



**DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN LAS ESTRUCTURAS
UBICADAS EN CASAS COLONIALES EN EL BARRIO GETSEMANÍ DE LA
CIUDAD DE CARTAGENA**



**Trabajo de Grado para Optar al Título de:
INGENIERO CIVIL**

**CRISTHIAM CAMILO FORTICH GONZÁLEZ
LEVIS ALFONSO LÓPEZ HERNÁNDEZ**

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
CARTAGENA D. T. Y C. – BOLÍVAR**

2016

**DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN LAS ESTRUCTURAS
UBICADAS EN CASAS COLONIALES EN EL BARRIO DE GETSEMANÍ DE LA
CIUDAD DE CARTAGENA**

**Línea De Investigación:
SEGURIDAD ESTRUCTURAL**

Co investigadores:

CRISTHIAM CAMILO FORTICH GONZÁLEZ

LEVIS ALFONSO LÓPEZ HERNÁNDEZ

Investigador Y Director:

MSC. WALBERTO RIVERA MARTÍNEZ

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA FACULTAD
DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA
CIVIL CARTAGENA D. T. Y C. – BOLÍVAR**

2016



Tesis de Grado: DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN
LAS ESTRUCTURAS UBICADAS EN CASAS
COLONIALES EN EL BARRIO GETSEMANÍ DE LA
CIUDAD DE CARTAGENA

Autores: CRISTHIAM CAMILO FORTICH GONZÁLEZ
LEVIS ALFONSO LÓPEZ HERNÁNDEZ

Director: M.Sc. WALBERTO RIVERA MARTÍNEZ

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Cartagena de Indias, ____ de _____ de 2016



AGRADECIMIENTOS

A Dios por todas las bendiciones derramadas y por brindarnos la fortaleza necesaria para superar todos los obstáculos y dificultades en nuestro proceso de formación.

A nuestros padres y familiares por el apoyo fiel e incondicional durante todos estos años de esfuerzo y dedicación.

A nuestro director de tesis el Ing. Walberto Rivera, por su ayuda constante y sus oportunas recomendaciones para el desarrollo del proceso investigativo del presente trabajo de grado.

A los docentes Ing. Guilliam Barbosa, Ing. Esteban Puello y Arq. Alfonso Cabrera por sus valiosos aportes a esta investigación.

A nuestros amigos y compañeros de estudio por tantos momentos compartidos



TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN.....	13
2. ABSTRACT.....	14
3. INTRODUCCIÓN	15
4. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	18
5. MARCO REFERENCIAL.....	20
5.1 ESTADO DEL ARTE.....	20
5.1.1 Antecedentes nacionales.....	21
5.1.2 Antecedentes internacionales.....	29
5.1.3 Análisis de las limitaciones.....	31
5.2 MARCO TEÓRICO	32
5.2.1 Generalidades.....	32
5.2.2 Arquitectura colonial:	32
5.2.2.1 Arquitectura Colonial Cartagenera:.....	32
5.2.2.2 Arquitectura colonial civil	33
5.2.2.3 Arquitectura colonial religiosa.....	33
5.2.2.4 Arquitectura colonial militar.....	34
5.2.3 Vulnerabilidad, Patología y Riesgos.....	34
5.2.3.1 Vulnerabilidad:	34
5.2.3.2 Riesgos y Amenazas:.....	35
5.2.3.3 Vulnerabilidad Estructural.....	35
5.2.3.4 Vulnerabilidad Sísmica.....	36
5.2.3.5 Vulnerabilidad ante vientos y mareas	37
5.2.3.6 Vulnerabilidad Ante Inundaciones	38



5.2.3.7	Vulnerabilidad Estructural Ante Deslizamientos	39
5.2.4	Métodos cualitativos para el análisis de vulnerabilidad.	39
5.2.4.1	Método Del Índice De Vulnerabilidad.....	40
5.2.4.2	Método Venezolano.....	41
5.2.4.3	Métodos Japoneses	41
5.2.4.4	Método NAVFAC.....	42
5.2.4.5	Método Atc-21	42
6.	OBJETIVOS	43
6.1	OBJETIVO GENERAL	43
6.2	OBJETIVO ESPECIFICO.....	43
7.	ALCANCE.....	44
7.1	DELIMITACIÓN ESPACIAL.....	44
7.2	DELIMITACIÓN TEMPORAL	45
7.3	LIMITACIONES.....	45
7.4	PRODUCTOS COMPLEMENTARIOS Y PRODUCTO FINAL	45
8.	METODOLOGÍA.	47
8.1	RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	47
8.1.1	Información secundaria.....	47
8.1.2	Información primaria	47
8.2	ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	48
8.2.1	Información secundaria.....	48
8.2.2	Información primaria	48
8.2.2.1	Parámetros del método.....	49
8.3	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS OBTENIDOS	59



8.4 PREPARACIÓN Y PRESENTACIÓN DEL INFORME FINAL	59
9. Resultados y DISCUSIÓN	60
9.1 ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS DE LA CASA N° 1 EN EL BARRIO GETSEMANÍ	60
9.1.1 Parámetros	60
9.1.2 Análisis de la vivienda n° 1 ubicada en la calle el guerrero del barrio Getsemaní 70	
9.2 ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS DE LA CASA N° 2 EN EL BARRIO GETSEMANÍ	71
9.2.1 Parámetros	71
9.2.2 Análisis de la vivienda n° 2 ubicada en la calle del carretero en el barrio Getsemaní 78	
9.3 ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS DE LA CASA N° 3 EN EL BARRIO GETSEMANÍ	79
9.3.1 Parámetros	79
9.3.2 Análisis de la vivienda n° 3 ubicada en la calle del guerrero esquina en el barrio Getsemaní	87
9.4 ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS DE LA CASA N° 4 EN EL BARRIO GETSEMANÍ	88
9.4.1 Parámetros	88
9.4.2 Análisis de la vivienda n° 4 ubicada en la calle del pozo esquina en el barrio Getsemaní	95
9.5 ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS DE LA CASA N° 5 EN EL BARRIO GETSEMANÍ	96
9.5.1 Parámetros	96



9.5.2 Análisis de la vivienda nº 5 ubicada en la calle de san juan en el barrio Getsemaní

102

10. TABLA DE RESULTADOS	103
11. CONCLUSIONES	105
12. RECOMENDACIONES	107
13. BIBLIOGRAFÍA.....	108



TABLA DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1 UBICACION DEL BARRIO GETSEMANÍ DELIMITANDO EL ÁREA RESIDENCIAL	44
ILUSTRACIÓN 2 CONFIGURACIÓN EN PLANTA DE LA ESTRUCTURA	54
ILUSTRACIÓN 3 CONFIGURACIÓN EN ELEVACIÓN DE LA ESTRUCTURA.....	55
ILUSTRACIÓN 4 CONFIGURACIÓN DE LOS MUROS EN PLANTA Y RESPECTIVA SEPARACIÓN	56
ILUSTRACIÓN 5 FACHADA CASA 1	60
ILUSTRACIÓN 6 FORMA DE LA EDIFICACIÓN.....	64
ILUSTRACIÓN 7 ELEVACIÓN DE LA CASA.....	65
ILUSTRACIÓN 8 CUBIERTA	67
ILUSTRACIÓN 9 ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES	68
ILUSTRACIÓN 10 CONSERVACIÓN DE LOS MUROS.....	69
ILUSTRACIÓN 11 FACHADA CASA 2	71
ILUSTRACIÓN 12 FORMA DE LA EDIFICACIÓN.....	73
ILUSTRACIÓN 13 ELEVACIÓN DE LA CASA.....	74
ILUSTRACIÓN 14 CUBIERTA DE LA CASA.....	76
ILUSTRACIÓN 15 ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES	76
ILUSTRACIÓN 16 ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES	77
ILUSTRACIÓN 17 CONSERVACIÓN DE MUROS	77
ILUSTRACIÓN 18 FACHADA CASA 3	79
ILUSTRACIÓN 19 FORMA DE LA EDIFICACIÓN.....	81
ILUSTRACIÓN 20 ELEVACIÓN DE LA CASA.....	83
ILUSTRACIÓN 21 CUBIERTA	84
ILUSTRACIÓN 22 ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES	85
ILUSTRACIÓN 23 ESTADO DE LOS MUROS	86
ILUSTRACIÓN 24 CALIDAD DEL SISTEMA RESISTENTE.....	89
ILUSTRACIÓN 25 CONFIGURACIÓN EN PLANTA DE LA VIVIENDA.....	91



ILUSTRACIÓN 26 ELEVACION DE LA CASA	92
ILUSTRACIÓN 27 CUBIERTA DE LA CASA.....	93
ILUSTRACIÓN 28 ELEVACIÓN DE LA CASA.....	94
ILUSTRACIÓN 29 ESTADO DE LOS MUROS	94
ILUSTRACIÓN 30 RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS CASA 4.....	95
ILUSTRACIÓN 31 FACHADA CASA 5	96
ILUSTRACIÓN 32 FORMADE LA VIVIENDA.....	98
ILUSTRACIÓN 33 ELEVACION DE LA CASA 5	99
ILUSTRACIÓN 34 CUBIERTA DE LA CASA.....	100
ILUSTRACIÓN 35 ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES	101
ILUSTRACIÓN 36 ESTADO DE LOS MUROS	101
ILUSTRACIÓN 37 GRAFICO PORCENTUAL DE VULNERABILIDAD	104



ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 TABLA CARACTERÍSTICA DEL MÉTODO DE ÍNDICE DE VULNERABILIDAD	48
TABLA 2 DESCRIPCIÓN DE LA EDIFICACIÓN	62
TABLA 3 ÁREA DE LOS MUROS EN X Y EN Y	63
TABLA 4 RESULTADO CÁLCULO DEL PARÁMETRO	63
TABLA 5 DISTANCIA EN PLATA DE LA EDIFICACIÓN	64
TABLA 6 CALCULO DE LOS PARAMTROS	65
TABLA 7 DISTANCIA Y ESPESOR DE MUROS TRANSVERSALES	66
TABLA 8 RELACIÓN ENTRE DISTANCIAS Y ESPESOR DE MUROS TRANSVERSALES	66
TABLA 9 RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS CASA 1	70
TABLA 10 DESCRIPCIÓN DE LA EDIFICACION	72
TABLA 11 ÁREA DE LOS MUROS EN X Y EN Y	72
TABLA 12 RESULTADO DEL CÁLCULO DEL PARÁMETRO	72
TABLA 13 DISTANCIA EN PLANTA DE LA EDIFICACION.....	73
TABLA 14 CALCULO DEL PARAMETRO	74
TABLA 15 DISTANCIA Y ESPESOR DE MUROS	75
TABLA 16 RELACION ENTRE LA DISTANCIA Y ESPESOR DE MUROS TRANSVERSALES	75
TABLA 17 RESULTADO PARÁMETROS CASA 2	78
TABLA 18 DESCRIPCION DE LA EDIFICACION	80
TABLA 19 AREA DE LOS MUROS EN XY EN Y	80
TABLA 20 ÁREA RESISTENTE DE LOS MUROS	80
TABLA 21 CALCULO DE PARAMETRO.....	81
TABLA 22 DISTANCIA EN PLANTA DE LA EDIFICACION.....	82
TABLA 23 CALCULO DEL PARAMETROS	82
TABLA 24 CARACTERISTICAS EN ELEVACIÓN DE LA EDICACION	82



TABLA 25 RESULTADOS DE LOS PARAMETROS.....	83
TABLA 26 DISTANCIA Y ESPESOR DE MUROS TRANSVERSALES	83
TABLA 27 RELACION ENTRE DISTANCIA Y ESPESOR D MUROS TRANSVERSALES	84
TABLA 28 RESULTADOS PARAMETROS CASA 3.....	87
TABLA 29 FACHADA CASA 4	88
TABLA 30 DESCRIPCION DE LA EDIFICACION	89
TABLA 31 AREA DE LOS MUROS EN XY EN Y	90
TABLA 32 RESULTADO DEL CÁLCULO DEL PARAMETRO	90
TABLA 33 DISTANCIA EN PLANTA DE LAS EDIFICACION	91
TABLA 34 RESULTAD DE LA CONFIGURACIÓN EN PLANTA.....	91
TABLA 35 DISTANCIA Y ESPESOR DE MUROS TRANSVERSALES	92
TABLA 36 RELACIÓN ENTRE LA DISTANCIA Y ESPESOR DE MUROS TRANSVERSALES	92
TABLA 37 DESCRIPCION DE LA EDIFICACION	97
TABLA 38 AREA EN LOS MUROS X Y EN Y	97
TABLA 39 RESULTADO DEL CÁLCULO DEL PARAMTRO	97
TABLA 40 DISTANCIA EN PLANTA DE LA EDIFICACION.....	98
TABLA 41 RESULTADOS DE CONFIGURACIÓN EN PLANTA	99
TABLA 42 DISTANCIA Y ESPESOR DE MUROS TRANSVERSALES	100
TABLA 43 RELACIÓN ENTRE DISTANCIA Y ESPESOR DE MUROS TRANSVERSALES	100
TABLA 44 RESULTADOS PARAMETROS CASA 5.....	102
TABLA 45 PROMEDIO DE I.V DE EDIFICACIONES	103



1. RESUMEN

El presente documento presentara un estudio que tiene por objetivo, determinar qué tan vulnerables son las casas coloniales de barrio Getsemaní a partir del método cualitativo denominado Índice De Vulnerabilidad, justificado por la importancia como icono histórico al hacer parte del centro de la ciudad de Cartagena, el cual es considerado patrimonio de la humanidad. Realizando un estudio bibliográfico de cada una de las medidas que componen el método utilizado, una evaluación de los antecedentes y consultas con profesionales en el tema, se realizara una evaluación visual y detallada mediante un registro fotográfico, mediciones y levantamiento del inmueble. En el proceso de selección de la información primaria se tomarán muestras específicas en diferentes zonas del barrio por los integrantes del proyecto en donde se incluirán casas de 1 y 2 pisos. Se pudo establecer que la muestra analizada presentó una vulnerabilidad global mayor al 40% lo que se califica para el método como una vulnerabilidad alta, en comparación con bibliografías relacionadas con este estudio en diferentes sectores (San Diego) del mismo Centro histórico de Cartagena, vemos que el método arroja valores más bajos que el de este estudio, por lo cual se sugiere realizar un estudio de carácter cuantitativo. También se determina cuáles son los parámetros influyentes que hacen a estas viviendas sean más o menos susceptibles, en los cuales se encuentran la presencia de diafragmas horizontales, el estado patológico, separación de muros estructurales y calidad y organización del sistema resistente. A partir de lo anterior se generaron recomendaciones que ayudaran a mejorar las condiciones de vulnerabilidad de las viviendas del barrio Getsemaní.



2. ABSTRACT

This paper presented a study that aims to determine how vulnerable are the colonial houses neighborhood Gethsemane from qualitative method called vulnerability index, justified by the importance as a historical icon to be part of the center of the city of Cartagena, which is considered world heritage. It conducting a bibliographic study of each of the measures that make up the method used, an evaluation of the background and consultations with professionals in the field, a visual and detailed assessment will be made by a photographic record, measurements and survey of the property. In the process of selection of primary information specific samples by members of the project where houses of 1 and 2 floors are included they are taken in different areas of the neighborhood. It was established that the analyzed sample showed a higher overall vulnerability to 40% which qualifies for the method as a high vulnerability, compared with bibliographies related to this study in different sectors (San Diego) in the historic center of Cartagena, see the method yields lower than this study you value. They were also determined what the influential parameters that make these houses are more or less susceptible, which are in the presence of horizontal diaphragms, the disease state, separation of structural walls and resistant quality and organization system. From the above recommendations they will help improve the conditions of vulnerability of homes in the neighborhood were generated Gethsemane.



3. INTRODUCCIÓN

En la actualidad hay un gran interés por preservar patrimonios que para muchas naciones y la humanidad son de una parte representativa de la historia de estas. Preservar, restaurar, reparar son conceptos muy diferentes pero ligados entre ellos, podemos hablar de la aplicación de estos conceptos cuando se presentan estructuras antiguas, o que fueron concebidas bajo normativas alejadas a las que hoy en día se usan, las cuales encaminan a la seguridad y larga vida de estas.

Cartagena de Indias es una ciudad llena de historia y belleza, una muestra de esto es la consagración del centro histórico de esta ciudad como patrimonio de la humanidad declarado por la UNESCO en 1984. Indudable es la importancia que tiene esta zona para los cartageneros y la obligación de cuidarlos y prevenir su deterioro es primordial.

Desde los primeros días de nuestra civilización se han construido estructuras de mampostería. Estas estructuras representan un significativo porcentaje de los edificios actuales. La vulnerabilidad de los viejos edificios históricos de mampostería, debido al daño desproporcionado fuera del plano de carga (causado por el viento, explosiones, inundaciones o sismos) es uno de los graves problemas que enfrentan hoy en día los ingenieros estructurales. Esta clase de estructuras descritas anteriormente son en su gran mayoría de tipo a las cuales pertenecen las piezas tan preciadas para la ciudad de Cartagena, el corralito de piedra está llena de estructuras construidas en mampostería no reforzada, principalmente de sus barrios más significativos como son: Getsemaní, San Diego y San Pedro todo esto dentro del centro amurallado.

En el presente proyecto de investigación se plantea determinar, evaluar y analizar por medio del método del índice de vulnerabilidad y a través de un método cualitativo la condición estructural en las casas coloniales ubicadas en el centro histórico de la ciudad de Cartagena.

Se realiza un estudio de reconocimiento que precisa el estado actual de las estructuras en las edificaciones seleccionadas del centro histórico de la ciudad, y se procede al análisis de la información tomada. El principal objetivo de este proyecto es determinar el grado de



vulnerabilidad con el fin de establecer posibles riesgos y facilitar la búsqueda de soluciones en el mejoramiento y mantenimiento de estas edificaciones.

Para la realización del mismo, se tomaron como referencia proyectos de investigación realizados anteriormente, relacionados con estudios de vulnerabilidad hechos en diferentes regiones de Colombia y otros realizados internacionalmente. Un ejemplo de ello, es el realizado por Norwin Reyes Loáisiga, Aiser Sarria Sirias y Julio Maltez Montiel en el año 2009 en la ciudad de Managua, Nicaragua, en donde se investigó acerca de que tan vulnerables son las viviendas en mampostería confinada en un barrio de esa ciudad. Este trabajo permitió conocer acerca de cómo se realizan este tipo de estudios en otros países. Otro trabajo analizado fue el realizado por el ingeniero Álvaro Rafael Caballero Guerrero como una tesis de maestría para la Universidad del Norte en Sincelejo, Sucre en el año 2007 con el fin de determinar en qué grado de vulnerabilidad se encontraban las estructuras del centro histórico. También se tuvo la oportunidad de analizar el trabajo de investigación presentado por José Luis Ahumada Villafañe y Nayib Moreno Rodríguez a través de la Corporación Universitaria de la Costa (CUC) en el año 2011 con el fin de realizar un estudio de vulnerabilidad usando el método de índice de vulnerabilidad en viviendas construidas en el barrio La Paz en la Ciudad de Barranquilla. Ellos quisieron construir una base de datos que permitiera conocer el grado de riesgo al cual se encuentran sometidos los habitantes del lugar y con esto, poder plantear posibles soluciones que ayudaran a prevenir la pérdida de vidas humanas debido al colapso de las estructuras. Por último, se analizaron trabajos de grado como el de Jorge Andrés Navia Llorente y Elkin Mauricio Barrera Roa en el año 2007 en la Ciudad de Bogotá, donde buscaron determinar el grado de vulnerabilidad sísmica de las viviendas de interés social de uno y dos pisos, construidas en Bogotá con mampostería estructural, y el proyecto investigativo en el año 2003 en la ciudad de Cali hecho por Lina Fernanda Llanos López y Lina María Vidal Gómez para evaluar el grado de vulnerabilidad sísmica en que se encontraban las escuelas públicas de la Ciudad de Cali a través de una muestra representativa. Con base en lo anterior, se observa que se están realizando estudios acerca del tema con el fin de obtener una base de datos que ayude a conocer el estado de las edificaciones. Es por eso que, en Cartagena, y específicamente en el centro histórico de la



ciudad, se hace necesario buscar la forma de crear una base de datos para tener información precisa que nos permita crear planes para prevenir catástrofes producidas por cualquier fenómeno al que estemos expuestos, esta investigación amplia estudios ya realizados en el sector San Diego y se realiza en paralelo con otro estudio que se elabora en otro sector del centro histórico de Cartagena de indias.

La línea de investigación a la cual pertenece el presente estudio es Seguridad Estructural, como su nombre lo indica, en esta investigación se analiza el estado estructural de las edificaciones a través de método cualitativo llamado índice de vulnerabilidad con el cual se pretende conocer el grado de vulnerabilidad de las casas coloniales del barrio Getsemaní ubicado en el centro histórico de la ciudad de Cartagena.

El grupo de investigación que maneja la línea es Esconpat y el director del trabajo de grado es el Ing. Walberto Rivera.



4. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Desde inicios de la civilización se vienen construyendo estructuras en mampostería las cuales representan un significativo porcentaje de las edificaciones actuales. Uno de los grandes problemas que sufren los edificios antiguos de mampostería y de gran relevancia histórica es su vulnerabilidad debido al daño desproporcionado fuera del plano de carga, causado por el viento, explosiones, inundaciones o sismos. Según la Sociedad de la Mampostería (Matthys y Noland (Ed.), 1989) Solo en los Estados Unidos, el 70% de todos los inventarios existentes de estructuras son de mampostería no reforzada lo que significa que en los países en vía de desarrollo este porcentaje es aún más alto. (Ministerio de Ciencia e Innovación (MICINN), 2010) (Matthys & Noland, 1989)

En la ciudad de Cartagena de indias durante la época colonial en el siglo XVI, fecha en la que fue fundada, se dejaron plasmados en su arquitectura gran parte de la riqueza cultural que hoy posee y que se puede apreciar las edificaciones de su centro histórico. Uno de los sectores más tradicionales de la ciudad es el barrio Getsemaní, zona en la que vivían los africanos traídos como esclavos y donde salió un grupo de héroes que gestó la independencia. En esta se puede encontrar edificaciones como la iglesia de la santísima trinidad, que fue construida siguiendo el modelo de la catedral y el claustro de sanfrancisco que pueden fácilmente destacar su gran historia, así como sus casas embellecidas de una rica arquitectura colonial.

Sería acertado entonces, debido a la antigüedad de las casas y edificaciones del barrio Getsemaní, deducir que estas están construidas con base en estructuras de mampostería y como consecuencia de ello son susceptibles a ser vulneradas ante eventos de cualquier tipo, y por consiguiente sufrir daños o incluso colapso de las estructuras dependiendo de su resistencia o la magnitud del factor atacante.

El principal problema se presenta ante la poca información existente acerca de estas estructuras y el estado en el cual se encuentran. Es necesario entonces hacer un análisis de vulnerabilidad a las estructuras coloniales del barrio Getsemaní y para ello se debe conocer



su demanda de carga y su resistencia en servicio. Existen distintas maneras y métodos para evaluar la vulnerabilidad de las estructuras, entre los cuales se destacan el método cualitativo que utiliza características generales para calificar e identificar el riesgo al que está expuesta la estructura o el nivel de daño que ya sufre. (Safina Melone, 2002)

El método cualitativo se basa en procedimiento de análisis y diseños sismoresistentes, recomendados por las normas modernas, diferenciando el material constituyente de la estructura para así poder predecir su posible comportamiento. (Safina Melone, 2002)

Por lo anterior se puede inferir que es posible evaluar la vulnerabilidad de las casas coloniales del barrio Getsemaní de la ciudad de Cartagena con la aplicación de un método de análisis cualitativo por la eficiencia de este para arrojar resultados de la evaluación con el objetivo de ampliar la base de datos para esta temática sabiendo ya que muchas de estas estructuras son invaluable y sería de gran ayuda para una posible intervención en un futuro

Es necesario debido a lo ante dicho, hacer preguntas como las siguientes:

¿Las casas coloniales del barrio Getsemaní son vulnerables a afectaciones en sus estructuras que puedan representar un peligro para su permanencia y vida útil?

¿A qué tipo de daño estructural son vulnerables las estructuras de las casas coloniales del barrio Getsemaní y que mecanismos se pueden implementar para la solución del problema?



5. MARCO REFERENCIAL

5.1 ESTADO DEL ARTE

Los estudios de Vulnerabilidad surgen a principios del siglo XX, como una necesidad ante las consecuencias de sismos que habían ocurrido en distintos lugares del mundo (por ejemplo, San Francisco, CA. USA, 1906; Menisa, Italia en 1908 y Tokio, Japón en 1923). A través de la experiencia, los ingenieros fueron encargados de evaluar los efectos de los sismos en las viviendas y en las edificaciones y de proponer medidas que minimizaran dichos efectos en el futuro. (CABALLERO GUERRERO, 2007)

Es así como se fueron proponiendo los primeros conceptos de diseño sismo resistente y se iniciaron investigaciones en el área de la ingeniería sísmica en Japón y en estados Unidos (SARRIA, 1995)

Durante las décadas de los años 1960 y 1970, surgen las primeras técnicas de evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica en edificaciones existentes denominadas Técnicas de Screening, las cuales se constituyeron en la base para métodos desarrollados posteriormente, entre los cuales se encuentran: Whitman (1972), Okada y Bresler (1976), ATC-14 (1987), Grases (1985), Iglesias (1985), ATC-21 (1988), entre otros (Campos, 1992). Para la década de 1980 El Organismo de las Naciones Unidas encargado de la atención de desastres, UNDRO y la UNESCO definieron los términos de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo, de tal manera que permitieran comprender y reconocer con más claridad los problemas asociados a fenómenos naturales o antrópicos (CABALLERO GUERRERO, 2007)

A continuación, se relacionan una serie de investigaciones a nivel nacional e internacional que dan una imagen del estado y profundidad que ha tenido el tema de vulnerabilidad en las estructuras.



5.1.1 Antecedentes nacionales

Evaluación de la vulnerabilidad sísmica y vibracional de las murallas del sector que comprende el hotel Santa Clara hasta el Claustro de La Merced de la ciudad de Cartagena de Indias.

Este proyecto de investigación estuvo dirigido a evaluar los parámetros que intervienen en la estabilidad y calidad estructural de las murallas de Cartagena en el sector el hotel Santa Clara hasta el Claustro de La Merced, determinando la vulnerabilidad estructural ante efectos sísmicos y vibratorios producidos por el transporte público que circula en el sector, con el objetivo final de presentar recomendaciones que contribuyan a mantenerlas en óptimo estado.

Se realizó un estudio patológico el cual permitiera conocer el estado actual de las murallas, que por medio de este se determinaran los coeficientes de reducción de resistencia por estado actual y por la calidad del diseño y construcción de las mismas, para así afectar la resistencia de la Piedra Coralina. Con base a estos coeficientes y a las solicitaciones consideradas (presión del relleno, efecto del sismo sobre el relleno, y efectos producidos por los buses de transporte público), se creó un modelo computacional en el software estructural SAP 2000 V14. Como resultado general se obtuvo que este tramo de muralla poco afectado por la combinación de esfuerzos existentes con ondas emitidas por los buses del sistema de transporte público y ante un eventual sismo, ya que los valores no sobrepasan los máximos admisibles de comprensión, siendo este comportamiento una característica sobresaliente de la piedra coralina. (Jimenez, 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.

En esta investigación se realizó una evaluación de los materiales utilizados en construcción de las murallas, se realizó la valoración y cuantificación de los daños y/o afectaciones presentes en la escarpa para cotejar su estado actual, para así determinar los coeficientes de reducción de resistencia a los materiales, tanto por estado de la estructura, como por calidad del diseño y construcción de la misma. Luego, considerando dichos coeficientes y las



hipótesis de cargas planteadas como son presión del relleno, efecto del sismo sobre el relleno, efectos producidos por los buses de transporte público y efectos generados por un sismo de diseño, se creó un modelo computacional de la estructura utilizando el software de análisis estructural SAP2000 V14

Por medio de los resultados obtenidos, los autores llegaron a la conclusión de que la contraescarpa es el elemento más afectado por la combinación de esfuerzos pre-existentes con ondas emitidas por los buses correspondientes al sistema de transporte público y ante un eventual sismo; los valores obtenidos sobrepasan los máximos admisibles de tensión tanto en la piedra coralina como en el material compuesto. (Granger & Cueto, 2011)

Estudio de vulnerabilidad sísmica y vibracional de las murallas de Cartagena - Caso Baluarte de San Ignacio, Baluarte de san Pedro Mártir y Torre del Reloj.

En esta investigación se hizo una valoración del estado actual del tramo de muralla indicado en el título mediante análisis elástico dinámico de la estructura. Para ello, se elaboró un modelo de la construcción, basado en el método de elementos finitos, utilizando el software de análisis y diseño estructural SAP2000, tomando en cuenta todos los elementos constructivos de los lienzos. Además, se consideró la interacción suelo-estructura. El estudio se mantuvo dentro de las directrices del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo resistente NSR-98

Por medio de los esfuerzos calculados durante el análisis, se determinaron los índices de sobreesfuerzo para las diferentes combinaciones de carga en la escarpa y contraescarpa, definiendo estos índices como el cociente entre los esfuerzos calculados y la resistencia efectiva de los materiales que componen la estructura, con el objetivo de determinar los sectores en los cuales las murallas son vulnerables.

La determinación de las solicitaciones se realizó teniendo en cuenta cuatro hipótesis:



Hipótesis 1: Presión de rellenos. La carga del relleno de las murallas se introdujo al modelo como presión triangular sobre los elementos de contención como son la escarpa y la contraescarpa.

Hipótesis 2: Efecto del sismo sobre el relleno. Se utilizó el método de Mononobe- Okabe, discutido en el marco teórico, para determinar la presión dinámica producida por el sismo sobre el relleno

Hipótesis 3: Efectos producidos por el paso de Transcaribe. De acuerdo a investigaciones previas efectuadas por el Ing. ÁLVARO COVO TORRES se pudo establecer los parámetros necesarios para calcular las amplitudes, velocidades y aceleración del movimiento dinámico que ocurre debido a la onda producida al pasar uno de los vehículos articulados de TRANSCARIBE. Estos parámetros fueron sintetizados en funciones de aceleración vs tiempo, las cuales pueden ser adicionadas al modelo computacional.

Hipótesis 4: Efectos producidos por el sismo de diseño. Para el cálculo de las fuerzas sísmicas, se realizó un análisis dinámico espectral, según lo establecido el capítulo A.5 de la NSR 98: MÉTODO DEL ANÁLISIS DINÁMICO.

Luego de realizar el análisis dinámico, se obtuvo un desplazamiento de aproximadamente 50 centímetros en un sector del tramo estudiado el cual supera los esfuerzos permitidos. Con el fin de solucionar esta situación, el autor recomendó colocar tensores espaciados el uno de otro cada 5 metros, diseñados para una fuerza de tensión de 12 Tonf. Similarmente, en otro sector se obtuvieron desplazamientos cercanos a 30 centímetros, para los cuales se planteó la utilización de tensores diseñados para 8.3 Tonf de tensión. Las alternativas de solución fueron incorporadas al modelo para verificar la eficiencia de estas. Se comprobó que los esfuerzos en el lienzo se reducen hasta valores permitidos.

Por otra parte, se comprobó que la velocidad de la onda producida por los buses articulados de Transcaribe, los cuales circularan a una velocidad de 50km/h, sobrepasa los límites establecidos en normas internacionales. Se propuso, por tanto, la construcción de una barrera de poli estireno expandido (icopor) de alta densidad para que la vibración ocasionada por el transporte masivo no afecte a las murallas.



La pantalla protectora se ubicaría en las zonas más cercana, como el sector aledaño al baluarte de San Ignacio. La excavación contaría con 40 centímetros de ancho y una profundidad de hasta un metro por debajo de los cimientos de las murallas, para allí colocar bloques de icopor de alta densidad de 30 centímetros de espesor, para así crear un “vacío” y reducir la propagación de la onda que producen los buses articulados.

En cuanto a la Torre del Reloj, se encontró que la estructura de la torre está conformada por un anillo central que tiene como elementos estructurales cuatro muros en mampostería y cuatro columnas en concreto reforzado de 48x110cm que luego se reducen a 35x60cm. Para la realización de estudios sobre la torre, se quiso evitar el uso de estudios destructivos, razón por la cual se asumió 1% (cuantía mínima) como cuantía de refuerzo de las columnas.

Los resultados obtenidos fueron altamente favorables. Para el caso de los Índices de sobreesfuerzo bajo carga vertical, se comprobó que las columnas están trabajando a menos del 10% de su capacidad.

Para el caso de los Índices de sobreesfuerzo bajo carga vertical en combinación con la fuerza de sismo según la NSR-98, se observó que las columnas están trabajando a menos del 16% de su capacidad. Por tanto, el autor de la investigación concluyó que, para efectos de los buses articulados de Transcaribe y la ocurrencia de un eventual sismo en la zona, la probabilidad de que la Torre del Reloj colapse es reducida (Berrocal, 2008) (Navarro Oyola & Trujillo Ordoñez, 2014)

Estudio de vulnerabilidad sísmica en el barrio La Paz de Barranquilla

Este proyecto de investigación fue realizado por José Luis Ahumada Villafañe y Nayib Moreno Rodríguez a través de la Corporación Universitaria de la Costa (CUC) en el año 2011 con el fin de realizar un estudio de vulnerabilidad usando el método de Índice de Vulnerabilidad en viviendas construidas en el barrio La Paz en la Ciudad de Barranquilla, por la necesidad de construir una base de datos que permitiera conocer el grado de riesgo al cual se encuentran sometidos los habitantes del lugar y con esto, poder plantear posibles



soluciones que ayuden a prevenir la pérdida de vidas humanas debido al colapso de las estructuras.

En este proyecto, sus integrantes organizaron un formato a partir de los diferentes aspectos con que cuenta el método de Índice de Vulnerabilidad, en donde definieron y caracterizaron las estructuras según un índice a partir de elementos como tipo y organización del sistema resistente, calidad del sistema resistente, resistencia convencional, posición del edificio y cimentación diafragmas horizontales, configuración en planta, entre otros. Luego sacaron un índice general a partir de los elementos anteriormente mencionados, con el fin de caracterizar estructuralmente las edificaciones de este barrio.

Ellos obtuvieron como resultado que las viviendas son muy susceptibles a sufrir un daño severo ante un sismo de intensidad moderada o baja. La gran debilidad que observaron a nivel de cimentación, fue mala calidad de materiales e inadecuada configuración en planta del sistema resistente a carga. Como solución a los problemas que encontraron, ellos plantearon una estrategia para disminuir la vulnerabilidad de las estructuras estudiadas, la cual consiste en reforzar la cimentación, diseñar el sistema estructural resistente en muros de mampostería confinada por vigas y columnas, y determinar la calidad de los materiales a usar, siguiendo los requisitos establecidos por el Reglamento Colombiano De Construcciones Sismo Resistente, NSR-10.

La información aportada por esta investigación es de suma utilidad para el desarrollo del presente trabajo, en la medida que facilita datos importantes sobre la vulnerabilidad de las edificaciones en el barrio la Paz de Barranquilla ubicado en una zona costera. Sin embargo, el estudio se limita a un análisis sísmico de la zona y no abarca otras causantes de vulnerabilidades. (BARRERA RAMOS & NIEVES CORREDOR, 2014)



Estudio de vulnerabilidad sísmica por medio de índice de vulnerabilidad en estructuras en centro histórico de Sincelejo.

Este estudio fue realizado por el ingeniero Álvaro Rafael Caballero Guerrero como una tesis de maestría para la Universidad del Norte en Sincelejo, Sucre en el año 2007 con el fin de determinar en qué grado de vulnerabilidad se encontraban las estructuras del centro histórico.

El proyecto investigativo consistió en determinar la vulnerabilidad sísmica del centro de la ciudad de Sincelejo y sus alrededores mediante el método de índice de vulnerabilidad para la determinación del daño esperado, si llegara a ocurrir determinado sismo, utilizando el sistema de información geográfica (SIG). Para ello, los investigadores de este proyecto realizaron su estudio en una zona que comprendía 1500 edificaciones, basándose en datos tomados del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y el programa ArMap. En el IGAC tomaron los planos de la zona de estudio y a partir de estos datos, se escanearon los planos en AutoCAD y de esta forma tener cada uno de los lotes y construcciones y formar un modelo de cada uno de ellos. Luego con ArMap crearon una base de datos para las edificaciones en donde introdujeron la información de la zona y empezaron a trabajar con información de los métodos estadísticos. Para la realización del estudio evaluaron en las edificaciones características como sistema estructural, tipo de fachada, área construida, área de lote, altura de la edificación, entre otros.

Como resultado del proyecto se obtuvo una base de datos para los diferentes edificios del centro de Sincelejo, además concluyeron que el índice de vulnerabilidad y el estado de daño de varias edificaciones en la zona de estudio se ve afectado principalmente por el desconocimiento, por parte de diseñadores y constructores afectando el comportamiento de la estructura y se debe, por otra parte, a que muchas no fueron construidas según la normativa sísmica y utilizaron técnicas artesanales, lo que las convierte en estructura con alta vulnerabilidad. También pudieron concluir que las edificaciones de mampostería no reforzada fueron las que representaron un comportamiento regular e incluso un buen comportamiento y se determinó que se debía a la calidad de los materiales con los cuales



fueron construidas. Por último, concluyeron que se presentaron diferentes contrastes de suelo debido a que había suelos muy resistentes y otros muy blandos.

En el marco del desarrollo de esta investigación, se evidenció cierto grado de limitación representado por la información del estudio planeado, ya que se enfocaron al análisis sísmico de las construcciones del centro de la ciudad y no analizaron los otros agentes externos que podrían ser causantes de que las estructuras sean vulnerables.

Determinación de vulnerabilidad sísmica en casas de interés social en Bogotá

Este estudio fue realizado por Jorge Andrés Navia Llorente y Elkin Mauricio Barrera Roa en el año 2007 en la Ciudad de Bogotá y buscó determinar el grado de vulnerabilidad sísmica de las viviendas de interés social de uno y dos pisos, construidas en Bogotá con mampostería estructural, debido a que estas viviendas, por ser de bajo costo, podrían no tener las condiciones necesarias de seguridad.

En este estudio los investigadores realizaron una microzonificación de la zona de estudio para así localizar las viviendas de interés social con las cuales se realizaron los formatos de campos, planos de aproximación y aplicación de parámetros para determinar el Índice de Vulnerabilidad. Luego determinaron las condiciones socioeconómicas del sector para la realización del estudio y por último aplicaron los parámetros planteados por el método en donde analizaron aspectos como sistema resistente, resistencia convencional, diafragmas horizontales, configuración en plantas, entre otros.

Como resultado obtuvieron que, a las instituciones que proyectan este tipo de edificaciones, el afán de solucionar la problemática de brindarles una vivienda digna a las familias colombianas, las ha llevado a que se construyan urbanización tras urbanización, tan rápida y económicamente que a veces se les olvida que tiene que primar la seguridad estructural de estas viviendas.

El análisis de este estudio presenta una limitación importante que radica en el tipo de casas que presentan para la realización de este estudio, debido a que el proyecto es ejecutado para casas construidas con mampostería estructural.



Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de escuelas públicas de Cali

Este proyecto tuvo como objetivo evaluar el grado de vulnerabilidad sísmica en que se encontraban las escuelas públicas de la Ciudad de Cali a través de una muestra representativa. El estudio se consideró significativo debido a las inadecuadas condiciones que los establecimientos presentan actualmente, a su importancia dentro de la comunidad y a los antecedentes de daños por sismo en este tipo de edificaciones, estableciendo los aspectos que influyen en su estado actual y, por lo tanto, en su vulnerabilidad sísmica, constituyéndose en una herramienta para el desarrollo de planes de prevención y mitigación de riesgos en las escuelas. Para su realización, estudiaron 70 establecimientos a partir de un formulario en donde evaluaron la estructura, el suelo donde se construyó la edificación, el tipo de cubierta, año en que fue construida, número de pisos, geometría y la seguridad en cuanto a la parte estructural. De acuerdo a lo anterior determinaron un grado de vulnerabilidad de la edificación. Para este estudio utilizaron la ayuda del SIG.

En este estudio se consideran trabajos previos como ofertas y amenazas ambientales en Cali, el estudio de amenazas para la red urbana de gas natural, estudio de niveles potencio-métricos de Cali y el comportamiento de suelos de Cañaveralejo. (LLANOS LOPEZ & VIDAL GOMEZ, 2003)

Como resultado a el estudio se encontraron con la existencia de varias edificaciones en un mismo establecimiento, con tipologías estructurales, aspectos constructivos y edades distintas, por lo cual tuvieron la necesidad de formular evaluaciones distintas para cada tipología; y además también concluyeron que el 56 % de los establecimientos educativos evaluados son altamente vulnerables, recomiendan que estos no sean destinados como albergues provisionales en caso de emergencia, ya que no garantizan la seguridad de las personas que se alojen en ellos.

El estudio muestra información muy detallada en cuanto al análisis de vulnerabilidad sísmica en estas escuelas. Sin embargo, este proyecto, realizado específicamente para la vulnerabilidad sísmica de la estructura, no se enfocó en otras causantes de vulnerabilidad.



5.1.2 Antecedentes internacionales

Metodología para la determinación de vulnerabilidad sísmica en edificaciones de Managua, Nicaragua.

El estudio se realizó en la Ciudad de Managua capital de Nicaragua y fue ejecutado por Norwin Reyes Loáisiga, Aiser Sarria Sirias y Julio Maltez Montiel en el año 2009.

Este proyecto consta de tres etapas, las cuales son la delimitación de la metodología empleada para la resolución del problema, análisis y resultado del grado de vulnerabilidad sísmica a la cual pertenecen las casas de mampostería confinada del barrio 14 de junio y, por último, exposición de vidas humanas ante una amenaza sísmica. Para este proyecto tuvieron en cuenta el método italiano de Índice de Vulnerabilidad y evaluaron las edificaciones construidas en mampostería confinada a través del programa RAVEM2002. Con este evaluaron cada uno de los aspectos propios del método como organización del sistema resistente, resistencia convencional, diafragmas horizontales, configuración en plantas, entre otros.

Este proyecto dio como resultado que “las viviendas en mampostería confinada del Bo. 14 de junio presentaron un índice de vulnerabilidad del 31.54%, considerándose como de vulnerabilidad media; este nivel obtenido se debe a tres razones principales: una mala distribución de muros resistentes, distancias excesivas entre los mismos e irregularidades en la configuración en planta. La exposición de vidas humanas resultó alta (61.9%) y la amenaza sísmica es la máxima del país ($A=10$) por ubicarse en la capital, que combinadas con una vulnerabilidad sísmica media originan un riesgo sísmico global de 19.53%, catalogado como medio”, según el informe de presentado por los ingenieros de Nicaragua acerca del tema.

Las limitaciones evidenciadas en esta investigación, se ven reflejadas en los análisis específicos a edificaciones hechas con mampostería confinada, además de ocuparse solo del análisis sísmico de las mismas. Sin embargo, las conclusiones generales del estudio son de gran utilidad para complementar los análisis previstos y se da una mirada internacional de los proyectos que se han realizado en cuanto a este tema.



Vulnerabilidad Sísmica De La Catedral Del Cuzco

Este estudio fue dirigido por Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería cuyos autores fueron los ingenieros: J. Olarte, R. Proaño, H. Scaletti, M. Torres, C. Zavala, el estudio se realizó a petición del obispo a causa de que la ciudad de Cuzco tiene un nivel de sismicidad muy grande y que en el pasado esta catedral ya ha sido sometida a varios sismos de los cuales ha salido bien librada puesto que solo han dañado elementos de poca responsabilidad estructural (Olarte, Proaño, Scalett, & Torres).

El estudio inicio con la identificación de los elementos estructurales mediante visitas de inspección entre los cuales determinaron pilares de 5 mts de longitud. En su parte superficial fue construido con rocas y en la parte interna con un material de relleno de buena calidad esto para soportar cargas de compresión, y analizando de manera esquemática pudieron observar que los pilares actúan como muros de contención debido a la presión generada por el suelo hacia la parte superficial del pilar. También encontraron arcos que sirven de amarre entre pilares, posteriormente con la ayuda del obispado consiguieron los planos arquitectónicos de la edificación y registros sobre la construcción del lugar.

Cuando se describió la geometría total de la catedral con ayuda de los planos y la toma de medidas no estipuladas, realizaron ensayos para determinar la resistencia de los pilares, a partir de la extracción de probetas de 5 y 10 mm de diámetro. Los esfuerzos de compresión obtenidos fueron de 6.5 Mpa, valga recalcar que los esfuerzos resistentes de compresión por lo general son más grandes que los obtenidos en estos ensayos debido al fenómeno del tamaño, luego realizaron estudios de suelo los cuales revelaron que esta catedral se encuentra sobre una arena arcillosa lo que dificulta la acción de respuesta de la cimentaciones a causa de las cargas sobre impuestas, sumándole el hecho de la socavación de las cimentaciones a causa del mal sistema de drenaje del lugar.

El estudio reveló que el suelo de arena compactada se encuentra a 5.4 m de profundidad este valor fue revelado por el ensayo de penetrómetro puesto que a esa profundidad solo alcanzó 10 mm con 50 golpes, además se realizaron estudios para conocer la capacidad portante del suelo.



Una vez obtenidas todas las características de los materiales y la geometría de la catedral se usó una herramienta computarizada (SAP 2000) para realizar el análisis estructural, procedieron a la creación del modelo asignando elementos tipo Shell a los muros de mampostería y elementos finitos para vigas y columnas. Posteriormente se sometió el modelo a un sismo de diseño y unas cargas gravitacionales con el objetivo de chequear que los esfuerzos provocados no fueran mayores a los que resiste la estructura esto con el fin de evitar fallas por rotura.

Esta estructura fue diseñada para soportar grandes esfuerzos de compresión y mitigar en lo posible los esfuerzos de tracción sin ayuda del acero, por esta razón las secciones son de gran tamaño. Una vez realizado el análisis estructural se llegó a la conclusión que se están generando tensiones en los elementos lo cual requiere la intervención inmediata, esto implica colocar refuerzos en estas zonas para evitar fisuras y grietas que ayuden al deterioro de la edificación (Olarte, Proaño, Scalleti, Torres, & Zavala)

5.1.3 Análisis de las limitaciones

Como se puede analizar, estas investigaciones fueron realizadas a edificaciones que fueron construidas antes de que se implementaran controles para cualquier tipo de riesgo, por lo cual los resultados en general obtenidos, se enmarcan en la incapacidad de las estructuras para resistir algún tipo de daño causado por este agente externo. Por lo mismo, ellos recomiendan soluciones con el fin de prevenir o minimizar el grado de incidencia, que dichos generadores de amenazas pueden tener en contra de las estructuras o lo que es peor, de las vidas humanas que se alojen en ese lugar.

La investigación que se propone, además de enfocarse en construcciones ejecutadas en épocas anteriores a que existiera una normativa que controlara el grado de vulnerabilidad de las mismas, también quiere referirse a viviendas coloniales que datan del siglo XVI, y además son consideradas patrimonio histórico de la nación. Estas construcciones ubicadas en el barrio Getsemaní de la Ciudad de Cartagena, aunque llevan mucho tiempo de ser construidas pueden haber sido restauradas y reforzadas estructuralmente para que no sufrieran de riesgos ante un agente externo, debido a que muchas personas se interesan por proteger y preservar



estos lugares, lo que permite verificar o comprobar que dichas construcciones se encuentran en buen estado.

5.2 MARCO TEÓRICO

Para la valoración y determinación del nivel de vulnerabilidad en las estructuras de las casas coloniales en el barrio Getsemaní de la ciudad de Cartagena, que es el tema central de esta propuesta de grado, se hace necesario tener una fundamentación teórica sólida sobre la problemática que se trata, es por eso que se desarrollarán un recuento de los conceptos, teorías y términos que serán utilizados a lo largo del estudio.

5.2.1 Generalidades

5.2.2 Arquitectura colonial:

Manifestaciones arquitectónicas usadas en América desde 1492, fecha de la llegada de los españoles, e inicios del siglo XIX, período en que se dieron los procesos de independencia en el continente. En el caso de Colombia se extiende hasta 1810. Dentro de la arquitectura colonial colombiana es posible encontrar múltiples influencias estilísticas que oscilan entre el mudéjar (particularmente usado en artesonados o techumbres) y la influencia renacentista (portada de la Catedral de Tunja de 1598), barroca, rococó o manierista. En América se dieron múltiples variantes de estos estilos debido a la influencia del clima, los materiales y las necesidades locales. (Badawi, 2008)

5.2.2.1 Arquitectura Colonial Cartagenera:

La herencia arquitectónica española se refleja en Cartagena como una de las ciudades más hermosas del nuevo mundo. La Ciudad Antigua se encuentra rodeada de baluartes, estructuras similares a las murallas, pero sin su altura, de forma poligonal, las cuales fueron construidas para que en caso de una invasión o saqueo extranjero la ciudad pudiera defenderse y resguardar sus riquezas. Lo que hoy en día se conoce como la "Ciudad



Amurallada" empezó su construcción antes del año 1600 aproximadamente y culminó en 1796 a cargo del ingeniero don Antonio de Arévalo.

5.2.2.2 Arquitectura colonial civil

La ciudad vieja está rodeada de sectores como la tradicional isla de Manga, los barrios Castillogrande, Laguito, Bocagrande, Pie de la Popa, Crespo, entre otros. Las casonas antiguas del barrio en la isla de Manga en Cartagena son en su mayoría patrimonio nacional por su gran valor histórico y arquitectónico. Sin embargo, estas casas se ven amenazadas diariamente por la construcción de modernos edificios de apartamentos y el abandono al que son sometidas por parte de sus propietarios y el Estado. La construcción de estas casas llegó a su apogeo en la primera década del s. XX, como una respuesta de las clases altas al hacinamiento que se vivía por aquella época en el centro histórico de la ciudad.

La Arquitectura Civil en la Colonia, sigue los mismos patrones de la Arquitectura Doméstica ya descrita y en algunos casos fueron casas adaptadas para un nuevo uso, girando siempre alrededor del patio interior.

Son representativos de esta Arquitectura en Cartagena de Indias, los edificios de La Real Aduana, la Gobernación de la Provincia, las Casas de la Contratación, de la Moneda, la del Consulado, y el Tribunal del Santo Oficio de la Inquisición, el cual también forma parte de la Arquitectura Religiosa.

5.2.2.3 Arquitectura colonial religiosa

Esta arquitectura se encuentra representada en sus tres Catedrales, de las cuales solo nos quedó la última, sus Templos Parroquiales de Santo Toribio y la Santísima Trinidad; los Oratorios y Capillas de San Roque y Nuestra Señora de la Amargura; los Templos y Conventos de la Orden Tercera de San Francisco, Santo Domingo, San Agustín, La Merced, Santa Clara, Santa Teresa, y el Monasterio de la Popa; los Colegios de la Compañía de Jesús y de San Carlos Borromeo, los Hospitales de La Obra Pía, San Juan de Dios y el Leprosorio de San Lázaro, y por último el Tribunal del Santo Oficio antes mencionado.



5.2.2.4 Arquitectura colonial militar

El legado de la Arquitectura Militar cartagenera, es único en América, por su magnitud, e importancia estratégica. Dado al altísimo grado de indefensión de la Ciudad Colonial desguarnecida por todos sus flancos. Su sistema defensivo abaluartado, fue complementado con un doble cerco amurallado, que la protegía de los ataques por el mar abierto, mientras los fuertes las baterías y el castillo en Bocachica controlaban la única entrada a su Bahía.

También forman parte de esta Arquitectura, los cuarteles del Fijo y las Bóvedas, el Espigón de La Tenaza, los desaparecidos Revellines del Cabrero y La Media Luna y las escolleras de la Marina y Boca grande.

5.2.3 Vulnerabilidad, Patología y Riesgos

5.2.3.1 Vulnerabilidad:

La vulnerabilidad se define como la predisposición de un sistema, elemento, componente, grupo humano o cualquier tipo de elemento, a sufrir afectación ante la acción de una situación de amenaza específica. Como tal, la vulnerabilidad debe evaluarse y asignarse a cada uno de los componentes expuestos y para cada uno de los tipos de amenazas considerados. (ERN, 2011)

Para efectos del presente estudio, se hace una clara diferenciación entre vulnerabilidad estructural y vulnerabilidad humana. La vulnerabilidad estructural se refiere al daño o afectación que sufrirá un activo determinado ante una amenaza dada. Usualmente se mide en términos de un porcentaje medio de daño o valor económico requerido para reparar el bien afectado y llevarlo a un estado equivalente al que tenía antes de la ocurrencia del evento y la incertidumbre asociada. Por otro lado la vulnerabilidad humana hace referencia al nivel de afectación a los ocupantes de una edificación en términos de número esperado de víctimas, heridos o en general cualquier nivel de afectación que se defina, en función de la intensidad del fenómeno amenazante. (ERN, 2011)



5.2.3.2 Riesgos y Amenazas:

El impacto de los desastres en las actividades humanas ha sido un tema tratado en los últimos años en un amplio número de publicaciones desarrolladas por diversas disciplinas que han conceptualizado sus componentes a veces con algunas diferencias, aunque en la mayoría de los casos de una manera similar. La Oficina del Coordinador de las Naciones Unidas para Casos de Desastres (UNDRO, actualmente OCHA), en conjunto con la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), promovió una reunión con el fin de proponer una unificación de definiciones que ha sido ampliamente aceptada en los últimos años. Entre otros conceptos, el reporte de dicha reunión "Desastres Naturales y Análisis de Vulnerabilidad" incluyó los siguientes:

- **Amenaza o peligro (A):** definida como la probabilidad de ocurrencia de un evento potencialmente desastroso durante cierto período de tiempo en un sitio dado.
- **Vulnerabilidad (V):** el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo como resultado de la probable ocurrencia de un evento desastroso, expresada en una escala desde 0 (sin daño) a 1 (pérdida total).
- **Riesgo Específico:** el grado de pérdidas esperadas debido a la ocurrencia de un evento particular y como una función de la amenaza y la vulnerabilidad.
- **Elementos Expuestos a Riesgo (E):** la población, las edificaciones, obras civiles, las actividades económicas, los servicios públicos, las utilidades y la infraestructura expuesta en un área determinada. (Programa de Preparativos para Situaciones de Emergencia y Coordinación del Socorro en Casos de Desastre, 2000)

5.2.3.3 Vulnerabilidad Estructural

La vulnerabilidad estructural se refiere al daño o afectación que sufrirá un activo determinado ante una amenaza dada. Usualmente se mide en términos de un porcentaje medio de daño o valor económico requerido para reparar el bien afectado y llevarlo a un estado equivalente al que tenía antes de la ocurrencia del evento y la incertidumbre asociada.



La vulnerabilidad se expresa por lo tanto en términos de la llamada “función de vulnerabilidad”. La función de vulnerabilidad define la distribución de probabilidad de las pérdidas como función de la intensidad producida durante un escenario específico.

Las funciones de vulnerabilidad pueden evaluarse mediante diferentes técnicas incluyendo:

- Observaciones del comportamiento de diferentes tipos estructurales ante fenómenos que producen desastres.
- Estudios experimentales de componentes estructurales particulares sometidos a acciones externas que modelan los efectos de las amenazas a considerar.
- Estudios analíticos de componentes estructurales o de estructuras completas particulares sometidos a acciones externas que modelan los efectos de las amenazas a considerar.
 - Experiencia acumulada de expertos.
 - Funciones publicadas en la bibliografía internacional. (ERN, 2011)

5.2.3.4 Vulnerabilidad Sísmica

La función de vulnerabilidad define la distribución de probabilidad de las pérdidas como función de la intensidad producida durante un escenario específico, para lo cual es necesario definir las curvas que relacionan el valor esperado del daño y la desviación estándar del daño con la intensidad del fenómeno amenazante.

El daño se mide usualmente en términos de la relación media del daño RMD (MDR, Mean Damage Ratio en inglés) y corresponde en general al costo de reparación de la estructura para llevarla a un estado equivalente al que tenía antes de la ocurrencia del evento, medida como porcentaje de su valor de reposición total. Por otro lado, la intensidad sísmica puede ser la aceleración, velocidad, desplazamiento o cualquier otra, la que mejor correlación presente frente al nivel de daño del componente a considerar.

En el desarrollo metodológico que se presenta a continuación, la intensidad sísmica se mide principalmente a través de aceleración espectral, desplazamiento espectral y en deriva de entrepiso. En la metodología se han tenido en cuenta diversos parámetros de intensidad sísmica que resultan adecuados para correlacionar con el daño de cada uno de los tipos estructurales característicos. Por ejemplo, para edificaciones muy rígidas y/o frágiles, para



muros, taludes, componentes estructurales específicos resulta conveniente utilizar la aceleración máxima del terreno. En otros casos resulta de mayor sensibilidad bien sea la velocidad máxima del terreno o la deriva espectral de una edificación en particular. (ERN, 2011)

5.2.3.5 Vulnerabilidad ante vientos y mareas

El viento afecta de diferentes maneras las estructuras que encuentra a su paso. La velocidad del viento se encarga en general de producir una presión directa sobre la cara expuesta de la estructura la cual se traduce en un empuje medio. Este genera tanto presión como succión y actúa directamente sobre los elementos de fachada, los cuales trasladan los empujes hasta los elementos estructurales principales. También se generan empujes dinámicos en la dirección del viento que consisten en fuerzas paralelas al flujo causadas por la turbulencia del viento y cuya fluctuación en el tiempo influye de manera importante en la respuesta estructural. Es decir, que en una estructura pueden actuar ráfagas de viento en forma alternada con diferentes duraciones provocando cargas dinámicas. Aparecen también vibraciones transversales al flujo y fenómenos de inestabilidad dinámica, todo lo cual debe estudiarse con miras a comprender en forma global los efectos del viento sobre una construcción determinada. El viento puede producir también fuerzas de arrastre, fenómenos de inestabilidad Aero elástica como en el caso de puentes colgantes muy flexibles.

La velocidad del viento aumenta con la altura a partir del nivel del terreno. La variación con la que se incrementa depende no sólo de las condiciones de rugosidad del terreno circundante, sino también de las ráfagas del viento, es decir, las velocidades asociadas a lapsos definidos de tiempo. El lapso promedio es el intervalo que se selecciona para determinar la velocidad máxima promedio. Conforme ese intervalo disminuye, la velocidad máxima media correspondiente aumenta. Las velocidades de las ráfagas suceden durante lapsos promedio del orden de 3 a 15 segundos y se relacionan con el tamaño de la estructura. Las construcciones esbeltas y flexibles se ven más afectadas por las ráfagas de corta duración, mientras que las bajas y rígidas son más bien afectadas por las velocidades medias asociadas al flujo.



El viento incidente sobre cualquier superficie provoca una presión (fuerza por unidad de área). Si se quiere evaluar la fuerza total que el viento ejerce sobre una estructura o un elemento, se deben sumar las fuerzas individuales sobre cada una de sus superficies. Cada una de estas fuerzas se calcula multiplicando la presión debida al viento por el área afectada:

$$\text{Fuerza} = \text{Presión} \times \text{Área} \times \text{Factor de forma}$$

La fuerza que ejerce el viento sobre la estructura depende de la presión, de la proyección del área perpendicular a la dirección del viento y del factor de forma de la estructura. A su vez, la presión del viento depende de la velocidad máxima del mismo, de la altura sobre el nivel del terreno y de la densidad del aire que es función de la altura sobre el nivel del mar. (ERN, 2011)

5.2.3.6 Vulnerabilidad Ante Inundaciones

La función de vulnerabilidad ante una inundación se debe desarrollar para los diferentes tipos constructivos característicos, en función de dos parámetros principales: la profundidad de las aguas de inundación y la velocidad máxima del flujo.

Cuando la inundación se produce por efectos de un flujo torrencial de alta velocidad, es evidente que, adicionalmente a los daños asociados al incremento en el nivel del agua, se generan una serie de daños asociados a la velocidad máxima del flujo de agua, específicamente en las zonas en que el flujo adquiere alta velocidad. Estas áreas están clasificadas como áreas de amenaza por tránsito de flujos torrenciales y para su análisis se requiere de información de amenazas relacionada con la velocidad máxima del flujo. Las observaciones recientes, permiten establecer que, en general, en las áreas de alta velocidad de flujo el daño sobre la infraestructura expuesta es prácticamente total.

Las funciones de vulnerabilidad o daño por inundación se construyen para construcciones con diferentes usos. Estas funciones no consideran los daños provocados por socavación, falta de resistencia por reblandecimiento del suelo o deficiencia de la cimentación que pueden producir el colapso de las estructuras. (ERN, 2011)



5.2.3.7 Vulnerabilidad Estructural Ante Deslizamientos

La amenaza de deslizamiento se calcula únicamente con base en dos mecanismos detonantes principales que son el movimiento del terreno producido por terremotos intensos, y la profundidad del nivel freático generado por las lluvias intensas. Para esto es necesario disponer de un modelo general que represente en forma aproximada las condiciones actuales de estabilidad en la zona de estudio de manera que al introducir la amenaza “catastrófica” a evaluar (bien sea detonada por sismo o lluvia intensa), se genere un escenario para evaluación asociado al mecanismo detonante seleccionado. Cada escenario que se analice estará asociado entonces a una frecuencia de ocurrencia definida de acuerdo con la frecuencia del evento detonante seleccionado para cada análisis. La presencia de dicho factor detonante generará mediante el modelo de amenazas correspondiente, un mapa general con la distribución geográfica de los valores de factores de inseguridad (el inverso de los factores de seguridad mínimos) que resulten del análisis punto a punto en el sistema de información geográfico.

El parámetro de intensidad propuesto para la evaluación de la susceptibilidad a los deslizamientos corresponde al inverso del factor de seguridad, el cual variará normalmente entre 0 y 2. Los valores del parámetro de intensidad mayores que 1 corresponderán a situaciones de alta susceptibilidad a deslizamientos (factores de seguridad inferiores a la unidad) mientras que los valores inferiores a 1 representarán situaciones de relativa seguridad, o sea bajo nivel de daños potenciales. (ERN, 2011)

5.2.4 Métodos cualitativos para el análisis de vulnerabilidad.

Para realizar el estudio de vulnerabilidad de un conjunto de edificios, se ha desarrollado múltiples métodos cualitativos que permiten hacer la evaluación de forma rápida y sencilla. Estos métodos son usados para obtener un estimativo de vulnerabilidad de las edificaciones, lo que permite conocer el comportamiento de una zona urbana ante la ocurrencia e algunos fenómenos naturales proporcionando con esto una herramienta muy importante para los planes de prevención y mitigación de desastres. (LLANOS LOPEZ & VIDAL GOMEZ, 2003)



Dentro de los métodos que han sido desarrollados se encuentran las Técnicas de Screening, el método ATC-21, el método NAVFAC, los métodos japoneses, el método venezolano, el método ISTC, el Método Índice de Vulnerabilidad y el método de la AIS. (LLANOS LOPEZ & VIDAL GOMEZ, 2003)

5.2.4.1 Método Del Índice De Vulnerabilidad

El método del índice de Vulnerabilidad (BENEDETTI y PETRINI, 1984), identifica los parámetros más importantes que controlan el daño en los edificios causados por un terremoto. El método califica diversos aspectos de los edificios tratando de distinguir las diferencias existentes en un mismo tipo de construcción o tipología. Esta es una ventaja sobre los métodos que clasifican las construcciones por tipologías, material, año de construcción como son el ATC-13 y las escalas de EMS-98, MSK, entre otros. (Mena, 2002). Esta metodología considera aspectos como el tipo de suelo sobre el cual están los cimientos y la inclinación que estas presentan, así como la configuración en planta y elevación, el sistema de organización resistente para ver el grado de organización de los elementos, la tipología estructural, resistencia de la edificación ante cargas sísmicas, el sistema de losa y como está unido al sistema resistente, la ubicación de elementos no estructurales, entre otros. La importancia de este método, es que se puede aplicar para edificios de mampostería No estructural y para edificios en Hormigón armado, el cual son los dos tipos de edificaciones que más encontramos en nuestro medio (América Latina, y más específicamente la costa Atlántica en Colombia). En cada una de los dos tipos de estructuras, se evalúan once parámetros, y a cada uno se le da una importancia. Al final la sumatoria de los once parámetros multiplicados por sus coeficientes, da el índice de Vulnerabilidad de la estructura, en la que a medida que va subiendo, ese valor, la edificación es más vulnerable (CABALLERO GUERRERO, 2007)



5.2.4.2 Método Venezolano

El procedimiento propuesto por este método evalúa cortes por separados y calcula el índice sísmico por medio de una ecuación en la cual intervienen el cociente entre la fuerza cortante resistente del entrepiso y la fuerza sísmica cortante (E), un índice que representa las condiciones de irregularidad en planta y elevación (D) y otro que representa las condiciones de deterioro en el tiempo (T)

Los índices que intervienen la ecuación del índice sísmico se obtienen a partir de Tablas desarrolladas por los creadores del método, para dar valores a los coeficientes que se emplean en el cálculo de dichos índices. Para el índice de deterioro los valores de los coeficientes se definen de acuerdo con parámetros que involucran la inspección de aspectos como deflexiones, presencia de grietas en elementos estructurales, de columnas cortas, cambios de uso de las edificaciones, edad del edificio, estado de mantenimiento y ampliaciones o remodelaciones. Para el índice de irregularidad en planta y elevación tiene en cuenta la relación entre largo y ancho de la edificación, las discontinuidades del diafragma, los retrocesos, la presencia de planta baja libre, la uniformidad de las alturas de piso y el golpeteo. (LLANOS LOPEZ & VIDAL GOMEZ, 2003)

5.2.4.3 Métodos Japoneses

Entre los métodos japoneses, se encuentran el Método de Hirosawa, el cual es el método utilizado oficialmente en el Japón por el ministerio de construcción, en la evaluación de la seguridad sísmica de edificios de hormigón armado. El método recomienda tres niveles de evaluación, que van de lo simple a lo detallado, y se basa en el análisis del comportamiento sísmico de cada piso del edificio en las direcciones principales de la planta.

El método fue propuesto originalmente para ser utilizado en edificios de hormigón armado de altura media existentes o dañados, del orden de seis a ocho pisos estructurados con muros o pórticos. En estudios más recientes el método se ha aplicado en edificios de hormigón armado y albañilería (LLANOS LOPEZ & VIDAL GOMEZ, 2003)



5.2.4.4 Método NAVFAC

Determina el índice de daños que un sismo determinado puede causar en una estructura, evaluando la capacidad de la misma por medio del coeficiente de corte basal resistente (C_b), el desplazamiento al tope de la estructura (S) y el periodo fundamental (T). Si el índice de daño global (I_g) es mayor que el 60% se debe proceder a realizar una evaluación más detallada de la estructura (LLANOS LOPEZ & VIDAL GOMEZ, 2003)

5.2.4.5 Método Atc-21

Conocido también como el método de revisión por filtro de peligros sísmicos potenciales en edificaciones existentes. Es un método muy sencillo que se basa en darle una calificación inicial a la edificación, a la cual se le suman o restan puntos a medida que avanza la revisión y se filtran las características estructurales de la misma. Esta calificación inicial depende del tipo de estructura y del sistema de resistencia sísmica que tenga el edificio.

Los parámetros que este método tienen en cuenta para sumar o restar al puntaje inicial son la altura del edificio, las irregularidades geométricas, la flexibilidad de los pisos y la existencia de torsión en planta, la calificación obtenida al final de la revisión varía entre 0 y 6, siendo 2 la calificación sugerida como límite para definir la seguridad de la edificación.

El resultado de la evaluación por este método puede ser considerado como una evaluación preliminar y, de obtener que un edificio es inseguro, deberá ser evaluado utilizando los procedimientos del NSR-98 o del FEMA-273 (LLANOS LOPEZ & VIDAL GOMEZ, 2003)



6. OBJETIVOS

6.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la vulnerabilidad estructural de las edificaciones de tipo colonial ubicadas en el barrio Getsemaní del centro histórico de la ciudad de Cartagena, implementando el método del índice de vulnerabilidad, teniendo como finalidad generar recomendaciones que permitan contribuir con el mejoramiento de estas estructuras de gran importancia histórica y cultural para la ciudad de Cartagena.

6.2 OBJETIVO ESPECIFICO

- Realizar un diagnóstico detallado del estado de las estructuras, además de las variaciones que se han presentado y el actual uso de las mismas.
- Implementar el método del índice de vulnerabilidad en las zonas seleccionadas para permitir conocer la vulnerabilidad estructural de las casas tipo colonial.
- Plantear alternativas de solución que contribuyan a la conservación y/o mejoramiento de las edificaciones coloniales localizadas en el barrio Getsemaní de la ciudad amurallada de Cartagena.

7. ALCANCE

La investigación se realiza en dos etapas: una exploratoria, a través de un recorrido al lugar con el fin de examinar exhaustivamente el estado de las estructuras, y otra etapa de análisis de información

7.1 DELIMITACIÓN ESPACIAL

El estudio será realizado en el barrio Getsemaní de la ciudad de Cartagena, a un número de 5 casas utilizadas como muestra. La imagen que se muestra enseguida muestra la ubicación del sector sometido a estudio:

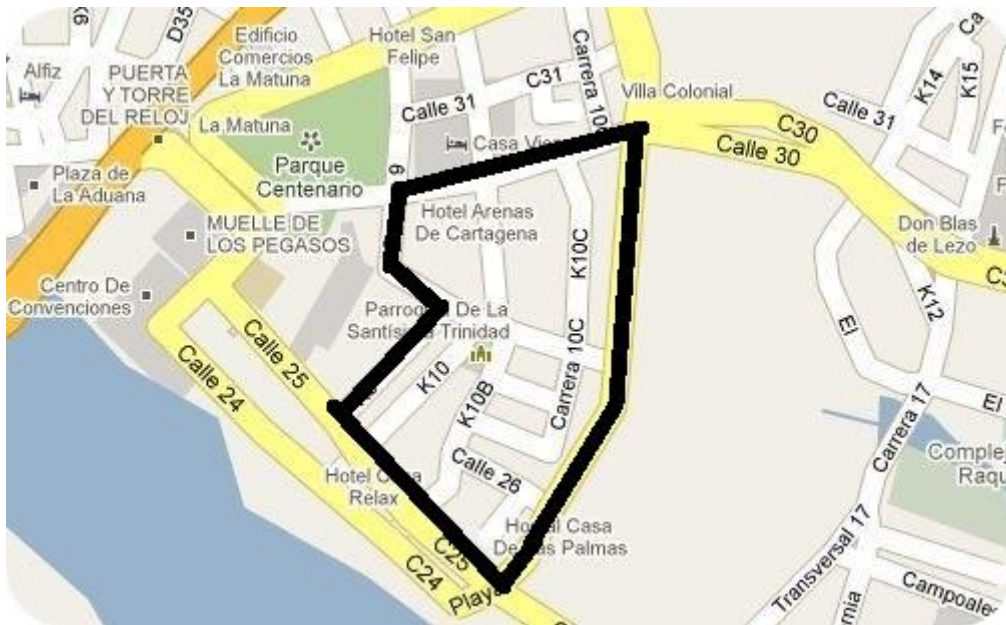


Ilustración 1 Ubicación del barrio Getsemaní delimitando el área residencial

El estudio será aplicado a una muestra de cinco (5) edificaciones que serán escogidas con la ayuda del ingeniero director del proyecto con el fin de escogerlas con características que permitan el desarrollo óptimo de las actividades de reconocimiento, observación y análisis detallado del estado de las mismas.



7.2 DELIMITACIÓN TEMPORAL

La investigación del proyecto estaba planificada para ser realizada en el segundo semestre del año 2015, debido a retrasos e inconvenientes presentados durante el proceso relacionados con permisos no otorgados y poca colaboración de los propietarios de los predios, se finaliza el proyecto en el año 2016

7.3 LIMITACIONES

El estudio y análisis de la información de las características del estado de las estructuras de las casas coloniales del barrio Getsemaní, se limitarán solo a mostrar un grado generalizado de la vulnerabilidad estructural y no enfatizarán en los tipos de vulnerabilidad que puedan presentarse en las edificaciones; Es por tal generalización del análisis de las estructuras y por qué el método utilizado es un método cualitativo que en este proyecto no se harán modelaciones. La investigación solo se enfoca en encontrar un análisis general de las edificaciones del sector.

7.4 PRODUCTOS COMPLEMENTARIOS Y PRODUCTO FINAL

Al finalizar la investigación del proyecto, se presenta un informe final que evidencia los resultados obtenidos de acuerdo con la información recopilada sobre la vulnerabilidad de las casas coloniales del barrio Getsemaní del centro histórico, y a que tipos de riesgos estas se encuentran expuestas. También se muestra los tipos de estructuras y tipos de cubiertas de las edificaciones y el estado en que se encuentran y con base en todos los datos que se obtengan de las investigaciones, se generan conclusiones y posibles soluciones que aporten al mantenimiento y conservación de las estructuras y lo más importante la prevención de riesgos mayores a futuro.

Llevar a cabo la investigación del grado de vulnerabilidad de las estructuras de las casas coloniales de Getsemaní, es importante puesto que se suministrará tanto información valiosa para futuros proyectos de conservación del patrimonio histórico de la ciudad, como



información a nuevas investigaciones de este tipo que suministran datos importantes y que a pesar de ser estudios que no necesitan de mucho tiempo para ser ejecutados si proporcionan datos puntuales y detallados, de manera que podrán ser utilizados como base informativa de futuros proyectos investigativos.



8. METODOLOGÍA.

Este trabajo de investigación se caracteriza por ser de tipo descriptivo, definido así debido a que en las instancias primeras se hace necesario inspecciones visuales de las edificaciones que se escogieron anteriormente como muestra, para así acopiar datos de tipo cualitativo, que a través de los análisis requeridos permitan caracterizar y definir el grado de vulnerabilidad de las edificaciones de muestra del barrio Getsemaní.

Para la realización de este proyecto se establecen una serie de pasos para el desarrollo de este mismo. A continuación, se describen las diferentes etapas del proyecto.

8.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

La etapa inicial del proyecto está basada en la adquisición de información que se dividen en dos tipos: Primaria y secundaria.

8.1.1 Información secundaria.

La información secundaria hace referencia a trabajos de investigación relacionados con la vulnerabilidad de edificaciones tanto a nivel nacional como a nivel internacional, la recolección de esta permitió obtener una visión más amplia y clara del tema.

8.1.2 Información primaria

Se realizan entrevistas con expertos en el tema a tratar, con el fin de conocer los aspectos fundamentales de vulnerabilidad en edificaciones.

Esta etapa se desarrolla a través del método seleccionado para la ejecución de este proyecto de investigación. Este método, llamado Índice De Vulnerabilidad, es de tipo cualitativo el cual se basa en la realización de una serie de estudios a partir de la observación y análisis del lugar. Estos estudios se realizan a través de visitas a las casas coloniales que son objeto de investigación, en las cuales, a través de una serie de formatos y parámetros, propios del método, se buscaron los posibles riesgos y el grado de vulnerabilidad de las edificaciones coloniales de la muestra representativa.



8.2 ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

La etapa de análisis es sumamente importante con el fin de obtener conclusiones acerca de los diferentes proyectos investigados y obtenidos en la etapa anterior.

8.2.1 Información secundaria

El análisis de información secundaria fue vital para llevar a cabo el proyecto, ya que se realizaron observaciones a los datos obtenidos en la investigación que se desarrollaron en las casas coloniales del barrio San Diego y que permitieron tener los conceptos claros y definir aspectos importantes para el desarrollo del proyecto. Esta fase fue soportada con la identificación de las edificaciones que son objeto de estudio y de esta manera se pretende conocer más acerca de ellas y sacar las debidas conclusiones del estado en que se encuentran.

8.2.2 Información primaria

Este análisis está definido por 11 parámetros mostrados en las grafica que podremos ver más adelante en este artículo, luego de la recolección de datos en la etapa anterior se procederá a estudiar la información obtenida mediante una suma ponderada de los valores numéricos que expresan la "calidad estructural" de cada uno de los parámetros estructurales y no estructurales. A continuación, se muestra la tabla característica del método que permite ubicarlas según el grado de vulnerabilidad que presente, es decir, si es alto, medio alto, medio bajo o baja.

Tabla 1 Tabla característica del Método de índice de vulnerabilidad

#	Parámetro	KiA	KiB	KiC	KiD	Peso Wi
1	Organización del sistema resistente	0	5	20	45	1.00
2	Calidad del sistema resistente	0	5	25	45	0.25
3	Resistencia Convencional	0	5	25	45	1.50
4	Posición del edificio y cimentación	0	5	25	45	0.75
5	Diafragmas horizontales	0	5	15	45	1.00
6	Configuración en planta	0	5	25	45	0.50
7	Configuración en elevación	0	5	25	45	1.00
8	Separación Máxima entre muros	0	5	25	45	0.25
9	Tipo de cubierta	0	15	25	45	1.00
10	Elementos no estructurales	0	0	25	45	0.25
11	Estado de conservación	0	5	25	45	1.00

(Caballero A. , 2007)



8.2.2.1 Parámetros del método

A partir de la tabla 1 (Tabla característica del Método de índice de vulnerabilidad), se analizaron los 11 aspectos que allí se mencionan, en las edificaciones escogidas como muestras para el proyecto de investigación. A continuación, se detallarán factores de gran importancia como son cada uno de los mencionados en la tabla anterior.

- **Organización del sistema resistente**

Con este parámetro se evalúa el grado de organización de los elementos verticales prescindiendo del tipo de material. El elemento significativo es la presencia y la eficiencia de la conexión entre las paredes ortogonales con tal de asegurar el comportamiento en "cajón" de la estructura. Se reporta una de las clases:

A) Edificio construido de acuerdo con las recomendaciones de la norma NSR-98.

B) Edificio que presenta, en todas las plantas, conexiones realizadas mediante vigas de amarre, capaces de transmitir acciones cortantes verticales.

C) Edificio que, por no presentar vigas de amarre en todas las plantas, está constituido únicamente por paredes ortogonales bien unidas.

D) Edificio con paredes ortogonales no ligadas entre sí. (BARRERA RAMOS & NIEVES CORREDOR, 2014)

- **Calidad del sistema resistente**

Con este parámetro se determina el tipo de mampostería más frecuentemente utilizada, diferenciando, de modo cualitativo, su característica de resistencia con el fin de asegurar la eficiencia del comportamiento en "cajón" de la estructura. La atribución de un edificio a una de las cuatro clases se efectúa en función de dos factores: por un lado, del tipo de material y de la forma de los elementos que constituyen la mampostería. Por otro lado, de la homogeneidad del material y de las piezas, por toda la extensión del muro. A continuación, cada una de las clasificaciones del parámetro:



A) Mampostería en ladrillo o bloques prefabricados de buena calidad. Mampostería en piedra bien cortada, con piezas homogéneas y de dimensiones constantes por toda la extensión del muro. Presencia de ligamento entre las piezas.

B) Mampostería en ladrillo, bloques o piedra bien cortada, con piezas bien ligadas más no muy homogéneas en toda la extensión del muro.

C) Mampostería en piedra mal cortada y con piezas no homogéneas, pero bien trabadas, en toda la extensión del muro. Ladrillos de baja calidad y privados de ligamento.

D) Mampostería en piedra irregular mal trabada o ladrillo de baja calidad, con la inclusión de guijarros y con piezas no homogéneas o privadas de ligamento. (BARRERA RAMOS & NIEVES CORREDOR, 2014)

- **Resistencia convencional**

Con la hipótesis de un perfecto comportamiento en "cajón" de la estructura, la evaluación de la resistencia de un edificio de mampostería puede ser calculada con razonable confiabilidad. El procedimiento utilizado requiere del levantamiento de los datos:

N: número de pisos.

At: área total cubierta en (m²).

Ax, y: área total de los muros resistentes en el sentido X e Y respectivamente en (m²).

El área resistente de los muros inclinados un ángulo α diferente de cero, respecto a la dirección considerada, se debe multiplicar por $(\cos \alpha)^2$.

τ_K : resistencia a cortante característica del tipo de mampostería en (Ton/m²). En el caso de que la mampostería se componga de diferentes materiales, el valor de τ_K se determina como un promedio ponderado de los valores de resistencia a cortante para cada uno de los materiales τ_i , utilizando como factor de peso el porcentaje relativo en área A_i de cada uno de ellos.

$$\tau_K = \frac{\sum \tau_i A_i}{\sum A_i}$$

El coeficiente sísmico C, se define como el factor entre la fuerza horizontal resistente al pie del edificio dividido entre el peso del mismo y está dado por la expresión:



$$C = \frac{a_0 \tau_K}{q N} \sqrt{1 + \frac{q N}{1.5 a_0 \tau_K (1 + \gamma)}}$$

Donde,

$$A = \min \{A_x; A_y\}$$

$$B = \max \{A_x; A_y\}$$

$$a_0 = A / A_t$$

$$\gamma = B / A$$

$$q = \frac{(A + B)h}{A_t} P_m + P_s$$

h: altura media de los pisos en (m).

P_m: peso específico de la mampostería en (Ton/m³).

P_s: peso por unidad de área del diafragma en (Ton/m²).

A) Edificio con $\acute{a} \geq 1$.

B) Edificio con $0.6 \leq \acute{a} < 1$.

C) Edificio con $0.4 \leq \acute{a} < 0.6$.

D) Edificio con $\acute{a} < 0.4$.

(BARRERA RAMOS & NIEVES CORREDOR, 2014)



- **Posición del edificio y la cimentación**

Con este parámetro se evalúa, hasta donde es posible por medio de una simple inspección visual, la influencia del terreno y de la cimentación en el comportamiento sísmico del edificio. Para ello se tiene en cuenta algunos aspectos, tales como: la consistencia y la pendiente del terreno, la eventual ubicación de la cimentación a diferente cota y la presencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén. A continuación, cada una de las clasificaciones del parámetro:

A) Edificio cimentado sobre terreno estable con pendiente inferior o igual al 10%. La fundación está ubicada a una misma cota. Ausencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén.

B) Edificio cimentado sobre roca con pendiente comprendida entre un 10% y un 30% o sobre terreno suelto con pendiente comprendida entre un 10% y un 20%. La diferencia máxima entre las cotas de la fundación es inferior a 1 metro. Ausencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén.

C) Edificio cimentado sobre terreno suelto con pendiente comprendida entre un 20% y un 30% o sobre terreno rocoso con pendiente comprendida entre un 30% y un 50%. La diferencia máxima entre las cotas de la fundación es inferior a 1 metro. Presencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén.

D) Edificio cimentado sobre terreno suelto con pendiente mayor al 30% o sobre terreno rocoso con pendiente mayor al 50%. La diferencia máxima entre las cotas de la fundación es superior a 1 metro. Presencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén.

(BARRERA RAMOS & NIEVES CORREDOR, 2014)



- **Diafragmas horizontales**

La calidad de los diafragmas tiene una notable importancia para garantizar el correcto funcionamiento de los elementos resistentes verticales. A continuación, cada una de las clasificaciones del parámetro:

A) Edificio con diafragmas, de cualquier naturaleza, que satisfacen las condiciones:

1. Ausencia de planos a desnivel.
2. La deformabilidad del diafragma es despreciable.
3. La conexión entre el diafragma y los muros es eficaz.

B) Edificio con diafragma como los de la clase A, pero que no cumplen con la condición 1.

C) Edificio con diafragmas como los de la clase A, pero que no cumplen con las condiciones 1 y 2.

D) Edificio cuyos diafragmas no cumplen ninguna de las tres condiciones.

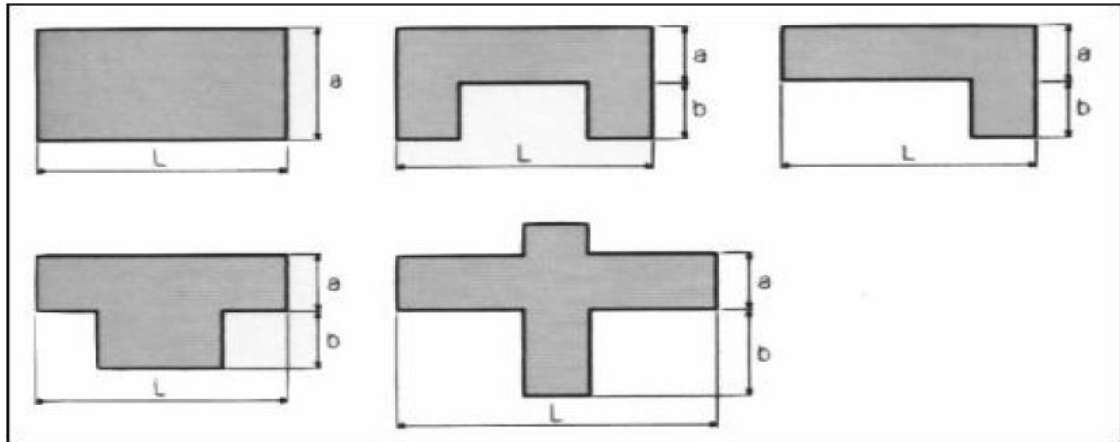
(BARRERA RAMOS & NIEVES CORREDOR, 2014)

- **Configuración en planta**

El comportamiento sísmico de un edificio depende de la forma en planta del mismo. En el caso de edificios rectangulares es significativo la relación $\beta_1 = a / L$ entre las dimensiones en planta del lado menor y mayor. También es necesario tener en cuenta las protuberancias del cuerpo principal mediante la relación $\beta_2 = b / L$. En la Figura 4.0 se explica el significado

de los dos valores que se deben reportar, para lo cual se evalúa siempre el caso más desfavorable.

Ilustración 2 Configuración en planta de la estructura



(Navia J. &, 2007)

- A) Edificio con $\alpha \geq 1$.
- B) Edificio con $0.6 \leq \alpha < 1$.
- C) Edificio con $0.4 \leq \alpha < 0.6$.
- D) Edificio con $\alpha < 0.4$.

(BARRERA RAMOS & NIEVES CORREDOR, 2014)

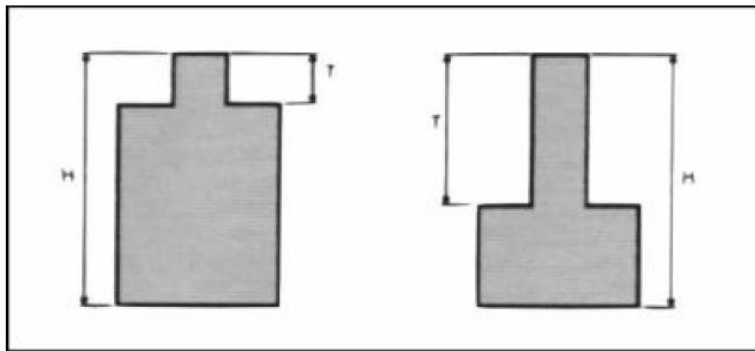
- **Configuración en elevación**

En el caso de edificios de mampostería, sobre todo para los más antiguos, la principal causa de irregularidad está constituida por la presencia de porches y torretas. La presencia de porches se reporta como la relación porcentual entre el área en planta del mismo y la superficie total del piso. La presencia de torretas de altura y masa significativa respecto a la

parte restante del edificio se reporta mediante la relación T/H . No se deben tener en cuenta las torretas de modesta dimensión tales como chimeneas, escapes de ventilación, etc.

También se reporta la variación de masa en porcentaje $\pm \Delta M/M$ entre dos pisos sucesivos, siendo M la masa del piso más bajo y utilizando el signo (+) si se trata de aumento o el (-) si se trata de disminución de masa hacia lo alto del edificio. La anterior relación puede ser sustituida por la variación de áreas respectivas $\pm \Delta A/A$, evaluando en cualquiera de los dos casos el más desfavorable.

Ilustración 3 Configuración en elevación de la estructura



(Navia J. &, 2007)

Edificio con $-\Delta M/M < 10\%$.

Superficie porche $< 10\%$ ó $10\% \leq -\Delta M/M < 20\%$.

Superficie porche = $10\% \approx 20\%$ ó $-\Delta M/M > 20\%$ ó $T/H < 2/3$.

Superficie porche $> 20\%$ ó $\Delta M/M > 0$ ó $T/H > 2/3$.

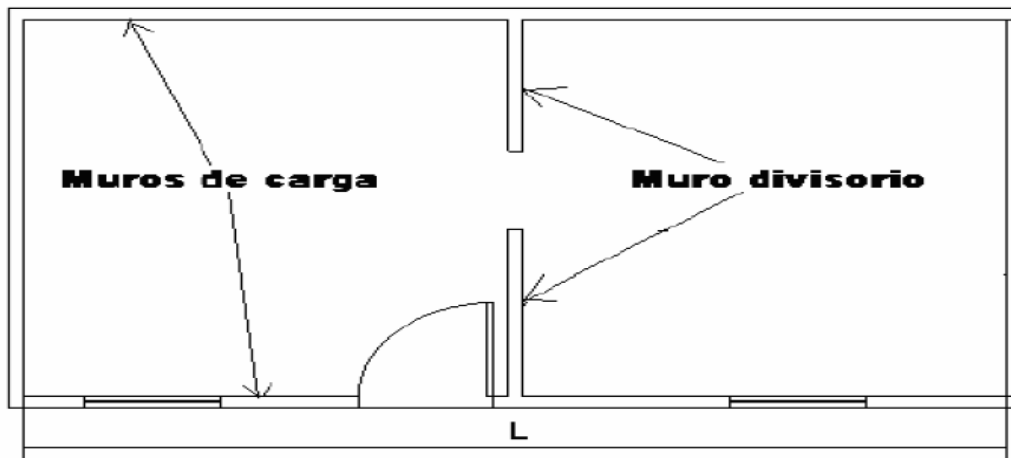
(BARRERA RAMOS & NIEVES CORREDOR, 2014)

- **Distancia máxima entre los muros**

Con este parámetro se tiene en cuenta la presencia de muros maestros (de carga) interceptados por muros transversales, ubicados a distancia excesiva entre ellos. Se reporta

el factor L/S , donde L es el espaciamiento entre los muros transversales y S el espesor del muro maestro, evaluando siempre el caso más desfavorable.

Ilustración 4 Configuración de los muros en planta y respectiva separación



(Navia J. &, 2007)

- A) Edificio con $L/S < 15$.
- B) Edificio con $15 \leq L/S < 18$.
- C) Edificio con $18 \leq L/S < 25$.
- D) Edificio con $L/S \geq 25$.

(BARRERA RAMOS & NIEVES CORREDOR, 2014)

- **Tipo cubierta**

Se tiene en cuenta con este parámetro, la capacidad del techo para resistir fuerzas sísmicas. A continuación, cada una de las clasificaciones del parámetro:

- A) Edificio con cubierta estable y provisto de viga cumbreira. Edificio con cubierta plana.



B) Edificio con cubierta estable y bien conectada a los muros, pero sin viga cumbreira. Edificio con cubierta parcialmente estable y provista de viga cumbreira.

C) Edificio con cubierta inestable, provista de viga cumbreira.

D) Edificio con cubierta inestable, sin viga cumbreira.

(BARRERA RAMOS & NIEVES CORREDOR, 2014)

- **Elementos no estructurales**

A) Edificio sin cornisas y sin parapetos. Edificio con cornisas bien conectadas a la pared, con chimeneas de pequeña dimensión y de peso modesto. Edificio cuyo balcón forma parte integrante de la estructura de los diafragmas.

B) Edificio sin cornisas y sin parapetos. Edificio con cornisas bien conectadas a la pared, con chimeneas de pequeña dimensión y de peso modesto. Edificio cuyo balcón forma parte integrante de la estructura de los diafragmas.

C) Edificio con elementos de pequeña dimensión, mal vinculados a la pared.

D) Edificio que presenta chimeneas o cualquier otro tipo de elemento en el techo, mal vinculado a la estructura. Parapetos u otros elementos de peso significativo, mal contruidos, que pueden caer en caso de terremoto. Edificio con balcones contruidos posteriormente a la estructura principal y conectada a ésta de modo deficiente.

(BARRERA RAMOS & NIEVES CORREDOR, 2014)

- **Estado de conservación**

A continuación, cada una de las clasificaciones del parámetro:

A) Muros en buena condición, sin lesiones visibles.

B) Muros que presentan lesiones capilares no extendidas, con excepción de los casos en los cuales dichas lesiones han sido producidas por terremotos.



C) Muros con lesiones de tamaño medio entre 2 a 3 milímetros de ancho o con lesiones capilares producidas por sismos. Edificio que no presenta lesiones pero que se caracteriza por un estado mediocre de conservación de la mampostería.

D) Muros que presentan, un fuerte deterioro de sus materiales constituyentes o, lesiones muy graves de más de 3 milímetros de ancho.

(BARRERA RAMOS & NIEVES CORREDOR, 2014)

- **Análisis de los parámetros**

Esta información, que es analizada por el método de índice de vulnerabilidad VI, se define por la siguiente expresión:

$$VI = \sum_{i=1}^{11} K_i W_i$$

Donde los factores K_i , son valores que se obtienen de analizar cada uno de los aspectos en la etapa anterior y los coeficientes W_i , son valores que propone el método para darle importancia a cada uno de los parámetros que determinan la vulnerabilidad en las edificaciones (BARRERA RAMOS & NIEVES CORREDOR, 2014)

Al analizar la ecuación se puede deducir que el índice de vulnerabilidad define una escala continua de valores desde 0 hasta 382.5 que es el máximo valor posible. Este se divide por 3.825 para obtener un valor de índice de vulnerabilidad normalizado a un rango de $0 < I_v < 100$. Para interpretar mejor los resultados que se tienen en el presente estudio se definen los siguientes rangos de vulnerabilidad:

- Vulnerabilidad < 15%: baja



- $15\% \leq \text{vulnerabilidad} < 35\%$: media
- Vulnerabilidad $\geq 35\%$: alta

A partir de los resultados que arroje el método de Índice de Vulnerabilidad a través de los anteriores valores mencionados se podrá caracterizar estructuralmente el barrio Getsemaní del centro histórico de la ciudad de Cartagena.

8.3 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS OBTENIDOS

Teniendo como base los datos obtenidos anteriormente, se procede a efectuar el análisis de los mismo utilizando herramientas importantes de Microsoft Office como Excel y Word para facilitar el desarrollo de todo el proyecto. En esta etapa se analizarán los datos obtenidos de cada una de las casas coloniales de la muestra y con base en este análisis se determinará las posibles fallas en cuanto a la vulnerabilidad estructural del barrio Getsemaní.

Si a través de este método se encuentra que el Índice de Vulnerabilidad es muy bajo o alto, se hará necesario proponer acciones generales que contribuyan a mejorar el comportamiento estructural y de cierta forma preservar el patrimonio histórico y cultural de la ciudad de Cartagena. Esto esta soportado o se desarrolla con la ayuda de expertos en conservación de edificaciones antiguas y en el tema de vulnerabilidad de estructuras. A partir de su conocimiento y experiencia se exponen recomendaciones de una manera más confiable y segura.

8.4 PREPARACIÓN Y PRESENTACIÓN DEL INFORME FINAL

Se deben realizar todas las etapas anteriores, desarrollar los objetivos propuestos y llegar a conclusiones que den solución al planteamiento del problema, se realizará un informe en donde se exponga y se plasmen todos los resultados obtenidos al final del proceso investigativo.

9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

9.1 ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS DE LA CASA N° 1 EN EL BARRIO GETSEMANÍ

9.1.1 Parámetros

- ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA RESISTENTE (1.00)

Para definir este parámetro se debe conocer con certeza o tener información acerca de la antigüedad de la edificación, para con esto poder determinar si está bajo algún tipo de normatividad regulativa o guía constructiva de las cuales se hayan basado para su construcción. A partir de esa información se define este parámetro así:



Ilustración 5 Fachada casa 1

En primera instancia debemos tener en cuenta el periodo en el que fue construida la vivienda, habiendo sido las casas del barrio Getsemaní construidas entre los siglos XII y XIX y remodeladas para su conservación a satisfacción de las personas que las han habitado a través de los años, podemos determinar que no cumplen con la primera clasificación (A) de este parámetro, puesto que la norma NSR-10 rige desde hacen solo



unos pocos años, es decir, décadas después de construidas las viviendas seleccionadas para este estudio.

De acuerdo con la clasificación (B) del parámetro en donde para aplicar, la edificación debe presentar vigas de amarre en todas sus plantas capaces de transmitir acciones cortantes verticales y debido a la antigüedad y proceso constructivo empleado en esta edificación. Podemos decir que no cumple con las especificaciones requeridas para clasificar en (B).

La vivienda que no presente vigas de amarre en todas las plantas pero que cuente con paredes ortogonales bien unidas, si aplica y cumple con las especificaciones de la clasificación (C), es por esto que es esta la opción que se considera adecuada para la vivienda en estudio.

- CALIDAD DEL SISTEMA RESISTENTE (0.25)

Para analizar este parámetro se tiene como referencia el tipo y calidad de la mampostería utilizada. Además, se tiene en cuenta la homogeneidad del material, tipo de corte y la manera como están trabadas las piezas a lo largo y ancho de los muros. Para obtener esta información se investigó el historial de las casas y los procesos constructivos que en ellas se emplearon; investigación en la que se pudo conocer que estas casas están construidas de tres formas diferentes y son las siguientes:

1. Piedra y argamasa de cal
2. Ladrillo
3. Pedazo de ladrillo, piedra y triturado coralino.

Con base a la investigación de los procesos constructivos antiguos se considera que la mejor clasificación para la vivienda en análisis es la (D), puesto que cuenta con mampostería en piedra irregular mal trabada o ladrillo de baja calidad, con la inclusión de guijarros y con piezas no homogéneas o privadas de ligamento.



- RESISTENCIA CONVENCIONAL (1.5)

Para clasificar este parámetro se deben tener en cuenta datos específicos obtenidos a partir de las inspecciones visuales realizadas en el estudio del presente trabajo investigativo, datos tales como:

- El número de pisos
- La altura media de los pisos
- Área resistente en cada sentido
- Área total de cubierta
- El peso por unidad de área del diafragma
- El peso específico de la mampostería

De acuerdo con información arrojada por ensayos realizados en el laboratorio para muros de mampostería (Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de los Andes en 1990) $n = 15,0 \text{ T/m}^2$ para mampostería confinada y $n = 7,5 \text{ T/m}^2$ para mampostería no confinada. (Navia, 2007)

Tabla 2 Descripción de la edificación

RESISTENCIA CONVENCIONAL	VALOR
N: número de pisos	1
At: área total cubierta m ²	283,2
Tk: resistencia a cortante característica del tipo de mampostería en Ton/m ²	7,5
H: altura media del piso en m	4,30
Pm: peso específico de la mampostería Ton/m ³	2.2
Ps: peso por unidad de área del diafragma Ton/m ²	0.72



Tabla 3 Área de los muros en x y en y

PRIMERA PLANTA	
Ax	Ay
252,53	336,02

Tabla 4 Resultado cálculo del parámetro

B	Υ	a0	Q	C	C	$\dot{\alpha}$
336,02	1,330614	0,891701	20,3792	0,1	0,448867	4,488679

Analizando los resultados obtenidos, podemos observar que el valor de $\dot{\alpha}$ es mayor que 1, razón por la cual la clasificación para esta edificación en el parámetro es (A).

- POSICIÓN DEL EDIFICIO Y DE LA CIMENTACIÓN (0.75)

La clasificación de este parámetro depende de la pendiente y consistencia del terreno, la Ubicación en cotas de la cimentación y la presencia de empuje no equilibrado por terraplén; información a la que se tuvo acceso a través de profesores de la universidad de Cartagena expertos en este tipo de estructuras y suelos como lo es director del presente trabajo de grado Ingeniero Walberto Rivera y el Ingeniero Guillian Barboza, quienes suministraron información valiosa a cerca del tipo y comportamiento de suelo del barrio Getsemaní y como están constituidas las estructuras y cimentaciones de esta época. A partir de la información recibida se pudo conocer como está constituido el suelo del centro histórico de la ciudad de Cartagena dentro del cual se encuentra el Barrio Getsemaní, se compone básicamente de arena limosa gris fina, caracuchas menudas con china y piedra coralina. Suelo que, aunque no tiene las mejores especificaciones aún se considera terreno estable.

Además de lo mencionado, en las visitas de campo hechas para la realización y desarrollo del presente trabajo de grado, se observó que las pendientes en las que se encuentran construidas las viviendas son menores del 10%, que no existe posibilidad de empuje no

equilibrado por terraplén y que la fundación de las cimentaciones se encuentran en la misma cota, razón por la cual la clasificación considerada para este parámetro es (A).

- DIAFRAGMAS HORIZONTALES (1.00)

La clasificación para este parámetro es la opción (D) puesto que, por ser una edificación antigua, ser de una plata y no poseer ningún tipo de diafragma horizontal, no cumple con ninguno de los aspectos considerados en él que son:

- Ausencia de plano a desnivel
- Deformabilidad despreciable en el plano del diafragma
- Conexión eficiente entre el plano del diafragma y el panel o muros.

- CONFIGURACIÓN EN PLANTA (0.5)

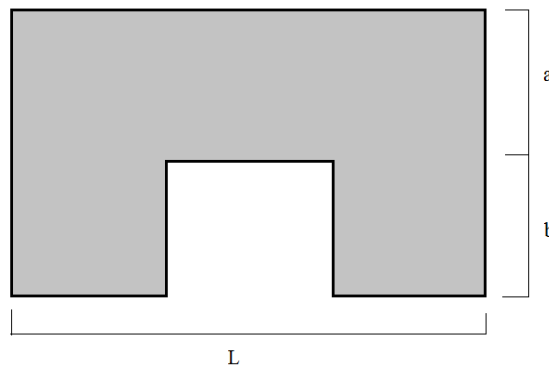


Ilustración 6 Forma de la edificación

De acuerdo a la forma en planta de la edificación se tienen los siguientes valores:

Tabla 5 Distancia en plata de la edificación

CONFIGURACIÓN EN PLANTA	VALOR(m)
A	12,5
L	13,65
B	5,7

Tabla 6 Cálculo de los parámetros

β_1	0,91575091
β_2	0,41758241

De acuerdo con los criterios del parámetro, β_1 está en el rango entre 0.6 y 1, motivo por el cual se encuentra en la clasificación (B).

- CONFIGURACIÓN EN ELEVACIÓN (1.00)

En el análisis de este parámetro se toman a consideración aspectos importantes que determinan la configuración en elevación del edificio, los cuales son:

- Se debe verificar si hay porches y si es así, sacar el porcentaje con que cuenta este elemento con relación a toda el área en planta.
- Hay que medir si hay torretas es decir elevaciones que no tienen ningún fin estructural, como chimeneas, y compararlas con la altura total de la edificación.
- Si son dos o más pisos se debe realizar la relación de áreas entre los dos pisos.

De acuerdo con las características del parámetro se puede determinar que la clasificación para este es (A), puesto que no hay presencia de porches y torretas evidenciadas en la inspección visual de la vivienda y es de un solo piso.



Ilustración 7 Elevación de la casa



- DISTANCIA MÁXIMA ENTRE MUROS (0.25)

Con este parámetro se tiene en cuenta la presencia de muros de carga interceptados por muros transversales, ubicados a distancia excesiva entre ellos.

Tabla 7 Distancia y espesor de muros transversales

DISTANCIA ENTRE MUROS	Distancia(m)
L: Espaciamiento de los muros transversales	4,50
S: Espesor del muro maestro	0,60

Tabla 8 Relación entre distancias y espesor de muros transversales

L/S
7,50

De acuerdo al resultado de la relación L/S, para este parámetro la vivienda se encuentra en clasificación (A), Edificio con $L/S < 15$.

- TIPO DE CUBIERTA (1.00)

Para clasificar este parámetro el análisis se basa en cuatro características principales que son: La pendiente de la cubierta, su estabilidad, su apoyo a los muros y si posee viga cumbrera. En la revisión visual que se realizó se encontró que la vivienda cuenta con cubierta a dos aguas, por lo cual se puede notar con facilidad la existencia de viga cumbrera y el inadecuado empotramiento de las alfardas en los muros ortogonales, y que por su antigüedad y pendiente inclinada carece de buena estabilidad. En base a lo anterior se puede ubicar la vivienda en la clasificación (C).



Ilustración 8 Cubierta

- ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES (0.25)

Este parámetro se centra en la existencia de elementos no estructurales en los muros o cubiertas que puedan representar un peligro para las personas en caso de una eventualidad o fenómeno natural. Por este motivo se debió observar detalladamente si en la edificación hay presencia de cornisas, parapetos, chimeneas o balcones que no estén bien sujetos a los muros o de alguna manera no sean seguros.

Según las especificaciones de este parámetro y lo observado en las visitas de campo para la obtención de información primaria del presente trabajo de grado, se puede ubicar en clasificación (D), puesto que esta edificación cuenta con cornisas y objetos de peso significativo mal conectados a los muros que pueden caer en caso de terremoto.



Ilustración 9 Elementos no estructurales

- ESTADO DE CONSERVACIÓN (1.00)

Para evaluar este parámetro se tuvo en consideración el estado de la mampostería y la existencia de lesiones capilares. Se observó que es un edificio que no presenta lesiones pero que se caracteriza por un estado mediocre de conservación de la mampostería, por este motivo la clasificación para este parámetro es (C).



Ilustración 10 Conservación de los muros



9.1.2 Análisis de la vivienda n° 1 ubicada en la calle el guerrero del barrio Getsemaní

Tabla 9 Resultados de los parámetros casa 1

PARÁMETROS	CLASE K_i				PESO W_i
	A	B	C	D	
1. Organización del sistema resistente.			20		1,00
2. Calidad del sistema resistente.				45	0,25
3. Resistencia convencional.	0				1,50
4. Posición del edificio y cimentación.	0				0,75
5. Diagramas horizontales.				45	1,00
6. Configuración en planta.		5			0,50
7. Configuración en elevación.	0				1,00
8. Distancia máxima entre muros.	0				0,25
9. Tipo de cubierta.			25		1,00
10. Elementos no estructurales.				45	0,25
11. Estado de conservación.			25		1,00

Se evaluó el índice de vulnerabilidad multiplicando la clasificación que dio de cada parámetro por el factor de importancia de cada uno. Se obtuvo un índice de vulnerabilidad en una escala de 0 a 382.5 de: $IV = 140$

Para ubicarlo en una escala normalizada entre 0 y 100 se divide entre 3,825 y se obtiene:

$$IV = 36,6\%$$

Esta edificación tiene un índice de vulnerabilidad alto puesto que IV es mayor a 35%.

9.2 ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS DE LA CASA N° 2 EN EL BARRIO GETSEMANÍ

9.2.1 Parámetros

- ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA RESISTENTE (1.00)

De igual manera que la vivienda N° 1, esta edificación hace parte de la clasificación (C) puesto que por ser antigua no está construida bajo la reglamentación de la norma NSR-10 y que además de ser de una sola planta, no presenta vigas de amarre y está constituida solo por paredes ortogonales bien unidas.

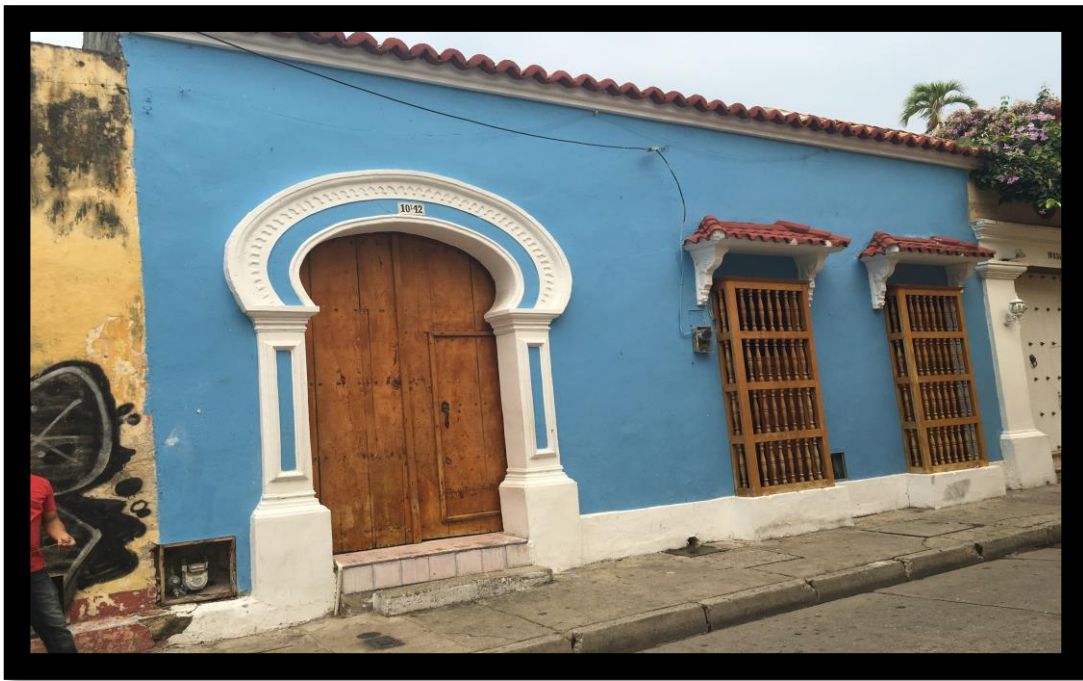


Ilustración 11 Fachada casa 2

- CALIDAD DEL SISTEMA RESISTENTE (0.25)

Esta edificación el tipo de material y la forma de los elementos que constituyen la mampostería es diferente a la de la primera, puesto que presenta piezas irregulares mal cortadas y mal trabadas, con ladrillos de baja calidad y privadas de ligamentos. Dado este caso la clasificación de esta vivienda para este parámetro es (D).



- RESISTENCIA CONVENCIONAL (1.5)

Para el análisis de este parámetro se obtuvo la siguiente información después de realizadas las visitas de campo para el estudio de la vivienda:

Tabla 10 Descripción de la edificación

RESISTENCIA CONVENCIONAL	VALOR
N: número de pisos	1
At: área total cubierta m ²	166.46
Tk: resistencia a cortante característica del tipo de mampostería en Ton/m ²	7,5
H: altura media del piso en m	4.0
Pm: peso específico de la mampostería Ton/m ³	2.2
Ps: peso por unidad de área del diafragma Ton/m ²	0.72

Tabla 11 Área de los muros en X y en Y

PRIMERA PLANTA	
Ax	Ay
175,08	314,28

Tabla 12 Resultado del cálculo del parámetro

B	Y	a0	Q	C	C	q
314,28	1,795065	1,051784	26,590287	0,1	0,398456	3,98456

Analizando los resultados obtenidos, podemos observar que el valor de q es mayor que 1, razón por la cual la clasificación para esta edificación en el parámetro es (A).

- POSICIÓN DEL EDIFICIO Y DE LA CIMENTACIÓN (0.75)

En este parámetro la clasificación para esta edificación es análoga a la de la primera vivienda en estudio, puesto que ambas se encuentran en pendiente menor al 10%, en un terreno que según fuentes de información ya mencionadas se considera estable y que no hay presencia de empuje no equilibrado por terraplén, por lo tanto, se encuentra en clasificación (A).

- DIAFRAGMAS HORIZONTALES (1.00)

Esta edificación al igual que la anterior es antigua y no tiene remodelaciones considerables en su estructura por lo cual no cuenta con diafragmas horizontales además de ser de una sola planta, característica que la ubica en la clasificación (D) de este parámetro al no cumplir con ninguno de los aspectos tenidos en cuenta para el análisis del mismo.

- CONFIGURACIÓN EN PLANTA (0.50)

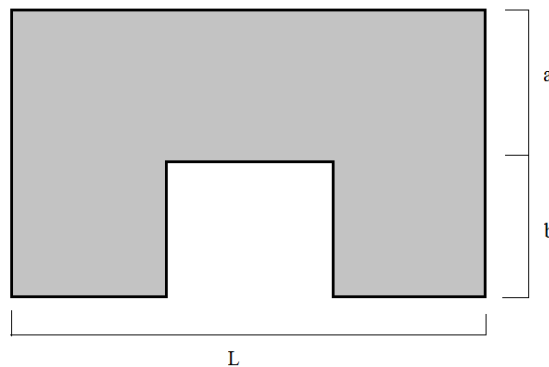


Ilustración 12 Forma de la edificación

De acuerdo a la forma en planta de la edificación se tienen los siguientes valores:

Tabla 13 Distancia en planta de la edificación

CONFIGURACIÓN EN PLANTA	VALOR(m)
A	5,77
L	19,73
B	2,71

Tabla 14 Cálculo del parámetro

β_1	0,29244804
β_2	0,13735428

De acuerdo con los criterios del parámetro, $B1 < 0,4$, motivo por el cual se encuentra en la clasificación (D).

- CONFIGURACIÓN EN ELEVACIÓN (1.00)

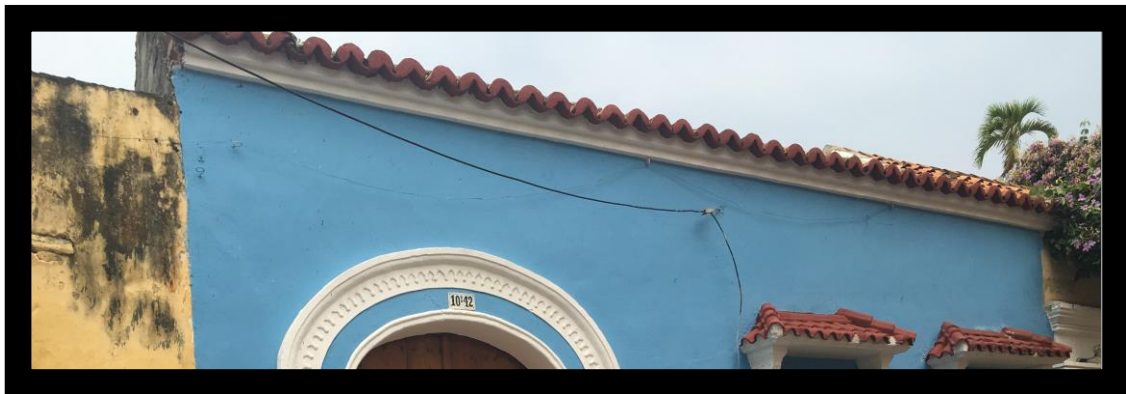


Ilustración 13 Elevación de la casa

Al igual que la primera vivienda estudiada, de acuerdo con las características del parámetro se puede determinar que la clasificación adecuada en él es (A), puesto que no hay presencia de porches y torretas evidenciadas en la inspección visual de la vivienda y además es de una sola planta.

- DISTANCIA MÁXIMA ENTRE MUROS (0.25)

Para el análisis de este parámetro se escoge la distancia o luz más grande entre los muros transversales y el espesor de los muros estructurales.



Tabla 15 Distancia y espesor de muros

DISTANCIA ENTRE MUROS	Distancia(m)
L: Espaciamiento de los muros transversales	6,30
S: Espesor del muro maestro	0.30

Tabla 16 Relación entre la distancia y espesor de muros transversales

L/S
21

De acuerdo a lo anterior, se obtuvo una relación de 21, por lo cual se encuentra en el rango entre 18 y 25, es por eso que la clasificación es la (C).

- TIPO DE CUBIERTA (1.00)

De acuerdo con el tipo de cubierta en esta vivienda "par y nudillo" de dos aguas y teniendo en cuenta los aspectos que se priorizan en este parámetro, que son:

- a. La estabilidad de la cubierta
- b. Pendiente
- c. Empotramiento en los muros
- d. La existencia de viga cumbreira.

La clasificación de esta edificación para este parámetro es (D), puesto que no posee viga cumbreira y debido a su gran pendiente, y estado de deterioro por antigüedad presenta una inestabilidad considerable.



Ilustración 14 Cubierta de la casa

- ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES (0.25)

En el análisis visual realizado en esta vivienda se encontró la presencia de cornisas y parapetos u otros elementos de peso significativo, mal contruidos, que pueden caer en caso de terremoto, por esta razón la casa en este parámetro se ubica en clasificación (D).



Ilustración 15 Elementos no estructurales



Ilustración 16 Elementos no estructurales

- ESTADO DE CONSERVACIÓN (1.00)

Una vez realizada la inspección visual del lugar y analizado el buen estado de conservación de los muros de la edificación con lesiones capilares no extendidas, se pudo clasificar esta vivienda en el rango (B) del parámetro.

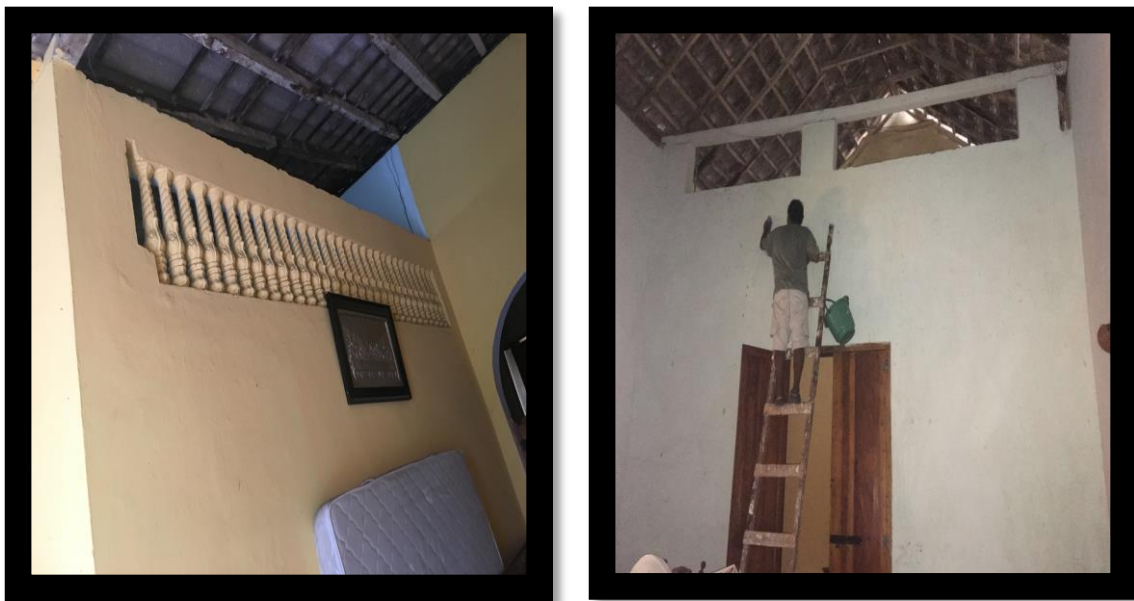


Ilustración 17 Conservación de muros



9.2.2 Análisis de la vivienda n° 2 ubicada en la calle del carretero en el barrio Getsemaní

Tabla 17 Resultado parámetros casa 2

PARÁMETROS	CLASE K_i				PESO W_i
	A	B	C	D	
1. Organización del sistema resistente.			20		1,00
2. Calidad del sistema resistente.				45	0,25
3. Resistencia convencional.	0				1,50
4. Posición del edificio y cimentación.	0				0,75
5. Diagramas horizontales.				45	1,00
6. Configuración en planta.				45	0,50
7. Configuración en elevación.	0				1,00
8. Distancia máxima entre muros.			25		0,25
9. Tipo de cubierta.				45	1,00
10. Elementos no estructurales.				45	0,25
11. Estado de conservación.		5			1,00

Se evalúa el índice de vulnerabilidad multiplicando la clasificación que dio de cada parámetro por el factor de importancia de cada uno. Se obtiene un índice de vulnerabilidad en una escala de 0 a 382.5: $IV = 166.25$

Para ubicarlo en una escala normalizada entre 0 y 100 se divide entre 3.825 y se obtiene:

$$IV = 166.25/3.825 \text{ Entonces; } IV = 43,46\%$$

Como el valor es mayor al 35%, entonces esta estructura presenta un índice de vulnerabilidad alto.

9.3 ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS DE LA CASA N° 3 EN EL BARRIO GETSEMANÍ

9.3.1 Parámetros

- ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA RESISTENTE (1.00)

La presente edificación a pesar de ser de dos plantas no está constituida por un sistema de vigas de amarres en todas ellas, pero por el contrario cuenta con paredes ortogonales bien unidas y ubicadas que aseguran el comportamiento de cajón de la estructura y no cuenta con regulación de la norma NSR – 10 por haber sido construida en la antigüedad. Es por contar con estas características que la vivienda puede ser ubicada para parámetro en clasificación (C).



Ilustración 18 Fachada casa 3

- CALIDAD DEL SISTEMA RESISTENTE (0.25)

Según las características de la mampostería de la edificación y de acuerdo con su antigüedad y los métodos constructivos utilizados entonces, en este parámetro la clasificación en la que encaja la vivienda es (D), puesto que tiene mampostería en piedra irregular mal trabada o



ladrillo de baja calidad, con la inclusión de guijarros y con piezas no homogéneas o privadas de ligamento.

- RESISTENCIA CONVENCIONAL (1.5)

Para el estudio de este parámetro se recopilieron los siguientes datos una vez inspeccionada la vivienda:

Tabla 18 Descripción de la edificación

RESISTENCIA CONVENCIONAL	VALOR
N: número de pisos	2
At: área total cubierta m ²	210.9
Tk: resistencia a cortante característica del tipo de mampostería en Ton/m ²	7,5
H: altura media del piso en m	3,88
Pm: peso específico de la mampostería Ton/m ³	2.2
Ps: peso por unidad de área del diafragma Ton/m ²	0.72

Tabla 19 Área de los muros en Y en Y

PRIMERA PLANTA	
Ax	Ay
160.55	247.75

Tabla 20 Área resistente de los muros

SEGUNDA PLANTA	
Ax	Ay
160.55	247.75

Tabla 21 Cálculo de parámetro

B	Υ	a_0	Q	C	C	$\acute{\alpha}$
247.75	1.543132	0.761261	17.275557	0.1	0.271028	2.710288

Observando los resultados obtenidos, se clasifica el parámetro con la opción (A) puesto que el valor de $\acute{\alpha}$ es mayor que 1.

- POSICIÓN DEL EDIFICIO Y DE LA CIMENTACIÓN (0.75)

En este parámetro la clasificación para esta edificación es igual a la de la primera y segunda vivienda en estudio, puesto que se encuentran en un terreno estable de pendiente menor al 10%, donde no hay presencia de empuje no equilibrado por terraplén, por lo tanto, se encuentra en clasificación (A).

- DIAFRAGMAS HORIZONTALES (1.00)

Esta edificación al igual que las anteriores es antigua, no tiene remodelaciones considerables en su estructura y no cuenta con diafragmas horizontales que cumplan con las condiciones del parámetro, característica que la ubica en la clasificación (D).

- CONFIGURACIÓN EN PLANTA (0.50)

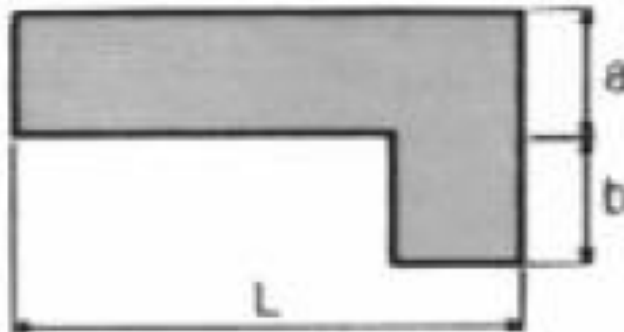


Ilustración 19 Forma de la edificación



De acuerdo a la forma en planta de la edificación se tienen los siguientes valores:

Tabla 22 Distancia en planta de la edificación

CONFIGURACIÓN EN PLANTA	VALOR(m)
A	3,90
L	23,75
B	5.30

Tabla 23 Calculo del parámetros

β_1	0,16421052
β_2	0,22315789

De acuerdo con los criterios del parámetro, $B1 < 0.4$, motivo por el cual se encuentra en la clasificación (D)

- CONFIGURACIÓN EN ELEVACIÓN (1.00)

Una vez hecha la inspección visual en la edificación se corroboró que no existen porches o torretas de altura o masa significativa, por lo que solo se hace el análisis de la diferencia entre las áreas de las plantas para el desarrollo del método.

Tabla 24 Características en elevación de la edificación

CONFIGURACIÓN EN ELEVACIÓN	
T: distancia de la irregularidad	0
H: altura total del edificio	8,2
A: área del piso de abajo	210.9
ΔA : cambio de área	0
Área de porche	0

Tabla 25 Resultados de los parámetros

T/H	$\Delta A/A$ (%)	Δ porche
0	0	0

La clasificación adecuada para la edificación en este parámetro es (A), puesto que no presenta diferencia de área entre las dos plantas, protuberancias en altura como torretas y no existen porches.



Ilustración 20 Elevación de la casa

- DISTANCIA MÁXIMA ENTRE MUROS (0.25)

Para el análisis de este parámetro se escoge la distancia o luz más grande entre los muros transversales y el espesor de los muros estructurales.

Tabla 26 Distancia y espesor de muros transversales

DISTANCIA ENTRE MUROS	Distancia(m)
L: Espaciamiento de los muros transversales	5,10
S: Espesor del muro maestro	0.60

Tabla 27 Relación entre distancia y espesor d muros transversales

L/S
8.83

De acuerdo a lo anterior, se obtuvo una relación de 8.83, por lo cual se encuentra en el rango <15 , es por eso que la clasificación es la (A).

- TIPO DE CUBIERTA (1.00)

Según las consideraciones que se tienen en cuenta en este parámetro sobre la pendiente de la cubierta, estabilidad, sujeción en los muros y presencia de viga cumbreira, la clasificación apropiada para esta edificación para es (B), Puesto que es un edificio con cubierta parcialmente estable y provista de viga cumbreira.



Ilustración 21 Cubierta

- ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES (0.25)

En el análisis visual realizado en esta vivienda se encontró la presencia de cornisas y parapetos mal vinculados a las paredes y no es lo suficientemente firme y de buena apariencia, es un edificio con balcones construidos posteriormente a la estructura principal y conectada a ésta de modo deficiente. Por esta razón la casa en este parámetro se ubica en clasificación (D).

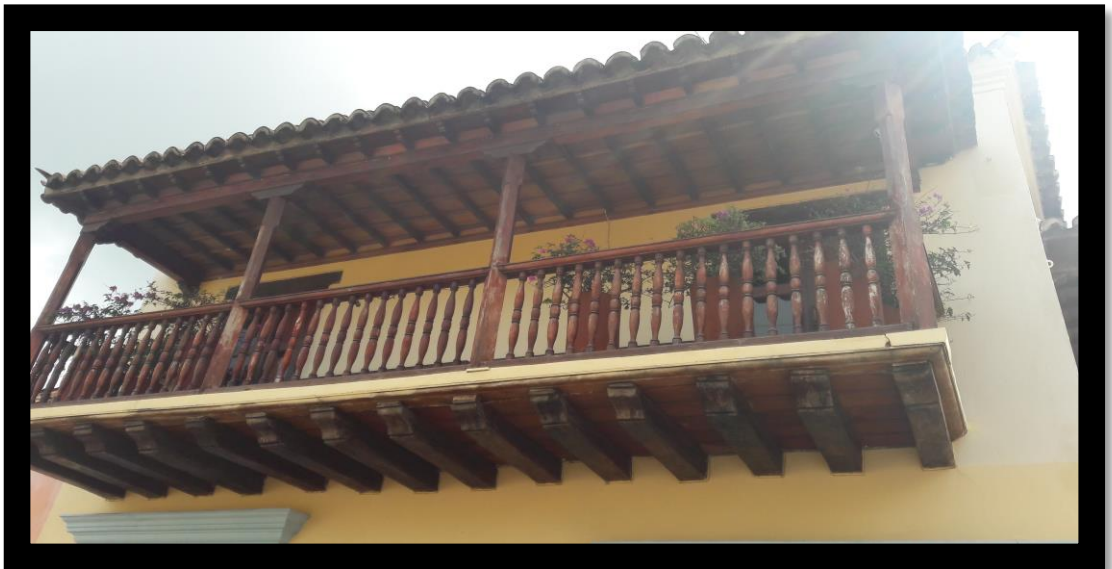


Ilustración 22 Elementos no estructurales

- ESTADO DE CONSERVACIÓN (1.00)

Debido al estado de los muros con presencia de lesiones graves de más de 3mm de ancho y evidente deterioro por humedad la clasificación de esta edificación para este parámetro es (D).



Ilustración 23 Estado de los muros



9.3.2 Análisis de la vivienda n° 3 ubicada en la calle del guerrero esquina en el barrio Getsemaní

Tabla 28 Resultados parámetros casa 3

PARÁMETROS	CLASE Ki				PESO Wi
	A	B	C	D	
1. Organización del sistema resistente.			20		1,00
2. Calidad del sistema resistente.				45	0,25
3. Resistencia convencional.	0				1,50
4. Posición del edificio y cimentación.	0				0,75
5. Diagramas horizontales.				45	1,00
6. Configuración en planta.				45	0,50
7. Configuración en elevación.	0				1,00
8. Distancia máxima entre muros.	0				0,25
9. Tipo de cubierta.		15			1,00
10. Elementos no estructurales.				45	0,25
11. Estado de conservación.				45	1,00

Se evalúa el índice de vulnerabilidad multiplicando la clasificación que dio de cada parámetro por el factor de importancia de cada uno. Se obtiene un índice de vulnerabilidad en una escala de 0 a 382.5: $IV = 170$

Para ubicarlo en una escala normalizada entre 0 y 100 se divide entre 3.825y se obtiene:

$$IV = 170/3.825 \text{ Entonces; } IV = 44.44\%$$

Como el valor es mayor al 35%, entonces esta estructura presenta un índice de vulnerabilidad alto.

9.4 ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS DE LA CASA N° 4 EN EL BARRIO GETSEMANÍ

9.4.1 Parámetros

- ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA RESISTENTE (1.00)

En este caso tenemos un edificio de una sola planta que por su antigüedad no cuenta con regulación de la norma NSR – 10 y que no cuenta con vigas de amarres en la estructura de sus elementos verticales, pero que, si está constituido por paredes ortogonales ligadas entre sí, motivo por el cual es preciso ubicarlo en la clasificación (C) de este parámetro.

Tabla 29 Fachada Casa 4



- CALIDAD DEL SISTEMA RESISTENTE (0.25)

Esta vivienda cuenta con mampostería en piedra mal cortada y con piezas no homogéneas, mal trabadas, en toda la extensión del muro. Ladrillos de baja calidad y privados de ligamento, características que la ubican en la clasificación (D) del parámetro.



Ilustración 24 Calidad del sistema resistente

- RESISTENCIA CONVENCIONAL (1.5)

Para el análisis de este parámetro se obtuvo la siguiente información después de realizadas las visitas de campo para el estudio de la vivienda:

Tabla 30 Descripción de la edificación

RESISTENCIA CONVENCIONAL	VALOR
N: número de pisos	1
At: área total cubierta m ²	172.16
Tk: resistencia a cortante característica del tipo de mampostería en Ton/m ²	7.5
H: altura media del piso en m	4.55
Pm: peso específico de la mampostería Ton/m ³	2.2
Ps: peso por unidad de área del diafragma Ton/m ²	0.72



Tabla 31 Área de los muros en X y en Y

PRIMERA PLANTA	
Ax	Ay
253.83	301.93

Tabla 32 Resultado del Cálculo del Parámetro

B	Υ	a0	Q	C	C	$\dot{\alpha}$
301.93	1.189496	3.042692	21.405060	0,1	1.208803	12.088034

Analizando los resultados obtenidos, podemos observar que el valor de $\dot{\alpha}$ es mayor que 1, razón por la cual la clasificación para esta edificación en el parámetro es (A).

- POSICIÓN DEL EDIFICIO Y DE LA CIMENTACIÓN (0.75)

Esta vivienda tiene clasificación (A) para este parámetro, puesto que se encuentran en un terreno estable de pendiente menor al 10%, donde no hay presencia de empuje no equilibrado por terraplén y su cimentación está situada en la misma cota.

- DIAFRAGMAS HORIZONTALES (1.00)

Esta vivienda igual que las anteriores estudiadas es antigua, y en su estructura no cuenta con diafragmas horizontales que cumplan con las condiciones del parámetro, característica que la ubica en la clasificación (D).

- CONFIGURACIÓN EN PLANTA (0.50)

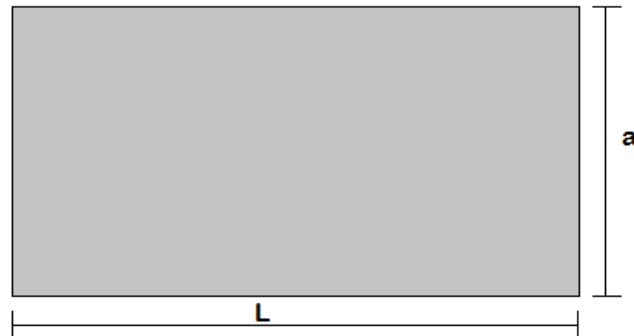


Ilustración 25 Configuración en planta de la vivienda

De acuerdo con las condicionales de esta configuración se tiene que:

Tabla 33 Distancia en planta de las edificación

CONFIGURACIÓN EN PLANTA	VALOR(m)
A	21.2
L	9.73
B	0

Tabla 34 Resultad de la configuración en planta

β	2.178828
---------	----------

A partir del criterio que destaca el método trabajado, donde B1 es mayor a 1, la estructura en este parámetro está en clasificación (A).

- CONFIGURACIÓN EN ELEVACIÓN (1.00)

De acuerdo con las características del parámetro se puede dar clasificación (A) para esta vivienda, puesto que no hay presencia de porches y torretas encontradas después de la inspección visual, además de ser de una sola planta.

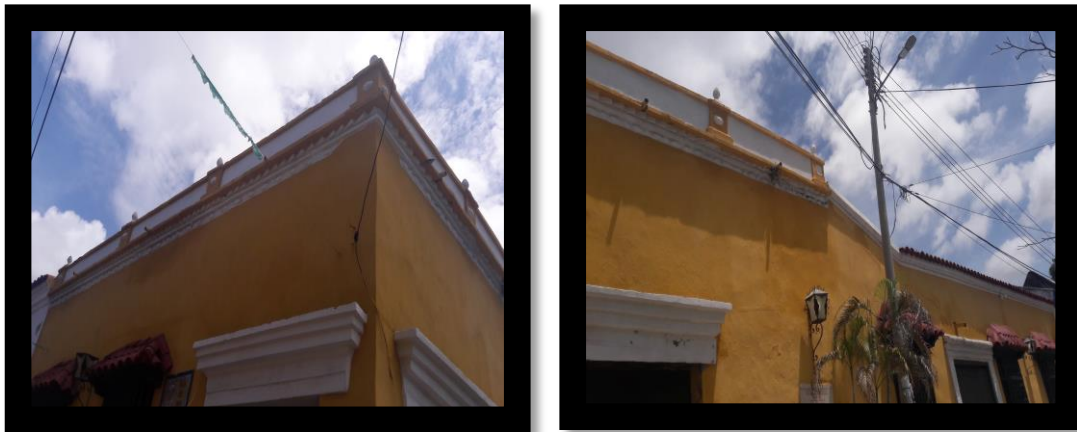


Ilustración 26 Elevación de la casa

- DISTANCIA MÁXIMA ENTRE MUROS (0.25)

Para el análisis de este parámetro se escoge la distancia o luz más grande entre los muros transversales y el espesor de los muros estructurales.

Tabla 35 Distancia y espesor de muros transversales

DISTANCIA ENTRE MUROS	Distancia(m)
L: Espaciamiento de los muros transversales	4.90
S: Espesor del muro maestro	0.50

Tabla 36 Relación entre la distancia y espesor de muros transversales

L/S
9.80

T

De acuerdo a lo anterior, se obtuvo una relación de 9.80, por lo cual se encuentra en el rango <15 , es por eso que la clasificación es la (A).

- TIPO DE CUBIERTA (1.00)

De acuerdo las consideraciones del parámetro sobre la estabilidad de la cubierta, su conexión en los muros, presencia de viga cumbreira y pendiente de inclinación, la clasificación

apropiada para esta edificación es (D), Puesto que no cuenta con cubierta estable provista de viga cumbreira.

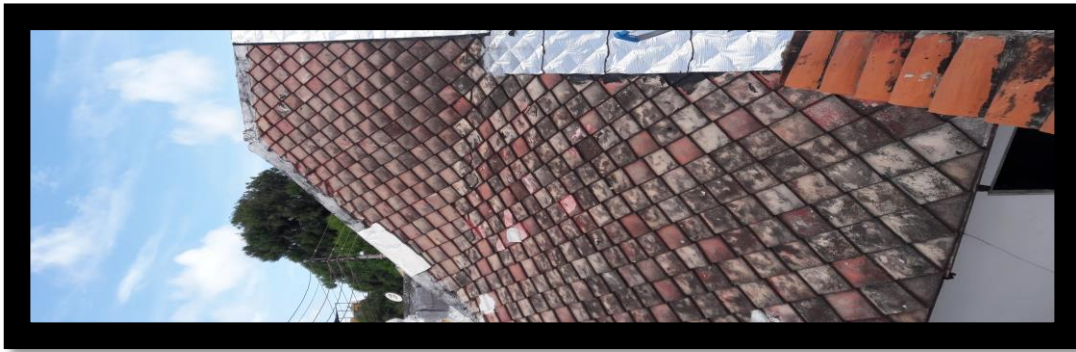


Ilustración 27 Cubierta de la casa

- ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES (0.25)

En el análisis visual realizado en esta vivienda se encontró la presencia de cornisas y parapetos pesados cuya conexión en los muros no es buena, no es resistente y son vulnerables a caerse, por esta razón la casa en este parámetro se ubica en clasificación (D).

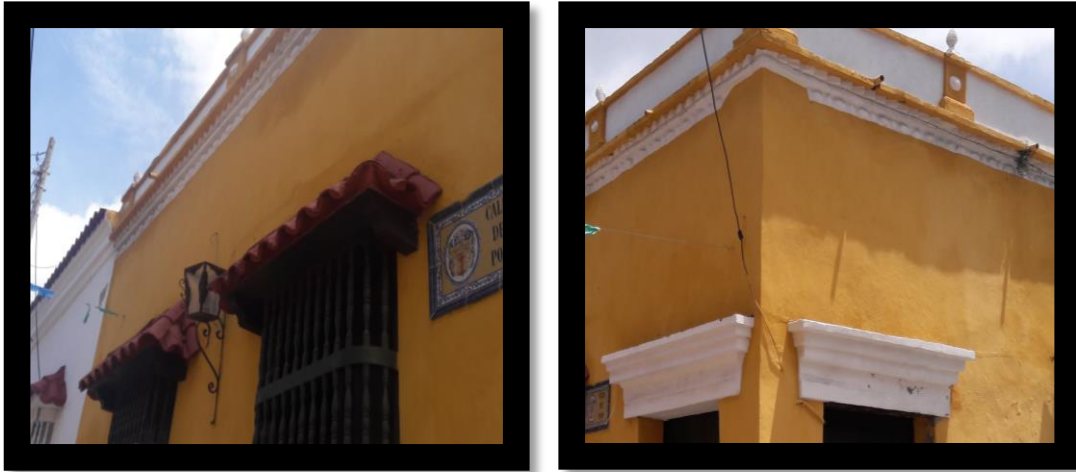


Ilustración 28 Elevación de la casa

- ESTADO DE CONSERVACIÓN (1.00)

Esta edificación se clasifica en (C) según las condiciones de este parámetro, puesto que, a pesar de poseer muros en buena condición, sin lesiones capilares extendidas visibles, si muestra deterioro por humedad.



Ilustración 29 Estado de los muros



9.4.2 Análisis de la vivienda n° 4 ubicada en la calle del pozo esquina en el barrio Getsemaní

PARÁMETROS	CLASE Ki				PESO Wi
	A	B	C	D	
1. Organización del sistema resistente.			20		1,00
2. Calidad del sistema resistente.				45	0,25
3. Resistencia convencional.	0				1,50
4. Posición del edificio y cimentación.	0				0,75
5. Diagramas horizontales.				45	1,00
6. Configuración en planta.	0				0,50
7. Configuración en elevación.	0				1,00
8. Distancia máxima entre muros.	0				0,25
9. Tipo de cubierta.				45	1,00
10. Elementos no estructurales.				45	0,25
11. Estado de conservación.			25		1,00

Ilustración 30 Resultados de los parámetros casa 4

Se evalúa el índice de vulnerabilidad multiplicando la clasificación que dio de cada parámetro por el factor de importancia de cada uno. Se obtiene un índice de vulnerabilidad en una escala de 0 a 382.5: $IV = 157.5$

Para ubicarlo en una escala normalizada entre 0 y 100 se divide entre 3.825y se obtiene:

$$IV = 157.5/3.825 \text{ Entonces; } IV = 41.2\%$$

Como el valor es mayor a >35%, entonces esta estructura presenta un índice de vulnerabilidad alto.

9.5 ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS DE LA CASA N° 5 EN EL BARRIO GETSEMANÍ

9.5.1 Parámetros

- ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA RESISTENTE (1.00)

Esta vivienda igual que las anteriores es una edificación antigua por lo que no está construida de acuerdo a la norma sismo resistente actual. Pero como cuenta con paredes ortogonales bien unidas entre sí, entonces para la vivienda la clasificación más adecuada en este parámetro es la (C).



Ilustración 31 Fachada casa 5

- CALIDAD DEL SISTEMA RESISTENTE (0.25)

La clasificación de la vivienda para este parámetro es (D), puesto que está construida con mampostería en piedra irregular mal trabada o ladrillo de baja calidad y con piezas no homogéneas o privadas de ligamento.



- RESISTENCIA CONVENCIONAL (1.5)

Para el análisis de este parámetro se obtuvo la siguiente información después de realizadas las visitas de campo para el estudio de la vivienda:

Tabla 37 Descripción de la edificación

RESISTENCIA CONVENCIONAL	VALOR
N: número de pisos	1
At: área total cubierta m ²	106.2
Tk: resistencia a cortante característica del tipo de mampostería en Ton/m ²	7.5
H: altura media del piso en m	3,7
Pm: peso específico de la mampostería Ton/m ³	2.2
Ps: peso por unidad de área del diafragma Ton/m ²	0.72

Tabla 38 Area en los muros X y en Y

PRIMERA PLANTA	
Ax	Ay
151.3	191.66

Tabla 39 Resultado del cálculo del parámetro

B	Υ	a0	Q	C	C	ά
191.66	1.266754	1.424670	27.00	0.1	0.689846	6.89846

Analizando los resultados obtenidos, podemos observar que el valor de $\acute{\alpha}$ es mayor que 1, razón por la cual la clasificación para esta edificación en el parámetro es (A).

- POSICIÓN DEL EDIFICIO Y DE LA CIMENTACIÓN (0.75)

En este parámetro la edificación es igual a las anteriores viviendas estudiadas, puesto que se encuentran en un terreno estable de pendiente menor al 10%, la cimentación se encuentra en la misma cota, donde no hay presencia de empuje no equilibrado por terraplén, por lo tanto, se encuentra en clasificación (A).

- DIAFRAGMAS HORIZONTALES (1.00)

Esta vivienda igual que las anteriores estudiadas es antigua y una sola planta, por lo que en su estructura no cuenta con diafragmas horizontales que cumplan con las condiciones del parámetro, característica que la ubica en la clasificación (D).

- CONFIGURACIÓN EN PLANTA (0.50)



Ilustración 32 Formada la vivienda

De acuerdo con las condicionales de forma se tiene que:

Tabla 40 Distancia en planta de la edificación

CONFIGURACIÓN EN PLANTA	VALOR(m)
A	7.2
L	18.3

Tabla 41 Resultados de configuración en planta

β_1	0.39344262
-----------	------------

A partir del criterio que destaca el método trabajado, donde $B1 < 0.4$, la estructura se clasifica como (D).

- CONFIGURACIÓN EN ELEVACIÓN (1.00)

De acuerdo con las características del parámetro la edificación se cataloga como clasificación (A), puesto que no se encontraron porches y torretas en la inspección visual de la visita de campo.



Ilustración 33 Elevación de la casa 5

- DISTANCIA MÁXIMA ENTRE MUROS (0.25)

Para este parámetro se tiene en cuenta la distancia entre muros transversales y se compara con el espesor del muro de carga. A partir de dicha comparación se procede a evaluar.

Tabla 42 Distancia y espesor de muros transversales

DISTANCIA ENTRE MUROS	Distancia(m)
L: Espaciamiento de los muros transversales	4.3
S: Espesor del muro maestro	0.5

Tabla 43 Relación entre distancia y espesor de muros transversales

L/S
8.6

De acuerdo a lo anterior, se obtuvo una relación de 8.6, por lo cual se encuentra en el rango evaluado < 15 , es por eso que la clasificación más adecuada es la (A).

- TIPO DE CUBIERTA (1.00)

En este parámetro se distinguen aspectos muy importantes, los cuales son: la estabilidad de la cubierta, su conexión a las paredes ortogonales, su pendiente y si posee viga cumbreira. En esta vivienda se presenta una cubierta de dos aguas que cuenta con viga cumbreira en estado de degradación y no tiene una buena estabilidad, por lo que la clasificación más adecuada es la (D).



Ilustración 34 Cubierta de la casa

- ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES (0.25)

En el análisis visual realizado en esta vivienda se encontró la presencia de cornisas y parapetos de peso significativo mal vinculados a la pared, por esta razón en este parámetro la vivienda se ubica en clasificación (D).

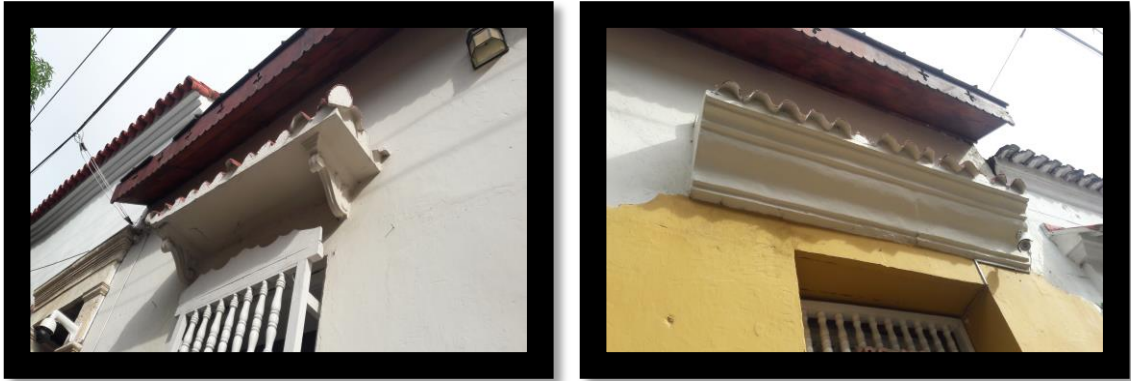


Ilustración 35 Elementos no estructurales

- ESTADO DE CONSERVACIÓN (1.00)

Esta vivienda se encuentra en clasificación (D) según las condiciones de este parámetro, puesto que presenta estado de deterioro con lesiones capilares graves y extendidas a lo largo y ancho de los muros.



Ilustración 36 Estado de los muros



9.5.2 Análisis de la vivienda n° 5 ubicada en la calle de san juan en el barrio Getsemaní

Tabla 44 Resultados parámetros casa 5

PARÁMETROS	CLASE K_i				PESO W_i
	A	B	C	D	
1. Organización del sistema resistente.			20		1,00
2. Calidad del sistema resistente.				45	0,25
3. Resistencia convencional.	0				1,50
4. Posición del edificio y cimentación.	0				0,75
5. Diagramas horizontales.				45	1,00
6. Configuración en planta.				45	0,50
7. Configuración en elevación.	0				1,00
8. Distancia máxima entre muros.	0				0,25
9. Tipo de cubierta.				45	1,00
10. Elementos no estructurales.				45	0,25
11. Estado de conservación.				45	1,00

Se evalúa el índice de vulnerabilidad multiplicando la clasificación que dio de cada parámetro por el factor de importancia de cada uno. Se obtiene un índice de vulnerabilidad en una escala de 0 a 382.5: $IV = 200$

Para ubicarlo en una escala normalizada entre 0 y 100 se divide entre 3.825 y se obtiene:

$$IV = 200/3.825 \text{ Entonces; } IV = 52.28\%$$

Como el valor está en el rango mayor $>35\%$, entonces esta estructura presenta un índice de vulnerabilidad alto.



10. TABLA DE RESULTADOS

Tabla 45 Promedio de IV de edificaciones

PARÁMETROS	ÍNDICE DE VULNERABILIDAD DE CASAS COLONIALES DEL BARRIO GETSEMANÍ DE LA CIUDAD DE CARTAGENA				
	CASA N°1	CASA N°2	CASA N°3	CASA N°4	CASA N°5
P1	C	C	C	C	C
P2	C	D	C	C	D
P3	A	A	A	A	A
P4	A	A	A	A	A
P5	D	D	D	D	D
P6	A	D	D	A	A
P7	A	A	A	A	A
P8	A	B	A	A	A
P9	B	C	B	B	D
P10	B	B	D	B	B
P11	B	A	D	B	D
IV%	36,6%	43,46%	44,44%	41,2%	52,28%
IV% PROMEDIO	43,59% ÍNDICE DE VULNERABILIDAD ALTO				



Ilustración 37 Grafico porcentual de vulnerabilidad



11. CONCLUSIONES

- Las patologías presentes en la mampostería son indispensables al momento de hacer un estudio de vulnerabilidad, esto debido a que al ser identificadas de manera precisa las enfermedades que causan afectación y deterioro a la estructura, se puede establecer el índice que diagnostica su estado de conservación.
- El método cualitativo que se utilizó para el análisis de la vulnerabilidad de las casas coloniales del barrio Getsemaní permitió determinar el estado físico en el que se encuentran y conocer que tan vulnerables son ante cualquier eventualidad de riesgo de carácter ambiental u otra índole. El índice de vulnerabilidad de las casas estudiadas es en promedio de 43,59%, lo que se considera como un nivel alto, es decir, mayor a 35% de acuerdo a valores propuestos en el método, a partir de los resultados que se obtuvieron se puede concluir que es necesario hacer un análisis cuantitativo para conocer con más precisión las cargas y vibraciones que soportan las estructuras y así determinar qué tan susceptibles son estas edificaciones a un fenómeno natural.
- Los muros estructurales de las casas coloniales del barrio Getsemaní están contruidos con piedra mal cortada, ladrillos de baja calidad privados de ligamento y coral triturado con piezas no homogéneas en toda la extensión del muro, característica que es causal de vulnerabilidad en las estructuras.
- Las cubiertas de las casas coloniales del barrio Getsemaní se caracterizan por tener pendientes con alto grado de inclinación y presentar afectación en su estructura por la presencia de vectores ambientales y falta de mantenimiento y curado de la madera, particularidad que las hace vulnerables ante cualquier fenómeno natural que se presente.



- La mayoría de las casas poseen elementos no estructurales de peso significativo mal vinculados a los muros que representan un alto riesgo para las personas en caso de ocurrir alguna emergencia.
- Las edificaciones del barrio Getsemaní seleccionadas para ser estudiadas en el presente trabajo de investigación, no poseen diafragmas horizontales, debido a que las casas construidas a inicios del siglo XIX, no cuentan con losas rígidas, lo que aumenta su nivel de vulnerabilidad.
- Al comparar los resultados obtenidos en la presente investigación, con el trabajo de grado realizado en el año 2015 “*Determinación de la vulnerabilidad en las casas coloniales ubicadas en el barrio de san diego de la ciudad de Cartagena*”. por los ingenieros civiles egresados de la universidad de Cartagena Omar Enrique Barrera Ramos y Oscar David Nieves Corredor, se puede determinar que las casas coloniales del barrio Getsemaní presentan más alto grado de vulnerabilidad que las del barrio San Diego, resultados que coinciden con la historia de la ciudad que revela las diferencias socio - económicas que existían entre los dos sectores y que por ser Getsemaní de estrato más bajo, las casas solían ser construidas de manera más irregular.



12. RECOMENDACIONES

Una vez concluida la obtención de datos y análisis de las casas seleccionadas para la investigación del presente trabajo de grado, se examinaron los resultados a través de los cuales se proponen las siguientes recomendaciones con el fin de mejorar el estado de las estructuras de las casas con vulnerabilidad del barrio Getsemaní.

- Hacer un estudio cuantitativo de todas las casas del barrio Getsemaní partiendo de las bases reflejadas por el presente trabajo de investigación y determinar el nivel de vulnerabilidad que presentan en las estructuras, para poder tomar correctivos al respecto y así evitar accidentes por fallas estructurales de estas edificaciones.
- Hacer mantenimiento o cambio de los elementos estructurales de madera en las cubiertas deterioradas de las casas; curarlos y esterilizarlos para evitar vectores como el comején e impermeabilizar las partes que tengan contacto con los muros y estén expuestos a la intemperie para prevenir su descomposición y debilitamiento.
- Reparar e intervenir las patologías que presenten los muros en la mampostería como humedad, fisuras, corrosión y eflorescencia para ayudar a mantener la estabilidad y conservación de las casas coloniales.
- En las casas que presenten elementos no estructurales como cornisas y parapetos, hacer una revisión minuciosa del estado físico de estos y su vinculación a los muros donde se encuentran empotrados para asegurar que no representen peligro de desprendimiento y caída.
- Reforzar los elementos estructurales que estén sometidos a cargas en los que se noten fisuras o lesiones capilares, para garantizar que trabajen sin riesgo de fallar.



13. BIBLIOGRAFÍA

- Badawi, H. (23 de enero de 2008). Obtenido de <http://glosariospatrimonio.blogspot.com/2008/01/glosario-de-arquitectura-colonial.html>
- BARRERA RAMOS, O. E., & NIEVES CORREDOR, O. D. (2014). DETERMINACION DE LA VULNERABILIDAD EN LAS ESTRUCTURAS UBICADAS EN CASA COLONIALES EN EL BARRIO DE SAN DIEGO DE LA CIUDAD DE CARTAGENA. CARATAGENA, COLOMBIA.
- Berrocal, A. (2008). Estudio de vulnerabilidad sísmica y vibracional de las murallas de Cartagena - Caso Baluarte de San Ignacio, Baluarte de san Pedro Mártir y Torre del Reloj. *Estudio de vulnerabilidad sísmica y vibracional de las murallas de Cartagena - Caso Baluarte de San Ignacio, Baluarte de san Pedro Mártir y Torre del Reloj*. Cartagena, Bolivar, Colombia.
- CABALLERO GUERRERO, A. R. (15 de Julio de 2007). DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA POR MEDIO DEL MÉTODO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD EN LAS ESTRUCTURAS UBICADAS EN EL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE SINCELEJO, UTILIZANDO LA TECNOLOGÍA DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA. Sincelejo, Sucre, Colombia.
- ERN. (2011). *VULNERABILIDAD DE EDIFICACIONES E INFRAESTRUCTURA* .
- Granger, E., & Cueto, J. (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. *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica y vibracional en las murallas de Cartagena de Indias, en el sector que comprende desde Las*



- Jimenez, M. M. (2011). Evaluación de la vulnerabilidad sísmica y vibracional de las murallas del sector que comprende el hotel Santa Clara hasta el Claustro de la Merced de la ciudad de Cartagena de Indias. Cartagena, Bolivar, Colombia.
- LLANOS LOPEZ, L. F., & VIDAL GOMEZ, L. M. (2003). Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de Escuelas Públicas de Cali. Santiago de Cali, Colombia.
- Matthys, J., & Noland, J. (1989). *Evaluating, Strengthening, and Retrofitting Masonry Buildings*. Boulder, Colorado, USA: The Masonry Society.
- Ministerio de Ciencia e Innovación (MICINN). (2010). Cirugía del Bien Cultural. Técnicas de Rehabilitación/Refuerzos para edificios históricos del Patrimonio Cultural. . España.
- Navarro Oyola, J. L., & Trujillo Ordoñez, G. A. (2014). EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL FUERTE SAN FERNANDO DE BOCACHICA. *EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL FUERTE SAN FERNANDO DE BOCACHICA*. Cartagena, Bolivar, Colombia.
- Olarte, Proaño, Scalleti, Torres, & Zavala. (s.f.). EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LA CATEDRAL DEL CUSCO. Cuzco, Peru.
- Programa de Preparativos para Situaciones de Emergencia y Coordinación del Socorro en Casos de Desastre. (2000). *Fundamentos para la mitigación de desastres en establecimiento de salud*.
- Safina Melone, S. (2002). Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Análisis de su contribución al riesgo sísmico. Barcelona, España.
- SARRIA, A. (1995). *INGENIERIA SISMICA*. BOGOTA: ECOE EDICIONES.