

**VULNERABILIDAD DE CASAS ALTAS DE TIPO COLONIAL UBICADAS
EN EL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE CARTAGENA**



MIGUEL OSPINO HOYOS

MAURICIO TORRES CABARCAS

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL**

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

2016

**VULNERABILIDAD DE CASAS ALTAS DE TIPO COLONIAL UBICADAS
EN EL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE CARTAGENA**



DIRECTOR DEL PROYECTO
WALBERTO RIVERA MARTINEZ, MSc.
FACULTAD DE INGENIERÍA



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
CARTAGENA DE INDIAS D.T.Y C.

2016



UNIVERSIDAD
DE
CARTAGENA

Tesis de Grado: VULNERABILIDAD DE CASAS ALTAS DE TIPO
COLONIAL UBICADAS EN EL CENTRO HISTORICO
DE LA CIUDAD DE CARTAGENA

Autores: MIGUEL DAVID OSPINO HOYOS
MAURICIO JAVIER TORRES CABARCAS

Director: M.Sc. WALBERTO RIVERA MARTINEZ

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Cartagena de Indias, _____ de _____ de 2016

AGRADECIMIENTOS

Le agradecemos a Dios por habernos acompañado y guiado a lo largo de nuestra carrera, por ser nuestra fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarnos una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

Les damos las gracias a nuestros padres por apoyarnos en todo momento, por los valores que nos inculcaron, y por habernos dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de nuestra vida. Sobre todo por ser un excelente ejemplo de vida a seguir.

A nuestro director de proyecto el ingeniero Walberto Rivera, por su guía constante en el desarrollo del presente proyecto investigativo.

A los docentes los ingenieros Esteban Puello y Guillian Barbosa, junto al arquitecto Alfonso Cabrera por sus apreciados aportes que nos sirvieron de apoyo para desarrollar esta investigación.

Damos gracias a las personas encargadas de las edificaciones visitadas tanto propietarios como personal administrativo, todos por su ayuda y cordialidad.

A todos nuestros compañeros y amigos por convivir juntos en esta etapa.

CONTENIDO

RESUMEN.....	14
ABSTRACT	15
INTRODUCCIÓN	16
1. MARCO REFERENCIAL	19
1.1 ESTADO DEL ARTE	19
1.1.1 Antecedentes	19
1.2 MARCO TEÓRICO	27
1.2.1 Generalidades.....	27
2. OBJETIVOS.....	42
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	42
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	42
3. ALCANCE	43
3.1 DELIMITACIÓN ESPACIAL	44
3.2 DELIMITACIÓN TEMPORAL.....	47
3.3 PRODUCTO FINAL A ENTREGAR Y PRODUCTOS COMPLEMENTARIOS.....	47
3.4 EXCEPCIONES Y/O LIMITACIONES	48
4. METODOLOGÍA	49
4.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA.....	49
4.2 ANÁLISIS DE INFORMACIÓN SECUNDARIA.....	50
4.3 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN PRIMARIA	50
4.4 ANÁLISIS DE INFORMACIÓN PRIMARIA	51
4.4.1 Parámetros del método.....	52

4.5 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS OBTENIDOS	63
4.6 PREPARACIÓN Y PRESENTACIÓN DEL INFORME FINAL.....	63
5. RESULTADOS Y DISCUSION.....	64
5.1 ANALISIS DE VULNERABILIDAD DE LA CASA N° 1 DEL CENTRO HISTORICO.	64
5.2 CALIDAD DEL SISTEMA RESISTENTE (0.25)	65
5.3 RESISTENCIA CONVENCIONAL (1.5)	66
5.3.1 Análisis de la Edificación n° 1 ubicada en la Calle san Agustín.	78
5.4 ANALISIS DE VULNERABILIDAD DE LA CASA N° 2 DEL CENTRO HISTORICO.	80
PARAMETROS.....	81
5.5 ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA RESISTENTE (1.00)	81
5.6 CALIDAD DEL SISTEMA RESISTENTE (0.25)	81
5.7 RESISTENCIA CONVENCIONAL (1.5)	81
5.7.1 Analisis de la Edificacion n° 2 Ubicada en la Calle del Cuartel.....	91
5.8 ANALISIS DE VULNERABILIDAD DE LA CASA N° 3 DEL CENTRO HISTORICO.	93
PARAMETROS.....	94
5.9 ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA RESISTENTE (1.00)	94
5.10 CALIDAD DEL SISTEMA RESISTENTE (0.25)	94
5.11 RESISTENCIA CONVENCIONAL (1.5)	94
5.10.1 Analisis de la Edificacion n° 3 Ubicada en la Calle Santo Domingo.	104
5.11 ANALISIS DE VULNERABILIDAD DE LA CASA N° 4 DEL CENTRO HISTORICO.	
.....	106
PARAMETROS.....	107
5.12 ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA RESISTENTE (1.00)	107
5.13 CALIDAD DEL SISTEMA RESISTENTE (0.25)	107

5.14 RESISTENCIA CONVENCIONAL (1.5)	107
5.14.1 Análisis de la Edificación n° 4 Ubicada en la Calle Don Sancho.....	115
5.15 ANALISIS DE VULNERABILIDAD DE LA CASA N° 3 DEL CENTRO HISTORICO.	117
PARAMETROS.....	118
5.16 ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA RESISTENTE (1.00)	118
5.17 CALIDAD DEL SISTEMA RESISTENTE (0.25)	118
5.18 RESISTENCIA CONVENCIONAL (1.5)	118
5.18.1 análisis de la edificación n° 5 ubicada en la calle santo domingo.	128
6. TABLA DE RESULTADOS.....	130
RECOMENDACIONES	132
CONCLUSIONES	134
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	136

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Escala numérica de índice de vulnerabilidad de Benedetti	51
Tabla 2. Descripción de la edificación	67
Tabla 3. Área de los muros en x y en y	67
Tabla 4. Resultado del cálculo del parámetro	67
Tabla 5. Distancias en planta de la edificación	70
Tabla 6. Cálculos del parámetro.....	70
Tabla 7. Características en elevación de la edificación.....	70
Tabla 8. Resultados del parámetro.	71
Tabla 9. Distancia y espesor de muros transversales	71
Tabla 10. Relación entre la distancia y espesor de muros transversales	71
Tabla 11. Resultado de los parámetros.....	78
Tabla 12. Descripción de la edificación	82
Tabla 13. Área de los muros en x y en y	82
Tabla 14. Área resistente de los muros en x y en y	82
Tabla 15. Resultado del cálculo del parámetro	82
Tabla 16. Distancias en planta de la edificación	84
Tabla 17. Cálculos del parámetro.....	84
Tabla 18. Características en elevación de la edificación.....	85
Tabla 19. Resultados del parámetro.	85
Tabla 20. Distancia y espesor de muros transversales	86
Tabla 21. Relación entre la distancia y espesor de muros transversales	86
Tabla 22. Resultado de los parámetros.....	91

Tabla 23. Descripción de la edificación	95
Tabla 24. Área resistente de los muros en x y en y	95
Tabla 25. Área de los muros en x y en y	95
Tabla 26. Cálculos del parámetro.....	95
Tabla 27. Resultado del cálculo del parámetro	96
Tabla 28. Distancias en planta de la edificación	97
Tabla 29. Características en elevación de la edificación.....	98
Tabla 30. Resultados del parámetro.	98
Tabla 31. Distancia y espesor de muros transversales	99
Tabla 32. Relación entre la distancia y espesor de muros transversales	99
Tabla 33. Resultado de los parámetros.....	104
Tabla 34. Descripción de la edificación	108
Tabla 35. Área de los muros en x y en y	108
Tabla 36. Área resistente de los muros en x y en y	108
Tabla 37. Área resistente de los muros en x y en y	108
Tabla 38. Resultado del cálculo del parámetro	109
Tabla 39. Distancias en planta de la edificación	110
Tabla 40. Cálculos del parámetro.....	110
Tabla 41. Características en elevación de la edificación.....	111
Tabla 42. Resultados del parámetro.	111
Tabla 43. Distancia y espesor de muros transversales	112
Tabla 44. Relación entre la distancia y espesor de muros transversales	112
Tabla 45. Resultado de los parámetros.....	115
Tabla 46. Descripción de la edificación	119

Tabla 47. Área de los muros en x y en y	119
Tabla 48. Área resistente de los muros en x y en y	119
Tabla 49. Área resistente de los muros en x y en y	119
Tabla 50. Resultado del cálculo del parámetro	120
Tabla 51. Distancias en planta de la edificación	121
Tabla 52. Cálculos del parámetro.....	122
Tabla 53. Características en elevación de la edificación.....	122
Tabla 54. Resultados del parámetro.	123
Tabla 55. Distancia y espesor de muros transversales	123
Tabla 56. Relación entre la distancia y espesor de muros transversales	123
Tabla 57. Resultado de los parámetros.....	128
Tabla 58. Promedio de IV de edificaciones.	130

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación centro histórico de la ciudad de Cartagena.....	44
Figura 2. Ubicación de la casa N° 1 en la calle San Agustín.	45
Figura 3. Ubicación de la casa N° 2 en la calle del Cuartel.	45
Figura 4. Ubicación de la casa N° 3 en la calle Santo Domingo.	46
Figura 5. Ubicación de la casa N° 4 en la calle Don Sancho.	46
Figura 6. Ubicación de la casa N° 5 en la calle Santo Domingo.	47
Figura 7. Configuración en planta de la estructura	57
Figura 8. Configuración en elevación de la estructura.....	59
Figura 9. Configuración de los muros en planta y su respectiva separación	59
Figura 10. Fachada de la edificación.....	64
Figura 11. Muro mixto	66
Figura 12. Forma de la edificación.....	69
Figura 13. Cubierta.....	72
Figura 14. Cubierta.....	73
Figura 15. Cornisas y Balcones.....	75
Figura 16. Lesiones capilares.....	76
Figura 17. Lesiones capilares.....	77
Figura 18. Fachada de la edificación.....	80
Figura 19. Forma de la edificación.....	84
Figura 20. Cubierta.....	87
Figura 21. Cubierta.....	88
Figura 22. Elementos no estructurales.	89

Figura 23. Estado de conservación.....	90
Figura 24. Fachada de la edificación.....	93
Figura 25. Forma de la edificación.....	97
Figura 26. Cubierta.....	100
Figura 27. Cubierta.....	101
Figura 28. Elementos no estructurales.	102
Figura 29. Estado de conservación.....	103
Figura 30. Fachada de la edificación.....	106
Figura 31. Forma de la edificación.....	110
Figura 32. Cubierta de la edificación	113
Figura 33. Cubierta de la edificación.	113
Figura 34. Estado de conservación.....	114
Figura 35. Fachada de la edificación.....	117
Figura 36. Forma de la edificación.....	121
Figura 37. Cubierta.....	124
Figura 38. Cubierta.....	124
Figura 39. Elementos no estructurales.	125
Figura 40. Estado de conservación.....	126
Figura 41. Estado de conservación.....	127

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Resultado de la edificación N°1	79
Gráfico 2. Resultado de la edificación N°2	92
Gráfico 3. Resultado de la edificación N°3	105
Gráfico 4. Resultado de la edificación N°4	116
Gráfico 5. Resultado de la edificación N°5	129
Gráfico 6. Ponderado de todas las casas.	131

RESUMEN

El presente estudio tiene como fin establecer la vulnerabilidad de las casas altas coloniales del barrio Centro teniendo como base el empleo del método cualitativo denominado índice de vulnerabilidad. Por medio de una revisión bibliográfica de todos los parámetros que conforman el método empleado, entrevistas con profesionales especializados en el tema, y un profundo análisis de antecedentes, se llevó a cabo una inspección visual detallada por medio de archivos fotográficos, mediciones y levantamiento del predio, estableciendo de esta manera una investigación de tipo descriptivo. Para la etapa de recolección de información primaria se seleccionaron 5 muestras específicas de la zona, de las cuales se incluyeron casas altas con o sin entre piso. Se determinaron los factores más influyentes que hacen estas viviendas susceptibles, entre los cuales, las cubiertas mal enlazadas con los muros ortogonales, la ausencia de diafragmas horizontales rígidos, el tipo de mampostería estructural y la constitución de la misma. Sin embargo, se determinó el estado patológico, separación de muros estructurales, calidad y organización del sistema resistente. Así mismo, se obtuvo un resultado de vulnerabilidad ponderado de 31,58%, lo que indicó una vulnerabilidad media para este tipo de casas. Con base en lo anterior se realizaron las recomendaciones pertinentes que permitan el mantenimiento y/o mejoramiento de las casas coloniales del centro histórico.

ABSTRACT

This study aims to establish the vulnerability of the colonial upper houses of the neighborhood centro on the basis of the use of qualitative method called vulnerability index. Through a literature review of all parameters that make up the method, interviews with professionals specialized in the subject, and a thorough analysis of history, conducted a detailed visual inspection by means of photographic archives, measurements and survey of the property, thus establishing an investigation descriptive. For the collection stage primary information 5 Specific samples of the area, which included high houses with or without mezzanine floor were selected. the most influential factors that make these susceptible homes, among which covers poorly linked to the orthogonal walls were determined, the absence of rigid horizontal diaphragms, the type of structural masonry and the constitution thereof. However, the disease state, separation of structural walls, resistant quality and organization system was determined. Likewise, a result of weighted vulnerability of 31.58% was obtained, indicating an average vulnerability to such homes. Based on the above, the relevant recommendations to the maintenance and / or improvement of the historic center colonial houses were made.

INTRODUCCIÓN

En la ciudad de Cartagena especialmente en su centro histórico existen edificaciones antiguas declaradas patrimonio histórico de la humanidad de las cuales una gran mayoría fueron construidas en el periodo colonial y por esto pueden estar expuestas a presentar deterioro en sus materiales de construcción, además en el momento de la construcción de estas no se contemplaban normas de prevención de daños por sismo. Es importante realizar una inspección para saber de qué manera pueden verse afectadas las estructuras por la presencia de un sismo, y a su vez saber en qué estado se encuentran estos materiales y, en caso de necesitar una rehabilitación, saber qué tipo de intervención debe realizarse.

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

Se realizó un estudio de reconocimiento que precise el estado actual de las estructuras en las edificaciones seleccionadas del centro histórico de la ciudad, y proceder al análisis de la información tomada. El principal objetivo de este proyecto es determinar el grado de vulnerabilidad con el fin de establecer posibles riesgos y facilitar la búsqueda de soluciones en el mejoramiento y mantenimiento de estas edificaciones.

Para llevar a cabo este proyecto se tomaron como referencia investigaciones que se realizaron anteriormente en distintas regiones de Colombia y a nivel internacional. Uno de los estudios realizados se titula “*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. Con el fin de determinar el grado de vulnerabilidad sísmica en las casas de interés social de una y dos plantas construidas con mampostería estructural, debido a que por su bajo costo, podrían no cumplir con las condiciones necesarias en materia de seguridad.

Otro trabajo analizado fue el “*Estudio De La Vulnerabilidad Sísmica De La Catedral De Cuzco*”. Este estudio fue realizado por los ingenieros J. Olarte, R. Proaño, H. scaletti, M. Torres, C. Zavala, para la Universidad Nacional de Ingeniería. Este estudio se realizó debido a que la ciudad de cuzco presenta una alta sismicidad y la catedral ha sido sometida a varios sismos en el pasado los cuales solo han afectado elementos no estructurales. También 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 fin evaluar el grado de vulnerabilidad sísmica en que se encontraban las escuelas públicas de la Ciudad de Cali a través de una muestra representativa.

Este estudio pertenece a la línea de investigación de Seguridad Estructural, el cual analiza el estado de las estructuras por el método del índice de vulnerabilidad cuyo objetivo es determinar el grado de vulnerabilidad al cual están expuestas las edificaciones localizadas en el centro histórico de Cartagena.

La línea es dirigida por el grupo de investigación Esconpat y tiene como investigador principal al Ing. Walberto Rivera, Director de esta investigación.

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 ESTADO DEL ARTE

La ciudad de Cartagena contiene edificaciones antiguas declaradas patrimonio histórico de la humanidad especialmente en su centro histórico, de las cuales una gran mayoría fueron construidas en el periodo colonial y por esto pueden estar expuestas a presentar deterioro en sus materiales de construcción lo que podría traer consecuencias negativas afectando la estructura propia y a su vez la integridad de las personas que se encuentren en éstas, además en el momento de su construcción no contemplaban normas de prevención de daños por sismo. Es importante efectuar una inspección para saber de qué manera pueden verse afectadas las estructuras por la presencia de un sismo.

A continuación se presenta una recopilación de información precedente al actual proyecto investigativo que se toma como referencia para conocer el alcance que ha tenido el tema de vulnerabilidad sísmica en las estructuras.

1.1.1 Antecedentes

A principio de siglo pasado se originaron los estudios de vulnerabilidad debido a la ocurrencia de sismos en diferentes partes del mundo como el de Menisa Italia en 1908, Tokio Japón en 1923, o de San Francisco USA 1906. Este tema gano importancia debido a la necesidad de conocer los efectos que provocan los sismos en las edificaciones para poder tomar medidas

preventivas para el futuro, fue entonces cuando surgieron los conceptos de diseños sismo-resistentes en Japón y USA (caballero 2007).

En el país los sismos que se presentaron en los años 90 como el de Atrato medio en 1992, Paes en 1994, Tauramena en 1985 y Pereira en 1995 demostró la necesidad de actualizar la norma de diseño sismo-resistente de 1984 para que se incluyeran nuevos esquemas de seguridad que permitieran desarrollar técnicas constructivas más confiables dando como resultado una nueva norma en 1997 la cual especifico un método para analizar la vulnerabilidad sísmica en edificaciones construidas antes de 1998.

En la ciudad de Cartagena no existe gran cantidad de estudios donde se determine la vulnerabilidad en las estructuras, más aun cuando existen numerosas edificaciones de vital importancia en la ciudad especialmente en su centro histórico, que ameritan su conservación

En la universidad de Cartagena en el año 2010 se llevó a cabo un estudio de **Vulnerabilidad Sísmica Y Patología Estructural De La Muralla Sector Bóvedas – Hotel Santa Clara** a cargo de los ingenieros José Ángel Cueto Ferreira y Eliana Granger Serrano en donde determinaron por medio de visitas a campo patologías como: caries superficiales, canales de drenaje, caries profundas, perdida de piedras calizas, entre otros.

Estas patologías se presentaban en forma de grietas profundas en la muralla Realizaron un estudio sísmico en la zona usando el programa SAP 2000, teniendo como datos de entrada la resistencia del material, cargas vivas, cargas muertas, etc. Esto con el fin de lograr la mayor aproximación del modelo.

Con base a esto concluyeron que los requisitos de deriva y desplazamiento, no debían excederla y determinaron diferentes soluciones mejorar la unión entre tocas y el cambio definitivo de algunos bloques muy deteriorados. (Cueto & Granger, 2010)

A continuación se presentan estudios similares acerca del tema del actual proyecto de investigación:

- *Estudios realizados*

Uno de los estudios realizados se titula “*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. Con el fin de determinar el grado de vulnerabilidad sísmica en las casas de interés social de una y dos plantas construidas con mampostería estructural, debido a que por su bajo costo, podrían no cumplir con las condiciones necesarias en materia de seguridad.

Los investigadores realizaron una microzonificación en el sitio con el fin de identificar las viviendas con las que se realizaron los formatos de campo, los planos de aproximación y la aplicación de parámetros para luego determinar el índice de vulnerabilidad, seguido a la aplicación de los parámetros planteados por el método donde se analizaron aspectos como la resistencia convencional, diafragmas horizontales, sistema resistentes, etc.

Concluyeron que este tipo de viviendas entregadas por las instituciones encargadas muchas veces por optimizar el uso de los recursos prima el número de viviendas por entregar sobre la seguridad estructural de las mismas. (Navia & Barrera, 2007)

La limitación en este estudio realizado se encuentra en el tipo de edificaciones, debido a que tanto el diseño como los materiales presentan diferencias significativas.

En la ciudad de Manizales, Caldas se realizó un estudio de *“Patología y Vulnerabilidad Sísmica Del Edificio Palacio Nacional De Justicia Fanny Gonzalez Franco”*. Se llevó a cabo por los ingenieros Octavio Arregoces Torregrosa y AlvaroHernandez Suarez. El objetivo era recopilar información acerca de la metodología constructiva de la edificación, los planos arquitectónicos y estructurales, levantamiento fotográfico de la construcción y los registros de interventoría. Luego determinaron el estado actual de la edificación realizando ensayos como: extracción de núcleos de concreto de los elementos estructurales para determinar su resistencia actual, ensayo del esclerómetro para determinar la resistencia del concreto aproximada lo cual se usa para verificar los datos obtenidos en el ensayo de compresión axial y ensayo de carbonatación para saber que tan expuesto se encuentra el acero a los agentes patógenos del ambiente.

Una vez conocido el estado actual de las estructuras realizan un modelo de computación con información de entrada como la resistencia del concreto y del acero determinadas y las cargas presentes en la edificación.

Seguidamente por el modelo determinaron parámetros como los índices de sobreesfuerzo flexibilidad. A través de un análisis sísmico se determinó que la estructura se encontraba en mal

estado debido a que muchas de las derivas en los pisos fueron excesivas y los índices de sobreesfuerzo fueron mayores a los admisibles. Con base en todos los datos obtenidos propusieron algunas alternativas de solución como: inclusión de muros estructurales para dar rigidez y evitar desplazamientos excesivos y disipadores histeréticos en los lugares de arriostramiento que reduzca al máximo los desplazamientos. (Arregoces & Hernandez)

Dentro de las limitaciones del estudio se encuentran diferencias en la metodología aplicada, ya que este incluye ensayos de laboratorio y pruebas técnicas acerca de la resistencia del concreto en lugar.

“Estudio De La Vulnerabilidad Sísmica De La Catedral De Cuzco”

Este estudio fue realizado por los ingenieros J. Olarte, R. Proaño, H. scaletti, M. Torres, C. Zavala, para la Universidad Nacional de Ingeniería. Este estudio se realizó debido a que la ciudad de cuzco presenta una alta sismicidad y la catedral ha sido sometida a varios sismos en el pasado los cuales solo han afectado elementos no estructurales. El estudio se inició con visitas de inspección donde se determinaron los elementos estructurales como pilares de 5m de longitud que superficialmente fue construido con rocas y en la parte interna con un material de relleno de buena calidad que soporta las cargas de compresión, pudieron observar que los pilares actúan como muros de contención debido a la presión generada por el suelo hacia la superficie de pilar, también encontraron arcos que sirven de amarre entre pilares.

Se realizaron ensayos para determinar la resistencia de los pilares a partir de la extracción de probetas de 5 y 10 centímetros de diámetro. Los esfuerzos resistentes de compresión son más

grandes que los obtenidos en estos ensayos debido al fenómeno del tamaño, luego realizaron estudios de suelos donde se observó que la catedral se encuentra sobre una arena arcillosa lo que dificulta la acción de respuesta de las cimentaciones a las cargas sobre impuestas.

Una vez obtenidas todas las características de los materiales y la geometría de la catedral se usó un programa de computación (SAP2000). Posteriormente se sometió el modelo a un sismo de diseño y unas cargas gravitacionales con el fin de chequear que los esfuerzos provocados no fueran mayores a los permitidos por la estructura y evitar fallas por rotura.

Una vez realizado el análisis estructural concluyeron que se están generando tensiones en los elementos lo cual amerita intervención inmediata, que se traduce en colocar refuerzos en estos lugares para evitar daños como grietas y fisuras que deterioren la edificación. (Olarte, Proaño, Torres, & Zavala)

La limitación del estudio está en el método utilizado para el estudio de vulnerabilidad, que incluye pruebas técnicas para la resistencia del concreto.

Otro estudio realizado fuera del país fue el de “*Metodología Para La Determinación De La Vulnerabilidad Sísmica En Edificaciones De Managua, Nicaragua*”. El estudio fue realizado por Norwin Reyes Loaisiga, Aiser Sarria Sirias y Julio Maltes Montiel en la ciudad de Managua, Nicaragua.

Primero delimitaron la metodología empleada para la resolución del problema, luego el análisis y resultado del grado de vulnerabilidad sísmica a la cual pertenecen las viviendas de mampostería confinada del barrio 14 de Junio.

En este proyecto tuvieron en cuenta el método italiano de índice de vulnerabilidad evaluando las edificaciones construidas por medio del programa RAVEM2002. Con este evaluaron los aspectos del método como la organización del sistema resistente, diafragmas horizontales, configuración en plantas, etc.

Dentro de las conclusiones del proyecto se encontraron que las viviendas en mampostería confinada en la zona del estudio presentaron un índice de vulnerabilidad medio, debido a tres factores importantes como distancias excesivas entre los muros, mala distribución entre muros resistentes e irregularidades en la configuración en planta. (Reyes, Sarria, & Montiel)

Dentro de las limitaciones de esta investigación se encuentra que solo se estudian edificaciones de mampostería confinada.

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 fin 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 a el estudio se encontraron con la existencia de varias edificaciones en un mismo establecimiento, con tipologías estructurales, aspectos constructivos y edades distintas, por lo cual tuvieron la necesidad de formular evaluaciones distintas para cada tipología; y además también concluyeron que el 56 % de los establecimientos educativos evaluados son altamente vulnerables, recomiendan que estos no sean destinados como albergues provisionales en caso de emergencia, ya que no garantizan la seguridad de las personas que se alojen en ellos. (Llanos & Vidal, 2003)

Como limitación del proyecto se observa que este determina la vulnerabilidad sísmica de las estructuras, sin embargo, no hizo énfasis en otras causantes de vulnerabilidad.

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 Arquitectura colonial de Cartagena. Este tipo de arquitectura está influenciada por los españoles, que se instalaron provisionalmente en el caserío abandonado por los indígenas, el cual fue transformado paulatinamente para adecuarlo a su estilo de vida. Después de realizar el

trazado de San Sebastián de Calamarí, procedieron a edificar sus viviendas, empleando materiales y técnicas de la Arquitectura Vernácula ya descrita. Antes de que se instalaran en la ciudad y su entorno, las canteras de piedra y de cal junto con las ladrilleras y tejares de arcilla cocida sirvieron para la construcción del mayor sistema de fortificaciones de América.

De acuerdo al uso de las edificaciones, la Arquitectura Colonial cartagenera se subdivide en: Domestica, Civil, Religiosa y Militar. (Eluniversal, 2011)

1.2.1.3 Arquitectura colonial domestica. Las casas coloniales cartageneras van desde un solo piso o casas bajas, hasta los cuatro pisos de las casas altas con entresuelo y mirador.

La vivienda colonial siempre se desarrolla en un solo nivel ya sea en la planta baja o en la planta alta de las edificaciones, sin importar la jerarquía de éstas, distribuida en crujías o bloques, paralelos o perpendiculares a la calle en forma de “I”, de “L”, de “C” o de “O”.

La forma de “I”, corresponde a las Accesorias en una sola crujía, angosta, profunda y perpendicular a la calle. La forma de “L” la tienen generalmente las casas bajas más modestas, en las cuales la crujía paralela al exterior, la conforman el Zaguán, la Antesala, y el Salón que siempre se asoma a la calle. La crujía perpendicular a esta, contiene las habitaciones, el corredor paralelo al patio interior, el Comedor y la Cocina.

La forma de “C” la llevan las Casas bajas y altas de cierta importancia, siguiendo la distribución anterior a excepción del comedor que enmarca el patio y de paso conforma un traspatio donde ubicaban los baños y las letrinas. En las casas altas la crujía paralela a la calle, tiene el zaguán

en la planta baja y el gran Salón en la planta alta, con un balcón que se asoma sobre la calle, y tribunas que sirven de desahogo a las recámaras, generalmente ubicadas en los extremos del salón. El entresuelo de las casas altas era empleado por los comerciantes para almacenar sus mercancías, y en la planta baja vivía la servidumbre.

Los pozos artesianos, individuales o compartidos y los aljibes subterráneos o elevados, complementan la dotación de la Arquitectura Domestica cartagenera.

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

Son representativos de esta Arquitectura en Cartagena de Indias, los edificios de La Real Aduana, la Gobernación de la Provincia, las Casas de la Contratación, de la Moneda, la del Consulado, y el Tribunal del Santo Oficio de la Inquisición, el cual también forma parte de la Arquitectura Religiosa. (ElUniversal, 2012)

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

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

También forman parte de esta Arquitectura, los cuarteles del Fijo y las Bóvedas, el Espigón de La Tenaza, los desaparecidos Revellines del Cabrero y La Media Luna y las escolleras de la Marina y Bocagrande. (Eluniversal, 2012)

1.2.1.7 Vulnerabilidad. El primer paso para analizar a fondo el término vulnerabilidad es proceder a determinar su origen etimológico. En este caso, tenemos que resaltar que dicha palabra emana del latín pues 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”. De ahí que vulnerabilidad pueda determinarse como “la cualidad que tiene alguien para poder ser herido”.

El concepto de vulnerabilidad puede aplicarse a un elemento o persona según su capacidad para prevenir, resistir y sobreponerse de un impacto

Otra aplicación de vulnerabilidad, está relacionada con los desastres naturales. Una zona vulnerable es aquella que aparece expuesta a un fenómeno con potencialidad destructora (por ejemplo, un pueblo desarrollado a los pies de un volcán activo).

La capacidad de recuperación que pueda tener la población, las infraestructuras que posee o sus gobiernos son otros de los factores que pueden hacer que un lugar sea más vulnerable que otro a determinadas catástrofes de este tipo.(definicion.de)

1.2.1.8 Daños en edificaciones. El daño en las edificaciones es un fenómeno que es muy difícil de modelar analíticamente o reproducir en laboratorios, que afecta cualquier tipo de estructura. En cuanto a las edificaciones se refiere, existen tres tipos principales de daños:

Daño estructural: Es el daño de mayor importancia que se puede presentar en una estructura. La ocurrencia de estos daños puede generar desde grandes costos de reparación, hasta la pérdida de vidas humanas por el colapso de la estructura. El daño estructural depende del comportamiento de los elementos resistentes de la estructura como son vigas, columnas, muros de carga, y sistemas de entrepiso. El comportamiento de estos depende con la calidad de los materiales con los que se construyen estos elementos, su configuración, y tipo de sistema resistente, y obviamente las cargas que actúan en ellos.

Daño no estructural: Este tipo de daño, como su nombre lo indica afecta los elementos que no forman parte del sistemas resistente, entre estos están, muros divisorios, ventanales, marcos, etc. A pesar de que este tipo de daño no arriesga la estabilidad de la estructura, si causa pérdidas económicas y en algunos casos pérdidas humanas como puede suceder con el colapso de un muro divisorio.

Daño económico: Es una forma de relacionar el índice de daño estructural con las pérdidas económicas de un edificio debido a un sismo.(Giraldo & Mendez, 2006)

1.2.1.9 Riesgo sísmico. Cuando se habla de riesgo sísmico hay que tener en cuenta tres términos que van de la mano con este término: Vulnerabilidad sísmica, peligrosidad sísmica y riesgo sísmico como tal. Debido a la relación directa de estos términos se debe encontrar una definición estándar que permita distinguirlas para su correcto uso. Para este fin se utilizarán las definiciones que algunos comités como el Instituto de Investigaciones en Ingeniería Sísmica (EERI), la Asociación Europea de Ingeniería Sísmica (EAEE), la Comisión de Seguridad Sísmica de California (CSSC), el Servicio Geológico de los U.S. (USGS), ya que estos han implementado una nomenclatura dentro del área de la sismología e ingeniería sísmica, que permiten aclarar las diferencias existentes. En base a esto el riesgo, la vulnerabilidad y la peligrosidad sísmica se pueden definir como:

1.2.1.10 Riesgo Sísmico. Representa la probabilidad de que una estructura o grupo de estructuras en riesgo, sufra uno o varios grados de daño durante un tiempo de exposición dado, es decir, el grado esperado de pérdidas sufridas por una estructura o grupo de estructuras en riesgo, durante el período de exposición considerado.

1.2.1.11 Peligrosidad Sísmica. Se entiende por peligrosidad Sísmica de una zona cualquier descripción de los efectos provocados por terremotos en el suelo de dicha zona. Estos efectos pueden venir representados mediante la aceleración, Velocidad, desplazamiento o por la intensidad sentida en el lugar y para evaluarlos es necesario analizar los fenómenos que ocurran desde la emisión de ondas sísmicas en el foco hasta que dichas ondas alcanzan el lugar en cuestión.(Caballero, 2007)

1.2.1.12 Vulnerabilidad Sísmica. Existen estructuras de una misma tipología que pueden sufrir un mayor grado de daño debido a un terremoto a pesar de ubicarse en el mismo sitio. Esto se debe a que existen estructuras con una calidad estructural mejor que otras, por lo tanto su vulnerabilidad es menor. Por ende se puede decir que la vulnerabilidad sísmica de una estructura es la capacidad de sus elementos estructurales para resistir un terremoto. El que una estructura sea más o menos vulnerable ante un terremoto es una propiedad intrínseca de cada estructura, es decir, es independiente de la peligrosidad sísmica del sitio en que estén ubicadas, por lo tanto, una estructura puede ser vulnerable pero no estar en riesgo, a menos que se encuentre en un sitio con una cierta peligrosidad sísmica. La vulnerabilidad sísmica se puede evaluar de una manera específica realizando un estudio exhaustivo de las estructuras a evaluar o de manera muy general, como puede ser mediante un estudio de vulnerabilidad a nivel urbano. El conocimiento del comportamiento de una estructura es generalmente complejo, e incluye algunos parámetros como son: características del movimiento sísmico donde está la estructura, la resistencia de materiales con que está construida la estructura, la calidad de la construcción, entre otros.(Giraldo & Mendez, 2006)

La Vulnerabilidad sísmica de una estructura, grupo de estructuras o de una zona urbana completa, se define entonces, como su predisposición intrínseca a sufrir daño ante la ocurrencia de un movimiento sísmico y está asociada directamente con sus características físicas y estructurales de diseño. El concepto de Vulnerabilidad sísmica es indispensable en estudios sobre riesgos sísmicos y para la mitigación de desastres por terremotos. La mitigación de desastres, en el ámbito de la ingeniería, corresponde a la totalidad de las acciones que tienen como objetivo la mejora del comportamiento sísmico de los edificios de una zona, a fin de reducir los costos de daños esperados

durante el terremoto. Así, es evidente que para mitigar el riesgo sísmico de una zona, es necesario disminuir la amenaza, la Vulnerabilidad y el costo de reparación de las estructuras afectadas.

El conocimiento adecuado de la amenaza sísmica existente, permite definir tanto la acción que debe considerarse en el diseño de nuevas estructuras como el sitio donde pueden ser construidas, de tal forma que las condiciones de los emplazamientos sean optimas, esto es: alejando las fallas, evitando los rellenos, los lugares con posibles asentamientos o deslizamientos y los de alto potencial de licuefacción. Sin embargo, poco puede hacerse para reducir la amenaza a la que están expuestas las estructuras existentes, por lo tanto, si se desea disminuir el riesgo, se requiere una intervención directa sobre la vulnerabilidad. El conocimiento del comportamiento sísmico de las estructuras, permite definir los mecanismos y acciones de refuerzo requeridos para la reducción de los efectos provocados por los movimientos del terreno. Para el caso de construcciones nuevas, pueden plantearse nuevos sistemas constructivos y/o nuevas filosofías de diseño que garanticen el buen desempeño de cada uno de los elementos expuestos.

En la actualidad, el análisis de la Vulnerabilidad sísmica de las diferentes estructuras existente en nuestro medio, esto es: edificios, componentes de líneas vitales, estructuras esenciales, entre otras, se encuentran en un nivel avanzado debido a la gran cantidad de estudios hechos por diferentes investigadores. De igual forma, se han desarrollado un gran número de propuestas para la evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica a diferentes niveles de detalle, y se han hecho numerosas aplicaciones en varias regiones del mundo, No obstante, en países en Vías de desarrollo y con un bajo control del diseño sismo resistente, como es el caso de Colombia, poco se ha hecho para reducir la Vulnerabilidad sísmica de las estructuras existentes, con lo cual, ante movimiento de intensidad moderada y alta, el número de pérdidas de vidas humanas y la magnitud de los daños

físicos, sociales y económicos, han originado verdaderas catástrofes sísmicas, como las ocurridas en el eje Cafetero. (Caballero, 2007)

Para la determinación de la Vulnerabilidad estructural, existen métodos de análisis cualitativos y cuantitativos o analíticos de distintos grados de complejidad, en concordancia con el objetivo que se persigue al determinarla.

1.2.1.13 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. Entre los métodos más usados en el medio, están el Método NSR-10, el Método FEMA 178, el Método ATC-14 y el método FEMA-273, la cual son descritos en una forma muy breve a continuación:

1.2.1.14 Método 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 su 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. Se puede decir que el objetivo de este método es hallar los puntos débiles y posibles zonas de las estructuras que pueden causar pérdidas de vidas ante los eventos sísmicos. (REQUISITOS GENERALES DE DISEÑO Y CONSTRUCCION SISMO RESISTENTE, 2010)

1.2.1.15 Método FEMA 178. En el Building Safety Council de EE.UU se desarrolló este método, el cual es empleado para realizar la evaluación y el diagnóstico sísmico de cualquier edificación existente. Las guías y procedimientos del 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 (Llanos, 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 (Palomino, 1999).

1.2.1.16 Método ATC-14. Este método 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, el cual se compara con el esfuerzo estimado del material mediante la relación; si esta relación es menor que uno, indica que la estructura presenta problemas de corte y que requiere de un análisis estructural más detallado. (Llanos, 2003)

1.2.1.17 Método FEMA-273. Está diseñado 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).

1.2.1.18 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 la vulnerabilidad de las edificaciones, lo que permite conocer el comportamiento de una zona urbana ante la ocurrencia de algunos fenómenos naturales, proporcionando con esto una herramienta muy importante para los planes de prevención y mitigación de desastres (Llanos, 2003).

Dentro de los métodos cualitativos 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 del Índice de Vulnerabilidad y el método de la AIS.

1.2.1.19 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. (Llanos, 2003).

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).

1.2.1.20 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)

1.2.1.21 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 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).

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

1.2.1.22 Método del *ISTC*. Determina la vulnerabilidad de un grupo de edificios cuyas estructura está 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 rotura 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*. (Llanos; 2003)

1.2.1.23 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 estos presentan, así como la configuración en planta y elevación, el sistema resistente para ver el grado de organización de los elementos, la tipología estructural, resistencia de la edificación ante cargas sísmicas, el sistema de losa y como está unido al sistema resistente, la ubicación de elementos no estructurales, entre otros. La importancia de este método, es que se puede aplicar para edificios de mampostería no estructural y para edificios en hormigón armado, los cuales son los dos tipos de edificaciones que más encontramos en nuestro medio (América Latina, y más específicamente la costa Atlántica en Colombia). En cada una de los dos tipos de estructuras, se evalúan once parámetros, y a cada uno se le da una importancia. Al final la sumatoria de los once parámetros multiplicados por sus coeficientes, da el índice de Vulnerabilidad de la estructura, en la que a medida que va subiendo, ese valor, la edificación es más vulnerable.

1.2.1.24 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, entono, 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 (Llanos, 2001).(Caballero, 2007)

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la vulnerabilidad estructural de las edificaciones altas de tipo colonial ubicadas en el centro histórico de la ciudad de Cartagena, implementando el método del índice de vulnerabilidad, teniendo como finalidad la preservación de estas estructuras ante la ocurrencia de un sismo en la ciudad.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar de forma detallada el estado de las estructuras, además de las variaciones que se han presentado y el actual uso de las mismas.
- Implementar el método del índice de vulnerabilidad en las zonas seleccionadas para permitir conocer la vulnerabilidad estructural de las casas tipo colonial frente a sismos.
- Plantear alternativas de solución que contribuyan a la conservación y/o mejoramiento de las edificaciones altas coloniales localizadas en el centro histórico de la ciudad amurallada de Cartagena.

3. ALCANCE

Este proyecto de investigación abarca dos instancias: una exploratoria que consiste en realizar una inspección en el sitio seleccionado que permita establecer el estado de las estructuras, y otra donde se realice un análisis de información obtenida.

La finalidad de la investigación está en determinar el grado de vulnerabilidad en las edificaciones altas de tipo colonial del centro histórico de la ciudad de Cartagena, con la intención de evaluar si sus estructuras se encuentran en algún tipo de riesgo, y dado el caso poder presentar soluciones que permitan el mejoramiento en búsqueda de conservar el patrimonio de la ciudad.

Se empleó el método de índice de vulnerabilidad, el cual por medio de un formato propio permite evaluar y saber las condiciones de las edificaciones por medio de deterioros o riesgos que éstas manifiesten.

Con lo anteriormente dicho fue necesario el planteamiento de una indagación amplia de las edificaciones que se tomaron como muestra del centro histórico de la ciudad de Cartagena en la primera fase del proyecto, y más que todo, que tan vulnerable se encuentran desde el punto de vista estructural. Posteriormente para la segunda fase se realizó el análisis de lo hallado en campo para con esto determinar las características estructurales haciendo énfasis en la magnitud de vulnerabilidad de las edificaciones del proyecto.

3.1 DELIMITACIÓN ESPACIAL

Este estudio se llevó a cabo en el centro histórico de la ciudad de Cartagena, a una muestra específica de cinco casas altas de tipo colonial localizadas en el sector.

Figura 1. Ubicación centro histórico de la ciudad de Cartagena



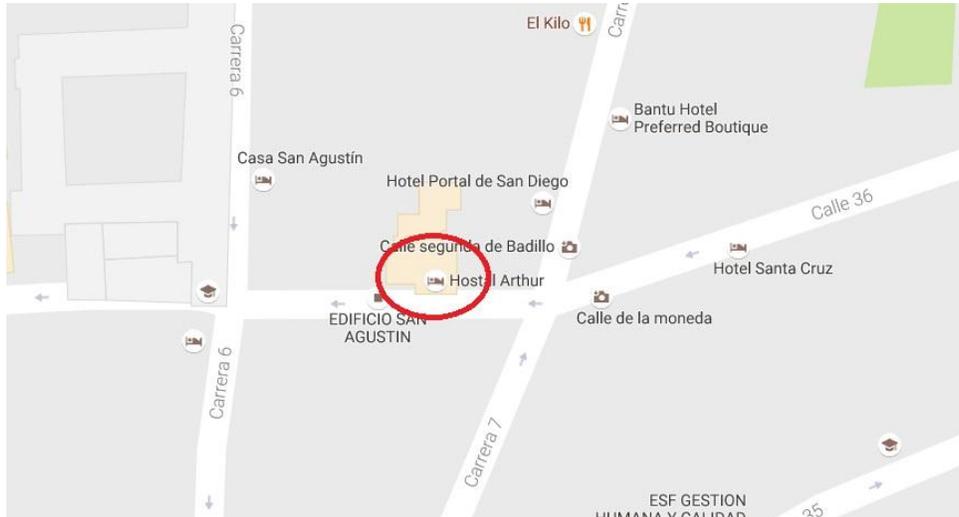
Fuente: Google Earth

Para este proyecto se tomó una muestra de 5 edificaciones altas de tipo colonial seleccionadas en el centro histórico con la asesoría de ingenieros especializados en el tema.

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

- Casa N° 1: Dirección: Calle 36 N° 6

Figura 2. Ubicación de la casa N° 1 en la calle San Agustín.



Fuente: Google Maps.

- Casa N° 2: Dirección: Carrera 5 N° 36

Figura 3. Ubicación de la casa N° 2 en la calle del Cuartel.



Fuente: Google Maps.

- Casa N° 3: Dirección: Carrera 3 N° 33

Figura 4. Ubicación de la casa N° 3 en la calle Santo Domingo.



Fuente: Google Maps.

- Casa N° 4: Dirección: Carrera 4 N° 38

Figura 5. Ubicación de la casa N° 4 en la calle Don Sancho.



Fuente: Google Maps.

- Casa N° 4: Dirección: Carrera 4 N° 38

Figura 6. Ubicación de la casa N° 5 en la calle Santo Domingo.



Fuente: Google Maps.

3.2 DELIMITACIÓN TEMPORAL

El proyecto se desarrolló durante el primer periodo académico del año 2016, entre los meses de febrero y junio.

3.3 PRODUCTO FINAL A ENTREGAR Y PRODUCTOS COMPLEMENTARIOS

En el informe final correspondiente al presente proyecto de investigación se ven detallados los resultados del estudio de vulnerabilidad aplicado a las edificaciones altas coloniales del centro histórico de Cartagena y a que riesgos se encuentran sometidas en la actualidad. Además se definió que tipo de factores en materia de riesgo podrían afectar en mayor medida las estructuras de esta zona.

Se definió de manera precisa el tipo de cubierta, el estado de las estructuras, el tipo de estructura y el uso actual de las mismas. Así mismo están reflejados los análisis y conclusiones obtenidas a partir del estudio, posibles soluciones y recomendaciones que puedan implementarse con el fin de prevenir riesgos en el futuro.

Durante el transcurso del proyecto fue posible conocer el grado de vulnerabilidad de las edificaciones de esta zona de gran valor arquitectónico para la ciudad de Cartagena, y a su vez incentivar la implementación de estudios de vulnerabilidad en otros sectores de la ciudad por medio de métodos cualitativos los cuales presentan menor dificultad en la aplicación, así como en el costo de implementación del mismo.

3.4 EXCEPCIONES Y/O LIMITACIONES

El análisis del proyecto investigativo está limitado a determinar el grado de vulnerabilidad de las edificaciones altas de tipo colonial del centro histórico de la ciudad de Cartagena sin hacer un enfoque más detallado en los diferentes tipos de vulnerabilidad que puede estar presente en estas estructuras. Se resalta que no se incluyen modelaciones, puesto que el método aplicado será el método cualitativo para la determinación del índice de vulnerabilidad con la finalidad de hacer un análisis representativo del sector. La investigación solo se enfoca en encontrar un análisis general de las edificaciones del sector.

4. METODOLOGÍA

Esta investigación planteó un análisis de tipo descriptivo, ya que es necesario en primera instancia una inspección visual de las edificaciones seleccionadas, para la obtención de los datos cualitativos que permitan, por medio de procedimientos y análisis respectivos, determinar el grado de vulnerabilidad de las edificaciones seleccionadas como muestra localizadas en el centro histórico de la Ciudad de Cartagena y también proponer recomendaciones acerca de las edificaciones, con el fin de dar cumplimiento a los objetivos trazados, y poder dar respuesta a la pregunta de investigación previamente planteada.

Para llevar a cabo el proyecto se plantea su ejecución en 6 fases, que permita un desarrollo apropiado y eficiente. Estas fases se identificaron como a continuación se indica: 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 detalla y especifica las diferentes fases del proyecto:

4.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA

En la fase inicial del proyecto de investigación se presentó la búsqueda y recopilación de la información secundaria relativa al tema de estudio, a través de trabajos de investigación relacionados a la vulnerabilidad en las edificaciones a nivel local, nacional e internacional.

4.2 ANÁLISIS DE INFORMACIÓN SECUNDARIA

En esta fase se realizó el análisis de la información secundaria, con el fin de obtener conclusiones acerca de los diferentes proyectos de investigación expuestos en la fase anterior. Además del análisis de información secundaria, esta fase estuvo soportada con la identificación de las edificaciones objeto de estudio y los daños sufridos por dichas construcciones, previos a la realización de esta investigación. De esta manera se pretendió conocer más acerca de las edificaciones altas del centro histórico de la ciudad de Cartagena.

4.3 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN PRIMARIA

En la tercera fase se implementó el método seleccionado para 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 en los lugares objeto de estudio. Estos estudios se realizaron a través de visitas a las edificaciones coloniales seleccionadas, en las cuales a través de una serie de formatos, propios del método, se buscaron los posibles riesgos.

A continuación se muestra la tabla característica del método que permite ubicarlas según el grado de vulnerabilidad que presente, es decir, si es alta, media, o baja.

Tabla 1. Escala numérica de índice de vulnerabilidad de Benedetti

#	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

Fuente: (Caballero, 2007)

A partir de esta tabla, se estudiaron 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 ANÁLISIS DE INFORMACIÓN PRIMARIA

Luego de la recopilación de información en la fase anterior se procedió al análisis de datos obtenidos por medio 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 con el fin de asegurar la eficiencia del comportamiento en "cajón" de la estructura. La atribución de un edificio a una de las cuatro clases se efectúa en función de dos factores: por un lado, del tipo de material y de la forma de los elementos que constituyen la mampostería. Por otro

lado, de la homogeneidad del material y de las piezas, por toda la extensión del muro. A continuación cada una de las clasificaciones del parámetro:

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

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

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

D) Mampostería en piedra irregular mal trabada o ladrillo de baja calidad, con la inclusión de guijarros y con piezas no homogéneas o privadas de ligamento.

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 (m²).

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

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

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

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

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,

$$A = \min \{A_x; A_y\} \quad \text{Ecuación 1.3}$$

$$B = \max \{A_x; A_y\} \quad \text{Ecuación 1.4}$$

$$\alpha_0 = A / A_t \quad \text{Ecuación 1.5}$$

$$\gamma = B / A \quad \text{Ecuación 1.6}$$

$$q = \frac{(A+B)h}{A_t} P_m + P_s \quad \text{Ecuación 1.6}$$

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

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

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

A) Edificio con $\alpha \geq 1$.

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.

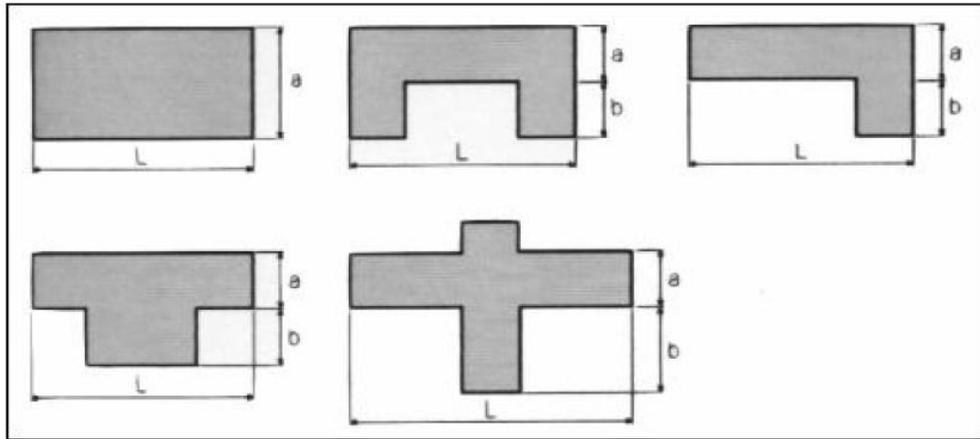
B) Edificio con diafragma como los de la clase A, pero que no cumplen con la condición 1.

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)

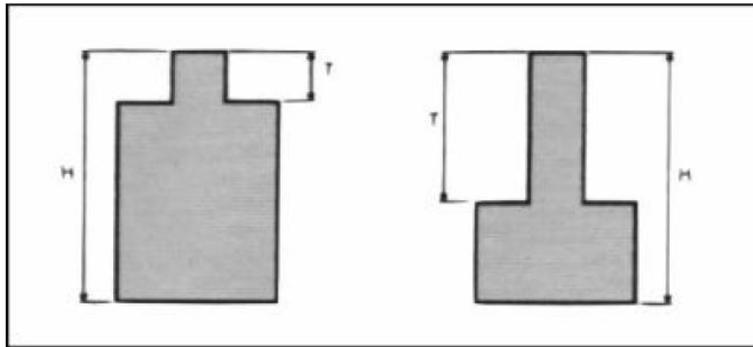
- A) Edificio con $\alpha \geq 1$.
- B) Edificio con $0.6 \leq \alpha < 1$.
- C) Edificio con $0.4 \leq \alpha < 0.6$.
- D) Edificio con $\alpha < 0.4$.

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

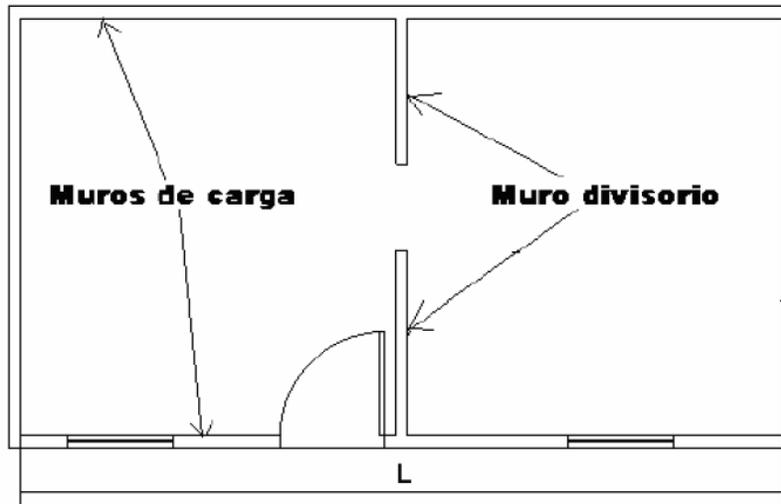


Fuente: (Navia, 2007)

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

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

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

Donde los factores K_i , son valores que se obtienen luego del análisis de cada uno de los aspectos en la fase anterior y los coeficientes W_i , son valores que propone el método para darle relevancia a cada uno de los parámetros que determinan la vulnerabilidad en las edificaciones.

Al analizar la ecuación se deduce 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 obtenidos por medio el método de Índice de Vulnerabilidad a través de los anteriores valores mencionados se podrá realizar una caracterización estructural en el centro histórico de la ciudad de Cartagena.

4.5 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS OBTENIDOS

Teniendo como referencia la información obtenida previamente, se procedió a efectuar el estudio utilizando herramientas importantes de computación que facilitaron el avance de todo el proyecto. En esta fase se analizaron los datos obtenidos de cada una de las edificaciones coloniales seleccionadas y con base en este análisis se establecieron las posibles fallas referentes a la vulnerabilidad estructural del centro histórico de la ciudad de Cartagena.

Si luego de la aplicación del método se obtiene que el Índice de Vulnerabilidad es muy alto, será preciso proponer acciones generales que ayuden a mejorar el comportamiento de las estructuras y de esta forma conservar el patrimonio histórico y cultural de la ciudad de Cartagena.

4.6 PREPARACIÓN Y PRESENTACIÓN DEL INFORME FINAL.

Luego de haber ejecutado cada una de las fases previas, se desarrollaran los objetivos propuestos y se llegara a una conclusión sobre la solución al interrogante planteado para el desarrollo del proyecto investigativo, paralelamente se preparara un informe final, donde se vean reflejados todos los resultados conseguidos al final del proceso investigativo.

5. RESULTADOS Y DISCUSION

5.1 ANALISIS DE VULNERABILIDAD DE LA CASA N° 1 DEL CENTRO HISTORICO.

5.1.1 Parámetros. ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA RESISTENTE (1.00) Para proceder en la evaluación del parámetro se debe considerar la antigüedad del edificio, y si en la construcción del mismo se tuvo en cuenta una normatividad que la regulase u otro tipo de guía constructiva. Teniendo esto como referencia el parámetro se delimito de la siguiente manera:

Figura 10. Fachada de la edificación.



Fuente. Los autores

En primer lugar se debe considerar el año de construcción de las edificaciones, cuyo periodo de tiempo se encuentra alrededor del siglo XVII y XVIII, aunque posteriormente con la intención de preservarlas han sido objeto de diferentes procesos de restauración y conservación, por lo tanto estas construcciones no califican para la primera clasificación del parámetro (A), debido a que no fue construida bajo la norma NSR-10.

Igualmente tratándose de edificaciones de tal antigüedad, no se contempló en su construcción conexiones mediante vigas de amarre en ninguna de sus plantas, por lo tanto no califica para la segunda clasificación del parámetro (B)

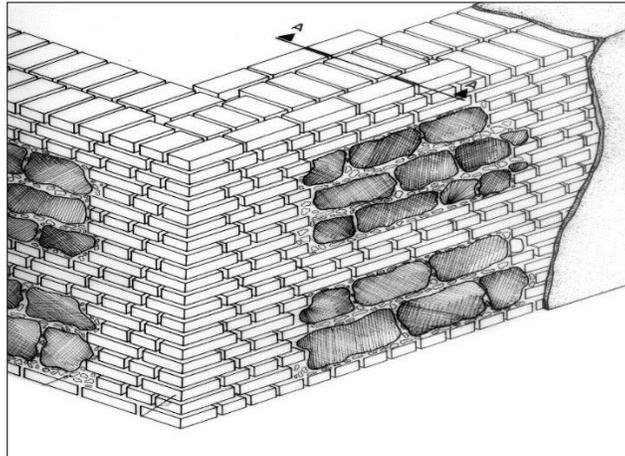
De la clasificación (C) podemos decir que el edificio no presenta vigas de amarre apropiadas en todas sus plantas, en cambio sí se presentan paredes ortogonales bien unidas, por tanto es en esta clasificación en la cual califica el edificio.

5.2 CALIDAD DEL SISTEMA RESISTENTE (0.25)

Para la evaluación de este parámetro se tuvo en cuenta los materiales y la manera en que se compone la mampostería. También se consideró la uniformidad de los materiales en toda la extensión de los muros. Para hacer el análisis de este parámetro se tuvo en cuenta que en la construcción colonial cartagenera, casi siempre la mampostería es a base de piedra sillar, ladrillo y piedra marina de canto irregular. Con estos materiales se construyeron la mayoría de muros con el sistema de “mampostería mixta”, que consiste en el predominio del ladrillo sobre la piedra y de la piedra sobre el ladrillo, con una, dos, tres o más hiladas de ladrillo concepto de construcción

mudéjar muy usual en península ibérica se aplicó en Cartagena de indias en muchas edificaciones, civiles religiosas o militares. (Cabrera Cruz, 1991)

Figura 11. Muro mixto¹



Fuente: Cabrera Cruz, Alfonso, dibujos y fotografías, autores... et al.

Se observa que debido a los materiales usados y los métodos constructivos empleados en la mampostería como piedra irregular mal trabada o ladrillo con piezas no homogéneas, tenemos que la clasificación apropiada para el parámetro en la opción (D).

5.3 RESISTENCIA CONVENCIONAL (1.5)

Realizadas las inspecciones visuales y toma de datos necesarios para el análisis de este parámetro, tales como el área total de la cubierta, el número de pisos, la altura media de piso, el área resistente en cada sentido, 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)

Tabla 2. Descripción de la edificación

RESISTENCIA CONVENCIONAL	VALOR
N: número de pisos	2
At: área total cubierta m ²	284,315
Tk: resistencia a cortante característica del tipo de mampostería en Ton/m ²	7,5
H: altura media del piso en m	4,10
Pm: peso específico de la mampostería Ton/m ³	2.2
Ps: peso por unidad de área del diafragma Ton/m ²	0.72

Fuente. Los autores

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

PRIMERA PLANTA	
Ax	Ay
244,596	395,800

SEGUNDA PLANTA	
Ax	Ay
244,596	395,800

Fuente. Los autores

Tabla 4. Resultado del cálculo del parámetro

B	Y	a0	Q	C	C	á
395,800	1,618181	0,860299	21,03682	0.1	1,0005359	10,00535

Fuente. Los autores

Analizando los resultados obtenidos, podemos observar que el valor de $\acute{\alpha}$ es mayor que 1, por lo tanto califica en la clasificación (A) del parámetro.

- POSICION DEL EDIFICIO Y DE LA CIMENTACION (0.75)

Para el análisis de este parámetro se tuvo en cuenta aspectos importantes 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, con el fin de saber cómo repercute el terreno y la cimentación en el comportamiento sísmico del edificio.

Para un completo análisis de este parámetro se consideraron investigaciones y estudios realizados por profesionales especializados en el tema, como el ingeniero Guillian Barboza Miranda y el ingeniero Walberto Rivera Martinez, ambos docentes de la Universidad de Cartagena, quienes ayudaron a conocer la constitución del suelo y además como eran las cimentaciones de la edificaciones coloniales. A través de este trabajo investigativo se pudo determinar que en todo el sector del centro histórico de la ciudad de Cartagena, se encuentra mayormente un suelo de arena limosa gris fina, con china, caracuchas menudas y piedra coralina. Además se tomó como referencia un estudio proporcionado por el ingeniero Guillian Barboza realizado por Sujey María Bermúdez Pérez y Martin Rafael Bohórquez Marrugo titulado “EVALUACION DEL POTENCIAL DE LICUACION Y COMPORTAMIENTO SISMICO DE LOS DEPOSITOS DE PLAYA EN EL CASCO URBANO DE CARTAGENA”, el cual establece que la licuación del suelo en este sector es relativamente baja. Por tanto se toma como un terreno estable, no obstante no se considera un buen suelo.

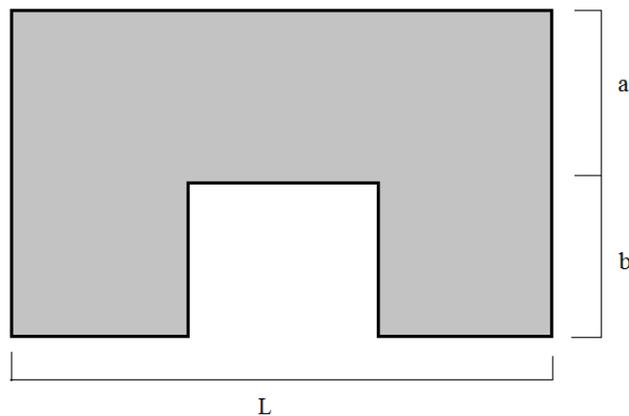
De igual manera a través de visitas al sector, se constató que las pendientes existentes en el terreno son mínimas y la fundación se encuentra ubicada en una misma cota, por lo cual en la evaluación el parámetro la edificación se califica en la opción (A).

- DIAFRAGMAS HORIZONTALES (1.00)

Debido a la presencia de diafragma no rígido se procede a clasificarlo de acuerdo con las características del parámetro. Estos diafragmas no poseen conexiones eficaces con los muros estructurales, además de que la deformabilidad del diafragma a su vez no es despreciable. De acuerdo a lo anterior se puede decir que este parámetro está en clasificación (C).

- CONFIGURACION EN PLANTA (0.50)

Figura 12. Forma de la edificación.



Fuente. Los autores.

Conforme a la forma de la edificación se tienen los siguientes valores:

Tabla 5. Distancias en planta de la edificación

CONFIGURACION EN PLANTA	VALOR(m)
A	6,34
L	31,25
B	4,42

Fuente. Los autores

Tabla 6. Cálculos del parámetro.

$\beta 1$	0,2028800
$\beta 2$	0,1414400

Fuente. Los autores

De acuerdo a los resultados obtenidos en la evaluación del parámetro tenemos que $\beta 1$ es menor que 0,4, por lo tanto la edificación se clasifica con la opción (D).

- CONFIGURACION EN ELEVACION (1.00)

En la evaluación realizada en esta edificación no se encontraron porches o torretas, por tanto solo se tendrá en cuenta para el análisis del parámetro la diferencia de área entre las plantas.

Tabla 7. Características en elevación de la edificación.

CONFIGURACION EN ELEVACION	
T: distancia de la irregularidad	0
H: altura total del edificio	8,50
A: área del piso de abajo	284,315
ΔA : cambio de área	0
Área de porche	0

Fuente. Los autores

Tabla 8. Resultados del parámetro.

T/H	$\Delta A/A$ (%)	Δ porche
0	0	0

Fuente. Los autores

De a los resultados anteriormente expuestos esta edificación se califica en la opción (A), dado que no se encuentra una diferencia de área entre las dos plantas, y no presenta protuberancias en altura.

- DISTANCIA MAXIMA ENTRE MUROS (0.25)

Para analizar este parámetro se consideró la distancia entre muros transversales y el espesor del muro maestro. Obteniendo la relación L/S para la circunstancia más desfavorable.

Tabla 9. Distancia y espesor de muros transversales

DISTANCIA ENTRE MUROS	Distancia(m)
L: Espaciamiento de los muros transversales	5,90
S: Espesor del muro maestro	0.60

Fuente. Los autores

Tabla 10. Relación entre la distancia y espesor de muros transversales

L/S
9,833

Fuente. Los autores

Con el valor obtenido anteriormente la calificación para este parámetro es la opción (A).

- 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 cumbreira. Además de esto se tuvo como referencia diferentes trabajos investigativos suministrados por el arquitecto Alfonso Cabrera Cruz, docente de la universidad de Cartagena, como el artículo realizado por Alfonso Cabrera Cruz y Rosa Martínez Vásquez, titulado “LA HERENCIA HISPANO MUSULMANA EN LA ARQUITECTURA DE CARTAGENA DE INDIAS” donde se determina la predominancia de la carpintería hispano-musulmana en todo el casco antiguo de la ciudad, con la construcción de cubiertas con armaduras “a par y nudillo” y “a par e hilera”. De las aproximadamente 1700 construcciones coloniales que se encuentran en la ciudad de Cartagena, un tercio de éstas contaron con el sistema de “par y nudillo” en sus cubiertas, mientras que las casas restantes contaron con el sistema de “par e hilera”

Figura 13. Cubierta.



Fuente. Los autores

Figura 14. Cubierta.



Fuente. Los autores

En esta primera edificación encontramos una cubierta tipo “par y nudillo”, la cual brinda una mayor estabilidad, además de que cuenta con viga cumbre, por lo que la clasificación más adecuada es la (B).

- ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES (0.25)

Para calificar adecuadamente este parámetro se tienen en cuenta los diferentes elementos no estructurales que podrían comprometer la integridad de los usuarios en el caso de que fallen. Para esto se debe verificar si en la edificación se encuentran algunos de los siguientes elementos:

- Parapetos
- Cornisas
- Balcones
- Chimeneas

Es por esto que la clasificación apropiada para esta edificación es la opción (B) por que presenta elementos como cornisas bien conectadas a la pared y balcones vinculados al diafragma.

Figura 15. Cornisas y Balcones.



Fuente. Los autores

- ESTADO DE CONSERVACION (1.00)

Para la evaluación del parámetro se observaron las distintas lesiones capilares evidentes en algunos muros. Se encontró que esta edificación posee lesiones de tamaño mayor a 3 milímetros de ancho, además se encontraron paredes con signos de humedad superficial, por lo cual la edificación se calificó en clasificación (D).

Figura 16. Lesiones capilares.



Fuente. Los autores

Figura 17. Lesiones capilares.



Fuente. Los autores

5.3.1 Análisis de la Edificación n° 1 ubicada en la Calle san Agustín.

Tabla 11. Resultado de los parámetros.

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

Fuente. Los autores

Posteriormente se realizó el cálculo del IV con la sumatoria del producto de la clasificación tomada en cada parámetro por el factor de importancia del mismo.

$$IV = 128,75$$

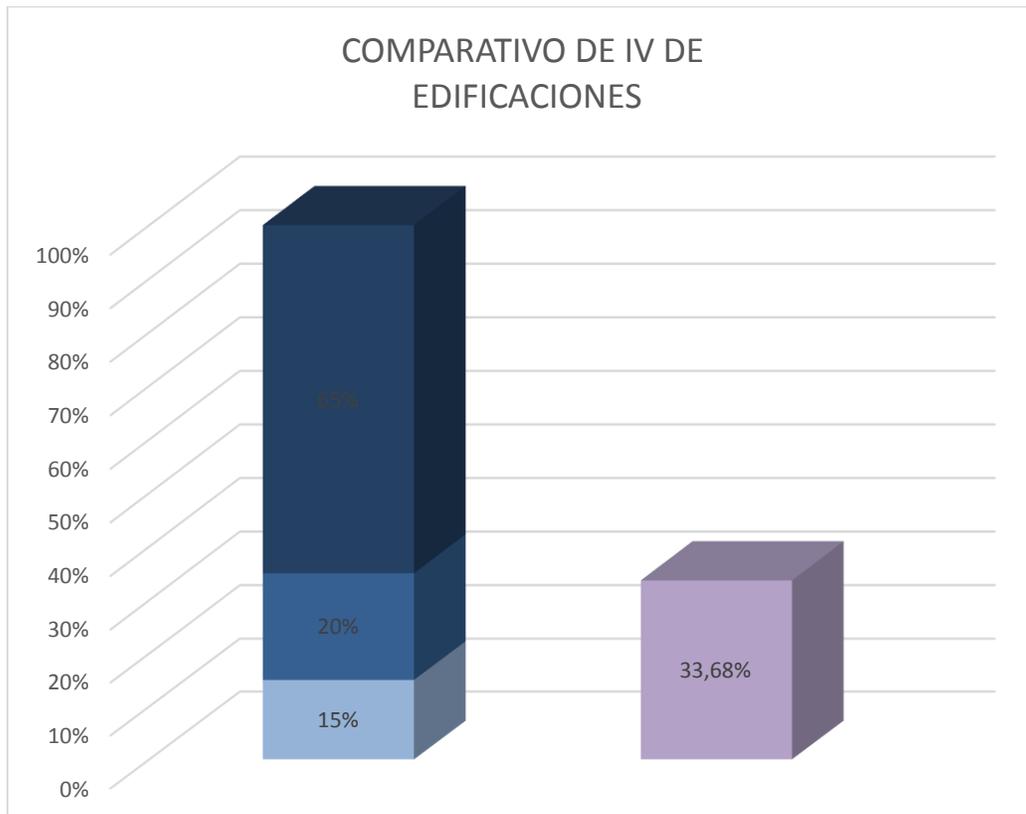
Para conocer el índice de vulnerabilidad en una escala normalizada se divide el puntaje de IV obtenido entre el máximo puntaje de IV posible, y se multiplica por 100 para obtener el porcentaje.

$$IV = (128,75 / 382,25) * 100$$

$$IV = 33,68\%$$

Como el IV está comprendido entre el 15% y el 35%, esta edificación cuenta con un índice de vulnerabilidad medio.

Gráfico 1. Resultado de la edificación N°1



Fuente. Los autores

5.4 ANALISIS DE VULNERABILIDAD DE LA CASA N° 2 DEL CENTRO HISTORICO.

Figura 18. Fachada de la edificación.



Fuente. Los autores

PARAMETROS

5.5 ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA RESISTENTE (1.00)

En esta segunda edificación se encuentra unas condiciones similares en antigüedad y procesos constructivos a la primera edificación mostrada. Después de una inspección visual se infiere que por las condiciones que presenta la edificación, la clasificación apropiada para calificar el parámetro es la (C) dado que el edificio no presenta vigas de amarre apropiadas en todas sus plantas, en cambio sí se presentan paredes ortogonales bien unidas.

5.6 CALIDAD DEL SISTEMA RESISTENTE (0.25)

Para evaluar este parámetro se tiene en cuenta la constitución de los muros y los métodos constructivos de la edificación. Luego de observar detalladamente la casa se puede calificar el parámetro en la clasificación (D) debido a los materiales empleados y los métodos constructivos aplicados, se encuentra en la mampostería piedra irregular mal trabada o ladrillo con piezas no homogéneas.

5.7 RESISTENCIA CONVENCIONAL (1.5)

Realizando las visitas a la edificación, se tomó la información necesaria para el análisis del parámetro, como el número de pisos, la altura media de piso, área total de la cubierta, área resistente en cada sentido, peso por unidad de área de diafragma y el peso específico de la mampostería.

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)

Tabla 12. Descripción de la edificación

RESISTENCIA CONVENCIONAL	VALOR
N: número de pisos	2
At: área total cubierta m^2	218,49
Tk: resistencia a cortante característica del tipo de mampostería en Ton/m^2	7,5
H: altura media del piso en m	4
Pm: peso específico de la mampostería Ton/m^3	2.2
Ps: peso por unidad de área del diafragma Ton/m^2	0.72

Fuente. Los autores

Tabla 13. Área de los muros en x y en y

PRIMERA PLANTA	
Ax	Ay
262,96	422,88

Fuente. Los autores

Tabla 14. Área resistente de los muros en x y en y

SEGUNDA PLANTA	
Ax	Ay
262,96	422,88

Fuente. Los autores

Tabla 15. Resultado del cálculo del parámetro

B	Y	a0	Q	C	C	á
422,8	1,60815	1,20353	28,34319	0.1	1,02807	10,28070

Fuente. Los autores

Analizando los resultados obtenidos, podemos observar que el valor de α es mayor que 1, por lo tanto califica en la clasificación (A) del parámetro.

- POSICION DEL EDIFICIO Y DE LA CIMENTACION (0.75)

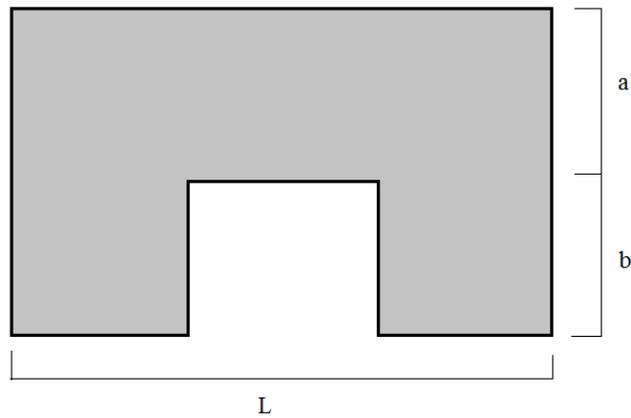
Así como la primera edificación, la consistencia del suelo es estable y las pendientes presentes en el terreno son inferiores a 10%, de igual manera las estructuras se encuentran en una misma cota y no hay presencia de empuje no equilibrado, por tanto para este parámetro la opción (A) es la más adecuado.

- DIAFRAGMAS HORIZONTALES (1.00)

En el análisis de este parámetro se observa la presencia de diafragmas horizontales no rígidos en la edificación, los cuales poseen no conexiones eficaces con los muros estructurales, y su deformabilidad no es despreciable. De acuerdo a lo anterior se afirma la opción (C) como calificación del parámetro.

- CONFIGURACION EN PLANTA (0.50)

Figura 19. Forma de la edificación.



Fuente. Los autores.

Conforme a la forma de la edificación se tienen los siguientes valores:

Tabla 16. Distancias en planta de la edificación

CONFIGURACION EN PLANTA	VALOR(m)
A	4.2
L	30.4
B	5.6

Fuente. Los autores

Tabla 17. Cálculos del parámetro.

$\beta 1$	0,13815789
$\beta 2$	0.18421053

Fuente. Los autores

Analizando los datos obtenidos podemos afirmar que la clasificación adecuada para este parámetro es la opción (D), dado que el valor de β_1 es menor que 0,4.

- CONFIGURACION EN ELEVACION (1.00)

Se realizaron inspecciones visuales en la edificación en las cuales no se observaron porches o torretas, por lo que solo se contempla la diferencia entre las áreas de las plantas para el desarrollo del método.

Tabla 18. Características en elevación de la edificación.

CONFIGURACION EN ELEVACION	
T: distancia de la irregularidad	0
H: altura total del edificio	8
A: área del piso de abajo	218.49
ΔA : cambio de área	0
Área de porche	0

Fuente. Los autores

Tabla 19. Resultados del parámetro.

T/H	$\Delta A/A$ (%)	Δ porche
0	0	0

Fuente. Los autores

De acuerdo a lo anterior, la clasificación de este parámetro es la opción (A), debido a que no hay una diferencia de área entre las dos plantas y tampoco presenta protuberancias en altura.

- DISTANCIA MAXIMA ENTRE MUROS (0.25)

Para la evaluación de este parámetro se tuvo en cuenta la distancia entre muros transversales y el espesor del muro maestro. Se obtiene la relación L/S más desfavorable.

Tabla 20. Distancia y espesor de muros transversales

DISTANCIA ENTRE MUROS	Distancia(m)
L: Espaciamiento de los muros transversales	5,50
S: Espesor del muro maestro	0,65

Fuente. Los autores

Tabla 21. Relación entre la distancia y espesor de muros transversales

L/S
8,46153

Fuente. Los autores

Con la relación L/S obtenida se clasifica el parámetro en la opción(A).

- TIPO DE CUBIERTA (1.00)

Figura 20. Cubierta.



Fuente. Los autores.

Se consideraron como aspectos importantes, la estabilidad de la cubierta, su pendiente, si posee viga cumbreira y si se encuentra bien sujeta a las paredes ortogonales. En esta edificación se observó la presencia de una cubierta tipo “Par e Hilera”, la cual al no poseer “nudillo” pierde estabilidad frente a las de ese tipo. Teniendo en cuenta esto la opción (C) califica apropiadamente este parámetro, debido a que es una cubierta inestable sin buenas conexiones con los muros ortogonales.

Figura 21. Cubierta.



Fuente. Los autores.

- ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES (0.25)

Esta edificación tiene una clasificación (A), puesto que presenta elementos no estructurales como cornisas bien conectadas a la pared y balcones vinculados al diafragma.

Figura 22. Elementos no estructurales.



Fuente. Los autores.

- ESTADO DE CONSERVACION (1.00)

En este parámetro se tiene en cuenta la presencia de lesiones capilares sufridas en muros. Se observaron lesiones de tamaño medio entre 2 a 3 milímetros de ancho y sin muestras visibles de humedad. De acuerdo a lo anteriormente descrito se clasifico la edificación en la opción (C).

Figura 23. Estado de conservación.



Fuente. Los autores.

5.7.1 Análisis de la Edificación n° 2 Ubicada en la Calle del Cuartel.

Tabla 22. Resultado de los parámetros

PARAMETROS	CLASE Ki				PESO Wi
	A	B	C	D	
1. Organización del sistema resistente.			20		1,00
2. Calidad del sistema resistente.				45	0,25
3. Resistencia convencional.	0				1,50
4. Posición del edificio y cimentación.	0				0,75
5. Diagramas horizontales.			15		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.			25		1,00
10. Elementos no estructurales.	0				0,25
11. Estado de conservación.			25		1,00

Fuente. Los autores

Se efectuó el cálculo del IV y se obtuvo:

$$IV = 118,75$$

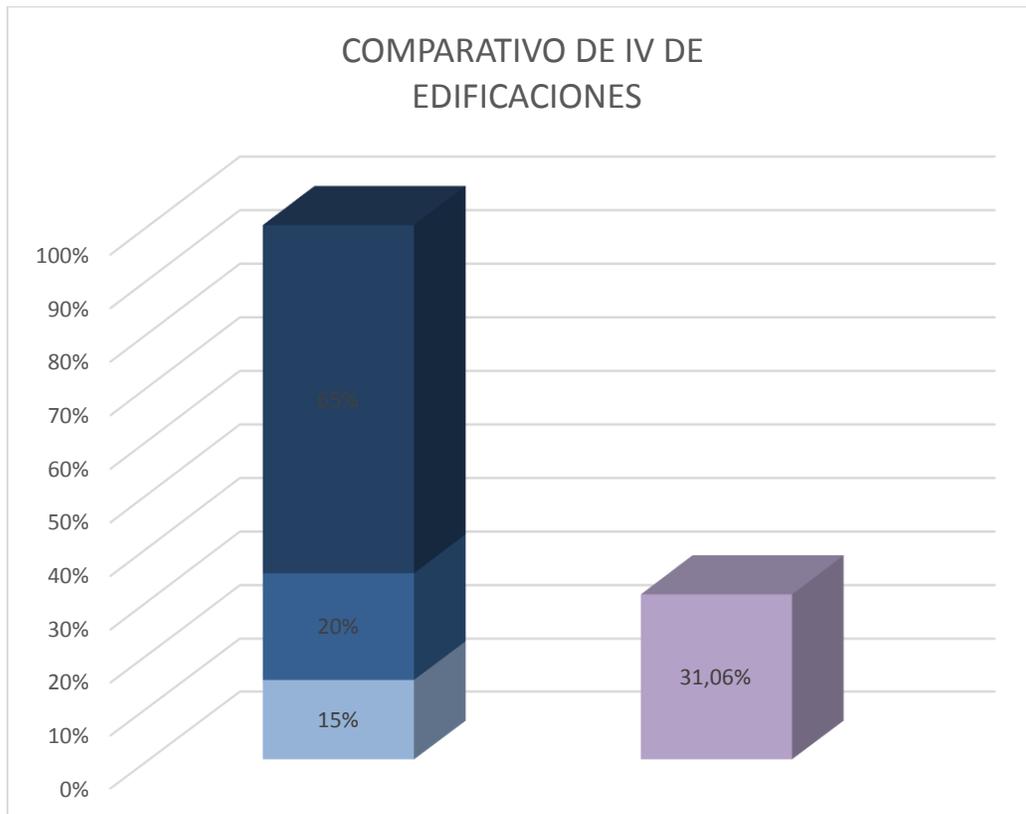
Análogamente con la edificación anterior se halla el índice de vulnerabilidad de la siguiente manera:

$$IV = (93,75 / 382,25) * 100$$

$$IV = 31,06\%$$

El IV se encuentra entre el 15% y el 35%, entonces la edificación tiene un índice de vulnerabilidad medio.

Gráfico 2. Resultado de la edificación N°2



Fuente. Los autores

5.8 ANALISIS DE VULNERABILIDAD DE LA CASA N° 3 DEL CENTRO HISTORICO.

Figura 24. Fachada de la edificación.



Fuente. Los autores

PARAMETROS

5.9 ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA RESISTENTE (1.00)

Esta edificación, al igual que las anteriormente estudiadas, es una construcción antigua y sus procesos constructivos son similares a los ya descritos. Dicho esto, clasificamos el parámetro con la opción (C), puesto que no presenta vigas de amarre adecuadas en todas sus plantas, pero si hay presencia de paredes ortogonales bien unidas.

5.10 CALIDAD DEL SISTEMA RESISTENTE (0.25)

En este parámetro optamos por la clasificación (D), puesto que una vez realizadas las inspecciones visuales se identificó que la mampostería presente se compone de piedra irregular mal trabada o ladrillos con piezas no homogéneas.

5.11 RESISTENCIA CONVENCIONAL (1.5)

De las inspecciones realizadas en la edificación, se obtuvieron los siguientes datos para la evaluación de este parámetro:

Tabla 23. Descripción de la edificación

RESISTENCIA CONVENCIONAL	VALOR
N: número de pisos	3
At: área total cubierta m ²	380,22
Tk: resistencia a cortante característica del tipo de mampostería en Ton/m ²	7,5
H: altura media del piso en m	4,6
Pm: peso específico de la mampostería Ton/m ³	2.2
Ps: peso por unidad de área del diafragma Ton/m ²	0.72

Fuente. Los autores

Tabla 24. Área resistente de los muros en x y en y

PRIMERA PLANTA	
Ax	Ay
373,385	639,392

Fuente. Los autores

Tabla 25. Área de los muros en x y en y

SEGUNDA PLANTA	
Ax	Ay
373,385	639,392

Fuente. Los autores

Tabla 26. Cálculos del parámetro.

TERCERA PLANTA	
Ax	Ay
102,88	106,48

Fuente. Los autores

Tabla 27. Resultado del cálculo del parámetro

B	Y	a0	Q	C	C	á
639,392	1,712420	0,9718	27,39561	0.1	1,550014	15,50014

Fuente. Los autores

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

- POSICION DEL EDIFICIO Y DE LA CIMENTACION (0.75)

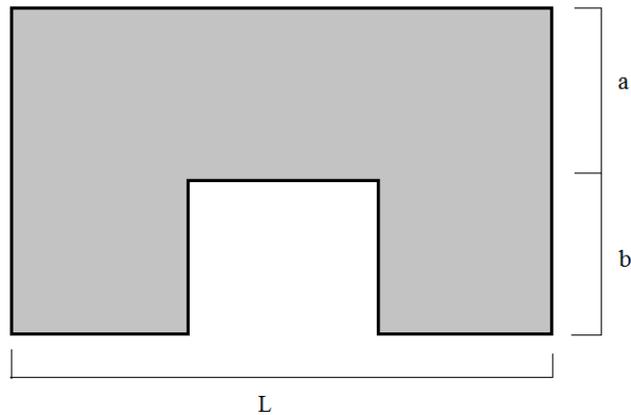
Al igual que las edificaciones que se estudiaron previamente, estas estructuras fueron construidas en un terreno con suelo muy estable, con pendientes menores al 10%, todas en una misma cota y sin presencia de empuje no equilibrado. Teniendo en cuenta estas características se clasificó el parámetro en la opción (A).

- DIAFRAGMAS HORIZONTALES (1.00)

Este parámetro se calificó en la opción (C), dada la existencia de diafragmas horizontales no rígidos, los cuales no se encuentran enlazados eficazmente con los muros estructurales, y su deformabilidad no es despreciable.

- CONFIGURACION EN PLANTA (0.50)

Figura 25. Forma de la edificación.



Fuente. Los autores.

Conforme a la forma de la edificación se tienen los siguientes valores:

Tabla 28. Distancias en planta de la edificación

CONFIGURACION EN PLANTA	VALOR(m)
A	4,78
L	34,88
B	7,26

$\beta 1$	0,13704128
$\beta 2$	0,20814220

Fuente. Los autores

Analizando los datos obtenidos podemos afirmar que la clasificación adecuada para este parámetro es la opción (D), dado que el valor de β_1 es menor que 0,4.

- CONFIGURACION EN ELEVACION (1.00)

Luego de realizar las inspecciones visuales en la edificación, no se observaron porches, en cambio si la presencia de diferencia de altura por lo que se contempla la diferencia entre las áreas de las plantas para el desarrollo del método.

Tabla 29. Características en elevación de la edificación.

CONFIGURACION EN ELEVACION	
T: distancia de la irregularidad	0
H: altura total del edificio	13,80
A: área del piso de abajo	384,22
ΔA : cambio de área	125,93
Área de porche	0

Fuente. Los autores

Tabla 30. Resultados del parámetro.

T/H	$\Delta A/A$ (%)	Δ porche
0,2318	32,77%	0

Fuente. Los autores

De acuerdo a lo anterior, la clasificación de este parámetro es la opción (C), debido a la diferencia de área entre la segunda y tercera planta de la edificación.

- DISTANCIA MAXIMA ENTRE MUROS (0.25)

Para la evaluación de este parámetro se tuvo en cuenta la distancia entre muros transversales y el espesor del muro maestro. Se obtiene la relación L/S más desfavorable.

Tabla 31. Distancia y espesor de muros transversales

DISTANCIA ENTRE MUROS	Distancia(m)
L: Espaciamiento de los muros transversales	6,45
S: Espesor del muro maestro	0,73

Fuente. Los autores

Tabla 32. Relación entre la distancia y espesor de muros transversales

L/S
8,8356

Fuente. Los autores

Con la relación L/S obtenida se clasifica el parámetro en la opción(A).

- TIPO DE CUBIERTA (1.00)

Figura 26. Cubierta.



Fuente. Los autores.

Figura 27. Cubierta.



Fuente. Los autores.

Para la evaluación del parámetro se consideraron aspectos importantes como la pendiente, la presencia de viga cumbreira, la inestabilidad de la cubierta y como esta no se encuentra bien sujeta a paredes ortogonales. Se observó una cubierta de tipo “Par e Hilerá”. La opción para este parámetro es la (C).

- ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES (0.25)

En esta Edificación hay la presencia de elementos no estructurales como cornisas bien conectadas a la pared y balcones vinculados al diafragma, por lo tanto la clasificación adecuada es la opción (A).

Figura 28. Elementos no estructurales.



Fuente. Los autores.

- ESTADO DE CONSERVACION (1.00)

En las visitas realizadas se observó la presencia de lesiones capilares en los muros, mayores a 3 milímetros de espesor con presencia de humedad y mal estado de los elementos estructurales. Teniendo en cuenta lo anterior la clasificación de este parámetro es la opción (D).

Figura 29. Estado de conservación.



Fuente. Los autores.

5.10.1 Análisis de la Edificación n° 3 Ubicada en la Calle Santo Domingo.

Tabla 33. Resultado de los parámetros.

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

Fuente. Los autores

Del cálculo del IV se tiene:

$$IV = 163,75$$

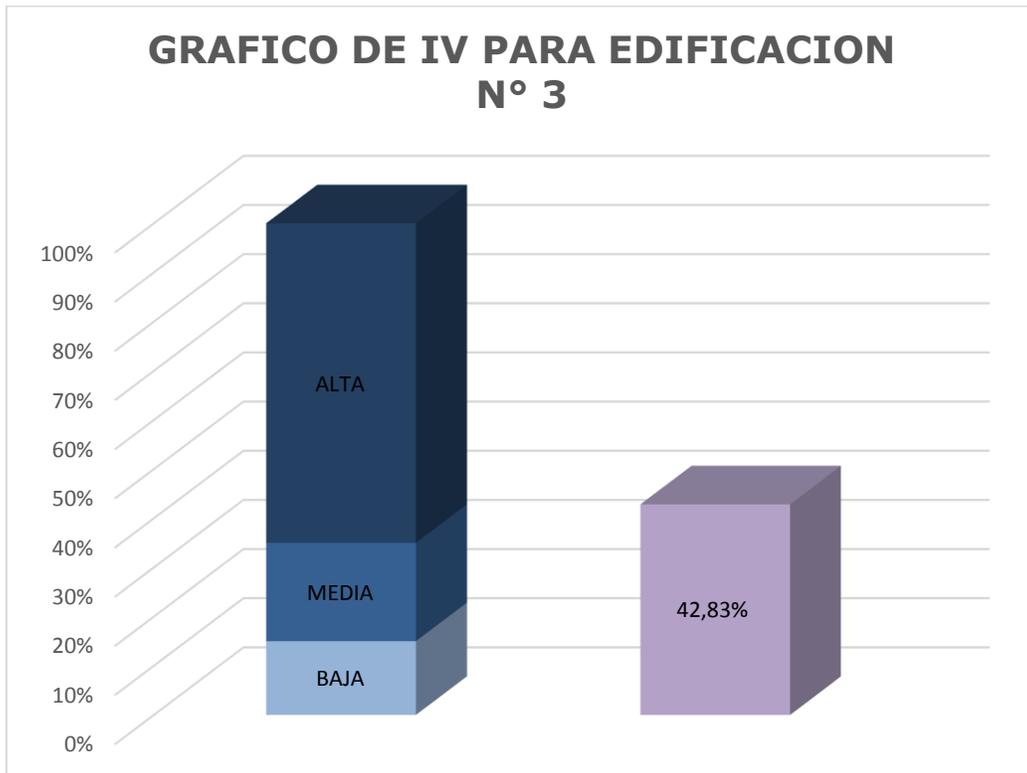
De igual manera se halla el índice de vulnerabilidad como en las edificaciones anteriores, así:

$$IV = (163,75 / 382,25) * 100$$

$$IV = 42,83\%$$

El IV calculado es mayor a 35%, por tanto el índice de vulnerabilidad de la edificación es alto.

Gráfico 3. Resultado de la edificación N°3



Fuente. Los autores

5.11 ANALISIS DE VULNERABILIDAD DE LA CASA N° 4 DEL CENTRO HISTORICO.

Figura 30. Fachada de la edificación.



Fuente. Los autores

PARAMETROS

5.12 ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA RESISTENTE (1.00)

Esta edificación es una construcción antigua y por esto, en sus procesos constructivos no fue contemplado una norma sismoresistente. Dicho esto, el parámetro se puede calificar con la opción (C), puesto que existen paredes ortogonales bien unidas, pero no presenta vigas de amarre adecuadas en todas sus plantas.

5.13 CALIDAD DEL SISTEMA RESISTENTE (0.25)

La mampostería de la edificación consta básicamente de piedras irregulares mal trabadas o ladrillos con piezas no homogéneas. Evaluando la información descrita anteriormente calificamos el parámetro en la opción (D).

5.14 RESISTENCIA CONVENCIONAL (1.5)

En las visitas realizadas, se obtuvo la siguiente información para la evaluación de este parámetro:

Tabla 34. Descripción de la edificación

RESISTENCIA CONVENCIONAL	VALOR
N: número de pisos	3
At: área total cubierta m ²	232,64
Tk: resistencia a cortante característica del tipo de mampostería en Ton/m ²	7,5
H: altura media del piso en m	4.7
Pm: peso específico de la mampostería Ton/m ³	2.2
Ps: peso por unidad de área del diafragma Ton/m ²	0.72

Fuente. Los autores

Tabla 35. Área de los muros en x y en y

PRIMERA PLANTA	
Ax	Ay
311,375	319,459

Fuente. Los autores

Tabla 36. Área resistente de los muros en x y en y

SEGUNDA PLANTA	
Ax	Ay
260,991	317,485

Fuente. Los autores

Tabla 37. Área resistente de los muros en x y en y

TERCERA PLANTA	
Ax	Ay
102,084	20,81

Fuente. Los autores

Tabla 38. Resultado del cálculo del parámetro

B	Υ	a_0	Q	C	C	\dot{q}
319,459	1,02596	1,33844	28,75827	0.1	2,0488	20,48863

Fuente. Los autores

Analizando los resultados, la clasificación del parámetro es la opción (A) dado que el valor de \dot{q} es mayor que 1.

- POSICION DEL EDIFICIO Y DE LA CIMENTACION (0.75)

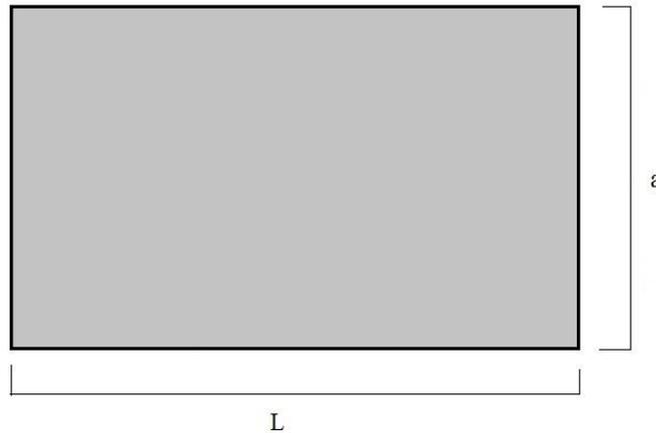
Para evaluar este parámetro hay que tener en cuenta el terreno donde se construyó la edificación. Se realizaron inspecciones visuales y, al igual que las edificaciones que se estudiaron previamente, esta estructura se estableció en un terreno estable, con pendientes menores al 10%, sin diferencias considerables en las cotas y sin presencia de empuje no equilibrado. Teniendo esta información afirmamos que la opción adecuada para este parámetro es la (A).

- DIAFRAGMAS HORIZONTALES (1.00)

Luego de las correspondientes inspecciones visuales a la edificación se observó la existencia de diafragmas horizontales no rígidos, mal enlazados a los muros estructurales y deformabilidad no despreciable. Teniendo estas características como referencia, el parámetro se calificó en la opción (C).

- CONFIGURACION EN PLANTA (0.50)

Figura 31. Forma de la edificación.



Fuente. Los autores.

Conforme a la forma de la edificación se tienen los siguientes valores:

Tabla 39. Distancias en planta de la edificación

CONFIGURACION EN PLANTA	VALOR(m)
A	10,72
L	23,64

Fuente. Los autores

Tabla 40. Cálculos del parámetro.

$\beta 1$	0,4534
-----------	--------

Fuente. Los autores

En el análisis de los resultados obtenidos se determinó para la calificación del parámetro la opción (C), debido a que el valor de β_1 se encuentra entre 0,4 y 0,6.

- CONFIGURACION EN ELEVACION (1.00)

De las correspondientes visitas realizadas a la edificación, no se observó la presencia de porches o torretas, como tampoco diferencias de altura o cambios de área.

Tabla 41. Características en elevación de la edificación.

CONFIGURACION EN ELEVACION	
T: distancia de la irregularidad	0
H: altura total del edificio	14,10
A: área del piso de abajo	232,64
ΔA : cambio de área	0
Área de porche	0

Fuente. Los autores

Tabla 42. Resultados del parámetro.

T/H	$\Delta A/A$ (%)	Δ porche
0	0	0

Fuente. Los autores

Con la información anteriormente obtenida calificamos el parámetro en la opción (A), debido a que $\Delta A/A$ de la edificación es menor al 10%.

- DISTANCIA MAXIMA ENTRE MUROS (0.25)

En este parámetro se considera la distancia que existe entre los muros transversales para comparar con el espesor del muro maestro. Se obtiene la relación L/S más desfavorable.

Tabla 43. Distancia y espesor de muros transversales

DISTANCIA ENTRE MUROS	Distancia(m)
L: Espaciamiento de los muros transversales	5,54
S: Espesor del muro maestro	0,68

Fuente. Los autores

Tabla 44. Relación entre la distancia y espesor de muros transversales

L/S
8,1470

Fuente. Los autores

Teniendo la relación L/S calculada, se calificó el parámetro dentro la opción (A).

- TIPO DE CUBIERTA (1.00)

Figura 32. Cubierta de la edificación



Fuente. Los autores.

Figura 33. Cubierta de la edificación.



Fuente. Los autores.

Esta edificación presenta características similares a la anteriormente expuesta. Se consideraron los mismos aspectos para el análisis del parámetro. En las inspecciones visuales se observó una cubierta de tipo “Par e Hilera”, y la calificación apropiada es la opción (C).

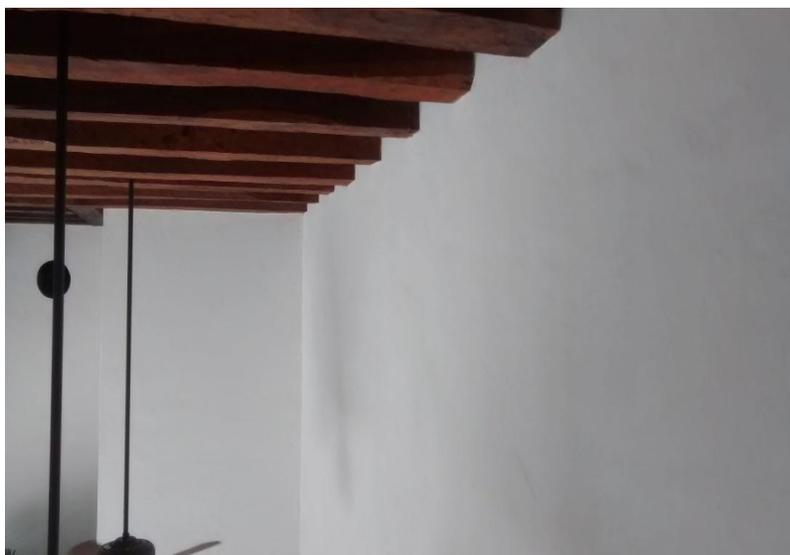
- ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES (0.25)

Esta Edificación no presenta elementos no estructurales como cornisas o parapetos, aunque si posee balcones vinculados al diafragma, por lo tanto la clasificación adecuada es la opción (A),

- ESTADO DE CONSERVACION (1.00)

En las inspecciones visuales no se observaron lesiones capilares en los muros, por lo general se encontraron en muy buenas condiciones, por lo tanto se tomó la clasificación (A) para este parámetro.

Figura 34. Estado de conservación.



Fuente. Los autores.

5.14.1 Análisis de la Edificación n° 4 Ubicada en la Calle Don Sancho.

Tabla 45. Resultado de los parámetros.

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

Fuente. Los autores

Del cálculo del IV se obtuvo:

$$IV = 83,75$$

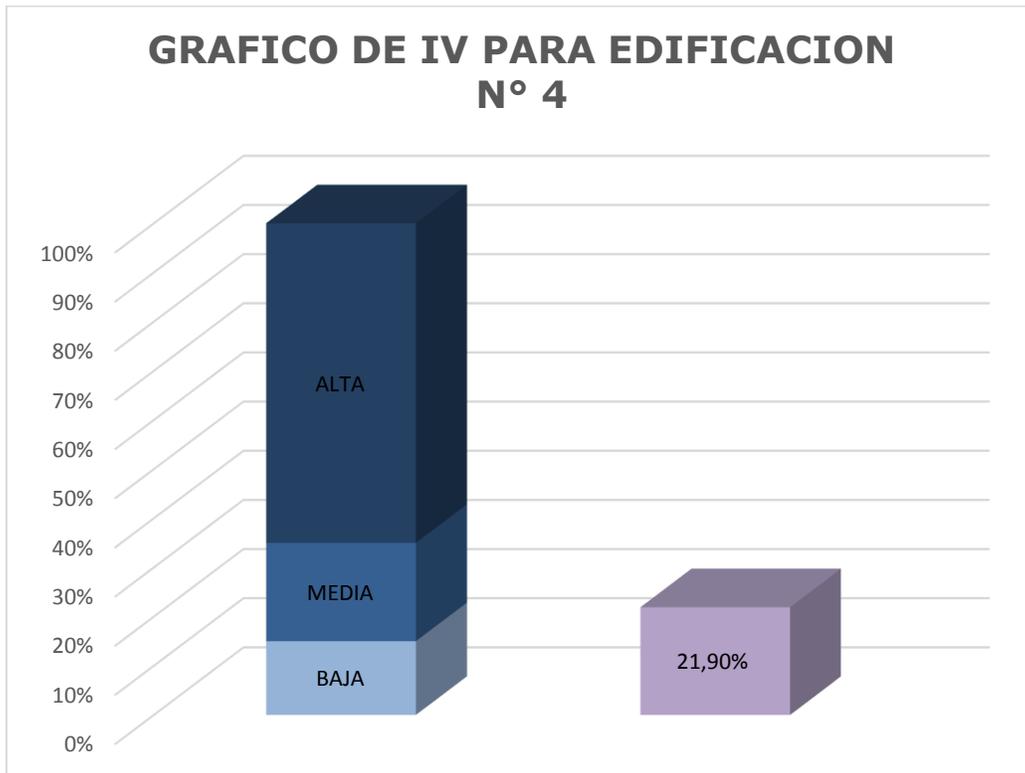
Como en las edificaciones anteriores se halló el índice de vulnerabilidad de la siguiente manera:

$$IV = (83,75 / 382,25) * 100$$

$$IV = 21,90\%$$

El IV calculado se encuentra entre el 15% y el 35%, esto indica que la edificación tiene un índice de vulnerabilidad medio.

Gráfico 4. Resultado de la edificación N°4



Fuente. Los autores

5.15 ANALISIS DE VULNERABILIDAD DE LA CASA N° 5 DEL CENTRO HISTORICO.

Figura 35. Fachada de la edificación.



Fuente. Los autores

PARAMETROS

5.16 ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA RESISTENTE (1.00)

Debido a su antigüedad, esta edificación fue construida sin ningún tipo de reglamentación o norma que regulara sus procesos constructivos y los materiales usados. La edificación no presenta vigas de amarre adecuadas en todas sus plantas, aunque si existen paredes ortogonales bien unidas, Dicho esto, la opción apropiada para el parámetro es la (C).

5.17 CALIDAD DEL SISTEMA RESISTENTE (0.25)

Luego de realizadas las visitas a la edificación, se observó el tipo de mampostería presente se constituye de piedra irregular mal trabada o ladrillos con piezas no homogéneas, por lo que se determinó como calificación del parámetro la opción (D).

5.18 RESISTENCIA CONVENCIONAL (1.5)

De las inspecciones visuales realizadas en la edificación, se obtuvieron los siguientes datos para la evaluación de este parámetro:

Tabla 46. Descripción de la edificación

RESISTENCIA CONVENCIONAL	VALOR
N: número de pisos	3
At: área total cubierta m ²	988,05
Tk: resistencia a cortante característica del tipo de mampostería en Ton/m ²	7,5
H: altura media del piso en m	4,8
Pm: peso específico de la mampostería Ton/m ³	2.2
Ps: peso por unidad de área del diafragma Ton/m ²	0.72

Fuente. Los autores

Tabla 47. Área de los muros en x y en y

PRIMERA PLANTA	
Ax	Ay
485,406	779,274

Fuente. Los autores

Tabla 48. Área resistente de los muros en x y en y

SEGUNDA PLANTA	
Ax	Ay
485,406	779,274

Fuente. Los autores

Tabla 49. Área resistente de los muros en x y en y

TERCERA PLANTA	
Ax	Ay
131,238	326,149

Fuente. Los autores

Tabla 50. Resultado del cálculo del parámetro

B	Υ	a_0	Q	C	C	$\dot{\alpha}$
779,274	1,60540	0,49127	14,23654	0.1	1,54625	15,46253

Fuente. Los autores

Dado que el valor de $\dot{\alpha}$ es mayor a 1, se califica el parámetro con la opción (A).

- POSICION DEL EDIFICIO Y DE LA CIMENTACION (0.75)

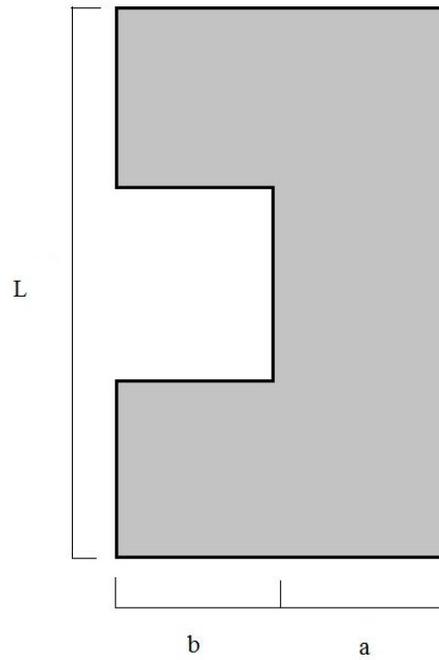
Esta edificación se encuentra construida en una zona provista de suelo muy estable, pendientes mínimas, inferiores a 10%, y sin diferencias de cotas. Teniendo en cuenta estas características el parámetro se clasifica apropiadamente en la opción (A).

- DIAFRAGMAS HORIZONTALES (1.00)

En las visitas realizadas a esta edificación se observaron diafragmas horizontales no rígidos mal enlazados con los muros estructurales y deformabilidad no despreciable, por lo que este parámetro se calificó en la opción (C).

- CONFIGURACION EN PLANTA (0.50)

Figura 36. Forma de la edificación.



Fuente. Los autores.

Conforme a la forma de la edificación se tienen los siguientes valores:

Tabla 51. Distancias en planta de la edificación

CONFIGURACION EN PLANTA	VALOR(m)
A	11,80
L	53,75
B	5,70

Fuente. Los autores

Tabla 52. Cálculos del parámetro.

$\beta 1$	0,219534
$\beta 2$	0,106046

Fuente. Los autores

Analizando los datos obtenidos podemos afirmar que la clasificación adecuada para este parámetro es la opción (D), dado que el valor de $\beta 1$ es menor que 0,4.

- CONFIGURACION EN ELEVACION (1.00)

Luego de realizar las inspecciones visuales en la edificación, no se observaron porches, en cambio si la presencia de diferencia de altura por lo que se contempla la diferencia entre las áreas de las plantas para el desarrollo del método.

Tabla 53. Características en elevación de la edificación.

CONFIGURACION EN ELEVACION	
T: distancia de la irregularidad	3,51
H: altura total del edificio	14,31
A: área del piso de abajo	988,05
ΔA : cambio de área	221,60
Área de porche	0

Fuente. Los autores

Tabla 54. Resultados del parámetro.

T/H	$\Delta A/A$ (%)	Δ porche
0,24545	22,4280%	0

Fuente. Los autores

De acuerdo a los resultados anteriores, la calificación del parámetro es la opción (C), debido a la diferencia de área entre la segunda y tercera planta de la edificación.

- DISTANCIA MAXIMA ENTRE MUROS (0.25)

Teniendo en cuenta la distancia entre los muros transversales y el espesor del muro maestro, se calculó la relación L/S más desfavorable.

Tabla 55. Distancia y espesor de muros transversales

DISTANCIA ENTRE MUROS	Distancia(m)
L: Espaciamiento de los muros transversales	7,20
S: Espesor del muro maestro	0,72

Fuente. Los autores

Tabla 56. Relación entre la distancia y espesor de muros transversales

L/S
10,00

Fuente. Los autores

Con la relación L/S obtenida se clasifica el parámetro en la opción(A).

- TIPO DE CUBIERTA (1.00)

Figura 37. Cubierta.



Fuente. Los autores.

Figura 38. Cubierta.



Fuente. Los autores.

La opción (B) es la que define apropiadamente este parámetro, puesto que se tuvo en cuenta aspectos de la cubierta como la pendiente, la presencia de viga cumbreira, estabilidad y si se encuentra bien sujeta a las paredes ortogonales. La cubierta presente en esta edificación corresponde a una de tipo “Par y Nudillo”, la cual le brinda una mayor estabilidad.

- ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES (0.25)

En la Edificación existen elementos no estructurales como parapetos, cornisas bien conectadas a la pared y balcones vinculados al diafragma, por lo que la opción (A) es la adecuada para este parámetro.

Figura 39. Elementos no estructurales.



Fuente. Los autores.

- ESTADO DE CONSERVACION (1.00)

Luego de realizar la inspección visual en la edificación, no se observaron lesiones capilares, a excepción de pequeñas muestras de humedad. Mayormente se encontraron los muros en buena condición y sin lesiones visibles. Teniendo en cuenta lo anterior la clasificación de este parámetro es la opción (A).

Figura 40. Estado de conservación.



Fuente. Los autores.

Figura 41. Estado de conservación



Fuente. Los autores.

5.18.1 análisis de la edificación n° 5 ubicada en la calle santo domingo.

Tabla 57. Resultado de los parámetros.

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

Fuente. Los autores

Del cálculo del IV se tiene:

$$IV = 108,75$$

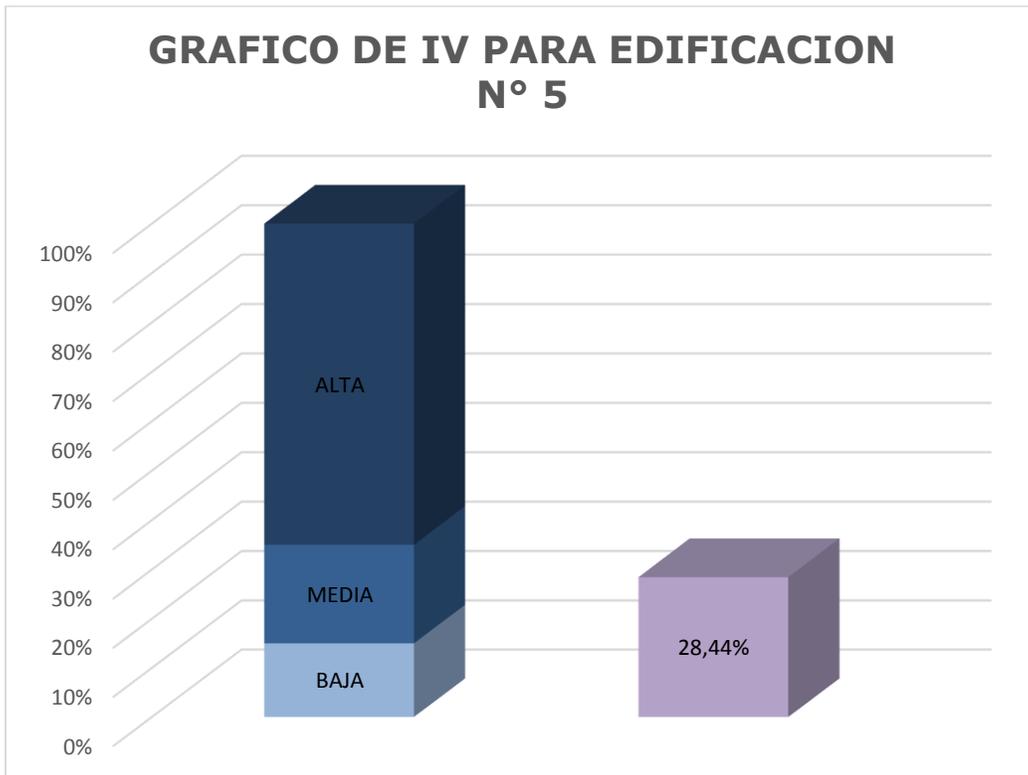
Análogamente se calcula el índice de vulnerabilidad como en las edificaciones anteriores, así:

$$IV = (108,75 / 382,25) * 100$$

$$IV = 28,44\%$$

El IV calculado se encuentra entre el 15% y el 35%, por lo que el índice de vulnerabilidad de la edificación es medio.

Gráfico 5. Resultado de la edificación N°5



Fuente. Los autores

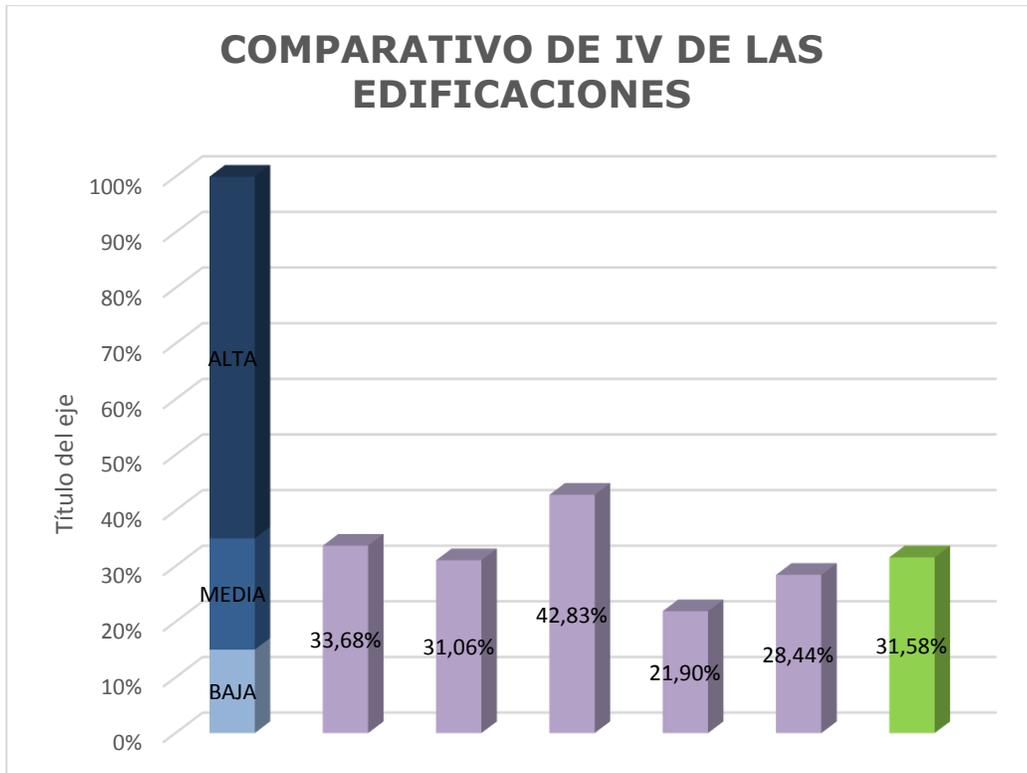
6. TABLA DE RESULTADOS

Tabla 58. Promedio de IV de edificaciones.

PARAMETROS	INDICE DE VULNERABILIDAD DE CASAS ALTAS DE TIPO COLONIALES DEL CENTRO HISTORICO DE LA CIUDAD DE CARTAGENA				
	CASA N°1	CASA N°2	CASA N°3	CASA N°4	CASA N°5
P1	C	C	C	C	C
P2	D	D	D	D	D
P3	A	A	A	A	A
P4	A	A	A	A	A
P5	C	C	C	C	C
P6	D	D	D	C	D
P7	A	A	C	A	C
P8	A	A	A	A	A
P9	B	C	C	C	B
P10	A	A	A	A	A
P11	C	C	D	A	A
IV%	33,68%	31,06%	42,83%	21,90%	28,44%
IV% PROMEDIO	31,58% INDICE DE VULNERABILIDAD MEDIO				

Fuente. Los autores

Gráfico 6. Ponderado de todas las casas.



Fuente. Los autores

RECOMENDACIONES

Posteriormente de obtener los datos arrojados por los estudios realizados a las edificaciones coloniales, se analizó la información teniendo como objetivo optimizar las situaciones de vulnerabilidad de estas estructuras en el sector. Para mitigar la vulnerabilidad en la zona esto se plantean las siguientes recomendaciones:

- Tratar deterioros patológicos que se observan en estas edificaciones como lo son la humedad, presencia de fisuras, corrosión, picaduras en los muros, goteras, eflorescencia y demás, de aquellas casas que lo requieran.
- Enlazar los diferentes elementos no estructurales que se presentan en las casas altas de tipo colonial del sector que no se encuentren bien vinculados a la edificación tales como cornisas, parapetos y balcones.
- Utilizar impermeabilizantes en las uniones de los muros con la cubierta para mitigar la humedad que se presenta. Además aplicar pesticidas en la madera de la cubierta, baranda de balcones, vigas y áreas aledañas a éstas para evitar la propagación de comején y otros organismos que deterioren las estructuras de la edificación.

- Debido a que el índice de vulnerabilidad determinado en las edificaciones altas de tipo colonial tomadas como muestra para este proyecto investigativo es medio, se recomienda realizar un estudio de vulnerabilidad cuantitativo que permita un análisis detallado de las edificaciones del sector.

CONCLUSIONES

El método del índice vulnerabilidad cualitativo aplicado a las casas altas de tipo colonial del centro histórico de la ciudad permitió conocer que estas edificaciones tienen un índice de vulnerabilidad ponderado de 31.58%, que las clasifica con un índice de vulnerabilidad medio.

En las edificaciones coloniales estudiadas en el centro histórico predominan los tipos de cubierta “par e hilera” y “par y nudillo”. Estas cubiertas se caracterizan por su estabilidad y la buena calidad de los materiales empleados en su construcción, aunque esto no las exime de ser susceptibles ante la ocurrencia de un suceso debido a que las cubiertas de las edificaciones del sector se encuentran mal enlazadas con los muros ortogonales.

De las edificaciones estudiadas, ninguna posee diafragmas horizontales rígidos, lo que las hace susceptibles a sufrir deformaciones, y a su vez pobres conexiones entre los diafragmas y los muros.

Al momento de realizar un estudio de vulnerabilidad para determinar el estado de conservación de las estructuras se debe tener en cuenta factores importantes como las enfermedades que atacan y deterioran la edificación, como lo son la humedad, la eflorescencia, corrosión, grietas, picaduras o goteras.

Las casas altas de tipo colonial del centro histórico poseen muros estructurales constituidos con pedazos de ladrillo, piedra y coral triturado, mal trabado y vinculado entre sí, ocasionando que dichas edificaciones sean aún más vulnerables.

En la mayoría de estas casas coloniales existen elementos no estructurales bien sujetos a las edificaciones, logrando que la edificación sea menos vulnerable.

Puesto que estas edificaciones fueron construidas en la época colonial, se implementó una arquitectura doméstica que contemplaba el uso de muros de gran tamaño y espesor, pero dejando luces muy pronunciadas entre ellos, causando aumento de la vulnerabilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arregoces, O., & Hernandez, A. *Patología y Vulnerabilidad Sísmica Del Edificio Palacio Nacional De Justicia Fanny Gonzalez Franco*. Manizales .

Caballero, A. (2007). *DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA POR MEDIO DEL MÉTODO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD EN LAS ESTRUCTURAS UBICADAS EN EL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE SINCELEJO, UTILIZANDO LA TECNOLOGÍA DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA*. Sincelejo.

Cartagena Caribe. (s.f.). Obtenido de <http://www.cartagenacaribe.com/historia/historia.htm>

Cartagena De Indias. (s.f.). Obtenido de <http://www.cartagenadeindias.travel/>

Cueto, J., & Granger, E. (2010). *Vulnerabilidad Sísmica Y Patología Estructural De La Muralla Sector Bovedas-Hotel Santa Clara*. Cartagena.

definicion.de. (s.f.). Recuperado el 16 de 03 de 2015, de <http://definicion.de/vulnerabilidad/#ixzz3Uc0uBCrK>

Eluniversal. (15 de 01 de 2012). Arquitectura cartagenera. *El Universal* , pág. 1.

ElUniversal. (08 de 01 de 2012). arquitectura domestica colonial. *El Universal* , pág. 1.

Eluniversal. (18 de 12 de 2011). www.eluniversal.com. *Arquitectura cartagenera: 5 siglos de historia* , pág. 1.

Giraldo, J., & Mendez, D. (2006). *EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD SÍSMICA EN VIVIENDAS DE MAMPOSTERIA EN ESTRATOS UNO Y DOS SEGUN TIPIFICACION DE LA ESTRUCTURA*. BOGOTA.

Llanos, L., & Vidal, L. (2003). *Evaluacion De La Vulnerabilidad Sismica De Escuelas Publicas De Cali*. Cali.

Navia, B. (2007). *Determinacion De Vulnerabilidad Sismica En Casas De Interes Social En Bogota*. Bogota.

Navia, J., & Barrera, E. (2007). *Determinacion De Vulnerabilidad Sismica En Casas De Interes Social En Bogota*. Bogota.

Olarte, J., Proaño, H., Torres, M., & Zavala, C. *Estudio De La Vulnerabilidad Sismica De La Catedral De Cuzco*. Cuzco.

Portal Unesco. (s.f.). Obtenido de http://portal.unesco.org/es/ev.php-URL_ID=12573&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html

Reyes, N., Sarria, A., & Montiel, J. *Metodologia Para La Determinacion De La Vulnerabilidad Sismica En Edificaciones De Managua, Nicaragua*. Managua.

(2010). REQUISITOS GENERALES DE DISEÑO Y CONSTRUCCION SISMO RESISTENTE.

En *NSR-10*.

BERMUDEZ, S. & BOHORQUEZ, M. (2003). PERFILES ESTRATIGRAFICOS. Cartagena

INGEOMINAS. (2001). ZONIFICACION GEOTECNICA, APTITUD Y USO DEL SUELO EN
EL CASCO URBANO DE CARTAGENA DE INDIAS, DTC – BOLIVAR.

CABRERA CRUZ, Alfonso Rafael, Martelo Osorio, Rosemary Del Carmen, Martínez Sagrera,
Augusto José, Martínez Vázquez, Rosa Helena, “Técnicas antiguas de construcción la
permanencia de los sistemas”, Obra inédita, editan los autores, 1991.

CABRERA, A., MARTINEZ, R. TECNICAS ANCESTRALES DE CONSTRUCCION EN
MUDÉJAR CARTAGENERO.

CABRERA CRUZ Alfonso Rafael, Samudio Trallero, Alberto Ignacio, Torres Sarabia, Luz
Amparo, Martelo Osorio, Rosemary Del Carmen, Cátala Allis Joaquín, Piñón, Juan Luis,
conferencias varias, “Cartagena pasado presente y futuro”, editorial: Universidad Politécnica
de Valencia, España, 2.003.

CABRERA CRUZ Alfonso Rafael. MURALLAS DE CARTAGENA DE INDIAS HERENCIA
DE PIEDRA Y CAL.