Universidad Militar Nueva Granada

Programa de Ingeniería Civil

Gestión Del Riesgo

ESTUDIO DE CASO: ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL EN EL BARRIO TEUSAQUILLO, AFECTACIÓN EN EL USO DE LA NSR10 Y SUS ACTUALIZACIONES DE CONSTRUCCIÓN SISMORRESISTENTE.

Trabajo de Grado

Presenta:

Laura Daniela López Sánchez
Juan David Caicedo Carbonell

Directora:
Ing. Luz Piedad Gallego Osorio

Semillero: Dreams City Labs

2025

I. Agradecimientos

Agradecemos a Dios por concedernos la vida, la fortaleza y la claridad para culminar este proceso. A nuestros padres, por su amor incondicional, su respaldo constante y su ejemplo de dedicación. Al semillero Dreams City Labs, por fomentar un espacio de aprendizaje, análisis crítico y compromiso con la transformación urbana. Agradezco especialmente a la profesora Luz Piedad Gallego Osorio, por su orientación rigurosa, apoyo técnico y compromiso con la excelencia académica. Mi entera gratitud a la Universidad Militar Nueva Granada, por guiarnos en este proceso académico y brindarnos todas las herramientas para el desarrollo de este trabajo.

II. Tabla de contenido

Contenido

I. Agradecimientos ... 2
II. Tabla de contenido ... 3
III. Lista de tablas ... 5
IV. Lista de ilustraciones ... 6
V. Notación ... 7
1. Introducción ... 8
2. Descripción del Barrio Teusaquillo ... 10
2.1 . Historia del Barrio Teusaquillo ... 10
2.2. Ubicación ... 10
2.3. Tipos de Estructuras ... 11
2.3.1 Viviendas Antiguas Tipo Ingles ... 11
2.3.2 Edificaciones Multifamiliares Antiguas ... 12
2.3.3 Edificaciones Multifamiliares Nuevas ... 13
2.3.4 Casas Antiguas ... 14
2.3.5 Uso Comercial ... 15
2.4 Patología Estructural ... 16
2.5. Problemática Estructural ... 17
3. Parámetros del Riesgo Sísmico y su Normativa ... 18
3.1. Normatividad Sismo Resistente En Colombia ... 18
3.2. Parámetros del Riesgo Sísmico ... 18
3.2.1. Vulnerabilidad Sísmica ... 18
3.2.2. Amenaza Sísmica ... 19
3.2.3. Perfil Del Suelo ... 21
3.2.4. Clasificación Tipo De Uso ... 21
4. Evaluación e Intervención de las Edificaciones ... 23
4.1. Evaluación de Edificaciones Antiguas ... 23
4.2. Supervisión Técnica ... 23
4.3. Estudios e Investigaciones ... 23
4.4. Rehabilitación Sísmica ... 24
5. Parámetros de Estudio ... 26
5.1. Carga Sísmica ... 26
5.2. Requisitos De Diseño ... 27
5.3. Condiciones de los Sistemas Estructurales ... 28
5.3. Métodos de Análisis Sísmico ... 29
5.4 Selección de la muestra y justificación del tamaño ... 30
6. Estudios y Aportes Internacionales ... 31
6.1. Global Earthquake Model (GEM) ... 31
6.2. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina ... 32
6.3. Haussmann Institute of Earthquake Engineering and Engineering Seismology (IZIIS) ... 32
6.4. Experiencia Japonesa: Building Standard Law ... 33
6.5. Caso Chileno: Sismo del Maule ... 34
6.6. Guía de Inspección Visual para Edificaciones ... 35
6.6.1. Fundamentos del Método ... 35
6.6.2. Elementos Estructurales a Evaluar ... 37
6.6.3. Elementos estructurales ... 37
6.6.4. Materiales y Técnicas Constructivas ... 38
6.6.5. Elementos no estructurales ... 38
6.6.6. Condiciones externas ... 39
6.6.7. Clasificación del Riesgo ... 40
6.7. Marco de Sendai para la Reducción de Riesgos y Desastres ... 40
6.8. Limitaciones del estudio ... 43

7. Marco Legal y Normativo *44*
7.1. CONPES 3862 de 2016 ..... *44*
7.1.1. Importancia para Colombia *45*
7.1.2. Marco Legal y Técnico *45*
7.1.3. Funcionamiento y Aplicación *46*
7.2. Ley 1523 de 2012 ..... *46*
7.2.1. Articulo 1 ..... *47*
7.2.2. Articulo 2 ..... *47*
7.2.3. Articulo 3 ..... *47*
7.3 Cómo este Trabajo Aporta a la Gestión del Riesgo desde lo Local *48*
8. Metodología *49*
8.1. Tipo de Investigación *49*
8.2. Revisión Normativa y Análisis Documental *49*
8.3. Delimitación del Área de Estudio *49*
8.4. Diseño del Instrumento de Recolección de Datos *50*
8.5. Trabajo de Campo y Recolección de Datos *51*
8.6. Escala de Ponderación y Análisis de Vulnerabilidad *51*
8.7. Análisis e impacto del estudio *51*
9. Base de Datos *52*
9.1. Base de Datos Experimental para Evaluación de Vulnerabilidad Estructural *52*
9.2. Uso e Implementación del Mapa Temático de Riesgo Estructural *54*
10. Propuesta de escala de afectación estructural (ponderada) *55*
11. Ponderación *60*
11.1. Uso de la Estructura, Edad y Modificaciones. (15%) *60*
11.2. Observaciones de daño (30%) *62*
11.3. Estado de los Elementos Estructurales (35%) *65*
11.4. Entorno y Condiciones del Suelo (20%) *66*
11.5. Construcción de la escala de vulnerabilidad y asignación de puntajes *69*
12. Resultados *71*
12.1. Clasificación de Edificaciones según Nivel de Riesgo Estructural *71*
12.2. Representación Geográfica del Riesgo Estructural *73*
12.3. Estimación de Riesgo Humano *74*
12.4. Metodología de Evaluación *75*
12.5. Valor de la Vida Humana *76*
12.6. Daños Materiales *77*
12.7. Costo del reforzamiento estructural *77*
12.8. Evaluación Costo–Beneficio *78*
13. Recomendaciones *80*
13.1. Recomendaciones para Entidades Públicas *80*
13.1.1. Implementación de un Programa Piloto de Reforzamiento Estructural Asistido. *80*
13.1.2. Actualización de Catastros de Riesgo y Tipologías Estructurales *80*
13.1.3. Fortalecimiento de Normativas de Conservación con Criterios Estructurales *81*
13.1.4. Creación de una Base de Datos Distrital de Vulnerabilidad Estructural *81*
13.2. Recomendaciones para Propietarios y Comunidad del Barrio Teusaquillo *81*
13.2.1. Promover Evaluaciones Estructurales Voluntarias *81*
13.2.2. Fortalecer la Cultura del Mantenimiento Preventivo *81*
13.2.3. Conformar Redes Vecinales de Gestión del Riesgo *81*
13.2.4. Aprovechar Beneficios Tributarios y Patrimoniales Disponibles *82*
13.3. Recomendaciones para Futuras Investigaciones *82*
13.3.1. Profundización en Elementos no Visibles Estructuralmente *82*
13.3.2. Extensión Metodológica y Replicabilidad del Modelo *82*
13.3.3. Incorporación de Variables Socioeconómicas y Demográficas *82*
13.3.4 Evaluación Post-Sísmica Simulada o Real *82*
14. Conclusiones *83*
15. Bibliografía *84*

III. Lista de tablas

Tabla 1. Tipología.. 17
Tabla 2. Valor de Aa y de Av para las ciudades capitales de departamento. 19
Tabla 3. Clasificación de los perfiles de suelo.. 21
Tabla 4. Clasificación del riesgo.. 40
Tabla 5. Marco Sendai para la reducción de riesgo de desastre.. 41
Tabla 6. Marco Sendai para la reducción de riesgo de desastre, acciones y principios..... 42
Tabla 7. Resumen de la contribución de ensayos para cada autor en la base de datos..... 53
Tabla 8. Fundamentos Normativos..... 57
Tabla 9. Información general..... 57
Tabla 10. Características estructurales. 58
Tabla 11. Observaciones de daño. 58
Tabla 12. Entorno y suelo..... 59
Tabla 13. Escala de vulnerabilidad..... 59
Tabla 14. Valoración del grupo A – Información general..... 61
Tabla 15. Valoración del grupo A – Uso de la estructural. 61
Tabla 16. Valoración del grupo A – Modificaciones estructurales. 61
Tabla 17. Valoración del grupo A – Número de pisos. 62
Tabla 18. Valoración del grupo A – Patrimonio. 62
Tabla 19. Valoración del grupo B – Sistema estructural. 63
Tabla 20. Valoración del grupo B – Material predominante. 63
Tabla 21. Valoración del grupo B – Irregularidades estructurales. 63
Tabla 22. Valoración del grupo B – Tipo de cubierta. 63
Tabla 23. Valoración del grupo C – Fisuras o grietas. 63
Tabla 24. Valoración del grupo C – Desprendimientos. 64
Tabla 25. Valoración del grupo D – Deformaciones. 64
Tabla 26. Valoración del grupo E – Estado de columnas. 64
Tabla 27. Valoración del grupo E – Estado de muros. 64
Tabla 28. Valoración del grupo E – Estado de vigas..... 64
Tabla 29. Valoración del grupo E – Estado de cubiertas..... 65
Tabla 30. Valoración del grupo E – Impacto para la estabilidad general. 65
Tabla 26. Valoración del grupo E – Escala de vulnerabilidad. 65
Tabla 27. Valoración del grupo D – Entorno y suelo. 66
Tabla 28. Valoración del grupo D – Severidad hundimiento.. 66
Tabla 29. Valoración del grupo D – Causas hundimiento.. 67
Tabla 30. Etiquetas finales para IVE. 67
Tabla 31. Ponderación de variables de vulnerabilidad estructural según la NSR-10. 70
Tabla 32. Resultados. 71
Tabla 33. Metodología de evaluación..... 75

IV. Lista de ilustraciones

Ilustración 1 Mapa barrio Teusaquillo, Bogotá..... 10
Ilustración 2 Vivienda antigua tipo Ingles, fundación Universitaria Porvenir..... 11
Ilustración 3 Vivienda antigua tipo Ingles, fundación Universitaria Porvenir..... 12
Ilustración 4 Edificación multifamiliar antigua. 12
Ilustración 5 Edificación multifamiliar antigua. 13
Ilustración 6 Edificación multifamiliar nueva..... 13
Ilustración 7 Edificación multifamiliar nueva..... 14
Ilustración 8 Casa antigua..... 14
Ilustración 9 Casa antigua..... 15
Ilustración 10 Casas de uso comercial.. 15
Ilustración 11 Hotel..... 16
Ilustración 12 Zonas de Amenaza Sísmica aplicable a edificaciones para la NSR-10 en función de Aa y Av..... 20
Ilustración 13 Rehabilitación de estructuras existentes. 24
Ilustración 14 Sistemas de protección sísmica..... 26
Ilustración 15 Sistemas estructurales más comunes en concreto armado. 28
Ilustración 16 Mapa global de riesgo sísmico..... 31
Ilustración 17 Terremoto en Japón..... 33
Ilustración 18 Terremoto en Chile. 34
Ilustración 19 Delimitación de la zona de estudio.. 50
Ilustración 20 Distribución de las viviendas respecto al índice de vulnerabilidad. 72
Ilustración 21 Identificación de viviendas dependiendo su índice de vulnerabilidad..... 73
Ilustración 22 Probabilidad de excedencia. 75

V. Notación

f'cu: resistencia a compresión de la unidad de mampostería, MPa

f'cp: resistencia a compresión del mortero de pega a los 28 días, MPa

f'm: resistencia a compresión de la mampostería a los 28 días, MPa

Em: módulo de elasticidad de la mampostería, MPa

τ: resistencia a cortante de la mampostería determinada con el ensayo de compresión diagonal, MPa

Gm: módulo de rigidez de la mampostería, MP

1. Introducción

La correlación entre la vulnerabilidad estructural y fenómenos sísmicos es una preocupación en materia de planificación urbana y la conservación de edificaciones que tienen años de construcción, en Colombia se cuenta con una alta actividad tectónica, nuestro país se encuentra situado en el cinturón de fuego del Pacífico, una zona de confluencia de tres placas tectónicas, la placa de Sudamérica, la placa de Nazca y la placa del Caribe. Lo que convierte al país en un territorio altamente susceptible a movimientos telúricos (Servicio Geológico Colombiano, 2020). Nuestro caso de estudio se encuentra en la ciudad de Bogotá, la capital del país, el cual tiene una clasificación de amenaza sísmica intermedia alta, debido a la proximidad con fallas geológicas activas, lo que pone en riesgo las estructuras con años de construcción (IDEAM, 2022).

La vulnerabilidad sísmica se define como la susceptibilidad que tienen las edificaciones de sufrir daños ante un agente natural como un sismo, los factores principales son los materiales de construcción, la antigüedad de la estructura, el tipo de suelo en el cual se construyó, la conservación y mantenimiento de la misma, el diseño estructural y la adecuación a normas vigentes (Silva et al., 2022). Estas relaciones le permiten evidenciar al ingeniero el estado de las estructuras, es necesario realizar ensayos que sean no destructivos como los que se implementan en China y Holanda, que identifican el estado de las edificaciones a partir de los análisis ya mencionados, en este sentido vamos a centrar nuestro caso de estudio en el barrio Teusaquillo ubicado en la ciudad de Bogotá, el cual presenta una acumulación de riesgos ya que es de los barrios más antiguos de la ciudad, inaugurado en el año 1920, por lo cual muchas de las edificaciones que se encuentran en él se construyeron entre 1920 y 1950 (Concentrika, s. f, 2022).

Dentro de los riesgos que vamos a analizar esta el envejecimiento de materiales, la falta de mantenimiento y el desfase normativo a la fecha, es importante tener presente que la ciudad de Bogotá cuenta con precipitaciones en un régimen bimodal de lluvias, con precipitaciones anuales de 866 mm (CSIC, 2024). Es de vital importancia contar con esto ya que la ciudad está construida en un suelo con depósitos cuaternarios, llanuras aluviales, conos aluviales y coluviones, con arcillas blandas provenientes de la formación Sabana, las fuertes precipitaciones debilitan los suelos, gran parte de la ciudad está construida sobre un humedal, suelos blandos con gran capacidad para absorber agua, con el tiempo las precipitaciones pueden afectar los suelos sobre los cuales están las estructuras, deteriorando su capacidad estructural frente a fenómenos naturales.

Estudios realizados en ciudades con aspectos físicos y naturales similares a las condiciones que encontramos en Colombia, como Quito Ecuador y Arequipa Perú, muestran que es importante llevar a cabo metodologías como el índice de vulnerabilidad estructural y las evaluaciones post-sismo para llevar a cabo un diagnóstico de riesgos y orientar intervenciones estructurales que no comprometan el valor patrimonial (Ortega & Fernández, 2023). Los enfoques internacionales traídos a nuestro país permiten adaptar buenas prácticas en tiempo real, para la prevención de desastres en zonas focalizadas, esto implica que existen brechas significativas entre el marco normativo y su aplicación con estructuras que tienen años de antigüedad.

La Norma Colombiana de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) establece lineamientos para garantizar la seguridad de las construcciones frente a sismos. Sin embargo, muchas edificaciones en barrios históricos como Teusaquillo fueron construidas antes de la implementación de estas normativas, lo que incrementa el riesgo de colapso estructural en caso de un evento sísmico. La vulnerabilidad estructural no solo representa un riesgo físico, sino también social y económico ((MVCT, 2022). Un evento sísmico o de otra naturaleza puede generar pérdidas humanas, daños irreparables al patrimonio arquitectónico y costos significativos en reparaciones o reconstrucciones.

El trabajo está enmarcado dentro de los propósitos de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, contribuyendo especialmente a los ODS 11 (Ciudades y Comunidades Sostenibles). A través de la aplicación de metodologías accesibles y replicables para la evaluación del riesgo estructural en barrios urbanos consolidados como Teusaquillo, se busca fomentar la capacidad de adaptación territorial, proteger la vida de los habitantes y generar herramientas útiles para que actores públicos y privados puedan actuar de manera oportuna.

2. Descripción del Barrio Teusaquillo

2.1. Historia del Barrio Teusaquillo

El barrio Teusaquillo fundado en la ciudad de Bogotá, se originó alrededor de los años de 1920, siendo uno de los primeros sectores urbanizados fuera del centro histórico de la ciudad, su diseño fue influenciado por la arquitectura europea, mostrando un equilibrio entre espacios construidos y zonas verdes, promoviendo barrios de baja densidad poblacional, con trazados geométricos, vías principales de acceso y arborización planificada (IDPC, 2012). Durante de las décadas de 1930 y 1940 se consolido como un sector residencial, reconocido por su valor arquitectónico, patrimonial y cultural dentro del tejido urbano, adecuado para las clases medias y altas de la capital, con viviendas unifamiliares donde se reflejaba el crecimiento urbano ordenado previo a la masificación de la construcción vertical, se debe considerar que muchas de sus estructuras ya son o están siendo consideradas patrimonio histórico de la ciudad, lo que hace aún más difícil la correcta intervención para un mejoramiento estructural.

Las edificaciones predominantes en el barrio Teusaquillo fueron construidas antes de la aparición de los reglamentos técnicos modernos en Colombia, tales como la NSR-98 y la NSR-10, por tanto, la mayoría de edificaciones construidas antes de los noventa no consideraron diseños sismo-resistentes, dentro de las tipologías estructurales se encuentra mampostería portante no reforzada, cubiertas con teja de barro o fibrocemento, muros sin confinamiento y cimentaciones superficiales con rigidez nula. A esto se le suma que muchas de las edificaciones que fueron inicialmente destinadas a uso residencial, se han modificado para instituciones educativas, oficinas, restaurantes y comercios, modificaciones que no se ven respaldadas con evaluaciones estructurales formales que permitan evidenciar la capacidad de las mismas para enfrentarse a agentes naturales.

2.2. Ubicación

El barrio Teusaquillo hace parte de la Localidad 13 de Bogotá, ubicado estratégicamente cerca del centro de la ciudad, limita con importantes ejes viales como la Avenida El Dorado (Calle 26), la Avenida NQS (Carrera 30), la Avenida Caracas y la calle 45, por lo cual es un nodo de conexión vital entre zonas residenciales, institucionales, comerciales y culturales.

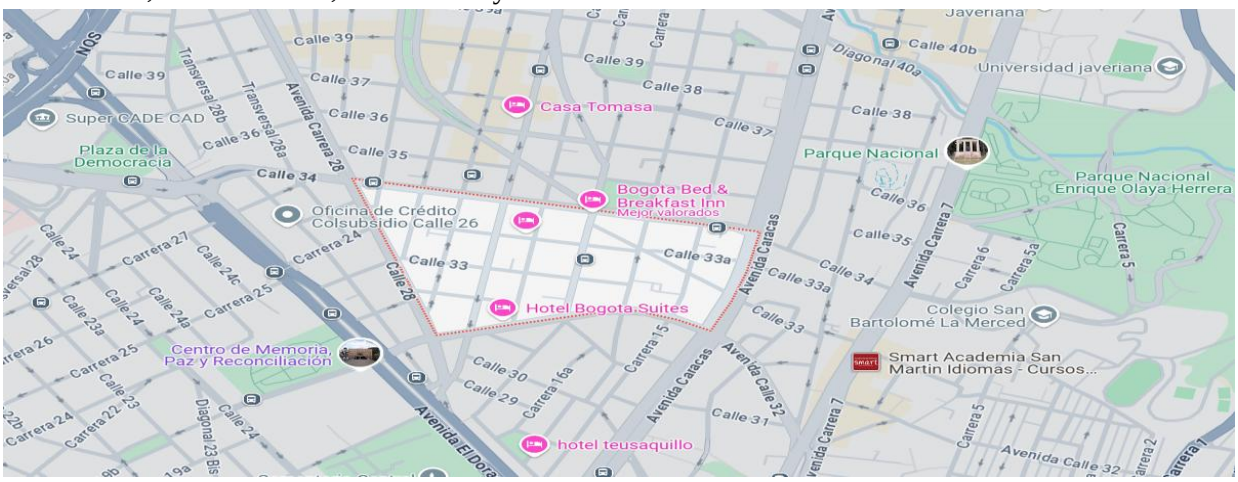

Ilustración 1 Mapa barrio Teusaquillo, Bogotá. Fuente: Google Maps..

2.3. Tipos de Estructuras

Se realizo una inspección visual detallada en el barrio Teusaquillo de Bogotá, con el fin de identificar las estructuras predominantes en la zona y analizar su posible vulnerabilidad sísmica, centrándonos en el tipo de estructura, años de construcción, materiales de construcción, tipo de uso de la estructura, daños y mejoras que se logren evidenciar. La observación permitió dar evidencia de la importancia del proyecto, mostrando diversidad tipológica, resultado de procesos de transformación urbana, cambio de tipo de uso de las estructuras y envejecimiento de las construcciones, donde encontramos viviendas antiguas con sistemas de mampostería, edificaciones nuevas y antiguas multifamiliares de entre tres y cinco pisos, con ladrillo estructural y concreto, también vimos estructuras adaptadas al comercio y servicios como hotelería, en algunas de las estructuras el deterioro es visible.

2.3.1 Viviendas Antiguas Tipo Ingles

Casas construidas entre los 1920 y 1950, las más antiguas que logramos encontrar en el barrio, tienen un diseño colonial tipo europeo, con cubiertas inclinadas, fachas en ladrillo, marcos de ventanas en madera y elementos ornamentales, se logra ver una estructura tradicional de mampostería portante no confinada, con entrepisos que posiblemente estén construidos en viguetas de madera.

Ilustración 2 Vivienda antigua tipo Ingles, fundación Universitaria Porvenir. Fuente: Fotografía de elaboración propia.

Son estructuras que por sus años de construcción tiene una vulnerabilidad sísmica alta, su diseño no es sismo resistente, probablemente carecen de diafragmas rígidos horizontales, que le otorguen resiliencia a la estructura, también son estructuras que han cambiado su tipo de uso, ya que se construyeron con el fin de vivienda para la época, pero aproximadamente hace 30 años cambiaron su uso para ser centros educativos de la Fundación Universitaria Porvenir, se considera que se clasifican dentro de la NSR-10 como edificaciones con disipación mínima de energía y requieren evaluación estructural continua.

Ilustración 3 Vivienda antigua tipo Ingles, fundación Universitaria Porvenir. Fuente: Fotografía de elaboración propia.

2.3.2 Edificaciones Multifamiliares Antiguas

Edificaciones construidas entre los años 1970 y 1990, con fachadas en ladrillo a simple vista, marcos de ventanas en hierro, se encontraron bastantes edificios de este tipo que tenían entre 3 y 5 pisos, mampostería portante no confiada, pórticos de concreto con muros de llenado, entrepisos placas de concreto reforzado.

Ilustración 4 Edificación multifamiliar antigua. Fuente: Fotografía de elaboración propia.

Se observaron irregularidades en altura y planta, por cambios de uso y ampliaciones realizadas a través de los años, se considera que estas estructuras pueden estar compuestas por pisos blandos e su primer nivel, ya que en lo general se ven parqueaderos o comercios, se logra evidenciar deterioro en los materiales y grietas en puntos críticos, por lo cual es difícil garantizar la resistencia sísmica en ambas direcciones horizontales, se clasifican como edificaciones con disipación de energía moderada según la NSR-10, se debe hacer una verificación en los planos y hacer las correctas intervenciones.

Ilustración 5 Edificación multifamiliar antigua. Fuente: Fotografía de elaboración propia.

2.3.3 Edificaciones Multifamiliares Nuevas

Edificaciones construidas de 1990 en adelante, las cuales ya cuentan con diseño sismo resistente bajo la norma NSR-98 y la NSR-10, a partir de la época se consolido un proceso de renovación parcial del tejido urbano, impulsando normativas, diseños y materiales modernos que permitan una mejor configuración de la estructura, de igual manera de ven edificaciones de 3 a 5 pisos, con pórticos en concreto reforzado de lozas macizas, mampostería en ladrillo estructural y marcos de ventanas en aluminio.

Ilustración 6 Edificación multifamiliar nueva. Fuente: Fotografía de elaboración propia.

Dentro de su diseño se logra ver plantas regulares, aunque con algunos cambios de rigidez por diseño estético en la fachada, se componen de un solo núcleo de escaleras, con buenos cimientos, diseñados para resistir fuerzas horizontales, se logra evidenciar poco deterioro en sus fachadas.

Ilustración 7 Edificación multifamiliar nueva. Fuente: Fotografía de elaboración propia.

2.3.4 Casas Antiguas

Casas construidas entre 1950 y 1980, con mampostería portante no reforzada, entrepisos en madera, con cimentaciones de zapata tipo corrida en concreto, cubiertas inclinadas con estructuras de madera y teja de barro, fachadas ornamentales con ladrillo a simple vista y detalles tipo art deco, de 1 a 2 pisos.

Ilustración 8 Casa antigua. Fuente: Fotografía de elaboración propia.

No fueron diseñadas bajo los parámetros sismo resistentes, por lo que no hay elementos de confinamiento o refuerzo horizontal, por lo cual son frágiles a cargas laterales, se pueden evidenciar algunas grietas, humedad y perdida de rigidez en muros, con los años estas estructuras pueden estar sometidas a ampliaciones, divisiones internas, cambio de uso, lo que debilita su sistema estructural.

Ilustración 9 Casa antigua. Fuente: Fotografía de elaboración propia.

2.3.5 Uso Comercial

Se encontraron bastantes casas construidas entre 1950 y los 2000, que han sido destinadas para uso comercial, tanto locales como hotelería, dentro de las cuales pudimos encontrar una composición irregular en planta con respecto a su altura, mampostería no confinada, con entrepisos en placas de concreto, muros en concreto, cubiertas inclinadas con tejas de barro y algunos acabados en madera.

Ilustración 10 Casas de uso comercial. Fuente: Fotografía de elaboración propia.

En general se encontraron edificaciones con muchos años de antigüedad, muchas de las cuales fueron diseñadas sin ningún parámetro sismo resistente, es por ello que es de vital importancia analizar y reconocer por medio de ensayos no destructivos, el estado actual de las estructuras para poder mitigar los daños y proponer soluciones efectivas para alargar la vida útil de las mismas. Esta inspección preliminar hace parte de la base diagnostica para el análisis posterior de la vulnerabilidad estructural del barrio, soportados n los lineamientos técnicos establecidos en la NSR-10, que permiten determinar el estado actual de la zona de estudio y ver como la zona de amenaza sísmica a afectado en ella a través de los años.

Ilustración 11 Hotel. Fuente: Fotografía de elaboración propia.

2.4 Patología Estructural

La patología estructural se refiere al estudio de los daños, deterioros o fallas que pueden presentar las edificaciones por diversos agentes, los cuales pueden ser naturales, constructivos, funcionales o por el envejecimiento de los materiales, por lo cual es indispensable conocer la patología del barrio Teusaquillo, considerando los años de antigüedad del parque inmobiliario con la mayoría de edificaciones construidas entre los años 1920 y 1950, la evolución no controlada del uso del suelo y la falta de diseño sismo-resistente en la mayoría de las construcciones.

Las edificaciones del barrio fueron construidas bajo técnicas tradicionales de la época, sobre la cual prima la mampostería portante no reforzada, concreto simple y cimientos de baja profundidad tipo zapatas o zapatas corridas, estas estructuras no cuentan con confinamiento de muros, elementos de rigidez horizontal

o sistemas de disipación de energía, lo que las convierte en tipologías particularmente susceptibles al colapso durante eventos sísmicos (NSR-10, Capitulo A.10). “Las edificaciones en mampostería no confinada presentan un comportamiento frágil frente a cargas horizontales, con muy poca capacidad de deformación inelástica.” (López et al., 2022).

Tipo de Patología	Descripción Técnica	Causa Probable
Fisuras diagonales en muros	Se presentan en forma de x.	Sobrecarga, asentamientos diferenciales o vibraciones sísmicas.
Grietas verticales en muros	Se presentan contracciones por secado o pérdida de adherencia.	Falta de refuerzo transversal o juntas mal ejecutadas.
Asentamientos diferenciales	Hundimiento irregular de un sector de la estructura.	Terrenos heterogéneos y cimentaciones poco profundas.
Corrosión del acero	Aparece cuando hay presencia de humedad prolongada.	Filtraciones por cubiertas, conexiones expuestas o mal aislamiento.
Desprendimiento de revoques y fisuras en techos	Indican posibles deformaciones de elementos estructurales o sobrecarga.	Falta de mantenimiento o sobrepeso no previsto.

Tabla 1. Tipología. Fuente: Elaboración propia.

Dentro de las patologías más comunes se encuentran fisuras, pérdida de verticalidad y deterioro de materiales en estructuras antiguas, estas patologías se producen por agentes externos como las lluvias, falta de mantenimiento o agentes naturales y factores internos en el diseño por lo cual se deben considerar en la evaluación de su desempeño sísmico. Las causas del deterioro estructural en el barrio Teusaquillo se deben a la combinación de factores como la antigüedad, ausencia de mantenimiento estructural, modificaciones funcionales sin criterio técnico y acción sísmica acumulativa, aunque Bogotá no ha tenido un sismo catastrófico reciente, sin embargo, si está sometida a acciones sísmica bajas de manera repetitiva, lo que implica que se están degradando las estructuras progresivamente.

2.5. Problemática Estructural

El caso de estudio se basa en la vulnerabilidad sísmica de las estructuras del barrio Teusaquillo, una investigación que se deriva de la antigüedad y falta de diseño sismo-resistente, la presencia del deterioro físico en muros, cubiertas y cimentaciones, cambios en el tipo de uso de la estructura sin una evaluación técnica estructural y la ubicación de la zona de estudio. Muchas condiciones de las estructuras incumplen con los criterios actuales de seguridad estructural definidos en la NSR-10, especialmente los niveles mínimos de desempeño, trayectorias de fuerzas sísmicas y capacidad de disipación de la energía, también se pudo observar configuraciones irregulares de las construcciones de planta y altura, lo que disminuye su capacidad para resistir fuerzas horizontales. La evaluación de la zona surge de una necesidad inminente ante el riesgo de colapso, pérdida de vidas y deterioro del patrimonio urbano, para ello nos vamos a soportar en metodologías de evaluación propuestas en la NSR-10, metodologías y normativas aplicadas en otros países, y un instrumento de estudio generado en la Universidad Militar Nueva Granada para evaluar la vulnerabilidad sísmica en estructuras.

3. Parámetros del Riesgo Sísmico y su Normativa

3.1. Normatividad Sismo Resistente En Colombia

La Norma Colombiana de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), adoptada mediante el Decreto 926 del 2020, se encarga de regular los criterios de diseño, construcción y evaluación estructural para edificaciones nuevas y existentes, su enfoque es minimizar el riesgo frente a eventos sísmicos, para lo cual están dispuestos todos los requisitos generales y especificaciones para la construcción de estructuras a nivel nacional. El desarrollo del caso de estudio estará soportado por bases científicas sobre el estudio de amenaza sísmica realizados por el Servicio Geológico colombiano y modelos internacionales que permitirán evaluar y soportar nuestro estudio, experiencias nacionales e internacionales para ver cómo afectan los sismos en las estructuras y los modelos de evaluación de desempeño estructural y análisis probabilístico del riesgo.

Para el desarrollo del caso de estudio, nos centraremos en los capítulos A.1 Requisitos Generales, A. Evaluación y Rehabilitación de Edificaciones Existentes, D.3 Cargas por Sismo, E.2 Concreto Estructural, E.3 Mampostería, J. Inspección y Control de Calidad, y K.1 Diseño de Edificaciones Residenciales en Concreto. Estos apartados proporcionaran las bases conceptuales y técnicas necesarias para comprender la vulnerabilidad estructural, caracterizar el comportamiento sísmico en las estructuras en nuestra zona de interés y establecer criterios útiles de intervención que permitan mitigar los riesgos en sectores vulnerables.

3.2. Parámetros del Riesgo Sísmico

3.2.1. Vulnerabilidad Sísmica

La vulnerabilidad sísmica se considera como el daño que puede sufrir una edificación o sistema estructural ante la ocurrencia de un sismo, lo cual se determina por medio de características físicas, estructurales, tipológicas, condiciones de deterioro, antigüedad y el cumplimiento de los requisitos establecidos en la NSR-10. Las construcciones que se realizaron en los años de 1920 y 19250 en el barrio Teusaquillo fueron diseñadas sin criterios sismo-resistentes, se debe tener que las estructuras de este tipo que tienen un valor patrimonial dificultan las intervenciones estructurales modernas, por lo cual es necesario evaluar su vulnerabilidad para evitar daños humanos, económicos y culturales.

Según la NSR-10, toda edificación en Colombia debe ubicarse dentro de una de las zonas de amenaza sísmica definida en la norma, clasificada en baja, intermedia o alta, de acuerdo con los valores de aceleración horizontal efectiva (Aa) y aceleración espectral (Av). Una zona de amenaza sísmica baja corresponde a valores iguales o menores a 0.10, la intermedia incluye valores mayores a 0.10 pero que no superan 0.20; y la zona de amenaza sísmica alta corresponde a valores superiores a 0.20. Esta clasificación es fundamental para establecer los requerimientos de diseño y refuerzo estructural de las edificaciones.

La vulnerabilidad sísmica en Teusaquillo representa un riesgo tangible, desde el punto de vista estructural como el social, evaluar la vulnerabilidad involucra directamente proteger edificaciones patrimoniales por el valor histórico que representan para la ciudad, con ello también se pretende preservar la vida de sus ocupantes y garantizar la continuidad funcional de las estructuras en una zona que es clave para la ciudad.

Este análisis permitirá justificar la necesidad de implementar un protocolo de evaluación técnica de edificaciones existentes, el cual se llevará a cabo en una zona delimitada del barrio, donde se encuentran instituciones educativas, residencias y comercios, para llevar a cabo el análisis se hará un estudio detallado en la zona de varias edificaciones existentes, para ello se evaluara la vulnerabilidad en edificaciones antiguas, inspección de materiales deteriorados, modificaciones estructurales sin inspección técnica, cambios del tipo de uso de la propiedad, soportado los resultados en los índices de vulnerabilidad, modelación estructural comparativa y la aplicación de los niveles de desempeño establecidos en la NSR-10 para establecer si cumplen o no con las condiciones óptimas de funcionalidad.

3.2.2. Amenaza Sísmica

La amenaza sísmica se considera el pilar fundamental en el diseño, evaluación y rehabilitación de las edificaciones, la cual hace referencia a la probabilidad de un movimiento sísmico en un lugar geográfico determinado, con una intensidad significativa en cierto periodo de tiempo, es por ello que se condicionan los criterios de diseño estructural que deben aplicarse para reducir el riesgo del colapso y proteger las vidas de los ciudadanos. La NSR-10 define en su numeral A.2.3 las zonas de amenaza sísmica en el mapa nacional de amenaza sísmica, se clasifican en alto, intermedio y bajo, en función de los valores de aceleración horizontal efectiva (Aa) y aceleración espectral en roca firme (Av), lo que representa la respuesta del suelo ante un evento sísmico.

Ciudad	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica
Arauca	0.15	0.15	Intermedia
Armenia	0.25	0.25	Alta
Barranquilla	0.10	0.10	Baja
Bogotá D. C.	0.15	0.20	Intermedia
Bucaramanga	0.25	0.25	Alta
Cali	0.25	0.25	Alta
Cartagena	0.10	0.10	Baja
Cúcuta	0.35	0.30	Alta
Florencia	0.20	0.15	Intermedia
Ibagué	0.20	0.20	Intermedia
Leticia	0.05	0.05	Baja
Manizales	0.25	0.25	Alta
Medellín	0.15	0.20	Intermedia
Mitú	0.05	0.05	Baja
Mocoa	0.30	0.25	Alta
Montería	0.10	0.15	Intermedia
Neiva	0.25	0.25	Alta
Pasto	0.25	0.25	Alta
Pereira	0.25	0.25	Alta
Popayán	0.25	0.20	Alta
Puerto Carreño	0.05	0.05	Baja
Puerto Inírida	0.05	0.05	Baja
Quibdó	0.35	0.35	Alta
Riohacha	0.10	0.15	Intermedia
San Andrés, Isla	0.10	0.10	Baja
Santa Marta	0.15	0.10	Intermedia
San José del Guaviare	0.05	0.05	Baja
Sincelejo	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

Tabla 2. Valor de Aa y de Av para las ciudades capitales de departamento. Fuente: NSR-10.

La ciudad de Bogotá según los estudios del Servicio Geológico Colombiano y la cartografía oficial presenta en la normativa, se encuentra en una zona de amenaza sísmica intermedia a alta, con valores de Aa y Av entre 0.20 y 0.25 respectivamente, lo que implica que cualquier edificación que sea nueva o existente, deberá estar diseñada bajo un nivel elevado de diseño sísmico. En el barrio Teusaquillo las edificaciones fueron construidas entre 1920 y 1950, para la época no existía en Colombia reglamento sismo-resistente, lo que significa que no se contemplaron las fuerzas sísmicas en el diseño estructural original, esto aumenta la vulnerabilidad y el riesgo para los ocupantes.

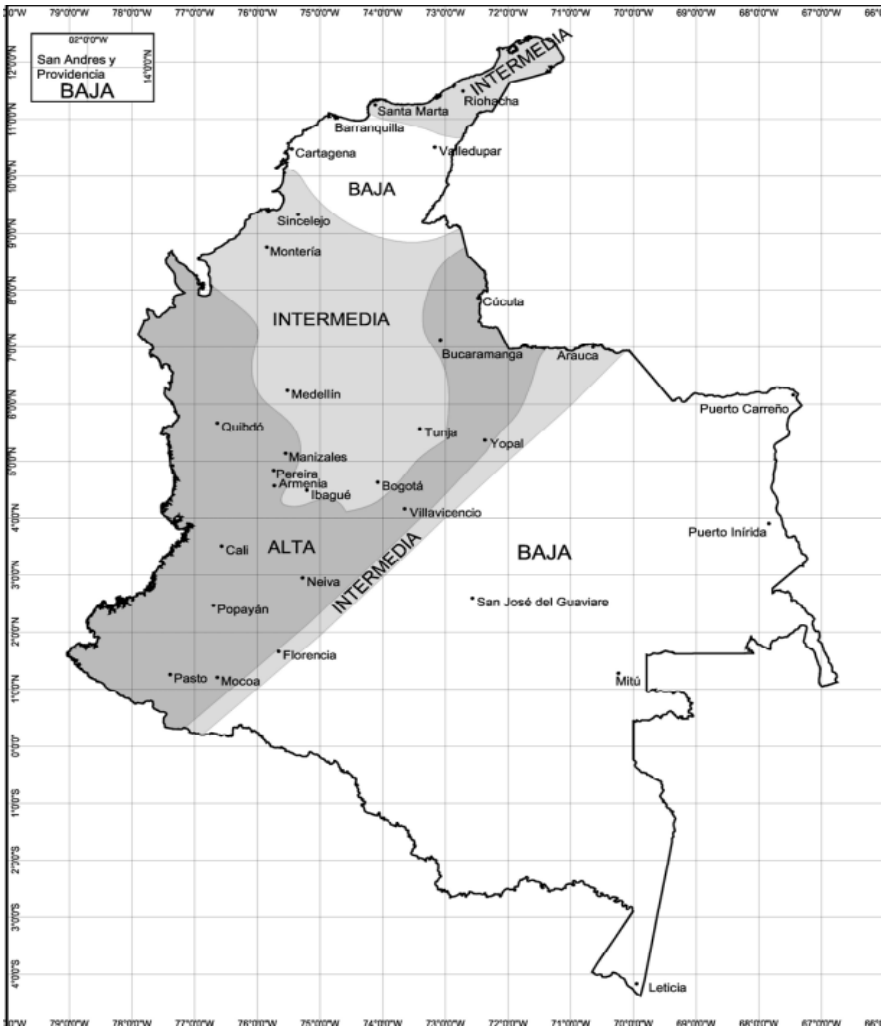

Ilustración 12 Zonas de Amenaza Sísmica aplicable a edificaciones para la NSR-10 en función de Aa y Av.

La inclusión de la amenaza sísmica como un criterio fundamental en el análisis de evaluación estructural, permite determinar el nivel de intervención requerido para llevar a cabo un refuerzo o rehabilitación estructural, llevar a cabo intervenciones preventivas en edificaciones que requieren intervención inmediata, justifica la necesidad de llevar a cabo diagnósticos técnicos en sectores que no cumplen los requisitos establecidos en la NSR-10 y con ello cumplir la normatividad nacional que exige garantizar la seguridad estructural ante un evento sísmico.

3.2.3. Perfil Del Suelo

El perfil del suelo se refiere a la clasificación del terreno de fundación según características físicas y dinámicas, dentro de las cuales se evalúa la densidad, rigidez, contenido de humedad y espesor, factores que afectan directamente la forma en que las ondas sísmicas se amplifican o se atenúan al llegar a una edificación, el perfil del suelo es una variable fundamental en la evaluación estructural de edificaciones existentes, lo cual se ve reflejado en el espectro de diseño sísmico

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$\bar{v}_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	1500 m/s > $\bar{v}_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	760 m/s> $\bar{v}_s \geq 360$ m/s
	perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$\bar{N} \geq 50$, o $\bar{s}_u \geq 100$ kPa (≈1 kgf/cm²)
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	360 m/s > $\bar{v}_s \geq 180$ m/s
	perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	50 > $\bar{N} \geq 15$, o 100 kPa (≈1 kgf/cm²) > $\bar{s}_u \geq 50$ kPa (≈0.5 kgf/cm²)
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	180 m/s > $\bar{v}_s$
	perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	IP > 20 w ≥ 40% 50 kPa (≈0.50 kgf/cm²) > $\bar{s}_u$
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista de acuerdo con el procedimiento de A.2.10. Se contemplan las siguientes subclases: F_1 — Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc. F_2 — Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3 m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas). F_3 — Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con Índice de Plasticidad IP > 75) F_4 — Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 36 m)	

Tabla 3. Clasificación de los perfiles de suelo. Fuente: NSR-10.

Lo que genera una correlación entre la amplificación sísmica, cambios en el espectro de diseño y la vulnerabilidad estructural, en Teusaquillo el suelo corresponde a depósitos aluviales, arcillosos y blandos (Tipo S3 o S4), lo que aumenta la amplificación sísmica en caso de un evento telúrico. Aunque el perfil del suelo no es visible es determinante al hacer una evaluación estructural ajustando los espectros de diseño, la demanda sísmica real y las zonas prioritarias de refuerzo estructural.

3.2.4. Clasificación Tipo De Uso

Todas las edificaciones deben clasificarse a partir de su uso, ocupación y función, con el objetivo de asignar un nivel de importancia estructural, en consecuencia, del grado de exigencia sísmica, el nivel de seguridad mínimo y las condiciones para su rehabilitación, evaluación o refuerzo, especialmente para construcciones existentes.

3.2.4.1. Edificaciones Indispensables Grupo Iv

Son aquellas que deben permanecer operativas durante y después de un evento sísmico, ya que cumplen funciones criticas para la atención de emergencias y el funcionamiento de la sociedad, dentro de las cuales se consideran los hospitales, clínicas, estaciones de bomberos, cuarteles de policía, centros de control de desastre y telecomunicaciones. Según la NSR-10 (A.2.5.1.1, Grupo IV) son estructuras que deben diseñarse o reforzarse para alcanzar un nivel de desempeño sísmico elevado, lo que implica mayor ductilidad, redundancia estructural, criterios de diseño más estrictos y un factor de importancia de 1.5, lo que aumenta las cargas de diseño.

3.2.4.2. Edificaciones de Atención a la Comunidad Grupo Iii

Se consideran de afluencia significativa de público, las cuales concentran una gran cantidad de personas y en caso de colapso podría ocasionar una emergencia secundaria o social grave, se incluyen instituciones educativas, centros culturales, iglesias, salas de espectáculos, bibliotecas, centros deportivos, estaciones de bomberos, defensa civil, policía y sedes de oficina de prevención. Según la NSR-10 (A.2.5.1.2, Grupo III) requieren un factor de amenaza sísmica de 1.25, lo que implica un nivel de exigencia superior al estándar, por lo que deben ofrecer alto nivel de seguridad estructural, permitir la evacuación de manera segura y minimizar daños graves.

3.2.4.3. Edificaciones de Ocupación Especial Grupo Ii

Son aquellas que representan riesgos adicionales en caso de un evento sísmico como fábricas industriales con materiales peligrosos, plantas de tratamiento químico, laboratorios especializados, estaciones de servicio, edificaciones gubernamentales, centros comerciales o estructuras en zonas geológicamente inestables. Según la NSR-10 (A.2.5.1.3, Grupo II) requieren un factor de importancia de 1.10, se exige análisis estructural detallado, estudios geotécnicos y medidas de mitigación especializas.

3.2.4.4. Edificaciones de Ocupación Normal Grupo I

Las constituyen todo el parque inmobiliario urbano y están conformadas por viviendas multifamiliares, edificios residenciales, tiendas, restaurantes o todas las edificaciones que no se han incluido en los grupos II, III y IV. Según la NSR-10 (A.2.5.1.4, Grupo I) su factor de importancia es de 1.0, donde se debe garantizar la seguridad estructural adecuada para evitar colapso y permitir la evacuación segura en caso de sismo.

La clasificación de las edificaciones según su tipo de uso no solo responde a una exigencia normativa, sino que constituye una herramienta clave para la gestión integral del riesgo estructural, Identificar si una construcción es de uso residencial, educativo, institucional o comercial permite enfocar las estrategias de evaluación, intervención y priorización de manera coherente con su nivel de exposición y función social, este enfoque facilita decisiones más acertadas frente a los recursos disponibles, reconocer estas diferencias en el uso ayuda a diseñar respuestas diferenciadas que potencian la resiliencia urbana y disminuyen los efectos adversos ante un evento sísmico o estructural.

4. Evaluación e Intervención de las Edificaciones

4.1. Evaluación de Edificaciones Antiguas

Las edificaciones que se intervengan y cumplan los requisitos debería ser capaz de resistir temblores pequeños sin daño, temblores moderados sin daño estructural pero con algún daño en elementos no estructurales y temblores fuertes sin colapso según la según la NSR-10 (A.10.1.2) dentro de la evaluación se pretende establecer las reparaciones y cambios menores en base a una evaluación, a la disposición de un cambio de uso tipo residencial, ya que se puede someter a cargas verticales y fuerzas horizontales nuevas, vulnerabilidad sísmica, modificaciones, reforzamiento estructural o reparaciones de edificios dañados por sismo.

Para llevar a cabo una correcta evaluación se procede por una información preliminar que consta de tres etapas, la primer etapa es de verificación del estado de la estructura, la segunda etapa es de recolección de información donde se debe tener claridad acerca del diseño geotécnico y estructural así como el proceso de construcción de la edificación original y sus posteriores modificaciones, la tercer etapa será una exploración del sistema estructural que consta de calidad en el diseño, estado de mantenimiento y conservación. Luego se entra en etapa de evaluación de la estructura existente donde se pretende llevar a cabo un análisis elástico de la estructura y de su sistema de cimentación, se determina además la resistencia existente de la estructura, resistencia efectiva, índice de sobre esfuerzo, derivas de la estructura y índice de flexibilidad por efectos horizontales y verticales.

Una vez realizado un estudio detallado donde se muestre el estado real de la edificación entra el proceso de intervención de la estructura, definida por el tipo de modificación que se llevara a cabo establecidas en tres categorías (A.10.6). Ampliaciones adosadas, ampliaciones en altura o actualización al reglamento, para lo cual se deberá analizar nuevamente incluyendo la intervención propuesta junto con los resultados de diseño para las fuerzas y esfuerzos obtenidos de este nuevo análisis, el diseño geotécnico y estructural deben llevarse a cabo de acuerdo a los requisitos para cada tipo de modificación. El conjunto debe analizarse nuevamente incluyendo la intervención propuesta, la cual debe diseñarse para las fuerzas y esfuerzos obtenidos de este nuevo análisis. El diseño geotécnico y estructural y la construcción deben llevarse a cabo de acuerdo con los requisitos que para cada tipo de modificación establece el presente Capítulo.

4.2. Supervisión Técnica

El supervisor técnico deberá dejar constancia en los registros de la supervisión, demostrando que la hipótesis en que se basó el diseñador fue confirmada en la obra, si se presentan discrepancias debe quedar constancia y se hará la respectiva notificación para llevar a cabo las acciones correctivas que se fijen para la viabilidad del proyecto de intervención.

4.3. Estudios e Investigaciones

Se debe disponer del diseño de la estructura y su sistema de cimentación original, el cual deberá constatarse en el sitio su concordancia con la construcción tal como se encuentra en el momento de la inspección, de tal manera se harán exploraciones en lugares representativos y dejar constancia del alcance de las mismas.

Se deberá tener en cuenta la calidad de la construcción, el estado de conservación de la estructura que será evaluado de manera cualitativa y se determinara si cuenta con fallas locales, deflexiones excesivas, corrosión de las armaduras y otros indicios d comportamiento, se debe investigar la ocurrencia de asentamientos de la cimentación y su efecto en la estructura, determinar la posible ocurrencia en el pasado de eventos extraordinarios que hayan podido afectar la integridad de la estructura por explosión, incendio, sismo, remodelaciones previas, colocación de acabados que aumentaran las cargas y otras modificaciones.

4.4. Rehabilitación Sísmica

Se entrará a evaluar la rehabilitación sísmica según lo designado por la Ley 400 de 1997, donde las estructuras según su tipo de uso o modificaciones exigen internación estructural, las cuales han sido dañadas por sismo o que el propietario desee actualizar de manera voluntaria conforme a los reglamentos establecidos. Su análisis parte de la resistencia y capacidad de funcionamiento según el uso y la edad de la edificación, se establece que las estructuras construidas con posterioridad al 19 de febrero de 1998, dentro de la vigencia de la ley serán intervenidas bajo lo estipulado en los parámetros de la NSR-10, con el fin de lograr un nivel de seguridad equivalente al de una edificación nueva, contando con índice de sobreesfuerzo y un índice de flexibilidad.

Se debe esclarecer que para edificaciones con más años de antigüedad entraran en vigencia del decreto 1400 de 1984, que establece un mínimo de seguridad, contando con los niveles de sobreesfuerzo y de flexibilidad correctos, que permitan dar vigencia para obtener licencias y permisos correspondientes, un memorial firmado por el diseñador. En vigencia de las edificaciones declaradas como patrimonio histórico pueden existir restricciones severas, para lograr un nivel de seguridad equivalente al que el reglamento exigirá en una edificación nueva o al prescrito según el tipo de uso, siendo flexible al nivel de seguridad sísmica, estas edificaciones pueden llegar a ser derrumbadas en caso de que su recuperación sea imposible y sean un riesgo para la sociedad, en el caso de ser avaladas deberán contar con licencia de construcción, memorial con motivos de reducción, niveles de seguridad sísmica propuestos y medidas de seguridad para el público en general.

Ilustración 13 Rehabilitación de estructuras existentes. Fuente: Ingeoexpert.

En el contexto colombiano, la rehabilitación sísmica de edificaciones se encuentra regulada principalmente por el Título I de la NSR-10, donde se establecen los procedimientos técnicos para evaluar el desempeño estructural de construcciones existentes, esta normativa incorpora el concepto de nivel de desempeño objetivo, que obliga a determinar hasta qué punto una edificación puede soportar solicitaciones sísmicas sin comprometer la vida de sus ocupantes ni perder su funcionalidad crítica. El proceso incluye una etapa diagnóstica profunda que contempla inspección visual, ensayos in situ y modelación estructural, lo cual permite definir si es viable conservar, reforzar o demoler el inmueble, esta metodología adquiere especial relevancia en zonas con patrimonio edificado como Teusaquillo, donde se exige una intervención estructural compatible con los valores históricos sin renunciar a la seguridad. La rehabilitación sísmica debe aplicarse con total rigurosidad ya que se aplica en edificaciones existentes que están en riesgo estructural o de colapso, hoy en día existen técnicas de disipación de fuerzas generadas por la tierra.

La reparación de las edificaciones dañadas por sismo que se han visto afectadas de manera severa en su estructura o daños moderados a severos en sus elementos no estructurales o ambos, deberán proceder a ser evaluadas con estudios e investigaciones que se nombraron a lo largo del capítulo 3, por lo cual se evaluara si su reparación es viable y cumple con los reglamentos establecidos, finalmente se podrá llegar a la designación de demolición total, que será adelantada de acuerdo con las exigencias y criterios de alcance de reparación.

- Daños en elementos no estructurales, sin daño en los elementos estructurales: La
- reparación se limitará a intervenir los elementos no estructurales afectados, de acuerdo con los requisitos del Capítulo A.9 del Reglamento.
- Daños estructurales imputables a interacción adversa con elementos no estructurales: El alcance de la reparación se puede limitar a reparar los elementos estructurales afectados, eliminando la interacción adversa de los elementos no estructurales, siguiendo los requisitos del Capítulo A.9.
- Otro tipo de daños: El alcance de la reparación estará dictado por la capacidad de cumplir los objetivos estructurales primordiales del diseño sismo resistente de proveer resistencia adecuada ante las solicitaciones impuestas por el sismo sin que la estructura tenga deflexiones horizontales (derivas) excesivas al verse afectada por ellas. Para garantizar el cumplimiento de estos objetivos debe realizarse una evaluación de la estructura en general y de acuerdo con los resultados de esta evaluación determinar los elementos de la edificación que deben intervenirse, los cuales en muchos casos comprenden más de los que simplemente hay que reparar.

Un aspecto frecuentemente ignorado en los procesos de rehabilitación sísmica es la evaluación de la interacción suelo-estructura, una variable que la NSR-10 considera determinante al momento de estimar vulnerabilidades, en edificaciones antiguas construidas sobre suelos blandos o con niveles freáticos altos pueden experimentar amplificaciones sísmicas locales que alteran significativamente su comportamiento ante eventos telúricos. En estos casos, la norma recomienda utilizar técnicas como el refuerzo con sistemas de aislamiento sísmico, la inyección de resinas para mejorar la resistencia del suelo y el empleo de disipadores de energía, es fundamental garantizar que las intervenciones no generen nuevas irregularidades estructurales, ya que un reforzamiento mal ejecutado puede concentrar esfuerzos no deseados.

5. Parámetros de Estudio

El análisis estructural ante eventos sísmicos requiere de una comprensión integral de diversos factores técnicos que inciden directamente en la seguridad, el comportamiento dinámico y la capacidad de respuesta de una edificación, dentro del proceso de evaluación de la vulnerabilidad sísmica, los parámetros de estudio constituyen una herramienta clave que permite caracterizar y diagnosticar con mayor precisión el estado estructural de las construcciones, especialmente en zonas urbanas con alto grado de exposición al riesgo, como ocurre en sectores de Bogotá con edificaciones de tipología tradicional o histórica.

5.1. Carga Sísmica

Los sistemas estructurales de resistencia sísmica y los diferentes métodos de análisis, que dependen del grado de irregularidad del sistema estructural, permiten determinar el cortante sísmico en la base y su distribución en la altura de la edificación, una vez se han determinado las fuerzas sísmicas correspondientes a cada nivel, se aplican al sistema estructural de resistencia sísmica escogido. Por medio de un modelo matemático se determinan las deflexiones de la estructura y las fuerzas internas en cada elemento del sistema estructural producidas por las fuerzas sísmicas, por ende, se genera la verificación de derivas y se realiza para las deflexiones horizontales de la estructura obtenidas del análisis, por último, se efectúa el diseño de los elementos y sus conexiones requeridas según el reglamento título B.

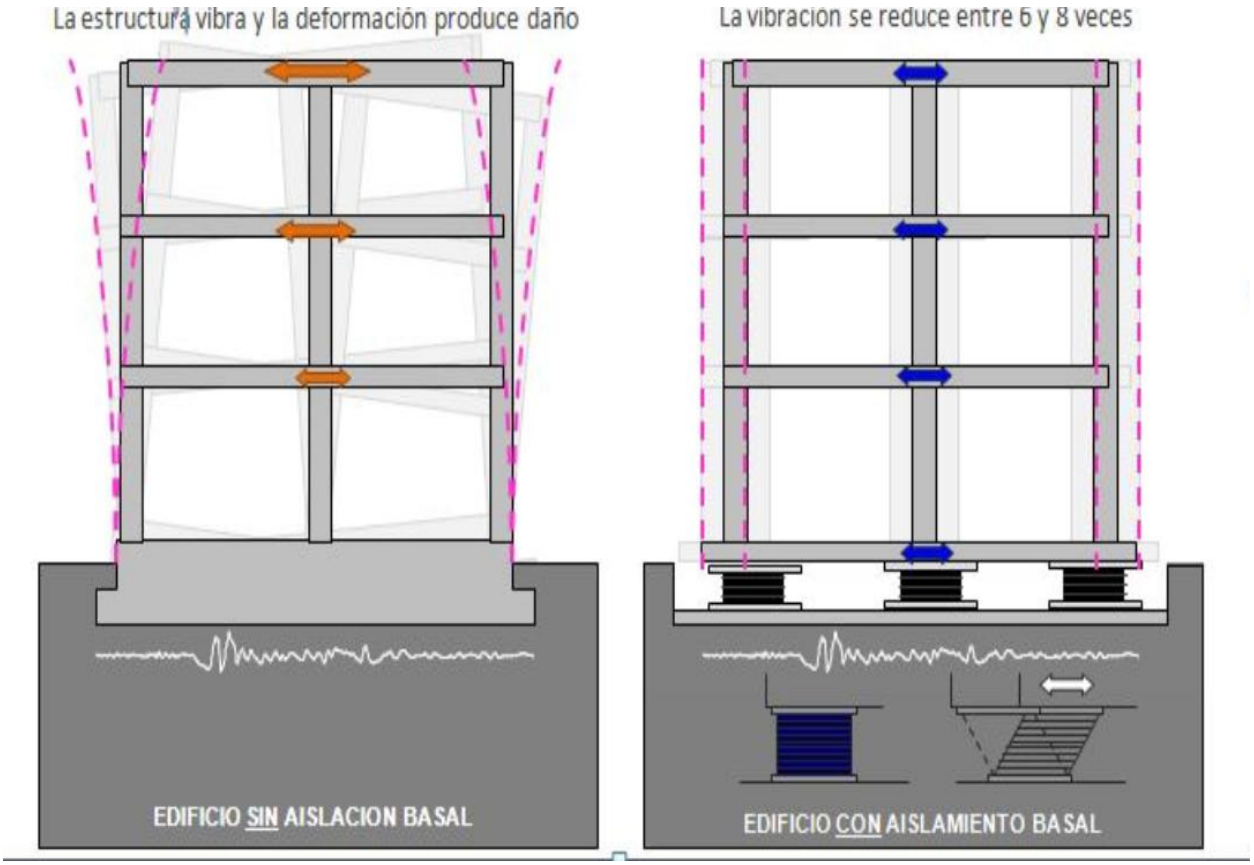

Ilustración 14 Sistemas de protección sísmica. Fuente: sioingenieria.

Las fuerzas sísmicas que se obtienen del análisis Fs, se reducen y muestran la capacidad de disipación de la energía R, que corresponden al sistema estructural de resistencia sísmica, para determinar las fuerzas sísmicas reducas en el diseño se deberán emplear combinaciones de carga prescritas, el valor del coeficiente de capacidad de disipación de energía básico, estas fuerzas de diseño de los elementos estructurales obtenidas siguiendo el procedimiento anotado, son fuerzas al nivel de resistencia, o sea que corresponden a fuerzas mayoradas que ya han sido multiplicadas por sus coeficientes de carga. Para elementos que se diseñan utilizando el método de esfuerzos de trabajo, dentro de los cuales se considera en título B, combinaciones de cargas, cargas vivas, parciales y muertas, se deberá considerar el empuje de tierra en el barrio Teusaquillo y la presión hidrostática genera por la tierra, las fuerzas y velocidades del viento que a mayor altura tienden a ser mayores.

5.2. Requisitos De Diseño

El diseño y la evaluación estructural ante eventos sísmicos de toda edificación, deben poseer un sistema estructural que se enmarque dentro de las normativas vigentes de la NSR-10 y cumpla con las exigencias de disipación de energía, el diseño no es lo único importante ya que al momento de la ejecución del proyecto se debe contar con los materiales que cumplan los estándares de calidad destinados para el proyecto, este sistema deberá ser eficaz para la recepción de fuerzas horizontales, de tal forma que pueda enfrentar efectos sísmicos desde cualquier orientación. Es vital que los elementos que no forman parte del sistema sismo resistente y los elementos no estructurales sean considerados dentro del análisis general.

La finalidad de construir una estructura bajo los parámetros de diseño correctos es garantizar que las fuerzas sísmicas sean canalizadas desde los focos donde se generan hasta los elementos que ofrecen resistencia ultima, debe haber una transmisión de cargas equilibradas a todo el sistema, siguiendo trayectorias estructurales continuas y con suficiente rigidez. Ese equilibrio se debe mantener en todos y cada uno de los pisos del sistema estructural hasta la cimentación, la que a su vez debe estar dimensionada para resistir cargas gravitacionales como efectos dinámicos del terreno, es por ello que se debe tener bastante responsabilidad al momento de llevar a cabo la ejecución de la cimentación, la cual contara de estudios geotécnicos, geológicos y topográficos, en los diseños sísmicos se favorecen los sistemas hiperestáticos lo que quiere decir que son redundantes, dado que ofrecen mayor estabilidad frente a la posible falla de algún elemento. En el barrio Teusaquillo se cuenta con sistemas isostáticos, los cuales requieren especial atención, ya que la pérdida de un solo componente puede comprometer la integridad global de la edificación, abordar este tema requiere mejoramientos estructurales e intervenciones que permitan el funcionamiento ideal y la respuesta correcta ante un evento sísmico.

Todos los parámetros de diseño deberán estar correctamente especificados, caracterizados y firmados por los ingenieros encargados del proyecto, garantizando la trazabilidad del mismo, estas especificaciones del terreno, diseño, materiales y tipo de uso deberán estar soportados por la NSR-10, en el desglose del proyecto se han identificado específicamente cada uno de los parámetros a tener en cuenta, por lo cual en este espacio solo queremos recalcar la importancia de tener en cuenta todos los parámetros de diseño, mencionados en la sección A de la norma vigente.

5.3. Condiciones de los Sistemas Estructurales

Se establecen condiciones mínimas para todo sistema estructural que se deben cumplir y considerarse ante cualquier evento sísmico según la NSR-10, donde se define como está compuesto el sistema resistente, el comportamiento de las cargas horizontales y verticales durante un sismo, condiciones que se clasifican en tres grupos principales: configuración, desempeño y continuidad estructural, definidas en el Capítulo A.3 de la norma. Además, se clasifican los sistemas de resistencia sísmica en cuatro grupos principales por disposición y función de sus componentes verticales:

- Muros de carga: Muros que soportan cargas gravitacionales y horizontales.
- Sistemas combinados: Compuesto por pórticos resisten cargas verticales y muros a cargas diagonales o horizontales.
- Sistemas de pórticos resistentes a momento: Son estructuras compuestas por marcos espaciales, sin diagonales.
- Sistemas duales: Los cuales integran pórticos resistentes a momento con muros o arriostramientos, en los cuales ambos sistemas contribuyen al control del cortante basal.

Se definen de tal manera que los sistemas deben tener elementos resistentes a cargas sísmicas en dos direcciones ortogonales, diseñadas de tal manera que sean resilientes ante un sismo sin importar la dirección de la aceleración, en Teusaquillo pudimos identificar que no se empleó este sistema ya que no se contaba con normativas que concluyeran sobre el mismo, encontramos una configuración irregular en planta y en altura lo que implica asimetrías, retranqueos, pisos blandos, ya que estas condiciones generan concentraciones de esfuerzos y comportamientos inestables de tal manera que se entra a penalizar una reducción del factor R con coeficientes φp, φa y φr. Cada uno de los limites definidos de altura y condiciones de uso, son consecuencia de la zona sísmica en la que se encuentra la edificación.

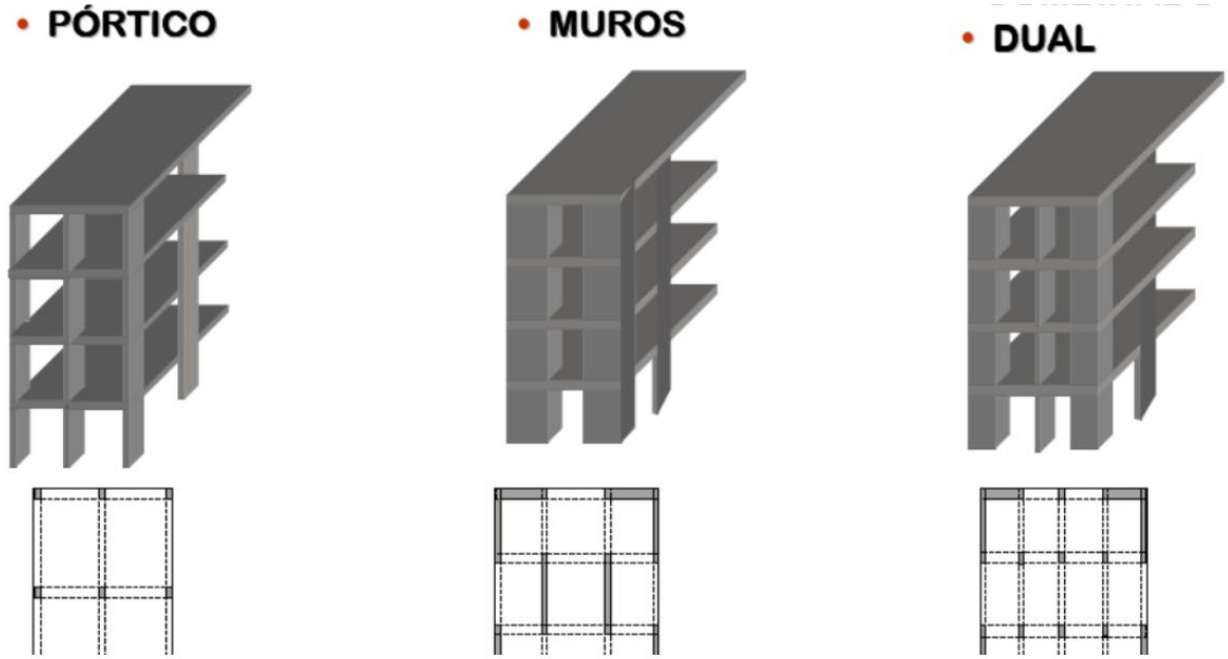

Ilustración 15 Sistemas estructurales más comunes en concreto armado. Fuente: sioingenieria.

Estas condiciones son orientadas a asegurar la capacidad del sistema para disipar la energía que trasmite un evento sísmico, para deformarse sin colapso en total resiliencia de los materiales y mantener su integridad estructural, parámetros establecidos (NSR-10, A.3.1.3) donde se definen las capacidades de disipación de la energía. Se define la capacidad mínima para mampostería no reforzada, estructuras no diseñadas sísmicamente (DMI), capacidad moderada para concreto reforzado con detalle básico (DMO) y capacidad especial para estructuras diseñadas inelásticamente sin fallar (DES).

El factor R mencionado en este capítulo es el factor de reducción sísmica, el cual depende del tipo de sistema y su capacidad para disipar energía, en consecuencia a mayor capacidad mayor R y por tanto menor carga sísmica exigida, un factor bastante importante a evaluar en el barrio Teusaquillo ya que si las estructuras no están cumpliendo con este parámetro por su antigüedad deberá equilibrarse con mejoramientos estructurales que permitan dar un buen comportamiento de la estructura frente a un evento sísmico. Otro elemento a considerar en este capítulo que es vital es la redundancia estructural estipulado (NSR-10, A.3.3.8), define que la estructura debe tener elementos que sean capaces de resistir sismo y se puede penalizar de hacer falta redundancia en la estructura con un factor de $\varphi r < 1.0$.

5.3. Métodos de Análisis Sísmico

Todas las edificaciones se deben clasificar como regulares o irregulares, esta clasificación dependerá de su diseño en planta y en altura, las configuraciones irregulares están sujetas a penalizaciones que reducen el valor del coeficiente de capacidad de disipación de energía, con factores correctivos asociados a la geometría y la distribución estructural, definidas en planta (φp), en altura (φa) y por ausencia de redundancia (φr), estas reducciones impactan directamente en la demanda de resistencia de los elementos estructurales y buscan mejorar la resistencia sísmica de la misma. Una estructura con comportamiento frágil bajo sismo no se puede beneficiar de valores altos de R, se deberá demostrar que el fallo de uno o más componentes de la estructura no debe ser mayor al 33% de la capacidad por nivel, con ello no deberá generar irregularidades torsionales extremas, por ello se buscan enfoques analíticos para evaluar el comportamiento sísmico de las estructuras.

- Fuerza lateral equivalente: Es aplicable en edificaciones regulares de menor altura, y en algunos casos de estructuras irregulares.
- Análisis dinámico elástico modal: Necesario para estructuras altas, con irregularidades complejas o en terrenos problemáticos con perfiles de suelo tipo D, E o F).
- Análisis dinámico inelástico: En estructuras con comportamiento no lineal esperado.
- Métodos alternativos: Serán válidos siempre que estén respaldados por la ingeniería estructural moderna y no vulneren los límites definidos por la norma.

El análisis sísmico representa una herramienta fundamental para comprender el comportamiento dinámico de las edificaciones ante la acción de movimientos telúricos, se determina por medio de la aplicación de métodos estáticos y dinámicos, lineales y no lineales, es posible identificar las debilidades estructurales, prever modos de falla y estimar la capacidad de absorción de energía de los distintos sistemas constructivos, esta etapa analítica no solo respalda las decisiones técnicas para procesos de reforzamiento o rehabilitación, sino que también contribuye a reducir la exposición al riesgo de los ocupantes, en línea con los principios de la gestión del riesgo de desastres y las exigencias de la normativa sismorresistente vigente en Colombia.

5.4 Selección de la muestra y justificación del tamaño

Se estableció una muestra de 247edificaciones del barrio Teusaquillo, las cuales fueron seleccionadas teniendo en cuenta la accesibilidad visual desde espacio público, diversidad tipológica y representatividad territorial. Si bien el objetivo no fue estadístico probabilístico, se aplicó un modelo de estimación para justificar el tamaño de muestra mínimo requerido para observar patrones estructurales representativos.

El tamaño de la muestra se obtiene aplicando la fórmula clásica para poblaciones finitas:4

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{(N-1) * e^2 + Z^2 * p * q}$$

Donde,

- n = tamaño de la muestra
- N = población total estimada de edificaciones en Teusaquillo (según fuentes de alcaldía local se cuentan con aproximadamente 10.800 viviendas)
- Z = 1.96 (nivel de confianza del 95%)
- p = 0.5 (máxima variabilidad)
- q = 1 - p
- e = 0.07 (error de estimación aceptado: ±7%)

Al sustituir los valores:

$$n = \frac{10800 * 1{,}96^2 * 0{,}5 * (1 - 0{,}5)}{(10800 - 1) * 0{,}07^2 + 1{,}96^2 * 0{,}5 * (1 - 0{,}5)} = 1{,}96$$

Por lo tanto, una muestra de alrededor de 247 edificaciones garantiza un nivel de confianza del 95% con un margen de error aceptable para estudios de inspección visual.

6. Estudios y Aportes Internacionales

El análisis de la vulnerabilidad estructural es un estudio que se lleva a nivel mundial, en el ámbito internacional se encuentran numerosos estudios que han aportado a la comprensión del comportamiento de edificaciones frente a fenómenos sísmicos, estableciendo metodologías comparables y adaptables a regiones como Bogotá, caracterizadas por su patrimonio arquitectónico y sus condiciones geológicas particulares, para lo cual vamos a ver diferentes estudios y aportes que nos permiten ver cómo se abarca este tema en otros países que tengan condiciones similares a las de Colombia.

6.1. Global Earthquake Model (GEM)

El Global Earthquake Model (GEM) es una organización sin fines de lucro creada en 2009, con el respaldo de la OCDE, que busca generar modelos estandarizados y herramientas de evaluación del riesgo sísmico a nivel global, su enfoque combina análisis probabilístico, datos geológicos, vulnerabilidad estructural y exposición socioeconómica.

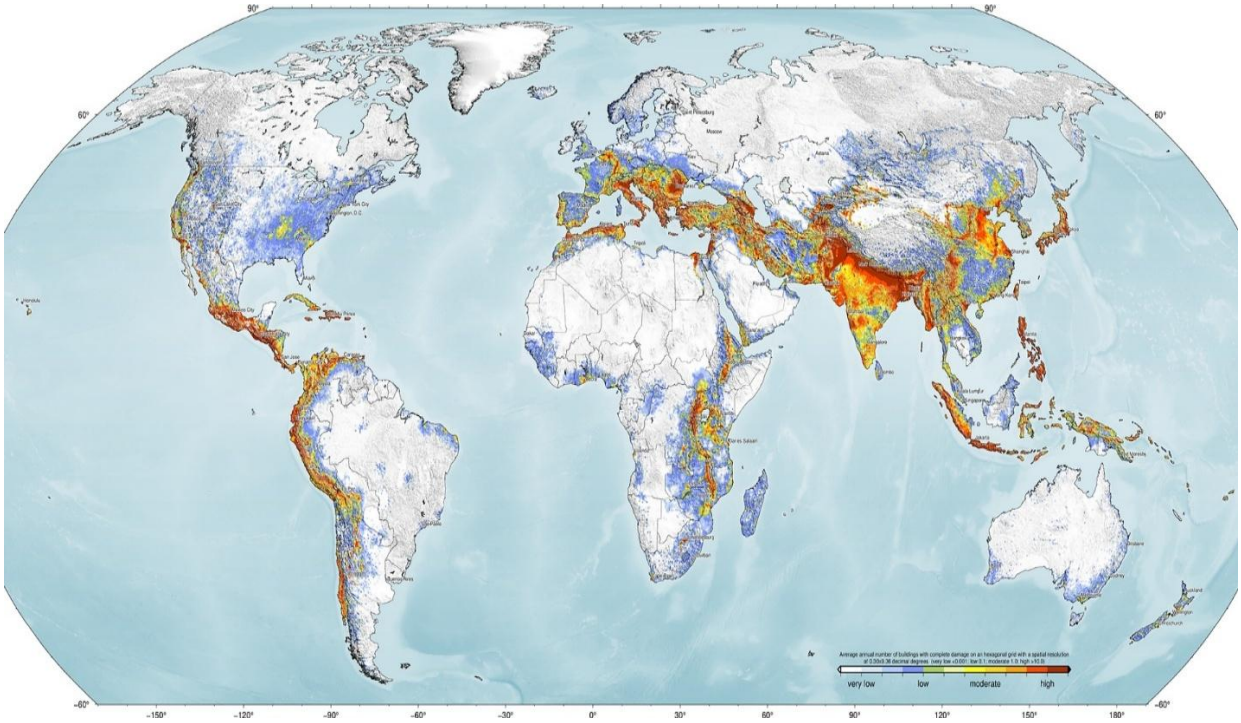

Ilustración 16 Mapa global de riesgo sísmico. Fuente: GEM.

GEM ha desarrollado herramientas como el OpenQuake Engine, que permite la simulación de escenarios sísmicos y estimación de pérdidas en distintos contextos urbanos, promueve el uso de tipologías constructivas para categorizar edificios según su respuesta sísmica, una metodología directamente aplicable a sectores como Teusaquillo, donde la heterogeneidad estructural es notoria, por lo cual este modelo permite implementar herramientas y modelos que son replicables en la ciudad de Bogotá y en especial a zonas vulnerables como Teusaquillo, proyectando escenarios de daño ante sismos de diferentes magnitudes, Según Silva. (et al 2019), este tipo de modelamiento probabilístico es esencial para la toma de decisiones en políticas de mitigación del riesgo.

6.2. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina

La RED es una plataforma regional fundada en la década de 1990, la cual ha promovido el análisis del riesgo desde una perspectiva social, entendiendo que los desastres no solo son fenómenos naturales, sino que pueden ser ocasionados por malas ejecuciones en procesos constructivos. Según la UNDRR (2022), la vulnerabilidad estructural no puede aislarse de factores como la informalidad urbana, la desigualdad y la debilidad institucional, lo cual corresponde a una visión crítica que ha influido en políticas públicas de países como México, Perú y Colombia, subrayando la necesidad de intervenciones estructurales y sociales simultáneamente.

Aunque Teusaquillo no es una zona marginal, presenta riesgos relacionados con edificaciones antiguas, muchas sin reforzamiento estructural, la RED permite comprender cómo incluso en contextos urbanos formales, la falta de actualización normativa y la ausencia de mantenimiento pueden generar condiciones de vulnerabilidad social y estructural. Aunque Teusaquillo no es un asentamiento informal, se enfrenta a formas menos visibles de vulnerabilidad dentro de las cuales se encuentran estructuras envejecidas, ausencia de mantenimiento programado y rezago en la actualización normativa. Siguiendo la lógica de La RED, esto responde a decisiones institucionales que priorizan otras zonas o ignoran los riesgos ocultos en sectores con apariencia de solidez urbana.

Además, La RED ha trabajado ampliamente la noción de gestión local del riesgo, donde se empodera a las comunidades y se articula la acción pública con la participación ciudadana, como resultado de esa participación, se pueden prevenir escenarios de desastre sin depender exclusivamente de grandes inversiones, lo que representa una oportunidad para construir gobernanza del riesgo desde lo local, especialmente considerando su perfil educativo, su tejido organizativo y su alto valor patrimonial.

6.3. Haussmann Institute of Earthquake Engineering and Engineering Seismology (IZIIS)

El IZIIS es un instituto europeo de investigación ubicado en Macedonia del Norte, reconocido por su experiencia en análisis dinámico, diseño sismorresistente y evaluación post-sísmica de edificaciones, creado hace 52 años, ha generado grandes contribuciones respecto a la creación de protocolos de inspección rápida tras eventos sísmicos, sus metodologías permiten identificar daños estructurales evidentes en edificaciones, lo que es vital para planificar refuerzos o demoliciones.

Es una metodología que se puede implementar en el barrio Teusaquillo, es una zona con construcciones antiguas, que con los años han tenido un deterioro progresivo en elementos estructurales como columnas, losas o mampostería portante, también se ve deterioro en elementos no estructurales. La importancia de la intervención en este barrio se fundamenta en su valor patrimonial y urbano para la ciudad, por lo cual es importante aplicar metodologías y procedimientos que permitan mejorar la capacidad estructural, acá es donde el modelo IZIIS muestra como en Europa han llevado a cabo intervenciones efectivas por medio de la evaluación, clasificación y priorización del riesgo desde el conocimiento técnico aplicados, esto les ha permitido construir mapas detallados de vulnerabilidad, si podemos replicar este modelo en Teusaquillo podríamos delimitar las zonas con mayor riesgo, permitiendo tomar decisiones diferenciales sobre refuerzo, intervención o monitoreo.

IZIIS ha promovido el uso de tecnologías de reforzamiento no invasivas, como el uso de materiales compuestos (polímeros reforzados con fibra) o dispositivos de control pasivo de energía, que resultan útiles en edificaciones donde se debe preservar la integridad estética o histórica. Estos criterios coinciden con los desafíos propios del barrio, donde el valor cultural de muchas edificaciones exige intervenciones que no alteren su identidad arquitectónica original, adoptar metodologías como las del IZIIS no solo permite actuar de forma técnica y sistemática ante el riesgo estructural, sino que además abre la puerta a una cultura de prevención más descentralizada, sostenible y compatible con los valores urbanos del patrimonio, el verdadero reto radica en traducir estas herramientas al lenguaje local y articularlas con la institucionalidad distrital y la participación comunitaria.

6.4. Experiencia Japonesa: Building Standard Law

Japón ha logrado consolidar uno de los sistemas más avanzados de preparación y respuesta frente a terremotos, su normativa sismorresistente, conocida como Building Standard Law, ha evolucionado constantemente a partir de las lecciones aprendidas en catástrofes como el terremoto de Kobe en 1995 y el de Tōhoku en 2011. A diferencia de lo que sucede en muchos países, esta normativa no se queda en el papel ya que existe un cumplimiento riguroso, verificado por entidades locales, que garantiza que las nuevas construcciones y muchas antiguas puedan soportar eventos de gran magnitud.

Ilustración 17 Terremoto en Japón. Fuente: El Economista.

Una de las características más importantes del enfoque japonés es su énfasis en la prevención, no se espera a que ocurra un desastre para actuar, sino que se diseñan estructuras que puedan resistir, absorber y adaptarse a las fuerzas sísmicas, según Murao y Yamazaki (2000), el sistema japonés ha permitido salvar miles de vidas gracias al desarrollo de materiales innovadores y al reforzamiento sistemático de estructuras que han sido claves para evitar cualquier catástrofe. Llevar esta experiencia barrio Teusaquillo implica reconocer que no basta con proteger el patrimonio arquitectónico desde lo estético o lo cultural, también debe protegerse desde la ingeniería, muchas edificaciones del barrio tienen un valor simbólico enorme, pero podrían colapsar fácilmente en un sismo de intensidad moderada, por lo cual este modelo se puede

implementar perfectamente desde la evaluación, prevención y anticipación a un fenómeno natural, de igual manera se puede aplicar el manual propuesto de restauración de proyectos.

6.5. Caso Chileno: Sismo del Maule

El terremoto de Chile en el año 2010, con una magnitud de 8.8, dejo múltiples lecciones para el diseño y la gestión del riesgo estructural en América Latina, muchas de sus construcciones resistieron y otras edificaciones con pocos años de construcción colapsaron, lo que revelo fallas en la aplicación de la normativa como en la supervisión técnica, la reacción del estado chileno fue rápida y estructurada, se entró a hacer una revisión de los códigos de construcción, se establecieron nuevos criterios de diseño sísmico, se implementaron nuevas tecnologías como las bases aisladoras y los disipadores de energía.

Ilustración 18 Terremoto en Chile. Fuente: Preventionweb.

La implementación de nuevas tecnologías demostró la reducción de manera significativa, la cantidad de energía que ingresa a una estructura durante un sismo, disminuyendo el riesgo de daños graves, según Boroschech et al. (2012), este tipo de innovación podría aplicarse en edificaciones claves para el barrio Teusaquillo, aunque es una inversión bastante elevada, es una alternativa para edificaciones nuevas y existentes que es muy llamativa y que aún no se ve muy bien implementada en Colombia. En el contexto de Colombia los estudios y avances tecnológicos llegan con bastante lentitud, por ello es importante que los nuevos ingenieros estén a la vanguardia, que conozcan las nuevas técnicas de construcción y sean implementadas cuanta antes ya que esto puede salvar millones de vidas, es importante resaltar la importancia del manual de construcción, con especificaciones claras y concisas para cada país, normas que se deberían seguir al pie de la letra ante cualquier situación.

6.6. Guía de Inspección Visual para Edificaciones

La metodología de inspección visual es una herramienta que se usa en la evaluación de la seguridad estructural, tuvo su origen en contextos donde se evidenció la necesidad de actuar rápidamente frente a desastres naturales, especialmente terremotos. Su desarrollo sistemático comenzó en Estados Unidos a mediados del siglo XX, impulsado por los efectos devastadores de eventos sísmicos como el terremoto de San Fernando en 1971, que puso en evidencia la fragilidad de numerosas estructuras sin diseños, ni criterios sismorresistentes.

En ese contexto, la Federal Emergency Management Agency (FEMA), en colaboración con la Applied Technology Council (ATC), desarrolló el primer sistema estandarizado para realizar inspecciones rápidas de edificaciones, de esta manera nació la metodología conocida como Rapid Visual Screening (RVS), formalizada en el documento FEMA 154, su primer versión fue publicada en 1988 y su versión más reciente se publicó en 2021, ha sido actualizada progresivamente, dada su efectividad y versatilidad, muchos países han adoptado esta guía y han obtenido resultados contundentes, es por ello que centraremos nuestra atención en esta metodología.

Esta metodología es implementada ante desastres de gran escala, partiendo que no es viable aplicar estudios estructurales detallados a cada edificación, con el tiempo quedo claro que es necesario tener procedimientos agiles, de bajo costo y confiables, que permitiera clasificar miles de estructuras según su nivel de riesgo, orientando a tomar decisiones urgentes sobre evacuaciones, refuerzos o demoliciones, esta idea fue tan efectiva que su adopción trascendió las fronteras estadounidenses. Posteriormente, países con alta actividad sísmica como Japón, Turquía, Nueva Zelanda, Italia y varios de América Latina, adaptaron el RVS a sus condiciones particulares, sin ir más lejos el Instituto Nacional de Defensa Civil del Perú (INDECI) y la Red Colombiana de Evaluación Sísmica, han implementado metodologías similares, adaptando los criterios a las tipologías locales de construcción sin parámetros de diseño sismo resistentes, los materiales predominantes de construcción y a las posibles vulnerabilidades sociales.

Un aspecto clave que ha potenciado la difusión de esta metodología es su carácter no invasivo y replicable, lo cual permite que sea aplicada tanto por profesionales como por brigadas comunitarias capacitadas, su integración con herramientas tecnológicas, como aplicaciones móviles de levantamiento de datos georreferenciados, lo cual ha permitido generar mapas dinámicos de riesgo urbano, útiles para la toma de decisiones territoriales. En el caso colombiano, aunque la NSR-10 establece criterios formales de diseño sismorresistente, la inspección visual sigue siendo fundamental, especialmente en sectores consolidados como Teusaquillo, donde muchas edificaciones fueron construidas sin aplicar normativas modernas, de allí que esta metodología no solo tenga un valor técnico, sino también social, ya que permite fomentar una cultura de prevención desde lo cotidiano y con recursos limitados.

6.6.1. Fundamentos del Método

La inspección visual como técnica de evaluación estructural nace de una necesidad clara y es disponer de una herramienta confiable, rápida y económica para diagnosticar la vulnerabilidad de edificaciones ante eventos sísmicos, sin la necesidad de procedimientos complejos, demorados, destructivos y costosos, esta necesidad no es menor en ciudades con alto grado de consolidación urbana, donde el número de

edificaciones por evaluar supera con creces la capacidad de los equipos técnicos disponibles. El principio básico del método es que muchos signos de deterioro o vulnerabilidad pueden ser identificados a simple vista, siempre que se cuente con un criterio técnico claro, como la presencia de fisuras, deformaciones, asentamientos o materiales deteriorados, los cuales son criterios que brindan señales objetivas que permiten estimar el estado de salud estructural de una construcción, de manera sencilla una construcción manifiesta su estado por medio de sus condiciones físicas, es por ello que la metodología da parámetros claros para que el inspector interprete la vulnerabilidad de la estructura o zona de estudio.

Este método se apoya también en el conocimiento acumulado sobre cómo responden ciertos tipos de estructuras ante sismos, quiere decir que la metodología se soporta en bases de estudio, que ayudan a entender de una manera más simple como se comportan los materiales de construcción, siendo un caso puntual la mampostería no confinada es altamente vulnerable, las columnas cortas concentran esfuerzos peligrosos o que los techos pesados aumentan la inercia sísmica, por tanto la observación visual no se limita a buscar daños evidentes, sino también a identificar configuraciones estructurales potencialmente riesgosas, incluso si aún no presentan fallas visibles.

A diferencia de los métodos instrumentales, que requieren medición de variables físicas como frecuencias de vibración o deformaciones reales, la inspección visual se apoya en el juicio técnico cualificado, que depende de la experiencia del profesional que realiza la evaluación, esta característica, lejos de ser una debilidad, permite una evaluación ágil y masiva, especialmente útil en procesos de planificación urbana, gestión del riesgo o atención post desastre. En contextos como el barrio Teusaquillo, donde muchas edificaciones son de carácter patrimonial o datan de principios del siglo XX, la inspección visual tiene una doble función, su primer función es generar un diagnóstico del estado de la edificación y su segunda función es preservar el valor arquitectónico mediante intervenciones adecuadas y no invasivas, esto exige una lectura contextualizada del entorno, a la final no se trata solo de verificar daños, sino de comprender las condiciones constructivas originales, los materiales utilizados y las intervenciones que ha tenido la estructura a lo largo del tiempo.

Esta metodología se complementa con herramientas de evaluación estandarizadas, sistemas de georreferenciación y tecnologías móviles que permiten organizar, comparar y priorizar las edificaciones según su riesgo, este enfoque ha sido adoptado y validado por instituciones como FEMA en EE.UU., IZIIS en Europa y agencias nacionales de defensa civil en países andinos, con ello se han logrado definir los fundamentos de la metodología y se basan en:

- La observación sistemática de signos físicos de deterioro estructural.
- El conocimiento técnico sobre tipologías constructivas vulnerables.
- El juicio profesional sustentado en experiencia y criterios definidos.
- La posibilidad de aplicarlo de manera masiva, rápida y no destructiva.

Este conjunto de fundamentos hace de la inspección visual una herramienta esencial para enfrentar la vulnerabilidad estructural en zonas urbanas tradicionales y es por ello que usaremos sus fundamentos en el desarrollo de las recomendaciones para el barrio Teusaquillo, donde el tiempo, los cambios funcionales y el olvido institucional han dejado perder el valor de muchas edificaciones, con los años se ve en el deterioro de las estructuras que no han correspondido al debido mantenimiento.

6.6.2. Elementos Estructurales a Evaluar

Uno de los principios más importantes en cualquier inspección visual estructural es comprender que las edificaciones no fallan por un único componente, sino por el comportamiento colectivo de sus partes, por ello, un análisis efectivo debe centrarse en identificar la condición de los elementos estructurales clave que sostienen la edificación y resisten tanto las cargas estáticas como los esfuerzos generados por eventos extremos, como los movimientos sísmicos, por ello se deben comprender todos los elementos estructurales a evaluar, desglosar cada uno y entender su funcionamiento en la estructura.

6.6.3. Elementos estructurales

La inspección de los elementos estructurales busca reconocer el estado físico y funcional de los componentes que garantizan la estabilidad de la edificación, se revisan los sistemas que resisten cargas verticales y horizontales, las cuales son criticas ante eventos sísmicos o asentamientos del terreno.

6.6.3.1. Columnas

Se evalúa la integridad física observando fisuras verticales u oblicuas, desprendimientos del recubrimiento, exposición del acero de refuerzo y oxidación, también se considera el alineamiento vertical, en la inspección una columna inclinada, agrietada o visiblemente deformada puede indicar pérdida de capacidad portante, en nuestra inspección visual del barrio Teusaquillo se encontró columnas de concreto pobremente reforzado y sin estribos, lo que compromete la resistencia de la columna.

6.6.3.2. Vigas

Las vigas se inspeccionan por presencia de fisuras longitudinales, abultamientos, pandeo o deformaciones, se puede observar de una manera más clara las uniones con muros o columnas, ya que estas zonas son críticas en el comportamiento sísmico, en edificaciones antiguas, las vigas de concreto frecuentemente presentan deterioro en los apoyos y pérdida de adherencia con el acero, lo cual puede comprometer la transferencia de carga.

6.6.3.3. Muros Portantes

Se observan grietas diagonales, separaciones entre paños, desplomes o fisuras en forma de X que indiquen esfuerzos de corte, como se mencionó en la tabla de patologías estructurales, también se analiza la continuidad del muro en altura y la existencia de vanos sin refuerzo, en estructuras de mampostería no confinada, este punto es esencial, ya que estos muros asumen cargas sin estar diseñados para deformaciones sísmicas.

6.6.3.4. Cimentaciones

Aunque en muchos casos no están expuestas, se pueden detectar problemas de cimentación mediante signos indirectos como fisuras en la base de los muros, pisos con desnivel, separación entre muros y elementos del piso, o puertas que no encajan correctamente.

6.6.4. Materiales y Técnicas Constructivas

La inspección visual implica interpretar los materiales empleados, su calidad, su disposición y las técnicas constructivas originales o intervenidas a lo largo del tiempo, es fundamental conocer si estos materiales cumplen con las exigencias sísmicas actuales o si fueron instalados sin criterios técnicos adecuados.

6.6.4.1 Tipología del Sistema Estructural

Se identifica si la estructura es de pórticos en concreto reforzado, muros portantes en mampostería, estructuras metálicas o combinaciones, esta información permite anticipar las zonas vulnerables de acuerdo con el comportamiento esperado ante sismos.

6.6.4.2. Calidad de los Materiales

La inspección visual puede ofrecer indicios sobre la calidad del concreto por su textura, porosidad y fisuras, en los ladrillos por la uniformidad, integridad y la adherencia de la mezcla, en edificaciones antiguas se emplearon materiales artesanales sin control técnico y materiales de baja calidad.

6.6.4.3. Técnica de Construcción

Se observa si la estructura muestra empalmes improvisados, mezclas de materiales en un mismo elemento, ausencia de juntas constructivas o intervenciones irregulares, las técnicas artesanales, como la mampostería levantada sin niveles o las losas de vigueta y bovedilla instaladas sin cálculo, requieren una atención especial.

6.6.4.4. Modificaciones Estructurales sin Control Técnico

En edificaciones modificadas con ampliaciones, demoliciones internas o adiciones de entrepisos, se identifican puntos donde la técnica constructiva no fue respetada, lo cual genera discontinuidades estructurales y debilidad frente a cargas sísmicas.

6.6.5. Elementos no estructurales

Los elementos no estructurales, no se someten directamente a cargas producidas por la estructura, sin embargo, pueden representar riesgos significativos en caso de sismo, ya que su desprendimiento puede causar lesiones graves o bloquear rutas de evacuación.

6.6.5.1. Muros Divisorios

Se verifica su anclaje a los sistemas estructurales, si están simplemente apoyados, sin anclajes, su colapso puede ser inmediato, lo que es común en divisiones recientes hechas con materiales livianos o en tabiques antiguos de ladrillo hueco.

6.6.5.2. Cielorrasos y Cubiertas

Se revisa el tipo de cielo raso generalmente están acabados en drywall, madera o concreto, en edificaciones antiguas en normal encontrar madera en muchas terminaciones, por lo cual se inspecciona si hay signos de humedad, fisuras o desprendimientos, las cubiertas, sobre todo en casas antiguas, a veces han sido alteradas con materiales pesados que incrementan la masa sísmica sin refuerzo adicional.

6.6.5.2. Fachadas, Balcones y Elementos Ornamentales

Estos componentes están muy presentes en la arquitectura patrimonial de Teusaquillo, deben evaluarse por fisuras, desprendimientos, inclinación o materiales sueltos, se evidenciaron balcones con hierro corroído o fijaciones deterioradas, que con el tiempo son especialmente peligrosos.

6.6.5.3. Escaleras y Barandas

Se verifica su anclaje, estado de los peldaños, fisuras o desgaste, las escaleras no diseñadas con continuidad estructural tienden a colapsar por torsión durante un sismo.

6.6.6. Condiciones externas

La evaluación visual también debe contemplar el contexto inmediato, ya que el entorno influye directamente en el comportamiento de la edificación.

6.6.6.1 Topografía y Nivel del Terreno

Las construcciones en laderas o rellenos presentan mayores riesgos de asentamientos diferenciales o deslizamientos, el sector del barrio Teusaquillo se encuentra en una zona donde confluían cauces canalizados, es vital considerar este factor, con ello la importancia de mapear la zona.

6.6.6.2. Estado de la vía pública y aceras:

Hundimientos en la vía, grietas o inclinación del andén pueden ser síntomas de problemas en el terreno de cimentación o fugas de servicios que afectan la estabilidad del subsuelo.

6.6.6.3. Edificaciones Aledañas

Se analiza si los predios adyacentes tienen altura superior, están apoyados sobre muros medianeros, o presentan inclinaciones, también se inspecciona si hay estructuras vecinas abandonadas, que podrían colapsar y dañar edificaciones sanas por proximidad.

6.6.6.4. Clima y Exposición Ambiental

La exposición prolongada a humedad, radiación solar directa o contaminación atmosférica deteriora gradualmente los materiales, se revisa si hay señales de filtraciones, corrosión o vegetación invasiva.

6.6.7. Clasificación del Riesgo

La clasificación del riesgo estructural es un proceso clave posterior a la inspección visual, permite jerarquizar las edificaciones según su nivel de vulnerabilidad y orientar decisiones sobre intervención, restricción de uso o evacuación, este análisis considera el comportamiento potencial de la edificación frente a un evento sísmico, basándose en el estado físico observado, la tipología constructiva y el entorno inmediato. La metodología más utilizada en Colombia y en otros países con alta amenaza sísmica sigue un modelo de tres niveles de riesgo alto, medio y bajo, cada categoría responde a un conjunto específico de síntomas físicos y condiciones estructurales detectadas durante la inspección.

Categoria	Descripción General	Recomendación
Bajo	Sin daños visibles, buena conservación	Revisión periódica cada 3-5 años
Medio	Daños menores o señales tempranas de deterioro	Evaluación técnica detallada
Alto	Daños estructurales graves, riesgo de colapso	Reubicación, refuerzo o demolición urgente

Tabla 4. Clasificación del riesgo. Fuente: Elaboración propia.

Clasificar el riesgo no es solo un ejercicio técnico, sino una herramienta de gestión urbana, que permite priorizar recursos, orientar políticas públicas, tomar decisiones responsables sobre uso, habitabilidad y proteger vidas, en sectores urbanos de alta vulnerabilidad por sus años de construcción como el barrio Teusaquillo, donde conviven valor histórico y amenaza sísmica, esta clasificación cobra una importancia mayor, que pretende no solo preservar estructuras, sino comunidades.

6.7. Marco de Sendai para la Reducción de Riesgos y Desastres

El Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres (2015–2030) (UNDRR, 2015) constituye una estrategia internacional adoptada por los Estados Miembros de las Naciones Unidas que establece prioridades claras para la reducción sistemática de las pérdidas ocasionadas por desastres. Su importancia radica en que no se enfoca únicamente en la respuesta posterior al evento, sino en una transformación estructural de los enfoques tradicionales, priorizando la prevención, preparación y adaptación de los territorios vulnerables.

En el caso colombiano, su adopción no ha sido meramente declarativa, el país incorporó sus lineamientos dentro del Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (PNGRD), así como en instrumentos normativos como el Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres 2022–2031 y la Ley 1523 de 2012., que establece la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, desde esta perspectiva. El Marco de Sendai no es una herramienta externa, sino un eje transversal que articula el desarrollo sostenible con la planificación del territorio, particularmente en entornos urbanos de alta densidad y vulnerabilidad, como es el caso del barrio Teusaquillo en Bogotá, este sector, compuesto en gran parte por edificaciones patrimoniales y estructuras construidas antes de la entrada en vigor de reglamentos sismo resistentes, presenta riesgos latentes que deben ser abordados con herramientas concretas.

Diagrama del Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030

Alcance y objetivo

El presente Marco se aplicará al riesgo de desastres de pequeña y gran escala, frecuentes y poco frecuentes, súbitos y de evolución lenta, naturales o causados por el hombre, así como a las amenazas y los riesgos ambientales, tecnológicos y biológicos conexos. Tiene por objeto orientar la gestión del riesgo de desastres en relación con amenazas múltiples en el desarrollo a todos los niveles, así como en todos los sectores y entre un sector y otro

Resultado esperado

La reducción sustancial del riesgo de desastres y de las pérdidas ocasionadas por los desastres, tanto en vidas, medios de subsistencia y salud como en bienes económicos, físicos, sociales, culturales y ambientales de las personas, las empresas, las comunidades y los países

Metas

Prevenir la aparición de nuevos riesgos de desastres y reducir los existentes implementando medidas integradas e inclusivas de índole económica, estructural, jurídica, social, sanitaria, cultural, educativa, ambiental, tecnológica, política e institucional que prevengan y reduzcan la exposición a las amenazas y la vulnerabilidad a los desastres, aumenten la preparación para la respuesta y la recuperación, y de ese modo refuercen la resiliencia

Objetivos

Reducir considerablemente la mortalidad mundial causada por los desastres para 2030, y lograr reducir la tasa de mortalidad mundial por cada 100.000 personas en la década de 2020-2030 respecto del período 2005-2015	Reducir considerablemente el número de personas afectadas a nivel mundial para 2030, y lograr reducir el promedio mundial por cada 100.000 personas en la década 2020-2030 respecto del período 2005-2015	Reducir las pérdidas económicas causadas directamente por los desastres en relación con el producto interno bruto (PIB) mundial para 2030	Reducir considerablemente los daños causados por los desastres en las infraestructuras vitales y la interrupción de los servicios básicos, como las instalaciones de salud y educativas, incluso desarrollando su resiliencia para 2030	Incrementar considerablemente el número de países que cuentan con estrategias de reducción del riesgo de desastres a nivel nacional y local para 2020	Mejorar considerablemente la cooperación internacional para los países en desarrollo mediante un apoyo adecuado y sostenible que complemente las medidas adoptadas a nivel nacional para la aplicación del presente Marco para 2030	Aumentar considerablemente la disponibilidad y el acceso de las personas a los sistemas de alerta temprana de peligros múltiples y a la información sobre el riesgo de desastres y las evaluaciones para el año 2030.

Tabla 5. Marco Sendai para la reducción de riesgo de desastre. Fuente: UNISR.

Es por ello que surge el Marco Sendai, una de las cuatro prioridades fundamentales es comprender el riesgo de desastres, el cual se materializa directamente en la ejecución de metodologías como la guía de inspección visual estructural, que forma parte de nuestro proyecto, dicha guía nombrada en el parámetro 6.6. permite levantar información cualitativa y técnica sobre el estado actual de las edificaciones, su comportamiento ante cargas y posibles daños estructurales ocultos. Esta acción no solo facilita el cumplimiento de la NSR-10, sino que fortalece la toma de decisiones informadas sobre intervenciones prioritarias, mitigación de

fallas potenciales y planeación territorial sostenible.

La segunda prioridad del Marco es fortalecer la gobernanza del riesgo, se relaciona con la responsabilidad institucional y ciudadana en la protección de bienes y personas, en relación a esto, nuestra propuesta de análisis en Teusaquillo contribuye directamente al fortalecimiento de capacidades locales, pues promueve la sistematización del conocimiento técnico y su difusión entre actores clave como ingenieros, arquitectos, juntas de acción comunal y autoridades distritales. La inversión en la reducción del riesgo de desastres, que es la tercera prioridad del marco se alinea con el planteamiento del proyecto, que es reforzar estructuras existentes a través de intervenciones focalizadas que llega a ser más viable por su economía y eficiencia, dando guías para evitar un colapso estructural y asumir los costos humanos y materiales de un desastre, en base a acciones preventivas como estas reducen la presión sobre el sistema de emergencias y sobre el tejido social afectado. Por último, se habla de la mejora en la preparación ante desastres y la reconstrucción mejorada tras un evento son objetivos que solo pueden alcanzarse si existe un diagnóstico claro y anticipado de las condiciones del entorno construido, este análisis técnico en Teusaquillo se convierte en una acción coherente con la lógica de resiliencia que promueve el Marco de Sendai una ciudad segura no es aquella que responde bien a una catástrofe, sino la que la previene de forma eficaz.

Prioridades de acción

Los Estados deben adoptar medidas específicas en todos los sectores, en los planos local, nacional, regional y mundial, con respecto a las siguientes cuatro esferas prioritarias.

Prioridad 1	Prioridad 2	Prioridad 3	Prioridad 4
Comprender el riesgo de desastres	Fortalecer la gobernanza del riesgo de desastres para gestionar dicho riesgo	Invertir en la reducción del riesgo de desastres para la resiliencia	Aumentar la preparación para casos de desastre a fin de dar una respuesta eficaz, y "reconstruir mejor" en el ámbito de la recuperación, la rehabilitación y la reconstrucción
La gestión del riesgo de desastres debe basarse en una comprensión del riesgo de desastres en todas sus dimensiones de vulnerabilidad, capacidad, exposición de personas y bienes, características de las amenazas y el entorno	La gobernanza del riesgo de desastres en los planos nacional. regional y mundial es de gran importancia para la gestión de la reducción del riesgo de desastres en todos los sectores, así como para garantizar la coherencia de los marcos nacionales y locales de las leyes, regulaciones y políticas públicas que, al definir las distintas funciones y responsabilidades, ayuden, alienten e incentiven a los sectores público y privado para adoptar acciones y abordar el riesgo de desastres	Las inversiones públicas y privadas para la prevención y reducción del riesgo de desastres mediante la aplicación de medidas estructurales y no estructurales son esenciales para aumentar la resiliencia económica, social, sanitaria y cultural de las personas, las comunidades, los países y sus bienes, así como del medio ambiente. Estos factores pueden impulsar la innovación, el crecimiento y la creación de empleo. Las medidas de este tipo son rentables y fundamentales para salvar vidas, prevenir y reducir las pérdidas, así como para asegurar la recuperación y rehabilitación efectivas	La experiencia adquirida indica que es necesario reforzar la preparación en casos de desastres a fin de ofrecer una respuesta más eficaz y garantizar que se dispone de las capacidades necesarias para la recuperación efectiva. Los desastres han demostrado también que la fase de recuperación, rehabilitación y reconstrucción, que debe estar preparada antes de la catástrofe, es una oportunidad decisiva para "reconstruir mejor", incluso a través de la integración de medidas de reducción del riesgo de desastres. Las mujeres y las personas con discapacidad deben encabezar y promover públicamente los enfoques basados en la equidad de género y universalmente accesibles durante las fases de respuesta y reconstrucción

Principios rectores

Los Estados tienen la responsabilidad primordial de prevenir y reducir el riesgo de desastres, entre otras cosas mediante la cooperación	Responsabilidad compartida entre los gobiernos centrales y las autoridades, los sectores y las partes interesadas a nivel nacional, según se considere adecuado en función de sus circunstancias nacionales	Proteger a las personas y sus bienes, al tiempo que se promueven y se protegen todos los derechos humanos, incluido el derecho al desarrollo	Colaboración de toda la sociedad	La plena participación de todas las instituciones ejecutivas y legislativas del Estado a nivel nacional y local	Se debe empoderar a las autoridades y las comunidades locales mediante recursos, incentivos y responsabilidades en materia de adopción de decisiones, según corresponda	La adopción de decisiones debe ser inclusiva y basada en el conocimiento sobre los riesgos, con un enfoque basado en peligros múltiples

Coherencia de las políticas, los planes, las prácticas y los mecanismos de reducción del riesgo de desastres y de desarrollo sostenible en los diferentes sectores	Considerar las características locales y específicas de los riesgos de desastres a la hora de determinar las medidas para reducir el riesgo	Abordar los factores subyacentes del riesgo de desastres de manera rentable, realizando inversiones en lugar de depender principalmente de la respuesta y la recuperación después de un desastre	Una "reconstrucción mejor" para prevenir nuevos desastres y reducir el riesgo de desastres	La alianza mundial y la cooperación internacional deben ser efectivas, significativas y fuertes	El apoyo de los países desarrollados y asociados para los países en desarrollo debe adaptarse a sus necesidades y prioridades, según definan ellos mismos

www.preventionweb.net/go/sfdrr
www.unisdr.org
isdr@un.org

UNISDR
Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres

Tabla 6. Marco Sendai para la reducción de riesgo de desastre, acciones y principios. Fuente: UNISDR.

El Marco de Sendai constituye una herramienta estratégica que trasciende los límites normativos y se convierte en una guía operativa para la toma de decisiones informadas en torno a la gestión del riesgo, su enfoque en la prevención, la reducción de vulnerabilidades y la integración de múltiples sectores en el análisis de amenazas ofrece una base sólida para replantear la forma en que se concibe la seguridad en los entornos urbanos. En el contexto colombiano y puntualmente en nuestra zona de interés, la aplicación de estos lineamientos internacionales permite alinear las intervenciones técnicas y sociales con estándares globales, favoreciendo así una respuesta más eficiente, planificada y sostenible frente a los riesgos estructurales y ambientales presentes en el territorio.

Este documento no solo hace mención del Marco de Sendai, sino que lo aplica de forma práctica. La metodología de inspección visual estructural utilizada responde a la primera prioridad del Marco: comprender el riesgo, permitiendo clasificar edificaciones vulnerables a partir de signos visibles y criterios técnicos. Genera información clara, sistematizada y territorializada lo cual permite fortalece la gobernanza local, aportando insumos que pueden ser usados por autoridades, instituciones educativas y comunidad. En ese sentido, el instrumento construido y aplicado en Teusaquillo representa una acción concreta que traduce los principios del Marco en una herramienta útil para la prevención de desastres y la planificación urbana responsable.

6.8. Limitaciones del estudio

Es fundamental que el lector o investigador que retome este estudio considere las limitaciones metodológicas que pueden influir en la interpretación y validez de los resultados, particularmente, es necesario examinar con detalle aspectos como el tipo de inspección empleada en este caso, visual y realizada únicamente desde el espacio público, lo cual restringe la observación a elementos externos y visibles, dejando por fuera condiciones internas que podrían ser determinantes en el diagnóstico estructural, se debe tener en cuenta la imposibilidad de acceder al interior de las edificaciones inspeccionadas, lo que impide una evaluación integral de sus sistemas constructivos y su estado real de conservación. Es pertinente reflexionar sobre el criterio de selección de la muestra, evaluando si esta responde a parámetros técnicos, geográficos o simplemente a condiciones de accesibilidad, esto se relaciona directamente con el nivel de representatividad de las viviendas analizadas frente al conjunto total del barrio o sector en estudio, reconocer y describir con claridad estas consideraciones no solo delimita adecuadamente el alcance del análisis, sino que también contribuye a la transparencia y rigurosidad del proceso investigativo. Finalmente, esta reflexión crítica puede servir como punto de partida para plantear futuras investigaciones complementarias, que aborden dichas limitaciones mediante inspecciones más profundas, modelaciones estructurales o estudios comparativos con otras zonas de características similares.

Para superar las restricciones de la inspección visual externa limitada al espacio público, se propone implementar un protocolo de inspección técnica integral que combine metodologías por niveles, incluyendo inspección externa sistemática mediante drones equipados con cámaras de alta resolución y sensores termográficos, seguida de inspección semi-invasiva utilizando ensayos no destructivos (esclerometría, ultrasonido, georradar y termografía infrarroja) para evaluar condiciones internas estructurales con el fin de obtener información clave para la realización y clasificación de la vivienda a evaluar dentro del índice de vulnerabilidad.

7. Marco Legal y Normativo

En el análisis de la vulnerabilidad estructural de edificaciones, especialmente en sectores urbanos consolidados como el barrio Teusaquillo en Bogotá, el marco legal colombiano establece una base sólida que obliga a las autoridades y profesionales del sector a actuar de manera preventiva, técnica y coordinada, uno de los pilares más representativos en esta materia es el CONPES 3862 de 2016, que define la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres para la infraestructura pública educativa, que en su estructura normativa plantea lineamientos a infraestructuras vulnerables, promueve el diagnóstico, reforzamiento y monitoreo continuo de edificaciones, reconociendo que el conocimiento del riesgo es el punto de partida para cualquier intervención eficaz.

En Colombia también rige la Ley 1523 de 2012, que establece la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, refuerza el deber del estado y de los actores territoriales para identificar y reducir condiciones de riesgo existentes. Específicamente los artículos 1 y 2 definen el riesgo como una construcción social y técnica, establecen como principios rectores la prevención, la protección de la vida y la articulación institucional, también es importante la relevancia del articulo 42 el cual asigna responsabilidades concretas a los sectores productivos, profesionales, académicos y técnicos en la implementación de estrategias de evaluación, intervención y seguimiento, especialmente en contextos urbanos donde el deterioro estructural que puede amplificar la vulnerabilidad ante eventos naturales como los sismos.

La incorporación de estos lineamientos en nuestro caso de estudio no solo permite cumplir con lo exigido legalmente, sino que otorga legitimidad al proceso investigativo y técnico, posiciona la gestión del riesgo como un componente transversal en el análisis urbano y en la planificación de acciones correctivas que tengan impacto social y estructural. Así, el presente trabajo se desarrolla dentro de un marco normativo vigente, que exige precisión técnica, rigor ético y compromiso institucional frente al riesgo estructural en entornos urbanos consolidados.

7.1. CONPES 3862 de 2016

El documento CONPES 3862 de 2016, titulado “Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres en el Sector Educativo”, fue concebido con el propósito de reducir la vulnerabilidad física y funcional de las infraestructuras educativas públicas ante fenómenos naturales, su foco inicial se centra en las instituciones educativas, su contenido ofrece una base técnica y política sólida que puede extrapolarse a edificaciones de uso mixto o residencial, especialmente en zonas urbanas con estructuras envejecidas, como ocurre en el barrio Teusaquillo de Bogotá. La metodología de inspección visual permite reforzar el Plan de Gestión del Riesgo de Desastres 2022–2031 (UNGRD, 2023), que promueve una visión integral e intersectorial del riesgo urbano.

Uno de los aportes más valiosos de este documento es su insistencia en el conocimiento previo del riesgo como punto de partida para cualquier acción de mitigación, por ende reconoce que muchas edificaciones existentes, levantadas antes de la entrada en vigencia de normativas modernas como la NSR-10, presentan debilidades estructurales que deben ser identificadas mediante metodologías de diagnóstico técnico, de tal manera que el enfoque que presenta el documento es directamente aplicable a la investigación, partiendo de que la mayoría de edificaciones construidas en el barrio Teusaquillo, no cumplen con las normativas

correspondientes y actuales, la mayoría de sus edificaciones son viejas y algunas ya se consideran patrimonio, algunas se ven bastante deterioradas y abandonadas .

También se promueve la implementación de herramientas de inspección visual y análisis técnico como paso previo a cualquier intervención, estas herramientas permiten clasificar edificaciones según su nivel de riesgo, determinar su capacidad estructural frente a cargas sísmicas y orientar decisiones de reforzamiento o incluso de reconstrucción, este mismo principio se alinea con el uso de guías de inspección visual para edificaciones existentes, como la que se aplica en este estudio, lo que da respuesta a la necesidad de manuales que permitan generar diagnósticos e intervenciones oportunas. Dentro del documento se encuentra una visión a largo plazo, que articula la gestión del riesgo con la planificación territorial, el documento menciona que las soluciones no deben limitarse a la edificación aislada, sino que deben integrarse con estrategias urbanas más amplias, en las que los entornos vulnerables puedan ser reconfigurados bajo principios de seguridad, sostenibilidad y resiliencia.

Es respuesta a estos efectos se establecen mecanismos de financiamiento, seguimiento y articulación interinstitucional, lo que permite visualizar la gestión del riesgo como una política pública continua y no como una acción aislada, lo que le permite al profesional en ingeniería civil y afines generar soluciones técnicas y participación de manera activa en la formulación de estrategias locales de gestión del riesgo, en colaboración con entidades distritales y comunitarias, que permitan generar una base de información mas estructurada y real a la hora de llevar a cabo análisis de vulnerabilidad.

7.1.1. Importancia para Colombia

Su importancia radica en como posiciona el riesgo estructural en un tema de política pública integral, es decir, no solo técnico o sectorial, sus fundamentos parten de un diagnóstico claro, con una alta proporción de edificaciones públicas en Colombia que fueron construidas antes de 1998 que se puso en vigencia la norma de construcción sismo resistente en el país, un enfoque para estructuras que presentan deficiencias estructurales y que son altamente vulnerables ante sismos, deslizamientos y otras amenazas naturales, con base en esos diagnósticos se han propuesto políticas centradas en los siguientes parámetros.

- Conocimiento del riesgo estructural a través de estudios técnicos y evaluación visual de edificaciones.
- Reducción del riesgo mediante reforzamiento estructural, adecuación o reconstrucción.
- Gestión de emergencias fortalecimiento de capacidades institucionales para la respuesta.

Los tres componentes son de interés para la aplicación del riesgo de vulnerabilidad sísmica, ya que buscan generar inspecciones visuales, clasificación del riesgo y las posibles rutas de mitigación estructural en la zona de interés.

7.1.2. Marco Legal y Técnico

Se articula con un conjunto normativo nacional e internacional, que le otorga validez operativa y legal, por medio de leyes, decretos, normativas y estudios, que soportan o fortalecen sus fundamentos

- Ley 1523 de 2012: Crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo y establece que todas las entidades deben planificar el riesgo como parte de su función institucional.
- Decreto 2157 de 2017: Reglamenta aspectos operativos del SNGRD, incluyendo planes escolares y sectoriales.
- NSR-10 (Norma Colombiana de Construcción Sismo Resistente): Base técnica para diseñar, evaluar y reforzar estructuras.
- Marco de Sendai: Establece compromisos internacionales sobre cómo los países deben reducir su exposición a desastres y proteger infraestructuras críticas.
- ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible): En particular el ODS 11 sobre ciudades sostenibles y seguras.

Este marco le otorga no solo validez jurídica sino coherencia técnica, lo que lo convierte en una fuente legítima para respaldar proyectos que analicen vulnerabilidad estructural, como tu tesis.

7.1.3. Funcionamiento y Aplicación

El CONPES fue elaborado por el Departamento Nacional de Planeación (DNP) con la participación de los ministerios competentes, el ministerio de educación, de vivienda, y de ambiente, por lo que su implementación recae en entidades que sean capaces de hacer regir cada una de las pautas y componentes dictados por en el documento, encontramos en ese orden las siguientes entidades.

- Gobiernos locales alcaldías y gobernaciones, que deben aplicar las estrategias en sus territorios.
- Ministerio de Educación Nacional, como líder del componente sectorial.
- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), que coordina las acciones nacionales y establece lineamientos estratégicos a través del Plan Nacional de Gestión del Riesgo 2022–2031 (UNGRD, 2023). Secretarías de Planeación e Infraestructura en los entes territoriales.

A través de los planes de acción territoriales, se priorización las intervenciones y fuentes de financiación como el sistema general de regalías, cooperación internacional o presupuesto nacional, que permitan ejecutar los parámetros establecidos de manera rigurosa y efectiva.

7.2. Ley 1523 de 2012

La Ley 1523 de 2012 fue promulgada con el propósito de establecer un marco institucional y técnico que permita a Colombia gestionar de manera estructurada y anticipada los riesgos asociados a amenazas de origen natural, tecnológico y humano, por medio de esta normativa se organiza el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SNGRD), integrando entidades públicas, privadas y comunitarias en un esfuerzo conjunto por reducir las condiciones de vulnerabilidad y aumentar la capacidad de respuesta del país. Esta ley establece que el conocimiento del riesgo, su reducción y el manejo de desastres, estos procesos deben ser continuos e incorporados de manera obligatoria en los planes de desarrollo y en las decisiones de ordenamiento territorial, por lo cual la aplicación no esta norma en el barrio Teusaquillo, donde existen edificaciones con condiciones estructurales diversas y en muchos casos envejecidas. Alineado con el Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres 2022–2031 (UNGRD, 2023), la aplicación de metodologías de diagnóstico como la inspección visual no solo responde a una necesidad técnica, sino que materializa

una exigencia legal vigente y prioritaria.

7.2.1. Articulo 1

Este artículo enmarca el objetivo fundamental de la Ley “La presente ley tiene por objeto establecer la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y organizar el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres - SNGRD” pasando de una visión de atender desastres a una visión preventiva y de planificación estructural del riesgo, lo que establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SNGRD) como un conjunto articulado de entidades, normas, planes y políticas, cuyo propósito es reducir la exposición de la población a amenazas naturales, tecnológicas o humanas.

El enfoque se orienta hacia tres procesos esenciales, el conocimiento del riesgo, generando diagnósticos, evaluaciones y monitoreos continuos de posibles amenazas y vulnerabilidades, la reducción del riesgo por medio de intervenciones estructurales como reforzamientos y no estructurales como normas de uso del suelo, su último enfoque hace referencia al manejo de desastres, como se les da una respuesta oportuna y como se genera una recuperación post evento. El diagnóstico de vulnerabilidad estructural en Teusaquillo se encuentra dentro del primer proceso del conocimiento del riesgo, por ende, la propuesta de aplicar guías de inspección visual para categorizar edificaciones según su fragilidad estructural responde a lo que este artículo establece como función del SNGRD, a la final no es solo una iniciativa académica, sino una herramienta técnica que da cumplimiento al mandato legal nacional.

7.2.2. Articulo 2

Este artículo establece la base conceptual y técnica sobre la cual debe operar cualquier estudio, programa o intervención que busque disminuir el riesgo, de tal manera que, al descomponer el riesgo en amenaza y vulnerabilidad, permite realizar un enfoque sistemático, técnico y evaluable. Desde el punto de vista de la ingeniería, la vulnerabilidad estructural puede medirse a partir de la calidad y resistencia de los materiales, el cumplimiento de normas sismorresistentes (NSR-10), las condiciones de mantenimiento y deterioro, el entorno geotécnico y urbano.

Este artículo legitima el uso de métodos de inspección visual para identificar factores de fragilidad estructural, cada hallazgo en los resultados que se evidenciaran más adelante puede vincularse directamente a un indicador de vulnerabilidad y al combinarse con la amenaza sísmica de Bogotá permite calcular el nivel de riesgo total. Se puede ver una estrategia de gestión técnica del riesgo urbano, completamente alineada con el marco legal, evaluando el riesgo como la probabilidad de que ocurran pérdidas o daños como consecuencia de una amenaza sobre elementos expuestos, la evaluación de la vulnerabilidad Grado de susceptibilidad o fragilidad de los elementos expuestos frente a una amenaza, por ultimo analiza la gestión del riesgo por medio de procesos sociales y técnicos, de manera continua orientada a evitar o reducir el impacto de los desastres.

Este artículo proporciona un marco integral para comprender y abordar el riesgo sísmico desde una perspectiva estructural y normativa, permitiendo articular la evaluación técnica con la gestión social del riesgo, al establecer criterios claros para medir la vulnerabilidad y su relación con la amenaza.

7.2.3. Articulo 3

Este artículo representa un mandato normativo claro y obligatorio para los municipios y distritos del país, no se trata de una recomendación, sino de una exigencia, que abarca toda la planificación del uso del suelo, urbanismo, infraestructura o vivienda debe incorporar el análisis de riesgos como parte de su proceso "Las entidades territoriales deberán incorporar en los planes de desarrollo y ordenamiento territorial la gestión del riesgo de desastres como un proceso integral."

En el caso de Bogotá en particular implica que el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) actualizado mediante el Decreto 555 de 2021 y los instrumentos de planificación urbana deben considerar las zonas de amenaza sísmica, las tipologías constructivas existentes y las condiciones del entorno dentro de las que se pueden evaluar la geotecnia, accesibilidad y la densidad. Teusaquillo es un sector urbano con alto valor patrimonial, pero también con edificaciones antiguas no diseñadas bajo las normas NSR-10, por tanto, el enfoque de la investigación no solo aporta conocimiento técnico, sino que también puede servir como insumo para ajustes en el POT local, conforme a este artículo.

7.3 Cómo este Trabajo Aporta a la Gestión del Riesgo desde lo Local

Este trabajo tiene como propósito principal documentar y analizar el estado actual de las edificaciones en el barrio Teusaquillo desde una perspectiva estructural, identificando señales tempranas de vulnerabilidad que permitan una intervención oportuna, además de aportar un diagnóstico técnico, el estudio busca proveer herramientas accesibles para la gestión del riesgo local, alineándose con los principios del Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres, en particular, responde a su primera prioridad que es comprender el riesgo como fundamento para la toma de decisiones informadas y responsables.

La metodología de inspección visual empleada se caracteriza por su simplicidad, bajo costo y facilidad de implementación, ya que no requiere equipos especializados ni acceso al interior de las edificaciones, lo cual representa una ventaja significativa en contextos urbanos consolidados donde el ingreso puede ser restringido, esta estrategia permite a equipos técnicos locales, aún con recursos limitados, recopilar información estructural clave que contribuya a caracterizar el nivel de riesgo del entorno construido. Como resultado, se fortalece la base técnica del diagnóstico, se territorializa el riesgo y se facilita la toma de decisiones para la planificación y mitigación, en coordinación con comunidades, entidades locales y autoridades competentes.

Más allá de su dimensión técnica, esta herramienta busca convertirse en un catalizador para la acción colectiva, fomentando la apropiación comunitaria del conocimiento y promoviendo una cultura de prevención que priorice la protección de la vida, el entorno urbano y la resiliencia ante desastres.

8. Metodología

8.1. Tipo de Investigación

El presente estudio corresponde a una investigación aplicada, descriptiva y de carácter mixto, ya que combina técnicas cualitativas y cuantitativas para el análisis de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones, a partir de observaciones en campo y tratamiento estadístico de datos. El enfoque es no experimental y transversal, dado que no se manipulan variables y la recolección de información se realizó en un momento específico en el tiempo (Hernández et al., 2014).

8.2. Revisión Normativa y Análisis Documental

Como punto de partida, se llevó a cabo una revisión técnica y documental de la Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-10, particularmente el Título A – Generalidades, el Título G – Evaluación de edificaciones existentes, y el Título E –Requisitos para estructuras de concreto y mampostería, con el objetivo de establecer los parámetros técnicos y legales que rigen la evaluación estructural de edificaciones en Colombia (Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente [NSR-10], 2010).

De forma complementaria, se analizó el uso del suelo urbano en la ciudad de Bogotá, según el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) vigente, así como la historia del barrio Teusaquillo, con énfasis en las tipologías arquitectónicas y estructurales predominantes, la evolución de su infraestructura y la presencia de edificaciones patrimoniales o con valor histórico-arquitectónico.

8.3. Delimitación del Área de Estudio

La delimitación del área de análisis se realizó considerando criterios urbanísticos, históricos y estructurales, priorizando sectores con edificaciones de tipo residencial, mixto y patrimonial, con una antigüedad considerable y alto potencial de vulnerabilidad ante sismos.

La zona de estudio se encuentra localizada en el barrio Teusaquillo, en la ciudad de Bogotá, y fue delimitada manualmente tras visitas exploratorias e interpretación cartográfica, con base en vías principales y secundarias como referencia. Esta zona está comprendida aproximadamente entre:

- Avenida Caracas al oriente,
- Carrera 20 al occidente,
- Calle 34 al norte, y
- Calle 30 / Diagonal 33 Bis A al sur.

La selección se sustenta en la observación de alta concentración de edificaciones de uno a tres pisos, muchas de ellas sin modificaciones estructurales visibles desde su construcción original, y en la identificación de estructuras con sistemas tradicionales en mampostería no reforzada o con posibles irregularidades estructurales.

Esta área fue definida con base en recorridos exploratorios y herramientas de georreferenciación (Google Maps), como se muestra en la Figura 1.

Ilustración 19 Delimitación de la zona de estudio. Fuente: elaboración propia con base en Google Maps (2025).

8.4. Diseño del Instrumento de Recolección de Datos

Con base en la normativa NSR-10 y en metodologías internacionales de evaluación visual rápida (como FEMA 154 y 310), se diseñó un instrumento tipo formulario estructurado, el cual permite recolectar de forma sistemática información sobre:F

- Información general de la edificación (uso, antigüedad, modificaciones).
- Características estructurales (tipo de sistema, material predominante, irregularidades).
- Observaciones de daño visible (fisuras, deformaciones, desprendimientos).
- Condiciones del entorno y del suelo (elementos cercanos, presencia de hundimientos).
- Estado de elementos estructurales claves (cimientos, columnas, muros, vigas, cubierta).

Este formulario fue validado por un profesional en ingeniería civil estructural (docente guía del proyecto), con el fin de asegurar la pertinencia técnica y la coherencia con las disposiciones de la NSR-10.

8.5. Trabajo de Campo y Recolección de Datos

Una vez validado el instrumento, se llevó a cabo un trabajo de campo intensivo en la zona delimitada, mediante recorridos peatonales organizados por cuadrantes. En cada edificación observada se diligenció el formulario, se tomaron registros fotográficos y se capturaron coordenadas geográficas. La muestra final alcanzó un total de 150 edificaciones evaluadas.

Los datos recolectados fueron clasificados según tipología estructural, estado de conservación, y nivel de afectación visible. Esta información sirvió de insumo para la elaboración de escalas de ponderación y matrices de análisis de riesgo.

8.6. Escala de Ponderación y Análisis de Vulnerabilidad

Con los datos recolectados, se construyó una escala de ponderación que asigna valores numéricos a las distintas variables estructurales y no estructurales identificadas, considerando su incidencia en la vulnerabilidad sísmica. Estos valores se basan en criterios establecidos en la NSR-10, Título G, que permite evaluar el riesgo relativo de edificaciones existentes (NSR-10, 2010).

Criterios:

- Antigüedad de la edificación (mayor antigüedad = mayor vulnerabilidad).
- Presencia de irregularidades estructurales (geometría, diafragmas, masas).
- Severidad de fisuras y daños observables.
- Condiciones del terreno y entorno inmediato.

Cada variable fue normalizada y ponderada de acuerdo con su peso relativo. Los valores resultantes se integraron en una matriz de evaluación de vulnerabilidad sísmica diseñada en Excel, que permite clasificar las edificaciones en:

- Alta vulnerabilidad (requiere intervención prioritaria).
- Vulnerabilidad media (requiere seguimiento y posibles refuerzos).
- Baja vulnerabilidad (estructura segura).

8.7. Análisis e impacto del estudio

Finalmente, se realizó un análisis integral de los resultados, identificando las zonas con mayor concentración de edificaciones vulnerables y proponiendo medidas correctivas. Se generaron recomendaciones técnicas adaptadas a los casos observados, incluyendo posibles estrategias de refuerzo estructural, adecuación sísmica y programas de sensibilización comunitaria.

Este estudio, además de su enfoque investigativo, busca generar un impacto social positivo en la comunidad del barrio Teusaquillo, promoviendo la cultura de la prevención sísmica, la conservación del patrimonio edificado y la implementación de normas técnicas para la seguridad estructural.

9. Base de Datos

Uno de los propósitos fundamentales de este estudio fue la construcción de una base de datos integral que permitiera sistematizar y clasificar el estado estructural de edificaciones levantadas tanto antes como después de la implementación de la Norma Colombiana de Construcción Sismo Resistente (NSR-10). Esta base incluyó variables asociadas al tipo de daño visible, antigüedad, materiales constructivos y alteraciones no técnicas, lo cual permitió establecer una escala de afectación estructural vinculada a un índice de vulnerabilidad sísmica, el objetivo de esta herramienta es ofrecer una metodología replicable para la evaluación rápida del riesgo estructural, que no solo contribuya a la generación de conocimiento técnico, sino que también sirva como insumo estratégico para la gestión del riesgo urbano.

El sistema desarrollado tiene como finalidad orientar acciones preventivas, facilitar la toma de decisiones informadas por parte de las autoridades locales y motivar a propietarios de edificaciones ubicadas en los rangos más altos de vulnerabilidad a ejecutar intervenciones estructurales correctivas, en última instancia, esta iniciativa busca salvaguardar la vida de los ocupantes ante la ocurrencia de eventos sísmicos, alineándose con los principios de reducción del riesgo de desastres establecidos por el Marco de Sendai (UNDRR, 2015) y con las disposiciones establecidas por la Ley 1523 de 2012 en Colombia.

9.1. Base de Datos Experimental para Evaluación de Vulnerabilidad Estructural

La construcción de una base de datos experimental sólida representa un componente esencial en la evaluación de la vulnerabilidad estructural de edificaciones frente a amenazas sísmicas, para este estudio, se recopiló y organizó información técnica proveniente de distintas fuentes académicas y entidades especializadas en ingeniería estructural, cuyo aporte se ha enfocado en la caracterización mecánica de materiales como el concreto, la mampostería y sus componentes estructurales. Esta base de datos permite integrar ensayos sobre resistencia a la compresión, módulo de elasticidad, esfuerzo cortante y otras variables que son clave para establecer un índice de vulnerabilidad confiable y calibrado bajo condiciones locales.

La relevancia de esta sistematización radica en que muchas de las edificaciones en el sector de Teusaquillo fueron construidas en periodos anteriores a la aplicación de normas sismorresistentes modernas como la NSR-10, por ello, contar con una base de datos comparativa de ensayos aplicados a unidades constructivas reales como muros de mampostería portante o concreto armado, que resulta fundamental para estimar su comportamiento ante eventos sísmicos. La información contenida en esta base, extraída de estudios realizados por universidades, institutos técnicos y consultores independientes, no solo refuerza la validez técnica del análisis, sino que también permite proyectar estrategias de intervención más eficaces y contextualizadas al entorno urbano histórico y residencial del barrio.

Con el objetivo de sustentar técnicamente la caracterización del comportamiento estructural de edificaciones frente a eventos sísmicos, se recopiló y analizó una base de datos con resultados de ensayos físico mecánicos realizados por diferentes autores y entidades especializadas. Esta recopilación se centró en materiales como la mampostería de arcilla, el concreto y unidades de bloque, incluyendo parámetros fundamentales como la resistencia a la compresión (f'cu, f'm), el módulo de elasticidad (Em), la resistencia

al corte (τ) y el módulo de corte (Gm). La diversidad de fuentes permite establecer rangos de comportamiento típicos, útiles para modelar el nivel de vulnerabilidad de las estructuras evaluadas en Teusaquillo, especialmente en aquellas construidas antes de la implementación de la NSR-10.

Autor	Material		Tipo de unidad			Cantidad de ensayos				
	Arcilla	Concreto	*PH*	*TL*	*PV*	f'_{cu}	f'_m	E_m	τ	G_m
Sánchez [7]						3	3			
IDIGER [42]						93	72	3	72	34
Bastidas [13]							2	2	1	
Quiroga [12]						5	5	5	3	3
Escobar [16]						5	5	5	5	
Tique [17]						5	6	6	4	4
Arévalo [15]						1				
Torres [21]						1	1			
Torres [10]						1	5			
Vega [14]						10	6	6		
Carrillo [43]						1	1	1	1	
López [44]						5	3	3	3	3
LABUNIANDES [29]						850	42	20		
Perez [19]							6	6	6	2
CIMOC [38]						26	8	8		
Caez [6]						87	60	40	60	
CIFI [37]						14	20	6	20	
Choque [24]						5	3		3	
Sandoval [22]						6	5	5	5	5
Hernández [25]						8	3	3	4	4
Barahona [26]						7	6	6	6	6
Marulanda [27]						6	3	3		
Herrera [28]							4	4	1	
Páez [5]						3	3		4	

Tabla 7. Resumen de la contribución de ensayos para cada autor en la base de datos.

La contribución de ensayos para cada autor en la base de datos, presenta la distribución y cantidad de ensayos estructurales recopilados por diversos investigadores e instituciones, en ella se incluyen tanto propiedades de materiales como tipos de unidades utilizadas como bloques huecos, sólidos, de arcilla o concreto y parámetros mecánicos fundamentales para el análisis estructural. La mayoría de estas investigaciones se han llevado a cabo en contexto colombiano, lo que brinda mayor pertinencia a la aplicación de estos valores en el análisis del parque inmobiliario de Bogotá.

Esta base de datos ofrece ventajas clave que permiten establecer con mayor precisión los valores promedio y extremos de propiedades estructurales reales, también alimenta modelos de evaluación como el propuesto por Lagomarsino y Giovinazzi (2006), utilizado en esta tesis para estimar la vulnerabilidad y mejora la representatividad de los análisis aplicados a las edificaciones del barrio Teusaquillo, fortaleciendo la confiabilidad de los resultados obtenidos a través de inspección visual. Asimismo, el uso de esta información valida la metodología aplicada, aporta rigurosidad técnica al trabajo y permite comparar con otras experiencias latinoamericanas en contextos urbanos similares.

9.2. Uso e Implementación del Mapa Temático de Riesgo Estructural

El mapa temático de riesgo estructural elaborado en esta investigación constituye una herramienta fundamental para la visualización geoespacial del estado de las edificaciones del barrio Teusaquillo frente a una amenaza sísmica, este mapa, construido a partir de la georreferenciación de los datos recolectados durante las inspecciones visuales, clasifica cada edificación evaluada según su nivel de riesgo es la siguiente escala bajo, medio o alto. La codificación por colores verde, naranja y rojo, respectivamente permite identificar de manera inmediata las áreas críticas que requieren intervención prioritaria.

Su implementación práctica se proyecta como un insumo de alto valor para la gestión del riesgo urbano, pues facilita la toma de decisiones tanto a nivel institucional como comunitario, las autoridades locales, como el IDIGER o el Instituto Distrital de Patrimonio Cultural, pueden utilizar esta herramienta para diseñar planes de reforzamiento estructural focalizados, priorizar recursos de inversión en infraestructura y articular estrategias de prevención sísmica con base en evidencia técnica. A su vez, los habitantes y propietarios pueden comprender de manera clara el nivel de exposición de sus viviendas, lo cual genera conciencia de riesgo y fomenta procesos voluntarios de mejora estructural.

El mapa temático puede integrarse con otras capas de información densidad poblacional, usos del suelo y rutas de evacuación mediante sistemas de información geográfica (SIG), lo que amplía su utilidad en la planificación territorial y en la formulación de políticas públicas orientadas a la resiliencia urbana, en el marco del enfoque propuesto por el Marco de Sendai (UNDRR, 2015), esta herramienta se alinea con los principios de comunicación del riesgo, reducción de vulnerabilidades y fortalecimiento de capacidades locales ante desastres.

10. Propuesta de escala de afectación estructural (ponderada)

La ponderación de las variables incluidas en la escala de vulnerabilidad sísmica fue definida a partir de los lineamientos establecidos en la Norma Colombiana de Construcción Sismo Resistente NSR-10, que establece requisitos mínimos para la evaluación del desempeño estructural de edificaciones bajo solicitaciones sísmicas. En primer lugar, el criterio del uso de la edificación se fundamenta en la clasificación por grupos de uso establecida en el Título B, Tabla B.2-1, donde se categorizan las estructuras en función de su función crítica durante y después de un sismo. Las edificaciones del Grupo de uso I, como hospitales, estaciones de bomberos y centros de gestión de emergencias, son consideradas esenciales para la continuidad de servicios post-sismo, por lo que se les asigna la mayor ponderación. En contraste, edificaciones del Grupo III o IV, como viviendas o bodegas, tienen menor ponderación por su impacto funcional reducido (NSR-10, 2010, Título B.2.3).

De igual forma, se consideró la edad de la edificación como un factor de vulnerabilidad, basándose en lo señalado en el Título E.2.1, donde se establece que construcciones antiguas pueden no cumplir con las disposiciones sísmicas actuales, lo que incrementa significativamente su riesgo estructural. Las edificaciones con más de 50 años, o sin información documentada sobre el cumplimiento normativo, reciben una mayor ponderación de riesgo. Este criterio se refuerza con la evaluación de modificaciones estructurales, como adiciones de pisos, eliminación de muros o cambios en la regularidad estructural, aspectos que también son señalados en el Título E como factores críticos que pueden alterar el comportamiento estructural original.

Por su parte, la presencia de irregularidades estructurales se pondera en base a las definiciones del Título C.3.3, donde se identifican irregularidades en planta, elevación, diafragmas, rigidez o distribución de masas como causantes de concentraciones de esfuerzos y mecanismos de falla anticipada. Las estructuras que presentan más de una de estas irregularidades son clasificadas con mayor nivel de vulnerabilidad. Además, el tipo de sistema estructural y material predominante fue evaluado con base en el Título C.4, el cual prioriza sistemas dúctiles como marcos de concreto reforzado o estructuras metálicas, sobre sistemas menos resistentes como muros portantes de mampostería no reforzada.

También se incluye el análisis del estado observable de los elementos estructurales, como vigas, columnas y muros de carga, siguiendo la metodología de inspección visual recomendada en el Título E.2.2, donde se establece que la detección de fisuras, desprendimientos o deformaciones debe ser parte integral de la evaluación inicial del riesgo estructural. Finalmente, para edificaciones construidas con técnicas tradicionales como adobe o tapia pisada, se aplican los lineamientos técnicos de la AIS 610-EP-2017, que establecen criterios diferenciados de evaluación por su alta vulnerabilidad sísmica, dado que estos sistemas carecen de capacidades de ductilidad y disipación de energía adecuadas.

Esta ponderación, basada en normativa técnica nacional, permite construir una escala de vulnerabilidad objetiva, replicable y compatible con las herramientas de análisis de riesgo sísmico urbano, particularmente útil en contextos como el del barrio Teusaquillo en Bogotá, caracterizado por una mezcla de edificaciones históricas, residenciales y de servicios públicos.
El capítulo G.3 de la NSR-10 establece tres niveles de evaluación: inspección preliminar, evaluación

detallada y análisis estructural, donde la inspección visual corresponde al nivel básico de diagnóstico. En la Sección G.3.1.2 se indica que:

"La inspección visual debe permitir la detección de daños estructurales visibles, elementos debilitados, y modificaciones no controladas que afecten la resistencia, rigidez y estabilidad global de la edificación" (AIS, 2010, p. G.3-2).

Con base en esto, se estableció una ponderación diferencial para los elementos que la norma considera de alta influencia en el comportamiento sísmico: irregularidades estructurales, deterioro de materiales, modificaciones estructurales, y ausencia de diafragmas rígidos o confinamiento.

Construcción de la escala de vulnerabilidad y asignación de puntajes

Para efectos del estudio, se desarrolló una escala ordinal del 1 al 5, donde:

- 1 representa una condición favorable o conforme a norma.
- 5 representa una condición crítica o altamente vulnerable.

Esta clasificación permite representar el grado de cumplimiento estructural y funcional, de acuerdo con el impacto que cada ítem tiene sobre la seguridad sísmica.

Ítem evaluado	Fundamento normativo NSR-10	Justificación técnica de ponderación
Tipo estructural	Cap. G.3.3.1	La norma reconoce que estructuras con marcos no dúctiles, muros sin confinamiento, o de mampostería simple tienen mayor vulnerabilidad. Se asigna puntaje mayor a sistemas no sismo resistentes.
Número de pisos	Cap. G.3.1.4 (b)	Edificaciones mayores a 3 pisos con muros portantes presentan mayor demanda sísmica. Se pondera más alto conforme aumenta la altura.
Presencia de daños visibles (fisuras, agrietamientos)	Cap. G.3.3.4 y Tabla G.3-3	Se pondera según el tipo y ubicación de los daños (fisuras diagonales en muros de carga tienen mayor peso que fisuras menores).
Irregularidades (en planta y elevación)	Cap. G.3.3.2 y G.3.3.3	Se asigna mayor ponderación a edificaciones con irregularidad torsional, de rigidez o discontinuidad vertical. Estas condiciones aumentan significativamente la vulnerabilidad sísmica.
Materiales predominantes	Cap. G.3.3.1 (a)	Estructuras de adobe, tapia o mampostería sin refuerzo se ponderan más alto por su baja resistencia sísmica.
Modificaciones estructurales no controladas	Cap. G.3.3.4 (d)	Se considera alto riesgo cuando hay ampliaciones o alteraciones sin criterios técnicos. La norma advierte que esto compromete la continuidad estructural.
Conexiones entre elementos estructurales	Cap. G.3.3.5	La falta de anclajes o unión entre elementos se considera crítica, especialmente en cubiertas o entrepiso sin

Ítem evaluado	Fundamento normativo NSR-10	Justificación técnica de ponderación
		diafragma.
Edad de la edificación	Cap. G.1.3.1	Aunque no es un parámetro directo, la antigüedad se relaciona con normativas anteriores menos exigentes. Edificaciones construidas antes de 1998 se ponderan más alto.

Tabla 8. Fundamentos Normativos. Fuente elaboración propia.

Pregunta	Respuesta	Valor Asignado
Grupo A: Información General		
Uso de la estructura	Servicio de emergencia	5
	Centro de salud	5
	Proveedoras de servicios básicos	5
	Atención a la comunidad	4
	Centro de enseñanza	3
	Edificios gubernamentales	3
	Gran cantidad de personas	4
	Residencial	2
	Comercial	3
	Mixto	3
	Otra	2
Edad de la estructura	Nueva (0-5 años)	1
	Reciente (6-25 años)	2
	Intermedia (26-50 años)	3
	Antigua (>50 años)	5
Modificaciones estructurales	Ninguna	1
	Ampliaciones/adiciones	4
	Eliminación de muros estructurales	5
	Irregularidades estructurales	4
	Cambio de uso	3
	Incremento de cargas	4
	Otra	3
Número de pisos	1 - 3 pisos	1
	4 - 7 pisos	3
	8 - 15 pisos	4
	Más de 15 pisos	5
Patrimonio	Ninguna	1
	BIC	5
	Valor arquitectónico	3
	Adobe o tapia pisada	4

Tabla 9. Información general. Fuente elaboración propia.

Pregunta	Respuesta	Valor Asignado
Grupo B: Características Estructurales		
Sistema estructural	Muros portantes	3
	Pórticos en concreto	2
	Estructura metálica	2
	Sistema combinado	3
	Otra	3
Material predominante	Mampostería	3
	Concreto reforzado	2
	Acero	1
	Otra	3
Irregularidades estructurales	Ninguna	1
	1-2 tipos	3
	3 o más tipos	5
Tipo de cubierta	Plana	2
	Inclinada	1
	Otra	2

Tabla 10. Características estructurales. Fuente elaboración propia.

Pregunta	Respuesta	Valor Asignado
Grupo C: Observaciones de Daño		
Fisuras o grietas	1	1
	2	3
	3	5
Desprendimientos	No	1
	Sí	5
Deformaciones	1	1
	2	3
	3	5

Tabla 11. Observaciones de daño. Fuente elaboración propia.

Pregunta	Respuesta	Valor Asignado
Grupo D: Entorno y Suelo		
Elementos críticos	Ninguno	1
	Tanques elevados	4
	Antenas	3
	Anuncios publicitarios	2
	Otra	3
Severidad hundimiento	1	1
	2	2
	3	3
	4	4
	5	5

Pregunta	Respuesta	Valor Asignado
Causas del hundimiento	Ninguna	1
	Erosión del suelo	4
	Excavaciones sin contención	5
	Filtraciones/drenaje deficiente	4
	Raíces de árboles	3
	Construcciones adyacentes	4
	Vibraciones por maquinaria	3
	Otra	3

Tabla 12. Entorno y suelo. Fuente elaboración propia.

Pregunta	Respuesta	Valor Asignado
Grupo E: Escala de Vulnerabilidad		
Estado de columnas	1 - 5 (daño leve a grave)	1 - 5
Estado de muros	1 - 5	1 - 5
Estado de vigas	1 - 5	1 - 5
Estado de cubierta	1 - 5	1 - 5
Impacto general	1 - 5	1 - 5

Tabla 13. Escala de vulnerabilidad. Fuente elaboración propia.

11. Ponderación

La determinación de vulnerabilidad estructural para edificaciones urbanas solicita una clase de herramientas que nos permitan identificar, clasificar y priorizar los daños estructurales y condiciones que comprometen la seguridad de los residentes y la estabilidad de la estructura, para este contexto diseñamos una matriz donde se pondera cada daño inspeccionado bajo trabajo de campo, consignado de un formulario de inspección visual para edificaciones, que se sustenta najo los criterios que se mostrarán a continuación establecidos por la Norma Colombiana de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), específicamente nos basamos en los Títulos B,C y. Este documento sustenta la elección de cada porcentaje estandarizado con su índice de importancia para el análisis de riesgo estructural.

11.1. Uso de la Estructura, Edad y Modificaciones. (15%)

El uso funcional de una edificación determina su categoría de importancia sísmica según la NSR-10 (MVCT, 2010). De acuerdo con el Artículo B.2.3 de la norma, las edificaciones se clasifican en cuatro grupos, siendo el Grupo IV el de mayor relevancia, ya que incluye estructuras destinadas a servicios de emergencia, salud, telecomunicaciones y coordinación de desastres, estas deben permanecer operativas incluso después de un evento sísmico severo.

Por ello, otorgamos una ponderación del 15% a esta variable, considerando que el uso define la prioridad en el refuerzo estructural y la toma de decisiones ante amenazas sísmicas (AIS, 2010), teniendo en cuenta el flujo de personas que pueden encontrarse en la edificación durante la presencia de este fenómeno natural, las cuales son latentes a siniestros y accidentes por falencias dentro del sistema constructivo.

Uso de la Estructura

Respuesta	**Valor Asignado**	**Sección NSR-10**	**Justificación Técnica**
Servicio de emergencia	5	A.2.5 - Grupo IV	Edificaciones indispensables - Máxima importancia
Centro de salud	5	A.2.5 - Grupo IV	Edificaciones indispensables - Máxima importancia
Proveedores de servicios básicos	5	A.2.5 - Grupo IV	Edificaciones indispensables - Máxima importancia
Atención a la comunidad	4	A.2.4 - Grupo III	Edificaciones de atención comunitaria
Centro de enseñanza	3	A.2.4 - Grupo III	Edificaciones de atención comunitaria
Edificios gubernamentales	3	A.2.4 - Grupo III	Edificaciones de atención comunitaria
Gran cantidad de personas	4	A.2.4 - Grupo III	Edificaciones de alta ocupación
Residencial	2	A.2.3 - Grupo	Estructuras normales

Respuesta	Valor Asignado	Sección NSR-10	Justificación Técnica
		II	
Comercial	3	A.2.3 - Grupo II	Estructuras normales
Mixto	3	A.2.3 - Grupo II	Estructuras normales

Tabla 14. Valoración del grupo A – Información general. Fuente: Elaboración propia con base en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (MVCT, 2010) y la metodología de evaluación visual estructural adaptada de FEMA 154 (2021).

Edad de la Estructura

Respuesta	Valor Asignado	Sección NSR-10	Justificación Técnica
Nueva (0-5 años)	1	A.9 - Construcción	Cumple NSR-10 vigente
Reciente (6-25 años)	2	A.9 - Construcción	Cumple normativa parcial
Intermedia (26-50 años)	3	A.9 - Construcción	Normativa anterior
Antigua (>50 años)	5	A.9 - Construcción	Sin normativa sísmica moderna

Tabla 15. Valoración del grupo A – Uso de la estructural. Fuente: Elaboración propia con base en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (MVCT, 2010) y la metodología de evaluación visual estructural adaptada de FEMA 154 (2021).

Modificaciones Estructurales

Respuesta	Valor Asignado	Sección NSR-10	Justificación Técnica
Ninguna	1	A.3.4 - Irregularidades	Sin alteraciones estructurales
Ampliaciones y adiciones	4	A.3.4 - Irregularidades	Introduce irregularidades
Eliminación muros estructurales	5	A.3.4 - Irregularidades	Compromete estabilidad
Irregularidades estructurales	4	A.3.4 - Irregularidades	Afecta comportamiento sísmico
Cambio de uso	3	A.3.4 - Irregularidades	Modifica cargas de diseño
Incremento de cargas	4	A.3.4 - Irregularidades	Excede capacidad original

Tabla 16. Valoración del grupo A – Modificaciones estructurales. Fuente: Elaboración propia con base en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (MVCT, 2010) y la metodología de evaluación visual estructural adaptada de FEMA 154 (2021).

Número de Pisos

Respuesta	Valor Asignado	Sección NSR-10	Justificación Técnica
1-3 pisos	1	E.1.1.1 - Alcance	Cumple Título E
4-7 pisos	3	A.3 - Análisis	Requiere análisis dinámico
8-15 pisos	4	A.3 - Análisis	Edificación de altura intermedia
Más de 15 pisos	5	A.3 - Análisis	Edificación de gran altura

Tabla 17. Valoración del grupo A – Número de pisos. Fuente: Elaboración propia con base en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (MVCT, 2010) y la metodología de evaluación visual estructural adaptada de FEMA 154 (2021).

Patrimonio

Respuesta	Valor Asignado	Sección NSR-10	Justificación Técnica
Ninguno	1	-	Sin restricciones patrimoniales
BIC	5	-	Bienes de interés cultural
Valor arquitectónico	4	-	Requiere conservación especial
Adobe o tapia pisada	4	E.1.1.1 - Alcance	Materiales tradicionales

Tabla 18. Valoración del grupo A – Patrimonio. Fuente: Elaboración propia con base en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (MVCT, 2010) y la metodología de evaluación visual estructural adaptada de FEMA 154 (2021).

11.2. Observaciones de daño (30%)

Los daños visibles como fisuras, desprendimientos y deformaciones constituyen señales tempranas de debilitamiento estructural, esto representa problemas graves para la resistencia de los elementos estructurales. El Título G.3.3.4 de la NSR-10 establece que estos indicadores deben ser tenidos en cuenta en las evaluaciones visuales preliminares y que su severidad puede determinar el nivel de vulnerabilidad de la edificación.

Dada su importancia frente a la capacidad que tiene la edificación para evitar afectaciones mayores ante la presencia de un sismo, se asigna un 30% de ponderación a este grupo, ya que estas manifestaciones físicas permiten anticipar posibles fallas, identificar zonas críticas y programar intervenciones estructurales urgentes, los refuerzos estructurales a tiempo pueden no solo salvar la vida útil de la construcción sino también salvar la vida de todas aquellas personas que frecuentan el uso de la misma. (NSR-10, MVCT, 2010).

Sistema Estructural

Respuesta	Valor Asignado	Sección NSR-10	Justificación Técnica
Muros portantes	4	D.1 - Mampostería	Sistema menos dúctil
Pórticos en concreto	2	C.1 - Concreto	Sistema dúctil
Estructura metálica	2	F.1 - Acero	Sistema dúctil

Respuesta	Valor Asignado	Sección NSR-10	Justificación Técnica
Sistema combinado	3	A.3 - Análisis	Comportamiento complejo

Tabla 19. Valoración del grupo B – Sistema estructural. Fuente: Elaboración propia con base en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (MVCT, 2010) y la metodología de evaluación visual estructural adaptada de FEMA 154 (2021).

Material predominante

Respuesta	Valor Asignado	Sección NSR-10	Justificación Técnica
Mampostería	3	D.3 - Materiales	Comportamiento frágil
Concreto reforzado	2	C.3 - Materiales	Comportamiento dúctil
Acero	1	F.3 - Materiales	Alta ductilidad

Tabla 20. Valoración del grupo B – Material predominante. Fuente: Elaboración propia con base en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (MVCT, 2010) y la metodología de evaluación visual estructural adaptada de FEMA 154 (2021).

Irregularidades Estructurales

Respuesta	Valor Asignado	Sección NSR-10	Justificación Técnica
Ninguna	1	A.3.4 - Irregularidades	Comportamiento regular
1-2 tipos	3	A.3.4 - Irregularidades	Irregularidades menores
3 o más tipos	5	A.3.4 - Irregularidades	Múltiples irregularidades

Tabla 21. Valoración del grupo B – Irregularidades estructurales. Fuente: Elaboración propia con base en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (MVCT, 2010) y la metodología de evaluación visual estructural adaptada de FEMA 154 (2021).

Tipo de Cubierta

Respuesta	Valor Asignado	Sección NSR-10	Justificación Técnica
Plana	2	E.5 - Losas	Diafragma rígido
Inclinada	4	G.1 - Madera/Guadua	Diafragma flexible

Tabla 22. Valoración del grupo B – Tipo de cubierta. Fuente: Elaboración propia con base en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (MVCT, 2010) y la metodología de evaluación visual estructural adaptada de FEMA 154 (2021).

Fisuras o Grietas

Respuesta	Valor Asignado	Sección NSR-10	Justificación Técnica
1	1	D.4 - Construcción	Fisuras superficiales
2	3	D.4 - Construcción	Fisuras moderadas
3	5	D.4 - Construcción	Fisuras estructurales

Tabla 23. Valoración del grupo C – Fisuras o grietas. Fuente: Elaboración propia con base en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (MVCT, 2010) y la metodología de evaluación visual estructural adaptada de FEMA 154 (2021).

Desprendimientos

Respuesta	Valor Asignado	Sección NSR-10	Justificación Técnica
No	1	D.4 - Construcción	Buen estado superficial
Sí	5	D.4 - Construcción	Deterioro significativo

Tabla 24. Valoración del grupo C – Desprendimientos. Fuente: Elaboración propia con base en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (MVCT, 2010) y la metodología de evaluación visual estructural adaptada de FEMA 154 (2021).

Deformaciones

Respuesta	Valor Asignado	Sección NSR-10	Justificación Técnica
1	1	A.6 - Deriva	Deformaciones menores
2	3	A.6 - Deriva	Deformaciones moderadas
3	5	A.6 - Deriva	Deformaciones excesivas

Tabla 25. Valoración del grupo D – Deformaciones. Fuente: Elaboración propia con base en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (MVCT, 2010) y la metodología de evaluación visual estructural adaptada de FEMA 154 (2021).

Cuadro 5: Grupo E - Escala de Vulnerabilidad

Respuesta	Valor Asignado	Sección NSR-10	Justificación Técnica
1-2 (Bueno-Regular)	1-2	C.7 - Columnas	Elementos en buen estado
3 (Regular)	3	C.7 - Columnas	Deficiencias menores
4-5 (Malo-Crítico)	4-5	C.7 - Columnas	Compromiso estructural

Tabla 26. Valoración del grupo E – Estado de columnas. Fuente: Elaboración propia con base en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (MVCT, 2010) y la metodología de evaluación visual estructural adaptada de FEMA 154 (2021).

Respuesta	Valor Asignado	Sección NSR-10	Justificación Técnica
1-2 (Bueno-Regular)	1-2	D.2 - Diseño muros	Muros en buen estado
3 (Regular)	3	D.2 - Diseño muros	Deficiencias menores
4-5 (Malo-Crítico)	4-5	D.2 - Diseño muros	Compromiso de estabilidad

Tabla 27. Valoración del grupo E – Estado de muros. Fuente: Elaboración propia con base en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (MVCT, 2010) y la metodología de evaluación visual estructural adaptada de FEMA 154 (2021).

Respuesta	Valor Asignado	Sección NSR-10	Justificación Técnica
1-2 (Bueno-Regular)	1-2	C.9 - Vigas	Elementos en buen estado
3 (Regular)	3	C.9 - Vigas	Deficiencias menores
4-5 (Malo-Crítico)	4-5	C.9 - Vigas	Compromiso estructural

Tabla 28. Valoración del grupo E – Estado de vigas. Fuente: Elaboración propia con base en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (MVCT, 2010) y la metodología de evaluación visual estructural adaptada de FEMA 154 (2021).

Respuesta	Valor Asignado	Sección NSR-10	Justificación Técnica
1-2 (Bueno-Regular)	1-2	E.5/G.1 - Cubiertas	Cubierta en buen estado
3 (Regular)	3	E.5/G.1 - Cubiertas	Deficiencias menores
4-5 (Malo-Crítico)	4-5	E.5/G.1 - Cubiertas	Compromiso de estabilidad

Tabla 29. Valoración del grupo E – Estado de cubiertas. Fuente: Elaboración propia con base en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (MVCT, 2010) y la metodología de evaluación visual estructural adaptada de FEMA 154 (2021).

Respuesta	Valor Asignado	Sección NSR-10	Justificación Técnica
1-2 (Bajo)	1-2	A.3 - Análisis	Vulnerabilidad baja
3 (Moderado)	3	A.3 - Análisis	Vulnerabilidad moderada
4-5 (Alto-Crítico)	4-5	A.3 - Análisis	Vulnerabilidad alta

Tabla 30. Valoración del grupo E – Impacto para la estabilidad general. Fuente: Elaboración propia con base en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (MVCT, 2010) y la metodología de evaluación visual estructural adaptada de FEMA 154 (2021).

11.3. Estado de los Elementos Estructurales (35%)

La conservación de los elementos estructurales principales como columnas, vigas, muros de carga y cubiertas es esencial para asegurar la estabilidad, funcionalidad y seguridad sísmica de cualquier edificación. El Título G.3.3.1 de la Norma Sismorresistente NSR-10 establece directrices claras para su evaluación individualizada, con el fin de detectar patologías estructurales que puedan comprometer la integridad del sistema portante, entre los principales criterios de inspección se encuentran la identificación de grietas activas o pasivas, procesos de corrosión del acero de refuerzo, pérdida de recubrimiento, deformaciones permanentes y reducción significativa en la sección transversal de los elementos.

Dada su importancia en la resistencia global de la edificación frente a cargas gravitacionales y sísmicas, este grupo de elementos recibe la ponderación más alta dentro del sistema de evaluación visual: un 35% del total, se asignan pesos internos diferenciados con base en su incidencia estructural y el riesgo que representan ante un evento sísmico: un factor de x1.5 para columnas, consideradas el componente crítico ante mecanismos de colapso; x1.2 para vigas y muros portantes, esenciales para la estabilidad lateral y la redistribución de cargas; y x1.0 para cubiertas, cuya pérdida, aunque importante, suele tener efectos menos catastróficos, esta jerarquización se fundamenta en lineamientos técnicos establecidos por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS, 2010), respaldando una priorización adecuada en los procesos de diagnóstico, intervención y mantenimiento estructural.

Estado de columnas, estado de muros, estado de vigas, estado de cubierta, impacto general.

Respuesta	Valor Asignado
1 - 5 (daño leve a grave)	1 - 5

Tabla 31. Valoración del grupo E – Escala de vulnerabilidad. Fuente: Elaboración propia con base en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (MVCT, 2010) y la metodología de evaluación visual estructural adaptada de FEMA 154 (2021).

11.4. Entorno y Condiciones del Suelo (20%)

El desempeño estructural de una edificación no solo depende de la calidad de sus componentes constructivos, sino también del entorno físico y de las condiciones del terreno donde se encuentra cimentada. De acuerdo con los Títulos C.3.3 y C.4.1 de la NSR-10, factores como la susceptibilidad a asentamientos diferenciales, fenómenos de licuación, erosión del suelo o la influencia de vibraciones externas provenientes de tráfico, maquinaria o actividad sísmica, pueden alterar de forma significativa la respuesta estructural de una edificación, incluso cuando su sistema portante se encuentra en estado aceptable.

En consecuencia, este componente se valora con un 20% dentro del análisis de vulnerabilidad estructural, la evaluación considera variables como el grado de severidad de hundimientos en una escala de 1 a 5, la proximidad a elementos críticos como tanques elevados, antenas o taludes inestables y la identificación de causas externas que puedan amplificar los riesgos, tales como filtraciones subterráneas, excavaciones no controladas o construcciones adyacentes que inducen sobrecargas laterales. Estos aspectos representan riesgos estructurales indirectos que, si bien no se originan en la edificación en sí, pueden desencadenar fallos progresivos en su estabilidad, siendo fundamental su consideración en cualquier diagnóstico técnico o plan de intervención (NSR-10, MVCT, 2010).

Elementos Críticos

Respuesta	Valor Asignado	Sección NSR-10	Justificación Técnica
Ninguno	1	A.4 - Cargas	Sin cargas adicionales
Tanques elevados	5	A.4 - Cargas	Cargas concentradas
Antenas	2	A.4 - Cargas	Cargas menores
Anuncios publicitarios	2	A.4 - Cargas	Cargas de viento

Tabla 32. Valoración del grupo D – Entorno y suelo. Fuente: Elaboración propia con base en la NSR-10 (AIS, 2010) y la metodología de evaluación visual estructural adaptada de FEMA 154 (2002).

Severidad Hundimiento

Respuesta	Valor Asignado	Sección NSR-10	Justificación Técnica
1	1	H.4 - Geotecnia	Asentamientos menores
2	2	H.4 - Geotecnia	Asentamientos moderados
3	4	H.4 - Geotecnia	Asentamientos significativos
4	5	H.4 - Geotecnia	Asentamientos críticos
5	6	H.4 - Geotecnia	Falla del suelo

Tabla 33. Valoración del grupo D – Severidad hundimiento. Fuente: Elaboración propia con base en la NSR-10 (AIS, 2010) y la metodología de evaluación visual estructural adaptada de FEMA 154 (2002).

Causas del hundimiento

Respuesta	Valor Asignado	Sección NSR-10	Justificación Técnica
Ninguna	1	H.4 - Geotecnia	Suelo estable
Erosión del suelo	4	H.4 - Geotecnia	Pérdida de capacidad portante
Excavaciones sin contención	5	H.4 - Geotecnia	Afectación directa
Filtraciones/drenaje deficiente	4	H.4 - Geotecnia	Cambio propiedades del suelo
Raíces de árboles	3	H.4 - Geotecnia	Afectación localizada
Construcciones adyacentes	4	H.4 - Geotecnia	Cambio estado de esfuerzos
Vibraciones	3	H.4 - Geotecnia	Densificación del suelo

Tabla 34. Valoración del grupo D – Causas hundimiento. Fuente: Elaboración propia con base en la NSR-10 (AIS, 2010) y la metodología de evaluación visual estructural adaptada de FEMA 154 (2002).

Por último, se reúne la ponderación de cada ítem (Tablas que se observan en la parte superior) y se obtiene la fórmula propuesta para el cálculo del índice de vulnerabilidad estructural **(**IVE**)** de la siguiente forma:

$$\mathbf{IVE} = \mathbf{0,15} * \boldsymbol{Uso} + \mathbf{0,30} * \boldsymbol{Da}\text{ño} + \mathbf{0,35} * \boldsymbol{Estructura} + \mathbf{0,20} * \boldsymbol{Condiciones\ del\ suelo}$$

Cada sección (Uso, Daño, Estructura, Condición de suelo) = Suma de todas las Sub categorías divididas en porcentaje de importancia dentro del porcentaje inicial dado a cada categoría

Ejemplo:

USO= valor ponderado de sistema estructural+ valor ponderado material+ valor ponderado de irregularidades+ valor ponderado de tipo de cubierta.

Esta permite establecer un valor ponderado que, interpretado en rangos, orienta la prioridad de intervención:

Valor	Categoría de riesgo	Etiqueta de evaluación y recomendación
0–1.5	Bajo	Monitoreo periódico
1.6–2.5	Medio	Evaluación técnica detallada
2.6–3.5	Alto	Reforzamiento estructural recomendado
3.6–5.0	Crítico	Riesgo inminente – intervención urgente

Tabla 35. Etiquetas finales para IVE. Fuente: Elaboración propia con base en la NSR-10 (MVCT, 2010)

La ponderación de las variables incluidas en la escala de vulnerabilidad sísmica (Respuestas del formulario de inspección visual para edificaciones) fue definida a partir de los lineamientos establecidos en la *Norma Colombiana de Construcción Sismo Resistente NSR-10*, que establece requisitos mínimos para la evaluación del desempeño estructural de edificaciones bajo solicitaciones sísmicas. En primer lugar (sección 1 del formulario), el criterio del uso de la edificación se fundamenta en la clasificación por grupos de uso establecida en el Título B, Tabla B.2-1, donde se categorizan las estructuras en función de su

resistencia durante y después de un sismo. Las edificaciones del Grupo de uso I, como hospitales, estaciones de bomberos y centros de gestión de emergencias, son consideradas esenciales para la continuidad de servicios post-sismo, por lo que se les asigna la mayor ponderación. En contraste, edificaciones del Grupo III o IV, como viviendas o bodegas, tienen menor ponderación por su impacto funcional reducido (NSR-10, 2010, Título B.2.3).

De igual forma, se consideró la edad de la edificación como un factor de vulnerabilidad, basándose en lo señalado en el Título E.2.1, donde se establece que construcciones antiguas pueden no cumplir con las disposiciones sísmicas actuales ya que la norma rige las especificaciones a partir del año 2010, lo que incrementa significativamente su riesgo estructural. Las edificaciones con más de 50 años reciben una mayor ponderación de riesgo. Este criterio se refuerza con la evaluación de modificaciones estructurales, como adiciones de pisos, eliminación de muros o cambios en la regularidad estructural, aspectos que también son señalados en el Título E como factores críticos que pueden alterar el comportamiento estructural original, sin conocerse a profundidad las técnicas constructivas, las especificaciones de diseño, y la calidad de los materiales de acuerdo al objetivo de la edificación.

Por su parte, la presencia de irregularidades estructurales se pondera en base a las definiciones del Título C.3.3, donde se identifican irregularidades en planta, elevación, diafragmas, rigidez o distribución de masas como causantes de concentraciones de esfuerzos y mecanismos de falla anticipada. Las estructuras que presentan más de una de estas irregularidades son clasificadas con mayor nivel de vulnerabilidad. Además, el tipo de sistema estructural y material predominante fue evaluado con base en el Título C.4, el cual prioriza sistemas dúctiles como marcos de concreto reforzado o estructuras metálicas, sobre sistemas menos resistentes como muros portantes de mampostería no reforzada los cuales representan un mayor riesgo en cuanto a la presencia de un sismo.

Estado observable de los elementos estructurales criterios los cuales están establecidos dentro de la guía de inspección visual para edificaciones, como vigas, columnas y muros de carga, siguiendo la metodología de inspección que se encuentra en el Título E.2.2, donde se establece que la detección de fisuras, desprendimientos o deformaciones debe ser parte integral de la evaluación inicial del riesgo estructural ya que esto es índice de afectaciones dentro de elementos estructurales que pueden representar mayor o menor mitigación de impactos negativos frente a un evento sísmico. Finalmente, para edificaciones construidas con técnicas tradicionales como adobe o tapia pisada, se aplican los lineamientos técnicos de la AIS 610-EP-2017, que establecen criterios diferenciados de evaluación por su alta vulnerabilidad sísmica, dado que estos sistemas carecen de capacidades de ductilidad y disipación de energía adecuadas, representando de gran manera la posibilidad de enfrentarse a grandes desbalances constructivos luego de cualquier evento sísmico.

Esta ponderación, se basa en normativa técnica nacional, permite construir una escala de vulnerabilidad objetiva, replicable y compatible con las herramientas de análisis de riesgo sísmico urbano, diseñada para barrios donde se encuentra diversidad en cuanto a infraestructura, permitiendo un análisis menos robusto con información técnica que afirma cada decisión tomada dentro de la escala de afectación, promoviendo a su vez la conciencia en cuanto a vulnerabilidad de los habitantes y la seguridad de una comunidad que es

representada por su variedad en edificaciones de carácter histórico, residencial y de servicios públicos.

El capítulo G.3 de la NSR-10 establece tres niveles de evaluación: inspección preliminar, evaluación detallada y análisis estructural, donde la inspección visual corresponde al nivel básico de diagnóstico. En la Sección G.3.1.2 se indica que:

"La inspección visual debe permitir la detección de daños estructurales visibles, elementos debilitados, y modificaciones no controladas que afecten la resistencia, rigidez y estabilidad global de la edificación" (AIS, 2010, p. G.3-2).

En base de la información propuesta dentro de la norma, establecemos una ponderación diferencial para cada elemento que se contempla dentro del formulario de inspección visual donde la norma considera su influencia en el comportamiento de las edificaciones ante un evento sísmico.

11.5. Construcción de la escala de vulnerabilidad y asignación de puntajes

Para efectos del estudio, se desarrolló una escala ordinal del 1 al 5, donde:

- 1 representa una condición favorable o conforme a norma,
- 5 representa una condición crítica o altamente vulnerable.

Esta clasificación permite representar el grado de cumplimiento estructural y funcional, de acuerdo con el impacto que cada ítem tiene sobre la seguridad sísmica. La asignación específica se justificó así:

Ítem evaluado	Fundamento normativo NSR-10	Justificación técnica de ponderación
Tipo estructural	Cap. G.3.3.1	La norma reconoce que estructuras con marcos no dúctiles, muros sin confinamiento, o de mampostería simple tienen mayor vulnerabilidad. Se asigna mayor puntaje a sistemas no sismo resistentes.
Número de pisos	Cap. G.3.1.4 (b)	Edificaciones mayores a 3 pisos con sistemas de muros portantes presentan mayor demanda sísmica. Se pondera más alto conforme aumenta la altura.
Presencia de daños visibles (fisuras, agrietamientos)	Cap. G.3.3.4 y Tabla G.3-3	Se pondera según el tipo, severidad y ubicación de los daños. Fisuras diagonales en muros de carga tienen mayor peso por estar asociadas a mecanismos de falla por cortante.
Irregularidades estructurales (en planta y elevación)	Cap. G.3.3.2 y G.3.3.3	Las irregularidades torsionales, de rigidez o de discontinuidad vertical afectan negativamente el desempeño sísmico. Se les asigna ponderación alta por su influencia directa en el colapso estructural.
Material predominante	Cap. G.3.3.1 (a)	Estructuras construidas en materiales frágiles como adobe, tapia o mampostería no reforzada tienen menor capacidad sismo resistente. Se ponderan más alto por su alta vulnerabilidad.

Modificaciones estructurales no controladas	Cap. G.3.3.4 (d)	La norma advierte sobre el riesgo de ampliaciones o cambios en la estructura sin criterios técnicos. Estos comprometen la integridad global y deben ponderarse como alto riesgo.
Conexiones entre elementos estructurales	Cap. G.3.3.5	La ausencia de anclajes adecuados entre muros, cubiertas y entrepisos incrementa la probabilidad de fallas localizadas o desprendimientos. Se considera condición crítica.
Edad de la edificación	Cap. G.1.3.1 (implícito)	Aunque no es un criterio directo de evaluación, la antigüedad se vincula con la aplicación de normativas obsoletas. Las construcciones anteriores a 1998 (antes de la Ley 400/97) son menos confiables estructuralmente.

Tabla 36. Ponderación de variables de vulnerabilidad estructural según la NSR-10. Fuente: Elaboración propia con base en la NSR-10 (MVCT, 2010)

La escala de vulnerabilidad estructural y el sistema de asignación de puntajes constituyen herramientas esenciales para traducir observaciones cualitativas en indicadores cuantificables, permitiendo una jerarquización objetiva del riesgo en edificaciones, La ponderación diferencial de los componentes estructurales, ambientales y constructivos responde a criterios técnicos establecidos por la NSR-10 y guías internacionales, refleja el impacto real de cada variable en el comportamiento sísmico de una edificación. Esta metodología no solo fortalece la validez del análisis de vulnerabilidad, sino que también sienta las bases para intervenciones focalizadas, asignación eficiente de recursos y diseño de estrategias preventivas, alineadas con los principios de la gestión integral del riesgo urbano.

12. Resultados

La etapa de resultados representa el punto de convergencia entre la metodología aplicada y la evidencia obtenida en campo. En este caso, se exponen los hallazgos derivados de la evaluación visual de edificaciones en el barrio objeto de estudio, con base en los lineamientos técnicos establecidos por la NSR-10 (MVCT, 2010) y los parámetros metodológicos adaptados de la guía FEMA 154 (2021). Se recopilaron datos relevantes que permitieron calcular el índice de vulnerabilidad estructural de cada edificación, clasificarlas según su nivel de riesgo sísmico y georreferenciar su ubicación para facilitar la identificación territorial del riesgo.

Los resultados obtenidos proporcionan un panorama claro del estado estructural actual de las edificaciones, diferenciando entre aquellas que presentan condiciones aceptables y otras que requieren atención prioritaria. Este análisis no solo permite validar la aplicabilidad de la metodología seleccionada, sino que también ofrece insumos técnicos cruciales para la toma de decisiones en materia de gestión del riesgo, intervención preventiva y formulación de políticas públicas enfocadas en la reducción de la vulnerabilidad estructural urbana.

12.1. Clasificación de Edificaciones según Nivel de Riesgo Estructural

Como resultado del proceso de inspección visual aplicado a las 247 edificaciones seleccionadas en el barrio Teusaquillo, se obtuvo una clasificación detallada del nivel de riesgo estructural presente en cada inmueble, esta clasificación fue construida a partir del análisis sistemático de patologías visibles tales como fisuras en elementos portantes, degradación de materiales, intervenciones no estructurales sin respaldo técnico, asentamientos diferenciales y otras manifestaciones físicas que comprometen la estabilidad estructural.

La evaluación se desarrolló siguiendo los lineamientos metodológicos establecidos en la Guía AIS (2011) y la metodología FEMA P-154 (2021), permitiendo categorizar el riesgo en tres niveles: bajo, medio y alto, según el grado acumulativo de afectaciones observadas. Esta segmentación no solo facilita una lectura técnica del estado actual de las edificaciones, sino que también orienta las prioridades en términos de rehabilitación sísmica y mitigación del riesgo urbano.

Nivel de riesgo	Número de edificaciones	Porcentaje (%)
Bajo	224	90.6%
Medio	22	8.9%
Alto	1	0.4%
Total	**247**	**100%**

Tabla 37. Resultados. Fuente: Elaboración propia.

La mayoría de las edificaciones evaluadas, específicamente el 90,6%, presentan un nivel de riesgo estructural bajo. Este resultado refleja condiciones constructivas adecuadas o intervenciones previas de

mantenimiento que han favorecido la conservación de la estabilidad estructural. Por su parte, un 8,9% de las edificaciones se clasificaron en un nivel de riesgo medio, evidenciando deterioros o alteraciones que, si bien no representan un riesgo inmediato, requieren monitoreo técnico y posibles intervenciones correctivas. Finalmente, un 0,4% de las estructuras presenta un nivel de riesgo alto, lo que indica una vulnerabilidad crítica ante eventos sísmicos, siendo prioritarias para procesos de refuerzo o rehabilitación estructural.

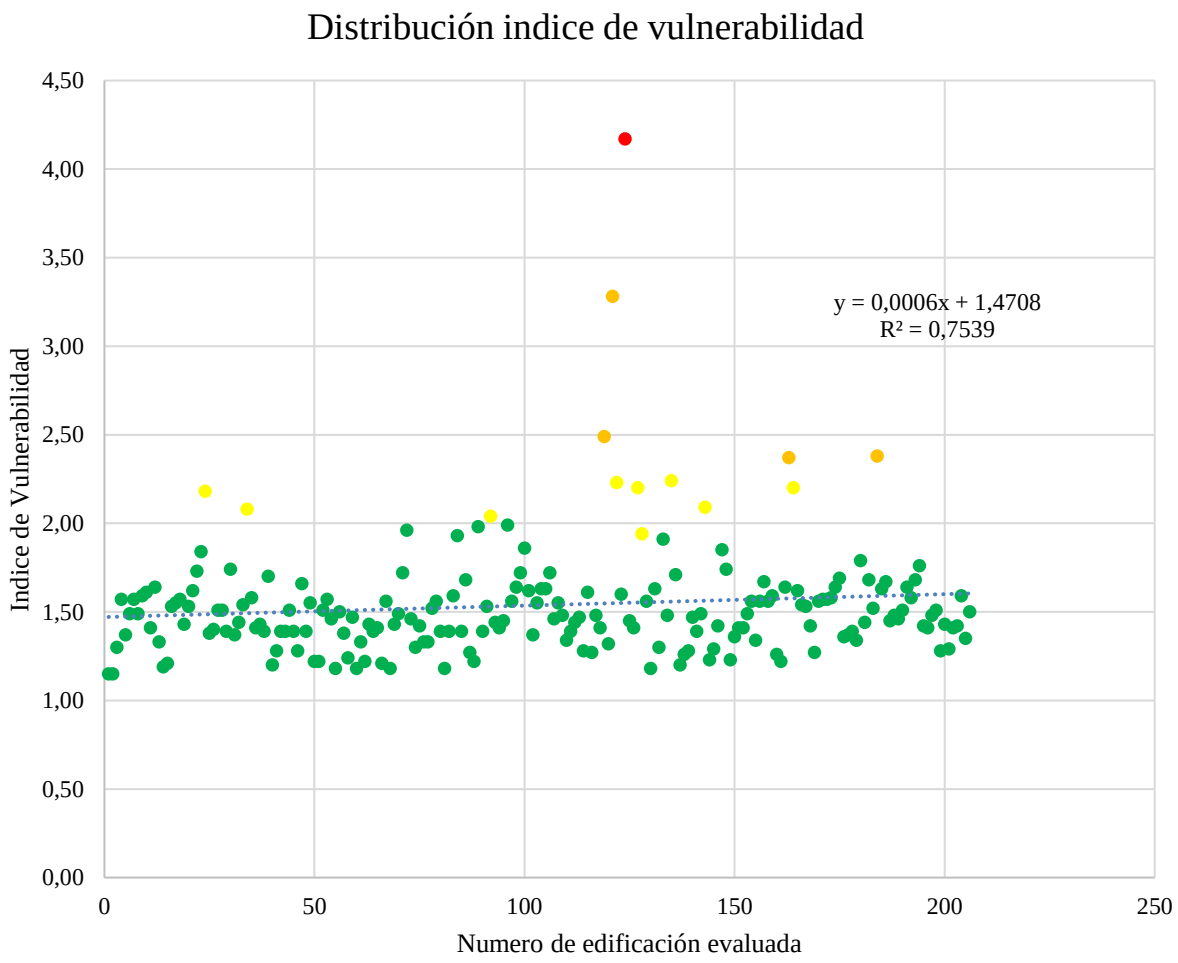

Ilustración 20 Distribución de las viviendas respecto al índice de vulnerabilidad. Fuente: Elaboración propia con base en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (MVCT, 2010) y la metodología de evaluación visual estructural adaptada de FEMA 154 (2021).

Esta clasificación por niveles de riesgo estructural no solo permite dimensionar el estado actual del parque construido en el barrio Teusaquillo, sino que también establece una línea base para fases posteriores del estudio. Estas incluirán modelaciones estructurales más detalladas, propuestas de intervención técnica diferenciadas por nivel de riesgo y su integración en planes locales de gestión del riesgo sísmico, en concordancia con las políticas de ordenamiento territorial y resiliencia urbana.

La evaluación de vulnerabilidad sísmica permite identificar edificaciones propensas al daño, proporcionando una base cuantitativa para justificar intervenciones estructurales, con el fin de reducir la pérdida de vidas humanas y daños materiales. En este capítulo se desarrolla un análisis de riesgo y costo-

beneficio basado en una muestra de 205 edificaciones del barrio Teusaquillo, Bogotá. Estas fueron evaluadas mediante inspección visual y clasificadas según el método de Benedetti y Petrini (1984), ajustado por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS, 2011), considerando el índice de vulnerabilidad sísmica (IV) en una escala de 1 a 5, con los datos obtenidos se obtuvo la siguiente distribución:

- 224 edificaciones (90,6%) presentaron un índice de vulnerabilidad menor a 2.
- 22 edificaciones (8,9%) se encuentran entre un índice de 2 y 4.
- 1 edificación (0,49%) tiene un índice igual o superior a 4.

Esta clasificación servirá como base para futuras fases del proyecto, que podrán incluir modelación estructural, intervención técnica o priorización en planes de gestión del riesgo urbano.

12.2. Representación Geográfica del Riesgo Estructural

A partir del levantamiento de datos realizado durante la inspección visual, se elaboró un mapa georreferenciado del barrio Teusaquillo empleando la herramienta Google My Maps, en el que se ubicaron con precisión los puntos evaluados. Cada edificación fue clasificada de acuerdo con su nivel de riesgo estructural, empleando un sistema de codificación por colores: verde para riesgo bajo, naranja para riesgo medio y rojo para riesgo alto. La ubicación de cada punto fue determinada mediante reconocimiento visual desde el espacio público y el registro fotográfico de las fachadas durante el recorrido urbano.

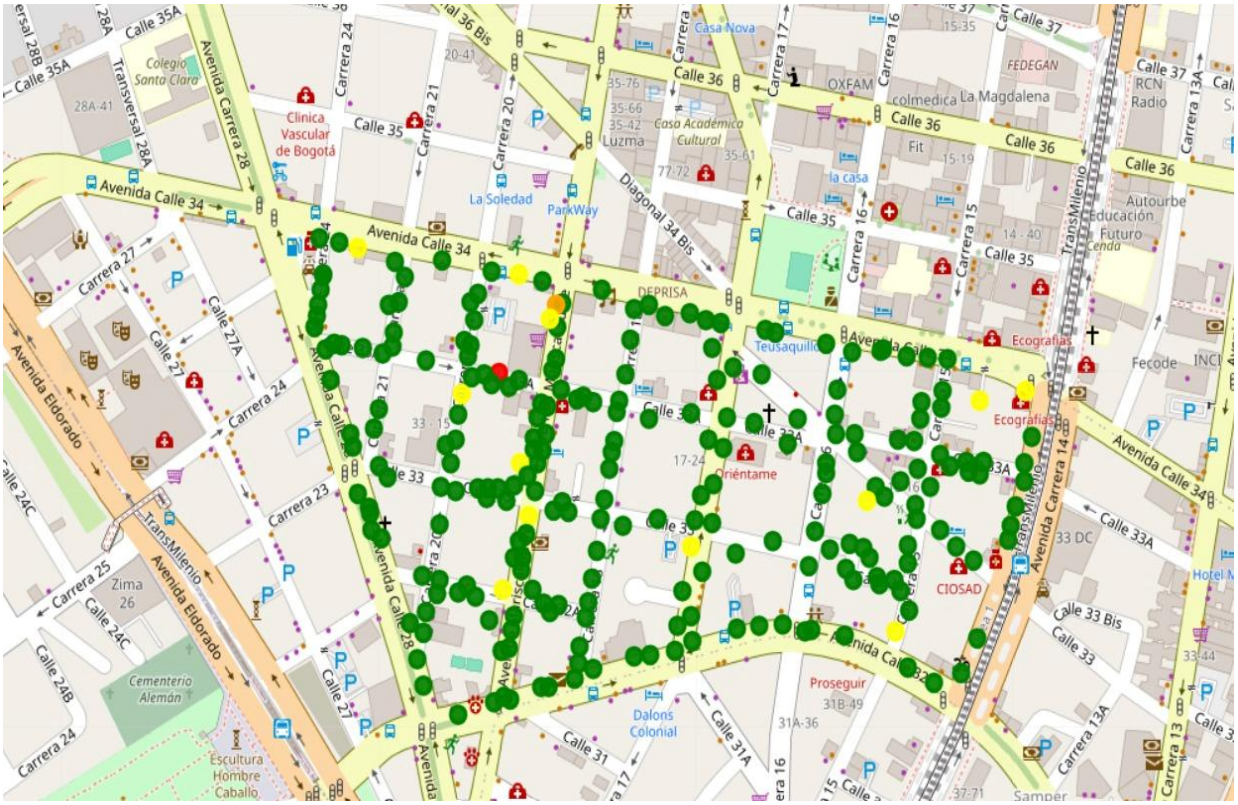

Ilustración 21 Identificación de viviendas dependiendo su índice de vulnerabilidad Fuente: Elaboración propia con base en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (MVCT, 2010) y la metodología de evaluación visual estructural adaptada de FEMA 154 (2021).

El mapa permite observar de forma clara la distribución espacial de las condiciones estructurales en el sector. Se identifican zonas con mayor concentración de edificaciones en riesgo medio o alto, generalmente asociadas a construcciones de mayor antigüedad, alteraciones no técnicas, y signos evidentes de deterioro o falta de mantenimiento. Esta representación territorial del riesgo se convierte en una herramienta fundamental para orientar estrategias de intervención, priorización de refuerzos estructurales y planes de acción sectorial. Además, cumple una función pedagógica clave al facilitar la comprensión del riesgo entre la comunidad y los actores institucionales, en coherencia con el enfoque de comunicación del riesgo promovido por el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR, 2015).

12.3. Estimación de Riesgo Humano

La estimación del riesgo humano representa un eje central en los estudios de vulnerabilidad urbana, especialmente en ciudades expuestas a amenazas sísmicas como Bogotá, este análisis va más allá de la simple evaluación de estructuras físicas, el cual busca comprender cómo la interacción entre la amenaza natural, la fragilidad de las edificaciones y las características socioeconómicas de la población puede derivar en consecuencias graves sobre la vida humana. En zonas con alta densidad poblacional y diversidad tipológica en las construcciones como ocurre en barrios tradicionales de Bogotá, entre ellos Teusaquillo, resulta crucial identificar no solo cuántas personas habitan en estructuras vulnerables, sino también cuál es su grado de exposición, su capacidad de respuesta y sus posibilidades reales de evacuación o protección ante un evento sísmico.

Este enfoque integra variables técnicas, sociales y espaciales, según el tipo y calidad de los materiales utilizados, la antigüedad de las edificaciones, las intervenciones no normativas, la densidad de ocupación, el uso actual de las estructuras según su tipo de uso residencial, institucional o comercial, así como factores de vulnerabilidad social como el nivel de ingresos, el acceso a servicios públicos, la presencia de grupos poblacionales en condiciones de riesgo niñez, adultos mayores, personas en condición de discapacidad. El objetivo no es únicamente cuantificar el riesgo en términos numéricos, sino proporcionar una base sólida para decisiones de planificación urbana, programas de mejoramiento estructural, protocolos de evacuación y educación comunitaria frente al riesgo. Desde esta perspectiva, la estimación del riesgo humano no solo aporta al diseño de intervenciones técnicas, sino que fortalece el componente ético y social de la gestión del riesgo, alineándose con los principios de la Ley 1523 de 2012 y el Marco de Sendai, los cuales promueven una gestión integral del riesgo centrada en la protección de la vida, el riesgo humano constituye un eje fundamental en los estudios de vulnerabilidad urbana.

Este enfoque busca entender cómo la combinación entre la amenaza física producida por un movimiento telúrico, las condiciones estructurales de las edificaciones y las características sociales de la población pueden derivar en impactos graves para la vida y la seguridad humana. En contextos urbanos densamente poblados, como algunas localidades de Bogotá, el análisis se centra en identificar cuántas personas están potencialmente expuestas, cuál es su capacidad de respuesta, y qué tan seguras son las estructuras en las que habitan.

Para lograr una estimación correcta se debe analizar la densidad poblacional, el tipo de materiales

constructivos y la antigüedad de las edificaciones, hasta aspectos socioeconómicos como el nivel de ingresos o el acceso a servicios básicos, la finalidad no es solo cuantificar el riesgo, sino también orientar decisiones de planificación territorial, intervenciones en infraestructura y acciones preventivas de reducción del riesgo, la estimación del riesgo humano no se limita a cifras técnicas, sino que se convierte en una herramienta esencial para la protección de la vida y el fortalecimiento de la resiliencia en las ciudades.

12.4. Metodología de Evaluación

Se adoptó el modelo de vulnerabilidad propuesto por Lagomarsino y Giovinazzi (2006), ampliamente reconocido por su aplicabilidad en entornos urbanos con amenaza sísmica, tanto en Europa como en América Latina. Este modelo permite establecer una correlación directa entre el Índice de Vulnerabilidad (IV) de una edificación, la probabilidad de colapso estructural y la probabilidad asociada de pérdida de vidas humanas en caso de un evento sísmico.

IV< 2.0 → Colapso: <5%, Muerte: 10%
IV= 2.0–2.9 → Colapso: 10–30%, Muerte: 30%
IV ≥ 3.0 → Colapso: 40–70%, Muerte: 50–90%

Tabla 38. Metodología de evaluación. Fuente: Elaboración propia.

El modelo se fundamenta en la idea de que el comportamiento sísmico de las edificaciones no solo depende de sus características físicas, sino también de factores constructivos, geométricos y del mantenimiento. A partir de los valores calculados mediante inspección visual y ponderación de variables estructurales críticas se puede proyectar un nivel de daño esperado ante distintos escenarios de aceleración sísmica del suelo (PGA), esto se traduce en un valor cuantitativo que permite estimar el riesgo de colapso y, por ende, la severidad de las consecuencias humanas.

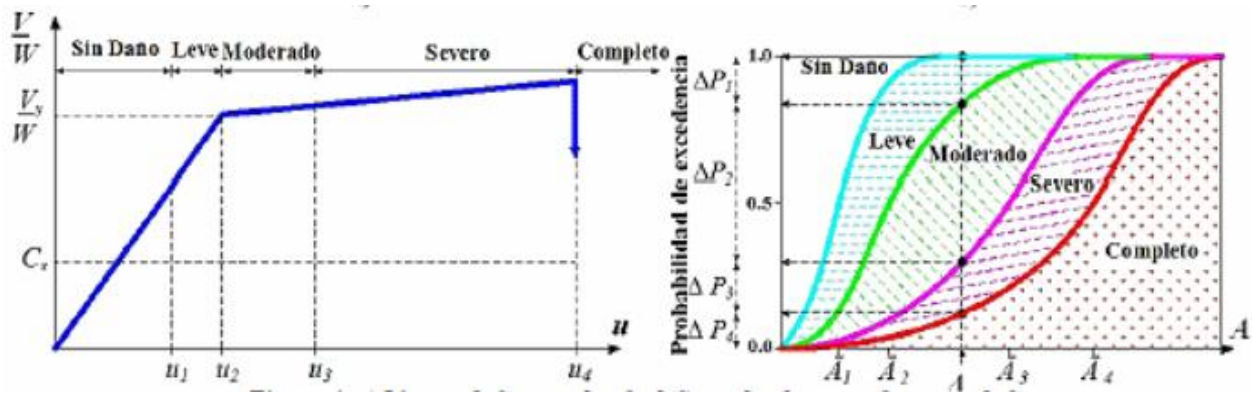

Ilustración 22 Probabilidad de excedencia. Fuente: Scielo.

Dicho enfoque ofrece ventajas considerables frente a métodos puramente cualitativos, ya que permite representar gráficamente las curvas de vulnerabilidad y mortalidad asociadas, facilitando una toma de decisiones basada en evidencia, este modelo aporta un componente robusto para integrar los resultados obtenidos de campo con escenarios de impacto humano, aportando insumos útiles para la gestión del riesgo y la planificación urbana.

12.5. Valor de la Vida Humana

En el marco de la evaluación de riesgo humano asociada a edificaciones con vulnerabilidad estructural, el método de pérdida de ingresos permite cuantificar el impacto económico que representa la posible pérdida de vidas humanas ante un evento sísmico severo, este enfoque, de naturaleza actuarial, considera el valor presente de los ingresos que una persona dejaría de percibir a lo largo de su vida laboral como resultado de un colapso estructural, su aplicación en estudios urbanos permite traducir el riesgo humano en un lenguaje económico que fortalece la toma de decisiones en políticas de gestión del riesgo y priorización de intervenciones.

Método de pérdida de ingresos enfoque judicial o actuarial, este método calcula el ingreso que una persona habría generado durante su vida laboral si no hubiera fallecido.

Fórmula básica:

$$VEV = I * A * [(1 + g)]^n$$

- I: Ingreso anual promedio
- A: Años de vida laboral restantes (esperanza de vida – edad actual)
- g: Tasa de crecimiento salarial (opcional)
- n: Horizonte de años (vida laboral restante)

Ejemplo para Colombia:

- Ingreso mensual promedio: $1.500.000 COP
- Ingreso anual: $18.000.000 COP
- Esperanza de vida: 76 años
- Edad actual: 30 años
- Años restantes de vida laboral: 46

$$VEV = 18.000.000 \times 46 = 828.000.000\ COP$$

Este cálculo corresponde a un escenario base, sin considerar variables como el crecimiento

económico, el aumento del salario real, o el costo indirecto por pérdida de capital humano. En estudios de evaluación avanzada, como los realizados por el Departamento Nacional de Planeación (DNP), se incorpora un enfoque de productividad marginal y se reconocen factores adicionales como la pérdida de productividad futura esperada, los costos derivados de atención médica de emergencia, gastos funerarios y judiciales y un impacto económico en el entorno familiar.

Con base en estas consideraciones, el Valor Estadístico de la Vida (VEV-E) en Colombia puede oscilar entre $2.000 y $5.000 millones de pesos COP, según los estudios técnicos del DNP y otras metodologías utilizadas en evaluaciones costo-beneficio de proyectos de infraestructura y políticas públicas, esta estimación es clave para dimensionar el impacto económico agregado de las pérdidas humanas en escenarios urbanos densamente poblados, donde el colapso de una sola edificación puede afectar decenas de vidas, al incorporar el VEV en análisis de riesgo estructural refuerza el carácter estratégico de las intervenciones, permitiendo priorizar edificaciones no solo por su deterioro físico, sino también por su impacto potencial sobre la vida humana y los costos sociales asociados.

12.6. Daños Materiales

En Teusaquillo, una vivienda promedio con entre uno y tres pisos puede tener un valor de reposición estimado entre COP $500 millones y $900 millones, dependiendo de factores como el uso (residencial o mixto), el estado de conservación y los materiales empleados. En caso de colapso total ante un evento sísmico de gran magnitud, la pérdida material corresponde al valor total de reposición, lo que representa una afectación económica considerable tanto para el propietario como para el entorno urbano.

El Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (IDIGER, 2023) y la Sociedad Colombiana de Ingenieros coinciden en que, para edificaciones de este tipo, la pérdida esperada puede alcanzar entre el 60% y el 100% del valor de reposición en caso de colapso parcial o total. Por tanto, una vivienda valorada sobre COP $500 millones podría tener una pérdida directa entre $300 millones y $500 millones si no cuenta con refuerzos estructurales, esta estimación no solo permite dimensionar las implicaciones económicas del riesgo estructural en zonas de alta ocupación como Teusaquillo, sino que también sirve como argumento clave para priorizar intervenciones preventivas y justificar inversiones públicas y privadas en estrategias de rehabilitación sísmica.

12.7. Costo del reforzamiento estructural

El costo de intervención estructural en edificaciones patrimoniales y residenciales del sector de Teusaquillo puede variar significativamente, ubicándose entre COP $80 millones y $200 millones, dependiendo del tipo de refuerzo aplicado, el estado de la edificación y las condiciones

estructurales preexistentes. Las intervenciones pueden incluir refuerzos en muros portantes, cimentaciones, elementos de amarre, cubiertas, entre otros sistemas estructurales críticos, estos rangos han sido documentados por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS, 2011) y también por experiencias de intervención lideradas por el Instituto Distrital de Patrimonio Cultural (IDPC) en zonas de conservación de Bogotá.

Según análisis de APUs actualizados por el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) para obras de mantenimiento, construcción y reforzamiento estructural, el costo de una intervención de este tipo puede representar entre el 25% y el 40% del valor total del inmueble, dependiendo de la complejidad del sistema estructural y el tipo de intervención, pueden ser aislamiento de cimentaciones, refuerzo de muros, anclajes metálicos, consolidación de cubiertas, entre otros.

Para una vivienda típica del sector valorada en COP $400 millones, el reforzamiento estructural puede implicar una inversión cercana a los $100 millones a $160 millones, según los datos del IDU (2023). Esta inversión, aunque significativa, representa una fracción del posible costo económico de una pérdida total por colapso y cobra aún mayor relevancia si se considera el valor de la vida humana, la pérdida patrimonial y la función social y habitacional que cumplen muchas de estas edificaciones, la intervención estructural debe entenderse no solo como una acción técnica, sino como una medida preventiva que mitiga riesgos, protege vidas y preserva la integridad del tejido urbano en zonas de alta vulnerabilidad sísmica.

12.8. Evaluación Costo–Beneficio

La evaluación costo–beneficio constituye una herramienta fundamental para la toma de decisiones en materia de gestión del riesgo sísmico, donde muchas edificaciones presentan niveles variables de vulnerabilidad estructural, esta metodología permite comparar cuantitativamente los costos asociados a las intervenciones de refuerzo estructural con los beneficios potenciales derivados de la reducción del riesgo de colapso, la protección de vidas humanas y la preservación del patrimonio construido.

Teniendo en cuenta los valores dados y calculados con anterioridad.

- Valor Estadístico de la vida: $1000 millones.
- Valor esperado en pérdidas promedio en estas edificaciones: $400 millones.
- Valor del reforzamiento estructural: $ 200 millones.

$$Relación\ Beneficio - Costo = 1400/200 = \$7$$

Según esta investigación Podemos identificar que, por cada peso invertido en reforzamiento y mantenimiento, se pueden evitar pérdidas por más de $7 pesos en vidas humanas y Bienes materiales.

Este resultado coincide con estudios similares desarrollados por organismos multilaterales en el contexto urbano como el Banco Mundial y el BID, que evidencian que las inversiones en prevención generan entre cuatro y siete dólares en beneficios, especialmente en contestos urbanos que tienen una alta vulnerabilidad (World Bank, 2021; UNDRR, 2022).

El beneficio del proyecto trasciende lo técnico. En barrios como Teusaquillo con alta presencia de población adulta mayor, edificaciones patrimoniales y uso residencial, la intervención oportuna puede salvar vidas, proteger el patrimonio y fortalecer la cohesión social.

Sin embargo, uno de los mayores retos identificados es el bajo nivel de conciencia y apropiación del riesgo sísmico, según el IDIGER (2023), muchas personas no identifican señales de deterioro estructural o ignoran que su vivienda fue construida antes de la entrada en vigencia de la norma sismo resistente NSR-10. Además, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2020) advierte que “una cultura débil de prevención en las comunidades urbanas limita la efectividad de las políticas públicas en reducción del riesgo”.

13. Recomendaciones

La presente investigación ha permitido identificar patrones de vulnerabilidad estructural significativos en el barrio Teusaquillo, como resultado de la combinación entre características constructivas antiguas, intervenciones no técnicas y ausencia de criterios normativos en muchas edificaciones previas a la NSR-10. Con base en los análisis técnicos, la evaluación costo–beneficio, la estimación del riesgo humano y el mapa temático de riesgo estructural, se hace indispensable plantear una serie de recomendaciones que respondan no solo al diagnóstico actual, sino que también proyecten acciones sostenibles y replicables en el tiempo.

Estas recomendaciones se estructuran en tres ejes fundamentales: el primero, orientado a entidades públicas con competencia en la planificación y gestión del riesgo urbano; el segundo, dirigido a los propietarios de inmuebles y a la comunidad como actores clave en la reducción del riesgo estructural; y el tercero, enfocado en futuras investigaciones que puedan ampliar, profundizar o aplicar la metodología propuesta en otros contextos urbanos. Cada una de estas líneas propone acciones técnicas, estratégicas y participativas que, en conjunto, buscan reducir la exposición al riesgo sísmico, salvaguardar vidas humanas y preservar el valor patrimonial y urbano del sector.

13.1. Recomendaciones para Entidades Públicas

En base a los resultados obtenidos se determinó una base técnica y urbana del riesgo estructural identificado en el barrio Teusaquillo, es fundamental que las entidades competentes en gestión del riesgo, planificación urbana y conservación patrimonial asuman un rol más proactivo y coordinado, por lo cual se establecen canales de manejo.

13.1.1. Implementación de un Programa Piloto de Reforzamiento Estructural Asistido.

Basado en los resultados obtenidos en esta investigación, se recomienda que IDIGER y la Secretaría de Planeación prioricen a las edificaciones clasificadas con riesgo estructural medio y alto en el mapa temático generado. Este programa puede incluir incentivos tributarios, cofinanciación parcial y asistencia técnica para los propietarios interesados en realizar intervenciones estructurales., el modelo puede inspirarse en los programas de reforzamiento realizados en otras zonas patrimoniales del país y adaptarse a las particularidades normativas y físicas del barrio.

13.1.2. Actualización de Catastros de Riesgo y Tipologías Estructurales

Es indispensable que las bases de datos oficiales incorporen tipologías constructivas y condiciones estructurales actuales. Muchas edificaciones en Teusaquillo no han sido actualizadas en los registros del catastro, lo que limita la capacidad de planificación y respuesta institucional. Se sugiere crear una ficha técnica unificada para cada predio que incluya información sobre antigüedad, tipo estructural, intervenciones realizadas, y nivel de vulnerabilidad estimado.

13.1.3. Fortalecimiento de Normativas de Conservación con Criterios Estructurales

En coordinación con el Instituto Distrital de Patrimonio Cultural (IDPC), es necesario incorporar requisitos mínimos de seguridad estructural en las normativas de conservación arquitectónica, esto permitiría que los proyectos de restauración patrimonial incluyan estudios estructurales obligatorios y criterios de reforzamiento, sin comprometer el valor cultural de los inmuebles.

13.1.4. Creación de una Base de Datos Distrital de Vulnerabilidad Estructural

A partir del modelo de base de datos generado en esta tesis, se propone desarrollar una plataforma distrital que permita consolidar, analizar y actualizar de forma periódica la información sobre vulnerabilidad estructural de edificaciones en Bogotá. Esta herramienta serviría como insumo para futuras intervenciones, simulaciones de escenarios de riesgo y priorización de recursos.

13.2. Recomendaciones para Propietarios y Comunidad del Barrio Teusaquillo

La reducción del riesgo estructural no es una tarea exclusiva del Estado; los propietarios y residentes juegan un papel fundamental en la identificación, mantenimiento y mejoramiento de sus edificaciones, con base en los hallazgos de esta investigación.

13.2.1. Promover Evaluaciones Estructurales Voluntarias

Se alienta a los propietarios de edificaciones construidas antes de la NSR-98 (Norma Colombiana de Construcción Sismo Resistente) a contratar evaluaciones estructurales preliminares con ingenieros estructurales acreditados. Estas evaluaciones permiten identificar vulnerabilidades ocultas, orientar decisiones de mantenimiento y definir la necesidad de refuerzo estructural, especialmente en edificaciones de más de 40 años.

13.2.2. Fortalecer la Cultura del Mantenimiento Preventivo

La mayoría de los signos observados durante el trabajo de campo (fisuras, corrosión, filtraciones, deformaciones) pueden atenderse mediante un mantenimiento periódico y técnicas correctivas básicas. Se recomienda la organización de talleres comunitarios, con apoyo de universidades locales o entidades como el IDIGER, donde se capacite a los propietarios sobre diagnóstico visual y buenas prácticas de conservación estructural.

13.2.3. Conformar Redes Vecinales de Gestión del Riesgo

La organización comunitaria es clave para una respuesta eficaz ante emergencias sísmicas. Se propone crear comités barriales de gestión del riesgo que trabajen en conjunto con la Alcaldía Local y las Juntas de Acción Comunal. Estas redes pueden ser capacitadas en evacuación, primeros auxilios, identificación de rutas seguras y protocolos post-sismo.

13.2.4. Aprovechar Beneficios Tributarios y Patrimoniales Disponibles

Se recomienda a los propietarios explorar los incentivos existentes para la restauración de inmuebles patrimoniales (como exenciones de predial, subsidios o líneas de crédito), canalizándolos hacia mejoras estructurales, esto no solo protege la integridad de los edificios, sino que incrementa el valor del predio y la seguridad de sus habitantes.

13.3. Recomendaciones para Futuras Investigaciones

El presente estudio aporta una base sólida para la comprensión de la vulnerabilidad estructural en contextos urbanos consolidados como el barrio Teusaquillo. Sin embargo, también revela la necesidad de profundizar y ampliar el enfoque mediante nuevas investigaciones que aborden vacíos y exploren metodologías complementarias.

13.3.1. Profundización en Elementos no Visibles Estructuralmente

Muchos de los factores de riesgo están asociados a componentes no visibles en una inspección visual, como el estado de las cimentaciones, las conexiones estructurales internas, o la calidad del concreto y del acero. Se recomienda el uso de ensayos no destructivos, levantamientos con escáner láser y tomografía estructural en investigaciones futuras para una caracterización más completa.

13.3.2. Extensión Metodológica y Replicabilidad del Modelo

La metodología utilizada en esta tesis basada en inspección visual, georreferenciación, y ponderación estructural según normativa técnica puede replicarse en otros barrios de Bogotá o ciudades con características urbanas similares, se recomienda adaptar el modelo a diferentes contextos (zonas informales, áreas patrimoniales, nuevas centralidades) para comparar vulnerabilidades y diseñar políticas diferenciadas.

13.3.3. Incorporación de Variables Socioeconómicas y Demográficas

Una línea de investigación valiosa es la integración del análisis estructural con datos socioeconómicos: densidad poblacional, edad promedio de los habitantes, nivel educativo, capacidad de respuesta ante emergencias, entre otros. Esta visión multivariable permitiría avanzar hacia evaluaciones integrales de riesgo urbano, más alineadas con el enfoque de resiliencia planteado por el Marco de Sendai.

13.3.4 Evaluación Post-Sísmica Simulada o Real

En el marco de ejercicios de simulación sísmica (como los promovidos por el IDIGER), se podría evaluar el comportamiento real o proyectado de las edificaciones clasificadas como vulnerables, esto fortalecería el vínculo entre diagnóstico y actuación, y generaría evidencia útil para planes de emergencia y refuerzo estructural.

14. Conclusiones

La conexión de este documento con los retos globales que plantea la Agenda 2030, en especial con el ODS 11, se encuentra encaminado a obtener ciudades más seguras, inclusivas y sostenibles. Al proponer una forma sencilla y técnica de identificar vulnerabilidades estructurales desde el contexto local, esta investigación aporta a la construcción de territorios urbanos seguros, conscientes de sus riesgos y con herramientas para cuidar tanto las edificaciones como la vida de quienes las habitan.

La investigación permitió establecer con claridad que gran parte del tejido urbano del barrio Teusaquillo no cumple con los estándares actuales de diseño y seguridad sísmica definidos por la NSR-10, este hallazgo no solo revela una exposición considerable ante posibles eventos telúricos, sino que también señala la urgencia de integrar la evaluación de riesgo estructural como parte de la gestión urbana en zonas de valor histórico y patrimonial, las inspecciones realizadas mostraron un panorama variado mientras algunas edificaciones conservan una integridad estructural aceptable, otras evidencian deterioro en elementos clave como muros portantes, vigas y cubiertas. Los datos recopilados permitieron construir una base de información sólida, georreferenciada y categorizada, que facilita la identificación de zonas críticas y puede ser usada por entidades como el IDIGER para la toma de decisiones.

Se detectaron patrones de vulnerabilidad asociados al uso de materiales no normados, ausencia de confinamientos, deterioro por humedad, y modificaciones estructurales hechas sin criterios técnicos, estas deficiencias aumentan notablemente el riesgo de colapso ante un sismo, y comprometen la seguridad tanto de los ocupantes como del entorno inmediato, el análisis confirmó que la edad de la construcción y el uso inadecuado de técnicas constructivas son factores determinantes del riesgo estructural en este contexto. La comparación reveló que, aunque la NSR-10 ofrece lineamientos técnicos robustos, presenta oportunidades de mejora en cuanto a mecanismos de evaluación post-ocupacional, incentivos a la rehabilitación y enfoques preventivos. Normativas internacionales como FEMA P-154 y el Eurocódigo aportan herramientas prácticas para evaluaciones rápidas, priorización del riesgo y estrategias de mitigación con enfoque en edificación existente, las cuales podrían adaptarse al contexto colombiano.

Se logró adaptar con éxito la metodología de Lagomarsino y Giovinazzi al contexto de Teusaquillo, obteniendo un índice de vulnerabilidad que permite clasificar las edificaciones en rangos de riesgo, la creación de un mapa temático y la incorporación de datos técnicos validados fortalecen la utilidad del diagnóstico como herramienta práctica para planeación urbana y gestión del riesgo, el método demostró ser replicable y accesible para su aplicación en otros sectores con características similares. A partir del análisis técnico y económico, se propusieron intervenciones de refuerzo estructural factibles, con costos proporcionales al valor de reposición de los inmuebles, estas propuestas contemplan desde soluciones en cimentación y muros hasta recomendaciones normativas dirigidas a fomentar la rehabilitación estructural en edificaciones patrimoniales, se incluyeron sugerencias para la articulación entre entidades distritales, propietarios y comunidad, como parte de una estrategia integral de resiliencia urbana.

Este estudio no solo permitió caracterizar el riesgo estructural del barrio Teusaquillo, sino que también sentó las bases para un modelo replicable de diagnóstico territorial, en el plano social, contribuye al reconocimiento del riesgo por parte de la comunidad. En el ámbito técnico, ofrece una herramienta valiosa para priorizar acciones de intervención. Y desde lo académico, representa un aporte a los estudios de vulnerabilidad urbana en contextos patrimoniales de ciudades intermedias.

15. Bibliografía

- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS). (2011). Guía para la Inspección Visual de Edificaciones.
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2021). Decreto 555 de 2021: Por el cual se adopta la revisión general del Plan de Ordenamiento Territorial del Distrito Capital, Bogotá Reverdece 2022–2035. Bogotá, Colombia. Recuperado de https://bogota.gov.co/plan-de-ordenamiento-territorial-de-bogota
- Congreso de la República de Colombia. (2012). Ley 1523 de 2012: Por la cual se adopta la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SNGRD). Diario Oficial No. 48.443.
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2016). Documento CONPES 3862: Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres en el Sector Educativo. Bogotá, Colombia.
- https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Económicos/3862.pdfWorld Bank. (2021). Resilient Infrastructure: A Critical Need for Latin America. Washington D.C.
- Disponible en: https://www.worldbank.org/en/news/feature/2021/06/15/resilient-infrastructure-in-lacICOMOS. (2011). Principios Internacionales de Intervención en Patrimonio.
- Ley 400 de 1997. Por la cual se adoptan normas sismo-resistentes en Colombia.
- Norma Sismo-Resistente (NSR-10). Reglamento Colombiano de Construcción SismoResistente.
- Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres (2015-2030).
- Castillo, R., Martínez, A., & Peña, J. (2019). "Evaluación de vulnerabilidad estructural en edificaciones patrimoniales". Revista de Ingeniería Civil.
- Fernández, L., & Torres, M. (2021). "Impacto de los sismos en infraestructura urbana: un análisis en zonas patrimoniales". Universidad Nacional.
- INGEOMINAS. (2019). "Mapa de amenaza sísmica en Colombia". Instituto Colombiano de Geología y Minería.
- Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático – IDIGER. (2023). Caracterización general del escenario de riesgo por vulnerabilidad estructural en edificaciones del sector educativo. Bogotá D.C. Recuperado de https://www.idiger.gov.co/documents/220605/1439583/Escenario%2Bde%2Briesgo%2Bpor%2Bvulnerabilidad%2Bestructural%2Ben%2Bedificaciones%2Bdel%2Bsector%2Beducativo%2B.pdfLagomarsino, S., & Giovinazzi, S. (2006). "Macroseismic and mechanical models for the vulnerability assessment of current buildings". Bulletin of Earthquake Engineering.
- López, P., Gómez, H., & Ramírez, C. (2022). "Análisis comparativo de normativas sismoresistentes en Latinoamérica". Revista Internacional de Ingeniería.
- Maldonado, J., Rodríguez, E., & Sánchez, F. (2017). "Aplicación de herramientas DOFA en la evaluación de riesgo estructural". Universidad de los Andes.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (MVCT). (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá, Colombia: MVCT. [Adoptado mediante Decreto 926 de 2010].
- MVCT (2022). Informe de seguimiento de la NSR-10 y políticas de intervención urbana en zonas patrimoniales.

- Ortega, R., & Fernández, L. (2023). Evaluación post-sismo y conservación patrimonial: prácticas emergentes en ciudades andinas. Revista Latinoamericana de Ingeniería Sísmica.
- Prieto, R., & Salgado, M. (2016). "Estrategias de refuerzo estructural en edificaciones antiguas". Universidad del Rosario.
- Ramírez, A., & Morales, P. (2018). "Interacción de placas tectónicas y su impacto en la sismicidad de Bogotá". Instituto Geofísico Nacional.
- Silva, V., Crowley, H., & Weatherill, G. (2022). A global fragility model for assessing earthquake damage to buildings. Bulletin of Earthquake Engineering.
- Vargas, J., Ospina, C., & Herrera, D. (2020). "Evaluación de la aplicación de la NSR-10 en edificios antiguos". Revista de Construcción y Arquitectura.
- UNDRR (2022). Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction.
- UNGRD. (2023). Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres 2022–2031. Presidencia de la República de Colombia. Recuperado de https://www.gestiondelriesgo.gov.co
- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD). (2023). Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres 2022–2031. Recuperado de https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/planes/Paginas/PNGRD-2022-2031.aspx
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). (2015). Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030. Geneva: United Nations. Recuperado de https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030.
- Colibrí. (2019). *Informe de patología y análisis de vulnerabilidad: CAPS Verbenal*. Recuperado de colibri.veeduriadistrital.gov.co
- Quiroga Medina, A. M. (2012). *Evaluación de la vulnerabilidad estructural de edificios del centro de Bogotá utilizando el método del índice de vulnerabilidad*. Pontificia Universidad Javeriana. Recuperado de repository.javeriana.edu.co
- *FEMA (2002). Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook (FEMA 154). Federal Emergency Management Agency.*
- *Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2021). Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook (FEMA P-154). 3rd Edition. Washington, D.C.: U.S. Department of Homeland Security. Recuperado de https://www.fema.gov/sites/default/files/documents/fema_p-154-rapid-visual-screening-seismic-hazards-2021.pdf*