

**APLICACIÓN DEL MÉTODO DE ÍNDICE DE VULNERABILIDAD (BENEDETTI &
PETRINI) PARA EVALUACIÓN DE EDIFICACIONES DE MAMPOSTERÍA NO
REFORZADA EN EL BARRIO SURINAMA**

**JENIFFER JULIET ECHEVERRÍA ROJAS
MARIA ALEJANDRA MONROY BOTIA**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
TUNJA
2021**

**APLICACIÓN DEL MÉTODO DE ÍNDICE DE VULNERABILIDAD (BENEDETTI &
PETRINI) PARA EVALUACIÓN DE EDIFICACIONES DE MAMPOSTERÍA NO
REFORZADA EN EL BARRIO SURINAMA**

**JENIFFER JULIET ECHEVERRÍA ROJAS
MARIA ALEJANDRA MONROY BOTIA**

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero civil

**Director
Wilson Alfredo Medina Sierra
Ingeniero Civil**

**Codirector
Néstor Iván Rojas Gamba
Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
TUNJA
2021**

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres por ser los principales promotores de mis sueños, por confiar en mí, gracias a ellos con sus consejos, su apoyo incondicional y su paciencia pude concluir con éxito este ciclo en mi vida.

María Alejandra Monroy Botia

Este trabajo está dedicado a mi madre, gracias ella curse mi carrera de la mejor manera, apoyándome en cada paso que daba, sus consejos y dedicación que me motivaron a continuar esta dura labor y así darme la fuerza necesaria para lograr todas mis metas propuestas.

Jeniffer Juliet Echeverría Rojas

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en primer lugar a Dios por permitirme llegar hasta aquí; A mis padres que siempre creyeron en mí y me apoyaron para poder seguir adelante; A mi familia que con su paciencia y apoyo me permitieron lograr un objetivo en mi vida.

De igual manera a los ingenieros Wilson Medina y Néstor Rojas que con sus conocimientos y apoyo me guiaron en el desarrollo de este trabajo y a la Universidad Santo Tomas que con sus valiosos conocimientos me ayudaron a crecer día a día como profesional.

María Alejandra Monroy Botia

En primer lugar, doy gracias a Dios por permitirme llegar a este punto de mi vida.

Gracias, a mi madre y a mi hermano, que siempre me han prestado un gran apoyo moral y humano, necesarios en los momentos difíciles.

Gracias a mi novio e hijo, por su paciencia, comprensión y solidaridad con este proyecto, por el tiempo que me han concedido.

Igualmente doy gracias al director de esta tesis Ing. Wilson Medina y codirector de tesis el Ing. Néstor Rojas por la dedicación y apoyo que han brindado a este trabajo, por la dirección y el rigor que ha facilitado su desarrollo y a la Universidad Santo Tomas por permitirme formar como profesional. A todos, muchas gracias.

Jeniffer Juliet Echeverria Rojas

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	10
TABLA DE ILUSTRACIONES	11
TABLA DE ANEXOS	12
RESUMEN	13
ABSTRACT.....	14
INTRODUCCIÓN	15
1.ANALISIS DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	17
1.1. Formulación del problema de investigación.....	17
1.2. Justificación	18
1.3.Objetivos	18
1.3.1. <i>Objetivo general</i>	19
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>	19
2.ESTADO DEL ARTE	20
2.1. Aplicación internacional del método del índice de vulnerabilidad (Benedetti y Petrini 1984)	20
2.1.1. <i>Riesgo, peligrosidad y vulnerabilidad sísmica de edificios de mampostería</i>	20
2.1.2. <i>Evaluación probabilista de la vulnerabilidad y riesgo sísmico de estructuras de hormigón armado por medio de simulación</i>	21
2.1.3. <i>Evaluación del riesgo sísmico en zonas urbanas</i>	21
2.1.4. <i>Estimación de la Vulnerabilidad Sísmica de edificaciones del centro histórico de Tapachula, Chiapas</i>	22
2.1.5. <i>Vulnerabilidad sísmica de viviendas de mampostería no reforzada en el pueblo de Tlajomulco, Jalisco</i>	23
2.1.6. <i>Vulnerabilidad sísmica del edificio de la Facultad de Filosofía, Comercio y Administración de la UCE con la Norma Ecuatoriana de la Construcción</i>	24
2.1.7. <i>Estudio de vulnerabilidad sísmica de la I.E Emblemática San Juan de la Ciudad de Trujillo</i>	24
2.2. Aplicación nacional del método del índice de vulnerabilidad (Benedetti y Petrini 1984)	25

2.2.1. <i>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</i>	25
2.2.2. <i>Evaluación de la vulnerabilidad estructural de edificios del centro de Bogotá utilizando el método del índice de vulnerabilidad</i>	26
2.2.3 <i>Determinación del índice de vulnerabilidad sísmica de siete viviendas mediante cuatro metodologías en la ciudad de Bogotá</i>	27
2.2.4 <i>Análisis cualitativo y comparativo del método Benedetti-Petrini y la NRS 2010, desarrollado en edificaciones de uno y dos pisos en el barrio Bijao, municipio del Bagre Antioquia.</i>	28
3. MARCO REFERENCIAL	30
3.1 Localización zona de estudio	30
3.1.1. <i>Descripción de la zona de estudio:</i>	31
3.2 Marco teórico:	32
3.2.1. <i>Composición planeta tierra:</i>	32
3.2.2. <i>Composición geológica y geomorfológica ciudad de Tunja:</i>	33
3.2.3. <i>Definición de sismos:</i>	35
3.2.4. <i>Sismicidad en Colombia:</i>	35
3.2.5. <i>Antecedentes de sismos a nivel Boyacá:</i>	36
☐ Sismo de 1646/04/03:	36
☐ Sismo de 1826/06/17	37
☐ Sismo de 1928/11/01	37
3.2.5.1. <i>Recientes:</i>	37
☐ Sismo de 2018/12/13	37
☐ Sismo de 2019/12/24	38
3.2.6. <i>Zona amenaza sísmica ciudad de Tunja</i>	38
3.2.7. <i>Susceptibilidad sísmica de Tunja.</i>	39
3.2.8. <i>Tipos de estructuras:</i>	40
3.2.8.1. <i>Sistema de muros de carga:</i>	40
3.2.8.2. <i>Sistema combinado</i>	40

3.2.8.3.Sistema de pórticos:	40
3.2.8.4.Sistema dual:	41
3.2.9.Comportamiento estructural de las edificaciones.....	41
3.2.10.Vulnerabilidad estructural	42
3.2.11. Vulnerabilidad sísmica:	42
3.2.12. Método para calcular la vulnerabilidad de estructuras.....	42
3.2.12.1.Método del índice de vulnerabilidad para estructuras de mampostería no reforzada	42
3.2.12.2. Cuantificación del índice de vulnerabilidad IV	51
4.METODOLOGÍA	53
4.1.Investigación bibliográfica:	53
4.2. Selección zona de estudio:	53
4.3. Procesamiento de datos:.....	53
4.4. Elaboración de la base de datos:.....	53
4.5. Desarrollo y entrega del libro final.....	53
4.6. Defensa trabajo de grado.	53
5.ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	54
5.1. Aplicación del método del índice de vulnerabilidad de Benedetti y Petrini a vivienda tipo.....	60
1. Organización del sistema resistente.....	60
2. Calidad del sistema resistente. Tipología estructural	61
3. Resistencia convencional	61
4. Posición del edificio y de la cimentación	67
5. Forjados horizontales.....	68
6. Configuración en planta.....	68
7. Configuración en elevación	69
8. Espaciamiento máximo entre muros	70
9. Tipo de cubierta	71
10.Elementos no estructurales	71
11.Estado de conservación	71

6.CONCLUSIONES	74
7.RECOMENDACIONES	76
8.GLOSARIO	77
9.REFERENCIAS.....	81
10.ANEXOS	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación zonas inclinación.	34
Tabla 2. Clasificación formaciones geológicas Tunja.	34
Tabla 3. Valores recomendados de esfuerzo cortante máximo para paneles de mampostería.	44
Tabla 4. Escala numérica del índice de vulnerabilidad Iv para las estructuras de mampostería no reforzada.	52
Tabla 5. Valores Nivel de Vulnerabilidad Sísmica.	52
Tabla 6. Tipologías Estructurales Existentes En El Barrio Surinama.	55
Tabla 7. Nivel de vulnerabilidad Sísmica.	58
Tabla 8. Evaluación de parámetro 1.	61
Tabla 9. Evaluación del parámetro 2.	61
Tabla 10. Datos iniciales para la resistencia convencional.	62
Tabla 11. Valores recomendados de esfuerzo cortante máximo para paneles de mampostería.	62
Tabla 12. Área resistente en la dirección X e Y Primera Planta.	63
Tabla 13. Área resistente en la dirección X e Y Primera Planta.	65
Tabla 14. Área total resistente en la dirección X e Y.	66
Tabla 15. Evaluación Parámetro 3.	67
Tabla 16. Evaluación Parámetro 4.	67
Tabla 17. Evaluación Parámetro 5.	68
Tabla 18. Valores ancho y largo de la casa S12.	68
Tabla 19. Evaluación del Parámetro 6.	69
Tabla 20. Relación de Áreas.	69
Tabla 21. Evaluación del Parámetro 7.	70
Tabla 22. Relación de espaciamiento máximo entre muros y espesor del muro.	70
Tabla 23. Evaluación del Parámetro 8.	70
Tabla 24. Evaluación del Parámetro 9.	71
Tabla 25. Evaluación del Parámetro 10.	71
Tabla 26. Evaluación del Parámetro 11.	72
Tabla 27. Determinación de índice de vulnerabilidad Casa S122.	72
Tabla 28. Nivel de Vulnerabilidad Casa S122.	73

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Mapa de localización del departamento de Boyacá y la ciudad de Tunja.	30
Ilustración 2. Plano delimitación barrio Surinama.....	31
Ilustración 3. Estructura interna de la tierra.	32
Ilustración 4. Placas Tectónicas	32
Ilustración 5. Localización, foco y epicentro de un sismo.	33
Ilustración 6. Estructuras tectónicas.....	35
Ilustración 7. Zona de amenaza sísmica.	38
Ilustración 8. Mapa susceptibilidad sísmica de Tunja.....	39
Ilustración 9. Leyenda mapa de susceptibilidad sísmica de Tunja	40
Ilustración 10. Parámetro evaluador de la configuración en planta.	47
Ilustración 11. Parámetro Evaluador de la Configuración en Elevación.	48
Ilustración 12. Tipología de Cubiertas.	50
Ilustración 13. Gráfico Sistema estructural Barrio Surinama.	55
Ilustración 14. Plano sistemas estructurales Barrio Surinama.....	57
Ilustración 15. Gráfico Nivel de vulnerabilidad Barrio Surinama.....	58
Ilustración 16. Plano Grado de vulnerabilidad Sísmica Barrio Surinama.	59
Ilustración 17. Casa S12 barrio Surinama - dirección Mz E casa 103A.	60
Ilustración 18. Datos iniciales para la resistencia convencional.	63
Ilustración 19. Plano primera planta casa tipo Barrio Surinama.....	64
Ilustración 20. Plano segunda planta casa tipo Barrio Surinama.	65

TABLA DE ANEXOS

Anexo A. Carta solicitud cambio título y objetivos trabajo de grado	85
Anexo B. Aprobación de cambio título y objetivos trabajo de grado.....	85
Anexo C. Plano casa tipo barrio surinama.	85
Anexo D. Plano distribución de muros dirección X e Y.	85
Anexo E. Mapa Geológico de la Ciudad de Tunja.....	85
Anexo F. Plano Geomorfología de la Ciudad de Tunja.	85
Anexo G. Plano Barrio Surinama Delimitación.	85
Anexo H. Plano barrio surinama grado de vulnerabilidad.	85
Anexo I. Plano barrio surinama sistema estructural.	85
Anexo J. Planos Archivo Municipal.	85
Anexo k. Archivo fotográfico viviendas analizadas.....	85

RESUMEN

El análisis sísmico en las estructuras es de gran importancia, ya que este permite establecer parámetros y procesos constructivos que garantizan seguridad a la hora de presentarse un movimiento telúrico, esto con el fin de entender el modo de respuesta de la estructura ante la acción sísmica facilitando la identificación de la vulnerabilidad sísmica de la misma.

El siguiente trabajo tiene como objetivo, determinar el índice de vulnerabilidad sísmica para las edificaciones del barrio Surinama ubicado en la ciudad de Tunja, el cual se desarrollará para estructuras con sistema estructural en mampostería no reforzada, aplicando el método del índice de vulnerabilidad sísmica de Benedetti y Petrini.

Para analizar y determinar las posibles afectaciones o lesiones presentes en las estructuras, como proceso inicial, se verificó la cantidad de predios a través del sistema de información geográfica de Tunja (tusig), de manera que se pueda obtener información preliminar del número de estructuras a estudiar, enseguida de esto hacemos uso de la herramienta web Google Maps la cual permite caracterizar y establecer el estado de las viviendas, de igual manera se realiza una visita al barrio para verificar la información obtenida por Google Maps .

Con los datos obtenidos en el estudio, se pretende realizar una base de datos en Excel y así establecer el grado de vulnerabilidad sísmica, presente en las estructuras de la zona, de esta manera tener una información más exacta acerca de las condiciones físico-espaciales de las estructuras.

ABSTRACT

The seismic analysis in the structures is of great importance, since it allows establishing parameters and construction processes that guarantee safety when a telluric movement occurs, this in order to understand the response mode of the structure to seismic action, facilitating the identification of its vulnerability.

The following work aims for the Surinama neighborhood, to determine the seismic vulnerability index for the buildings of the Surinama neighborhood located in the city of Tunja that correspond to the unreinforced masonry structural system through the Benedetti seismic vulnerability index method and Petrini.

In order to analyze and determine the possible damages or injuries present in the structures, as an initial process, the number of properties was verified through the Tunja geographic information system (tusig), so that preliminary information on the number of structures to be obtained can be obtained. Study, immediately after this we use the web tool Google Maps which allows us to characterize and establish the state of the homes, in the same way a visit to the neighborhood is made to verify the information obtained by Google Maps.

With the data obtained in the study, it is intended to create a database in Excel and thus establish the degree of seismic vulnerability, present in the structures of the area, in this way to have more exact information about the physical-spatial conditions of the structures.

INTRODUCCIÓN

Evaluar la vulnerabilidad sísmica de las estructuras es de gran importancia ya que esta nos permite identificar el grado de susceptibilidad de las estructuras ante la ocurrencia de un sismo, esta tiene como finalidad determinar que estructuras se encuentran en riesgo y de esta manera crear medidas de prevención y mitigación ante los efectos de un desastre sísmico.

A través de los años en Colombia y diferentes partes del mundo se han presentado numerosos movimientos sísmicos, provocando grandes pérdidas y daños a las poblaciones, por tal razón ha aumentado la necesidad de crear alternativas que den la posibilidad de mejorar la calidad de las estructuras nuevas y existentes, incluyendo profesionales idóneos y diseños para su construcción, haciendo énfasis en los cálculos estructurales y procesos constructivos para así disminuir las pérdidas generadas por los sismos.

En Colombia la norma de construcción sismo resistente inicialmente se expidió en 1984 por medio del Decreto-Ley 1400 la cual establece la normalización del diseño y construcción de estructuras en el medio nacional, vigente durante 14 años, luego aparece la ley 400 de 1997 de la cual se genera la NSR-98 actualizada en el año 2010 en donde se expide NSR-10, Vigente en la actualidad.

Teniendo como base los hechos mencionados anteriormente, este trabajo de grado tiene como finalidad identificar la vulnerabilidad sísmica a la que están expuestas las viviendas del barrio Surinama de la ciudad de Tunja, ante la llegada de un sismo. Lo anterior tomando como punto de desarrollo; el método del índice de vulnerabilidad sísmica de Benedetti y Petrini, representando gráficamente un plano donde se identifiquen los diferentes índices de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones valiéndose del software ArcGis.

Es preciso aclarar que inicialmente se estaba trabajando en la tesis denominada: “Análisis de tipología estructural de las edificaciones del barrio Las Nieves y Maldonado”, que tenía como objetivo principal realizar un estudio de tipología estructural de las edificaciones de los barrios las Nieves y Maldonado, a través de visitas a los barrios mencionados, empleando encuestas a los habitantes de las viviendas para así recolectar información sobre las características constructivas de las edificaciones seleccionadas, para de este modo conocer datos reales y fidedignos de

las estructuras. Lastimosamente por las condiciones actuales del mundo ante la pandemia producida por el virus COVID – 19, se decidió modificar el proyecto de grado, contando con la respectiva autorización del comité de grado y para que de este modo se pudiesen respetar las directrices ordenadas por el gobierno nacional en el marco de la emergencia sanitaria decretada en el país.

Para la selección del barrio se dialogó con el tutor las alternativas existentes para la aplicación del método, teniendo en cuenta las restricciones de movilidad generadas por la pandemia se opta por manejar datos de un trabajo ya realizado, según lo planteado por nuestro tutor la mejor opción era el barrio Surinama ya que este poseía un estudio, denominado “Tipología Estructural de las Edificaciones del Barrio Las Quintas, Parques del Nogal y Surinama de la Ciudad De Tunja”, en la que se establece la tipología estructural y el año de construcción de las viviendas, información relevante para la aplicación del método de vulnerabilidad sísmica de Benedetti y Petrini.

Teniendo en cuenta que el barrio Surinama presenta 3 tipologías estructurales (Mampostería no reforzada, Mampostería confina y pórticos en concreto) se opta por aplicar el método al sistema estructural más vulnerable, para este caso se elige el sistema estructural en Mampostería no reforzada, ya que este sistema no está contemplado dentro de la norma sismo resistente y puede presentar daños severos en las edificaciones ante la ocurrencia de un sismo.

1. ANALISIS DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Más del 80% del territorio Colombiano se encuentra en amenaza intermedia y alta ante movimientos telúricos; el departamento de Boyacá se encuentra ubicado en una zona de amenaza sísmica intermedia, además de estar en la cordillera Oriental la cual aún mantiene su proceso de formación, lo que la hace más susceptible y vulnerable a diversos fenómenos naturales (Caballero Guerrero, 2007)

Teniendo en cuenta los antecedentes presentados en Colombia ante los movimientos telúricos, es importante analizar el nivel de vulnerabilidad sísmica que presentan las edificaciones del barrio Surinama en la ciudad de Tunja, utilizando el método del índice de vulnerabilidad sísmica de Benedetti y Petrini, permitiendo de esta manera estimar y reducir el riesgo de daño de las estructuras frente a un sismo y de este modo brindar seguridad a los habitantes del sector.

Por lo tanto, se decide realizar un estudio de vulnerabilidad sísmica para el barrio Surinama ya que según datos de la tesis “Tipología Estructural de las Edificaciones del Barrio Las Quintas, Parques del Nogal y Surinama de la Ciudad De Tunja” y del sistema de información geográfica de Tunja (tusig), el barrio Surinama cuenta con 323 predios de los cuales 254 son edificaciones con sistema estructural en Mampostería no reforzada, 40 en pórticos, 22 Mampostería confinada, 4 lotes y 3 parques donde se evidencia que más del 78% de la viviendas construidas presentan una tipología estructural en Mampostería no reforzada, las cuales no cuentan con los requisitos exigidos por la norma sismo resisten por tal razón se plantea un estudio de vulnerabilidad sísmica para el barrio Surinama.

1.1. Formulación del problema de investigación

Conforme a la información planteada anteriormente surge el siguiente interrogante:

- ¿Cuál es el nivel de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones del barrio Surinama, evaluado a través del método de Índice de Vulnerabilidad sísmica de Benedetti y Petrini, teniendo en cuenta que Tunja se clasifica según la NSR-10 en zona de amenaza sísmica intermedia?

1.2. Justificación

Los ingenieros civiles diariamente se enfrentan con situaciones complejas, a las cuales tienen que dar solución con los conocimientos y habilidades necesarias para lograr una mejor calidad de vida de la sociedad, acorde a su desarrollo y satisfaciendo sus necesidades.

Una de estas situaciones, es el impacto que produce un sismo, el cual con su aparición causa desastres dejando como consecuencia la interrupción de los servicios vitales, pérdidas tanto económicas, como humanas, así como eventualmente la destrucción de la infraestructura en ciudades, entre otras.

A partir de importantes movimientos sísmicos, la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de estructuras, resulta una herramienta indispensable para estudios de riesgo y mitigación de desastres ante los efectos de este fenómeno.

Teniendo en cuenta que Colombia está ubicada en una zona del planeta sísmicamente activa y gran parte de sus habitantes de manera cotidiana, lideran la construcción de sus viviendas que a simple vista, no cumplen con los parámetros establecidos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10); Como lo indican “los datos de Jaramillo, el 80% de las construcciones existentes en las ciudades colombianas son autoconstruidas, no siguieron ningún código de construcción” (González, Jarol Augusto, 2012).

Por ende a través del método italiano de Benedetti y Petrini se implementara el estudio de la vulnerabilidad sísmica para las estructuras de mampostería no reforzada, que generalmente constituyen la gran mayoría de las estructuras antiguas existentes en Colombia; El método ha sido desarrollado tanto para el estudio de estructuras de mampostería como para el de estructuras en hormigón armado; sin embargo, gran parte del esfuerzo realizado para su estudio y aplicación ha sido dedicado a las primeras, debido a la gran cantidad de edificios de este tipo. : (Yépez Moya, Barbat, & Canas, 1995)

Inicialmente el trabajo estaba dirigido hacia el análisis de la tipología estructural de las edificaciones de los barrios las Nieves y Maldonado, debido a la emergencia sanitaria por el covid-19, se interrumpió el trabajo de campo, diligenciar un formulario de levantamiento de datos a través de un formato diseñado por el semillero de investigación del ingeniero Wilson Medina que consiste en la recopilación de información general donde se detalla la estructura en estudio, tales como: Identificación de la edificación, condiciones existentes, uso de la edificación, descripción de la

estructura, estado de la edificación, tipos de escalera, configuración de placas, piso flexible, irregularidad de la masa, irregularidad en la rigidez, inspección a la edificación, evaluación de la estructura, recomendaciones y comentarios; Por tal motivo se debatió con el tutor aplicar el método del índice de vulnerabilidad (Benedetti y Petrini) para la evaluación de mampostería no reforzada en el barrio Surinama en la ciudad de Tunja , ya que este contaba con un estudio anteriormente trabajado a través de los mismos formatos, que aportaban información que permite la calificación de este.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Realizar un estudio donde se determine el índice de vulnerabilidad sísmica calculado por la metodología propuesta por Benedetti y Petrini, de las edificaciones de mampostería no reforzada del barrio Surinama.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar el índice de Vulnerabilidad sísmica (método de Benedetti y Petrini) para evaluación de edificaciones de mampostería no reforzada en el barrio Surinama.
- Investigar el estado del arte del método de índice de vulnerabilidad sísmica de Benedetti y Petrini.
- Generar un mapa en SIG que indique los diferentes índices de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones en mampostería no reforzada del barrio.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1. Aplicación internacional del método del índice de vulnerabilidad sísmica

(Benedetti y Petrini 1984)

2.1.1. Riesgo, peligrosidad y vulnerabilidad sísmica de edificios de mampostería (Yépez Moya, Barbat, & Canas, 1995), Teniendo en cuenta que una de las más grandes catástrofes naturales que azotan a la humanidad son los terremotos, y junto con el mal comportamiento que presentan las estructuras durante este, deja grandes pérdidas tanto de vidas humanas como económicas; a pesar de que las normas Sismo Resistentes existentes mejoran día a día y que la ingeniería se ha enriquecido con nuevas investigaciones siguen ocurriendo colapsos parciales e incluso totales en muchos países.

Es claro que, a pesar de los logros alcanzado por la ingeniería, no es fácil tener control de estos fenómenos naturales, además es mayor el número de estructuras que no se construyeron con dichas normas, por lo tanto, no las cumplen; por lo que se hace necesario tener un control para mejorar el comportamiento que puedan presentar; por esto se nace la necesidad de estudios de vulnerabilidad sísmica. Una vez se conozca la vulnerabilidad sísmica de una estructura es posible buscar una solución para que el impacto se a menor a futuros sismos, evitando grades catástrofes.

A través del método italiano, del índice de vulnerabilidad para edificios de mampostería no reforzada, evaluaron un sector de la zona céntrica de Barcelona, España; que con ayuda de un Sistema de Información Geográfico (G.I.S), pudieron evaluar la vulnerabilidad sísmica en forma automatizada, y de esta manera poder identificar y mitigar perdidas probables.

Así mismo recopilaron información de los daños ocurridos en la provincia de Almería, que fue sacudida por dos sismos, en Diciembre de 1993 y Enero de 1994, que con ayuda del método anteriormente nombrado realizaron un estudio post – terremoto; visitaron las localidades que tuvieron más afectaciones, encontrando que aunque varias estructuras resultaron muy afectadas, no existieron daños de categoría de destrucción, y no es para menos pues a la hora de su construcción mezclaron materiales que además no eran de buena calidad, por otro lado se presentaron algunos deslizamientos de tierras.

Analizaron que, aunque tanto en las gráficas del estudio en España como en Italia se presentaron varias similitudes, es importante crear un banco de datos e ir actualizando la información con la misma metodología, para poder disponer de esta herramienta como optima fuente de conocimiento.

2.1.2. Evaluación probabilista de la vulnerabilidad y riesgo sísmico de estructuras de hormigón armado por medio de simulación (Yépez, Barbat, & Canas, 1995), Es evidente que lo que ocasiona la mayoría de las perdidas, tanto de vidas como económicas es el comportamiento deficiente que tienen las estructuras frente a un sismo; aunque los logros alcanzados por la ingeniería son bastantes todavía continúan ocurriendo catastróficas perdidas en muchos países del mundo, ya que estas normas Sismo Resistentes pueden aplicarse únicamente a estructuras nuevas, las cuales no superan el número de construcciones antiguas.

Por tal motivo se originan los métodos de análisis de vulnerabilidad sísmica, y de este modo conocer el posible daño producido por un sismo y buscar soluciones para mitigarlo, con el fin de disminuir pérdidas que producirán futuros terremotos.

Como objetivo evaluaron el comportamiento que presenta el hormigón armado como material de construcción de edificios en los últimos tiempos, esto implica la necesidad de profundizar su comportamiento sísmico y sobre su grado de vulnerabilidad. Trabajaron el método del índice de vulnerabilidad aplicable para este material en una zona de estudio y finalmente, pudieron analizar los resultados y medidas para mitigar el riesgo ante un sismo en la zona de estudio.

Simularon posibles escenarios de daño sísmico en un barrio tradicional y céntrico de la ciudad de Barcelona, con numerosos edificios, la mayoría con estructura de mampostería no reforzada, construidos hace varios años por lo que prácticamente han cumplido su periodo de vida útil, y una mínima parte de los edificios del sector son nuevos, con estructura de hormigón armado unos presentan estructuración porticada con vigas otros con losas planas.

Concluyeron que los edificios de hormigón armado con vigas presentan menor riesgo que el resto de tipologías, siendo los edificios de hormigón armado con losas planas los de mayor riesgo. Sin embargo, los detalles no dúctiles de los elementos estructurales debilitan a una y a otra tipología.

2.1.3. Evaluación del riesgo sísmico en zonas urbanas (Mena Hernández, 2002), El aumento que ha tenido con el paso del tiempo la vulnerabilidad y, en consecuencia, el

elevado riesgo sísmico en las grandes ciudades ubicadas en áreas que no contaban con peligrosidad sísmica, se debe a que tienden a minimizar las precauciones de protección frente a los terremotos.

En su trabajo a través de una recopilación de información que permita efectuar un análisis edificio a edificio en una gran ciudad como Barcelona, diseña una herramienta informática sobre plataforma estación de trabajo SUN y sistema de información geográfica ARCINFO, en el que incorporan mapas de peligrosidad sísmica básica, mapas geológicos y geotécnicos la zonificación de la ciudad y la altimetría; y de esta manera generar escenarios de daño.

A través de esta herramienta recopiló información necesaria, que posteriormente pudo evaluar posibles daños como consecuencia de un terremoto, además obtuvo una herramienta que puede ser usada para el análisis en otras zonas urbanas.

Como resultado obtiene que la ciudad de Barcelona presenta mayormente las tipologías de mampostería no reforzada y de hormigón armado con forjados reticulares, que presentan una elevada vulnerabilidad y un daño alto para niveles de intensidad relativamente bajos; estos resultados son de aplicación inmediata a la protección civil y a la planificación y gestión de planes de emergencia sísmica.

2.1.4. Estimación de la Vulnerabilidad Sísmica de edificaciones del centro histórico de Tapachula, Chiapas (Ruiz, Aguilar, & Vidal, 2011), Tapachula, México debido a su situación geográfica puede sufrir la acción de fenómenos naturales constantes tales como los huracanes y terremotos, poniendo en riesgo grandes pérdidas tanto humanas como económicas, esto se debe a las condiciones de vulnerabilidad de la zona y la falta de poner en práctica una normativa para el cálculo estructural.

Por lo que es necesario el desarrollo de una normativa en la que se considere la experiencia y los desarrollos tecnológicos más recientes en el área de la vulnerabilidad estructural, estudiantes de la facultad de ingeniería de la universidad Autónoma de Chiapas realizaron un estudio para determinar la vulnerabilidad sísmica de una zona del centro histórico de dicha ciudad.

Para ello el estudio se basó en un censo detallado de 219 edificaciones, evaluando primero la vulnerabilidad según la clasificación propuesta en la Escala Macro sísmica Europea (EMS-98), luego tras esta clasificación calcularon el índice de vulnerabilidad sísmica (Ib.) de cada edificio empleando la metodología desarrollada por Benedetti y Petrini (1984).

Generando como resultados mapas de vulnerabilidad sísmica para cada manzana de la zona de estudio en términos de clase EMS y de índice de vulnerabilidad IV; y concluyendo que, a pesar de la antigüedad en la construcción, en general el estado de conservación de las edificaciones de mampostería es bueno, y que los índices de vulnerabilidad calculados se encuentran en un intervalo de entre 21% y 65% lo cual refleja un grado vulnerabilidad media.

2.1.5. Vulnerabilidad sísmica de viviendas de mampostería no reforzada en el pueblo de Tlajomulco, Jalisco (Preciado, Rodríguez , Caro Becerra, & Lujan Godínez, 2015), La mayoría de las viviendas de Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco municipio y pueblo típico en el Oeste de México, manifiestan un sistema estructural de mampostería no reforzada tales como adobe, block cemento-arena, tabique de barro rojo recogido y combinaciones; lo que las hace muy vulnerables a la sismicidad que presenta la región, dado que esta se encuentra en una zona sísmica C, clasificada con alta amenaza sísmica. La amenaza es generada principalmente en el llamado bloque de Jalisco localizado entre las Placas tectónicas de Rivera y la norteamericana.

Es de suma importancia proteger las edificaciones con este tipo de sistema estructural, a través de un análisis de vulnerabilidad sísmica y poder comprender su comportamiento para tomar las medidas necesarias y lograr la reducción de vulnerabilidad.

Para Tlajomulco, México la evaluación de la vulnerabilidad sísmica se realizó a través del método de inspección y puntaje, también conocido como el índice de vulnerabilidad; tomaron alrededor de 180 estructuras de uso habitación y negocios con diferente configuración en cubierta, sistema resistente vertical, número de niveles (una o dos plantas) y estado de conservación, ubicadas en cuatro manzanas.

Para realizar la evaluación de la vulnerabilidad sísmica el autor del artículo modifico con anterioridad el método en la evaluación de 15 edificios históricos localizados en la zona altamente sísmica de Colima, México y modificado nuevamente en sus estudios Postdoctorales para ser aplicado de forma más rápida y eficiente a escala territorial en Nueva Zelanda en 250 edificios de mampostería no reforzada.

El autor encontró que la gran parte de las edificaciones obtuvo una clase de vulnerabilidad alta (180 de 180), consecuencia del mal estado de conservación de la estructura, también las edificaciones que mostraban un pobre confinamiento; Además

de ser estructuras de dos niveles y con cubierta de mampostería de cuña, la cual no es considerada como un diafragma rígido.

Una menor parte de las estructuras que alcanzaron una clase de vulnerabilidad sísmica intermedia (37 de las 180 evaluadas) fueron también aquellas de tabique de barro, pero con diafragma rígido de concreto reforzado y principalmente de un solo nivel.

Estos resultados obtenidos permitirán correlacionar la vulnerabilidad con diferentes intensidades sísmicas.

2.1.6. Vulnerabilidad sísmica del edificio de la Facultad de Filosofía, Comercio y Administración de la UCE con la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC SE-RE 2015) (Cueva Flores, 2017), Prevenir el colapso de las estructuras ante eventos sísmicos se ha vuelto un desafío para los profesionales, por lo que han tenido que mejorar sus diseños, y los materiales utilizados en obra para que puedan cumplir con las normas sismo resistentes que con el paso del tiempo han venido evolucionando.

Un gran problema para Quito, Ecuador en donde la mayoría de sus construcciones son informales, es considerar una estructura sismo resistente ya que es necesario evaluar su estado actual, diagnosticar las posibles deficiencias de diseño y construcción, y estas no cuentan con ningún estudio técnico para su aprobación.

La tesis evalúa la vulnerabilidad sísmica del edificio de la facultad de filosofía, Comercio y Administración de la Universidad Central del Ecuador, utilizando tres metodologías FEMA 154, FEMA 310 y el método de Benedetti-Petrini (índice de vulnerabilidad). Recopilando información necesaria que permita el desarrollo de las metodologías anteriormente mencionadas; también la modelación estructural de la edificación para analizar el comportamiento sismo resistente y la posterior evaluación de la vulnerabilidad sísmica de la edificación; y de esta manera Diagnosticar los problemas que presente la estructura y proponer posibles soluciones de forma general para salvar los inconvenientes presentes en la estructura.

Después de desarrollar las metodologías anteriormente nombradas, concluyo que el edificio de la facultad de filosofía, Comercio y Administración de la Universidad Central del Ecuador concluyendo que su construcción no cumple con la norma sismo resistente ecuatoriana y que el grado de vulnerabilidad sísmica de la estructura es media.

2.1.7. Estudio de vulnerabilidad sísmica de la I.E Emblemática San Juan de la Ciudad de Trujillo (Pecori Zavaleta & Cruz Miranda, 2018), Es de gran importancia

sobre todo en construcciones antiguas realizar un estudio de vulnerabilidad para determinar el comportamiento de las estructuras ante la llegada de un sismo, poder prevenir y mitigar los posibles daños que pueda sufrir la estructura.

En su tesis evaluó de forma visual y analítica los pabellones A, C y J, de la I.E. emblemática san juan de la ciudad de Trujillo a través de los 11 parámetros descritos en el método del índice de vulnerabilidad de Benedetti y Petrini, para el pabellón C de esta institución realizó la modelación estructural en el software ETABS, y así poder determinar su comportamiento sísmico, tomando como base los lineamientos la norma de diseño sismo resiste E.030.

Para determinar el grado de vulnerabilidad sísmica de la edificación se tomaron en cuenta el estudio de suelos y el ensayo de esclerometría realizado a los principales elementos estructurales; así mismo se consideraron aspectos que también pueden provocar problemas ante la llegada de un sismo y que no son descritos en el método del índice de vulnerabilidad, tales como: columna corta, corrosión y falta de verticalidad en aceros de columnas, pérdida del recubrimiento en algunos elementos estructurales, esbeltez de columnas, falta de arriostramiento de los alfeizeros, mala calidad del unidades de albañilería en los parapetos de las azoteas.

En el análisis de la modelación estructural con desplazamientos máximos relativos y con la fuerza mayor cortante descrita en la norma de diseño sismo resistente E.030 cumplió; por el contrario el resultado del control de agrietamiento realizado en base a la norma E.070, indico que algunos muros de concreto y albañilería, ante la llegada de un sismo presentarían grietas en ambas direcciones; la evaluación del índice vulnerabilidad sísmica indico que los pabellones analizados presenta un grado bajo – medio de vulnerabilidad. Por lo que realiza una propuesta de un nuevo diseño del pabellón C, manteniendo sus dimensiones originales y la misma distribución de ambientes.

2.2. Aplicación nacional del método del índice de vulnerabilidad (Benedetti y Petrini 1984)

2.2.1. 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 (Caballero Guerrero, 2007), Teniendo en cuenta que las zonas de amenazas sísmicas media y alta han aumentado, por falta de criterios sísmicos y deficiente mantenimiento

en estructuras antiguas, mal control en las construcciones nuevas dejando como consecuencia el riesgo de sufrir pérdidas en vidas humanas y materiales ante la llegada de un terremoto.

En evidencia queda el mal manejo que se le da a los programas de prevención y mitigación de desastres, posiblemente más por indiferencia que por falta de recursos. Es por esto que nace la necesidad de evaluar la vulnerabilidad sísmica de la ciudad de Sincelejo y sus alrededores debido a que no existen estudios que evidencien el estado de sus estructuras.

Se Basa en el método del índice de vulnerabilidad para determinar el daño que se pueda presentar en las estructuras para diferentes aceleraciones sísmicas; utilizando como herramienta principal, la tecnología de Sistema de Información geográfica SIG, acompañados de un estudio de zonificación geotécnica y una completa información de las edificaciones a estudiar.

Pudo concluir que Sincelejo presenta un gran número de estructuras con diferentes problemas en el diseño estructural y arquitectónico ya que en gran porcentaje las estructuras son antiguas incluso el 30% en el momento de su construcción no contaban con una norma sismo resistente; pero lo más preocupantes es que el otro porcentaje de las estructuras que no alcanzaban los 10 años de ser construidas presentaban problemas de mantenimiento (deterioro considerable en los elementos estructurales y no estructurales) y de conexión entre sus elementos resistentes, lo que hace que los índices de Vulnerabilidad y de daño aumenten significativamente.

2.2.2. Evaluación de la vulnerabilidad estructural de edificios del centro de Bogotá utilizando el método del índice de vulnerabilidad (Quiroga, 2012), Ha sido un reto por varios años para la ingeniería civil, ante la llegada de un sismo tener con certeza del comportamiento de las estructuras, y los distintos métodos constructivos para disminuir los daños generados; Debido a esto se crearon normas sismo resistentes como la NSR-10 para disminuir la vulnerabilidad estructural de las edificaciones ante un sismo.

Para el estudio de este comportamiento se han creado diferentes métodos algunos cuantitativos y otros cualitativos, los cuales analizan varios parámetros y determinan la reacción y comportamiento de una estructura, y su vulnerabilidad frente a un sismo; uno de ellos es el método del índice de vulnerabilidad, desarrollado en Italia por Benedetti y Petrini, producto de estudios post terremoto en el que trabajan parámetros importantes que dictan el comportamiento y el daño de una edificación durante un sismo. El método

consiste en evaluar 11 parámetros asignando un valor a cada uno según sea estimada su vulnerabilidad (alta, media o baja) para lo cual se deben cumplir unos requerimientos planteados en la evaluación. El resultado de la suma ponderada de estos valores, es el índice de vulnerabilidad cuyo valor determina que tan vulnerable es la estructura según el método.

Bogotá presenta un alto riesgo sísmico, debido a que algunas de sus edificaciones fueron construidas hace varios años. Por lo que crece la incertidumbre ante los daños que se puedan generar en sus estructuras ante la llegada de un sismo; debido a esto a través del método del índice de vulnerabilidad, se estudia la probabilidad que pueden tener 8 edificios en el centro de Bogotá de ser vulnerables al tener inadecuado comportamiento ante la llegada de un sismo.

Realizó una adaptación de dicho método a lo que está planteado en la norma Sismo Resistente NSR-10, (Esta adaptación no se realizó en todos los parámetros ya que la Norma NSR-10 plantea rangos similares o en algunos casos no plantea las relaciones que el método plantea); para que pueda ser implementado en la actualidad en cualquier lugar de Bogotá, ya que es de gran ayuda para las entidades que trabajan en mitigar el riesgo y en atender las emergencias.

Indicó que a pesar de la irregularidad que tenían los edificios (planta y elevación) y su edad, los índices de vulnerabilidad se esperaban más altos; después de desarrollar el método los valores obtenidos son pequeños por lo que indican que son estructuras no vulnerables y seguras; También que el método requiere una adaptación previa a las condiciones de cada edificación para así mejorar los resultados, ya que por ser un método general algunos parámetros no podían ser evaluados en todas las edificaciones.

2.2.3 Determinación del índice de vulnerabilidad sísmica de siete viviendas mediante cuatro metodologías en la ciudad de Bogotá (Carpeta Peña, 2015), Con el fin de evaluar y determinar índice de vulnerabilidad sísmica se aplican cuatro metodologías correspondientes a la Asociación Colombiana de ingeniería Sísmica (AIS), Benedetti-Petrini, Federal Emergency Management Agency (FEMA-154) y Europea Macroseismic Scale 1998 (EMS-98); a siete viviendas de dos pisos en cinco localidades de la ciudad de Bogotá, a las cuales inicialmente se les realiza un respectivo estudio.

Una vez obtenidos los resultados de las metodologías anteriormente nombradas, se efectúa un análisis completo por medio de tablas y gráficas, en las cuales, se expuso

las vulnerabilidades que presentan los diferentes factores que intervienen en la realización de las viviendas, como aspectos estructurales y el tipo de suelo; arrojando que el índice de vulnerabilidad sísmica de las viviendas de dos pisos de Bogotá en media a un 3,66% de ser alta; Por otro lado a través de los resultados analizados las metodologías más efectivas y completas para realizar la evaluación de vulnerabilidad sísmica son la AIS y de Benedetti-Petrini.

2.2.4 Análisis cualitativo y comparativo del método Benedetti-Petrini y la NRS 2010, desarrollado en edificaciones de uno y dos pisos en el barrio Bijao, municipio del Bagre Antioquia. (Nisperuza López, 2019), En todo el mundo con el fin de conocer el grado de vulnerabilidad que presentan sus estructuras se ha vuelto de gran importancia realizar estudios o investigaciones a través de diferentes métodos, tanto cuantitativos como cualitativos; Estos últimos ayudan a realizar de una manera más rápida este tipo de evaluaciones de vulnerabilidad sísmica, debido a que su procedimiento no requiere modelaciones.

Como objetivo de la tesis presenta comparar y desarrollar el método Benedetti-Petrini con la NRS-10 en el barrio Bijao, Municipio del Bagre Antioquia; Para poder determinar la validez que tienen los resultados a través de los parámetros establecidos en el método del índice de vulnerabilidad con los establecidos y aprobados de la norma colombiana NRS-10, y de este modo darle credibilidad y aceptación a los resultados de la investigación.

Realizo un estudio bibliográfico de cada una de las medidas que componen los métodos, una evaluación de los antecedentes y consultas con profesionales en el tema, luego realizo una evaluación visual y detallada mediante un registro fotográfico, mediciones y levantamientos en viviendas de 1 y 2 pisos ubicadas en el barrio de estudio.

El método del índice de vulnerabilidad presenta como resultados una vulnerabilidad global de 72,6%, calificando la zona con una vulnerabilidad sísmica media. De igual manera los resultados el método de la NSR-10, presenta como resultado una vulnerabilidad global de 73,8% lo que representa un alto grado de vulnerabilidad sísmica.

Determinó que las viviendas presentan vulnerabilidad sísmica dependiendo de factores como su proceso constructivo, materiales y lugar donde esta se construya, por lo que en consecuencia aumenta el riesgo físico en las personas que residen en estas viviendas.

También se determina cuáles son los parámetros influyentes que hacen a estas viviendas sean más o menos susceptibles, en los que se encuentran diafragmas horizontales, resistencia convencional, el estado de conservación, calidad, cubiertas y organización del sistema resistente.

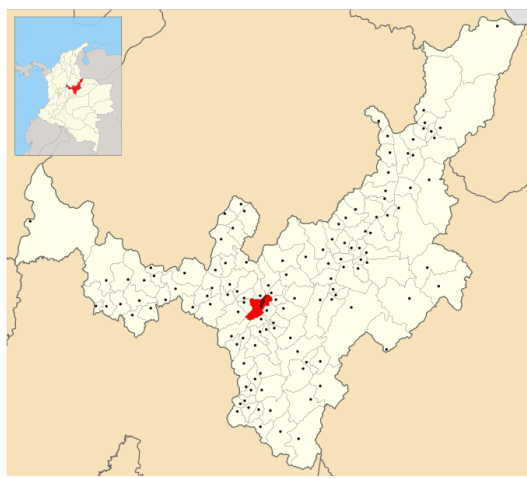
3. MARCO REFERENCIAL

3.1 Localización zona de estudio: Este trabajo de grado se realizó en la ciudad de Tunja Capital del Departamento de Boyacá - Colombia, situada en la cordillera oriental de los Andes a 130 km al noreste de la ciudad de Bogotá localizado a 05° 32'7" de latitud norte y 37° 22'04" de longitud oeste, con alturas que van desde los 2.700 m.s.n.m. hasta 3.150 m.s.n.m. en la parte más elevada, con una extensión de 121.4 Km2, y una temperatura de 13°C. 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. (Alcaldía de Tunja, 2019)

Tunja Registra 200 desarrollos urbanísticos en la zona urbana y 10 veredas en el sector rural: Barón Gallero, Barón Germania, Chorroblanco, El Porvenir, La Esperanza, La Hoya, La Lajita, Pirgua, Runta y Tras del Alto. Los ríos Jordán que atraviesa a la ciudad de sur a norte y la Vega que va de occidente a oriente, se consideran sus principales fuentes hídricas.

El área urbana se encuentra agrupada en 8 comunas: Comuna 1: Extremo Norte, Comuna 2: Noroccidental, Comuna 3: Nororiental, Comuna 4: Occidental, Comuna 5: Centro Histórico, Comuna 6: Suroccidental, Comuna 7: Oriental, Comuna 8: Suroriental. De los cuales se encuentran los 167 barrios que componen la ciudad.

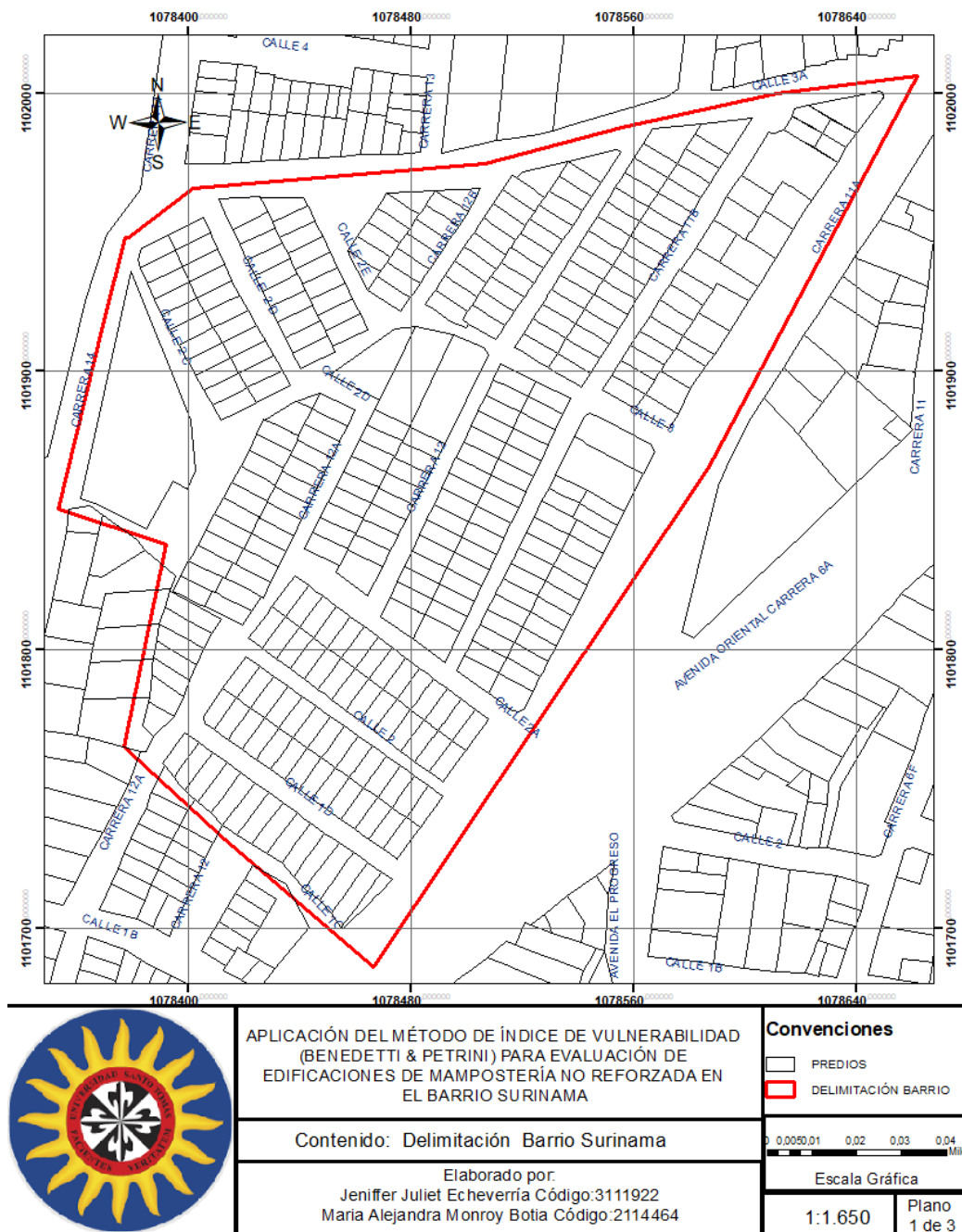
Ilustración 1 Mapa de localización del departamento de Boyacá y la ciudad de Tunja.



Fuente. (Wikipedia, 2012)

3.1.1. Descripción de la zona de estudio: La zona de estudio está ubicada en la parte sur de la ciudad sobre la avenida oriental, con coordenadas 5°31'04.2" al Norte y 73°22'12.4" al occidente a una altura de 2805 metros sobre el nivel del mar. (Google Maps, 2020)

Ilustración 2 Plano delimitación barrio Surinama.

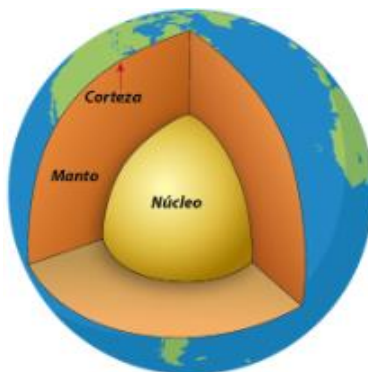


Fuente. Autor

3.2 Marco teórico: El desarrollo de este trabajo investigativo se soportó en los fundamentos técnicos y teóricos del comportamiento estructural y respuesta de edificaciones ante solicitaciones sísmicas.

3.2.1. Composición planeta tierra: La tierra está conformada por tres capas concéntricas, las cuales están en constante movimiento, esta se divide de la siguiente manera: Núcleo, manto y corteza terrestre. (Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático, 2020)

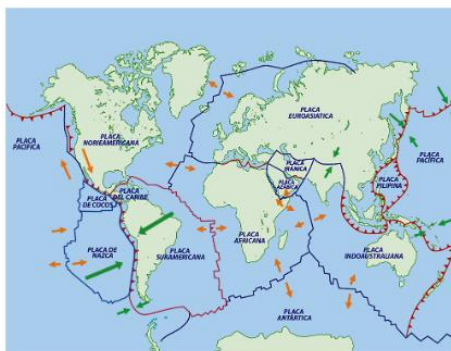
Ilustración 3 Estructura interna de la tierra.



Fuente. (Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático, 2020)

La corteza terrestre es la capa superficial que cubre la tierra, según su densidad esta se divide en 2 partes corteza occidental y corteza continental, teniendo en cuenta los constantes movimientos que se presentan en la corteza terrestre este provoca la fragmentación de la corteza creando las placas tectónicas.

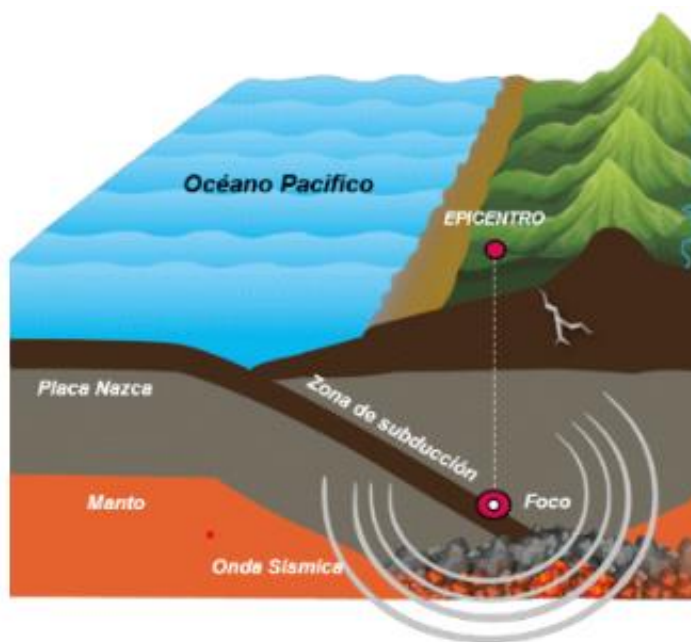
Ilustración 4 Placas Tectónicas



Fuente. (Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático, 2020)

Las cuales flotan sobre el manto de la tierra generando fenómenos geológicos, los cuales pueden ser observados o medidos con la ocurrencia de sismos, terremotos, etc.

Ilustración 5 Localización, foco y epicentro de un sismo.



Fuente. (Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático, 2020)

Dentro de la corteza terrestre se presentan bastantes movimientos en zonas específicas, provocando la liberación de energía acumulada, generando sismos, los cuales pueden ser pequeños e imperceptibles o muy grandes y devastadores. Por este motivo es importante tener formas de medirlos y cuantificarlos, bien sea en términos de magnitud o intensidad.

3.2.2. Composición geológica y geomorfológica ciudad de Tunja: La ciudad de Tunja ubicada en la cordillera oriental con unidad climática de tipo frío posee gran variedad de paisajes con colinas erosionales, areniscas de varios colores, arenas arcillosas, gravas, etc. Sub-paisajes de tipo escarpado y planos de inundación clasificados por zonas que determinan su nivel de inclinación y su litología, estas zonas se clasifican de la siguiente manera: (Instituto Geofísico Universidad Javeriana Consultoría Colombiana, 2000)

Tabla 1. Clasificación zonas inclinación.

ZONA I	ZONA II	ZONA III
Su principal característica es la de presentar pendientes altas, litológicamente conformada por materiales muy competentes (Ramírez, 1990)	Geoforma característica de pendiente media baja litológicamente conformada por intercalaciones de rocas duras y blandas y materiales arcillosos con algunos niveles arenosos, los cuales proporcionan una morfología moderada y suave con variación de pendiente entre 11 a 25% (Alcaldía mayor de Tunja y universidad pedagógica y tecnológica de Colombia,1999)	Se presenta sobre el valle con el eje del sinclinal y sobre los cauces del río Chicamocha, quebrada la vega y quebrada la cascada. (Alcaldía mayor de Tunja y universidad pedagógica y tecnológica de Colombia,1999)

Fuente. Instituto Geofísico Universidad Javeriana Consultoría Colombiana, 2000

3.2.2.1. Litología y estratigrafía: Dentro de la litología y estratigrafía de la ciudad de Tunja podemos encontrar formaciones geológicas tales como: (Instituto Geofísico Universidad Javeriana Consultoría Colombiana, 2000)

Tabla 2. Clasificación formaciones geológicas Tunja.

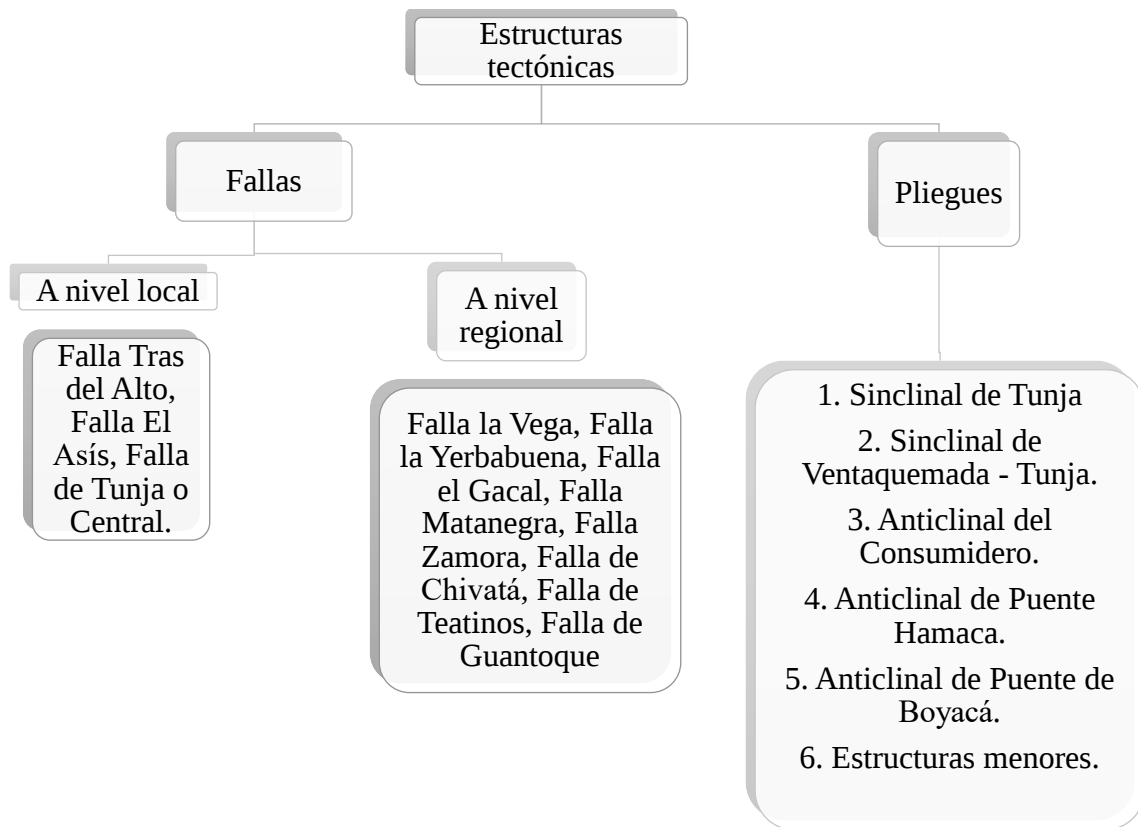
1. Grupo Churubita (Ksch)	6. Formación Bogotá (Tb1, Tb2)
2. Formación Conejo (Kscn)	7. Formación Tilatá (Tst)
3. Grupo Guadalupe (Kg):	8. Depósitos Coluviales (Qc)
4. Formación Guaduas (TKg)	9. Depósito Lacustre (Qd)
5. Formación Cacho (Tc):	10. Depósito Aluvial (Qal)

Fuente. Instituto Geofísico Universidad Javeriana Consultoría Colombiana,2000

3.2.2.2. Estructuras tectónicas:

Según Ingeominas (1981), Ramírez (1990), Agudelo y Castro (1999), y otros, las principales estructuras que presenta la zona son: (Instituto Geofísico Universidad Javeriana Consultoría Colombiana, 2000)

Ilustración 6 Estructuras tectónicas.



Fuente. Instituto Geofísico Universidad Javeriana Consultoría Colombiana, 2000

3.2.3. Definición de sismos: Según (Yépez Moya, Barbat, & Canas, 1995) Pueden definirse como fracturas súbitas de la corteza terrestre debidas a la liberación quasi-instantánea de la energía acumulada en el interior de la tierra. Su origen puede ser volcánico, por colapso de cavidades subterráneas debido a explosiones provocadas y de carácter tectónico; estos últimos están asociados a los movimientos de la litosfera terrestre, resultando ser los más fuertes y frecuentes.

3.2.4. Sismicidad en Colombia: Colombia se localiza geográficamente en la esquina noroccidental de Suramérica. Esta zona se caracteriza por presentar una estructura tectónica compleja, ya que en ella convergen tres placas litosféricas: la Placa de Nazca

localizada en el Océano Pacífico, la Placa Caribe en el Mar Caribe y la Placa Suramericana en la zona continental. Esta junta triple ha estado presente durante los últimos 5 millones de años (m.a). Estas tres placas se desplazan con velocidades y sentidos diferentes; en el caso de Colombia, las Placas de Nazca y del Caribe se mueven bajo la Placa Suramericana en un proceso denominado subducción. Este proceso tiene características diferentes para cada uno de los casos: la Placa de Nazca se mueve hacia el este, mientras que la Placa Caribe se desplaza hacia el sureste, a una velocidad menor que la de la placa de Nazca. (Ingeominas, 2000)

Además de la existencia de estas tres placas, dos bloques adicionales o micro placas se han sugerido para explicar la complejidad tectónica del área donde convergen las placas principales: el Bloque de Panamá y el Bloque Andino. Este último se extiende desde la costa Pacífica hasta el borde Oriental de la Cordillera Oriental, donde está limitado por el Sistema de Fallas del Borde Llanero. Este bloque se mueve hacia el noreste con respecto a la Placa Suramericana.

Este proceso tectónico, generó la configuración del actual relieve colombiano, de acuerdo con el cual pueden distinguirse las siguientes zonas:

- Zona de los Llanos orientales y Amazonía
- Zona de elevaciones montañosas y valles Inter montañosos
- Zona occidental
- Archipiélago de San Andrés y providencia
- Islas de Gorgona y Malpelo

3.2.5. Antecedentes de sismos a nivel Boyacá: A través de los años se han presentado diversos movimientos telúricos, a continuación, se mencionan los sismos más representativos:

- **Sismo de 1646/04/03:** (Servicio Geológico Colombiano, 2019) La población más afectada fue Muzo (Boyacá), donde se reportó el colapso de algunas casas y el agrietamiento de las iglesias y de otras viviendas. Hubo varias personas muertas y numerosos heridos.

En Sogamoso se sintió muy fuerte y se agravaron los daños de la iglesia que ya se encontraba averiada.

En un sitio que no se ha podido ubicar cercano a Muzo (a dos días de camino), se dice que el terremoto fue más violento ya que derrumbó casas, tumbó árboles

y agrietó los terrenos. También se afirmó que un deslizamiento del cerro Furatena obstruyó el caudal del río Carare -también conocido como río Minero- y lo detuvo durante muchas horas.

Se reportaron varias réplicas sentidas durante casi un mes.

- **Sismo de 1826/06/17:** (Servicio Geológico Colombiano, 2019) Las poblaciones que resultaron más afectadas fueron Úmbita, Ramiriquí y Sotaquirá, en el departamento de Boyacá, ya que sus iglesias colapsaron. En Tunja se agrietó la iglesia del Colegio de Boyacá, la casa de gobierno, el hospital, y otras casas y edificios. En Bogotá se presentaron daños considerables, especialmente en iglesias y conventos, pero no hubo colapso de construcciones.

Se sintieron réplicas hasta el 23 de junio de ese año, las cuales mantuvieron en alerta a la población. Respecto a efectos en la naturaleza, únicamente se reportaron agrietamientos del terreno en el municipio de Úmbita.

- **Sismo de 1928/11/01:** (Servicio Geológico Colombiano, 2019) Este día se registró un fuerte sismo que afectó principalmente las poblaciones de Chinavita, Pachavita, Tibaná y Tibirita en el departamento de Boyacá, donde se presentó el colapso de algunas viviendas con alta vulnerabilidad, daños muy severos en las iglesias, así como deslizamientos sobre las vías de acceso y se presentaron algunos casos de fallecimientos.

En las poblaciones de Garagoa, Guateque, Jenesano, Tenza, Zetaquirá, y Úmbita, el sismo dejó afectaciones en algunas de las construcciones, las cuales presentaron daños como agrietamientos en los muros, caída de cornisas por lo cual algunas quedaron semidestruidas.

En la ciudad de Bogotá el sismo se sintió con menor intensidad, aunque se registraron averías en algunas construcciones que habían sido afectadas por el sismo ocurrido el 31 de agosto de 1917.

3.2.5.1. Recientes:

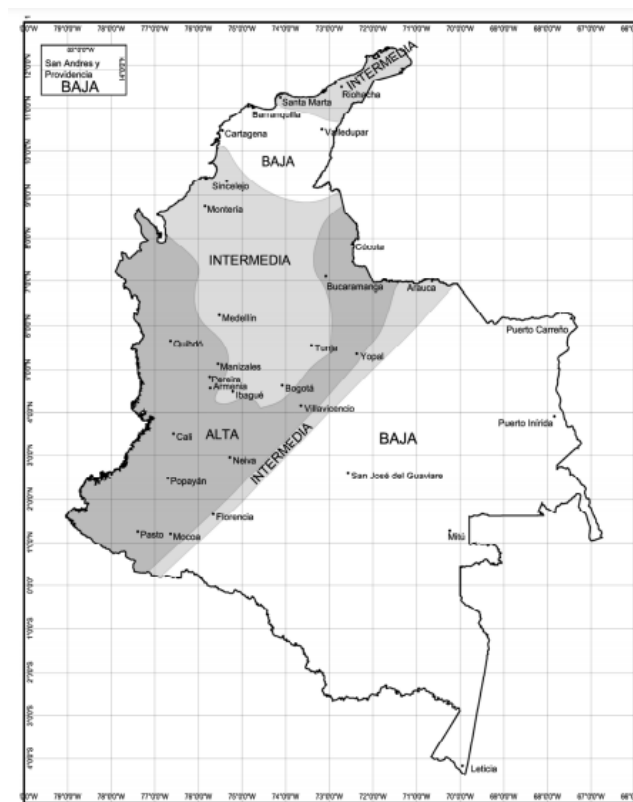
- **Sismo de 2018/12/13:** El Servicio Geológico Colombiano informó que se registró un sismo de 4.4 grados en la escala de Richter en el departamento de Boyacá, según el reporte el movimiento telúrico ocurrió a las 5:47 am y su epicentro fue en el municipio de Santa María. El movimiento sísmico tuvo una profundidad de

30 kilómetros y se sintió en los municipios de Santa María, Macanal, Almeida, Sogamoso, Páez, Paipa, Garagoa, Tunja, Miraflores, Guayatá, Sutatenza (Boyacá). (El Tiempo, 2018)

- **Sismo de 2019/12/24:** según el Servicio Geológico Colombiano, el sismo se registró a las 2:03pm y su magnitud fue 6.2 grados en la escala de Richter, profundidad superficial (menor a 30km), con epicentro en el Meta, en inmediaciones de Lejanías. Una fuerte réplica se presentó minutos después (2:19pm), con una magnitud de 5.7. el sismo se sintió en ciudades como Bogotá, Chía, Popayán, Tunja, Medellín, Girardot, Armenia, Villavicencio. (RCN, 2019)

3.2.6. Zona amenaza sísmica ciudad de Tunja

Ilustración 7. Zona de amenaza sísmica.

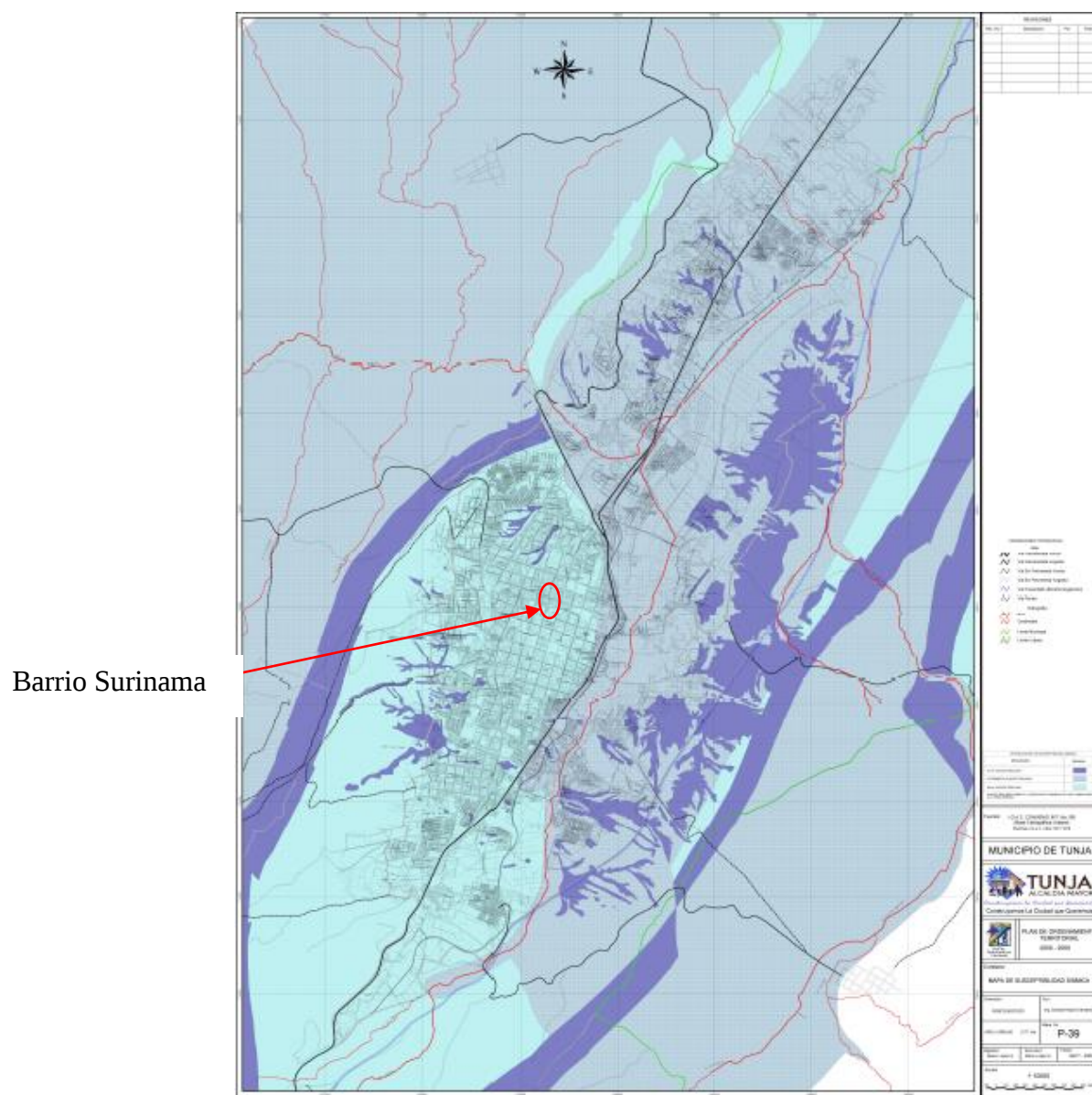


Fuente: (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010)

Según la Norma Sismo Resistente colombiana NSR-10 Tunja está ubicada en zona sísmica intermedia, en donde según criterios de la norma se deben cumplir ciertas condiciones para la construcción de edificaciones.

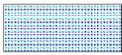
3.2.7. Susceptibilidad sísmica de Tunja.

Ilustración 8. Mapa susceptibilidad sísmica de Tunja.



Fuente: Fuente: (Alcaldía de Tunja,2000)

Ilustración 9. Leyenda mapa de susceptibilidad sísmica de Tunja

Descripción	Símbolo
ALTA SUSCEPTIBILIDAD	
INTERMEDIA SUSCEPTIBILIDAD	
BAJA SUSCEPTIBILIDAD	

SUSCEPTIBILIDAD DEBIDO A LA RESPUESTA DINAMICA DE LAS FORMACIONES A LA ONDA SISMICA.

Fuente: (Alcaldía de Tunja,2000)

Con respecto al mapa de susceptibilidad sísmica de Tunja, el barrio Surinama se ubica en una zona de baja susceptibilidad sísmica.

3.2.8. Tipos de estructuras: El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010), Reconoce cuatro tipos generales de sistemas estructurales de resistencia sísmica. Cada uno de ellos se subdivide según los tipos de elementos verticales utilizados para resistir las fuerzas sísmicas y el grado de capacidad de disipación de energía del material estructural empleado. Los sistemas estructurales de resistencia sísmica son los siguientes:

3.2.8.1. 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.

3.2.8.2. Sistema combinado: Es un sistema estructural, en el cual:

- 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.
- 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.

3.2.8.3. Sistema de pórticos: Es un sistema estructural compuesto por un pórtico especial, resistente a momentos, esencialmente completo, sin diagonales, que resiste todas las cargas verticales y fuerzas horizontales.

3.2.8.4. Sistema dual: es un sistema estructural que tiene un pórtico espacial resistente a momentos y sin diagonales, combinado con muros estructurales o pórticos con diagonales. Para que el sistema estructural se pueda clasificar como sistema dual se deben cumplir los siguientes requisitos:

- a) El pórtico espacial resistente a momentos, sin diagonales, esencialmente completo, debe ser capaz de soportar las cargas verticales.
- b) 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% del cortante sísmico en la base.
- c) 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, consiguiendo 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 al 75% del cortante sísmico en la base.

3.2.9. Comportamiento estructural de las edificaciones: Según la Arquitecta (Diez, 2005) se entiende por comportamiento estructural al funcionamiento de una estructura o edificación bajo cierto estado de cargas dependiente de su configuración, sistema estructural, localización, entre otros aspectos propios de la edificación.

El comportamiento de una estructura debe estar bajo las diferentes acciones para las que se postula o establezca que debe tener capacidad de respuesta.

Sobre una estructura pueden actuar diferentes tipos de acciones exteriores que también deben ser tenidas en cuenta las cuales son:

- Acción gravitatoria: peso propio, carga permanente, sobrecargas, movimientos forzados.
- Acciones térmicas: flujo de calor por conducción, convección o radiación, transitorios térmicos.
- Acciones Teológicas: retracción, fluencia.

- Acción del terreno: empujes activos, asentamientos

3.2.10. Vulnerabilidad estructural: El grado de daño que puede sufrir una estructura puede ser de dos tipos: a) Daño estructural o daño que se produce en elementos que forman parte del sistema resistente de la edificación; El daño estructural depende del comportamiento de los elementos del esquema resistente, sean vigas, columnas muros de corte sistemas este piso, etc. y b) daño no estructural qué ocurre en los elementos que no forman parte del sistema resistente principal, incluyendo el daño arquitectónico, daño en los sistemas mecánicos, eléctricos, sanitarios y daño en el contenido del edificio. (Yépez Moya, Barbat, & Canas, 1995)

3.2.11. Vulnerabilidad sísmica: Para (Carpeta Peña, 2015) la vulnerabilidad sísmica es el riesgo que corre una estructura de sufrir daños al momento de presenciar un sismo, ya que ésta no posee la estabilidad necesaria que se requiere, es decir, que no tiene la capacidad de mantener el equilibrio al momento de ser sometida a cargas horizontales. La vulnerabilidad sísmica depende del comportamiento de la estructura, esto quiere decir que no es directamente proporcional al sismo.

3.2.12. Método para calcular la vulnerabilidad de estructuras

El método nace en Italia con motivo de estudios post-terremoto realizados a partir de 1976; pero es descrito en 1982, año a partir del cual empieza su utilización en numerosas ocasiones. Como resultado se obtiene una importante base de datos sobre daños en estructuras para diferentes intensidades de sismos dejando como buenos resultados la aplicación del método en diferentes comprobaciones realizadas. (Yépez Moya, Barbat, & Canas, 1995)

3.2.12.1. Método del índice de vulnerabilidad para estructuras de mampostería

no reforzada

A través de 11 parámetros el método del índice de vulnerabilidad puede clasificarse subjetivo, debido a que básicamente la persona realiza una calificación en siete parámetros de acuerdo a sus percepciones y argumentos de las estructuras, apoyándose en cálculos simplificados que aseguran versatilidad y agilidad a la evaluación del índice de vulnerabilidad en los cuatro parámetros restantes, para intentar identificar el daño que sufriría una estructura de mampostería no reforzada ante la acción sísmica; Cada parámetro es analizado detenidamente y calificado mediante una escala de A hasta D, en forma decreciente. (Yépez Moya, Barbat, & Canas, 1995)

A continuación (Yépez Moya, Barbat, & Canas, 1995) detallan dichos parámetros y las condiciones para su adecuada evaluación:

1. Organización del sistema resistente

Parámetro que evalúa el grado de organización de los elementos de la estructura resistente vertical, sin tomar en cuenta el material utilizado; enfatizando en la presencia y eficacia de las conexiones entre los elementos resistentes verticales ortogonales. La calificación debe realizarse de acuerdo con la siguiente información:

- A. Edificio construido de acuerdo a normativas sismo-resistentes.
- B. Edificio que presenta conexiones realizadas mediante vigas o collares de amarre y enmarque de muros, utilizadas para transmitir las cargas verticales aplicadas a los muros en todos los niveles de la estructura.
- C. Edificio que no presenta el tipo de conexiones del punto B en todos sus niveles, pero presenta buena ligazón entre sus paredes ortogonales resistentes.
- D. Edificio que no tiene sus paredes resistentes bien ligadas.

2. Calidad del sistema resistente. Tipología estructural

Parámetro que evalúa el tipo de mampostería utilizada, sin considerar su resistencia. La calificación se realiza teniendo en cuenta dos factores: 1) el tipo de material utilizado y la forma del elemento de mampostería y 2) la homogeneidad de dicho material a lo largo de la estructura. La calificación se realiza de acuerdo a la siguiente información:

- A. Mampostería de ladrillo o bloques de buena calidad, mampostería de piedra bien tallada, con unidades homogéneas y de tamaños constantes a lo largo de todo el panel de mampostería, existiendo ligamento entre todas las unidades.
- B. Mampostería de ladrillo, de bloques o de piedra bien tallada, con unidades no muy homogéneas en todo el panel.
- C. Mampostería de piedra con unidades mal talladas y heterogéneas, bien trabadas entre ellas en todo el panel. Mampostería de ladrillo de baja calidad y sin ligamentos entre unidades.
- D. Mampostería de piedra con unidades muy irregulares y sin trabazón, mampostería de ladrillo de mala calidad, incrustaciones de piezas no homogéneas y de pequeño tamaño, sin ligamento en todo el panel.

3. Resistencia convencional

Parámetro que requiere cálculos sencillos, pero conceptualmente importantes. Utilizando la hipótesis del comportamiento de estructura ortogonal, cerrada (tipo cajón), se puede evaluar con bastante fiabilidad la resistencia que puede presentar un edificio frente a cargas horizontales. Se utiliza un concepto muy utilizado en estructuras y en normativas de edificación, el coeficiente sísmico C , definido como la relación entre la fuerza máxima resistente horizontal y el peso del edificio, descrito por la ecuación:

$$C = \frac{a_o t_k}{q N} \sqrt{\frac{q N}{1.5 a_o t_k (1 + \gamma)}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Dónde:

N = Número de pisos de la estructura.

t_k = Resistencia a cortante de los paneles de mampostería que, si no existe la posibilidad de obtener dicho valor mediante ensayos estándar de laboratorio, pueden adoptarse los recomendados en la siguiente tabla:

Tabla 3. Valores recomendados de esfuerzo cortante máximo para paneles de mampostería.

Material	Esfuerzo Cortante (T/m^2)
Ladrillo macizo, calidad regular	9
Piedra mal tallada	2
pedra bien tallada	8
Ladrillo macizo, buena calidad	18
Bloque ladrillo, mortero cemento	18
Mampostería nueva, ladrillo macizo	20
Mampostería nueva, bloque macizo	20
Mampostería nueva, ladrillo/bloque hueco	18

Fuente: (Yépez Moya, Barbat, & Canas, 1995)

Para el resto de parámetros de la ecuación se establecen las siguientes expresiones:

$$A = \min (A_x ; A_y) \quad \text{Ecuación 2}$$

$$B = \max (A_x ; A_y) \quad \text{Ecuación 3}$$

$$a_o = \frac{A}{A_t} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$\gamma = \frac{B}{A} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$q = \frac{(A+B)h}{A_t} P_m + P_s \quad \text{Ecuación 6}$$

Dónde:

A_t = área total cubierta en planta (m^2).

A_x, A_y = áreas totales resistente de muros en la dirección X y Y (m^2).

h = altura promedio entre pisos (m).

P_m = peso específico de la mampostería (T/m^3).

P_s = peso por unidad de área de forjado (T/m^2).

Cuando los paneles resistentes no siguen las direcciones ortogonales X o Y, si no que forman un ángulo β diferente de cero con dichos ejes, los valores de A_x y de A_y se evalúan multiplicando dichas áreas por $(\cos \beta)^2$.

Como puede observarse, el valor de q es el peso promedio de un piso por unidad de superficie cubierta, como contribución tanto del peso de los paneles como del peso de los forjados.

Para el parámetro C se fija un valor arbitrario del coeficiente sísmico: $\bar{C} = 0.4$, a fin de calcular el valor normalizado

$$\alpha = C / \bar{C} \quad \text{Ecuación 7}$$

Que permite la calificación apropiada de la estructura:

- A. Estructura con un valor de $\alpha \geq 1$.
- B. Estructura para valores comprendidos entre $0.6 \leq \alpha < 1$.

- C. Estructuras para valores comprendidos entre $0.4 \leq \alpha < 0.6$.
- D. Estructura con valor de $\alpha < 0.4$.

4. Posición del edificio y de la cimentación

Parámetro cualitativo que, mediante una inspección a simple vista, evalúa la influencia del terreno y de la cimentación. El análisis se limita a la consistencia y pendiente del terreno, a la posible diferencia entre las cotas de cimentación y a la presencia de terraplene no equilibrados simétricamente. La calificación debe realizarse de acuerdo con la siguiente información:

- A. Edificio cimentado sobre terreno estable con pendiente inferior al 10% y con todo el plano de cimentación a una misma cota, no existiendo además terraplenes de tierras no equilibradas.
- B. Edificio cimentado sobre roca con pendiente entre el 10% y el 30% o sobre suelo blando con pendiente entre el 10% y el 20%. La diferencia máxima entre las cotas de cimentación no supera un metro y no existen terraplenes no equilibrados.
- C. Edificio cimentado sobre suelo blando con pendiente entre el 20% y el 30% o sobre terreno rocoso con pendiente entre el 30% y el 50%. La diferencia máxima entre las cotas de cimentación no supera un metro y existen terraplenes no equilibrados.
- D. Edificio cimentado sobre suelo blando con pendiente no menor al 30% o sobre terreno rocoso con pendiente no menor a 50%. Las diferencias entre las cotas de cimentación superan un metro y existen terraplenes no equilibrados.

5. Forjados horizontales

Parámetro que evalúa el buen funcionamiento de los elementos resistentes verticales. La calificación debe realizarse de acuerdo con la siguiente información:

- A. Edificios con sistemas de forjados de cualquier naturaleza cumpliendo las condiciones siguientes:
 - 1. Deformabilidad despreciable en el plano del forjado.
 - 2. Conexión eficiente entre sistema de forjado y panel.
 - 3. Ausencia de planos a desnivel.
- B. Edificios con sistemas de forjados como los del tipo A pero que no cumplen la condición 3.

- C. Edificios con sistemas de forjados como los del tipo A pero que no cumplen con las condiciones 1 y 3.
- D. Edificios con sistemas de forjados como los de cualquier naturaleza, sin cumplir ninguna de las condiciones de los del tipo A.

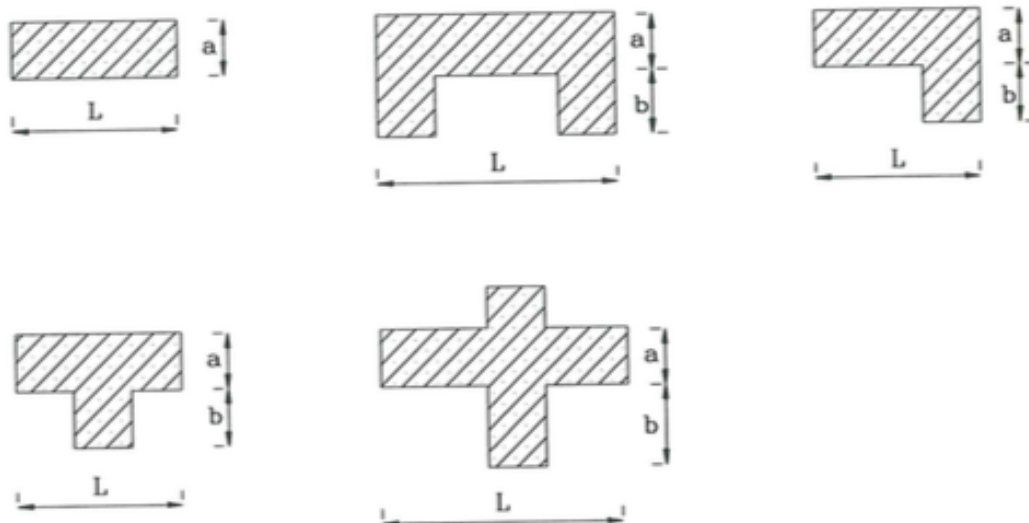
6. Configuración en planta

Parámetro que evalúa la forma y la disposición en planta de los edificios ya que es determinante su comportamiento ante excitaciones sísmicas; se asignan los valores más altos cuando las dimensiones en planta se asemejan a secciones cuadradas sin protuberancias adicionales y asignando valores bajos las secciones excesivamente alargadas o con protuberancias demasiado grandes, que pueden provocar problemas de torsión en planta y concentraciones de esfuerzos en las esquinas y en los elementos más alejados de los centros de gravedad y rigidez. Se evalúa la condición de simetría en planta de las estructuras a través de las siguientes relaciones:

$$\beta_1 = a/L \quad \text{Ecuación 8}$$

$$\beta_2 = b/L \quad \text{Ecuación 9}$$

Ilustración 10 Parámetro evaluador de la configuración en planta.



Fuente: (Yépez Moya, Barbat, & Canas, 1995)

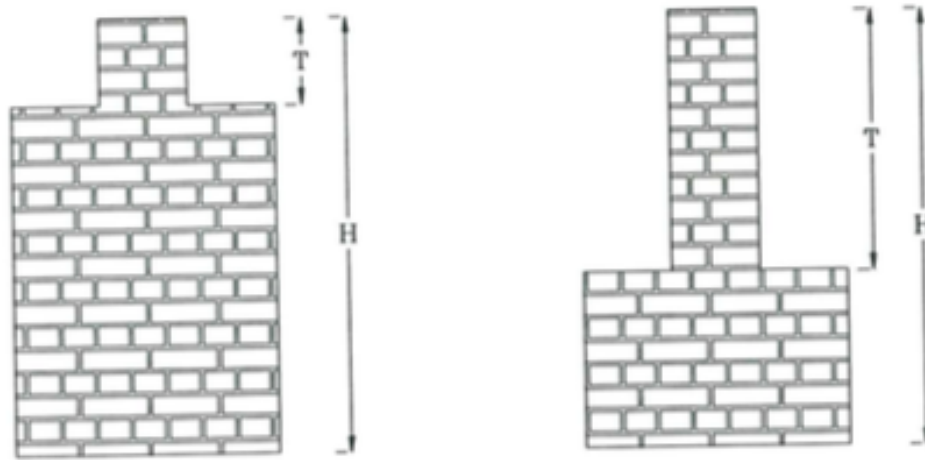
La calificación debe realizarse de acuerdo con la siguiente información:

- A. Estructura con $\beta_1 \geq 0.8$ ó $\beta_2 \leq 0.1$.
- B. Estructura con $0.6 \leq \beta_1 < 0.8$ ó $0.1 < \beta_2 \leq 0.2$.
- C. Estructura con $0.4 \leq \beta_1 < 0.6$ ó $0.2 < \beta_2 \leq 0.3$.
- D. Estructura con $\beta_1 < 0.4$ ó $0.3 < \beta_2$.

7. Configuración en elevación

Parámetro que evalúa la irregularidad en elevación de edificios de mampostería que suele estar determinada por la presencia de torretas y porches. Para evaluar la presencia de torretas puede recurrirse a la figura ..., en la cual se muestran las dimensiones consideradas para los parámetros H y T, con cuya relación se procede a la evaluación de este parámetro.

Ilustración 11 Parámetro Evaluador de la Configuración en Elevación.



Fuente: (Yépez Moya, Barbat, & Canas, 1995)

Adicionalmente, se consideran factores como la variación de la masa δM entre pisos sucesivos $\left(\pm \frac{\delta M}{M} (\%) \right)$, donde M es la masa del piso inferior, o también la variación entre superficies δA de pisos consecutivos, especialmente para evaluar porches $\left(\pm \frac{\delta A}{A} (\%) \right)$, donde A es la superficie de piso inferior. Se considerará para la calificación el factor más desfavorable de la siguiente manera:

- A. Estructura con $-\delta M/M < 10\%$.
- B. Estructura con una superficie de porche menor al 10% ó con $10\% \leq -\delta M/M < 20\%$.
- C. Estructura con una superficie de porche entre el 10% y el 20% ó con $-\delta M/M > 20\%$ ó $T/H < 2/3$.
- D. Estructura con una superficie de porche mayor al 20%, con $\delta M/M > 0$ ó con $T/H > 2/3$.

Se puede apreciar fácilmente que el método califica favorablemente la inexistencia de variaciones excesivas en la masa de dos pisos consecutivos o en la superficie del porche. Para su mejor evaluación se introduce también un tercer factor T/H , que toma en cuenta la variación de las dimensiones en altura.

$$T/H \quad \text{Ecuación 10}$$

8. Espaciamiento máximo entre muros

Parámetro que tiene en cuenta el posible espaciamiento excesivo entre muros ubicados transversalmente a los muros maestros. La clasificación se define en función del factor L/S , donde S es el espesor del muro maestro y L es el espaciamiento máximo entre muros transversales; La calificación debe realizarse de acuerdo con la siguiente información:

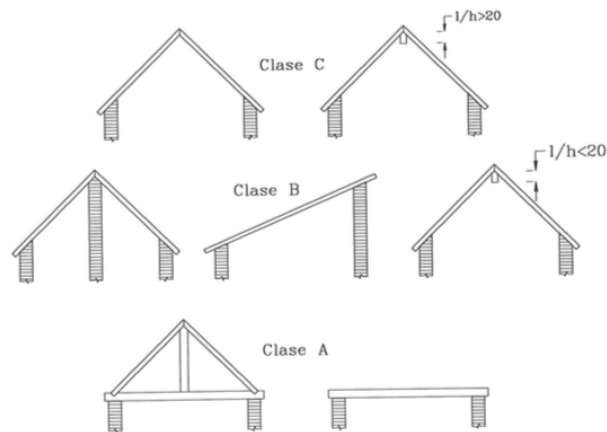
- A. Estructura con valores de $L/S < 15$.
- B. Estructura con valores de $15 \leq L/S < 18$.
- C. Estructura con valores de $18 \leq L/S < 25$.
- D. Estructura con valores de $L/S \geq 25$.

$$\text{Relación: } L/S \quad \text{Ecuación 11}$$

9. Tipo de cubierta

Parámetro que tiene en cuenta la influencia del tipo de cubierta en el comportamiento sísmico de una estructura. Factores como la tipología y el peso determinan dicho comportamiento. El peso ha sido tomado en cuenta en el parámetro 3, y la tipología se analizará en este parámetro con ayuda de la figura.

Ilustración 12. Tipología de Cubiertas.



Fuente: (Yépez Moya, Barbat, & Canas, 1995)

La calificación debe realizarse de acuerdo con la siguiente información:

- A. Presencia de cubierta estable con vía cumbrera o de soporte. Edificio con cubierta plana.
- B. Presencia de cubierta estable y bien conectada a los paneles de mampostería, sin viga de soporte. Edificio con cubierta parcialmente estable provista de viga de soporte.
- C. Presencia de cubierta inestable, pero con viga de soporte.
- D. Presencia de cubierta inestable sin viga de soporte.

10. Elementos no estructurales

Parámetro que tiene en cuenta el efecto de los elementos que no forman parte del sistema estructural y que cuya caída ante un evento sísmico pueda generar pérdidas humanas. No se hace distinción entre los dos primeros niveles de calificación,

expresándolos de la siguiente forma:

A/B. Edificio sin cornisas, parapetos ni balcones. Edificio con cornisas bien conectadas a los paneles, con chimeneas de pequeña dimensión y bajo peso. Edificio con balcones que son extensiones de los forjados estructurales.

C. Edificios con elementos externos a la estructura, de pequeña dimensión y mal conectados a la estructura principal.

D. Edificio con chimeneas o cualquier elemento externo a la estructura principal, de peso considerable y mal conectado a la estructura que pueden caer en caso de terremotos. Edificio con balcones sin conexión a los diafragmas o con balcones construidos en etapas posteriores a la de la construcción de la estructura, existiendo por ello un vínculo deficiente de dichos elementos a los muros de mampostería.

11. Estado de conservación

Parámetro que califica el estado de conservación en que se encuentra la estructura; La calificación debe realizarse de acuerdo con la siguiente información:

- A. Muros de mampostería en buenas condiciones, sin daño visible.
- B. Muros con presencia de agrietamiento, tipo capilar no extendido en todo el muro, con la excepción de los casos en que dicho agrietamiento ha sido provocado por terremotos.
- C. Muros con grietas de mediano tamaño (2 a 3 mm de espesor) o con agrietamiento tipo capilar de origen sísmico. Estructuras que no presentan agrietamiento, pero se caracterizan por un estado mediocre de conservación de los muros.
- D. Muros que presentan un grave deterioro en las características físicas de los materiales de construcción o con agrietamiento de espesor superior a 3 mm.

3.2.12.2. Cuantificación del índice de vulnerabilidad (I_V)

Para la determinación del índice de vulnerabilidad (I_V) se realiza a través de la siguiente expresión:

$$I_V = \sum_{i=1}^{11} (K_i W_i) \quad \text{Ecuación 12}$$

Los valores de K_i y W_i son asignados una vez todas las calificaciones (A, B, C o D) de cada uno de los 11 parámetros estén analizados para la estructura, de acuerdo a una escala propuesta por los autores del método.

Tabla 4. Escala numérica del índice de vulnerabilidad IV para las estructuras de mampostería no reforzada.

Num	Parámetro	K_iA	K_iB	K_iC	K_iD	Peso W_i
1	Organización del sistema resistente	0	5	20	45	1.0
2	Calidad del sistema resistente	0	5	25	45	0.25
3	Resistencia convencional	0	5	25	45	1.5
4	Posición edificio y cimentación	0	5	25	45	0.75
5	Diafragmas horizontales	0	5	15	45	1.0
6	Configuración en planta	0	5	25	45	0.5
7	Configuración en elevación	0	5	25	45	1.0
8	Separación máxima entre muros	0	5	25	45	0.25
9	Tipo de cubierta	0	15	25	45	1.0
10	Elementos no estructurales	0	0	25	45	0.25
11	Estado de conservación	0	5	25	45	1.0

Fuente: (Yépez Moya, Barbat, & Canas, 1995)

La asignación del calificativo a cada uno de los 11 parámetros estará sustentada con el cumplimiento de las condiciones que indica la metodología, y que de forma general se puede interpretar de la siguiente manera:

Tabla 5. Valores Nivel de Vulnerabilidad Sísmica.

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

Fuente: (Yépez Moya, Barbat, & Canas, 1995)

El valor de del índice de vulnerabilidad (I_V) es de gran utilidad, ya que identifica las estructuras en peligro de colapso, y puede ser utilizado en la toma de decisiones de cualquier plan de mitigación de riesgo en la zona de estudio.

4. METODOLOGÍA

Para evaluar la vulnerabilidad sísmica de las estructuras de mampostería no reforzada en el barrio Surinama de Tunja, Boyacá se desarrolló la investigación conforme a las siguientes actividades:

4.1. Investigación bibliográfica: La información suministrada por el tutor de la investigación, búsquedas propias de libros y documentos sirvieron como base de la investigación, además de afianzar conocimientos generales sobre el tema.

4.2. Selección zona de estudio: Para su selección se debatió con el tutor trabajar de acuerdo a la información obtenida de la tesis “Tipología Estructural de las Edificaciones del Barrio Las Quintas, Parques del Nogal y Surinama de la Ciudad De Tunja”, en la que se establece la tipología estructural conforme a los requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente de los barrios anteriormente nombrados; Con esta información realizar el análisis de vulnerabilidad sísmica a las viviendas que tienen como sistema estructural mampostería no reforzada en el barrio Surinama, a través de la metodología del índice de vulnerabilidad de Benedetti y Petrini ya que estas estructuras son predominantes en el barrio.

4.3. Procesamiento de datos: Para el análisis de la información obtenida en las encuestas realizadas por la anterior tesis nombrada, se tabulo una hoja de cálculo de Excel en donde se establecen los 11 parámetros del método del índice de vulnerabilidad para clasificar y evaluar la calidad de la estructura.

4.4. Elaboración de la base de datos: De acuerdo al análisis de la información recopilada, mediante la compilación de datos se tomó como herramienta de trabajo el software de información geográfica ArcGis para crear un mapa que permita identificar la vulnerabilidad de las estructuras presentes en el barrio Surinama de la ciudad de Tunja.

4.5. Desarrollo y entrega del libro final.

4.6. Defensa trabajo de grado.

5. ANÁLISIS Y RESULTADOS

El barrio Surinama se encuentra al suroccidente de la ciudad de Tunja entre las carreras 11a y 14, y las calles 1c y 3ª.

Para el desarrollo de este trabajo se elabora una hoja de cálculo en Excel donde se crean las funciones lógicas necesarias para la aplicación del método del índice de vulnerabilidad de Benedetti y Petrini; para así facilitar la evaluación de cada parámetro, como parte inicial para los parámetros 3,6,7 y 8 se formularon cálculos que permitieron la calificación de los mismos ya que estos se evalúan de manera cuantitativa y para los parámetros 1,2,4,5,9,10 y 11 se tiene que su evaluación se realiza de manera descriptiva y objetiva, en donde se tiene en cuenta las condiciones actuales de cada estructura (material de construcción, homogeneidad en los paneles de Mampostería, tipo de cubierta, etc. Permitiendo una buena aproximación a la realidad.

Para determinar el índice de vulnerabilidad sísmica de las viviendas del barrio Surinama de la ciudad de Tunja, por medio del método de Benedetti y Petrini, en primera medida nos basamos en la tesis “Tipología Estructural de las Edificaciones del Barrio Las Quintas, Parques del Nogal y Surinama de la Ciudad De Tunja”, luego se realizó la observación de las estructuras objeto de estudio, utilizando como herramienta el sitio web: *google maps*, otro de los medios utilizados para la observación, fue la inspección visual en el sitio de estudio, teniendo en cuenta las problemáticas de salud pública acaecidas en el último año y que siguen vigentes en la actualidad, se optó por realizar un recorrido al barrio Surinama en un vehículo de nuestra propiedad, cumpliendo todos los protocolos de bioseguridad ordenados por el gobierno nacional para hacer un levantamiento de información y poder verificar si las imágenes obtenidas por *google maps*, concordaban y no tenían ningún cambio, esto con el fin de identificar las condiciones y características estructurales de las edificaciones para posteriormente; extraer y recopilar la información necesaria para la parametrización descrita en el método de vulnerabilidad sísmica de Benedetti y Petrini, evaluando finalmente las viviendas mencionadas anteriormente.

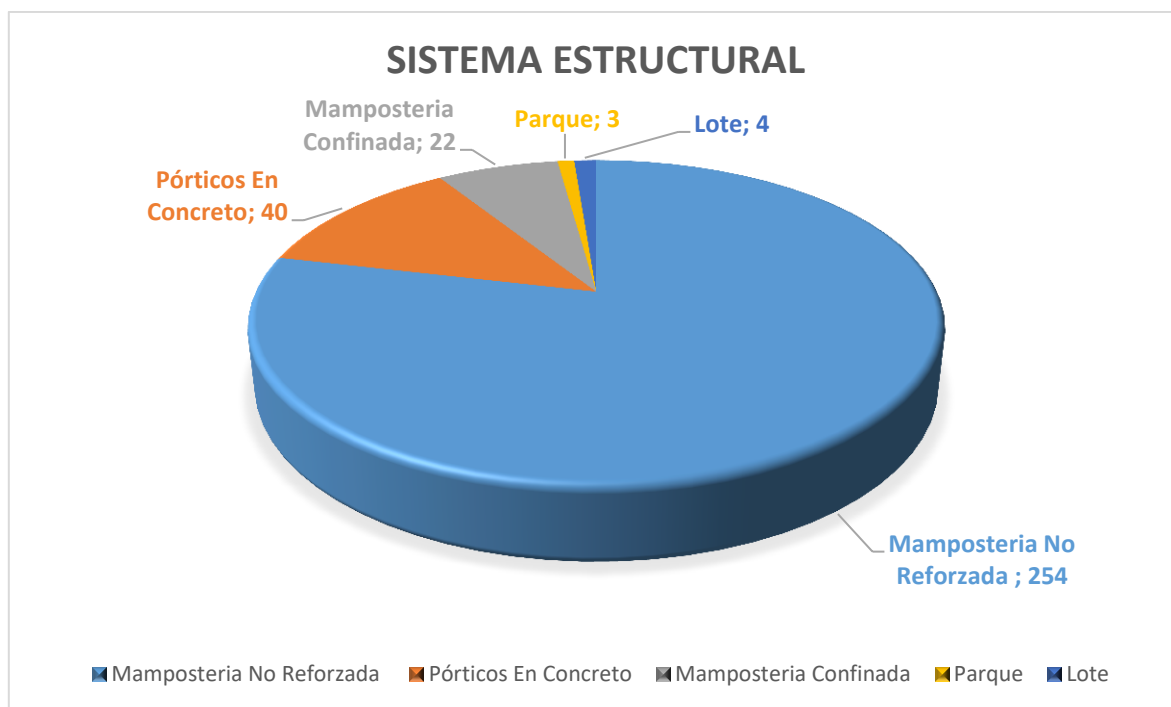
A continuación, se presentan los sistemas estructurales encontrados en el barrio Surinama

Tabla 6. Tipologías Estructurales Existentes En El Barrio Surinama.

SISTEMA ESTRUCTURAL	N°
Mampostería No Reforzada	254
Pórticos En Concreto	40
Mampostería Confinada	22
Parque	3
Lote	4
Total	323

Fuente: Autor

Ilustración 13. Gráfico Sistema estructural Barrio Surinama.



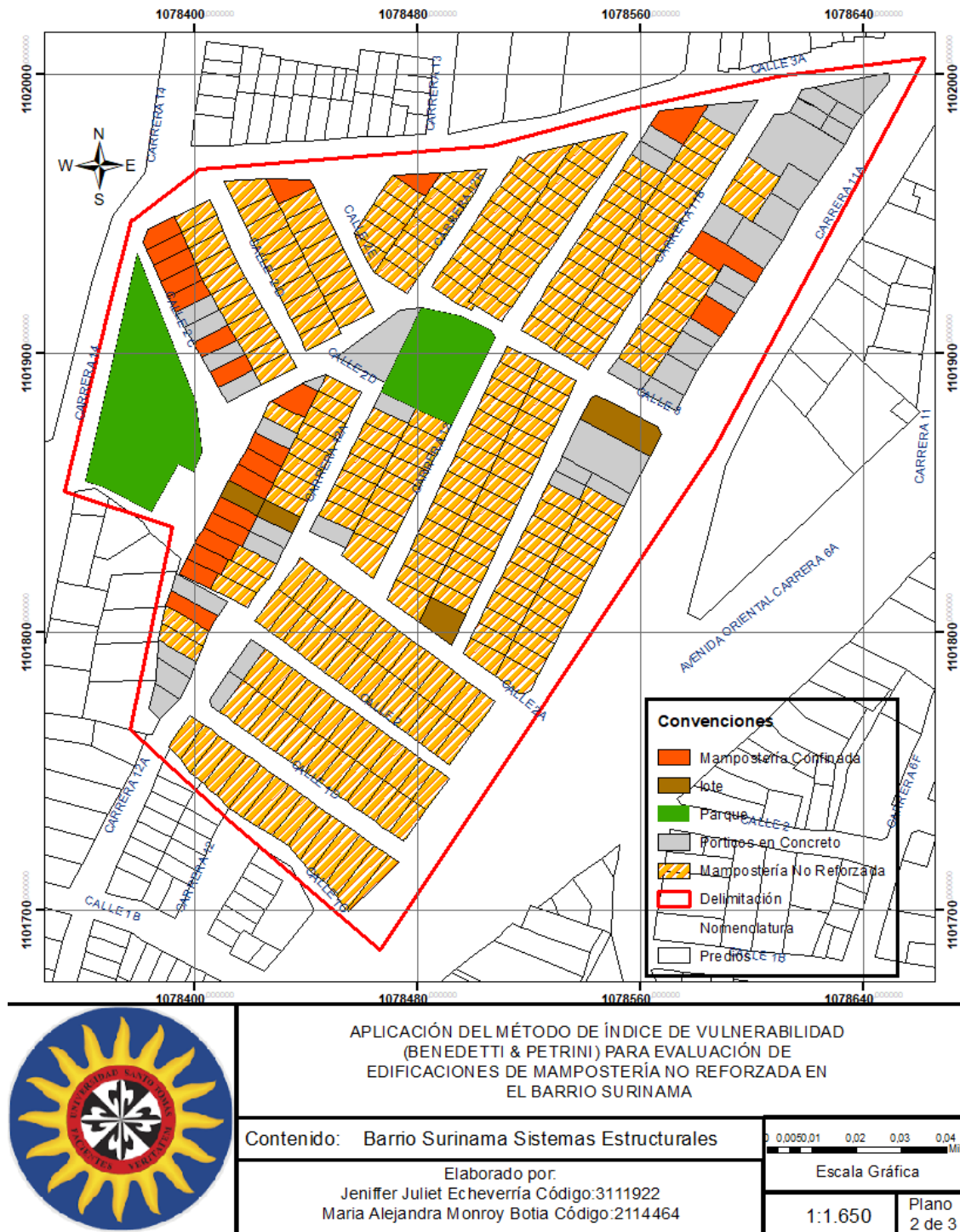
Fuente: Autor

Como se observa en la gráfica, el sistema estructural predominante en el barrio Surinama es la mampostería no reforzada con 254 viviendas, seguida de pórticos en concreto con 40 viviendas y finalmente la mampostería confinada con 22 viviendas. Dentro de este análisis también se determinó la existencia de 7 lotes de los cuales 3, se destinaron para uso de parques públicos, de esta manera y según los investigado la metodología investigativa utilizada para este trabajo solo se aplica para sistemas estructurales en Mampostería no reforzada y hormigón armado, siendo el primer sistema estructural nuestro objeto de estudio.

Para la aplicación del método de vulnerabilidad sísmica de Benedetti y Petrini, como se dijo anteriormente, solo se tendrá en cuenta el sistema de mampostería no reforzada, ya que como su nombre lo indica, este sistema estructural reviste un serio riesgo ante movimientos telúricos, puesto que su construcción no está reforzada, por lo que requiere imperiosamente de una evaluación para así determinar si son vulnerables o no ante la ocurrencia de un sismo.

Otro de los motivos por los cuales se aplica el método anteriormente enunciado solo para las viviendas con sistema estructural en mampostería no reforzada, es que para evaluar mediante el método de vulnerabilidad sísmica de Benedetti y Petrini viviendas construidas con el sistema estructural de pórticos, es necesario realizar un estudio más detallado de la estructura, siendo su evaluación meramente cuantitativa, creando conflicto a la hora de su calificación, puesto que por la pandemia actual no es posible realizar una inspección visual minuciosa a las viviendas, de modo que se opta por estudiar solo Mampostería No Reforzada ya que esta se evalúa de forma cualitativa.

Ilustración 14. Plano sistemas estructurales Barrio Surinama.



Fuente: Autor

Luego de aplicar el método de vulnerabilidad sísmica de Benedetti y Petrini, evaluar los 11 parámetros para las 254 viviendas con sistema estructural en mampostería no reforzada y analizar los resultados obtenidos para las mismas, se encontró que la calificación de las viviendas se encuentra entre los 33,8 y 126,3 puntos. Al revisar los valores máximos y mínimos que dispone el método, se encontró que este se posiciona en el nivel bajo, ya que este todas las viviendas evaluadas se encuentran entre los 0 y 127,5 puntos, lo que nos indica que estas viviendas se no se consideran vulnerables en el caso de que se presente un sismo.

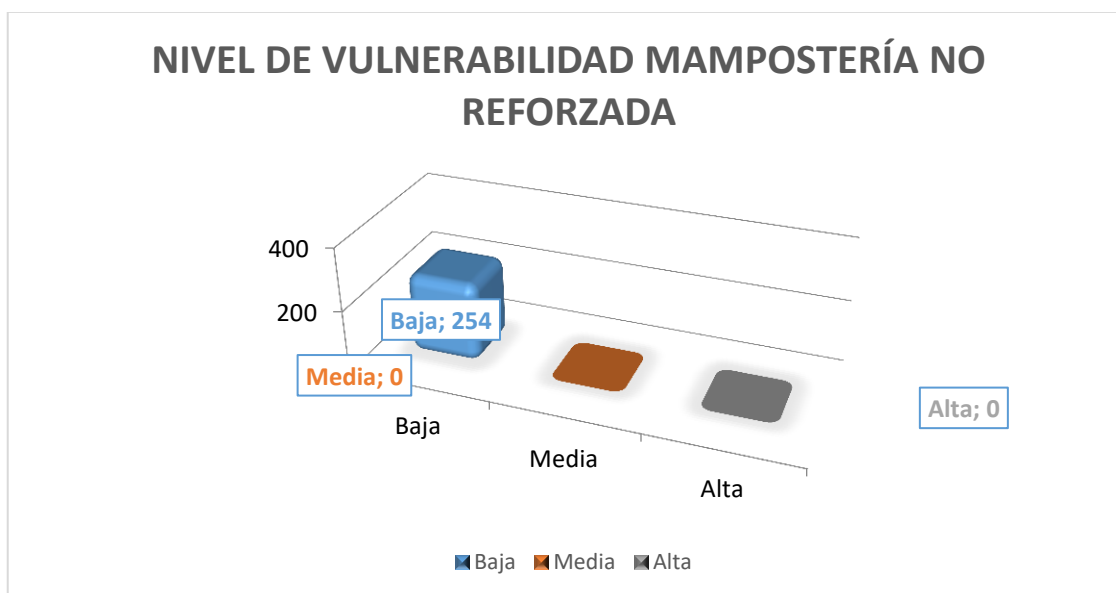
A continuación, se presentan los valores generados por la calificación de las viviendas y el plano en donde se identifican las viviendas con grado de vulnerabilidad sísmica baja.

Tabla 7. Nivel de vulnerabilidad Sísmica.

Vulnerabilidad	N°
Baja	254
Media	0
Alta	0
Total	254

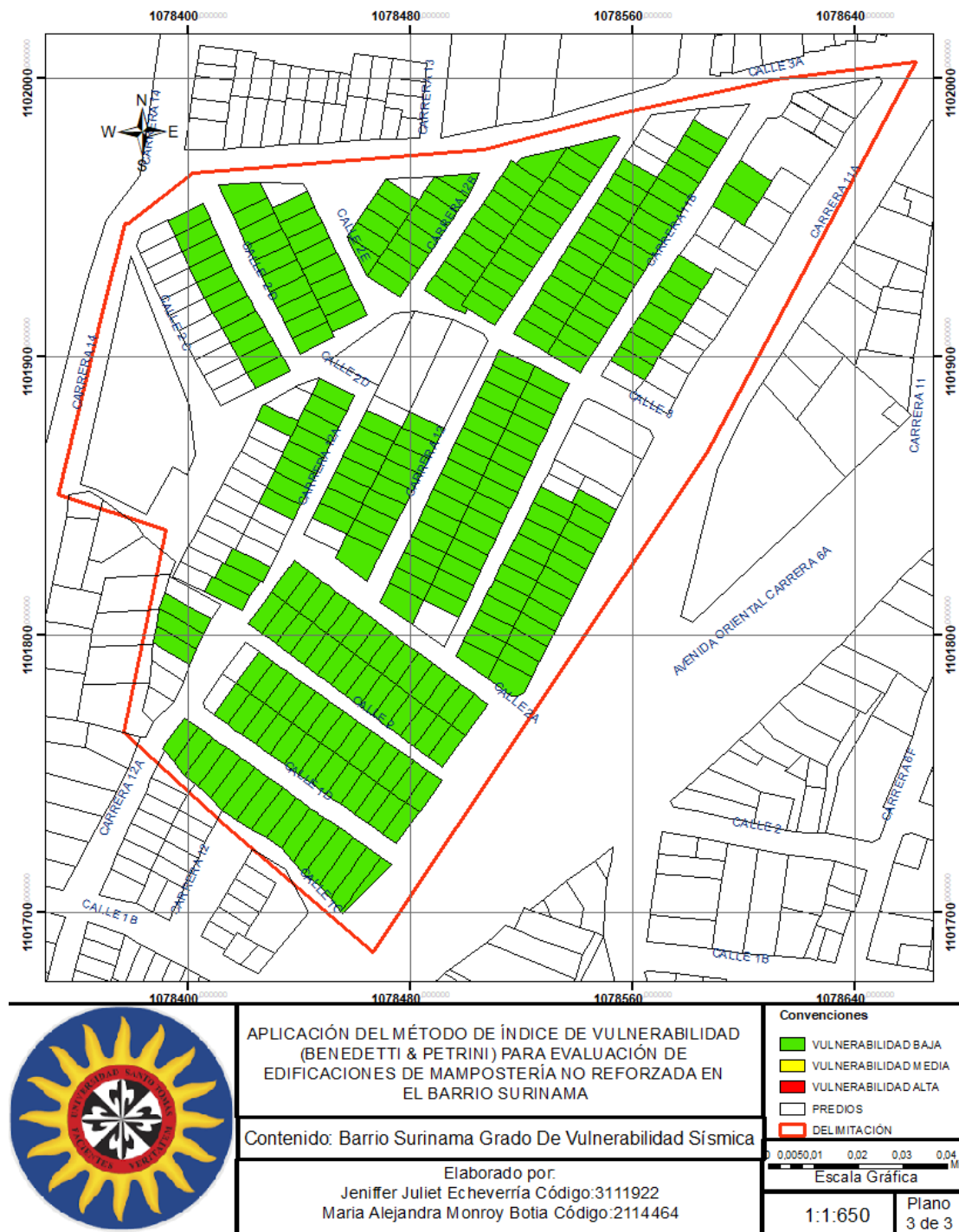
Fuente: Autor

Ilustración 15. Gráfico Nivel de vulnerabilidad Barrio Surinama.



Fuente: Autor

Ilustración 16. Plano Grado de vulnerabilidad Sísmica Barrio Surinama.



Fuente: Autor

5.1. Aplicación del método del índice de vulnerabilidad de Benedetti y Petrini a vivienda tipo

Ilustración 17. Casa S122 barrio Surinama.



Fuente. Autor

1. Organización del sistema resistente

Evaluación: la casa S122 del barrio Surinama no cumple con las especificaciones de la Norma Sismo Resistente, teniendo en cuenta que el plano obtenido de la casa tipo específica que esta fue construida a mediados de 1973, también se observa que presenta vigas de amarre con buena conexión en los muros en todos sus niveles. Por lo tanto, presenta una calificación de “C”.

Tabla 8.Evaluación de parámetro 1.

PARAMETRO 1	
CLASE	C
VALOR	20
IMPOTANCIA (Wi)	1
CLASIFICACIÓN	20

Fuente: Autor

2. Calidad del sistema resistente. Tipología estructural

Evaluación: la casa S122 del barrio Surinama de acuerdo a las especificaciones del plano obtenido, se determina que el tipo de material utilizado para la construcción de la vivienda es ladrillo tipo tolete de buena calidad, por lo que se deduce que posee unidades homogéneas de tamaños constantes a lo largo de todo el muro de mampostería. Por lo tanto, presenta una calificación de “A”

Tabla 9.Evaluación del parámetro 2.

PARAMETRO 2	
CLASE	A
VALOR	0
IMPOTANCIA (Wi)	0,25
CLASIFICACIÓN	0

Fuente: Autor

3. Resistencia convencional

La calificación del parámetro se evalúa a través del coeficiente sísmico C, definido como la relación entre la fuerza máxima resistente horizontal y el peso del edificio, descrito por la siguiente ecuación:

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

Dónde:

Tabla 10. Datos iniciales para la resistencia convencional.

Dónde:		Para S12
N	Número de pisos de la estructura.	2
t_k	Resistencia a cortante del muro de mampostería (T/m^2) .	18
A_t	Área total cubierta en planta (m^2).	61,61
A_x	Área total resistente de muros en la dirección X (m^2).	56,60
A_y	Área total resistente de muros en la dirección Y (m^2).	98,64
h	Altura promedio entre pisos (m).	2,3
P_m	peso específico de la mampostería (T/m^3)	1,85
P_s	Peso por unidad de área de forjado (T/m^2) .	0,60
C	coeficiente de la zona sísmica	0,2

Fuente: Autor

Nota:

- Para el cálculo de la resistencia a cortante de los muros de mampostería (t_k) de no obtener dicho valor mediante ensayos estándar de laboratorio, pueden adoptarse los recomendados en la siguiente tabla:

Tabla 11. Valores recomendados de esfuerzo cortante máximo para paneles de mampostería.

Material	Esfuerzo Cortante (T/m^2)
Ladrillo macizo, calidad regular	9
Piedra mal tallada	2
piedra bien tallada	8
Ladrillo macizo, buena calidad	18
Bloque ladrillo, mortero cemento	18
Mampostería nueva, ladrillo macizo	20
Mampostería nueva, bloque macizo	20
Mampostería nueva, ladrillo/bloque hueco	18

Fuente: (Yépez Moya, Barbat, & Canas, 1995)

- Para el coeficiente de la zona sísmica en donde está construida la estructura, en este caso el barrio Surinama de la ciudad de Tunja, nos dirigimos a la Norma Sismo Resistente colombiana NSR-10 al título A, tabla A.2.3-2

Ilustración 18. Datos iniciales para la resistencia convencional.

Ciudad	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica
Sincedejo	0.10	0.15	Intermedia
Tunja	0.20	0.20	Intermedia
Valledupar	0.10	0.10	Baja
Villavicencio	0.35	0.30	Alta
Yopal	0.30	0.20	Alta

Fuente: (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010)

Cálculos:

Tabla 12. Área resistente en la dirección X e Y Primera Planta.

CASA S12	MUROS EN DIRECCIÓN X			MUROS EN DIRECCIÓN Y		
	L	h	L*h	L	h	L*h
planta 1	6,45	2,3	14,835	10,5	2,3	24,15
	1,16	2,3	2,668	8,25	2,3	18,975
	0,25	2,3	0,575	1,08	2,3	2,484
	1,9	2,3	4,37	1,08	2,3	2,484
	0,5	2,3	1,15	2,4	2,3	5,52
	0,4	2,3	0,92	TOTAL		53,613
	TOTAL		24,518			

Fuente: Autor

This is a detailed architectural floor plan of a house. The overall dimensions are 6.45m wide and 14.00m deep. The plan includes the following rooms and features:

- PATIO DE ROPAS:** Located at the top, measuring 3.00m by 3.00m.
- COMEDOR:** The dining area, measuring 2.80m by 2.00m.
- COCINA:** The kitchen, measuring 2.00m by 0.85m, equipped with a stove, sink, and refrigerator.
- SALA:** The living room, measuring 4.40m by 2.80m.
- JARDIN:** A garden area at the bottom, measuring 3.35m by 2.80m, with several downward-pointing arrows indicating landscaping or drainage.
- GARAJE:** A garage area on the right side, measuring 2.00m by 2.80m.
- Staircase:** A central staircase with a width of 1.00m, connecting the ground floor to an upper level.
- Dimensions:** Various smaller dimensions are provided for walls, doorways, and furniture placement, such as 0.15m, 0.70m, 0.25m, 1.15m, 0.80m, 0.65m, 0.80m, 1.90m, 0.24m, and 0.25m.

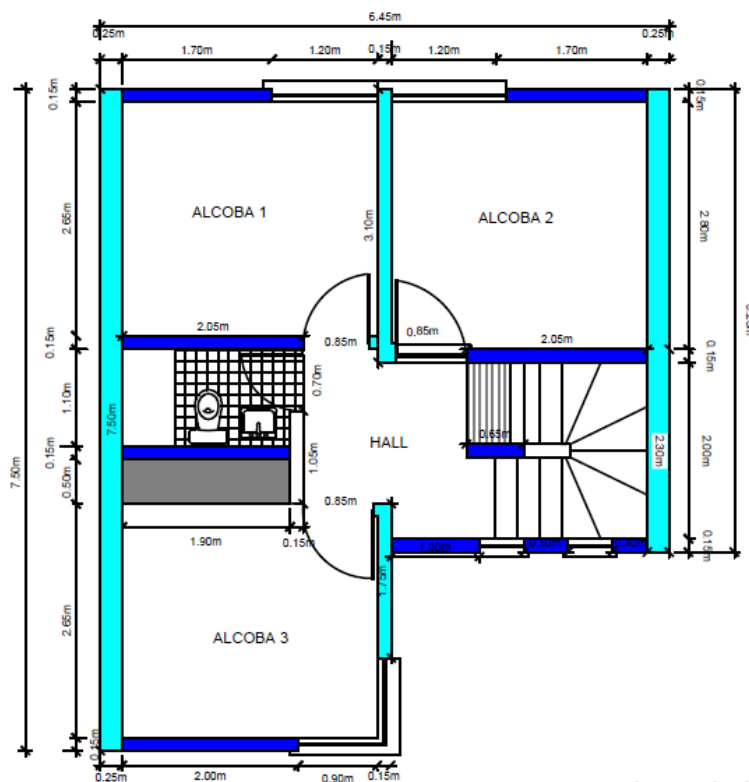
64

Tabla 13. Área resistente en la dirección X e Y Primera Planta.

CASA S12	MUROS EN DIRECCIÓN X			MUROS EN DIRECCIÓN Y		
	L	h	L*h	L	h	L*h
planta 2	1,7	2,3	3,91	7,5	2,3	17,25
	1,7	2,3	3,91	1,05	2,3	2,415
	2,05	2,3	4,715	3,1	2,3	7,13
	2,05	2,3	4,715	1,75	2,3	4,025
	1,9	2,3	4,37	0,925	2,3	2,1275
	0,65	2,3	1,495	5,25	2,3	12,075
	1	2,3	2,3	TOTAL		45,0225
	0,5	2,3	1,15			
	0,4	2,3	0,92			
	2	2,3	4,6			
	TOTAL		32,085			

Fuente: Autor

Ilustración 20. Plano segunda planta casa tipo Barrio Surinama.



Fuente: Elaboración propia con planos originales proporcionados por el Ing. Wilson Medina

Tabla 14. Área total resistente en la dirección X e Y.

Área total resistente en la dirección X e Y		
Muros	Ax	Ay
Total	56,60	98,64

Fuente: Autor

$$A = \min (A_x; A_y) \longrightarrow 57,16 \text{ m}^2$$

$$B = \max (A_x; A_y) \longrightarrow 91,48 \text{ m}^2$$

$$a_o = \frac{A}{A_t}$$

$$a_o = \frac{56,60 \text{ m}^2}{61,61 \text{ m}^2}$$

$$a_o = 0,9186$$

$$\gamma = \frac{B}{A}$$

$$\gamma = \frac{98,64 \text{ m}^2}{56,60 \text{ m}^2}$$

$$\gamma = 1,74276$$

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

$$q = \frac{(56,60 \text{ m}^2 + 98,64 \text{ m}^2)2}{61,61 \text{ m}^2} \left(1,85 \left(T/\text{m}^3 \right) \right) + \left(0,60 \left(T/\text{m}^2 \right) \right)$$

$$q = 14,19863$$

$$C = \frac{a_o t_k}{q N} \sqrt{\frac{q N}{1,5 a_o t_k (1 + \gamma)}}$$

$$C = \frac{(0,9186) \left(18 \left(T/\text{m}^2 \right) \right)}{(14,19863) (2)} \sqrt{\frac{(14,19863) (2)}{1,5 (0,9186) \left(18 \left(T/\text{m}^2 \right) \right) (1 + 1,74276)}}$$

$$C = 0,69328$$

Calculo de α para la calificación apropiada del parámetro:

$$\alpha = C / \bar{C}$$

$$\alpha = 0,69328 / 0,2$$

$$\alpha = 0,69328$$

Evaluación: teniendo en cuenta las especificaciones para la calificación del parámetro 3, se determinó que el valor de α es menor que 1, por tal razón nos da una calificación de “A”

Tabla 15.Evaluación Parámetro 3.

PARAMETRO 3	
CLASE	A
VALOR	0
IMPOTANCIA (Wi)	1,5
CLASIFICACIÓN	0

Fuente: Autor

4. Posición del edificio y de la cimentación

Evaluación: de acuerdo a la tesis “*Tipología Estructural de las Edificaciones del Barrio Las Quintas, Parques del Nogal y Surinama de la Ciudad De Tunja*” se establece que la inclinación del terreno para el barrio Surinama es menor al 10%, por lo tanto, se da una calificación de “A”

Tabla 16.Evaluación Parámetro 4.

PARAMETRO 4	
CLASE	A
VALOR	0
IMPOTANCIA (Wi)	0,75
CLASIFICACIÓN	0

Fuente: Autor

5. Forjados horizontales

Evaluación: se observa tanto en el plano como en la zona de estudio (casa S122), una buena conexión entre los forjados horizontales y muros, no se identifica planos a desnivel, por lo que no se cumple con las tres especificaciones de la clase A, por tal razón se da una calificación de “B”

Tabla 17. Evaluación Parámetro 5.

PARAMETRO 5	
CLASE	B
VALOR	5
IMPORTANCIA(Wi)	1
CLASIFICACIÓN	5

Fuente: Autor

6. Configuración en planta

Tabla 18. Valores ancho y largo de la casa S122.

a (m) =	3,3
b (m) =	3,15
L (m) =	10,65

Fuente: Autor

$$\beta_1 = a/L$$

$$\beta_1 = \frac{10,65 \text{ m}}{6,45 \text{ m}}$$

$$\beta_1 = 0,3098$$

$$\beta_2 = b/L$$

$$\beta_2 = \frac{3,15 \text{ m}}{10,65 \text{ m}}$$

$$\beta_2 = 0,2957$$

Evaluación: de acuerdo a los cálculos realizados, la relación largo y ancho de la estructura corresponde a $\beta_1 = 0.3$ $\beta_2 = 0.29$, por lo tanto, da una calificación de “D”

Tabla 19. Evaluación del Parámetro 6.

PARAMETRO 6	
CLASE	D
VALOR	45
IMPOTANCIA (Wi)	0,5
CLASIFICACIÓN	22,5

Fuente: Autor

7. Configuración en elevación

Tabla 20. Relación de Áreas.

Descripción	Valor
Área 1 (m2)	61,61
Area2 (m2)	41,29

Fuente: Autor

- Diferencia de áreas

$$\Delta A = Area1 - Area2$$

$$\Delta A = 61.61m - 41.29m = 20.32m$$

- Relación $\frac{\Delta A}{A}$

$$\frac{\Delta A}{A} = \frac{20.32m}{61.61m} * 100 = 32.98\%$$

Evaluación: según lo observado, la vivienda no tiene ningún tipo de porche y la relación $\frac{\Delta A}{A}$ corresponde a 32.98%; ya que las especificaciones dadas para el parámetro indican que este es mayor al 20%, la clasificación corresponde a “C”

Tabla 21. Evaluación del Parámetro 7.

PARAMETRO 7	
CLASE	C
VALOR	25
IMPOTANCIA (Wi)	1
CLASIFICACIÓN	25

Fuente: Autor

8. Espaciamiento máximo entre muros

Tabla 22. Relación de espaciamiento máximo entre muros y espesor del muro.

L (cm) =	615
S (cm)	20

Fuente: Autor

- La relación $\frac{L}{S}$

$$\frac{L}{S} = \frac{615cm}{20cm} = 30,75$$

Evaluación: según los cálculos realizados, se determinó que la relación $\frac{L}{S}$ corresponde a 30.75, dado que este valor es mayor a 25, se determinó que su clasificación corresponde a “D”

Tabla 23. Evaluación del Parámetro 8.

PARAMETRO 8	
CLASE	D
VALOR	45
IMPOTANCIA (Wi)	0.25
CLASIFICACIÓN	45

Fuente: Autor

9. Tipo de cubierta

Evaluación: para este parámetro se observó en el plano los elementos utilizados para la construcción de las viviendas, en donde se evidencia un tipo de cubierta a dos aguas bien conectada a los paneles de mampostería. Por lo tanto, se da una calificación de “B”

Tabla 24. Evaluación del Parámetro 9.

PARAMETRO 9	
CLASE	B
VALOR	15
IMPOTANCIA (Wi)	1
CLASIFICACIÓN	15

Fuente: Autor

10. Elementos no estructurales

Evaluación: la vivienda no presenta parapetos, cornisas, ni balcones, pero cuenta con una canaleta mal conectada en la parte superior de la segunda planta y un tanque de gran tamaño y pesado, el cual puede provocar daños severos a la estructura y a los residentes de las viviendas ante la ocurrencia de un sismo. Por tal motivo su clasificación de “D”.

Tabla 25. Evaluación del Parámetro 10.

PARAMETRO 10	
CLASE	D
VALOR	45
IMPORTANCIA (Wi)	0,25
CLASIFICACIÓN	11,25

Fuente: Autor

11. Estado de conservación

Evaluación: según lo observado, los muros de mampostería no presentan ningún tipo de lesión o patología en todos sus niveles y su estado de conservación es buena, por lo tanto, se da una calificación de “A”

Tabla 26.Evaluación del Parámetro 11.

PARAMETRO 11	
CLASE	A
VALOR	0
IMPORTANCIA (Wi)	1
CLASIFICACIÓN	0

Fuente: Autor

Tabla 27.Determinación de índice de vulnerabilidad Casa S122.

MAMPOSTERÍA							
N°	PARAMETRO	Ki A	Ki B	Ki C	Ki D	Wi	CALIFICACIÓN
		A	B	C	D	Wi	
1	Organización del Sistema resistente	0	5	20	45	1	20
2	Calidad del Sistema resistente	0	5	25	45	0.25	0
3	Resistencia convencional	0	5	25	45	1.5	0
4	Posición del edificio y cimentación	0	5	25	45	0.75	0
5	Diafragmas horizontales	0	5	15	45	1	5
6	Configuración en planta	0	5	25	45	0.5	22.5
7	Configuración en elevación	0	5	25	45	1	25
8	Distancia máxima entre los muros	0	5	25	45	0.25	11.25
9	Tipo de cubierta	0	15	25	45	1	15
10	Elementos no estructurales	0	0	25	45	0.25	11.25
11	Estado de conservación	0	5	25	45	1	0
						Total	110

Fuente: Autor

Su evaluación se realiza teniendo en cuenta los rangos especificados en el método de Benedetti y Petrini, al tener el valor de la calificación de los 11 parámetros podemos determinar el nivel de vulnerabilidad sísmica del barrio Surinama, donde se verifica los rangos especificados en la siguiente tabla:

Tabla 28. Nivel de Vulnerabilidad Casa S122.

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

Fuente: Autor

Tenemos que para este ejemplo el nivel de vulnerabilidad es de 110,0, en donde al comparar los valores descritos por el método, se identifica que este se encuentra entre los rangos 0 y 127,50 referente a vulnerabilidad Baja, por lo tanto y según el análisis realizado, se determina que esta vivienda posee una vulnerabilidad Baja.

6. CONCLUSIONES

1. EL resultado de la evaluación y calificación de los 11 parámetros del método de vulnerabilidad sísmica de Benedetti y Petrini, realizada para el barrio Surinama de muestra que, de las 254 casas evaluadas con sistema estructural de mampostería no reforzada, 254 presentan un grado de vulnerabilidad baja.
2. Al investigar y leer a profundidad a acerca de la forma en que diferentes autores han trabajado el índice de vulnerabilidad (Benedetti y Petrini), conseguimos generar una demanda de conocimiento, compilar información y así comprender el problema tratado para establecer el punto de partida consolidando de manera adecuada el método.
3. a través del sistema de información geográfica SIG, google maps y la herramienta informática ARCGIS Se generó un mapa para realizar apropiadamente el análisis de la vulnerabilidad sísmica presentada por las casas del barrio Surinama, permitiendo visualizar de manera más sencilla y concreta, la distribución y ubicación de las mismas, indicando que todas se encuentran en vulnerabilidad baja de acuerdo con el trabajo realizado.
4. De acuerdo a los datos obtenidos de la tesis “Tipología Estructural de las Edificaciones del Barrio Las Quintas, Parques del Nogal y Surinama de la Ciudad De Tunja” y a la información recogida en campo se realiza una base de datos en Excel con la evaluación y calificación de los once parámetros del método ya nombrado, permitiendo analizar de manera más sencilla la vulnerabilidad sísmica para el barrio Surinama; La calificación a cada uno de los parámetros del método se realizó con las condiciones reales de las edificaciones teniendo como base los planos de la casa tipo del barrio proporcionados por el archivo municipal de Tunja.
5. Se evidencian que en la evaluación del método del índice de vulnerabilidad no se contemplan ciertos elementos de tipo no estructural, como: humedad, corrosión, desprendimientos, suciedad en fachadas, oxidación, erosión; que al no realizar el debido mantenimiento pueden provocar que la edificación presente un comportamiento irregular ante la ocurrencia de un sismo.
6. La totalidad de las edificaciones presentadas con sistema estructural en mampostería no reforzada, al ser calificadas con el método presentaron un buen

comportamiento, debido principalmente a los materiales con que fueron construidas y al espesor de los muros, que varían entre los 15 y 25cm.

7. Una de las características del barrio Surinama es que sus edificaciones presentan la misma forma estructural, de igual forma se identificó que en la mayoría de viviendas con el paso de los años se les han realizado ampliaciones y modificaciones, sin mantener la homogeneidad a lo largo de los muros.
8. El método evalúa los elementos no estructurales ya que, aunque no forman parte del sistema estructural de la edificación pueden ser una amenaza para la población ante la ocurrencia de un sismo y aún más cuando estos no se encuentran bien conectados a la estructura.

7. RECOMENDACIONES

1. Se requiere una actualización continua de los cambios que ocurran en el barrio para así tener presente las diferentes alteraciones o daños que se presenten en las estructuras, buscando un mejor comportamiento de las edificaciones estudiadas ante la ocurrencia de un sismo.
2. Realizar mantenimientos periódicos tanto en elementos estructurales como en elementos no estructurales, muchos accidentes pueden ser evitados si se corrigen a tiempo las deficiencias causadas por el paso del tiempo.
3. Los entes gubernamentales deben verificar el cumplimiento de los permisos de construcción para que se sean ejecutados de una manera adecuada y de esta forma evitar colapsos.
4. A la hora de realizar la evaluación sísmica por medio del método del índice de vulnerabilidad, es necesario utilizar los planos de la edificación y al mismo tiempo realizar visitas a la zona de estudio para inspeccionar los elementos estructurales detalladamente, ya que se encontró que en varias viviendas se realizaron ampliaciones y modificaciones que pueden generar problemas ante la llegada de un sismo.

8. GLOSARIO

Alturas entre piso: Es la distancia vertical medida entre el terminado de la losa de piso o de nivel de terreno y el terminado de la losa del nivel inmediatamente superior. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010)

Amenaza sísmica: Probabilidad de ocurrencia de un sismo, en un determinado sitio, durante un período de tiempo. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010)

Bloque: Es un tipo de mampostería que tiene huecos. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010)

Cartografía: Disciplina encargada de estudiar los diferentes métodos o sistemas que permiten en un plano una parte o la totalidad de la superficie terrestre. (Centro Sismológico Nacional Universidad de Chile , s.f.)

Casa: Edificación unifamiliar destinada a vivienda. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010)

Colapso: Cualquier condición extrema o interna que incapacita a una estructura o elemento estructural a cumplir la función para la que ha sido diseñada. (Diccionario de Arquitectura y Construcción , s.f.)

Cuantía: Relación entre el área transversal del refuerzo y el área bruta de la sección considerada. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010)

Cumbrera: Superior de una cubierta a dos o más aguas, formada por el vértice de los faldones o vertientes cuando entestan sin viga intermedia. (Diccionario de Arquitectura y Construcción , s.f.)

Diafragma: Elemento estructural, tal como una losa, que transmite las fuerzas inerciales laterales verticales del sistema de resistencia sísmica. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica , 2010)

Ductilidad: Capacidad que tiene un material estructural de resistir, sin fallar, deformaciones que lleven al material estructural más allá del límite elástico, o límite donde las deformaciones son linealmente proporcionales al esfuerzo fuerza aplicada. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010)

Edificación: Es una construcción cuyo uso primordial es la habitación u ocupación por seres humanos. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010)

Elemento estructural: Componente del sistema estructural de la edificación con el fin de poder brindarle resistencia a la misma, cada uno de estos elementos requiere un diseño y posee un nombre que facilita la identificación entre ellos. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010)

Elementos no estructurales: Elementos o componentes de la edificación que no hacen parte de la estructura o su cimentación. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010)

Estructura: Es un ensamblaje de elementos, diseñados para soportar las cargas gravitacionales y resistir las fuerzas horizontales. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010)

Falla geológica: Ruptura, o zona de ruptura, en la roca de la corteza terrestre cuyos lados han tenido movimientos paralelos al plano de ruptura. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010)

Fisuras: Las fisuras son aperturas de carácter superficial que solo ejercen efecto sobre el material que se encarga de recubrir una superficie. (Martinez, 2020)

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. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010)

Grietas: Las grietas son afectaciones en un elemento de construcción. Se trata de un daño más peligroso, puesto que afecta directamente a la función que este elemento constructivo lleva a cabo. (Martinez, 2020)

Intensidad sísmica: Es un parámetro que mide los efectos locales que produce un mismo sismo en diferentes sitios, es decir describe los daños ocasionados en edificios y estructuras, sus consecuencias sobre el terreno y los efectos sobre las personas. (Yépez Moya, Barbat, & Canas, 1995)

Mampostería: Es el sistema de construcción tradicional que consiste en erigir muros y parámetros mediante la colocación manual de los elementos o los materiales que los componen (mampuestos) que pueden ser, por ejemplo: ladrillos, bloques de cemento prefabricados y/o piedras, talladas en formas regulares o no. (Diccionario de Arquitectura y Construcción , s.f.)

Mampostería no reforzada: Es la construcción con base en piezas de mampostería unidas por medio de mortero que no cumple las cuantías mínimas de esfuerzo establecidas para mampostería parcialmente reforzada. Este sistema estructural se

clasifica, para efectos de diseño sísmico resistente, como uno de los sistemas con capacidad de disipación de energía en el rango inelástico (DMI). (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010)

Mitigación: Aplicación de medidas para reducir el impacto negativo que provoca un suceso de origen natural, humano o tecnológico. (Diccionario de Arquitectura y Construcción , s.f.)

Muro estructural: Es un muro, de carga o no, que se diseña para resistir fuerzas horizontales, de sismo o de viento, paralelas al plano del muro. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010)

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. (Piping Specialists International, 2019)

Peligrosidad sísmica: Se entiende por peligrosidad sísmica de una zona cualquier descripción de los efectos provocados por terremotos en el suelo de dicha zona. (Yépez Moya, Barbat, & Canas, 1995)

Planos: Representación gráfica de la futura obra donde se definen con exactitud los materiales y el proceso de fabricación. Estos planos contienen toda la información necesaria y las pautas que se han de seguir para poder construir el proyecto desde las necesidades de instalaciones, si se requiere, como los materiales, pesos y medidas exactas de cada despiece. (Diccionario de Arquitectura y Construcción , s.f.)

Porche: Es un espacio que está cerrado en su sector superior y abierto lateralmente. Puede construirse en un costado, en la parte de atrás o en la zona delantera de un edificio, funcionando como anexo a los ambientes interiores. (Diccionario de Arquitectura y Construcción , s.f.)

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. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010)

Riesgo sísmico: Representa la probabilidad de que una estructura o grupo de estructuras en riesgo, sufra uno o varios grados de daño durante un tiempo de exposición dado. (Yépez Moya, Barbat, & Canas, 1995)

Sistema estructural: Elementos estructurales interconectados que en conjunto cumplen una función específica. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010)

Sismicidad: Ha sido considerada como la distribución espacio–temporal de los terremotos en la tierra (fecha y localización) y sus efectos destructores basados en la recopilación histórica de todos los datos de los sismos que han dado origen a los catálogos sísmicos. (Yépez Moya, Barbat, & Canas, 1995)

Sismo: Vibraciones de la corteza terrestre inducidas por el paso de ondas sísmicas provenientes de un lugar o zona donde han ocurrido movimientos súbitos de la corteza terrestre. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010)

Tolete: Es una unidad de mampostería sólida. Puede ser de arcilla cocida, de concreto o sílice–calcárea. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010)

Vulnerabilidad sísmica: Para una estructura o un grupo de estructuras, se define como el grado del daño debido a la ocurrencia de un movimiento sísmico del terreno de una intensidad determinada. (Yépez Moya, Barbat, & Canas, 1995)

Vulnerabilidad: Es la cuantificación del potencial de mal comportamiento de una edificación con respecto a alguna sollicitación. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010)

Zona de amenaza sísmica: Son regiones del país donde la amenaza sísmica varía con respecto a otras. (Asociación colombiana de ingeniería sísmica, 2010)

9. REFERENCIAS

- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica . (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente; Título E: Casas de uno y dos pisos*. Obtenido de idrd.gov.co: <https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/5titulo-e-nsr-100.pdf>
- Asociación colombiana de ingeniería sísmica. (2010). Prefacio. En ACI, *reglamento colombiano de construcción sismo resistente*. Colombia: asociación colombiana de ingeniería sísmica.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente; Título D: Mampostería Estructural*. Obtenido de idrd.gov.co: <https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/4titulo-d-nsr-100.pdf>
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente; Título A: Requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente*. Obtenido de idrd.gov.co: <https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/titulo-a-nsr-100.pdf>
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente; Título B: Cargas*. Obtenido de idrd.gov.co: <https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/2titulo-b-nsr-100.pdf>
- Asociación colombiana de ingeniería sísmica. (2010). *Reglamento colombiano de construcción sismo resistente*. Colombia: ACI.
- Caballero Guerrero, Á. R. (15 de Julio de 2007). *Determinación de la vulnerabilidad sísmica por medio del método del índice de vulnerabilidad en las estructuras ubicadas en el centro histórico de la ciudad de Sincelejo, utilizando la tecnología del sistema de información geográfica*. Obtenido de Universidad del Norte: <http://manglar.uninorte.edu.co/bitstream/handle/10584/105/92535650.pdf;jsessionid=9326028B34A421E8FDDA3B1FAAEA42D6?sequence=1>
- Carpeta Peña, E. L. (21 de Abril de 2015). *Determinación del índice de vulnerabilidad sísmica de siete viviendas mediante cuatro metodologías en la ciudad de Bogotá*. Obtenido de repository.unipiloto.edu.co: <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/1391>
- Carreño, L., Medina, W., & Rojas, N. (2013). *Estudio preliminar de vulnerabilidad sísmica para la ciudad de Tunja mediante sistemas de información geográfica*. Obtenido de http://www.uptc.edu.co/export/sites/default/eventos/2013/cf/siisg/memorias/documentos/2_15Vulnerabilidad_sismica.pdf

- Centro Sismológico Nacional Universidad de Chile . (s.f.). *Glosario*. Obtenido de sismologia.cl: <http://www.sismologia.cl/links/glosario.html>
- Córrreal, C. (6 de Marzo de 2017). *Boyacá está en riesgo sísmico*. Obtenido de el tiempo: <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/boyaca-esta-en-riesgo-sismico-64680>
- Cueva Flores , C. A. (2 de Marzo de 2017). *Vulnerabilidad sísmica del edificio de la Facultad de Filosofía, Comercio y Administración de la UCE con la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC SE-RE 2015)*. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/9605>:
<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/9605/1/T-UCE-0011-275.pdf>
- Diccionario de Arquitectura y Construcción . (s.f.). *Definiciones* . Obtenido de parro.com.ar: <https://www.parro.com.ar/definicion-de-colapso+estructural>
- Diez, G. (2005). *Diseño Estructural en Arquitectura*. Buenos Aires: Nobuko.
- Gutiérrez, J. (febrero de 2018). *Vulnerabilidad sísmica en estructuras de edificaciones indispensables en santiago de Cali*. Obtenido de universidad militar nueva granada:
<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/17952/GutierrezAcostaJaime2018.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Lantada, M. n. (20 de Junio de 2007). *Evaluación del riesgo sísmico mediante métodos avanzados y técnicas GIS. Aplicación a la ciudad de Barcelona*. Obtenido de Universidad Politécnica de Cataluña: <http://hdl.handle.net/10803/6259>
- López, L. (2015). *Aplicación de herramientas GIS para La cartografía y correlación de datos de ensayos no destructivos en el diagnóstico de edificios históricos*. Obtenido de Universidad Politécnica de Madrid:
<https://www.coam.org/media/Default%20Files/fundacion/tesis-recientes/tesis-recientes/1/tesis-recientes-arquitectura-laura-lopez.pdf>
- Martinez, G. (11 de febrero de 2020). *¿Sabes diferenciar entre Fisuras o Grietas? Aprende a diferenciarlas, tratarlas y prevenirlas*. Obtenido de Ingeniería y Construcción: <https://www.ingenieriaconstruccioncolombia.com/fisuras-o-grietas/>
- Mena Hernández, U. (Julio de 2002). *Evaluación del riesgo sísmico en zonas urbanas* . Obtenido de UPCommons. Portal del coneixement obert de la UPC:
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/93534/01INDICE.pdf>
- Molina, G., & Alfaro, A. (2009). Evaluación de la acción sísmica para Tunja. *Ciencia e ingeniería neogranadina*, 19(2), 17-28. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0124-81702009000200002&script=sci_abstract&tlng=es
- Nisperuza López, D. A. (Noviembre de 2019). *Análisis cualitativo y comparativo del método Benedetti-Petrini y la NRS 2010, desarrollado en edificaciones de uno y*

- dos pisos en el barrio Bijao, municipio del Bagre Antioquia*. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/>: <https://repository.usta.edu.co/handle/1163>
- Pecori Zavaleta, C. G., & Cruz Miranda, O. (02 de Diciembre de 2018). *Estudio de vulnerabilidad sísmica de la I.E Emblemática San Juan de la Ciudad de Trujillo*. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/12867>: <https://core.ac.uk/download/pdf/154354272.pdf>
- Piping Specialists International. (2019). *¿SABES QUE ES PATOLOGÍA ESTRUCTURAL?* Obtenido de psi-sas.com: <http://www.psi-sas.com/sabes-que-es-patologia-estructural/>
- Preciado, A., Rodríguez, Ó., Caro Becerra, J. L., & Lujan Godinez, R. (Noviembre de 2015). *Vulnerabilidad sísmica de viviendas de mampostería no reforzada en el pueblo de Tlajomulco, Jalisco*. Obtenido de Researchgate.net: <https://core.ac.uk/download/pdf/47249693.pdf>
- Quiroga, A. (Enero de 2012). *Evaluación de la vulnerabilidad estructural de edificios del centro de Bogotá utilizando el método del índice de vulnerabilidad*. Obtenido de Pontificia Universidad Javeriana: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/11154/QuirogaMedinaAndresMauricio2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ruiz, A., Aguilar, J. A., & Vidal, F. (Mayo de 2011). *Estimación de la Vulnerabilidad Sísmica de edificaciones del centro histórico de Tapachula, Chiapas*. Obtenido de www.researchgate.net: https://www.researchgate.net/publication/275331077_ESTIMACION_DE_LA_VULNERABILIDAD_SISMICA_DE_EDIFICACIONES_DEL_CENTRO_HISTORICO_DE_TAPACHULA_CHIAPAS_MEXICO
- Segura, O. (2015). *Evaluación de amenaza sísmica en municipios del departamento de Cundinamarca*. Obtenido de universidad distrital Francisco Jose de Caldas: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/3213/1/SeguraHernandezOscarIvan2016.pdf>
- Yépez Moya, F., Barbat, A., & Canas, J. (1995). *Riesgo, peligrosidad y vulnerabilidad sísmica de edificios de mampostería*. Obtenido de UPCommons. Portal del coneixement obert de la UPC: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/27297>
- Yépez, F., Barbat, A., & Canas, J. (1995). *Evaluación probabilista de la vulnerabilidad y riesgo sísmico de estructuras de hormigón armado por medio de simulación*. Obtenido de UPCommons. Portal del coneixement obert de la UPC: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/27736>
- Alcaladía de Tunja. (2019). *Geografía*. Recuperado de: <http://www.tunjaboyaca.gov.co/municipio/geografia>, el 20 de agosto de 2019.
- Google Maps. (2020). *Barrio Surinama*. Recuperado de: <https://www.google.com/maps/place/5%C2%B031'04.2%22N+73%C2%B022'12.4%22>

W/@5.5178386,-

73.3722998,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x0:0x0!8m2!3d5.5178333!4d-

73.3701111?hl=es, el 20 de octubre de 2020.

Servicio Geológico Colombiano. (2019). *Sismo de 1646/04/03*. Recuperado de: <http://sish.sgc.gov.co/visor/sesionServlet?metodo=irAlIntensidadesSismo&idSismo=23>, el 30 de noviembre de 2019.

Sistema Geológico Colombiano. (2019). *Sismo de 1826/06/17*. Recuperado de: <http://sish.sgc.gov.co/visor/sesionServlet?metodo=irAlIntensidadesSismo&idSismo=26>, el 30 de noviembre de 2019.

Sistema Geológico Colombiano. (2019). *Sismo de 1928/11/01*. Recuperado de: <http://sish.sgc.gov.co/visor/sesionServlet?metodo=irAlIntensidadesSismo&idSismo=36>, el 30 de noviembre de 2019.

RCN. (2019). *Temblor de magnitud 6.2 y réplica de 5.7 se registraron en el centro de Colombia*. Recuperado de: <https://noticias.canalrcn.com/bogota/temblor-de-magnitud-62-se-registro-en-el-centro-de-colombia-350829>, el 03 de febrero de 2020.

El Tiempo. (2018). *Boyacá fue sacudida por un sismo de magnitud 4,4 este jueves*. Recuperado de: <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/sismo-en-santa-maria-boyaca-el-jueves-13-de-diciembre-304712>, el 03 de febrero de 2020.

Alcaldía Tunja. (2013). *ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN DE SALUD CON EL MODELO CONCEPTUAL DE DETERMINANTES SOCIALES DE LA SALUD*. Recuperado de: https://www.boyaca.gov.co/SecSalud/images/Documentos/ASIS_2013/ASIS%20TUNJA%202013.pdf, el 14 de enero de 2020.

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático. (2020). *Riesgo Sísmico*. Recuperado de: <https://www.idiger.gov.co/rsismico>, el 05 de febrero de 2020.

Instituto Geofísico Universidad Javeriana Consultoría Colombiana. (2000). *Estudios de Amenaza y Microzonificación Sísmica, Vulnerabilidad Estructural y Evaluación de Escenarios de Daño Microzonificación Sísmica Preliminar de Tunja*. Recuperado de: http://www.ciees.org/museo_minerales/IngeoWeb/Documentos/TunjatextoCR.PDF, el 05 de febrero de 2020.

Normas, A. P. A. (2019). Normas APA.

DE PRESENTACIÓN, A. F. NORMAS ICONTEC.

10. ANEXO

Anexo A. Carta solicitud cambio título y objetivos trabajo de grado

Anexo B. Aprobación de cambio título y objetivos trabajo de grado

Anexo C. Plano casa tipo barrio Surinama.

Anexo D. Plano distribución de muros dirección X e Y.

Anexo E. Mapa Geológico de la Ciudad de Tunja.

Anexo F. Plano Geomorfología de la Ciudad de Tunja.

Anexo G. Plano barrio Surinama Delimitación.

Anexo H. Plano barrio Surinama grado de vulnerabilidad.

Anexo I. Plano barrio Surinama sistema estructural.

Anexo J. Planos Archivo Municipal.

Anexo k. Archivo fotográfico viviendas analizadas.