

**DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN LAS CASAS COLONIALES  
UBICADAS EN EL BARRIO DE SAN DIEGO DE LA CIUDAD DE CARTAGENA**



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

**Investigadores:**

**OMAR ENRIQUE BARRERA RAMOS  
OSCAR DAVID NIEVES CORREDOR**

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

**2015**

**DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN LAS CASAS COLONIALES  
UBICADAS EN EL BARRIO DE SAN DIEGO DE LA CIUDAD DE CARTAGENA**

**Línea De Investigación:  
SEGURIDAD ESTRUCTURAL**

**Grupo De Investigación:  
OPTICOS**

**Investigadores:  
OMAR ENRIQUE BARRERA RAMOS  
OSCAR DAVID NIEVES CORREDOR**

**Director:  
MSC. WALBERTO RIVERA MARTINEZ**

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

**2015**



**Tesis de Grado:** DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN LAS CASAS COLONIALES UBICADAS EN EL BARRIO DE SAN DIEGO DE LA CIUDAD DE CARTAGENA

**Autores:** OMAR ENRIQUE BARRERA RAMOS  
OSCAR DAVID NIEVES CORREDOR

**Director:** M.Sc. WALBERTO RIVERA MARTINEZ

**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

---

**Presidente del Jurado**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

Cartagena de Indias, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2015

## **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.

Al ingeniero Jorge Rocha.

A los propietarios de las edificaciones visitadas Sr. Gustavo Cuesta, Sra. Leonor Sarmiento, Sr. Iván López, Sr. Álvaro García, Sr. Fernando Aguirre.

A nuestros amigos y compañeros de estudio por tantos momentos compartidos.

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	13
ABSTRACT .....	14
INTRODUCCIÓN .....	15
1. MARCO REFERENCIAL.....	19
1.1. ESTADO DEL ARTE .....	19
1.1.1. Antecedentes de estudios de vulnerabilidad realizados y resultados .....	19
1.1.2. Diferencias con anteriores investigaciones .....	28
1.2. MARCO TEÓRICO .....	29
1.2.1. Generalidades:.....	29
1.2.2. Vulnerabilidad de estructuras ante eventos extremos: .....	32
1.2.3. Metodología para el análisis de vulnerabilidad.....	36
2. OBJETIVOS .....	42
2.1. OBJETIVO GENERAL .....	42
2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	42
3. ALCANCE.....	43
3.1. DELIMITACIÓN ESPACIAL.....	43
3.2. DELIMITACIÓN TEMPORAL .....	47
3.3. PRODUCTO FINAL A ENTREGAR Y PRODUCTOS COMPLEMENTARIOS	
47	
3.4. EXCEPCIONES Y/O LIMITACIONES.....	48
4. METODOLOGIA .....	49
4.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACION SECUNDARIA .....	49

4.2.	ANALISIS DE INFORMACION SECUNDARIA .....	50
4.3.	RECOPIACION DE INFORMACION PRIMARIA.....	50
4.4.	ANALISIS DE INFORMACION PRIMARIA.....	51
4.4.1.	Parámetros del método.....	52
4.4.2.	Análisis de los parámetros. ....	61
4.5.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS OBTENIDOS.....	62
4.6.	PREPARACIÓN Y PRESENTACIÓN DEL INFORME FINAL.....	63
5.	RESULTADOS Y DISCUSION .....	64
5.1.	ANALISIS DEL INDICE DE VULNERABILIDAD DE LA CASA 1 BARRIO SAN DIEGO – CALLE SAN PEDRO MARTIR .....	64
5.1.1.	PARAMETROS.....	64
5.1.2.	ANALISIS DE LA VIVIENDA UBICADA EN LA CALLE SAN PEDRO MARTIR.....	76
5.2.	ANALISIS DEL INDICE DE VULNERABILIDAD DE LA CASA 2 DEL BARRIO SAN DIEGO – CALLE DE LA BOMBA .....	78
5.2.1.	PARAMETROS.....	78
5.2.2.	ANALISIS DE LA VIVIENDA UBICADA EN LA CALLE SAN PEDRO MARTIR.....	86
5.3.	ANALISIS DEL INDICE DE VULNERABILIDAD DE LA CASA 3 DEL BARRIO SAN DIEGO – CALLE EL JARDIN .....	88
5.3.1.	PARAMETROS.....	88
5.3.2.	ANALISIS DE LA VIVIENDA UBICADA EN LA CALLE SAN PEDRO MARTIR.....	95
5.4.	ANALISIS DEL INDICE DE VULNERABILIDAD DE LA CASA 3 DEL BARRIO SAN DIEGO – CALLE DEL QUERO .....	97
5.4.1.	PARAMETROS.....	97

5.4.2.	ANALISIS DE LA VIVIENDA UBICADA EN LA CALLE SAN PEDRO MARTIR.....	106
5.5.	ANALIS DEL INDICE DE VULNERABILIDAD DE LA CASA 5 DELBARRIO SAN DIEGO – CALLE DE NUESTRA SEÑORA DEL PILAR.....	108
5.5.1.	PARAMETROS.....	108
5.5.2.	ANALISIS DE LA VIVIENDA UBICADA EN LA CALLE SAN PEDRO MARTIR.....	115
6.	TABLA DE RESULTADOS.....	117
7.	RECOMENDACIONES.....	119
8.	CONCLUSIONES.....	120
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	122

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Escala numerica de indice de vulnerabilidad de Benedetti .....	51
<b>Tabla 2.</b> Caracteristicas de la edificacion.....	66
<b>Tabla 3.</b> Area de muro en x y en y. ....	66
<b>Tabla 4.</b> Resultado del indice de resistencia convencional .....	66
<b>Tabla 5.</b> Distancia en planta de la edificacion.....	70
<b>Tabla 6.</b> Resultado del parametro “configuracion en planta” .....	70
<b>Tabla 7.</b> Distancia y espesor de muros transversales .....	71
<b>Tabla 8.</b> Relacion entre la distancia y espesor de muros tranversales.....	71
<b>Tabla 9.</b> Resultado de los parametros de la casa 1 .....	76
<b>Tabla 10.</b> Caracteristicas de la edificacion.....	79
<b>Tabla 11.</b> Area de los muros en x y en y del piso 1 .....	80
<b>Tabla 12.</b> Area de los muros en x y en y del piso 2 .....	80
<b>Tabla 13.</b> Resultado del indice de resistecia convencional .....	80
<b>Tabla 14.</b> Distancia en planta de la edificacion.....	81
<b>Tabla 15.</b> Resultado del parametro “configuracion en planta” .....	81
<b>Tabla 16.</b> Caracteristicas de elevacion en la edificacion.....	82
<b>Tabla 17.</b> Resultado del parametro “configuracion en elevacion” .....	82
<b>Tabla 18.</b> Distancia y espesor de muros transversales.....	83
<b>Tabla 19.</b> Relacion entre distancia y espesor de muros tranversales .....	83
<b>Tabla 20.</b> Resultado de los parametros de la casa 2.....	86
<b>Tabla 21.</b> Caracteristicas de la edificacion.....	89
<b>Tabla 22.</b> Area de los muros en x y en y.....	90
<b>Tabla 23.</b> Resultados del indice de resistencia convencional.....	90
<b>Tabla 24.</b> Distancia en planta de la edificacion.....	91
<b>Tabla 25.</b> Resultado del parametro “configuracion en planta” .....	91
<b>Tabla 26.</b> Caracteristicas de la configuracion en elevacion .....	92
<b>Tabla 27.</b> Resultado del parametro “configuracion en elevacion” .....	92

<b>Tabla 28.</b> Distancia y espesor de muros transversales .....	93
<b>Tabla 29.</b> Relacion entre la distancia y espesor de muros transversales .....	93
<b>Tabla 30.</b> Resultado de los parametros de la casa 3 .....	95
<b>Tabla 31.</b> Caracteristicas de la edificacion.....	95
<b>Tabla 32.</b> Area de los muros en x y en y .....	99
<b>Tabla 33.</b> Resultados del indice de resistencia convencional.....	99
<b>Tabla 34.</b> Distancias en planta de la edificacion .....	100
<b>Tabla 35.</b> Resultado del parametro “configuracion en planta” .....	100
<b>Tabla 36.</b> Caracteristicas de elevacion en la edificacion.....	101
<b>Tabla 37.</b> Resultados del parametro “configuracion en elevacion” .....	101
<b>Tabla 38.</b> Distancia y espesor de muros transversales .....	102
<b>Tabla 39.</b> Relacion entre la distancia y espesor de muros transversales .....	102
<b>Tabla 40.</b> Resultados de los parametros de la casa 4 .....	106
<b>Tabla 41.</b> Caracteristicas de la edificacion.....	109
<b>Tabla 42.</b> Area de muros en x y en y.....	110
<b>Tabla 43.</b> Resultados del indice de resustencia convencional.....	110
<b>Tabla 44.</b> Distancia en planta de la edificacion.....	111
<b>Tabla 45.</b> Resultado del parametro “configuracion en planta” .....	111
<b>Tabla 46.</b> Caracteristicas de elevacion en la edificacion.....	112
<b>Tabla 47.</b> Resultados del parametro “configuracion en elevacion” .....	112
<b>Tabla 48.</b> Distancia y espesor de muros transversales .....	113
<b>Tabla 49.</b> Relacion entre la distancia y espesor de muros transversales .....	113
<b>Tabla 50.</b> .Resultado de los parametros de la casa 5 .....	115
<b>Tabla 51.</b> .Resultado promedio de todas las viviendas estudiadas.....	117

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del barrio San Diego en la ciudad de Cartagena .....	44
Figura 2. Ubicación de la primera casa del estudio .....	45
Figura 3. Ubicación de la segunda casa del estudio.....	45
Figura 4. Ubicación de la tercera casa del estudio .....	46
Figura 5. Ubicación de la cuarta casa del estudio .....	46
Figura 6. Ubicación de la quinta casa del estudio .....	47
Figura 7. Configuración en planta de la estructura .....	57
Figura 8. Configuración en elevación .....	58
Figura 9. Configuración de los muros en planta y su respectiva separación .....	59
Figura 10. Fachada de la vivienda modelo .....	64
Figura 11. Sistemas constructivos de muros coloniales.....	66
Figura 12. Forma de la vivienda .....	69
Figura 13. Elevación de la edificación.....	70
Figura 14. Tipo de cubierta par y nudillo.....	72
Figura 15. Tipo de cubierta .....	73
Figura 16. Cornisas y parapetos de la edificación.....	74
Figura 17. Humedad y grietas mayores a 3 mm.....	75
Figura 18. Fachada de vivienda modelo .....	78
Figura 19. Forma de la vivienda .....	81
Figura 20. Cornisas y parapetos de la edificación.....	84
Figura 21. Humedad y grietas mayores a 3 mm.....	85
Figura 22. Fachada de la vivienda modelo.....	88
Figura 23. Forma de la vivienda .....	91
Figura 24. Tipo de cubierta .....	93
Figura 25. Cornisas y parapetos de la edificación.....	94
Figura 26. Fachada de la vivienda modelo.....	97
Figura 27. Forma de la vivienda .....	100
Figura 28. Tipo de cubierta .....	102

Figura 29. Tipo de cubierta en forma de par e hilera .....	103
Figura 30. Cornisas y parapetos de la edificacion.....	104
Figura 31. Lesiones capilares presentadas en la edificacion.....	105
Figura 32. Fachada de la vivienda modelo.....	108
Figura 33. Forma de la vivienda .....	111
Figura 34. Cornisas y parapetos de la edificacion.....	114

## LISTA DE GRAFICOS

<b>Grafico 1.</b> Resultado de la vivienda N°1 .....	77
<b>Grafico 2.</b> Resultado de la vivienda N°2 .....	87
<b>Grafico 3.</b> Resultado de la vivienda N°3 .....	96
<b>Grafico 4.</b> Resultado de la vivienda N°4 .....	107
<b>Grafico 5.</b> Resultado de la vivienda N°5 .....	116
<b>Grafico 6.</b> Resultado promedio de todas las viviendas estudiadas.....	118



## RESUMEN

El presente estudio tiene por objetivo determinar qué tan vulnerables son las casas coloniales de barrio San Diego a partir de un 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. A través de una revisión bibliográfica de cada uno de los parámetros que componen el método utilizado, una evaluación de los antecedentes y entrevistas con expertos en el tema, se realizó una inspección visual y detallada mediante un archivo fotográfico, mediciones y levantamiento del inmueble, comprendiendo de esta forma una investigación de tipo descriptivo. Para la recopilación de la información primaria se tomaron 5 muestras específicas del sector escogidas por los integrantes del proyecto en donde se incluyeron casas de 1 y 2 pisos. Se obtuvo como resultado un índice de vulnerabilidad de 40.33%, lo cual llevó a catalogar al barrio con alta vulnerabilidad, y además, se determinó que es necesario realizar una investigación cuantitativa con el objetivo de evaluar con más detalle las edificaciones que allí se encuentran. También se determinó cuáles son los parámetros influyentes para que estas viviendas sean más susceptibles, entre los que se encuentran la ausencia 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 ayudan a reducir las condiciones de vulnerabilidad de las viviendas del barrio San Diego.

**Palabras clave:** Arquitectura colonial doméstica, patología estructural, diafragmas horizontales, vulnerabilidad.



## ABSTRACT

The goal of this research is know how vulnerable the San Diego's colonial houses are, using the method of vulnerability index, this research is important because San Diego is part of the downtown of Cartagena, considered world heritage. With a literature review of this method, an evaluation of background and meetings with subject specialists was made a visual inspection through photos, measurements and surveys of the houses, making a descriptive research. For collect the primary information were taken five samples of this sector with one and two story houses. The result was a vulnerability index of 40.33%. This mean San Diego is a neighborhood with high vulnerability, also is necessary make a quantitative research for assess in more detail the buildings in San Diego's neighborhood. Also, was found what parameters make the houses more susceptible. These parameters are horizontal diaphragms, pathological condition, Separation of structural walls and quality of the system. Were made suggestions to improve the vulnerability conditions of the San Diego's houses.

**Keywords:** domestic colonial architecture, structural pathology, horizontal diaphragms, vulnerability.



## INTRODUCCIÓN

El mundo considera el patrimonio histórico como parte esencial de la cultura de cualquier nación, es por esto que nadie se atrevería a discutir su importancia o la obligación de protegerlo. Una muestra de ello se encuentra en Cartagena, debido a que en 1984, el centro histórico de la ciudad, fue declarado Patrimonio Histórico de la Humanidad según la UNESCO, es por eso que estas edificaciones se deben conocer, estudiar, valorar y principalmente conservar. Las estructuras antiguas, por lo general no están enmarcadas dentro de la normativa que busca protegerlas tanto a ellas, como a las vidas que se encuentran alojadas si ocurre un evento sísmico o de otra naturaleza. Es por ello, que estos inmuebles históricos requieren de un proceso de restauración, de tal forma, que se asegure su conservación.

De acuerdo con lo anterior se puede deducir que es de gran importancia conocer el estado de las edificaciones que involucran el patrimonio histórico de la ciudad. Es decir, se ayudaría a conservar y/o preservar estas edificaciones coloniales si se conocen estructuralmente y se investiga acerca de que tan vulnerables son ante algún tipo de evento.

A nivel internacional y nacional se han realizado este tipo de estudios o investigaciones con el fin de conocer que tan vulnerables son las edificaciones. Para su desarrollo se han implementado métodos tanto cuantitativos, como cualitativos. Estos últimos ayudan a realizar de una manera más rápida este tipo de proyectos, debido a que su procedimiento no requiere modelaciones.

Toda estructura es susceptible a sufrir daños por algún agente externo, dependiendo de su grado de vulnerabilidad estructural. Para definir el nivel en que estas se encuentran, se hace pertinente la presencia de expertos en la materia, con el objetivo de que las posibles soluciones que en el proyecto se planteen, sean aplicadas correctamente. Es por eso que en el presente trabajo de investigación, se busca ampliar el conocimiento que se tiene acerca del estado de algunas de las edificaciones que se encuentran en el centro histórico de la ciudad, a través de un estudio de vulnerabilidad que será realizado aplicando un método



cuantitativo que permitirá que el procedimiento se realice de manera más eficaz. Este estudio se realizó a una muestra representativa del barrio San Diego ubicado en el centro histórico de la ciudad, en donde se buscó conocer que tan vulnerable son las edificaciones de este lugar.

En Cartagena hacen falta estudios acerca del tema, que ayuden a prevenir los riesgos frente a las diferentes amenazas que puedan producirse en contra de estas edificaciones, es por ello que este proyecto es un estudio novedoso que permitió, no solo a los integrantes del proyecto sino también a los profesionales que quieran ampliar sus conocimientos acerca del tema, conocer el estado en que se encuentran las edificaciones del centro histórico de la ciudad para ver si es necesario intervenirlas. Este proyecto además de ser una gran oportunidad de reconocer el grado de vulnerabilidad de las casas coloniales ubicadas en el barrio San Diego, también permitió a los integrantes del presente proyecto, como estudiantes de ingeniería civil, conocer sobre la tipología de las estructuras del centro histórico y en qué nivel de riesgo se encuentran. Estos estudios estuvieron soportados por competencias adquiridas en las diferentes asignaturas del área de estructuras que se cursan en el programa de Ingeniería Civil de la Universidad de Cartagena, además de expertos en el tema.

Para los investigadores del proyecto, como estudiantes de ingeniería civil y para muchos que se encuentran en formación, es de vital importancia este estudio y tenerlo como base para futuras investigaciones en esta misma área; para arquitectos e ingenieros profesionales también es de gran utilidad conocer a cabalidad las características estructurales de las edificaciones en el centro histórico de la ciudad de Cartagena, es por esto que la temática planteada en este proyecto debería ser una fuente de investigación utilizada para la realización de más estudios en edificaciones de la ciudad, con el fin de conocer su estado estructural y saber que tan vulnerables son, además de prevenir los riesgos a los cuales podrían estar expuestas estas construcciones. Estos estudios en la ciudad deberían hacerse en mayor cantidad, por lo que la ciudad es patrimonio de la humanidad. Además es de gran utilidad para la Universidad de Cartagena en la medida que con este proyecto se incentivará



a los demás estudiantes de la institución a que realicen más estudios en cuanto a vulnerabilidad de las casas coloniales del centro histórico de la ciudad.

En los estudios que se adelantaron en este proyecto, con el fin de determinar el índice de vulnerabilidad de las estructuras en cuestión, se emplearon métodos experimentales y de análisis de información que requirieron de tiempo y dedicación para realizar las observaciones y análisis correspondiente. Estos estudios experimentales consistieron en procesos de observación de las edificaciones y análisis del lugar que permitieron a través del método cualitativo planteado, determinar qué tan vulnerable son estas estructuras. Por tal razón, este estudio se concentró en visitas a sectores determinados de la zona estudiada con procedimientos de observación y análisis, por lo que no se necesitará ningún tipo de maquinaria ni herramientas, tampoco se necesitaron estudios costosos para llevarlo a cabo, por esto se puede afirmar que se pudo adelantar este proyecto sin necesidad de tener grandes fondos económicos, por esto se concluye que este estudio fue económicamente viable para los integrantes de este proyecto como estudiantes de ingeniería civil.

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 que ayude a conocer que tan vulnerable son estas edificaciones, con el fin de preservarlas.

La línea de investigación a la cual pertenece el presente estudio se llama 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 San Diego ubicado en el centro histórico de la ciudad de Cartagena. El grupo de investigación que maneja la línea es Ópticos y el Investigador principal es el Ing. Walberto Rivera Director de esta investigación.



## 1. MARCO REFERENCIAL

### 1.1. ESTADO DEL ARTE

Conocer acerca del estado de las edificaciones y saber cómo se comportarían ante un evento sísmico u otro tipo de evento, ayuda a tener una percepción más clara de las mismas para así poder intervenirlas con el fin de minimizar el grado de riesgo a que se encuentran expuestas; esto es necesario en la medida en que muchas construcciones fueron ejecutadas antes de que existieran normas para prevenir este tipo de riesgo y por ello, no se encuentran enmarcadas en la normativa que busca, de una u otra manera, eliminar los daños que se pueden ocasionar en las estructuras a causa de este agente externo, o por lo menos proteger las vidas humanas que habiten determinada edificación. Es por eso que se hace necesario investigar las estructuras que fueron construidas en épocas pasadas y así, determinar qué tan vulnerables son ante estos eventos.

A continuación se presenta un acercamiento al tema a partir de información sobre antecedentes correspondientes a este proyecto investigativo, el cual sirve de referencia para conocer más el tema objeto de estudio, y lo que se ha venido haciendo en cuanto al estudio de estructuras para evaluar su vulnerabilidad.

#### 1.1.1. Antecedentes de estudios de vulnerabilidad realizados y resultados

Los estudios de vulnerabilidad se originan a principios del siglo XX, como necesidad debido a los sismos que habían ocurrido en distintas partes del mundo, por ejemplo el de San Francisco, CA. USA en 1906, el de Menisa, Italia en 1908 o el de Tokio, Japón en 1923; motivados en lo ocurrido los ingenieros comenzaron a priorizar estos temas y se dieron a la tarea de evaluar los efectos de los mismos en viviendas y edificaciones y de tomar medidas que minimizaran dichos efectos en el futuro. 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. (Caballero, 2007)

En Colombia, la experiencia vivida en sismos posteriores al de Popayán en 1983, como los del Atrato Medio (1992), Páez (1994), Tauramena (1995) y Pereira (1995), demostraron la necesidad de actualizar la Norma de Diseño sismo-resistente de 1984, adoptando nuevos esquemas de seguridad que permitirían desarrollar técnicas constructivas más confiables. Es así como aparece la Norma de Diseño Sísmico Resistente conocida también como la ley 400 de 1997, en la cual se dedicó un capítulo para definir los criterios necesarios y un método para evaluar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones construidas antes del año 1998. (Caballero, 2007).

Con base en lo anterior se puede deducir que a medida que avanza el tiempo, a las construcciones se les van implementando mayores controles, con el fin de que sean más seguras y no se presente algún riesgo ante cualquier tipo de evento externo.

En la ciudad de Cartagena hasta el momento casi no se han realizado estudios para determinar qué tan vulnerables son las edificaciones, y en especial las de tipología colonial, es por eso que este proyecto busca dar pie a que se abran las investigaciones en cuanto a este tema, lo que parece muy interesante y de gran importancia debido a que esta ciudad es patrimonio de la humanidad.

Uno de los estudios encontrados en la ciudad de Cartagena fue el realizado por el ingeniero Jorge Rocha Rodríguez, en donde se desarrolló una investigación acerca de la Vulnerabilidad Sísmica en el Claustro de Santo Domingo en el año 2001. En este estudio, se consideró esta edificación como una estructura conformada por muros en piedra caliza y ladrillo tolete con pega de argamasa donde sus longitudes son considerables respecto a su altura, y una estructura aporricada adosada a la misma.



En el estudio se realizó el análisis de este sistema estructural a través del procedimiento de muros cortantes, en donde las cargas laterales originadas por sismos o viento se verificaron por algunos de los siguientes tres sistemas:

- ✓ Pórticos o sistemas resistentes a momento, o sea que toda su resistencia es originada por flexión.
- ✓ Sistema bracedo donde la estructura no es más que una cercha pero en posición vertical, con las mismas consideraciones de las cerchas horizontales pero bracedas en “x”, los elementos trabajan a tensión o a compresión.
- ✓ Los muros cortantes. Su analogía es una viga en voladizo con la luz igual a la altura, las deformaciones por cortante reemplazan los efectos de flexión como la acción primordial, de allí su nombre de Shearwalls o muros cortantes. Debido a que los efectos de flexión son despreciables en comparación con los de cortante. Para este análisis se consideró que toda la resistencia sería por cortante. (Rodríguez, 2001)

El análisis de vulnerabilidad sísmico realizado al Claustro de Santo Domingo, se dividió en dos tomos. En estos tomos se analizaron aspectos como las propiedades geométricas de la estructura, propiedades de los materiales, entre otros. Además realizaron un análisis dinámico de la estructura en donde se encontraron los resultados de las derivas y los esfuerzos máximos que se presentan.

Como resultado del estudio de vulnerabilidad sísmica realizado por el ingeniero Jorge Rocha se presentaron datos de las derivas máximas, así como el índice de flexibilidad de la estructura, el cálculo de los esfuerzos máximos y su comparación con los esfuerzos efectivos calculados establecidos por NSR-98, además del cálculo del índice de sobreesfuerzo de la estructura, con esta información se procede a la determinación de la vulnerabilidad sísmica de la edificación.



❖ Estudios realizados:

- *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 para 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 estructuras con alta vulnerabilidad. También pudieron concluir que las edificaciones de mampostería no reforzada fueron las que presentaron 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 ciñeron al análisis sísmico de las construcciones del centro de la ciudad y no se analizaron de una forma general las estructuras para determinar si estas son vulnerables.

Evaluar los conceptos y conocimientos que tienen instituciones o personas a nivel internacional acerca de la vulnerabilidad en edificaciones también es de vital importancia para el proyecto de investigación que se propone, debido a que ayuda a tener una percepción más clara y globalizada del tema a tratar para así obtener mejores resultados. Es por eso que en un segundo lugar, se presenta el siguiente estudio:

- *“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 barrio 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 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.

- En un tercer estudio analizado se encontró el proyecto de investigación titulado “*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 campo, planos de aproximación y aplicación de parámetros para determinar el Índice de Vulnerabilidad. Luego determinaron las condiciones socio-económicas del sector para la realización del estudio y por ultimo 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 se utilizan para la realización de este estudio, debido a que el proyecto es ejecutado solo para casas construidas con mampostería estructural.

- En el año 2003 en la Ciudad de Cali se realizó una tesis de grado, hecha por Lina Fernanda Llanos López y Lina María Vidal Gómez, la cual tiene como nombre “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 & Vidal, 2003)

Como resultado del 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.



- *Estudio de vulnerabilidad sísmica en el barrio La Paz de Barranquilla*, es otro estudio que se visualizó en cuanto al tema.

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.

### **1.1.2. Diferencias con anteriores investigaciones**

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, los investigadores de los proyectos anteriormente mencionados, 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 el siglo XVI, y además son consideradas patrimonio histórico de la nación. Estas construcciones ubicadas en el barrio San Diego 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.



## **1.2. MARCO TEÓRICO**

### **1.2.1. Generalidades:**

#### **1.2.1.1. Arquitectura colonial**

Arquitectura colonial es el conjunto de manifestaciones arquitectónicas que surgieron en América Latina desde el descubrimiento del continente en 1492 hasta la independencia del mismo a principios del siglo XIX.

A comienzos del siglo XVI puede decirse que se terminó la conquista de América en su mayor parte. Sobre ruinas de grandes imperios precolombinos como México, se preparan los cimientos de la nueva civilización hispanoamericana. El arte en Latinoamérica comenzó siendo fundamentalmente religioso, marcado por el poder de las principales órdenes religiosas llegadas del viejo continente. En el trazado reticular de las ciudades, a través de los españoles que los proponen, aparecen las plazas y los monumentos. La iglesia edificada junto a la plaza central de las poblaciones se encuentra como punto de referencia del espacio urbano. Pese a la uniformidad que las órdenes religiosas van a intentar aportar, las nuevas formas artísticas van cambiando de acuerdo a la región étnica y geográfica.

#### **1.2.1.2. Edificaciones de tipología colonial en Cartagena**

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.

La ciudad vieja está rodeada de sectores como la tradicional isla de Manga, los barrios Castillo grande, 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.

### 1.2.1.3. Vulnerabilidad

Para analizar el término vulnerabilidad debemos proceder a determinar su origen etimológico. En este caso, cabe resaltar que esta palabra emana del latín ya que está conformada por tres partes latinas claramente diferenciadas: el sustantivo *vulnus*, que puede traducirse como “herida”; la partícula *abilis*, que es equivalente a “que puede”; y finalmente el sufijo *dad*, que es indicativo de cualidad.

La vulnerabilidad se define entonces 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)

- 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)

- Daños estructurales

La ductilidad y redundancia estructural han resultado ser los medios más efectivos para proporcionar seguridad contra el colapso, especialmente si los movimientos resultan más severos que los anticipados por el diseño. El daño severo o colapso de muchas estructuras durante sismos importantes es, por lo general, consecuencia directa de la falla de un solo elemento o serie de elementos con ductilidad o resistencia insuficiente

El daño severo o colapso de muchas estructuras durante sismos importantes es, por lo general, consecuencia directa de la falla de un solo elemento o serie de elementos con ductilidad o resistencia insuficiente.

A causa de sismos fuertes es común que se presenten daños estructurales en columnas, tales como grietas diagonales causadas por cortante y/o torsión, grietas verticales, desprendimiento del recubrimiento, aplastamiento del concreto y pandeo de las barras longitudinales por exceso de esfuerzos de flexo-compresión. En vigas, se presentan grietas diagonales y rotura de estribos, a causa de cortante y/o torsión, grietas verticales, rotura del refuerzo longitudinal y aplastamiento del concreto por la flexión que impone el sismo arriba y abajo de la sección como resultado de las cargas alternadas.



Las conexiones o uniones entre elementos estructurales son, por lo general, los puntos más críticos. En las uniones viga-columna (nudos) el cortante produce grietas diagonales y es común ver fallas por adherencia y anclaje del refuerzo longitudinal de las vigas, a causa del poco desarrollo del mismo y/o a consecuencia de esfuerzos excesivos de flexión.

En las losas se pueden presentar grietas por punzonamiento alrededor de las columnas y grietas longitudinales a lo largo de la placa, debido a la excesiva demanda por flexión que en ciertas circunstancias puede imponer el sismo. Este tipo de daños se han visto reiteradamente en muchas edificaciones hospitalarias sometidas a movimientos sísmicos fuertes y moderados.

Irregularidades en altura, traducidas en cambios repentinos de rigidez entre pisos adyacentes, hacen que la absorción y disipación de energía en el momento del sismo se concentren en los pisos flexibles, donde los elementos estructurales se ven sobre solicitados. Las irregularidades en planta de masa, rigidez y resistencia pueden originar vibraciones torsionales que generan concentraciones de esfuerzos difíciles de evaluar, razón por la cual una mayor exigencia en este tipo de aspectos debe tenerse en cuenta a la hora de diseñar arquitectónicamente las edificaciones. (OPS, 2004)

### **1.2.2. Vulnerabilidad de estructuras ante eventos extremos:**

#### **1.2.2.1. 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)

#### **1.2.2.2. 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 aeroelástica 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)

### **1.2.2.3. 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)

#### **1.2.2.4. 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)



### **1.2.3. Metodología para el análisis de vulnerabilidad.**

#### **1.2.3.1. Métodos analíticos**

Los métodos cuantitativos se basan en el análisis que no por exhaustivo son necesariamente más precisos. Típicamente son extensiones propias de los procedimientos de análisis y diseño antisísmico recomendados por las normas modernas (OPS, 2004). Tienen su fundamento en un modelo calibrado que tiene en cuenta el análisis dinámico inelástico del edificio, que permite conocer el proceso de plastificación paso a paso y el posterior colapso de la estructura. La placabilidad de estos métodos ha sido muy discutida, ya que requieren una alta complejidad en el modelo utilizado y la evaluación del comportamiento de las edificaciones ante la posible ocurrencia de acción sobre la estructura (CONSTRUWEB, 2001). Entre los métodos más usados en el medio, están el Método NSR-98, el Método FEMA 178, el Método ATC- 14 y el método FEMA-273, lo cual son descritos en forma breve a continuación:

- **METODO NSR-10**

En el capítulo A10 de la Norma Colombiana de Diseño y construcción Sismo Resistente, NSR- 10, se presenta una descripción de este método y los criterios que tiene en cuenta para evaluar la Vulnerabilidad Sísmica estructural de edificaciones construidas antes de la vigencia de dicha norma.

Para llevar a cabo una evaluación de Vulnerabilidad empleando este método, se debe realizar un análisis dinámico de la estructura, que permita estudiar su comportamiento y saber si cumple los requisitos exigidos por la norma sísmica vigente. Con los resultados obtenidos de este análisis y las capacidades actuales calculadas en los elementos, se calculan los índices de sobre-esfuerzo y los índices de flexibilidad de los pisos, cuyos valores inversos definirán el grado de vulnerabilidad de la estructura. (Ilanos 2003)

- **METODO FEMA 178**

En el Building Safety Council de EE. UU desarrollo este método, el cual es empleado para realizar la evaluación y el diagnostico sísmico de cualquier edificación existente. Las guías



y procedimientos de Fema – 178 son utilizados únicamente para evaluar la capacidad de la edificación en cuanto a si es peligrosa para ser ocupada o no, y evalúa el uso de la estructura después del terremoto (Ilanos-2003)

La metodología del FEMA-178 plantea una serie de interrogantes para el sistema estructural, pórticos resistentes a momentos, diafragmas, conexiones y amenazas geológicas, entre otros, los cuales están diseñados para describir defectos, puntos débiles o zonas vulnerables de la edificación. El análisis realizado por medio de este método se debe llevar a cabo mediante procedimientos simples y en caso de resultar que la edificación es cuestionable, se deberá realizar una investigación más detallada como la del NSR- 98 o la del FEMA-273 (palomico, 1999)

- Método ATC-14

Hace énfasis en la determinación de los “puntos débiles del edificio” con base en la observación de daños en edificios similares, producidos por eventos sísmicos anteriores.

Para determinar la vulnerabilidad de una edificación, se deben calcular los esfuerzos cortantes actuantes y los desplazamientos relativos del entrepiso. Con las fuerzas cortantes en los entrepisos se calcula el esfuerzo promedio de los elementos resistentes verticales del edificio (Ilanos, 2003)

- Método FEMA- 273

Está diseñada para identificar los elementos estructurales que podrían tener un mal comportamiento frente a la ocurrencia de un evento sísmico, porque tienen poca capacidad o resistencia. Además, define diferentes técnicas y criterios de diseño que permiten alcanzar diferentes niveles de desempeño sísmico de la edificación. Dentro de los niveles de desempeño sísmico se encuentran, el nivel de ocupación inmediata, el nivel operacional, nivel de protección de la vida y el nivel de prevención de colapso y su escogencia del comportamiento que se espere de la edificación durante y después de un sismo.

El procedimiento del FEMA-273 permite hacer una simplificación o una rehabilitación sistemática. La rehabilitación simplificada es usada para edificaciones bajas, de



configuración geométrica sencilla y generalmente en zonas de amenaza sísmica baja e intermedia, la rehabilitación sistemática, se basa en el comportamiento no lineal de la respuesta de la estructura y revisa cada elemento estructural, para verificar la interacción aceptable de los desplazamientos esperados y de las fuerzas internas en los elementos estructurales. (palomino, 1999)

### **1.2.3.2. Métodos cualitativos**

Para realizar el estudio de vulnerabilidad de un conjunto de edificios, se han 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 (Ilanos, 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.

- **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-10 o del FEMA-273 (palomino, 1999)

- 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 (Cardona, 1990)

- 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 los 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 (OPS, 2004)

- Método venezolano

El procedimiento propuesto por este método evalúa cortes por separados y calcula el índice sísmica 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 ( $T$ ) (Cardona, 1990; Jaramillo y Trujillo, 1999)



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. (Ilanos, 2003)

- Método del ISTC

Determina la vulnerabilidad de un grupo de edificios cuya estructura esta soportada por muros de mampostería de tipologías y características constructivas similares, evaluando la capacidad resistente del edificio por medio de dos parámetros,  $I_1$  e  $I_2$ , que representan los dos posibles modos de ruptura en los muros. Con estos índices se calcula el índice  $I_3$ , que es utilizado para determinar, en conjunto con los otros dos, la vulnerabilidad de edificio sobre la base de función de Vulnerabilidad Propuesta por el ISTC. (Ilanos; 2003)

- 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 e 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 medida que va subiendo, ese valor, la edificación es más vulnerable.

- Método de la AIS

Determina la Vulnerabilidad sísmica de viviendas de mampostería, evaluando aspectos geométricos. Constructivos y estructurales. Dentro de los aspectos que se evalúan están, la irregularidad en planta y en altura, la cantidad de muros, la calidad de las juntas de pega en mortero, y de los materiales, las vigas de amarre, los muros confinados y reforzados, cimentación, suelos, entrono, entre otros. Cada uno de ellos se califica mediante visualización y la comparación con patrones generales. Esta calificación se realiza en tres niveles: Vulnerabilidad baja, Vulnerabilidad media y Vulnerabilidad alta.

Finalmente, después de que se haya obtenido y calificado toda la información requerida, se hace una calificación global de la vulnerabilidad sísmica de la vivienda, con base en las deficiencias que presenta cualquiera los aspectos estudiados (Ilanos, 2001) (GUERRERO, 2007)



## 2. OBJETIVOS

### 2.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la vulnerabilidad estructural cualitativa de las edificaciones de tipología colonial ubicadas en el barrio de San Diego, en el centro histórico de la ciudad de Cartagena, aplicando el método del índice de vulnerabilidad, con el fin de generar recomendaciones que permitan contribuir con el mejoramiento de estas estructuras de gran importancia histórica y cultural para la ciudad de Cartagena.

### 2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Detallar factores de gran importancia en las edificaciones del barrio San Diego, como su estado estructural, tipo de cubierta, tipo de estructura y el uso de esta.
- Caracterizar estructuralmente el barrio San Diego del centro histórico de la ciudad de Cartagena con el fin de obtener conceptos validos acerca de su estado de vulnerabilidad, de manera que estos puedan ser utilizados en proyectos de intervención para el mejoramiento de estas.
- 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.



### 3. ALCANCE

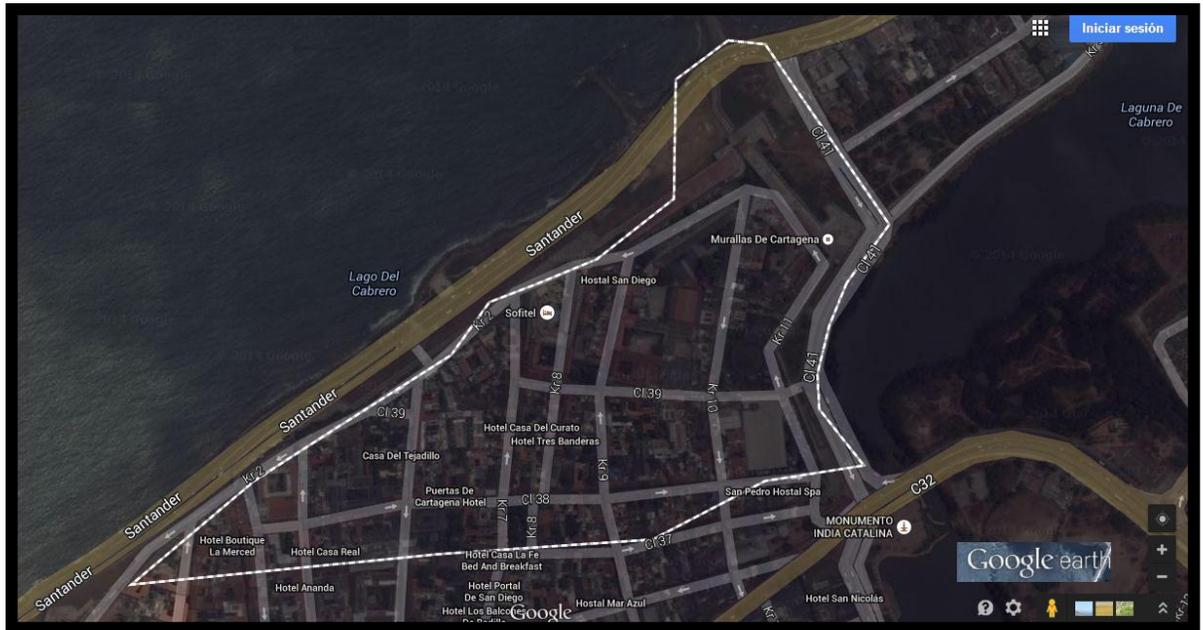
La investigación realizada se plantea en dos etapas: una exploratoria, a través de un recorrido al lugar con el fin de examinar exhaustivamente el estado de las estructuras, y otra etapa de análisis de información.

El enfoque del proyecto va encaminado a determinar el grado de vulnerabilidad en que se encuentran las casas coloniales del barrio San Diego de la ciudad de Cartagena, con el fin de evaluar si sus estructuras presentan algún tipo de riesgo, y si es así, presentar soluciones que permitan su mejoramiento, teniendo en cuenta su importancia histórica, turística y cultural. Se trabajó con un método conocido como Índice de Vulnerabilidad el cual permite conocer, a través de un formato propio del método, como se encuentra la estructura y evaluarla a partir de los daños o riesgos en que se encuentre la misma.

Teniendo en cuenta lo anterior, para el estudio, se hizo necesario plantear para la primera etapa del proyecto una indagación profunda a través de formatos de campo que permitió identificar las edificaciones que se tomarán de muestra del barrio San Diego de la Ciudad de Cartagena y, específicamente, de cómo se encuentra estructuralmente respecto al nivel de vulnerabilidad. Luego en la segunda etapa se ejecutó el análisis de lo encontrado en campo, con lo que se determinó las características estructurales en cuanto al grado de vulnerabilidad de las edificaciones determinadas en el proyecto.

#### 3.1. DELIMITACIÓN ESPACIAL

El estudio se desarrolló en el barrio San Diego de la ciudad de Cartagena, a una muestra específica de 5 casas coloniales ubicadas en el sector. A continuación se muestra una imagen que ubica el barrio de la Ciudad de Cartagena al cual se le realizó el estudio:



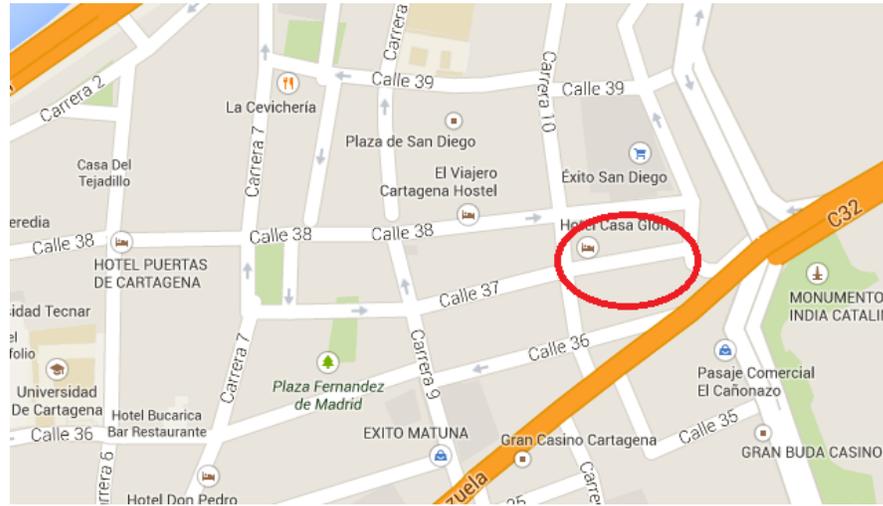
**Figura 1.** Ubicación del barrio San Diego de la Ciudad de Cartagena

**Fuente:** Google Earth

Como se realizó para una muestra, este proyecto se ejecutó en cinco edificaciones, que fueron escogidas con ayuda de ingenieros expertos en el tema, y son casas de tipología colonial que se ubican en el barrio San Diego. Fueron seleccionadas casas de uno y dos pisos, lo cual permite tener un análisis más detallado.

A continuación se muestra la localización de cada una de las casas utilizadas en el presente estudio:

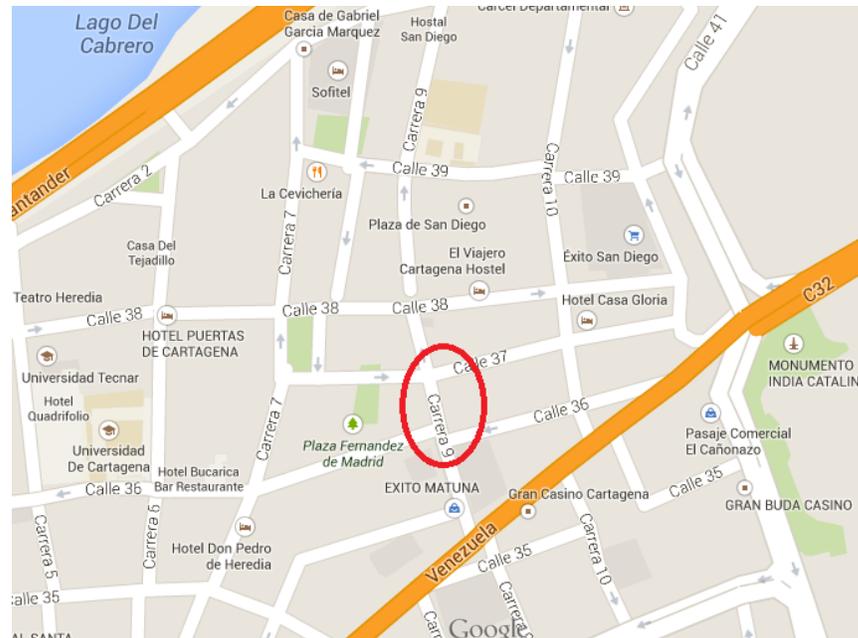
- Casa #1: Dirección: Calle San Pedro Mártir # 10 – 20.



**Figura 2.** Ubicación de la primera casa del estudio

**Fuente:** Google Maps

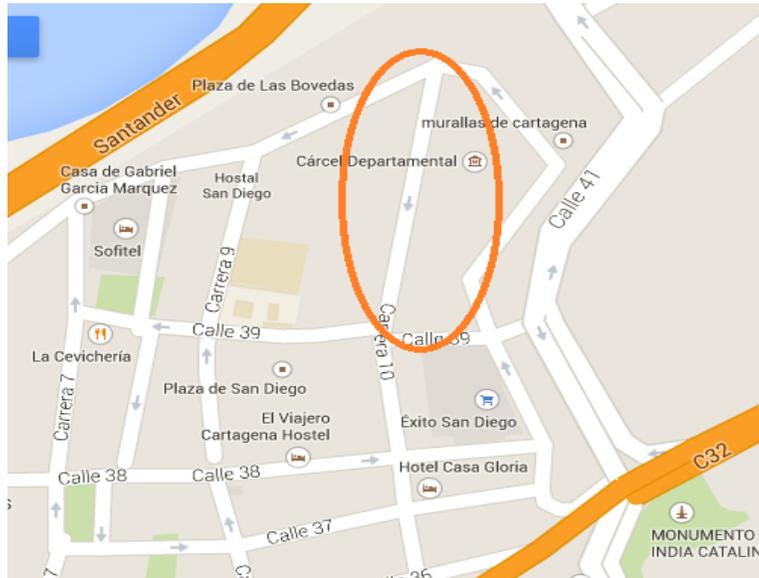
- Casa #2: Dirección: Calle La Bomba # 36 – 21.



**Figura 3.** Ubicación de la segunda casa del estudio

**Fuente:** Google Maps

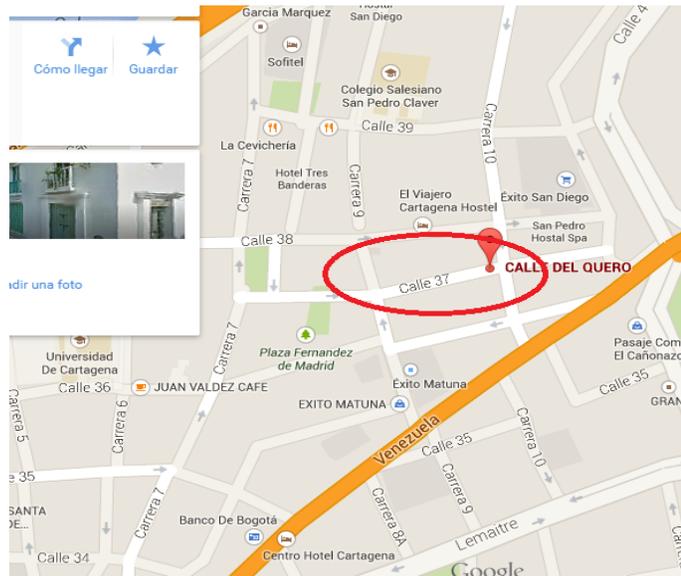
- Casa #3: Dirección: Calle El Jardín # 39-59.



**Figura 4.** Ubicación de la tercera casa del estudio

**Fuente:** Google Maps

- Casa #4: Dirección: Calle Del Quero # 9 – 76.



**Figura 5.** Ubicación de la cuarta casa del estudio

**Fuente:** Google Maps

- Casa #5: Dirección: Calle De Nuestra Señora Del Pilar # 37 - 18



**Figura 6.** Ubicación de la quinta casa del estudio

**Fuente:** Google Maps

### 3.2. DELIMITACIÓN TEMPORAL

El desarrollo de la investigación correspondiente al presente trabajo de grado se realizó durante el primer periodo académico del año 2015, entre los meses de febrero y abril.

### 3.3. PRODUCTO FINAL A ENTREGAR Y PRODUCTOS COMPLEMENTARIOS

Al finalizar el trabajo de investigación, se presenta un informe final en el cual se especifican los resultados obtenidos del estudio realizado acerca del grado de



vulnerabilidad de las casas coloniales que se encuentran en el barrio San Diego y los riesgos a los cuales se encuentran expuestas. Además de ubicar el grado de vulnerabilidad en que se encuentran, se definen cuáles son los tipos de riesgos que más pueden afectar las edificaciones de dicho barrio. Asimismo se presentan los análisis y conclusiones que surgen sobre las características observadas en el transcurso del proyecto en torno a estas edificaciones y lo concerniente a las posibles soluciones para prevenir los riesgos que se puedan presentar. Por otra parte se detallan factores de gran importancia en la estructura como su estado, tipo de cubierta, tipo de estructura y el uso de esta.

Con el desarrollo de esta investigación, se hizo posible conocer en qué grado de vulnerabilidad se encuentran las edificaciones en este barrio, el cual es de gran importancia para la ciudad de Cartagena por su representación histórica, cultural y turística. A partir de esto, se proporcionaron bases para otras investigaciones en otras zonas del centro histórico que pudieran llevarse a cabo más adelante. Además otras investigaciones se podrán concentrar en evaluar más a fondo cada uno de los riesgos que pudieron producirse, por ejemplo, la realización de un estudio que solo comprenda de una forma más detallada la vulnerabilidad sísmica de la zona. También se incentivo a futuras investigaciones a realizar estudios con respecto a este tema utilizando métodos cualitativos los cuales son de menor costo y se pueden realizar de una forma más rápida.

### **3.4. EXCEPCIONES Y/O LIMITACIONES**

El análisis de las características estructurales de las edificaciones en el barrio San Diego, estuvieron limitadas a dar un grado de vulnerabilidad general de dichas construcciones, sin hacer énfasis en cada uno de los tipos de vulnerabilidades que se pueden presentar en una estructura. Cabe resaltar que no se hicieron modelaciones, debido a que el método propuesto es cualitativo.



## 4. METODOLOGIA

Este trabajo de investigación se planteó como una investigación de tipo descriptivo, debido a que se necesitó de la realización, en primera instancia, de una inspección visual de las edificaciones que se adoptaron como muestra, para así obtener datos cualitativos que permitieron, mediante los procedimientos y análisis respectivos, caracterizar y determinar el grado de vulnerabilidad de las edificaciones escogidas como muestra del barrio San Diego de la Ciudad de Cartagena y además generar recomendaciones generales de las edificaciones del lugar; esto con el fin de darle cumplimiento a los objetivos previamente trazados, y de esta manera poder dar una respuesta a la pregunta de investigación planteada.

Para el desarrollo del proyecto se planteó su realización en 6 etapas, que permitieron una ejecución adecuada y eficiente. Estas etapas fueron identificadas como a continuación se especifica: recopilación de información secundaria, análisis de información secundaria, recopilación de información primaria, análisis de información primaria, análisis e interpretación de datos obtenidos y preparación y presentación del informe final.

A continuación se profundizan y analizan las diferentes etapas del proyecto.

### 4.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACION SECUNDARIA

En la etapa inicial del proyecto de investigación se presentó la búsqueda y recopilación de la información secundaria relativa al tema de estudio. A continuación se define un aspecto importante para la realización de esta fase del proyecto:

- Recolección de información en trabajos de investigación relacionados con la vulnerabilidad en las edificaciones a nivel nacional e internacional lo cual ayudaría a tener una visión más clara del proyecto que se estaba realizando.



## 4.2. ANALISIS DE INFORMACION SECUNDARIA

En esta etapa se realizó el análisis de la información secundaria, la cual consiste en los estudios que se han realizado en cuanto al tema en distintos lugares y diferentes aspectos, con el fin de obtener conclusiones acerca de los diferentes proyectos de investigación expuestos en la etapa anterior. Además del análisis de información secundaria, esta fase estuvo soportada con la identificación de las edificaciones que fueron objeto de estudio y los daños sufridos por dichas construcciones, previos a la realización de este proyecto. De esta manera se pretendió conocer más acerca de las edificaciones del barrio San Diego de la ciudad de Cartagena.

## 4.3. RECOPIACION DE INFORMACION PRIMARIA

Esta tercera etapa se desarrolló 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 a estudiar. Estos estudios se realizaron a través de visitas a las casas coloniales que son objeto de estudio, en las cuales a través de una serie de formatos, propios del método, se buscó los posibles riesgos y el grado de vulnerabilidad de las edificaciones coloniales de la muestra representativa del barrio San Diego.

Además, en esta etapa se realizaron entrevistas con ingenieros expertos en el tema, con el fin de aprender y conocer, acerca de aspectos fundamentales de vulnerabilidad en edificaciones coloniales como técnicas, procesos y tipos de daños que han sufrido este tipo de estructuras.

A continuación se muestra la tabla característica del método que permitió ubicarlas según el grado de vulnerabilidad que presente, es decir, si es alto, medio alto, medio bajo o baja.



#	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

**Tabla 1.** Escala numerica de indice de vulnerabilidad de Benedetti

**Fuente:** (Caballero, 2007)

A partir de esta tabla, se analizaron los 11 aspectos que allí se mencionan, en las edificaciones escogidas como muestras para el proyecto de investigación. Y además, se detallaron factores de gran importancia como son cada uno de los mencionados en la tabla anterior.

#### 4.4. ANALISIS DE INFORMACION PRIMARIA

Luego de la recolección de datos en la etapa anterior se procedió a analizar 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 como fueron analizados cada uno de los parámetros que se mencionaron en la anterior etapa:



#### **4.4.1. Parámetros del método**

##### **4.4.1.1. 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-10.
  
- 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.

##### **4.4.1.2. Calidad del sistema resistente**

Con este parámetro se determina el tipo de mampostería más frecuentemente utilizada, diferenciando, de modo cualitativo, su característica de resistencia. 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.

#### **4.4.1.3. 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 (m<sup>2</sup>).

Ax,y : área total de los muros resistentes en el sentido X e Y respectivamente en (m<sup>2</sup>).

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

$\tau K$ : resistencia a cortante característica del tipo de mampostería en (Ton/m<sup>2</sup>). En el caso de que la mampostería se componga de diferentes materiales, el valor de  $\tau K$  se determina como un promedio ponderado de los valores de resistencia a cortante para cada uno de los

materiales  $\tau_i$ , utilizando como factor de peso el porcentaje relativo en área  $A_i$  de cada uno de ellos.

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

Ecuación 1.0

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:

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

Ecuación 1.2

Donde,

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

Ecuación 1.3

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

Ecuación 1.4

$$a_0 = A / A_t$$

Ecuación 1.5

$$\gamma = B / A$$

Ecuación 1.6

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

Ecuación 1.6

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

$P_m$ : peso específico de la mampostería en (Ton/m<sup>3</sup>).

$P_s$ : peso por unidad de área del diafragma en (Ton/m<sup>2</sup>).



- 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  $\alpha < 0.4$ .

#### **4.4.1.4. Posición del edificio y de 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.

#### **4.4.1.5. 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.

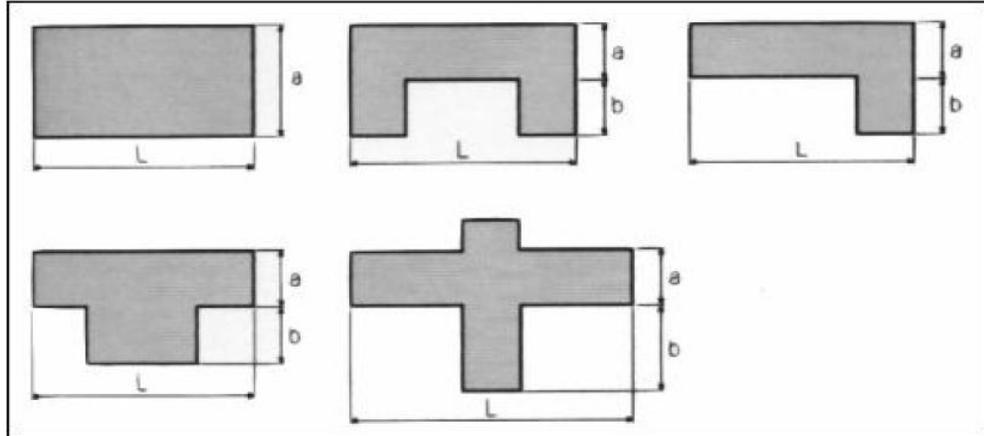
C) Edificio con diafragmas como los de la clase A, pero que no cumplen con las condiciones 1 y 2.

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

#### **4.4.1.6. 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.



**Figura 7.** Configuración en planta de la estructura

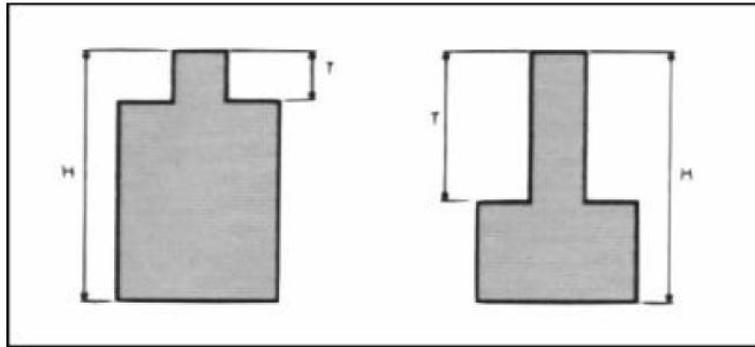
**Fuente:** (Navia, 2007)

- 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  $\alpha < 0.4$ .

#### 4.4.1.7. 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.



**Figura 8.** Configuración en elevación de la estructura

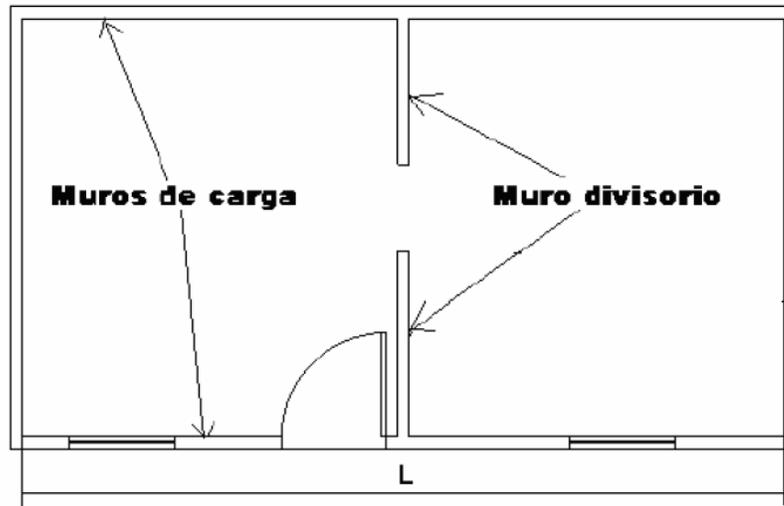
**Fuente:** (Navia, 2007)

- A) Edificio con  $-\Delta M/M < 10\%$ .
- B) Superficie porche  $< 10\%$  ó  $10\% \leq -\Delta M/M < 20\%$ .
- C) Superficie porche  $= 10\% \approx 20\%$  ó  $-\Delta M/M > 20\%$  ó  $T/H < 2/3$ .
- D) Superficie porche  $> 20\%$  ó  $\Delta M/M > 0$  ó  $T/H > 2/3$ .

#### 4.4.1.8. 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.



**Figura 9.** Configuración de los muros en planta y su respectiva separación

**Fuente:** (Navia, 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  $L/S \geq 25$ .

#### 4.4.1.9. Tipo de 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.

#### **4.4.1.10. Elementos no estructurales**

Se tiene en cuenta con este parámetro la presencia de cornisas, parapetos o cualquier elemento no estructural que pueda causar daño a personas o cosas. Se trata de un parámetro secundario, para fines de la evaluación de la vulnerabilidad, por lo cual no se hace ninguna distinción entre las dos primeras clases. A continuación cada una de las clasificaciones del parámetro:

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.



#### 4.4.1.11. 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.

#### 4.4.2. Análisis de los parámetros.

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

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

Ecuación 2.

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.

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
- $15\% \leq$  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 pudo caracterizar estructuralmente el barrio San Diego del centro histórico de la ciudad de Cartagena.

#### **4.5. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS OBTENIDOS**

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

Se analizaron los resultados a través del método de Índice de Vulnerabilidad y con esto se propusieron 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 estuvo soportado o se desarrollo 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 pudieron plantear recomendaciones de una manera más confiable y segura.



#### **4.6. PREPARACIÓN Y PRESENTACIÓN DEL INFORME FINAL.**

Después de haber realizado cada una de las etapas anteriores, se desarrollaron los objetivos propuestos y se llegó a una conclusión sobre la solución al interrogante planteado para el desarrollo de esta investigación, se procedió a preparar un informe final, donde se exponen todos los resultados obtenidos al final del proceso investigativo, además de todos los detalles importantes que conciernen al mismo.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSION

### 5.1. ANALISIS DEL INDICE DE VULNERABILIDAD DE LA CASA 1 BARRIO SAN DIEGO – CALLE SAN PEDRO MARTIR

#### 5.1.1. PARAMETROS

- ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA RESISTENTE.(1.00)

Para la definición de este parámetro se debe tener en cuenta el año en que fue construida la edificación, para saber si tuvo algún tipo de normatividad que la reglamento y para comprobar si fue o no fue normalizada. Es por eso que este parámetro se definió de la siguiente manera:



**Figura 10.** Fachada de la vivienda modelo

**Fuente.** Los autores

En principio se debe tener en cuenta el año de construcción de estas viviendas, siendo estas casas construidas alrededor del siglo XVII y XIX por el ingeniero Antonio Arévalo, pero luego se han presentado una serie de remodelaciones para poder mantenerlas, es por eso



que las viviendas construidas en el barrio San Diego no se ajustan a la primera clasificación del parámetro (A), puesto que la NSR-10 fue publicada muchos años después.

La segunda clasificación del parámetro dice que en todas las plantas se presentan conexiones realizadas mediante vigas de amarre, y al tratarse de este tipo de construcciones antiguas se puede decir que no se presenta este tipo de clasificación o por lo menos no adecuadas para la normatividad existente.

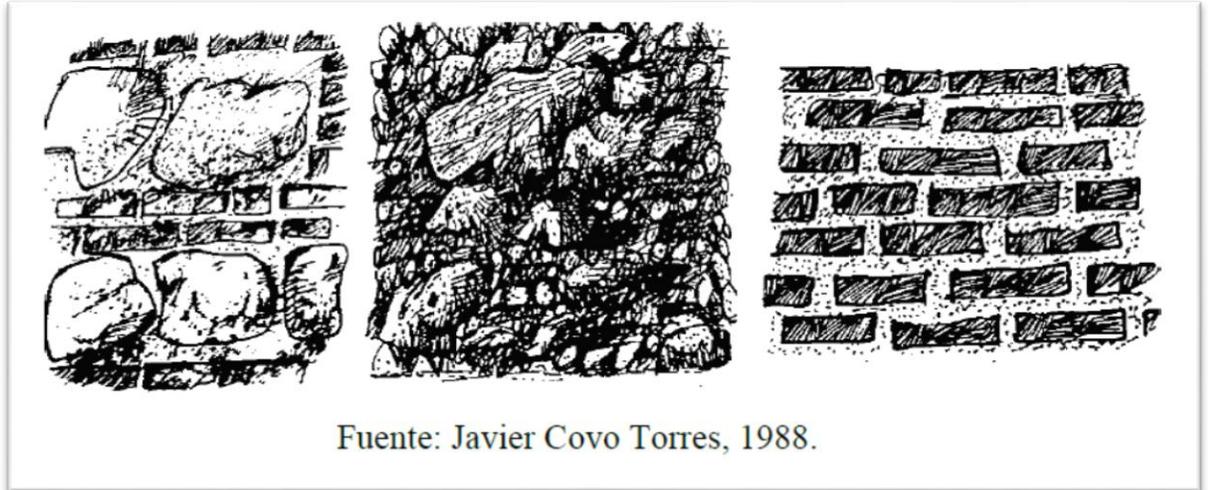
De acuerdo con la tercera clasificación podemos decir que el edificio no presenta adecuadas vigas de amarre en todas sus plantas pero presenta únicamente paredes ortogonales bien unidas por lo cual la opción más adecuada para este parámetro es la (C).

- CALIDAD DEL SISTEMA RESISTENTE (0.25)

Para el análisis de este parámetro se tomó en cuenta el tipo de material y la forma en que se constituye la mampostería. Además se consideró la homogeneidad del material y de las piezas por toda la extensión del muro. Para el estudio de este parámetro se tuvo en cuenta la historia de estas casas, además del método constructivo de los muros. En esta investigación se encontró que estas casas están construidas a partir de tres tipos los cuales son:

- Piedra y argamasa de cal.
- Pedazo de ladrillo, piedra y coral triturado.
- Ladrillo.

A partir de lo anterior se puede decir que la mejor clasificación para este parámetro sería la opción (D), ya que se define como mampostería de piedra irregular mal trabada o ladrillo de baja calidad y con piezas no homogéneas.



**Figura 11.** Sistemas constructivos de muros coloniales.

- RESISTENCIA CONVENCIONAL (1.5)

Con los datos obtenidos en campo tales como el número de pisos, el área total de la cubierta, las áreas resistentes en cada sentido, la altura media del piso, se procedió a averiguar la resistencia cortante de mampostería, el peso específico de la mampostería y el peso por unidad de área de diafragma. Según ensayos de 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)



RESISTENCIA CONVENCIONAL	VALOR
N: número de pisos	1
At: área total cubierta m <sup>2</sup>	293,83
Ax,y: área total resistente del muro en x y y.	130.5518
Tk: resistencia a cortante característica del tipo de mampostería en Ton/m <sup>2</sup>	7,5
H: altura media del piso en m	2.47
Pm: peso específico de la mampostería Ton/m <sup>3</sup>	2.2
Ps: peso por unidad de área del diafragma Ton/m <sup>2</sup>	0

**Tabla 2.** Características de la edificación

**Fuente.** Los autores

A	
Ax	Ay
130.5518	205.6028

**Tabla 3.** Área de los muros en x y en y

**Fuente.** Los autores

B	Y	a0	Q	C	C	á
205.6028	1.57487526	0.4443106558	6.216737897	0.1	0.652768612	6.527686125

**Tabla 4.** Resultado del índice de resistencia convencional

**Fuente.** Los autores



De acuerdo con los resultados obtenidos mediante el software Excel, se tiene que la estructura clasificaría en este parámetro como (A), debido a que el valor de  $\dot{q}$  es mayor a 1.

- POSICION DEL EDIFICION Y DE LA CIMENTACION (0.75)

Para la clasificación de este parámetro se tienen en cuenta 3 aspectos muy importantes a la hora de seleccionar una opción, los cuales son:

- La consistencia y pendiente del terreno.
- La eventual ubicación de la cimentación a diferente cota.
- La presencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén.

Es por esto que para este parámetro se tuvo en cuenta la investigación con profesores de la Universidad de Cartagena como lo son el ingeniero Guilliam Barboza, arquitecto Alfonso Cabrera y el director del presente trabajo de grado, el ingeniero Walberto Rivera, quienes ayudaron a conocer como está constituido el suelo y además como eran las cimentaciones de estas estructuras antiguas. A través de esta investigación se pudo obtener que en el barrio San Diego de la ciudad de Cartagena, predomina un suelo de arena limosa gris fina, con china, caracuchas menudas y piedra coralina. También se tuvo en cuenta un estudio que facilito el ingeniero Guilliam Barboza realizado por Sujey María Bermúdez Pérez y Martin Rafael Bohórquez Marrugo llamado “EVALUACION DEL POTENCIAL DE LICUACION Y COMPORTAMIENTO SISMICO DE LOS DEPOSITOS DE PLAYA EN EL CASCO URBANO DE CARTAGENA”, en donde se encontró que la licuación del suelo en este barrio es relativamente baja. Es por eso que no se considera un muy buen suelo, pero se considera que el terreno es estable.

Además al ir al lugar se observa que el barrio tiene pendientes muy bajas, mucho menores al 10%, que la fundación está ubicada a una misma cota y no hay empuje de terraplén. Por esta razón la opción más adecuada para el parámetro, teniendo en cuenta lo anterior, sería la (A).

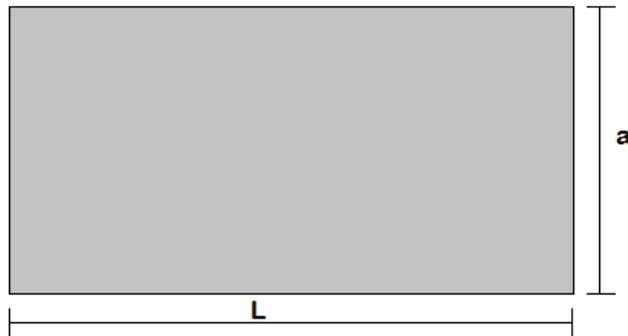
- DIAFRAGMAS HORIZONTALES (1.00)

Para este parámetro se tienen en cuenta tres características muy importantes las cuales son:

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

Esta edificación es demasiado antigua, posee un solo piso, y además no cuenta con ningún tipo de diafragma horizontal, por tal razón no se tiene en cuenta ninguna de los anteriores aspectos mencionados para este parámetro. Es por esto que la opción más adecuada para este parámetro es la (D).

- CONFIGURACION EN PLANTA (0.50)



**Figura 12.** Forma de la vivienda

**Fuente.** Los autores

De acuerdo con las condicionales de forma se tiene que:

CONFIGURACION EN PLANTA	VALOR(m)
A	11.13
L	26.4
B	0

**Tabla 5.** Distancias en planta de la edificación

**Fuente.** Los autores

$\beta$	0.4215909091
---------	--------------

**Tabla 6.** Resultado del parámetro “configuración en planta”

**Fuente.** Los autores

A partir del criterio que destaca el método trabajado, donde B1 se encuentra entre 0.4 y 0.6, la estructura se clasifica como (C).

- CONFIGURACION EN ELEVACION (1.00)



Para este parámetro se analizan 3 aspectos muy importantes como lo son:

- Si son dos o más pisos se debe realizar la relación de áreas entre los dos pisos.
- 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.

Es por esto que se define este parámetro con la clasificación (A) debido a que es un solo piso y no cuenta con salidas o protuberancias en altura.

- DISTANCIA MAXIMA 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 lo anterior se evalúa la condición más desfavorable, es decir, donde la relación sea mayor.

DISTANCIA ENTRE MUROS	Distancia(m)
L: Espaciamiento de los muros transversales	6.41
S: Espesor del muro maestro	0.285

**Tabla 7.** Distancia y espesor de muros transversales

**Fuente.** Los autores

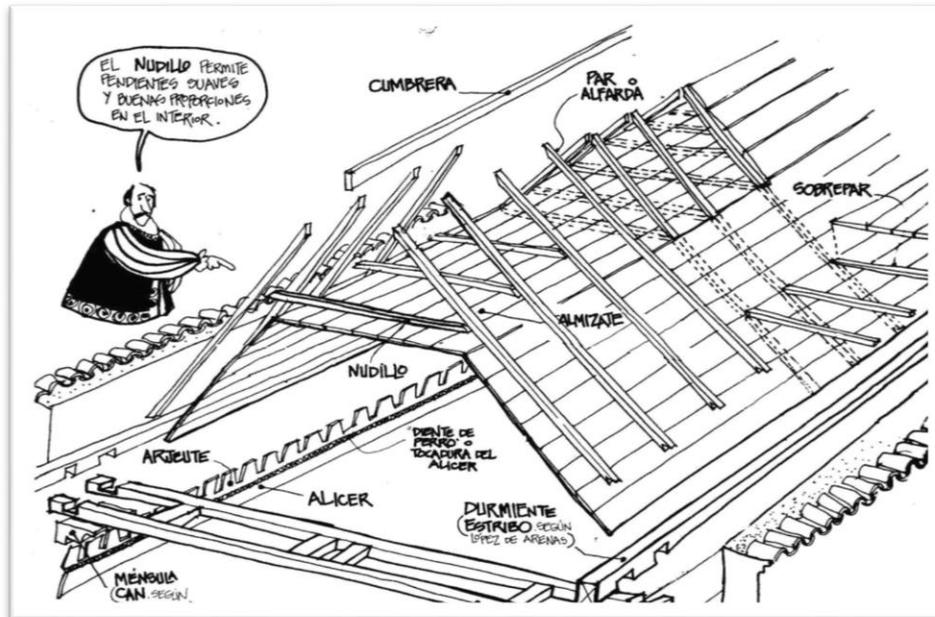
L/S
22.49122807

**Tabla 8.** Relación entre distancia y espesor de muros transversales

**Fuente.** Los autores

De acuerdo a lo anterior, se obtuvo una relación de 22.49, por lo cual se encuentra en el rango evaluado entre 18 y 25, es por eso que la clasificación más adecuada es la (C).

- TIPO DE CUBIERTA (1.00)



**Figura 14.** Tipo de cubierta en forma de par y nudillo

**Fuente.** (Covo, 1988)

Para este parámetro se precisó en 4 aspectos muy importantes, los cuales son: la estabilidad de la cubierta, si se encuentra bien sujeta a las paredes ortogonales, su pendiente y si posee viga cumbrera. En esta edificación se observó que se maneja una cubierta tipo “par y nudillo”, en la cual se vio que se maneja una viga cumbrera hecha en madera. A partir de lo anterior se puede decir que la mejor forma de describir esta edificación es con la clasificación (D) debido a que a pesar de que posee una viga cumbrera, estas cubiertas poseen grandes pendientes y puede observar que se encuentran muy inestables.



- ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES (0.25)

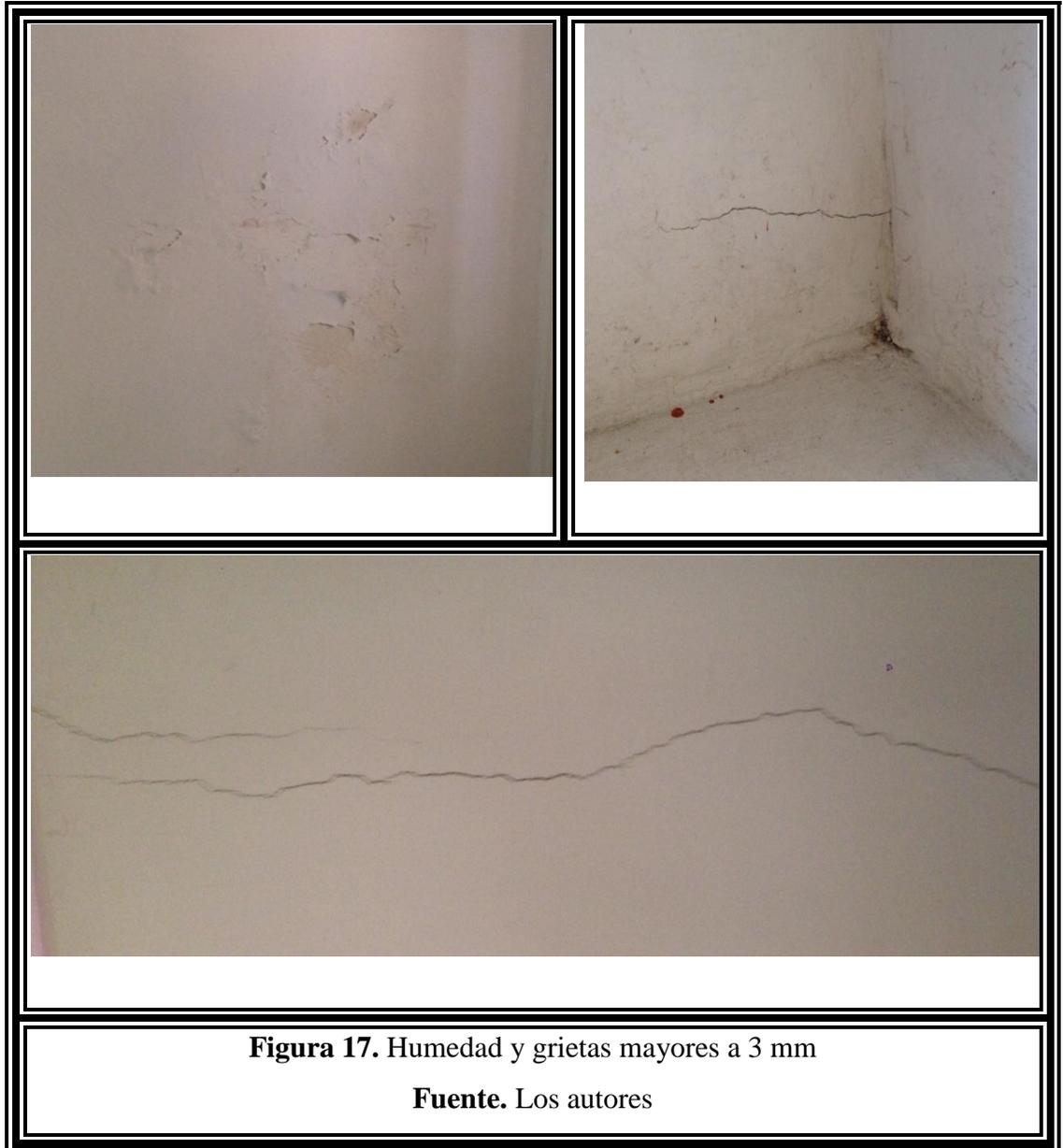
Este parámetro se basa en los elementos no estructurales que podrían hacer daño a las personas en caso de que ocurra algo. Para esto se deben comprobar que la edificación posea los siguientes aspectos:

- Cornisas.
- Parapetos.
- Chimeneas.
- Balcones.

Es por esto que clasificación a la vivienda como (B), por lo que presenta algunos elementos de pequeña dimensión como cornisas y parapetos pero que se puede observar que se encuentran bien vinculadas a la pared.



- ESTADO DE CONSERVACION (1.00)



En este parámetro se tuvo en cuenta las lesiones capilares que han sufrido algunos muros. Se encontró que esta edificación tiene algunas lesiones mayores a 3 mm de ancho, además se encuentran paredes con estado de humedad que causan cierto deterioro en el concreto, por lo cual la edificación se ubicó en clasificación (D).



### 5.1.2. ANALISIS DE LA VIVIENDA UBICADA EN LA CALLE SAN PEDRO MARTIR.

PARAMETROS	CLASE Ki				PESO
	A	B	C	D	Wi
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.			25		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.		0			0,25
11. Estado de conservación.				45	1,00

**Tabla 9.** Resultado de los parámetros de la casa 1

**Fuente.** Los autores

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:

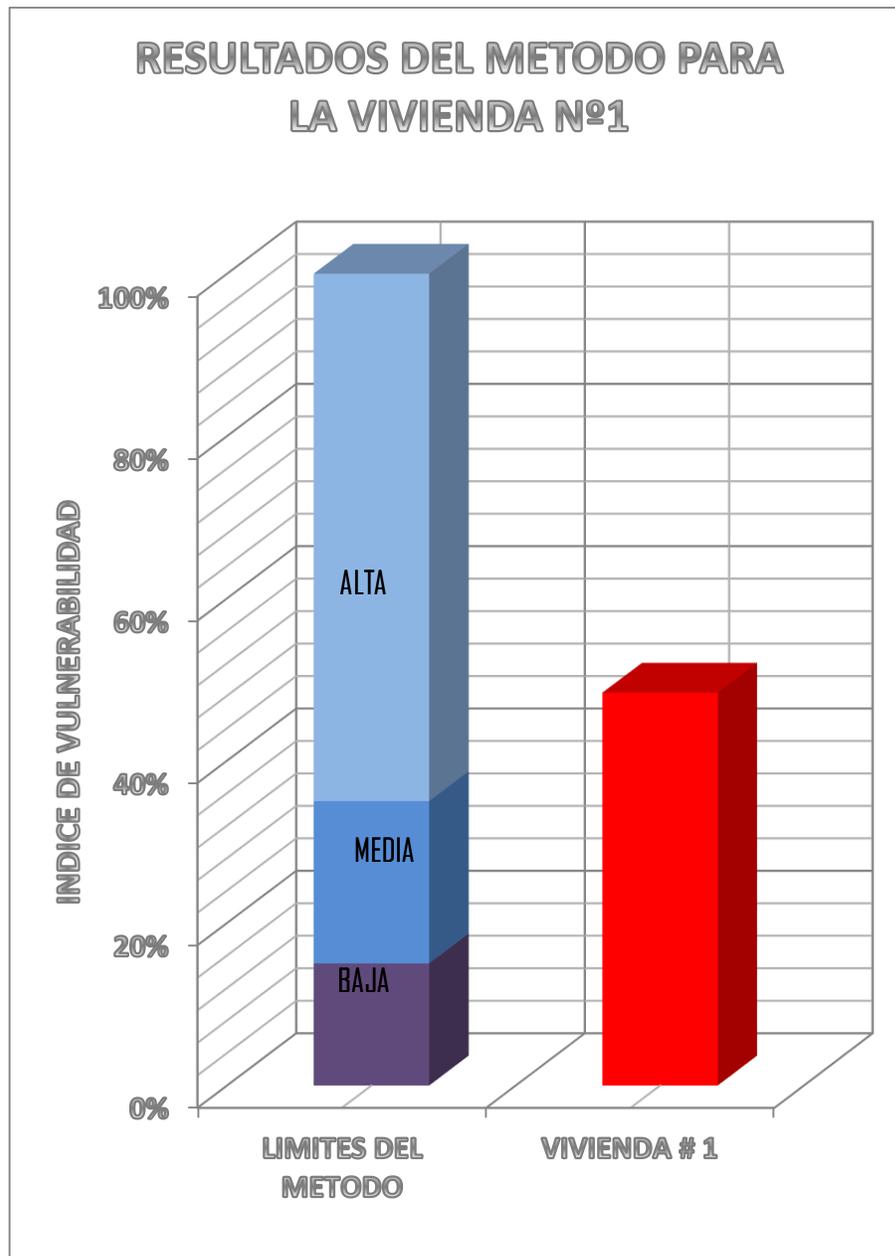
$$IV = 185$$

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

$$IV = 185/3.825$$

$$IV = 48.37\%$$

Como el valor es mayor al 35% esta estructura se caracteriza con un índice de vulnerabilidad alto.



**Grafico 1.** Resultado de la vivienda N°1

**Fuente.** Los autores

## 5.2. ANALISIS DEL INDICE DE VULNERABILIDAD DE LA CASA 2 DEL BARRIO SAN DIEGO – CALLE DE LA BOMBA

### 5.2.1. PARAMETROS

- ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA RESISTENTE.(1.00)



**Figura 18.** Fachada de vivienda modelo

**Fuente.** Los autores

Análogamente a la primera edificación, esta vivienda también es una construcción bastante antigua por lo que no está hecha de acuerdo con la norma sismo resistente actual. Pero como cuenta con paredes ortogonales bien unidas, pero no con viga de amarres, entonces para la vivienda la clasificación más adecuada para este parámetro es la (C).



- CALIDAD DEL SISTEMA RESISTENTE (0.25)

Estas viviendas antiguas son realizadas mampostería de piedra irregular mal trabada o ladrillo de baja calidad y con piezas no homogéneas, por lo que la mejor clasificación para este parámetro sería la opción (D).

- RESISTENCIA CONVENCIONAL (1.5)

Con los datos obtenidos en campo tales como el número de pisos, el área total de la cubierta, las áreas resistentes en cada sentido, la altura media del piso, se procedió a averiguar la resistencia cortante de mampostería, el peso específico de la mampostería y el y el peso por unidad de área de diafragma. Según ensayos de 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)

RESISTENCIA CONVENCIONAL	VALOR
N: número de pisos	2
At: área total cubierta m <sup>2</sup>	120.1
Ax,y: área total resistente del muro en x y y.	92.47
Tk: resistencia a cortante característica del tipo de mampostería en Ton/m <sup>2</sup>	7,5
H: altura media del piso en m	3.13
Pm: peso específico de la mampostería Ton/m <sup>3</sup>	2.2
Ps: peso por unidad de área del diafragma Ton/m <sup>2</sup>	0.72

**Tabla 10.** Características de la edificación

**Fuente.** Los autores

PISO 1	
Ax	Ay
92.47	108.43

**Tabla 11.** Área de los muros en x y en y del piso 1

**Fuente.** Los autores

PISO 2	
Ax	Ay
92.47	102.26

**Tabla 12.** Área de los muros en x y en y del piso 2

**Fuente.** Los autores

B	Y	a0	Q	C	C	α
108.43	1.172596518	0.9056807052	14.26943585	0.1	0.3601174812	3.601174812

**Tabla 13.** Resultado del índice de resistencia convencional

**Fuente.** Los autores

De acuerdo con los resultados obtenidos mediante el software Excel, se tiene que la estructura clasificaría en este parámetro como (A), debido a que el valor de  $\alpha$  es mayor a 1.

- POSICION DEL EDIFICION Y DE LA CIMENTACION (0.75)

De manera similar a la primera vivienda, esta edificación presenta una consistencia estable del suelo y pendientes muy bajas, mucho menores al 10%, además las construcciones están ubicadas a una misma cota y no hay presencia de empuje no equilibrado, por tal razón la opción más adecuada para el parámetro, teniendo en cuenta lo anterior, sería la (A).

- DIAFRAGMAS HORIZONTALES (1.00)

Para esta casa se evidencia una modificación en la tipología de casa colonial ya que se utiliza una losa en concreto. A este tipo de casa colonial se le llama casa colonial sobre

republicana. Por lo cual, debido a la presencia de diafragma horizontal se procede a clasificarlo de acuerdo con las características del parámetro. Estos diafragmas poseen conexiones eficaces con los muros estructurales, además de que no hay desniveles en estos. De acuerdo a lo anterior se puede decir que este parámetro está en clasificación (A).

- CONFIGURACION EN PLANTA (0.50)



**Figura 19.** Forma de la vivienda

**Fuente.** Los autores

De acuerdo con las condicionales de forma se tiene que:

CONFIGURACION EN PLANTA	VALOR(m)
A	10,48
L	11.46
B	1.1

**Tabla 14.** Distancias en planta de la edificación

**Fuente.** Los autores

$\beta_1$	0.9144851658
$\beta_2$	0.09598603839

**Tabla 15.** Resultado del parámetro “configuración en planta”

**Fuente.** Los autores

A partir del criterio que destaca el método trabajado, donde B1 es mayor a 0.8 y B2 es menor a 0.1, la estructura se clasifica como (A).

- CONFIGURACION EN ELEVACION (1.00)

En esta edificación no se presentan ningún tipo de porches y torretas por lo cual los dos últimos aspectos no serán analizados en este parámetro, pero como es una casa de dos pisos por lo que se compararan el área de las dos plantas.

CONFIGURACION EN ELEVACION	
T: distancia de la irregularidad	0
H: altura total del edificio	7,26
A: área del piso de abajo	120.1
$\Delta A$ : cambio de área	0
Área de porche	0

**Tabla 16.** Características en elevación de la edificación

**Fuente.** Los autores

T/H	$\Delta A/A$ (%)	$\Delta$ porche
0	0	0

**Tabla 17.** Resultados del parámetro “configuración en elevación”

**Fuente.** Los autores

De acuerdo a lo anterior en este aspecto la edificación se cataloga como clasificación (A), puesto que no presenta aumento de área entre los pisos y no cuenta con salidas o protuberancias en altura.



- DISTANCIA MAXIMA 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 lo anterior se evalúa la condición más desfavorable, es decir, donde la relación sea mayor. .

DISTANCIA ENTRE MUROS	Distancia(m)
L: Espaciamiento de los muros transversales	9.54
S: Espesor del muro maestro	0.47

**Tabla 18.** Distancia y espesor de muros transversales

**Fuente.** Los autores

L/S
20.29787234

**Tabla 19.** Relación entre la distancia y espesor de muros transversales

**Fuente.** Los autores

De acuerdo a lo anterior, se obtuvo una relación de 20.3, por lo cual se encuentra en el rango evaluado entre 18 y 25, es por eso que la clasificación más adecuada es la (C).

- TIPO DE CUBIERTA (1.00)

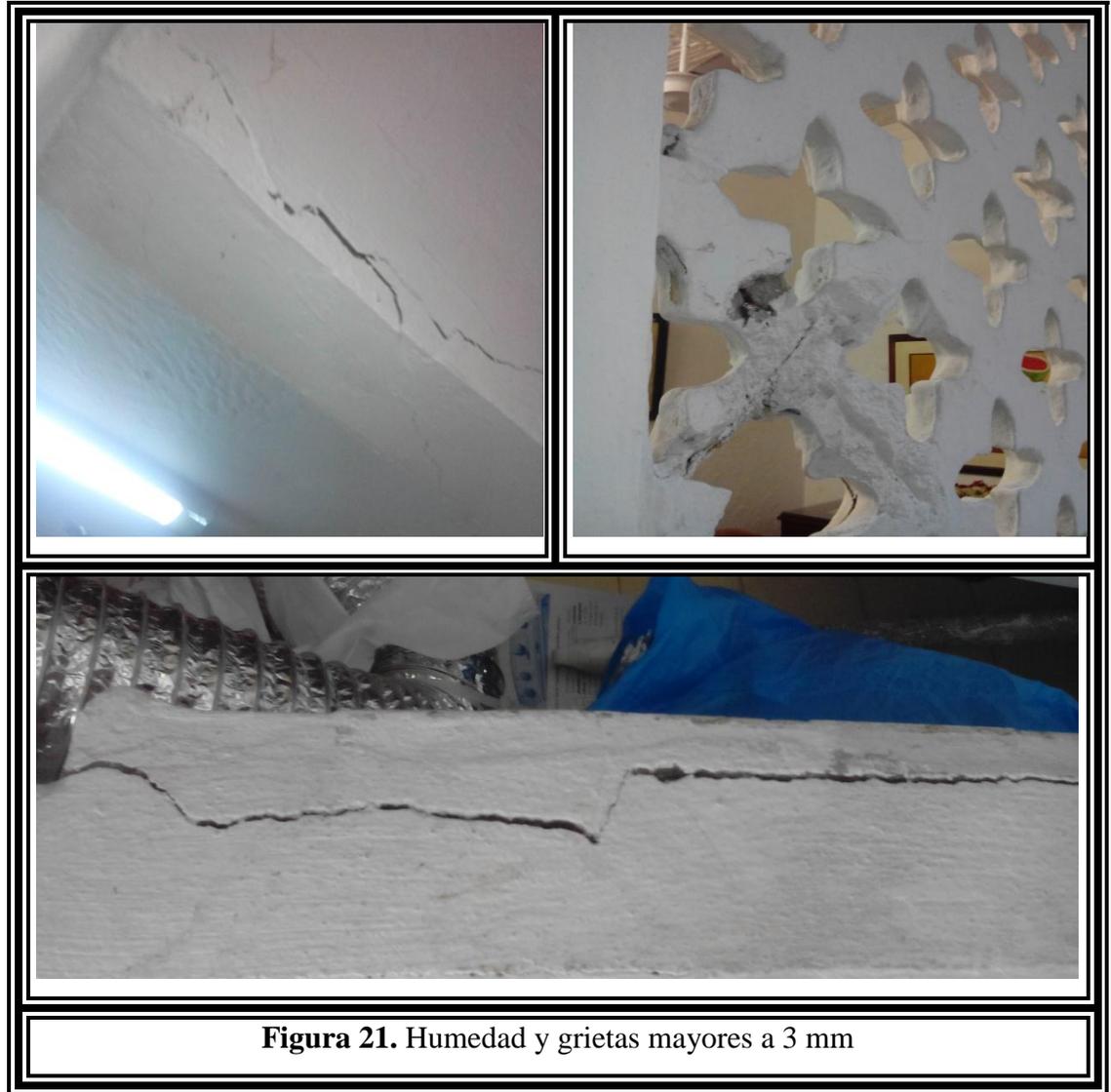
Para este parámetro se distinguieron 4 aspectos muy importantes, los cuales son: la estabilidad de la cubierta, si se encuentra bien sujeta a las paredes ortogonales, su pendiente y si posee viga cumbre. Análogamente a la primera edificación, en esta vivienda se presenta una cubierta tipo “par y nudillo”, por lo que la clasificación más adecuada es la (D).

- ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES (0.25)

La vivienda posee una clasificación (C) debido a que presenta algunos elementos de pequeña dimensión como cornisas y parapetos que se encuentran no muy bien vinculadas a la pared.



- ESTADO DE CONSERVACION (1.00)



En este parámetro se tuvo en cuenta las lesiones capilares que han sufrido algunos muros. Se encontró que esta edificación tiene cuenta con algunas lesiones mayores a 3 mm de ancho, además posee paredes con estado de humedad que causan cierto deterioro en el concreto, por lo cual se ubica la edificación en una clasificación (D).

## 5.2.2. ANALISIS DE LA VIVIENDA UBICADA EN LA CALLE SAN PEDRO MARTIR.

PARAMETROS	CLASE $K_i$				PESO
	A	B	C	D	$W_i$
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.	0				1,00
6. Configuración en planta.	0				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.			25		0,25
11. Estado de conservación.				45	1,00

**Tabla 20.** Resultado de los parámetros de la casa 2

**Fuente.** Los autores

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 de:

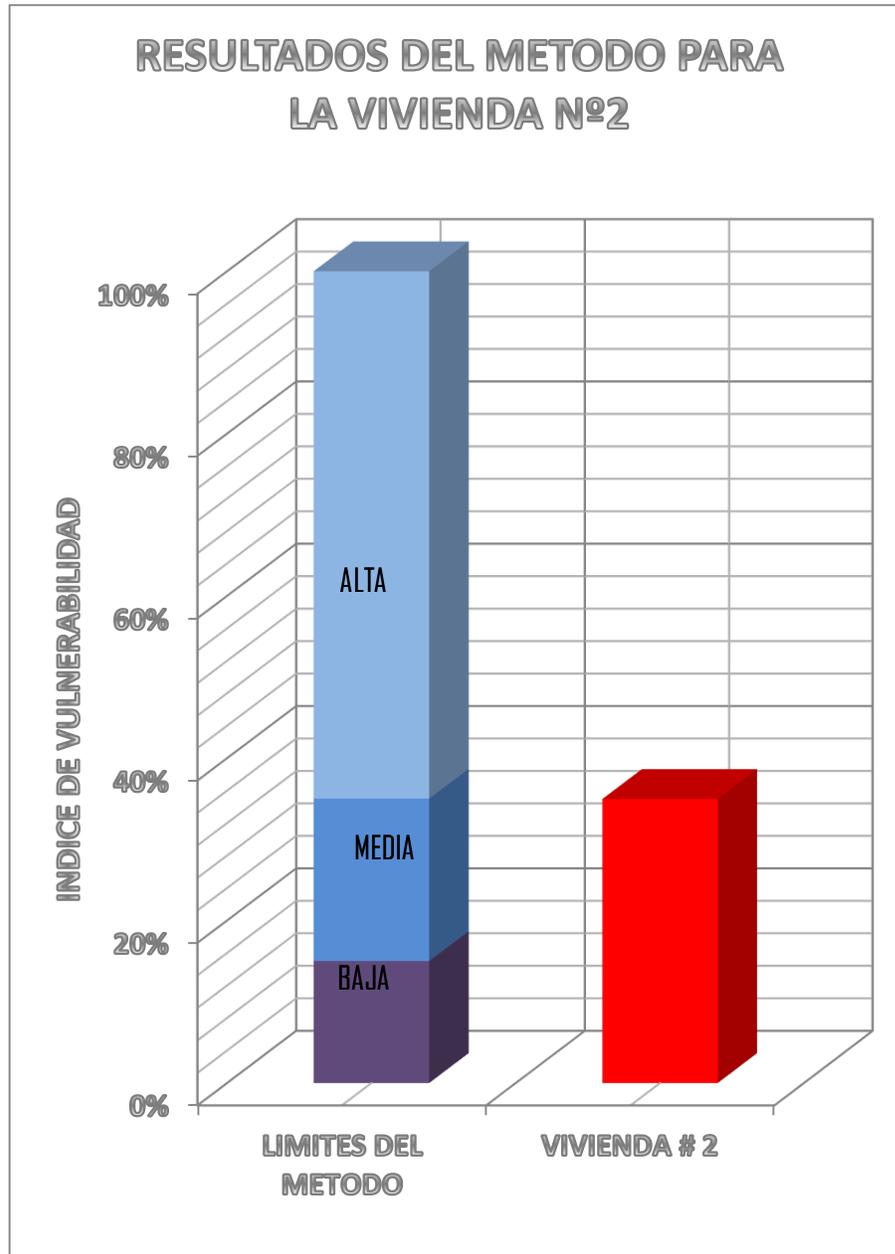
$$IV = 133.75$$

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

$$IV = 133.75/3.825$$

$$IV = 34.97\%$$

Como el valor es menor al 35% y mayor al 15%, entonces esta estructura presenta un índice de vulnerabilidad medio.



**Grafico 2.** Resultado de la vivienda N°2

**Fuente.** Los autores

### 5.3. ANALISIS DEL INDICE DE VULNERABILIDAD DE LA CASA 3 DEL BARRIO SAN DIEGO – CALLE EL JARDIN

#### 5.3.1. PARAMETROS

- ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA RESISTENTE.(1.00)



**Figura 22.** Fachada de la vivienda modelo

**Fuente.** Los autores

Análogamente a la primera edificación, esta vivienda también es una construcción bastante antigua por lo que no está hecha de acuerdo con la norma sismo resistente actual. Pero como cuenta con paredes ortogonales bien unidas, pero no con viga de amarres, entonces para la vivienda la clasificación más adecuada para este parámetro es la (C).

- CALIDAD DEL SISTEMA RESISTENTE (0.25)

Estas viviendas antiguas son realizadas mampostería de piedra irregular mal trabada o ladrillo de baja calidad y con piezas no homogéneas, por lo que la mejor clasificación para este parámetro sería la opción (D).

- RESISTENCIA CONVENCIONAL (1.5)

Con los datos obtenidos en campo tales como el número de pisos, el área total de la cubierta, las áreas resistentes en cada sentido, la altura media del piso, se procedió a averiguar la resistencia cortante de mampostería, el peso específico de la mampostería y el y el peso por unidad de área de diafragma. Según ensayos de 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)

RESISTENCIA CONVENCIONAL	VALOR
N: número de pisos	1
At: área total cubierta m <sup>2</sup>	164.946
Ax,y: área total resistente del muro en x y y.	125.600621
Tk: resistencia a cortante característica del tipo de mampostería en Ton/m <sup>2</sup>	7,5
H: altura media del piso en m	2.61
Pm: peso específico de la mampostería Ton/m <sup>3</sup>	2.2
Ps: peso por unidad de área del diafragma Ton/m <sup>2</sup>	0

**Tabla 21.** Características de la edificación

**Fuente.** Los autores

PISO 1	
Ax	Ay
125.600621	127.2636

**Tabla 22.** Área de muros en x y en y

**Fuente.** Los autores

B	Y	a0	Q	C	C	q̇
127.2636	1.01324021	0.76146509	8.80255573	0.1	0.79734902	7.97349024

**Tabla 23.** Resultado del índice de resistencia convencional

**Fuente.** Los autores

De acuerdo con los resultados obtenidos mediante el software Excel, se tiene que la estructura clasificaría en este parámetro como (A), debido a que el valor de  $\dot{q}$  es mayor a 1.

- POSICION DEL EDIFICION Y DE LA CIMENTACION (0.75)

De manera similar a la primera vivienda, esta edificación presenta una consistencia estable del suelo y pendientes muy bajas, mucho menores al 10%, además las construcciones están ubicadas a una misma cota y no hay presencia de empuje no equilibrado, por tal razón la opción más adecuada para el parámetro, teniendo en cuenta lo anterior, sería la (A).

- DIAFRAGMAS HORIZONTALES (1.00)

La casa no presenta ningún tipo de diafragma horizontal entonces para este parámetro la estructura es considerada de clasificación (D).

- CONFIGURACION EN PLANTA (0.50)



**Figura 23.** Forma de la vivienda

**Fuente.** Los autores

De acuerdo con las condicionales de forma se tiene que:

CONFIGURACION EN PLANTA	VALOR(m)
A	9.214
L	20.8

**Tabla 24.** Distancias en planta de la edificación

**Fuente.** Los autores

$\beta_1$	0.44298077
-----------	------------

**Tabla 25.** Resultado del parámetro “configuración en planta”

**Fuente.** Los autores

A partir del criterio que destaca el método trabajado, donde  $B_1$  es mayor a 0.4, pero menor a 0.6, la estructura se clasifica como (C).

- CONFIGURACION EN ELEVACION (1.00)

En esta edificación no se evidencia ningún tipo de porches y torretas por lo cual los dos últimos aspectos no serán analizados en este parámetro, pero se clasificaran en tablas los aspectos evaluados:

CONFIGURACION EN ELEVACION	
T: distancia de la irregularidad	0
H: altura total del edificio	4.89
A: área del piso de abajo	164.946
$\Delta A$ : cambio de área	0
Área de porche	0

**Tabla 26.** Características de la configuración en elevación

**Fuente.** Los autores

T/H	$\Delta A/A$ (%)	$\Delta$ porche
0	0	0

**Tabla 27.** Resultado del parámetro “configuración en elevación”

**Fuente.** Los autores

De acuerdo a lo anterior en este aspecto la edificación se cataloga como clasificación (A), puesto que no presenta aumento de área entre los pisos y no cuenta con salidas o protuberancias en altura.

- DISTANCIA MAXIMA 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 lo anterior se evalúa la condición más desfavorable, es decir, donde la relación sea mayor.

DISTANCIA ENTRE MUROS	Distancia(m)
L: Espaciamiento de los muros transversales	5.98
S: Espesor del muro maestro	0.3

**Tabla 28.** Distancia y espesor de muros transversales

**Fuente.** Los autores

L/S
19.93

**Tabla 29.** Relación entre la distancia y espesor de muros transversales

**Fuente.** Los autores

De acuerdo a lo anterior, se obtuvo una relación de 19.93, por lo cual se encuentra en el rango evaluado entre 18 y 25, es por eso que la clasificación más adecuada es la (C).

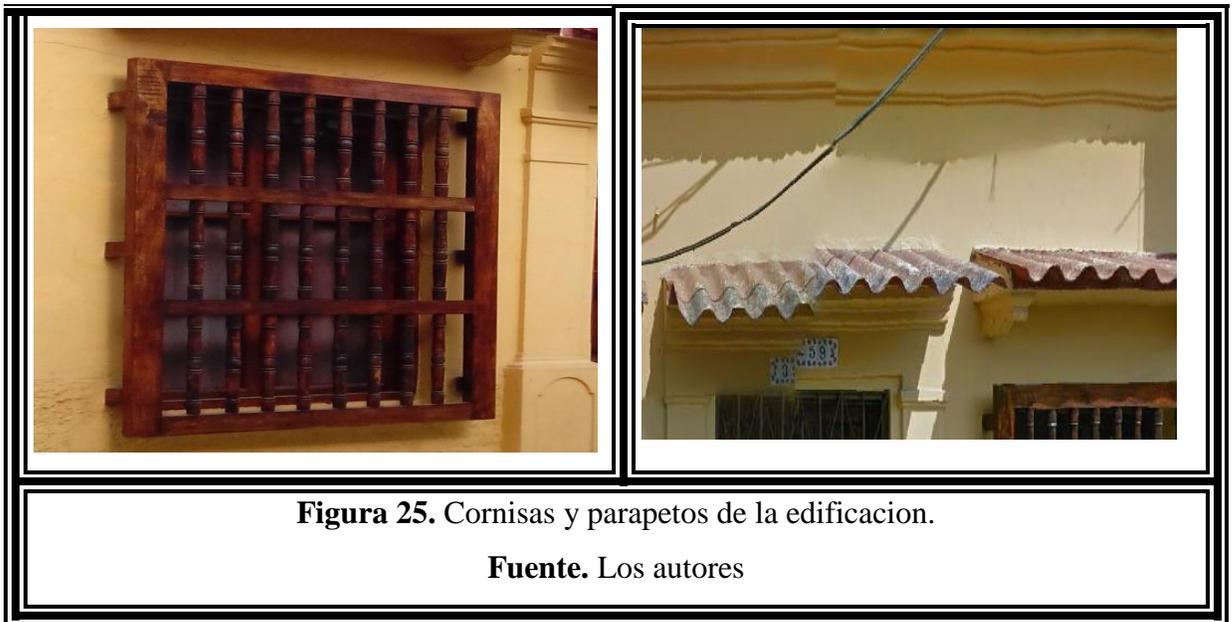
- TIPO DECUBIERTA (1.00)



Para este parámetro se distinguieron 4 aspectos muy importantes, los cuales son: la estabilidad de la cubierta, si se encuentra bien sujeta a las paredes ortogonales, su pendiente y si posee viga cumbreira. Análogamente a la primera edificación, en esta vivienda se presenta una cubierta tipo “par y nudillo”, por lo que la clasificación más adecuada es la (D).

- ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES (0.25)

La vivienda presenta una clasificación (B), por lo que presenta algunos elementos de pequeña dimensión como cornisas y parapetos que a simple vista se puede decir que se encuentran muy bien vinculados a la pared.



- ESTADO DE CONSERVACION (1.00)

En este parámetro se tienen en cuenta si la estructura posee las lesiones capilares sufridas por algunos muros. No se encontró en esta edificación ningún tipo de lesión sobre los muros, por lo cual ubicamos a la edificación en una clasificación (A).



### 5.3.2. ANALISIS DE LA VIVIENDA UBICADA EN LA CALLE SAN PEDRO MARTIR.

PARAMETROS	CLASE Ki				PESO
	A	B	C	D	Wi
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.			25		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.		0			0,25
11. Estado de conservación.	0				1,00

**Tabla 30.** Resultado de los parámetros de la casa 3

**Fuente.** Los autores

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 de:

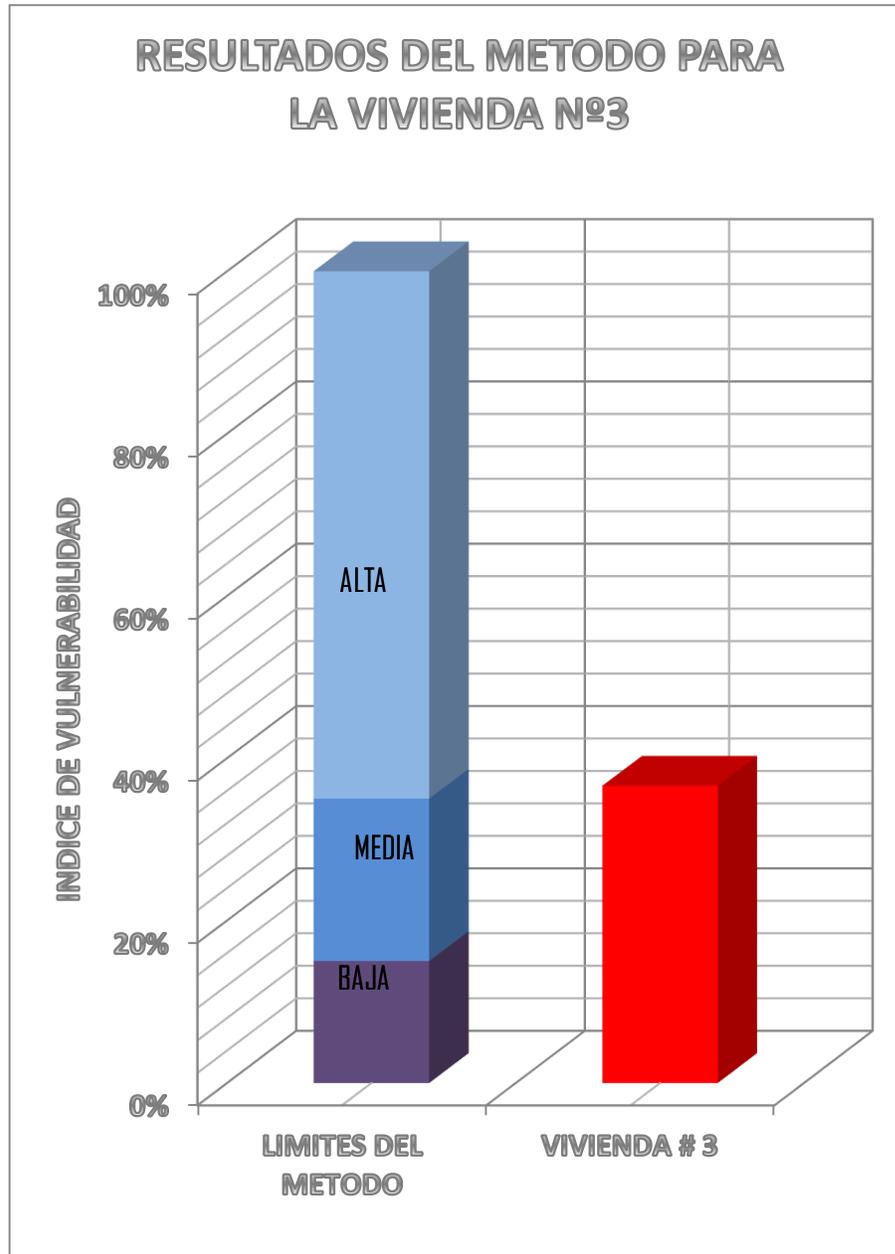
$$IV = 140$$

Para ubicarlo en una escala normalizada entre 0 y 100 se dividió entre 3.825 y se obtuvo:

$$IV = 140/3.825$$

$$IV = 36.6\%$$

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



**Grafico 3.** Resultado de la vivienda N°3

**Fuente.** Los autores

## 5.4. ANALISIS DEL INDICE DE VULNERABILIDAD DE LA CASA 3 DEL BARRIO SAN DIEGO – CALLE DEL QUERO

### 5.4.1. PARAMETROS

- ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA RESISTENTE.(1.00)



**Figura 26.** Fachada de la vivienda modelo

**Fuente.** Los autores

Análogamente a la primera edificación, esta vivienda también es una construcción bastante antigua por lo que no está hecha de acuerdo con la norma sismo resistente actual. Pero como cuenta con paredes ortogonales bien unidas, pero no con viga de amarres, entonces para la vivienda la clasificación más adecuada para este parámetro es la (C).



- CALIDAD DEL SISTEMA RESISTENTE (0.25)

Estas viviendas antiguas son realizadas mampostería de piedra irregular mal trabada o ladrillo de baja calidad y con piezas no homogéneas, por lo que la mejor clasificación para este parámetro sería la opción (D).

- RESISTENCIA CONVENCIONAL (1.5)

Con los datos obtenidos en campo tales como el número de pisos, el área total de la cubierta, las áreas resistentes en cada sentido, la altura media del piso, se procedió a averiguar la resistencia cortante de mampostería, el peso específico de la mampostería y el y el peso por unidad de área de diafragma. Según ensayos de 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)

RESISTENCIA CONVENCIONAL	VALOR
N: número de pisos	1
At: área total cubierta m <sup>2</sup>	243.708
Ax,y: área total resistente del muro en x y y.	135.9765
Tk: resistencia a cortante característica del tipo de mampostería en Ton/m <sup>2</sup>	7,5
H: altura media del piso en m	3.35
Pm: peso específico de la mampostería Ton/m <sup>3</sup>	2.2
Ps: peso por unidad de área del diafragma Ton/m <sup>2</sup>	0

**Tabla 31.** Características de la edificación

**Fuente.** Los autores



PISO 1	
Ax	Ay
135.9765	254.8345

**Tabla 32.** Área de los muros en x y en y

**Fuente.** Los autores

B	Y	a0	Q	C	C	q
254.8345	1.87410692	0.55794845	11.8185577	0.1	0.45551683	4.55516835

**Tabla 33.** Resultados del índice de resultado convencional

**Fuente.** Los autores

De acuerdo con los resultados obtenidos mediante el software Excel, se tiene que la estructura clasificaría en este parámetro como (A), debido a que el valor de  $q$  es mayor a 1.

- POSICION DEL EDIFICION Y DE LA CIMENTACION (0.75)

De manera similar a la primera vivienda, esta edificación presenta una consistencia estable del suelo y pendientes muy bajas, mucho menores al 10%, además las construcciones están ubicadas a una misma cota y no hay presencia de empuje no equilibrado, por tal razón la opción más adecuada para el parámetro, teniendo en cuenta lo anterior, sería la (A).

- DIAFRAGMAS HORIZONTALES (1.00)

La casa no presenta ningún tipo de diafragma horizontal entonces para este parámetro la estructura es considerada de clasificación (D).

- CONFIGURACION EN PLANTA (0.50)



**Figura 27.** Forma de la vivienda

**Fuente.** Los autores

De acuerdo con las condicionales de forma se tiene que:

CONFIGURACION EN PLANTA	VALOR(m)
A	8.83
L	27.6

**Tabla 34.** Distancias en planta de la edificación

**Fuente.** Los autores

$\beta_1$	0.31992754
-----------	------------

**Tabla 35.** Resultado del parámetro “configuración en planta”

**Fuente.** Los autores

A partir del criterio que destaca el método trabajado, donde  $B_1$  es menor a 0.4, la estructura se clasifica como (D).

- CONFIGURACION EN ELEVACION (1.00)

En esta edificación no se presentan ningún tipo de porches y torretas por lo cual los dos últimos aspectos no serán analizados en este parámetro, pero se clasificaran en tablas los aspectos evaluados:

CONFIGURACION EN ELEVACION	
T: distancia de la irregularidad	0
H: altura total del edificio	5.16
A: área del piso de abajo	243.708
$\Delta A$ : cambio de área	0
Área de porche	0

**Tabla 36.** Características en elevación de la edificación

**Fuente.** Los autores

T/H	$\Delta A/A$ (%)	$\Delta$ porche
0	0	0

**Tabla 37.** Resultados del parámetro “configuración en elevación”

**Fuente.** Los autores

De acuerdo a lo anterior en este aspecto la edificación se cataloga como clasificación (A), puesto que no presenta aumento de área entre los pisos y no cuenta con salidas o protuberancias en altura.

- DISTANCIA MAXIMA 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 lo anterior se evalúa la condición más desfavorable, es decir, donde la relación sea mayor.

DISTANCIA ENTRE MUROS	Distancia(m)
L: Espaciamiento de los muros transversales	5.18
S: Espesor del muro maestro	0.55

**Tabla 38.** Distancia y espesor de muros transversales

**Fuente.** Los autores

L/S
9.41818182

**Tabla 39.** Relación entre la distancia y espesor de muros transversales

**Fuente.** Los autores

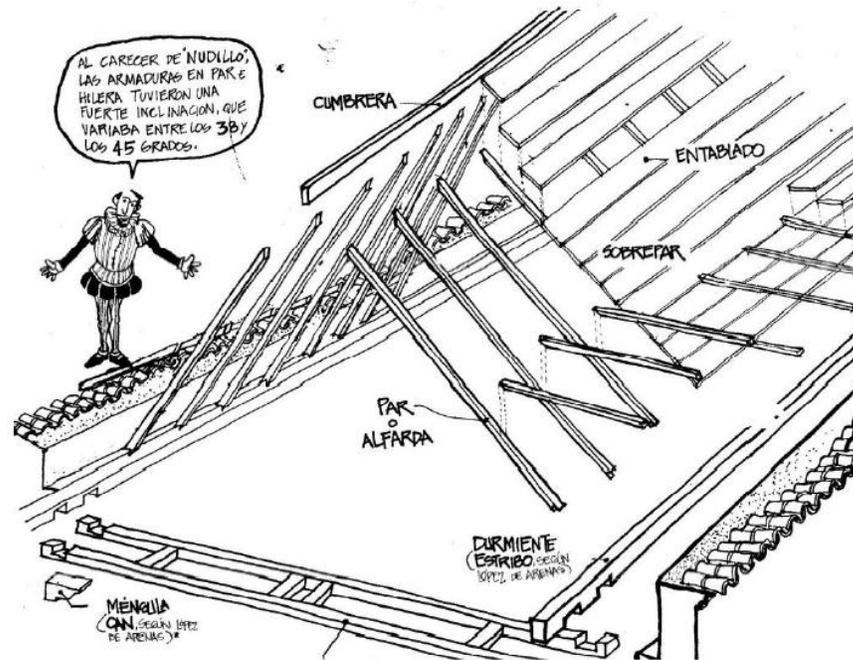
De acuerdo a lo anterior, se obtuvo una relación de 9.42, por lo cual la edificación tiene un factor menor a 15, es por eso que la clasificación más adecuada es la (A).

- TIPO DECUBIERTA (1.00)



**Figura 28.** Tipo de cubierta.

**Fuente.** Los autores



**Figura 29.** Tipo de cubierta en forma de par e hilera

**Fuente.** (Covo, 1988)

Para este parámetro se evaluaron 4 aspectos muy importantes, los cuales son: la estabilidad de la cubierta, si se encuentra bien sujeta a las paredes ortogonales, su pendiente y si posee viga cumbrera. En esta edificación se evidencio una cubierta tipo “par e hilera”, en la cual se observó la presencia de viga cumbrera hecha en madera. A partir de esto se deduce que la mejor forma de describir esta edificación es con la clasificación (D) debido a que a pesar de que posee una viga cumbrera, estas cubiertas poseen grandes pendientes se observa desgaste en la madera que se utiliza.

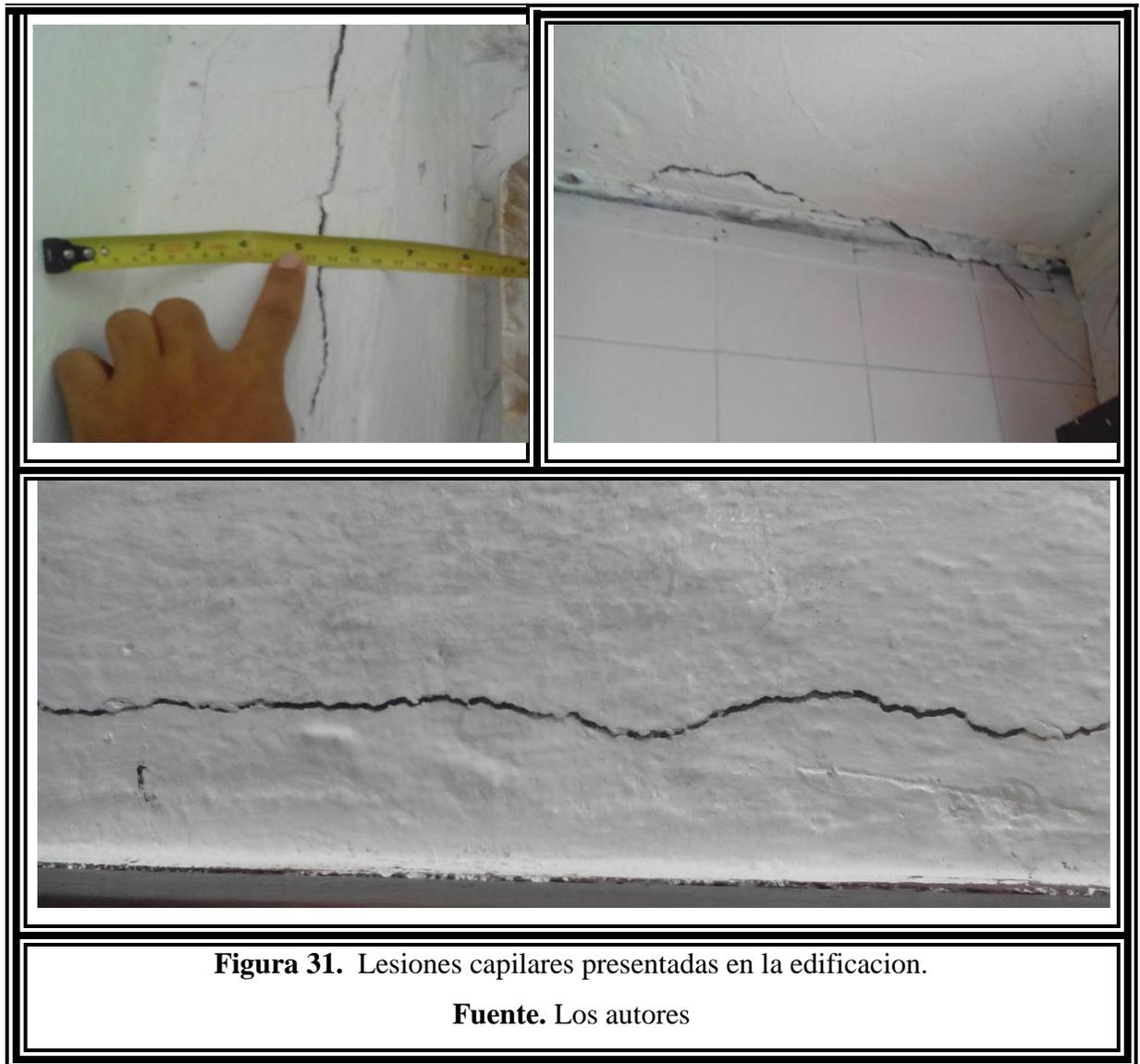
- ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES (0.25)

La vivienda presenta una clasificación (B) debido a que presenta algunos elementos no estructurales de pequeña dimensión que a simple vista se puede decir que se encuentran muy bien vinculados a la pared.



- ESTADO DE CONSERVACION (1.00)

En este parámetro se tienen en cuenta si la estructura posee las lesiones capilares sufridas en algunos de sus muros. En esta edificación se encontraron grietas que superan los 3mm de ancho por lo cual se considero que la estructura para este parámetro era critica. Esto llevo a que la edificación perteneciera a una clasificación (D).





### 5.4.2. ANALISIS DE LA VIVIENDA UBICADA EN LA CALLE SAN PEDRO MARTIR.

PARAMETROS	CLASE Ki				PESO
	A	B	C	D	Wi
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.		0			0,25
11. Estado de conservación.				45	1,00

**Tabla 40.** Resultados de los parámetros de la casa 4

**Fuente.** Los autores

Para evaluar el índice de vulnerabilidad se multiplica el número de la clasificación que arroja cada parámetro por el factor de importancia de cada uno. Se obtiene un índice de vulnerabilidad en una escala de 0 a 382.5 de:

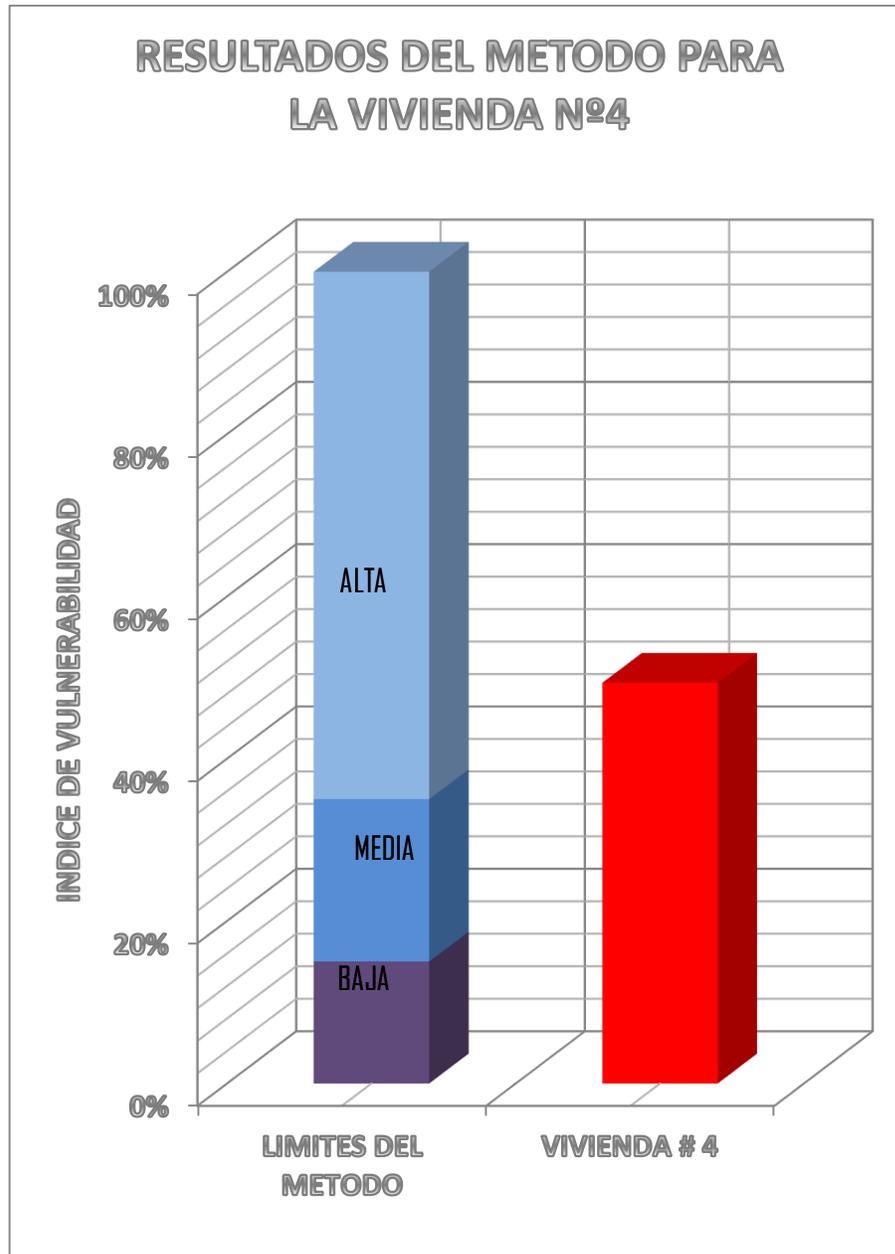
$$IV = 188.75$$

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

$$IV = 188.75/3.825$$

$$IV = 49.35\%$$

Como el valor es mayor al 35% esta estructura se ubica en un índice de vulnerabilidad alto.



**Grafico 4.** Resultado de la vivienda N°4

**Fuente.** Los autores

## 5.5. ANALIS DEL INDICE DE VULNERABILIDAD DE LA CASA 5 DEL BARRIO SAN DIEGO – CALLE DE NUESTRA SEÑORA DEL PILAR.

### 5.5.1. PARAMETROS

- ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA RESISTENTE.(1.00)



**Figura 32.** Fachada de la vivienda modelo

**Fuente.** Los autores

Análogamente a la primera edificación, esta vivienda también es una construcción bastante antigua por lo que no está hecha de acuerdo con la norma sismo resistente actual. Pero como cuenta con paredes ortogonales bien unidas, pero no con viga de amarres, entonces para la vivienda la clasificación más adecuada para este parámetro es la (C).

- CALIDAD DEL SISTEMA RESISTENTE (0.25)

Estas viviendas antiguas son realizadas mampostería de piedra irregular mal trabada o ladrillo de baja calidad y con piezas no homogéneas, por lo que la mejor clasificación para este parámetro sería la opción (D).

- RESISTENCIA CONVENCIONAL (1.5)

Con los datos obtenidos en campo tales como el número de pisos, el área total de la cubierta, las áreas resistentes en cada sentido, la altura media del piso, se procedió a averiguar la resistencia cortante de mampostería, el peso específico de la mampostería y el y el peso por unidad de área de diafragma. Según ensayos de 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)

RESISTENCIA CONVENCIONAL	VALOR
N: número de pisos	1
At: área total cubierta m <sup>2</sup>	88.914
Ax,y: área total resistente del muro en x y y.	71.517
Tk: resistencia a cortante característica del tipo de mampostería en Ton/m <sup>2</sup>	7,5
H: altura media del piso en m	3.1
Pm: peso específico de la mampostería Ton/m <sup>3</sup>	2.2
Ps: peso por unidad de área del diafragma Ton/m <sup>2</sup>	0

**Tabla 41.** Características de la edificación

**Fuente.** Los autores

PISO 1	
Ax	Ay
71.517	99.851

**Tabla 42.** Área de muros en x y e y

**Fuente.** Los autores

B	Y	a0	Q	C	C	q
99.851	1.39618552	0.80433902	13.1444965	0.1	0.58164669	5.81646694

**Tabla 43.** Resultados del índice de resistencia convencional

**Fuente.** Los autores

De acuerdo con los resultados obtenidos mediante el software Excel, se tiene que la estructura clasificaría en este parámetro como (A), debido a que el valor de  $q$  es mayor a 1.

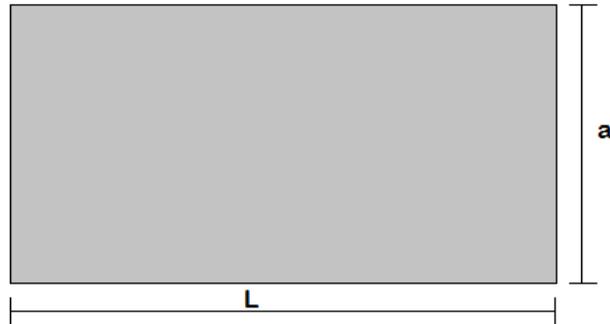
- POSICION DEL EDIFICION Y DE LA CIMENTACION (0.75)

De manera similar a la primera vivienda, esta edificación presenta una consistencia estable del suelo y pendientes muy bajas, mucho menores al 10%, además las construcciones están ubicadas a una misma cota y no hay presencia de empuje no equilibrado, por tal razón la opción más adecuada para el parámetro, teniendo en cuenta lo anterior, sería la (A).

- DIAFRAGMAS HORIZONTALES (1.00)

La vivienda no presenta ningún tipo de diafragma horizontal entonces para este parámetro la estructura es considerada de clasificación (D).

- CONFIGURACION EN PLANTA (0.50)



**Figura 33.** Forma de la vivienda

**Fuente.** Los autores

De acuerdo con las condicionales de forma se tiene que:

CONFIGURACION EN PLANTA	VALOR(m)
A	8.12
L	10.95

**Tabla 44.** Distancias en planta de la edificación

**Fuente.** Los autores

$\beta_1$	0.7415525114
-----------	--------------

**Tabla 45.** Resultado del parámetro “configuración en planta”

**Fuente.** Los autores

A partir del criterio que destaca el método trabajado, donde  $B_1$  es mayor a 0.6, pero menor a 0.8, la estructura se clasifica como (B).

- CONFIGURACION EN ELEVACION (1.00)

En esta edificación no se presentan ningún tipo de porches y torretas por lo cual los dos últimos aspectos no serán analizados en este parámetro, pero se clasificaran en tablas los aspectos evaluados:

CONFIGURACION EN ELEVACION	
T: distancia de la irregularidad	0
H: altura total del edificio	4,52
A: área del piso de abajo	88.914
$\Delta A$ : cambio de área	0
Área de porche	0

**Tabla 46.** Características en elevación de la edificación

**Fuente.** Los autores

T/H	$\Delta A/A$ (%)	$\Delta$ porche
0	0	0

**Tabla 47.** Resultados del parámetro “configuración en elevación”

**Fuente.** Los autores

De acuerdo a lo anterior en este aspecto la edificación se cataloga como clasificación (A), puesto que no presenta aumento de área entre los pisos y no cuenta con salidas o protuberancias en altura.

- DISTANCIA MAXIMA 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 lo anterior se evalúa la condición más desfavorable, es decir, donde la relación sea mayor.

DISTANCIA ENTRE MUROS	Distancia(m)
L: Espaciamiento de los muros transversales	3.4
S: Espesor del muro maestro	0.3

**Tabla 48.** Distancia y espesor de muros transversales

**Fuente.** Los autores

L/S
11.33

**Tabla 49.** Relación entre la distancia y espesor de muros transversales

**Fuente.** Los autores

De acuerdo a lo anterior, se obtuvo una relación de 11.33, por lo que el factor es menor a 15, es por eso que la clasificación más adecuada es la (A).

- TIPO DECUBIERTA (1.00)

Para este parámetro se distinguieron 4 aspectos muy importantes, los cuales son: la estabilidad de la cubierta, si se encuentra bien sujeta a las paredes ortogonales, su pendiente y si posee viga cumbreira. Análogamente a la primera edificación, en esta vivienda se presenta una cubierta tipo “par y nudillo”, por lo que la clasificación más adecuada es la (D).

- ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES (0.25)

La vivienda tiene una clasificación (B) debido a que presenta algunos elementos de pequeña dimensión como cornisas y parapetos que a simple vista se puede decir que se encuentran muy bien vinculados a la pared.



- ESTADO DE CONSERVACION (1.00)

En este parámetro se tienen en cuenta si la estructura posee las lesiones capilares sufridas por algunos muros. No se encontró en esta edificación ningún tipo de lesión sobre los muros, por lo que la edificación se clasifica como (A).



### 5.5.2. ANALISIS DE LA VIVIENDA UBICADA EN LA CALLE SAN PEDRO MARTIR.

PARAMETROS	CLASE $K_i$				PESO
	A	B	C	D	$W_i$
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.				45	1,00
10. Elementos no estructurales.		0			0,25
11. Estado de conservación.	0				1,00

**Tabla 50.** Resultado de los parámetros de la casa 5

**Fuente.** Los autores

Se evalúa el índice de vulnerabilidad multiplicando la clasificación que se obtiene 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:

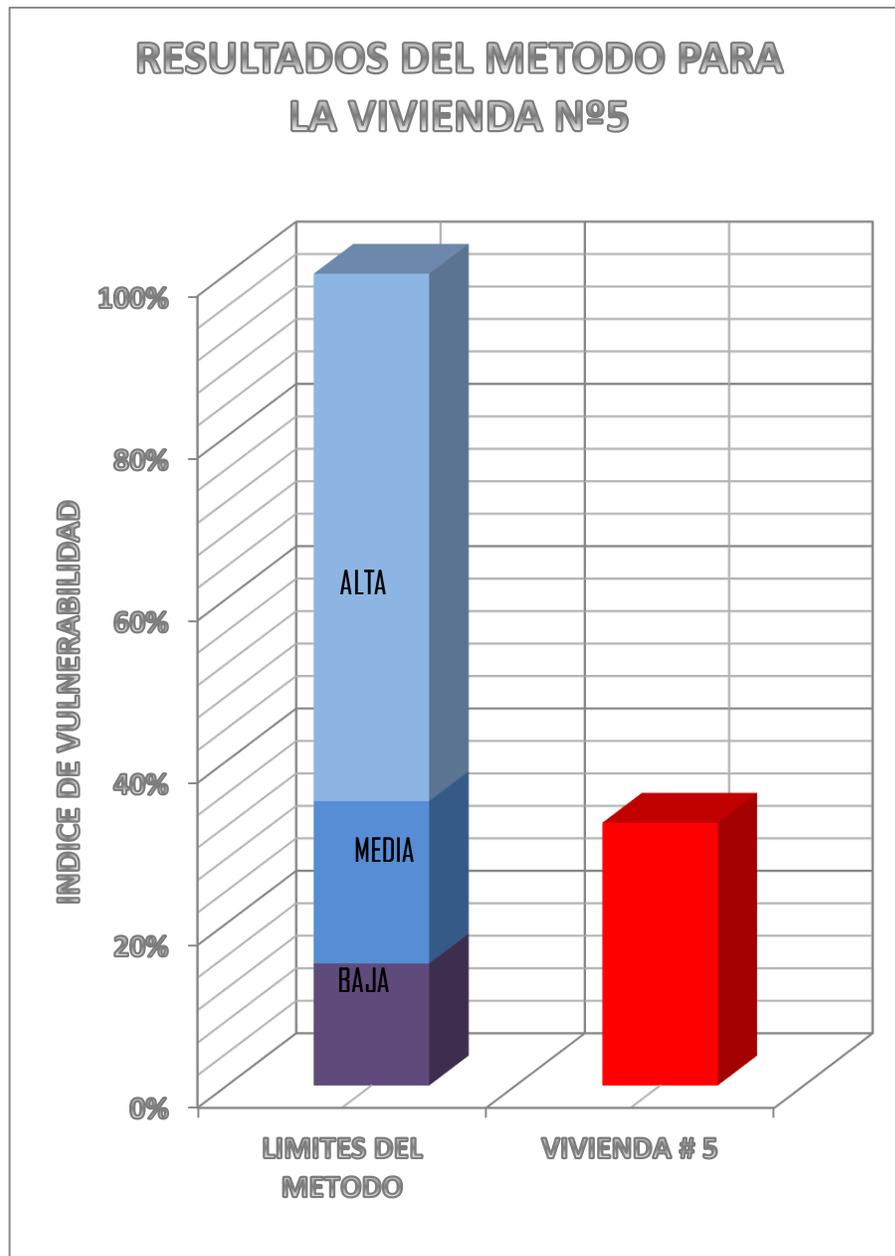
$$IV = 123.75$$

Para ubicarlo en una escala normalizada entre 0 y 100 se dividió entre 3.825 y se obtuvo:

$$IV = 123.75/3.825$$

$$IV = 32.35\%$$

Como el valor es menor al 35% y mayor al 15%, entonces la estructura se ubica en un índice de vulnerabilidad medio.



**Grafico 5.** Resultado de la vivienda N°5

**Fuente.** Los autores



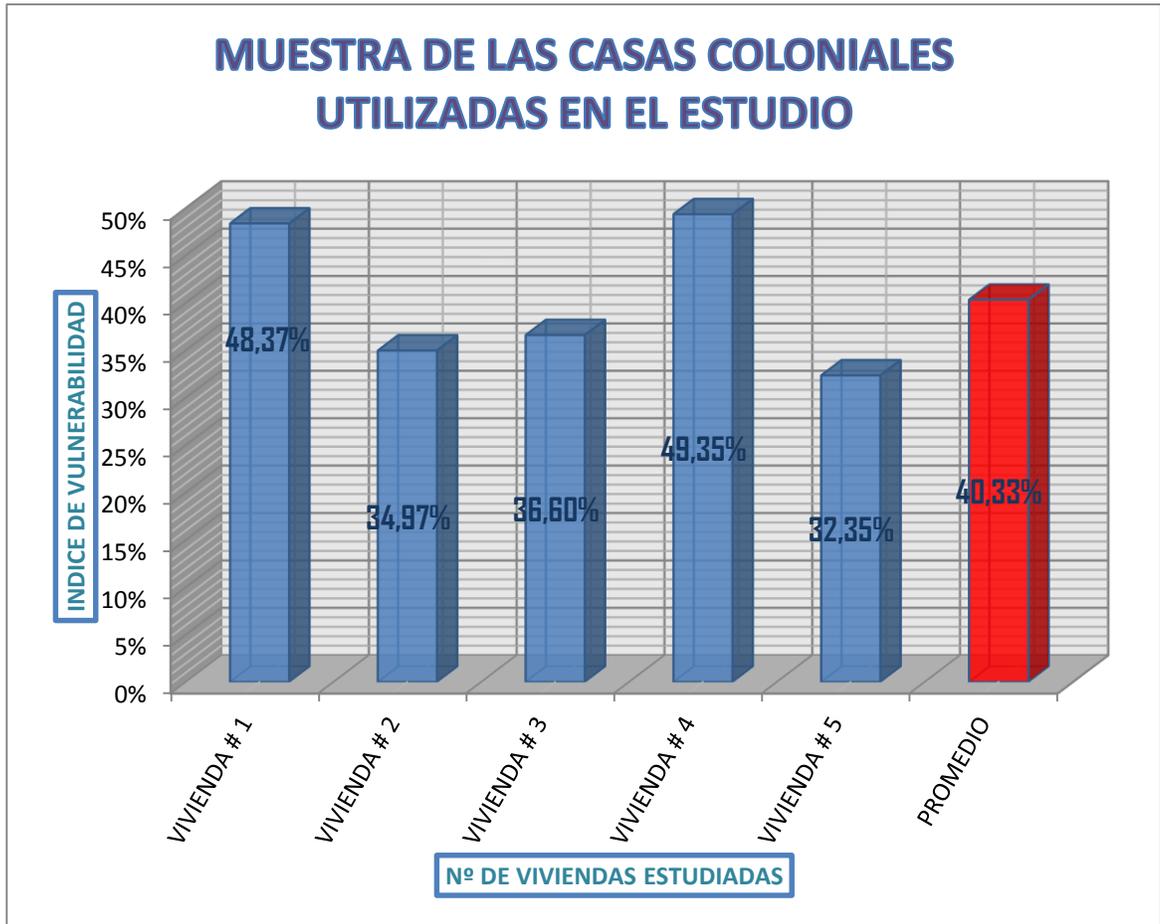
## 6. TABLA DE RESULTADOS

PARAMETROS	INDICE DE VULNERABILIDAD DE CASAS COLONIALES DEL BARRIO SAN DIEGO DE LA CIUDAD DE CARTAGENA				
	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4	MUESTRA 5
	CALLE SAN PEDRO MARTIR	CALLE DE LA BOMBA	CALLE EL JARDIN	CALLE DEL QUERO	CALLE NUESTRA SEÑORA DEL PILAR
P1	C	C	C	C	C
P2	D	D	D	D	D
P3	A	A	A	A	A
P4	A	A	A	A	A
P5	D	A	D	D	D
P6	C	A	C	D	B
P7	A	A	A	A	A
P8	C	C	C	A	A
P9	D	D	D	D	D
P10	B	C	B	B	B
P11	D	D	A	D	A
IV%	48.37%	34.97%	36.6%	49.35%	32.35%
IV% PROMEDIO	40.33% INDICE DE VULNERABILIDAD ALTO				

**Tabla 51.** Resultado promedio de todas las viviendas estudiadas

**Fuente.** Los autores

Escala: <15% Vulnerabilidad baja  
15% =< x =< 35% Vulnerabilidad media  
>35% Vulnerabilidad alta



**Grafico 6.** Resultado promedio de todas las viviendas estudiadas

**Fuente.** Los autores



## 7. RECOMENDACIONES

Luego de desarrollar la investigación correspondiente al presente trabajo de grado, se han analizado los resultados con el fin de mejorar las condiciones de vulnerabilidad del barrio San Diego, por lo tanto se proponen las siguientes recomendaciones:

- Corregir daños en el estado patológico tales como humedad, fisuras, corrosión, picaduras, goteras, eflorescencia y demás, de aquellas casas que lo requieran.
- Aquellas casas coloniales que no presenten cambios republicanos en cuanto al diafragma horizontal, añadirle una losa que rigidice más el edificio, con el fin de disminuir el índice de vulnerabilidad.
- Ligar aquellos elementos no estructurales que no se encuentren bien vinculados a la edificación como lo son cornisas y parapetos, los cuales se observaron mucho en este tipo de edificaciones.
- En cuanto al tipo de cubierta, se recomienda la modificación y/o sustitución de aquellas maderas deterioradas por maderas recias y de cuerpo entero, además de inmunizarla para evitar el comején en ellas. En las conexiones con los muros, se deben aplicar sustancias impermeabilizantes tal que aíslen la humedad contenida en los muros de la integridad de la madera.
- En la arquitectura doméstica de la época colonial se realizaban muros de gran tamaño y espesor, pero se ubicaban a grandes distancias de separación, lo que causa aumento en las condiciones de vulnerabilidad, es por eso que se deberían implementar muros estructurales intermedios en donde estas distancias sean más largas, y específicamente donde no interrumpen con las características del espacio.
- Ampliar el estudio a partir de un estudio de vulnerabilidad cuantitativa que permita un análisis exhaustivo de las edificaciones del sector.



## 8. CONCLUSIONES

- El estado patológico juega un papel importante a la hora de realizar un análisis de vulnerabilidad, por tal razón al caracterizar y localizar detalladamente las enfermedades que fustigan la edificación, tales como la presencia de humedad, eflorescencia, grietas, corrosión, picaduras y goteras, se establece un índice que determina el estado de conservación de la estructura.
- Las casas coloniales del barrio San Diego presentan cubiertas de tipo “par e hilera” y “par y nudillo”, las cuales se caracterizan por sus grandes pendientes, lo que las hace más susceptibles ante algún tipo de evento. Además muchas de estas cubiertas se encuentran deterioradas en algunos de sus elementos, bien sean pares, hilera o nudillos, debido al largo tiempo que llevan construidas.
- El método de vulnerabilidad cualitativa empleado para el análisis del barrio San Diego permitió un estudio preliminar de determinada parte del centro histórico de la ciudad de Cartagena. A través del estudio se encontró que dicho barrio presenta un índice de vulnerabilidad de 40,33%, por lo que se caracteriza con una vulnerabilidad alta, es decir, mayor al 35% que es el límite que expone el método, y a partir del resultado se puede concluir que se hace necesario emplear un análisis cuantitativo para determinar con más precisión qué tan susceptible son estas edificaciones.
- La mayoría de las edificaciones del barrio San Diego no poseen diafragmas horizontales, esto se debe a que las casas coloniales, es decir las construidas antes de inicios del siglo XIX, no se les construía losas rígidas, y esto incide en el índice de vulnerabilidad calculado. Algunas de estas casas tienen buenos diafragmas horizontales debido a que se le han realizado modificaciones, a este tipo de casas se les llama “casa colonial sobre republicana” y ayuda que se mejoren las condiciones de vulnerabilidad.



- Las casas coloniales del barrio San Diego presentan muros estructurales contruidos con pedazo de ladrillo, piedra y coral triturado, mal trabado y vinculado entre sí, lo que ocasiona que dichas estructuras sean aun más vulnerables.
- Las viviendas estudiadas poseen elementos no estructurales bien adosados a la edificación en la mayoría de los casos, lo que hace que sean más seguras.
- Una de las características más relevantes de las edificaciones domesticas coloniales, son los grandes espacios vacíos en donde se ubica el patio y alrededor de este se encuentran los demás elementos de la vivienda, tales como la sala, habitaciones cocina, y demás, factor que proporciona que el índice de vulnerabilidad aumente.



## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Ahumada, J., & Rodríguez, N. (2011). *Estudio de vulnerabilidad sísmica utilizando el método de índice de vulnerabilidad en viviendas construidas en el barrio La Paz, Barranquilla.*
- Anquizola, E. (2012) *Vulnerabilidad sísmica estructural en la Ciudad de David, Panamá.*
- Caballero, A. (2007). *Determinación de la vulnerabilidad sísmica por medio del método de índice de vulnerabilidad en las estructuras ubicadas en el centro histórico de la ciudad de Sincelejo, utilizando tecnología del sistema de información geográfica.*
- Campusano, D., Aguilera, C., Barba, P., & Pareja, F. (2011). *Aplicación del índice de vulnerabilidad GNDT para edificaciones patrimoniales en iglesia Santa Ana, Valparaiso, Chile.* Universidad de Chile.
- Cardona, O. (2000). *Modelación numérica para la estimación del riesgo sísmico urbano, considerando variables técnicas, sociales y económicas.*
- CASTRO, C. (2011). *Diagnostico de construccion en Ayacucho, Peru.* Ayacucho, Peru.
- *cibimena.* (s.f.). Recuperado el 15 de 08 de 2014, de <http://cidbimena.desastres.hn/docum/ops/Edan/publicaciones/Fundamentos/FundamentosAll.pdf>
- *CONSTRUWEB.* Recuperado el 15 de 08 de 2014, de <http://www.constru.web.co/guias/guiaPCC1/guiaingenieriaestructumetvulnerab.htm>



- Covo, J. (1988). *Arquitectura colonial*.
- ERN, C. (2011). *Vulnerabilidad de edificaciones e infraestructura*.
- Hernández, J., & Lockhart, S. (2010). Fuente Académica Premier EBSCO HOST. *Metodología para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones de hormigón armado existente*.
- Hernández, M. (2002). *Evaluación del riesgo sísmico en zonas urbanas*. Tesis de grado, Cap. 3.
- Llanos, L., & Vidal, L. (2003). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica en escuela pública de Cali: una propuesta metodológica*.
- Maldonado, E., Chio, G., & Gómez, I. (2007). Academic Search Complete EBSCO HOST. *Índice de vulnerabilidad sísmica en edificaciones de mampostería basado en opiniones de expertos*.
- Maldonado, E., & Chia, G. (2009). EBSCO HOST. *Estimaciones de las funciones de vulnerabilidad sísmica en edificaciones en tierra*.
- Navia, J., & Barrera, E., (2007). *Determinación del índice de vulnerabilidad sísmica en viviendas de interés social de uno y dos pisos construidas con mampostería estructural en la ciudad de Bogotá*.
- Organización Panamericana de la salud OPS. (1999.2004). *Fundamentos para la mitigación de desastres en las instalaciones de salud. Organización mundial de la salud OMS*.



- Palomino, C. (1999). *Metodologías para estudios de vulnerabilidad sísmica estructural de edificaciones existentes*. Sociedad colombiana de ingenieros. Asociación colombiana de ingeniería sísmica.
- Reyes, N., Sarrias, A., & Montiel, J. (2009) *Metodología para la determinación de vulnerabilidad sísmica en edificaciones*.
- Rodríguez, J. R. (2001). *Estudio de vulnerabilidad sísmica del claustro Santo Domingo*. Cartagena.
- Romero, M. (1 septiembre 2011). EBSCO HOST. *Ciudad y riesgo sísmico: metodologías para la evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica*. 'Revista Iberoamericana de Urbanismo' núm. 6, p. 55-63.
- Salvador, S. (2003). DIALNET. *Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Análisis de su contribución al riesgo sísmico*.