



Cartagena de indias D.T y C, junio 4 del 2015

Comité de investigaciones y proyectos de grado

Facultad de ingeniería

Programa de ingeniería civil

Cordial saludo,

Mediante la presente carta estamos remitiendo a ustedes el documento final de nuestro trabajo de grado titulado **“ESTUDIO PATOLÓGICO Y DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL CLAUSTRO DE LA MERCED DE CARTAGENA DE INDIAS”** para su respectiva aprobación.

Atentamente

CARLOS AUGUSTO LIMAS BUELVAS

Cód. 0210510027

DIEGO RODRÍGUEZ GONZÁLEZ

Cód. 0210420014



**ESTUDIO PATOLÓGICO Y DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL CLAUSTRO DE
LA MERCED DE CARTAGENA DE INDIAS**

Línea de investigación:

SEGURIDAD ESTRUCTURAL

Investigadores:

CARLOS AUGUSTO LIMAS BUELVAS

DIEGO ARMANDO RODRIGUEZ GONZALEZ

Grupo de investigación

ESCONPAT

Director

ING. WALBERTO RIVERA MARTINEZ

MSC. ESTRUCTURA

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
CARTAGENA D. T y C**

2015



**ESTUDIO PATOLÓGICO Y DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL CLAUSTRO DE
LA MERCED DE CARTAGENA DE INDIAS**

TRABAJO DE GRADO PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO CIVIL

Línea de investigación:

SEGURIDAD ESTRUCTURAL

Investigadores:

CARLOS AUGUSTO LIMAS BUELVAS

DIEGO ARMANDO RODRIGUEZ GONZALEZ

Director

ING. WALBERTO RIVERA MARTINEZ

MSC. ESTRUCTURA



**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
CARTAGENA D. T y C**

2015



TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN.....	11
2. INTRODUCCIÓN.....	13
3. MARCO DE REFERENCIA	16
3.1 PATOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	16
3.2 DURABILIDAD.....	16
3.3 CAUSAS DE ALTERACIÓN DE DURABILIDAD	17
3.3.1 Factores Intrínsecos.....	18
3.3.2 Factores por Extracción, Fabricación y Colocación.....	18
3.3.3 Factores Extrínsecos.....	18
3.4 LESIONES	19
3.4.1 Lesiones físicas	19
3.4.2 Lesiones mecánicas	23
3.4.3 Lesiones químicas	25
3.5 REPARACIÓN ESTRUCTURAL	27
3.5.1 INSPECCIÓN PRELIMINAR	27
3.5.2 INSPECCIÓN VISUAL DETALLADA.....	27
3.6 VULNERABILIDAD SÍSMICA.....	28
3.6.1 ESTUDIOS DE VULNERABILIDAD SISMICA	28
3.6.2 MÉTODO NSR-10.....	30
3.6.3 DETERMINACIÓN DE LAS SOLICITACIONES SÍSMICAS DE ACUERDO CON EL REGLAMENTO DE CONSTRUCCIÓN SISMO-RESISTENTE, NSR-10.	31
3.7.4 Índice de Sobre esfuerzo.	37
3.7 ARQUITECTURA REPUBLICANA EN CARTAGENA	38
3.8 ESTADO DEL ARTE.....	41
3.9 ÁMBITO INTERNACIONAL.....	41
3.10 ÁMBITO NACIONAL Y LOCAL.....	44
3.11 TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN RELACIONADOS CON EL ESTUDIO DE LAS TÉCNICAS Y MATERIALES IMPLEMENTADOS PARA LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE CONSTRUCCIONES ANTIGUAS EN LA CIUDAD DE CARTAGENA.....	46



4.	OBJETIVOS Y ALCANCES.....	49
4.1	OBJETIVO GENERAL.....	49
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICO.....	49
4.3	ALCANCES.....	50
5.	METODOLOGÍA.....	52
5.1	RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN PRIMARIA.....	53
5.2	RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA.....	54
6.3	LEVANTAMIENTO ARQUITECTÓNICO DEL CLAUSTRO DE LA MERCED.....	55
5.4	DIAGNOSTICO PRELIMINAR.....	55
5.4.1	DIAGNOSTICO DETALLADO.....	56
5.5	ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA.....	57
5.5.1	Construcción del modelo.....	57
5.5.2	Asignación de cargas al modelo.....	59
5.5.2.1	Determinación del espectro sísmico.....	60
5.5.3	Asignación de restricciones.....	61
5.5.4	Ejecución del análisis de vulnerabilidad.....	61
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	63
6.1	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ZONA DE ESTUDIO.....	64
6.2	ESTUDIO PATOLOGICO DEL CLAUSTRO DE LA MERCED DE CARTAGENA DE INDIAS.....	66
6.2.1	Descripción de Elementos Constructivos e Instalaciones del Claustro de la Merced de Cartagena de Indias.....	67
6.2.2	Identificación y Localización de patologías en el Claustro de la Merced de Cartagena de Indias.....	79
6.3	ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL CLAUSTRO DE LA MERCED DE CARTAGENA DE INDIAS.....	108
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	122
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	125



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3-1. Algunos agentes físicos agresores en edificios. Fuente: Carles Broto i Comerma 2006.	19
Figura 3-2. Humedades más habituales en edificaciones. Fuente: Carles Broto i Comerma 2006.	20
Figura 3-3 Movimientos higrotérmicos. Fuente: Carles Broto i Comerma, 2006.	22
Figura 3-4. Estudio detallado Vulnerabilidad de una edificación.	29
Figura 3-5 Espectro elástico de aceleraciones de diseño como fracción de g. Fuente: NSR 10- Titulo A.2.6-1	35
Figura 4-1 Ubicación geográfica del Claustro de la Merced de Cartagena de Indias.	50
Figura 5-1 . Ejes de Estudios.	53
Figura 5-2 Espectro Sísmico.	61
Figura 6-1 Ubicación del claustro de la Merced Fuente: Adaptadas Google Earth.	64
Figura 6-2 Ubicación geográfica de la ciudad de Cartagena de indias. Fuente: Imágenes Google.	65
Figura 6-3 Ficha técnica patologías, clasificación de daño pisos adoquinado.	81
Figura 6-4 Ficha técnica patologías, clasificación de daño pisos cemento pulido.	83
Figura 6-5 Ficha técnica patologías, clasificación de daño piso de baldosa colonial.	87
Figura 6-6 Ficha técnica patologías, clasificación de daño entrepiso.	94
Figura 6-7 Ficha técnica patologías, clasificación de daño muros.	99
Figura. 6-8 Ficha técnica patologías, clasificación de daño cubierta.	102
Figura. 6-9 Ficha técnica patologías, clasificación de daño fachada.	107
Figura 6-10 Esfuerzos muro 1	111
Figura 6-11 Esfuerzos muro 2	112



Figura 6-12 Esfuerzos muro 3.....	113
Figura 6-13 Esfuerzos muro 4.....	114
Figura 6-14 Esfuerzos Muro 5.	115
Figura 6-15 Esfuerzos muro 6.....	116
Figura 6-16 Esfuerzos muro 7.....	117
Figura 6-17 Esfuerzos muro 8.....	118
Figura 6-18 Esfuerzos entrepisos.	119



ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 3-1 Supresión (Arquitectura de nueva planta). Fuente: Arquitectura religiosa en Cartagena de indias. Alzamora, Cassab 1991.	39
Ilustración 3-2 Yuxtaposicion Fuente: Arquitectura religiosa en Cartagena de indias. Alzamora, Cassab 1991.	40
Ilustración 3-3 . Fachada Edificio del Ministerio de Salud de la Nación (Argentina).....	42
Ilustración 5-1 Construcción del modelo, vista isométrica Fuente: MIDAS GEM.....	58
Ilustración 5-2 Construcción del modelo, vista planta Fuente: MIDAS GEM	58
Ilustración 6-1 Muros portantes tableta militar tipo III. Fuente Autores	72
Ilustración 6-2 Cubierta azotea o terraza. Izquierda cubierta impermeabilizada con tela asfáltica. Derecha conformación estructural de la cubierta. Fuente Autores.....	75
Ilustración 6-3 Fachada principal del Claustro de la Merced Fuente: Trabajo de Grado. Arquitectura religiosa colonial en Cartagena de Indias. Por L. Cassab.	77
Ilustración 6-4 Fachada lateral. Fuente: Trabajo de Grado. Arquitectura religiosa colonial en Cartagena de Indias. Por L. Cassab.....	78
Ilustración 6-5 Fachada posterior. Fuente: Trabajo de Grado. Arquitectura religiosa colonial en Cartagena de Indias. Por L. Cassab.	79



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1 Dilatación longitudinal en milímetros de piezas de 1 metro de largo de distintos materiales al experimentar una variación térmica e 30°C (BROTO I. COMERMA Enciclopedia)	22
Tabla 3-2 Valores de Aa y Av según las regiones de las figuras A.2.3-2 y A.2.3-3 (NSR-10)).....	32
Tabla 3-3 Valores de Ae según las regiones de la figura A.10-3-1 (NSR-10).....	33
Tabla 3-4 Valores de los coeficientes de importancia según el grupo de uso.	34
Tabla 5-1 Propiedades de los materiales.....	59
Tabla 5-2 Parámetros Sísmicos del Proyecto.	60
Tabla 6-1 Parámetros para el cálculo del periodo de la estructura.	108
Tabla 6-2 Calculo de cortante vasal.	108
Tabla 6-3 Chequeo de derivas.....	109
Tabla 6-4 ESFUERZOS OBTENIDOS DEL ANALISIS DEL MODELO EN Ton/m2.	119
Tabla 6-5 SOBRESFUERZOS OBTENIDOS EN LOS MUROS DE LA ESTRUCTURA EN Ton/m2	120



LÍNEA DE INVESTIGACIÓN Y ÁREA TEMÁTICA

El proyecto de investigación “**ESTUDIO PATOLÓGICO Y DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL CLAUSTRO DE LA MERCED DE CARTAGENA DE INDIAS.**”, se enmarca dentro de la Sub-línea “**Reforzamiento, Vulnerabilidad y Patología de las Estructuras**”, de la línea de investigación “**Seguridad Estructural**”, perteneciente al Grupo de Investigación *ESCONPAT*. El proyecto se justifica dentro de esta línea de investigación porque involucra un estudio específico de evaluación y diagnóstico patológico de estructuras.



1. RESUMEN

El presente estudio tiene por objetivo realizar una evaluación, diagnóstico patológico y análisis de vulnerabilidad sísmica del Claustro de la Merced de Cartagena de Indias. La importancia del estudio está en la necesidad de conocer el estado actual del Claustro y el comportamiento estructural de la edificación tomando como referencia la norma sismo resistente colombiana NSR 10. Para la evaluación de la edificación se llevaron a cabo diferentes procedimientos, entre ellos, levantamientos fotográfico y mapeo de las patologías encontradas, lo cual permitió el análisis detallado de las zonas de mayor afectación y mediante una revisión bibliográfica utilizando los estudios realizados en la tesis “*Propiedades Mecánicas de la Mampostería Tipo III de edificaciones en la ciudad de Cartagena de indias*” de donde se tomaron las propiedades mecánicas de los muros tipo tableta militar-argamasa presentes en el claustro. Una vez recopilada la información primaria se procedió a la modelación de la edificación en el software estructural MIDAS GEN utilizando el método dinámico elástico para el análisis de vulnerabilidad sísmica. Mediante este estudio se pudo determinar que la estructura del Claustro no cumple con los parámetros establecidos en la norma NSR10, pues los índices de sobre esfuerzo encontrados superan a los establecidos en esta. De igual manera se pudo determinar que la zona de mayor afectación en cuanto a patologías es el entrepiso, en donde las condiciones climáticas agresivas de la zona han afectado en gran proporción los elementos estructurales que lo conforman. Con este proyecto se busca caracterizar las patologías de la estructura, y determinar la vulnerabilidad sísmica que pueda presentar esta edificación. Ante estos resultados observados en el levantamiento patológico, se concluye la necesidad de realizar una reparación en placas. Otros elementos como muros y pisos no requieren acciones inmediatas pero si mantenimiento para su conservación.

Palabras claves: Estudio patológico, Edificación Republicana, Vulnerabilidad Sísmica, Diagnostico patológico, Patologías estructurales, Restauración.



ABSTRACT

The present study aims to conduct an assessment, diagnosis and pathologic analysis of seismic vulnerability of the Cloister of Mercy of Cartagena de Indias. The importance of the study is the need to know the current status of the Senate and the structural behavior of the building by reference to the Colombian earthquake resistant standard NSR 10. For the evaluation of the building were carried out various methods, including surveys photographic and mapping of the pathologies encountered, allowing the detailed analysis most affected areas and through a literature review using studies in the thesis "Mechanical Properties of Type III masonry buildings in the city of Cartagena de Indias" where the mechanical properties of the type tablet military-mortar walls present in the cloister were taken. After gathering the primary information we proceeded to the modeling of the building in structural software MIDAS GEN using dynamic elastic method for analyzing seismic vulnerability. Through this study it was determined that the structure of the Cloister not meet the standards established in the NSR10 standard rates for overexertion found outnumber those in this. Similarly it was determined that the area most affected in terms of pathologies is it mezzanine, where aggressive climatic conditions of the area affected to a great extent the structural elements that comprise it. This project seeks to outline the conditions of the structure, and determine the seismic vulnerability that can present this building. Given these observed in pathological survey results, the need to perform a repair plates is concluded. Other elements such as walls and floors do not require immediate action but if I maintained for conservation.

Keywords: pathological study, Building Republicana, Seismic Vulnerability, pathological diagnosis, structural pathologies, Restoration.



2. INTRODUCCIÓN

El Claustro fue la sede de la orden de La Merced, sirvió de alojamiento a los religiosos que pasaban por la ciudad. La edificación fue comenzada hacia 1619 en el lugar que ocupó la ermita de El Humilladero y debido a su proximidad con el mar, sufrió a lo largo de su construcción varios retrasos ocasionados por vendavales y mares de leva que afectaron su estructura.

A partir de la gran crecida del mar de 1714, se comenzó a construir una escollera que evitó futuros problemas. En 1848 dejó de ser convento de La Merced, para servir de sede a la Escuela Normal y después pasó a ser sede del Tribunal Superior del Estado. En 1912, según Eduardo G. de Piñeres, ya se encontraba nuevamente en reconstrucción para ser adaptado como Palacio de Justicia. Luego fue sede por varios años de la Universidad Jorge Tadeo Lozano del Caribe y actualmente es sede de la Universidad de Cartagena.

El patrimonio histórico de un país está constituido por todos aquellos elementos tangibles e intangibles resultado de un proceso histórico en donde la reproducción de las ideas y del material se constituye en factores que identifican y diferencian a esa ciudad (Fernández, Guillermina). La conservación de este patrimonio histórico es uno de los objetivos de cualquier ciudad que pretenda mostrar a sus ciudadanos y visitantes estas riquezas arquitectónicas y culturales.

Colombia posee una gran riqueza cuantitativa y cualitativa que abarca desde los restos materiales de las civilizaciones prehispánicas hasta las manifestaciones arquitectónicas contemporáneas. En 1984 el centro histórico de la ciudad de Cartagena fue declarado patrimonio histórico y arquitectónico de la humanidad por la UNESCO, denominación que orienta a todos los ciudadanos en la obligación de velar por la adecuada conservación y funcionamiento de todo el patrimonio (Casas, Claustros, Murallas, Monumentos, etc.).

La ciudad de Cartagena de Indias cuenta con una gran variedad arquitectónica, de las que se destacan las estructuras militares, como murallas, baluartes y fuertes, también resalta la arquitectura presente en las calles, plazas y viviendas; y todos los templos, santuarios e iglesias



construidos a partir de las tradiciones españolas durante la época colonial y en el periodo republicano.

La conservación del patrimonio se rige por distintos criterios, de acuerdo a su clasificación y a los lineamientos aceptados a nivel nacional e internacional en la materia. El valor patrimonial de las edificaciones del centro histórico de Cartagena hace que su conservación constituya un reto de gran magnitud. La constitución de diferentes materiales en su estructura llena de incertidumbre su comportamiento estructural, ya que estas edificaciones están conformadas por muros de mampostería mixta. Debido a la importancia y el valor antes mencionado crea limitaciones para el patólogo, dado que algunos ensayos destructivos en su estructura no puedan ser realizados, y debe ser necesario el apoyo de la investigación en información de métodos y procesos aplicados a estructuras similares. Por eso las evaluaciones patológicas, acompañadas de ensayos no destructivos a las estructuras y apoyadas con software de análisis de elementos finitos y estructurales, son fundamentales en cualquier programa de intervención y conservación.

Su mantenimiento y preservación a través del tiempo tiene gran importancia. Por este motivo es necesario alargar la vida útil de estas edificaciones mediante la investigaciones de los problemas que estos presentan a nivel de su estructura, causados por el paso de los años, su uso y el medio ambiente que los rodea y de este modo realizar mantenimientos oportunos, de tal manera que se apliquen los conocimientos de punta acertados para la conservación de estos edificios y estructuras históricas

El claustro de la Merced uno de los principales representantes del periodo republicano se encuentra ubicado en el centro histórico de la ciudad de Cartagena de Indias en la Plaza de la Artillería, N° 38-40

La necesidad de realizar el estudio patológico y de vulnerabilidad sísmica se debe a los visibles problemas patológicos que se presentan, como lo son la corrosión del acero de refuerzo, el deterioro de la edificación ocasionados por factores físicos, químicos, el uso de esta y el medio ambiente que lo rodea. Estos problemas hacen necesario que se realice un monitoreo de manera oportuna al



Claustro para determinar en qué condiciones se encuentra, de tal manera que estas edificación se encuentre actualizada en cuanto a su seguridad estructural.

Mediante este documento se proponen pautas para la realización de futuros estudios que estén encaminados a la vulnerabilidad sísmica y patologías de edificaciones coloniales y republicanas

Esta investigación se encuentra encaminada en la línea de investigación de patología estructural del grupo de investigación ESCOPAT de la Universidad de Cartagena, se contó con la asesoría del Ingeniero Walberto Rivera Martínez, director del proyecto, quien cuenta con experiencia en cuanto a investigaciones y trabajos que tienen que ver con las evaluaciones patológicas y análisis de vulnerabilidad sísmica a edificaciones antiguas.



3. MARCO DE REFERENCIA

Para la realización del estudio patológico y vulnerabilidad sísmica del Claustro de la Merced de Cartagena de indias se tiene la necesidad de tener conceptos teóricos que permitan tener una fundamentación sobre los temas que se trata en este proyecto de grado por lo tanto a continuación se presentarán las teorías y conceptos en las cuales se apoyó su ejecución. Y dada la gran importancia que posee para la ciudad la conservación y mantenimiento del Patrimonio arquitectónico, ha sido constante el desarrollo de procesos de recuperación y restauración de estructuras y edificaciones antiguas, también se presenta una descripción básica de algunos trabajos de investigación relacionados con el estudio de las técnicas y materiales implementados para los procesos de restauración de construcciones antiguas en la ciudad de Cartagena.

3.1 PATOLOGÍA ESTRUCTURAL

Se define la patología estructural como el estudio del comportamiento de las estructuras cuando presentan evidencia de fallas o comportamiento defectuoso (enfermedades), investigando sus causas (diagnóstico) y planteando medidas correctivas (terapéuticas) para recuperar las condiciones de seguridad en el funcionamiento de la estructura.

3.2 DURABILIDAD

Se define la durabilidad como la Capacidad que tiene un elemento de comportarse satisfactoriamente a la acción del clima, a los agentes químicos, la erosión o cualquier otro proceso destructivo, manteniendo su forma original, su calidad y sus propiedades de servicio al estar expuesto al medio ambiente (SÁNCHEZ DE GUZMÁN).



Los Factores determinantes de la durabilidad son: Medio ambiente, materiales empleados, diseño y cálculo de la estructura, las practicas constructivas usadas, protección y curado.

3.3 CAUSAS DE ALTERACIÓN DE DURABILIDAD

El conjunto de agentes responsables del deterioro de un inmueble es tan amplio, que se hace necesaria su clasificación, que por practicidad se han agrupado en causas físicas, mecánicas y químicas. De igual forma, se han definido de acuerdo al modo de alteración de las estructuras, en factores intrínsecos, factores por extracción, fabricación y colocación y factores extrínsecos (BROTO I. COMERMA Enciclopedia).

Es importante recordar que para frenar todo proceso patológico en la estructura, es necesario identificar con claridad el tipo de afectación y sus causas, y así erradicar a estas últimas del inmueble enfermo. No es sustentable la idea de atacar una lesión si se desconoce el causal de ésta, debido a la poca eficacia del proceso, los altos costos que significarían los intentos de solucionar el problema y la extensión en tiempo del edificio intervenido. De esta forma, las lesiones se tienden a dividir en dos grupos según sus causas:

- **DIRECTAS:** Cuando son el origen inmediato del proceso patológico, como los esfuerzos mecánicos, agentes atmosféricos, contaminación, etc.
- **INDIRECTAS:** Cuando se trata de errores y defectos de diseño o ejecución. Son las que primero se deben tener en cuenta a la hora de prevenir (BROTO I. COMERMA Enciclopedia).



3.3.1 Factores Intrínsecos

Constantemente se aprecia que los daños en las edificaciones no solo obedecen a las características del clima local, sino también de los materiales y sus cualidades, como la resistencia, el aislamiento, la calidad, la durabilidad, el color, entre otros. De manera general, las cualidades tales materiales se dividen en:

- Esenciales, o Propiedades del material, bien sea su composición química, forma, etc.
- Circunstanciales, refiriéndose al comportamiento del material ante un evento, como lo son la resistencia mecánica ante solicitaciones de cargas, resistencia al fuego, entre otros.

Según el comportamiento, los materiales pueden subdividirse en:

- Elásticos, cuando son aptos de sufrir elongaciones y recuperar su forma y volumen inicial.
- Plásticos, cuando al ser sometidos a elongaciones, no son capaces de recuperar su forma y volumen original.
- Frágiles, cuando no son aptos de sufrir elongaciones y, por el contrario, su falla es súbita.

3.3.2 Factores por Extracción, Fabricación y Colocación

Son un conjunto de causantes que actúan entre el proceso de fabricación del material y su disposición final, entre los que se encuentran los fallos siguientes.

- Fallos durante la fabricación.
- Fallos de proyecto.
- Fallos de ejecución.
- Falta de mantenimiento.

3.3.3 Factores Extrínsecos

Son agresiones externas al inmueble que dependen del ambiente al que se someta la estructura, así como también de las acciones humanas sobre ella.



3.4 LESIONES

Se denomina lesión cualquier cambio adverso de los mecanismos normales, de las propiedades físicas o químicas o ambas en la superficie o en el interior del elemento generalmente a través de la separación de sus componentes (MUÑOZ, 2001.).

Las acciones que pueden producir las lesiones en una estructura son: Físicas, Biológicas, Mecánicas, Químicas. Entre las cuales se mencionarán las más relevantes para este proyecto.

3.4.1 Lesiones físicas

Se definen las lesiones físicas de acuerdo con la enciclopedia BROTO (BROTO I.)Como todas aquellas en las que la problemática patología se produce a causa de fenómenos físicos como heladas, condensaciones etc. y normalmente su evolución dependerá también de estos procesos físicos. Las causa físicas más comunes son:

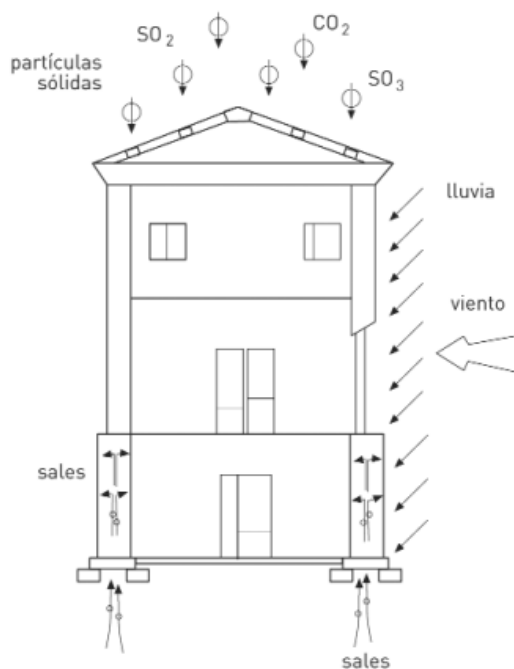


Figura 3-1. Algunos agentes físicos agresores en edificios. Fuente: Carles Broto i Comerma 2006.



- **Humedad**

Se produce cuando hay un porcentaje mayor al considerado como normal en un material o elemento constructivo. La humedad puede llegar a producir variaciones de las características físicas de dicho material. En función de las cuales podemos mencionar distintos tipos de humedades. Humedad de condensación, condensación superficial interior, condensación hidroscoópica, humedad accidental, humedad capilar, humedad de infiltración.

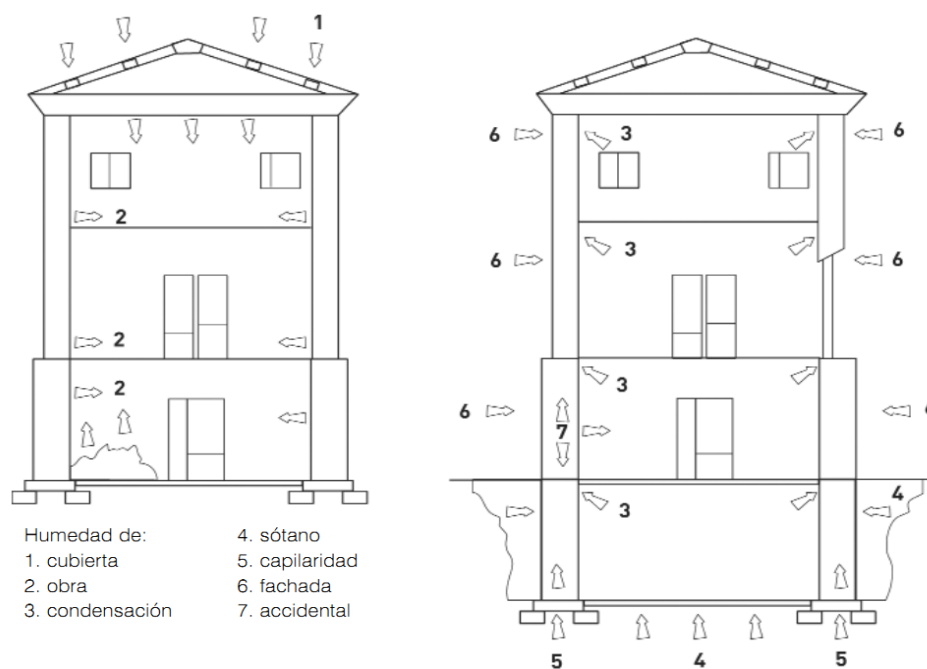


Figura 3-2. Humedades más habituales en edificaciones. Fuente: Carles Broto i Comerma 2006.



- **Erosión**

Es el resultado de la destrucción de los materiales a causa de agentes atmosféricos mediante proceso físicos, sin variar la composición química de estos. Los principales tipos de erosiones en materiales son los siguientes:

- Por el agua, que generalmente actúa en forma de lluvia. Con el tiempo, este agente se ha vuelto más dañino por el aumento de las cargas polucivas en las atmósferas urbanas. El fenómeno se da cuando, al golpear las gotas de lluvia en las fachadas y cubiertas, se genera un desgaste que con el tiempo podría generar desprendimientos y arrastre de partículas (MUÑOZ, 2001.)
- Por el sol, por las variaciones térmicas que producen alteraciones en el volumen o variaciones hidrotérmicas (contracción y retracción), induciendo tensiones internas en los elementos que pueden convertirse en grietas y fisuras. Este tipo de eventos son característicos en las grietas y fisuras en las maderas cuando ésta sufre una pérdida considerable de agua contenida en sus fibras (por evaporación) (MUÑOZ, 2001.)

Material	Mm
Mármol	0.15
Hormigón	0.3 – 0.4
Caliza	0.15
Granito	0.25
Mortero cal/arena	0.3 – 0.4



Ladrillo y terracota	0.15 – 0.20
Hierro	0.3
Vidrio	0.3
Aluminio	0.7
Resinas termoplásticas	1.5 – 3.0

Tabla 3-1 Dilatación longitudinal en milímetros de piezas de 1 metro de largo de distintos materiales al experimentar una variación térmica e 30°C (BROTO I. COMERMA Enciclopedia)

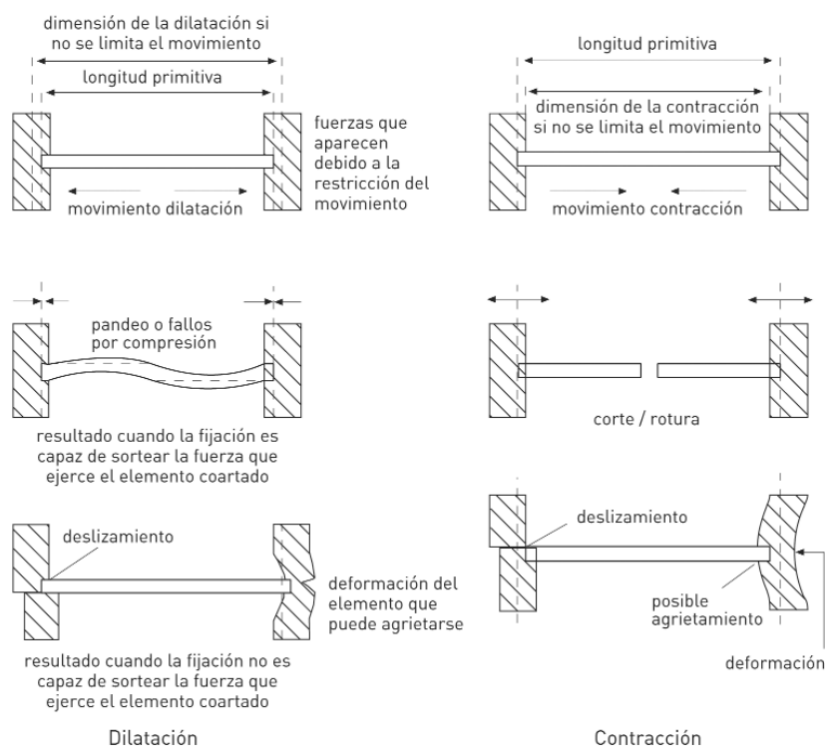


Figura 3-3 Movimientos higrotérmicos. Fuente: Carles Broto i Comerma, 2006.



Es importante tener en cuenta que los movimientos por variación del contenido de humedad son mayores en los exteriores del edificio, no estando exentos los materiales del interior de acuerdo al microclima. Además, tales variaciones dependerán del tipo de material

- Por el viento, el cual arrastra partículas sobre las superficies de modo que las desgasta. En el caso del lugar de estudio, el viento es un factor muy importante por las velocidades que se presentan por su cercanía al mar, además de las concentraciones de sales por su proximidad al cuerpo marítimo del Caribe. (BROTO I. COMERMA Enciclopedia)

Las zonas de mayor exposición a este agente son las partes altas, las esquinas y las zonas situadas detrás de obstáculos perpendiculares a la acción del viento por formación de remolinos eólicos.

- **Suciedad**

Es el depósito de partículas en suspensión sobre la superficie de las fachadas. En algunos casos puede llegar a penetrar en los poros superficiales de dichas fachadas entre los diferentes tipos de suciedad podemos mencionar: **ensuciamiento por depósito** este es el producido por la simple acción de gravedad sobre las partículas en suspensión, **ensuciamiento por lavado diferencial** este es el producido por partículas que penetran en el poro superficial del material por acción del agua de lluvia y que tiene como consecuencia más característica los churretones que se ven habitualmente en las fachadas urbanas.

3.4.2 Lesiones mecánicas

Se define las lesiones mecánicas aquellas en las que predomina un factor mecánico que provoca movimiento, desgaste, abertura, o separaciones de materiales o elementos constructivos. Podemos dividir este tipo de lesiones en cinco apartados diferenciados (BROTO I.):



- **Deformaciones**

Son cualquier variación en la forma del material, sufrido tanto en el elemento estructural como de cerramiento y que son consecuencia de esfuerzos mecánicos, que a su vez se pueden producir durante la ejecución de una unidad o cuando ésta entrega carga. En estas lesiones diferenciales diferenciamos cuatro subgrupos que a su vez dan origen a lesiones secundarias como fisuras, grietas y desprendimientos

- **Grietas**

Se trata de aberturas longitudinales que afectan a todo el espesor de un elemento constructivo, estructural. Y en función del tipo de esfuerzos mecánicos que las originan se distinguen:

Por exceso de carga: Son las grietas que afectan a elementos estructurales al ser sometidos a las cargas para las que no estaban diseñados. Este tipo de grietas requieren, generalmente, un refuerzo para mantener la seguridad de la unidad constructiva

Por dilatación o contracciones hidrotérmicas: son las grietas que afectan sobre todo a elementos de cerramientos de fachadas o cubiertas, pero que también pueden afectar a las estructuras cuando no se prevén las juntas de dilatación.

- **Fisuras**

Son aberturas longitudinales que afectan a la superficie o al acabado de un elemento estructural, aunque su sintomatología es similar a la de las grietas, su origen y evolución son distintos y en algunos casos se consideran etapa previa a la aparición de las grietas. En el caso del hormigón armado, que gracias a su armadura tiene la capacidad para retener los movimientos deformantes y logran que sean fisuras lo que en el caso de un elemento no reforzado terminaría siendo una grieta. Se subdividen las fisuras en dos grupos:

Reflejo del soporte: es la fisura que se produce sobre el soporte cuando se da una discontinuidad constructiva, por una junta, por falta de adherencia o por deformación, cuando el soporte es sometido a un movimiento que no puede resistir.



Inherente al acabado: en este caso la fisura se produce por movimientos de dilatación-contracción, en el caso de los chapados y de los alicatados, y por retracción, en el caso de morteros.

- **Desprendimientos**

Es la separación entre un material de acabado y el soporte al que está aplicado por falta de adherencia entre ambos, y suele producirse como consecuencia de otras lesiones previas, como humedades, deformaciones o grietas. Los desprendimientos afectan tanto a los acabados continuos como a los acabados por elementos, a los que hay que presentar una atención especial porque representan un peligro para la seguridad del viandante.

3.4.3 Lesiones químicas

Son lesiones que producen patologías de carácter químico, y aunque este no tiene relación alguna con los restantes procesos patológicos y sus lesiones correspondientes, su sintomatología en muchas ocasiones se confunde.

El origen de las lesiones químicas suele ser la presencia de sales, ácidos o álcalis que reaccionan provocando descomposición que afecta la integridad del material y reduce su durabilidad (BROTO I.).

- **Eflorescencia**

Depósito de sales, usualmente blancas que se forman en las superficies. En muchos casos estas irregularidades en el color, las cuales generalmente son descritas como decoloración se pueden atribuir a la eflorescencia del calcio (BUCHNER). Ocurre cuando la humedad disuelve las sales en el concreto y las lleva a través de la acción capilar hacia la superficie. Cuando se evapora la humedad, deja tras de sí un depósito de mineral. Aunque la eflorescencia no es un problema estructural, puede ser estéticamente objetable.



- **Oxidación**

Es la transformación de los metales en óxido al entrar en contacto con el oxígeno. La superficie del metal puro o en aleación tiende a transformarse en óxido que es químicamente más estable, y de este modo protege al resto de material de la acción del oxígeno.

- **Picaduras**

Desarrollo de cavidades relativamente pequeñas en la superficie debido a fenómenos tales como la corrosión o cavitación o desintegración localizada. El picado está caracterizado por la aparición de pequeños puntos de óxido fácilmente observables en áreas poco afectadas por la corrosión

- **Corrosión**

Desintegración o deterioro del concreto o del refuerzo por el fenómeno electroquímico de la corrosión. La corrosión del hormigón por agentes químicos suele ser la que mayores daños ocasiona en las estructuras. La durabilidad de un hormigón se puede medir por la velocidad con la que el mismo se descompone como resultado de acciones químicas. En la mayor parte de los casos, el ataque de los agentes agresivos químicos se produce sobre el cemento; en otras ocasiones el ataque se producirá sobre los áridos. Las diferentes acciones de tipo químico que se producen en el hormigón se pueden ser: ataque por sulfatos, cloruros, carbonatos y otros iones; ataque por ácidos; reacción árido-álcalis; re-acción en áridos con sulfuros susceptibles de oxidarse, etc.



3.5 REPARACIÓN ESTRUCTURAL

Medidas correctivas para recobrar el nivel de servicio original o mejorar el comportamiento de las estructuras que presentan evidencia de fallas.

3.5.1 INSPECCIÓN PRELIMINAR

Se trata de recorrer el inmueble y mediante una fundamentada observación formarse una idea clara y precisa del estado general y evaluar el tipo de problemas que la afectan (MUÑOZ, 2001.). Tiene como propósito evaluar de manera inicial las condiciones en que se encuentra la Edificación. En la inspección preliminar se reporta la apariencia general de los daños, áreas afectadas, tipos de grieta visibles, situación de los puntos más importantes del elemento o la estructura (PANOZCO).

3.5.2 INSPECCIÓN VISUAL DETALLADA

Es una evaluación minuciosa de la estructura; esta se realiza después de haber ubicado las zonas afectadas por fallas y deterioros estructurales. En esta se lleva a cabo la caracterización de las patologías a través de distintos ensayos.

Con la inspección visual detallada se obtendrá un levantamiento gráfico de las patologías en la edificación. El propósito de realizar un detallado inventario de los daños mediante un levantamiento gráfico, es determinar el grado de compromiso de la estructura por tales efectos, además permite la cuantificación de la rehabilitación (MUÑOZ, 2001.). La realización de este levantamiento grafico se hace después de la elaboración de planos de la estructura a escala. Con los planos se realiza un detallado levantamiento de daños transcribiendo en ellos todas las afectaciones que presente la edificación. Se deben efectuar las anotaciones lo más precisas posibles indicando el área afectada,



la longitud que cubre el daño, tamaño de las fisuras, características principales, zonas de humedades y manifestaciones externas de daño.

3.6 VULNERABILIDAD SÍSMICA

La vulnerabilidad sísmica es la cuantificación del potencial de mal comportamiento de una estructura respecto a una sollicitación de fuerzas sísmicas. Es decir mediante los estudios de vulnerabilidad sísmica se pondera la predisposición intrínseca de una estructura, grupo de estructuras, o zona urbana a sufrir daños ante la ocurrencia de un movimiento sísmico (Nilson).

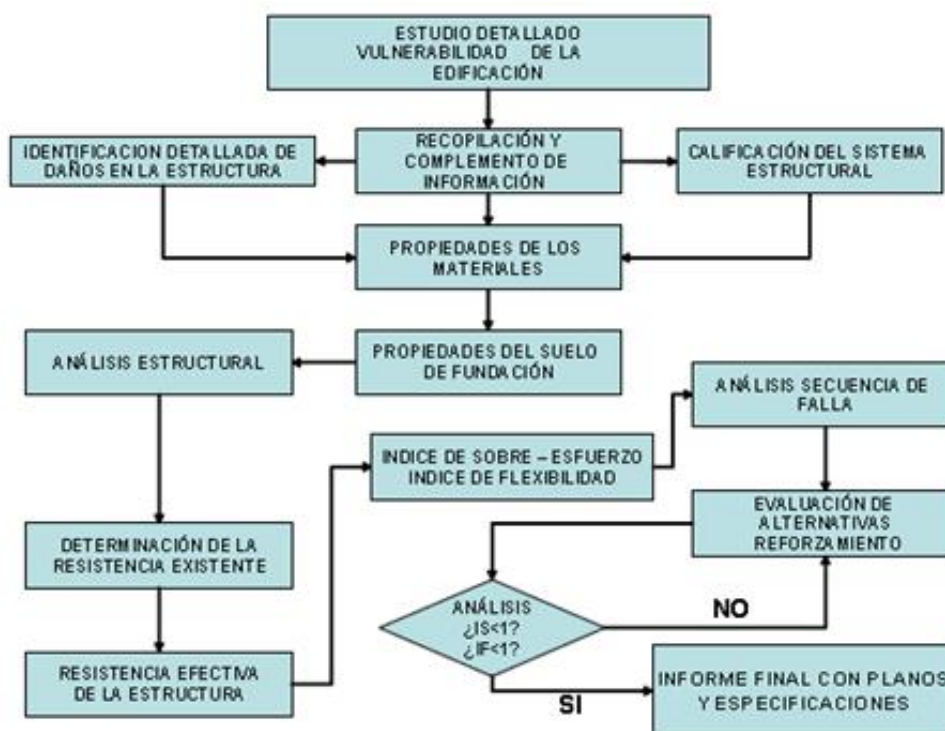
3.6.1 ESTUDIOS DE VULNERABILIDAD SISMICA

Para la determinación de la vulnerabilidad sísmica existen varios procedimientos, cuya elección depende del grado de precisión que se necesite para la estructura en análisis, aunque la tendencia actual concentra los esfuerzos en desarrollar métodos de análisis, evaluación y diseño simples y fáciles de implementar. Es así como existen métodos elásticos e inelásticos. Los métodos elásticos disponibles, incluyen los procedimientos de la fuerza lateral estática, la fuerza lateral dinámica así como procedimientos lineales usando relaciones de capacidad y demanda establecidas en los códigos. Por otra parte, el principal análisis inelástico, es el análisis dinámico no lineal de estructuras, no obstante, a efectos prácticos y de diseño, resulta demasiado complejo y, por lo tanto, frecuentemente impracticable. De esta forma surgen los análisis estáticos no lineales, que permiten comprender mejor como trabajan las estructuras cuando entren en el rango inelástico (Nilson).



A continuación se presenta **figura. 3-4.** en la cual se muestra la metodología para la realización de un estudio de vulnerabilidad detallada.

Figura 3-4. Estudio detallado Vulnerabilidad de una edificación.



Fuente: Metodología para el estudio de la vulnerabilidad estructural de edificaciones (D. Fernández) (Moreno)



3.6.2 MÉTODO NSR-10.

La Norma de Diseño y Construcción Sismo-Resistente Colombiana NSR – 10 (Ley 400 de 1997, Decreto 33 de 1998), establece en el "Título A - requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente", del Capítulo A.10, los criterios para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones construidas antes de su vigencia. Este procedimiento tiene como finalidad comprobar si el comportamiento estructural de la edificación en su estado actual, sometida a solicitaciones sísmicas, satisface los requerimientos mínimos establecidos en la norma

El procedimiento consiste en la identificación de una serie de parámetros como el sistema estructural con que fue construida originalmente, el tipo de cimentación y las propiedades de los materiales utilizados, entre otros. Con toda la información obtenida de planos, si los hay, o de los levantamientos y exploraciones realizadas, se construye el modelo estructural de la edificación y se analiza matemáticamente su comportamiento dinámico, obteniendo como resultado las demandas de resistencia sísmica para los esfuerzos a que está sometida. Los resultados se comparan con los valores establecidos en la NSR-10, determinando las zonas o puntos más vulnerables de la edificación que pueden representar riesgo y que necesitan ser reforzados.

A continuación se resumen los pasos necesarios para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones existentes prescritos en la NSR-10 (NSR-10):

1. Recolección de información de la edificación (memorias, planos, etc.).
2. Inspección visual de la edificación y recolección de información.
3. Levantamiento de planos de la edificación, si no existen.
4. Identificación del sistema estructural.
5. Exploración y estudios de suelos.
6. Dimensiones de elementos estructurales y localización de refuerzos
7. Verificación de resistencia del hormigón.



8. Elaboración de un modelo estructural actual, el cual se analiza para las fuerzas sísmicas que el sismo de diseño imponga, en combinación con las fuerzas de gravedad, mayoradas de acuerdo con las combinaciones de carga.
9. Análisis matricial tridimensional (análisis elástico lineal).
10. Cálculo de demandas obtenidas y capacidades actuales calculadas en los elementos.
11. Determinación de los índices de sobre esfuerzo en los elementos y de las estructuras, para determinar puntos o zonas vulnerables.
12. Determinación de índices de flexibilidad de pisos y estructuras.

Finalmente, la vulnerabilidad se define como los inversos de los índices de sobre esfuerzos y flexibilidad. Los resultados obtenidos se comparan con lo que la norma exige para una edificación nueva.

3.6.3 DETERMINACIÓN DE LAS SOLICITACIONES SÍSMICAS DE ACUERDO CON EL REGLAMENTO DE CONSTRUCCIÓN SISMO-RESISTENTE, NSR-10.

Para el cálculo de las fuerzas sísmicas, se realizó un análisis dinámico elástico espectral, según lo establecido el capítulo A.5 MÉTODO DEL ANÁLISIS DINÁMICO. Con el objeto de verificar el comportamiento de una estructura durante un evento telúrico, ésta debe limitarse a una de las zonas de amenaza sísmica que estipula la norma NSR-10, además de utilizar para efectos del diseño los movimientos sísmicos estipulados en el TÍTULO A de dicho reglamento.

Estos movimientos sísmicos, presentados por la norma a través de una serie de acelerogramas o espectros que relacionan la aceleración y el periodo de la edificación, se encuentran definidos a partir de la aceleración pico efectiva y de la velocidad pico efectiva, los cuales se identifican en la norma por los parámetros **Aa** y **Av** respectivamente, para una probabilidad del 10% de ser



excedidos en un tiempo de 50 años. El valor de dichos parámetros puede ser determinado de acuerdo con las secciones A.2.2.2 y A.2.2.3 de la NSR-10.

Adicionalmente, la NSR-10 permite, de acuerdo con el CAPÍTULO A.10, determinar la vulnerabilidad de las estructuras construidas antes de la vigencia de dicha norma con un espectro reducido basado en movimientos sísmicos con seguridad limitada; los cuales se definen para una probabilidad del 20% de ser excedidos en un lapso de cincuenta años, en función de la aceleración pico efectiva reducida, representada por el parámetro A_e , cuyo valor se determina de acuerdo con las secciones A.10.3.2 y A.10.3.3 del reglamento.

Durante la presente investigación, se ejecutaron dos análisis independientes, uno por cada uno de los espectros establecidos por la norma. A continuación, se exponen una serie de parámetros importantes para el cálculo de las fuerzas sísmicas.

Los valores para estos parámetros dependerán de las zonas de amenaza sísmica que estipula la norma y se obtienen determinando el número de la región donde está ubicada la estructura usando las tablas correspondientes de la NSR-10.

Tabla 3-2 Valores de A_a y A_v según las regiones de las figuras A.2.3-2 y A.2.3-3 (NSR-10)

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



Tabla 3-3 Valores de A_e según las regiones de la figura A.10-3-1 (NSR-10)

Región N°	A_e
7	0.25 -0.28
6	0.21 -0.24
5	0.17 -0.20
4	0.13 -0.16
3	0.09 -0.12
2	0.05 -0.08
1	0.00 -0.04

Otro aspecto fundamental durante el cálculo de las fuerzas sísmica comprende la determinación de las características locales del suelo base que soporta la estructura. El procedimiento que se emplea para definir el tipo de perfil de suelo se basa en los valores de los parámetros del suelo de los 30 metros superiores del perfil, medidos en el sitio. La respuesta sísmica en determinada zona debe evaluarse en base a los estudios geotécnicos, de acuerdo a ello podemos obtener perfiles de suelo A, B, C, D, E y F; variando desde la roca competente (perfil A) hasta suelos susceptibles de falla y arcilla de muy alta plasticidad (perfil F). La caracterización de cada uno de los perfiles de suelo existentes puede consultarse en la Tabla A.2.4-1 del Reglamento.

Del tipo de suelo – al igual que de la aceleración y velocidad pico efectiva – dependen los factores de amplificación de la aceleración, F_a y F_v ; los cuales puede extraerse de las Tablas A.2.4-3 y A.2.4-4 de la NSR-10.

Por otra parte, el uso durante la vida útil de la estructura afecta significativamente la magnitud de la fuerza sísmica. La influencia del uso – representada por el Coeficiente de Importancia I – depende del grupo. La NSR-10 contempla 4 grupos, de los cuales el Grupo IV reviste mayor importancia y hace referencia a todas las edificaciones que deben funcionar durante y después de la ocurrencia de un sismo y cuya operación no puede ser trasladada de manera rápida a un lugar alterno, tales como hospitales y clínicas.



El Coeficiente de Importancia I modifica el espectro, y con ello las fuerzas de diseño, de acuerdo con el grupo de uso al que esté asignada la edificación. Los valores de los coeficientes de importancia se muestran en la Tabla 3-4

Finalmente, todos los parametros sismicos mencionados anteriormente se condensan en el espectro sismico de diseño. La forma del espectro elástico de aceleraciones (S_a) expresada como fracción de la gravedad, para un coeficiente de amortiguamiento crítico de cinco por ciento (5%), que se debe utilizar en el diseño se ilustra en la Figura 7 y se define por medio de la Ecuación 1.

$$S_a = \frac{1.2A_v F_v I}{T} \quad \text{[Ecuación 1]}$$

Sin embargo, para periodos de vibraciones menores de T_C , el valor de S_a puede limitarse a:

$$T_C = 0.48 \frac{A_v F_v}{A_a F_a} \quad \text{[Ecuación 2]}$$

$$S_a = 2.5 A_a F_a I \quad \text{[Ecuación 3]}$$

Tabla 3-4 Valores de los coeficientes de importancia según el grupo de uso.

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



Fuente: NSR-10-Título A. Tabla A.2.5-1

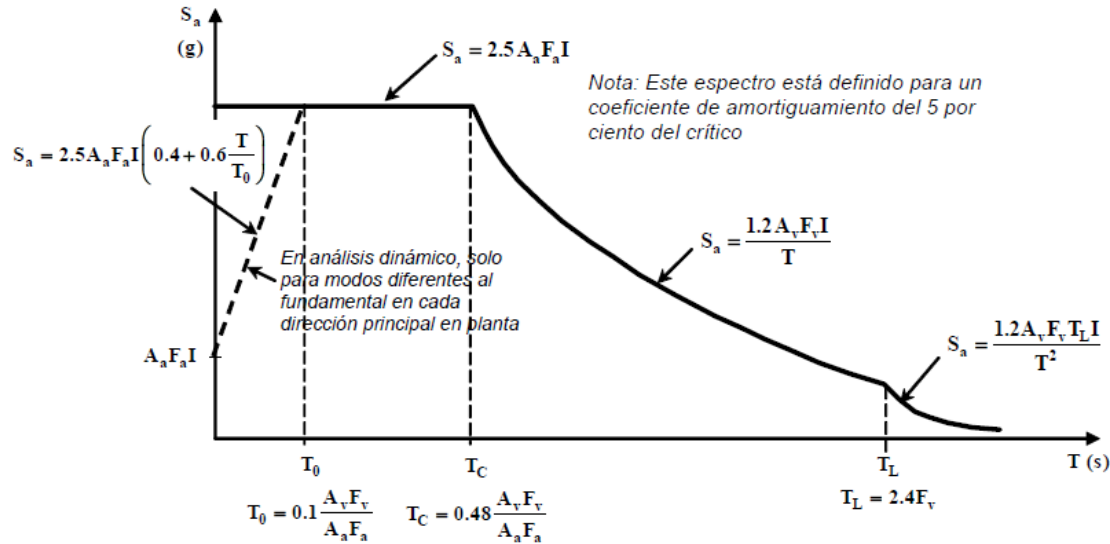


Figura 3-5 Espectro elástico de aceleraciones de diseño como fracción de g. Fuente: NSR 10-Título A.2.6-1

El periodo fundamental de la estructura es un dato de salida del programa MIDAS GEM después de realizar el análisis modal. Es necesario tener en cuenta que, según el Literal A.5.4: ANÁLISIS DINÁMICO ELÁSTICO ESPECTRAL, deben incluirse en el análisis dinámico todos los modos de vibración que contribuyan de una manera significativa a la respuesta dinámica de la estructura. Se considera que se ha cumplido este requisito cuando se demuestra que, con el número de modos empleados, se ha incluido en el cálculo de la respuesta, de cada una de las direcciones horizontales de análisis, por lo menos el 90 por ciento de la masa participante de la estructura.

Conociendo el periodo, es posible extraer S_a del espectro de diseño. Finalmente, el cortante basal de la estructura, V_s , puede determinarse de acuerdo con la siguiente ecuación.

$$V_s = S_a Mg \text{ [Ecuación 4]}$$



De igual forma, al introducir el espectro sísmico en SAP2000, el software calcula un cortante dinámico total en la base, V_t , para cada dirección de análisis. Durante este proyecto, se considerará V_t ; sin embargo, este cortante basal debe ajustarse cuando sea menor que el 80 por ciento para estructuras regulares, o que el 90 por ciento para estructura irregulares, del cortante sísmico en la base, V_s . El ajuste se realiza multiplicando V_t por el factor α correspondiente.

$$\alpha = 0.8V_s/V_t \text{ Estructuras regulares} \quad [\text{Ecuación 5a}]$$

$$\alpha = 0.9V_s/V_t \text{ Estructuras irregulares} \quad [\text{Ecuación 5b}]$$

3.10.1 Determinación de las solicitaciones no sísmicas.

Entre las solicitaciones diferentes a las cargas sísmicas que fueron incluidas en el modelo computacional, se incluye el peso propio de la estructura y las cargas procedentes del uso de la estructura.

El peso propio de la estructura depende del peso específico de los materiales constituyentes y es calculado automáticamente por el software MIDAS GEN. Adicionalmente, se consideró las cargas sobrepuestas debido al uso que tiene la edificación.



3.7.4 Índice de Sobre esfuerzo.

Posterior al análisis del modelo estructural, es necesario determinar la relación entre las sollicitaciones equivalentes y la resistencia efectiva de cada elemento de la edificación. Dicha relación se conoce como índice de sobre esfuerzo. En primer lugar, se determina el Índice de sobre esfuerzo de los elementos, el cual se refiere al índice de cada uno de los elementos estructurales individuales, y finalmente se calcula el Índice de sobre esfuerzo de la estructura, evaluando los elementos con un mayor índice de sobre esfuerzo individual y tomando en consideración su importancia dentro de la resistencia general de la estructura como un conjunto.

Para todos los elementos de la estructura y para todos los efectos tales como cortante, flexión, torsión, etc., debe dividirse el esfuerzo que se le exige al aplicarle las sollicitaciones equivalentes mayoradas de acuerdo con el procedimiento dado en el TÍTULO B del reglamento y para las combinaciones de carga dadas allí, por la resistencia efectiva del elemento. El índice de sobre esfuerzo para toda la estructura corresponderá al mayor valor obtenido de estos cocientes, entre los elementos que puedan poner en peligro la estabilidad general de la edificación.

Asimismo, la NSR-10 establece el Índice de Flexibilidad, el cual indica la susceptibilidad de la estructura a tener deflexiones o derivas excesivas, con respecto a las permitidas por la Norma Sismo Resistente NSR 10. Tiene dos acepciones: Índice de flexibilidad del piso, el cual se define como el cociente entre la deflexión o la deriva obtenida del análisis de la estructura, y la permitida por el reglamento, para cada uno de los pisos de la edificación; y el Índice de flexibilidad de la estructura, el cual se define como el mayor valor de los índices de flexibilidad de piso.



3.7 ARQUITECTURA REPUBLICANA EN CARTAGENA

El periodo republicano desarrollado en Cartagena entre las últimas décadas del siglo XIX y principios del siglo XX puede definirse como un movimiento artístico que posee como característica principal la libertad en la reutilización de estilos anteriores, el cual al haberse implantado en nuestra región ha de constituirse en el representante de una época, de nuestra historia y de nuestra identidad. Constituyéndose en parte de nuestra cultura.

Este arrollador sentimiento estético de origen puramente hispánico, el cual comienza a superponerse a las construcciones de tipo colonial, causando en muchos casos su degradación y demolición, para dar paso a nuevas obras. Nuevas ideas y materiales sirvieron para dar apariencia y estabilidad a las edificaciones desarrollando algunas posibilidades estructurales y decorativas diferentes de las tradicionales.

Gracias al libre comercio y mejoramiento en las comunicaciones, en este periodo, se permite la importación de nuevos productos como los son: el cemento, acero, vidrio, papel de colgadura, moldes para cielo raso, y demás elementos, que junto con el mejoramiento en las técnicas constructivas contribuyen con el desarrollo de esta arquitectura.

Un hecho fundamental fue el uso de cemento importado utilizado en la mampostería, entrepisos, columnas, tejas, baldosas, balaustres y demás elementos de alfarería.

Otras características constructivas que aparecen en este el periodo republicano son la implementación de acero de acero de refuerzo como material imprescindible en las construcciones (Hormigón Armado), la utilización del hierro forjado en rejas y barandas, el uso de arena salada en la mezcla del concreto, este material posteriormente demostró su mal comportamiento con el acero, ya que muchas edificaciones que la utilizaron demostraron fallas estructurales.

Las ideas urbanas traídas del extranjero se implantan en el centro histórico de Cartagena de diversas maneras, el hecho de encontrar una ciudad con un centro consolidado en la época colonial no fue un obstáculo para que estas ideas penetren en este sector. Las nuevas edificaciones se hicieron a un lado o sobres las antiguas, estas intervenciones se dan en edificaciones de diferentes géneros:



religiosas, institucionales y domésticas. Para un mejor entendimiento se clasifican estas intervenciones de la siguiente manera:

1. Supresión (Arquitectura de nueva planta)

Este tipo de intervención suprime parcialmente o totalmente la edificación colonial existente, para dar paso a una construcción con las siguientes características:

- a) La nueva edificación respeta el paramento y el perfil urbano en la mayoría de los casos.
- b) La edificación sigue los alineamientos espaciales de la construcción colonial, es decir, por lotes medianeros o de esquina sin aislamientos laterales, se retoma el concepto de patios interiores para la ventilación e iluminación.

Al igual que en las construcciones coloniales, todos los espacios se comunican entre sí, las puertas se colocan de manera central en relación al espacio.

- c) En lo constructivo se cambia el muro colonial por el de mampostería o fundido en concreto siendo estos últimos de menor sección, lo cual ofrece mayor amplitud en los espacios.
- d) El trazado de los espacios se vuelve más regularizado.

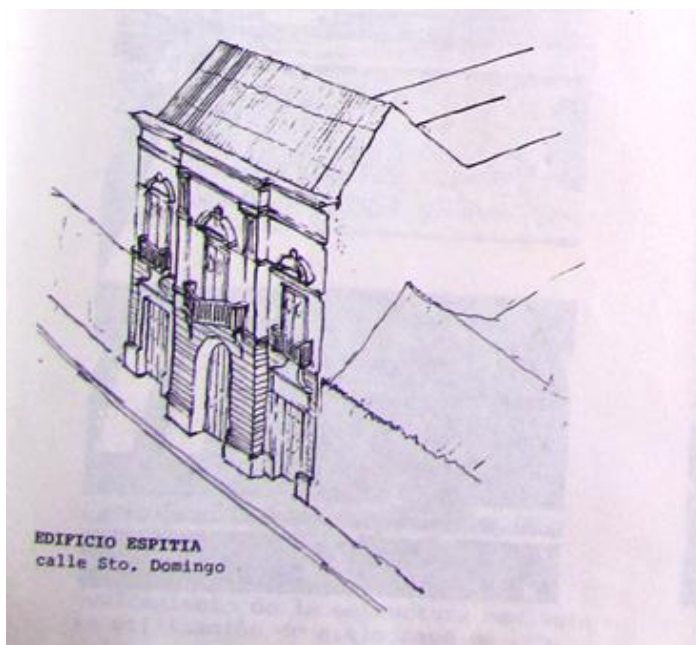


Ilustración 3-1 Supresión (Arquitectura de nueva planta). Fuente: Arquitectura religiosa en Cartagena de Indias. Alzamora, Cassab 1991.



2. Yuxtaposición:

En este tipo de implantación se conserva la traza y la estructura espacial de la edificación colonial, revistiéndola tanto en su interior como en su fachada con un maquillaje conformado por ciertos elementos, con los que se busca esconder todo rasgo de imperfección de la arquitectura colonial. Características de este tipo son ocultamiento de las estructuras en madera de la edificación mediante la utilización de cielos raso en madera o en cartón, resalte de vanos y remplazo de las portadas coloniales por arcos de medio punto con molduras y claves resaltadas, remplazo de balcones coloniales en madera y aleros en concreto armado. Decoraciones en alto y bajo relieve con guirnaldas, epigrañas, molduras, jarrones y símbolos que se adosan a la fachada para darle cierta gracia. Todas estas difusiones de elementos decorativos estuvieron favorecidas por la disponibilidad de moldes y materiales que como el yeso, hacían posible su producción en serie.

Interiormente las edificaciones conservan su disposición tipo claustro, el patio interior ocasionalmente es embellecido por fuentes y texturas.

Al exterior la edificación conserva las proporciones de las viviendas coloniales, en la mayoría de los casos reemplaza los elementos en madera por otros prefabricados.

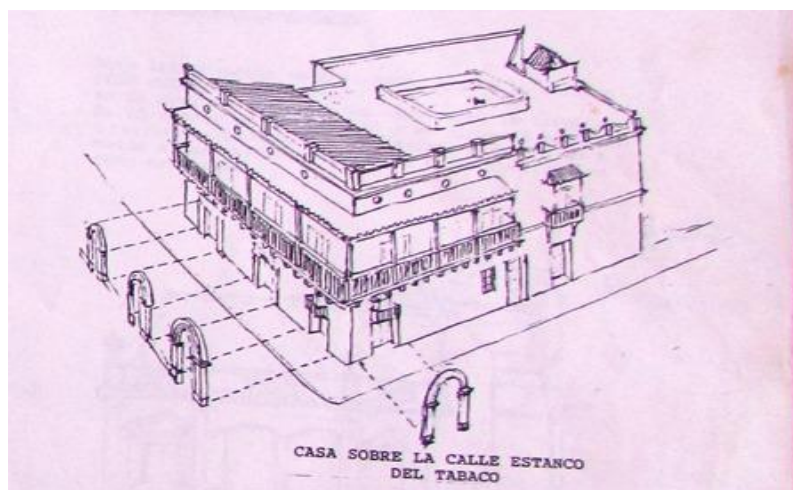


Ilustración 3-2 Yuxtaposición Fuente: Arquitectura religiosa en Cartagena de Indias. Alzamora, Cassab 1991.



3.8 ESTADO DEL ARTE

Los problemas patológicos se presentan desde la misma aparición de los materiales de construcción, en general los estudios patológicos del concreto reforzado son relativamente nuevos.

Autores como Fernández Cánovas 1998 (FERNANDEZ CÁNOVAS, 1998) indican que surgimiento de dichos estudios se dio en la década del sesenta, con la crisis económica mundial. Sin embargo los avances en el tema han sido significativos, pues los ingenieros han utilizado rigurosamente la metodología científica, logrando con esto el perfeccionamiento de las técnicas de diagnóstico, evaluación e intervención de las estructuras. Al mismo tiempo se fue generando la literatura respectiva y hoy en día se ha convertido en una asignatura en las facultades de Ingeniería.

La patología del concreto es una disciplina, que a través de un proceso sistemático y ordenado, permite elaborar un diagnóstico, mediante el cual se emite un pronóstico del comportamiento de la estructura, bajo las condiciones de servicio esperadas hacia el futuro (SANCHEZ DE GUZMAN, 2003). A partir de este procedimiento, se realiza una evaluación de la estructura, que llevará finalmente a la intervención de la misma. Es así como se desprenden unas etapas claramente definidas dentro de estos estudios, como son el Diagnóstico, la Evaluación y la Intervención.

3.9 ÁMBITO INTERNACIONAL

En cuanto a estudios patológicos y de vulnerabilidad sísmica en edificios que tienen gran relevancia por poseer un valor histórico, este tipo de edificaciones representan un reto ya que no fueron realizadas con base en normativas como es el caso de las edificaciones actuales y no es fácil determinar la composición precisa de sus materiales. Debido a esto requieren una mayor rigurosidad en cuanto a su estudio. Muchos investigadores alrededor del mundo han proporcionado nuevas técnicas y procedimientos para el estudio de estas edificaciones y aprovechando estas literaturas, que han venido creciendo a través de los últimos años trayendo consigo nuevas técnicas y procedimientos y enriqueciendo así un gran marco teórico sobre el tema de la patología y



vulnerabilidad sísmica. Basándose en estos conocimientos en la Universidad Nacional de Salta (Argentina) se realizó una Evaluación y diagnóstico de patologías de un edificio patrimonial del Ministerio de Salud de la Nación (Argentina) Susana B. Gea 2006 (Susana B. Gea, 2006) Este proyecto se basaba en el estudio y diagnóstico de las patologías que afectaron a un edificio del Ministerio de Salud de la Nación, constituyendo la primera etapa en el proyecto de refuerzo y rehabilitación de dicho edificio. Su estructura está constituida por elementos de hormigón armado y mampostería de relleno, fue construido en la década de 1930 en la ciudad de Salta, Argentina y es considerado de valor patrimonial. El estudio de la estructura se realizó por medio de ensayos no destructivos. A partir del diagnóstico de daños y del estudio de las características de fundación y del terreno.

Teniendo en cuenta las propiedades mecánicas y características geométricas de la estructura, se realizó la modelación numérica tridimensional con elementos finitos.

A continuación véase figura1. Fachada Edificio del Ministerio de Salud de la Nación (Argentina)

Ilustración 3-3 . Fachada Edificio del Ministerio de Salud de la Nación (Argentina)



Fuente: Evaluación y diagnóstico de patologías de un edificio patrimonial del ministerio de salud de la nación (argentina) (Gea, Nallin, .2006)



Fueron realizados los planos arquitectónicos del edificio y el estudio de las características mecánicas del terreno. Simultáneamente se realizó el estudio de tipologías de materiales y ubicación de elementos resistentes: cimientos bajo muros y bajo columnas, mampostería y estructura de hormigón armado, acero y madera. Se volcó en planos los patrones de fisuración y otras patologías (humedad, hundimientos, deformaciones, entre otros) Se ensayaron en laboratorio a compresión muestras de las unidades de mampostería (ladrillos macizos) y a tracción por compresión diametral testigos de mampostería.

La calidad del hormigón de las columnas fue evaluada mediante esclerometría, presentando una gran dispersión en las resistencias obtenidas. El acero empleado en el hormigón está constituido por barras lisas de acero dulce. A fin de analizar el comportamiento de la estructura bajo cargas gravitatorias y sobrecargas de servicio y evaluar las características dinámicas de la misma, se procedió a realizar una modelación numérico computacional con los datos obtenidos en las auscultaciones realizadas. El análisis se llevó a cabo utilizando el programa SAP 2000 versión 10.1 CSI 2005 (CSI, 2005) de cálculo estructural basado en el método de elementos finitos. Se efectuó además la evaluación cualitativa de la vulnerabilidad sísmica estructural del edificio, por medio de los métodos japonés Hirosawa 1992 (Hirosawa, 1992) y de Shiga, 1977, ambos adaptados a las construcciones locales Gea, Passamai y Trigona 1998 (Gea, Passamai, & Trigona, 1998), Boroschek 1995 (Boroschek, 1995) .

El objetivo fundamental de este análisis fue corroborar el diagnóstico efectuado en primera instancia, ya que las alternativas para la propuesta de refuerzo y rehabilitación dependen de la precisión del diagnóstico realizado, tanto en lo que se refiere al estado de situación actual como a las causas y la probable evolución de los daños. La modelación numérica permitió no sólo corroborar la hipótesis preliminar sino también estudiar la secuencia de daños en el tiempo de manera cualitativa y cuantitativa, como también los niveles tensionales alcanzados en las distintas etapas de asentamientos diferenciales y las consecuentes redistribuciones de cargas. A partir de estas consideraciones se destaca que el uso de un software comercial accesible en cuanto a su manejo resulta un útil e importante complemento para este tipo de análisis.



En otros estudios relacionados con la vulnerabilidad sísmica en edificios históricos se encuentra el trabajo realizado por Betti y Vignoli (Betti & Vignoli, 2011) que analiza el comportamiento estático y la vulnerabilidad sísmica de la Basílica de Santa María all'Impruneta cerca de Florencia (Italia). El comportamiento estructural estático y las propiedades dinámicas de la iglesia, se ha evaluado el uso de la técnica de modelado de elementos finitos, donde el comportamiento no lineal de la mampostería se ha tenido en cuenta por los supuestos constitutivos adecuados. La Vulnerabilidad sísmica se ha evaluado utilizando un análisis pushover, y los resultados obtenidos con el modelo numérico no lineal se han comparado con los esquemas simplificados de análisis de límite. La capacidad de la iglesia para resistir cargas laterales se evalúa junto con las demandas esperadas como resultado de acciones sísmicas. La comparación de la demanda sísmica frente a la capacidad confirma la susceptibilidad de este tipo de edificios a grandes daños y colapso, como se observa con frecuencia en edificios similares. El objetivo del trabajo es señalar que los análisis numéricos avanzados pueden ofrecer información significativa en la comprensión del comportamiento estructural real de edificios históricos. La metodología y las conclusiones de este estudio se cree que son aplicables a una amplia variedad de las iglesias Basílica históricas.

Los análisis aplicados por Betti y Vignoli (Betti & Vignoli, 2011) permiten obtener una proyección de los elementos más vulnerables del complejo estructural. Por otra parte sugiere que la comparación de los diferentes enfoques para el análisis de edificios históricos es obligatoria para cubrir las incógnitas inevitables que siempre se presentan por los materiales de construcción y la mecánica de estos.

3.10 ÁMBITO NACIONAL Y LOCAL

Actualmente en la ciudad de Cartagena se ha empezado a reconocer y a dar importancia a la recuperación de los edificaciones por lo cual se han realizado restauraciones a los diferentes edificios históricos que hacen parte de ella. Aunque estas restauraciones en la mayoría de los casos



se centran más en la parte arquitectónica que en la estructura de estos. Es muy importante la conservación de estos edificios que hacen parte del patrimonio histórico de la ciudad.

Entre algunas investigaciones se puede mencionar la investigación hecha por Castillo (CASTILLO, Agosto de 1999.), en la cual se realizó un estudio químico-biológico a los materiales de construcción de la Catedral de “Santa Catalina de Alejandria” de Cartagena de Indias, en el cual se determinan algunos de los principales agentes que deterioran los materiales. Castillo concluye que en Catedral se observa la presencia de capas negras a causa de agentes químicos, físicos y biológicos de deterioro los cuales contribuyen en gran medida a una lenta pero irremediable y progresiva pérdida de minerales, de cementantes y en general de la estabilidad mecánica de materiales y como es común en los monumentos con elementos silíceos expuestos a los diferentes factores del medio ambiente, se encuentra con claros síntomas de deterioro. Entre estos se encuentran la contaminación por la aparición y crecimiento descontrolado de algas verdes unicelulares, debido a una concentración excesiva de humedad en el interior de la iglesia.

Como consecuencia de esta investigación se formularon propuestas las cuales se llevaron a cabo para la rehabilitación de los materiales estudiados en la catedral. Y además por los problemas similares a los que se analizaron en el estudio este sirvió también como base para la rehabilitación del retablo mayor de la catedral (VARGAS, Agosto de 1999).

Por otra parte, se han adelantado estudios a otros monumentos de la ciudad, podemos mencionar el estudio de la portada en piedra del Palacio de la Inquisición de Cartagena de Indias realizada por Useche (USECCHE, septiembre de 1996.).Y las evaluaciones patológicas y de vulnerabilidad sísmica del cordón amurallado de la ciudad de Cartagena de Indias (CUETO FERREIRA & GRANGER SERRANO, 2011). Estas investigaciones, en su mayoría se han sido realizadas como trabajos de grados del programa de Ingeniería Civil de la Universidad de Cartagena en los años 2010 y 2011.



Se han realizado pocos estudios y modelaciones de las estructuras para evaluar su vulnerabilidad sísmica y vibracional, del mismo modo los estudios patológicos completos de caracterización y localización de las patologías han sido pocos. De ahí la necesidad de realizar este estudio.

3.11 TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN RELACIONADOS CON EL ESTUDIO DE LAS TÉCNICAS Y MATERIALES IMPLEMENTADOS PARA LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN DE CONSTRUCCIONES ANTIGUAS EN LA CIUDAD DE CARTAGENA.

Parámetros para la normalización de las mamposterías de tipo colonial

Este estudio fue desarrollado por J. España y M. Tapia, para la Universidad de Cartagena en el año 2008. El objetivo principal del estudio consistió en la determinación de ciertos parámetros que sirvieran de base para la caracterización y la normalización de estructuras de mampostería de tipología colonial en las edificaciones antiguas de la ciudad de Cartagena. Lo anterior presenta gran relevancia debido a que en Colombia no existen normas específicas que regulen este tipo de estructuras coloniales (España & Tapia, 2008).

El estudio se desarrolló aplicando una metodología de carácter investigativo, mediante el análisis de información existente de estudios y ensayos previamente efectuados por diferentes profesionales de la Universidad de Cartagena, complementados con datos experimentales obtenidos de ensayos de laboratorio en los cuales se analizó la variación de los valores de resistencia a la compresión de ciertos tipos de muros al usar varias combinaciones de argamasa (cal y arena) en distintas proporciones. Con base en lo anterior, los autores proponen una correlación matemática que permite calcular la carga axial que pueden resistir determinados tipos de muros con características de mampostería específicas (España & Tapia, 2008).



Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales más utilizados y disponibles en la región para la restauración de las fortificaciones coloniales de la ciudad de Cartagena.

Este trabajo fue realizado por M. Meza y J. Rhenals, para la Universidad de Cartagena como tesis de grado en el año 2011. En el mismo, la finalidad principal consistió en el análisis de las propiedades físicas y mecánicas de determinados tipos de materiales usados para restaurar el cordón amurallado de la ciudad de Cartagena, teniendo en cuenta la clasificación de tales materiales según la fuente que los suministra en esta ciudad (Meza & Cohen, 2011).

Los materiales que se estudiaron fueron: la piedra caliza, el ladrillo y la argamasa; tales materiales se obtuvieron de diferentes canteras y fábricas cercanas a la ciudad de Cartagena. Para todos ellos se evaluaron las siguientes propiedades físicas y mecánicas: resistencia a la compresión, desgaste, densidad y porosidad; lo anterior se efectuó por medio de la aplicación de ensayos de laboratorio regulados por las siguientes normativas: UNE-EN 1336:1999, UNE-EN 126:1999 y la I.N.V.E-219 (Meza & Cohen, 2011).

Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de la madera utilizada como viga de entrepiso en las viviendas coloniales del centro histórico de la ciudad de Cartagena.

Este trabajo fue realizado por J. Ayola y M. Matute, para la Universidad de Cartagena como tesis de grado en el año 2013. El objetivo principal de este trabajo de investigación consistió en la determinación de las propiedades físicas y mecánicas de diferentes especies de maderas comúnmente utilizadas como vigas de entrepiso en la construcción de las viviendas coloniales en la ciudad de Cartagena (Ayola & Matute, 2013).



Además de ello, se realizó una clasificación de las maderas estudiadas según los distintos grupos de madera estructural que se tienen en cuenta en las normas NSR 2010 y EL MANUAL DEL PACTO ANDINO, para luego evaluar el comportamiento de cada tipo de madera al someterse a diferentes condiciones de carga, usando simulaciones computarizadas (Ayola & Matute, 2013).



4. OBJETIVOS Y ALCANCES

4.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar el diagnóstico de patologías estructural y el análisis de vulnerabilidad sísmica del Claustro de la Merced de Cartagena de Indias a través de la inspección visual, técnicas no destructivas y la modelación.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar y localizar las patologías que presenta la estructura del claustro de la Merced y realizar un levantamiento gráfico de ellas.
- Realizar la cualificación y clasificación del daño producido por las patologías que afectan la estructura del claustro
- Realizar un análisis de vulnerabilidad sísmica para determinar cuál es el comportamiento del Claustro de la Merced ante un evento sísmico



4.3 ALCANCE

El estudio y la toma de muestras tuvieron lugar en el claustro de la Merced, el cual se encuentra ubicado en el centro histórico de la ciudad de Cartagena en la plaza de la artillería, N° 38-40 (Ver Figura 4-1)



Figura 4-1 Ubicación geográfica del Claustro de la Merced de Cartagena de Indias.

Este proyecto se desarrolló en el periodo comprendido en el mes de julio del 2014 y mayo del 2015. Se estudiaron los antecedentes e historial de la estructura, incluyendo cargas estructurales, el microclima que la rodea, el diseño de ésta, el proceso constructivo, las condiciones actuales, el uso que recibe, la cronología de daños, vulnerabilidad sísmica. De acuerdo con las investigaciones relacionadas con las patologías y vulnerabilidad sísmicas de edificaciones antiguas, se encontraron lesiones leves, medias y graves en la estructura.

El estudio patológico del Claustro de la Merced de Cartagena de Indias se limitó a una inspección visual detallada de toda la estructura del claustro, se plasmó de una manera general la apariencia de las patologías, se identificaron las áreas afectadas y se determinó el nivel de daño con que estas inciden en la estructura. Para el análisis de vulnerabilidad se realizó una modelación estructural donde se evaluó su capacidad sismoresistente.



En el estudio se contempló la investigación sobre los antecedentes y modificaciones constructivas del Claustro, la información con la que se contaba era escasa, cabe aclarar que el Claustro ha tenido modificaciones debido a sus diferentes usos (Templo religioso y Edificio institucional).

Se realizó la caracterización de los materiales que conforman los elementos estructurales de la edificación. Debido a lo costoso que puede ser una caracterización completa y a las restricciones que presenta este tipo de edificación no se realizaron ensayos destructivos, por lo cual se realizó una observación y ensayos no destructivos con el que se estableció el estado actual de arcos, muros, vigas, entrepisos, fachada, cubierta.

La investigación no propone medidas de reparación o restauración lo cual podría ser un tema interesante para estudio en futuros proyectos de investigación.



5. METODOLOGÍA

El enfoque investigativo para el desarrollo de este trabajo de grado fue del tipo mixto, a través de un estudio correlacional para la elaboración del Estudio Patológico y de Vulnerabilidad Sísmica del Claustro de la Merced, el cual se encuentra localizado en el centro histórico de Cartagena de Indias en la plaza de la artillería, el estudio se llevó a cabo entre los meses de julio del 2014 y mayo del 2015 como trabajo de grado para obtener el título de ingeniero civil de la Universidad de Cartagena.

Este trabajo se basó en dos ejes fundamentales de estudio. El primero consistió en un estudio patológico con el fin de evaluar mediante una inspección preliminar detallada del edificio, plasmarlo a través de un registro fotográfico e identificar las lesiones existentes, las cuales fueron referenciadas en los diferentes planos de la edificación, posteriormente estas lesiones fueron caracterizadas para determinar la severidad con la que estas incidían en los diferentes elementos estructurales del Claustro.

El segundo eje de estudio se basó en la realización de un análisis de vulnerabilidad sísmica a la estructura del Claustro de la Merced de Cartagena de Indias, en el cual se realizó una investigación para realizar la caracterización sísmica de la zona de estudio, esta investigación fue apoyada en NSR-10, de donde se tomaron los factores que hacen vulnerable la estructura ante un evento sísmico o movimiento telúrico. Se simuló mediante el software estructural MIDAS GEN utilizando el método de elementos finitos con el cual se obtuvo el comportamiento de la estructura ante la presencia de un evento sísmico de diseño, caracterizado para la zona de estudio.



El estudio consistió de dos ejes.

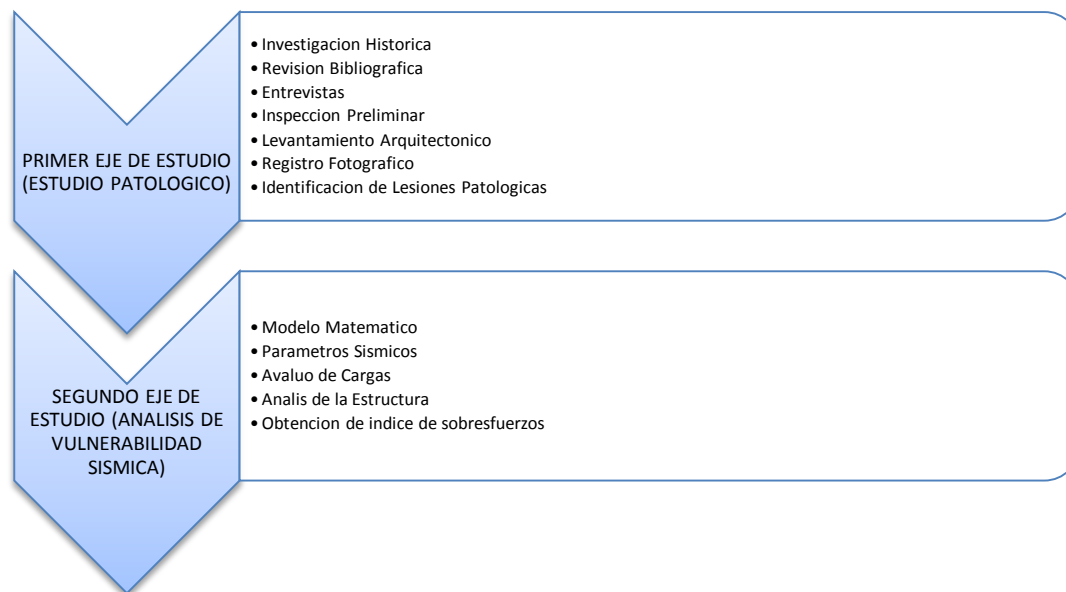


Figura 5-1 . Ejes de Estudios.

5.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN PRIMARIA

En esta primera etapa se llevó a cabo la investigación histórica del Claustro de la Merced de Cartagena de Indias, la cual era escasa. Esto permitió conocer de una mejor manera su estructura a través del entendimiento de su evolución y transformación a través del tiempo.

La investigación se inició con entrevistas a distintos arquitectos interesados en el área de la conservación del patrimonio histórico en Cartagena, como lo son el arquitecto Alfonso Cabrera y el Arquitecto Eugenio Cruz Garcés. Resultado de estas entrevistas se ubicaron trabajos de grado que reposan en la Universidad Jorge Tadeo Lozano a la que posteriormente se realizaron visitas que tuvieron como objeto consulta de estos trabajos entre los cuales se destacan “*Estudio de la Arquitectura Republicana en Cartagena de Indias y la Arquitectura Religiosa Colonial en*



Cartagena de indias”, los cuales sirvieron de gran ayuda ya que en ellos se menciona la historia, arquitectura y modificaciones que ha tenido a través del tiempo el Claustro de la Merced.

5.2 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA.

En esta etapa de la investigación recopiló la información disponible en documentos, libros, trabajos de grado y revistas científicas, relacionados con diagnóstico patológico de Estructuras, su comportamiento y los factores que inciden sobre las mismas, a continuación se describe detalladamente cada uno de los procesos de recolección de información tanto para evaluación patológica como para análisis de vulnerabilidad.

Luego de un análisis minucioso de los ejes temáticos que envuelven la patología de estructuras se hizo una recolección de folletos, normas, manuales y en general toda la documentación suministrada por la sub-línea de investigación Reforzamiento, Vulnerabilidad y Patología de las estructuras perteneciente al grupo de investigación ESCONPAT de la facultad de ingeniería. Luego se hizo una revisión bibliográfica tanto física, como virtual en la base de datos de la Universidad de Cartagena, enriquecida con tesis de grado y trabajos de investigación de docentes de la universidad. Una vez obtenida, organizada y analizada la información se armó plan de trabajo y ejes temáticos.

Así mismo, se recopilaron datos relacionados con ensayos de laboratorio aplicados a muros estructurales mixtos coloniales del centro histórico, también imágenes, planos a mano alzada, fotografías de data antigua y satelitales, suministrados por el Archivo Histórico de Cartagena de Indias. Esta etapa se tomó como fundamento teórico y conceptual para la realización del trabajo de grado.



6.3 LEVANTAMIENTO ARQUITECTÓNICO DEL CLAUSTRO DE LA MERCED

La siguiente etapa fue la elaboración de los planos del Claustro de la Merced de Cartagena de Indias, del cual no se conocían planos detallados. El levantamiento fue realizado por los investigadores, mediante cinta métrica, jalones y distancio metro. Estos planos no fueron necesarios ya que mediante una entrevista que se tuvo con el ing. Modesto Barrios se logró obtener unos planos más detallados que había realizado el topógrafo Ramiro Ahumada y había dibujado el Arquitecto Ramiro Llach.

5.4 DIAGNOSTICO PRELIMINAR

En esta etapa se hizo la recolección de la información para el estudio de patologías en el Claustro esta recolección se realizó bajo las recomendaciones hechas por ASOCRETO en el seminario “*Evaluación y diagnóstico de las estructuras en concreto*” como se plantea en dicho seminario, el primer paso para la recolección de información fue una inspección preliminar, esta tuvo como propósito evaluar de manera inicial las condiciones en que se encontraba la edificación para conocer la condición de los problemas presentes en la estructura del Claustro de la Merced de Cartagena de Indias. Después de un recorrido e inspección preliminar. Mediante la observación minuciosa de la estructura se identificaron, se tomaron y recopilaron en un registro fotográfico las lesiones presentes en los materiales y elementos constitutivos de la estructura del Claustro, tal como son; Grietas, Fisuras, Eflorescencias, Desprendimientos, Exfoliaciones, Oxidaciones y Humedades. Para este registro fotográfico se utilizó una cámara fotográfica Canon Power Shot SX500 IS de 16 mega píxeles con lentes con zoom de 30x para obtener una mayor calidad de tomas y garantizar la confiabilidad, validez y objetividad de los datos suministrados. Con la cual se tomaron 250 fotografías generales de la edificación, distribuidas en todas sus zonas, para así dejar registro de los sistemas constructivos encontrados.



Las fotografías se tomaron en distintos lugares del claustro pero se clasificaron en 6 zonas donde se encontraron las patologías. Como se muestra de la siguiente manera:

Se tomaron en total 250 fotografías de alta definición.

Corredor Principal: se tomaron 88 fotografías, que corresponde al 35% de las fotos.

Patio central: se tomaron 22 fotografías, que corresponde al 9% de las fotos.

Salones y Oficinas: se tomaron 49 fotografías, que corresponde al 20% de las fotos.

Fachada: se tomaron 56 fotografías, que corresponde 22% de las fotos.

Escaleras: se tomaron 9 fotografías, que corresponde al 4% de las fotos.

Azotea y acceso a azotea: se tomaron 26 fotografías, que corresponde al 10% de las fotos.

5.4.1 DIAGNOSTICO DETALLADO

Se llevó a cabo posteriormente a la investigación preliminar, esta etapa corresponde a la evaluación y diagnóstico patológico de la estructura del Claustro de la Merced de Cartagena de Indias. En esta etapa se estableció el estado de muros, fachada, cubierta, pisos y entrepiso, para esta tarea se analizaron y verificaron las observaciones de campo, se midieron variables como temperatura, humedad relativa, verticalidad de muros, longitud de fisuras, deflexiones, desplazamientos y grietas. Debido que la evaluación se efectuó en una casa republicana no se realizaron pruebas destructivas e invasivas a la estructura de la casa.

La temperatura y humedad relativa de la edificación se tomaron en base a dos zonas del Claustro; zona de interior y zona de exteriores y patio principal. Se delimitaron estas zonas así debido a la interacción y exposición de interiores a cambios bruscos de temperatura y humedad por la acción de equipos de aires acondicionados y una zona más estable en el exterior con acción solo del clima. Para medir la temperatura se utilizó un medidor digital de temperatura CP-3007.



Para medir la longitud de fisuras, desplazamientos, grietas y verticalidad de muros fue necesaria la utilización de plomada y cinta métrica. Las deflexiones en el entrepiso se midieron con la ayuda de un dispositivo láser y cinta métrica.

5.5 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA

Luego de tener los planos detallados del Claustro de la merced de Cartagena de Indias y de haber realizado la investigación detallada del mismo, se empezó con el estudio de vulnerabilidad sísmica. Esto se llevó a cabo de forma paralela al diagnóstico patológico de la estructura. Para esto se realizó un análisis dinámico computarizado por el método de los elementos finitos, a continuación se muestran el procedimiento que se hizo para realizar dicho estudio:

5.5.1 Construcción del modelo.

Lo primero que se realizó fue la elaboración de la geometría del modelo estructural del Claustro de la Merced de Cartagena de Indias, tomando como referencia fundamentalmente planos detallados de este. Para ello se empleó un software de análisis y diseño estructural como lo es el MIDAS GEN, creado por la empresa *MIDAS*, en su versión 2015. Cuyo programa basa sus cálculos y análisis en el método de los elementos finitos. Para este caso en particular, la realización del modelo se hizo utilizando elementos Shell de MIDAS GEN.

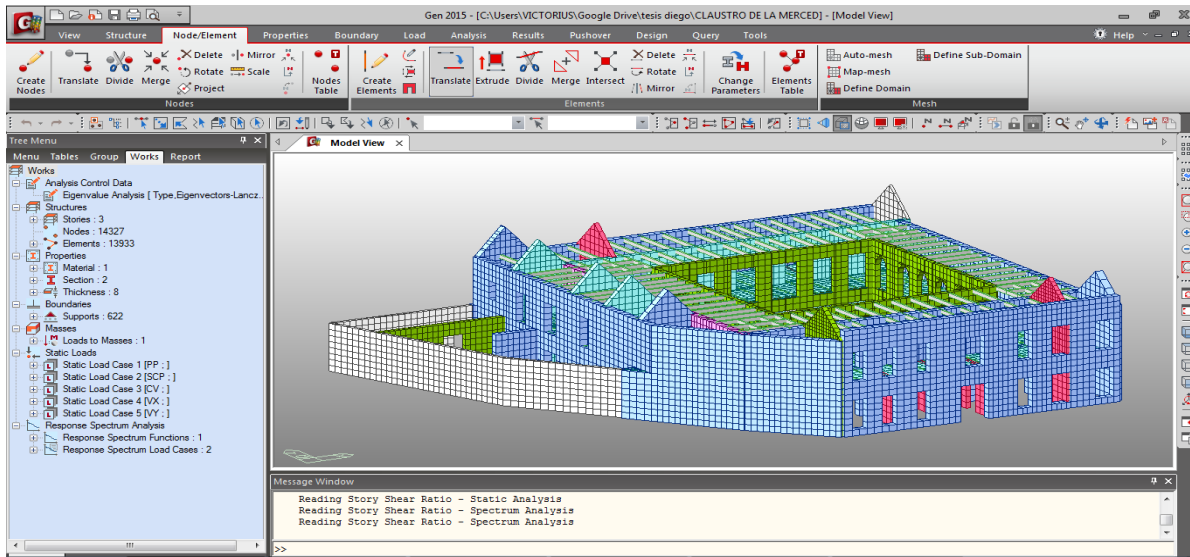


Ilustración 5-1 Construcción del modelo, vista isométrica Fuente: MIDAS GEM

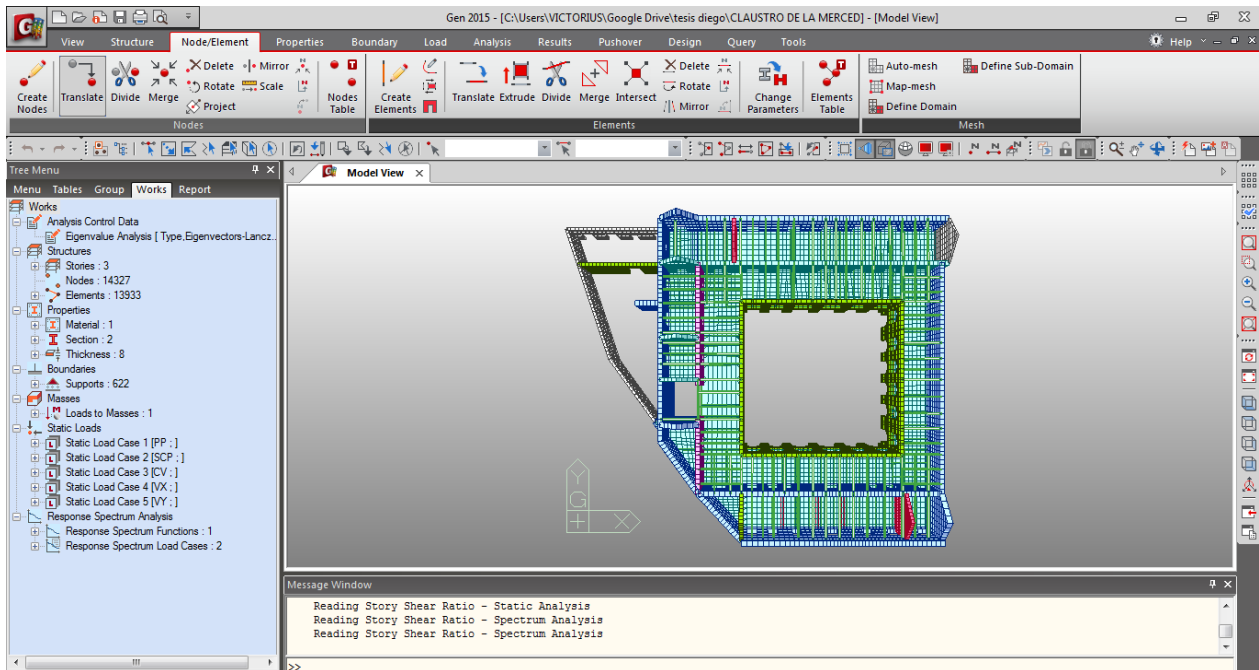


Ilustración 5-2 Construcción del modelo, vista planta Fuente: MIDAS GEM



Luego se asignaron las propiedades de los diferentes materiales que componen la estructura, tales como densidad y módulo de elasticidad; de acuerdo a los estudios realizados por Arturo Cuevas y Clemente Herrera en la tesis “*Propiedades Mecánicas de la Mampostería Tipo III de edificaciones en la ciudad de Cartagena de indias*” para la determinación de las propiedades de los muros tipo tableta militar-argamasa.

Tabla 5-1 Propiedades de los materiales

Materias	Muros estructurales (tableta militar)
Módulo de elasticidad	18360 kg/cm ²
Densidad	171,7 kg/m ³

Fuente: HEERERA- CUEVAS

5.5.2 Asignación de cargas al modelo.

Se evaluó en comportamiento de la estructura bajo dos tipos de solicitaciones. Las solicitaciones verticales, dentro de las que encontramos el peso propio de la estructura, la sobrecarga impuesta y la carga viva de la misma la cual obedece al uso que se le está dando a la estructura, para este caso se le asignó una carga de 0,2 Ton/m² en el entrepiso.

El otro tipo de solicitación es la de tipo Horizontal, más específicamente la acción de un eventual sismo.

De acuerdo a las especificaciones de la NSR-10, se identificaron los parámetros propios de la localización de la estructura y las características del suelo sobre el cual se fundamenta. El MIDAS GEN permite la introducción del espectro de diseño, a partir del cual el software calcula los efectos del sismo dependiendo de la masa de la estructura y las restricciones de la misma.



5.5.2.1 Determinación del espectro sísmico.

Para el cálculo de las fuerzas sísmicas, el software MIDAS GEN solicita únicamente la curva que represente el espectro de diseño, de modo que se generó un archivo de texto con las parejas de datos aceleración vs periodo. En primera instancia se determinaron los valores de los parámetros sísmicos de acuerdo a la localización, a las propiedades del suelo y a las características de la estructura.

Tabla 5-2 Parámetros Sísmicos del Proyecto.

DATOS DEL PROYECTO		
DATOS DE ENTRADA		REF. en la NSR-10
DEPARTAMENTO =	Bolívar	
LOCALIZACION GEOGRAFICA =	Cartagena	CAP. A.2
GRUPO DE USO =	III	A.2.5.1.2
TIPO DE SUELO =	D (Suelos rigidos)	Tabla A.2.4-1
SISTEMA ESTRUCTURAL =	SISTEMA DE MUROS DE CARGA	A.3.2.1.2
NUMERO DE PISOS =	2	
ALTURA TOTAL =	10.64	
METODO DE ANALISIS		
MÉTODO DE ANÁLISIS A UTILIZAR =	Método del análisis dinámico elástico	A.3.4.2.2
DEFINICION DE LOS MOVIMIENTOS SISMICOS		
COEFICIENTE DE IMPORTANCIA (I) =	1.25	Tab A.2.5-1
ZONA DE AMENAZA SISMICA =	Baja	Fig A.2.3-1
ACELERACION PICO EFECTIVA (Aa) =	0.1	Fig A.2.3-2
VELOCIDAD PICO EFECTIVA (Av) =	0.1	Fig A.2.3-3
COEFICIENTE DE AMPLIFICACION (Fa) =	1.6	Tab A.2.4-3
COEFICIENTE DE AMPLIFICACION (Fv) =	2.4	Tab A.2.4-4
PERIODOS DE VIBRACION		
Tc =	0.72	A.2.6.1.1
Tl =	5.76	A.2.6.1.2
To =	0.15	A.2.6.1.3

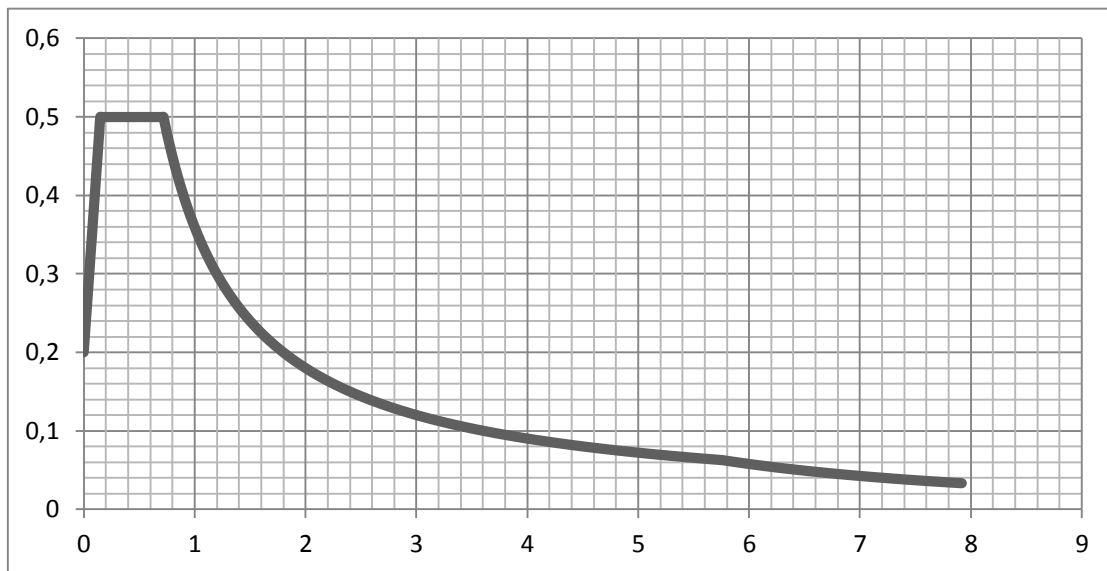


Figura 5-2 Espectro Sísmico.

5.5.3 Asignación de restricciones.

Para el análisis de vulnerabilidad sísmica del Claustro de la Merced se planteó que la estructura estaba empotrada totalmente en la base.

5.5.4 Ejecución del análisis de vulnerabilidad.

En el transcurso de este paso, finalmente se ejecutaron los análisis definitivos de la estructura considerando las restricciones planteados previamente y todas las solicitudes anteriormente determinadas.

Durante esta investigación, se realizó la verificación de estados límites de servicios, por lo tanto, las combinaciones de cargas utilizadas corresponden a las estipuladas por la NSR-10 en su Título B, Sección B.2.3, tal como se muestra a continuación.



- 1,4 CM
- 1,2 CM + 1,6 CV
- 1,2 CM + 1,6 CV + S/R
- 0,9 CM + S/R

Dónde:

CM: Carga Muerta

CV: Carga Viva

S: Fuerza de Sismo

R: Coeficiente de Disipación de Energía

Teniendo en cuenta que se clasificó el sistema estructural de la edificación como *muros de mampostería no reforzada* y se consideró que no es posible la disipación de energía, el coeficiente de disipación de energía R es igual a la unidad, asumiendo que no existe irregularidad en planta ni en altura. Las combinaciones fueron introducidas en el software MIDAS GEN mediante el comando *Load Combination*. En cuanto a las combinaciones que incluyen sismo, se aplicó el factor $R = 1$.



6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el año de 1984 el centro histórico de la ciudad de Cartagena fue declarado patrimonio histórico y arquitectónico de la humanidad por la UNESCO, por lo cual todos los ciudadanos están en la obligación de velar por la conservación apropiada y funcionamiento de este patrimonio, representado en baluartes, murallas, casas y monumentos. Teniendo en cuenta la importancia histórica y patrimonial es necesario mantener estos hitos de la ciudad en buen estado para tiempos futuros y así las nuevas generaciones puedan disfrutar de ello.

Teniendo en cuenta la necesidad que implica devolverle funcionalidad a las unidades arquitectónicas del centro histórico, es de gran importancia la detección de anomalías y procesos patológicos que se llevan a cabo en estas edificaciones, las cuales han estado expuestas al ambiente agresivo de la ciudad de Cartagena. De ahí la necesidad de la realización del Estudio Patológico y de Vulnerabilidad Sísmica del Claustro de La Merced de Cartagena de Indias.

Este trabajo de grado consistió en evaluar las patologías encontradas mediante una inspección visual detallada del inmueble, mostrando a través de un registro fotográfico la identificación de lesiones para determinar la rigurosidad del daño encontrado en los diferentes elementos constitutivos de la estructura del Claustro. También se realizó un análisis de vulnerabilidad sísmica estructural, donde se simuló mediante el software estructural MIDAS GEN el comportamiento de la estructura ante la presencia de un sismo de diseño caracterizado para las condiciones de la zona de estudio.

A continuación se presentan los resultado y el análisis, obtenido en el Estudio Patológico y de Vulnerabilidad Sísmica del Claustro de la Merced de Cartagena de Indias. Esta información se presenta en 3 numerales organizados de la siguiente manera; primero una descripción general de la zona de estudio, donde se presentan los diferentes parámetros climáticos y ambientales que hacen



parte de las variables de evaluación de lesiones. Segundo la Evaluación patológica, donde se describen, identifica y localizan las patologías presentes en el Claustro Y Tercero el análisis de vulnerabilidad sísmica.

6.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ZONA DE ESTUDIO

El Claustro de la Merced se encuentra ubicado en el centro histórico de Cartagena de indias, en la plaza de la artillería, N° 38-40. En el sector predominan las edificaciones de doble altura las cuales principalmente son de uso institucional.



Figura 6-1 Ubicación del claustro de la Merced Fuente: Adaptadas Google Earth.

A continuación se realiza una descripción de la zona de estudio, en la cual se presentan los diferentes parámetros ambientales y climáticos que son parte fundamental para el estudio de las patologías y la incidencia en el tipo de lesiones encontradas en el Claustro de la Merced de Cartagena de indias.



Figura 6-2 Ubicación geográfica de la ciudad de Cartagena de indias. Fuente: Imágenes Google

La ciudad de Cartagena se encuentra ubicada en la región Caribe Colombiana, es la capital del departamento de Bolívar y se encuentra, en las coordenadas $10^{\circ} 25' 30''$ Latitud Norte y $15^{\circ} 32' 25''$ Longitud Oeste. La ciudad de Cartagena debe su origen a factores endogenéticos asociados tanto al fenómeno del diapirismo de lodos, como a los efectos tectónicos compresivos relacionados con la interacción de las placas caribe y suramericana. La modelación actual de las geoformas es el producto de la acción de procesos exogenéticos de origen marino, fluvial, eólico o gravitatorio, localmente alterados por la acción del hombre al ocupar el territorio con viviendas o industrias. Se detectaron 14 unidades geomorfológicas como lo menciona (G. Barbosa, 2009) donde se discriminan en unidades prominentes y bajas entre las primeras se presentan colinas, lomas, sedimentos, plataformas de abrasión elevada, terrazas marinas, abanicos aluviales y coluviales.

Otro parámetro importante es el nivel freático, el cual en el centro histórico de Cartagena de Indias varía entre 0.8 y 1.5 m. en general en la ciudad hay varios puntos críticos que se inundan cuando los niveles de marea están altos, esta inundación se produce por el ingreso de la onda de marea – que generalmente no sobre pasa los 0.4 m por las alcantarillas de drenajes pluviales que descargan en los caños, lagos y ciénagas de la ciudad de Cartagena.



En cuanto a la distribución territorial de las lluvias es muy variable por las características que presenta el cuadro costero. El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM) mediante las mediciones que ha realizado en la ciudad dice que el registro máximo de lluvias ha sido de 974.4 mm. Que el promedio mensual ha sido de 51.2 mm. Que el periodo de más lluvias se prolonga desde Mayo hasta Octubre y el periodo seco o de menos lluvia está comprendido entre los meses de Noviembre a Abril. La temperatura del aire que se obtuvo con datos del IDEAM registran que en la ciudad de Cartagena se tiene una temperatura mínima media de 22,5 °C en el mes de enero y una temperatura máxima de 31,9 °C en el mes de agosto; la temperatura media mensual del aire de Cartagena es de 27,2 °C.

En cuanto a la humedad relativa que se presenta en la ciudad, se tiene que el periodo de menor humedad relativa comprende los meses de Enero hasta Septiembre y su valor varía entre 82% y 83% y el periodo de mayor humedad relativa comprende entre los meses de Octubre y Diciembre y varía entre 84% y 85%.

La velocidad máxima del viento ha sido de 28.2 m/seg, en las calles estrechas como las que se presentan en el centro histórico, los vientos circulan con mayor velocidad en las horas de la tarde con mayor fuerza que en las horas de la mañana. La circulación del viento predominante en la ciudad es de norte a noreste.

6.2 ESTUDIO PATOLÓGICO DEL CLAUSTRO DE LA MERCED DE CARTAGENA DE INDIAS.

En este ítem se inicia con una descripción de los elementos constructivos y consecutivamente se identifican y localizan las patologías que afectan el Claustro de la Merced de Cartagena de indias.



6.2.1 Descripción de Elementos Constructivos e Instalaciones del Claustro de la Merced de Cartagena de Indias.

6.2.1.1 PISOS.

En general en el Claustro de la Merced se encuentran diversos tipos de pisos, lo cual ha sido producto de las múltiples modificaciones que este ha tenido a través del tiempo, por tal motivo es de gran dificultad saber con claridad a que fecha corresponde cada tipo de ellos. La disposición de estos también es muy variable pues solo se mantiene una tendencia en los corredores del primer piso, segundo piso y en el patio, esto al parecer porque se han realizado pocas modificaciones en estas zonas y conservan probablemente los pisos originales. En cuanto a las aulas y oficinas se presentan gran variedad y combinaciones de estos. A continuación se mencionan los diferentes tipos de pisos encontrados en el claustro y en las zonas en las que estos se encuentran dispuestos.

Zona del de patio y la plazoleta central. Tiene área de 372, 15 m². Y se encuentra emplazada con adoquines de concreto de forma hexagonal y baldosa de adobe o arcilla cocida de 25cm x 25cm de color rojo. Cabe resaltar que este tipo de baldosa también se puede observar en algunos de las aulas del primer piso del Claustro.



Fuente: Autores.



Zona de corredor principal del primer piso. Tiene e un área de 552,11 m2 está emplazada con cemento pulido, el cual presenta estrías de división que forman secciones cuadradas.



Fuente: Autores.

Zona de corredor del segundo piso. Tiene un área de 444,16 m2. En estas zonas encontramos baldosas con ornamentaciones de apariencia republicana que al parecer son las originales, son predominantes los colores amarillo y rojo que se alternan entre sí, estas baldosas son de concreto y tienen dimensiones de 20 x20cm. Cabe resaltar que este tipo de baldosas también es usado en algunas de las aulas del primer y segundo piso y en la recepción.



Fuente: Autores.

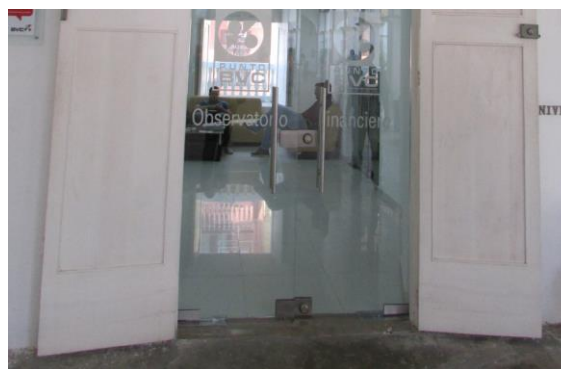
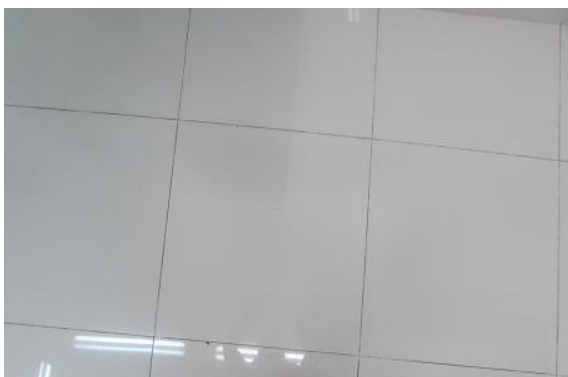


En oficinas y aulas del primer y segundo nivel predominan los pisos cerámicos modernos con variación en sus colores y texturas, en las siguientes fotografías se puede observar ejemplo de ello. En la fotografía de la izquierda podemos observar un piso cerámico anti deslizante usado en aulas del primer piso, y en la fotografía de la derecha se puede observar un piso cerámico translucido usado principalmente en las oficinas.



Fuente: Autores.

Entre los pisos más recientes en el Claustro se destaca el porcelanato, este que ha venido reemplazando al piso de cerámica y de baldosa. Las intervenciones se han llevado a cabo en la zona comprendida en las instalaciones de la bolsa de valores de Colombia (B.V.C) que tiene sede dentro del claustro, son aproximadamente 115 m² los cuales se encuentran adosados con porcelanato.



Fuente Autores.



A la planta alta del edificio se llega a través de una escalera conventual ubicada en el costado occidental del mismo, esta escalinata está enmarcada por un arco de medio punto apoyado sobre pilastras estriadas, el piso de la escalera es de mármol blanco lo mismo que los pasamanos abalaustrados y el descanso intermedio. Esta tiene sus orígenes en las intervenciones republicanas que se realizaron en el Claustro.



Fuente: Autores.



6.2.1.1 ENTREPISOS.

Comprende un sistema estructural de vigas de concreto armado de sección 20 x 35cm alcanzan luces entre 4,76 y 5,40 metros alrededor del corredor principal y luces hasta de 7,96 metros en el interior de las aulas. Estas vigas están apoyadas en un sistema de muros portantes y a su vez sirven de apoyo para la losa del entre piso, la cual es de concreto armado de 12 cm espesor.



Fuente: Autores.

6.2.1.3 MUROS

- **Muros portantes**

Aunque Claustro de la Merced de Cartagena de indias es un edificio que hace referencia a la arquitectura republicana por sus ornamentaciones y estilo, este tiene procedencia colonial y está ceñido en gran proporción a las técnicas y materiales de construcción utilizados en este periodo.

En la ciudad de Cartagena de Indias la mampostería de tipo colonial está clasificada en los siguientes tipos: tipo I o muros de cascoteo formado por tableta militar, piedra coralina, piedra de coral y argamasa, Tipo II formado por piedra coralina y argamasa, Tipos III formado por tableta militar (ladrillo de 15cm x 30cm x 4cm) y argamasa; y el tipo IV formado por piedra coralina, tableta militar y argamasa (HERRERA C. Y CUEVAS A.). En el Claustro



Ilustración 6-1 Muros portantes tableta militar tipo III. Fuente Autores

Podemos observar que los muros portantes corresponden a la tipología III formados por tableta militar y argamasa.

Estos muros cuentan con espesores que varían entre 30 centímetros y 80 centímetros, y se elevan hasta un nivel máximo de 13,64 metros sobre el nivel del suelo. En general los muros portantes del Claustro se encuentran actualmente en buen estado, aunque se pueden observar intervenciones realizadas para proteger su estabilidad con el uso de tensores metálicos.



Fuente: Autores.



- **Muros no portantes.**

Este tipo de muros se encuentran en menor proporción teniendo en cuenta que no cumplen una función estructural y solo son usados para la separación de espacios, con espesores de 30 centímetros y 5,64 metros de altura.

- **Arcos.**

El Claustro cuenta con un sistema de arcadas apoyadas en columnas de sección cuadrada, estos arcos tienen la misma sección de ancho de las columnas la cual varía entre 54 centímetros y 64 centímetro, están compuestos estructuralmente de la misma forma que los muros portantes por ladrillo tolete y argamasa, y alcanzan luces hasta de 3,35 metros.



Fuente Autores.

De igual manera se puede observar un sistema de arcos-muros, que a van apoyados en un extremo en las columnas y el otro en los muros portantes manteniendo la mismas sección de las columnas, la misma constitución estructural de los muros y alcanzan luces hasta de 5,11 metros.



Fuente: Autores.

6.2.1.4 CUBIERTAS

En el claustro de la Merced de Cartagena de Indias se encontraron dos tipos de cubiertas. La cubierta “par e hilera” y la cubierta plana en “azotea” o “terraza”.

- **Cubierta Azotea o Terraza**

Está cubierta es de tipo colonial y es usada ampliamente en la arquitectura contemporánea de la ciudad de Cartagena, se identificó sobre del pasillo principal del segundo piso del Claustro. Estructuralmente está conformada como entepiso o losa, consta de vigas de concreto armado empotradas en los muros de carga laterales, con una la losa reforzada de aproximadamente 12 centímetros de espesor, en su parte superior se encuentra impermeabilizada con materiales actuales, esto para prevenir filtraciones y protegerla de la intemperie.



Ilustración 6-2 Cubierta azotea o terraza. Izquierda cubierta impermeabilizada con tela asfáltica. Derecha conformación estructural de la cubierta. Fuente Autores.

En esta cubierta se destacan las ornamentaciones de tipo republicano, estas producto de las modificaciones que se le realizaron al Claustro en ese periodo, como se puede observar en la fotografía izquierda, el coronamiento con balaustres de concreto reforzado destacándose las ánforas.

- **Cubierta Par e Hilera**

Este tipo de cubierta procedente del periodo colonial se identificó sobre todas las aulas del segundo piso y sobre la escalera principal, la estructura es típica de esta tipología “par e hilera” con todos sus elementos en madera, los cuales se encuentran en buen estado debido a reparaciones y remodelaciones que se han venido realizado en la edificación. Este tipo de cubierta se encuera estructuralmente conformado por una viga “cumbreira” cuya función es servir de amarre para las vigas “pares” que soportan el entablado y a su vez el tejado, este tejado está conformado por tejas de barro de cañón.



Fuente: Autores.

6.2.1.5 FACHADA

La fachada principal del Claustro de la Merced muestra en sus líneas generales un claro fraccionamiento horizontal, el cual refleja los dos niveles que posee interiormente, una balaustrada remata la fachada corriendo a lo largo de esta, de igual manera la cantonera acentúa la terminación de las esquinas.

Los vanos se disponen a lo largo de la fachada de manera simétrica y consecutivamente, guardando la misma proporción en escala. En el primer piso se destacan vanos resaltados por jambas, enmarcado por dos columnas compuestas y coronándose por un dintel moldurado. Superpuesto a estos vanos (en el segundo nivel) se aprecian tribunas rematadas por frontones triangulares.

La fachada principal es simétrica de forma rectangular, se destaca en el centro el acceso, enmarcado por dos pilastras que cubren los dos niveles y finalizan en una forma de media circunferencia. La tribuna central se encuentra soportada por dos columnas. Esta tribuna principal



cuya dimensión es mayor que las demás, sobresale como elemento jerarquizante dentro del conjunto.

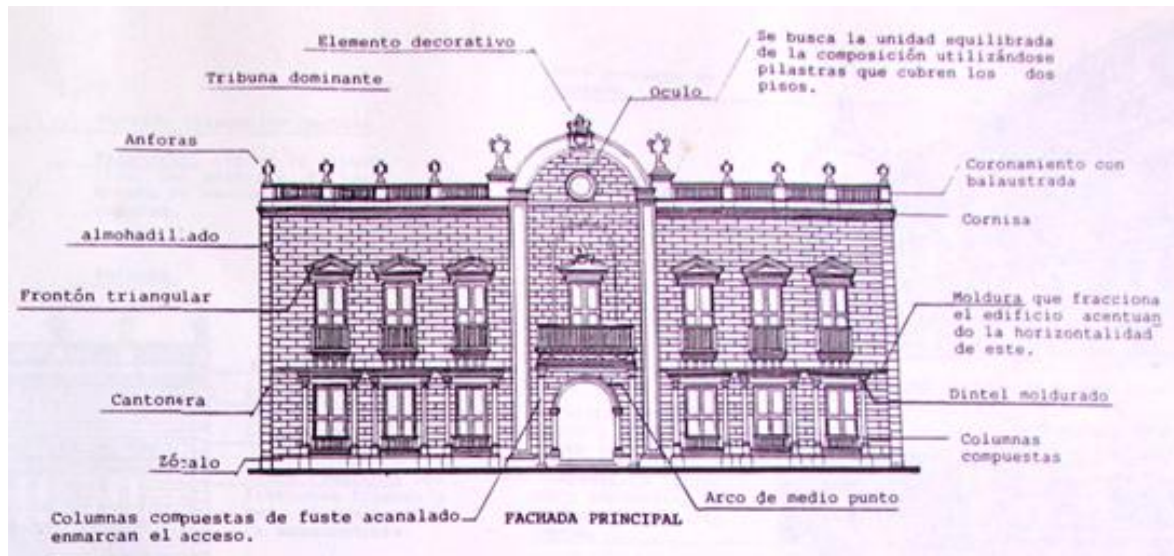


Ilustración 6-3 Fachada principal del Claustro de la Merced Fuente: Trabajo de Grado. Arquitectura religiosa colonial en Cartagena de Indias. Por L. Cassab.



Fachada Principal. Fuente: Autores

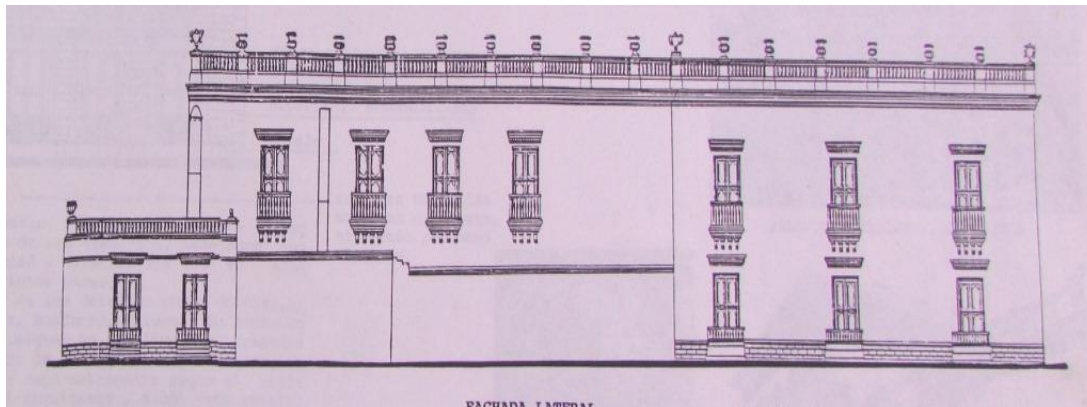


Ilustración 6-4 Fachada lateral. Fuente: Trabajo de Grado. Arquitectura religiosa colonial en Cartagena de Indias. Por L. Cassab.



Fachada lateral. Fuente: Autores.

De igual manera la fachada lateral tanto como la posterior mantienen el mismo estilo, terminando rematadas en la parte superior por una franja balaustrada interrumpidas por ánforas que corren a lo largo de toda la fachada, constituyéndose en su remate. Se pueden observar como las tribunas van rematadas con un dintel moldurado. Los vanos se resaltan con molduras y corren superpuestos a lo largo de la fachada.

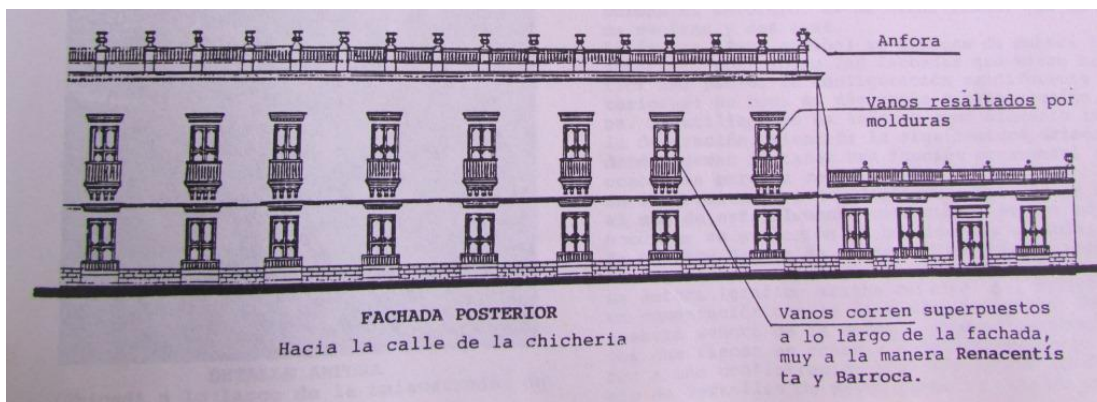


Ilustración 6-5 Fachada posterior. Fuente: Trabajo de Grado. Arquitectura religiosa colonial en Cartagena de Indias. Por L. Cassab.

6.2.2 IDENTIFICACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE PATOLOGÍAS EN EL CLAUSTRO DE LA MERCED DE CARTAGENA DE INDIAS.

6.2.2.1 PISOS

Para la identificación de las patologías en los pisos y consecuentemente con la clasificación hecha en la descripción de los elementos constructivos, se seguirá el orden de la descripción.

En el piso adoquinado del patio se encontraron lesiones leves en cuanto a afectación directa sobre el elemento constitutivo (adoquín), pero se presentan Ahuellamientos excesivos esto debido al asentamiento que presenta el material de relleno y a lo articulado que puede ser este tipo de piso, permitiendo así que se presente estos hundimientos.



<p>RECuento Desgaste Mecánico y Ahuellamientos en Piso FOTOGRAFICO No. 1- Adoquinado</p>		
<p>Carlos Limas Buelvas Diego Rodríguez Gonzales</p>	<p><i>ESTUDIO PATOLÓGICO Y DE VULNERABILIDAD SISMICA DEL CLAUSTRO DE LA MERCED DE CARTAGENA DE INDIAS</i></p>	



		UNIVERSIDAD DE CARTAGENA FACULTAD DE INGENIERIA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL		 Facultad de Ingeniería PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL		
DATOS GENERALES			CLASIFICACION DE LA EDIFICACION			
Departamento	Bolívar		Edificación Colonial			
Ciudad	Cartagena de Indias		Edificación Republicana		X	
Lugar	Centro		Edificación Baja			
Dirección	Plaza de la artillería N 38 - 40		Edificación Alta			
Fecha	17 DE JUNIO DEL 2014		Edificación Alta Con Entrepisos		X	
Edificio	CLAUSTRO DE LA MERCED DE CARTAGENA DE INDIAS					
DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA						
¿La edificación se encuentra en uso?			SI	X	NO	
UTILIZACION DE LA ESTRUCTURA						
Familiar	Hotel	Restaurante	Institucional	Comercial	Otros	Cuál?
			X			
Entorno (Ambiente Exterior)			Director	Walberto Rivera Martínez		
Clima			Autores	Carlos Limas Buelvas Diego Rodríguez González		
Seco	X					
Lluvioso						
						
VALORACION VISUAL						
Elemento	Piso Adoquinado - Zona de Patio		Lesiones Encontradas			
AFECTACION DE LAS LESIONES	Seguridad		Humedades			
	Funcionalidad		Desprendimientos		X	
	Aspecto	X	Grietas		X	
NIVEL DE INTERVENSION	Imprescindible		Fisuras		X	
	Necesaria	X	Erosión			
	Conveniente		Suciedad			
GRADO DE LESIÓN	Leve	X	Ahuellamientos		X	
	Moderado		Desgaste - Abrasión		X	
	Fuerte		Hongos - Moho			
	Severo		Perdida de Material		X	

Figura 6-3 Ficha técnica patologías, clasificación de daño pisos adoquinado.

En el corredor principal del primer piso el estado de afectación de los pisos es leve, esto se debe al grado de fisuración del piso de cemento pulido. Gran parte de este presenta fisuras y ahullamientos



debido a las deflexiones que se presenta el terreno y exponiendo este a esfuerzos de tensión provocando así fisuras, el desgaste mecánico que se presentas es producto de las condiciones climáticas y el transitar diario de las personas que frecuentan la edificación.

<p>RECuento FOTOGRAFICO No. 2- Fisuras y Ahuellamientos en Piso de Cemento Pulido.</p>		
<p>Carlos Limas Buelvas Diego Rodríguez Gonzales</p>	<p><i>ESTUDIO PATOLÓGICO Y DE VULNERABILIDAD SISMICA DEL CLAUSTRO DE LA MERCED DE CARTAGENA DE INDIAS</i></p>	







		UNIVERSIDAD DE CARTAGENA FACULTAD DE INGENIERIA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL		 Facultad de Ingeniería PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL		
DATOS GENERALES			CLASIFICACION DE LA EDIFICACION			
Departamento	Bolívar		Edificación Colonial			
Ciudad	Cartagena de Indias		Edificación Republicana		X	
Lugar	Centro		Edificación Baja			
Dirección	Plaza de la artillería N 38 - 40		Edificación Alta			
Fecha	17 DE JUNIO DEL 2014		Edificación Alta Con Entrepisos		X	
Edificio	CLAUSTRO DE LA MERCED DE CARTAGENA DE INDIAS					
DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA						
¿La edificación se encuentra en uso?			SI	X	NO	
UTILIZACION DE LA ESTRUCTURA						
Familiar	Hotel	Restaurante	Institucional	Comercial	Otros	Cuál?
			X			
Entorno (Ambiente Exterior)			Director	Walberto Rivera Martínez		
Clima			Autores	Carlos Limas Buelvas Diego Rodríguez González		
Seco	X					
Lluvioso						
						
VALORACION VISUAL						
Elemento	Piso Cemento Pulido - Zona corredor principal primer piso.		Lesiones Encontradas			
AFECTACION DE LAS LESIONES	Seguridad		Humedades			
	Funcionalidad		Desprendimientos		X	
	Aspecto	X	Grietas		X	
NIVEL DE INTERVENSION	Imprescindible		Fisuras		X	
	Necesaria	X	Erosión			
	Conveniente		Suciedad			
GRADO DE LESIÓN	Leve	X	Ahuellamientos		X	
	Moderado		Desgaste - Abrasión		X	
	Fuerte		Hongos - Moho			
	Severo		Perdida de Material		X	

Figura 6-4 Ficha técnica patologías, clasificación de daño pisos cemento pulido.



Los pisos de la escalera constituidos por mármol blanco se encuentran en buen estado en los escalones y en un nivel de afectación leve en el descanso intermedio, debido a los asentamientos que tuvo la base donde están emplazadas las láminas de mármol, transmitiendo a ellas deflexiones y provocando así la fisuración excesiva que se observa en el recuento fotográfico No. 3.

	<p>RECuento FOTOGRAFICO No. 3- Fisuras, Ahuellamientos y suciedad en Piso de Mármol Blanco.</p>	
<p>Carlos Limas Buelvas Diego Rodríguez Gonzales</p>	<p><i>ESTUDIO PATOLÓGICO Y DE VULNERABILIDAD SISMICA DEL CLAUSTRO DE LA MERCED DE CARTAGENA DE INDIAS</i></p>	

En el segundo nivel de la edificación el estado de afectación de los pisos es severo. Esto se debe al grado de fisuración y descascaramiento del embaldosado. La mayoría de las baldosas presentan



desprendimientos y erosiones mecánicas severas, esto en gran parte por el efecto que causan las deflexiones del entrepiso al embaldosado, perdiendo el agarre entre la baldosa y el material de pega, causando así desprendimiento de las baldosas y ahuellamientos en la superficie. Los movimientos entre juntas producidos por las deformaciones del conjunto de elementos del entrepiso son también causante de fisuras en los pisos.

<p>RECUENTO FOTOGRAFICO No. 4- Lesiones mecánica. Fisuras, Ahuellamientos y descascamiento en baldosas de segundo nivel.</p>		
<p>Carlos Limas Buelvas Diego Rodríguez Gonzales</p>	<p><i>ESTUDIO PATOLÓGICO Y DE VULNERABILIDAD SISMICA DEL CLAUSTRO DE LA MERCED DE CARTAGENA DE INDIAS</i></p>	



		UNIVERSIDAD DE CARTAGENA FACULTAD DE INGENIERIA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL		 Facultad de Ingeniería PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL		
DATOS GENERALES			CLASIFICACION DE LA EDIFICACION			
Departamento	Bolívar		Edificación Colonial			
Ciudad	Cartagena de Indias		Edificación Republicana		X	
Lugar	Centro		Edificación Baja			
Dirección	Plaza de la artillería N 38 - 40		Edificación Alta			
Fecha	17 DE JUNIO DEL 2014		Edificación Alta Con Entrepisos		X	
Edificio	CLAUSTRO DE LA MERCED DE CARTAGENA DE INDIAS					
DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA						
¿La edificación se encuentra en uso?		SI	X	NO		
UTILIZACION DE LA ETRECUTURA						
Familiar	Hotel	Restaurante	Institucional	Comercial	Otros	Cuál?
			X			
Entorno (Ambiente Exterior)			Director	Walberto Rivera Martínez		
Clima			Autores	Carlos Limas Buelvas Diego Rodríguez González		
Seco	X					
Lluvioso						
						
VALORACION VISUAL						
Elemento	Piso de Marmol- Zona de escaleras.		Lesiones Encontradas			
AFECTACION DE LAS LESIONES	Seguridad		Humedades			
	Funcionalidad		Desprendimientos			
	Aspecto	X	Grietas		X	
NIVEL DE INTERVENSION	Imprescindible		Fisuras		X	
	Necesaria	X	Erosión			
	Conveniente		Suciedad			
GRADO DE LESIÓN	Leve	X	Ahuellamientos		X	
	Moderado		Desgaste - Abrasión		x	
	Fuerte		Hongos - Moho			
	Severo		Perdida de Material			



		UNIVERSIDAD DE CARTAGENA FACULTAD DE INGENIERIA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL		 Facultad de Ingeniería PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL		
DATOS GENERALES			CLASIFICACION DE LA EDIFICACION			
Departamento	Bolívar		Edificación Colonial			
Ciudad	Cartagena de Indias		Edificación Republicana		X	
Lugar	Centro		Edificación Baja			
Dirección	Plaza de la artillería N 38 - 40		Edificación Alta			
Fecha	17 DE JUNIO DEL 2014		Edificación Alta Con Entrepisos		X	
Edificio	CLAUSTRO DE LA MERCED DE CARTAGENA DE INDIAS					
DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA						
¿La edificación se encuentra en uso?			SI	X	NO	
UTILIZACION DE LA ETRECUTURA						
Familiar	Hotel	Restaurante	Institucional	Comercial	Otros	Cuál?
			X			
Entorno (Ambiente Exterior)			Director	Walberto Rivera Martínez		
Clima			Autores	Carlos Limas Buelvas Diego Rodríguez González		
Seco	X					
Lluvioso						
 						
VALORACION VISUAL						
Elemento	Piso de baldosa- Zona de Corredor Segundo nivel.			Lesiones Encontradas		
AFECTACION DE LAS LESIONES	Seguridad			Humedades		
	Funcionalidad			Desprendimientos	X	
	Aspecto	X		Grietas		
NIVEL DE INTERVENSION	Imprescindible			Fisuras	X	
	Necesaria	X		Erosión		
	Conveniente			Suciedad		
GRADO DE LESIÓN	Leve	X		Ahuellamientos	X	
	Moderado			Desgaste - Abrasión	X	
	Fuerte			Hongos - Moho		
	Severo			Perdida de Material	X	

Figura 6-5 Ficha técnica patologías, clasificación de daño piso de baldosa colonial.



7.2.2.2 ENTREPISOS

La inspección visual y el recuento fotográfico solo se llevó a cabo en los lugares que fueron de fácil acceso para la realización del estudio, por encontrarse algunas áreas con cielorraso no fue posible la caracterización en esas zonas, estas zonas están señaladas en el plano de localización de patologías.

En general el estado del entrepiso del segundo nivel del Claustro se encuentra en mal estado, el grado de afectación de este es severo, más adelante se mostrará el análisis de las patologías encontradas.

El entrepiso presenta corrosión en su acero de refuerzo, tanto en la losa como en las vigas. La corrosión en el concreto armado es un problema que no solo afecta la integridad estructural de la edificación, dado que causa agrietamientos en el concreto y reducción en la sección del acero de refuerzo, sino que también compromete la seguridad de las personas que frecuentan el Claustro. En todo el entrepiso del primer nivel podemos observar manchas, suciedad, grietas y desprendimiento de concreto. Esto debido a que el acero de refuerzo al ser afectado por la corrosión, esta patología de tipo química que hace que se vea comprometida la sección de este y a su vez pierde adherencia con el concreto, causando así grietas y desprendimiento de material.



<p>RECuento FOTOGRAFICO No. 5- Manchas y desprendimiento de material de acabado en losa del entrepiso del segundo nivel.</p>		
<p>Carlos Limas Buelvas Diego Rodríguez Gonzales</p>	<p>ESTUDIO PATOLÓGICO Y DE VULNERABILIDAD SISMICA DEL CLAUSTRO DE LA MERCED DE CARTAGENA DE INDIAS</p>	

En el recuento fotográfico No. 6, podemos observar la afectación de las losas de entre piso por la presencia de fisuras que demarcan las zonas comprometidas y señalan un eminente desprendimiento de concreto.



<p>RECUENTO FOTOGRAFICO No. 6- Fisuración en losa de entrepiso (segundo piso) y eminente desprendimiento de concreto.</p>		
<p>Carlos Limas Buelvas Diego Rodríguez Gonzales</p>	<p><i>ESTUDIO PATOLÓGICO Y DE VULNERABILIDAD SISMICA DEL CLAUSTRO DE LA MERCED DE CARTAGENA DE INDIAS</i></p>	

Sobre todo el corredor principal del primer piso se puede observar desprendimientos excesivos de concreto de la losa de entrepiso, los cuales pone en riesgo a las personas que frecuentan el Claustro. En recuento fotográfico No. 7 podemos observar la severidad con que está afectado este.



<p>RECUESTO FOTOGRAFICO No. 7- Desprendimiento de concreto en losa del entrepiso, se puede observar corrosión y pérdida de sección del acero de refuerzo.</p>		
<p>Carlos Limas Buelvas Diego Rodríguez Gonzales</p>	<p>ESTUDIO PATOLÓGICO Y DE VULNERABILIDAD SISMICA DEL CLAUSTRO DE LA MERCED DE CARTAGENA DE INDIAS</p>	

Es notable el nivel de afectación que se presenta en las vigas, en las cuales se puede observar fisuras, grietas y desprendimientos importantes. Lo cual es producto de la corrosión de su acero de refuerzo como se expuso anteriormente.



	<p>RECuento FOTOGRAFICO No. 8- Detalle de fisuración (2 mm de espesor) de las vigas de entepiso, se prevén desprendimientos eminentes en la dirección de la grieta.</p>	
<p>Carlos Limas Buelvas Diego Rodríguez Gonzales</p>	<p>ESTUDIO PATOLÓGICO Y DE VULNERABILIDAD SISMICA DEL CLAUSTRO DE LA MERCED DE CARTAGENA DE INDIAS</p>	

En el recuento fotográfico N° 9 podemos observar el nivel de afectación que presentan algunas de las vigas que conforman en entepiso, en la cual se puede apreciar la pérdida de sección del elemento y la manera como queda expuesto su acero de refuerzo el cual se encuentra en un nivel de corrosión avanzado, ya se puede observar escaras.



	<p>RECUENTO FOTOGRAFICO No. 9- Perdida de sección en las vigas del entresuelo por desprendimiento de concreto de recubrimiento, se puede observar que el grado de corrosión en el acero de refuerzos de las vigas es alto</p>	
<p>Carlos Limas Buelvas Diego Rodríguez Gonzales</p>	<p><i>ESTUDIO PATOLÓGICO Y DE VULNERABILIDAD SISMICA DEL CLAUSTRO DE LA MERCED DE CARTAGENA DE INDIAS</i></p>	



		UNIVERSIDAD DE CARTAGENA FACULTAD DE INGENIERIA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL		 Facultad de Ingeniería PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL		
DATOS GENERALES			CLASIFICACION DE LA EDIFICACION			
Departamento	Bolívar		Edificación Colonial			
Ciudad	Cartagena de Indias		Edificación Republicana		X	
Lugar	Centro		Edificación Baja			
Dirección	Plaza de la artillería N 38 - 40		Edificación Alta			
Fecha	17 DE JUNIO DEL 2014		Edificación Alta Con Entrepisos		X	
Edificio	CLAUSTRO DE LA MERCED DE CARTAGENA DE INDIAS					
DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA						
¿La edificación se encuentra en uso?			SI	X	NO	
UTILIZACION DE LA ETRECUTURA						
Familiar	Hotel	Restaurante	Institucional	Comercial	Otros	Cuál?
			X			
Entorno (Ambiente Exterior)			Director	Walberto Rivera Martínez		
Clima			Autores	Carlos Limas Buelvas Diego Rodríguez González		
Seco	X					
Lluvioso						
						
VALORACION VISUAL						
Elemento	Entre Piso		Lesiones Encontradas			
AFECTACION DE LAS LESIONES	Seguridad	X	Humedades		X	
	Funcionalidad		Desprendimientos		X	
	Aspecto		Grietas		X	
NIVEL DE INTERVENSION	Imprescindible	X	Fisuras		X	
	Necesaria		Erosión		X	
	Conveniente		Suciedad		X	
GRADO DE LESIÓN	Leve		Ahuellamientos		X	
	Moderado		Desgaste - Abrasión			
	Fuerte		Hongos - Moho		X	
	Severo	X	Pérdida de Material		X	

Figura 6-6 Ficha técnica patologías, clasificación de daño entrepiso.



7.2.2.3 MUROS

Es muy significativo para este estudio conocer el estado actual de los muros de la edificación, ya que estos forman la parte más importante del sistema estructural, siendo estos en primera instancia los responsables de la estabilidad estructural y de una buena respuesta ante un evento sísmico, para ello se hace un estudio más profundo en el análisis de vulnerabilidad sísmica.

En cuanto a la verticalidad en los muros se pudo apreciar que no se cuentan con desplomes mayores al 3%. Las inclinaciones que presentan los muros se deben a la disminución de la sección de estos a medida que ganan altura. Estructuralmente los muros se encuentran en buen estado, no se presentan signos de asentamientos diferenciales excesivos. A pesar de presentar buen comportamiento mecánico se notó la presencia de lesiones mecánicas que fueron identificadas en la edificación que van desde fisuras leves que no sobrepasan los 2 mm de espesor hasta grietas, lo que ha causado desprendimiento material en los casos de mayor afectación.



<p>RECUENTO FOTOGRAFICO No. 10-</p>	<p>Lesiones mecánicas en los muros portantes, fisura de 1 metro de longitud y 2 mm de espesor. Fotografía superior. Fisura en arco. 1,5 mm de espesor. Fotografía inferior.</p>	
<p>Carlos Limas Buelvas Diego Rodríguez Gonzales</p>	<p>ESTUDIO PATOLÓGICO Y DE VULNERABILIDAD SISMICA DEL CLAUSTRO DE LA MERCED DE CARTAGENA DE INDIAS</p>	

También se identificaron en la parte de los muros expuestas a al exterior lesiones físicas como suciedad, erosión, eflorescencias y lesiones por raíces de vegetación, esto producto de la intemperie que hace vulnerable los muros de los ataques erosivos del vientos y brisas marinas.



<p>RECuento Lesiones físicas por erosión en muros. Erosión que dio origen a una eflorescencia.</p> <p>FOTOGRAFICO No. 11-</p>		
<p>Carlos Limas Buelvas Diego Rodríguez Gonzales</p>	<p><i>ESTUDIO PATOLÓGICO Y DE VULNERABILIDAD SISMICA DEL CLAUSTRO DE LA MERCED DE CARTAGENA DE INDIAS</i></p>	



<p>RECuento FOTOGRAFICO No. 12- Lesiones Químicas en muros. Lesiones por raíces de vegetación, oxidación en acero en balaustres ,moho</p>		
<p>Carlos Limas Buelvas Diego Rodríguez Gonzales</p>	<p><i>ESTUDIO PATOLÓGICO Y DE VULNERABILIDAD SISMICA DEL CLAUSTRO DE LA MERCED DE CARTAGENA DE INDIAS</i></p>	







		UNIVERSIDAD DE CARTAGENA FACULTAD DE INGENIERIA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL		 Facultad de Ingeniería PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL		
DATOS GENERALES			CLASIFICACION DE LA EDIFICACION			
Departamento	Bolívar		Edificación Colonial			
Ciudad	Cartagena de Indias		Edificación Republicana		X	
Lugar	Centro		Edificación Baja			
Dirección	Plaza de la artillería N 38 - 40		Edificación Alta			
Fecha	17 DE JUNIO DEL 2014		Edificación Alta Con Entrepisos		X	
Edificio	CLAUSTRO DE LA MERCED DE CARTAGENA DE INDIAS					
DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA						
¿La edificación se encuentra en uso?			SI	X	NO	
UTILIZACION DE LA ETRCUTURA						
Familiar	Hotel	Restaurante	Institucional	Comercial	Otros	Cuál?
			X			
Entorno (Ambiente Exterior)			Director	Walberto Rivera Martínez		
Clima			Autores	Carlos Limas Buelvas Diego Rodríguez González		
Seco	X					
Lluvioso						
						
VALORACION VISUAL						
Elemento	MUROS		Lesiones Encontradas			
AFECTACION DE LAS LESIONES	Seguridad		Humedades		X	
	Funcionalidad		Desprendimientos			
	Aspecto	X	Grietas		X	
NIVEL DE INTERVENSION	Imprescindible		Fisuras		X	
	Necesaria		Erosión			
	Conveniente	X	Suciedad		X	
GRADO DE LESIÓN	Leve	X	Ahuellamientos			
	Moderado		Desgaste - Abrasión		X	
	Fuerte		Hongos - Moho		X	
	Severo		Perdida de Material			

Figura 6-7 Ficha técnica patologías, clasificación de daño muros.



7.2.2.4 CUBIERTA.


La cubierta tipo hilera del claustro se encuentra en buen estado, esto debido a las intervenciones que se han venido realizando recientemente para su conservación. Entre las lesiones que se encontraron se destaca la fractura de muchas de sus tejas de borde, siendo esto producto de su mala instalación y de impactos recibidos. También se puede observar suciedades, producidas por material particulado que se adhieren al tejado y producen manchas oscuras.

<p>RECuento FOTOGRAFICO No. 13-</p>	<p>Lesiones mecánica, físicas y biológicas. Lesiones por fractura de tejas, suciedad en tejado de la cubierta tipo hilera y ataque de xilófagos.</p>
<p>Carlos Limas Buelvas Diego Rodríguez Gonzales</p>	<p>ESTUDIO PATOLÓGICO Y DE VULNERABILIDAD SISMICA DEL CLAUSTRO DE LA MERCED DE CARTAGENA DE INDIAS</p>



Desde la zona de escalera se pueden observar elementos constituyentes de la cubierta que no han sido cambiados y presentan ataques por xilófagos es decir insectos que se nutren de la madera como lo es el comején.

La cubierta tipo terraza se le han realizado intervenciones, fue aplicada sobre ella tela impermeabilizante, para protegerla de la intemperie y evitar filtraciones de agua. Entre las lesiones encontradas se destaca la suciedad producto de humedades y se representa como manchas negras sobre la tela impermeabilizante. Las vigas y losa que componen la cubierta tipo terraza se encuentran en buen estado. Solo se pudieron apreciar fisuras leves y manchas y desprendimientos de material leves.

<p>RECUENTO FOTOGRAFICO No. 14-</p>	<p>Lesiones mecánica, físicas y biológicas. Lesiones por fractura de tejas, suciedad en tejado de la cubierta tipo hilera y ataque de xilófagos.</p>
<p>Carlos Limas Buelvas Diego Rodríguez Gonzales</p>	<p>ESTUDIO PATOLÓGICO Y DE VULNERABILIDAD SISMICA DEL CLAUSTRO DE LA MERCED DE CARTAGENA DE INDIAS</p> 







		UNIVERSIDAD DE CARTAGENA FACULTAD DE INGENIERIA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL		 Facultad de Ingeniería PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL		
DATOS GENERALES			CLASIFICACION DE LA EDIFICACION			
Departamento	Bolívar		Edificación Colonial			
Ciudad	Cartagena de Indias		Edificación Republicana		X	
Lugar	Centro		Edificación Baja			
Dirección	Plaza de la artillería N 38 - 40		Edificación Alta			
Fecha	17 DE JUNIO DEL 2014		Edificación Alta Con Entrepisos		X	
Edificio	CLAUSTRO DE LA MERCED DE CARTAGENA DE INDIAS					
DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA						
¿La edificación se encuentra en uso?			SI	X	NO	
UTILIZACION DE LA ETRECUTURA						
Familiar	Hotel	Restaurante	Institucional	Comercial	Otros	Cuál?
			X			
Entorno (Ambiente Exterior)			Director	Walberto Rivera Martínez		
Clima			Autores	Carlos Limas Buelvas Diego Rodríguez González		
Seco	X					
Lluvioso						
						
VALORACION VISUAL						
Elemento	CUBIERTAS		Lesiones Encontradas			
AFECTACION DE LAS LESIONES	Seguridad		Humedades		X	
	Funcionalidad		Desprendimientos		X	
	Aspecto	X	Grietas			
NIVEL DE INTERVENSION	Imprescindible		Fisuras		X	
	Necesaria	X	Erosión			
	Conveniente		Suciedad			
GRADO DE LESIÓN	Leve	X	Ahuellamientos		X	
	Moderado		Desgaste - Abrasión		x	
	Fuerte		Hongos - Moho		X	
	Severo		Perdida de Material			

Figura. 6-8 Ficha técnica patologías, clasificación de daño cubierta.



7.2.2.5 FACHADA.

Las patologías recurrentes que se reflejan en las fachadas del Claustro de la Merced son en su mayoría producto de los vientos marinos que azotan el centro histórico de la ciudad de Cartagena, entre estas lesiones la predominante es la erosión, seguida de suciedad y de la corrosión en el acero de refuerzo de las ornamentaciones de tipo republicano presentes en las fachadas.

<p>RECUENTO FOTOGRAFICO No. 15-</p>	<p>Lesiones físicas en la fachada posterior, erosión y suciedades</p>	
<p>Carlos Limas Buelvas Diego Rodríguez Gonzales</p>	<p><i>ESTUDIO PATOLÓGICO Y DE VULNERABILIDAD SISMICA DEL CLAUSTRO DE LA MERCED DE CARTAGENA DE INDIAS</i></p>	



La humedad capilar es representativa también en el centro histórico, porque en este sector el nivel freático se ve influenciado por la elevación de las mareas; dejando los muros de las edificaciones expuestos al contacto directo con el agua de infiltración. Esto se denota por las manchas oscuras y verdosas hasta los 50 cm. del suelo, algunas de estas manchas son originadas por hongos y/o moho.

		<p>RECUENTO FOTOGRAFICO No. 16- Lesiones químicas en la fachada posterior. Lesiones por raíces de vegetación, presencia de moho en la fachada</p>
<p>Carlos Limas Buelvas Diego Rodríguez Gonzales</p>	<p>ESTUDIO PATOLÓGICO Y DE VULNERABILIDAD SISMICA DEL CLAUSTRO DE LA MERCED DE CARTAGENA DE INDIAS</p>	



Se puede observar a lo largo de la fachada el mal estado en que se encuentran algunos elementos ornamentales del periodo republicano, como lo son los frontones de los dinteles y balaustres estos que se ven afectados por la corrosión del acero de refuerzo que los constituye perdiendo sección y dando así origen a otras lesiones como los son la fisuración y agrietamiento del concreto, ya que el acero al perder sección pierde adherencia con el material de recubrimiento y este se fisura, agrieta y desprende.

		
		
<p>RECUENTO FOTOGRAFICO No. 17-</p>		<p>Lesiones químicas en la fachada posterior. Corrosión en acero de refuerzo de la moldura de dinteles, eflorescencias, suciedad y presencia de moho.</p>
<p>Carlos Limas Buelvas Diego Rodríguez Gonzales</p>		<p>ESTUDIO PATOLÓGICO Y DE VULNERABILIDAD SISMICA DEL CLAUSTRO DE LA MERCED DE CARTAGENA DE INDIAS</p> 



Se presentan lesiones de tipo mecánico en menor proporción como lo son el desprendimiento de material y fisuras a los largo de la fachada, esto producto de las pequeñas deflexiones de los elementos estructurales u ornamentales que conforman la fachada del claustro.



RECUENTO FOTOGRAFICO No. 18-

Lesiones mecánica en la fachada, fisuras y desprendimientos.

**Carlos Limas Buelvas
Diego Rodríguez Gonzales**

**ESTUDIO PATOLÓGICO Y DE
VULNERABILIDAD SISMICA
DEL CLAUSTRO DE LA
MERCED DE CARTAGENA DE
INDIAS**





		UNIVERSIDAD DE CARTAGENA FACULTAD DE INGENIERIA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL		 Facultad de Ingeniería PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL		
DATOS GENERALES			CLASIFICACION DE LA EDIFICACION			
Departamento	Bolívar		Edificación Colonial			
Ciudad	Cartagena de Indias		Edificación Republicana		X	
Lugar	Centro		Edificación Baja			
Dirección	Plaza de la artillería N 38 - 40		Edificación Alta			
Fecha	17 DE JUNIO DEL 2014		Edificación Alta Con Entrepisos		X	
Edificio	CLAUSTRO DE LA MERCED DE CARTAGENA DE INDIAS					
DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA						
¿La edificación se encuentra en uso?			SI	X	NO	
UTILIZACION DE LA ETRECUTURA						
Familiar	Hotel	Restaurante	Institucional	Comercial	Otros	Cuál?
			X			
Entorno (Ambiente Exterior)			Director	Walberto Rivera Martínez		
Clima			Autores	Carlos Limas Buelvas Diego Rodríguez González		
Seco	X					
Lluvioso						
						
VALORACION VISUAL						
Elemento	FACHADAS		Lesiones Encontradas			
AFECTACION DE LAS LESIONES	Seguridad		Humedades	X		
	Funcionalidad		Desprendimientos	X		
	Aspecto	X	Grietas	X		
NIVEL DE INTERVENSION	Imprescindible		Fisuras	X		
	Necesaria	X	Erosión	X		
	Conveniente		Suciedad	X		
GRADO DE LESIÓN	Leve		Ahuellamientos			
	Moderado	X	Desgaste - Abrasión	X		
	Fuerte		Hongos - Moho	X		
	Severo		Perdida de Material	X		

Figura. 6-9 Ficha técnica patologías, clasificación de daño fachada.



6.3 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL CLAUSTRO DE LA MERCED DE CARTAGENA DE INDIAS

Se realizo un analisis dinamico elastico para establecer el valor del cortante basal

Tabla 6-1 Parámetros para el cálculo del periodo de la estructura.

PERIODO FUNDAMENTAL DE LA ESTRUCTURA		
Cu =	1.462	Ecu. A.4.2-2
Ct =	0.047	Tab A.2.4-1
α =	0.9	Tab A.2.4-1
Ta =	0.394771074	Ecu. A.4.2-3
Cu*Ta =	0.57715531	A.4.2.1
k =	1.038577655	A.4.3.2
Sa =	0.5	A.2.6
WT =	1194.208	
CORTANTE SISMICO EN LA BASE		
V =	597.104	A.4.3-1

Tabla 6-2 Calculo de cortante basal.

CORTANTE							
NIVEL	ALTURA, hx	PESO, W	h^k	$W*h^k$	Cv	Fuerza	S Fuerza
SISMICOS	(m.)	(Tn)	(m)	(Tn-m)	(%)	(Tn)	Cortante
2	10.6	524.4	11.7	6112.9	0.6	368.2	368.2
1	5.3	669.8	5.7	3800.6	0.4	228.9	597.1
S =		1194.2		9913.4	1.0	597.1	



Chequeo de la deriva

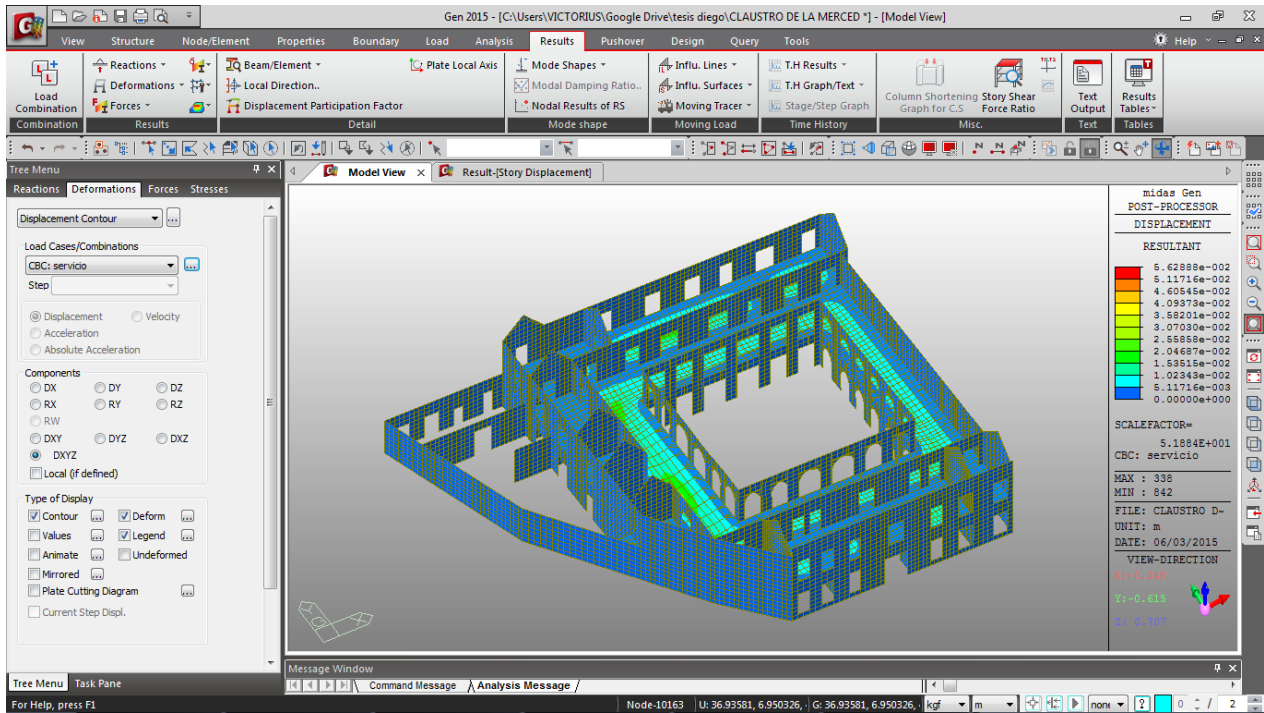
Para el chequeo de la deriva se tomó en cuenta solo la carga muerta de la estructura, el procedimiento se llevó a cabo cumpliendo los requerimientos de la NSR-10 que establece que para muros de carga la deriva máxima debe ser el 0,5% de la altura del piso, los resultados obtenidos para cada sentido fueron los siguientes:

Tabla 6-3 Chequeo de derivas.

NIVEL	DERIVAS								
	Desplazamiento		Delta		deriva		CHEKEO		
	SISMICOS	x (m)	y (m)	Δx	Δy	δx	δy	EN X	EN Y
2		0.028	0.029	0.023	0.025	0.004	0.005	ok	ok
1		0.005	0.005	0.005	0.005	0.001	0.001	ok	ok

Como era de esperarse la estructura presenta poco desplazamiento lateral debido a las grandes dimensiones que presentan cada uno de sus muros de carga. Teniendo en cuenta lo anterior se pudo observar que la estructura cumple todos los requerimientos en cuanto a deriva.

Al modelar la estructura bajo condiciones de carga únicamente verticales se observó que la estructura presenta un buen comportamiento para soportar las solicitaciones de carga, esto era de esperarse debido a las grandes dimensiones de los muros.



Los valores de esfuerzo cortante, traccion y compresion obtenidos del analisis del modelo son los siguientes y se exponen en unidades de toneladas/metro cuadrado:

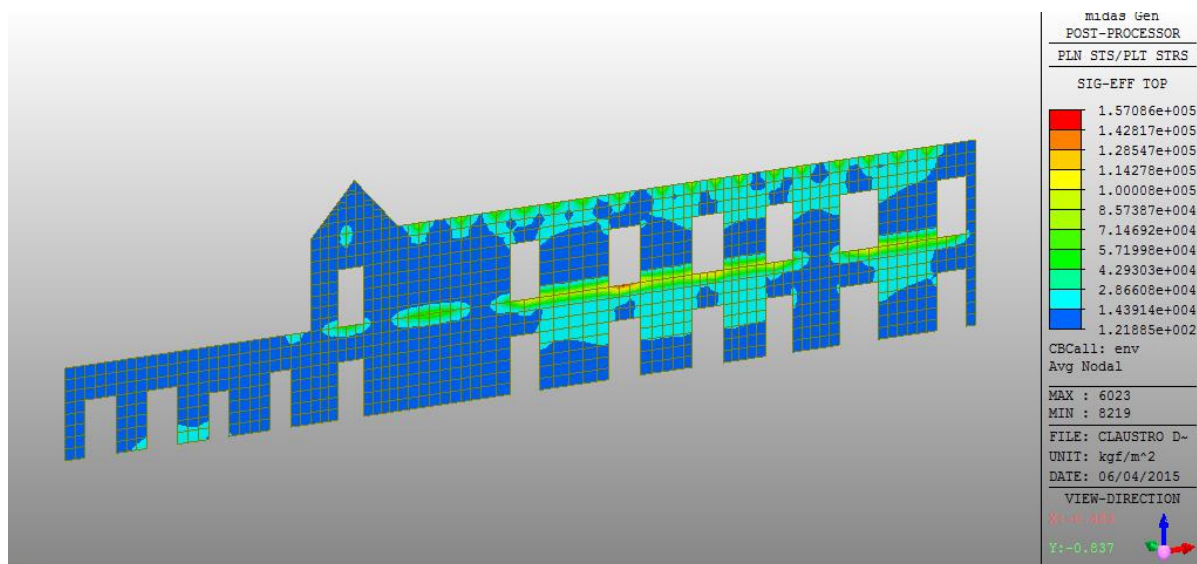
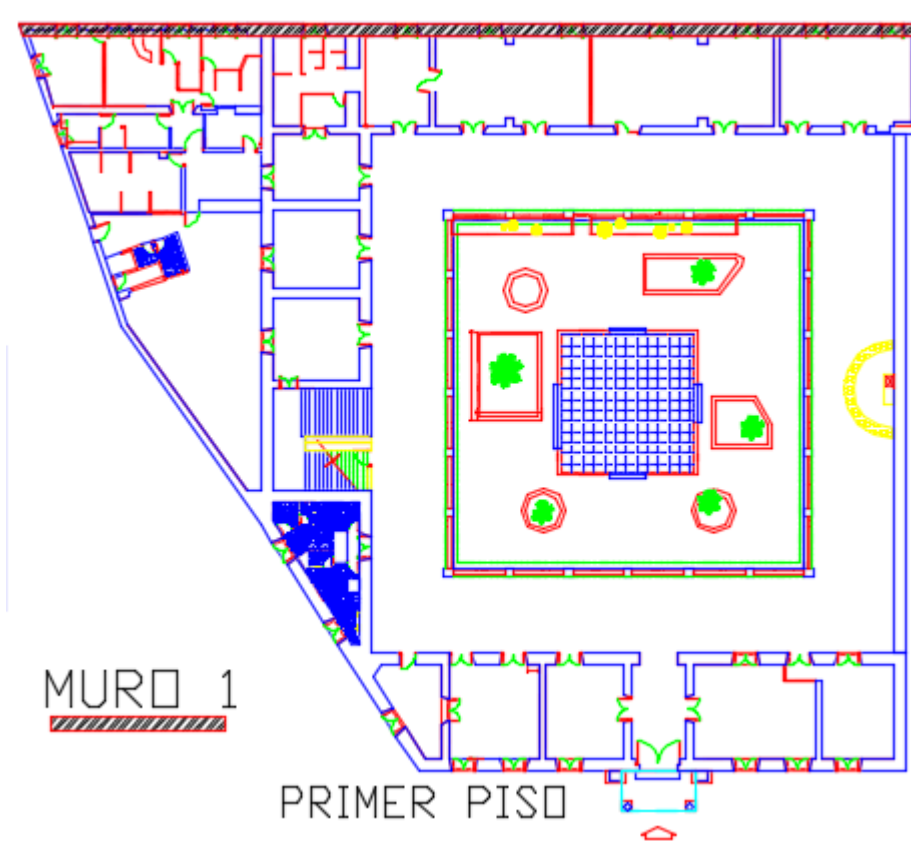


Figura 6-10 Esfuerzos muro 1

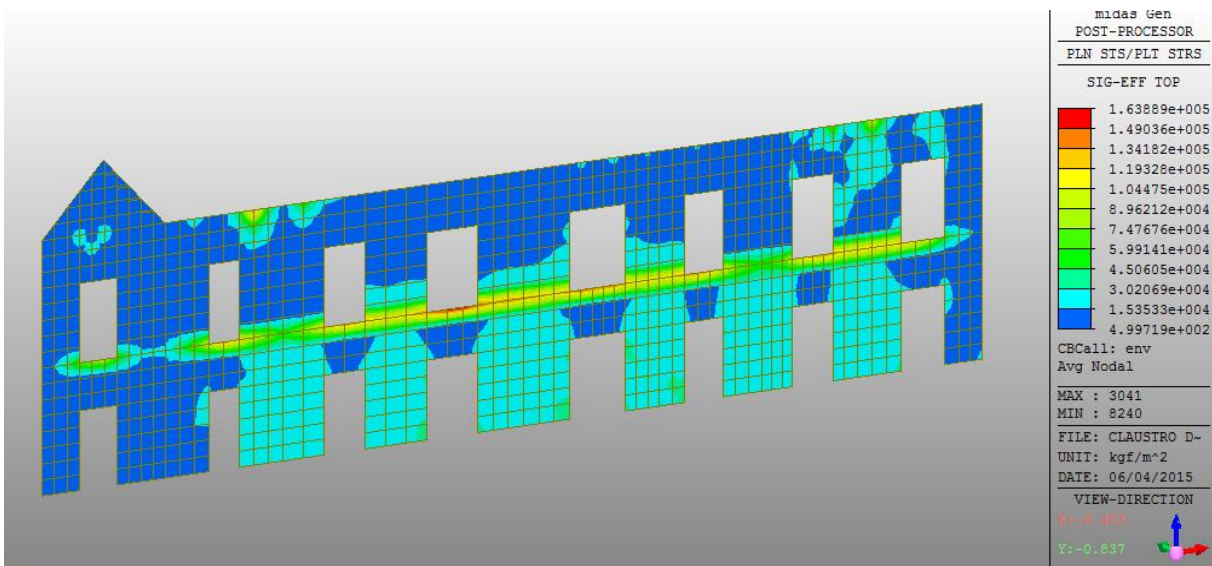
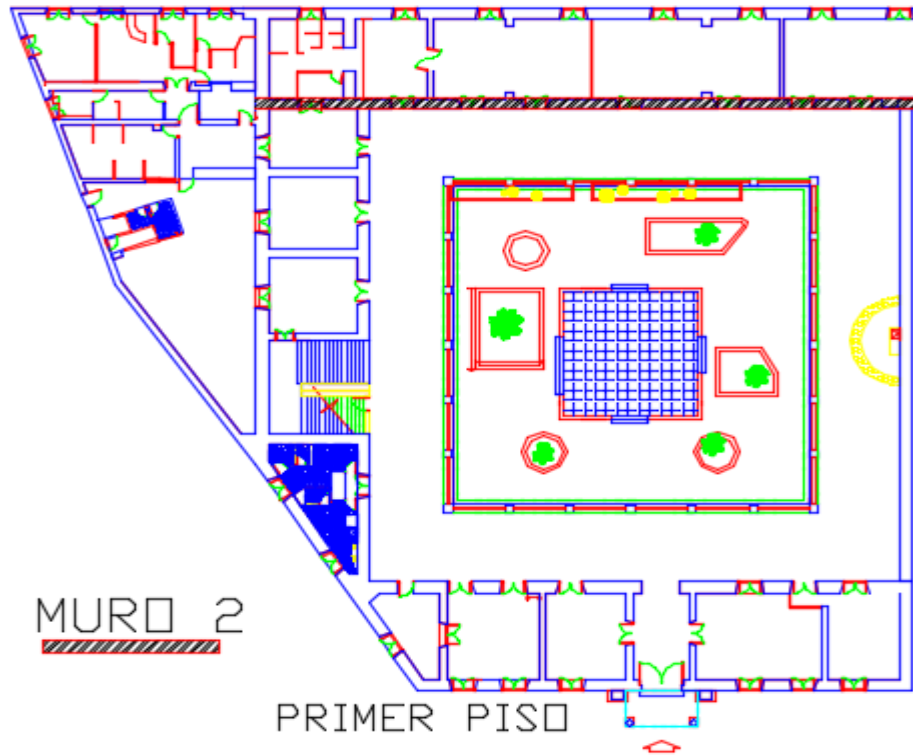


Figura 6-11 Esfuerzos muro 2

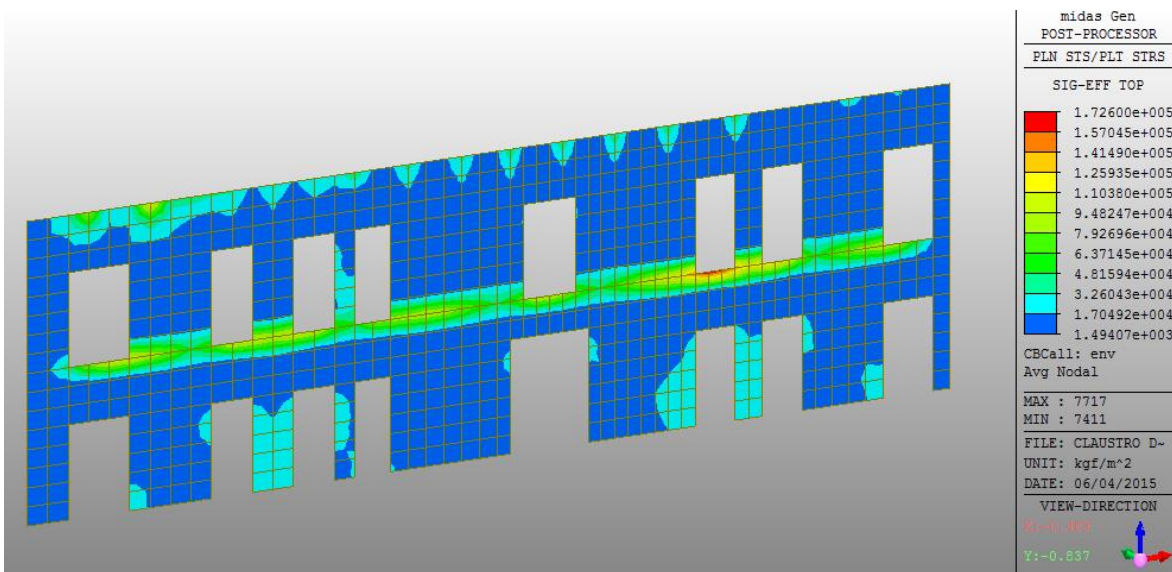
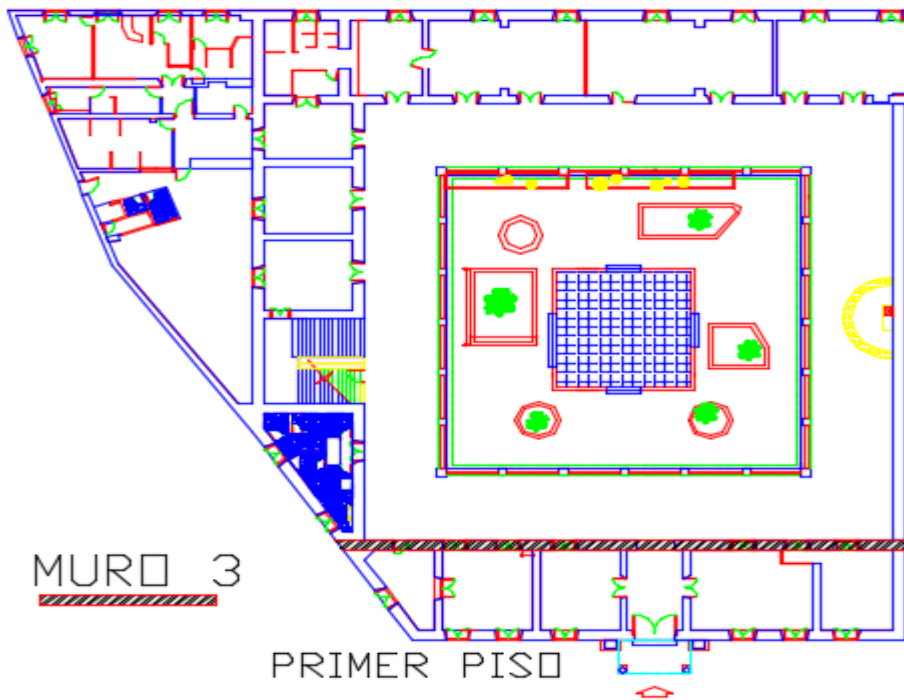


Figura 6-12 Esfuerzos muro 3

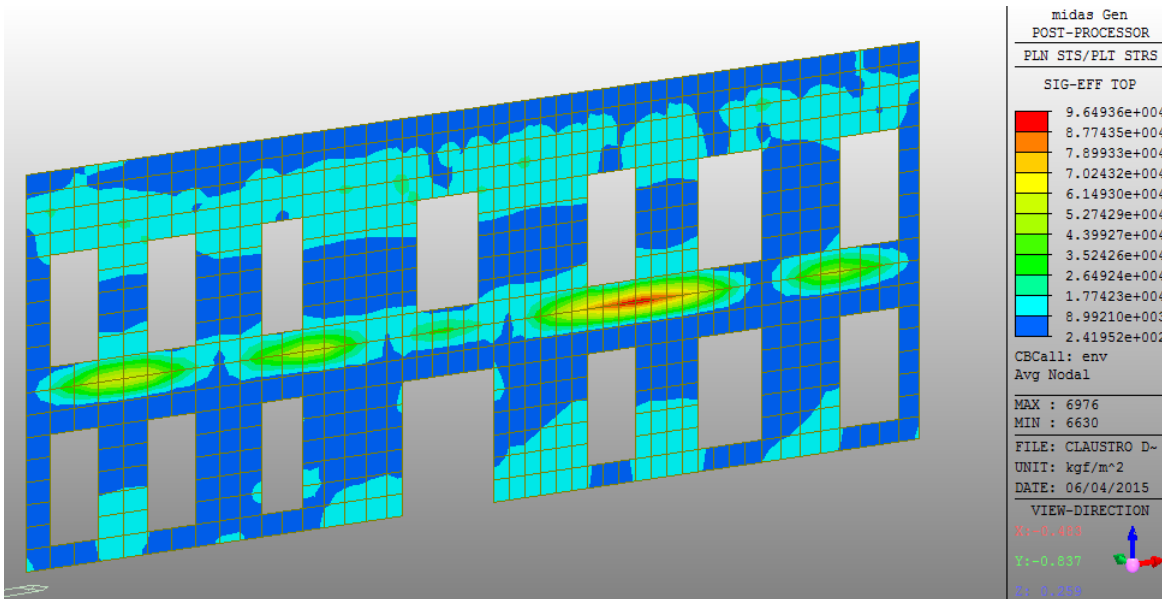
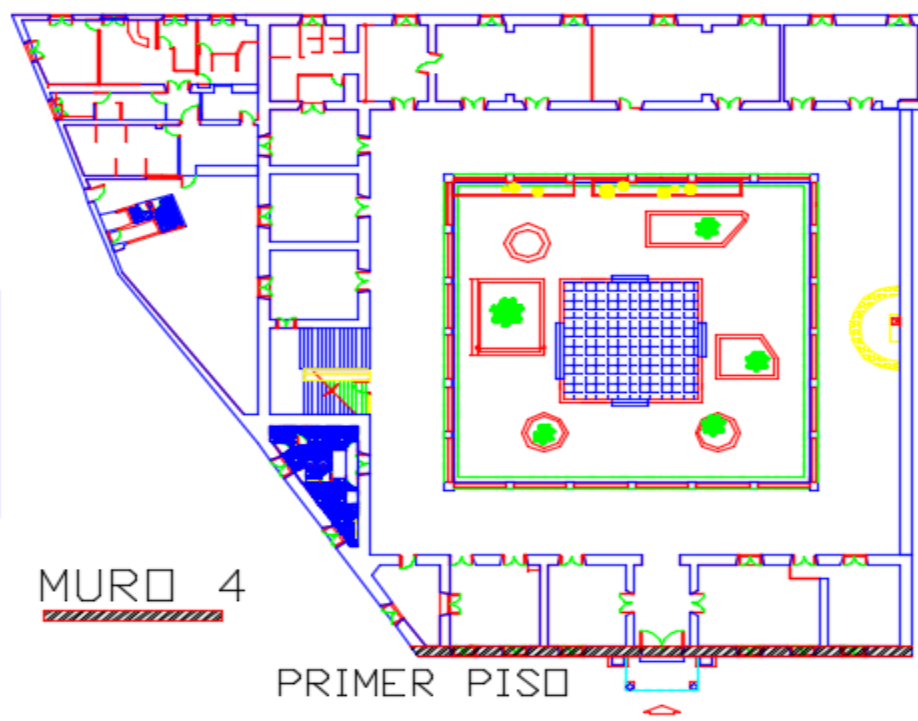


Figura 6-13 Esfuerzos muro 4.

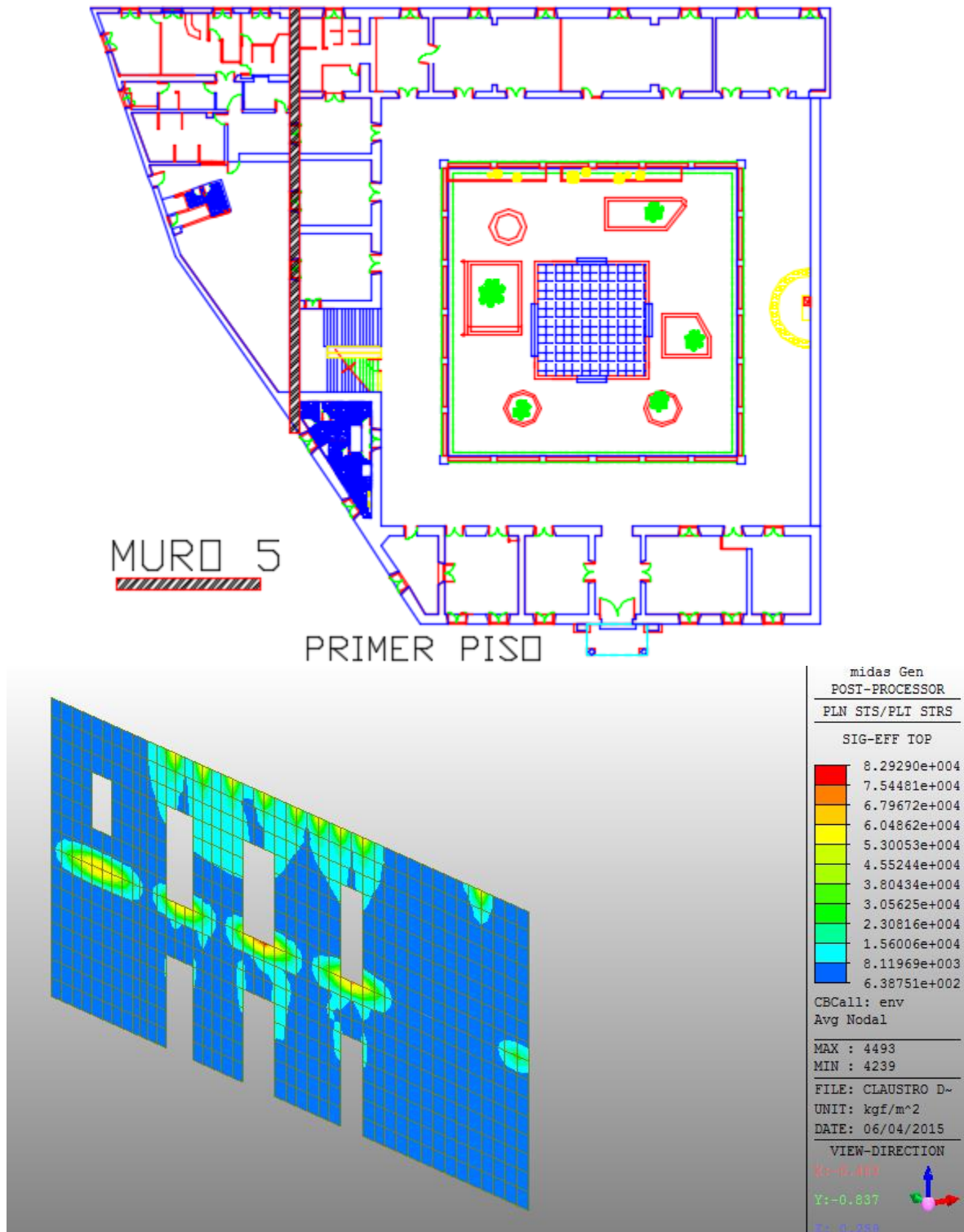


Figura 6-14 Esfuerzos Muro 5.

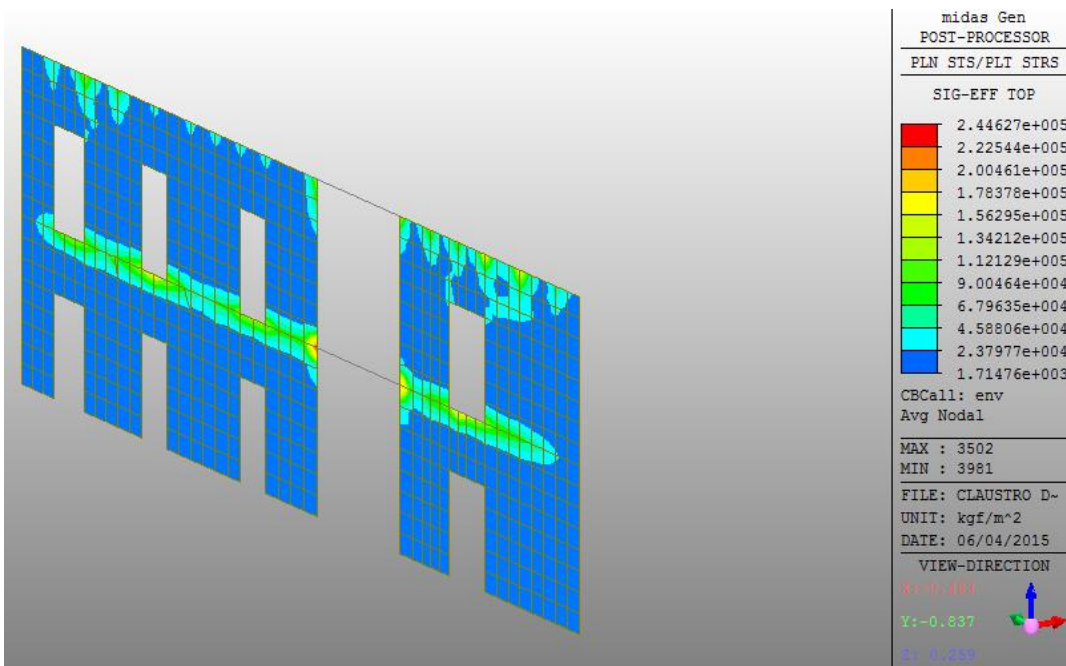
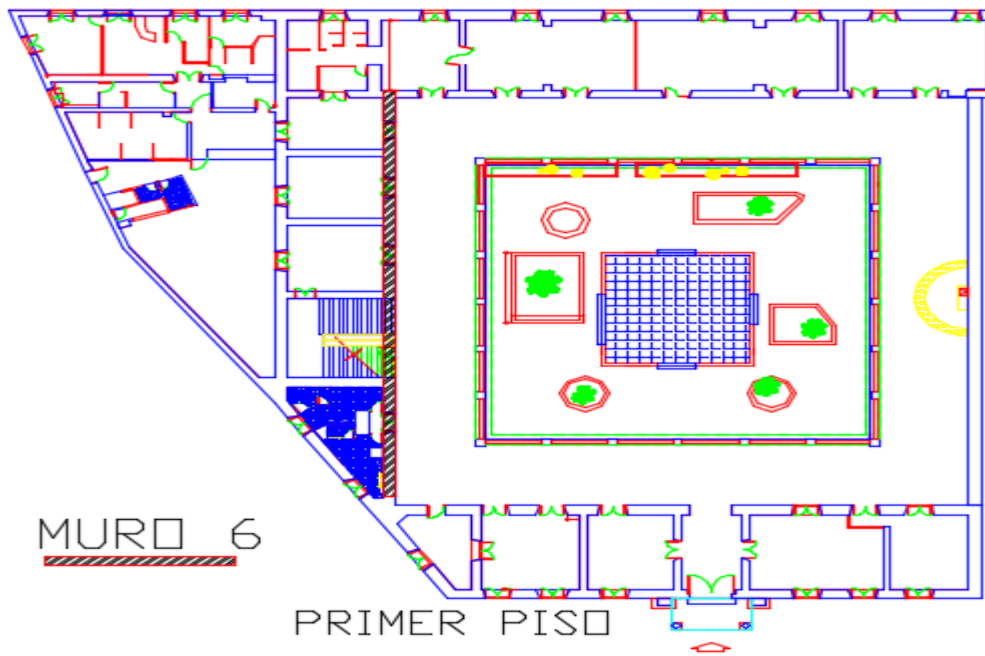


Figura 6-15 Esfuerzos muro 6

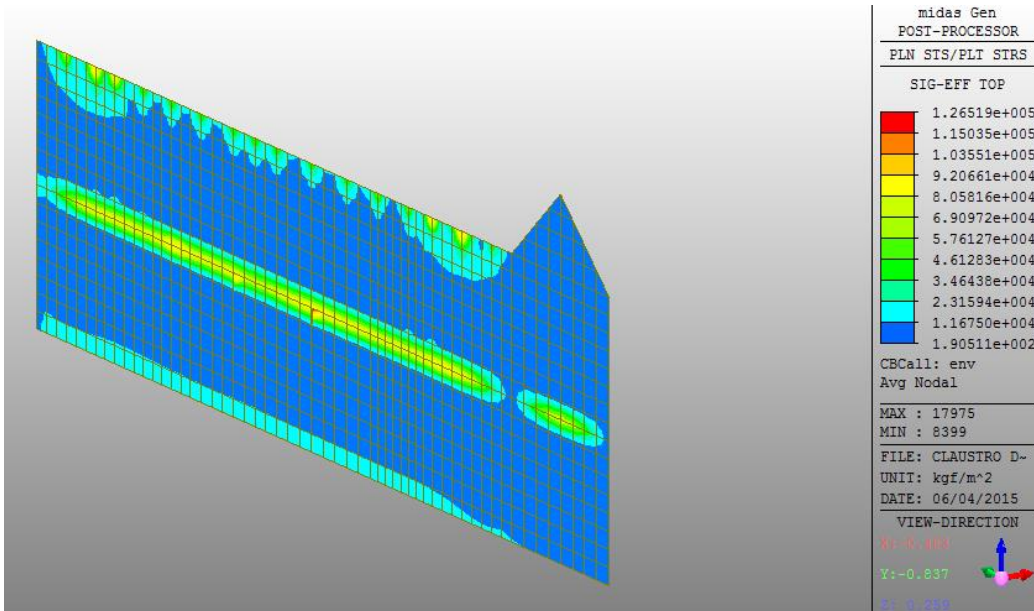
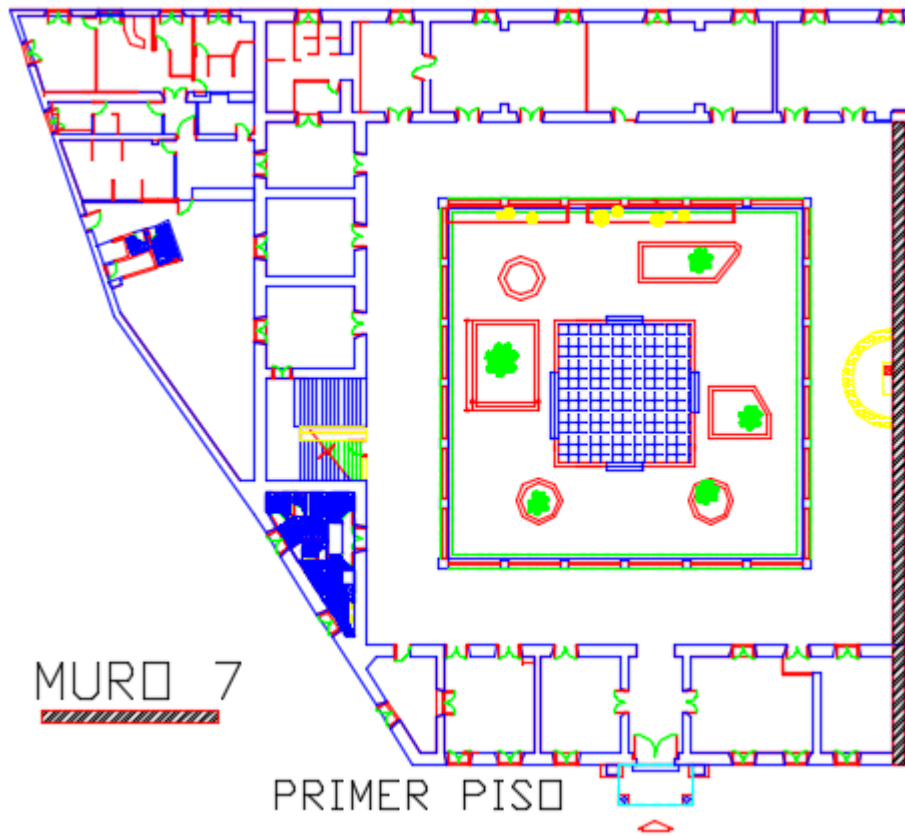


Figura 6-16 Esfuerzos muro 7.

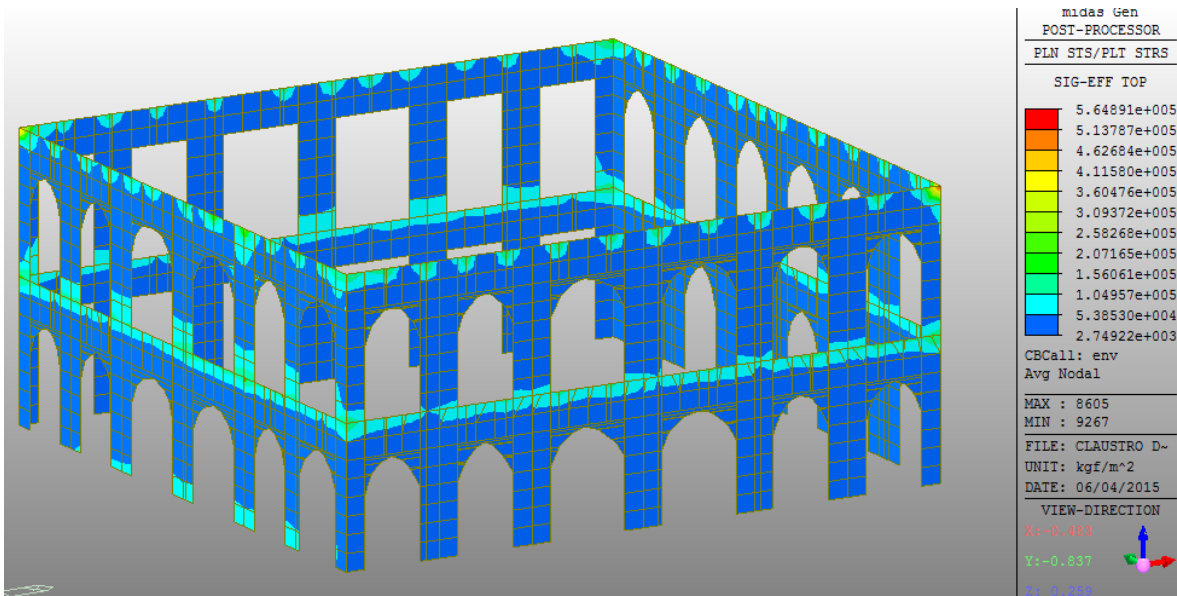
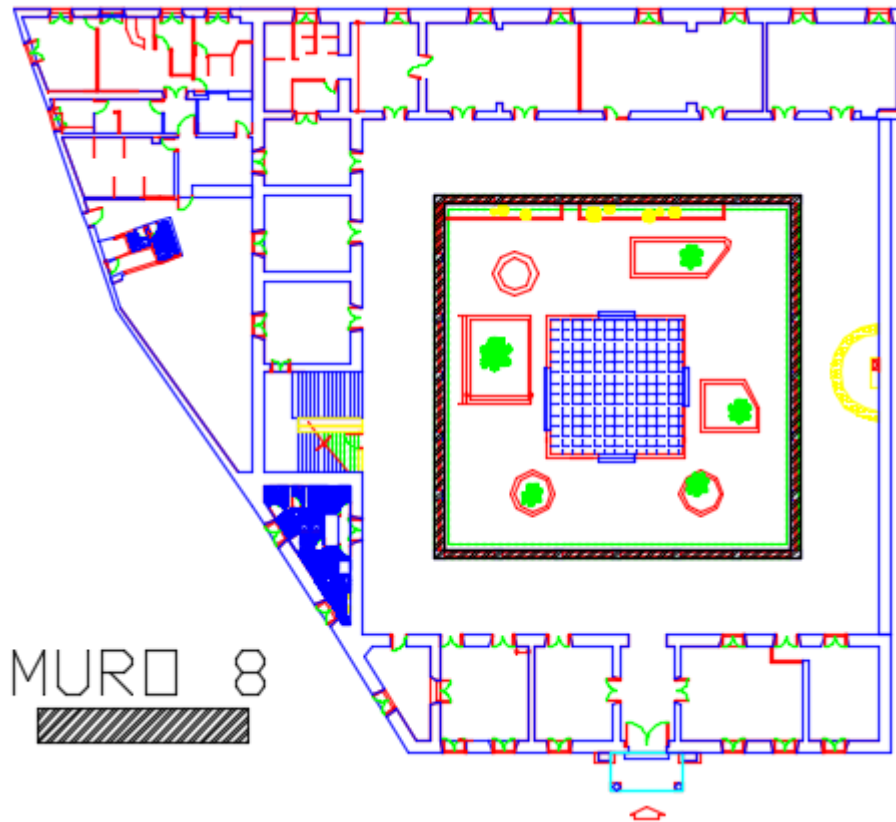


Figura 6-17 Esfuerzos muro 8.

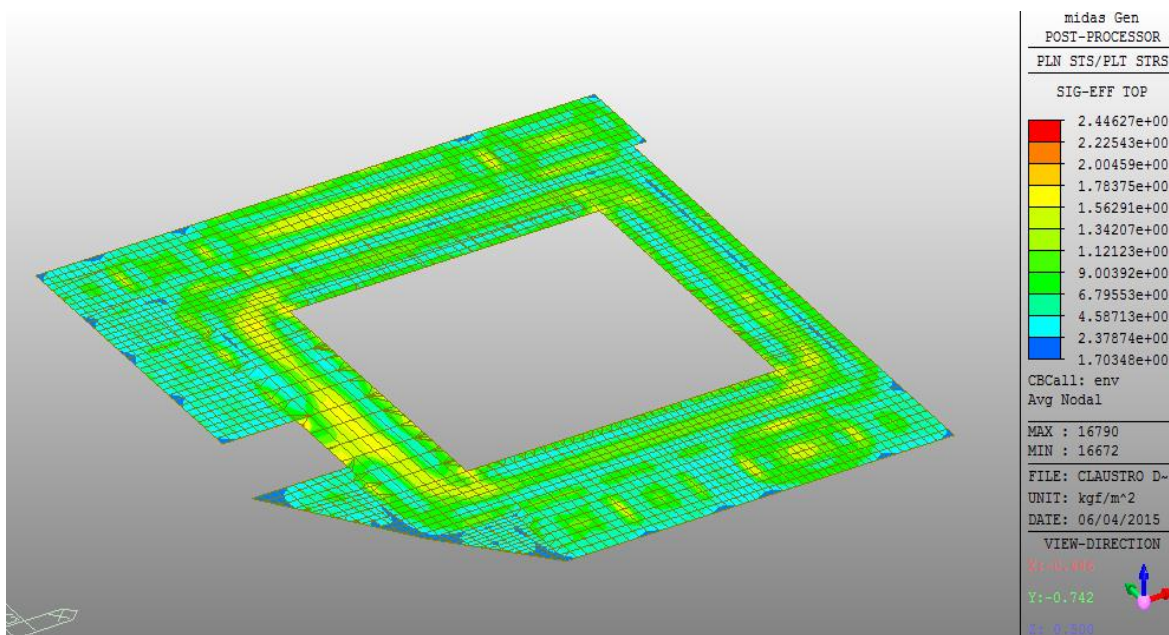


Figura 6-18 Esfuerzos entrepisos.

Tabla 6-4 ESFUERZOS OBTENIDOS DEL ANALISIS DEL MODELO EN Ton/m².

ESFUERZOS OBTENIDOS DEL ANALISIS DEL MODELO EN Ton/m ² .					
MURO 1			MURO 2		
ESFUERZO	S22	S11	ESFUERZO	S22	S11
COMPRESION	90,9	59	COMPRESION	256	150
TRACCION	41	24,68	TRACCION	67,39	39
CORTANTE	45		CORTANTE	57,17	
MURO 3			MURO 4		
ESFUERZO	S22	S11	ESFUERZO	S22	S11
COMPRESION	323,85	98,2	COMPRESION	63,43	116,13
TRACCION	112,77	99,67	TRACCION	49,14	42,96
CORTANTE	82,7		CORTANTE	87,18	
MURO 5			MURO 6		
ESFUERZO	S22	S11	ESFUERZO	S22	S11
COMPRESION	40,12	167,21	COMPRESION	21,76	128,3
TRACCION	54,86	90,38	TRACCION	41,28	81
CORTANTE	89,8		CORTANTE	75,78	
MURO 7			MURO 8		



ESFUERZO	S22	S11	ESFUERZO	S22	S11
COMPRESION	364	198,17	COMPRESION	11,25	68,11
TRACCION	105,13	76,14	TRACCION	39	32,42
CORTANTE	91,5		CORTANTE	47,06	

Acontinuacion se exponen los valores de los sobreesfuerzos obtenidos en los muros del claustro la merced de cartagena de indias en unidades de toneladas/metro cuadrado:

Tabla 6-5 SOBRESFUERZOS OBTENIDOS EN LOS MUROS DE LA ESTRUCTURA EN Ton/m2

SOBRESFUERZOS OBTENIDOS EN LOS MUROS DE LA ESTRUCTURA EN Ton/m2.					
MURO 1			MURO 2		
ESFUERZO	S22	S11	ESFUERZO	S22	S11
COMPRESION	0,25	0,16	COMPRESION	0,71	0,42
TRACCION	1,14	0,69	TRACCION	1,87	1,08
CORTANTE	0,75		CORTANTE	0,95	
MURO 3			MURO 4		
ESFUERZO	S22	S11	ESFUERZO	S22	S11
COMPRESION	0,90	0,27	COMPRESION	0,18	0,32
TRACCION	3,13	2,77	TRACCION	1,37	1,19
CORTANTE	1,38		CORTANTE	1,45	
MURO 5			MURO 6		
ESFUERZO	S22	S11	ESFUERZO	S22	S11
COMPRESION	0,11	0,46	COMPRESION	0,06	0,36
TRACCION	1,52	2,51	TRACCION	1,15	2,25
CORTANTE	1,50		CORTANTE	1,26	
MURO 7			MURO 8		
ESFUERZO	S22	S11	ESFUERZO	S22	S11
COMPRESION	1,01	0,55	COMPRESION	0,03	0,19
TRACCION	2,92	2,12	TRACCION	1,08	0,90
CORTANTE	1,53		CORTANTE	0,78	

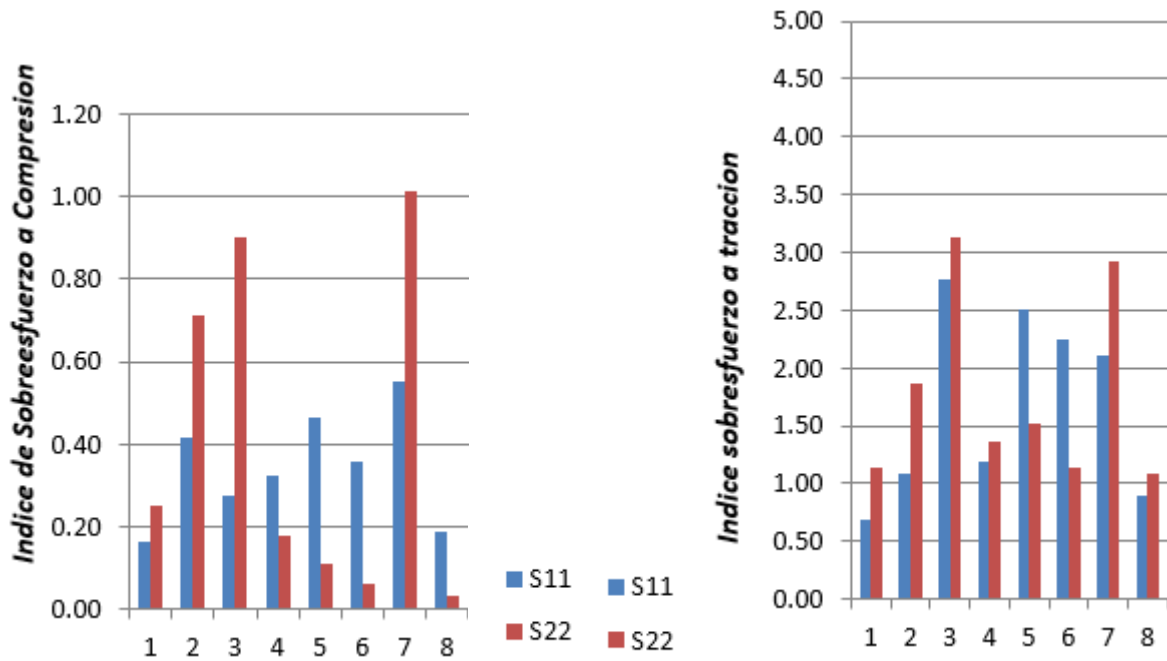


Figura 6-19 Índices de sobre esfuerzo de la estructura.

Se puede observar que la mayoría de los muros están siendo afectados por el esfuerzo a tracción.



7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente estudio ha logrado identificar las patologías presentes en el Claustro de la Merced de Cartagena de Indias, lo cual es de gran importancia para mostrar las condiciones físicas que presenta el Claustro en cuanto a patologías estructurales. Siguiendo la metodología propuesta en este proyecto de grado, se logró localizar, caracterizar las enfermedades que afectan la edificación y que colocan en riesgo la estabilidad de esta a futuro. Se logró valorar el estado del inmueble y presentar un informe formal de la necesidad de implementar medidas de restauración en los elementos afectados de la estructura.

Con este estudio y conforme a los objetivos planteados y a las preguntas de investigación, se ha logrado determinar el estado actual del Claustro, a través de la exhibición de imágenes y fotografías detalladas de los elementos constructivos que los constituyen, se identificaron cualidades propias de los materiales, así como también patologías que permitieron describir patrones de afectación de los distintos materiales que conforman el área de estudio.

La investigación que se llevó a cabo no es del todo una evaluación patológica profunda y tampoco corresponde a un estudio de vulnerabilidad sísmica severo, pero maneja los conceptos y objetivos de ambos, con la ventaja de que es mucho más rápida y económica

Actualmente la estructura está siendo intervenida con el fin de mejorar las condiciones existentes.

Se destaca la importancia de continuar con un estudio más a fondo en lo que concierne a las patologías que afectan las vigas y losa de entrepiso, las cuales no fueron analizadas en su totalidad por haber zonas de difícil acceso ya que estas están cubiertas por cielorrasos y no es posible su



inspección visual. Y teniendo en cuenta que solo la inspección visual no alcanza para diagnosticar la posibilidad del remplazo del elemento estructural, puesto que solo se distinguen agentes que intervienen en las propiedades físicas y no en las propiedades mecánicas que en su mayor grado habilitan o no su estabilidad estructural. Por las limitaciones económicas y de permisos para modificar elementos del Claustro no se propuso un estudio patológico con técnicas instrumentales y ensayos destructivos. La no inclusión de datos por exploración directa, mediante ensayos destructivos, cala, extracción de núcleo y toma de muestras en general, se obvian muchos datos necesarios que podrían alterar las recomendaciones técnicas propuestas en este documento.

La gran mayoría de los documentos consultados como base teórica para el desarrollo de este estudio, como tesis de grado referentes a evaluaciones patológicas de edificios históricos de la ciudad de Cartagena, no logran integrar el análisis de vulnerabilidad sísmica y el estudio de patologías a estas edificaciones, aunque cabe resaltar que este tipo de trabajos han despertado el interés de numerosos expertos y personas interesadas en el área y cada vez son más completos. Este trabajo de grado enmarcado en la línea de seguridad estructural ha logrado el desarrollo de una metodología de análisis a través de la modelación de la estructura del claustro en un software estructural, el análisis realizado se basó en la hipótesis de cargas en la que intervienen las cargas verticales y el sismo, donde se muestran en modelos gráficos las propiedades mecánicas ante las eventualidades sísmicas en la estructura del Claustro.

Se logró determinar que la estructura del Claustro de la Merced de Cartagena de Indias no está en condiciones apropiadas para soportar un eventual movimiento telúrico. Se pudo observar en el análisis estructural de la misma manera que en muchos de los muros y arcos se están presentando sobreesfuerzos de tipo cortante y de tracción. La causa principal de este problema son las características de los materiales de los elementos estructurales que componen la estructura del Claustro. De igual manera se logró establecer en el análisis de la deriva que la estructura cumple



satisfactoriamente con las especificaciones técnicas establecidas en la NSR-10 con respecto a este tema.

Los muros presentan altos niveles de humedad y esto ha producido el desprendimiento del recubrimiento, se recomienda retirar el material afectado por los hongos en los lugares que se requiera y colocar una capa de 5 cm en pañete. Garantizando así la funcionalidad en estos elementos.

El claustro presenta fallas por tracción y cortante en casi todos los arcos y muros estudiados, estos deben ser reforzados con materiales que garanticen la resistencia del elemento ante las fuerzas actuantes. Y en cuanto a las fuerzas verticales presenta un comportamiento aceptable esto debido a la robustez de los muros que componen la estructura.

Durante el estudio patológico no se encontraron resultados inesperados, ya que las patologías que se hallaron van acorde con las condiciones climáticas y las características de la zona de estudio, en los muros se encontraron erosiones, eflorescencias debido a los vientos y brisas marinas y producto de este ambiente agresivo se pudo observar en gran porcentaje los elementos que están siendo afectado por la corrosión de su acero de refuerzo siendo esta última el tipo de lesión más común en el Claustro de la Merced de Cartagena de Indias.

Este tipo de estudio sirve como modelo a ingenieros, arquitectos y personas interesadas en el área de la restauración del patrimonio histórico en la ciudad de Cartagena, ya que cuentan con un modelo de evaluación y diagnóstico para todo tipo de edificación ya sea republicana o colonial, además posee un soporte científico y una ficha técnica de caracterización para futuras evaluaciones o intervenciones.



8. BIBLIOGRAFÍA

- Betti, & Vignoli. ((Betti, Vignoli., 2011) Numerical assessment of the static and seismic behaviour of the basilica of Santa Maria all'Impruneta (Italy) < journal homepage: www.elsevier.com/locate/conbuildmat> de 2011). Numerical assessment of the static and seismic behaviour of the basilica of Santa Maria all'Impruneta (Italy). < journal homepage: www.elsevier.com/locate/conbuildmat>.
- Boroschek, R. (1995). Criterios de Evaluación de la Vulnerabilidad Física de Hospitales Asociadas a Sismos. *XVII Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural*.
- BROTO I. COMERMA Enciclopedia. (s.f.). patologías de la construcción. Stylish Ideas.
- BROTO I. COMERMA Enciclopedia. (s.f.). Patologías de la construcción. Stylish Ideas.
- BROTO, I. (s.f.). *Enciclopedia Broto de Patologías de la Construcción*. Stylish Ideas COMERMA.
- BROTO, I. (s.f.). *Enciclopedia Broto de Patologías de la Construcción*. Stylish Ideas COMERMA.
- BUCHNER, G. (s.f.). *La eflorescencia en el hormigón*. Recuperado el 2 de Abril de 2013, de http://www.ich.cl/docs/presentaciones/texto_lutz_kohnert_4_esp.pdf
- CASTILLO, J. E. (Agosto de 1999.). Estudio químico – biológico de los principales agentes deteriorantes de algunos de los materiales antiguos de construcción. Arquidiócesis de Cartagena.
- CSI. (2005). Manual Computers and Structures. *Analysis Reference*. Inc. Berkeley.
- CUETO FERREIRA, J., & GRANGER SERRANO, E. (2011). Evaluación de la vulnerabilidad sísmica y vibracional en las murallas de Cartagena de Indias, en el sector que comprende desde las Bóvedas hasta el hotel Santa Clara. *Trabajo de grado Ingeniero Civil. Cartage*.
- FERNANDEZ CÁNOVAS, M. (1998). Diagnóstico, Evaluación y reparación de estructuras de Hormigón Armado. *Ponencia, Reunión del Concreto DE 1998*. Bogotá.
- Fernández, Guillermina. (s.f.). *EL PATRIMONIO HISTORICO*. Recuperado el 10 de Abril de 2013, de http://www.naya.org.ar/turismo_cultural/congreso/ponencias/aldo_ramos.htm
- Gea, S., Passamai, T., & Trigona, D. (1998). Los Mampuestos Arcillosos en la ciudad de salta . *Comportamiento Sismorresistente. XVI Jornadas Argentinas de*.



- Guía de arquitectura de Cartagena. (10 de Octubre de 2004). *skyscrapercity*. Recuperado el 5 de Abril de 2013, de www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=376452&page=2
- HERRERA C. Y CUEVAS A. . (s.f.). *Propiedades Mecánicas de la Mampostería Tipo III de edificaciones de Uso Residencial en la Ciudad de Cartagena de Indias*.
- Hirosawa. (1992). Retrofitting and Restriction of Buildings in Japan. *International Institute of Seismology and Earthquake Engineering*.
- Moreno, D. F. (s.f.). Metodología para el estudio de la vulnerabilidad estructural de edificaciones.
- MUÑOZ, H. A. (Noviembre de 2001.). Seminario Evaluación y diagnóstico patológico de las estructuras en concreto. *ASOCRETO Bogotá D.C.* .
- Nilson, A. (s.f.). *Diseño de Estructuras de Concreto*. Mc Graw Hill.
- NSR-10. (s.f.). *REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE, TITULO A CAP. 10*.
- PANOZCO, M. A. (s.f.). *Patología de las estructuras*. Recuperado el 7 de Abril de 2013, de <http://www.slideshare.net/angelcaido646x/patologia-de-las-estructuras>
- SÁNCHEZ DE GUZMÁN, D. (s.f.). Durabilidad y Patología. *Instituto del Concreto, ASOCRETO, ISBN 958-96709-7-0*.
- Susana B. Gea, M. W. (2006). Evaluación y diagnóstico de patologías de un edificio patrimonial del ministerio de salud de la nación (argentina). Salta: Universidad Nacional de Argentina.
- Universidad Nacional del Nordeste (Uruguay). (s.f.). *ANALISIS MATRICIAL DE ESTRUCTURAS POR EL METODO DE LA RIGIDEZ*. Recuperado el 8 de Mayo de 2013, de http://ing.unne.edu.ar/pub/e3_cap4.pdf
- USECCH, L. (septiembre de 1996.). Portada en Piedra – Palacio de la Inquisición de Cartagena de Indias – , Fundación para la conservación del patrimonio cultura. *Estado de conservación. INVIAS*.
- VARGAS, G. O. (Agosto de 1999). Diagnostico, propuesta técnica y económica para la rehabilitación del retablo mayor de la Catedral de Cartagena de Indias. Arquidiócesis de Cartagena. .
- Wikipedia. (s.f.). Recuperado el 4 de Abril de 2013, de http://es.wikipedia.org/wiki/Cartagena_de_Indias
- wikipedia. (s.f.). *Localización de la ciudad de Cartagena de indias*. Recuperado el 13 de Abril de 2013, de www.wikipedia.org/wiki/Cartagena_de_Indias#Geograf.C3.ADA