la superficie del material), oxidaciones y corrosiones, organismos (animales, plantas, hongos)

## **b) Fase de Recopilación de información**

- Estudio histórico: En esta fase se busca “determinar la época de construcción, el estilo arquitectónico, y tipología utilizada, fases en qué se ha realizado, sistemas de construcción y de cimentación utilizados, posibles restauraciones, y modificaciones realizadas, materiales y dosificaciones utilizadas, origen y fuentes de dichos materiales”(Broto, 2006, p. 39).
- Toma de Datos: La toma de datos requiere “(...) del diligenciamiento de un formato el que contiene todo lo relacionado a la inspección previa (datos propiedad, al autor del edificio y al inmueble), realizar croquis y reportaje fotográfico” (Broto, 2006, p. 40).
- Documentación: Levantamiento planimétrico en planta, alzados, secciones, detalles constructivos, mapas de lesiones

## **c) Fase de Inspecciones Técnicas**

**Toma de muestras.** Preparación de un programa de muestreo adecuado en el caso de mortero “(...) las muestras de ladrillo, la posición exacta para etiquetar, reparación probetas” (Broto, 2006, p. 40).

- Ensayos sobre elementos constructivos

Los ensayos sobre los elementos constructivos deben identificar los siguientes aspectos

Localización de la lesión en el edificio, material o materiales afectados, elemento constructivo dañado, sistemas y detalles constructivos, toma de muestras, fisuras y grietas, distorsión e inclinación, pérdida de materiales, deterioro diferencial, deplacado, expoliación y descamación, alteración cromática, patinas de suciedad,

película y moteado, arenización y disgregación granular, pulverización, depósito superficial, eflorescencias, alveolización. (Broto, 2006, p. 42)

Los tipos de ensayos que se deben realizar se presentan a continuación:

- Ensayos físicos
  - Ensayos mecánicos
  - Ensayos medioambientales
  - Ensayos Biológicos
  - Ensayos ambientales
- d) Fase análisis del proceso**

Tabla 1. Tipología Causas Proceso Patológicos

<b>Directas</b>	<b>Indirectas</b>
Mecánicas	Proyecto
Físicas	Ejecución
Químicas	Material
Lesiones previas	Mantenimiento

*Fuente: C. Broto. 2006.*

**e) Evaluación y seguimiento**

- Actuación
- Propuestas de reparación
- Proyecto de intervención
- Propuestas de mantenimiento

1.4.2. Método propuesto por Calavera

José Calavera Ruiz (2005), resalta que son diversos las ciencias y técnicas disponibles para estudiar las causas, medir la gravedad de los daños, establecer

el diagnóstico, fijar la posible rehabilitación y refuerzo, para lo cual cita la tecnología de los materiales empleados, los métodos de ensayo destructivo y no destructivo, los sistemas de medición de la geometría de la estructura, los sistemas de medición de las deformaciones de todo tipo, los análisis físicos y químicos de los materiales, los recursos de resistencia de materiales y cálculo estructural.

Calavera analiza la influencia de las variaciones resistentes y dimensionales sobre la capacidad resistente de los elementos, a través de “métodos semiprobabilista y determinista, estableciendo criterios para la elección entre ambos métodos. Estos métodos permiten clasificar diferentes patologías o fallos presentes en cada una de las etapas constructivas” (Calavera, 2005, p. 127).

Frente a las etapas que debe contemplar todo estudio patológico Calavera propone:

Fase de inspección y el informe preliminar:

- Información verbal y escrita recogida

La experiencia del técnico que dirige el informe

- *Personal adecuado:*

Especialista en estructuras

Especialista en geotecnia

Especialista en albañilería

- *Equipo material necesario*

Equipo fotográfico, reglas de fisura, prismático, útiles de medida, equipo topográfico etc.

- Registro de datos

Recomienda que el técnico deba estar abierto a la realidad física del problema y dejar el diagnóstico para después.

Información personal recibida durante la inspección por parte del constructor, interventor y otras figuras imprescindibles en la ejecución de cualquier obra.

- Mediciones durante la inspección

Dimensiones generales de la construcción y medidas de elementos concretos

- Inspección detallada

Mediciones posteriores a la inspección: establece diferentes técnicas e instrumentos como testigos, montajes especiales para medir “salida de plano”, fijación de bases metálicas con resina de hormigón etc.

- Análisis de datos y diagnóstico

Las mediciones y en general la información recogida en la fase previa es importante, siendo un axioma en patología, que si el diagnóstico es correcto la solución del problema vendrá por sí sola.

- Estructura básica de un informe preliminar:

Antecedentes

Información disponible

Resultado inspección

Análisis del problema

- Conclusiones

Plan actuación

Ensayos necesarios

- Redacción del informe definitivo

#### 1.4.3. Método propuesto por Juan Monjo

Juan Monjo establece que el estudio patológico es “el análisis exhaustivo del proceso patológico con el objeto de alcanzar las conclusiones que nos permitan proceder a la reparación consiguiente” (Monjo, 1997, p. 20).

El método de Monjo está atravesado por cuatro etapas de investigación que consisten en:

Observación de campo:

- Detectar lesiones
- Identificar la lesión
- Independizar lesiones y procesos distintos

Toma de datos:

- Identificación de la lesión
- Constructivos, relativos a los materiales o elementos afectados por la lesión.
- Ambientales, según la situación del edificio y la localización de la lesión en él.

Análisis del Proceso y Diagnostico:

- Causas , que han originado el proceso , distinguiendo entre las directas e indirectas
- Evolución del proceso patológico

- Estado actual, que debe recoger la situación del proceso, su posible vigencia o su desaparición

Propuesta de actuación:

- Propuestas de reparación: de las causas y de los efectos.
- Propuestas de mantenimiento

#### 1.4.4. Método propuesto por Paulo Helene

Paulo Helene (2007), en la publicación “Manual de rehabilitación de estructuras de hormigón. Reparación, refuerzo y protección” plantea que un diagnóstico adecuado será aquel que esclarezca todos los aspectos del problema como son:

- Los síntomas, que son las manifestaciones externas, o también conocidas como lesiones, pueden ser clasificadas según la incidencia que presentan en las estructuras de concreto. Helene establece que las más comunes son las fisuras, las eflorescencias, las flechas excesivas, las manchas en el hormigón arquitectónico, la corrosión de las armaduras, las oquedades superficiales o cucarachas del vertido, o sea segregación de los materiales constituyentes del hormigón
- El mecanismo es el proceso a través del cual se presenta el problema patológico.
- El origen, es el que se presenta en cualquiera de las etapas del proceso constructivo donde se genera el problema patológico.
- Las causas son los agentes que generan los problemas patológicos pueden ser varios: cargas, variaciones de humedad, variaciones térmicas intrínsecas y extrínsecas al hormigón, agentes biológicos, incompatibilidad de materiales, agentes atmosféricos y otros.

- Pronóstico de la cuestión, son algunas consideraciones sobre las consecuencias del problema en el comportamiento general de la estructura. El pronóstico permitirá establecer la necesidad de la intervención, Helene recomienda que se estime a través de la ley de Sitter que prevé los costos crecientes según una progresión geométrica, es decir, se dividen las etapas constructivas y de uso en cuatro períodos, correspondientes al de diseño, al de ejecución propiamente dicha, al del mantenimiento preventivo efectuado antes de los cinco primeros años, y al del mantenimiento correctivo efectuado posterior al surgimiento de los problemas, a cada uno corresponderá un costo que sigue una progresión geométrica de razón cinco.
- Terapia, son las medidas de corrección de los problemas pueden ser pequeñas reparaciones localizadas, requerir de una recuperación generalizada de la estructura, o refuerzos de los cimientos, columnas, vigas o losas.
- Procedimiento, consiste en la selección de los materiales y la técnica de corrección a ser empleada, depende del diagnóstico del problema, de las características de la zona a ser corregida y de las exigencias de funcionamiento del elemento que va a ser objeto de la corrección.

#### 1.4.5. Método propuesto por Enio Pazini Figueiredo

Enio Pazini Figueiredo, uno de los ingenieros más reconocidos en el campo de la patología, diagnóstico y rehabilitación de estructuras de concreto por sus aportes investigativos al conocimiento del concreto y la patología de los materiales. Este énfasis de la Patología de la Construcción hacia el mejoramiento de la calidad de los materiales con tecnología que minimizan el uso de recursos naturales como el empleo de “adiciones minerales que, son residuos de otros procesos industriales, puede generar un concreto más durable, por ejemplo, el concreto con ceniza volante y escoria granulada de alto horno será más durable en el medio marino”

(Pazini, 2013, p.108) para garantizar mayor durabilidad en las estructuras genera una relación de sostenibilidad entre el sector de la construcción y el medio ambiente.

Pazini identifica una serie de agentes físicos, químicos, mecánicos y medio ambientales que afectan el equilibrio de las estructuras tales como: acción de la variación térmica, retracción hidráulica, desecación superficial, acción del fuego, acción de aguas puras, reacción álcalis-agregado, reacción con sulfatos, acción de soluciones ácidas, acción del agua del mar, acción de solución alcalina, eflorescencia, desintegración del hormigón por abrasión, erosión, cavitación y biológicas, acción de cargas exteriores por compresión, flexión y cortante, momento torsor, adherencia y anclaje, corrosión de armaduras por carbonatación, cloruros, fallas constructivas por oquedades superficiales, deficiencia en el posicionado de la armadura, los aceros, deficiencia en la dosificación del hormigón.

#### 1.4.6. Método propuesto por Antonio Aguado

Antonio Aguado (2007), establece unas fases que va desde la fase previa que permite la caracterización general de la edificación y su estado actual hasta el diagnóstico sobre el fenómeno que origina el daño, presentando una serie de recomendaciones.

Es importante anotar unas bases de partida que intervienen para un correcto estudio de daños y definir el tipo de intervención sobre la estructura, son los siguientes:

- Cada construcción es un prototipo, no hay dos iguales.
- Las estructuras reaccionan a los cambios y a las intervenciones con el principio de la mínima energía.
- Siempre que sea posible se tenderá a la metodología científica, apoyando científicamente la respuesta y evitando los métodos intuitivos que puedan

resultar válidos en los procedimientos de urgencia. Herramienta importante son los estudios de sensibilidad de las variables a las hipótesis de partida.

- Debe haber un equilibrio entre el análisis numérico e instrumentación y ensayo.
- La respuesta de una estructura viene muchas veces indicada por los subsistemas ligados a ella.
- Hay que saber discriminar los fenómenos patológicos de los que no lo son.
- La causa del daño rara vez es única, lo que conlleva la presencia de especialistas de varias disciplinas, eso sí, siempre bajo la coordinación del patólogo especialista.
- Un pequeño porcentaje de causas produce la mayor parte de los defectos (principio de Pareto)
- No hay una relación biunívoca entre causa y daño, una sola causa puede dar lugar a varios efectos, y un efecto puede provenir de varias causas.
- La obtención de información “in situ” ha de basarse en el principio de “mínimo número de medidas para obtener el máximo de información”.
- Debe de valorarse la trascendencia de un nuevo error, a la hora de valorar el riesgo de la intervención.

Aguado establece que la realización de un informe de estudios de patología debe contemplar:

- *Recopilar toda la información* previa posible (proyecto original, historia de cargas, modificaciones, usos, elementos colindantes, condiciones de contorno)
- Hacer una *toma de datos exhaustiva*, ya que nunca hay suficiente información. Catálogo de daños (escritos, gráficos y/o en vídeo), tratando de intuir incluso posibles vicios ocultos.

- Realizar *ensayos, medidas e instrumentación* para conocer, estudiar y analizar las variables que hayan podido influir en los daños. *Análisis teórico*, modelizando el comportamiento del elemento, para justificar científicamente la causa.
- *Etiología de las causas* a partir de la información previa, la toma de datos, los esquemas de daños, los ensayos, las medidas, la instrumentación y los estudios teóricos.
- *Conclusiones y recomendaciones* en función del conocimiento adquirido, y las consecuencias de un nuevo error

Aguado recomienda hacer uso de la tecnología y las diferentes técnicas para identificar el riesgo de los elementos estructurales, por lo tanto se deben realizar ensayos con un nivel de muestreo suficiente que permitan contrastar las variables que afectan a la definición de los coeficientes de riesgo en las distintas partes de la construcción, para definir el riesgo en cualquiera de las fases del proceso constructivo. Una tecnología de gran aplicabilidad para definir el estado de la estructura con métodos estadísticos englobados dentro de las técnicas de análisis multivariantes que establece un diagnóstico mediante "... la instrumentación de las variables más significativas y paralelamente deducen el comportamiento de la estructura a partir de su propia historia" (Helene, 2007, 95).

#### 1.4.7. Método propuesto por William Lobo Dugarte

William Lobo Dugarte (citado por Helene, 2007), presenta las siguientes fases para un estudio de patología de la construcción: evaluación primaria, detallada o secundaria y el proyecto de rehabilitación

La evaluación primaria remite a un informe cualitativo siguiendo normas internacionales (AASHTO, ACI, ASTM, ATC), los formatos de estas normas contemplan las condiciones normales de la obra al momento de la evaluación,

materiales, componentes, daños, estado de mantenimiento, operatividad, entre otros.

Esta primera valoración permite identificar el nivel de vulnerabilidad de la edificación para sus condiciones de uso, estableciendo: índice de daño, índice de severidad e índice de vulnerabilidad.

Cuando son superados los índices de daños, severidad y vulnerabilidad se tiene que hacer una evaluación detallada. Para aquellas evaluaciones que no pasan a la evaluación detallada, su informe primario puede revelar puntos críticos que deben ser pasados a los programas de mantenimiento integral.

La evaluación Detallada o Secundaria, debe contar con una investigación documental, inspección visual detallada, hacer un levantamiento gráfico de daños, el recuento fotográfico, un planeamiento y definición de ensayos, el diagnóstico de patologías, todo esto reportado en un segundo informe.

Al realizar el diagnóstico de patologías se trabaja sobre la resistencia de los materiales, teniendo en cuenta las tecnologías que permiten realizar ensayos en la obra como en laboratorio. Los más utilizados son:

- Análisis estático.
- Análisis dinámico.
- Pruebas de caracterización en laboratorio.
- Aplicación de tecnologías no destructivas al Diagnóstico del Patrimonio Construido.

La fase de rehabilitación contempla que una obra civil vuelva a tener las mismas o mejores condiciones de servicio que las que tenía cuando comenzó su vida útil.

#### 1.4.8. Método propuesto por Harold Muñoz

Harold Muñoz (2001), en su método de diagnóstico y evaluación de patologías en estructuras de concreto desarrolla diferentes niveles de análisis con una secuencia en el análisis de los problemas patológicos en edificaciones para establecer un diagnóstico:

A partir de las diferentes observaciones que se ejecuten, del levantamiento de daños que se realice, de los resultados de los ensayos y mediciones, se formulará el diagnóstico de las patologías y daños detectados con la explicación que soporta la mejor comprensión del fenómeno de daño con lo cual se realizará un Informe de las Patologías encontradas. En cada caso, se clasificarán y se calificaran los daños con el fin de tipificarlos tanto del daño en sí como de los posteriores procedimientos de obra para lo cual, basados en los esquemas del levantamiento de daños se procederá a formular las técnicas de reparación. (Muñoz, 2001, p.18)

Harold Muñoz resalta la importancia de la fase del diagnóstico en los estudios de patología, ya que una inapropiada interpretación del funcionamiento estructural llevará un equivocado diagnóstico y por lo mismo a unos inadecuados procesos de intervención. De allí, resulta la necesidad de señalar algunos criterios muy claros que permiten apoyar la labor del diagnóstico como:

- Tipos de inspección: inspección preliminar, inspección detallada, la inspección especial e inspección rutinaria o de mantenimiento.
- Investigación documental
- Metodología del levantamiento gráfico de patologías
- Recuento fotográfico
- Planeamiento y definición de ensayos
- Tipos de ensayos
- Diagnóstico de las patologías
- Descripción del sistema estructural
- Elaboración del informe de la inspección detallada

#### 1.4.9. Método propuesto por Milton Mena

Milton Mena realizó análisis cualitativo de riesgo para edificaciones desde el punto de vista sísmico, donde establece los criterios para la inspección y evaluación técnica de edificaciones asegurables contra terremoto en la ciudad de Bogotá D.C., basados en la metodología de análisis y construcción de escenarios de riesgos y apoyados en la matriz para el análisis de Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas que enfrenta la edificación – DOFA. Esta metodología, se basa en la Teoría de Análisis de Riesgo, la que se puede interpretar como la relación entre la frecuencia de un evento, con su impacto y el nivel de daño de la edificación y si es posible o no intervenirla (Mena, 2007).

Es así que desarrolla siete (7) etapas en su metodología:

Etapas 1: Identificación de riesgos

Etapas 2: Estimación de probabilidad de ocurrencia y análisis de frecuencias y causas

Etapas 3: Análisis de consecuencias o impacto

Etapas 4: Evaluación del riesgo

Etapas 5: Medición y tabulación de factores del riesgo

Etapas 6: Desarrollo análisis DOFA

Etapas 7: Análisis de acciones preventivas y correctivas

Por último, considera importante el diseño y entrega de reportes, así como el seguimiento de mejoras y búsqueda de nuevos riesgos.

## 1.5. Marco Normativo

### 1.5.1. Reglamento colombiano de Construcción Sismo Resistente. NSR-10.

Los antecedentes jurídicos que regulan los procedimientos en Colombia son de reciente implementación, teniendo como referente el año de 1984 donde apareció el primer Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes – Decreto Ley 1400, el cual aplicó en forma obligatoria durante más de trece años en todo el territorio nacional, la que tuvo un ajuste bajo la ley 400 del 19 de agosto de 1997 y sus decretos reglamentarios (Decreto 33 del 9 de enero de 1998 y Decreto 34 del

8 de enero de 1999) se establecen las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistentes – NSR-98 (Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo- Resistentes. NSR-98. Bogotá D.C., 1997), las cuales fijan los requisitos que deben cumplir las edificaciones nuevas y las edificaciones existentes que son intervenidas estructuralmente por modificaciones, cambio en su uso o por problemas patológicos dentro de su estructura.

Actualmente, el Gobierno Nacional expidió el Decreto 926 del 19 de marzo de 2010, por el cual se establecen los requisitos de carácter técnico y científico para construcciones sismo resistentes NSR-10 (Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá D.C., 2010).

La presente actualización contempla como prioridad salvaguardar la vida de las personas y como efecto indirecto la protección de las edificaciones. Sin embargo, el contenido de la norma contempla varios título relacionados a los procedimientos para el diseño y construcción sismo resistente, cargas, concreto estructural, mampostería estructural, casas de uno y dos pisos, estructura metálica, estructura en madera y guadua, estudio geotécnico, supervisión técnica, requisitos de protección contra incendios y edificaciones, requisitos complementarios.

1.5.2. Fondo de Prevención y Atención de Emergencias – FOPAE y Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica – AIS. Guía Técnica para la Inspección Después del Sismo.

El método utilizado por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica Especifica claramente los aspectos de los cuales depende la vulnerabilidad en una edificación, es decir, la geometría de la estructura, aspectos constructivos y aspectos estructurales (Guía técnica para inspección de edificaciones después de un sismo. Manual de campo, 2009).

La AIS presenta una guía que da línea técnica para que el inspector en campo diligencie el formato único, teniendo en cuenta las siguientes categorías:

Identificación de la edificación

Estado de la edificación

Daños en los elementos arquitectónicos

Descripción estructural, desglosada en sistemas estructurales y en los tipos de entrepiso.

Daños en los elementos estructurales

Recomendaciones

La calificación se asignará dependiendo de lo que el evaluador observe que predomina en la edificación, pues siempre será posible encontrar elementos con diferentes niveles de daño en diferentes pisos.

El Procedimiento de inspección requiere de la Identificación de la edificación y el levantamiento del daño para lo cual observa los daños en los elementos arquitectónicos, la descripción estructural, desglosada en sistemas estructurales y en los tipos de entrepiso, los daños en los elementos estructurales.

Los criterios de evaluación que establece la AIS para valorar el daño y clasificar la habitabilidad en la edificación se basa en la metodología propuesta por el ATC-13 (Applied Technology Council, 1985), que tiene como variables relaciones demanda contra capacidad en términos de rigidez, resistencia y disipación de energía.

### 1.5.3. Método usado en el FEMA-154

El método usado en Estados Unidos por el Federal Emergency Management Agency -FEMA, es un método cualitativo, diseñado para evaluar de manera rápida y sencilla un grupo de edificaciones diversas, y seleccionar aquellas que ameriten un análisis más detallado.

Este método utiliza en la primera fase un análisis cualitativo y pasa a un análisis detallado con fines de cuantificación del riesgo sísmico.

Las fases que establece la norma determina si se reforzará la edificación a través de un índice, si el resultado de la evaluación es menor o igual que dos ( $\leq 2$ ) hay que usar un método más detallado que conlleva al análisis de la edificación con un análisis primariamente lineal, si cumple no hay que reforzar, si no cumple hay que hacer un análisis no lineal de la edificación, si cumple no hay que reforzar y si no cumple definitivamente hay que reforzarla. Si el índice de la metodología es mayor o igual que dos ( $\geq 2$ ), no necesita reforzamiento, el índice 2 significa que la edificación tiene una probabilidad de 1 a 100 de que colapse (FEMA-154, 2002).

#### 1.5.4. Guide for Evaluation of Concrete Structures Prior to Rehabilitation ACI 364.1R-94.

La guía ACI 364.1R-94 describe los procedimientos que se pueden utilizar para la evaluación de las estructuras en concreto antes de la rehabilitación y de esa manera generar un diagnóstico para una posible rehabilitación.

El trabajo de evaluación contemplado por la ACI 364.1R, 1994 se realiza generalmente para uno o varios de los siguientes fines:

- a) Para determinar la viabilidad de cambiar el uso de una estructura o mejora de la estructura para acomodar un uso diferente de la actual. La viabilidad de la ampliación de la estructura o cambiar la apariencia de la estructura.
- b) Determinar la adecuación estructural y la integridad de una estructura o elementos seleccionados.
- c) Evaluar los problemas estructurales que resultan de la carga inusual o condiciones de exposición, diseño inadecuado o malas prácticas de construcción.

d) Para determinar la viabilidad de modificar la existente estructura y cumplir con los códigos y estándares.

De acuerdo con ACI 364.1R, 1994, este documento debe ser concluyente en los siguientes aspectos:

- Capacidad estructural. Es decir, si los miembros o la estructura son adecuados para el uso previsto; si son adecuados para las cargas actuales, pero no para el fin previsto; o si el análisis realizado no es concluyente (ACI 364.1R, 1994).
- Si hay o no factibilidad de una posible rehabilitación, mediante una valoración técnica y económica, que se fundamenta en la efectividad esperada de la rehabilitación y su nuevo ciclo de vida útil esperado (ACI 364.1R, 1994).
- Si se detectan problemas estructurales, estos se deben describir en términos de su seriedad, extensión y riesgo para la estabilidad. Lo anterior, permitirá establecer si se requieren o no acciones correctivas para remediar las condiciones existentes o simplemente proteger la estructura (ACI 364.1R, 1994).
- Cuando se requiera un reforzamiento de la estructura, se deben estudiar alternativas que puedan satisfacer los requerimientos de carga hacia el futuro y el cumplimiento de la normativa vigente. De ser posible, se debe contemplar el costo efectivo de reparar, reemplazar o reforzar los miembros estructurales existentes (ACI 364.1R, 1994).

- Por último, se debe identificar si es necesario o no adelantar una investigación detallada. Sobre este aspecto, deben especificarse los objetivos, los datos adicionales y la información requerida, para satisfacer los objetivos propuestos (ACI 364.1R, 1994).

#### 1.5.5. Building Code Requirement for Structural Concrete ACI-318-2011.

Los requisitos contenidos en el Código ACI-318-2011 hacen referencia al diseño y materiales en las edificaciones de concreto. Específicamente, da línea técnica para la inspección de materiales, requisitos de durabilidad, calidad del concreto, mezclado y colocación, encofrados, tuberías embebidas, juntas de construcción, detalles de refuerzo, resistencia y capacidad de servicio, cargas de flexión y axial, cortante y torsión, desarrollo y empalmes de refuerzo, sistemas de losa, muros, zapatas, concreto prefabricado; compuestos miembros flexionados, de hormigón pretensado, conchas y miembros cruzados placa; evaluación de la resistencia de las estructuras existentes, la disposición para el diseño sísmico (ACI-318, 2011).

La calidad y el ensayo de los materiales usados en las edificaciones de concreto estructural están cubiertos por referencia a las especificaciones de la ASTM estándar apropiadas. La soldadura de refuerzo está cubierto por referencia a la apropiada American Welding Society (AWS) estándar. Sin embargo, establece requisitos para la evaluación y aceptación del concreto con procedimientos en campo para realizar pruebas en el concreto fresco, preparar especímenes requeridos para curado bajo condiciones de campo y exige preparar muestras necesarias para el ensayo en el laboratorio (ACI-318, 2011).

#### 1.5.6. Concrete Repair Guide ACI 546R-96

El objetivo de esta guía es proporcionar orientación sobre la selección y aplicación de materiales y métodos para la reparación, la protección y el fortalecimiento de las estructuras de hormigón. La información presentada en esta guía es aplicable

a la reparación de daños o para la adaptación de una estructura para nuevos usos más allá del diseño habitual. Además, establece la metodología para la reparación, donde lo más importante es comprender las causas subyacentes de los problemas que presenta el concreto para realizar evaluaciones significativas y reparaciones exitosas (ACI 546R-96).

#### 1.5.7. Sociedad Americana de Ensayos y Materiales -ASTM – E 632/82

La ASTM – E632/82 describe una metodología para el ensayo acelerado de ayuda a la predicción de la vida útil de los componentes y de todos los elementos constructivos de una obra.

Esta práctica esboza un enfoque sistemático para la predicción de vida útil, incluyendo la información necesaria, el desarrollo de ensayos acelerados, la interpretación de datos y la comunicación de resultados. Esto, basado en el comité 130 CLS- Métodos para la estimación de la vida de servicio de estructuras de concreto y el comité 140 TLS- sobre la predicción de la vida de servicio de los componentes de materiales en las edificaciones (ASTM – E 632/82)

## **2. CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN**

### **2.1. Metodología del proceso de investigación**

Teniendo en cuenta la finalidad de este proceso investigativo hacia la elaboración de un protocolo para los estudios de patología de la construcción que permita dar un diagnóstico conclusivo en las edificaciones de concreto reforzado en Colombia, se realiza un estudio de investigación correlacional explicativo que responde a la pregunta de investigación ¿Cómo se debe desarrollar un estudio de patología de la construcción en edificaciones de concreto reforzado?

#### Alcance

En este sentido, el proceso de investigación da cuenta del tipo de relación y el grado de asociación de las diferentes variables obtenidas de la recolección sistemática de los datos establecidos por el consenso de los expertos, aportando información explicativa, lo que permitió conocer el comportamiento de una variable frente al conocimiento de las demás, y de esta manera se logró diseñar la Metodología para los Estudios de Patología de la Construcción en Edificaciones de Concreto Reforzado en Colombia.

El tipo de encuesta utilizado es de carácter analítica y tuvo como propósito la obtención de la información para la comprobación de la hipótesis, de igual manera permitió determinar el grado de relación de las variables encontradas en la literatura a través del método de las frecuencias absolutas y la matriz de Vester presentadas en el capítulo III de los resultados.

La estructura metodológica del proceso de investigación se desarrolló en cinco fases; Antecedentes y estado del arte, Metodología y Recolección de datos, definición del protocolo, aplicación del método a un estudio de caso y Guía para la evaluación y diagnóstico en un estudio de patología de la Construcción.

### 2.1.1. Revisión de literatura

La búsqueda de literatura se realizó desde diferentes fuentes de información como son: información documental, institucional y personal.

La recopilación de información documental tuvo en cuenta fuentes primarias y secundarias, tales como: revisión de Trabajos Profesional Integrado –TPI (Monografías), informes de investigación de diferentes entidades a nivel nacional, principalmente la Sociedad Colombiana de Ingeniería –SCI, el Instituto Colombiano del Concreto -ASOCRETO, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica –AIS, la empresa internacional de productos químicos para la construcción SIKA, artículos publicados en diferentes revistas científicas, normas a nivel nacional e internacional donde se resalta el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, el Decreto 523 de 2010 por el cual se adopta la Microzonificación Sísmica de Bogotá D.C., la principal norma consultadas a nivel internacional fue American Concret Institute –ACI, Guide for Evaluation of Concrete Structures Prior to Rehabilitation ACI 364, Federal Emergency -Management Agency FEMA, 154.

En síntesis la revisión de la literatura compiló tres estudios clásicos sobre el tema de Patología de la Construcción, entre los años 1978 al 2006, así como diferentes investigaciones publicadas en cuatro revistas de asociaciones y autoridades sobre la patología de la construcción a nivel nacional.

Por otro lado, se consideraron seis (6) libros publicados sobre patología de la construcción, siete (7) normas a nivel nacional e internacional, tres artículos publicados en tres revistas científicas a nivel nacional e internacional y se evaluó diez y ocho trabajo profesional integrado –TPI correspondiente a los últimos cinco años y con las más altas calificaciones del programa de patología de la construcción.

A nivel institucional se destaca los registros y estadísticas aportados por el proyecto de investigación *Estado del arte de la patología de la construcción en Colombia a partir de los trabajos profesionales integrados, TPI, de la especialización de patología construcción de la Universidad Santo Tomás de Aquino*. Informe

A nivel personal se resalta los acercamientos ante la Asociación Nacional de Patólogos –ASCOLPAT, asociación de profesionales Patólogos en la Construcción, tiene como principal función el intercambio técnico, científico y humano en busca de un mayor perfeccionamiento profesional, que lidera y promueve la cultura de la prevención en la construcción de edificaciones y de obras civiles en sus diferentes etapas de diseño, ejecución y mantenimiento. Por otro lado, se debe mencionar como fuente personal importante la recopilación de información y puesta en discusión sobre el alcance de estos estudios con diferentes colegas especialistas en Patología de la Construcción.

El método de selección de información para la revisión de literatura consistió en la utilización de técnicas de registro y de clasificación de la información, tales como: fichas de contenido, memorandos analíticos, registros estructurados en el programa Zotero. Estos instrumentos permitieron clasificar la información e idear un sistema de categorías para el archivo correcto de la documentación.

El producto de la revisión de literatura fue la Matriz Teórica de Comparación (Ver anexo 1) la que permitió identificar las dimensiones o factores que teóricamente integran las variables, estableciendo los indicadores de cada dimensión. Posteriormente, se diseña y construye el instrumento con una serie de ítems que componen el cuestionario como sistema de medición que define las variables y el alcance de cada fase de investigación en la Metodología para realizar Estudios de Patología de la Construcción.

## 2.1.2. Recolección de Datos

La implementación del proceso de recolección de datos condujo a la planificación, implementación y posterior análisis del Método DELPHI. A continuación se explica de manera detallada las fases desarrolladas para su implementación.

### 2.1.2.1. Método Delphi. Juicio de expertos

El método DELPHI se define según Linstone y Turoff (Citado en Landeta, 1999) como “el método de estructuración de un proceso de comunicación grupal que es efectivo a la hora de permitir a un grupo de individuos, como un todo, tratar un problema complejo” (Landeta, 1999, p. 40).

Las principales características del método DELPHI son: el mantenimiento del anonimato de los participantes expertos en el tema, la retroalimentación controlada de sus aportes y las respuestas en forma estadística.

En la presente investigación se desarrollaron diferentes etapas para implementar el método DELPHI y de esta forma seleccionar una serie de variables que identifiquen las más relevantes para cada tipo de investigación, para un proyecto de patología, (Preliminar y Detallada) que conforman la Metodología para los Estudios de Patología de la Construcción en Edificaciones de Concreto Reforzado

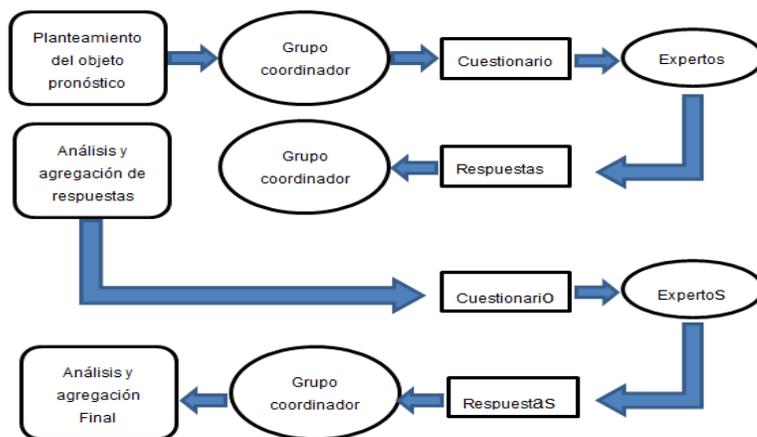


Figura. 1 El proceso Delphi. Esquema global.

Fuente: E. Soldevilla, análisis económico de la demanda empresarial, Barcelona, el ateneo 1986, p.48.

### 2.1.2.1.1. Etapa Planificación

La conformación del grupo coordinador que estuvo representada por la investigadora y el director de tesis.

El establecimiento del horizonte temporal para realizar la previsión sobre el tema se estipulo en un tiempo de dos meses.

La determinación de la cobertura y dimensión del estudio, así como el número de expertos que conformaron el panel, el equipo coordinador establece los criterios de los participantes, los que demuestran idoneidad, accesibilidad, competencia académica, profesional, técnica y la experiencia en el área de la Patología de la construcción.

No obstante, la implementación del método DELPHI requiere establecer una serie de criterios para considerar los participantes del estudio como expertos en el tema, es así que el equipo coordinador determina como criterios de selección a los profesionales titulados como especialistas en Patología de la Construcción, además se tiene en cuenta la experiencia laboral frente al desarrollo de estudios de Patología de la Construcción, se referencian las publicaciones, prestigio sobre el tema en cuestión y los que quisieron participar de la investigación. Es así, que se determinan veinte y cinco expertos con estas cualidades, número adecuado para la toma de decisiones desde la investigación de acuerdo al Rand Corporation instituto norteamericano que determina *“(...) no es aconsejable recurrir a más de treinta expertos, pues la mejora en la previsión es muy pequeña y normalmente el incremento en coste y trabajo de investigación no compensa la mejora”* (Norman et al, 1999, p. 283).

El diseño y construcción del formato-cuestionario implicó la definición de los ítems y categorías del instrumento, las fases, los niveles de medición y asignar una valoración o codificación de los ítems y categorías.

La aplicación del instrumento se realizó después de su revisión, de realizar varios ajustes y establecer la forma de administración, se selecciona el medio para su implementación a través de Plataforma Google Drive cuestionarios.

La selección del panel de expertos se hizo a partir de los criterios previamente establecidos, asegurando la presencia de múltiples voces capaces de representar una pluralidad de planteamientos.

Por último, se realizó la convocatoria a los expertos sobre el tema.

#### 2.1.2.1.2. Implementación.

En la primera circulación se diseñó el cuestionario “Encuesta para determinar variables en un estudio de Patología de la Construcción en Edificaciones de Concreto Reforzado” (Ver anexo 2) con la finalidad de identificar la necesidad de información y el alcance de cada fase de investigación. Se crearon los ítems con base en las variables previamente establecidas en la Matriz de Comparación Teórica, con preguntas precisas según fase de investigación y con la posibilidad de respuestas cuantificables.

De esta forma, se asigna a cada categoría un nivel de medición ordinal, donde las categorías representan jerarquía para manipularlas de manera aritmética, es decir, se codifica de la siguiente manera:

(3) Indispensable

(2) Necesario

(1) No indispensable

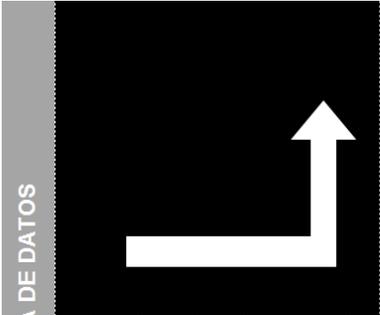
El cuestionario está conformado por cuatro Items; I Información General, II Tipos de investigación para un estudio de patología de la construcción, III Identificación de las fases dentro de un estudio de patología de la construcción, IV Identificación de las variables dentro de cada una de las fases de un estudio de patología de la construcción. Esta encuesta se envió a 25 expertos en el tema de patología de la construcción, a través de la plataforma herramienta Google Drive, para aplicarla se creó un correo electrónico que se acompañó de una nota de presentación, la cual precisó la finalidad de la investigación y las condiciones prácticas del desarrollo de la encuesta.

Para el análisis de los resultados de la primera circulación se empleó la metodología de frecuencias absolutas que evalúa el número de veces en que aparece una variable en cada una de las fases de los tipos de investigación en un estudio de patología de la construcción. Este análisis, consistió principalmente en hallar los parámetros mínimos como la media, la desviación estándar y la frecuencia absoluta de cada una de las variables. Sin embargo, para los resultados obtenidos en esta encuesta se presentaron variables de igual grado de importancia según su ocurrencia, lo que dificultó la elección precisa de las variables; a pesar de haber encontrado el número de variables, mediante los métodos estadísticos mencionados, no fue posible categorizarlas dentro de los criterios de selección Indispensable y Necesaria. No obstante, el análisis de los resultados permitió descartar las variables que se seleccionaron como No Necesarias.

En la segunda circulación se diseñó el segundo cuestionario “Validación metodología tipos de investigación en estudios de patología de la construcción en edificaciones de concreto reforzado” (Ver anexo 3) con base en las respuestas obtenidas de los expertos, el cual consta de los siguientes ítems: I. Información general, II. Metodología de investigación preliminar en estudios de patología de la construcción en edificaciones de concreto reforzado, III. Metodología investigación

detallada en estudios de patología de la construcción en edificaciones de concreto reforzado.

Una vez seleccionadas las variables a través del consenso de los expertos, se utilizó la metodología establecida por el alemán Frederick Vester para determinar el nivel de priorización de las variables y se asignó una valoración dependiendo del nivel de influencia y dependencia entre las variables representadas en la misma. De esta manera, se realizó la matriz de Vester, la que fue sometida a una tercera circulación con la muestra seleccionada y que determinó las variables ubicadas en el rango crítico y activo, variables indispensables para cada tipo de investigación y sus fases para un Estudio de Patología de la Construcción en Edificaciones de Concreto Reforzado en Colombia.



FASE TOMA DE DATOS		16. Descripción del sistema estructural	17. Levantamiento planimétrico	18. Levantamiento Gráfico de daños	19. Recuento fotográfico	20. Fichas de Calificación del daño	21. Planeamiento y definición de ensayos de materiales	
16. Descripción del sistema estructural	20.0%	3	3	3	3	3		15
17. Levantamiento planimétrico	18.7%	3	3	2	3	3		14
18. Levantamiento Gráfico de daños	16.0%	0	3	3	3	3		12
19. Recuento fotográfico	17.3%	2	3	3	3	2		13
20. Fichas de Calificación del daño	13.3%	0	2	2	3	3		10
21. Planeamiento y definición de ensayos de materiales	14.7%	0	3	2	3	3		11
Nivel de Influencia		5	14	13	14	15	14	75

Figura 2 Matriz de Vester- Investigación preliminar-fase toma de datos

En la figura 2 se ilustran los resultados de la matriz de Vester acuerdo con la interacción de las variables y según los criterios establecidos;

- (3) Alta influencia
- (2) Media influencia
- (1) Baja influencia

(0) Nula influencia

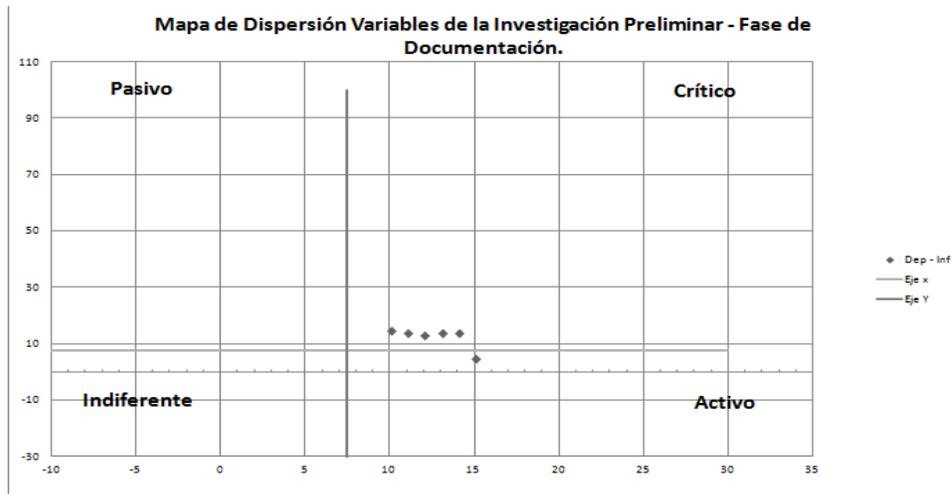


Figura 3 Mapa de dispersión de variables Investigación preliminar-fase Documentación.

La figura 3, representa el análisis de los resultados a través del Diagrama de Dispersión de los datos obtenidos de la matriz de Vester, que permite visualizar el grado de influencia y/o dependencia de las variables, ubicadas en los puntos de la ordenadas (x, y), donde los valores de (x) indican el nivel de influencia y los valores de (y) el nivel de dependencia para cada variable.

La ubicación de los valores que se encuentran por encima de los ejes (X) y (Y) se consideran en el cuadrante I crítico, es decir con altos niveles de influencia y dependencia. Los valores por encima del eje (Y) y por debajo del eje (X) se ubican en el cuadrante II que corresponde a las variables activas, con altos niveles de influencia y poca de dependencia. De igual manera, los que se encuentran por encima del eje (X) y por debajo del eje (Y) se consideran pasivos, es decir con bajos niveles de influencia y dependencia. Finalmente, los que se encuentran por debajo de los ejes (X) y (Y) se consideran variables indiferentes, es decir con niveles bajos de influencia y dependencia.

En la tercera circulación se socializó la metodología de la Matriz de Vester para que cada experto realizara el respectivo análisis de cada variable para cada fase de la investigación.

Es importante resaltar como limitante metodológica el porcentaje de deserción de los expertos seleccionados para el estudio, considerando que del 100% que corresponde a 50 personas que cumplieron el perfil acorde con los criterios de selección, el 46% participó en la primera circulación. Del total de expertos vinculados a la investigación, participaron para la segunda circulación 74% lo que significa un nivel de deserción del 26%. Considerando el total de expertos comprometidos y que presentaron continuidad en el proceso de investigación, la tercera circulación reflejo una participaron 42% con un abandono del 58%. Esto probablemente, se debe a la complejidad del instrumento propuesto y el tiempo que se debió contemplar para su diligenciamiento.

### 2.1.2.1.3. Sistematización de la información.

El análisis de los resultados de cada uno de los expertos permitió construir los árboles de priorización de variables para cada tipo de investigación.

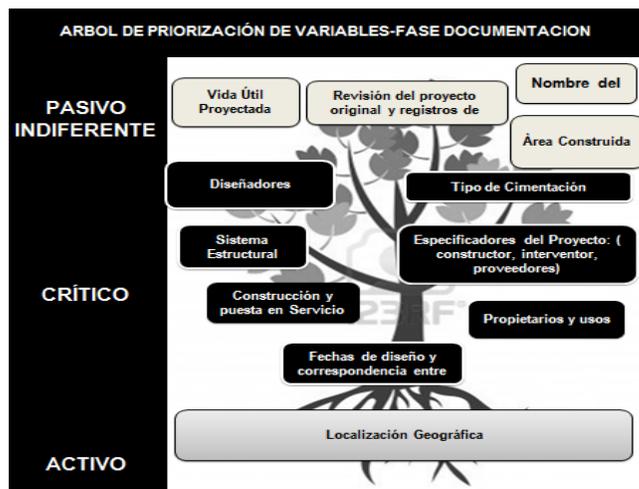


Figura. 4 Árbol de priorización de variables fase documental para el tipo de investigación preliminar.

La figura 4. Muestra a manera de ejemplo el resultado de la priorización de variables de acuerdo con las respuestas obtenidos por los expertos en los rangos crítico y activo para cada fase según el tipo de investigación.

### 2.1.3. Definición de Protocolo

El protocolo establece los lineamientos generales que orientan los procedimientos para realizar estudios de Patología de la Construcción en Edificaciones de Concreto Reforzado de Mediana Altura.

### 2.1.4. Aplicación de la metodología diseñada a un estudio de caso

La metodología consensuada en el proceso de investigación para realizar estudios de Patología de la Construcción en Edificaciones de Concreto Reforzado, está compuesta por una investigación preliminar que contempla cuatro fases: documental, observación de campo, toma de datos y el informe preliminar, el que cuenta con un instrumento de calificación como herramienta para evaluar el estado de la edificación y justificar la realización de una investigación detallada.

La investigación detallada cuenta con cinco fases: la profundización de la fase documentación, observación de campo, muestreo y ensayos de materiales, la fase de evaluación con un diagnostico conclusivo y el informe final.

Es así, que se aplica la metodología propuesta a las Bodegas POLYUPROTEC S.A, esta edificación tiene uso Industrial, especializada en el recubrimiento de acero por galvanización a través del método de inmersión en caliente, la que presente procesos patológicos en su funcionalidad y aspecto.

### 2.1.5. Guía para los estudios de Patología de la Construcción en Edificaciones de Mediana Altura

La guía intenta describir de manera detallada y sistemática los elementos a desarrollar en la investigación preliminar, investigación detallada y sus diferentes fases para un estudio de Patología de la Construcción (Ver anexo 4).

### 3. CAPITULO III. RESULTADOS

Este capítulo presenta los resultados, la tabulación y sistematización de la información obtenida durante el proceso de investigación, desde la fase de revisión documental y bibliográfica hasta la fase de metodología y recolección de datos, que plantea como resultados la Matriz teórica de comparación y la priorización de variables a través del consenso de expertos para conformar la metodología de un estudio de patología de la construcción.

#### 3.1.1. Sistematización matriz de comparación teórica

La organización y construcción de la Matriz de Comparación Teórica entre diferentes métodos para estudios de patología de la construcción contó con el sustento teórico en el tema de Patología de la Construcción e investigaciones previas que guardan relación directa con el problema de investigación.

A continuación, se presentan los resultados de la Matriz Teórica de Comparación disgregados por fases de investigación y la comparación entre los diferentes resultados de los métodos propuestos por los teóricos consultados.

Tabla 2. Convenciones matriz teórica de comparación

Convenciones	
Aspectos que no estuvieron presentes en los teóricos consultados en la revisión del estado del arte	
Aspectos que si estuvieron presentes en los teóricos consultados en la revisión del estado del arte	

La tabla 2 indica las convenciones utilizadas en el análisis de matriz de comparación teórica, para cada fase de investigación para los estudios de Patología de la construcción, en relación a los aspectos tenidos o no en cuenta por cada uno de los teóricos.

Tabla 3. Matriz teórica de comparación - fase documentación

	BROTO	CALAVEIRA	MONJO	HELENE	AGUADO	MUÑOZ	DUGARTE	MENA	U-SANTO TOMAS	ACI 364
<b>FASE DOCUMENTACIÓN</b>										
Nombre del proyecto										
Localización geográfica										
Revisión del proyecto original y registros de construcción										
Tipo de cimentación										
Sistema Estructural										
Propietarios y usos: se deben realizar entrevistas con usuarios o personas que hayan conocido la estructura a través del tiempo.										
Diseñadores: (arquitecto, ingeniero de Suelos, ingeniero estructural, ingeniero asesor de materiales, ingeniero de instalaciones)										
Especificadores del proyecto: (constructor, interventor, proveedores de materiales)										
Fechas de Diseño y correspondencia entre códigos y normas										
Construcción y puesta en servicio										
Vida útil proyectada										
Área construida										
Los planos de diseño, especificaciones y cálculos										
El libro de obra										
La colocación de la armadura del concreto										
Los planes de alteración, apéndices y órdenes de cambio										
registros de trabajos de campo y la correspondencia con la obra										
Los códigos de construcción										
Materiales de construcción, patentes y datos de ensayos										
Los datos de control de calidad y los informes de inspección en campo										
Fotografías del proceso de construcción										
Las notas y registros de campo										
los informes de prueba de materiales utilizados para todos elementos estructurales										
Los registros de la actividad sísmica, la actividad geológica y estudios de suelos										
Información sobre el funcionamiento, la ocupación, los casos de sobrecarga, y los límites de carga										

La tabla 2 indica las variables que fueron tenidas o no en cuenta por cada uno de los teóricos en la fase de Documentación, de acuerdo al valor porcentual que se relaciona en la figura 5.

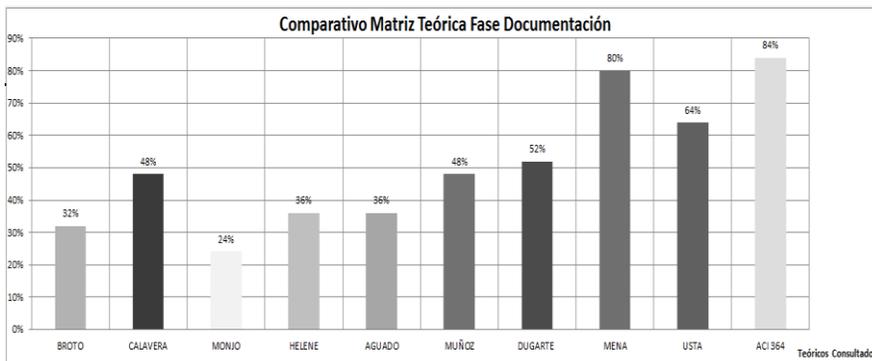


Figura 5 Matriz Teórica de Comparación - Fase Documentación

La figura 5 muestra los resultados de la investigación y la revisión de literatura, comparación que evidencia la falta de consenso entre los teóricos, el alcance y las variables de cada fase de investigación.

En el análisis de la fase documentación se observa que el ingeniero Milton Mena considera un número significativo de variables que representa el 84% de las variables recogidas en la fase documental de la importancia que le otorga del 100% de esta fase, esto debido en gran parte a que su método está orientado a los estudios de amenaza y riesgo para asegurar un inmueble, de la misma manera la norma ACI 364 considera un alto número de variables para la fase documentación representadas en un 84%, considerando que las practicas constructivas para Estados Unidos están reglamentadas con mayor rigor que en Colombia y tiene el alcance para las construcciones de carácter patrimonial, mientras que el arquitecto Juan Monjo considera en un 40% y Carles Broto en un 32% las variables pertenecientes a la fase de documentación, le dan más peso a la fase de la observación de campo.

Tabla 4. Matriz Teórica de Comparación – Fase Observación de Campo.

	BROTO	CALAVERA	MONJO	HELENE	AGUIADO	MUÑOZ	DUGARTE	MENA	U.SANTO TOMAS	ACI 364
FASE OBSERVACIÓN DE CAMPO										
Daño Visible:										
Detectar la lesión										
Identificar la lesión										
Aislar la lesión										
Desviaciones visibles y deformaciones intencionales										
Asentamientos en la cimentación										
Nivel Freático										
Geometría y materiales estructurales										
Humedad Relativa: (rangos de Ocurrencia, frecuencia, duración)										
Temperatura: (rangos de ocurrencia, frecuencia, duración, ciclos de congelamiento y deshielo, exposición solar)										
Presión: (régimen de vientos, régimen de lluvias,										
Tipo de agua presente										
Sustancias agresivas y concentración: (escorentía, salpicadura, vapor)										
Frecuencia y duración de la exposición										
Condiciones de exposición particulares o especiales										
Vicios Ocultos										
Determinar pruebas no destructivas										
Registro fotográfico										
Tipo y extensión de información										
Procedimientos de registro										
Determinar pruebas destructivas										
La verificación de la construcción conforme a obra										
Geometría y materiales estructurales (modificaciones en el diseño, Pruebas no destructivas y pruebas destructivas)										
Cargas y medio ambiente (cargas muertas, cargas impuestas, patrones de almacenamiento, cargas de los equipos estáticos y maqui										
Condición de valoración de la estructura										
Daño visible										
Desviaciones visibles y deformaciones intencionales										
Asentamientos en la cimentación										
Nivel freático										

La tabla 4 indica las variables que fueron tenidas o no en cuenta por cada uno de los teóricos en la fase de Observación de Campo, de acuerdo al valor porcentual que se relaciona en la figura 6.

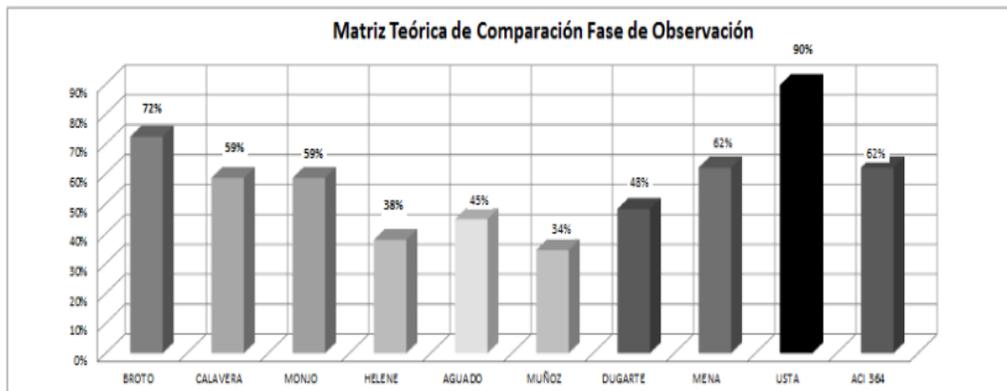


Figura 6 Resultados Matriz Teórica de Comparación - Fase Observación

La figura 6 presenta el consenso de los teóricos en relación con la inspección visual, que se debe llevar a cabo para documentar el alcance y la gravedad de cualquier deterioro que podría afectar la capacidad funcional o la vida de servicio de la estructura. Frente a este procedimiento la metodología planteada por el programa de especialización en Patología de la Construcción de la Universidad Santo Tomas de Aquino – USTA considera en un 90% las variables contempladas para la fase observación, debido principalmente al diseño de gran cantidad de formatos para levantamiento de daño apoyados en registros fotográficos. De manera similar, la metodología propuesta por Broto resulta representativa para esta fase en un 72%, ya que propone tres etapas en el proceso de observación; detectar la lesión, identificar la lesión y asilar la lesión.

En contraste, se observa los resultados para la fase observación según el ingeniero Paulo Helene en un 38% y el ingeniero Harold Muñoz contempla un 34% de las variables contempladas para esta fase, probablemente se debe a que Helene considera que la auscultación se debe complementar con los ensayos de materiales en un tipo de investigación detallada.

Por otro lado, un análisis específico de algunas variables de esta fase observación contempla tan solo el 10% de los teóricos la planificación para la observación in situ y los procedimientos de registro. La fase observación de campo se reduce en

el 80% de los teóricos que se detienen en del daño visible, el 60% considera la toma de medidas para establecer la geometría de la edificación y revisa materiales estructurales, pero tan solo el 30% establece la verificación de la construcción conforme a obra y solo el 30% considera las desviaciones visibles y deformaciones intencionales.

Otro aspecto a resaltar en la fase observación de campo son las desviaciones visibles por deformaciones intencionales que para los teóricos latinoamericanos y los expertos consultados la definen como una variable crítica. Sin embargo, la mayoría de teóricos europeos no lo contemplan, esto puede tener como explicación la rigurosidad de las normas y las prácticas constructivas difieren de un contexto a otro, de tal forma, que las deformaciones intencionales o las causas Antropogénicas de las afectaciones no se considera un problema por su baja incidencia en los países europeos.

Cabe resaltar que el 20% de los procedimientos metodológicos expuestos por los teóricos plantea la necesidad de verificar las cargas y medio ambiente, evidenciando que tan solo el 10% de los teóricos contempla condiciones de exposición particulares o especiales, por ejemplo los vicios ocultos o asentamientos en la cimentación.

Tabla 5. Matriz teórica de comparación - fase toma de datos.

	BROTO	CALAVERA	MONJO	HELENE	AGUADO	MUNOZ	DUGARTE	MENA	U.SANTO TOMAS	ACI 364
FASE TOMA DE DATOS										
La inspección previa deduce el estado actual de conservación y mantenimiento, con atención en daños y procesos patológicos existentes.										
Descripción del sistema estructural										
Levantamiento planimétrico										
Levantamiento Gráfico de daños										
Recuento fotográfico										
Fichas de Calificación del daño										
Planeamiento y definición de ensayos de materiales										

La tabla 5 representa las variables tenidas o no en cuenta para la fase de toma de datos, se evidencia la tendencia del peso de cada variable que otorga cada teórico, la relación porcentual se precisa en la figura 5.

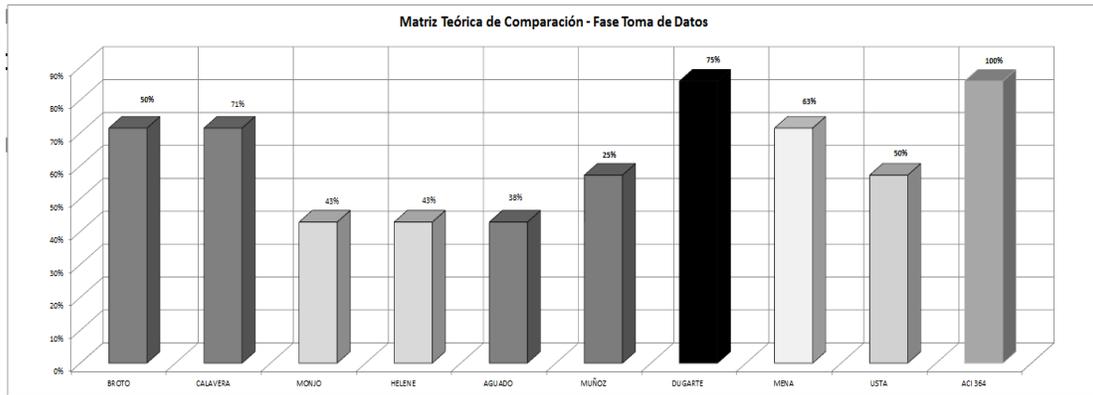


Figura 7. Resultados Matriz Teórica de Comparación Fase Toma de Datos-Investigación Preliminar.

En la figura 7 se deduce el estado actual de conservación y mantenimiento de la edificación, con atención en daños y procesos patológicos existentes, pero en el análisis de los procedimientos metodológicos propuesto por los teóricos para esta fase entre un 80% y 90% establece el recuento fotográfico, la descripción del sistema estructural, el levantamiento planimétrico, aspectos importantes que facilitan el levantamiento del daño, no obstante, las fichas de calificación es un procedimiento que no contemplan muchos de los teóricos consultados, en un 50% de ellos considera que este procedimiento no resuelve las categorías necesarias para establecer el porcentaje de daño presente en la edificación, tanto para los elementos estructurales como en los no estructurales o arquitectónicos.

Tabla 6. Matriz teórica de comparación – muestreo y material de prueba – investigación detallada.

	BROTO	CALAVERA	MONJO	HELENE	AGUADO	MUÑOZ	DUGARTE	MENA	USTASANTO TOMAS	ACI 364
<b>FASE MUESTREO Y MATERIAL DE PRUEBA:</b>										
Prácticas y procedimientos para evaluar el estado y propiedades de los materiales										
Procedimientos para evaluar las fuerzas de tracción y compresión en el acero										
Técnicas de muestreo										

La tabla 6 muestra los resultados obtenidos en la fase de muestreo y material de prueba, cada teórico da un valor de peso a cada variable de acuerdo con la metodología propuesta.

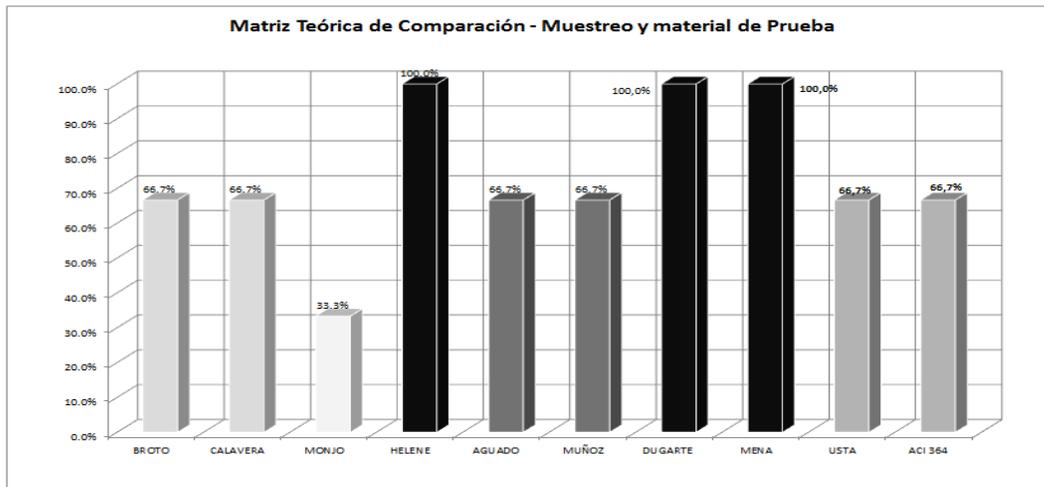


Figura 8. Resultados Matriz Teórica de Comparación - Fase muestreo y material de prueba

Los resultados de la figura 8 responden a la aprobación de varios teóricos frente a la necesidad de realizar ensayos de materiales y pruebas in situ para evaluar el estado de la edificación y de los materiales, cabe resaltar que tres de los autores contemplan al 100% las variables de la fase Muestreo y material de prueba.

Tabla 7. Matriz teórica de comparación - fase evaluación

	BROTO	CALAVERA	MONJO	HELENE	AGUADO	MUÑOZ	DUGARTE	MENA	USANTO TOMAS	ACI 364
<b>FASE EVALUACIÓN</b>										
evaluación del proceso patológico (causas directas e indirectas)										
Evaluación de la capacidad estructural (rango elástico e inelástico)										
Evaluación de alternativas de rehabilitación										
Evaluación de los costos										

En la tabla 6 muestra los resultados obtenidos para la fase de evaluación en relación a la variable que fueron o no tenidas en cuenta por cada teórico.

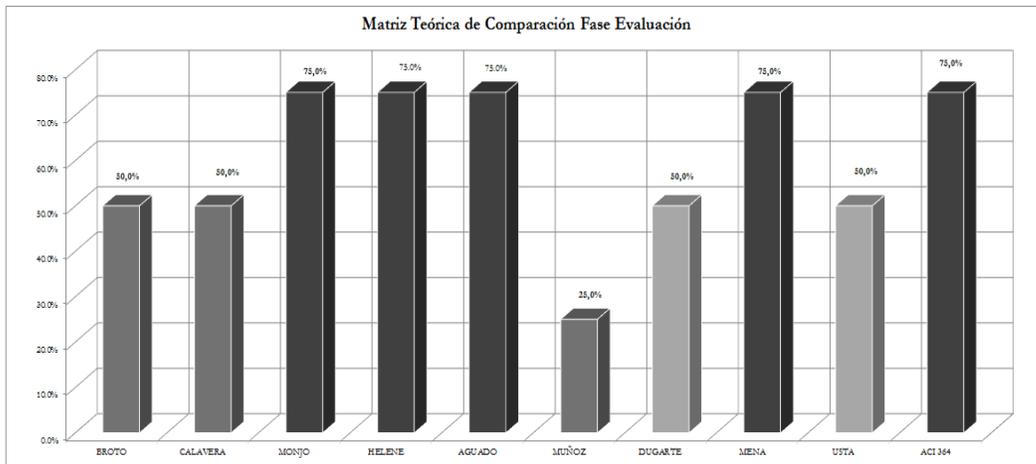


Figura 9 Resultados Matriz Teórica de Comparación - Fase Evaluación

De acuerdo con los resultados obtenidos en la figura 9 frente a la fase de evaluación no existe consenso entre los teóricos, ya que se considera que el diagnóstico de un estudio de Patología de la Construcción se reduce a identificar las causas de los procesos patológicos, tan sólo cuatro de los teóricos consultados que representan el 40%, incluyen la capacidad estructural para la fase evaluación. No obstante, el 90% de los teóricos consultados refieren la necesidad de plantear alternativas de rehabilitación, variable que no incluye la evaluación de costos para determinar un diagnóstico conclusivo; es así, que cada teórico da un alcance dependiendo del método de análisis propuesto.

Tabla 8. Matriz Teórica de Comparación - Informe Final

	BROTO	CALAVERA	MONJO	HELENE	AGUADO	MUÑOZ	DUGARTE	MENA	U.SANTO TOMAS	ACI 364
<b>INFORME FINAL</b>										
El informe final de la fase de investigación preliminar debe presentar la verificación de la capacidad estructural y los criterios para realizar una investigación detallada										
Finalidad y alcance de la investigación										
La construcción existente y documentación										
Las observaciones de campo y encuestas condición										
El muestreo y ensayo de materiales										
Resultados de la capacidad estructural										
Estimación de costos										
Impacto del método de reparación										
Síntesis de resultados										
Plan de acción										
Estimación de gastos										
Cronograma de proyecto de rehabilitación										
Limitaciones y determinación de la viabilidad de la rehabilitación										

La tabla 8 indica los resultados obtenidos en la fase Informe final, de acuerdo con el peso que le otorga cada teórico a cada variable.

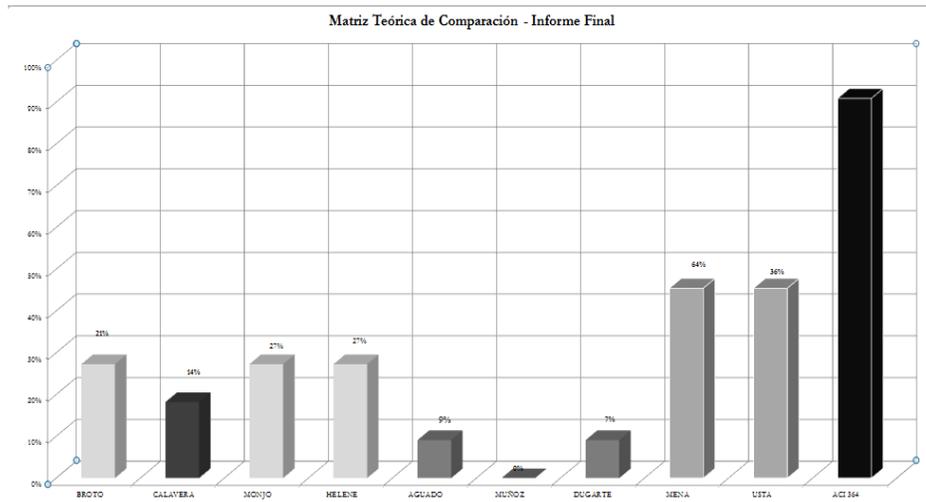


Figura 10 Resultados Matriz Teórica de Comparación - Informe Final

La figura 10 muestra la última parte de la metodología, la que refiere a la necesidad de dar claridad sobre los contenidos que conforman el informe final, de los teóricos consultados, Milton Mena establece la necesidad de un informe final en un estudio de patología con un 64% de las variables consideradas para su redacción, seguido de Broto, Monjo y Helene con un 21% y Calavera con un 14%, es importante resaltar que hay teóricos que no mencionan la presentación o los contenidos de un informe final en los estudios de patología de la construcción.

### 3.1.2. Sistematización de la información Matriz de Vester

La Matriz de Vester permitió conocer el comportamiento de una variable dependiendo de su interacción con otras variables y de esta manera establecer el nivel de priorización y las variables críticas que conforman cada una de las fases de investigación para desarrollar un Estudio de Patología de la Construcción.

Tabla 9. Cuadro Comparativo de la Matriz de Vester, Fase Documentación

Variable	Experto 1	% de Influencia	Experto 2	% de Influencia	Experto 3	% de Influencia	Experto 4	% de Influencia	Experto 5	% de Influencia	Activo	Crítico	Indiferente	Pasivo	Criterio
1. Nombre del proyecto	Indiferente	4,1%	Indiferente	3,9%	Indiferente	1,3%	Indiferente	0,0%	Indiferente	0,0%	0	0	5	0	Indiferente
2. Localización geográfica	Activo	9,5%	Activo	25,5%	Activo	4,7%	Activo	13,7%	Crítico	9,6%	4	1	0	0	Activo
3. Revisión del proyecto original y registros de construcción	Pasivo	0,9%	Indiferente	8,8%	Indiferente	9,7%	Pasivo	4,4%	Crítico	8,0%	0	1	2	2	Pasivo
4.1 Tipo de cimentación	Crítico	8,6%	Activo	12,7%	Activo	9,3%	Pasivo	6,0%	Crítico	7,6%	2	2	0	1	Crítico
4.2 Sistema Estructural	Crítico	10,9%	Pasivo	11,6%	Pasivo	10,2%	Crítico	9,3%	Crítico	7,6%	0	3	0	2	Crítico
5. Propietarios y usos: se deben realizar entrevistas con usuarios o personas que hayan conocido la estructura a través del tiempo.	Crítico	11,3%	Indiferente	2,9%	Indiferente	7,6%	Activo	12,6%	Crítico	8,8%	1	2	2	0	Crítico
6.1 Diseñadores (arquitecto, ingeniero de Suelos, ingeniero estructural, ingeniero asesor de materiales, ingeniero de instalaciones)	Crítico	10,4%	Crítico	14,7%	Crítico	8,9%	Activo	15,9%	Crítico	10,0%	1	4	0	0	Crítico
6.2 Especificadores del proyecto: (constructor, interventor, proveedores de materiales)	Crítico	10,9%	Pasivo	11,8%	Pasivo	8,5%	Crítico	12,6%	Crítico	9,2%	0	3	0	2	Crítico
7.1 Fechas de Diseño y correspondencia entre códigos y normas	Crítico	11,3%	Pasivo	5,9%	Pasivo	10,2%	Crítico	8,8%	Crítico	11,6%	0	3	0	2	Crítico
7.2 Construcción y puesta en servicio	Crítico	7,2%	Pasivo	2,0%	Pasivo	9,3%	Crítico	11,0%	Crítico	10,0%	0	3	0	2	Crítico
7.3 Vida útil proyectada	Crítico	6,3%	Pasivo	0,0%	Pasivo	11,9%	Pasivo	4,9%	Crítico	9,6%	0	2	0	3	Pasivo
7.4 Área construida	Crítico	8,6%	Pasivo	0,0%	Pasivo	8,5%	Indiferente	0,5%	Activo	7,6%	1	1	1	2	Pasivo

La tabla 9 muestra los resultados de la aplicación de la matriz de vester de acuerdo con los parametros de medida en relacion del grado de influencia y dependencia que cada experto asigno a cada variable en la fase documental.

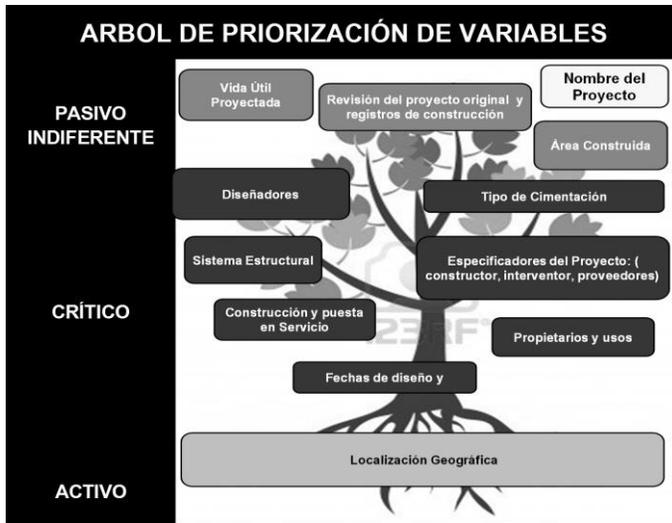


Figura 11. Árbol de Priorización de Variables – Fase Documentación

La figura 11 indica el árbol de priorización las variables críticas en la fase documentación como son: el Sistema estructural, tipo de cimentación, diseñadores, construcción y puesta en servicio, propietarios y usos,

especificadores del proyecto. Frente a la categoría Activo la variable localización geográfica presenta un nivel de independencia e influencia alto respecto a las demás.

Tabla 10. Cuadro Comparativo de la Matriz de Vester, Fase Observación

Variable	Experto 1	% de Infl	Experto 2	% de Infl	Experto 3	% de Infl	Experto 4	% de Infl	Experto 5	% de Infl	Activo	Crítico	Indiferente	Pasivo	Criterio
8.1 Detectar la lesión	Indiferente	0.0%	Crítico	13.5%	Crítico	6.8%	Crítico	4.8%	Crítico	5.1%	0	4	1	0	Crítico
8.2 Identificar la lesión	Crítico	4.4%	Crítico	12.7%	Crítico	8.2%	Crítico	5.0%	Crítico	5.3%	0	5	0	0	Crítico
8.3 Aislar la lesión	Pasivo	3.8%	Indiferente	5.2%	Crítico	5.5%	Indiferente	1.5%	Indiferente	3.8%	0	1	3	1	Indiferente
9. Desviaciones visibles y deformaciones intencionales	Crítico	6.4%	Pasivo	8.3%	Crítico	4.8%	Indiferente	3.9%	Crítico	5.5%	0	3	1	1	Crítico
10. Asentamientos en la cimentación	Crítico	6.4%	Crítico	9.5%	Crítico	4.9%	Crítico	5.0%	Crítico	5.7%	0	5	0	0	Crítico
11. Nivel Freatico	Crítico	7.4%	Pasivo	7.9%	Indiferente	4.0%	Crítico	7.2%	Crítico	6.5%	0	3	1	1	Crítico
12. Geometría y materiales estructurales	Crítico	6.5%	Indiferente	5.2%	Crítico	7.0%	Crítico	6.3%	Crítico	0.0%	0	4	1	0	Crítico
13.1 Humedad Relativa (rangos de Ocurrencia, frecuencia, duración)	Crítico	7.6%	Pasivo	7.5%	Crítico	6.4%	Crítico	7.6%	Crítico	6.1%	0	4	0	1	Crítico
13.2 Temperatura (rangos de ocurrencia, frecuencia, duración, exposición solar)	Crítico	7.3%	Indiferente	4.4%	Crítico	5.7%	Crítico	7.0%	Crítico	7.2%	0	4	1	0	Crítico
13.3 Presión: (régimen de vientos, régimen de lluvias,	Crítico	7.4%	Indiferente	6.0%	Crítico	6.0%	Crítico	7.0%	Crítico	8.2%	0	4	1	0	Crítico
13.4 Tipo de agua presente	Crítico	7.4%	Indiferente	5.6%	Crítico	6.8%	Crítico	8.0%	Crítico	7.2%	0	4	1	0	Crítico
13.5 Sustancias agresivas y concentración: (escorrentía, salpicadura, vapor)	Crítico	6.9%	Indiferente	6.0%	Crítico	6.6%	Crítico	8.0%	Crítico	7.8%	0	4	1	0	Crítico
13.6 Frecuencia y duración de la exposición	Crítico	5.8%	Indiferente	2.4%	Crítico	6.0%	Crítico	8.3%	Crítico	8.7%	0	4	1	0	Crítico
13.7 Condiciones de exposición particulares o especiales	Crítico	5.6%	Indiferente	2.4%	Crítico	5.9%	Crítico	8.9%	Crítico	7.6%	0	4	1	0	Crítico
13.8 Vicios Ocultos	Crítico	6.0%	Indiferente	2.4%	Crítico	5.9%	Indiferente	3.3%	Crítico	5.1%	0	3	2	0	Crítico
14. Determinar pruebas no destructivas	Pasivo	3.8%	Indiferente	1.2%	Crítico	4.4%	Crítico	7.4%	Indiferente	0.2%	0	2	2	1	Crítico

La tabla 10 muestra a través de un indicador porcentual obtenido del resultado del desarrollo de la matriz de Vester por cada experto, las variables críticas que deben ser siempre tenidas en cuenta dentro de la fase de observación, se profundiza más en la figura 10.

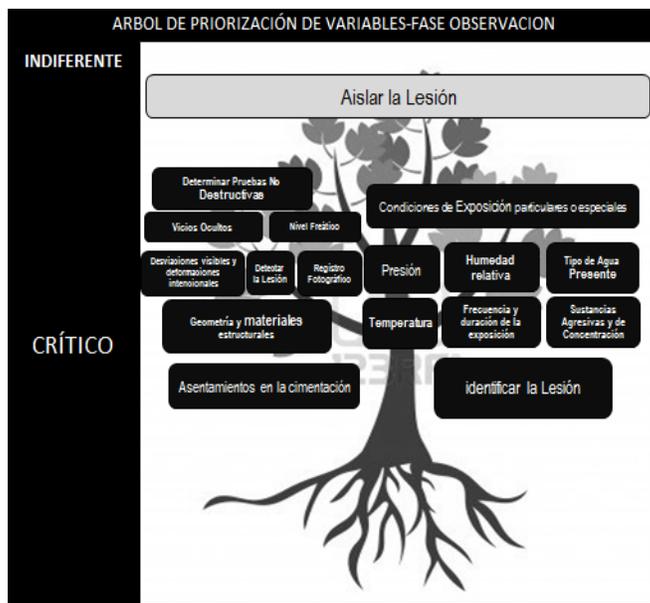


Figura 12 Árbol de Priorización de Variables – Fase Observación

La figura 12 contiene el árbol de priorización de las variable de la Fase observación contempla una serie de variables que se presentan como especificaciones de la metodología propuesta y que hace énfasis en variables del rango crítico como: condiciones de exposición particular o especial, vicos ocultos, nivel freático, asentamientos en la cimentación, identificar la lesión, geometría y materiales estructurales, variables que no deben faltar para el análisis de esta fase.

Tabla 11. Cuadro Comparativo de la Matriz de Vester, Fase Toma de datos

Variables	Experto 1	% de Infl	Experto 2	% de Infl	Experto 3	% de Infl	Experto 4	% de Infl	Experto 5	% de Infl	Activo	Crítico	Indiferente	Pasivo	Criterio
16. Descripción del sistema estructural	Activo	20.0%	Activo	31.7%	Crítico	13.9%	Activo	24.5%	Crítico	17.0%	3	2	0	0	Activo
17. Levantamiento planimétrico	Crítico	18.7%	Activo	24.4%	Crítico	18.1%	Pasivo	9.4%	Activo	22.6%	2	2	0	1	Activo
18. Levantamiento Gráfico de daños	Crítico	16.0%	Activo	22.0%	Crítico	19.4%	Crítico	22.6%	Crítico	18.9%	1	4	0	0	Crítico
19. Recuento fotográfico	Crítico	17.3%	Pasivo	14.6%	Crítico	15.3%	Pasivo	3.8%	Crítico	17.0%	0	3	0	2	Crítico
20. Fichas de Calificación del daño	Crítico	13.3%	Pasivo	7.3%	Crítico	18.1%	Crítico	11.3%	Pasivo	9.4%	0	3	0	2	Crítico
21. Planeamiento y definición de ensayos de materiales	Crítico	14.7%	Pasivo	0.0%	Crítico	15.3%	Crítico	28.3%	Crítico	15.1%	0	4	0	1	Crítico

La tabla 11 relaciona las variables de acuerdo con el juicio de los expertos en la matriz teórica de comparación en el rango de influencia y dependencia, donde el

resultado final indica porcentualmente a través de un análisis de frecuencias en rango crítico y activo de las variables para esta fase.

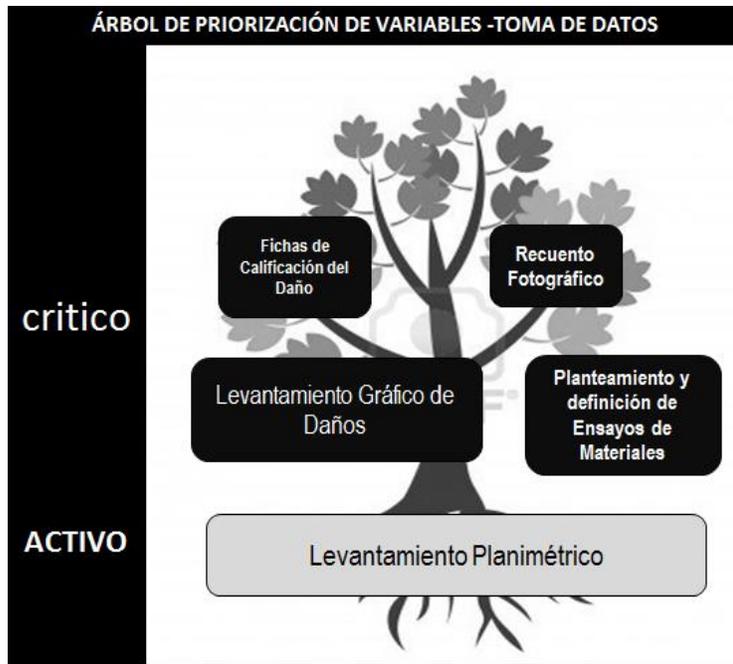


Figura 13. Árbol de Priorización de Variables – Toma de datos

La figura 13 muestra el rango crítico para la fase toma de datos que establece levantamiento gráfico de daños, fichas de calificación, recuento fotográfico, planteamiento y definición de ensayos. Se presenta como variable activa el levantamiento planimétrico que tiene mayor nivel de independencia y un alto nivel de influencia sobre las demás, por lo tanto es necesario incluirla siempre dentro del análisis de la fase.

Tabla 12. Cuadro Comparativo de la Matriz de Vester, Fase Documentación- Investigación detallada

Variables	Experto 1	% de Infl	Experto 2	% de Infl	Experto 3	% de Infl	Experto 4	% de Infl	Experto 5	% de Infl	Activo	Crítico	Indiferente	Pasivo	Criterio
Los planos de diseño, especificaciones y cálculos	Activo	8.46%	Activo	34.62%	Crítico	9.85%	Crítico	13.00%	Activo	10.79%	3	2	0	0	Activo
El libro de obra	Crítico	8.46%	Activo	26.92%	Crítico	9.47%	Pasivo	2.69%	Crítico	8.57%	1	3	0	1	Crítico
La colocación de la armadura del concreto	Crítico	6.58%	Indiferente	8.65%	Crítico	7.95%	Pasivo	5.83%	Crítico	8.57%	0	3	1	1	Crítico
Los planos de alteración, apéndices y órdenes de cambio	Crítico	8.78%	Pasivo	0.00%	Crítico	9.47%	Pasivo	4.93%	Crítico	8.25%	0	3	0	2	Crítico
registros de trabajos de campo y la correspondencia con la obra	Crítico	8.78%	Pasivo	0.00%	Crítico	9.47%	Crítico	8.52%	Pasivo	4.13%	0	3	0	2	Crítico
Los códigos de construcción	Activo	10.66%	Indiferente	0.00%	Crítico	5.68%	Activo	16.14%	Activo	10.48%	3	1	1	0	Activo
Información de la construcción	Crítico	8.15%	Pasivo	13.46%	Crítico	10.23%	Pasivo	7.17%	Crítico	6.03%	0	3	0	2	Crítico
Materiales de construcción, patentes y datos de ensayos	Crítico	8.46%	Pasivo	6.73%	Crítico	8.33%	Crítico	8.07%	Crítico	6.98%	0	4	0	1	Crítico
Los datos de control de calidad y los informes de inspección en campo	Crítico	7.94%	Pasivo	5.77%	Crítico	7.95%	Crítico	8.07%	Crítico	8.25%	0	4	0	1	Crítico
Fotografías del proceso de construcción	Crítico	6.58%	Pasivo	0.96%	Crítico	7.20%	Pasivo	2.24%	Crítico	7.62%	0	3	0	2	Crítico
los informes de prueba de materiales utilizados para todos elementos estructurales	Crítico	6.58%	Pasivo	0.96%	Crítico	6.44%	Pasivo	6.73%	Crítico	6.03%	0	3	0	2	Crítico
Los registros de la actividad sísmica, la actividad geológica y estudios de suelos	Activo	5.33%	Indiferente	1.92%	Indiferente	2.65%	Crítico	9.42%	Activo	7.62%	2	1	2	0	Indiferente
Información sobre el funcionamiento, la ocupación, los casos de sobrecarga, y los límites de carga	Crítico	5.33%	Pasivo	0.00%	Crítico	5.30%	Pasivo	7.17%	Crítico	6.67%	0	3	0	2	Crítico

En la tabla 12 se observan los resultados obtenidos de la matriz de vester, se identifica para esta fase según el juicio de expertos las variables críticas y activas, fundamentales para la investigación de detallada.

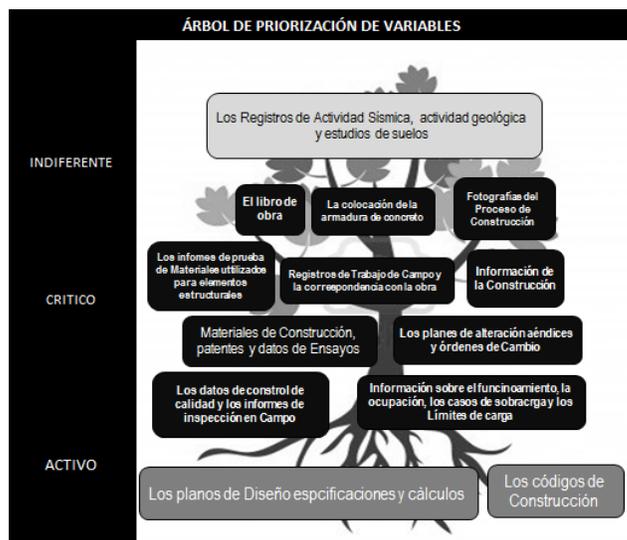


Figura 14 Árbol de Priorización de Variables – Fase Documentación-Investigación detallada.

En la figura 14 se identifica la priorización de variables en la fase documental, considerando con una alta influencia en el rango activo los planos de diseño,

especificaciones y calculo, códigos de construcción, sobre las variables críticas, los registros sísmicos y actividad geológicas no se toman en cuenta dentro de esta fase, por tener un carácter indiferente dentro del análisis.

Tabla 13. Cuadro Comparativo de la Matriz de Vester, Fase Observación-investigación detallada.

Variable	Experto 1	% de Influencia	Experto 2	% de Influencia	Experto 3	% de Influencia	Experto 4	% de Influencia	Experto 5	% de Influencia	Activo	Crítico	Indiferente	Pasivo	Criterio
Tipo y extensión de información	Crítico	11.1%	Activo	20.7%	Crítico	13.6%	Crítico	9.4%	Crítico	11.0%	1	4	0	0	Crítico
Procedimientos de registro	Crítico	9.9%	Activo	11.5%	Crítico	11.4%	Pasivo	0.8%	Crítico	11.6%	1	3	0	1	Crítico
Determinar pruebas destructivas	Crítico	9.9%	Activo	20.7%	Indiferente	6.3%	Crítico	13.3%	Crítico	11.6%	1	3	1	0	Crítico
Geometría y materiales estructurales (modificaciones en el diseño, Pruebas no	Crítico	12.9%	Activo	14.9%	Crítico	9.7%	Crítico	14.1%	Crítico	11.6%	1	4	0	0	Crítico
Cargas y medio ambiente (cargas muertas, cargas impuestas, patrones de almacenamiento, cargas de los equipos estáticos y maquinaria)	Activo	12.3%	Crítico	11.5%	Crítico	10.2%	Crítico	13.3%	Crítico	13.9%	1	4	0	0	Crítico
Daño visible	Crítico	9.9%	Indiferente	10.3%	Crítico	13.1%	Crítico	10.2%	Crítico	8.7%	0	4	1	0	Crítico
Desviaciones visibles y deformaciones intencionales	Crítico	10.5%	Pasivo	6.9%	Crítico	11.9%	Crítico	12.5%	Crítico	8.7%	0	4	0	1	Crítico
Asentamientos en la cimentación	Crítico	11.1%	Pasivo	3.4%	Crítico	13.1%	Crítico	12.5%	Crítico	11.6%	0	4	0	1	Crítico
Nivel freático	Crítico	12.3%	Pasivo	0.0%	Crítico	10.8%	Activo	14.1%	Crítico	11.6%	1	3	0	1	Crítico

La tabla 13 indica que por tratarse de una investigación detallada, la fase de observación considera todas sus variables en el rango crítico, por lo tanto las variables deben ser estudiadas y analizadas dentro del desarrollo de la fase.

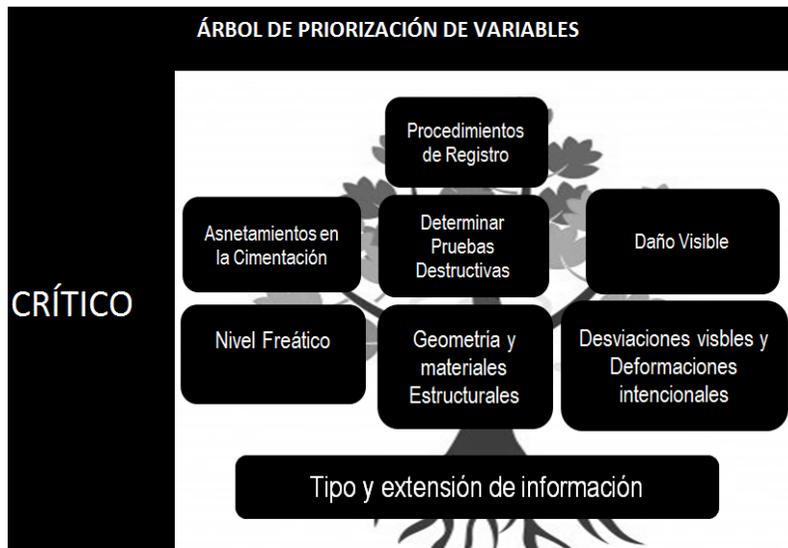


Figura 15. Árbol de Priorización de Variables – Fase Observación-Investigación detallada.

En la figura 15 muestra los resultados de todas las variables en el rango crítico asentamientos en cimentación, daño visible, deformaciones intencionales, nivel freático, geometría y materiales estructurales, determina pruebas destructivas y expresa un nivel de planificación mayor que exige procedimientos de registro y analiza el tipo y extensión de la información.

Tabla 14. Cuadro Comparativo de la Matriz de Vester, Fase Muestreo y Material de prueba

Variables	Experto 1	% de influencia	Experto 2	% de influencia	Experto 3	% de influencia	Experto 4	% de influencia	Experto 5	% de influencia	Activo	Crítico	Pasivo	Indiferente	Criterio
Prácticas y procedimientos para evaluar el estado y propiedades de los materiales estructurales	Crítico	33.3%	Activo	75.0%	Crítico	33.3%	Crítico	36.4%	Crítico	33.3%	1	4	0	0	Crítico
Procedimientos para evaluar las fuerzas de tracción y compresión en el acero y concreto	Crítico	33.3%	Indiferente	25.0%	Crítico	33.3%	Crítico	45.5%	Crítico	33.3%	0	4	0	1	Crítico
Técnicas de muestreo	Crítico	33.3%	Pasivo	0.0%	Crítico	33.3%	Crítico	18.2%	Crítico	33.3%	0	4	1	0	Crítico

La tabla 14 establece las variables para los ensayos destructivos y no destructivos, desde procedimientos para evaluar el estado de los materiales, y demás las técnicas de muestreo, indispensables para determinar la capacidad estructural a través de análisis cuantitativos.

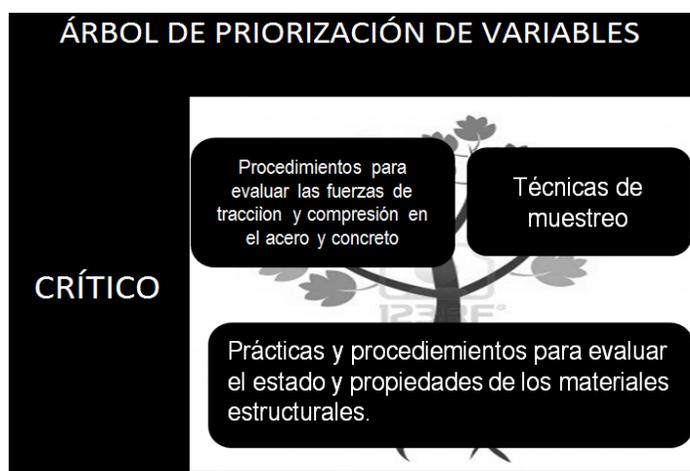


Figura 16. Árbol de Priorización de Variables – Fase Muestreo y material de Prueba.

En la figura 16 todas las variables contempladas para la fase Muestreo y material de prueba se consideran en el rango crítico, esto indica la importancia de la fase en los estudios de Patología de la construcción

### 3.1.3. Criterios y rangos de calificación de acuerdo con los resultados de la matriz de vester.

De acuerdo con la matriz de resultados de Vester calificada por el juicio de los expertos en razón al grado de influencia y de dependencia de cada una de las variables sobre las demás se logró categorizar cada una de ellas en los rangos críticos, activos, pasivos e indiferentes para el tipo de investigación preliminar, que no permite calificar el estado actual de la estructura de la edificación.

Tabla 15. Rango de calificación de variables - fase de la investigación Preliminar.

Variables para una Investigación Preliminar		Peso Vester	Porcentaje por Variable	Porcentaje por Fase		
Fase Documentación	1. Nombre del proyecto	0.01	0.3%	33.2%		
	2. Localización geográfica	0.06	2.0%			
	3. Revisión del proyecto original y registros de construcción	0.08	2.7%			
	4.1 Tipo de cimentación	0.11	3.7%			
	4.2 Sistema Estructural	0.09	3.0%			
	5. Propietarios y usos: se deben realizar entrevistas con usuarios o personas que hayan conocido la estructura a través del tiempo.	0.09	3.0%			
	6.1 Diseñadores: (arquitecto, ingeniero de Suelos, ingeniero estructural, ingeniero asesor de materiales, ingeniero de instalaciones)	0.12	4.0%			
	6.2 Especificadores del proyecto: (constructor, interventor, proveedores de materiales)	0.12	4.0%			
	7.1 Fechas de Diseño y correspondencia entre códigos y normas	0.11	3.7%			
	7.2 Construcción y puesta en servicio	0.09	3.0%			
	7.3 Vida útil proyectada	0.06	2.0%			
	7.4 Área construida	0.06	2.0%			
					1.0	
	Fase de Observación	8.1 Detectar la lesión	0.07		2.3%	33.6%
8.2 Identificar la lesión		0.07	2.3%			
8.3 Aislar la lesión		0.04	1.3%			
9. Desviaciones visibles y deformaciones intencionales		0.05	1.7%			
10. Asentamientos en la cimentación		0.06	2.0%			
11. Nivel Freático		0.06	2.0%			
12. Geometría y materiales estructurales		0.06	2.0%			
13.1 Humedad Relativa: (rangos de Ocurrencia, frecuencia, duración)		0.07	2.4%			
13.2 Temperatura: (rangos de ocurrencia, frecuencia, duración, exposición solar)		0.06	2.0%			
13.3 Presión: (régimen de vientos, régimen de lluvias,		0.07	2.2%			
13.4 Tipo de agua presente		0.07	2.3%			
13.5 Sustancias agresivas y concentración: (escorentía, salpicadura, vapor)		0.07	2.3%			
13.6 Frecuencia y duración de la exposición		0.06	1.9%			
13.7 Condiciones de exposición particulares o especiales		0.06	1.9%			
13.8 Vicios Ocultos		0.05	1.7%			
14. Determinar pruebas no destructivas	0.06	2.0%				
15. Registro fotográfico	0.04	1.3%				
				1.0		
Fase de Toma de Datos	16. Descripción del sistema estructural	0.10	3.3%	33.2%		
	17. Levantamiento planimétrico	0.10	3.3%			
	18. Planos de calificación del levantamiento del daño	0.20	6.6%			
	19. Sistematización del recuento fotográfico	0.20	6.6%			
	20. Fichas de Calificación del daño	0.20	6.6%			
	21. Planeamiento y definición de ensayos de materiales	0.20	6.6%			
				1.0		
<b>Total</b>		<b>3.0</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>3.0</b>	

La tabla 15 indica el peso o valor de las variables para la investigación preliminar, según el nivel de priorización, (rango crítico, activo, pasivo e indiferente), valor otorgado por el juicio de expertos, que se discretiza en razón a los determinantes

encontradas para cada variable en los títulos A, B, C y H de la NSR-10, de esta manera se obtiene la calificación de la calidad del diseño y la construcción de la estructura original en los grados Bueno (1), Regular (2) y Malo (3).

La explicación de cómo se desarrolla y discretiza cada variable dentro del instrumento de calificación se encuentra en el anexo Guía para un estudio de Patología de la construcción en la construcción en Edificaciones de concreto reforzado de mediana altura.

## 4. CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Este capítulo presenta el análisis e interpretación de los resultados de cada una de las fases del proceso de investigación.

El primer resultado da cuenta de la revisión del estado del arte, donde se resalta los siguientes aspectos:

- La revisión de literatura presentó gran cantidad de documentos sin ajustarse a un enfoque teórico establecido, pero sí con una importante evidencia empírica, basada en estudios de Patología de la Construcción en pacientes con procesos patológicos que comprometen su funcionalidad y aspecto. Estudios que señalan procedimientos y variables que se relacionan con nuestro problema de investigación.
- La Revisión de las fuentes de información institucional desde la academia con el material proporcionado correspondiente a quince trabajos de proyectos de investigación –TPI de a los últimos cinco años de la Universidad Santo Tomas de Aquino, presentan como resultado una tendencia a realizar estudios en Patología de la construcción para uso vivienda, institucionales y bienes patrimoniales, apoyados en un desarrollo metodológico con formatos y fichas de registro para la calificación, análisis del daño y tipología de las lesiones y presentan un énfasis en la patología de los materiales como en mampuestos y morteros. Además, se resalta la proyección social de los TPI que permite identificar temáticas relevantes para las regiones y la comunidad.
- La Revisión de las fuentes de información institucional desde las agremiaciones confirmo la existencia de diferentes metodologías, principalmente para la inspección y diagnóstico de las edificaciones después de un sismo, procedimientos de medidas de rehabilitación a través de reforzamientos de los elementos estructurales en las edificaciones de concreto, estudios de Patología de

los materiales, entre otros desarrollos investigativos que permitieron la actualización frente a los procedimientos y tecnologías para los ensayos de materiales. No obstante, se considera que es un desarrollo limitado para lo que debería abarcar la patología de la construcción desde una perspectiva integral e interdisciplinar en el entendimiento no solo de las causas que originan los procesos patológicos en casos determinados, sino también en la identificación y clasificación de las patologías más frecuentes y ubicar en qué etapa del proceso constructivo se originan.

- El análisis de los aspectos legales y normativos a nivel nacional e internacional frente a los estudios de Patología de la construcción presenta diferentes niveles de desarrollo; para Colombia el Reglamento de Construcciones Sismo-Resistente-NSR10 contempla la evaluación para el análisis de vulnerabilidad sísmica y adicionar, modificar o remodelar el sistema estructural de edificaciones existentes. Sin embargo, la norma establece unos lineamientos que no son lo suficientemente amplios para definir los procedimientos que otorguen la calificación cualitativa del estado de la edificación entre los grados bueno, regular y malo.

Por lo anterior, la NSR-10 se fundamenta en normas internacionales como la ACI y la ASTM para la consulta en el sector de la construcción, las que difícilmente se implementan porque están diseñadas para otros contextos, tanto en las prácticas constructivas como en las condiciones medioambientales.

- La Matriz de Comparación Teórica determinó que las metodologías desarrolladas por los teóricos presentan diferentes fases de investigación en los estudios de patología de la construcción, las más comunes son las fases de documentación, observación de campo, toma de datos, material de prueba, evaluación e informe final, sin embargo no se presenta consenso en el alcance de sus variables.

El segundo resultado hace referencia al aporte metodológico de la investigación, a través de la implementación del método DELPHI y la Matriz de Vester lo que permitió evaluar el comportamiento de una variable sobre las demás, en razón al grado de influencia y dependencia. Con base en la sistematización se obtuvo los siguientes resultados:

- Frente a la etapa de ejecución y sistematización de los datos a través del método DELPHI, para la primera circulación se obtuvo información adicional y con un análisis estadístico de frecuencias absolutas se identificaron las variables dentro de la categoría No Indispensable y los tipos de investigación que sobrepasan el alcance de un estudio de patología de la construcción, las que se descartaron para la construcción del segundo cuestionario. Tales como, el tipo de investigación especial que corresponde a un método ya establecido bajo la autoridad de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica -AIS, entidad que valida la metodología para la valoración y el diagnóstico en las edificaciones después de un sismo, igualmente la Investigación Rutinaria y de Mantenimiento sobrepasa el alcance de un estudio de Patología de la Construcción.
- La segunda circulación, el grupo de expertos logra una mayor comprensión del tema, se socializa la primera propuesta de metodología y aparecen los consensos y disensos, debido a que no fue clara la priorización de las variables para cada una de las fases de investigación. No obstante, hubo consenso frente a la pertinencia de las variables propuestas, las que se estimaron como suficientes, pero con una serie de recomendaciones para profundizar sobre su alcance. Es así, que se resalta la necesidad de diseñar un instrumento que permita una calificación de la edificación en su fase preliminar y contemplar en la investigación detallada, fase de evaluación, un estudio de vulnerabilidad de la edificación de acuerdo con la norma NSR-10.

- La tercera circulación, permitió la retroalimentación para nuevas consideraciones frente a la identificación de las variables que deben fundamentar la metodología propuesta, esto se logró desde el análisis del grado de influencia y dependencia de las variables con la matriz de Vester, lo que permitió clasificar las variables en los rangos crítico, activo, pasivo e indiferente en cada fase y para cada tipo de investigación.
  
- Los resultados de la matriz de Vester priorizaron las variables según su peso porcentual, parámetros que fueron tenidos en cuenta para el diseño del instrumento de calificación en la metodología de investigación consensuada por el panel de expertos.

De esta manera, los resultados de los expertos se promediaron para otorgar el valor de cada variable para cada fase, siendo las más representativas en la investigación preliminar, fase documental, dentro rango critico se contempla los diseños y especificadores del proyecto con un 12% cada variable. La fase observación de campo para el rango critico las que más tienen peso son el daño visible (detectar, identificar y aislar la lesión) y cargas medio ambientales en un 7% cada una. La fase Toma de datos, resalta en un 2% a cada variable de la información complementaria, la que considera las fichas de calificación, planos de calificación, recuento fotográfico y planeamiento de ensayos de materiales.

Insumos que permitieron diseñar el instrumento de calificación para apoyar el informe de la investigación preliminar y obtener una aplicabilidad practica que determina la calidad del diseño y la construcción conforme a lo establecido en la norma que “Debe calificarse el estado del sistema estructural de la edificación de una manera totalmente cualitativa con base en la calidad del diseño y construcción de la estructura original y en su estado actual” (Reglamento colombiano de Construcción Sismo resistente, capítulo A10. A10.2.2 Pp A-100) instrumento de calificación que determina el estado de la construcción de la estructura original en

buena, regular o mala. Esta calificación es el antecedente que permite determinar en la fase de evaluación de la investigación detallada la resistencia efectiva de los instrumentos estructurales a través del análisis de índices de sobre esfuerzos.

La investigación detallada en la fase documental para el rango crítico, relaciona los planos de diseño, especificaciones y cálculos, informes de prueba de materiales utilizados para cada elemento estructural en un 11% para cada variable y los planos de alteración, apéndices, ordenes de cambio, y la información de la construcción en un 9%, para cada variable. En la fase de observación de investigación detallada se resalta la determinación de pruebas no destructivas, cargas y medio ambiente con un 13% para cada variable. En la fase muestreo y ensayo de materiales la variable que tiene mayor peso corresponde a las prácticas y procedimientos para evaluar el estado y propiedades de los materiales estructurales en un 43% de toda la fase. Finalmente, la fase evaluación contempla en un 35% para la variable evaluación del proceso patológico (causas directas e indirectas).

Sistematización de datos que permitió el análisis y la agregación final para la construcción del Protocolo para los Estudios de Patología en las Edificaciones de Concreto Reforzado.

El último resultado, presentó la implementación de la metodología propuesta con el consenso del panel de expertos para un estudio de caso que realizó la valoración del daño y el diagnóstico de las causas que generan los procesos patológicos en la edificación.

La aplicación de la metodología consensuada por los expertos al estudio de caso se presentó de manera exhaustiva tanto en la investigación preliminar como en la investigación detallada, porque en la fase evaluación se desarrolló el estudio de vulnerabilidad que permitió realizar las alternativas de rehabilitación a través del reforzamiento estructural y la evaluación de costos.

- La aplicación de la metodología en el estudio de caso generó como principales resultados:

El área construida de la Bodega en estudio es de 4.500 mts<sup>2</sup>, se encuentra ubicada en la ciudad de Bogotá, en la localidad de Fontibón, cuenta con un sistema estructural de pórticos, el cual presenta combinación entre estructura metálica y concreto, cubierta liviana con cerchas metálicas. La Bodega está dispuesta en tres módulos: el primero, la zona de oficinas, la segunda zona de producción del galvanizado y la tercera zona de almacenamiento. Le corresponde la zona geotécnica con respuesta sísmica de Lacustre 500.

La investigación preliminar contempla el formato lista de chequeo con las variables para fase documental (formato P- 01) con un 16.5% del total de las variables, resaltando que en el análisis de la información documental obtenida para el predio no se encontró los especificadores del proyecto, diseñadores, fecha, normas, y códigos; variables fundamentales, calificadas en el rango crítico y con mayor peso en la metodología propuesta.

La fase observación de campo y toma de datos permitió reconstruir el historial de la edificación para complementar, en gran medida, la información faltante en la fase documental. Se realizó levantamiento topográfico con instrumentos de precisión, se hizo estudio de laboratorio con base en los ensayos no destructivos del componente estructural (vigas, columnas, cimentación, placa de contra piso y cubierta) en diez y ocho (18) secciones del área en estudio (4.500mts<sup>2</sup>) para ponderar el estado y resistencia de los materiales.

En la visita técnica se identifican lesiones de tipo químicas generadas, principalmente, por el uso industrial del proceso de galvanizado sobre los componentes que integran la edificación; Cubierta, Mampostería, Vigas y columnas.

En la toma de datos se sistematiza la información obtenida en las inspecciones determinando que el proceso patológico presente en la edificación obedece a causas de tipo mecánicas, físicas y químicas, representadas en un 62% de tipo mecánico, le sigue en un 19% las de tipo Antropogénicas y en un menor rango las que se identifican por la acción química en un 16% para la estructura portante de la edificación. En la cubierta se identifica como la lesión predominante la de tipo químico en un 40%, Antropogénicas en un 32% y las de tipo físico en un 19% para este componente. En los cerramientos, el estado de los muros presenta lesiones de tipo mecánico en un 43% y en un 36 % son de orden físico.

En términos generales, el compromiso de la bodega por componente se resume en un 36% del componente en la estructura portante, un 29% en la estructura de cubierta y un 25% para los muros de cerramiento.

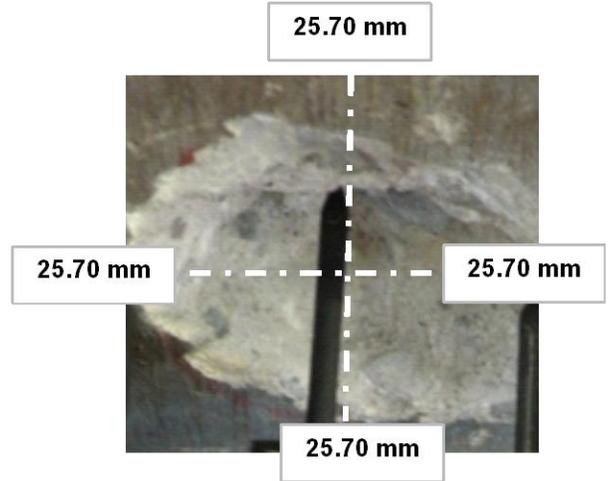
El resultado del análisis de la aplicación del instrumento de calificación en la investigación preliminar para valorar la calidad del diseño, la construcción de la estructura original y el estado de la estructura existente obtiene como calificación 2.73 que se encuentra en el rango mayor o igual a dos significa que equivale a malo, lo que justifica la necesidad de pasar a una investigación detallada, la que requiere de inspecciones técnicas que analizan la edificación de la siguiente manera:

Zona 1. Presenta baja resistencia del concreto por debajo de la resistencia mínima, valor promedio de 2690 psi por ensayo de Esclerometria y de 2800 psi en los ensayos de núcleos en laboratorio, con frente de carbonatación mayor a 6mm, número de muestras y ubicaciones acordes con la norma vigente.

**FORMATO No 1  
ENSAYO DE CARBONATACIÓN CONCRETO**

**PLANTA INDUSTRIAL POLYUPROTEC S.A**

<b>FECHA:</b>	<u>23/05/2013</u>
<b>CLIENTE:</b>	<u>POLYUPROTEC S.A</u>
<b>ESTRUCTURA:</b>	<u>PORTICOS EN CONCRETO - ZONA 1</u>
<b>ELEMENTO ESTRUCTURAL:</b>	<u>COLUMNA</u>
<b>HUMEDAD RELATIVA DEL MATERIAL:</b>	<u>12,70%</u>
<b>TEMPERATURA DEL MATERIAL:</b>	<u>8,8 ° C</u>



FRENTE DE CARBONATACION SUPERIOR (mm)	25,7
FRENTE DE CARBONATACION INFERIOR (mm)	25,7
FRENTE DE CARBONATACION IZQUIERDO (mm)	25,7
FRENTE DE CARBONATACION DERECHO (mm)	25,7
<b>FRENTE DE CARBONATACIÓN REAL (mm)</b>	<b>25,70</b>

**RESULTADO**

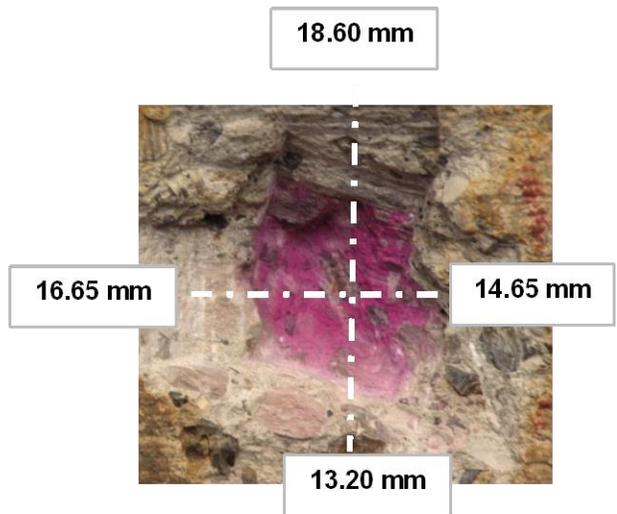
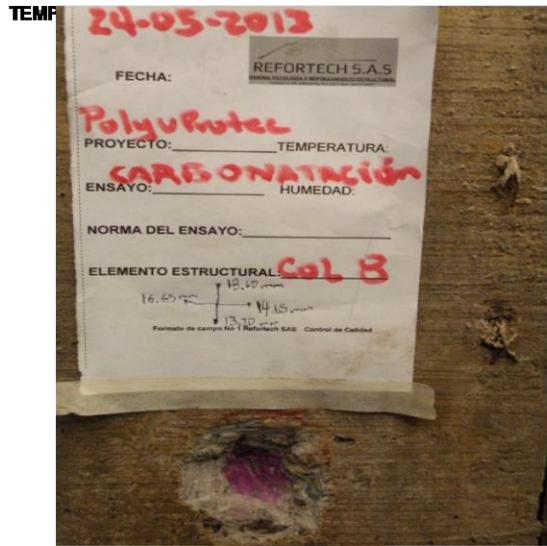
Se realizo un apique a 25,70 mm sin detectarse buen PH en el concreto material carbonatado

*Figura 17. Ensayo de carbonatación del concreto – Fase muestreo y material de Prueba. Zona 1 de la bodega caso de estudio.*

**FORMATO No 1  
ENSAYO DE CARBONATACIÓN CONCRETO**

**PLANTA INDUSTRIAL POLYUPROTEC S.A**

**FECHA:** 23/05/2013  
**CLIENTE:** POLYUPROTEC S.A  
**ESTRUCTURA:** PORTICOS EN CONCRETO - ZONA 1  
**ELEMENTO ESTRUCTURAL:** COLUMNA  
**HUMEDAD RELATIVA DEL MATERIAL:** 10,40%



FRENTE DE CARBONATACION SUPERIOR (mm)	18,6
FRENTE DE CARBONATACION INFERIOR (mm)	13,2
FRENTE DE CARBONATACION IZQUIERDO (mm)	14,65
FRENTE DE CARBONATACION DERECHO (mm)	16,55
<b>FRENTE DE CARBONATACIÓN REAL (mm)</b>	<b>15,75</b>

**RESULTADO**  
 Se encontro un frente de carbonatacion a 15,75 mm en la columna eje 14-S5

Figura 18.. Ensayo de carbonatación del concreto – Fase muestreo y material de prueba. Zona 1 de la bodega caso de estudio

**FORMATO No 2**  
**ENSAYO DE ESCLEROMETRIA ASTM C 805 - NTC 3692 - JJG 817**

**PLANTA INDUSTRIAL POLYUPROTEC S.A**

<b>FECHA:</b>	<u>23/05/2013</u>	
<b>CLIENTE:</b>	<u>POLYUPROTEC S.A</u>	
<b>ESTRUCTURA:</b>	<u>COLUMNAS PORTICOS EN CONCRETO ZONA No 1</u>	
<b>ELEMENTO ESTRUCTURAL:</b>	<u>COLUMNA</u>	
<b>HUMEDAD RELATIVA DEL MATERIAL:</b>	<u>12,70%</u>	<b>Ensayo No:</b> 1
<b>TEMPERATURA DEL MATERIAL:</b>	<u>8,8 °C</u>	<b>Posición del Martillo:</b> A



Se realizo prueba de esclerometro digital sobre columnas de la zona No 1, previamente calibrado el esclerometro con un frente de carbonatación mayor a 6 mm

<b>VALOR REAL ENCONTRADO DEL CONCRETO</b>	<b>F'c = 2700</b>	<b>PSI</b>
---	-------------------	------------

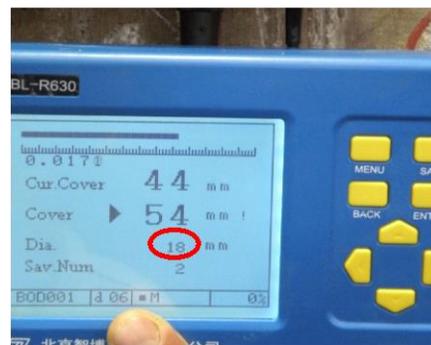
Figura 19. Ensayo de esclerometria del concreto – fase muestreo y material de prueba. Zona 1 de la bodega caso de estudio.

Resultados de laboratorio indican que hay una pérdida significativa de Ph en el concreto, por lo que el acero ya inicio el proceso de corrosión y expansión generando micro fisuras, grietas y fracturas, ataque severo a la matriz cementicio microfizuración y ausencia de hidróxido de calcio por la presencia del ácido clorhídrico del proceso de galvanizado.

**FORMATO No 3  
ENSAYO DE ESCANER ASTM 228,2R**

**PLANTA INDUSTRIAL POLYUPROTEC S.A**

<b>FECHA:</b>	<u>23/05/2013</u>	
<b>CLIENTE:</b>	<u>POLYUPROTEC S.A</u>	
<b>ESTRUCTURA:</b>	<u>COLUMNAS PORTICOS EN CONCRETO ZONA No 1</u>	
<b>ELEMENTO ESTRUCTURAL:</b>	<u>COLUMNA</u>	
<b>HUMEDAD RELATIVA DEL MATERIAL:</b>	<u>10.00%</u>	Ensayo No: 1
<b>TEMPERATURA DEL MATERIAL:</b>	<u>14° C</u>	<b>RECUBRIMIENTO DEL CONCRETO</b>



**RECUBRIMIENTO ESTRIBOS**

**RESULTADOS**

Diametro de la Barra Principal Vertical	18 mm
RECUBRIMIENTO DE BARRAS PRINCIPALES	44 mm
RECUBRIMIENTO DE ESTRIBOS	31 mm

**RECUBRIMIENTO BARRAS PRINCIPALES**



Figura 20. Ensayo de esclerometria del concreto – fase muestreo y material de prueba. Zona 1 de la bodega caso de estudio.

Para determinar el área de refuerzo se utilizó el ensayo con ferroskan, donde se detectó para esta zona de análisis un acero 6 No 5, en secciones de 30x30.con E#3 C 15 cm, datos importantes para la modelación matemática de propuesta de reforzamiento.

**FORMATO No 4  
ENSAYO OBTENCIÓN Y ENSAYO DE NUCLEOS NTC-3658  
REFRENTACIÓN NTC 504**

**PLANTA INDUSTRIAL POLYUPROTEC S.A**

<b>FECHA:</b>	<u>23/05/2013</u>	
<b>CLIENTE:</b>	<u>POLYUPROTEC S.A</u>	
<b>ESTRUCTURA:</b>	<u>COLUMNAS PORTICOS EN CONCRETO ZONA No 1</u>	
<b>ELEMENTO ESTRUCTURAL:</b>	<u>COLUMNA</u>	
<b>HUMEDAD RELATIVA DEL MATERIAL:</b>	<u>10,00%</u>	Ensayo No: 1
<b>TEMPERATURA DEL MATERIAL:</b>	<u>14° C</u>	<b>RECUBRIMIENTO DEL CONCRETO</b>



Referencia	Diametro	Altura Promedio	Altura Capinado	Carga Max	Esbellez	Resistencia	Resistencia
	mm	mm	mm	N	Altura/Diametro	(Mpa)	(PSI)
Col Zona No 1	43,61	88,39	92,46	30235	2,03	20	2857
Col Zona No 1	44,23	87,2	93,2	30690	1,97	20,5	2928
Col Zona No 1	44,02	88,01	92,6	29479	2,00	19,3	2757
Col Zona No 1	43,75	88,5	92,79	28270	2,02	18,7	2671
<b>F c Promedio Zona</b>							<b>2803,25</b>

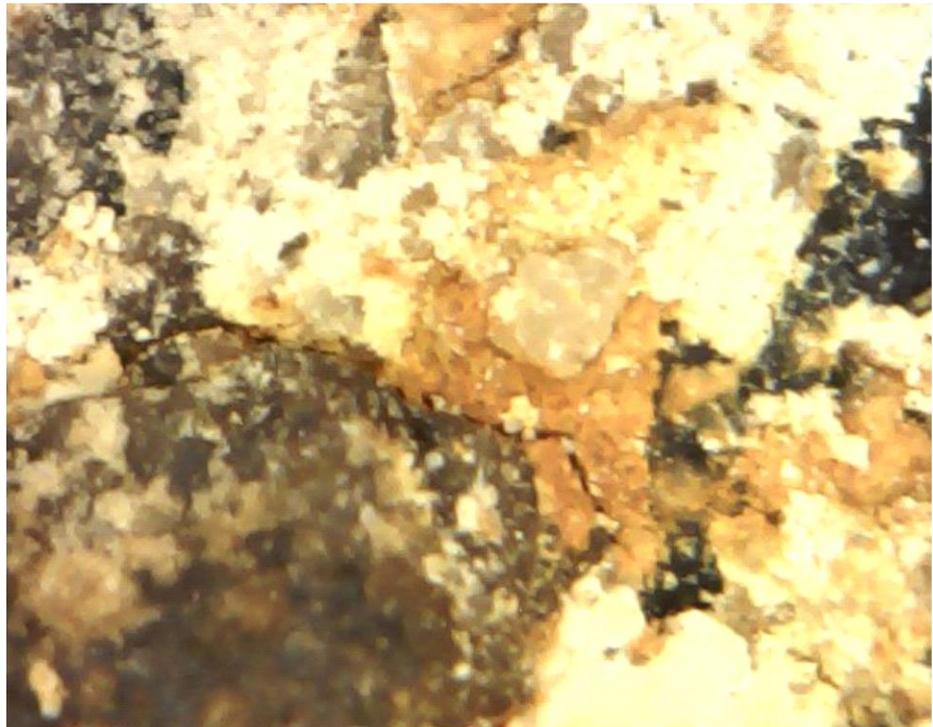
La resistencia a compresion de los cilindros tomados en columnas es de F c=2803 PSI

Figura 21. Ensayo de núcleos del concreto – fase muestreo y material de prueba. Zona 1 de la bodega caso de estudio.

**FORMATO No 5**  
**ASTM C 457 DETERMINACION MICROSCOPICA AIRE/VACIO (DAÑOS)**

**PLANTA INDUSTRIAL POLYUPROTEC S.A**

<b>FECHA:</b>	<u>23/05/2013</u>	
<b>CLIENTE:</b>	<u>POLYUPROTEC S.A</u>	
<b>ESTRUCTURA:</b>	<u>COLUMNAS PORTICOS EN CONCRETO ZONA No 1</u>	
<b>ELEMENTO ESTRUCTURAL:</b>	<u>COLUMNA</u>	
<b>HUMEDAD RELATIVA DEL MATERIAL:</b>	<u>10.00%</u>	Ensayo No: 1
<b>TEMPERATURA DEL MATERIAL:</b>	<u>14° C</u>	



**AUMENTO 400 x**  
**ATAQUE QUIMICO AL CONCRETO AUSENCIA DE CARBONATOS DE CALCIO E HIDROXIDO DE CALCIO**  
**DAÑO ALTO POR ATAQUE QUIMICO AL CONCRETO MICROFISURACIÓN DE LA MATRIZ**  
**INEXISTENCIA DE INTEGRIDAD EN LA MATRIZ CEMENTICIA POR ATAQUE QUIMICO**

*Figura 22. Ensayo microscopia del concreto – fase muestreo y material de prueba. Zona 1 de la bodega caso de estudio.*

## CONCLUSIONES ZONA No 1

La zona No 1 de la planta industrial Polyuprotec S.A presenta baja resistencia de los concreto por debajo de la resistencia mínima requerida por norma, los valores encontrados con el esclerómetro digital correlacionando el frente de carbonatación son los que aparecen a continuación:

Tabla 16. Cuadro explicativo de los resultados de ensayos de esclerometria para el sector 1 de la bodega, caso de estudio.

ENSAYO DE ESCLEROMETRO DIGITAL NTC-3691 - ASTM-C 805							
Referencia	Carbonatación	Posición	MARCA			Resistencia	Resistencia
	mm	Martillo	Esclerometro	Tipo	Desviación	(Mpa)	(PSI)
Col Zona No 1	Mayor a 6 mm	A	Proceq	Electronico	5,00%	18,9	2700
Col Zona No 1	Mayor a 6 mm	A	Proceq	Electronico	5,00%	21	3000
Col Zona No 1	Mayor a 6 mm	A	Proceq	Electronico	5,00%	17,15	2450
Col Zona No 2	Mayor a 6 mm	A	Proceq	Electronico	5,00%	16,8	2400
Col Zona No 1	Mayor a 6 mm	A	Proceq	Electronico	5,00%	20,3	2900
<b>F c Promedio Zona</b>							<b>2690</b>

En la tabla 16 indica los resultados obtenidos de los ensayos insitu, a través de ensayos no destructivos, dando como resultado en promedio una resistencia del concreto con un F`c de 2600 psi.

Tabla 17. Cuadro explicativo de los resultados de ensayo de nucleos para el sector 1 de la bodega, caso de estudio.

ENSAYO DE NUCLEOS NTC-3658							
Referencia	Diametro	Altura Promedio	Altura Capinado	Carga Max	Esbellez	Resistencia	Resistencia
	mm	mm	mm	N	Altura/Diametro	(Mpa)	(PSI)
Col Zona No 1	43,61	88,39	92,46	30235	2,03	20	2857
Col Zona No 1	44,23	87,2	93,2	30990	1,97	20,5	2928
Col Zona No 1	44,02	88,01	92,6	29479	2,00	19,3	2757
Col Zona No 1	43,75	88,5	92,79	28270	2,02	18,7	2671
<b>F c Promedio Zona</b>							<b>2803,25</b>

La tabla 17 indica el valor a la compresión del concreto de la Zona No 1 para diseño estructural se estima con el promedio de los dos resultados obtenidos  $F'c = (2690 \text{ PSI} + 2803 \text{ PSI})/2$   **$F'c = 2747 \text{ PSI}$   $F'c = 19.3 \text{ Mpa}$**

Zona 2. Presenta un alto contenido de ácido clorhídrico y sales por el proceso de galvanizado por inmersión en caliente, generando dióxido de carbono, emisión de gases y calor constante a los elementos de la estructura de acero y el concreto afectándolos de manera directa. Interpretación fundamentada en los resultados con frentes de carbonatación excesivos de 48 mm a 54 mm, sobrepasando el acero de refuerzo con sección de columnas de 40x30, acero de refuerzo de 8No4 y flejes con una distribución de E#3 c/13. Con un concreto con capacidad de resistencia de 2630 psi obtenidas de los ensayos por extracción de núcleos en laboratorio.



Figura 23. Ensayo carbonatación del concreto – fase muestreo y material de prueba. zona 1 de la bodega caso de estudio

**FORMATO No 2  
ENSAYO DE ESCLEROMETRIA ASTM C 805 - NTC 3692 - JJG 817**

**PLANTA INDUSTRIAL POLYUPROTEC S.A**

<b>FECHA:</b>	<u>26/05/2013</u>		
<b>CLIENTE:</b>	<u>POLYUPROTEC S.A</u>		
<b>ESTRUCTURA:</b>	<u>COLUMNAS PORTICOS EN CONCRETO ZONA No 2</u>		
<b>ELEMENTO ESTRUCTURAL:</b>	<u>COLUMNA</u>		
<b>HUMEDAD RELATIVA DEL MATERIAL:</b>	<u>12,70%</u>	<b>Ensayo No:</b>	<u>1</u>
<b>TEMPERATURA DEL MATERIAL:</b>	<u>8,8 °C</u>	<b>Posición del Martillo:</b>	<u>A</u>



Se realizó prueba de esclerometro digital sobre columnas de la zona No 2, previamente calibrado el esclerometro con un frente de carbonatación mayor a 6 mm

<b>VALOR REAL ENCONTRADO DEL CONCRETO</b>	<b>F<sub>c</sub> = 3850</b>	<b>PSI</b>
---	-----------------------------	------------

Figura 24. Ensayo esclerometria del concreto – fase muestreo y material de prueba. Zona 2 de la bodega caso de estudio.

**FORMATO No 3  
ENSAYO DE ESCANER ASTM 228,2R**

**PLANTA INDUSTRIAL POLYUPROTEC S.A**

<b>FECHA:</b>	<u>26/05/2013</u>	
<b>CLIENTE:</b>	<u>POLYUPROTEC S.A</u>	
<b>ESTRUCTURA:</b>	<u>COLUMNAS PORTICOS EN CONCRETO ZONA No 2</u>	
<b>ELEMENTO ESTRUCTURAL:</b>	<u>COLUMNA</u>	
<b>HUMEDAD RELATIVA DEL MATERIAL:</b>	<u>10,00%</u>	Ensayo No: <u>1</u>
<b>TEMPERATURA DEL MATERIAL:</b>	<u>14° C</u>	<b>RECUBRIMIENTO DEL CONCRETO</b>



**RECUBRIMIENTO BARRAS PRINCIPALES**



**RESULTADOS**

<b>RECUBRIMIENTO DE BARRAS PRINCIPALES</b>	<b>64 mm</b>
<b>RECUBRIMIENTO DE ESTRIBOS</b>	<b>51 mm</b>
<b>DIAMETRO DE BARRA PRINCIPAL</b>	<b>13 mm</b>



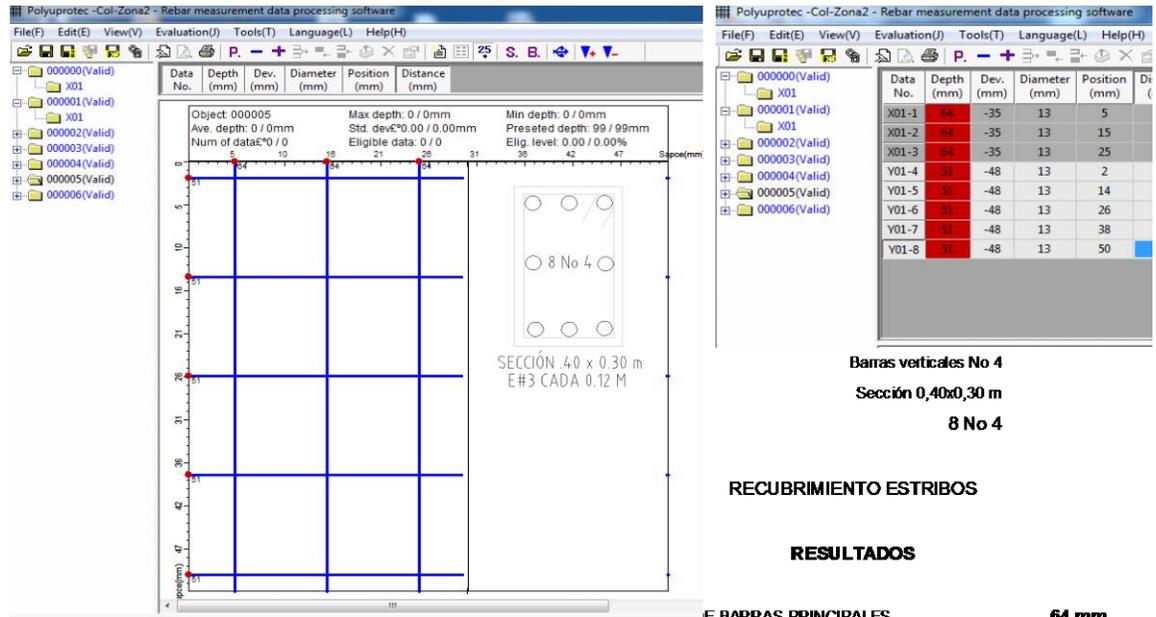
*Figura 25. Ensayo de escáner del concreto – fase muestreo y material de prueba. Zona 2 de la bodega caso de estudio.*

**FORMATO No 3**  
**ENSAYO DE ESCANER ASTM 228,2R**

**PLANTA INDUSTRIAL POLYUPROTEC S.A**

**FECHA:** 26/05/2013  
**CLIENTE:** POLYUPROTEC S.A  
**ESTRUCTURA:** COLUMNAS PORTICOS EN CONCRETO ZONA No 2  
**ELEMENTO ESTRUCTURAL:** COLUMNA  
**HUMEDAD RELATIVA DEL MATERIAL:** 10,00%  
**TEMPERATURA DEL MATERIAL:** 14° C

Ensayo No: 1  
**RECUBRIMIENTO DEL CONCRETO**



**Barras verticales No 4**  
**Sección 0,40x0,30 m**  
**8 No 4**

**RECUBRIMIENTO ESTRIBOS**

**RESULTADOS**

**E BARRAS PRINCIPALES** **64 mm**  
**RECUBRIMIENTO DE ESTRIBOS** **51 mm**  
**DIAMETRO DE BARRA PRINCIPAL** **13 mm**

**RECUBRIMIENTO BARRAS PRINCIPALES**

Figura 26. Ensayo de escáner del concreto – fase muestreo y material de prueba. Zona 2 de la bodega caso de estudio.

**FORMATO No 4**  
**ENSAYO OBTENCIÓN Y ENSAYO DE NUCLEOS NTC-3658**  
**REFRENTACIÓN NTC 504**

**PLANTA INDUSTRIAL POLYUPROTEC S.A**

<b>FECHA:</b>	<u>23/05/2013</u>	
<b>CLIENTE:</b>	<u>POLYUPROTEC S.A</u>	
<b>ESTRUCTURA:</b>	<u>COLUMNAS PORTICOS EN CONCRETO ZONA No 2</u>	
<b>ELEMENTO ESTRUCTURAL:</b>	<u>COLUMNA</u>	
<b>HUMEDAD RELATIVA DEL MATERIAL:</b>	<u>10,00%</u>	Ensayo No: 1
<b>TEMPERATURA DEL MATERIAL:</b>	<u>14° C</u>	<b>RECUBRIMIENTO DEL CONCRETO</b>



<b>ENSAYO DE NUCLEOS NTC-3658</b>							
Referencia	Diametro	Altura Promedio	Altura Capinado	Carga Max	Esbeltz	Resistencia	Resistencia
	mm	mm	mm	N	Altura/Diametro	(Mpa)	(PSI)
Col Zona No 2	43,61	88,39	92,46	25095	2,03	16,6*	2371
Col Zona No 2	44,09	88,2	93,1	27665	2,00	18,3	2614
Col Zona No 2	44,29	88,32	93,21	23885	1,99	15,8*	2257
Col Zona No 2	44,21	88,41	93,16	20408	2,00	13,5*	1928
Col Zona No 2	44,23	87,2	93,2	48376	1,97	32	4571
Col Zona No 2	44,02	88,01	92,6	33712	2,00	22,3	3186
Col Zona No 2	43,75	88,5	92,79	19502	2,02	12,9*	1843
<b>F c Promedio Zona</b>							<b>2681</b>

\* COLUMNAS SOBRE EL COSTADO DE PRODUCCION INDUSTRIAL PRESENTAN ATAQUE QUIMICO

Figura 27. Ensayo de núcleos del concreto – fase muestreo y material de prueba. Zona 2 de la bodega caso de estudio

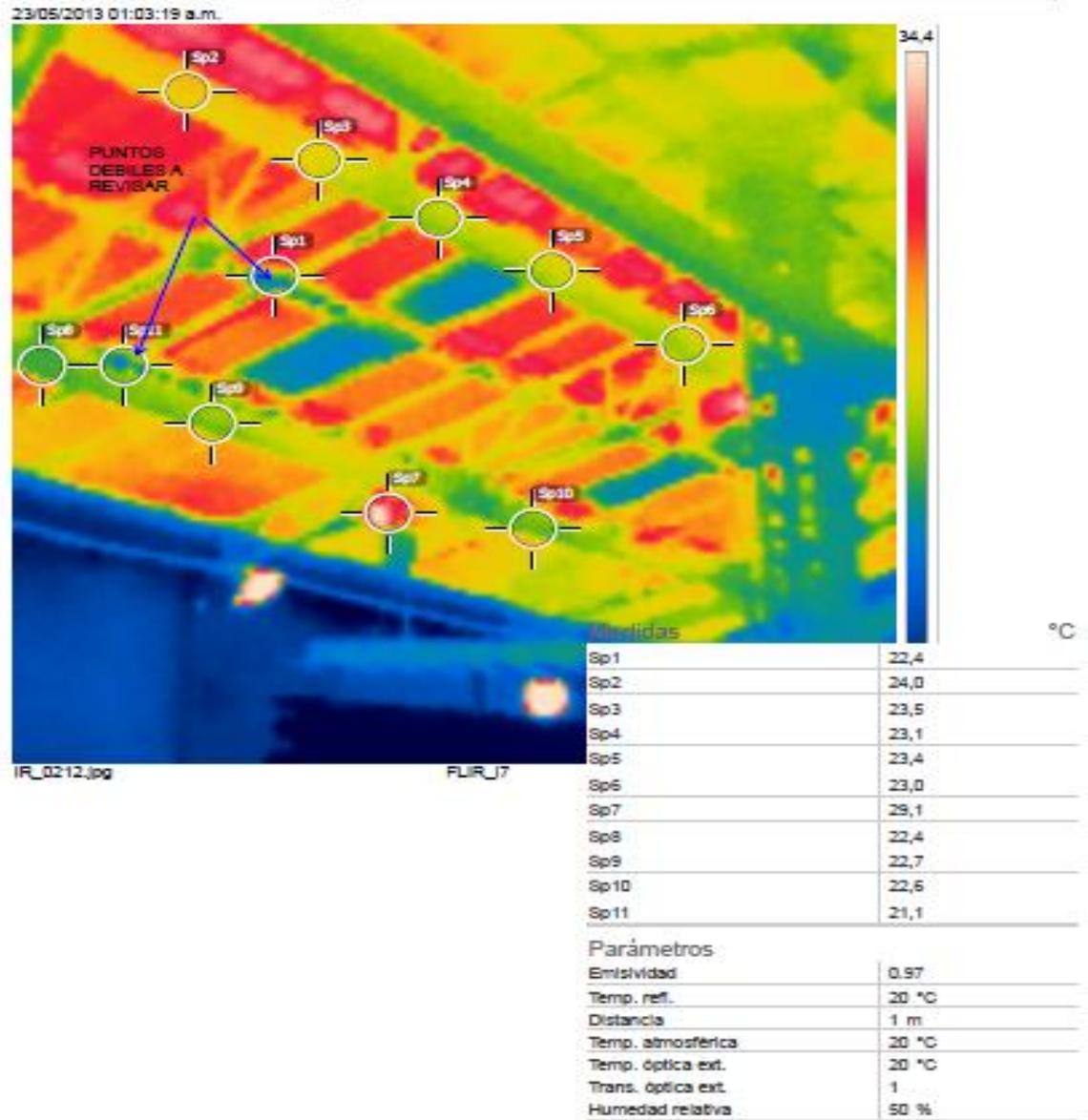
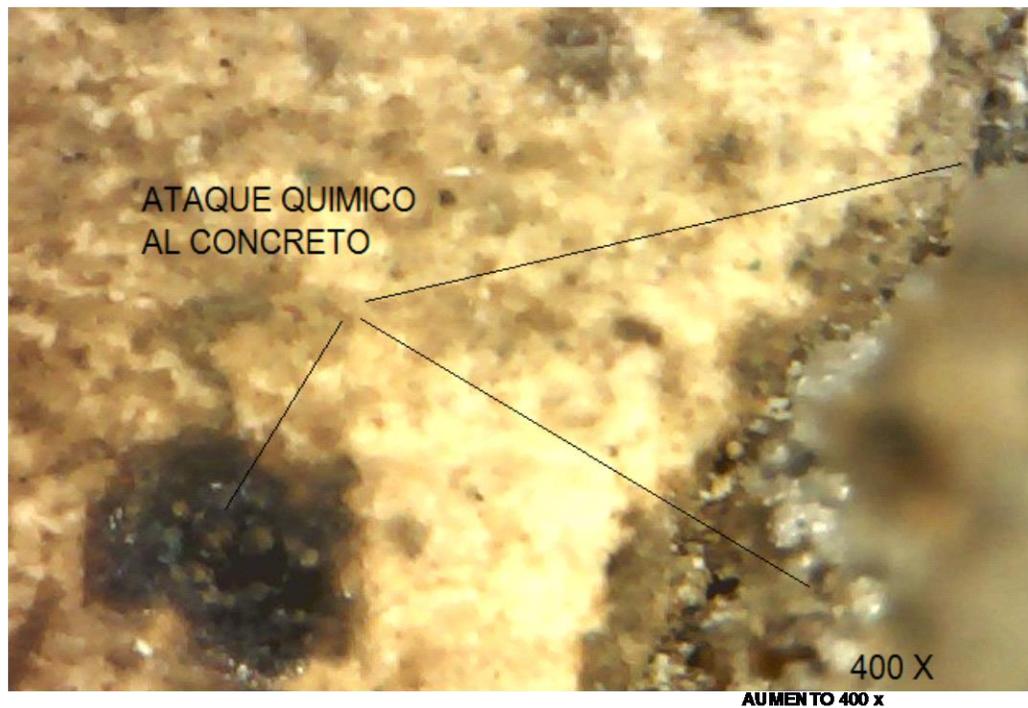


Figura 28. Ensayo de termografía del concreto – fase muestreo y material de prueba. Zona 2 de la bodega caso de estudio.

**FORMATO No 5**  
**ASTM C 457 DETERMINACION MICROSCOPICA AIRE/VACIO (DAÑOS)**

**PLANTA INDUSTRIAL POLYUPROTEC S.A**

<b>FECHA:</b>	<u>26/05/2013</u>	
<b>CLIENTE:</b>	<u>POLYUPROTEC S.A</u>	
<b>ESTRUCTURA:</b>	<u>COLUMNAS PORTICOS EN CONCRETO ZONA No 2</u>	
<b>ELEMENTO ESTRUCTURAL:</b>	<u>COLUMNA</u>	
<b>HUMEDAD RELATIVA DEL MATERIAL:</b>	<u>10,00%</u>	Ensayo No: 1
<b>TEMPERATURA DEL MATERIAL:</b>	<u>14° C</u>	



**ATAQUE QUIMICO AL CONCRETO AUSENCIA DE CARBONATOS DE CALCIO E HIDROXIDO DE CALCIO  
DAÑO ALTO POR ATAQUE QUIMICO AL CONCRETO MICROFISURACIÓN DE LA MATRIZ  
INEXISTENCIA DE INTEGRIDAD EN LA MATRIZ CEMENTICIA POR ATAQUE QUIMICO**

*Figura 29. Ensayo de microscopia del concreto – fase muestreo y material de prueba. Zona 2 de la bodega caso de estudio.*

## CONCLUSIONES ZONA No 2

- La zona No 2 de la planta industrial Polyuprotec S.A presenta como en la Zona No 1 baja resistencia de los concreto por debajo de la resistencia mínima requerida por norma en las columnas del eje (4), los valores encontrados con el esclerómetro digital correlacionando el frente de carbonatación son los que aparecen a continuación:

Tabla 18. Cuadro explicativo de los resultados de ensayo de esclerometria, para el sector 2 de la bodega, caso de estudio.

ENSAYO DE ESCLEROMETRO DIGITAL NTC-3691 - ASTM-C 805							
Referencia	Carbonatación	Posición	MARCA			Resistencia	Resistencia
	mm	Martillo	Esclerometro	Tipo	Desviación	(Mpa)	(PSI)
Col Zona No 2	Mayor a 6 mm	A	Proceq	Electronico	5,00%	26,95	3850
Col Zona No 2	Mayor a 6 mm	A	Proceq	Electronico	5,00%	31,15	4450
Col Zona No 2	Mayor a 6 mm	A	Proceq	Electronico	5,00%	29,05	4150
Col Zona No 2	Mayor a 6 mm	A	Proceq	Electronico	5,00%	20,65	2950
Col Zona No 2	Mayor a 6 mm	A	Proceq	Electronico	5,00%	29,75	4250
Col Zona No 2	Mayor a 6 mm	A	Proceq	Electronico	5,00%	31,15	4450
Col Zona No 2	Mayor a 6 mm	A	Proceq	Electronico	5,00%	22,4	3200
Col Zona No 2	Mayor a 6 mm	A	Proceq	Electronico	5,00%	19,6	2800
Col Zona No 2	Mayor a 6 mm	A	Proceq	Electronico	5,00%	14,7	2100
Col Zona No 2	Mayor a 6 mm	A	Proceq	Electronico	5,00%	29,75	4250
Col Zona No 2	Mayor a 6 mm	A	Proceq	Electronico	5,00%	11,2	1600
Col Zona No 2	Mayor a 6 mm	A	Proceq	Electronico	5,00%	14,35	2050
Col Zona No 2	Mayor a 6 mm	A	Proceq	Electronico	5,00%	32,55	4650
Col Zona No 2	Mayor a 6 mm	A	Proceq	Electronico	5,00%	15,05	2150
Col Zona No 2	Mayor a 6 mm	A	Proceq	Electronico	5,00%	22,05	3150
Col Zona No 2	Mayor a 6 mm	A	Proceq	Electronico	5,00%	19,95	2850
Col Zona No 2	Mayor a 6 mm	A	Proceq	Electronico	5,00%	14,35	2050
<b>F`c Promedio Zona</b>							<b>3232</b>

La tabla 18 indica el valor a la compresión del concreto de la Zona No 2 para diseño estructural se estima con el promedio de los dos resultados y el promedio de la resistencia del concreto en F`c promedio de la zona en 3.323 psi.

Tabla 19. Cuadro explicativo de los resultados de ensayo de núcleos, para el sector 2 de la bodega, caso de estudio.

ENSAYO DE NUCLEOS NTC-3658							
Referencia	Diametro	Altura Promedio	Altura Capinado	Carga Max	Esbeltez	Resistencia	Resistencia
	mm	mm	mm	N	Altura/Diametro	(Mpa)	(PSI)
Col Zona No 2	43,61	88,39	92,46	25095	2,03	16,6*	2371
Col Zona No 2	44,09	88,2	93,1	27665	2,00	18,3	2614
Col Zona No 2	44,29	88,32	93,21	23885	1,99	15,8*	2257
Col Zona No 2	44,21	88,41	93,16	20408	2,00	13,5*	1928
Col Zona No 2	44,23	87,2	93,2	48376	1,97	32	4571
Col Zona No 2	44,02	88,01	92,6	33712	2,00	22,3	3186
Col Zona No 2	43,75	88,5	92,79	19502	2,02	12,9*	1843
						<b>F'c Promedio Zona</b>	<b>2681</b>

\* COLUMNAS SOBRE EL COSTADO DE PRODUCCION INDUSTRIAL PRESENTAN ATAQUE QUIMICO

La tabla 19 indica el valor a la compresión del concreto de la Zona No 2 para diseño estructural se estima con el promedio de los dos resultados obtenidos  $F'c = (3232 \text{ PSI} + 2680 \text{ PSI}) / 2$

**$F'c = 2956 \text{ PSI}$      $F'c = 20.69 \text{ Mpa}$**

- El concreto Presenta ataque químico directo, carbonatación y bajo PH, por lo que el concreto ha empezado a reducir su resistencia estructural a la compresión, en tanto el acero ya inicio la corrosión y expansión generando microfisura, fisuras, grietas y fracturas.
- El ensayo de microscopio muestra ataque severo de la matriz cementicia del concreto, microfizuración y ausencia de hidróxidos de calcio, consecuencia de los procesos industriales actuales que han atacado el concreto químicamente, perforando y fisurando su matriz.
- Se detectó con los 3 tipos de escáner el siguiente refuerzo típico de la estructura de la segunda zona, como se describe a continuación:

- El ensayo de termografía arrojo zonas débiles y en corrosión de la estructura metálica principal y de cubierta.

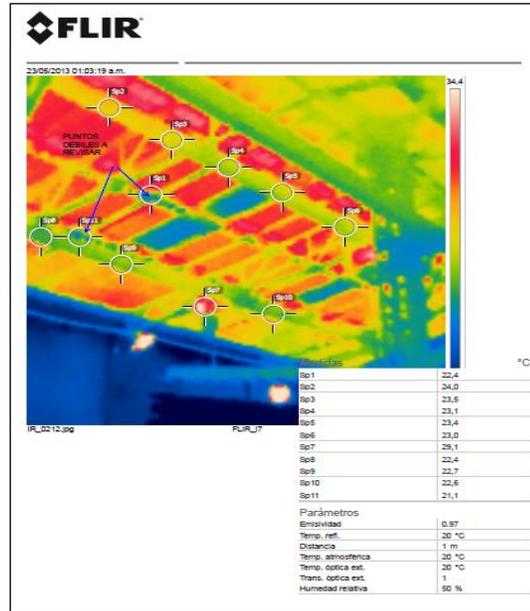


Figura 30. Ensayo de termo grafía del concreto – fase muestreo y material de prueba. Zona 2 de la bodega caso de estudio.

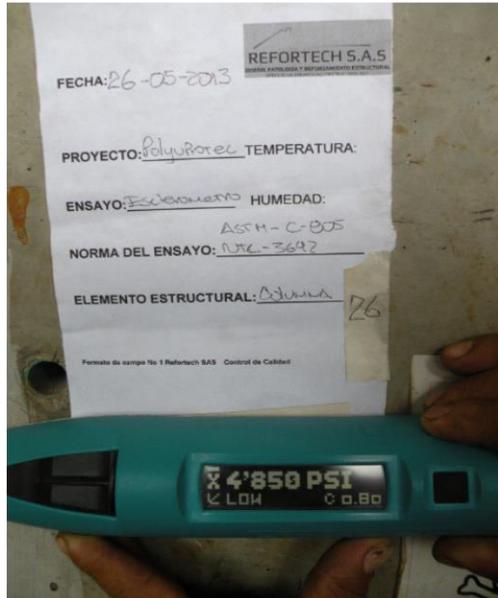
- Tomando en cuenta los hallazgos encontrado se sugiere realizar un reforzamiento ó intervención lo antes posible para salvar la estructura de lesiones permanentes e irreversibles.

La zona 3. Es la que presenta menos afectación en su área, por lo que se realizaron ensayos de Esclerometria con resultados de carbonatación mayor a 6 mm con resistencia del concreto de 4175 psi.

**FORMATO No 2**  
**ENSAYO DE ESCLEROMETRIA ASTM C 805 - NTC 3692 - JYG 817**

**PLANTA INDUSTRIAL POLYUPROTEC S.A**

<b>FECHA:</b>	<u>26/05/2013</u>		
<b>CLIENTE:</b>	<u>POLYUPROTEC SA</u>		
<b>ESTRUCTURA:</b>	<u>COLUMNAS PORTICOS EN CONCRETO ZONA No 3</u>		
<b>ELEMENTO ESTRUCTURAL:</b>	<u>COLUMNA</u>		
<b>HUMEDAD RELATIVA DEL MATERIAL:</b>	<u>12,70%</u>	<b>Ensayo No:</b>	<u>1</u>
<b>TEMPERATURA DEL MATERIAL:</b>	<u>8,8 °C</u>	<b>Posición del Martillo:</b>	<u>A</u>



Se realizó prueba de esclerometro digital sobre columnas de la zona No 3, previamente calibrado el esclerometro con un frente de carbonatación mayor a 6 mm

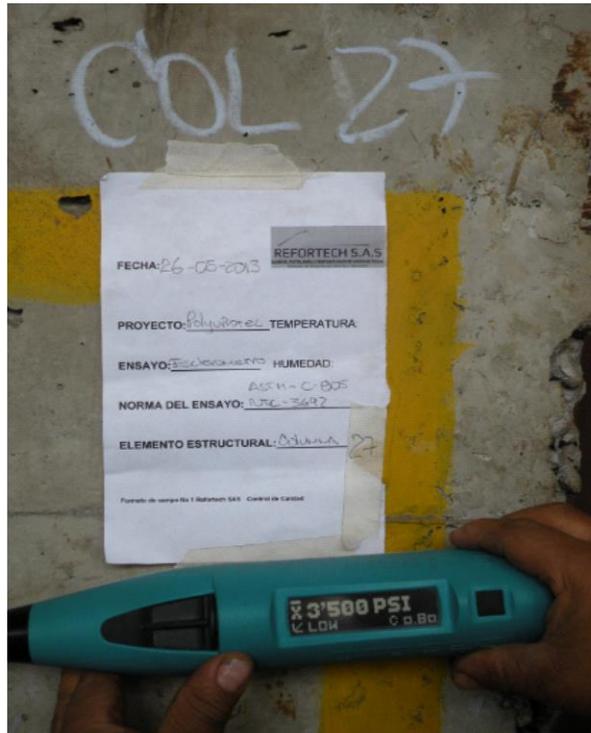
<b>VALOR REAL ENCONTRADO DEL CONCRETO</b>	<b>F'c = 4850</b>	<b>PSI</b>
---	-------------------	------------

Figura 31. Ensayo de esclerometría del concreto – fase muestreo y material de prueba. Zona 3 de la bodega caso de estudio.

**FORMATO No 2**  
**ENSAYO DE ESCLEROMETRIA ASTM C 805 - NTC 3692 - JGG 817**

**PLANTA INDUSTRIAL POLYUPROTEC S.A**

<b>FECHA:</b>	<u>26/05/2013</u>		
<b>CLIENTE:</b>	<u>POLYUPROTEC S.A</u>		
<b>ESTRUCTURA:</b>	<u>COLUMNAS PORTICOS EN CONCRETO ZONA No 3</u>		
<b>ELEMENTO ESTRUCTURAL:</b>	<u>COLUMNA</u>		
<b>HUMEDAD RELATIVA DEL MATERIAL:</b>	<u>12,70%</u>	<b>Ensayo No:</b>	<u>1</u>
<b>TEMPERATURA DEL MATERIAL:</b>	<u>8,8 °C</u>	<b>Posición del Martillo:</b>	<u>A</u>



Se realizó prueba de esclerometro digital sobre columnas de la zona No 3, previamente calibrado el esclerometro con un frente de carbonatación mayor a 6 mm

<b>VALOR REAL ENCONTRADO DEL CONCRETO</b>	<b>F'c = 3500</b>	<b>PSI</b>
---	-------------------	------------

Figura 32. Ensayo de esclerometria del concreto – fase muestreo y material de prueba. Zona 3 de la bodega caso de estudio.

### CONCLUSIONES ZONA No 3

La zona No 3 de la planta industrial Polyuprotec S.A presenta buena resistencia de los concreto los valores encontrados con el esclerómetro digital correlacionando el frente de carbonatación son los que aparecen a continuación:

Tabla 20. Cuadro explicativo de los resultados de ensayo de esclerometria, para el sector 3 de la bodega, caso de estudio.

ENSAYO DE ESCLEROMETRO DIGITAL NTC-3691 - ASTM-C 805							
Referencia	Carbonatación	Posición	MARCA			Resistencia	Resistencia
	mm	Marillo	Esclerometro	Tipo	Desviación	(Mpa)	(PSI)
Col Zona No 3	Mayor a 6 mm	A	Proceq	Electronico	5,00%	33,95	4850
Col Zona No 3	Mayor a 6 mm	A	Proceq	Electronico	5,00%	24,5	3500
<b>F'c Promedio Zona</b>							<b>4175</b>

La tabla 20 indica el valor a la compresión del concreto de la Zona No 3 para diseño estructural se estima con el promedio de los dos resultados obtenidos  $F'c = (3232 \text{ PSI} + 2680 \text{ PSI})/2 = 4.175 \text{ Psi}$ .

Sin embargo la zona trasera tiene afectaciones y lesiones por los tanques de ácidos cercanos a la estructura, por lo que se debe proteger ante el ingreso de ataque químico y sellar microfisura, grietas y pequeñas fracturas.

El análisis del proceso patológico y la fase de muestreo y ensayos de materiales permitió conocer las propiedades mecánicas de los materiales para realizar el análisis de vulnerabilidad de acuerdo con el título A.10.5 y determinar la resistencia efectiva y los coeficientes de reducción de resistencia, que para el estudio de caso corresponde este factor de reducción  $\phi_c$  y  $\phi_e$  a 0.6 de acuerdo con el instrumento de calificación. Este análisis determinó que la edificación no

resiste cargas horizontales producidas por la eventualidad de un sismo, ni cumple con las derivas requeridas por el código.

Una vez obtenidos los índices de sobreesfuerzo y flexibilidad de los elementos que conforman el sistema estructural por elemento, se escogen los mayores valores para definir como los representativos de la estructura los que se encuentran en los rangos de 1.5 a 3.07, en contraste con la norma que establece que el índice de sobreesfuerzos no debe superar la unidad.

El inverso del índice de sobreesfuerzo determina la vulnerabilidad como una fracción de la resistencia que tendría una estructura nueva según los requerimientos de título A-10 de la Nsr-10.

De acuerdo con los resultados obtenidos del análisis estructural se plantean las siguientes alternativas para el reforzamiento estructural:

**Alternativa 1:** Sistema de reforzamiento de secciones de columnas existentes de 30x30 cm a 50x40 cm, con encamisado para el recalces de los elementos de acuerdo con los resultados del reforzamiento y planos de diseño (ver anexo planos de reforzamiento).

**Alternativa 2:** Aplicación de sistema FRP a base de tela de fibra de carbono para reforzamiento de secciones de columnas y vigas.

Con estos antecedentes se logró diseñar y construir una “Guía para un Estudio de Patología de la Construcción en Edificaciones de Concreto Reforzado de Mediana Altura”, como lineamientos generales sobre los procedimientos metodológicos que facilita el registro, la sistematización y evaluación de los procesos patológicos para aportar un diagnóstico sobre sus causas y la factibilidad de una rehabilitación.

## **5. CAPITULO V. DISCUSIÓN FRENTE A LOS RESULTADOS.**

La presente discusión está orientada a explicar los resultados obtenidos a la luz de los antecedentes teóricos de la fase de exploración bibliográfica y estado del arte; en un proceso reflexivo y de evaluación crítica de los resultados, que genera un dialogo entre los procedimientos, metodologías, propuestas de los trabajos revisados, la metodología consensuada por los expertos y la aplicación de la metodología a los resultados del estudio de caso.

Es importante resaltar, que la metodología propuesta en este proceso de investigación no pretende generar focos de discusión o confrontar otras metodologías desarrolladas para realizar estudios de patología de la construcción, sino más bien, proponer un protocolo basado en la unificación de criterios para definir los procedimientos de manera sistemática que permitan desarrollar Estudios de Patología de la Construcción en Edificaciones de Concreto Reforzado. Además, generar una serie de recomendaciones para ser tenidas en cuenta en espacios consultivos de autoridades estatales y agremiaciones que guarden relación directa con el desarrollo y posicionamiento de la patología de la construcción en Colombia.

El análisis de los resultados para la fase de revisión de literatura comprobó que son pocas las referencias bibliográficas que realizan una reflexión crítica del tema de Patología de la Construcción en Colombia, los documentos revisados dan cuenta de una importante evidencia empírica, basada en casos concretos de pacientes con procesos patológicos, pero no cuentan con una teoría de la patología de la construcción que permita tener un conocimiento holístico sobre el desarrollo y las tendencias de investigación en el tema.

Este aspecto, sumado a la falta de consenso entre los expertos consultados frente al alcance de las variables para cada una de las fases en los diferentes tipos de investigación en un estudio de patología de la construcción, dificulta que el tema

de la patología de la construcción se posicione y formalice dentro de la norma vigente que regula el sector de la construcción. Postura que corrobora el planteamiento del Ingeniero Calavera sobre la ausencia de norma para los estudios de Patología de la Construcción se debe principalmente a que "... el estado de la cuestión no ha alcanzado una estructura científica que permita normalizarlo" (Calavera, 2005, p. 18), planteamiento que se confirma al comparar los resultados obtenidos en la Matriz de Comparación Teórica, los que evidencian diferentes posturas para abordar los procedimientos en un estudio de patología, es así que la mayoría de teóricos consultados contemplan en la fase documentación aspectos generales de la edificación, información estructural de la edificación basada en fuentes escritas como: planos de diseño, especificaciones y cálculos, pero solamente el 30% establece en los procedimientos realizar entrevistas con usuarios o personas que hayan conocido la estructura a través del tiempo.

Se debe resaltar que para la sistematización en esta fase de documentación tan solo un 10% de los teóricos contempla la revisión del proyecto original y registros de construcción, los códigos de construcción, materiales de construcción, patentes y datos de ensayos de materiales, información sobre el funcionamiento, la ocupación, los casos de sobrecarga, aspectos importantes para analizar y establecer si las causas de los procesos patológicos son directas o indirectas, inclusive determinar en qué fase del diseño del proyecto -si fuera el caso- se presenta la causa del proceso patológico, como lo demuestra los avances investigativos en Europa, específicamente la encuesta del Grupo Español del Hormigón, GEHO (1992) donde la distribución estadística del daño según la etapa del proceso constructivo corresponde a:

Tabla 21. Distribución del Daño según Etapa Constructiva

PORCENTAJE	ETAPA DEL PROCESO CONSTRUCTIVO
38%	Proyecto
30%	Materiales
26%	Ejecución
11%	Conservación
12%	Acciones Imprevistas
7%	Uso

Fuente: Calavera, 2005.

Otro aspecto importante es que ninguno de los teóricos considera investigar en esta fase los registros de la actividad sísmica y la actividad geológica, esto se debe probablemente a que la mayoría de teóricos consultados pertenecen a países con baja actividad sísmica, por lo tanto no es necesario contemplar una zonificación sísmica para relacionar con otros aspectos que interactúan en el medio y que permitirían generar un diagnóstico y evaluación estructural que identifique patologías constructivas, como síntomas de causas externas o internas, y reconocer las condiciones de exposición para diseñar estrategias y restablecer el equilibrio de las edificaciones.

Planteamiento reforzado por las variables de la fase de investigación documental a nivel detallado, que considera como variables en el rango crítico los registros de actividad sísmica, actividad geológica y estudios de suelos, entre otros aspectos medioambientales, que reflejan las condiciones particulares que regulan las prácticas constructivas y la legislación nacional.

Una situación particular se presenta con la variable especificadores del proyecto (constructor, interventor, proveedores de materiales) donde se observa que los teóricos consultados a nivel de Europa no lo contemplan, a diferencia de los teóricos Latinoamericanos. Si se contrasta este resultado con la investigación sobre las estadísticas europeas se encuentra que en un 26 % las fallas se originan en la ejecución (Calavera, 2005, p. 29), es así que análisis como estos permitirán otorgar más importancia a este tipo de información para ejercer una patología preventiva.

Esta reflexión también contempla diferentes niveles de comparación frente a las fases y variables que contiene la metodología consensuada en la investigación con la metodología expuesta en la Guide for Evaluation of Concrete Structures Prior to Rehabilitation ACI 364.1R-94. Ejercicio de comparación que evidencia que tanto la ACI 364.1R-94 como la metodología propuesta establecen dos tipos de investigación: la investigación Preliminar y la investigación Detallada. No obstante,

varía el alcance entre los tipos de investigación, ya que la ACI-364/94 considera en un alto porcentaje la fase documental debido a que incluye bienes de carácter patrimonial.

Tabla 22. Cuadro comparativo entre metodología consensuada y la ACI 364/94

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE METODOLOGÍA PROPUESTA Y ACI 364		ACI 364	METODOLOGÍA PROPUESTA		ACI 364
<b>FASE DOCUMENTACIÓN</b>					
Nombre del proyecto				1	10%
Localización geográfica				1	10%
Revisión del proyecto original y registros de construcción				1	10%
Tipo de cimentación				1	10%
Sistema Estructural				1	10%
Propietarios y usos: se deben realizar entrevistas con usuarios o personas que hayan conocido la estructura a través de				1	10%
Diseñadores: (arquitecto, ingeniero de Suelos, ingeniero estructural, ingeniero asesor de materiales, ingeniero de ins				1	10%
Especificadores del proyecto: (constructor, interventor, proveedores de materiales)				1	10%
Fechas de Diseño y correspondencia entre códigos y normas				1	10%
Construcción y puesta en servicio				1	10%
Vida útil proyectada				1	10%
Área construida				1	10%
Los planos de diseño, especificaciones y cálculos				2	20%
El libro de obra				2	20%
La colocación de la armadura del concreto				2	20%
Los planes de alteración, apéndices y órdenes de cambio				2	20%
registros de trabajos de campo y la correspondencia con la obra				2	20%
Los códigos de construcción				2	20%
Materiales de construcción, patentes y datos de ensayos				2	20%
Los datos de control de calidad y los informes de inspección en campo				2	20%
Fotografías del proceso de construcción				2	20%
Las notas y registros de campo				2	20%
los informes de prueba de materiales utilizados para todos elementos estructurales				2	20%
Los registros de la actividad sísmica, la actividad geológica y estudios de suelos				2	20%
Información sobre el funcionamiento, la ocupación, los casos de sobrecarga, y los límites de carga				2	20%
<b>FASE OBSERVACIÓN DE CAMPO</b>					
				0	0%
Daño Visible:				1	10%
Detectar la lesión				1	10%
Identificar la lesión				1	10%
Aislar la lesión				1	10%
Desviaciones visibles y deformaciones intencionales				1	10%
Asentamientos en la cimentación				1	10%
Nivel Freático				1	10%
Geometría y materiales estructurales				1	10%
Humedad Relativa: (rangos de Ocurrencia, frecuencia, duración)				1	10%
Temperatura: (rangos de ocurrencia, frecuencia, duración, ciclos de congelamiento y deshielo, exposición solar)				1	10%
Presión: (régimen de vientos, régimen de lluvias,				1	10%
Tipo de agua presente				1	10%
Sustancias agresivas y concentración: (escorrentía, salpicadura, vapor)				1	10%
Frecuencia y duración de la exposición				1	10%
Condiciones de exposición particulares o especiales				1	10%
Vicios Ocultos				1	10%
Determinar pruebas no destructivas				1	10%
Registro fotográfico				1	10%
Tipo y extensión de información				2	20%
Procedimientos de registro				2	20%
Determinar pruebas destructivas				2	20%
La verificación de la construcción conforme a obra				2	20%
Geometría y materiales estructurales (modificaciones en el diseño, Pruebas no destructivas y pruebas destructivas)				2	20%
Cargas y medio ambiente (cargas muertas, cargas impuestas, patrones de almacenamiento, cargas de los equipos e				2	20%
Condición de valoración de la estructura				1	10%
Daño visible				2	20%
Desviaciones visibles y deformaciones intencionales				2	20%
Asentamientos en la cimentación				1	10%
Nivel freático				2	20%

<b>ANALISIS COMPARATIVO ENTRE METODOLOGIA PROPUESTA Y ACI 364</b>	<b>ACI 364</b>	<b>METODOLOGIA PROPUESTA</b>			<b>ACI 364</b>
<b>FASE MUESTREO Y MATERIAL DE PRUEBA:</b>					
Prácticas y procedimientos para evaluar el estado y propiedades de los materiales			1	10%	100.0%
Procedimientos para evaluar las fuerzas de tracción y compresión en el acero			1	10%	
Técnicas de muestreo			1	10%	

<b>ANALISIS COMPARATIVO ENTRE METODOLOGIA PROPUESTA Y ACI 364</b>	<b>ACI 364</b>	<b>METODOLOGIA PROPUESTA</b>			<b>ACI 364</b>
<b>FASE EVALUACIÓN</b>					
evaluación del proceso patológico (causas directas e indirectas)			1	10%	100.0%
Evaluación de la capacidad estructural (rango elástico e inelástico)			1	10%	
Evaluación de alternativas de rehabilitación			1	10%	
Evaluación de los costos			1	10%	

<b>ANALISIS COMPARATIVO ENTRE METODOLOGIA PROPUESTA Y ACI 364</b>	<b>ACI 364</b>	<b>METODOLOGIA PROPUESTA</b>			<b>ACI 364</b>
<b>FASE EVALUACIÓN</b>					
evaluación del proceso patológico (causas directas e indirectas)			1	10%	75.0%
Evaluación de la capacidad estructural (rango elástico e inelástico)			1	10%	
Evaluación de alternativas de rehabilitación			1	10%	
Evaluación de los costos			1	10%	

<b>ANALISIS COMPARATIVO ENTRE METODOLOGIA PROPUESTA Y ACI 364</b>	<b>ACI 364</b>	<b>METODOLOGIA PROPUESTA</b>			<b>ACI 364</b>
<b>INFORME FINAL</b>					
El informe final de la fase de investigación preliminar debe presentar la verificación de la capacidad estructural y los			1	10%	92%
Finalidad y alcance de la investigación			2	20%	
La construcción existente y documentación			2	20%	
Las observaciones de campo y encuestas condición			2	20%	
El muestreo y ensayo de materiales			2	20%	
Resultados de la capacidad estructural			2	20%	
Estimación de costos			2	20%	
Impacto del método de reparación			2	20%	
Síntesis de resultados			2	20%	
Plan de acción			2	20%	
Estimación de gastos			2	20%	
Cronograma de proyecto de rehabilitación			2	20%	
Limitaciones y determinación de la viabilidad de la rehabilitación			1	10%	

A partir del análisis de los resultados de priorización de variables de la Matriz de Vester, para cada fase y según el tipo de investigación, en la fase de documentación se encontró el mayor número de variables de orden crítico, acorde a las solicitudes expuestas en la Guía ACI 364.1R-94 como documentos y fuentes de información que deben ser revisados durante la evaluación de las estructuras antes de su rehabilitación. Este análisis expone que las variables críticas priorizadas en la metodología consensuada en la investigación para la fase de documentación: información sobre el sistema estructural, diseñadores, tipo de cimentación, especificadores del proyecto, construcción y puesta en servicio, fechas de diseño y correspondencia entre códigos y normas, entrevistas con propietarios para reconocer los usos de la edificación. Como variable activa se establece la localización geográfica.

La fase de observación de campo tiene un componente importante frente a las causas atmosféricas o medio ambientales que generan lesiones de tipo físico y químico que la Guía ACI 364.1R-94 reduce a las cargas y medio ambiente, apartado considerado para edificaciones expuestas a los cambios de estaciones climáticas.

La fase de evaluación para el diagnóstico conclusivo tan solo considera un 75% de las variables propuestas en la metodología consensuada en la investigación, considerando sobre todo el índice de daño y capacidad estructural de la edificación. Sin embargo, los expertos en la metodología consensuada consideran fundamental identificar las causas de las lesiones para proponer el proyecto de rehabilitación.

La ACI 364.1R-94 no menciona una Fase Toma de Datos, entendida esta como levantamiento del daño, solamente como identificación del daño visible, contrario a los múltiples aspectos que considera la metodología propuesta para esta fase de investigación, donde los expertos plantean de manera sistemática realizar un levantamiento del daño.

Es importante anotar que las variables que componen la entrega de un informe final se seleccionaron en gran medida de la norma ACI 364.1R-94, ya que los documentos revisados, en su mayoría no hacían referencia en este aspecto.

Por lo general, en la etapa del diseño de un proyecto constructivo no son consideradas variables importantes como las que comprende las cargas medioambientales y que muchas veces son causas directas de los procesos patológicos, esta aseveración se sustenta con los resultados obtenidos en la Matriz de Comparación Teórica, donde los métodos revisados no lo contemplan en un 50%. Así mismo, la norma NSR-10 son mínimas las consideraciones medio ambientales como una variable fundamental en los diseños estructurales y durabilidad estructura.

## **6. CAPÍTULO VI. PROTOCOLO PARA LOS ESTUDIOS DE PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN EN EDIFICACIONES DE CONCRETO REFORZADO DE MEDIANA ALTURA**

6.1. Principios de actuación en Estudios de Patología de la Construcción en Edificaciones de Concreto Reforzado de Mediana Altura.

6.1.1. Principio general

Constituir los lineamientos generales para los procedimientos de los estudios de Patología de la Construcción en Edificación de Concreto Reforzado de Mediana Altura.

6.1.2. Principios Institucionales básicos.

- Ley 400 de 1997 por el cual se adoptan normas sobre construcciones Sismo resistentes.
- El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente –NSR-10, en el capítulo A.10. Evaluación e intervención de edificaciones construidas antes de la vigencia de la presente versión del reglamento, específicamente A.10.2 estudios e investigaciones requeridas.

6.2. Condiciones para realizar un Estudio de Patología de la Construcción en Edificación de Concreto Reforzado de Mediana Altura

- La condición indispensable para iniciar un estudio de Patología de la Construcción es la manifestación de alteraciones y daños visibles presentes en una edificación. Las lesiones pueden ser “primarias” o “secundarias”, entendidas como las de aparición inicial y las consecuencias de las primeras, respectivamente.

Estos pueden ser de carácter:

- Físico: Lesiones ocasionadas por efectos medio ambientales

- Mecánicas: lesiones superficiales o estructurales causadas por sobrecargas y fatigas en algún elemento de la edificación.
  - Químicas: lesiones por reacciones químicas en la interacción entre factores medio ambientales y los materiales constructivos de la edificación.
  - Biológicos: lesiones por presencia de organismos vivos.
  - Antropogénicas: lesiones producidas por la alteración del diseño y usos en las edificaciones.
- La inspección rutinaria o de mantenimiento.

### 6.3. Objetivos Protocolo de actuación para los Estudios de Patología de la Construcción en Edificaciones de Concreto Reforzado de Mediana Altura

- Unificar criterios para los procedimientos de valoración del daño y diagnóstico adecuado en los estudios de Patología de la Construcción en Edificación de Concreto Reforzado de Mediana Altura
- Delimitar el alcance de la investigación preliminar y la investigación detallada.
- Diseñar una Guía como herramienta metodológica que permita llevar un registro y sistematización de los datos para evaluar los procesos patológicos.
- Proponer un instrumento y formatos de calificación para la valoración del daño.
- Evaluar la capacidad estructural de una edificación (acorde a la NSR-10 o norma vigente).
- Ofrecer un diagnóstico conclusivo adecuado.

## 6.4. Secuencia de Actuación en los Estudios de Patología de la Construcción en Edificaciones de Concreto Reforzado de Mediana Altura

### 6.4.1. Investigación Preliminar

Los objetivos de la investigación preliminar son proporcionar información inicial con respecto a la condición de la estructura, el tipo y la gravedad de los problemas que la afectan a través de la observación de campo y la toma de datos. Aspectos que proporcionan información sobre la necesidad de realizar una investigación detallada.

#### 6.4.1.1. Fase de documentación

##### ➤ Información General

En este aparte se identifica los documentos y las fuentes de información que se requiere para contextualizar el proyecto constructivo y evaluar las causas de los procesos patológicos. De esta forma, se determina la naturaleza y la cantidad de información que debe ser recopilada y analizada.

Las fuentes de información pueden ser orales y/o escritas, representadas en entrevistas, licencias, planos, memorias, estudios, entre muchos otros, lo importante es utilizar técnicas de registro y de clasificación de la información, tales como: fichas de contenido, memorandos analíticos, registros estructurados en plantillas, matrices, diagramas, planos y demás técnicas que permitan clasificar en la medida que se obtiene la información e idear un sistema de categorías para archivar correctamente la documentación.

#### 6.4.1.2. Fase observación de campo

La visita técnica da cuenta del reconocimiento de la edificación, las condiciones del sitio y la constatación de la información recopilada en la etapa de documentación. Es así que se verifica que la construcción este conforme a la obra,

se identifica el daño, desviaciones y deformaciones visibles, las cargas y factores medioambientales

- Detectar la lesión.

Con base en la sistematización de la fase de observación de campo se deduce el estado actual de la edificación, con atención en daños y procesos patológicos existentes.

- Identificar la lesión.

Es fundamental realizar una breve descripción de las lesiones detectadas y su localización en la edificación y en el elemento constructivo donde se prestan, esto para comprender la obra y la problemática existente.

- Desviaciones visibles y deformaciones intencionales.

Es indispensable la Identificación y caracterización del daño, dentro de un conjunto de posibles causas, asociadas a la funcionalidad de la edificación en su conjunto.

- Asentamientos en la cimentación

Los asentamientos presentes en la cimentación están determinados por los valores máximos de asentamientos diferenciales calculados y expresados en función de la distancia entre apoyos o columnas (NSR-10, Título H, Tabla H 4.9.1)

- Nivel freático

Es el agua que se encuentra por debajo de la superficie del suelo o terreno.

- Geometría y materiales estructurales.

La geometría es la configuración en planta y en altura en una edificación. La que puede ser regular o irregular importante para el comportamiento sísmico de la edificación.

- Cargas y medio ambiente

Se analizan los factores climáticos externos (humedad, temperatura, presión) o agentes físicos y químicos internos que pueden generar el proceso de deterioro de los materiales y la resistencia de los elementos tanto estructurales como no estructurales de la edificación.

- Vicios ocultos

Es un defecto que no es reconocible o identificable con facilidad.

- Determinar pruebas no destructivas

Ensayos que tienen por finalidad reconocer las características de los materiales sin necesidad de intervenir y afectar los elementos estructurales

- Registro fotográfico

Herramienta visual para apoyar el análisis del proceso patológico.

#### 6.4.1.3. Fase de toma de datos

- Descripción del sistema estructural

Conjunto de elementos independientes que conforman un todo, con el propósito de transmitir las fuerzas actuantes a los apoyos o cimentación.

- Levantamiento planimétrico

Procedimiento que permite a través de la toma de datos obtener una proyección horizontal y vertical en un plano de referencia.

- Levantamiento Gráfico de daños

Convenciones graficas que identifican el tipo de lesión en un área de estudio sobre un plano.

- Recuento fotográfico
- Fichas de calificación del daño

Instrumento que permite la identificación y valoración del daño.

- Planeamiento y definición de ensayos de materiales

Define las pruebas o ensayos para determinar las propiedades mecánicas de los materiales

#### 6.4.1.4. Informe preliminar.

El informe preliminar debe contener una calificación cualitativa del estado actual de la edificación, para lo cual se propone una herramienta computacional que califique la edificación entre los grados bueno, regular y malo (ver anexo guía).

#### 6.4.2. Investigación detallada

##### 6.4.2.1. Fase documentación

- Información del diseño

El diseño identifica el sistema estructural, características y atributos en una edificación

- Información de la construcción

Define todos los aspectos que integran la edificación en sus diseños, localización y usos.

#### 6.4.2.2. Fase observación de campo

- Preparación y planificación

Determina formatos de planificación para el trabajo de campo

- La verificación de la construcción conforme a obra

Observa la concordancia entre lo aprobado por la autoridad competente frente a lo construido

- Condición de valoración de la estructura

Analiza el comportamiento esperado de la edificación durante su vida de servicio.

#### 6.4.2.3. Fase muestreo y material de prueba

- Prácticas y procedimientos para evaluar el estado y propiedades de los materiales

La toma de muestra permite obtener una parte representativa del material para ser analizada a través de ensayos de materiales y conocer sus propiedades mecánicas.

- Técnicas de muestreo

Procedimientos regulados mediante las normas establecidas para cada tipo de ensayo.

#### 6.4.2.4. Fase de Evaluación

- Evaluación del análisis de los procesos patológicos

Es el análisis de las afectaciones que presenta una edificación, a partir de la exploración, las mediciones, el levantamiento del daño y los ensayos (destructivos y no destructivos) para identificar las causas directas e indirectas del proceso patológico.

- Evaluación de la capacidad estructural

Capacidad de una edificación para responder ante las fuerzas internas y externas. Análisis que se realiza con base en los resultados obtenidos del instrumento de calificación en la investigación preliminar y el coeficiente de reducción se puede determinar la resistencia efectiva de los elementos estructurales.

- Evaluación de alternativas de rehabilitación

Propuestas de recuperación para obtener un comportamiento satisfactorio de la edificación acorde con la norma vigente

- Evaluación de los costos

Toda propuesta de rehabilitación debe contar con una estructura de costos para identificar su viabilidad económica.

#### 6.4.2.5. Informe Final

- Finalidad y alcance de la investigación
- La construcción existente y documentación
- Las observaciones de campo y encuestas condición
- El muestreo y ensayo de materiales

- Evaluación
  - Resultados de la capacidad estructural
  - Estimación de costos
  - Impacto del método de reparación
- Conclusiones y recomendaciones

## **7. CAPÍTULO VII. ESTUDIO DE PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN. BODEGA INDUSTRIAL**

El estudio de patología de la construcción realizado para la bodega industrial está fundamentado en la ejecución de una investigación preliminar y la justificación de la necesidad de realizar una investigación detallada.

La edificación en estudio está localizada en la Cr. 123 No 14 A - 11 en la zona denominada pueblo viejo, barrio el chanco, localidad de Fontibón, zona Industrial de la ciudad de Bogotá D.C.

De acuerdo con la información suministrada por el propietario del inmueble y el certificado de tradición y libertad se constató que la edificación cuenta con una vida de servicio de 35 años con algunas reformas locativas y sin ningún tipo de mantenimiento o rehabilitación. Sin embargo, no ha tenido ningún tipo de licencia de construcción, ni registra en la oficina de la secretaria de planeación para la época.

### **7.1. Investigación preliminar**

#### **7.1.1. Alcance**

El alcance de la presente investigación proporciona la información necesaria para establecer la condición actual de la edificación en estudio. La valoración se realiza acorde con lo solicitado en el título A.10.2, con una calificación en los rangos de buena, regular o malo de acuerdo con el tipo y la gravedad de las lesiones que afectan la funcionalidad de la estructura. Para este fin se desarrolla a través una metodología para estudios de patología que contiene las siguientes fases: documentación, observación de campo, toma de datos y el informe preliminar.

### 7.1.2. Fase documentación

En esta fase se pudo determinar mediante una lista de chequeo la naturaleza y cantidad de información para ser analizada y de esta manera orientar el tipo de investigación para el estudio de Patología.

Tabla. 23. Lista de chequeo

LISTA DE CHEQUEO INVESTIGACIÓN PRELIMINAR		
	SI	NO
1. Investigación Preliminar		
1.1 Fase Documentación		
1.1.1 Nombre del Proyecto	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.1.2 Localización Geográfica	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.1.3 Revisión del Proyecto Original y Registros de Construcción	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1.1.4 Tipo de Estructura	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.1.4.1 Tipo de Cimentación	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.1.4.2 Sistema Estructural	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.1.5 Propietarios y Usos	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1.1.6 Diseñadores y Especificaciones del Proyecto	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1.1.6.1 Arquitecto	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1.1.6.2 Ingeniero de Suelos	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1.1.6.3 Ingeniero Estructural	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1.1.6.4 Ingeniero Asesor de Materiales	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1.1.7 Especificaciones del Proyecto		
1.1.7.1 Constructor	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1.1.7.2 Interventor	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1.1.7.3 Proveedores de Materiales	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1.1.8 Historial de la Estructura	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1.1.8.1 Constructoccción y Puesta en Servicio	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1.1.8.2 Vida Útil Projectada	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1.1.8.3 Área Construida	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.2 Fase Observación en Campo		
1.2.1 Daño visible	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.2.2 Desviaciones visibles y deformaciones intencionales	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.2.3 Asentamientos en la cimentación	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.2.4 Nivel Freático	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.2.5 Geomtería y Materiales estructurales	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.2.6 Cargas y medio Ambiente	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.2.6.1 Humedad Relativa	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.2.6.2 Temperatura	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.2.6.3 Presión	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.2.6.4 Tipo de Agua presente	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1.2.6.5 Sustancias Agresivas y de Concentración	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.3 Fase toma de datos		
1.3.1 Descripción del sistema estructural	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.3.2 Levantamiento Planimétrico	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.3.3 Levatamiento Gráfico de Daños	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.3.4 Recuento Fotográfico	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.3.5 Fichas de Calificación del daño	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.3.6 Planeamiento y Definición de Ensayos de Materiales	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### 7.1.2.1. Identificación general del proyecto

- Nombre del proyecto

La edificación objeto del estudio de Patología tiene uso Industrial, especializada en el recubrimiento de acero por galvanización a través del método de inmersión en caliente.

- Localización geográfica

La Edificación en estudio están localizadas en Bogotá D.C en la Cr. 123 No 14 A - 11 en la zona denominada pueblo viejo zona Industria Barrio el chanco, localidad de Fontibón de acuerdo con las siguientes imágenes satelitales.



Figura 33. Ubicación de la Localidad de Fontibón en la ciudad de Bogotá  
Fuente: Google Earth.



Figura 34. Zona Pueblo Viejo  
Fuente: Google Earth



Figura 35. Ubicación Bodega POLYUPROTEC S.A.  
Fuente Google Earth

- Zona de amenaza sísmica.

La localización del predio estudiado pertenece a una zona sísmica intermedia, con un tipo de suelo Lacustre 500, de acuerdo con la norma NSR-10 en el Título A, tabla A.2.3-2 y la consulta del SIRE para constatarla con su información catastral.

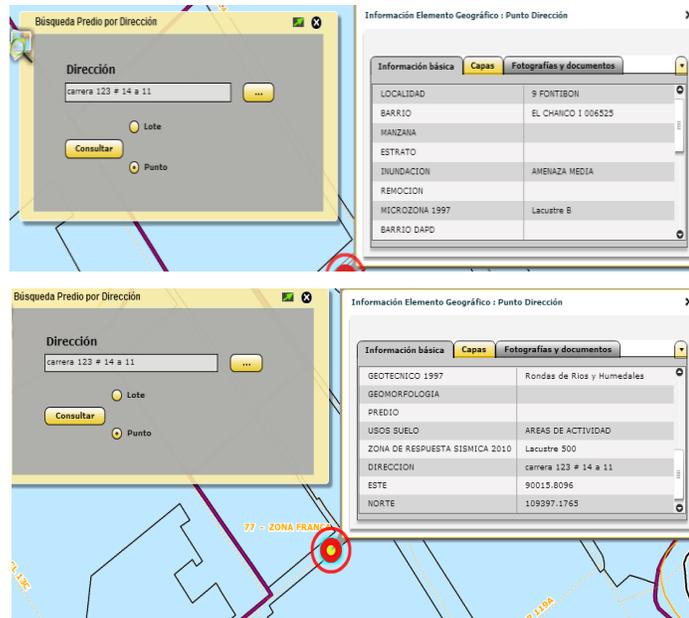


Figura 36. Información Geotécnica de Precisión del SIRE.

- Revisión del Proyecto original y registros de construcción.

Es una construcción con una vida de servicio de más de 35 años, que no presenta ningún tipo de registro del proceso constructivo, ni de licenciamiento por parte de los entes de control de la época.

#### 7.1.2.2. Información general de la construcción

- Tipo de cimentación

Para el presente estudio no se contó con la información necesaria que permitiera determinar el tipo de cimentación, es así que se recomienda al propietario realizar un estudio de suelos en una fase de investigación detallada para verificar el tipo de cimentación.

- Tipo de suelo

Se desconocen antecedentes de estudios realizados durante el tiempo de servicio de la construcción.

- Sistema estructural

El sistema estructural es un sistema de pórticos, el cual presenta combinación entre estructura metálica y concreto, cubierta liviana con cerchas metálicas, se evidencia la intervención de carácter antrópico sobre algunos de los elementos estructurales. (Ver anexo 5).

- Grupo de uso

El grupo de uso para la edificación se clasifica en el grupo II - Estructuras de Ocupación Especial, para lo cual le corresponde un coeficiente de importancia de 1.10, requerido para las fuerzas horizontales, para el análisis sísmico.

#### 7.1.2.3. Propietarios y usos.

No fue posible contactar a los propietarios anteriores para contrastar los antecedentes de la edificación sobre el proceso constructivo, pero si se conoce que el uso siempre ha sido el de comercio de bajo impacto.

#### 7.1.2.4. Diseñadores y especificadores del proyecto

La edificación no cuenta con ningún tipo de diseños arquitectónicos, ni estructurales, se trata de un desarrollo informal que se ha venido implementando con el tiempo.

#### 7.1.2.5. Historial de la estructura

- Fecha de diseño y correspondencia entre códigos y normas

Se trata de una edificación que fue construida antes de la vigencia del Decreto 1400 de 1984, por tal motivo debe actualizarse a la norma urbanística y sismo

resistente de acuerdo con los requerimientos del Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo resistente NSR-10.

- Construcción y puesta en servicio

El año de construcción data de 1979.

- Vida útil proyectada

Es una edificación próxima a cumplir su vida útil para edificaciones convencionales, el periodo de tiempo se proyecta en 50 años, al cabo de la vida de servicio debe estudiarse el costo de mantenimiento si es razonable técnica y económicamente o si es apropiado demoler y reconstruir la estructura.

- Área construida

El proyecto presenta un área construida de 4.372.724 m<sup>2</sup>. Al no contar con unos planos técnicos se realizó un levantamiento de la construcción realizado por la firma P & P Topógrafos Asociados.

#### 7.1.3. Fase observación de campo

En esta fase se realizó el levantamiento grafico del daño con el apoyo de fichas de localización con base en los tipos de lesiones (ver tabla 18) y según las zonas delimitadas para el estudio. La sistematización de los resultados se realizó de acuerdo al análisis de frecuencias y la cantidad de apariciones del número de afectaciones que presenta la construcción encontradas en la las tres zonas delimitadas de la Bodega.

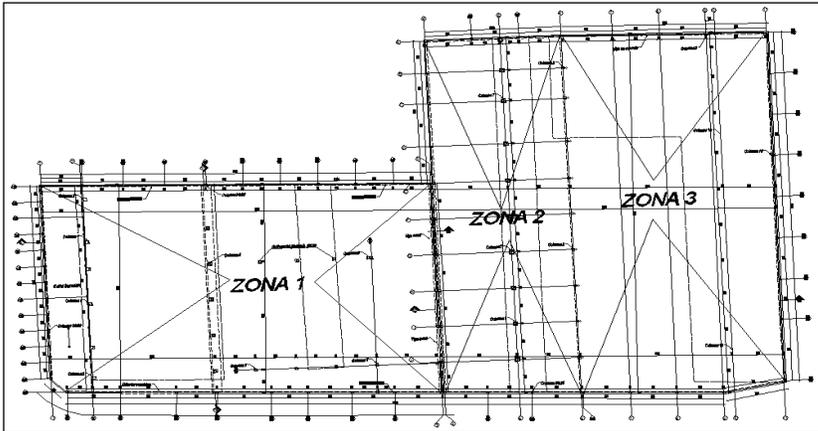


Figura 37. Zonas del Estudio de Campo, cada sector se divide en 4 subsectores, para la recolección de Información.

### 7.1.3.1. Daño visible

La inspección visual permitió detectar, identificar y aislar las lesiones presentes en la edificación de acuerdo con la tabla tipo de lesiones

Tabla 24. Tipo de lesiones

Tipos de Lesiones	
<b>A). FISICAS</b>	A,1, Humedad
	A,2, Filtraciones
	A,3, Suciedad
	A,4, Erosión
	A,5, Manchas /Rayado
	A,6, Vibración
<b>B). MECANICAS</b>	B,1, Deformaciones
	B,2, Grietas
	B,3, fisuras
	B,4, Roturas
	B,5, Desprendimientos
	B,6, Desplomes
	B,7, Desniveles
	B,8, Alabeos
	B,9, Faltantes
	B,10 Tapiado
	B,11, Colapsado
	B,12, Dilatado
	B,13, Quemado
<b>C). QUIMICAS</b>	C,1, Eflorescencias
	C,2, Oxidaciones
	C,3, Exfoliación
<b>D). ORGANISMOS VIVOS</b>	D,1, Insectos Xilófagos
	D,2, Mohos y hongos
	D,3, Plantas superficiales
	D,4, Animales - palomas
<b>E). ANTROPOGENICOS</b>	E,1, Alteración Volumétrica
	E,2, Alteración Espacial
	E,3, Carencia de Mantenimiento
	E,4, Diseño Inadecuado

Se levantaron fichas de recuento fotográfico (Ver anexo 6) y fichas de localización, las que permitieron ponderar los resultados, sistematizadas en fichas de calificación evidenciados en la tabla 23.

Tabla 25. Total de lesiones según el tipo en físicas, mecánicas, químicas y Antropogénicas.

Porcentajes grado de funcionalidad de la estructura	Nº de Lesiones	físicas	Mecánicas	Químicas	Org Vivos	Antropogénicas	Total de lesiones
30%	ESTRUCTURA PORTANTE	0	40	10	0	10	60
15%	ESTRUC. CUBIERTA	0	0	15	0	15	30
15%	ESTRUCTURA MUROS	1	12	0	0	3	16
10%	PISOS	0	0	0	0	0	0
10%	ACABADOS	0	0	0	0	0	0
10%	CARPINTERIAS	0	0	0	0	0	0
10%	REDES	0	0	0	0	0	0
100%	<b>TOTALES/LESION</b>	<b>1</b>	<b>52</b>	<b>25</b>	<b>0</b>	<b>28</b>	<b>106</b>

Es importante resaltar que las lesiones mecánicas están representadas en fisuras, localizadas principalmente en las ménsulas, de ancho variable con inclinación generalmente formando ángulo de 45°, debido al agotamiento del anclaje de la armadura.

Se identificaron fisuras a flexión, generalmente varias y paralelas en caras opuestas de vigas y columnas a cada lado del nudo, debido al dimensionamiento inadecuado para resistir esfuerzos.

Por otra parte se presentan fisuras debidas a efectos locales, tales como baja resistencia del concreto en columnas, estribos con disposición inadecuada para zonas sísmicas.

Presencia de fisuras de distribución aleatoria debidas a la reacción del ión sulfato.

- Desviaciones visibles y deformaciones Intencionales.

La edificación presenta alteraciones en el componente estructural debido a causas Antropogénicas y químicas por el proceso de galvanizado que han originado el proceso acelerado de deterioro de la construcción.

- Asentamientos en la cimentación

La observación de campo no evidencia asentamientos diferenciales significativos.

- Nivel freático

En esta fase de investigación no fue posible determinar el nivel freático del suelo porque no se conocen antecedentes. Información que será complementada en la fase de investigación detallada.

#### 7.1.3.2. Geometría y materiales estructurales

Al no existir planos estructurales de la edificación como se pudo constatar en los archivos de la secretaria de planeación Distrital, se estableció la necesidad de realizar un levantamiento estructural de la bodega.

#### 7.1.3.3. Cargas y medio ambiente

- Humedad relativa

De acuerdo con la ubicación del proyecto, la zona de estudio presenta una humedad relativa del 45°, esto debido a su altura respecto al nivel del mar (IDEAM, 2014)

Sin embargo, de acuerdo con los ensayos en sitio para la medición de humedades y temperatura se pudo establecer que para la zona 1 se encontró una humedad relativa del material del 12.70% y una temperatura del material 8.8°C. La zona 2 la Humedad relativa es del 10% y una temperatura del material del 14 °C. La zona 3 presenta 12.70% de humedad relativa del material y una temperatura de 8.8°C.

- Temperatura

La ciudad de Bogotá, presenta un rango amplio de temperatura, el cual registra temperaturas desde los 10°C hasta los 27°C en promedio.

- Presión

Las condiciones de presión se relacionan con la altura sobre el nivel del mar, (msnm), en Bogotá registra un valor de 560 mm Hg (0,73 atm).

- Sustancias agresivas y de concentración

El proceso industrial que se desarrolla en la edificación requiere de la utilización de tanques con ácido clorhídrico y sales para el proceso de limpieza de las piezas de acero previo al proceso de galvanizado por inmersión en caliente, lo que genera dióxido de carbono, emisión de gases y calor constante a los elementos de la estructura de acero y el concreto afectándolos de manera directa en su funcionalidad estructural.

#### 7.1.4. Fase toma de datos

En esta fase se pudo determinar el estado actual de conservación y mantenimiento de la edificación a través del levantamiento del daño, se registra esta información en las fichas de localización, calificación que identifico el tipo de lesión originado por causas de carácter químico, físico y mecánico, descritas en cada (Ver anexo 7).

##### 7.1.4.1. Descripción del sistema estructural

La edificación en estudio presenta un sistema estructural de pórticos en concreto, combinados con estructura metálica, su cubierta está construida en dos tipos de cerchas, su Lima hoya principal en cerchas metálicas tipo Pratt, en sus aleros cerchas metálicas tipo Warren. (Ver anexo 6)

#### 7.1.4.2. Levantamiento planimétrico

En esta fase documental no se cuenta con diseños que permitan determinar su tipología y dimensiones. Por lo tanto, se solicita al propietario realizar un estudio que permita determinar las coordenadas de los linderos de la bodega y el levantamiento estructural de la construcción.

#### 7.1.4.3. Levantamiento gráfico de daños

De acuerdo con la metodología utilizada, se elaboró un plano y localización del daño, para identificar las afectaciones más comunes de acuerdo con las convenciones para cada tipo de lesión (ver anexo 8).

#### 7.1.4.4. Recuento fotográfico

Se elaboraron las fichas de reconocimiento y localización del daño herramienta que nos permite identificar de manera visual el grado de afectación de acuerdo con los tipos de lesión encontrados, mediante los formatos de recuento fotográfico (Ver anexo 6).

#### 7.1.4.5. Fichas de calificación del daño

Para la calificación cualitativa del daño se desarrollaron los formatos de calificación, lo que permito identificar los tipos de lesiones presentes en la edificación de tipo físico, químico, mecánicos y Antropogénicas. (Ver anexo 5)

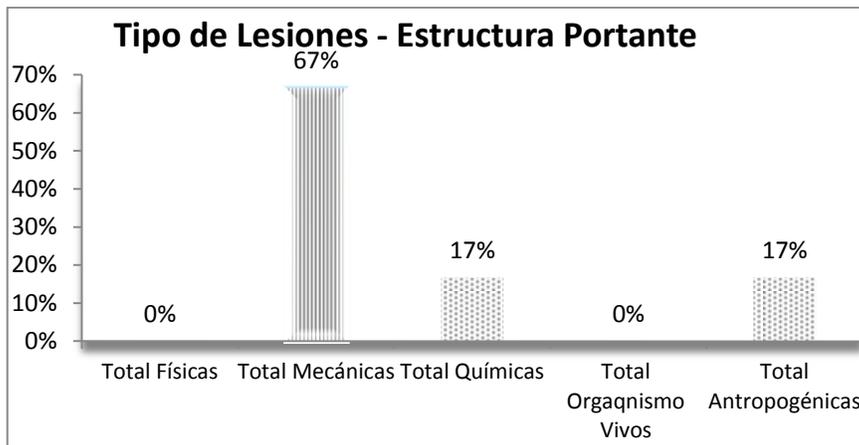


Figura 38. Tipo de lesiones en estructura portante

La figura 38. Indica el tipo de lesión que predomina en la estructura, originada por causas de tipo mecánico en un 67%, se describe en las fichas de calificación en anexos.

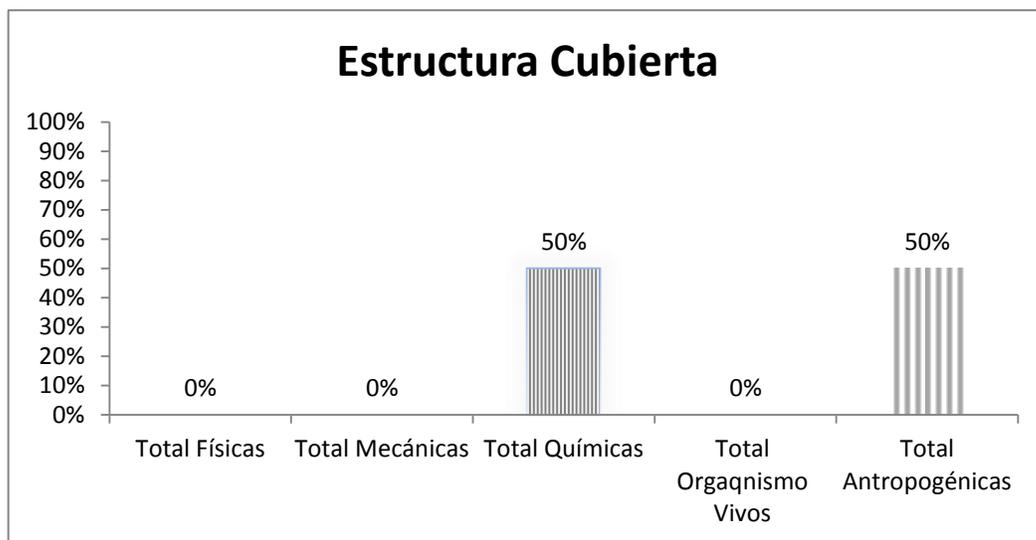


Figura 39. Tipos de lesión en Cubierta

La figura 39 indica el tipo de lesión que predomina en la estructura de cubierta, originada por causas de tipo químico y antropogénicas en un 50%, se describe en las fichas de calificación en anexos.

#### 7.1.4.6. Planeamiento y definición de ensayos de materiales

De acuerdo con la recolección de datos y la información obtenida en la investigación preliminar, se pudo calificar por medio de un sistema computacional el estado de la construcción en grado malo, de acuerdo con la requerido por el reglamento de construcciones sismo resistente NSR-10, titulo A-10.2.

Por lo anterior se recomienda entrar en una fase de investigación detallada, que permita determinar las medidas de actuación y propuesta de rehabilitación.

#### 7.1.4.7. Informe preliminar

De acuerdo con la información obtenida en la investigación preliminar se obtuvo una calificación en grado malo de la construcción, aspecto que permite identificar la necesidad de realizar un estudio de vulnerabilidad estructural de acuerdo con los parámetros establecido en la Nsr-10.

### 7.2. Investigación detallada

#### 7.2.1. Fase documentación

##### 7.2.1.1. Información del diseño

No se encontró ningún tipo de información de los diseños estructurales, estudios de suelos o histórico que evidencie algún tipo de acto administrativo para su reconocimiento.

A nivel arquitectónico se subsana la falta de información de los diseños haciendo un reconocimiento de la construcción existente a través de un levantamiento planimétrico con instrumentos de precisión, realizado por la firma PYP Topógrafos

Asociados, el cual se realizó por medio de una poligonal abierta, y permitió determinar las coordenadas de los linderos de la bodega (Ver anexo 9).

Para el reconocimiento de los materiales que integran la edificación se utilizaron técnicas de laboratorio destructivas y no destructivas que permitieron conocer las propiedades mecánicas de los materiales (Ver anexo 10)

La fase detallada de documentación estableció la necesidad de realizar un estudio de suelos, el que contiene los perfiles estratigráficos de los sondeos realizados, ensayos de laboratorio practicados, plano de localización de perforaciones, nivel freático, recomendaciones pertinentes de fundación, y capacidad portante del suelo de cimentación, para su reforzamiento.

El estudio de suelos, realizado por la firma Refortech S.A.S, encontró un tipo de perfil estratigráfico con caracterización de suelo tipo (E), con un espesor mayor a 3.0 m y un índice de plasticidad mayor a 20 que según clasificación establecida en la NSR 10, tabla A.2.4-1 corresponde arcillas blandas.

Los procedimientos requeridos en el estudio de suelos se realizaron de acuerdo al título H.3.2.4 –NSR-10. De igual manera, se identificó, a través de una serie de apiques, que la cimentación encontrada es de carácter superficial y corresponde a zapatas.



*Figura 40. Localización de apiques para la verificación de la cimentación superficial a 1.20 metros de profundidad.*

La figura 40. Muestra uno de los apiques que se realizaron para identificar el tipo de cimentación de la construcción existente, encontrándose zapatas con vigas de amarre sin contrapeso, las cuales deberán ser recalzadas de acuerdo con los planos de diseño de reforzamiento y especificaciones técnicas del proceso constructivo. (Ver anexo 12).

Se adelantó la investigación del suelo mediante la perforación de tres sondeos, los cuales alcanzaron 6.00 m de profundidad, tomando muestras representativas del perfil estratigráfico y muestras en tubos Shelby. Encontrándose una capacidad portante del suelo de  $q_{ad} = 50.0 \text{ KN/M}^2$  (5 Ton/m<sup>2</sup>). (Ver anexo 11).

Los resultados del estudio son contrastan con la información obtenida de la página del SIRE, esto para tener mayor precisión en la zona geotécnica del predio, consulta que establece un tipo de suelo lacustre 500, caracterizado por suelos de muy baja a media capacidad portante y muy compresible.

El estudio establece los asentamientos probables de acuerdo a la norma que deberán ser tenidos en cuenta para el reforzamiento estructural, estimados por el

geotecnista “Para cargas máximas de columnas de 22 Ton se esperan asentamientos totales de 1.5 cm y los diferenciales serán absorbidos por la rigidez de la cimentación”. (Ver anexo 11)

#### 7.2.1.2. Información de la construcción.

Para determinar la tipología de la construcción en área y elementos estructurales que integran la construcción se contrató a la firma P&P Topógrafos Asociados, para realizar el levantamiento en áreas, secciones de cerchas metálicas, columnas de concreto, cubierta, altimetría, planimetría y el acero de refuerzo en vigas y columnas. (Ver anexo 9)

Además, la información obtenida en la investigación preliminar permitió clasificar la edificación con un sistema estructural de pórticos en concreto reforzado y cubierta metálica. La fase toma de datos, verifico, a través de los ensayos no destructivos, que el concreto encontrado no cumple con las resistencias exigidas por la norma, por lo cual se hace necesario profundizar en esta investigación la información con ensayos de laboratorio para identificar las propiedades mecánicas del material.

#### 7.2.1.3. Información complementaria

Los Registros de la actividad sísmica, geológica y estudios de suelos realizado por la firma Refortech SAS y según los parámetros establecidos en el título H de la NSR 10, establece que:

“(…) conforme con el capítulo H.3, tabla H.3.1.1: Clasificación de las unidades de construcción por categorías, la edificación actual en estudio corresponde a categoría baja y según la tabla H.3.2.1; el número mínimo de sondeos serán 3.0 a 6.00 metros de profundidad, en el lote se efectuaron los mismos. Para el caso de aplicar el apéndice H.3.2.5 “profundidades de los sondeos” literales (c), (e),  $2.10 \times 2.50 = 5.25 \text{ m}$ ” (Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes, 2010)

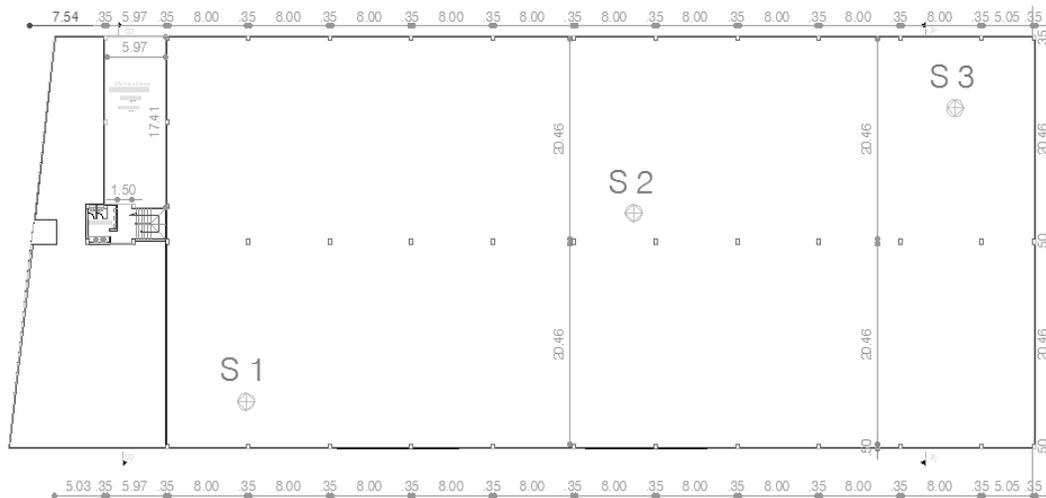
De igual manera, para el estudio de suelos y recolección de las muestras seleccionadas se efectuaron ensayos de granulometrías y límites de Atterberg,

cuyos resultados aportaron los elementos básicos para el análisis de asentamientos y simplificaron la clasificación de los suelos mediante los sistemas A.A.S.H.T.O y U.S.C.

Con las muestras inalteradas de tubos shelby, se llevaron a cabo ensayos de compresiones incofinada, contenidos de humedad y pesos unitarios que facilitaron calcular la capacidad portante del suelo de fundación. Se utiliza el método de prueba estándar para resistencia a la compresión no confinada para suelo cohesivo de acuerdo con la norma ASTM D2166-00. (Ver anexo 11).

De acuerdo a las inspecciones, estudios y sondeos realizados el tipo de suelo encontrado se clasifica como tipo (E), la norma NSR-10 lo describe como un perfil con un espesor mayor a 3 m de arcillas blandas y con un índice de plasticidad mayor a 20.

continuación se relacionan las columnas estratigráficas de cada uno de los sondeos realizados en la exploración del subsuelo de acuerdo con la localización de los sondeos realizados.



PLANTA Cra 123 No 15 - 35

Figura 41. Localización de Sondeos a 6 m de Profundidad

La figura 41 indica los sitios donde se realizaron las perforaciones in situ para la recolección de muestras inalteradas para estudios de laboratorio.

Tabla 26. Columna estratigráfica sondeo No1

Profundidad (m)	Clasificación USC	Descripción	Nivel Freático (m)
0,12	R	Losa de concreto reforzado de espesor 0,12 m	
0,40	R	Relleno compacto de recebo amarillo	
0,45	R	Relleno antropico con residuos de obra prevaleciendo partes pequeñas de ladrillo cerámico	
2,95	CH	Arcillas carmelitas oscuras	3,0
3,50	CH	Arcilla habana clara	
4,70	CH	Arcilla habana clara	
6,00	CH	Arcilla habana clara	

Tabla 26. Columna estratigráfica sondeo No 2

Profundidad (m)	Clasificación USC	Descripción	Nivel Freático (m)
0,12	R	Losa de concreto reforzado de espesor 0,12 m	
0,40	R	Relleno compacto de recebo amarillo	
0,45	R	Relleno antropico con residuos de obra prevaleciendo partes pequeñas de ladrillo cerámico	
3,00	CH	Arcillas carmelitas oscuras	3,00
3,80	CH	Arcilla habana clara	
4,90	CH	Arcilla habana clara	
5,50	CH	Arcilla habana clara	
6,00	CH	Arcilla habana clara	

Tabla 27. Columna estratigráfica sondeo No.3

Profundidad (m)	Clasificación USC	Descripción	Nivel Freático (m)
0,12	R	Losa de concreto reforzado de espesor 0,12 m	
0,40	R	Relleno compacto de recebo amarillo	
0,45	R	Relleno antropico con residuos de obra prevaleciendo partes pequeñas de ladrillo cerámico	
3,00	CH	Arcillas carmelitas oscuras	3,0
3,75	CH	Arcilla habana clara	
4,63		Arcilla habana clara	
5,87		Arcilla habana clara	
6,00		Arcilla habana clara	

A las muestras se les realizaron varios ensayos que permitieron determinar algunas propiedades del suelo, como su capacidad portante y el cálculo de asentamientos teóricos y diferenciales, a continuación se relaciona una tabla con los ensayos realizados a las muestras de suelo obtenidas en la exploración.

Tabla 28. Columna estratigráfica sondeo No.4

Ensayo	Norma	Sondeo	Muestra	Profundidad
Compresión Inconfinada	ASTMD2166-00	1	1	NR
Compresión Inconfinada	ASTMD2166-01	2	2	NR
Compresión Inconfinada	ASTMD2166-02	3	3	NR
Calsificación de Suelos	ASTMD4318	2	NR	1,3
Calsificación de Suelos	ASTMD4319	1	NR	1,4
Calsificación de Suelos	ASTMD4320	3	NR	1,35

La clasificación del suelos dentro de la microzonificación sísmica, se hizo de acuerdo con el decreto 523 de 2010. Teniendo en cuenta lo anterior el suelo se encuentra dentro de la zona lacustre 500 (Ver anexo 11).

De acuerdo con los resultados de laboratorio, se encontró que la capacidad portante del suelo ( $Q_{ad}$ ) tiene un factor de seguridad de 3.0 en 6.83 Ton/m<sup>2</sup> para zapatas y de 5.41 Ton/m<sup>2</sup> para cimientos corridos.

## 7.2.2. Fase observaciones de campo

### 7.2.2.1. La preparación y planificación

A través del levantamiento topográfico se obtuvo la identificación del componente estructural y por medio de los datos obtenidos en la fase de observación se determinaron los sitios o puntos donde se realizaron los ensayos de laboratorio por medio de técnicas destructivas y no destructivas, lo que permitió analizar la calidad de los materiales encontrados y obtener con los resultados la resistencia de los materiales el análisis de la estructura de acuerdo con los parámetros sismo resistente que nos permitió proponer su reforzamiento.

### 7.2.2.2. Determinar pruebas destructivas

Se realizaron 64 ensayos de laboratorio, los cuales se relacionan a continuación.

Tabla 29. Ensayos de laboratorio.

Ensayo	Zona 1	Zona 2	Zona 3
Ensayo de Carbonatación del Concreto	5	11	0
Ensayo de Esclerómetro ASTM 805 – NTC 3692 – JJG 817	5	17	2
Ensayo de Scanner ASTM 228, 2R	2	2	0
Ensayo de Extracción de Núcleos NTC 3658	7	7	5
Determinación Microscópica del Sistema Aire Vacío del Concreto ASTM C 457	4	6	0
Medición de Elementos Metálicos con Ultrasonido	4	2	2
Ensayo de Termografía ACI 228, 2R	0	4	0

### 7.2.2.3. La verificación de la construcción conforme a obra

- Geometría y materiales estructurales

En la inspección visual de la investigación preliminar se identificaron 3 Zonas o bloques de estructuras que se han adquirido a través del tiempo por la empresa; evidente en su sistema estructural, el que no es uniforme y cambia de uno a otro sector donde la configuración y sección de sus elementos (columnas y vigas) son diferentes, así mismo la calidad de sus materiales (Resistencia del concreto a la compresión) y diámetro de aceros de refuerzo presentan diferentes especificaciones.

#### 7.2.2.4. Condición de valoración de la estructura.

- Daño visible

En esta fase se sistematiza y tipifica el daño visible identificado en la investigación preliminar, en este sentido se obtiene de las fichas de calificación (Ver anexo 5).

A continuación se observa la sistematización del compromiso de la edificación por componentes

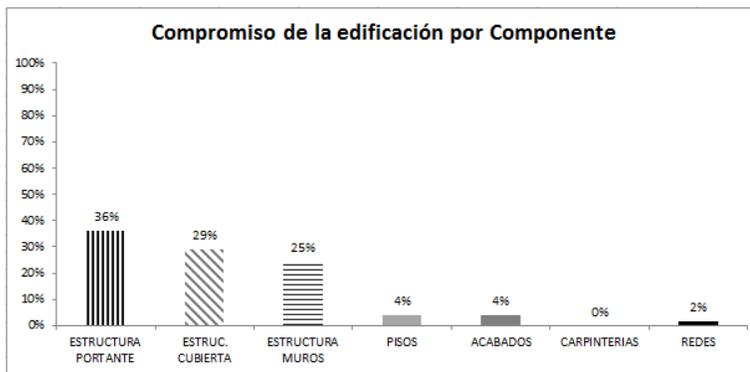


Figura 42. Compromiso de la edificación por componentes

- Asentamientos en la cimentación.

Una vez se realice el reforzamiento de la estructura para cargas máximas de columnas de 22 Ton se esperan asentamientos totales de 1.5 cm y los diferenciales serán absorbidos por la rigidez de la cimentación. La cimentación existente cuenta con vigas de amarre sin contrapesos, el reforzamiento se realizará a las zapatas encontradas con sus respectivos contrapesos (ver anexo 12)

- Nivel freático.

El nivel freático se encontró a partir de 2.95 m, e iniciando la arcilla habana clara hasta los 6 m de profundidad.

### 7.2.3. Muestreo y material de prueba

El muestreo y material de prueba tiene por objetivo suministrar información sobre las características de los materiales, una vez obtenidos los resultados del análisis de las muestras y contrastados con criterios definidos en la norma, se pudo determinar el módulo de elasticidad del material encontrado y sus propiedades mecánicas.

#### 7.2.3.1. Prácticas y procedimientos para evaluar el estado y propiedades de los materiales.

La evaluación de las propiedades de los materiales y el análisis de vulnerabilidad para la propuesta de reforzamiento determino la necesidad de realizar estudio de materiales, la firma Refortech SAS, adelantó ensayos de laboratorio obtenidos del trabajo de campo mediante equipos de punta, tales como: ensayos de carbonatación para establecer el frente y su PH para el concreto, esto con la ayuda de una solución de fenolftaleína, que al encontrar hidróxido de calcio (alcalino) genera un tono violeta, midiendo su profundidad desde la parte superficial del elemento.

Posteriormente, se realizó el ensayo de microscopio de barrido el cual determinó de manera directa el ataque de sustancias químicas a la matriz de concreto, se realizó los ensayos mecánicos de Esclerómetro y obtención de especímenes de núcleos que arrojará la resistencia real del concreto en las diferentes zonas de la estructura y ensayo de Escáner, prueba de detección de refuerzo y recubrimiento en la estructura de acuerdo con la norma ACI 228.2R para identificar el patrón de distribución de refuerzo, estimar el diámetro probable de refuerzo. Este ensayo contó con tres (3) tipos de escáner profesional marca HILTI, MILWAUKEE y Ferrosan Japonés.

### 7.2.3.2. Técnicas de muestreo

Para realizar el muestreo de las pruebas destructivas y no destructivas realizadas, se tuvieron en cuenta los criterios establecidos por las normas NTC, ACI, y ASTM que competen a cada uno de los ensayos realizados, y se relacionan en el estudio de materiales (Ver anexo 10).

#### 7.2.3.2.1. Prueba de esclerómetro

Estas pruebas se realizaron con un esclerómetro digital para control no destructivo del concreto siguiendo la norma ASTM-C 805, el cual nos permite estimar la resistencia a la compresión aproximada del concreto, basado en curvas de calibración con alta precisión, de igual forma se emplea para comparar la calidad del concreto entre diferentes áreas de la estructura.

La prueba de esclerómetro consiste en una barra de acero (émbolo), la cual recibe el impacto de una pieza de acero impulsada por un resorte. Este impacto se transmite a la superficie de concreto y debido a la resistencia de este, la pieza rebota y su desplazamiento máximo es registrado en una escala lineal fija al cuerpo del instrumento.

Antes de la prueba deberá eliminarse de la superficie pintura, polvo o cualquier elemento no propio del concreto, que pueda afectar el índice de rebote. Cuando la superficie tenga irregularidades debidas a cimbras de madera no cepilladas, esta debe ser pulida con la piedra abrasiva hasta dejarla lisa.

Se coloca el esclerómetro en forma perpendicular sobre la superficie del concreto que se va a evaluar y se ejerce una pequeña presión para permitir que el embolo se libere y se deja que se extienda hasta alcanzar su máxima extensión, eliminando la presión sobre el martillo, cuidando siempre que se conserve la perpendicularidad y que la presión sea uniforme hasta que la masa interna del martillo golpee la superficie del concreto. Después del impacto se oprime el botón

pulsador y se toma la lectura en la ventana de la escala graduada, registrando el índice de rebote, medido de 10 a 100, con dos cifras significativas.

#### 7.2.3.2.2. Aspecto químico (Baja de Ph y carbonatación)

La carbonatación en estructuras de concreto puede ser inducida por el  $\text{CO}_2$  de la atmosfera y de procesos industriales por los vapores y materias primas utilizadas, este procedimiento también se realiza para evaluar el contenido de hidróxido de calcio que está presente en el cemento factor determinante para estimar cualitativamente la calidad del material existente en la estructura y su interacción con el medio ambiente.

El frente de carbonatación se localiza con la ayuda de una solución de fenolftaleína, que da un color violeta al encontrar hidróxido de calcio (que es alcalino) midiendo su profundidad desde la parte superficial del elemento. Si el concreto se coloca de color violeta es porque el material no ha sufrido carbonatación y se encuentra en buenas condiciones químicas y de PH, pero si no cambia de color con el reactivo (Fenolftaleína) en el material hay un frente de carbonatación pronunciado.

#### 7.2.3.2.3. Scanner prueba de detección de refuerzos y recubrimientos en la Estructura.

(Norma ACI 228.2r métodos de ensayo no destructivos para la evaluación de hormigón en estructuras).

Estas pruebas consisten en la obtención de la localización, diámetro y recubrimiento de la armadura de refuerzo, se realizan con el objeto de identificar un patrón de distribución del refuerzo, estimar un diámetro probable del refuerzo y garantizar “si se realiza” que la extracción de los núcleos ó regatas puntuales se hagan en sitios donde no se vea comprometida la estructura. Un manejo estadístico adecuado de la información obtenida puede disminuir en gran medida la cantidad de exploración destructiva en un proyecto de gran magnitud.

#### 7.2.3.2.4. Procedimientos para evaluar las fuerzas de tracción y compresión en el Acero.

Cada material tiene unas propiedades mecánicas. La elaboración de un diagrama de esfuerzo-deformación unitaria varia de un material a otro, nos permite medir ductilidad y frágiles, para este caso no se tomaron muestras de varillas de acero, por presentar inconvenientes en la toma de muestras.

#### 7.2.4. Evaluación

##### 7.2.4.1. Evaluación del proceso patológico

De acuerdo con los resultados de laboratorio y la evaluación del material según los resultados de laboratorio, se ha perdido las propiedades mecánicas del concreto en el sector No 2 , debido a que en este sitio se encuentra el proceso de galvanizado, el que ha ocasionado graves lesiones de tipo químico en el material, para los sectores I donde actualmente funcionan las oficinas y la zona III de almacenamiento, las condiciones del concreto se encuentran en los rangos aceptables de resistencia y su comportamiento ante cargas verticales en bueno, pero su respuesta ante cargas sísmicas no, por lo que se propone un reforzamiento estructural y de cimentación, con encamisado en concreto y adición de refuerzo según lo indica los planos de diseño.

#### 7.2.4.2. Evaluación de la capacidad de la estructura.

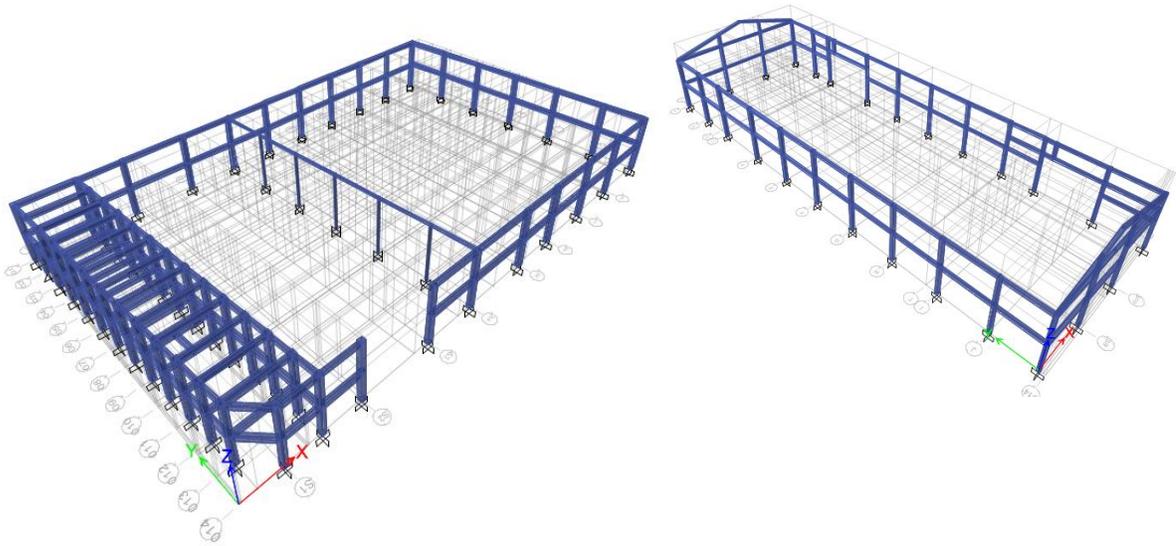


Figura. 43 Modelo matemático estructural Zona 1

Figura.44 Modelo matemático estructural  
Zona 2

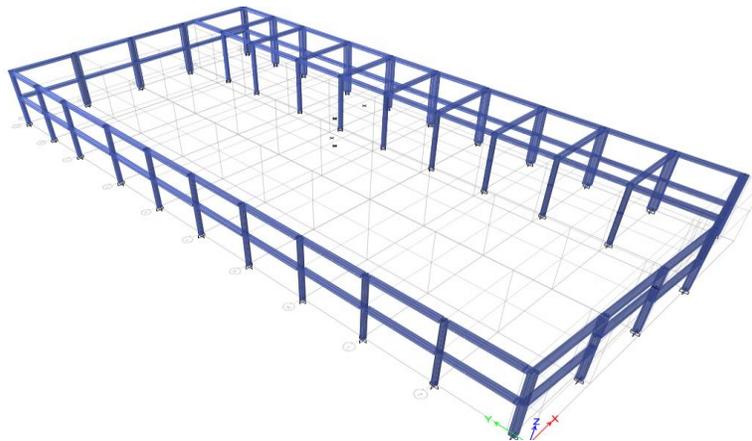


Figura. 45 Modelo matemático estructural zona 3

La modelación del comportamiento de la estructura se realizó por medio del programa ETABS No Lineal, El método de análisis utilizado fue Fuerza horizontal equivalente, considerando la estructura en 3D con diafragma rígido en ambos

niveles. Las columnas y vigas de amarre y de carga, se modelaron como elementos tipo Frame. Con un sistema empotrado en la base.

Las propiedades mecánicas de los materiales de acuerdo con los ensayos obtenidos:

Concreto vigas y columnas:  $f'c = 2403 \text{ Kg/cm}^2$

$\nu = 0.2$  Coeficiente de Poisson

Acero vigas y columnas:  $f_y = 240 \text{ Mpa}$   $E = 2188.2 \text{ Kg/mm}^2$

$\nu = 0.2$ . Coeficiente de Poisson

Procedimiento evaluación de alternativas

- Paso1

Según A.10.7.2.3 - Intervención de edificaciones diseñadas y construidas dentro de la vigencia del decreto 1400 de 1984.

En la intervención de edificaciones diseñadas y construidas después del 1 de diciembre de 1984 y antes del 19 de febrero de 1998, dentro de la vigencia del decreto 1400 de 1984, se permite cumplir con los siguientes requisitos mínimos, sustitutivos de los requisitos correspondientes contenidos en el presente Reglamento:

a. Se permite que el índice de flexibilidad evaluado para la edificación reparada alcance, sin exceder, valores hasta de 1.5. El índice de sobreesfuerzos no puede exceder la unidad.

b. La intervención de los elementos no estructurales de fachada y columnas cortas o cautivas y aquellos que se encuentren en mal estado y representen un peligro para la vida ante la ocurrencia de un sismo en el futuro.

- Paso 2

Estudio y recolección de información acerca de la construcción original según A.10.2 NRS-10.

- Paso 3

Calificación del estado del sistema estructural con respecto a la calidad de la estructura original, la construcción de la misma y el estado de mantenimiento y conservación.

De acuerdo al capítulo A.10.2.2.1, la calidad del diseño y la construcción de la estructura original se califica en grado MALO, como resultado de la investigación preliminar del estudio de patología.

- Paso 4

Determinación de las solicitaciones equivalentes de acuerdo con los requisitos del Capítulo A.10.3.2

Lo que permite obtener el coeficiente de reducción para calcular el índice de sobreesfuerzo del literal a, paso 1, para el estudio de vulnerabilidad.

- Movimientos sísmicos de diseño

Se utilizaron los movimientos sísmicos de diseño que prescribe el capítulo A.2 teniendo en cuenta la micro zonificación sísmica de Bogotá lacustre aluvial 200 y que el grupo de uso de la edificación IV tiene un coeficiente de importancia  $I = 1.50$ .

- Clasificación del sistema estructural

Se clasifico el sistema estructural dentro de uno de los sistemas estructurales que define el capítulo A.3 de La Norma NSR-10 y es la siguiente:

Sistema de pórticos A.3.2.1.3 el cual se permite en zonas de amenaza sísmica intermedia como Bogotá sin límite de altura y con disipación de energía moderada DMO.

- Coeficiente de capacidad de disipación de energía  $R'$

$$R' = \phi_r a * \phi_r p * \phi_r r R_o.$$

$R' = 1 * 1 * 0.75 * 5.00$  para edificaciones de capacidad de energía moderado (DMO).

$$R' = 3.75$$

Debido a que no existe ningún tipo de información sobre el diseño original el valor de  $R'$ :

Correspondiente a los  $\frac{3}{4}$  del valor que fija el capítulo A.3.3.3 para el mismo sistema estructural y el mismo material luego  $R' = \frac{3}{4} * 5.0 = 3.75$

- Obtención de las solicitaciones equivalentes

Las diferentes solicitaciones de acuerdo con los requisitos del capítulo B.2 de la NSR-10 y es la siguiente:

Tabla 30. Combinaciones de carga

TABLE: Load Combinations		
Name	Load Case/Combo	Scale Factor
comb1	Muerta	1.40
comb2	Muerta	1.20
comb2	Viva	1.60
comb2	Granizo	0.50
comb3	Muerta	1.20
comb3	Granizo	1.60
comb3	Viva	1.00
comb4	Muerta	1.20
comb4	Viento	1.60
comb4	Viva	1.00

comb4	Granizo	0.50
comb5	Muerta	0.90
comb5	Viento	1.60
comb6	Muerta	1.20
comb6	Viva	1.00
comb6	Sx	0.20
comb6	Sy	0.06
comb7	Muerta	1.20
comb7	Viva	1.00
comb7	Sx	-0.20
comb7	Sy	-0.06
comb8	Muerta	0.90
comb8	Sx	0.20
comb8	Sy	0.06
comb9	Muerta	0.90
comb9	Sx	-0.20
comb9	Sy	-0.06
comb10	Muerta	1.20
comb10	Viva	1.00
comb10	Sx	0.06
comb10	Sy	0.20
comb11	Muerta	1.20
comb11	Viva	1.00
comb11	Sx	-0.06
comb11	Sy	-0.20
comb12	Muerta	0.90
comb12	Sx	0.06
comb12	Sy	0.20
comb13	Muerta	0.90
comb13	Sx	-0.06
comb13	Sy	-0.20

- Paso 5

Se llevó a cabo un análisis elástico de la estructura para las solicitaciones equivalentes definidas en el paso anterior con ayuda del programa de estructuras ETABS 13.

- Paso 6

Obtención de la resistencia existente (Nex) de la edificación utilizando los requisitos del capítulo A.10.3.3.3 de la NSR-10.

Para cortante  $\phi = 0.75$

$$N_{ex} = 0.75 * 0.53 * \text{raíz} (210)$$

$$N_{ex} = 5.76 \text{ kg/cm}^2 = 57.60 \text{ T/m}^2$$

\*COLUMNAS

Para flexión  $\phi = 0.80$

Sección 30 x 30 cm<sup>2</sup>

$$N_{ex} = 0.80 * 6.40 \text{ T*m}$$

$$N_{ex} = 5.12 \text{ T*m}$$

\*VIGAS

Para flexión  $\phi = 0.80$

Sección 30 x 40 cm<sup>2</sup>

$$N_{ex} = 0.80 * 10.75 \text{ T*m}$$

$$N_{ex} = 7.17 \text{ T*m} \quad N_{ex} = 8.60 \text{ T*m}$$

- Paso 7

Obtención de la resistencia efectiva ( $N_{ef}$ ) de la edificación utilizando los requisitos del

Capítulo A.10.4.3.4 de la NSR-10.

$$\phi_c = 0.60; \phi_e = 0.60$$

Los valores anteriores son obtenidos a partir de la tabla A.10-4-1, dependiendo de la Calificaciones de la calidad y estado de la estructura definidas en A.10.2.2.1 y A.10.2.2.3

$$N_{ef} = c \cdot \phi_e \cdot N_{ex}$$

Para Cortante

$$N_{ef} = 0.60 \cdot 0.60 \cdot 57.60 \text{ T/m}^2$$

$$N_{ef} = 20.80 \text{ T/m}^2$$

\*COLUMNAS

Sección 30 x 30 cm<sup>2</sup>

$$N_{ef} = 0.60 \cdot 0.60 \cdot 5.12 \text{ T} \cdot \text{m}$$

$$N_{ef} = 1.84 \text{ T} \cdot \text{m}$$

\*VIGAS

Para flexión,  $\phi = 0.90$

Sección 30 x 40 cm<sup>2</sup>

$$N_{ef} = 0.60 \cdot 0.60 \cdot 8.60 \text{ T} \cdot \text{m}$$

$$N_{ef} = 3.90 \text{ T} \cdot \text{m}$$

- Paso 8. Determinación del índice de sobreesfuerzo

Se estableció una equivalencia entre las solicitaciones que prescriben el reglamento para estructuras nuevas y las que están en capacidad de resistir la estructura en su estado actual.

Se entiende como índice de sobre esfuerzo la relación entre en momento actuante sobre el momento admisible, para elementos estructurales de vigas y columnas.

Columnas de 30x30 cm

Sector 1

Los índices de sobre esfuerzos se toma el mayor valor obtenido de estos cocientes, máximo de 2.53 superior a la unidad.

Tabla 31. Índice de sobreesfuerzo para columnas sector 1

FRAME	LOAD	LOC	ACTUAENTES		ADMISIBLES		INDICE SOBRESFUERZO	
			Ton/m <sup>2</sup>	Ton-m	Ton/m <sup>2</sup>	Ton-m	CONSTANTE	MOMENTO
			CONSTANTE	MOMENTO	CONSTANTE	MOMENTO	CONSTANTE	MOMENTO
102	EMVE	MAX	0.00	0.00	46.66	4.15	0.00	0.00
		0.20	7.08	8.84	46.66	4.15	0.15	2.13
		0.82	7.08	4.41	46.66	4.15	0.15	1.06
		1.45	7.08	0.07	46.66	4.15	0.15	0.02
		2.08	7.08	5.27	46.66	4.15	0.15	1.27
		2.70	7.08	10.51	46.66	4.15	0.15	2.53
		0.00	0.00	46.66	4.15	0.00	0.00	
	EMVE	MIN	0.00	0.00	46.66	4.15	0.00	0.00
		0.20	8.39	10.47	46.66	4.15	0.18	2.52
		0.82	8.39	5.23	46.66	4.15	0.18	1.26
		1.45	8.39	0.17	46.66	4.15	0.18	0.04
		2.08	8.39	4.44	46.66	4.15	0.18	1.07
		2.70	8.39	8.87	46.66	4.15	0.18	2.14
		0.00	0.00	46.66	4.15	0.00	0.00	
103	EMVE	MAX	0.00	0.00	46.66	4.15	0.00	0.00
		0.20	5.94	7.38	46.66	4.15	0.13	1.78
		0.82	5.94	3.66	46.66	4.15	0.13	0.88
		1.45	5.94	0.25	46.66	4.15	0.13	0.06
		2.08	5.94	4.59	46.66	4.15	0.13	1.11
		2.70	5.94	9.09	46.66	4.15	0.13	2.19
		0.00	0.00	46.66	4.15	0.00	0.00	
	EMVE	MIN	0.00	0.00	46.66	4.15	0.00	0.00
		0.20	7.19	8.91	46.66	4.15	0.15	2.15
		0.82	7.19	4.41	46.66	4.15	0.15	1.06
		1.45	7.19	0.28	46.66	4.15	0.15	0.07
		2.08	7.19	3.78	46.66	4.15	0.15	0.91
		2.70	7.19	7.50	46.66	4.15	0.15	1.81
		0.00	0.00	46.66	4.15	0.00	0.00	
104	EMVE	MAX	0.00	0.00	46.66	4.15	0.00	0.00
		0.20	4.39	5.32	46.66	4.15	0.09	1.28
		0.82	4.39	2.58	46.66	4.15	0.09	0.62
		1.45	4.39	0.38	46.66	4.15	0.09	0.09
		2.08	4.39	3.57	46.66	4.15	0.09	0.86
		2.70	4.39	6.99	46.66	4.15	0.09	1.68
		0.00	0.00	46.66	4.15	0.00	0.00	
	EMVE	MIN	0.00	0.00	46.66	4.15	0.00	0.00
		0.20	5.47	6.70	46.66	4.15	0.12	1.61
		0.82	5.47	3.28	46.66	4.15	0.12	0.79
		1.45	5.47	0.56	46.66	4.15	0.12	0.13
		2.08	5.47	2.92	46.66	4.15	0.12	0.70
		2.70	5.47	5.67	46.66	4.15	0.12	1.37
		0.00	0.00	46.66	4.15	0.00	0.00	

## Sector 2

Los índices de sobre esfuerzos se toma el mayor valor obtenido de estos cocientes, máximo de 3.67 superior a la unidad.

Tabla 32. Índice de sobreesfuerzo para columnas sector 2

FRAME LOAD	LOC	ACTUANTES		ADMISIBLES		INDICE SOBRESFUERZO			
		Ton/m2	Ton-m	Ton/m2	Ton-m	CORTANTE	MOMENTO		
105	ENVE	MAX	0.00	0.00	46.66	4.15	0.00	<b>0.00</b>	
			0.20	1.60	1.83	46.66	4.15	0.03	<b>0.44</b>
			0.82	1.60	0.83	46.66	4.15	0.03	<b>0.20</b>
			1.45	1.60	0.65	46.66	4.15	0.03	<b>0.16</b>
			2.08	1.60	2.19	46.66	4.15	0.03	<b>0.53</b>
	2.70	1.60	3.72	46.66	4.15	0.03	<b>0.90</b>		
105	ENVE	MIN	0.00	0.00	46.66	4.15	0.00	<b>0.00</b>	
			0.20	2.46	2.76	46.66	4.15	0.05	<b>0.67</b>
			0.82	2.46	1.29	46.66	4.15	0.05	<b>0.31</b>
			1.45	2.46	0.24	46.66	4.15	0.05	<b>0.06</b>
			2.08	2.46	1.17	46.66	4.15	0.05	<b>0.28</b>
	2.70	2.46	2.16	46.66	4.15	0.05	<b>0.52</b>		
		0.00	0.00	46.66	4.15	0.00	<b>0.00</b>		
136	ENVE	MAX	0.00	0.00	46.66	4.15	0.00	<b>0.00</b>	
			0.00	8.70	12.39	46.66	4.15	0.19	<b>2.99</b>
			0.67	8.70	6.52	46.66	4.15	0.19	<b>1.57</b>
			1.35	8.70	0.71	46.66	4.15	0.19	<b>0.17</b>
			2.02	8.70	4.80	46.66	4.15	0.19	<b>1.16</b>
	2.70	8.70	10.45	46.66	4.15	0.19	<b>2.52</b>		
136	ENVE	MIN	0.00	0.00	46.66	4.15	0.00	<b>0.00</b>	
			0.00	8.38	12.14	46.66	4.15	0.18	<b>2.93</b>
			0.67	8.38	6.49	46.66	4.15	0.18	<b>1.56</b>
			1.35	8.38	0.90	46.66	4.15	0.18	<b>0.22</b>
			2.02	8.38	5.22	46.66	4.15	0.18	<b>1.26</b>
	2.70	8.38	11.08	46.66	4.15	0.18	<b>2.67</b>		
		0.00	0.00	46.66	4.15	0.00	<b>0.00</b>		
137	ENVE	MAX	0.00	0.00	46.66	4.15	0.00	<b>0.00</b>	
			0.20	12.18	15.23	46.66	4.15	0.26	<b>3.67</b>
			0.83	12.18	7.62	46.66	4.15	0.26	<b>1.84</b>
			1.45	12.18	0.08	46.66	4.15	0.26	<b>0.02</b>
			2.08	12.18	6.83	46.66	4.15	0.26	<b>1.65</b>
	2.70	12.18	13.79	46.66	4.15	0.26	<b>3.32</b>		
137	ENVE	MIN	0.00	0.00	46.66	4.15	0.00	<b>0.00</b>	
			0.20	11.15	14.06	46.66	4.15	0.24	<b>3.39</b>
			0.83	11.15	7.09	46.66	4.15	0.24	<b>1.71</b>
			1.45	11.15	0.16	46.66	4.15	0.24	<b>0.04</b>
			2.08	11.15	7.59	46.66	4.15	0.24	<b>1.83</b>
	2.70	11.15	15.19	46.66	4.15	0.24	<b>3.66</b>		
		0.00	0.00	46.66	4.15	0.00	<b>0.00</b>		

## Sector 3

Los índices de sobre esfuerzos se toma el mayor valor obtenido de estos cocientes, máximo de 3.54 superior a la unidad

Tabla 33. Índice de sobreesfuerzo para columnas sector 3

FRAME LOAD	LOC	ACTUAENTES		ADMISIBLES		INDICE SOBRESFUERZO	
		Ton/m2	Ton-m	Ton/m2	Ton-m	CORTANTE	MOMENTO
149 ENVE	MAX	0.00	0.00	46.66	4.15	0.00	0.00
		0.20	4.91	46.66	4.15	0.11	1.36
		0.82	4.91	46.66	4.15	0.11	0.65
		1.45	4.91	46.66	4.15	0.11	0.12
		2.08	4.91	46.66	4.15	0.11	0.69
		2.70	4.91	46.66	4.15	0.11	1.25
149 ENVE	MIN	0.00	0.00	46.66	4.15	0.00	0.00
		0.20	3.75	46.66	4.15	0.08	1.00
		0.82	3.75	46.66	4.15	0.08	0.44
		1.45	3.75	46.66	4.15	0.08	0.12
		2.08	3.75	46.66	4.15	0.08	0.86
		2.70	3.75	46.66	4.15	0.08	1.60
150 ENVE	MAX	0.00	0.00	46.66	4.15	0.00	0.00
		0.20	2.81	46.66	4.15	0.06	0.82
		0.82	2.81	46.66	4.15	0.06	0.40
		1.45	2.81	46.66	4.15	0.06	0.11
		2.08	2.81	46.66	4.15	0.06	0.21
		2.70	2.81	46.66	4.15	0.06	0.31
150 ENVE	MIN	0.00	0.00	46.66	4.15	0.00	0.00
		0.20	0.69	46.66	4.15	0.01	0.10
		0.82	0.69	46.66	4.15	0.01	0.01
		1.45	0.69	46.66	4.15	0.01	0.16
		2.08	0.69	46.66	4.15	0.01	0.51
		2.70	0.69	46.66	4.15	0.01	0.87
171 ENVE	MAX	0.00	0.00	46.66	4.15	0.00	0.00
		0.00	7.41	46.66	4.15	0.16	2.54
		0.67	7.41	46.66	4.15	0.16	1.35
		1.34	7.41	46.66	4.15	0.16	0.17
		2.01	7.41	46.66	4.15	0.16	0.91
		2.68	7.41	46.66	4.15	0.16	2.04
171 ENVE	MIN	0.00	0.00	46.66	4.15	0.00	0.00
		0.00	7.02	46.66	4.15	0.15	2.48
		0.67	7.02	46.66	4.15	0.15	1.35
		1.34	7.02	46.66	4.15	0.15	0.23
		2.01	7.02	46.66	4.15	0.15	1.04
		2.68	7.02	46.66	4.15	0.15	2.23
		0.00	0.00	46.66	4.15	0.00	0.00

Vigas 30x30 cm

Sector 1

Los índices de sobre esfuerzos se toma el mayor valor obtenido de estos cocientes, máximo de 2.25 superior a la unidad.

Tabla 34. Índice de sobreesfuerzo para vigas sector 1

FRAME	LOAD	LOC	ACTUAENTES		ADMISIBLES		INDICE	
			Ton/m2	Ton-m	Ton/m2	Ton-m	SOBRESFUERZO	
			CORTANTE	MOMENTO	CORTANTE	MOMENTO	CORTANTE	MOMENTO
577	ENVE	MAX	0.00	0.00	46.66	5.80	0.00	0.00
		0.15	7.76	9.53	46.66	5.80	0.17	1.64
		0.78	8.25	4.56	46.66	5.80	0.18	0.79
		1.41	8.89	1.78	46.66	5.80	0.19	0.31
		2.03	9.53	6.43	46.66	5.80	0.20	1.11
		2.66	10.17	10.95	46.66	5.80	0.22	1.89
577	ENVE	MIN	0.00	0.00	46.66	5.80	0.00	0.00
		0.15	8.92	8.81	46.66	5.80	0.19	1.52
		0.78	8.31	3.44	46.66	5.80	0.18	0.59
		1.41	7.86	0.97	46.66	5.80	0.17	0.17
		2.03	7.41	6.61	46.66	5.80	0.16	1.14
		2.66	6.96	12.79	46.66	5.80	0.15	2.21
578	ENVE	MAX	0.00	0.00	46.66	5.80	0.00	0.00
		0.15	6.15	9.81	46.66	5.80	0.13	1.69
		0.78	6.60	5.80	46.66	5.80	0.14	1.00
		1.41	7.05	1.67	46.66	5.80	0.15	0.29
		2.03	7.51	5.00	46.66	5.80	0.16	0.86
		2.66	7.96	10.21	46.66	5.80	0.17	1.76
578	ENVE	MIN	0.00	0.00	46.66	5.80	0.00	0.00
		0.15	10.54	13.06	46.66	5.80	0.23	2.25
		0.78	9.90	6.64	46.66	5.80	0.21	1.14
		1.41	9.26	0.78	46.66	5.80	0.20	0.13
		2.03	8.62	3.06	46.66	5.80	0.18	0.53
		2.66	7.98	7.92	46.66	5.80	0.17	1.37
579	ENVE	MAX	0.00	0.00	46.66	5.80	0.00	0.00
		0.15	4.67	8.00	46.66	5.80	0.10	1.38
		0.78	5.12	4.92	46.66	5.80	0.11	0.85
		1.41	5.57	1.76	46.66	5.80	0.12	0.30
		2.03	6.02	4.55	46.66	5.80	0.13	0.78
		2.66	6.48	9.19	46.66	5.80	0.14	1.58
579	ENVE	MIN	0.00	0.00	46.66	5.80	0.00	0.00
		0.15	9.63	11.78	46.66	5.80	0.21	2.03
		0.78	8.99	5.94	46.66	5.80	0.19	1.02
		1.41	8.34	0.69	46.66	5.80	0.18	0.12
		2.03	7.70	2.08	46.66	5.80	0.17	0.36
		2.66	7.06	6.01	46.66	5.80	0.15	1.04
			0.00	0.00	46.66	5.80	0.00	0.00

## Sector 2

Los índices de sobre esfuerzos se toma el mayor valor obtenido de estos cocientes, máximo de 4.23 superior a la unidad.

Tabla 35. Índice de sobreesfuerzo para vigas sector 2

FRAME	LOAD	LOC	ACTUANTES		ADMISIBLES		INDICE SOBRESFUERZO	
			Ton/m2	Ton-m	Ton/m2	Ton-m	CORTANTE	MOMENTO
676	ENVE	MAX	0.00	0.00	46.66	5.80	0.00	0.00
		0.18	16.24	24.56	46.66	5.80	0.35	4.23
		0.73	17.27	15.34	46.66	5.80	0.37	2.64
		1.28	18.29	5.73	46.66	5.80	0.39	0.99
		1.83	19.45	5.90	46.66	5.80	0.42	1.02
676	ENVE	2.38	20.97	15.80	46.66	5.80	0.45	2.72
		MIN	0.00	0.00	46.66	5.80	0.00	0.00
		0.18	23.32	28.82	46.66	5.80	0.50	4.97
		0.73	21.80	16.41	46.66	5.80	0.47	2.83
		1.28	20.28	5.01	46.66	5.80	0.43	0.86
677	ENVE	1.83	18.89	4.78	46.66	5.80	0.40	0.82
		2.38	17.86	15.69	46.66	5.80	0.38	2.71
		0.00	0.00	0.00	46.66	5.80	0.00	0.00
		MAX	0.00	0.00	46.66	5.80	0.00	0.00
		0.18	10.29	16.51	46.66	5.80	0.22	2.85
677	ENVE	0.73	11.32	10.57	46.66	5.80	0.24	1.82
		1.28	12.34	4.18	46.66	5.80	0.26	0.72
		1.83	13.37	4.25	46.66	5.80	0.29	0.73
		2.38	14.89	11.26	46.66	5.80	0.32	1.94
		MIN	0.00	0.00	46.66	5.80	0.00	0.00
677	ENVE	0.18	18.06	21.79	46.66	5.80	0.39	3.76
		0.73	16.54	12.28	46.66	5.80	0.35	2.12
		1.28	15.02	3.72	46.66	5.80	0.32	0.64
		1.83	13.51	3.01	46.66	5.80	0.29	0.52
		2.38	12.48	10.64	46.66	5.80	0.27	1.83
678	ENVE	0.00	0.00	0.00	46.66	5.80	0.00	0.00
		MAX	0.00	0.00	46.66	5.80	0.00	0.00
		0.18	3.45	6.56	46.66	5.80	0.07	1.13
		0.71	4.45	4.43	46.66	5.80	0.10	0.76
		1.25	5.45	1.90	46.66	5.80	0.12	0.33
678	ENVE	1.79	6.46	3.61	46.66	5.80	0.14	0.62
		2.33	7.71	7.59	46.66	5.80	0.17	1.31
		MIN	0.00	0.00	46.66	5.80	0.00	0.00
		0.18	12.59	13.10	46.66	5.80	0.27	2.26
		0.71	11.11	6.73	46.66	5.80	0.24	1.16
678	ENVE	1.25	9.62	1.29	46.66	5.80	0.21	0.22
		1.79	8.14	1.43	46.66	5.80	0.17	0.25
		2.33	6.91	5.17	46.66	5.80	0.15	0.89
		0.00	0.00	0.00	46.66	5.80	0.00	0.00
		0.00	0.00	0.00	46.66	5.80	0.00	0.00

### Sector 3

Los índices de sobre esfuerzos se toma el mayor valor obtenido de estos cocientes, máximo de 4.23 superior a la unidad.

Tabla 36. Índice de sobreesfuerzo para vigas sector 3

FRAME	LOAD	LOC	ACTUAENTES		ADMISIBLES		INDICE	
			Ton/m2	Ton-m	Ton/m2	Ton-m	SOBRESFUERZO	
			CORTANTE	MOMENTO	CORTANTE	MOMENTO	CORTANTE	MOMENTO
685	ENVE	MAX	0.00	0.00	46.66	5.80	0.00	0.00
		0.15	8.14	13.06	46.66	5.80	0.17	2.25
		0.78	8.59	7.81	46.66	5.80	0.18	1.35
		1.41	9.05	2.41	46.66	5.80	0.19	0.42
		2.03	9.50	4.67	46.66	5.80	0.20	0.81
		2.66	10.12	10.41	46.66	5.80	0.22	1.79
685	ENVE	MIN	0.00	0.00	46.66	5.80	0.00	0.00
		0.15	11.37	14.95	46.66	5.80	0.24	2.58
		0.78	10.73	8.01	46.66	5.80	0.23	1.38
		1.41	10.09	1.61	46.66	5.80	0.22	0.28
		2.03	9.45	3.56	46.66	5.80	0.20	0.61
		2.66	8.97	9.67	46.66	5.80	0.19	1.67
686	ENVE	MAX	0.00	0.00	46.66	5.80	0.00	0.00
		0.15	6.73	10.93	46.66	5.80	0.14	1.88
		0.78	7.19	6.56	46.66	5.80	0.15	1.13
		1.41	7.64	2.09	46.66	5.80	0.16	0.36
		2.03	8.09	4.89	46.66	5.80	0.17	0.84
		2.66	8.54	10.44	46.66	5.80	0.18	1.80
686	ENVE	MIN	0.00	0.00	46.66	5.80	0.00	0.00
		0.15	11.07	14.16	46.66	5.80	0.24	2.44
		0.78	10.43	7.40	46.66	5.80	0.22	1.28
		1.41	9.79	1.24	46.66	5.80	0.21	0.21
		2.03	9.15	3.04	46.66	5.80	0.20	0.52
		2.66	8.51	8.26	46.66	5.80	0.18	1.42
687	ENVE	MAX	0.00	0.00	46.66	5.80	0.00	0.00
		0.15	5.21	9.10	46.66	5.80	0.11	1.57
		0.78	5.67	5.69	46.66	5.80	0.12	0.98
		1.41	6.12	2.21	46.66	5.80	0.13	0.38
		2.03	6.57	4.41	46.66	5.80	0.14	0.76
		2.66	7.02	9.37	46.66	5.80	0.15	1.62
687	ENVE	MIN	0.00	0.00	46.66	5.80	0.00	0.00
		0.15	10.14	12.90	46.66	5.80	0.22	2.22
		0.78	9.50	6.73	46.66	5.80	0.20	1.16
		1.41	8.86	1.18	46.66	5.80	0.19	0.20
		2.03	8.22	2.00	46.66	5.80	0.18	0.34
		2.66	7.58	6.27	46.66	5.80	0.16	1.08
			0.00	0.00	46.66	5.80	0.00	0.00

### 7.2.4.3. Evaluación de alternativas de rehabilitación

De acuerdo con los resultados obtenidos del análisis estructural se plantearon las siguientes alternativas para el reforzamiento estructural.

**Alternativa 1.** Sistema de reforzamiento de secciones de columnas existentes de 30x30 cm a 50x40 cm, con encamisado para el recalces de los elementos de

acuerdo con los resultados del reforzamiento y planos de diseño (ver anexo planos de reforzamiento).

Ventajas: Solución a bajo costo, se garantizan las secciones mínimas establecidas en NSR-10, se garantizan los aceros de refuerzo mínimos señalados en NSR-10.

Desventajas: Mayor tiempo de obra en la ejecución, mayor desperdicio, es una solución que frenaría el proceso industrial en la zona 2.

**Alternativa 2:** Aplicación de sistema FRP a base de tela de fibra de carbono para reforzamiento de secciones de columnas y vigas.

Ventajas: menor tiempo de obra, permite un trabajo limpio por sectores, se garantiza confinamiento mínimo a cortante señalado en NSR-10.

Desventajas: mayor costo.

#### 7.2.4.4. Evaluación de los costos

De acuerdo con el resultado del análisis de las dos alternativas, el propietario decide como opción las fibras de carbono considerando que el proceso rehabilitación no puede frenar la producción.

Propuesta económica de reforzamiento con fibras de carbono, presentada por la firma Dressman International Trade y FRP Construction.

Tabla 37. Estructura de costos zona 1.

<b>Mt2</b>	<b>Item</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio US</b>	<b>Total US \$</b>
<b>ZONA 1</b>	TU27C	Metros Cuadrados	3,373.70	\$119.04	\$401,605.00
<b>3,247.2</b>	J300SR	15 Gallon kits	95	\$870	\$82,650.00
	Cabosil – Para espesar la resina	10 lb bag	23	\$95	\$2,185.00
	Flete estimado a Bogotá		1 contenedor		\$10,000.00
	Instalación estimada (30% costo materiales)				\$145,277.00
				<b>Zona 1 Total sin Novalac</b>	<b>\$641,717.00</b>
				<b>Zona 1 Total sin Novalac por mt2</b>	<b>\$190.21</b>
	Novolac Coating (2 coats)	15 Gallon kits	20	\$3,664	\$73,280.00
				<b>Zona 1 Novalac por mt2</b>	<b>\$76.89</b>
				<b>Zona 1 Total con Novalac</b>	<b>\$714,997.00</b>

Tabla 38. Estructura de costos zona 2.

<b>ZONA 2</b>	TU27C	Metros Cuadrados	2,843.94	\$119.04	\$338,543.00
<b>2,703.16</b>	J300SR	15 Gallon kits	81	\$870	\$70,470.00
	Cabosil – Para espesar la resina	10 lb bag	19	95	\$1,805.00
	Flete estimado a Bogotá		1 contenedor		\$10,000.00
	Instalación estimada (30% costo materiales)				\$123,904.00
				<b>Zona 2 Total sin Novalac</b>	<b>\$544,722.00</b>
				<b>Zona 2 Total sin Novalac por mt2</b>	<b>\$191.54</b>
	Novolac Coating (2 coats)	15 Gallon kits	17	3,664	\$62,288.00
				<b>Zona 2 Novalac mt2</b>	<b>\$64.95</b>
				<b>Zona 2 Total con Novalac</b>	<b>607,010.00</b>
<b>Zona 3</b>	TU27C	Metros Cuadrados	5,074.49	\$119.04	\$604,067.00
<b>5,019.29</b>	J300SR	15 Gallon kits	143	\$870	\$124,410.00
	Cabosil – Para espesar la resina	10 lb bag	33	95	\$3,135.00
	Flete estimado a Bogotá		1 contenedor		\$10,000.00
	Instalación estimada (30% costo materiales)				\$218,544.00
				<b>Zona 3 Total sin Novalac</b>	<b>\$960,156.00</b>
				<b>Zona 3 Total sin Novalac por mt2</b>	<b>\$189.21</b>
	Novolac Coating (2 coats)	15 Gallon kits	30	3,664	\$109,920.00
				<b>Zona 3 Novalac por mt2</b>	<b>\$59.29</b>
				<b>Zona 3 Total con Novalac</b>	<b>\$1,070,076.00</b>

#### 7.2.4.5. Conclusiones y recomendaciones.

Es difícil evaluar plenamente las necesidades de reparación según las condiciones de la edificación. Sin embargo, se logra siempre y cuando se genere un diagnóstico acertado frente al origen del proceso patológico.

Es indispensable realizar una correcta preparación de la Superficie antes de iniciar cualquier proceso de intervención. Preparar una zona de aproximadamente 3,718 metros cuadrados se requerirá de aproximadamente de 15 días de trabajo de 8 horas cada día. El contratista debe proporcionar las plataformas elevadoras o andamios.

#### 7.2.4.6. Cronograma de proyecto de rehabilitación

El cronograma de actividades se estima en los siguientes tiempos:

- Movilización y configuración - 5-10 días
- Reparación de superficie - un máximo de 20 días hábiles
- Inyección de grieta – desconocido
- FRP – Aproximadamente 36 días
- Revestimiento - 7 días + 7 días para curar
- Aproximadamente 3 meses días hábiles.

## 8. CAPÍTULO VIII CONCLUSIONES

Realizado la investigación “Protocolo para los estudios Estudios de Patología de la Construcción en Edificaciones de Concreto Reforzado en Colombia”, se concluye lo siguiente:

- El proceso de investigación permitió elaborar un protocolo para los estudios de patología de la construcción que genere un diagnóstico conclusivo en edificaciones de concreto reforzado con el propósito de definir los lineamientos generales que orienten la práctica del especialista en patología.
  
- El análisis de los aspectos legales y normativos a nivel nacional e internacional frente a los estudios de patología de la construcción presenta diferentes niveles de desarrollo; para Colombia el Reglamento de Construcciones Sismo-Resistente-NSR10 contempla la evaluación para el análisis de vulnerabilidad sísmica y adicionar, modificar o reforzar el sistema estructural de edificaciones existentes. Sin embargo, la norma establece unos lineamientos que no son lo suficientemente amplios para definir los procedimientos que otorguen la calificación cualitativa del estado de la edificación entre los grados bueno, regular y malo.

Por lo anterior, la NSR-10 se fundamenta en normas internacionales como la ACI y la ASTM para la consulta en el sector de la construcción, las que difícilmente se implementan porque están diseñadas para otros contextos, tanto en las prácticas constructivas como en las condiciones medioambientales.

- La matriz de comparación teórica determinó que las metodologías desarrolladas por los teóricos presentan diferentes fases de investigación en los estudios de patología de la construcción, las más comunes son las fases de documentación, observación de campo, toma de datos, material de prueba, evaluación e informe final, sin embargo no se presenta consenso en el alcance de sus variables.
- El equipo coordinador del proceso de investigación consideró que la unificación de criterios en un Protocolo Para Los Estudios De Patología De La Construcción En Edificaciones De Concreto Reforzado posibilita procedimientos, la valoración del daño y un diagnóstico adecuado.
- La Metodología para los Estudios de Patología de la Construcción en Edificaciones de Concreto Reforzado aprobada por el consenso de expertos, respondió a una estructura lógica de investigación que define los criterios para los procedimientos y el alcance de cada fase de investigación en un estudio de patología de construcción.
- Los resultados de la matriz de Vester priorizaron las variables según su peso porcentual, parámetros que fueron tenidos en cuenta para el diseño del instrumento de calificación en la metodología de investigación consensuada por el panel de expertos. Donde se resalta la aplicación de la investigación con finalidades prácticas, a través del Instrumento de calificación que determina el alcance de la investigación preliminar, aporta al análisis cualitativo del diseño y la construcción, proporciona los elementos que justifican la realización de una investigación detallada y da claridad en los costos del estudio de patología de la construcción.
- La aplicación de los procedimientos de la metodología propuesta, en términos generales, para el Estudio de Patología de la construcción

“Bodega POLYUPROTEC S.A.” dio respuesta a los planteamientos metodológicos y técnicos para el diagnóstico y propuesta de rehabilitación.

- La aplicación de la metodología propuesta al estudio de caso “Bodega POLYUPROTEC S.A.” demuestra que la fase documental planteada de manera detallada y exhaustiva no es funcional en gran parte de nuestro contexto, considerando que hemos tenido un desarrollo informal y con una reglamentación reciente en el sector de la construcción.
- Ampliar el alcance de investigación del estudio de caso “Bodega POLYUPROTEC S.A.” implementando las fases de investigación detallada permitió subsanar la falta de información documental y reconstruir el historial de la edificación.
- La evaluación de la edificación correlacionando el análisis del proceso patológico, las propiedades mecánicas de los materiales y la capacidad estructural permitió establecer un diagnóstico acertado para proponer alternativas de rehabilitación.
- El Protocolo Para Los Estudios De Patología De La Construcción En Edificaciones De Concreto Reforzado contempla el diseño y construcción de una “Guía para un Estudio de Patología de la Construcción en Edificaciones de Concreto Reforzado de Mediana Altura” con sus respectivos formatos e instrumento computacional que permite otorgar una calificación de la estructura antes de su intervención en grado; bueno, regular o malo, como lo establece el Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistente Nsr-10 y aportar un diagnóstico conclusivo adecuado.

## 9. CAPÍTULO IX. RECOMENDACIONES

- Incorporar a los métodos de estudio los lineamientos generales establecidos en el Protocolo para los Estudios de Patología de la Construcción en Edificaciones de Concreto Reforzado.
- Abordar desde una perspectiva preventiva los estudios de patología de la construcción que contemple aspectos de funcionalidad, durabilidad y la integridad de la construcción desde el diseño, en todas las etapas constructivas, supervisión técnica en la obra, mantenimiento preventivo y correctivo una vez se ponga en servicio la edificación.
- Implementar guías para el mantenimiento preventivo y correctivo, para detección de procesos patológicos a tiempo en la construcción que permitan prevenir deterioros irreversibles y eviten costosas intervenciones.
- Implementar un enfoque interdisciplinar en los estudios de Patología de la Construcción
- Considerar los planteamientos del Protocolo Para Los Estudios De Patología De La Construcción En Edificaciones De Concreto Reforzado útiles para generar un diagnóstico conclusivo que sea el soporte dirimir conflictos en el marco de en los procesos judiciales.
- Profundizar los planteamientos presentados en este estudio con futuras investigaciones que desarrollen un método de cálculo para determinar de la vida útil residual de las edificaciones en concreto reforzado.
- El marco legal y normativo existente en Colombia, Ley 400 de 1997 y el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, no

sustenta los procedimientos para los estudios de patología de la construcción, por lo tanto se establece la necesidad de generar un mecanismo normativo que formalice los Estudios de Patología de Construcción en Edificaciones de Concreto Reforzado en Colombia.

- Con este protocolo se propone incluir en el Reglamento de Construcciones Sismo Resistente el título P (sobre estudios de Patología) y darle la formalidad a través de la Comisión Técnica Permanente de Control d la Calidad y Patología de la Construcción de la Sociedad Colombiana de Ingenieros.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Broto, C. (2006). *Tratado Broto de Construcción. Patología de los materiales de Construcción*. Barcelona, España: Estructure.
- Building Code Requirement for Structural Concrete ACI-318-2011.
- Calavera, J. (1996). *Patología de Estructuras de hormigón Armado y Pretensado. Tomo II*. Barcelona, España: Instituto Técnico de Materiales y Construcciones-INTEMAC.
- Concrete Repair Guide ACI 546R-96
- Landeta, J. (1999). *El Método DELPHI: una técnica de previsión para la incertidumbre*. Barcelona: Ariel
- Díaz, M, et al. (1996). *Diseño curricular para un curso de patología y rehabilitación de estructuras de hormigón*. (Tesis inédita de maestría). Universidad de Medellín. Colombia.
- Eichler, F. (1978). *Patología de la Construcción. Detalles constructivos*. España: Blume.
- Elguero, A. (2004). *Patologías Elementales*. Argentina: Nobuko.
- *Federal Emergency Management Agency FEMA (2000), FEMA-154*.
- Guide for Evaluation of Concrete Structures Prior to Rehabilitation ACI 364.1R-94
- Helene, P. (2007). *Rehabilitación y mantenimiento de estructuras de concreto*. Sao Paulo: SIKA.
- Mena, M. (2007). *Optimización de los criterios de inspección y evaluación técnica de edificaciones asegurables*. (Tesis inédita de maestría). Universidad Nacional: Bogotá D.C.
- Monjo, J. (1997). *Patología de cerramientos y acabados arquitectónicos*. Madrid: Munilla-Leria.
- Monk. F. (2004, agosto). Diseño y aplicación de métodos para evaluar patologías constructivas en el hábitat rural. *Arquitectura de tierra en el*

Noroeste Argentino. En *Boletín del Instituto de Vivienda*, Chile, p.051.

- Muñoz, H. (2001). *Seminario de evaluación de patologías en estructuras de concreto*. Bogotá: ASOCRETO.
- Pazini, E. (2011, septiembre-octubre). Una vida dedicada a la patología y rehabilitación de estructuras de concreto: Enio Pazinini Figueredo. *Noticreto*, (108), 16.
- Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo- Resistentes. NSR-10. 2010. Bogotá D.C.
- *Diccionario de la lengua española* (1983). Real Academia Española. Vol.19, Madrid, Espasa-Calpe, S.A.
- Sociedad Americana de Ensayos y Materiales -ASTM – E 632/82
- Triana, J., Mayorca, I. & Martínez, G. (2010). *Estado del arte de la patología de la construcción en Colombia a partir de los trabajos profesionales integrados, TPI*. Bogotá D.C., Editorial Universidad Santo Tomas de Aquino.
- Zanni, E. (2008). *Patología de la construcción y restauración de obras arquitectónicas*. Argentina: Brujas.

Referencias Electrónicas disponibles en:

- *Cámara Colombiana de la Construcción. Colombia Construcción en Cifras*. (2012). Recuperado de < <http://camacol.co/node/4463>>.
- González, R. *Vida útil ponderada de edificaciones, Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica* (2005). Escuela de Ciencias Exactas y Naturales, San José, Costa Rica. Recuperado de <http://www.uaca.ac.cr/bv/ebooks/topografia/3.pdf>
- Arancibia, F. (2010, 7 diciembre) Mantenimiento y rehabilitación. Evaluación de las obras civiles. *Ingeniería y Construcción*. Recuperado de <<http://facingyconst.blogspot.com/2010/12/mantenimiento-y-rehabilitacion.html>>

- Asociación colombiana de ingeniería sísmica-AIS. Guía técnica para inspección de edificaciones después de un sismo. Manual de campo. (05, 2002). Bogotá D.C.: Fondo de prevención y atención de emergencias-FOPAE- Alcaldía Mayor de Bogotá. Recuperado de [http://www.aq.upm.es/habitabilidadbasica/docs/articulos/Guia\\_Tecnica.pdf](http://www.aq.upm.es/habitabilidadbasica/docs/articulos/Guia_Tecnica.pdf)