

TIPOLOGIA ESTRUCTURAL EN LOS BARRIOS SANTA LUCIA, LOS HEROES Y  
LA URBANIZACION LA ESPERANZA DE LA CIUDAD DE TUNJA

MARIA PAULA BARRETO SANTAMARIA

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

TUNJA

2020

TIPOLOGIA ESTRUCTURAL EN LOS BARRIOS SANTA LUCIA, LOE HEROES Y  
LA URBANIZACION LA ESPERANZA DE LA CIUDAD DE TUNJA

Trabajo de grado para obtener el título de:

INGENIERA CIVIL

MARIA PAULA BARRETO SANTAMARIA

DIRECTOR: WILSON ALFREDO MEDINA SIERRA

INGENIERO CIVIL

CODIRECTOR: NESTOR IVAN ROJAS GAMBA

INGENIERO CIVIL

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

TUNJA

2020

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Tunja, 1 de septiembre del 2020

## AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIAS

A Dios por darme la vida y las capacidades para culminar mi carrera

A mi familia por su acompañamiento

A los ingenieros Wilson Medina y Néstor Rojas, por su guía, interés y disposición como directores de este proyecto.

A la Universidad Santo Tomás y la Facultad de Ingeniería Civil, por formarme académicamente para ser un profesional íntegro.

## CONTENIDO

1.	Introducción.....	1
2.	Problema de investigación .....	3
2.1	Descripción de la problemática.....	3
2.2	Pregunta de investigación .....	4
2.3	Justificación .....	4
2.4	Objetivos.....	5
3.	Revisión Bibliográfica .....	7
3.1	Estudios en Colombia.....	9
3.2	Estudios en Boyacá .....	12
3.3	Estudios realizados en Tunja.....	12
4.	Marco teorico.....	14
4.1	Sismología .....	14
4.1.1	Interior de la tierra .....	14
4.2	Vulnerabilidad sísmica: .....	23
4.3	Clases de vulnerabilidad sísmica.....	24
4.4	Amenaza sísmica .....	25
4.5	Método del índice de vulnerabilidad BENEDETTI-PETRINI .....	25
4.6	Tipos de sistemas estructurales .....	39
4.6.1	Sistema de muros de carga : .....	39
5.	Materiales y Métodos .....	43
5.1	Materiales .....	43
5.2	Métodos .....	45
6.	Zona De Estudio.....	50
6.1	La ciudad en el país .....	51
6.2	Características de la ciudad de Tunja .....	52
7.	Análisis y discusión .....	57
7.1	Barrio Santa Lucia.....	59
1.	Barrio los Héroes .....	77
2.	Urbanización La Esperanza .....	92
8.	INDICE DE VULNERABILIDAD .....	96
9.	Conclusiones.....	106
10.	Recomendaciones.....	110

11.	Glosario .....	112
12.	Referencias bibliográficas .....	117
13.	Anexos .....	122

## Índice de fotografías

Fotografía 1 vivienda en adobe barrio Santa Lucia .....	40
Fotografía 2 Vivienda en adobe barrio Santa Lucia .....	40
Fotografía 3 Vivienda sin terminar Barrio Santa Lucia .....	58
Fotografía 4 Falta de juntas de separación .....	65
Fotografía 5 Diferencia de Alturas.....	66
Fotografía 6 Viviendas Manzana #8 entre calle 25 y carrera 15 .....	68
Fotografía 7 Vivienda Original Barrio Santa Lucia.....	69
Fotografía 8 Sistema estructural predominante.....	70
Fotografía 9 Pórticos en Concreto.....	70
Fotografía 10 Vivienda sin terminar Barrio Los héroes .....	81
Fotografía 11 Vivienda ampliada Barrio Los Héroes .....	82
Fotografía 12 Mampostería No Reforzada Barrio Los Héroes .....	84
Fotografía 13 Columna Corta, discontinuidad de elementos estructurales .....	85
Fotografía 14 Sistema Estructural .....	87
Fotografía 15 Sistema Estructural Barrio Los Héroes .....	89
Fotografía 16 Vivienda tipo Barrio Los Héroes.....	96
Fotografía 17 Distintas Unidades de Mampostería .....	97

## Índice de ilustraciones

Ilustración 1 Capas de la Geosfera .....	15
Ilustración 2 Fricción entre placas .....	16
Ilustración 3 Placas Tectónicas .....	17
Ilustración 4 Tipos de Fallas .....	17
Ilustración 5 Zona de subducción .....	18
Ilustración 6 Origen de un Terremoto .....	18
Ilustración 7 Ondas S y Ondas P .....	19
Ilustración 8 Ondas L .....	20
Ilustración 9 Ondas R .....	20
Ilustración 10 Sismograma .....	21
Ilustración 11 Escala de Richter .....	22
Ilustración 12 Comparación de Energía Liberada .....	22
Ilustración 13 Parámetros Índice de Vulnerabilidad .....	27
Ilustración 14 Alturas del método de índice de vulnerabilidad .....	32
Ilustración 15 Sistemas Estructurales .....	42
Ilustración 16 Tabulación en Excel .....	44
Ilustración 17 ArcGis .....	44
Ilustración 18 Mapa de Sismicidad Global .....	50
Ilustración 19 Placas que afectan a Colombia .....	51
Ilustración 20 Localización de Tunja en Colombia .....	52
Ilustración 21 Mapa Geológico de Tunja .....	55
Ilustración 22 Configuración en planta típica .....	101

## Índice de tablas

Tabla 1 Terremotos con afectaciones importantes en el país .....	10
Tabla 2 Escala de Mercalli .....	23
Tabla 3 Valores de los Parámetros .....	26
Tabla 4 Resumen de los Parámetros .....	35
Tabla 5 Modificación viviendas en pórticos de concreto .....	38
<i>Tabla 6 A.10.4-1 Calidad y estado de la edificación.....</i>	<i>74</i>
Tabla 7 .....	98
Tabla 8 Muros en X primer piso .....	99
Tabla 9 Muros en Y primer piso .....	99
Tabla 10 Área de Muros en X.....	99
Tabla 11 Muros en Y .....	99
Tabla 12 Índice de Vulnerabilidad para vivienda tipo del Barrio Los Héroes.....	103
Tabla 13 Cuantificación del Índice de Vulnerabilidad .....	104

## Índice de mapas

Mapa 1 Loteo y orden de recorrido barrio Los Héroes .....	47
Mapa 2 Loteo Urbanización la Esperanza.....	48
Mapa 3 Loteo y orden de recorrido barrio Santa Lucia .....	48
Mapa 4 Cárcava Santa Lucia .....	54
Mapa 5 Ubicación de los barrios en Tunja .....	57
Mapa 6 Manzanas Barrio Santa Lucia .....	59
Mapa 7 Tipo de Uso .....	60
Mapa 8 Año de Construcción .....	62
Mapa 9 Inclinación .....	63
Mapa 10 Inundación.....	64
Mapa 11 Posición en la Manzana .....	66
Mapa 12 Número de pisos Santa Lucia .....	67
Mapa 13 Sistema Estructural .....	71
Mapa 14 Tipo de Placa .....	72
Mapa 15 Daños en la Estructura .....	73
Mapa 16 Calidad de Diseño .....	74
Mapa 17 Estado de las Edificaciones.....	76
Mapa 18 Manzanas Barrio Los Heroes .....	77
Mapa 19 Tipo de Uso .....	78
Mapa 20 Loteo Barrio Loe Héroes .....	79
Mapa 21 Año de Construcción .....	79
Mapa 22 Inclinaciones Barrio los Héroes .....	80
Mapa 23 Posición en la Manzana barrio Los Héroes .....	81
Mapa 24 Casa Original Barrio Los Héroes.....	82
Mapa 25 Número de Pisos Barrio Los Héroes .....	83
Mapa 26 Sistema Estructural .....	85
Mapa 27 Tipo de Placa .....	86
Mapa 28 Daños En La Estructura Barrio Los Héroes.....	88
Mapa 29 Calidad de Diseño Barrio Los Héroes .....	90
Mapa 30 Estado de La edificación Barrio Los Héroes.....	91

Mapa 32 Torres de la urbanización La Esperanza .....	92
Mapa 33 Refuerzo de Muros, Piso tipo La Esperanza .....	93
Mapa 34 Mampostería Reforzada La Esperanza .....	93
Mapa 35 Sistema Estructural La Esperanza .....	94
Mapa 36 Calidad de Diseño La Esperanza .....	94
Mapa 37 Estado de La Edificación .....	95

## Índice de Graficas

Grafica 1 .....	59
Grafica 2 Año de Construcción.....	62
Grafica 3 Número de Pisos .....	67
Grafica 4 Sistema Estructural.....	69
Grafica 5 Tipo de Placa .....	72
Grafica 6 Daño En La Estructura.....	72
Grafica 7 Calidad de Diseño.....	74
Grafica 8 Estado de la Edificación.....	75
Grafica 9.....	77
Grafica 10 Número de Pisos Los Héroes .....	83
Grafica 11 Sistema Estructural Los Héroes .....	84
Grafica 12 Daños En La Estructura Barrio Los Héroes .....	87
Grafica 13 Calidad de Diseño Los Héroes .....	89
Grafica 14 Estado de la Edificación Los Héroes .....	90
Grafica 15.....	104
Grafica 16.....	105
Grafica 17.....	105

## RESUMEN

Cada día es evidente la importancia de tener un control y un constante monitoreo a los sismos que se presentan con mayor frecuencia en diferentes partes de Colombia, esto debido a que se encuentra ubicada en una zona activa sismológicamente. Tunja está ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia y en su mayoría de construcciones, se puede evidenciar una configuración estructural deficiente, materiales inadecuados, falta de asesoría profesional y de aplicabilidad de la norma sismo resistente que rige actualmente a Colombia, lo que puede provocar daños materiales y aún más importantes pérdidas humanas en caso de que se presente un evento sísmico.

Una de las finalidades de este trabajo es poder emitir un concepto acerca del estado actual de las construcciones de los barrios Santa Lucía, Los Héroes y La urbanización La Esperanza y su respectiva tipología estructural, esto con ayuda de los parámetros y recomendaciones fijados previamente en la NSR-10 y con la utilización del método empírico índice de vulnerabilidad, establecido por los italianos Benedetti-Petrini, que se utilizara en viviendas de mampostería no reforzada y de adobe de cada barrio lo que permite una evaluación más próxima aunque no exacta dada las características cualitativas del método.

Además, se utilizan herramientas como Google Earth y Google Maps que ayudan a tener una vista preliminar de los distintos sistemas estructurales de las zonas de estudio, información que se corrige con la visita de campo y las entrevistas a la comunidad.

Finalmente, la información obtenida es registrada en Excel y Arcgis con el fin de obtener un resultado completo que pueda ser beneficioso para la población de estudio por medio de mapas y tabulaciones que hacen más fácil transmitir la información. En los resultados de esta investigación se determinó que la mayoría de viviendas están construidas con mampostería no reforzada, que no cumple con la normatividad vigente, además de esto se detectaron problemas como que se encuentran construidos sobre suelos que no son aptos para la construcción de edificaciones debido a su alto grado de permeabilidad y erosión, muchas de las

viviendas no cuentan con licencias de construcción y muchas de estas presentan problemas de diseño y configuración estructural, además los resultados del índice de vulnerabilidad indican que en su mayoría las viviendas no poseen capacidades estructurales adecuadas para soportar las fuerzas horizontales generadas por un sismo.

## ABSTRACT

Every day we can see the importance of having a control and constant monitoring of the earthquakes that occur frequently in different parts of Colombia, due to we are located in a seismologically active zone. Tunja is located in an intermediate seismic threat zone and in the constructions, can have a poor structural configuration, inadequate materials, lack of professional advice and the applicability of the resistant earthquake standard that currently governs Colombia, which can cause damage materials and even more important human losses in the event of a seismic event.

One of the purposes of this work is to be able to issue a concept about the current state of the constructions of the Santa Lucia, Los Héroes and La Esperanza neighborhoods and their respective structural typology, this with the help of the parameters and recommendations previously established in the NSR-10 and with the use of the empirical vulnerability index method, established by the Italians Benedetti-Petrini, to be used in unreinforced masonry and adobe houses in each neighborhood, allowing a closer but not exact evaluation given the characteristics qualitative of the method.

In addition, tools such as Google Earth and Google Maps are used that help to have a preliminary view of the different structural systems of the study areas, information that is corrected with the field visit and interviews with the community.

Finally, the information obtained is registered in Excel and Arcgis to issue a final concept that may be of benefit to the study population through maps and tabulations that make it easier to transmit the information. In the results of this investigation it was determined that the majority of homes are built with unreinforced masonry, which does not comply with current regulations, in addition to this, problems were detected such as being built on floors that are not suitable for the construction of buildings Due to their high degree of permeability and erosion, many of the houses do not have construction licenses and many of these have structural design and configuration problems, and the results of the vulnerability index indicate that most of the houses are at risk of future collapse.

## 1. INTRODUCCIÓN

La actividad sísmica hace parte del mundo desde sus inicios y a pesar de que el mundo ha desarrollado nuevas maneras de detectarlos y monitoréalos, los daños que producen siguen siendo incalculables y dolorosos para todos aquellos que se han enfrentado a este fenómeno natural.

Este trabajo se enfoca principalmente en la evaluación de la tipología estructural y el estado de las edificaciones construidas en los barrios Santa Lucia, Los Héroes y La urbanización La Esperanza, esto con ayuda del método de Benedetti-Petrini, exponiendo aquí los casos más relevantes y los principales resultados de esta investigación, proporcionados mediante entrevistas e inspecciones visuales y que posteriormente serán tabulados en una base de datos utilizando el software Excel y el sistema de información geográfica ArcGis para generar mapas estadísticos.

Para esto se tuvo en cuenta la localización de los predios, su año de construcción y la tipología estructural que afectan directamente la magnitud del daño que puede producir un sismo. Es importante tener en cuenta que Colombia está ubicada en el cinturón de fuego del pacifico lo que significa que día a día estamos expuestos a que ocurra un sismo de gran magnitud y si a esto le añadimos que muchas de las edificaciones no cuentan con los parámetros mínimos de la norma NSR-10 las probabilidades de fallo en las estructuras frente a sismos de grandes magnitudes pueden ser mayores.

Cabe resaltar que cada vez hay más esfuerzos para contrarrestar los posibles efectos de estos inoportunos eventos naturales. El más notorio de estos fue La implementación de la primera norma que se hizo con un estudio de amenaza sísmica en gran parte de Colombia. Para una de sus primeras actualizaciones la Universidad de Los Andes, el Ingeominas y la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica aportaron sus conocimientos con el fin de tener una información más completa de los registros de los posibles eventos sísmicos. En los años noventa empezó la Red Sismológica Nacional en la que se implementaron los parámetros de la Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente de 1998 (Salgado, Bernal, Yamín, & Cardona, 2010) norma que fue nuevamente actualizada

gracias a los avances tecnológicos y nuevos métodos de recolección de información que permiten con más facilidad detectar movimientos a grandes profundidades y hacen que la información este a tiempo en los centros de recolección de datos.

Los estudios de vulnerabilidad sísmica están compuestos por un análisis cualitativo y cuantitativo que conducen a determinar la debilidad de una edificación frente a un sismo y aumentan la necesidad de diseñar, construir o reforzar las estructuras de la manera más adecuada, de esta forma se disminuye el nivel de exposición de la población reduciendo los impactos, sociales, económicos, ambientales, entre otros que traen las grandes catástrofes naturales (Daniel & Hernández, 2011). Para este estudio se escogió el método italiano de Benedetti-Petrini, ya que no representa un costo muy alto y tiene en cuenta varias características importantes para la evaluación de las edificaciones.

En Tunja muchos de los barrios fueron construidos durante los años 70 en suelos en su mayoría blandos por ejemplo: Los muiscas, La fuente, Aquimín, el consuelo, Surinama, entre otros, y sus edificaciones no tienen en cuenta ningún sistema de distribución de energía que ayude a la comunidad a estar preparada ante un sismo, además diariamente se presentan muchas ampliaciones o cambios en las estructuras que no son autorizadas por un ente de control lo que significa que no tienen licencias de construcción. Con esta investigación se pretende dar un concepto aproximado sobre la vulnerabilidad sísmica referente a los barrios anteriormente mencionados. (*Cuerpo De Bomberos Voluntarios De Tunja Departamento de Prevención y Seguridad Vulnerabilidad Sísmica En Tunja*, n.d.).

## **2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **2.1 DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA**

La vulnerabilidad sísmica muestra el grado de daño que podría sufrir una estructura sometida a fuerzas horizontales (Caballero, 2007), hasta el 2009 se han presentado cerca de 300 sismos en la ciudad de Tunja, de los que se tiene registro y que han ocasionado algún impacto en la ciudad están: el sismo del 12 de Julio de 1785, en Tunja se colapsó la iglesia y la capilla de Nuestra Señora del Rosario, en 1826 se presentó un evento sísmico que dañó parte del colegio de Boyacá, el Hospital antiguo y el batallón, en 1967 el sismo de magnitud 6.3 con epicentro en Betulia Santander, género en Tunja daños en la catedral, también hay evidencia de que en el año 2012 se presentó un sismo de magnitud 4.3 en Viracacha que dejó como resultado grietas en su iglesia principal y elementos no estructurales desplomados (Rodríguez Edgar, Sanchez Miguel, Sainea Carlos), por esta razón, se hace necesario realizar estudios que se centren en este tema, además nuestro país se encuentra en el cinturón de fuego del pacífico, donde hay actividad sísmica constante gracias a que hay subducción entre la placa de Nazca y la suramericana.

Existe una creciente preocupación por parte de ingenieros Civiles que se enfocan en el diseño estructural debido a la falta de estudios de microzonificación sísmica en la ciudad de Tunja, ya que, como bien se especifica en la NSR-10, está localizada en una zona de amenaza sísmica intermedia, en el suelo hay presencia de pozos profundos, de los que se abastece parte de la población y cárcavas que son suelos erosionados en los que se ha empezado a construir. Muchos de los barrios son antiguos, lo que podría significar que poseen sistemas constructivos débiles. Además, está construida sobre varias fallas importantes que afectan las condiciones geológicas y está catalogada según la norma como suelo tipo F (Eduardo et al., n.d.).

Tunja fue fundada hace más de 400 años, sobre tierras indígenas destinadas para la agricultura, desde ese entonces se empezaron a levantar edificaciones, que se han venido actualizando con el pasar de los años, es por esto que aun en esta ciudad se encuentran viviendas coloniales o con sistemas constructivos que no son

aptos para los tiempos y los cambios en los que está viviendo la población actualmente. La expansión de la ciudad se evidencia continuamente, el aumento de población es evidente y la transformación de la tierra es continua, las placas tectónicas no detienen su movimiento lo que representa una amenaza latente para todos. Los eventos sísmicos son inoportunos y llegan cuando menos se les espera, por esta razón el mejoramiento de las estructuras es un caso que requiere de la atención de cada propietario con el fin de preservar algunos de sus bienes materiales y aún más importante la vida de sus seres queridos.

## **2.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

¿Cuál es de la tipología estructural predominante de las edificaciones de los barrios Santa Lucía Los Héroes y Urbanización La Esperanza, sabiendo que Tunja se clasifica según la NSR-10 en zona de amenaza sísmica intermedia?

## **2.3 JUSTIFICACIÓN**

Los sismos son uno de los fenómenos naturales que más daños causan a las estructuras a nivel mundial y Colombia no se encuentra exenta a sufrir algún evento que afecte en gran medida su estabilidad actual, por el contrario, al ubicarse en una zona activa sísmicamente la probabilidad de daño aumenta, poniendo en riesgo a la mayoría de familias colombianas que viven en edificaciones que en su mayoría no cumplen con las normas mínimas de seguridad, un ejemplo de esto fue el sismo ocurrido en Armenia en enero de 1999, que dejó más o menos un saldo de 1125 muertos en su mayoría aplastados por paredes y vigas de concreto (Colprensa/El País, 2019). Para su reconstrucción se destinaron 1,6 billones de pesos cifra que claramente desestabilizó al país y prendió aún más alarmas que despertaron la necesidad creciente de estudios de amenaza y vulnerabilidad sísmica con el fin de dar herramientas a los ingenieros para tomar decisiones a la hora de construir o reforzar edificaciones (Caballero, 2007).

Tunja está ubicada en una zona de amenaza sísmica intermedia con valores de  $A_a = 0.2g$  y  $A_v = 0.2g$ , y con afectación de las fallas del tramo sur de la falla Bucaramanga-Santa Marta y del tramo central de la falla Frontal de la Cordillera Oriental (Eduardo et al., n.d.). Lo que hace que la amenaza sísmica sea un riesgo

latente para la comunidad, a pesar de que en los últimos años no ha ocurrido un sismo que genere afectaciones. La probabilidad de ocurrencia de un sismo, su magnitud y duración es difícil de determinar por qué existen cierta cantidad de incertidumbres que hacen que calcular el tamaño del problema sea difícil. Por lo antes mencionado cabe destacar la importancia de realizar este tipo de estudios que permiten mostrar la tipología estructural de las edificaciones y su estado actual para generar una alerta a la comunidad incitándolos al mejoramiento de sus viviendas en caso de encontrar alguna en estado de deterioro que represente una amenaza para las personas que allí habitan. Este tema hace parte de los conocimientos fundamentales de los ingenieros civiles ya que *“la causa del mayor número de víctimas es el colapso de edificios que produjo el 75% de las pérdidas humanas por terremotos en el mundo en el siglo XX”* (Barbat, 1998).

Los resultados de un sismo son pérdidas de vidas humanas y daños materiales incalculables que dejan como resultado países endeudados y sentimientos de tristeza y daños psicológicos a lo largo de todo el territorio afectado. Los sismos fuertes generan desempleo, destrucción de industrias, desplazamientos, pobreza y gastos de los que el gobierno debe hacerse cargo con el fin de recuperar de algún modo la economía y desarrollo del territorio. Por nombrar un ejemplo de las consecuencias de este fenómeno en Colombia está el sismo ocurrido en Armenia que dejó un costo de aproximadamente \$900 millones de dólares y en daños indirectos otros \$600 millones de dólares y un número de víctimas aproximado de 1185. Esta es la principal razón de este tipo de estudios (Diaz Pinedo Nohora).

## **2.4 OBJETIVOS**

- OBJETIVO GENERAL:

Identificar la tipología estructural en los barrios Santa Lucia, Los Héroes y Urbanización la esperanza con ayuda de encuestas e inspecciones visuales con base en el título A de la Norma Sismo Resistente NSR-10, con los datos obtenidos diseñar una base de datos de información geográfica (SIG) y generar un diagnóstico de las zonas seleccionadas.

- OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- ✓ Determinar el sistema estructural predominante en cada uno de los barrios.
- ✓ Establecer el  $\theta_c$  (coeficiente preliminar de reducción de resistencia por la calidad del diseño) de acuerdo a la NSR10.
- ✓ Determinar el  $\theta_e$  (coeficiente preliminar de reducción de resistencia por el estado de la estructura) de acuerdo a la NSR10

### 3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Se han hecho estudios importantes alrededor del mundo con respecto a la vulnerabilidad sísmica, que sin importar el lugar en el que las personas se encuentren ubicadas, genera un factor de riesgo para la humanidad, es por esto que alrededor del siglo XX surge la necesidad de contrarrestar los efectos que podrían causar los sismos y que generan grandes consecuencias en países, como por ejemplo, el sismo de San Francisco en USA, Italia 1908 y Japón 1923 siendo estos países los primeros en desarrollar este concepto (Caballero, 2007).

Para los japoneses, que se encuentran ubicados dentro del cinturón de fuego de las pacífico soportar las diferentes condiciones climáticas y geográficas no ha sido fácil, pero los ha llevado a ser uno de los países más preparados para enfrentar los terremotos y sus consecuencias, según cifras, este país concentra el 20.5 por ciento de todos los movimientos sísmicos en el mundo (Riesgos, 2017) (Israel Palazuelos Covarrubias, Lorena Vázquez Correa, 2017). La historia de los estudios sismológicos comienza en 1876 cuando John Milne quien se encontraba trabajando en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Imperial de Tokio, inventa el sismógrafo moderno, construido con el fin de registrar las vibraciones sísmicas. La primera norma en Japón que contemplaba las leyes para el reforzamiento de las edificaciones se dio después del terremoto de Kanto, que destruyó toda la ciudad de Tokio y sus monumentos, en 1924 (Niglio, 2014).

El método de vulnerabilidad sísmica japonés ha resultado ser uno de los más eficientes a la hora de emitir un concepto frente a la ocurrencia de un evento sísmico. *“El método consiste en evaluar la estructura, la forma del edificio y el deterioro. La estimación del riesgo sísmico se realiza por medio del cálculo de un índice sísmico ( $I_s$ ), que representa el comportamiento global de un entrepiso”* (Palma, 2015).

El índice sísmico LS tiene en cuenta la resistencia última de los elementos estructurales de la edificación, el tipo de mecanismo de falla y la ductilidad del sistema, la intensidad de los movimientos del terreno, el efecto que el diseño estructural tiene en el comportamiento sísmico de la estructura a través de factores

como la distribución de masas y de rigideces y, finalmente, los efectos de deterioro y defectos estructurales como grietas y deflexiones (Palma, 2015).

En la tesis de pregrado llamada “Vulnerabilidad sísmica de centros educativos de Huancayo Metropolitano” desarrollada por Fernandez Párraga, Alan; Párraga Catay, Cintia Natali en Perú en el año 2013 se utilizó el método japonés para determinar la amenaza sísmica en la que se encuentra la institución, también se determinaron los aspectos geológicos y geotécnicos que afectan de manera directa la estructura en caso de la ocurrencia de un evento sísmico. Esta metodología permitió una evaluación de vulnerabilidad sísmica estructural donde se estudiaron 404 módulos del centro educativo inspeccionado y se concluyó que el 17% son altamente vulnerables, el 69% son vulnerables y el 14% son no vulnerables frente a eventos sísmicos severos, además se encontraron varias irregularidades en el comportamiento sísmico de las edificaciones (Nacional et al., 2013).

En Centroamérica, México es uno de los países más afectados por los movimientos de la tierra esto debido a su ubicación, ya que debajo de este país interactúan entre si las placas de Norteamérica, la de Cocos, la del Pacífico, la de Rivera y la del Caribe. En 1910 comenzó la red sismológica mexicana, actualmente la UNAM, es la encargada de operar el Servicio Sismológico Nacional (SSN) que cuenta con 35 estaciones sismológicas.

En 1986 la fundación Javier Barros patrocino la implementación del centro de instrumentación y registro sísmico A.C. (CIRES) de alerta sísmica que da aviso a la comunidad 60 sg antes, esto con el fin de que se alcancen a tomar algunas medidas que eviten un desastre peor (Servicio Geológico Mexicano, 2017). Según los registros acumulados en los recientes 28 años, han ocurrido cerca de 95 mil sismos de los que 44 han sido de una magnitud mayor a 6.5, y se pronostican que puede haber eventos como el ocurrido en 2017. (Riesgos, 2017) (Israel Palazuelos Covarrubias, Lorena Vázquez Correa, 2017).

En varios países de Latinoamérica se han hecho estudios con ayuda de uno de los métodos más importantes para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica desarrollado en Italia y que hoy en día se emplea en gran cantidad de casos, un

ejemplo de esto es una investigación que buscaba determinar el índice de vulnerabilidad sísmica e índice de seguridad estructural en cinco establecimientos de salud del distrito de Jaén, Perú utilizando el método italiano desarrollado por Benedetti-Petrini, en 1982, y para el índice de seguridad hospitalaria se utilizó el modelo matemático del ISH (Índice de Seguridad de Hospitales) elaborado por la OMS y OPS, donde se determina el nivel de seguridad (bajo, medio, alto). Las características más importantes que se tuvieron en cuenta fueron las inspecciones visuales, fotográficas y las mediciones necesarias para su evaluación. Finalmente se encontró que se presentan problemas en los sistemas constructivos estructurales lo que significó que no hay una revisión, adecuado control y supervisión de las entidades responsables lo que las conduce a ser edificaciones más vulnerables ante un fenómeno de origen sísmico (Cubas Quevedo, H., Yajamanco, R., & Lisett, G., 2019).

Otro caso de estudio en el que se usó este método es Pátapo, Perú, en donde se analizó el grado de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones, cuyo resultado sirvió para analizar qué tan probable sería que una edificación cediera frente a los fuertes movimientos sísmicos. La investigación se realizó en base a la metodología de Benedetti y Petrini, también para algunas de las edificaciones con características especiales se utilizó ETABS (Extended Three Dimensional Analysis of Building Systems). El análisis de los datos obtenidos generalmente se hace a través de un SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA (SIG) que permite relacionar la información obtenida con una localización geográfica, lo que nos permite visualizar las características de las construcciones a las cuales se les está haciendo el estudio (MinEducacion, 2020), con esta herramienta se obtuvieron mapas temáticos de resultados y la zonificación de la ciudad de Pátapo, resultados que sirven para los planes de mitigación de las autoridades competentes (Prado, C., Wilder, F., & Gomez Julca, C. R. J. , 2020).

### **3.1 Estudios en Colombia**

Acercándonos a nuestro caso de estudio en Colombia la importancia de hacer estudios de vulnerabilidad ha crecido, esto debido a que a lo largo de la historia del

país ha habido eventos con fuertes daños de los que le ha costado al país recuperarse debido a la destrucción de zonas urbanas.

*Tabla 1 Terremotos con afectaciones importantes en el país*

FECHA	MAGNITUD	LOCALIZACIÓN	AFECCIÓN	COMENTARIOS
1979-12 de diciembre	7.9	Tumaco-Nariño	260 Muertos	Un maremoto arrasa el puerto de Tumaco, cuyas construcciones son, en su mayor parte, chozas de madera.
1983-31 de marzo	5.5	Popayán-Cauca	250 Muertos, 10.000 casas afectadas	Un terremoto destruye Popayán y arruina los templos de esa ciudad, considerada reliquia arquitectónica.
1992-17 y 18 de octubre	6.2 y 7.2	Murindó-Antioquia	3 Muertos, 2.000 damnificados	Licuaación de terrenos
1994-6 de junio	6.4	Páez-Cauca	500 Muertos, 3.000 casas afectadas y 28.000 damnificados	Ocasionó una avalancha fluvial en los departamentos del Huila y Cauca.
1995-19 de enero	6.5	Tauramena	5 Muertos	
1995-9 de febrero		Pereira	40 Muertos	Un nuevo terremoto en Pereira y otras zonas del eje cafetero.
1999-25 de enero	6.2	Armenia	1.200 Muertos	Sacude los departamentos del Valle del Cauca, Risaralda, Quindío, Caldas, Huila y Tolima
2004- 15 de noviembre	7.2	Pizarro		Daños moderados en municipios de la costa pacífica y en la ciudad de Cali
2008- 24 de mayo	5.7	Quetame	767 Casas afectadas, 5.000 damnificados	Daños moderados en Quetame, Cáqueza y el Calvario, deslizamientos en la vía Bogotá Villavicencio y daños leves en Villavicencio y Bogotá

*Fuente: Alcaldía Mayor de Bogotá*

En el año 2009 se realizó un estudio en Sincelejo, Sucre en el que se evaluó el centro histórico de la ciudad, siendo este el primero en realizarse en este sector con el fin de conocer el estado actual de las estructuras que allí se encuentran. Para

esto utilizan el método del índice de vulnerabilidad, para determinar el posible daño que se pueda generar en dado caso de ocurrir un sismo. Para hacer efectiva la investigación se utilizó un sistema de información geográfica SIG acompañado de los estudios respectivos en la zona. Los hallazgos de esta investigación fueron que muchas de las edificaciones presentan daños y que eventualmente no están en condiciones de superar un evento sísmico de grandes proporciones (Caballero Guerrero, Á. R. , 2009). Este trabajo resulta de mucha importancia, ya que en esta investigación se utilizará el método del índice de vulnerabilidad buscando resultados similares.

Adelantándonos un poco, en el año 2013 en la ciudad de Bogotá, se hizo una investigación con el objetivo de evaluar 8 construcciones que están ubicadas en el centro de esta ciudad, edificaciones que fueron escogidas debido a que con una inspección visual se determinó que tienen todas las cualidades para colapsar y generar un riesgo para la ciudadanía. En este trabajo también se utiliza el método del índice de vulnerabilidad, que para este estudio se les hicieron algunas modificaciones a los parámetros para finalmente ser aplicado. Aun cuando todo apuntaba a que poseían un grado alto de vulnerabilidad los resultados dijeron que son estructuras seguras, según el autor esto se debe a que los parámetros que evalúan las configuraciones en planta y en altura no tienen un peso significativo en la evaluación final, lo que apunta a un resultado aproximado (Quiroga Medina, A. M., 2013).

Recientemente se han hecho estudios de vulnerabilidad en varias partes de Colombia, buscando ejemplos actuales se encontró que en la ciudad de Medellín, Itagüí y Sabaneta se hizo un estudio a 30 instituciones educativas con el fin de determinar la vulnerabilidad sísmica aplicando del método del Índice Prioritario desarrollado por Hassan y Sözen (1997). Este método permite determinar las construcciones que podrían colapsar o soportar las fuerzas del sismo sin desplomarse, pero con daños severos, el sistema estructural de estas instituciones es de pórticos de hormigón reforzado con presencia de muros en mampostería.

Finalmente se encontró que hay un 61% de las estructuras que podrían colapsar (Mejía, F. N. Z., & Jaramillo, A. B. A., 2019) (Medellín, Norbey, & Mejía, 2019).

### **3.2 Estudios en Boyacá**

La Iglesia de Pachavita – Boyacá tiene un sistema constructivo antiguo en el que los materiales principales que se utilizaron en su construcción fueron el adobe, el bahareque, mampostería de arcilla y cubiertas en madera. En este estudio se encontró que debido a que está expuesta a diversos factores naturales como la lluvia, el viento, y además la falta de mantenimiento, esta se encuentra en un estado de deterioro bastante alto, que se puede evidenciar con las fisuras y asentamientos.

Al final del estudio determinaron una propuesta de reforzamiento que ayude en caso de presentarse un evento sísmico, a que, la estructura no caiga en su totalidad y de esta forma obtener una estructura segura que supere todos los problemas actuales, ya que por su historia representa un importante valor para el municipio. actualizar la edificación a los términos de la normatividad vigente, y conseguir una estructura segura que supere todas las fallencias que presenta en la actualidad (Azüero Roncancio, J. D., 2019)

### **3.3 Estudios realizados en Tunja**

Una investigación a una edificación en particular, el bloque no.1 del colegio American School en la ciudad de Tunja, cuya antigüedad es más o menos setenta años dio como resultado que, debido al sistema constructivo que posee no cumple con los requerimientos mínimos de la NSR-10, ya que todas las cargas son soportadas únicamente por muros de arcilla cocida pegados con una mezcla de arena y cal, con un entrepiso que no contribuye a la rigidez del edificio ni a la distribución de las fuerzas horizontales, situación que es preocupante debido a que día a día alberga gran cantidad niños. Como resultado de la investigación se determinó que, para que la institución cumpla con la norma actual colombiana necesita el un sistema de reforzamiento estructural que, según los investigadores *“consistente en la construcción de un conjunto de elementos de cimentación, muros en concreto, vigas, columnas y vigas de cubierta, adosados todos estos a los muros en mampostería de ladrillo simple existentes”*. De este modo la edificación podría

soportar un evento sísmico moderado. (Waked, Germán; Báez, Miguel; Sosa, Rafael Alberto, 2011).

En la universidad también se han hecho estudios de patologías, como es el caso de un edificio ubicado en barrio la florida que se vio afectado luego de que se produjera una explosión producto de la mala utilización de productos químicos, lo que dejó 2 personas muertas. Es debido a esto que surge la necesidad de realizar el estudio con el fin de dar una recomendación para el reforzamiento de la estructura (Mahecha Valero, E., & Niño González, Á, 2019).

En el trabajo de grado: análisis de tipología estructural de las edificaciones del barrio José Joaquín Camacho, Cristales y los Rosales presentado por Avellaneda Perez, Slendy y Soto Montañez, María José se estableció un índice de vulnerabilidad con el método de Benedetti y Petrini, para lo cual se recolectó información como el diseño estructural, la calidad de construcción, año de construcción, sistema estructural entre otros según los establecido en la NSR-10.

Con la información obtenida se generó una base de datos y mapas temáticos con el fin de que el análisis de los datos recolectados sea más dinámico para futuras interpretaciones (Avellaneda Perez, Slendy; Soto Montañez, María José, 2019).

También cabe resaltar el trabajo que está realizando el semillero de investigación encabezado por el Ing Wilson Medina Sierra sistemas de alertas tempranas para construcciones de Tunja en los que se estudia los sistemas de alerta en Colombia con el fin de tener una base teórica que sirva para la gestión de riesgo en la ciudad. Molano López, Sandra Patricia en su trabajo de grado utilizó la información que obtuvo a lo largo de su investigación para visitar algunos barrios de la ciudad, donde expuso sus conocimientos acerca de la geología tunjana y sus posibles afectaciones a las edificaciones, con ayuda de herramientas didácticas, elaboro un video con el objetivo de informar de manera didáctica el contenido de la cartilla y finalmente realizó una inspección visual a los coliseos para determinar si en caso de un sismo prestarían un servicio adecuado a la comunidad (Molano López, Sandra Patricia, 2019).

## 4. MARCO TEORICO

### 4.1 Sismología

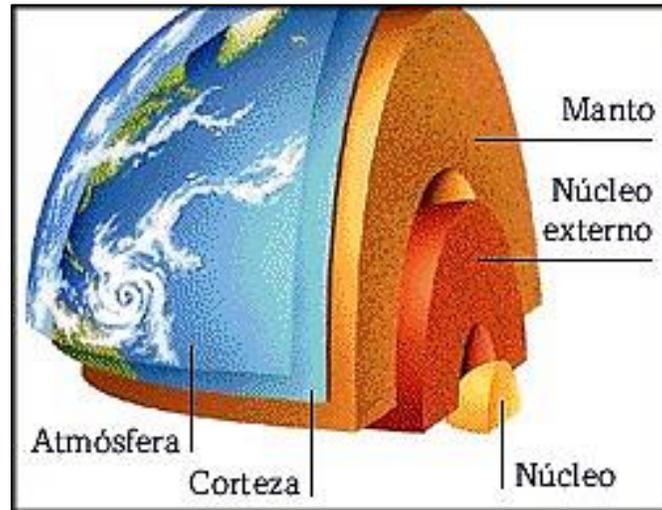
Desde los inicios de la tierra, se sabe que ha habido gran cantidad de movimientos telúricos, de diferentes magnitudes, y que la tierra se encuentra en constante movimiento y transformación. En china por ejemplo se han encontrado evidencias de registros en templos más o menos desde el año 1831 a.c, estos patrones, símbolos y escrituras han sido de ayuda a académicos para medir el grado de daño y el tamaño de los terremotos (Medina Cruzado, J., Albites, P., & Agosto, C., 2019).

Es allí donde nace la sismología que es la ciencia encargada de estudiar los eventos sísmicos, y lo relacionado con estos. Comenzó como una evaluación cualitativa en la que se tomaban decisiones basados simplemente en la observación, sin embargo, hoy en día y gracias a los avances tecnológicos se ha convertido en la herramienta de muchos ingenieros para diversos estudios relacionados con el estudio del suelo.

**4.1.1 Interior de la tierra:** Para saber con más certeza la importancia de la sismología, es necesario conocer la estructura interna de la tierra, que debido a la dificultad que representa estudiarla a profundidad, no se conoce con exactitud, sin embargo, con ayuda de investigaciones geofísicas se ha determinado que el planeta está conformado por roca, que es una composición de material orgánico, y minerales.

La geosfera es la parte interna del planeta y está formada por tres capas que son: la corteza, el manto y el núcleo; siendo la corteza la parte donde se producen los movimientos sísmicos (Capas de la Tierra, 2019), esto porque es la capa superficial de la Tierra y se comporta como una cáscara de huevo quebrada que flota sobre el manto terrestre. Se divide en corteza y corteza continental (IDIGER, 2020).

Ilustración 1 Capas de la Geosfera



Fuente: <https://www.profesorenlinea.cl/geografiagra/Geosfera.htm>

En el momento en que se produce un sismo, este produce ondas sísmicas en todas las direcciones y con diferentes velocidades, esto según el suelo en el que se propague la onda.

**4.1.2 ¿Por qué tiembla?:** Como la tierra está en constante movimiento, se producen inesperadas vibraciones en la corteza terrestre, vibraciones que son producidas por fuerzas justo donde hay interacción entre placas, lo que produce fracturas, fallas, plegamientos y desplazamientos en las placas tectónicas o también pueden ser ocasionados por erupciones volcánicas y liberación de energía acumulada debido a tensiones internas y desplazamientos, los sismos están clasificados como: tectónicos, producidos en las fronteras entre placas, que tienden a ser los más destructivos y son muy difíciles de predecir, los volcánicos anunciados cuando se va a generar algún tipo de erupción y los artificiales, que pueden ser generados por explosiones provocados por los seres humanos (Caballero Guerrero, Á. R. , 2009).

Ilustración 2 Fricción entre placas



Fuente: Ecured.com/Terremoto\_en\_Ecuador 2016

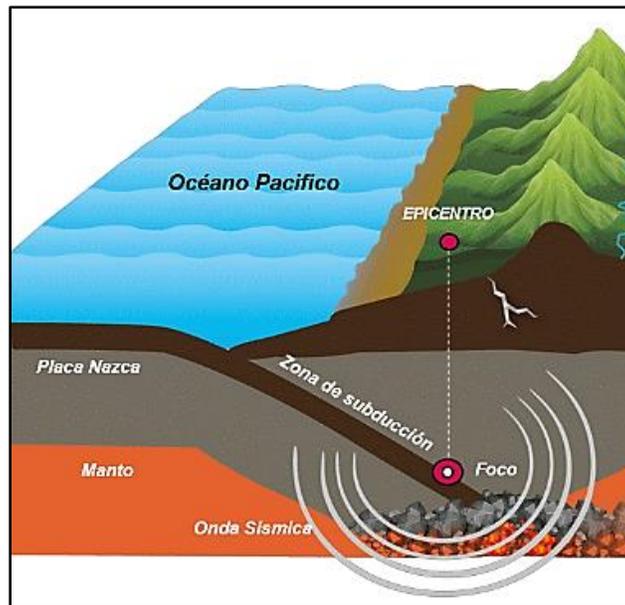
Es difícil determinar la ocurrencia de un sismo, estos pueden ser de magnitudes muy pequeñas, imperceptibles o muy grandes capaces de desaparecer casi por completo ciudades y con pérdidas humanas inimaginables. Es por esto que nace la necesidad de escalarlos, estudiarlos y cuantificarlos (IDIGER, 2020).

**4.1.3 Placas tectónicas:** La corteza terrestre se divide en varias placas, que han permitido gracias a su constante movimiento y cambio de forma, que según estudios geofísicos no es la misma que al principio de la tierra, la creación de los continentes y que la vida humana siga creciendo sobre estas. Estos cambios de posición son los encargados de que se formen montañas, cordilleras, islas, volcanes, tsunamis y terremotos (Romero, F, 2012), la figura 3 nos muestra la distribución de las placas a nivel global.



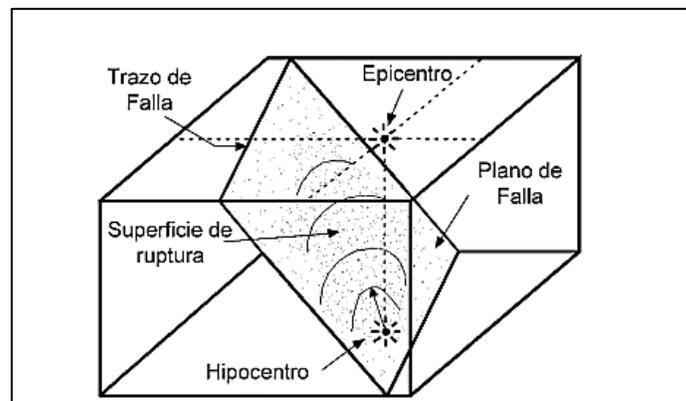
Un sismo es el resultado de la fricción entre las placas, lo que produce una fuerte liberación de energía acumulada que se evidencia en la superficie terrestre, con una fuerte o leve vibración que puede ser percibida o no dependiendo de su intensidad y magnitud, a estas zonas se les conoce como zonas de subducción, que luego de liberar esta energía, se vuelve a generar un engatillamiento de esta, se acumula nuevamente y de esta forma genera un nuevo evento más adelante (IDIGER, 2020).

*Ilustración 5 Zona de subducción*



Fuente: <https://www.idiger.gov.co/rsismico>

*Ilustración 6 Origen de un Terremoto*

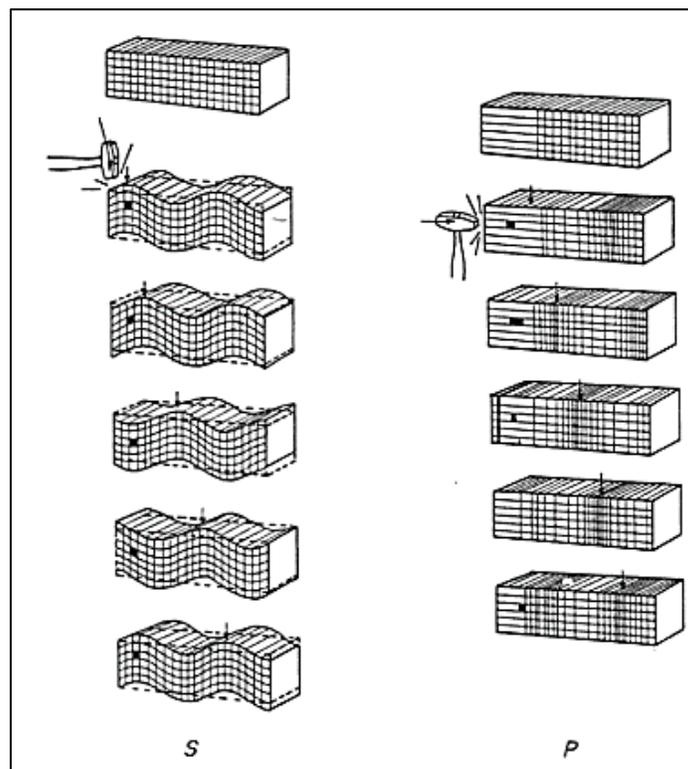


Fuente: (Caballero Guerrero, Á. R. , 2009)

El lugar en donde se origina el sismo es conocido como foco o hipocentro, y el epicentro es la proyección del movimiento en la tierra, donde se siente una alta intensidad.

**4.1.4 Ondas sísmicas:** Cuando se produce la liberación de energía se generan ondas de dos tipos, el primero son las ondas internas que viajan a través del suelo, y que se identifican como ondas P y Ondas S. Las ondas P son ondas primarias o de compresión, se mueven a altas velocidades y pueden propagarse a través de sólidos y fluidos, estas ondas comprimen las rocas, pero al ser longitudinales no ocasionan muchos daños. Las ondas S, secundarias o de corte a diferencia de las P son transversales lo que significa que deforman las rocas perpendicularmente a la dirección de propagación. Se propagan más despacio, pero generan daños de magnitudes más altas que las ondas Primarias (Santos, A. C. F., & Aguiar, C. E., 2012).

*Ilustración 7 Ondas S y Ondas P*



Fuente: Terremotos y ondas sísmicas, Pág. 15

El segundo tipo de ondas es el Superficial que se desplazan a lo largo de la tierra. En esta clasificación se encuentran ondas de dos tipos, las ondas L o LOVE que fueron nombradas así gracias a la persona que las estudio y “*producen vibraciones perpendiculares a la dirección de transmisión de la carga*”. Se encuentran también las R o Rayleigh, su movimiento se puede comparar con el de las olas del mar, “*las partículas vibran en un plano vertical, siguiendo una trayectoria elíptica*”. Estos dos tipos de onda son las que generan la mayor destrucción de ciudades y pérdidas humanas además son más lentas, y recorren grandes distancias lo que significa que se demoran en ser leídas por los sismógrafos (Carhuallanqui Flores, F., & Medina Fernández, G. E., 2019).

Ilustración 8 Ondas L

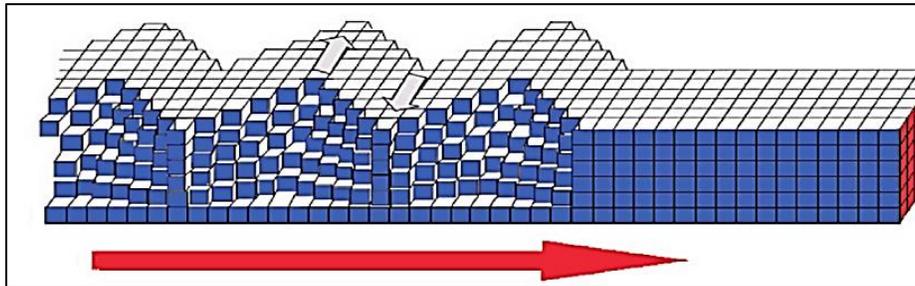
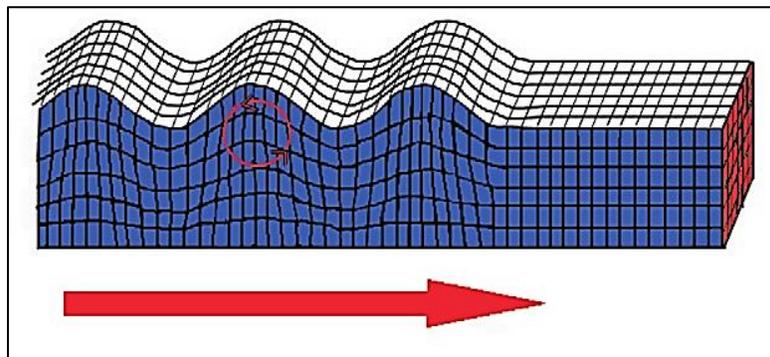


Ilustración 9 Ondas R

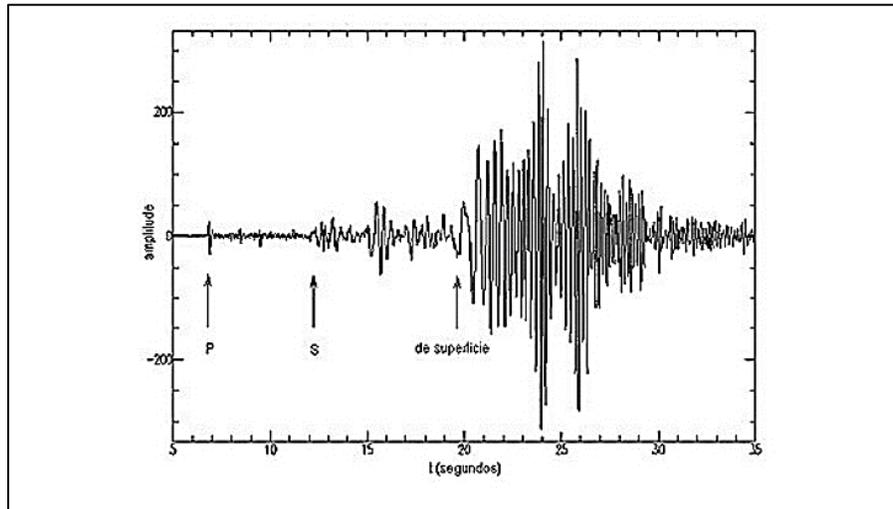


Fuente: <http://www.funvisis.gob.ve/old/objetosa/temblortierra/tondas.html>

**4.1.5 Sismogramas:** Estos son generados por los sismógrafos, encargados de mostrar las vibraciones de la tierra, en los tres ejes cartesianos (x, y, z), como lo

vimos anteriormente los sismos son una liberación de energía en forma de ondas que, se puede medir con ayuda de un sismógrafo con el fin de medir su tiempo, amplitud, magnitud, y la distancia a la que ocurrió el evento sísmico (Ginez Ordoñez, D. A. , 2019).

*Ilustración 10 Sismograma*

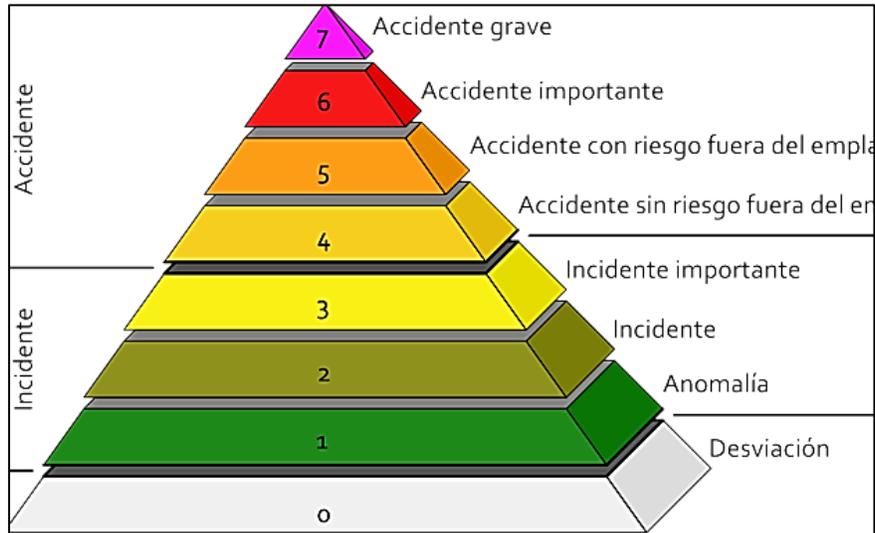


Fuente: <https://es.slideshare.net/benicalapbiogeo/riesgos-12242750>

Actualmente el registro se almacena de forma digital, así el transporte de información es más eficiente.

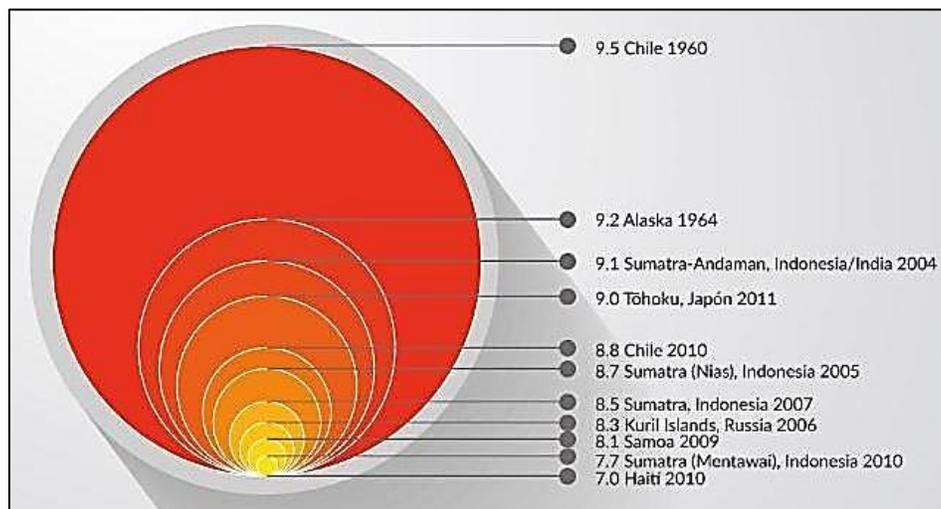
**4.1.2 Intensidad y magnitud:** En 1935 el físico y sismólogo Charles Richter definió una escala capaz de medir sismos cercanos en donde la energía de este es expresa como el logaritmo en base 10 en milésimos de milímetro, lo que significa que cada vez que se aumenta la magnitud del sismo esta es 32 veces superior a la anterior además ayuda a calcular la distancia del epicentro. Esta escala no tiene un mínimo ni un máximo definido, la magnitud más grande ha sido 9.5 en el terremoto de Chile en 1960 (Fierro, Eduardo & Garcia Luis, 2005).

Ilustración 11 Escala de Richter



Fuente: <https://www.lasprovincias.es/sociedad/escala-richter-magnitud-efectos-20190926180702-nt.html?ref=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F>

Ilustración 12 Comparación de Energía Liberada



Fuente: [http://www.radiopolar.com/noticia\\_141001.html](http://www.radiopolar.com/noticia_141001.html)

El término intensidad hace referencia a la sensación percibida por las personas, que se compara con el grado de daño que hayan tenido las estructuras y demás situaciones de daño que se hayan presentado. Esta intensidad se mide con la Escala de Mercalli, nombrada así por el físico italiano Giuseppe Mercalli en el siglo XIX, para determinar la intensidad no se requiere de ningún tipo de aparato ya que

esta medición es subjetiva, lo que significa que el resultado se obtiene a través de la captación de las personas. “Esta escala tiene 12 grados medidos en números romanos desde el I al XII”. El terremoto de 1960 en Chile alcanzó una Intensidad grado X - XII. Hay que tener en cuenta que como la forma de medición de esta escala es subjetiva se pueden presentar errores que entorpezcan los resultados (Radio Polar, 2018).

Tabla 2 Escala de Mercalli

Escala Sísmica Modificada de Mercalli	
I. Imperceptible	Microsismo, detectado por instrumentos
II. Muy Leve	Sentido por algunas personas (generalmente en reposo)
III. Leve	Sentido por algunas personas dentro de edificios
IV. Moderado	Sentido por algunas personas fuera de edificios
V. Poco Fuerte	Sentido por casi todos
VI. Fuerte	Sentido por todos
VII. Muy Fuerte	Las construcciones sufren daño moderado
VIII. Destructivo	Daños considerables en estructuras
IX. Muy Destructivo	Daños graves y pánico general.
X. Desastroso	Destrucción en edificios bien construidos
XI. Muy Desastroso	Casi nada queda en pie
XII. Catastrófico	Destrucción total

Fuente: <https://sites.ipleiria.pt/seismicknowledge/tag/escala-de-mercalli/>

#### 4.2 Vulnerabilidad sísmica:

Es una de las partes fundamentales cuando se hace un estudio sísmico, con su ayuda podemos determinar y clasificar el grado de daño al que se encuentra expuesta una estructura dependiendo de su calidad constructiva y de su localización ya que la geología del terreno juega un papel importante, como resultado se obtiene un índice de daño que varía en un rango de vulnerable a muy vulnerable, lo que representa una idea de las posibles afectaciones y la posibilidad de hacer frente a la situación con alguna medida que disminuya los daños infortunados que generan los terremotos, brindando la posibilidad de evitar el colapso total de los edificios y aún más importante salvar un porcentaje mayor de seres humanos. Para hacer una correcta estimación del daño hay varios métodos que permiten estimar las funciones de vulnerabilidad ya que son una “relación matemática que expresa de forma

*continua el daño que puede sufrir una estructura cuando se somete a un evento sísmico de determinado nivel*". Estas funciones se dividen en dos, primero las observadas que son de carácter cualitativo y segundo las calculadas, que ayudan a la simulación del daño, esta última no es del todo acertada debido a que muchas veces faltan datos de las edificaciones debido al año de construcción o a las condiciones de la misma. Algunas funciones de vulnerabilidad son: Guagenti y Petrini, utiliza factores como el daño, la aceleración y el índice de vulnerabilidad, para edificaciones de mampostería, también se encuentra la de Angeletti, Sieberg, MCS, Benedetti y Petrini, según el lugar donde se aplique el estudio se escoge el método que se cumpla con las características de cada sector (Maldonado Rondón, Esperanza; Chio Cho, Gustavo, 2009).

### **4.3 Clases de vulnerabilidad sísmica**

#### 1. Vulnerabilidad estructural:

Indica que tan débiles pueden ser las estructuras frente a las fuerzas horizontales. Como elementos estructurales se refiere a todos los que ayudan a sostener la estructura, los que reciben y transmiten todas las fuerzas al suelo. Ejemplo columnas, vigas, placas etc...

#### 2. Vulnerabilidad no estructural:

Este estudio se encarga de todos los demás elementos que no hacen parte del esqueleto de las construcciones y que mediante la ocurrencia de un sismo pueden caer fácilmente ocasionando pérdidas humanas, por ejemplo, ventadas, fachadas, puertas, mobiliario, aparatos tecnológicos entre otros.

#### 3. Vulnerabilidad funcional:

*"Un estudio de la vulnerabilidad funcional busca determinar la susceptibilidad de una edificación a sufrir un colapso funcional como consecuencia de un sismo"*. En este tipo de vulnerabilidad se busca conocer los daños en los sistemas de abastecimiento de agua, de energía eléctrica, gasoductos, alcantarillado, esto analizando su resistencia y flexibilidad (Medina Cruzado, J., Albites, P., & Agosto, C., 2019).

#### **4.4 Amenaza sísmica**

Como Colombia es un país rico en biodiversidad y en diferentes ecosistemas, tiende a presentar distintas amenazas naturales que, si se juntan con la ocurrencia de un sismo podrían ser catastróficas, aproximadamente 16 millones de personas se encuentran en zona sísmica alta lo que significa que la probabilidad de ocurrencia de un sismo sea mayor, y si a esto juntamos que la mayoría de construcciones no son sísmicamente resistentes tendríamos la fórmula correcta que desembocaría en muchos problemas para el país. (Márquez, I. D., de Ambiente, M., Sostenible, D., Técnico, C., & de Desastres, 2019).

Citando algunos ejemplos de los sismos que han afectado bastante al país tenemos el acontecimiento de 1994 en Páez, Cauca con una magnitud de 6 en la escala de Richter, que, pese a no tener una magnitud muy grande, si la comparamos con sismos internacionales de intensidades superiores, dada la ubicación de esta localidad, se presentaron deslizamientos y avalanchas que acabaron con la vida de 1.100 personas. Otro ejemplo es el sismo de 1999 en Armenia de magnitud 6.1, afecto cerca de 9 municipios y les arrebató la vida a 1.185 personas, con más o menos 32.495 viviendas colapsadas. (Omaña, R. I. A., Santander, A. D., & Oropeza, C. F., 2017). Esto refuerza la idea de que Colombia está expuesta a cualquier probabilidad de ocurrencia de un sismo.

#### **4.5 Método del índice de vulnerabilidad BENEDETTI-PETRINI**

Para este caso específico se decidió utilizar el método del índice de vulnerabilidad italiano propuesto por Benedetti y Petrini en 1984, ya que es una opción que no genera costos elevados y sirve para evaluar estructuras de mampostería y pórticos de concreto, además ha sido utilizado en diversas tesis como está, obteniendo resultados confiables. Este método comenzó a coger fuerza en Italia luego de los fuertes terremotos en 1976, es considerado como un método subjetivo, ya que combina análisis cuantitativos y cualitativos, en vista de, que hay que aplicar encuestas y generar un concepto técnico según los conceptos del encuestador. Busca evaluar las características de los elementos estructurales como, por ejemplo: calidad de los materiales, sistemas constructivos, irregularidades y dimensiones

(Prado, C., Wilder, F., & Gomez Julca, C. R. J. , 2020), siendo estos unos de los parámetros más destacados, encargados de controlar el daño en las viviendas que pudiese ser generado con la ocurrencia de un evento sísmico.

El método evalúa once parámetros preestablecidos por los expertos y calcula, a partir de estos valores, el índice de vulnerabilidad. En el caso de los edificios de mampostería no reforzada, estos parámetros son: (Barbat, n.d.)

#### 4.5.1 Índice de vulnerabilidad viviendas en adobe y mampostería no reforzada:

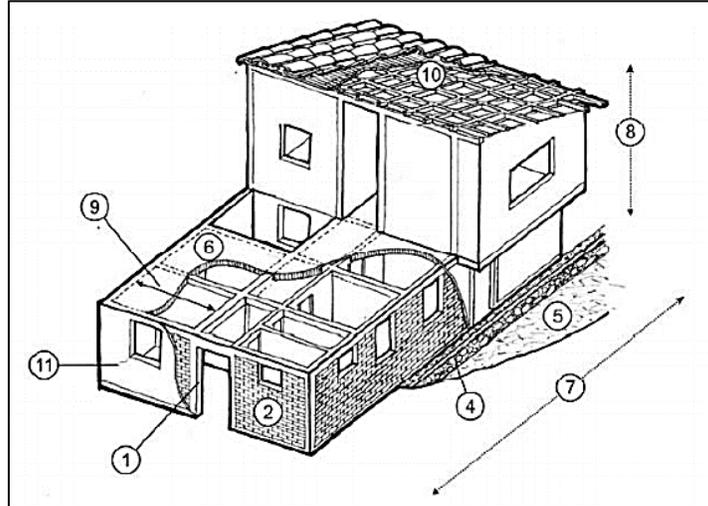
Cada parámetro, tiene cuatro opciones de calificación (A, B, C, D) con un valor numérico de calificación dependiendo de cada ítem el cual es afectado por un coeficiente de peso dependiendo de su influencia en el estudio.

*Tabla 3 Valores de los Parámetros*

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

Fuente: (Benedetti-Petrini 1984)

Ilustración 13 Parámetros Índice de Vulnerabilidad



Fuente: (Prado, C., Wilder, F., & Gomez Julca, C. R. J. , 2020)

1. Organización del sistema resistente (Sistema estructural).
2. Calidad del sistema resistente.
3. Resistencia Convencional.
4. Posición del edificio y Cimentación.
5. Diafragmas Horizontales.
6. Configuración en planta.
7. Configuración en Altura.
8. Separación máxima entre muros.
9. Cubierta.
10. Elementos no estructurales.
11. Conservación de la estructura

#### 4.5.1.1 Descripción de los parámetros

**1. Organización del sistema resistente (Sistema estructural):** No tiene en cuenta los materiales, se enfoca en determinar si la estructura fue construida con alguna norma sismo resistente, analiza los amarres entre vigas y muros, se enfoca en mostrar si se cumple la forma de “cajón” en las viviendas.

A. Edificio que cumple con la Norma Colombiana Sismo resistente NSR-10

- B. Construcciones cuyos elementos estructurales se encuentran amarrados con vigas, capaces de *transmitir acciones cortantes verticales*.
- C. Construcción sin vigas de amarre, solo posee *paredes ortogonales bien ligadas*.
- D. Edificio sin conexiones.

Para las viviendas construidas en adobe se tiene que:

- A. Edificaciones de adobe según la norma NSR-10.
- B. Edificaciones de adobe cuyos elementos estructurales están amarrados, pero se evidencia la falta de asesoría profesional.
- C. Edificaciones de adobe sin elementos estructurales, pero son simétricas y poseen buena distribución de muros.
- D. Edificaciones de adobe que no cumple con "A" "B" o "C".

**2. Calidad del sistema resistente:** Se centra en la calidad y resistencia de la mampostería y cada uno de los materiales utilizados, analiza la homogeneidad y simetría de todos los elementos y de las piezas que componen la estructura.

- 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.

Para las viviendas construidas en adobe:

- A. Características de los elementos estructurales:

- Adobe de buena calidad y resistencia con piezas homogéneas y de dimensiones adecuadas.
  - Amarre de muros adecuado
  - Mortero de barro homogéneo y utilizado en toda la estructura.
- B. El sistema resistente del edificio no presenta una de las características de la clase A.
- C. El sistema resistente del edificio no presenta dos de las características de la clase A.
- D. El sistema resistente del edificio no presenta ninguna de las características de la clase A.

**3. Resistencia convencional:** Se refiere a que tan confiable es la estructura en caso de presentarse fuerzas horizontales, se tienen en cuenta la resistencia de los muros en las direcciones principales X y Y para llegar a determinar este parámetro se necesitan datos como:

A x, y: área total de los muros resistentes en el sentido X e Y respectivamente en (m<sup>2</sup>). El área resistente de los muros inclinados un ángulo a diferente de cero, respecto a la dirección considerada, se debe multiplicar por (cos a)<sup>2</sup>.

N: Número de Pisos.

T<sub>k</sub>: Resistencia a cortante característica del tipo de mampostería en (Ton/m<sup>2</sup>). En el caso de que la mampostería se componga de diferentes materiales, este valor de, se determina como un promedio ponderado de los valores de resistencia a cortante para cada uno de los materiales t<sub>i</sub>, utilizando como factor de peso el porcentaje relativo en área A<sub>i</sub> de cada uno de ellos.

*Ecuación 1 Resistencia al cortante de la mampostería*

$$T_k = \frac{\sum t_i * A_i}{\sum A_i}$$

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

P<sub>m</sub>: Peso específico de la mampostería en (Ton/m<sup>3</sup>).

Ps: Peso por unidad de área del diafragma en (Ton/m<sup>2</sup>).

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:

*Ecuación 2 Coeficiente Sísmico*

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

q representa el peso de un piso por unidad de área cubierta y es igual al peso de los muros más el peso del diafragma horizontal, sin mayores cambios en la estructura.

Finalmente, la atribución de este parámetro dentro de una de las cuatro clases A, B, C, D se hace por medio del factor  $\alpha$ .

- 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  $\alpha < 0.4$ .

Para las viviendas de adobe se desarrolla el mismo procedimiento, cambian los valores de Pm (peso específico del adobe), Tk (resistencia al corte) y Ps (peso por unidad de diafragma).

**4. Posición y cimentación:** Posición de la edificación y la cimentación, se evalúa la influencia del terreno y de la cimentación, las condiciones del suelo, y la pendiente del terreno sobre la cual esta cimentada.

- 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.

Para las viviendas de adobe:

- A. Edificaciones de adobe con cimientos según la norma NSR\_10, que no evidencien presencia de humedad.
- B. Edificaciones de adobe con cimientos según la norma NSR\_10, con humedad.
- C. Edificaciones de adobe con cimientos sin norma ni planos aprobados, ni asesoría técnica y humedad.
- D. Edificaciones de adobe sin cimientos, proyecto no aprobado ni asesoría técnica y húmedas con evidencia de deterioro.

**5. Diafragmas horizontales:** es el de forjado o diafragma horizontal en la que se evalúa la calidad del sistema resistente de la losa de entre piso. Aquí se ve la calidad de la conexión que existe entre la losa y el sistema de muros, así como la ausencia de planos de desnivel.

- A. Edificio con diafragmas, de cualquier naturaleza, que satisfacen las condiciones:
  - Ausencia de planos a desnivel.
  - La deformabilidad del diafragma es despreciable.
  - 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.

Para las viviendas en adobe:

Viviendas en Adobe:

- A. Edificación con diafragma compuesto de una losa aligerada, apoyada sobre vigas de concreto armado.
- B. Edificación con techo compuesto de caña y vigas de madera en buen estado.
- C. Edificación con techo compuesto de caña y vigas de madera en estado defletrado.
- D. Edificación sin diafragma. Cubierta de Eternit.

## 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  $b1 = a / L$  entre las dimensiones en planta del lado menor y mayor.

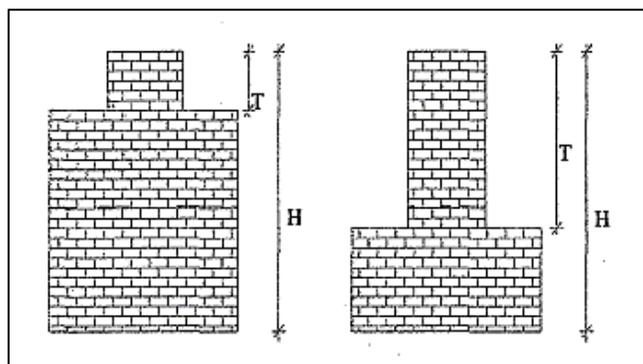
Para viviendas en adobe y mampostería NO reforzada.

- A. Edificio con  $\beta1 \geq 0.8$  o  $\beta2 \leq 0.1$ .
- B. Edificio con  $0.8 > \beta1 \geq 0.6$  o  $0.1 < \beta2 \leq 0.2$ .
- C. Edificio con  $0.6 > \beta1 \geq 0.4$  o  $0.2 < \beta2 \leq 0.3$ .
- D. Edificio con  $0.4 > \beta1$  o  $0.3 < \beta2$ .

## 7. Configuración en altura.

Este parámetro evalúa los cambios en altura de un piso a otro teniendo en cuenta:

*Ilustración 14 Alturas del método de índice de vulnerabilidad*



Fuente: (Hugo Teobaldo Nanfuñay, Eber Santisteban Valdera, 2015)

Para edificios en mampostería y Adobe:

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

**8. Separación máxima entre muros:** Se tiene en cuenta la presencia de muros maestros intersectados por muros transversales ubicados a distancia excesiva entre ellos. Se reporta el factor  $L/S$ , donde  $L$  es el espaciamiento de los muros transversales y  $S$  el espesor del muro maestro, evaluando siempre el caso más desfavorable.

- 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  $L/S \geq 25$ .

Para viviendas en Adobe:

- A. Edificio con  $L/S < 4.7$ .
- B. Edificio con  $4.7 \leq L/S \leq 5.6$ .
- C. Edificio con  $5.6 \leq L/S \leq 7.8$ .
- D. Edificio con  $L/S \geq 7.8$ .

**9. Cubierta:** Analiza si las cubiertas están correctamente amarradas a los muros y su capacidad para resistir fuerzas sísmicas.

Para adobe y mampostería NO reforzada:

- 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. Edificio con cubierta parcialmente estable y provista de viga cumbreira.
- C. Edificio con cubierta inestable, provista de viga cumbreira.
- D. Edificio con cubierta inestable, sin viga cumbreira.

**10. Elementos no estructurales:** Hace referencia a los elementos que no hacen parte integral de la estructura y que pueden colapsar ocasionando daños y generando peligro para la comunidad.

Para adobe y mampostería NO reforzada:

- 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 conectados a ésta de modo deficiente

**11. Conservación de la estructura:** Se refiere a las condiciones actuales de las edificaciones.

- 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.

Para viviendas en adobe:

- A. Edificación en buenas condiciones, sin fisura alguna.

- B. Edificación sin fisuras, pero cuyos componentes están levemente deteriorados.
- C. Edificación con fisuras y además cuyos componentes estructurales estén deteriorados.
- D. Muros con fuerte deterioro en sus componentes, hay presencia de agrietamientos producto de fallas por flexión, por momento y corte

Tabla 4 Resumen de los Parámetros

DIMENSIONES	INDICADORES	SUB INDICADORES
Índice de Vulnerabilidad (Benedetti Petri)	Organización del sistema resistente	Año de construcción
		Asesoría técnica
	Calidad del sistema resistente	Año de construcción
		Calidad de materiales y del proceso constructivo
	Resistencia convencional	Coefficientes "ah"
	Posición del edificio y cimentación	Suelo intermedio o flexible
		Suelo intermedio o flexible con sales y humedad
		Sin asesoría técnica
	Diafragmas horizontales	Calidad de diafragmas
		Elementos resistentes verticales
	Configuración en planta	$\beta_1=a/L$ - $\beta_2=b/L$
	Configuración en elevación	Valor y relación de alturas
	Distancia máxima entre los muros	Año de construcción
		Asesoría técnica
Tipo de cubierta	Resistencia sísmica de la cubierta	
Elementos no estructurales	Calidad de mampostería	
Estado de conservación	Bueno	

Fuente: (Flores Luna, V. J., Fernandez, G., & Brayan, E., 2019)

### Limitaciones

En el parámetro 3 representa una limitación debido a que obtener el área de cada muro resulta difícil, ya que no se pueden medir en el sitio. El parámetro 4 requiere una inspección en la que se deberían utilizar los planos de cimentación y la obtención de estos es difícil.

**4.5.3 Índice de vulnerabilidad para pórticos en concreto:** Igual que para las viviendas en mampostería no reforzada y adobe, se evaluaron 11 parámetros, pero esta vez se tuvo en cuenta el concreto utilizado en estas estructuras, que mejora la capacidad de disipación de energía ante un movimiento sísmico. Para este sistema constructivo solo se dan 3 calificaciones que se muestran en la tabla 4.

#### **4.5.3.1 Descripción de los parámetros:**

##### **1. Organización del sistema resistente:**

- A. Año de construcción mayor a 1997 y asesoría técnica.
- B. Año de construcción menor a 1997 y asesoría técnica.
- C. Sin asesoría técnica.

##### **2. Calidad del Sistema resistente:**

- A. Año de construcción mayor a 1997 y asesoría técnica.
- B. Año de construcción menor a 1997 y asesoría técnica.
- C. Sin asesoría técnica

##### **3. Resistencia convencional:**

- A.  $\alpha \geq 1.20$
- B.  $0.60 \leq \alpha < 1.20$
- C.  $\alpha < 0.60$

##### **4. Posición del edificio y cimentación:**

- A. Edificación cimentada sobre suelo intermedio o flexible, según la norma de diseño sismo resistente NSR-10
- B. Edificación cimentada sobre suelo intermedio o flexible, según la norma de diseño sismo resistente NSR-10. Presencia de sales y humedad.
- C. Edificación cimentada sin proyecto aprobado ni asesoría técnica, y presencia de sales y humedad.

##### **5. Diafragmas horizontales:**

- A. Edificaciones con diafragmas que satisfacen las siguientes condiciones:
  - 1. Ausencia de planos a desnivel.
  - 2. La deformabilidad del diafragma es despreciable (Ideal de concreto armado).
  - 3. La conexión entre el diafragma y el muro es eficaz.
- B. Edificación que no cumple con una de las condiciones de la clase A.

C. Edificación que no cumple con dos de las condiciones de la clase A.

**6. Configuración en planta:**

A.  $\beta_1 \leq 0.25$

B.  $0.25 < \beta_1 \leq 0.75$

C.  $\beta_1 > 0.75$

**7. Configuración en elevación:**

A.  $-\Delta M/M > 0.66$

B.  $0.33 < -\Delta M/M \leq 0.66$

C.  $-\Delta M/M \leq 0.33$ ; Presenta irregularidades en el sistema resistente vertical.

**8. Conexión entre elementos críticos:**

A. Año de construcción mayor 1997 y con asistencia técnica.

B. Año de construcción menor 1997 y con asistencia técnica.

C. Sin asistencia técnica.

**9. Cubierta:**

A. Cubierta estable debidamente amarrada a las vigas con conexiones adecuadas y material liviano. Edificación con cubierta plana.

B. Cubierta inestable de material liviano y en buenas condiciones.

C. Cubierta inestable en malas condiciones y con desnivel.

**10. Elementos no estructurales:**

A. Que cumplan con la clase A o B de mampostería.

B. Edificio con parapetos mal conectados al sistema resistente.

C. Edificio que presenta tanques de agua o cualquier otro tipo de elemento en el techo, mal conectado a la estructura. Parapetos u otros elementos de peso significativo, mal construido, que se pueden desplomar en caso de un evento sísmico. Edificios con balcones construidos posteriormente a la estructura principal y conectada a esta de modo deficiente

**11. Estado de conservación:**

A. Buen estado

B. Ligeramente dañado.

C. Mal estado de conservación

Tabla 5 Modificación viviendas en pórticos de concreto

N°	PARAMETRO	Ki A	Ki B	Ki C	Wi
		A	B	C	Wi
1	Organización del sistema resistente	0	1	2	4
2	Calidad del Sistema resistente	0	1	2	1
3	Resistencia convencional	-1	0	1	1
4	Posición del edificio y cimentación	0	1	2	1
5	Diafragmas horizontales	0	1	2	1
6	Configuración en planta	0	1	2	1
7	Configuración en elevación	0	1	3	2
8	Conexión entre elementos críticos	0	1	2	1
9	Elementos de baja ductilidad	0	1	2	1
10	Elementos no estructurales	0	1	2	1
11	Estado de conservación	0	1	2	1

Fuente: (F.Yépes Moya, A.H Barbat, J.A Canas, 1996)

Luego de recoger cada puntaje, con la ecuación 1 se halla el índice de vulnerabilidad, hay que tener en cuenta que, los parámetros 1, 2, 4, 5, 9, 10 y 11 son cualitativos, se hayan de manera descriptiva y los parámetros 3, 6, 7 y 8 son cuantitativos, para calcularlos se requiere el uso de ecuaciones sencillas (Rodríguez Pintado, J. A., & Zulueta Pérez, H. E., 2020).

Ecuación 3 Índice de Vulnerabilidad

$$IV = \sum_{i=1}^{11} KiWi$$

## **4.6 Tipos de sistemas estructurales**

La NSR-10 reconoce 4 tipos de sistemas estructurales que se pueden encontrar en el título A, estos son:

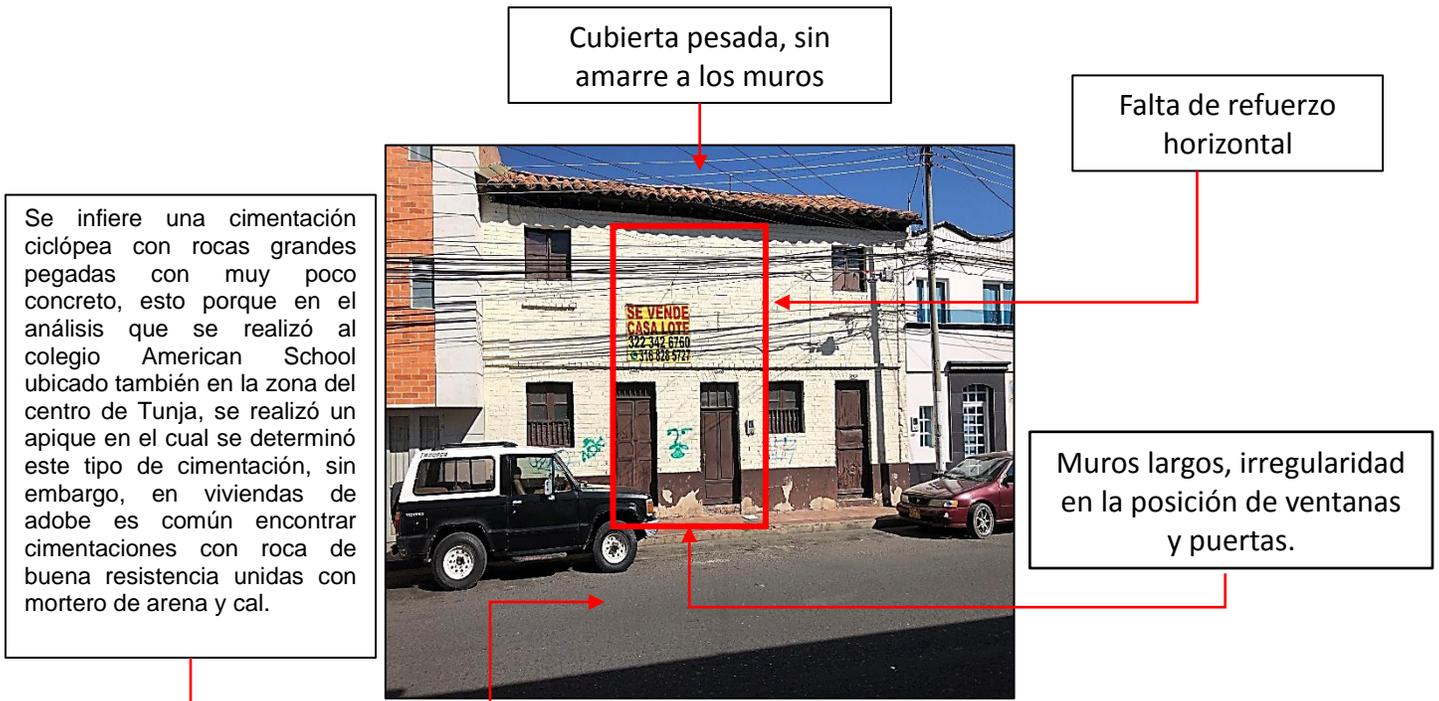
**4.6.1 Sistema de muros de carga :** Es un sistema estructural que no dispone de un pórtico esencialmente completo y en el cual las cargas verticales son resistidas por los muros de carga y las fuerzas horizontales son resistidas por muros estructurales o pórticos con diagonales.

**4.6.1.1 Adobe:** Colombia aún tiene edificaciones construidas en tierra, como la mayoría de países latinoamericanos, la mayoría de estas son consideradas patrimonio histórico y otras simplemente están aún en pie gracias a sus propietarios, actualmente este sistema constructivo no se encuentra adecuadamente regulado por la norma NSR-10, por lo cual no hay especificaciones de diseño y construcción. El adobe es principalmente tierra secada al sol y adherida entre sí con barro que cumple la función de mortero. El año de construcción, el deterioro y las propiedades de este material, aumentan la vulnerabilidad sísmica y la posibilidad de colapso. Por otra parte, las fisuras de los muros en tierra, generan cambios en la capacidad de disipación de energía de este material, que dadas sus características sus propiedades mecánicas son menores comparadas otros materiales. Cuando se genera una grieta, la estructura deja de trabajar como una sola, por ende, cada muro tiene absorbe la energía del sismo de manera independiente.

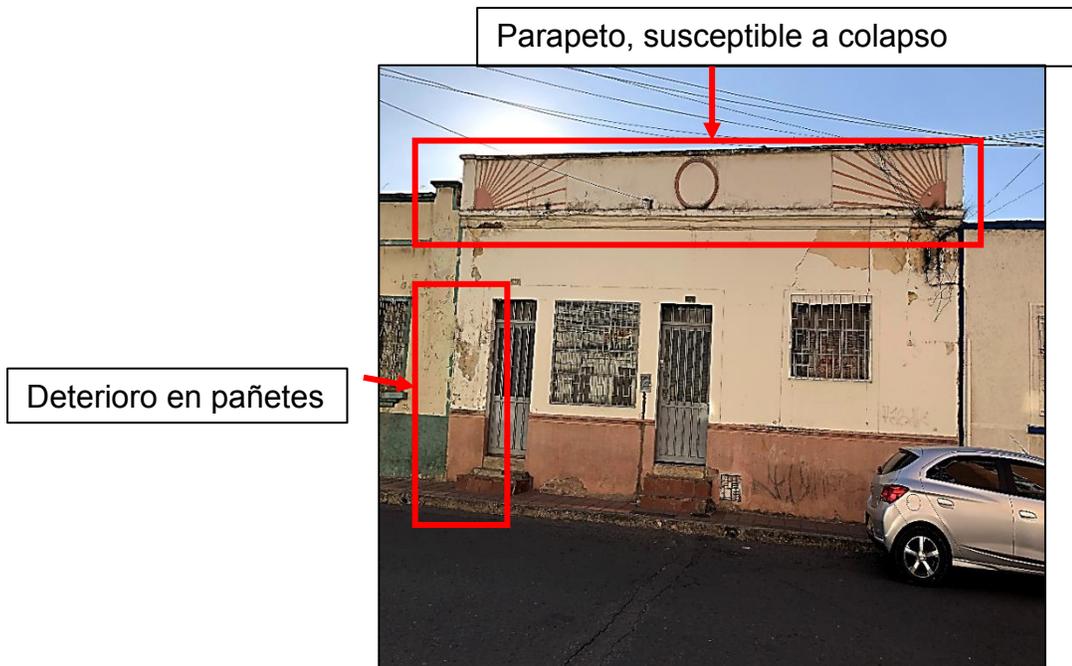
Estas viviendas generalmente poseen factores como: distancia entre muros exagerada, irregularidades en elevación y en planta, humedad excesiva, filtraciones, la falta de conexión entre los elementos resistentes, cubiertas no amarradas, falta de diafragma y materiales de baja calidad, que contribuyen a sistemas estructurales deficientes (Yamín Lacouture, L. E., Phillips Bernal, C., Reyes Ortiz, J. C., & Ruiz Valencia, D., 2007).

A pesar de que el agua es uno de los elementos más importantes para la creación de las unidades de adobe, también representa uno de los problemas más influyentes en este tipo de sistema de construcción, ya que poco a poco puede deshacer los muros provocando desmoronamientos, caídas de estucos y grietas.

Fotografía 1 vivienda en adobe barrio Santa Lucia



Fotografía 2 Vivienda en adobe barrio Santa Lucia



Fuente: El Autor

**4.6.2 Sistema combinado:** Es un sistema estructural, en el cual:

A. Las cargas verticales son resistidas por un pórtico no resistente a momentos, esencialmente completo, y las fuerzas horizontales son resistidas por muros estructurales o pórticos con diagonales, o

B. Las cargas verticales y horizontales son resistidas por un pórtico resistente a momentos, esencialmente completo, combinado con muros estructurales o pórticos con diagonales, y que no cumple los requisitos de un sistema dual.

**4.6.3 Sistema Pórticos:** Su estructura está compuesta por un conjunto de vigas y columnas que están conectadas por medio de nudos, esta estructura se complementa con muros de mampostería. *“Está compuesto por un pórtico espacial, resistente a momentos, esencialmente completo, sin diagonales, que resiste todas las cargas verticales y fuerzas horizontales”.*

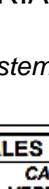
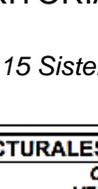
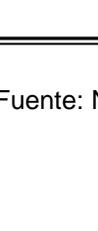
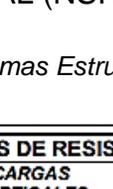
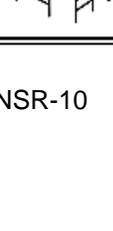
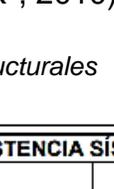
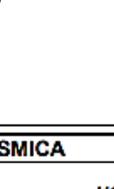
Materiales principales: el acero, el concreto y unidades de mampostería.

**4.6.4 Sistema Dual:** Para ser clasificado así debe cumplir:

- ✓ El pórtico espacial resistente a momentos, sin diagonales, esencialmente completo, debe ser capaz de soportar las cargas verticales.
- ✓ Las fuerzas horizontales son resistidas por la combinación de muros estructurales o pórticos con diagonales, con el pórtico resistente a momentos, el cual puede ser un pórtico de capacidad especial de disipación de energía (DES), cuando se trata de concreto reforzado o acero estructural, un pórtico con capacidad moderada de disipación de energía (DMO) de concreto reforzado, o un pórtico con capacidad mínima de disipación de energía (DMI) de acero estructural. El pórtico resistente a momentos, actuando independientemente, debe diseñarse para que sea capaz de resistir como mínimo el 25 por ciento del cortante sísmico en la base.

- ✓ Los dos sistemas deben diseñarse de tal manera que en conjunto sean capaces de resistir la totalidad del cortante sísmico en la base, en proporción a sus rigideces relativas, considerando la interacción del sistema dual en todos los niveles de la edificación, pero en ningún caso la responsabilidad de los muros estructurales, o de los pórticos con diagonales, puede ser menor del 75 por ciento del cortante sísmico en la base. (MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL (NSR-, 2010)

Ilustración 15 Sistemas Estructurales

SISTEMAS ESTRUCTURALES DE RESISTENCIA SÍSMICA		
SISTEMA	CARGAS VERTICALES	FUERZAS HORIZONTALES
MUROS DE CARGA		
COMBINADO		
		
PÓRTICO		
DUAL		

Fuente: NSR-10

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 Materiales

En este capítulo se busca mostrar cómo se llevó a cabo cada fase de la investigación esto incluye, la población de estudio, los métodos de recolección de datos, la manera en la que se procesarán los datos obtenidos, herramientas o software a utilizar, entre otros que tengan algún carácter relevante en este estudio.

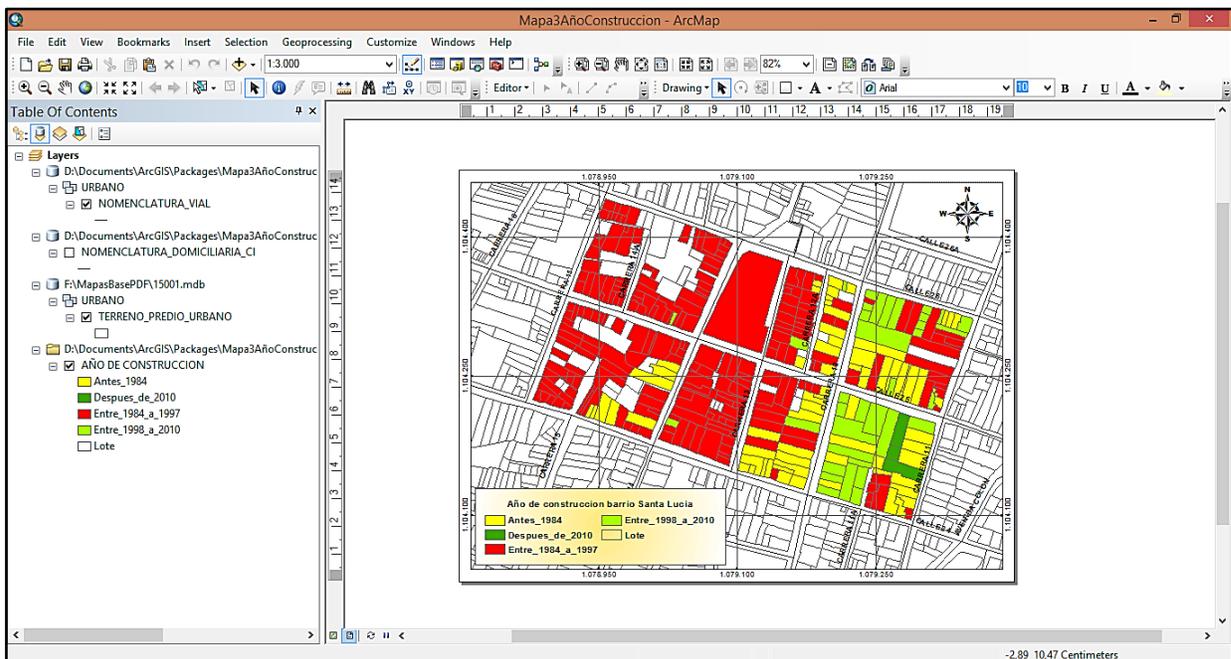
Para la ejecución de este trabajo se utilizó una cámara para la recolección de la evidencia fotográfica, herramientas informáticas como Microsoft Excel para la tabulación de los datos obtenidos a través del formato de encuesta suministrado por el grupo de investigación SIPAV Y SIEC (Anexo 1 Formato de encuesta), Excel ayuda al investigador a crear hojas de cálculo que permiten la manipulación de datos de manera organizada y finalmente el software Arcgis que hace parte de las nuevas tecnologías diseñadas para mejorar y acompañar el trabajo de los profesionales que se animen a utilizarla, este programa “*permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica*” (ArcGis Resources, 2020).

Ilustración 16 Tabulación en Excel

	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
14	15001010308950326	Lote	La Esperanza	Lote	0	0	0	0	0	0	0	Lote
15	15001010305010028	Calle_25-12	Santa Lucia	Lote	0	0	0	0	0	0	5	Entre_1984_a
16	15001010305010027	Carrera_14A-22	Santa Lucia	Lote	0	0	0	0	0	0	1	Entre_1984_a
17	15001010305010026	Carrera_14A-40	Santa Lucia	Lote	0	0	0	0	0	0	2	Entre_1984_a
18	15001010305010025	Calle_25-12	Santa Lucia	Estimado	0	0	1	1	0	0	2	Entre_1984_a
19	15001010305010024	Carrera_14A-18	Santa Lucia	Lote	0	0	0	0	0	0	2	Entre_1984_a
20	15001010305010023	Carrera_14A-98	Santa Lucia	Estimado	1	1	1	2	1	0	6	Entre_1984_a
21	15001010305010022	Carrera_14A-08	Santa Lucia	Estimado	0	0	1	0	0	1	2	Entre_1984_a
22	15001010305010021	Carrera_14A-10	Santa Lucia	Estimado	0	0	1	0	0	0	1	Entre_1984_a
23	15001010305010020	25-61	Santa Lucia	Lote	0	0	0	0	0	0	0	Lote
24	15001010305010018	Calle_25-23	Santa Lucia	Estimado	0	0	1	0	0	1	2	Entre_1984_a
25	15001010305010017	Calle_25-29	Santa Lucia	Estimado	1	1	0	0	0	0	2	Entre_1984_a
26	15001010305010016	Calle_25-17	Santa Lucia	Estimado	0	1	0	1	1	0	3	Entre_1984_a
27	15001010305010015	Calle_25-66	Santa Lucia	Estimado	2	3	0	1	1	0	7	Entre_1984_a
28	15001010305010014	Calle_25-62	Santa Lucia	Estimado	1	2	1	2	1	1	8	Entre_1984_a
29	15001010305010013	Calle_25-46	Santa Lucia	Real	1	1	0	0	1	0	3	Entre_1984_a
30	15001010305010012	Calle_25-30	Santa Lucia	Real	1	2	0	1	1	0	5	Entre_1984_a
31	15001010305010009	Calle_25-07	Santa Lucia	Estimado	1	2	0	1	0	0	4	Entre_1984_a
32	15001010305010008	25-39	Santa Lucia	Lote	0	0	0	0	0	0	0	Lote
33	15001010305010007	22-51	Santa Lucia	Lote	0	0	0	0	0	0	0	Lote
34	15001010305010006	25-63	Santa Lucia	Lote	0	0	0	0	0	0	0	Lote

Fuente: El Autor

Ilustración 17 ArcGIS



Fuente: El Autor

Otros Materiales: Elementos de papelería como lápices, borradores, esferos, hojas de papel, impresora, escáner, computador.

## 5.2 Métodos

### ▪ Tipo de investigación

Todos los estudios enfocados en la obtención de un producto de carácter investigativo, buscan generar un nuevo conocimiento, que dé solución al problema planteado desde el inicio, esto con el propósito de generar una respuesta que sea beneficiosa para el aprendizaje, tanto del investigador como de sus futuros lectores. La metodología de la investigación se realiza con el fin de mostrar el paso a paso o el camino por el cual se va a obtener dicho resultado, dando solución a cada objetivo propuesto desde el comienzo.

Dentro de los tipos de investigación encontramos:

#### 1. La investigación cuantitativa que se caracteriza por:

La utilización frecuente de componentes teóricos, que son la base principal para conducir al investigador a un resultado, que sirve para verificar la información comparando los datos obtenidos con algunos estudios ya comprobados, además, se procura un distanciamiento en relación con el sujeto de estudio, lo que permite un concepto más neutral. Se espera que el fruto de esta investigación sea confiable ya que en esta parte se tiene en cuenta el concreto, dimensiones de elementos estructurales, propiedades y formas estructurales.

#### 2. Los estudios cualitativos

Dan la oportunidad de interactuar y explorar el entorno de la investigación, permitiendo emitir conceptos propios basados en la observación y en la naturaleza del problema, que luego se pueden corregir con ayuda de los métodos cuantitativos. Este método nos acerca a la realidad social y a la perspectiva que tienen las personas sobre el problema plantado, ampliando el panorama de investigación, alejándonos de dar conceptos muy generalizados, sin embargo, es sucesible a alteraciones ya que se presentan casos de distorsión en la información cuando se

manipulan las respuestas de las personas encuestadas. Es una investigación más flexible y abierta, permite generar nuevas ideas y recoger datos desconocidos que enriquecen los resultados, permitiendo interpretar cada factor profundamente gracias al cuidado con el que se analizan los productos de esta investigación (Binda, N. U., & Balbastre-Benavent, F., 2013).

En este trabajo se buscó juntar estos dos tipos de investigación, incluidos en el índice de vulnerabilidad sísmica de **BENEDETTI Y PRETRINI** de manera que se complementen y se sustenten los hallazgos con base en los objetivos y a los lugares escogidos, que en este caso son los barrios Santa Lucía, los Héroes y la Urbanización la Esperanza, a estos barrios no se les ha realizado un estudio similar a este, y ya que son barrios populares de la ciudad surge la necesidad de realizar un estudio de vulnerabilidad sísmica debido a las inconsistencias en el cumplimiento de la Norma Sismo Resistente Colombiana NSR-10 y al año de construcción de estas viviendas.

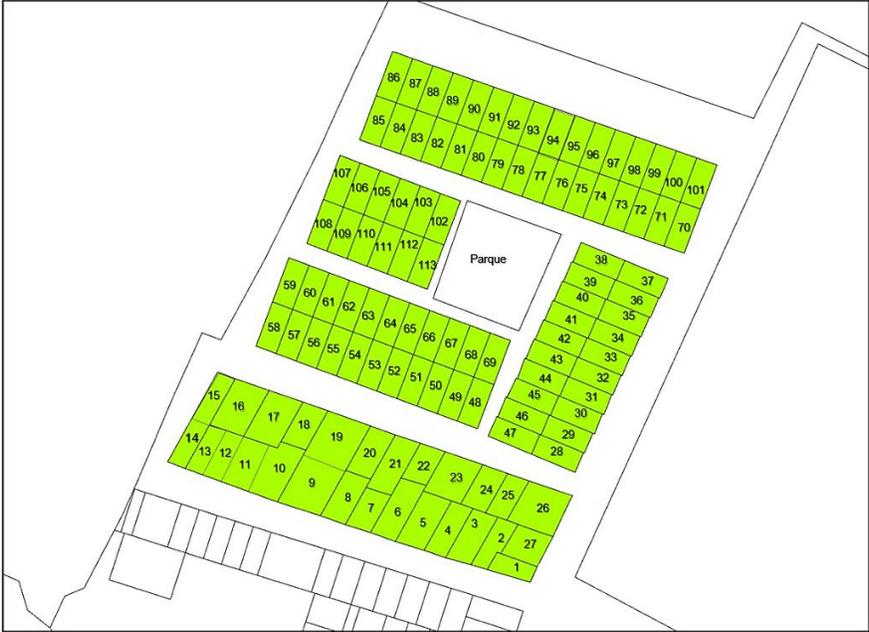
#### ▪ **Recolección de Datos**

Comienza la investigación con la solicitud de los respectivos permisos (Anexo 2 Permisos) a la universidad y a los presidentes de la junta de acción comunal para informar sobre las actividades que se llevaron a cabo en estos sectores, luego se hizo una zonificación para determinar la localización exacta de los lugares a visitar y con ayuda del sistema de información geográfica TUSIG de la ciudad de Tunja se hizo un conteo de las edificaciones existentes, se realizó una visita a cada uno de los barrios que cuenta con registro fotográfico y se aplicó el formato de encuesta (Anexo 1 Formato de encuesta) para empezar a hacer la toma de datos, en este registro se buscará obtener información sobre la tipología estructural, tipos de materiales, año de construcción, tipo de uso de la estructura, características de la población y demás datos necesarios.

El procedimiento de evaluación que se efectuó, comenzó con una pre-visualización de los sitios de estudio con ayuda de google earth y google maps, se hizo una numeración y conteo de los lotes designando una secuencia que permitió un correcto orden para la recolección de información, posteriormente se realizó el

trabajo de campo que incluye un registro fotográfico y encuestas a la comunidad, con los datos obtenidos se complementó la base de datos en Excel y se elaboró la cartografía en Arcgis con la tabulación de datos.

Mapa 1 Loteo y orden de recorrido barrio Los Héroes



Fuente: El Autor

Mapa 2 Loteo Urbanización la Esperanza



Fuente: El Autor

Mapa 3 Loteo y orden de recorrido barrio Santa Lucia



Fuente: El Autor

La segunda etapa, es el análisis de los datos que se tabularon en el programa Microsoft Excel, que organiza la información para ahorrar tiempo. Se crearon hojas de cálculo que incluyen los parámetros del método y la evaluación final de los resultados, de esta manera se tiene la información de manera más práctica y organizada.

Finalmente, con ArcGis se generaron, y representaron todos los posibles resultados en mapas de una forma gráfica y ordenada, que en un futuro podrían ser de utilidad como base de algún estudio que realice las entidades encargadas del territorio Tunjano.

## 6. ZONA DE ESTUDIO

La zona que se escogió para efectuar esta investigación, son los barrios Santa Lucia, Los Héroes y la Urbanización la Esperanza, todas son zonas residenciales ubicadas en la ciudad de Tunja.

Colombia, donde está ubicada la zona de estudio de esta investigación, se ve afectada por la placa nazca, suramericana y del caribe; además de esto está sobre el cinturón de fuego del pacífico zona que se extiende por más o menos 40.000 kilómetros sobre diferentes placas que son sísmicamente activas debido a que son “losas macizas” que se encuentran en continuo movimiento (Rodríguez Gabriel, 2020), además, según la Unidad Nacional de Gestión de Riesgos en su cartilla publicada en 2015, dicen que el 86% de las ciudades y poblaciones de Colombia están en zonas alta e intermedia.

En la ilustración 18 se ven evidenciadas las placas que afectan a Colombia, que van desde Alaska en Norte américa hasta el sur de Chile, y que hacen parte del cinturón de fuego del pacífico.

*Ilustración 18 Mapa de Sismicidad Global*



Fuente: <https://magicanaturaleza.com/c-sismos/placas-tectonicas/>

Ilustración 19 Placas que afectan a Colombia



Fuente: <https://magicanaturaleza.com/c-sismos/placas-tectonicas/>

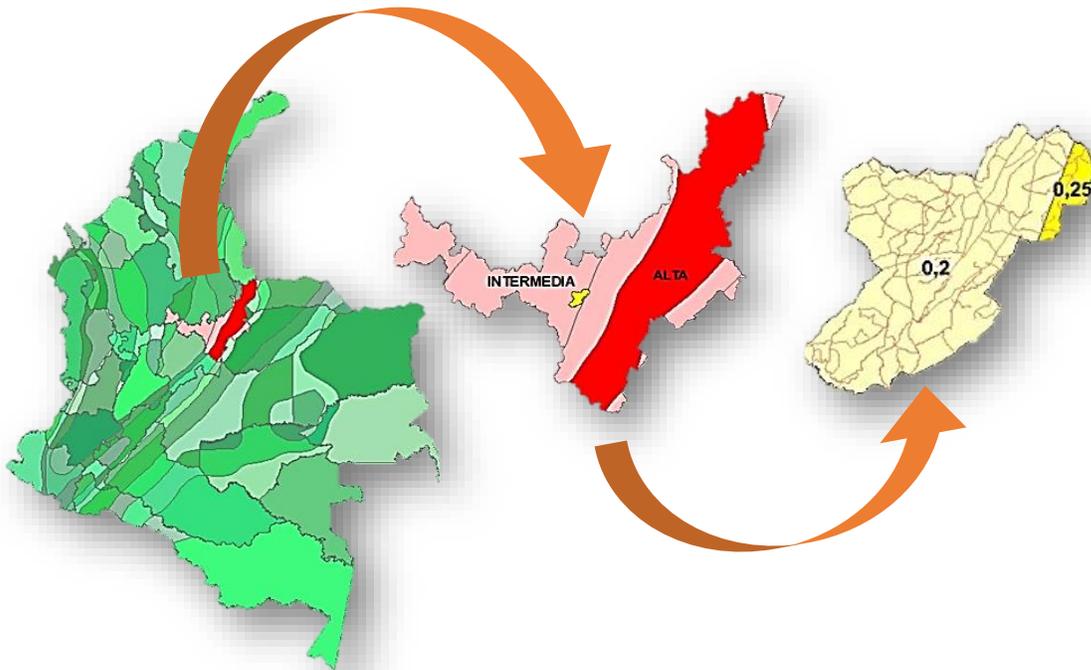
### 6.1 La ciudad en el país

Tunja es la Capital del Departamento de Boyacá - Colombia, Ubicado dentro de la Provincia centro, sobre la cordillera oriental de los Andes a 130 km al noreste de la ciudad de Bogotá.

Límites del municipio: Limita por el NORTE con los municipios de Motavita y Cóbbita, al ORIENTE, con los municipios de Oicatá, Chivatá, Soracá y Boyacá, por el SUR con Ventaquemada y por el OCCIDENTE con los municipios de Samacá, Cucaita y Sora (Tunja-Boyaca, 2020).

- Extensión total: 121.4920 Km<sup>2</sup>
- Extensión área urbana: 19.7661 Km<sup>2</sup>
- Extensión área rural: 101.7258 Km<sup>2</sup>
- Altitud de la cabecera municipal (metros sobre el nivel del mar): 2782
- Temperatura media: 13° C.

Ilustración 20 Localización de Tunja en Colombia



Fuente: El Autor, Modificando las capas tomadas del SIGOT

## 6.2 Características de la ciudad de Tunja

- **Relieve**

Boyacá tiene una orografía muy variada, se encuentran grandes pendientes, ascensos, altiplanos, yacimientos de agua, se puede evidenciar la cordillera de los andes en su máxima amplitud lo que genera un ambiente diverso y múltiples variaciones de clima. Tunja posee alturas que varían entre 2782 msnm y 3150 msnm. Los accidentes orográficos que presenta son: las cuchillas del perico, Cazadero, Peña Negra, Las lomas de la sierra, la Cascada, el alto del moral, el alto de cepeda, el alto de Pirgua y el alto de San Lázaro.

Tunja es atravesada por dos ríos el Jordán y la Vega, considerados lamentablemente como botaderos de residuos y escombros en varias partes de la ciudad. Su uso principal es el riego de cultivos, los Tunjanos desafortunadamente no se abastecen de esta agua para su consumo, obviamente por el estado actual en el que se encuentran. Para suplir las necesidades de la población el municipio

utiliza los pozos profundos que se encuentran en el sub-suelo de la ciudad y del embalse Teatinos ubicado entre Samaca y Venta quemada (Alcaldía Mayor de Tunja, 2011).

- **Clima**

El clima de Tunja varía entre frío, cálido y templado. Presenta precipitaciones importantes a lo largo del año y la temperatura media está entre los 13°C.

- **Población**

Al año 2020 179.263 habitantes según DANE proyección 2018 a 2023.

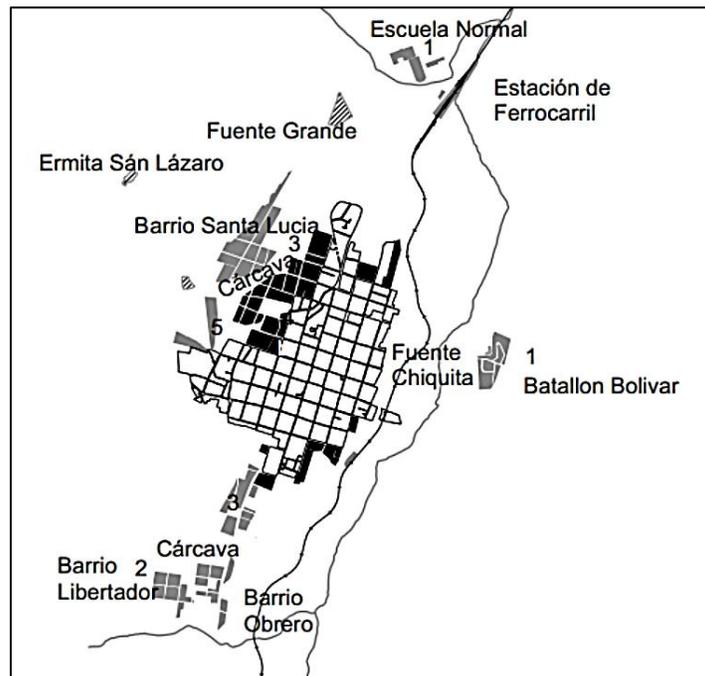
- **Geología**

El suelo, es primordial para el desarrollo de la vida, en un recurso totalmente natural donde ocurren una serie de procesos físicos, biológicos y químicos, se forma lentamente a lo largo de millones de años dando vida a la vegetación y a todos los procesos que ocurren en este. En el suelo existe un fenómeno conocido como licuefacción que ocurre cuando se genera un terremoto y que produce un comportamiento parecido a un líquido denso, esto debido a la pérdida de la resistencia al cortante a causa de un aumento sustancial en la presión de poros. Usualmente se generan en suelos arenosos sobre el nivel freático, con poca densidad, rellenos, suelos arcillosos y erosionables.

La mayor parte de la ciudad de Tunja posee un suelo de arcillolita, limolita, lutita, franco arenoso, cenizas volcánicas y arenisca cuarzoza de color amarillento oscuro, lo que conduce y favorece la generación de cárcavas que ayudan a drenar las aguas lluvias y a disminuir inundaciones. Sin embargo, con la expansión constante de la ciudad, la evolución, el incremento de la población y la necesidad de espacio, se ha optado por construir en estas zonas, rellenándolas, lo que produce suelos inestables y por ende edificaciones propensas a colapso y a sufrir el fenómeno de licuefacción debido a que el suelo va a buscar acomodarse y a que este tipo de estratificación ayuda a la amplificación de las ondas sísmicas a la hora de presentarse un sismo en la ciudad de Tunja, que como bien se sabe se encuentra en riesgo intermedio

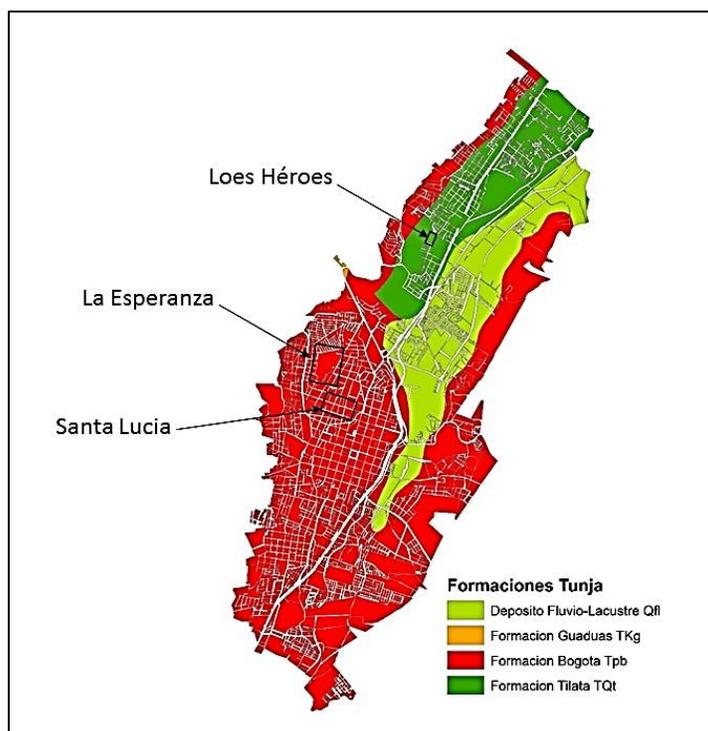
(Alcaldía Mayor de Tunja, 2011). Este tema es importante en este trabajo ya que el Barrio Santa Lucia está construido sobre una de las cárcavas que drena cerca del 90% del agua lluvia hacia el rio Jordán, según el archivo municipal de Tunja el barrio Santa Lucia no tiene licencias de construcción, esto debido a que el POT de la ciudad prohíbe las construcciones en estas zonas. El barrio los héroes y la urbanización la Esperanza por otra parte cuentan con licencias, pero siguen estando en un suelo con características riesgosas. Esta condición coloca a la ciudad de Tunja en una situación bastante difícil, que genera un problema en el diseño sismo-resistente obligando a las autoridades a revisar la condición sísmica actual de las viviendas con el fin de dar cumplimiento a la NSR-10.

Mapa 4 Cárcava Santa Lucia



Fuente: (Hidalgo Guerrero, Adriana, 2010)

Ilustración 21 Mapa Geológico de Tunja



Fuente: El Autor, utilizando las capas creadas por el SIGOT

En Tunja se encuentran rocas sedimentarias con edades desde el Cretáceo superior, hasta los depósitos fluvio-lacustres más recientes del cuaternario.

- **Formación Bogotá**

Fue nombrada en 1931 por Hubach, está compuesta por 3 capas, la primera compuesta por arenas y arcillas, la segunda está conformada por arcillolitas abigarradas con areniscas y areniscas arcillosas y la tercera posee areniscas blandas y gruesas con arcillolitas abigarradas. La característica principal de esta formación es el carcavamiento lo que la convierte en un suelo inestable (CAR), sobre esta formación se encuentra el barrio Santa Lucía y la Urbanización La Esperanza.

- **Formación Tilatá**

El nombre se le otorga a Scheibe quien en el año 1933 nombra así a un grupo de areniscas de grano grueso, luego en 1957 Hubach la define oficialmente como

formación compuesta por sedimentos lacustres y finalmente en 1995 Helmens y Van der Hammen la dividen en 3 miembros principales. Esta formación se presenta como terrazas que cubren distancias de grandes kilómetros en forma de “*abanicos explayados con pendientes suaves e inclinadas*” que pueden reconocerse en la vía Bogotá-Tunja, compuestas por arenas de grano fino (INGEOMINAS, 2005). Esta formación presenta fuertes erosiones lo que la convierte en una cárcava extremadamente profunda compuesta por material arcilloso y arenas, sobre esta formación está el barrio los Héroes.

- **Deposito Fluvio-Lacustre**

Como se observó en la ilustración 17 parte de la zona urbana de Tunja esta sobre un sinclinal que formo un grupo de sedimentos fluvio-lacustres que tienen una forma alargada, compuesto por suelos finos de alta plasticidad muy blandos y bastante compresibles que podrían llegar a ser licuables.

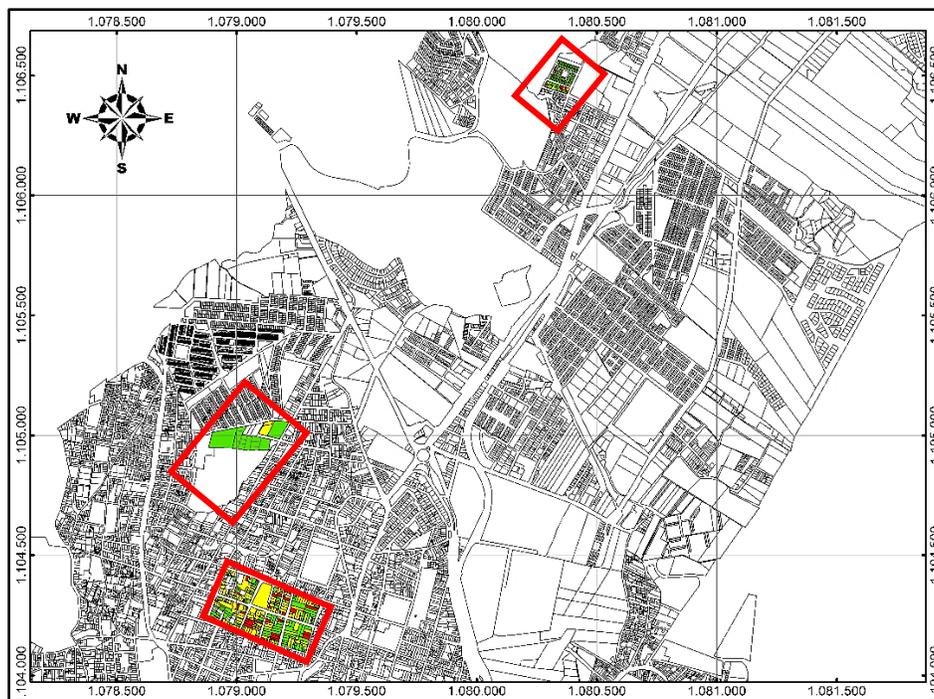
Además, Tunja se ve afectada por una tectónica bastante variada en la se encuentran fallas como: El sinclinal de Tunja, la falla tras del alto, falla del asís, fallas de Tunja o central y algunas fallas locales que generan rumbos desplazados (Rodriguez Edgar, Sanchez Miguel, Sainea Carlos).

## 7. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con los lineamientos de la NSR-10 en su numeral A.2.9.2, “la ciudad de Tunja debe implementar el estudio de microzonificación sísmica, por ser capital de departamento y tener una población mayor a 100.000 habitantes”, tiene características de construcción especiales dadas las características del suelo en algunas zonas de la ciudad, actualmente en Tunja se pueden evidenciar irregularidades en planta, en alturas, en materiales, en sistemas constructivos, pisos débiles y es evidente la falta de recursos a la hora de construir ya que muchas de las viviendas quedan a medio construir.

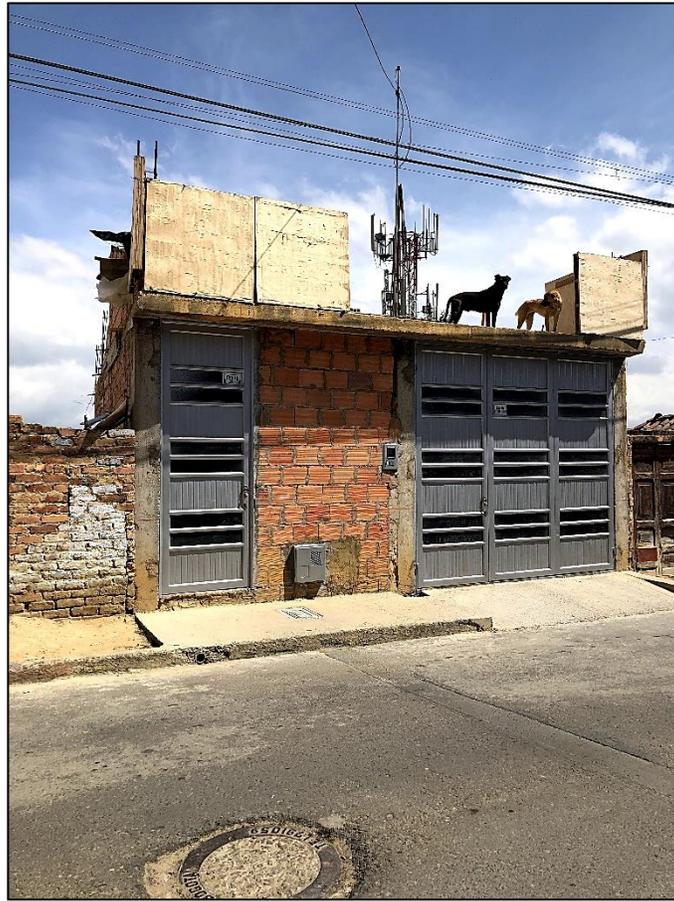
El barrio Santa Lucía se encuentra ubicado dentro de las carreras 11° y 15° y las calles 24 y 26, está justo arriba del hospital San Rafael y cerca al parque Santander y a la zona del centro de Tunja, La Urbanización la Esperanza esta sobre la calle 32 y la carrera 16 cerca encuentra el barrio la Fuente y el barrio Gaitán y el barrio los Héroes está al Norte de la ciudad dentro de la carrera 9° y 10° y las calles 49 y 50.

*Mapa 5 Ubicación de los barrios en Tunja*



Fuente: El Autor

*Fotografía 3 Vivienda sin terminar Barrio Santa Lucia*



Fuente: El Autor

## 7.1 Barrio Santa Lucia

Está ubicado cerca del centro de la ciudad tiene 344 lotes, dentro de los cuales se pueden encontrar viviendas en adobe, edificios de 4 y 5 pisos, viviendas sin terminar, lotes sin construir, una institución educativa, combinaciones de materiales de construcción y distintos tipos de sistemas estructurales. Cuenta con una población de más o menos 1915 habitantes de los cuales según la alcaldía mayor el 90% es estrato 3 y un 10% está en estratos 1 y 2 de acuerdo con el decreto 0192/98.

Mapa 6 Manzanas Barrio Santa Lucia



Fuente: El Autor

Grafica 1



Fuente: El Autor

**7.1.2 Tipo de uso:** Durante la visita de campo se pudo evidenciar que, la mayoría de lotes están construidos y son de uso residencial, algunas de las viviendas cercanas al centro cuyo sistema estructural era principalmente de adobe han sido demolidas y en su lugar aparecen edificios residenciales de 4 o 5 pisos construidos en pórticos en concreto, pasando de viviendas unifamiliares a multifamiliares, además se encontraron varios sitios que prestan servicios comerciales dada su cercanía al centro de la ciudad, viviendas en aparente estado de abandono o en venta para su remodelación y posibles nuevas construcciones, hacia la parte de atrás del barrio que está sobre la carrera 14 y 15 según el mapa de tipo de uso, aún se encuentran lotes sin construir, en estado de abandono o en venta, las viviendas de esta zona tienden a ser de uno o máximo dos pisos, no se encontraron iglesias o salones comunales.

Mapa 7 Tipo de Uso



Fuente: Autor

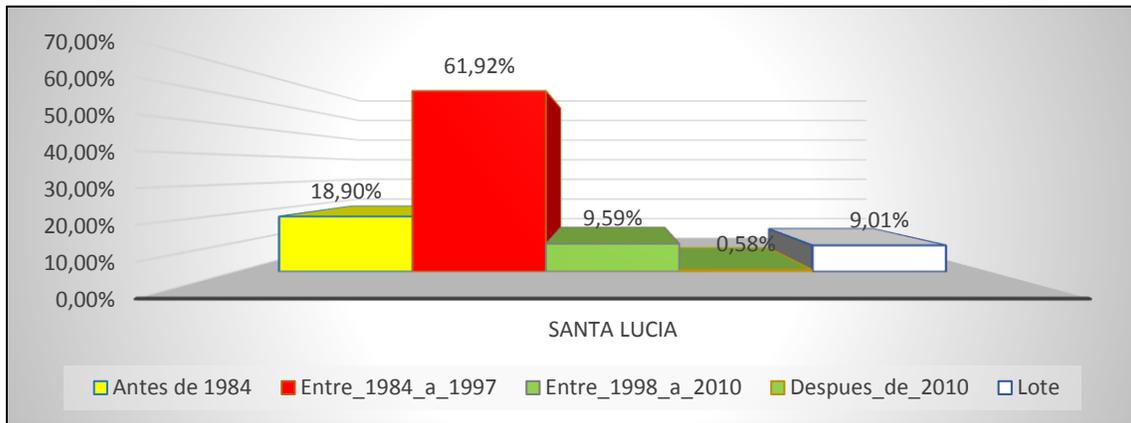
### 7.1.3 Año de construcción

Como se puede observar en el mapa 5 entre más cercanas son las edificaciones al centro más antiguo es su año de construcción, sin embargo, se han venido suprimiendo antiguas casas coloniales con construcciones del siglo XXI y es que el barrio Santa Lucía es parte de los llamados Barrios Obreros, siendo estos los primeros en ser construidos en Tunja, más o menos en el año 1816, en este mismo año Alejandro Vélez genera uno de los primeros planos de la ciudad en el que muestra la topografía, barrancos, ríos, cárcavas, manzanas, calles y los primeros lugares que hoy en día se denominan barrios, llamados desde ese entonces como San Laureano, El Topo, Santa Lucía y la loma de los ahorcados. Desde ese momento se tenía la concepción de que Tunja estaba rodeada de cárcavas que dividían los accesos a las poblaciones cercanas estas eran conocidas como: en el sur de ese entonces La picota y San Laureano y al lado norte San Francisco y Santa Lucía, nombres que aún conservan estas cárcavas de distribución de aguas lluvias. A lo largo de los años el barrio Santa Lucía se ha expandido y ha cambiado sus sistemas constructivos, pasando de la construcción en tierra a la mampostería alejándose de lo que sería la parte histórica de la ciudad, sin embargo es evidente que se construyó sin ningún tipo de norma sismo resistente, o ayuda de un profesional certificado (DELGADO, L. A. S., 2015).

Dentro de los años de 1907 a 1939 empieza a crecer el barrio Santa Lucía sobre la cárcava que lleva su nombre, este es un terreno escarpado que no posee las características óptimas para su construcción, el dueño de estos predios vendió sin hacer ningún tipo de loteo y sin realizar el debido estudio urbanístico. En 1926 formalmente se vuelve parte de los barrios de Tunja fue construido por familias de bajos recursos y con grandes dificultades y como cubrió la cárcava generó una nueva ampliación de la zona urbana (Hidalgo Guerrero, Adriana, 2010).

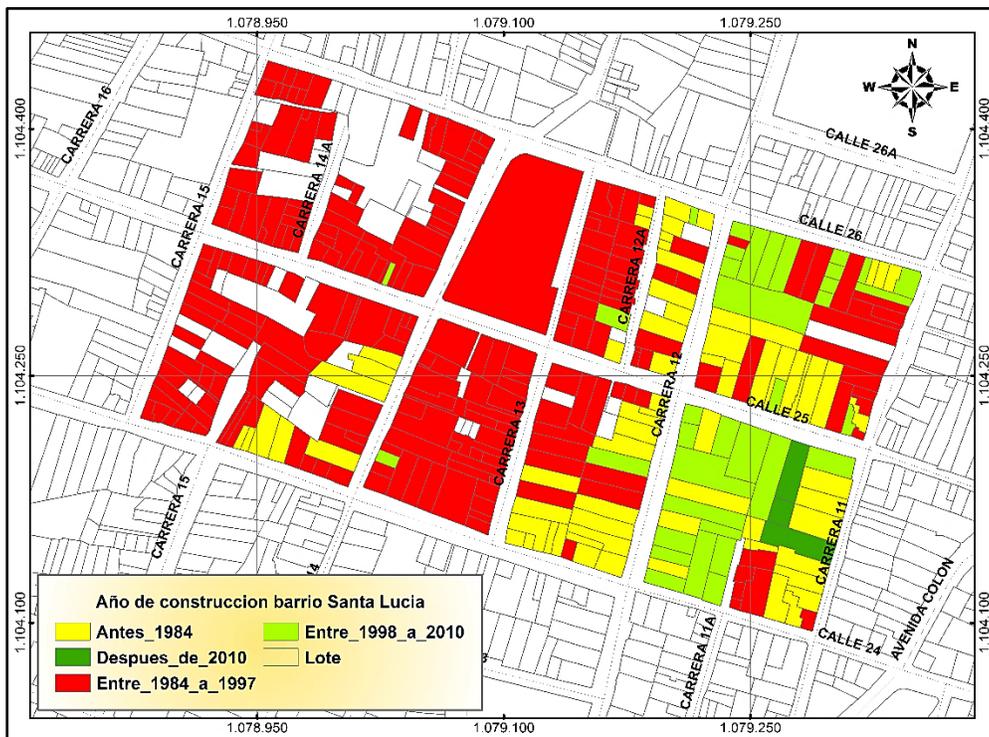
A pesar de todo esto el 61,92% de las viviendas han sido construidas entre 1984 a 1997, esto según los habitantes del sector, que han construido y ampliado sin licencias, información que se corroboró en el archivo municipal donde manifestaron no tener planos de las edificaciones de este barrio.

Grafica 2 Año de Construcción



Fuente: El Autor

Mapa 8 Año de Construcción



Fuente: el Autor

### 7.1.4 Inclinación e inundaciones

Durante las encuestas y visitas de campo, los habitantes expresaron no tener problemas de inundación, sin embargo, algunos ciudadanos manifestaron la

presencia de humedad en sus viviendas a causa del tipo de suelo y de las posibles infiltraciones de agua que pueden ser causadas también por tuberías viejas y la antigüedad de las viviendas, el adobe como material de construcción es susceptible fácilmente a la humedad. Las inclinaciones en este lado de la ciudad están entre el 2% y el 20%, situación que favorece la no presencia de inundaciones por aguas lluvias.

Mapa 9 Inclinación



Fuente: El Autor

Mapa 10 Inundación



Fuente: El autor

### 7.1.5 Posicion en la manzana

El lugar en el que se encuentra una vivienda es importante por que cuando ocurre un evento sismico, las construcciones pueden afectarse entre si, por ejemplo cuando existe desfavorabilidad entre placas, que en barrios como este es bastante comun, cuando la estructura empieza a osilar no tiene al lado un soporte que sea correcto y que le ayude a distribuir la energia liberada por el sismo, ademas de la falta de juntas de separacion que según la NSR-10 en el título A.6 obliga ha su existencia con el fin de evitar colisión entre las edificaciones, esta corresponde a “*la suma de los valores absolutos de los desplazamientos horizontales totales para cada edificación en la dirección perpendicular a la junta que las separa*”, sin embargo, si el ingeniero estructural determino que con una distancia menor no se presentara daño y que hay una simetria entre las edificaciones vecinas se puede continuar con la construccion (Silva Javier, s.f.), la falta de juntas genera golpeteo,

y no deja que las estructuras deformen libremente generando daños en ambas estructuras.

*Fotografía 4 Falta de juntas de separación.*



Fuente: El Autor

Generalmente las casas esquineras, o las que se encuentran libres por un costado tienden a verse mas afectadas porque no se encuentran agrupadas dentro de la manzana correspondiente, lo que podria generar rotaciones e irregularidades torsionales, tambien cuando se presenta un sismo y las viviendas no estan correctamente separadas, los edificios comienzan a osilar, empezarán a chocar uno contra el otro, fenomeno que afecta a las columnas encargadas de soportar la estructura.

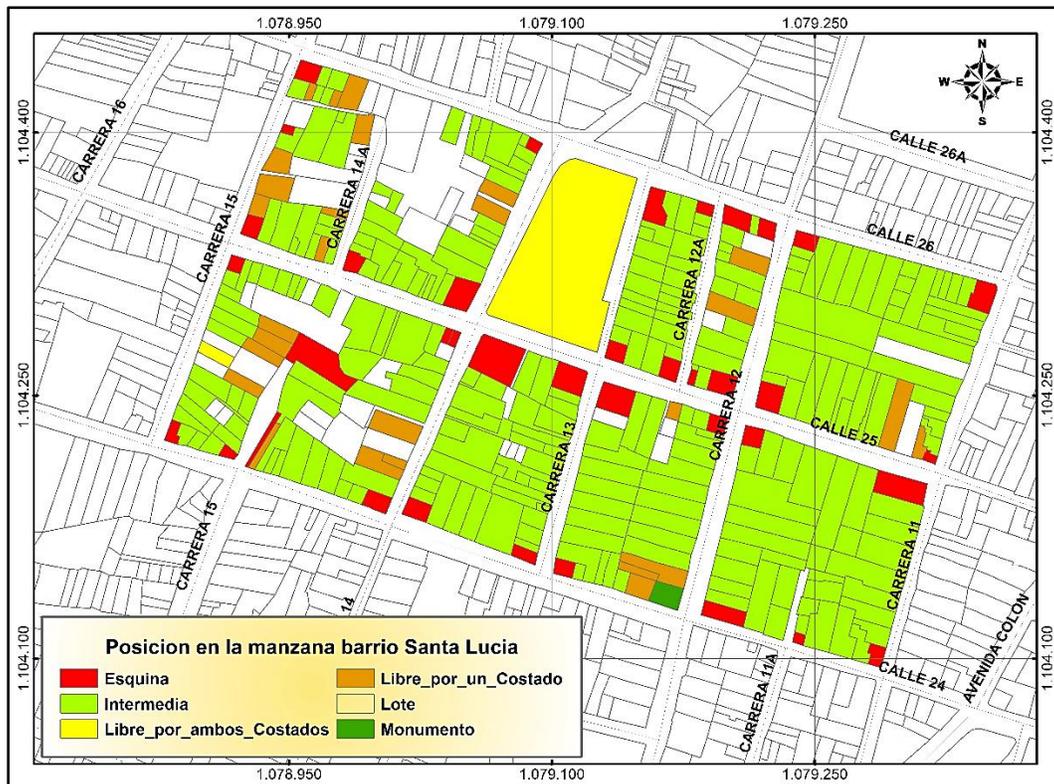
Otro aspecto importante es que actualmente se derrumban edificaciones antiguas y se remplazan por construcciones altas que van a comportarse de forma individual, si se tiene un edificio de 5 pisos junto a una vivienda de dos o un solo piso, los pisos del edificio que coincidan con las viviendas mas bajas tendran un movimiento restringido mientras que los pisos de arriba se vuelven mas flexibles pudiendo moverse mas facilmente y podrian colapsar sobre las viviendas mas bajas (Martinez Cuevas, Sandra, 2014).

Fotografía 5 Diferencia de Alturas



Fuente: El Autor

Mapa 11 Posición en la Manzana

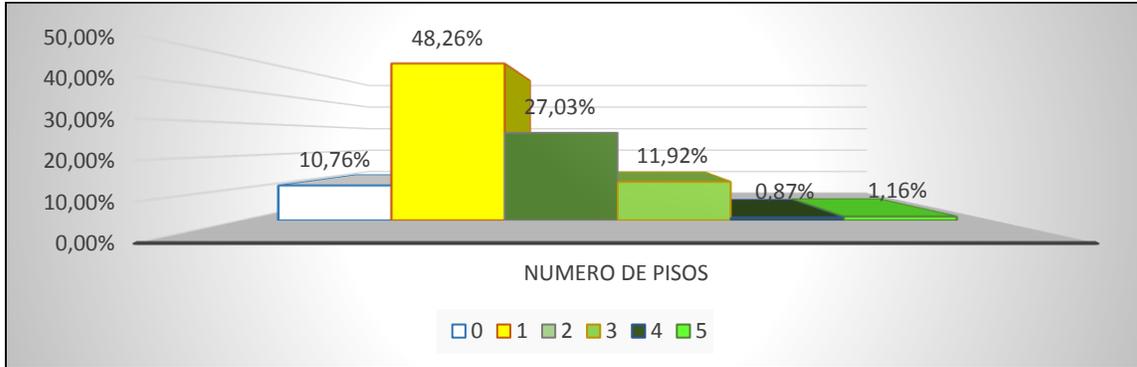


Fuente: Autor

### 7.1.6 Numero de pisos

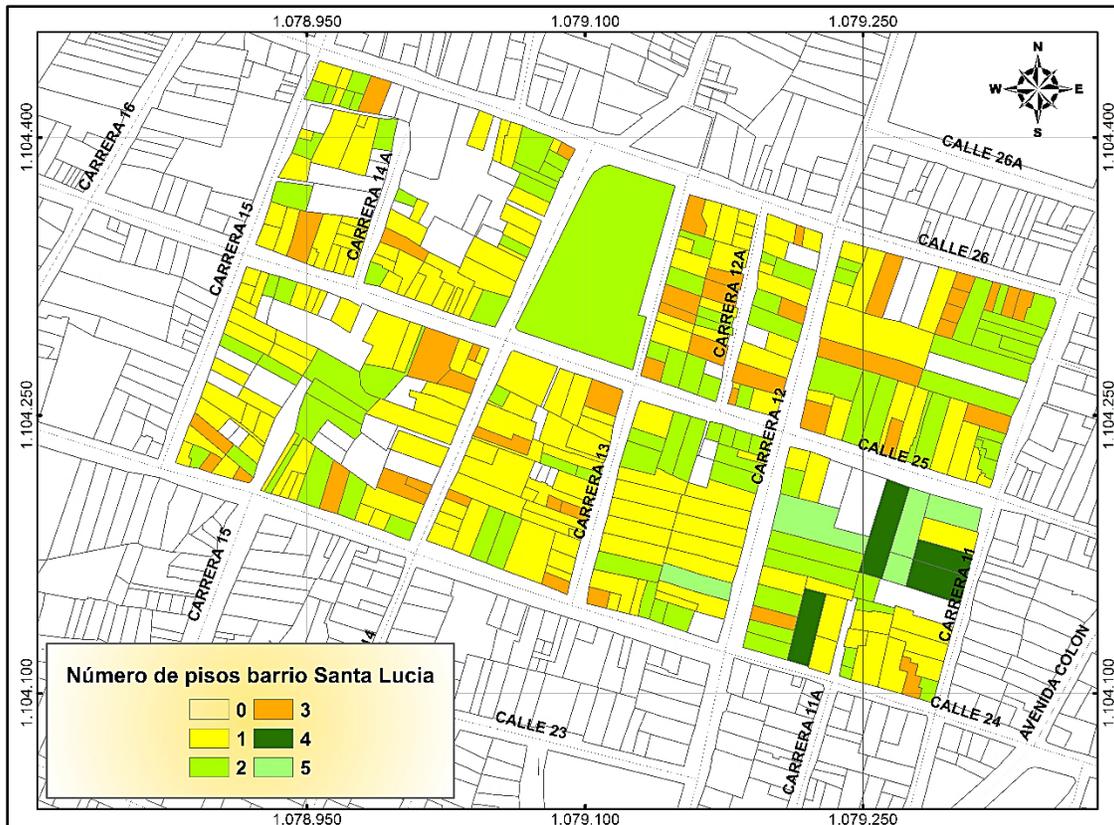
La mayoría de viviendas son de uno y dos pisos siendo 48,26% las viviendas de un piso y 27,03% las de dos pisos.

Grafica 3 Número de Pisos



Fuente: Autor

Mapa 12 Número de pisos Santa Lucia



Fuente: El Autor

### 7.1.7 Sistema estructural

Tunja se caracteriza por realizar construcciones y ampliaciones de manera informal, de echo se a combertido casi que en una practica común no solicitar una licencia o permiso de construccion, lo que lleva a sistemas estructurales carentes de resistencia y a viviendas con multiples errores constructivos.

Dado que, la mayoría de edificaciones son anteriores a la existencia de la NSR-10 o la NSR-98, se encontraron viviendas incompletas, construidas en mamposteria no reforzada, prohibida en el decreto 1400 de 1984 para zonas de riesgo sismico intermedio y en su mayoría con una nocion de la construcción propia del dueño del predio, influenciada por factores como el año de construccion y la cantidad de presupuesto para construir.

*Fotografía 6 Viviendas Manzana #8 entre calle 25 y carrera 15*



Fuente: Autor

En 1930 se expide la primera norma de construccion para la ciudad de Tunja, que incluia los requisistos para la optencion de licencias, anchos de vías, alturas de fachada y otros aspectos para la expansión de barrios obreros, esto en el Decreto 38 del 12 de febrero de 1942, sin embargo habia incumplimiento por parte de los habitantes debido a la falta de ingenieros con experiencia, de profesionales que

estuvieran presentes en las obras y falta de recursos, ya que estos predios pertenecían en un principio a personas que trabajaban como obreros.

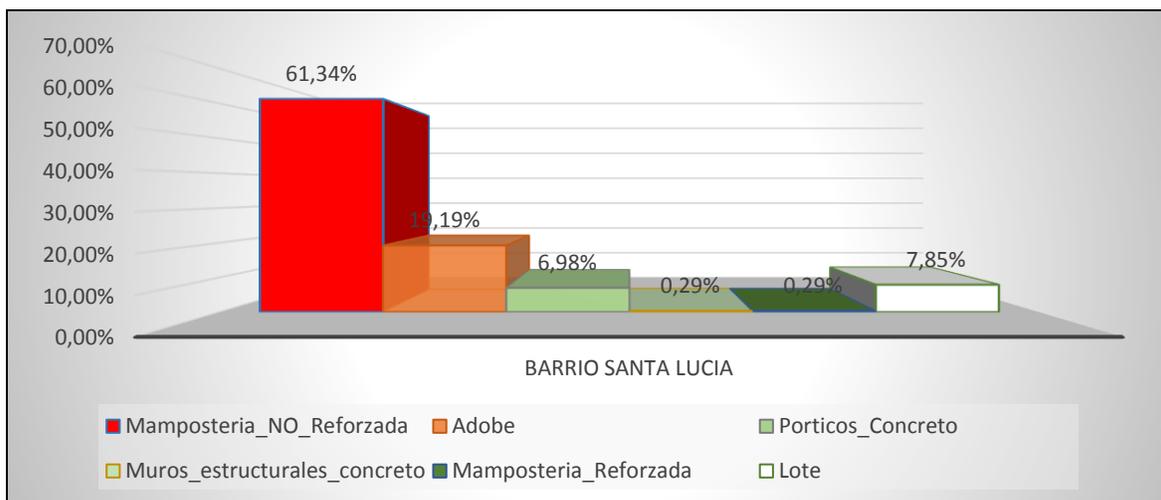
Fotografía 7 Vivienda Original Barrio Santa Lucia



Fuente: Autor

Actualmente predomina la mampostería no reforzada, con un 61,34%, seguido del adobe con un 19,19%.

Grafica 4 Sistema Estructural



Fuente: Autor

Fotografía 8 Sistema estructural predominante



Fuente: Autor



Fotografía 9 Pórticos en Concreto

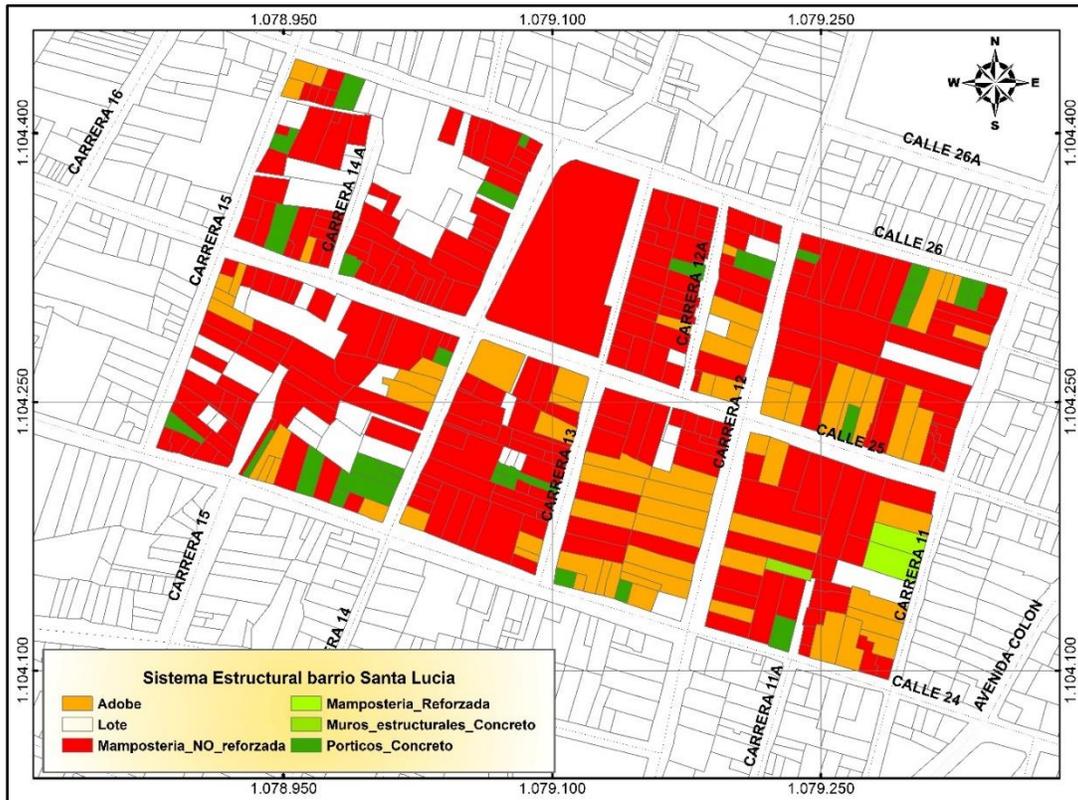


Fuente: el Autor

En los sistemas aporticados que se encontraron se pudo evidenciar discontinuidades en elementos estructurales como columnas y muros atravesados

por tubería como se muestra en las fotografías anteriores, esto errores constructivos restan resistencia y generan irregularidades geométricas.

Mapa 13 Sistema Estructural

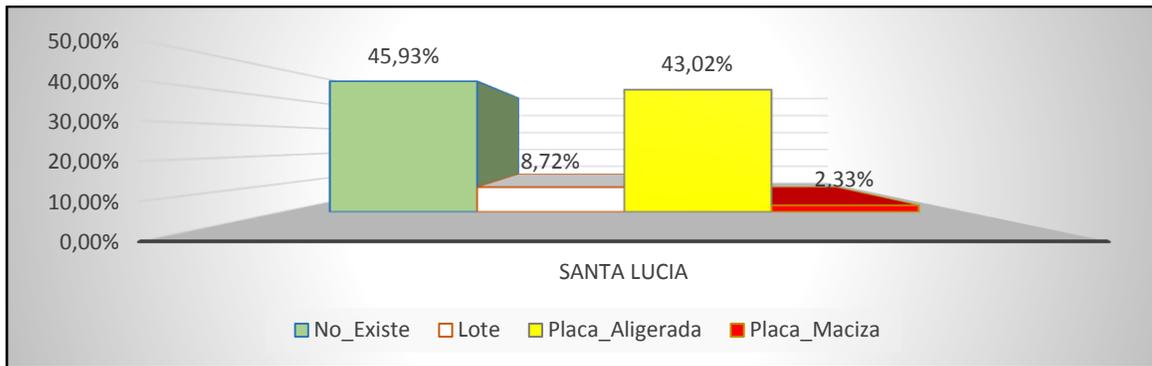


Fuente: El Autor

### 7.1.8 Tipo de placa

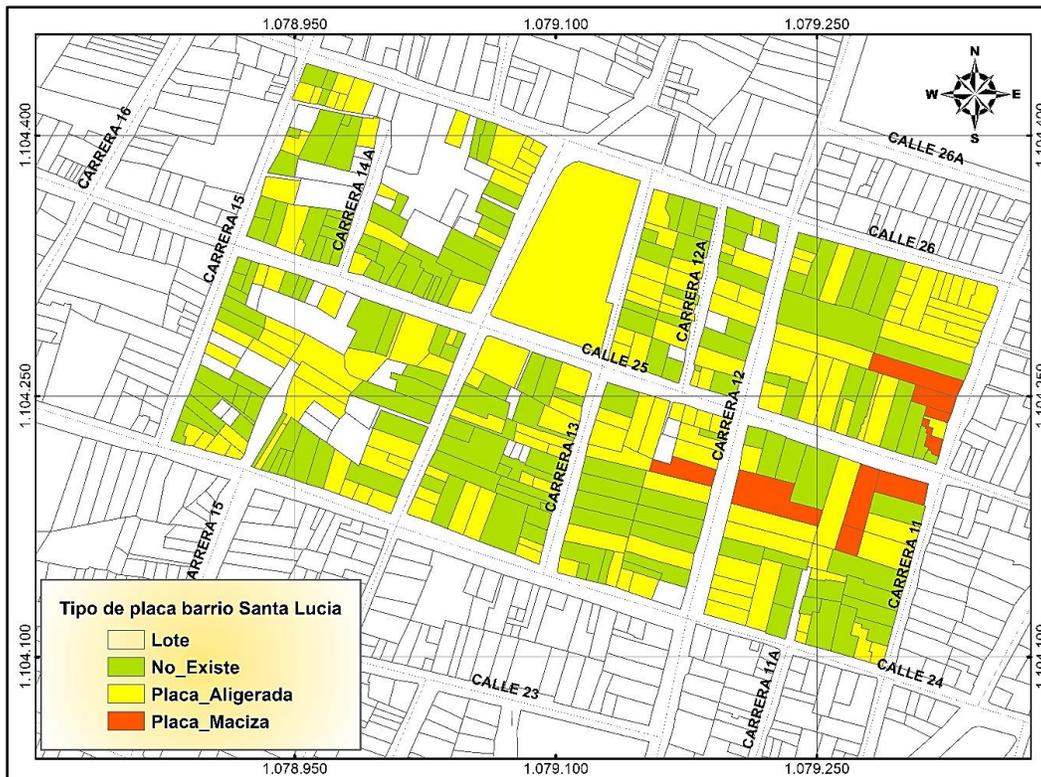
El entrepiso mas comun es la placa aligerada, construidas con vigas en una sola direccion, esto por que suele ser mas economica, se construyen mas rapido y su fabricacion no requiere mayores complicaciones para los dueños de los predios y quedan bien en edificaciones con luces cortas.

Grafica 5 Tipo de Placa



Fuente: Autor

Mapa 14 Tipo de Placa

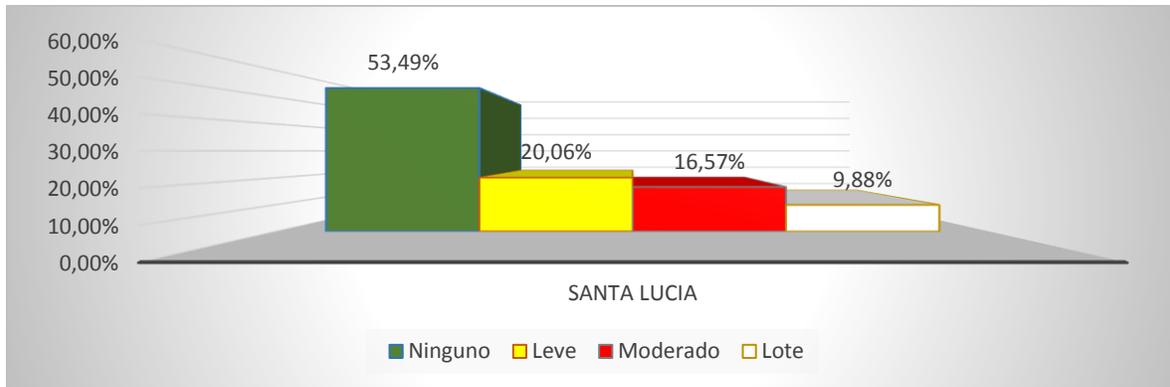


Fuente: El Autor

### 7.1.9 Daños en la estructura

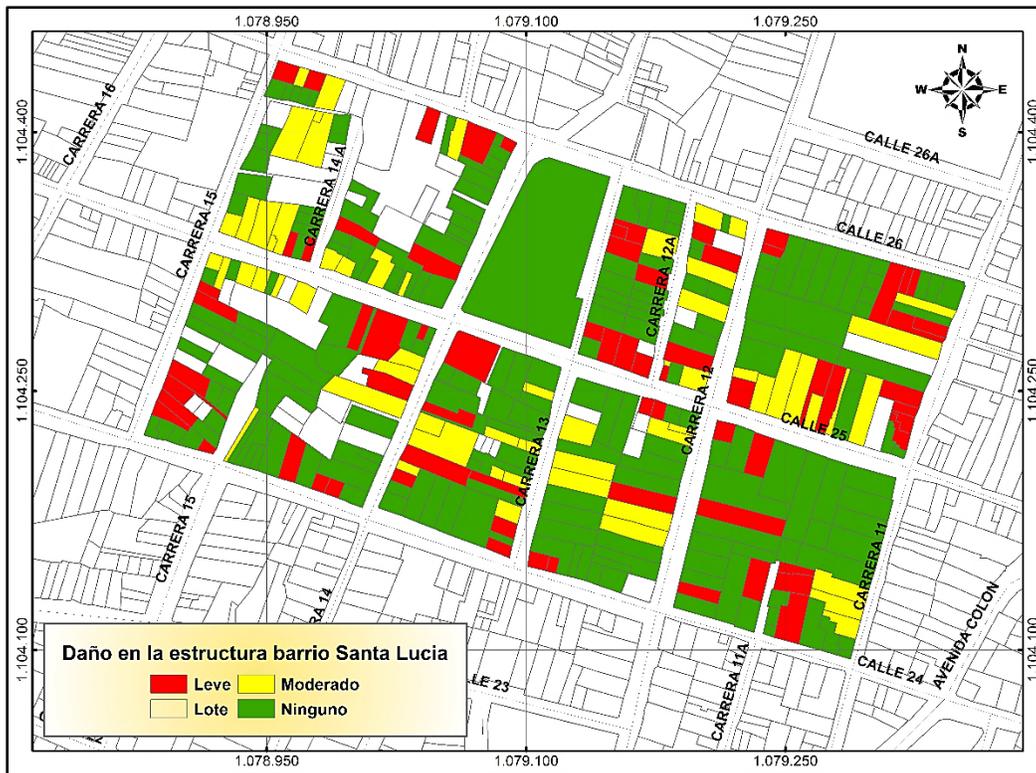
Este barrio no presenta daños visibles en un 53,49% de sus viviendas sin embargo debe hacerse una inspección mas detallada al interior de las mismas.

Grafica 6 Daño En La Estructura



Fuente: Autor

Mapa 15 Daños en la Estructura



Fuente: El Autor

### 7.1.10 Calidad del diseño y estado de la edificación

La calidad de diseño se evalúa de acuerdo con el año de construcción y la existencia de distintos problemas estructurales que afectan directamente al comportamiento de la estructura. Según esto la mayoría de las edificaciones están calificadas como

regulares, dado el estado actual de las viviendas y la pobre noción que se tiene de la construcción sismo resistente y al no cumplimiento de las normas que para esa época sería el decreto 1400 de 1984. Se puede ver la distribución de los resultados en el mapa 13.

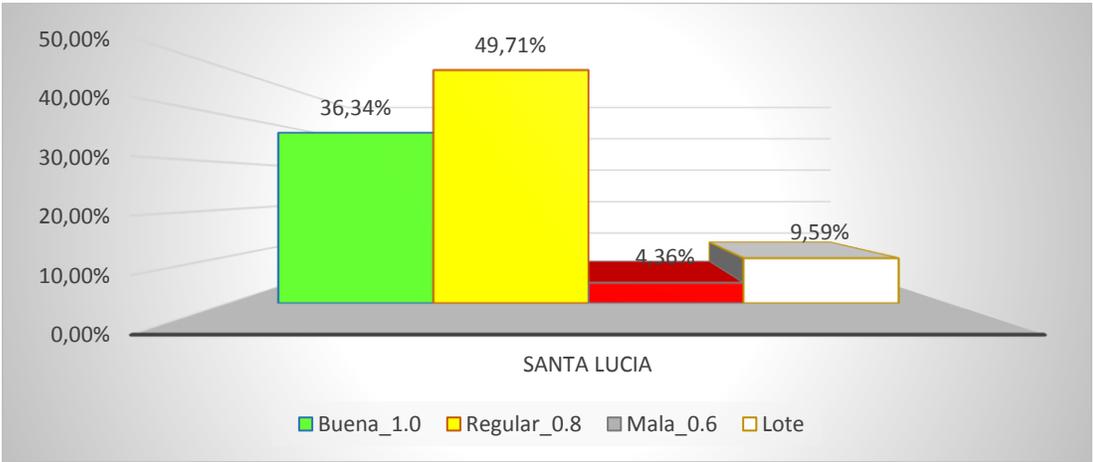
El estado de la edificación que, evalúa las características actuales de los predios dio como resultado que un 46% de las viviendas están como viviendas de mantenimiento regular dadas su falta de mantenimiento. Se puede ver la distribución de los resultados en el mapa 14.

Tabla 6 A.10.4-1 Calidad y estado de la edificación.

	Calidad del diseño y la construcción, o del estado de la edificación		
	Buena	Regular	Mala
$\phi_c$ O $\phi_e$	1.0	0.8	0.6

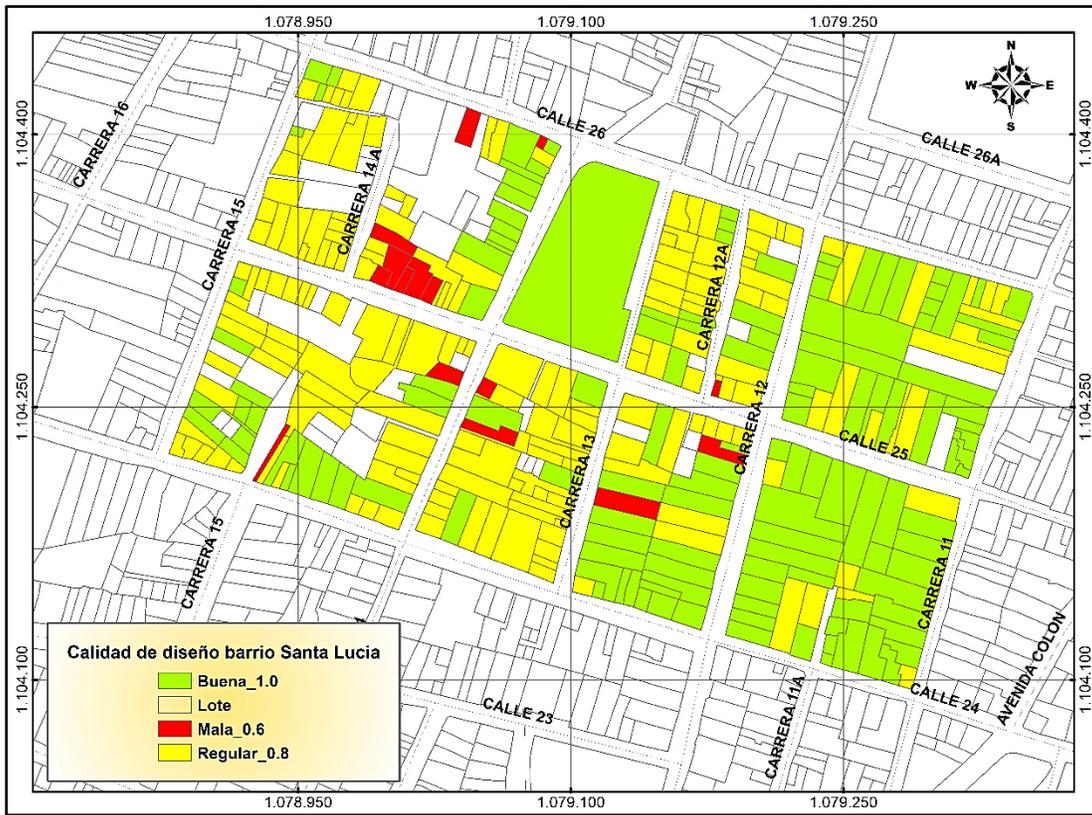
Fuente: NSR-10

Grafica 7 Calidad de Diseño



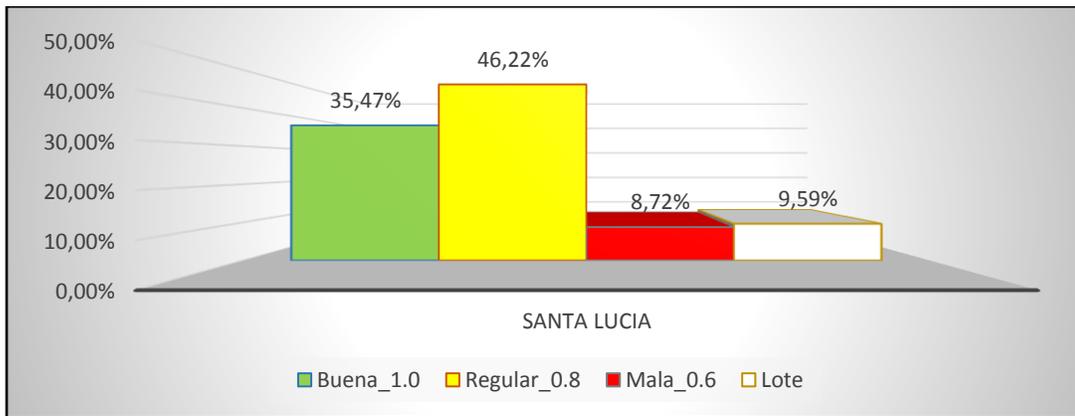
Fuente: El Autor

Mapa 16 Calidad de Diseño



Fuente: El Autor

Gráfica 8 Estado de la Edificación



Fuente: El autor



## 7.2 Barrio los Héroes

Esta al norte de la ciudad, cerca a el centro comercial centro norte y debajo de la estancia el Roble la mayoría de viviendas estan construidas bajo un mismo diseño. Cuenta con 114 Lotes, en su mayoría construidos y una poblacion aproximada de 580 habitantes todos en estrato 3.

Mapa 18 Manzanas Barrio Los Heroes



Fuente: El Autor

Grafica 9



Fuente: El Autor

### 7.2.1 Tipo de uso:

La mayoría de las viviendas son de uso residencial, las viviendas que prestan un servicio comercial son tiendas pequeñas que venden víveres de la canasta básica, tiene 1 zona verde que es un parque de juegos, únicamente 10 lotes disponibles y una vivienda en estado de abandono.

Mapa 19 Tipo de Uso

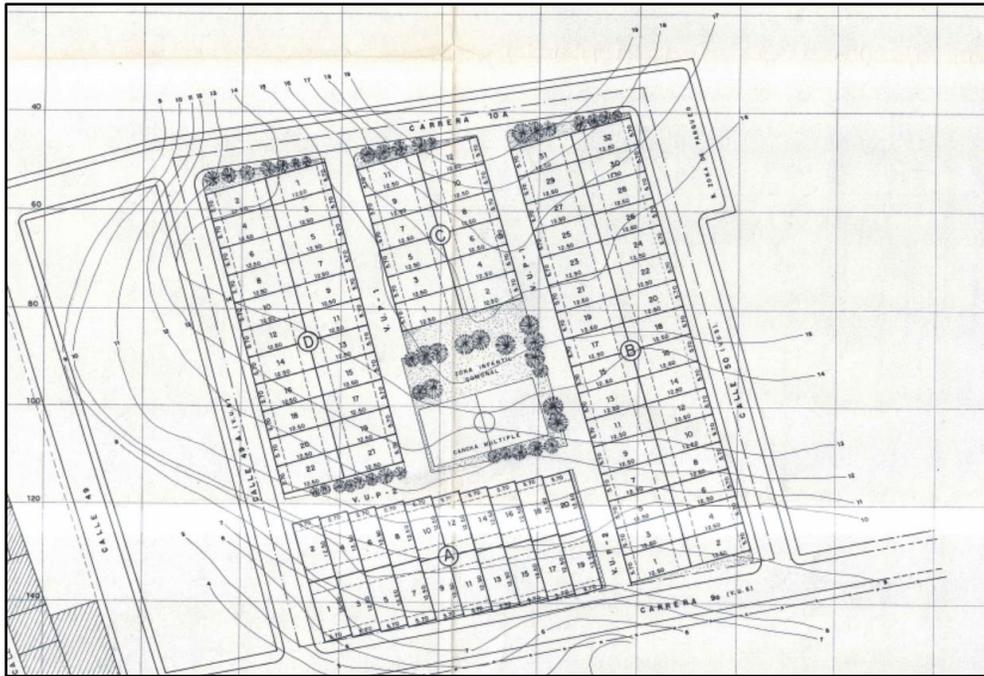


Fuente: El Autor

### 7.2.2 Año de construcción

Luego de las visitas de campo se determinó que este barrio fue construido en el año 1995, información que se corroboró en el archivo municipal ya que los planos que están allí tienen fecha y firma de 1994, para este tiempo Colombia se regía bajo la primera norma sismo resistente que fue expedida por el decreto 1400 de 1984 y que tuvo vigencia por 14 años cuyo fin principal era la preservación de la vida y que las edificaciones no colapsaran por completo cuando se vieran sometidas a fuerzas horizontales.

Mapa 20 Loteo Barrio Loe Héroes



Fuente: Archivo Municipal

Mapa 21 Año de Construcción

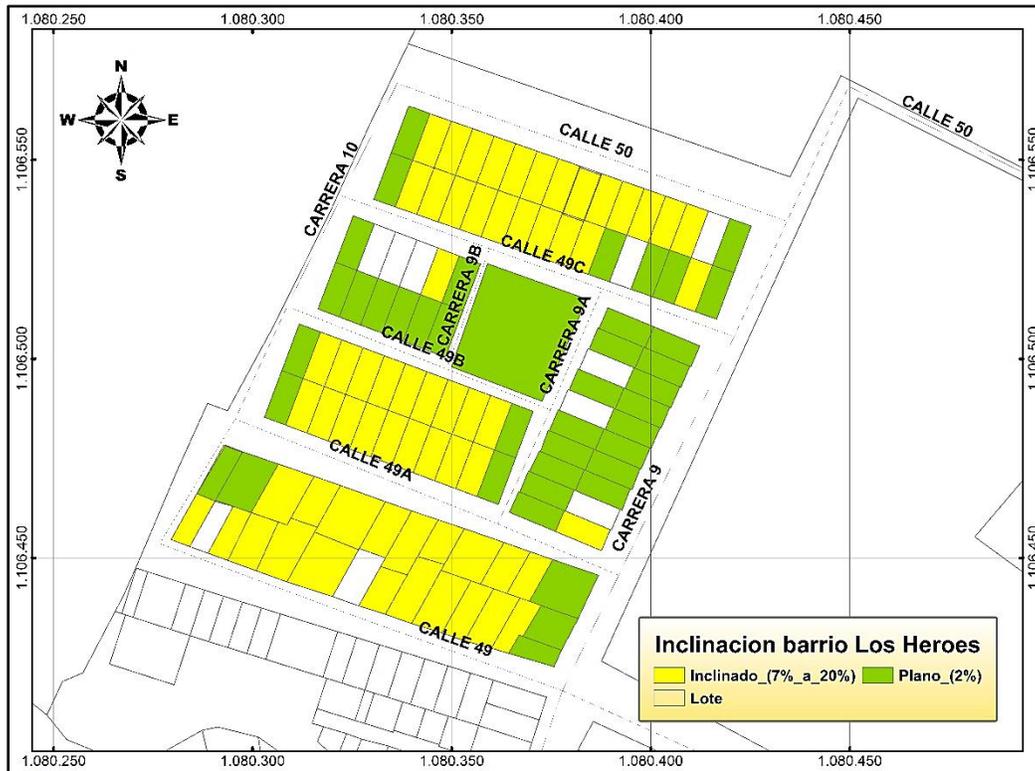


Fuente: El Autor

### 7.2.3 Inundaciones e inclinaciones

Dada la ubicación de este barrio y su inclinación que está dentro del 7% y el 20%, no hay presencia de inundaciones.

Mapa 22 Inclinaciones Barrio los Héroes



Fuente: Autor

### 7.2.4 Posición en la manzana

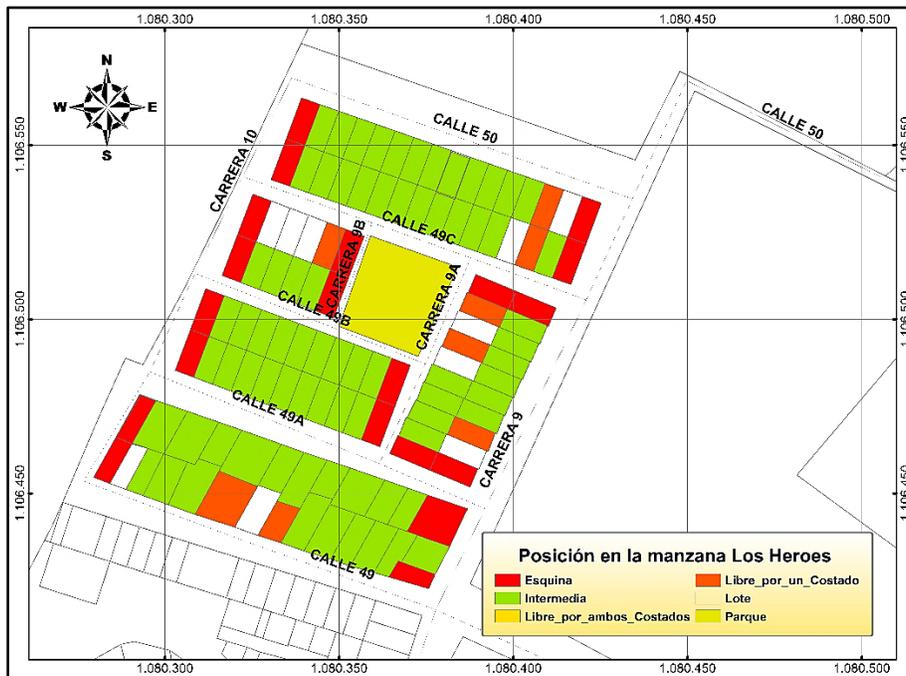
Este Barrio cuenta con 20 casas esquineras, 7 libres por un costado y el resto son intermedias, no poseen juntas de separación entre ellas, existe la desfavorabilidad entre placas, hay estructuras sin terminar, y se presenta diferencias de altura entre viviendas.

Fotografía 10 Vivienda sin terminar Barrio Los héroes



Fuente: El Autor

Mapa 23 Posición en la Manzana barrio Los Héroes

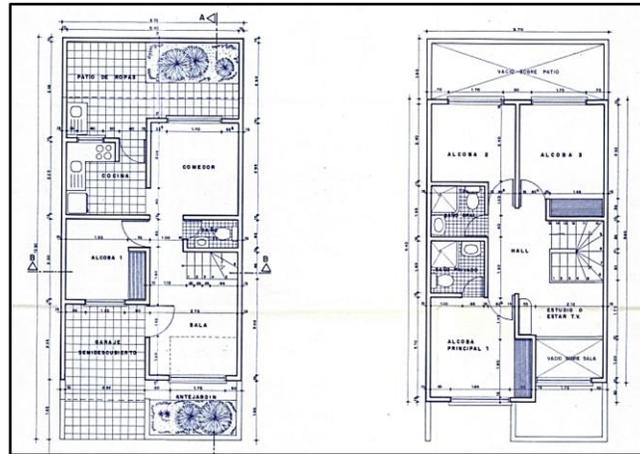


Fuente: El Autor

### 7.2.5 Número de pisos

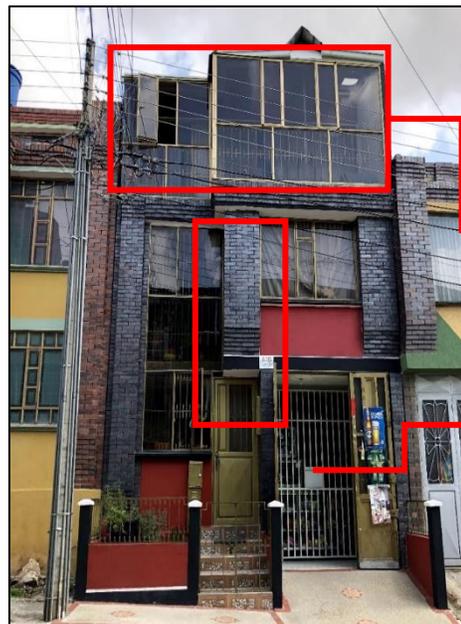
El 58% de viviendas son de 3 pisos, pero los planos originales de este barrio indican que se construyeron con solo 2 pisos, lo que significa que ha habido múltiples ampliaciones, de las cuales algunas no tienen licencias para su ampliación

Mapa 24 Casa Original Barrio Los Héroes



Fuente: El Archivo Municipal

Fotografía 11 Vivienda ampliada Barrio Los Héroes

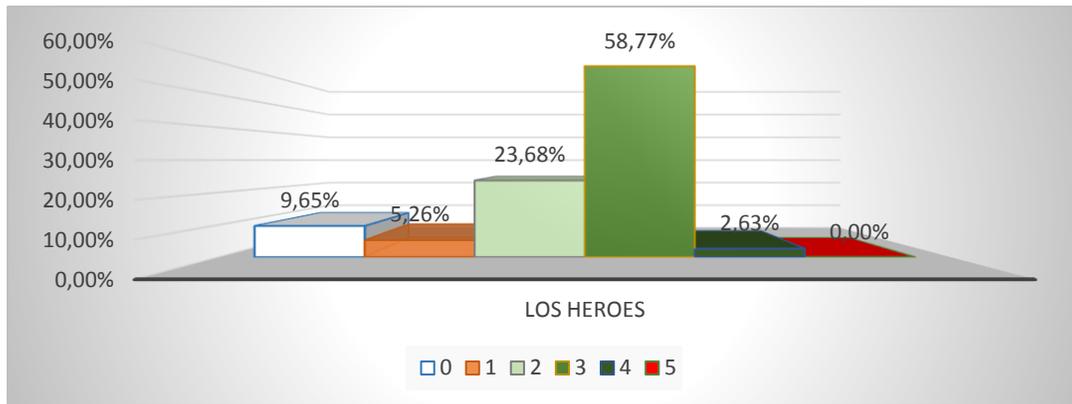


Elementos no estructurales susceptibles a colapso

Mala distribución de ventanas y puertas

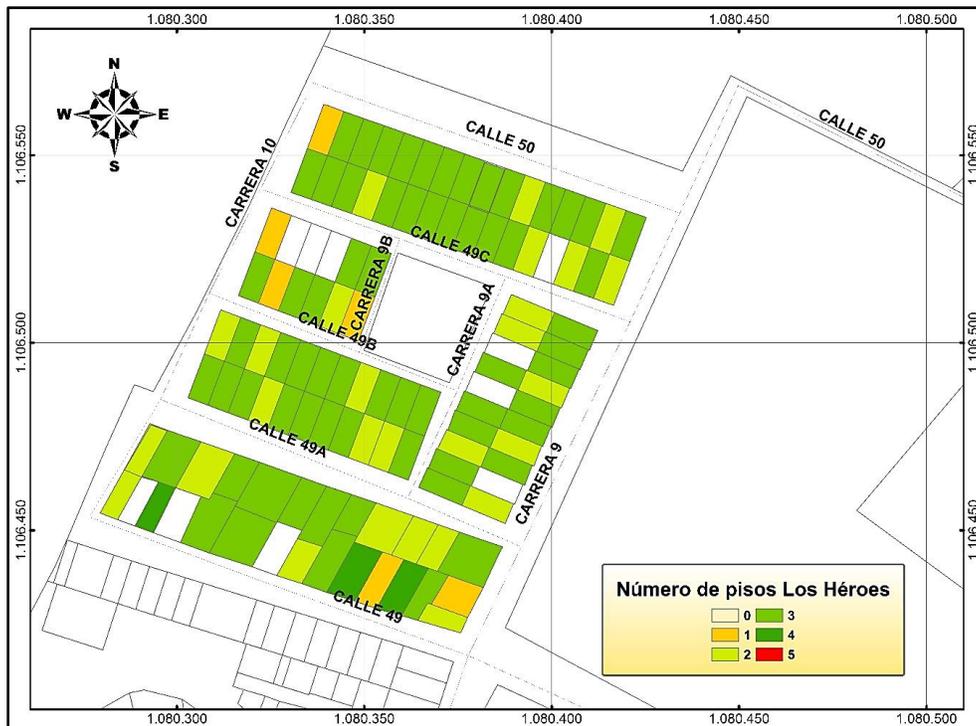
Fuente: El autor

Grafica 10 Número de Pisos Los Héroes



Fuente: El Autor

Mapa 25 Número de Pisos Barrio Los Héroes



Fuente: El Autor

### 7.2.6 Sistema estructural

Con un 78% de los resultados predomina la mampostería confinada, sistema estructural que presenta en esta zona presenta falencias en calidad de materiales y

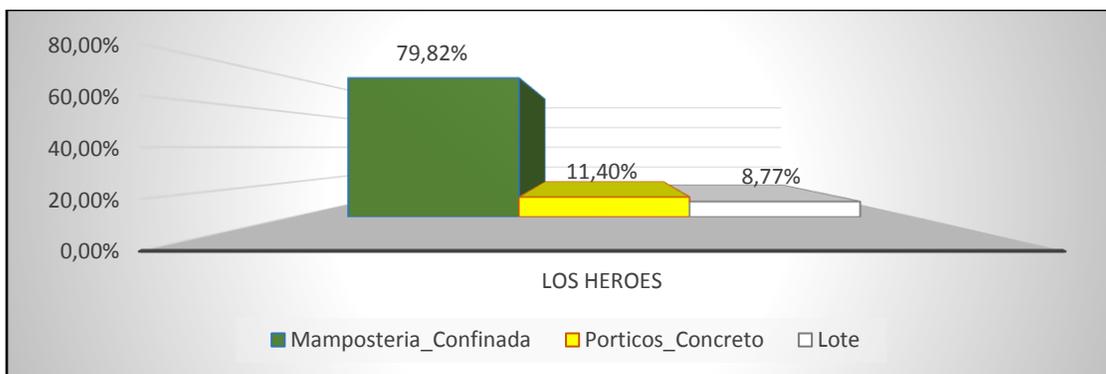
simetría. Los pórticos y la mampostería reforzada corresponden a los pocos edificios de 4 pisos.

Fotografía 12 Mampostería No Reforzada Barrio Los Héroes



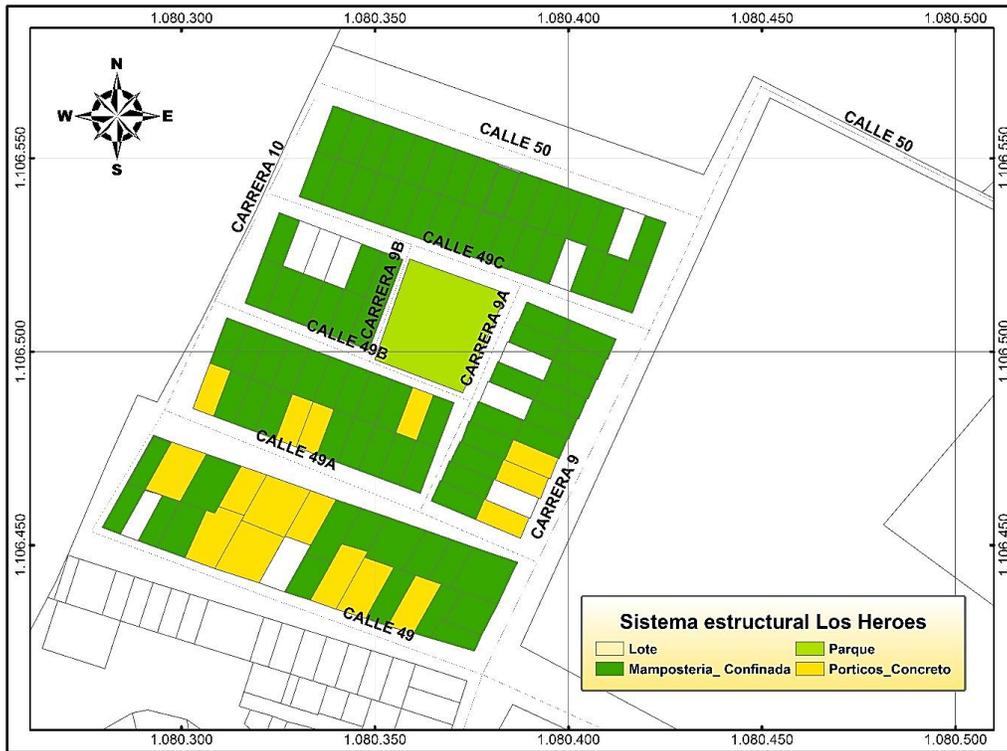
Fuente: El Autor

Grafica 11 Sistema Estructural Los Héroes



Fuente: El Autor

Mapa 26 Sistema Estructural



Fuente: El autor

Fotografía 13 Columna Corta, discontinuidad de elementos estructurales

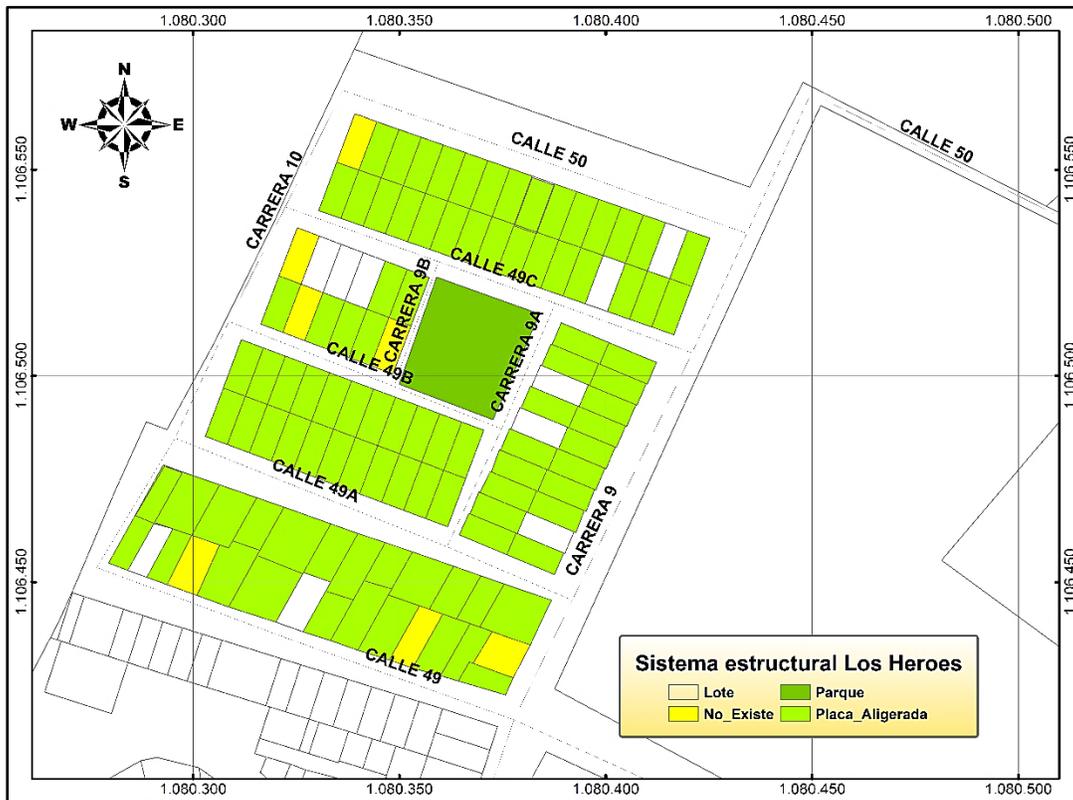


Fuente: El Autor

### 7.2.7 Tipo de placa

El 100% de las viviendas de este barrio están construidos con placas aligeradas

Mapa 27 Tipo de Placa



Fuente: El Autor

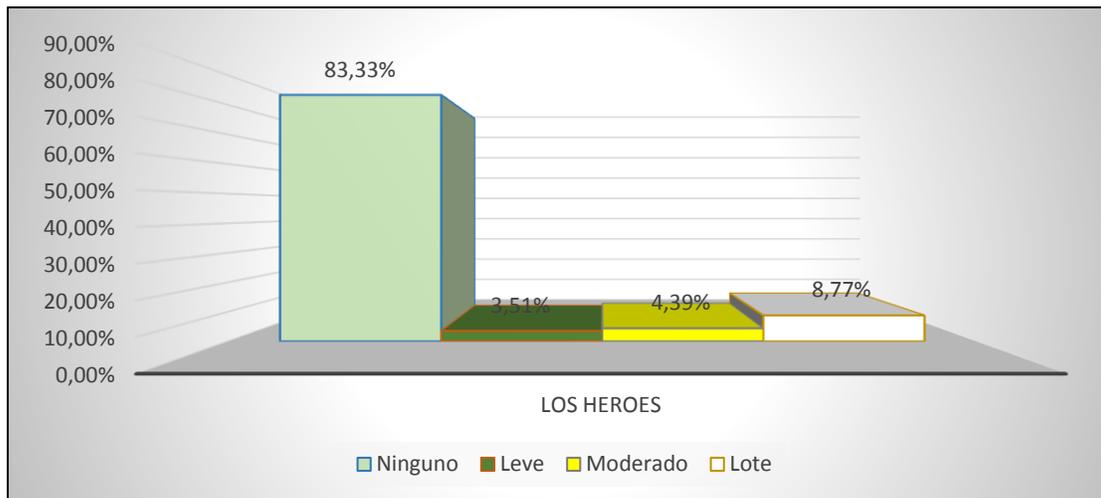
### 7.2.8 Daños en la estructura

El 83% de las viviendas no poseen daños a simple vista, el 3% presenta daños leves y el 4% tiene daños moderados.

Fotografía 14 Sistema Estructural

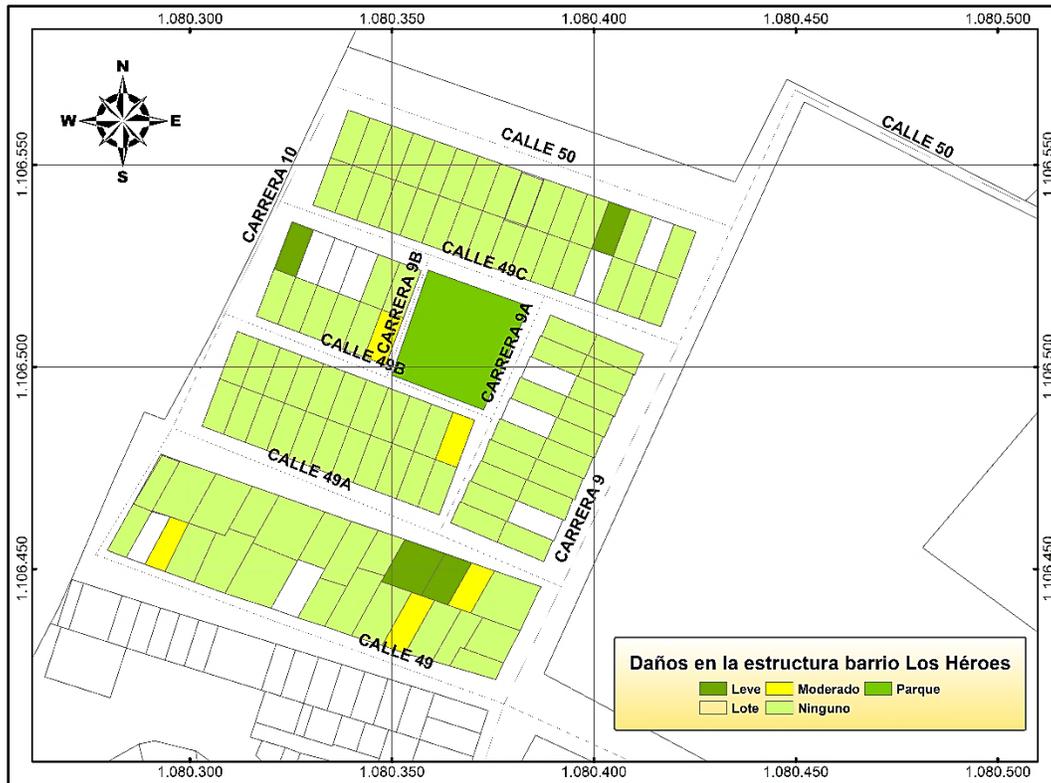


Grafica 12 Daños En La Estructura Barrio Los Héroes



Fuente: El autor

Mapa 28 Daños En La Estructura Barrio Los Héroes



Fuente: El autor

### 7.2.9 Calidad de diseño y estado de la edificación

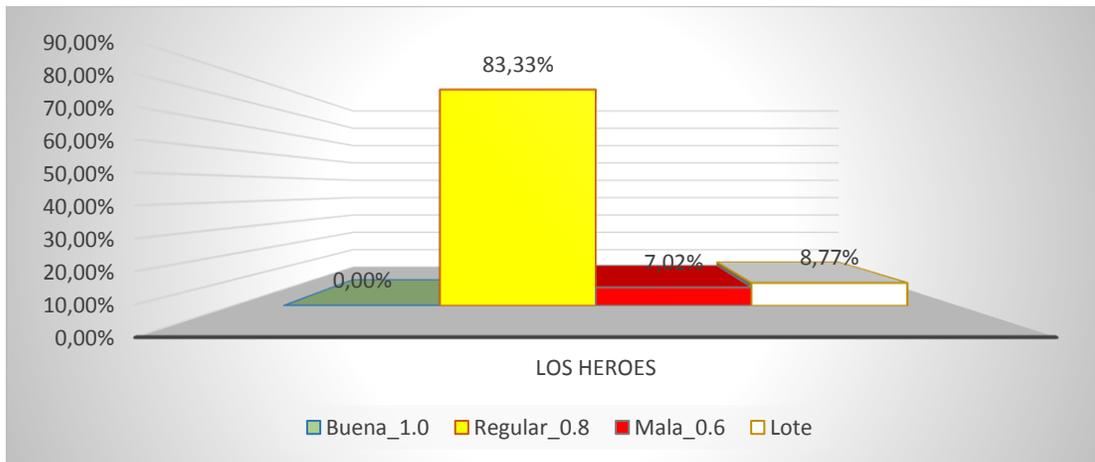
Este barrio se calificó en su mayoría como regular debido al año de construcción de estas viviendas y a que no cumple en su totalidad con la norma que estaba vigente en ese momento, además, se necesita una visita estructural en la que se verifique la conexión entre muros, el correcto amarre de las cubiertas y elementos no estructurales, además se encontraron detalles como ladrillos defectuosos, irregulares, de color no uniforme y de distintas dimensiones.

Fotografía 15 Sistema Estructural Barrio Los Héroes



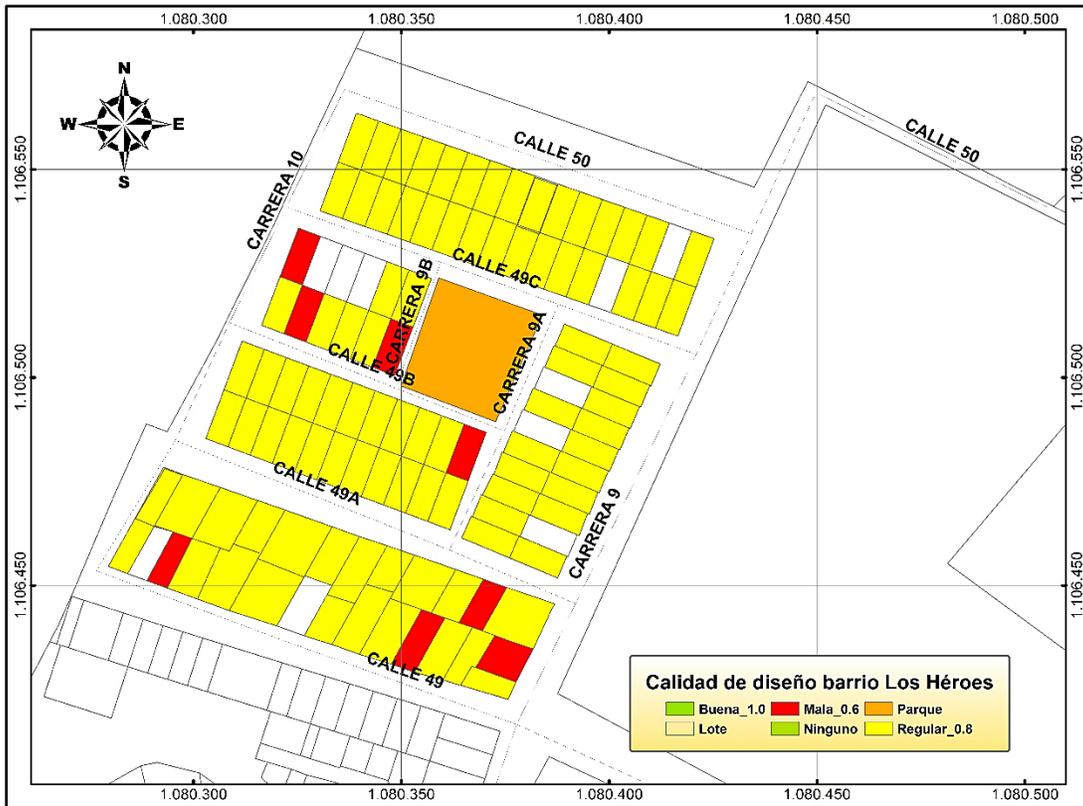
Fuente: El Autor

Grafica 13 Calidad de Diseño Los Héroes



Fuente: El Autor

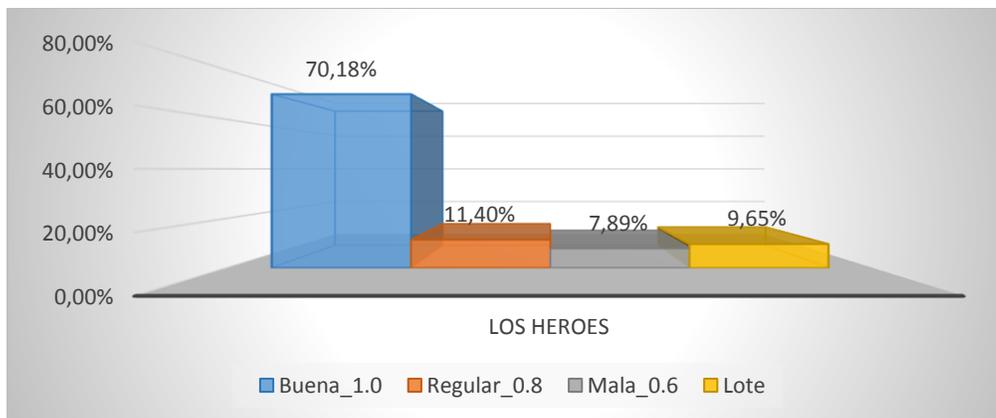
Mapa 29 Calidad de Diseño Barrio Los Héroes



Fuente: El Autor

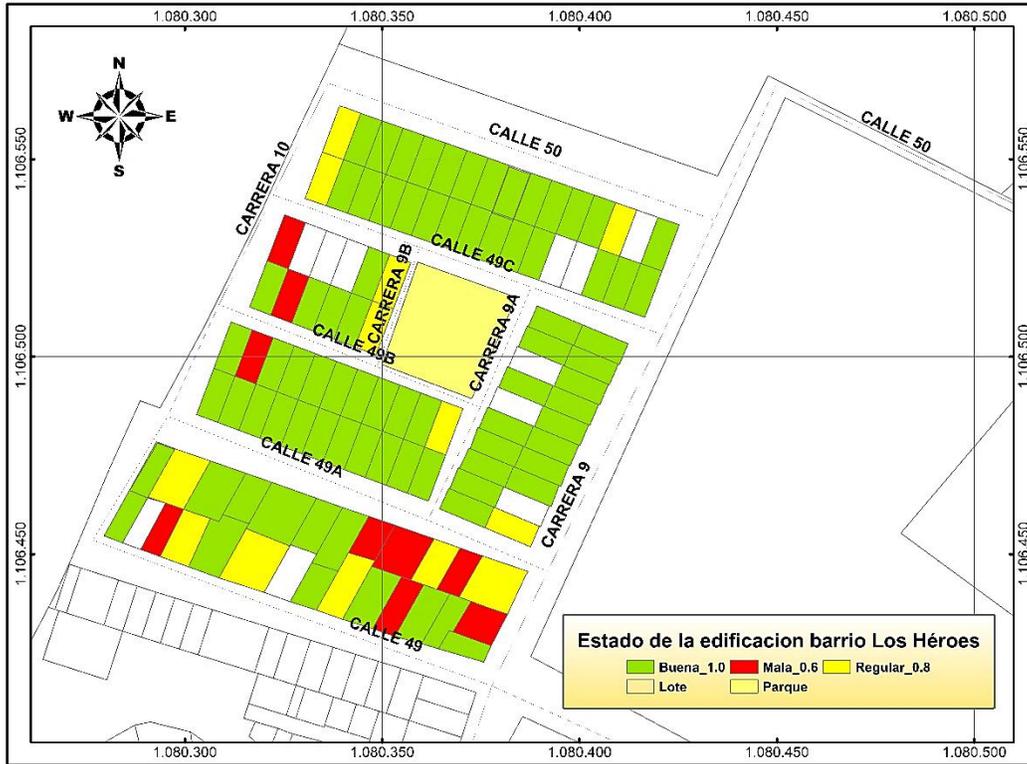
A pesar de que su calidad de diseño es regular, el estado general de las viviendas es bueno, no se ven daños en las fachadas, los habitantes manifestaron no tener problemas de hundimientos en el suelo, humedad, o fisuras en sus casas.

Grafica 14 Estado de la Edificación Los Héroes



Fuente: El Autor

Mapa 30 Estado de La edificación Barrio Los Héroes

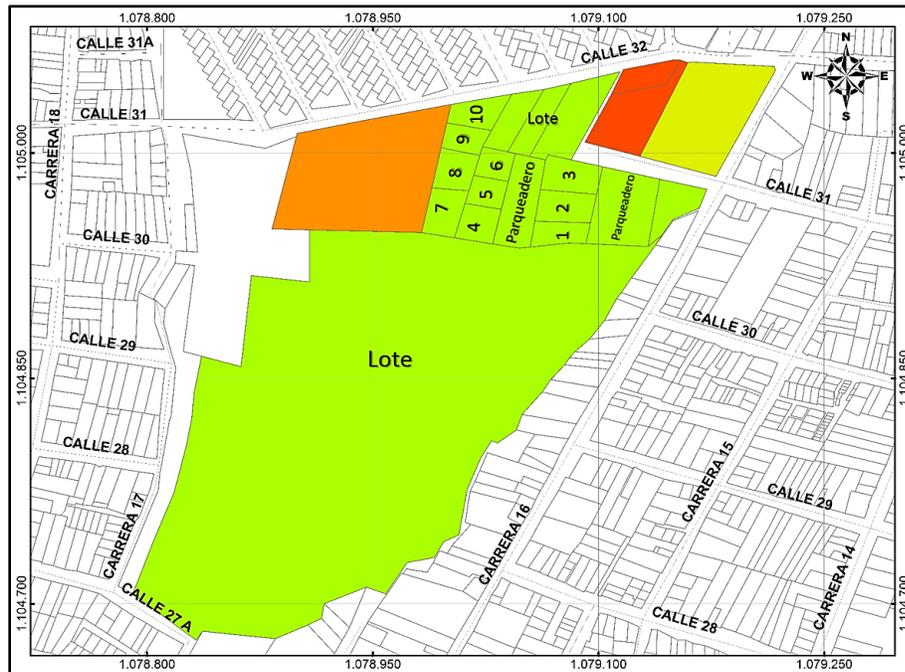


Fuente: El Autor

### 7.3 Urbanización La Esperanza

La etapa 2 tiene 10 torres cada una con 20 apartamentos para un total de 200 y una población aproximada de 1000 habitantes, estrato 3.

Mapa 31 Torres de la urbanización La Esperanza



Fuente: El autor

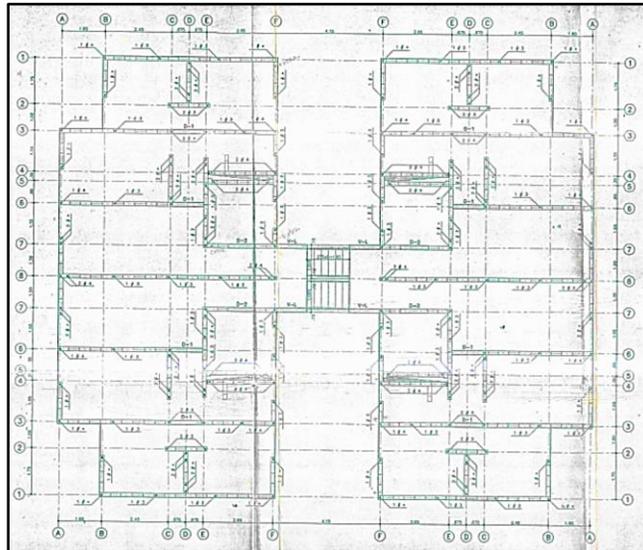
#### 7.3.1 Tipo de uso y año de construcción

Las primeras viviendas multifamiliares son ofrecidas por parte del sector público en los años 1974 a 1989, pero es en 1990 donde comienzan a coger más fuerza gracias a la liberación de la tierra y a la posibilidad de comprar por lotes. El sector privado se ve interesado en construir más viviendas de este tipo, la urbanización la esperanza son apartamentos multifamiliares que se construyeron en 1997 por una empresa privada Bogotana llamada AVILA. INGENIERIA LTDA. Esta urbanización al contrario de los barrios anteriores presentó planos estructurales firmados por la curaduría y está construido en mampostería reforzada, la segunda etapa que fue el objeto de estudio cuenta con 10 torres de apartamentos, zona verde, parqueaderos y una población cercana a los.

### 7.3.2 Sistema estructural

Como se dijo en el párrafo anterior, son edificios en mampostería reforzada que poseen refuerzos superior e inferior, malla electrosoldada y buena calidad de materiales dadas sus condiciones de conservación actual.

*Mapa 32 Refuerzo de Muros, Piso tipo La Esperanza*



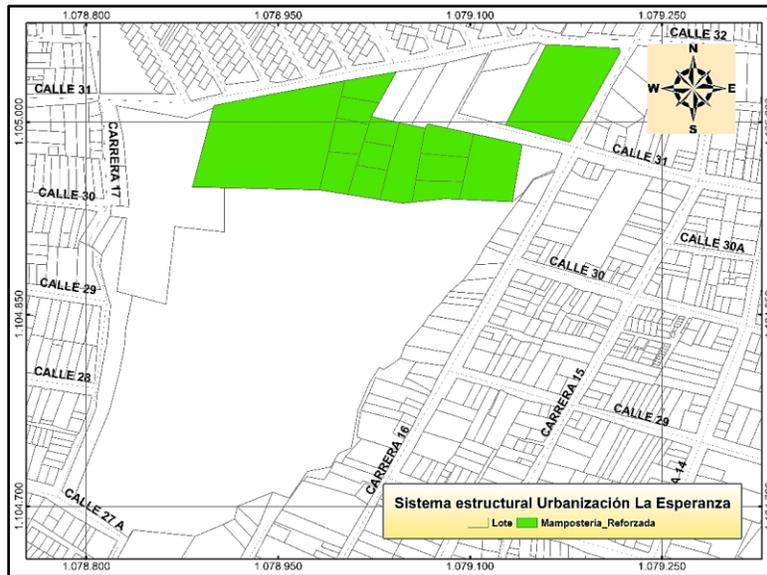
Fuente: Administración Urbanización La Esperanza

*Mapa 33 Mampostería Reforzada La Esperanza*



Fuente: El Autor

Mapa 34 Sistema Estructural La Esperanza

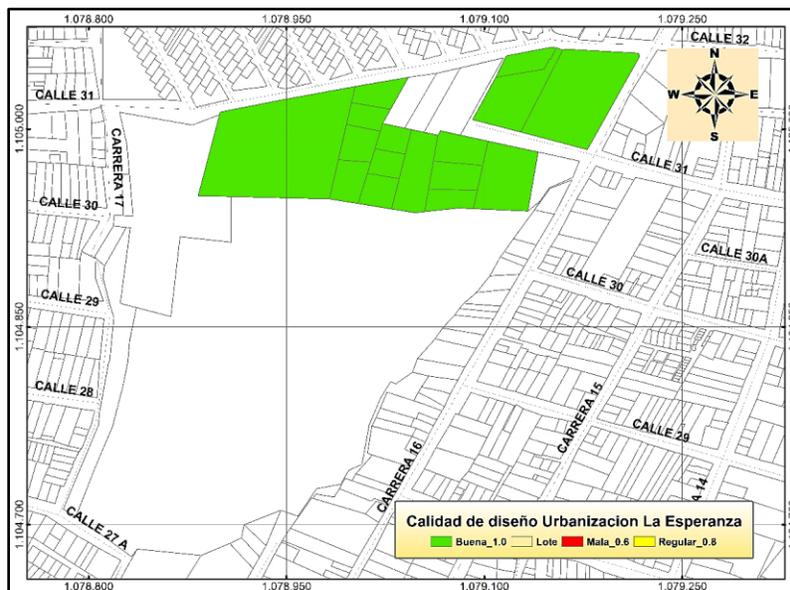


Fuente: El Autor

### 7.3.3 Calidad de diseño y estado de la Edificación

La calidad de diseño de esta urbanización está en su 100% como buena dado su cumplimiento con la norma vigente de esa época.

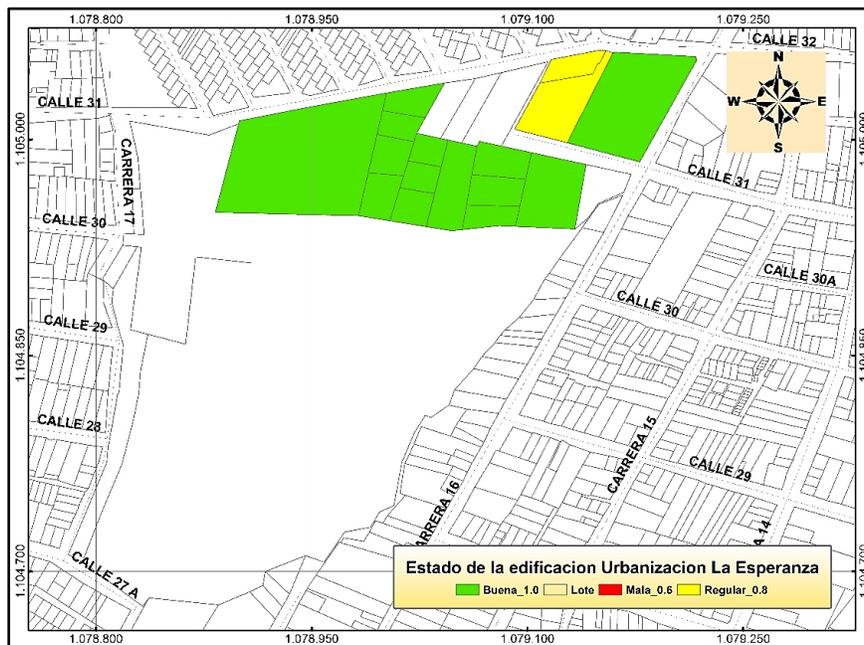
Mapa 35 Calidad de Diseño La Esperanza



Fuente: El Autor

El estado actual de los edificios es bueno, no se evidencian grietas en las unidades de mampostería, tampoco hundimientos de suelo o alguna patología relacionada. Pocas de las personas encuestadas manifestaron tener problemas de humedad, problema que puede ser generado por la antigüedad de las tuberías, sin embargo, la administración planea hacer el mantenimiento respectivo que dé solución a este inconveniente.

Mapa 36 Estado de La Edificación



Fuente: El Autor

## 8. INDICE DE VULNERABILIDAD

A continuación, con un ejemplo se muestra cómo se evaluó el índice de vulnerabilidad para las viviendas de mampostería no reforzada y adobe, con el fin de mostrar el procedimiento que sería igual para el resto de viviendas con el mismo sistema constructivo y para el caso de pórticos se modifica el método.

*Fotografía 16 Vivienda tipo Barrio Los Héroes*



Fuente: El Autor

### 1. Organización del sistema resistente:

En este parámetro se le dio una calificación de “C” debido a que, poseen vigas o algún tipo de confinamiento sin columnas, discontinuidades o no poseen ningún tipo de confinamiento, falta de asesoría técnica, además como se evalúa de acuerdo a la norma sismo resistente, este sistema constructivo está regulado para zonas de amenaza sísmica intermedia.

### 2. Calidad del sistema resistente:

La mayoría de las viviendas no tienen muros con grandes fisuras y se encuentran en buen estado, sin embargo, se evidencian unidades de mampostería

deterioradas, con problemas de simetría y homogeneidad que afectan la vulnerabilidad de las edificaciones y el sistema constructivo no es el adecuado. Por esto se calificó con “C”.

*Fotografía 17 Distintas Unidades de Mampostería*



Fuente: El Autor

### **3. Resistencia convencional**

Este parámetro es de carácter cuantitativo, para su cálculo se requiere de datos tomados en campo y planos de la vivienda debido a que hay que tener en cuenta la resistencia de los muros principales en “X” y “Y”.

Tabla 7

Datos Parámetro #3		
Tk	18	Resistencia al corte de la mampostería (ton/m <sup>2</sup> )
Ps	0,3	Peso por unidad de área del diafragma horizontal (ton/m <sup>3</sup> )
Pm	1,8	Peso Específico de la Mampostería (ton/m <sup>2</sup> )
C'	0,2	Coefficiente Sísmico Tunja
h	2,2	Altura Promedio de los pisos (m)
Ax	4.41	Área de los muros en X (m <sup>2</sup> )
Ay	8.13	Área de los muros en Y (m <sup>2</sup> )
At	121.41	Área Total Cubierta (m <sup>2</sup> )
N	2	Número de Pisos

Fuente: El Autor

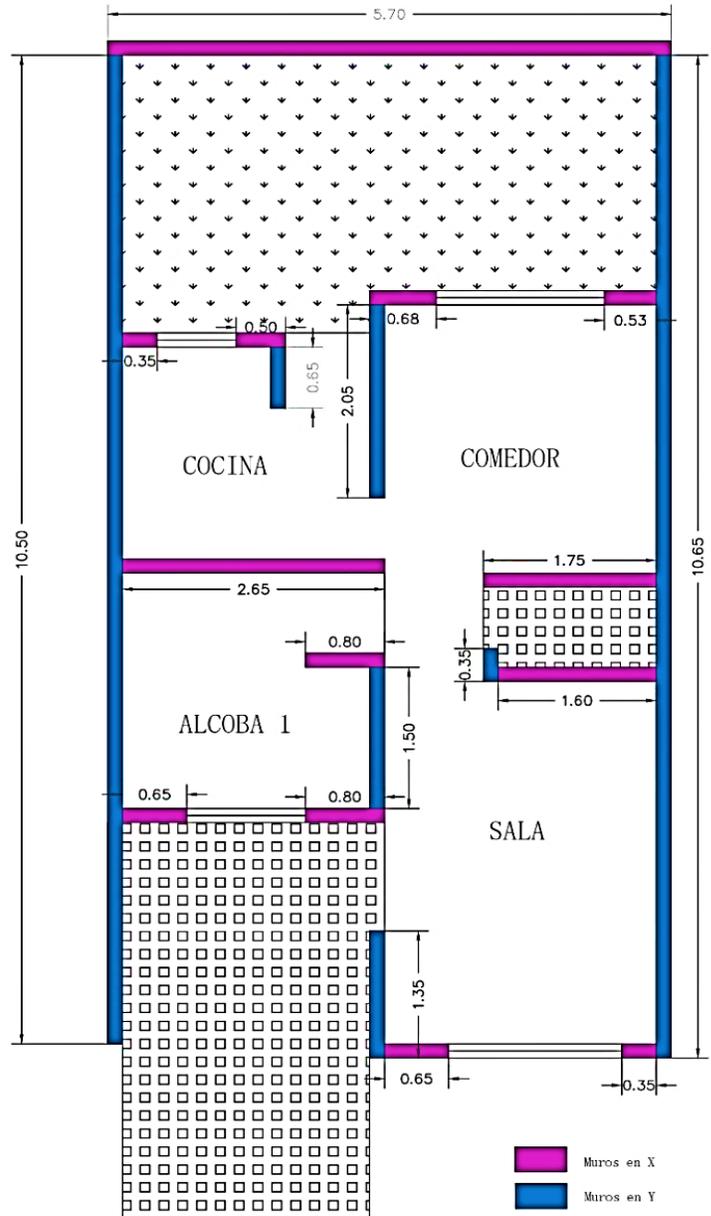
- Determinar Ax y Ay que son las áreas totales resistentes de muros (m<sup>2</sup>), para esto se utilizaron los planos suministrados por el archivo municipal.

Tabla 8 Muros en X primer piso

Muros en "X" Primer Piso				
Muro	Cantidad de Muros	L(m)	h (m)	L*h*N (m2)
1	2	0.65	2.20	2.86
2	1	0.35	2.20	0.77
3	3	0.80	2.20	5.28
4	1	2.65	2.20	5.83
5	1	1.75	2.20	3.85
6	1	5.70	2.20	12.54
7	1	0.35	2.20	0.77
8	1	0.50	2.20	1.1
9	1	0.68	2.20	1.49
10	1	0.53	2.20	1.66
				36.15

Tabla 9 Muros en Y primer piso

Muros en "Y" Primer Piso				
Muro	Cantidad de Muros	L(m)	h (m)	L*h*N (m2)
1	1	1.35	2.20	2.97
2	1	1.50	2.20	3.3
3	1	0.35	2.20	0.77
4	1	2.05	2.20	4.51
5	1	0.65	2.20	1.43
6	1	10.5	2.20	23.1
7	1	10.6	2.20	23.32
				59.4



Planta Primer Piso

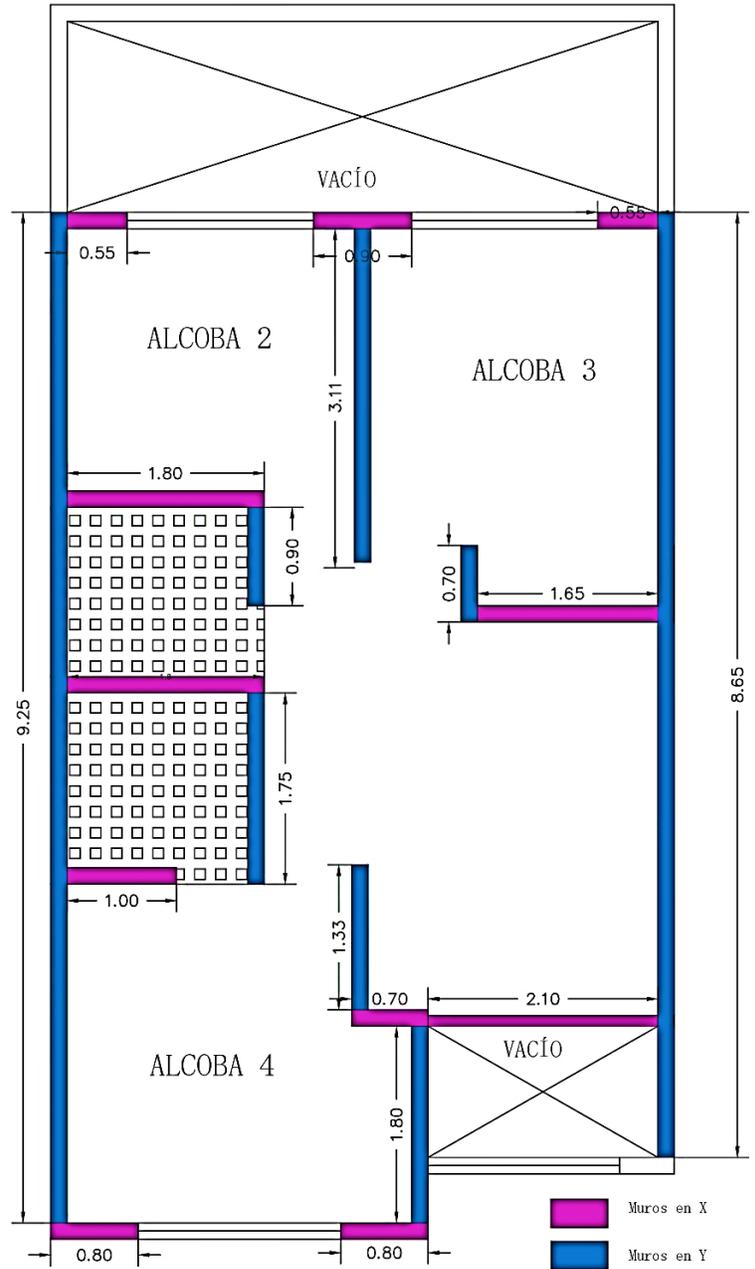
Fuente: Elaboración propia con la información del Archivo Municipal

Tabla 10 Área de Muros en X

Muros en "X" Segundo Piso				
Muro	Cantidad de Muros	L(m)	h (m)	L*h*N (m2)
1	2	0.80	2.20	3.52
2	1	0.70	2.20	1.54
3	1	2.10	2.20	4.62
4	1	1	2.20	2.2
5	2	1.80	2.20	7.92
6	1	1.65	2.20	3.63
7	2	0.55	2.20	2.42
8	1	0.90	2.20	1.98
				27.83

Tabla 11 Muros en Y

Muros en "Y" Segundo Piso				
Muro	Cantidad de Muros	L(m)	h (m)	L*h*N (m2)
1	1	9.25	2.20	20.35
2	1	3.11	2.20	6.84
3	1	0.90	2.20	1.98
4	1	0.70	2.20	1.54
5	1	1.75	2.20	3.85
6	1	1.33	2.20	2.92
7	1	8.65	2.20	19.03
8	1	1.80	2.20	3.96
				60,47



Planta Segundo Piso

Fuente: Elaboración propia con la información del Archivo Municipal

$$At \text{ en } X = 36,15 + 27,83 = 63,98 \text{ m}^2$$

$$At \text{ en } Y = 59,4 + 60,47 = 119,87 \text{ m}^2$$

Coeficiente Sísmico:

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

Dónde:

- Ecuación 1 Área resistente en X

$$A = \min\{A_x, A_y\} = 63,98 \text{ m}^2$$

- Ecuación 2 Área Resistente en Y

$$B = \max\{A_x, A_y\} = 119,87 \text{ m}^2$$

- Ecuación 3 valor mínimo del área resistente partido área total de cubierta

$$a_0 = \frac{A}{A_t} = \frac{63,98}{121,41} = 0,53$$

- Ecuación 4 División entre área resistencia máxima y área mínima

$$\gamma = \frac{B}{A} = \frac{119,87}{63,98} = 1,87$$

- Ecuación 5 Peso promedio de un piso por unidad de superficie cubierta

$$q = \frac{(A + B) * h}{A_t} P_m + P_s = \frac{(63,98 + 119,87) * 2.2}{121,41} * 1,8 + 0,3 = 6,29$$

- Ecuación 6 Coeficiente sísmico partido parámetro de sismicidad de zona

$$\alpha = \frac{C}{\underline{C}} = \frac{0,98 * 18}{6,29 * 2} * \sqrt{1 + \frac{6,29 * 2}{1,5 * 0,98 * 18 * (1 + 0,53)}} = 8,02$$

Coefficiente sísmico de referencia que se toma como 0.2 para la ciudad de Tunja. Dato obtenido en la norma NSR-10.

Resultado con  $\alpha \geq 1$ . Por ende, se le da una calificación de “A”.

#### 4. Influencia del terreno y la cimentación

Este parámetro es de carácter cualitativo y es difícil de estimar dado que no se puede tener una medida correcta de las cotas, sin embargo, se calificó con clase “C” ya las viviendas están cimentadas, con pendiente entre un 10% y un 30%, esta sobre terreno húmedo y flexible.

#### 5. Diafragma horizontal

Se califica como clase “C” por qué, las viviendas tienen vigas en solo una dirección y no tienen vigas de amarre.

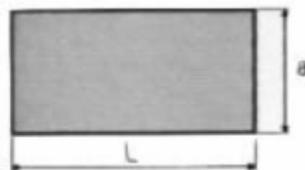
#### 6. Configuración en planta

La forma en que se va a comportar la construcción a la hora de un sismo tiene relación directa con la configuración en planta, para este parámetro se usa la relación:

$$B_1 = \frac{a}{L}$$

Teniendo en cuenta que la mayoría de edificaciones poseen una forma regular en planta.

*Ilustración 22 Configuración en planta típica*



Fuente: web-geofisica.ineter.gob.ni

Para el ejemplo anterior:

$$B_1 = \frac{5,70}{10,65} = 0,53$$

Por lo cual edificio con  $0,6 > B_1 \geq 0,4$ , lo que le otorga una calificación de "C".

### **7. Configuración en elevación**

Los cambios excesivos en la elevación de las edificaciones pueden generar pisos blandos, generado por la variación de las rigideces. Sin embargo, las viviendas analizadas no varían mucho en altura, pero algunos elementos resistentes no son continuos a lo largo de la edificación como se ve en la fotografía 11, generalmente se ven reducciones de área construida en los segundos y terceros pisos.

Para el ejemplo la vivienda no excede el 10% en su variación de altura por esto se clasifica como clase "A".

### **8. Distancia máxima entre muros**

Se tiene la relación L/S, donde L es la distancia de mayor separación y S es el espesor de los muros.

Para el ejemplo se encontró que la separación máxima está en el primer piso con:

$$\frac{L}{S} = \frac{5,4}{0,15} = 36$$

Como L/S es mayor a 25 se le califica como "D".

### **9. Tipo de cubierta**

Este parámetro es cualitativo, se le otorga clase "C" esto debido a que las edificaciones poseen cubiertas inestables, que no están bien amarradas a los muros, pero tienen viga cumbrera.

### **10. Elementos no estructurales**

Las viviendas en mampostería no reforzada se calificaron con la clase "C" por qué tienen elementos que pueden desprenderse de las edificaciones por la acción

sísmica, como los tanques de agua pobremente integrados en la estructura, parapetos y en ocasiones balcones que no están correctamente vinculados al sistema estructural.

### 11. Estado de conservación

Se otorga la clase “B” ya que las viviendas se encuentran en buen estado con fisuras muy leves y deterioro a causa de la antigüedad de las viviendas.

Tabla 12 Índice de Vulnerabilidad para vivienda tipo del Barrio Los Héroes

PARAMETROS	Clase Ki				Peso Wii	Total
	A	B	C	D		
Organización del sistema resistente	0	5	20	45	1	20
Calidad del sistema resistente	0	5	25	45	0,25	6,25
Resistencia Convencional	0	5	25	45	1,5	0
Posición del edificio y cimentación	0	5	25	45	0,75	18,75
Diafragma Horizontales	0	5	15	45	1	15
Configuración en Planta	0	5	25	45	0,5	12,5
Configuración en elevación	0	5	25	45	1	0
Distancia máxima entre los muros	0	5	25	45	0,25	11,25
Tipo de cubierta	0	15	25	45	1	25
Elementos no estructurales	0	0	25	45	0,25	6,25
Estado de Conservación	0	5	25	45	1	5
						125

Fuente: El Autor

Para conocer el resultado de manera sencilla, se maneja el índice en un rango de 0 a 382,5 donde:

Tabla 13 Cuantificación del Índice de Vulnerabilidad

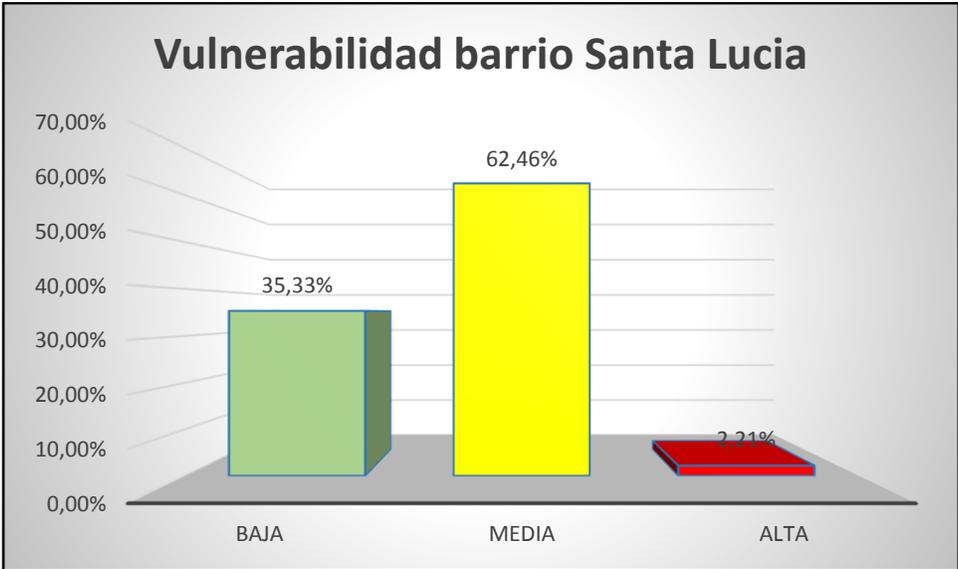
Vulnerabilidad	Mínimo	Máximo
Baja	0	127,50
Media	127,50	255,00
Alta	255,00	382,50

Fuente: (SIEC-SIPAV, 2019)

Lo que significa que la vivienda del ejemplo está en vulnerabilidad BAJA, debido a la falta de planos en el barrio Santa Lucia, para evaluar los parámetros cuantitativos se hizo una estimación teniendo en cuenta los valores obtenidos de las viviendas similares al barrio los héroes y los edificios similares a los de la urbanización La Esperanza.

Luego de evaluar cada barrio se obtuvo que, el 63% de las viviendas del barrio Santa Lucia tienen un índice medio, lo que las haría susceptibles o no a colapso.

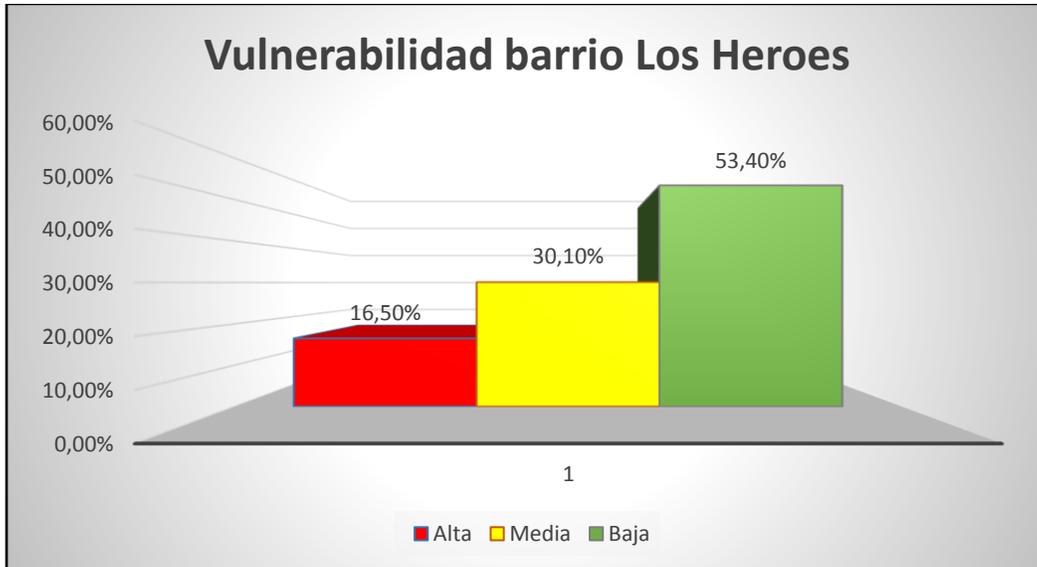
Grafica 15



Fuente: El Autor

El 53% de las viviendas del Barrio los Héroes se encuentran con índice de vulnerabilidad bajo.

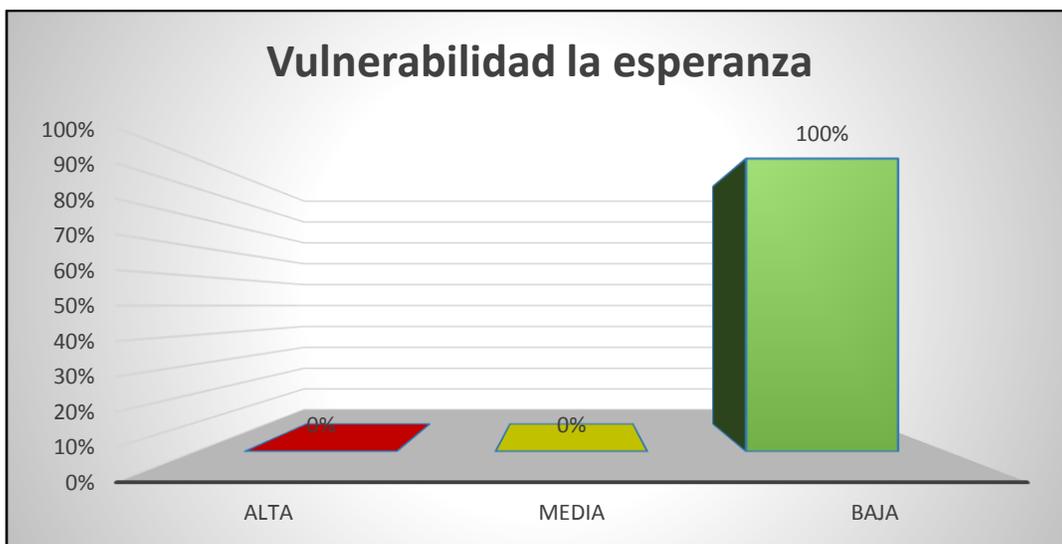
Grafica 16



Fuente: El Autor

El 100% de la Urbanización La Esperanza se encuentra con índice de vulnerabilidad bajo.

Grafica 17



Fuente: El Autor

## 9. CONCLUSIONES

1. Se puede inferir que la recolección completa de los datos, las visitas presenciales a las zonas de estudio y las investigaciones que se realizaron previamente por parte de otros autores, son la base para generar una investigación fiable y completa acerca de la tipología estructural y el estado actual de las mismas, este trabajo arrojó como tipología estructural predominante la mampostería no reforzada en el barrio Santa Lucia; el porcentaje de esta tipología corresponde a un 62%, la cual está prohibida hoy en día, tal y como se había hablado en capítulos anteriores, en zona de amenaza sísmica intermedia, la mampostería confinada como la encontrada en el barrio los Héroes corresponde a un 80% y la mampostería reforzada en La Esperanza con un 100% en las torres construidas. No se puede dejar de lado que obtener absolutamente todos los datos necesarios resulta difícil, debido a que algunos dependen de la disponibilidad de tiempo población y sus respuestas en las entrevistas, se presenta a menudo desconocimiento de las características estructurales y/o no hay la suficiente colaboración por parte de los entrevistados.
2. De acuerdo al numeral A.10.4.3.4 de la NSR-10 los valores del  $\theta_c$  (coeficiente preliminar de reducción de resistencia por la calidad del diseño) y  $\theta_e$  (coeficiente preliminar de reducción de resistencia por el estado de la estructura) muestran que, según las calificaciones dadas corresponden a su mayoría a regular con un valor de 0.8 para los barrios Santa Lucia y los Héroes, mientras que la urbanización la esperanza obtuvo una calificación buena con un valor de 1, basados en la calificación de la calidad y estado de la estructura definidas en A.10.2.2.1 y A.10.2.2.2.
3. En caso de ocurrir un sismo, podría suponerse que algunas de las edificaciones de estos barrios podrían colapsar debido a la falta de confinamiento y otras mantenerse en pie con daños moderados o leves causados por las falencias de los sistemas constructivos, es posible que se genere una reacomodación del suelo en el barrio Santa Lucia debido a que es una cárcava, adicional a esto cabe la posibilidad de que se presente el

fenómeno de licuefacción, información que debe verificarse un estudio de suelos detallado, el cual arrojará en mayor detalle las fallencias de los sistemas constructivos.

4. Debido a que el barrio Santa Lucía está construido sobre una cárcava, éste no posee en su mayoría licencias de construcción porque el POT tiene prohibida la construcción en zonas con estas características, por lo tanto, la responsabilidad recae directamente en el propietario del predio.
5. Debido al desconocimiento y falta de información del año de construcción de las viviendas en adobe, no es sencillo determinar su calificación, sin embargo, el método del índice de vulnerabilidad presentó una forma práctica de aplicar dicha calificación; de las 63 viviendas en adobe encontradas en el barrio Santa Lucía, 47 se encuentran en vulnerabilidad media y 16 en vulnerabilidad baja, ya que a pesar de su antigüedad no poseen cambios de elevaciones fuertes, configuraciones en planta irregulares o falta de mantenimiento. Gracias a la geometría sencilla que poseen, no se enfrentan a vulnerabilidades altas, pero no hay que dejar de lado que características, como el tipo de material con el que fueron construidas y factores como la falta de asesoramiento técnico, hacen que posiblemente no puedan resistir grandes deformaciones ya que el adobe es frágil ante movimientos horizontales.
6. Los nuevos constructores optan por remover las construcciones antiguas hechas en adobe, dado que el reforzamiento de estas estructuras es limitado, y no se adapta a las necesidades actuales que buscan ampliar la capacidad de ocupación pasando de viviendas unifamiliares a multifamiliares, sin embargo, el tipo de suelo y las características generales de las edificaciones antiguas crean asimetrías lo que generaría un posible colapso de los edificios nuevos sobre los antiguos.
7. A pesar de que el barrio los Héroes cuenta con planos de cimentación y casa modelo, la concepción original de este sector se ha perdido debido a ampliaciones sin permiso y remodelaciones que no cumplen con la norma, cambiando la homogeneidad y simetría de las viviendas, lo que aumenta la vulnerabilidad sísmica.

8. Actualmente la mampostería no reforzada debe utilizarse solo en zonas con capacidad mínima de disipación de energía (DMI) dado que son susceptibles a múltiples daños y tienden a colapsar fácilmente.
9. Dentro de los errores constructivos más comunes se encontró: falta de diafragma, muros que no están correctamente integrados a las estructuras, cubiertas antiguas y pesadas en barro y cubiertas en asbesto-cemento, material prohibido actualmente en Colombia, debido a que produce afectaciones graves a la salud y en algunas ocasiones la muerte. Otros errores constructivos importantes hacen referencia al fenómeno de columna corta, discontinuidad de elementos estructurales, falta de confinamiento de elementos no estructurales de cubierta como: culatas, parapetos y antepechos, uso de distintas unidades de mampostería en la misma edificación; para construcciones en adobe dadas sus características tenemos la poca capacidad de flexión lo que no garantiza la distribución de la energía liberada por un sismo.
10. De las 47 construcciones que tienen como sistema constructivo los pórticos en concreto 25 están en vulnerabilidad baja, 6 en vulnerabilidad media, y 16 en vulnerabilidad alta, estas últimas fueron calificadas de esta manera ya que hay cambios en elevaciones, discontinuidad en elementos estructurales, columna corta, tubos atravesados por los muros, y en pocos casos materiales no homogéneos.
11. El método de Benedetti-Petrini resulta práctico a la hora de utilizarlo, ya que brinda la posibilidad de generar una investigación fiable cuando se tiene la información básica para evaluar las edificaciones, los resultados del índice de vulnerabilidad indican que las estructuras están entre medio-alto, siendo la calidad de los materiales, el cumplimiento de la norma, la distancia excesiva entre muros y la mala configuración estructural las causas principales de esta calificación.
12. La urbanización la esperanza está construida de manera adecuada, cuenta con licencia, planos estructurales, de cimentación y arquitectónicos. Actualmente no se evidencia desgaste ni deterioro en las edificaciones lo que

corresponde a un mantenimiento adecuado de las estructuras, sin embargo, los apartamentos de los primeros pisos manifiestan que hay rastros de humedad y sensación de frío, a lo que la administración luego de contratar un estudio sobre esto, determino que son consecuencias del suelo sobre el que están las edificaciones.

## 10. RECOMENDACIONES

1. Las viviendas en adobe tienen poca resistencia a la flexión, no cuentan con diafragmas horizontales y/o elementos de confinamiento, si el propietario desea conservar su vivienda en buen estado y disminuir el riesgo de colapso total de la edificación, se podría considerar refuerzos que incluyen: soleras en madera correctamente trabadas para amarrar los muros entre sí y la cubierta al resto de la estructura, si posee algún tipo de fisuramiento se puede rellenar con el mismo material de adobe o con concreto, dependiendo del presupuesto se podría hacer un confinamiento de muros con mallas traslapadas electrosoldadas para aumentar rigidez y generar una contención de los muros. (Yamín Lacouture, L. E., Phillips Bernal, C., Reyes Ortiz, J. C., & Ruiz Valencia, D., 2007)
2. Para las construcciones de mampostería se podría reforzar con listones de madera, mallas electrosoldadas y rellenos con concreto, revestimientos en concreto, esto con el fin de mejorar el desempeño de la estructura, incrementar la rigidez, usar las nuevas tecnologías constructivas y utilizar la asesoría de un profesional. Hay que tener en cuenta que los reforzamientos pueden generar altos costos, molestas intervenciones y pueden tomar mucho tiempo especialmente si se habla de un reforzamiento en concreto que incluya la cimentación.
3. Para las construcciones en pórticos en concreto, se debe continuar aplicando la norma sismo resistente NSR-10 y que los encargados de la revisión de planos estén calificados para detectar posibles fallas estructurales, además se recomienda visitas regulares a las obras con el fin de verificar la ejecución correcta de las obras.
4. Estos resultados son estimativos e indican un posible resultado o concepto en caso de presentarse un evento sísmico, esta información puede servir de base para estudios de microzonificación sísmica que involucren entidades gubernamentales, algunos valores pueden cambiar dependiendo de la experiencia y la percepción del investigador, por esto se recomienda que las autoridades encargadas de manejar este tipo de información emitan un

concepto aún más aproximado generando modelos estructurales en softwares especializados con más detalle que completen esta investigación.

## 11. GLOSARIO

1. Adobe: El adobe es un tipo de ladrillo o pieza constructiva, de fabricación artesanal que está compuesto principalmente por arcilla y arena. Puede contener limo y se le suele añadir un material fibroso, como paja u otras fibras naturales. En algunos lugares se le añade excremento seco de vaca. (Patologías Construcción, 2020)
2. Aglomerante: Material que al hidratarse tiene la propiedad de unir materiales entre sí, sin aporte de calor y mediante un proceso de fraguado. En construcción se emplea para formar pastas llamadas morteros u hormigones, entre las más habituales se encuentran el yeso, la cal y el cemento. (Diccionario de la construcción, s.f.)
3. Amenaza sísmica: Probabilidad de ocurrencia de un sismo, en un determinado sitio, durante un período de tiempo. (Sismicidad Histórica Colombia, s.f.)
4. Arcilla: Tipo de suelo con las partículas de tamaño inferior a 0,002 mm y en las que se las puede determinar un límite plástico y un límite líquido. (Consistencia del suelo, s.f.)
5. Capacidad de disipación de energía: Es la capacidad que tiene un sistema estructural, un elemento estructural o una sección de un elemento estructural, de trabajar dentro del rango inelástico de respuesta sin perder su resistencia. NSR-10
6. Cárcava: Zanja grande que suelen conducir grandes cantidades de agua. (Real academia española, 2020)
7. Carga Muerta: Es la carga vertical debida al peso de todos los elementos permanentes ya sean estructurales o no estructurales. NSR-10
8. Carga Viva: Es la carga debida al uso de la estructura, sin incluir la carga muerta, carga de viento o sismo. NSR-10
9. Colapso: Destrucción completa de una estructura. NSR-10
10. Construcción sísmo resistente: Es el tipo de construcción que cumple con el objeto de esta Ley, a través de un diseño y una construcción que se ajusta a los parámetros establecidos en ella y sus reglamentos. NSR-10

11. Diafragma: Elemento estructural, tal como una losa, que transmite las fuerzas inerciales laterales a los elementos verticales del sistema de resistencia sísmica. NSR-10
12. Ductilidad: Propiedad que define la posibilidad de la estructura o algunos de sus componentes estructurales de experimentar deformaciones más allá del límite elástico sin reducir de manera significativa su resistencia o rigidez. NSR-10
13. Elementos no estructurales: Partes y componentes de una edificación que no pertenecen a la estructura o a su cimentación. NSR-10
14. Fallas geológicas: Una falla geológica es una fractura en la corteza terrestre a lo largo de la cual se mueven los bloques rocosos que son separados por ella. (RSN, 2020)
15. Flexión: Tipo de deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal. NSR-10
16. Fuerzas sísmicas: Son los efectos inerciales causados por la aceleración del sismo, expresados como fuerzas para ser utilizadas en el análisis y diseño de la estructura. NSR-10
17. Geología: La Geología es la ciencia que estudia la composición, estructura, dinámica e historia de la Tierra, incluyendo los recursos naturales, así como los procesos que repercuten en su superficie y, por tanto, en el medio ambiente. (Geologia Eus, s.f.)
18. Investigación Cualitativa: Es un método de estudio que se propone evaluar, ponderar e interpretar información obtenida a través de recursos como entrevistas, conversaciones, registros, memorias, entre otros, con el propósito de indagar en su significado profundo. (Significados, 2020)
19. Investigación Cuantitativa: La investigación cuantitativa implica el uso de herramientas informáticas, estadísticas, y matemáticas para obtener resultados. (Significados, 2020)
20. Irregularidad en Altura: Discontinuidades o falta de simetría en toda la elevación del edificio. NSR-10

21. Irregularidad en planta: Se refieren a formas asimétricas en planta (como F, L, T, U) o discontinuidades en elementos de resistencia horizontal (como cortes, aberturas, esquinas entrantes, u otros cambios abruptos). NSR-10
22. Juntas de Separación: Distancian exigida entre edificaciones con el fin de evitar el golpeteo entre ellas. NSR-10
23. Licencia de construcción: Acto Administrativo por medio del cual se concede, a solicitud del interesado, la autorización para adelantar la construcción de una edificación. (Tesauro, s.f.)
24. Licuación: Respuesta de los suelos sometidos a vibraciones, en la cual estos se comportan como un fluido denso y no como una mesa de suelo húmeda. NSR-10
25. Magnitud sísmica: La magnitud de un sismo es un número que busca caracterizar el tamaño de un sismo y la energía sísmica liberada. Se mide en una escala logarítmica, de tal forma que cada unidad de magnitud corresponde a un incremento de raíz cuadrada de 1000, o bien, de aproximadamente 32 veces la energía liberada. (Servicio sismológico nacional, s.f.)
26. Mampostería No Reforzada: Es la construcción a base de piezas de mampostería unidas por medio de mortero. NSR-10
27. Mampostería Reforzada: Es la construcción a base de piezas de mampostería unidas por medio de mortero, las cuales se encuentran reforzada por barras de acero. NSR-10
28. Microzonificación sísmica: División de una región o de un área urbana en zonas más pequeñas, que presentan un cierto grado de similitud en la forma como se ven afectadas por los movimientos sísmicos, dadas las características de los estratos de suelo subyacente. NSR-10
29. NSR-10: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente es el encargado de regular las condiciones con las que deben contar las construcciones con el fin de que la respuesta estructural a un sismo sea favorable. NSR-10

30. Patología: La Patología estructural es el estudio sistemático y ordenado del comportamiento irregular de una estructura o sus elementos, cuando presenta algún tipo de falla o daño, causado por factores internos o externos que no garanticen su seguridad. NSR-10
31. Perfil del suelo: Son los diferentes estratos de suelo existentes debajo del sitio del edificio. NSR-10
32. Reforzamiento de estructuras: Aumento de resistencia, flexibilidad y estabilidad que se realiza después de un sismo o cuando la estructura presenta fallas en su estado de servicio. NSR-10
33. Rigidez: Rigidez es la capacidad que tienen los elementos de las estructuras de aguantar los esfuerzos sin perder su forma (deformarse) manteniendo sus uniones. NSR-10
34. Sismicidad: Análisis del número de sismos que se suceden en una región geográfica determinada. NSR-10
35. Sismo Resistencia: Diseñar y construir una edificación cumpliendo con todos los requisitos que indican las normas de diseño y construcción sismo resistente. NSR-10
36. Sismo: Vibraciones de la corteza terrestre inducidas por el paso de las ondas sísmicas provenientes de un lugar o zona donde han ocurrido movimientos súbitos de la corteza terrestre. NSR-10
37. Sistema de Información Geográfica: Esto quiere decir que en un solo mapa el sistema muestra la distribución de recursos, edificios, poblaciones, entre otros datos de los municipios, departamentos, regiones o todo un país. Este es un conjunto que mezcla hardware, software y datos geográficos, y los muestra en una representación gráfica. Los SIG están diseñados para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar la información de todas las formas posibles de manera lógica y coordinada. (SIG paso a paso, s.f.)
38. Tectónica de placas: Es una teoría unificadora que explica una variedad de características y acontecimientos geológicos. Se basa en un sencillo modelo de la Tierra que expone que la rígida litosfera se encuentra fragmentada, formando un mosaico de numerosas piezas de diversos tamaños en

movimiento llamadas placas, que encajan entre si y varían en grosor según su composición ya sea corteza oceánica, continental o mixta. (Tectónica de Placas, s.f.)

39. Vulnerabilidad Sísmica: Predisposición de una estructura a sufrir daños ocasionados por fuerzas horizontales. NSR-10

40. Zona de amenaza sísmica: Son regiones del país donde la amenaza sísmica varía con respecto a otras. NSR-10

## 12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (s.f.). Obtenido de <http://www.diccionariodelaconstruccion.com/>
- (s.f.). Obtenido de Sisimicidad Historica Colombia: <http://sish.sgc.gov.co/visor/>
- (s.f.). Obtenido de Geologia Eus: <https://www.ehu.eus/es/web/geologia/zer-da-geologia>
- (15 de 04 de 2018). Obtenido de Radio Polar: [http://www.radiopolar.com/noticia\\_141001.html](http://www.radiopolar.com/noticia_141001.html)
- (2020). Obtenido de RSN: <https://rsn.ucr.ac.cr/>
- (2020). Obtenido de Significados: <https://www.significados.com/>
- Alcaldia Mayor de Tunja. (2011). Tunja: Ciudad de Riqueza Natural: Conozcamos y Valoremos Nuestros Recursos. Tunja.
- ArcGis Resources. (2020). Obtenido de <https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>
- Avellaneda Perez, Slendy; Soto Montañez, María José. (2019). *Trabajo de grado: análisis de tipología estructural de las edificaciones del barrio José Joaquín Camacho, Cristales y los Rosales* .
- Azuero Roncancio, J. D. (2019). *Estudio de Vulnerabilidad Sísmica de la Iglesia de Pachavita (Boyacá)*. Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá: Maestría thesis.
- Binda, N. U., & Balbastre-Benavent, F. (2013). Investigación cuantitativa e investigación cualitativa: buscando las ventajas de las diferentes metodologías de investigación. *Revista de Ciencias económicas*, 179-187.
- Caballero Guerrero, Á. R. . (2009). *Determinación de la vulnerabilidad sísmica por medio del método del índice de vulnerabilidad en las estructuras ubicadas en el centro histórico de la ciudad de Sincelejo, utilizando la tecnología del sistema de información geográfica*. Sincelejo, Sucre: Master's thesis, Maestría en Ingeniería Civil.
- Capas de la Tierra. (2019). Obtenido de <https://www.capasdelatierra.org/geosfera/>
- CAR. (s.f.). *Modelacion de formaciones geologicas prioritarias que constituyen acuíferos y diseño de la red de monitoreo de niveles piezometricos y calidad de agua subterránea en la cuenca del rio alto Suarez*.
- Carhuallanqui Flores, F., & Medina Fernández, G. E. (2019). *Vulnerabilidad sísmica aplicando los índices de vulnerabilidad de Benedetti y Petrini en los edificios de la ciudad de Tumán*.

- Carpeta Peña, E. L. (2015). *Determinación del índice de vulnerabilidad sísmica de siete viviendas mediante cuatro metodologías en la ciudad de Bogotá*. Bogotá: Bachelor's thesis, Universidad Piloto de Colombia.
- Consistencia del suelo*. (s.f.). Obtenido de <http://www.fao.org/>
- Cubas Quevedo, H., Yajamanco, R., & Lisett, G. (2019). *Vulnerabilidad Sísmica de los Centros de Salud del Distrito de Jaén*. Perú.
- DELGADO, L. A. S. (2015). *Historia urbana de Tunja durante la modernización del ciclo de conmemoraciones centenarias 1.878-1.939*. Tunja.
- Díaz Pinedo Nohora. (s.f.). Colombia El Impacto de Sus Terremotos. *Fasecolda*.
- Diccionario de la construcción*. (s.f.). Obtenido de <http://www.diccionariodelaconstruccion.com/>
- F. Yépes Moya, A.H Barbat, J.A Canas. (1996). *Evaluación probabilística de la vulnerabilidad y riesgo sísmico de estructuras de hormigo armado por medio de simulación*.
- Fierro, Eduardo & García Luis. (2005). *SEMINARIO DE INGENIERÍA SÍSMICA, Notas de Clase*. Rep Dominicana.
- Flores Luna, V. J., Fernández, G., & Brayan, E. (2019). *Vulnerabilidad sísmica del Pabellón "B" de la planta de filete de Anchoa, ubicado en el Pueblo Joven Villa María-Nuevo Chimbote*.
- Ginez Ordoñez, D. A. . (2019). *Sistema para determinación de eventos sísmicos en una secuencia de tiempo*. PUCE-Quito : Bachelor's thesis.
- Hidalgo Guerrero, Adriana. (2010). *Morfología y actores urbanos, formas de crecimiento en la periferia urbana. El caso de Tunja, Boyacá, Colombia*. Madrid.
- Hugo Teobaldo Nanfuñay, Eber Santisteban Valdera. (2015). *VULNERABILIDAD SÍSMICA EN EL DISTRITO DE CIUDAD ETEN APLICANDO ÍNDICES DE VULNERABILIDAD (BENEDETTI - PETRINI)*". Peru.
- IDIGER*. (23 de 01 de 2020). Obtenido de <https://www.idiger.gov.co/rsismico>
- INGEOMINAS*. (2005). *Geología de la Sabana de Bogotá* . Bogotá.
- Israel Palazuelos Covarrubias, Lorena Vázquez Correa. (2017). *DE LA RECONSTRUCCIÓN A LA GESTIÓN DEL RIESGO. PREVENCIÓN DE RIESGOS SÍSMICOS CON BASE EN LA EXPERIENCIA PROPIA, LA DE JAPÓN Y LA DE CHILE*. Instituto Belisario Domínguez, 23.
- Mahecha Valero, E., & Niño González, Á. (2019). *Estudio de patología estructural para una edificación de cinco pisos, generada por una explosión, con sistema estructural de muros de carga, localizado en el barrio la Florida de la ciudad de Tunja-Boyacá*. Tunja.

- Maldonado Rondón, Esperanza; Chio Cho, Gustavo. (2009). Estimación de las funciones de vulnerabilidad sísmica en edificaciones en tierra. *Ingeniería y Desarrollo*, núm. 25, 180-199.
- Márquez, I. D., de Ambiente, M., Sostenible, D., Técnico, C., & de Desastres. (2019). *R. REPÚBLICA DE COLOMBIA*.
- Martinez Cuevas, Sandra. (2014). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica urbana basada en tipologías constructivas y disposición urbana de la edificación aplicaion en la ciudad de Lorca, Region de Murcia*. Madrid.
- Medina Cruzado, J., Albites, P., & Agosto, C. (2019). *Vulnerabilidad Sísmica de la Ciudad de Monsefú aplicando los Índices de Benedetti–Petrini*. Perú.
- Mejía, F. N. Z., & Jaramillo, A. B. A. (2019). Índice de vulnerabilidad sísmica de escuelas del Área Metropolitana de Medellín, Colombia. *Revista EIA*.
- Mena Hernández, U. (2002). *Evaluación del riesgo sísmico en zonas urbanas*. . Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.
- MinEducacion. (20 de 01 de 2020). *MinEducacion*. Obtenido de <https://www.mineducacion.gov.co/1621/article-190610.html>
- MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL (NSR-. (2010). Reglamento Colombiano de construcciónsismo resistente. NSR-10, Segunda actualización. En s. C. AIS. Bogota.
- Molano López, Sandra Patricia. (2019). *Semillero de investigación : sistemas de alertas tempranas para construcciones de Tunja mediante SIG (2 ETAPA)*. Tunja.
- Omaña, R. I. A., Santander, A. D., & Oropeza, C. F. (2017). Amenaza sísmica en Latinoamérica. *Revista Geográfica Venezolana*, 258-262.
- Patologias Construcción. (2020). Obtenido de <https://www.patologiasconstruccion.net/2018/01/que-es-un-adobe/>
- Prado, C., Wilder, F., & Gomez Julca, C. R. J. . (2020). *Estudio de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones de la ciudad de Pátapo sectores 01, 02, 03, 04 y 05 aplicando los índices de Benedetti-Petrini*. Perú.
- Quiroga Medina, A. M. (2013). *Evaluación de la vulnerabilidad estructural de edificios del centro de Bogotá utilizando el método del índice de vulnerabilidad*. Bogotá, Colombia.
- Real academia española*. (2020). Obtenido de <https://dle.rae.es/c%C3%A1rcava>
- Rodriguez Edgar, Sanchez Miguel, Sainea Carlos. (s.f.). Metodología para la respuesta dinamica del subsuelo en la microzonificación sísmica de la ciudad de Tunja.

- Rodriguez Gabriel. (6 de 02 de 2020). Obtenido de CNN en Español: <https://cnnespanol.cnn.com/video/puerto-rico-terremoto-poblacion-damnificados-un-mes-pkg-rafy-rivera/>
- Rodriguez Pintado, J. A., & Zulueta Pérez, H. E. . (2020). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica aplicando índices de vulnerabilidad (Benedetti-Petrini) de la ciudad de Jayanca, distrito de Jayanca, provincia de Lambayeque, departamento de Lambayeque*. Jayanca.
- Rodriguez Pintado, J. A., & Zulueta Pérez, H. E. (2020). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica aplicando índices de vulnerabilidad (Benedetti-Petrini)*. Jayanca,Peru.
- Romero, F. (2012). El modelamiento del movimiento de las placas tectónicas Una propuesta para el aula.
- Santos, A. C. F., & Aguiar, C. E. (2012). Ondas e Terremotos. Scientific American.
- Servicio Geológico Mexicano. (22 de 03 de 2017). *Servicio Geológico Mexicano*. Obtenido de <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Riesgos-geologicos/Sismologia-de-Mexico.html>
- Servicio sismologico nacional*. (s.f.). Obtenido de <http://www.ssn.unam.mx/>
- SIEC-SIPAV, S. (2019).
- SIG paso a paso*. (s.f.). Obtenido de <https://unisigzayrao.blogspot.com/>
- Silva Javier. (s.f.). *360 en Concreto*. Obtenido de <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/categoria/normatividad/separacion-estructuras-edificios-adyacentes-2>
- Silva, O. J. (3 de 11 de 2016). *Argos*. Obtenido de <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/usos-frecuentes-sistemas-combinado-y-dual>
- Tectonica de Placas*. (s.f.). Obtenido de <https://www.sgm.gob.mx/>
- Tesouro*. (s.f.). Obtenido de <http://www.tesouro.com.co/>
- Tinoco Garcia, F. J. (2014). *Determinación del grado de vulnerabilidad sísmica por medio del método de índice de vulnerabilidad en las viviendas construidas con adobe en el caserío de Hornuyoc-provincia de Carhuaz*.
- Tunja-Boyaca*. (2020). Obtenido de <http://www.tunja-boyaca.gov.co/municipio/geografia>
- Waked, Germán; Báez, Miguel; Sosa, Rafael Alberto. (2011). Reforzamiento de la Planta Física Colegio American School de Tunja. *L'esperit Ingenieux*.
- Yamín Lacouture, L. E., Phillips Bernal, C., Reyes Ortiz, J. C., & Ruiz Valencia, D. (2007). Estudios de vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y refuerzo de casas

en adobe y tapia pisada. *Revista de Estudios sobre Patrimonio Cultural-Journal of Cultural Heritage Studies*, 286-303.

Yamín Lacouture, L. E., Phillips Bernal, C., Reyes Ortiz, J. C., & Ruiz Valencia, D. (2007). Estudios de vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y refuerzo de casas en adobe y tapia pisada. *Apuntes: Revista de Estudios sobre Patrimonio Cultural-Journal of Cultural Heritage Studies*, 20(2), 286-303.

## 13. ANEXOS

Anexo 1: Anteproyecto

Anexo 2: Formatos de Encuesta

Anexo 3: Cartas a la policía y a los presidentes de acción comunal

Anexo 4: Planos Archivo municipal

Anexo 5: Mapas ArcGis

- Tipo de uso barrio Santa Lucia
- Año de construcción Santa Lucia
- Inclinación Santa Lucia
- Inundaciones Santa Lucia
- Posición en la manzana Santa Lucia
- Número de pisos Santa Lucia
- Sistema estructural Santa Lucia
- Tipo de placa Santa Lucia
- Cubierta Santa Lucia
- Daño en la estructura Santa Lucia
- Tipo de escalera Santa Lucia
- Juntas de separación Santa Lucia
- Calidad de diseño Santa Lucia
- Estado de la edificación Santa Lucia
- Vista del barrio Santa Lucia
- Año de construcción Los Héroes
- Tipo de uso Los Héroes
- Número de pisos Los Héroes
- Inclinación Los Héroes
- Posición en la manzana Los Héroes
- Tipo de placa Los Héroes
- Sistema estructural Los Héroes
- Daños en la estructura Los Héroes
- Calidad de diseño Los Héroes

- Estado de la edificación Los Héroes
- Sistema estructural La Esperanza
- Calidad de diseño La Esperanza
- Estado de la edificación La Esperanza

Anexo 6: Fotografías de las viviendas