

Maestría en Ingeniería Civil



Evaluación de la vulnerabilidad estructural de viviendas informales: caso de estudio barrio Mirador de Corinto Soacha

Valentina Vásquez Serrato
Carlos Alberto Anturi Almario

Bogotá, D.C., 28 de febrero de 2024



**Evaluación de la vulnerabilidad estructural de viviendas
informales: caso de estudio barrio Mirador de Corinto Soacha**

**Tesis para optar al título de magíster en Ingeniería Civil, con
énfasis en estructuras**

Sandra Roció Jerez Barbosa
Director

Bogotá, D.C., 28 de febrero de 2024

La tesis de maestría titulada “Evaluación de la vulnerabilidad estructural de viviendas informales: caso de estudio barrio Mirador de Corinto Soacha”, presentada por Valentina Vásquez Serrato y Carlos Alberto Anturi Almario, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en estructuras.

SANDRA P. JEREZ

Director de la tesis

Sandra Roció Jerez Barbosa

Jurado

Luis Enrique Aycardi Fonseca

Jurado

Héctor José Pérez Barrera

Bogotá, D.C., 28 de febrero de 2024

... a nuestros padres y hermanos

Agradecimientos

En primer lugar, deseamos expresar nuestro sincero agradecimiento a la cálida comunidad del barrio Mirador de Corinto en Soacha. Su hospitalidad, sonrisas y disposición para abrirnos las puertas de sus hogares fueron fundamentales para llevar a cabo nuestro proyecto de grado. Sin su colaboración, esta iniciativa no habría sido posible.

Queremos extender nuestro agradecimiento especial a la Ingeniera Sandra Jerez, quien aceptó con generosidad la desafiante tarea de ser revisora y tutora de este trabajo. Más allá de su rol como directora de tesis, durante estos años ha compartido sus conocimientos de manera incondicional, guiándonos siempre hacia perspectivas más profundas y enriquecedoras.

Agradecemos sinceramente a nuestro colega Camilo Escobar por su compañía a lo largo de este recorrido, brindándonos valiosos consejos y perspicacia. Lo mismo va para Ronald López, quien contribuyó significativamente a darle interpretación a muchos de los resultados obtenidos. Agradecemos también a Katherine Rodríguez Sánchez y Andrés Molano Ostos por su introducción y acompañamiento en el ámbito de la programación, así como a Helen Cortés por sus valiosos consejos en la redacción del documento.

Extendemos nuestro reconocimiento a Dayana Cauca, así como al presidente y los miembros de la junta de acción comunal del barrio Mirador de Corinto en Soacha. Su apoyo constante, paciencia y excepcional compromiso con la comunidad fueron un pilar fundamental en cada visita y nos motivaron a perseverar en esta aventura.

Agradecemos de corazón a todos aquellos que, con paciencia y apoyo, contribuyeron de diversas maneras a hacer posible esta experiencia.

¡Gracias!

Resumen

En el presente documento se aborda la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en viviendas informales en Colombia, en el marco de la amenaza sísmica alta e intermedia del país, la prevalencia de viviendas informales, y la falta de metodologías adecuadas para evaluar la vulnerabilidad a gran escala de este tipo de edificaciones. Se presenta una revisión detallada de sistemas estructurales comunes en viviendas informales, como la mampostería confinada y no reforzada, y describe los principales modos de falla y características de resistencia de estos sistemas. Además, se mencionan las metodologías de evaluación de vulnerabilidad sísmica permitidas por el Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes (NSR-10), así como otras alternativas y se detallan las metodologías propuestas en el documento AIS 410-23 de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica y la propuesta por Gustavo Chio Cho y Esperanza Maldonado “Índice de Vulnerabilidad sísmica basado en la opinión de expertos”.

El estudio se enfoca en el barrio Mirador de Corinto en Soacha, un asentamiento informal con más de mil viviendas, que enfrenta desafíos de legalización y acceso a servicios públicos debido a su zonificación como zona de alta amenaza por procesos de remoción en masa. La investigación se centra en la aplicación de dos metodologías complementarias para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en este barrio, utilizando campañas de evaluación cuyos resultados se consolidaron en un sistema de información geográfica.

En resumen, la tesis aborda la problemática de la vulnerabilidad sísmica en viviendas informales en Colombia, proporciona un análisis detallado de los sistemas estructurales comunes y las metodologías de evaluación de vulnerabilidad sísmica permitidas por el marco normativo colombiano, y se enfoca en la aplicación de dos metodologías complementarias para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en el barrio Mirador de Corinto en Soacha. El documento ofrece un enfoque que combina aspectos teóricos con aplicaciones prácticas en un contexto particular, contribuyendo al conocimiento y la comprensión de la evaluación de la vulnerabilidad estructural en viviendas informales en Colombia.

Contenido

Introducción	1
Capítulo I.....	3
1.1 Justificación.....	3
1.2 Objetivos	9
1.2.1Objetivo general.	9
1.2.2Objetivos específicos.....	9
Capítulo II.....	10
2.1 Marco Teórico	10
2.1.1Conceptos generales en evaluación de vulnerabilidad:	10
2.1.2Sistemas estructurales más comunes en Colombia para vivienda de origen informal	19
2.1.3Metodologías de evaluación de vulnerabilidad sísmica:.....	29
2.1.4Metodologías para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica usadas en el caso de estudio:	35
2.1.5AIS 410-23: Indicé de vulnerabilidad sísmica en edificaciones de mampostería basado en la opinión de expertos:	53
2.1.6Uso de los sistemas de información geográfica para la evaluación de vulnerabilidad sísmica:	70
Capítulo III.....	71
3.1 Metodología.....	71
3.1.1Determinación de los criterios comunes entre las metodologías:.....	71
3.1.2Revisión de la zona de estudio y de la muestra disponible para evaluación: 73	
3.1.3Inspección y evaluación de las edificaciones:.....	74
3.1.4Determinación de la vulnerabilidad de las edificaciones:	74
3.1.5Consolidación de la información de la vulnerabilidad en un sistema de información geográfica (SIG).	75
Capítulo IV	76
4.1 Desarrollo del trabajo.....	76
4.1.1Definición de los criterios comunes entre las metodologías:.....	76
4.1.2Revisión de la zona de estudio y selección de la muestra:	77
4.1.3Inspección y evaluación de las edificaciones:.....	82
4.1.4Determinación de la vulnerabilidad de las edificaciones:	87

4.1.5 Consolidación de la información de la vulnerabilidad en un sistema de información geográfica (SIG):	91
Capítulo V	93
5.1 Resultados y análisis	93
5.1.1 Resultados y análisis para la submuestra de 30 viviendas:	93
Capítulo VI	117
6.1 Recomendaciones	117
Capítulo VII	119
7.1 Conclusiones	119

Índice de tablas

Tabla 1. Costos de reforzamiento.....	18
Tabla 2. Soluciones a problemas en elementos estructurales, planteados por AIS 410-23.....	52
Tabla 3. Parámetros evaluados en la metodología	59
Tabla 4. Escalas usadas en el modelo.....	63
Tabla 5. Descripción general de los números difusos del modelo.....	63
Tabla 6. Números difusos y coeficiente de importancia parámetros 1 y 2, metodología IVEM.....	64
Tabla 7. Números difusos y coeficiente de importancia parámetros 3 y 4, metodología IVEM.....	65
Tabla 8. Números difusos y coeficientes de importancia, parámetros 5 y 6 metodología IVEM.....	66
Tabla 9. Números difusos y coeficientes importancia parámetros 7 y 8, metodología IVEM.....	67
Tabla 10. Números difusos y coeficientes de importancia parámetros 9 y 10, metodología IVEM ..	68
Tabla 11. Números difusos y coeficientes de importancia, parámetro 11, metodología IVEM	69
Tabla 12. Revisión de parámetros comunes entre las metodologías	72
Tabla 13. Caracterización del barrio en función del número de viviendas por zonas de amenaza de remoción de masa	73
Tabla 14. Cronograma de visitas y campañas de evaluación	80
Tabla 15. Indicativo de número de viviendas encuestadas por hora	81
Tabla 16. Escalas de color usadas para representación de datos en arcGis	91

Índice de figuras

Ilustración 1. Edificaciones construidas en mampostería simple.....	4
Ilustración 2. Edificaciones construidas en sistemas estructurales con baja resistencia sísmica..	4
Ilustración 3. Parámetros verificados en las diferentes metodologías para la evaluación de vulnerabilidad sísmica.	6
Ilustración 4. Ubicación general, barrio mirador de corinto Soacha	7
Ilustración 5. Objetivos de desempeño.	14
Ilustración 6. Descripción del comportamiento de acuerdo con el nivel de desempeño.	15
Ilustración 7. Mampostería confinada.	19
Ilustración 8. Patrones de agrietamiento en relación con el número de paños.	21
Ilustración 9. Ensayo de muro esbelto confinado	21
Ilustración 10. Falla por deslizamiento.	22
Ilustración 11. Falla por deslizamiento.	22
Ilustración 12. Falla por deslizamiento.	23
Ilustración 13. Mampostería no reforzada.....	24
Ilustración 14. Resistencia a la compresión para la mampostería y sus componentes.	25
Ilustración 15. Resistencia a cortante en las estructuras de mampostería.	25
Ilustración 16. Panorámica de las edificaciones en barrio mirador de corinto.....	26
Ilustración 17. Falla por deslizamiento.	27
Ilustración 18. Falla por compresión.	27
Ilustración 19. Falla por desprendimiento en la base.....	28
Ilustración 20. Falla por agrietamiento diagonal.	28
Ilustración 21. Fallas por carga lateral fuera del plano.	29
Ilustración 22. Métodos de evaluación de edificaciones en mampostería no reforzada en MNR. ...	29
Ilustración 23. Dimensiones típicas de un bloque #5.....	39
Ilustración 24. Factores de área neta para diferentes tipologías de bloques.	40
Ilustración 25. Valores de C_b por tipo de unidad de mampostería.	44
Ilustración 26. Muestra la normalidad de un número difuso	60
Ilustración 27. Muestra la convexidad de un número difuso).....	61
Ilustración 28. Muestra la semi - continuidad superior de un número difuso.....	61
Ilustración 29. Caracterización del barrio en función del número de viviendas por zonas de amenaza de remoción de masa.....	73
Ilustración 30. Mapa de zonificación por procesos de remoción de masa	78
Ilustración 31. Estratigrafías típicas de la zona a evaluar.....	79

Ilustración 32. Número de viviendas evaluadas con respecto a la población total.....	81
Ilustración 33. Materiales de la construcción en el barrio mirador de corinto	82
Ilustración 34. Clasificación de las edificaciones de acuerdo con el año de construcción	82
Ilustración 35. Clasificación de las edificaciones de acuerdo con el número de pisos del edificio ..	83
Ilustración 36. Clasificación del tipo de diafragma horizontal	83
Ilustración 37. Clasificación de los tipos de cubierta.....	84
Ilustración 38. Clasificación de los tipos de confinamiento	84
Ilustración 39. Parámetros de ingreso, para el cálculo del índice de vulnerabilidad usando IVEM .	85
Ilustración 40. Porcentaje de áreas de muros. Incluye factor C_N	86
Ilustración 41. A la izquierda interfaz de inicio del programa ecivul; a la derecha interfaz para recolección de datos de entrada para evaluación individual	88
Ilustración 42. A la derecha, pestaña de evaluación grupal ECIVUL. A la izquierda resultado entregado para evaluación individual.....	89
Ilustración 43. Vulnerabilidad para las 400 viviendas evaluadas por el método IVEM	89
Ilustración 44. Índices demanda/capacidad, en función de las áreas de muros necesarias y las encontradas en las edificaciones en evaluación, metodología AIS 410-23	90
Ilustración 45. Muestra de datos con t_id para ingreso a arcGis	91
Ilustración 46. Mapa de vulnerabilidad sísmica, barrio mirador de corinto Soacha	92
Ilustración 47. Resumen de las principales estrategias de reforzamiento implementadas para mirador de corinto	113
Ilustración 48. Índices demanda/capacidad, metodología AIS 410-23	114
Ilustración 49. Clasificación de la vulnerabilidad para las edificaciones de mirador de corinto	116
Ilustración 50. Histograma de frecuencias de vulnerabilidades	116

Índice de anexos

Anexo 1. Formatos, evaluaciones individuales y grupales.....	134
Anexo 2. Planos y código programa ECIVUL.....	214

Introducción

En Colombia, aproximadamente seis millones de edificaciones están construidas en mampostería simple,[1] incluso en zonas de amenaza sísmica alta o intermedia. Este sistema estructural está restringido debido a su incapacidad para disipar energía en el rango inelástico. Muchas de estas edificaciones son de origen informal, lo que implica que no existe una concepción estructural adecuada. Las configuraciones resultan insuficientes o inadecuadas para soportar eventos sísmicos. A pesar de los esfuerzos para adaptar metodologías de evaluación de vulnerabilidad sísmica, aún falta mucho por recorrer, y aún más si se requiere una evaluación a gran escala.

La mayoría de las metodologías para evaluar la vulnerabilidad sísmica coinciden en diversos parámetros, tales como el estado de conservación de la edificación, el tipo y calidad de los materiales utilizados, la naturaleza y posición de la cimentación, el tipo de cubierta y diafragma, y la presencia de muros destinados a disipar energía. En Colombia, se han desarrollado varias metodologías, entre las cuales destaca la presentada por el Ministerio de Vivienda en el documento AIS 410-23. Asimismo, cabe mencionar el índice de vulnerabilidad basado en la opinión de expertos de los ingenieros Esperanza Maldonado y Gustavo Chío Cho. Ambas metodologías abordan la problemática de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones en el país, siendo importante destacar que el primero constituye un documento oficial del gobierno colombiano.

El presente documento busca aportar al conocimiento existente al revisar dos metodologías de evaluación aplicadas en el barrio Mirador de Corinto, con el fin de generar un mapa de susceptibilidad sísmica y formular recomendaciones para mejorar las metodologías existentes. Los objetivos de la investigación incluyen la selección de dos metodologías para evaluar la vulnerabilidad sísmica, la identificación de los parámetros más importantes para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica, y la definición de estrategias de reforzamiento aplicables a viviendas informales.

El documento se estructura de modo que, en los dos primeros capítulos, se presenta la justificación del trabajo y el marco conceptual bajo el que se desarrolla. Luego se expone la manera en que se aborda el problema desde el campo teórico y de aplicación. Una vez desarrollado este capítulo, se muestran los datos encontrados en estudio, conclusiones y

recomendaciones sobre el uso de metodologías al igual que posibles mejoras para contribuir al avance en la aplicación y desarrollo de estas.

Capítulo I

1.1 Justificación

El acelerado desarrollo urbanístico del país y la imprevisión al construir han originado viviendas en zonas de alto riesgo no mitigable, en las que según el marco normativo colombiano (Decreto 1077 del 2015, modificado por decreto 1333 del 2020), no se puede intervenir la edificación ni su entorno para mejorar sus condiciones [2]; así que, si es el entorno, se deberán presentar estudios específicos que permitan diagnosticar la viabilidad de las intervenciones que garanticen un manejo asertivo del riesgo [2].

Sumado a lo anterior, según los indicadores de desastres y gestión del riesgo entregados por el Banco Interamericano de Desarrollo (en adelante BID), en el 2015; el 100% del territorio del país podría verse afectado por un sismo (lo que no necesariamente implica afectaciones), siendo este la amenaza natural de mayor influencia en el territorio colombiano [3]. Por su parte, la clasificación entregada por el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (en adelante NSR-10), muestra que la amenaza sísmica en el 87% del territorio colombiano es alto o intermedio [4].

En Colombia, históricamente han existido problemáticas asociadas a la pobreza, los desastres ambientales, el conflicto armado, entre otros aspectos económicos, sociales y políticos que han provocado un total de 5.445.406 personas desplazadas y reubicadas entre 1985 y 2012 [5]; igualmente, ha sido evidente el crecimiento poblacional, el déficit en la oferta de vivienda asequible y la falta de regulación por parte del estado, en lo que respecta a los diseños y prácticas constructivas (control urbanístico), lo que da lugar a que aproximadamente el 65% de las edificaciones sean de origen informal y se ubiquen en zonas de amenaza sísmica alta e intermedia, sin contar con concepción sismo resistente[6].

En el territorio colombiano, aproximadamente seis millones de edificaciones están construidas con mampostería simple, su sistema estructural se encuentra restringido a zonas de amenaza sísmica baja de acuerdo con el Reglamento NSR-10 [4], (Véase la ilustración 1). En Bogotá, aproximadamente el 79% de las edificaciones, presentan procesos constructivos inadecuados y sistemas estructurales de baja resistencia sísmica, entre los que se incluyen mampostería simple, mampostería parcialmente confinada, adobe y bahareque [7] (Véase ilustración 2).

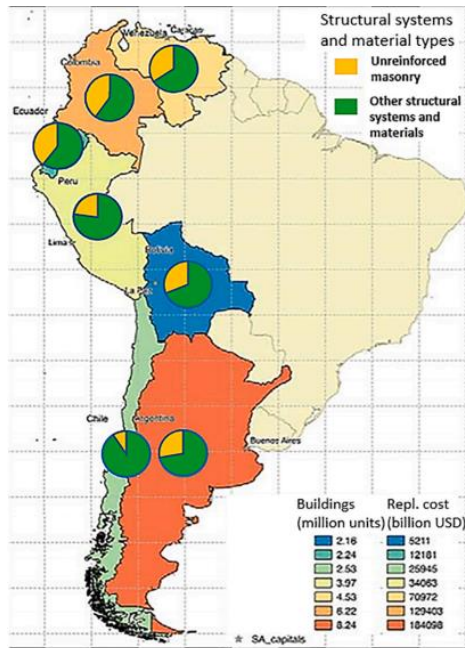


Ilustración 1. Edificaciones construidas en mampostería simple. Fuente [1].

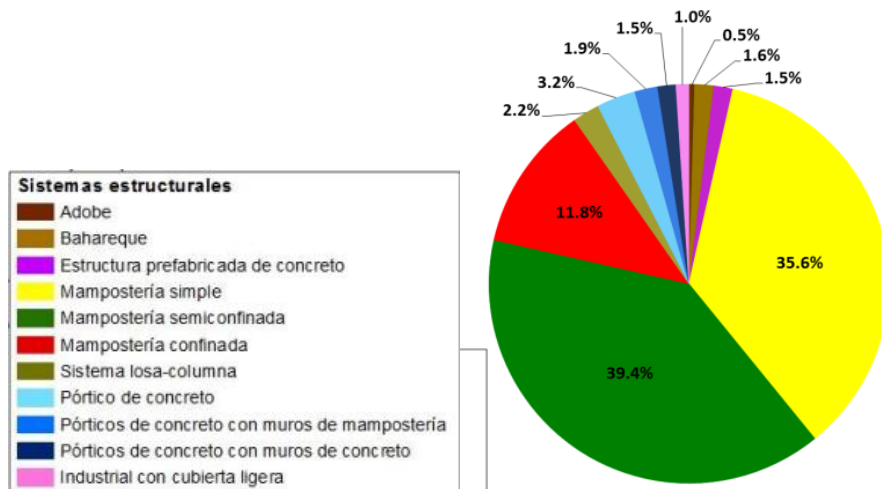


Ilustración 2. Edificaciones construidas en sistemas estructurales con baja resistencia sísmica. Fuente [7].

Teniendo en cuenta lo mencionado, para reducir el riesgo sísmico sobre las estructuras, la primera medida que se debe implementar es la evaluación de la vulnerabilidad sísmica, que en Colombia se rige por el capítulo A.10 del NSR-10; sin desconocer que existen metodologías alternas aprobadas. No obstante, ninguna de estas dos se adapta

a la heterogeneidad y a la falta de concepción estructural de las construcciones informales en el país, lo que dificulta la aplicación de dicho marco normativo a este tipo de viviendas [4].

Dentro de las metodologías alternas permitidas por el NSR-10, se encuentran Seismic Rehabilitation of Existing Buildings de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (en adelante ASCE, por sus siglas en inglés) [8], Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings de Sociedad Americana de Ingenieros Civiles Ingenieros para la Agencia Federal de Gestión de Emergencias (en adelante FEMA-154) [9] y Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings del consejo de tecnología aplicada (en adelante ATC-40) [10]; cabe señalar que ninguna de estas es aplicable a viviendas informales debido a la falta de concepción estructural de las mismas.

Normalmente, se basaría la evaluación de vulnerabilidad en registros de eventos pasados, pero en zonas donde no se cuenta con información de daños, la construcción y adaptación de las metodologías mencionadas no es directa, por lo que es importante desarrollar técnicas de evaluación apropiadas para la construcción informal.

En este sentido, se han consolidado esfuerzos como AIS 410-23: Evaluación y reducción de la vulnerabilidad sísmica en viviendas de mampostería [11], de la Asociación Colombiana de ingeniería Sísmica o se han intentado adaptar técnicas como la del documento FEMA-154 [9]; la Escala Macro-sísmica Europea 1998 (en adelante EMS-98) [12]; el Índice de vulnerabilidad de Benedetti y Pettrini [13]; la evaluación del riesgo sísmico: un modelo basado en la teoría de conjuntos difusos (metodología de Cardona y Hurtado) [14]; el Manual de construcción, evaluación y rehabilitación sismo resistente de viviendas de mampostería (en adelante AIS 2001) [15]; ATC-40 [10], entre otras. Es importante resaltar que cada una de estas propuestas evalúa parámetros diferentes en función de su fundamento y objetivo (Véase ilustración 3).

Parámetros verificados en las diferentes metodologías para la evaluación de vulnerabilidad sísmica de viviendas.										
Aspecto a evaluar	Parámetros de evaluación	ATC-13 (1985)	Índice de Vulnerabilidad Benedetti y Petri ni (1986)	FEMA-154 (1988)	Cardona y Hurtado (1990)	EMS-98(1998)	AIS(2001)	IVEM -Opinion de expertos (2007)	AIS 410	ASCE 41-17
Cimentación, suelo y entorno	Tipo de suelo y amenazas geológicas				X		X	X	X	X
	Cimentación		X	X			X	X	X	X
Antigüedad de la edificación	Año de construcción			X						
Constructivos	Sistema y aspectos constructivos					X	X	X	X	X
	Altura de la edificación			X					X	
	Materiales empleados					X	X			X
	Organización del sistema resistente	X	X					X	X	X
	Tipo y disposición de las unidades						X			
Configuración	Irregularidad en planta		X	X	X	X	X	X	X	X
	Irregularidad en altura		X	X	X	X	X	X	X	X
Elementos no estructurales y conservación	Elementos no estructurales		X						X	X
	Estado de conservación		X	X		X		X		
Estructurales	Nivel de desempeño sísmico					X			X	X
	Calidad del sistema resistente	X	X	X				X		X
	Resistencia estructural		X		X	X		X		X
	Distancia máxima entre muros		X					X	X	X
	Cantidad y tipo de muros						X		X	X
	Diafragmas horizontales		X					X		
Cubierta	Cubierta		X				X	X	X	X

Ilustración 3. Parámetros verificados en las diferentes metodologías para la evaluación de vulnerabilidad sísmica (elaboración propia, 2024).

En vista de la naturaleza de la vivienda informal en Colombia, la amenaza sísmica y las diferentes metodologías existentes para evaluar vulnerabilidad estructural; en esta investigación se revisaron dos metodologías de evaluación rápida aplicando en el barrio mirador de Corinto en Soacha, con campañas de evaluación cuyos resultados más representativos se consolidaron en un sistema de información geográfica.

Cabe mencionar, que el barrio Mirador de Corinto se localiza en la Comuna 4 del Municipio de Soacha Cundinamarca en Colombia (véase ilustración 4), este asentamiento informal inició en la década de los 80' del siglo XX y en la actualidad hay más de siete mil viviendas, sin embargo, según el POT 2022 el barrio está zonificado en su mayoría como una zona de amenaza alta por procesos de remoción en masa, lo que conlleva a que el barrio deba enfrentarse a un proceso de legalización para poder acceder al suministro de servicios públicos, la pavimentación de las vías, entre otros aspectos.

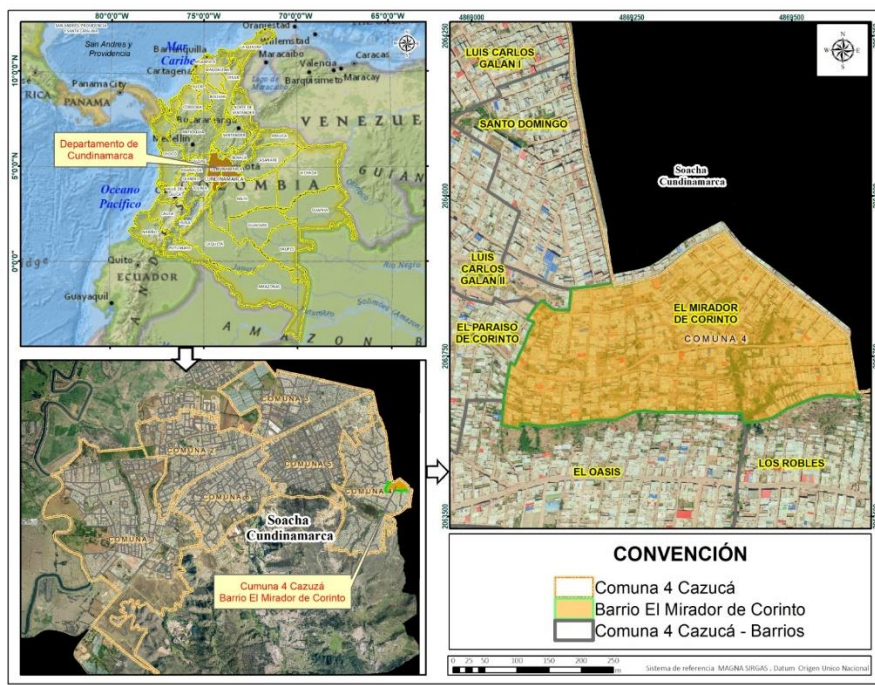


Ilustración 4. Ubicación general, barrio mirador de corinto Soacha (Elaboración propia, 2024)

Así mismo, la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito en un estudio previo a este documento, concentró sus esfuerzos en la construcción de una zonificación del barrio por medio de un modelo geológico geotécnico que determina la estabilidad de las zonas susceptibles ante eventos de remoción, tipo deslizamiento y caída de bloques de roca;

logrando de esta manera, reclasificar a amenaza media y baja la mayor proporción del barrio, no obstante, para el área que continúa en zona de amenaza alta por el manejo deficiente de las aguas y sus altas pendientes se presentaron propuestas de obras de ejecución con fines de mejorar dicha condición.

Teniendo en cuenta lo anterior, el objeto de este estudio se enmarca únicamente en las zonas donde se logró reclasificar la amenaza a baja o media y presenta índices de vulnerabilidad estructural por medio de dos metodologías.

A continuación, se presenta la definición de objetivos del proyecto no sin antes precisar que:

1. La naturaleza del proyecto requiere la escogencia, aplicación y análisis de dos metodologías que permitan en primer lugar hacer visible los problemas de las viviendas de Mirador de Corinto en Soacha desde el punto de vista de vulnerabilidad sísmica con el fin de que la entidad Municipal encargada pueda continuar con la revisión, evaluación, legalización y reforzamiento estructural de las viviendas del barrio.
2. Cualesquiera que sean las metodologías escogidas deben permitir una complementariedad desde el punto de vista práctico es decir una de ellas debe permitir la evaluación detallada para llevar a cabo un proceso de legalización y reforzamiento con el fin de dar cumplimiento al marco normativo colombiano (Decreto 1333 del 2020, decreto 1077 del 2015 y NSR-10), por otro lado se debe contar con una metodología que permita evaluar de manera menos detallada pero con algún nivel de asertividad una vasta cantidad de viviendas de tal manera que la alcaldía de Soacha pueda hacer una priorización de las viviendas a evaluar.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general.

- ✓ Aplicar dos metodologías complementarias para la evaluación de vulnerabilidad sísmica de viviendas informales al caso de estudio del barrio Mirador de Corinto en el municipio de Soacha.

1.2.2 Objetivos específicos.

- ✓ Seleccionar dos metodologías que permitan evaluar la vulnerabilidad sísmica y definir estrategias de reforzamiento aplicables a viviendas informales.
- ✓ Identificar los parámetros más importantes para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica.
- ✓ Generar un mapa de distribución de susceptibilidad sísmica de los predios a los que se le aplique las metodologías.
- ✓ Identificar las zonas que requieren una evaluación detallada.
- ✓ Formular recomendaciones basadas en la experiencia de la aplicación de las metodologías, para contribuir a mejorarlas.

Capítulo II

2.1 Marco Teórico

Durante la segunda mitad del siglo XX Colombia enfrentó problemáticas sociales como la salida violenta de zonas rurales, generando migración y crecimiento poblacional desbordado en las diferentes ciudades del país. El crecimiento de la economía nacional a comienzos de los años 20 tuvo un impacto significativo en el proceso de urbanización de la ciudad de Bogotá, incrementando los costos para ocupar el suelo y generando que los asentamientos informales se extendieran por los márgenes de la ciudad hasta llegar a zonas de alto riesgo no mitigable (En el momento de formación de estos asentamientos no se reconocían dentro de la clasificación), entendiendo este como los sectores en donde por sus características de amenaza y vulnerabilidad, existe una alta probabilidad de que se presenten pérdidas de vidas humanas, bienes e infraestructura.

Por esta razón, las administraciones municipales y el gobierno nacional concentraron sus esfuerzos para realizar intervenciones sociales y técnicas que han evolucionado a través del tiempo y continúan en procesos de mejora. Para ello, se creó el Decreto 1077 del 2015, modificado por decreto 1333 del 2020 que indica, entre otras cosas, que no es posible realizar ningún tipo de intervención de la edificación ni de su entorno, en zonas de alto riesgo no mitigable [2]; en este caso se deberán presentar estudios específicos que permitan dar viabilidad a intervenciones para dar manejo asertivo al riesgo.

2.1.1 Conceptos generales en evaluación de vulnerabilidad:

2.1.1.1 Vulnerabilidad sísmica:

La vulnerabilidad sísmica, es definida como la predisposición intrínseca de un elemento o grupo de elementos expuestos, a ser afectados o ser susceptibles a sufrir daño, ante la ocurrencia de un evento sísmico [16]. Sin embargo, la definición de vulnerabilidad sísmica puede acotarse en dos niveles de deterioro: afectación y daños. Entendiendo la afectación como un nivel moderado de daño que puede sufrir una edificación relacionándose con la vulnerabilidad funcional. Por otro lado, está un nivel referido al deterioro físico de los elementos estructurales y no estructurales. [16].

En el caso de las edificaciones informales no siempre es posible identificar entre elementos no estructurales y estructurales, por lo que la vulnerabilidad está asociada a la evaluación

de componentes que puedan aportar de una u otra manera a la preservación de la vida de los ocupantes; por consiguiente, la vulnerabilidad funcional se hace irrelevante en este tipo de evaluaciones.

Como se mencionó anteriormente, en el caso de Colombia la mayoría de las edificaciones informales son construidas en mampostería no reforzada, por lo que resulta importante nombrar los principales factores asociados al desempeño sísmico de estas edificaciones. Algunos autores han desarrollado metodologías para evaluación de vulnerabilidad que describen parámetros tales como: definición de una configuración estructural, calidad de los diferentes materiales y de sus uniones, resistencia estructural a nivel global, tipo y posición de la cimentación, diafragmas horizontales, irregularidades en planta y altura, distancia entre muros, tipo de cubierta, estado de conservación de la edificación.

Estas características son fundamentales, si se tienen en cuenta conceptos de capacidad de disipación de energía; sin embargo, una buena configuración estructural es determinante aun cuando no se cumpla con dicha capacidad ya que puede disminuir concentraciones de esfuerzos sobre los elementos llevando consigo un comportamiento más uniforme a nivel sísmico [17]. Tanto las características como las metodologías para evaluación de vulnerabilidad se detallarán en las secciones 2.3 y 2.4 de este documento.

2.1.1.2 Amenaza sísmica:

Es el valor esperado de futuras acciones sísmicas en el sitio de interés y se cuantifica en términos de una aceleración horizontal del terreno esperada, que tiene una probabilidad de excedencia dada en un lapso de tiempo predeterminando [4]. La amenaza sísmica en Colombia se encuentra asociada a la convergencia de las placas de Nazca, Sudamérica y el Caribe. De manera general, la amenaza sísmica representa la severidad y la frecuencia de los sismos que pueden ocurrir en un determinado sitio.

El servicio geológico colombiano (en adelante SGC), así como la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS) han creado mapas que permiten estimar el nivel de amenaza sísmica esperada por zonas en función de eventos pasados, su potencial destructivo, las fallas geológicas activas y el registro de sismos grandes recientes, es así como se puede destacar la amenaza en departamentos como Norte de Santander, la región del eje

cafetero, la costa pacífica, Huila y Meta. En general la amenaza sísmica en Colombia corresponde a un estudio probabilista [17].

De acuerdo con el estudio del SGC, que buscaba determinar la probabilidad de ocurrencia de un sismo en un periodo determinado, mediante la consolidación de datos básicos para el análisis, definición de fuentes sísmicas, selección de ecuaciones de atenuación y evaluación de la amenaza sísmica se caracterizó el territorio en términos de la distribución geográfica mediante el consolidado de los eventos sísmicos históricos, su magnitud y frecuencia, obteniendo como resultado los mapas amenaza en términos de aceleración pico efectiva para diferentes periodos de retorno ($t = 475, 975$ y 2745 años), para la ciudad de Bogotá se esperan aceleraciones máximas como función de la gravedad de 0.19, 0.27 y 0.40 respectivamente [17].

Enmarcando las aceleraciones pico efectivas obtenidas del estudio de SGC en el NSR-10 y teniendo en cuenta que el espectro de diseño del NSR-10 tiene un periodo de retorno de 475 años, se concluye que el barrio Mirador de Corinto en Soacha se encuentra en una zona de amenaza sísmica intermedia refiriendo a la tabla A.2.3-1 de NSR-10 [3].

2.1.1.3 Riesgo sísmico:

El riesgo sísmico, es el grado de pérdida, destrucción o daño esperado debido a la ocurrencia de un sismo; depende fundamentalmente de la amenaza o peligro sísmico, la vulnerabilidad sísmica y el valor del elemento expuesto [16], lo que establece una relación entre la vulnerabilidad y la amenaza, que en el caso de estructuras no convencionales es no lineal.

Enmarcando los conceptos expuestos en el caso de estudio, el barrio Mirador de Corinto desde una primera perspectiva presenta un riesgo sísmico alto ya que la amenaza está clasificada en un nivel intermedio, sin embargo, se espera que la vulnerabilidad de las edificaciones sea alta. Por consiguiente, se pretende que las edificaciones evaluadas estén preparadas para un nivel de desempeño de preservación de la vida para un sismo de diseño de la NSR-10 y mediante extrapolación de las categorías de funcionamiento del ASCE 41-17.

2.1.1.4 Niveles y rangos de comportamiento:

Corresponden a un estado de daño limite; una condición descrita por el daño físico en la edificación y la amenaza a la seguridad de la vida de los ocupantes del edificio, debido al daño y la funcionalidad de la edificación posterior al terremoto [16].

El ASCE41-17 define los niveles y rangos de comportamiento de una edificación de tal manera que podrían combinarse objetivos de comportamiento con intensidades del movimiento de manera flexible. A diferencia de las metodologías prescriptivas (NSR-10, ACI-318...) en este caso, se evalúa el comportamiento de las edificaciones en función de parámetros dados como la rotación (rótula plástica), los niveles de cortante y carga axial de cada elemento.

De este modo, se definen 6 niveles de desempeño de la edificación en función del nivel de daño obtenido durante el sismo con un nivel de intensidad objetivo: a) Nivel de ocupación inmediato, referido a que la estructura mantiene la resistencia y rigidez inicial y es seguro volver a ocuparlos después de un sismo; aunque es posible que se deban adelantar reparaciones estructurales menores; b) Rango de control de daño, en este caso se busca minimizar el tiempo de reparación; c) Preservación de la vida, en este caso la edificación sufre daños importantes, pero mantiene un margen suficiente contra el colapso; d) Prevención del colapso, en este caso la estructura sufre daños muy graves pero su sistema de cargas verticales se mantiene en pie y permite la evacuación [18].

Los objetivos de desempeño en función del nivel de daño esperado para los elementos estructurales, no estructurales y la edificación en general, son:

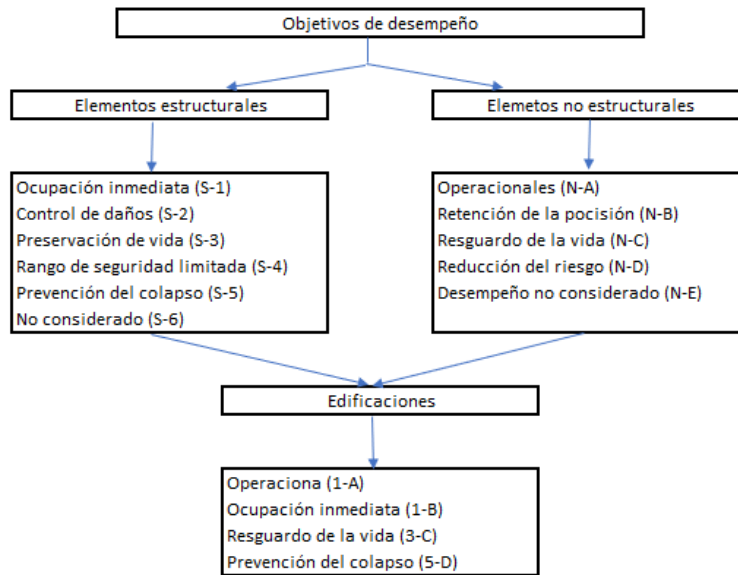


Ilustración 5. Objetivos de desempeño (Elaboración propia, 2024).

La mayoría de los métodos de evaluación, buscan clasificar el nivel de seguridad de la edificación en función de los niveles de desempeño que establece el ASCE con el objetivo de dar un diagnóstico de la edificación actual y de las posibles alternativas de reforzamiento; no obstante, en el caso de evaluaciones visuales rápidas se busca tener un mapa general de cuáles son las edificaciones más vulnerables y poder realizar una evaluación más detallada.

Para el caso de las metodologías implementadas en este proyecto, AIS 410-23 y el método de evaluación basado en opinión de expertos, se definen objetivos de desempeño correspondientes a la preservación de la vida. Estas metodologías se aplicaron en el marco de construcciones informales de mampostería no reforzada o parcialmente reforzada, por lo que a continuación se describe el comportamiento de los elementos de acuerdo con el ASCE 41-17 (Véase ilustración 6).

Sistema de resistencia sísmica	Tipo de elementos	Nivel de desempeño estructural		
		<u>Prevención del colapso (S-5)</u>	<u>Seguridad de la vida (S-3)</u>	<u>Ocupación inmediata (S-1)</u>
Mampostería no reforzada - Muros en el Plano	Deriva	<i>Deriva transitoria suficiente para cuasar daños sobre los elementos no estructurales y deformaciones permanentes en la estructura</i>	<i>Deriva transitoria que causa daño en elementos no estructurales. Deformación permanente</i>	<i>Deriva transitoria que causa daños no estructurales. Sin deformación permanente.</i>
	Primarios y secundarios	<i>Extensas grietas y aplastamiento. Afectaciones en partes de muros exteriores y algunos muros de relleno a punto de desprenderse.</i>	<i>Los muros permanecen en su lugar pero presentan extensas grietas y aplastamientos, sin embargo no hay unidades caídas. Cambios en la configuración de aberturas debido al extenso aplastamiento y desprendimiento de unidades en las esquinas.</i>	<i>Agrietamiento menor en las unidades mampostería y en el mortero de pega. Pequeños fisuras en en algunas aberturas de esquina.</i>
Mampostería no reforzada-Muros fuera del plano	Deriva	<i>Deriva transitoria suficiente para causar daños no estructurales importantes. Deformación excesiva permanente</i>	<i>Deriva transitoria suficiente para causar daños no estructurales. Notable deformación permanente.</i>	<i>Deriva transitoria que causa daños no estructurales. Desplazamientos permanentes despreciables.</i>
	Elementos primarios	<i>Agrietamiento extenso; desprendimiento de las piezas de mampostería a causa de desplazamientos fuera del plano.</i>	<i>Grietas importantes. Desplazamientos de la mampostería y desviaciones menores fuera del plano.</i>	<i>Grietas menores en las unidades de mampostería y/o desprendimiento en algunas esquinas. No se observan desplazamientos fuera del plano.</i>
	Elementos secundarios	<i>Desprendimiento de muros no portantes y/o derivas transitoria suficiente para causar daños no estructurales importantes. Deformaciones excesivas permanentes</i>	<i>Igual que para los elementos primarios. Deriva transitoria suficiente para causar daños no estructurales. Deformaciones considerables permanentes.</i>	<i>Igual que para los elementos primarios. Deriva transitoria que causa daños no estructurales. Desplazamientos permanentes despreciables.</i>

Ilustración 6. Descripción del comportamiento de acuerdo con el nivel de desempeño (Elaboración propia, 2024).

2.1.1.5 Análisis de vulnerabilidad:

Como se ha mencionado en párrafos anteriores, la vulnerabilidad puede acotarse en niveles de deterioro, por esta razón, en el presente documento se abordará a través del enfoque de la vulnerabilidad física, la cual hace referencia a los daños directos del sistema estructural que comprometen la vida de los ocupantes; existen otro tipo de vulnerabilidades como la vulnerabilidad organizacional, que se puede describir como la pérdida de capacidad de respuesta de las entidades encargadas de gestión del riesgo ante un suceso sísmico, cabe señalar, que aunque esta última no es objeto de este documento se enuncia debido a que la falla de un sistema puede traer como consecuencia la falla de otro, lo que se conoce como vulnerabilidad sistemática [16].

Para el desarrollo de este trabajo, se hará énfasis en la vulnerabilidad física entendida como la capacidad de un sistema de resistir o absorber el impacto de un suceso que caracteriza una amenaza.

2.1.1.6 Rehabilitación sísmica:

Se define como una serie de técnicas que permiten aumentar la capacidad para resistir sollicitaciones de una estructura o de sus elementos estructurales y/o no estructurales, identificados con deficiencias durante una evaluación de vulnerabilidad sísmica [19]. Como se mencionó anteriormente, la mayoría de las edificaciones informales en Colombia corresponden a un sistema estructural de mampostería no reforzada por lo que se describirán algunos métodos de reforzamiento con enfoque a esta tipología; sin embargo, existen metodologías particulares para cada sistema.

Es importante mencionar que, por la naturaleza informal del tipo de vivienda estudiada en este documento, se presentan algunas metodologías de reforzamiento que pueden resultar económicamente factibles y estructuralmente eficientes; no obstante, que se describan aquí no significa que sean de amplia utilización en las propuestas finales de reforzamiento en el caso de estudio. Los sistemas para describir son los siguientes:

- 1) Polietileno reciclado PET, corresponde a una metodología de fácil acceso económico pero que no ha resultado ser muy eficiente en términos de la ductilidad, pues si bien ha demostrado eficiencia desde el punto de vista de resistencia, las fallas que se consiguen al reforzar un muro con estas metodologías son frágiles.

- 2) Las mallas electrosoldadas con pañete son una metodología aprobada por el reglamento NSR-10, que ha demostrado mejoras hasta del 50% en rigidez de las edificaciones con respecto a los muros sin reforzar, lo que sugiere que es una buena técnica; sin embargo, el costo de este tipo de reforzamiento puede llegar a ser hasta el 45% por m² mayor que un muro nuevo [20].
- 3) Las mallas de polímeros ancladas a los muros, de acuerdo con la investigación del profesor Daniel Torrealva estas mallas demostraron mejorar el comportamiento de los muros hasta en un 40% para corte y compresión y un 50 % para flexión, según indica el autor las mallas son de fácil acceso económico [21].
- 4) Alternativas de reforzamiento que involucran elementos de confinamiento en concreto reforzado, como vigas y columnas, estos resultan ser tan eficientes que logran duplicar la capacidad de disipación de energía del elemento, no obstante, el costo puede aproximarse al doble de construir un muro nuevo [22].

A continuación, se presentan los costos generados por algunos de estas tipologías de reforzamiento:

TÉCNICAS DE REFORZAMIENTO DE MAMPOSTERÍA		COSTO DE REFORZAMIENTO/m ² (2015)	COSTO DE REFORZAMIENTO/m ² (Valor presenta a junio 2023)
REFORZAMIENTO CON ELEMENTOS LAMINARES	Fibras de carbono matriz de resina de polímeros	\$ 173,559.00	\$ 277,661.00
	Varillas fibra de vidrio	\$ 87,017.00	\$ 139,210.00
	Platinas fibra de vidrio	\$ 43,683.00	\$ 69,884.50
	Láminas de tereftalato de polietileno (PET)	\$ 42,757.00	\$ 68,403.07
	Listones de madera	\$ 43,249.00	\$ 69,190.18
REFORZAMIENTO CON MALLAS	Mallas electrosoldadas y con pañete 1:4	\$ 48,407.00	\$ 77,442.00
	Mallas de polímero y pañete	\$ 48,035.00	\$ 76,846.00
	Polímeros -PP band y pañete	\$ 45,040.00	\$ 72,055.00
	Tejido bidireccional de fibra de vidrio	\$ 207,396.00	\$ 331,794.00

REFORZAMIENTO CON ELEMENTOS DE CONFINAMIENTO	Cables de acero	\$ 71,427.00	\$ 114,269.00
	Perfiles de acero estructural	\$ 83,036.00	\$ 132,841.00
	Grapas de acero y mallas	\$ 51,264.00	\$ 82,012.65
	Arriostramiento externo con perfiles de acero	\$ 52,256.00	\$ 83,559.67
CONCRETO REFORZADO	Mampostería confinada con elementos de concreto reforzados	\$ 66,200.00	\$ 105,907.00
	Confinamiento de muros de antepecho, con elementos de concreto reforzado	\$ 66,200.00	\$ 105,907.00
	Recalce de mampostería con concreto reforzado	\$ 67,412.00	\$ 107,846.38
REFORZAMIENTO DE GRIETAS	Inyección de mortero fluido de cemento (grouting)	\$ 61,607.00	\$ 98,559.49
	Ground y expo l inyecciones	\$ 70,780.00	\$ 113,234.00
	Inyección de mortero fluido de cemento y barras de acero	\$ 60,762.00	\$ 97,207.00
	Mampostería parcialmente reforzada	\$ 52,502.00	\$ 83,993.00
	Mampostería de muros confinados	\$ 65,601.00	\$ 104,949.00

Tabla 1. Costos de reforzamiento. Fuente [22]

2.1.2 Sistemas estructurales más comunes en Colombia para vivienda de origen informal

Antes de mencionar los principales sistemas estructurales en Colombia, es necesario reconocer que para todos los casos en construcción informal existen desviaciones en cuanto a la configuración de este, calidad de los materiales entre otros que dificultan la evaluación de dicho tipo de viviendas.

2.1.2.1 Mampostería confinada:

Es la construcción con base en piezas de mampostería unidas por medio de mortero, reforzada con elementos de concreto armado construidos alrededor del muro. Corresponde a un sistema con capacidad mínima de disipación de energía en el rango inelástico [4].

La disposición de columnas y vigas de confinamiento dependen del espesor de los muros, de la relación de esbeltez y la configuración de muros y aberturas. Para el NSR-10, las columnas deben ubicarse en los extremos de todos los muros, en las intersecciones de estos, en lugares intermedios a distancias no mayores de 35 veces el espesor efectivo del muro, 1.5 veces la distancia vertical entre elementos horizontales de confinamiento o 4m. En cuanto a las vigas de confinamiento deben colocarse en el arranque y el remate del muro, en los entrepisos y a distancias libres verticales no mayores a 25 veces el espesor del muro. Tanto vigas como columnas deben configurar anillos cerrados de confinamiento, así como terminar con un anclaje de 90° sobre un elemento transversal [4].

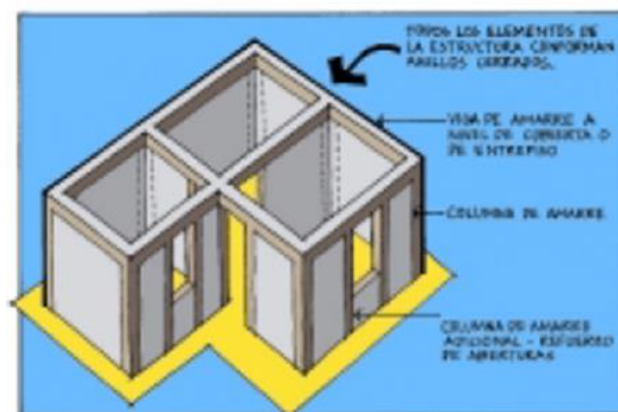


Ilustración 7. Mampostería confinada. Fuente [16]

Este sistema es comúnmente utilizado a nivel latinoamericano, por lo que diferentes normas coinciden en la importancia de la separación máxima entre columnetas; en el caso de la norma chilena limita a 6m, la norma colombiana a 4m, la norma mexicana a 4m, la norma peruana a 5m, la norma argentina 5m y el Euro código a 4m, esto deja en evidencia que el comportamiento de este sistema estructural ante solicitaciones sísmicas es dependiente no solo de la calidad de la mampostería sino además de la configuración de los elementos de confinamiento [23].

Sumado a lo anterior, el uso de los elementos de confinamiento mejora aspectos relacionados con la estabilidad de los muros esbeltos, la resistencia y ductilidad de los paneles de mampostería y la conexión entre los muros estructurales [24]. Para el NSR-10, tanto vigas como columnas de confinamiento deben tener un espesor por lo menos igual al ancho del muro confinado y un área mínima de 200 cm², de esta manera se obtienen configuraciones típicas en función del espesor de la unidad de mampostería. Por ejemplo, para bloques número 4 y 5, las dimensiones típicas de las columnas y vigas de confinamiento son de 10 cm x 20 cm y 12cm x 17 cm, respectivamente.

Ensayos experimentales muestran que la capacidad de disipación de energía de la mampostería confinada ante cargas laterales es baja, no obstante, aumenta con la simetría en la configuración de las columnetas, es por esta razón que por lo general las normas de diseño permiten un coeficiente de modificación de respuesta (R_o en NSR-10) bajo en relación con otros sistemas estructurales. Por otra parte, se sabe que la resistencia al volcamiento de este tipo de sistemas estructurales se ve afectada por el número de columnetas, sin embargo, de manera general las columnetas que se encuentran en los extremos están en tensión o compresión dependiendo de la dirección de la fuerza sísmica, mientras las columnetas intermedias en la mayoría de los casos están a tensión ante cargas laterales [25].

Por otro lado, la resistencia de los muros de mampostería depende del área de la sección transversal del muro y no del número de elementos confinantes presentes en los mismos. Ensayos experimentales han mostrado que el agrietamiento inicial en este tipo de muros se produce en las pegas de la mampostería confinada, sin embargo, estos se extienden a

través del muro y se pueden redistribuir en la medida en que se aumenta el número de paños confinados disminuyendo la separación de las columnetas [25].

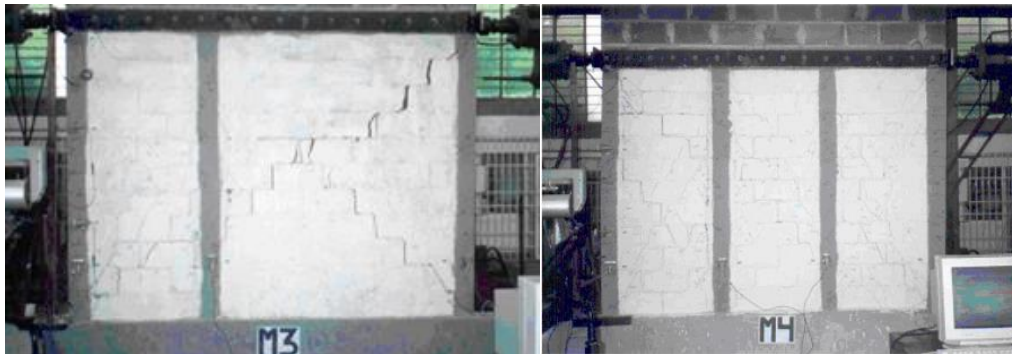


Ilustración 8. Patrones de agrietamiento en relación con el número de paños. Fuente [25]

Con respecto a los modos de falla, se ha identificado que dependen de los elementos de confinamiento, del nivel de tecnología, la resistencia de la mampostería (combinación de unidades de mampostería y juntas), la calidad de los materiales y la proporción de armadura de acero. Pueden identificarse cuatro modos predominantes de falla: a) Falla por flexión, b) Falla por cizallamiento por deslizamiento, c) Falla por tensión diagonal, d) Falla por compresión diagonal.

- A) Falla por flexión, esta tipología de falla es típica en muros esbeltos, se origina por la fluencia del acero longitudinal debido a excesos de tensiones que además aumentan los esfuerzos de compresión en las esquinas [24].

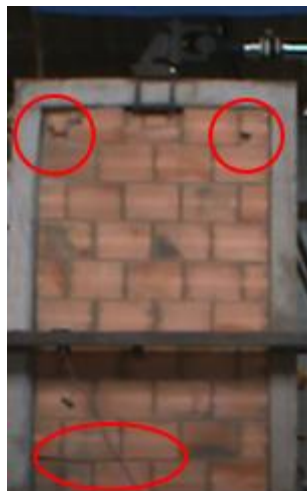


Ilustración 9. Ensayo de muro esbelto confinado, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Fuente [26]

- B) Falla de cizallamiento por deslizamiento, se produce porque el esfuerzo cortante es mayor que la resistencia, en esta falla se genera un deslizamiento horizontal de una parte del muro sobre una junta lo que conlleva a la formación de una columna corta y la rotulación plástica en el punto de cizallamiento [24].

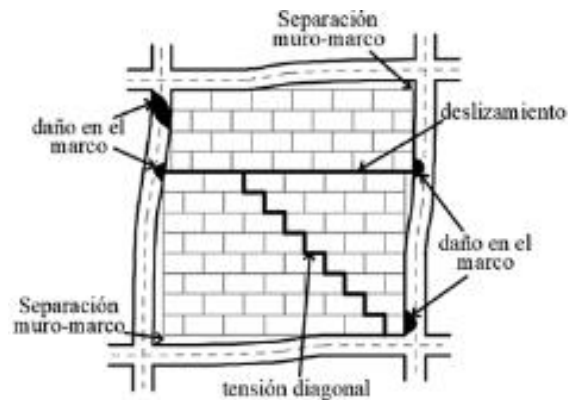


Ilustración 10. Falla por deslizamiento. Fuente [25]

- C) Falla por tensión diagonal, es producida porque la resistencia a tensión en la diagonal del muro supera la resistencia a la tensión de mampostería, provocando el agrietamiento a lo largo del muro [24].



Ilustración 11. Falla por deslizamiento. Fuente [27]

- D) Falla de división por compresión diagonal, se produce cuando existe una separación entre la mampostería y las columnas de concreto en las esquinas descargadas, esto

genera un puntal lo que a su vez provoca un aplastamiento de las unidades de mampostería [24].

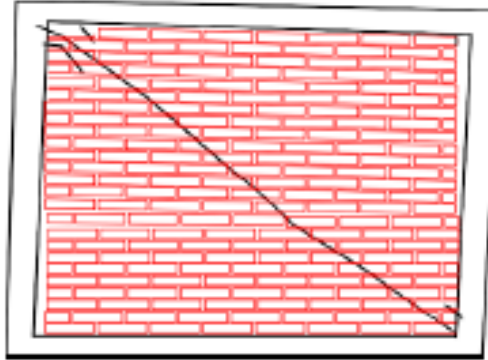


Ilustración 12. Falla por deslizamiento. Fuente [25]

2.1.2.2 Mampostería no reforzada:

Es la construcción con base en piezas de mampostería unidas por medio de mortero que no cumple con cuantías mínimas de refuerzos establecidas por el NSR-10 para la mampostería parcialmente reforzada. En Colombia está clasificada como un sistema sin capacidad de disipación de energía [4].

El NSR-10 [4] prohíbe la utilización del sistema de muros de mampostería no reforzada para zonas de amenaza sísmica alta o intermedia porque ha mostrado ser vulnerable, sin embargo, a pesar de la prohibición se observa la existencia y la presencia de este tipo de sistemas dentro de las urbes colombianas; según el Centro de Estudios de la construcción y el Desarrollo Urbano y Regional (en adelante CENAC) tres de cada cinco viviendas nuevas en Colombia son de origen informal [28].

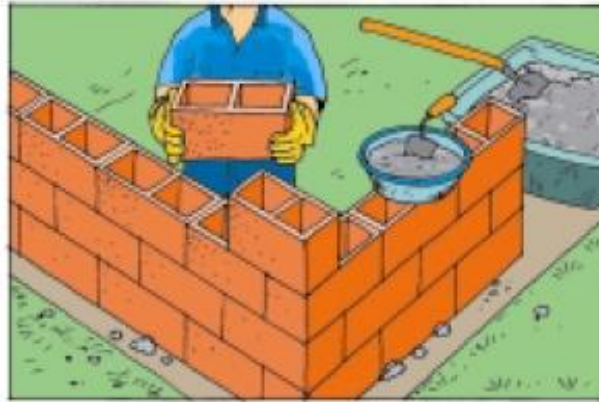


Ilustración 13. Mampostería no reforzada. Fuente [15]

Teniendo en cuenta la anisotropía del material de construcción para el sistema estructural (MNR) y la resistencia a compresión de cada componente, la capacidad para soportar cargas axiales por unidad de área del muro depende de la calidad de la mano de obra, las propiedades de las unidades de mampostería, el espesor del mortero de pega y la edad del sistema en general [29].

Al evaluar la resistencia a la compresión de cada elemento del sistema, se ha encontrado que esta es mayor en las unidades de mampostería en comparación con los morteros de pega. Bajo esta hipótesis, los estudios desarrollados por Paulay y Priestley (1992), demostraron que la resistencia a la compresión del prisma de mampostería está en un nivel intermedio de la de sus componentes [30]. De acuerdo con investigaciones realizadas por la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito y Build Change [29], sobre unos especímenes de mampostería con bloque N.5, la resistencia a la compresión del mortero de pega, la pieza de mampostería y el murete son 11.13 MPa, 2.48 MPa y 1.94 MPa, respectivamente.

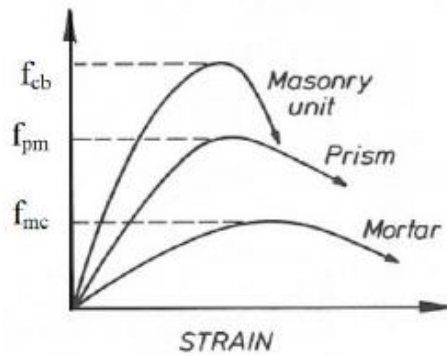


Ilustración 14. Resistencia a la compresión para la mampostería y sus componentes. Fuente [30]

En cuanto al módulo de elasticidad del conjunto, se define como la relación que existe entre las deformaciones unitarias y el esfuerzo a compresión. Tanto códigos internacionales como el NSR-10 han presentado diferentes metodologías para el cálculo de este, en el caso del primero, en función de la relación entre los módulos de los dos materiales principales (mortero y unidad de mampostería), y en el caso del NSR-10, en función de la resistencia a compresión del conjunto. Algunas investigaciones han mostrado que para el caso de viviendas informales un valor promedio del módulo es 1278 Mpa que comparado con los valores obtenidos a partir del NSR-10 puede llegar a ser hasta un 30% superior [27].

De manera general, la resistencia a cortante de la mampostería dependerá de los factores asociados a la geometría del muro, la resistencia a la compresión y la carga axial que se le aplique al mismo; así un muro con las mismas condiciones geométricas y de resistencia de los materiales será más resistente a cortante en la medida en que se aumente la carga axial aplicada (P_u); el NSR-10 considera estas propiedades a través de la relación entre las sollicitaciones de momento (M_u) y cortante último (V_u) del muro [4] como se muestra a continuación.

$\frac{M_u}{V_u d}$	V_m
$\frac{M_u}{V_u d} \leq 0.25$	$V_m = 0.30 A_{mv} \sqrt{f'_m} + 0.25 P_u$
$0.25 < \frac{M_u}{V_u d} < 1.00$	$V_m = \left[0.33 - 0.13 \left(\frac{M_u}{V_u d} \right) \right] A_{mv} \sqrt{f'_m} + 0.25 P_u$
$\frac{M_u}{V_u d} \geq 1.00$	$V_m = 0.20 A_{mv} \sqrt{f'_m} + 0.25 P_u$

Ilustración 15. Resistencia a cortante en las estructuras de mampostería. Fuente [4]

Tanto las unidades de mampostería como los morteros de pega presentan comportamiento frágil por lo que la resistencia a la tensión de los muros de mampostería no reforzada se considera despreciable [30], por esta razón, el NSR-10 restringe la utilización de este tipo de sistema estructural a zonas de amenaza sísmica baja y ha desarrollado y adaptado metodologías para la evaluación de vulnerabilidad sísmica y su posterior reforzamiento en estructuras ubicadas en zonas de amenaza sísmica intermedia y alta [4].

De acuerdo con la organización del Build Change, la configuración estructural de las edificaciones informales en mampostería no reforzada o parcialmente reforzada puede definirse en términos del uso arquitectónico que se le dé al elemento estructural, de esta manera, se aprecian tres tipologías muros: a) Muros de Fachada, los cuales pueden ocupar más del 50% del área de muros de la edificación, además, no suelen aportar una gran cantidad de áreas de corte debido a la cantidad de aberturas; b) Muros divisorios o interiores, que cuentan con un porcentaje de área de corte mayor. En algunos casos, suelen ser elementos que soportan y transmiten las cargas; c) Muros de contención o compartidos, se refiere a los muros que se comparten entre viviendas o a los que tienen que soportar presión del suelo debido a la ubicación de la edificación.



Ilustración 16. Panorámica de las edificaciones en barrio mirador de corinto (Elaboración propia, 2024)

En lo que respecta a las fallas típicas de este sistema estructural, se pueden clasificar de acuerdo con el origen de la sollicitación que las produce, de esta forma, para carga lateral en plano se encontraron cuatro mecanismos de falla: a) Deslizamiento por fisuración en el mortero de pega, b) Aplastamiento por compresión, c) Desprendimiento de la base y d) Agrietamiento diagonal [31].

- 1) Deslizamiento por fisuración, es un tipo de falla controlada por deformación debido a que el mortero de pega no tiene resistencia a la tensión, por esta razón, en el conjunto es quien primero muestra un patrón de fisuración longitudinal, suele ser muy común cuando la proporción del cemento es baja para el mortero de pega [30].



Ilustración 17. Falla por deslizamiento. Fuente [32].

- 2) Aplastamiento por compresión, se genera una articulación en la base del muro, bien sea por falta de un sistema de anclaje o una carga axial importante; este mecanismo genera que el muro gire en su propio plano, lo que conlleva a un aumento de las sollicitaciones de compresión en la base del muro y la falla por aplastamiento.



Ilustración 18. Falla por compresión. Fuente [33]

- 3) Desprendimiento en la base, es un tipo de falla que se presenta junto con la de aplastamiento, ya que el giro del muro provoca el desprendimiento de un lado. Suele ocurrir porque el muro tiene una alta resistencia al corte y una baja carga axial.



Ilustración 19. Falla por desprendimiento en la base. Fuente [34]

- 4) Agrietamiento diagonal, suele presentarse por que el mortero de pega tiene una alta resistencia a la compresión con respecto a la unidad, esta se genera de forma súbita y compromete la resistencia del muro.

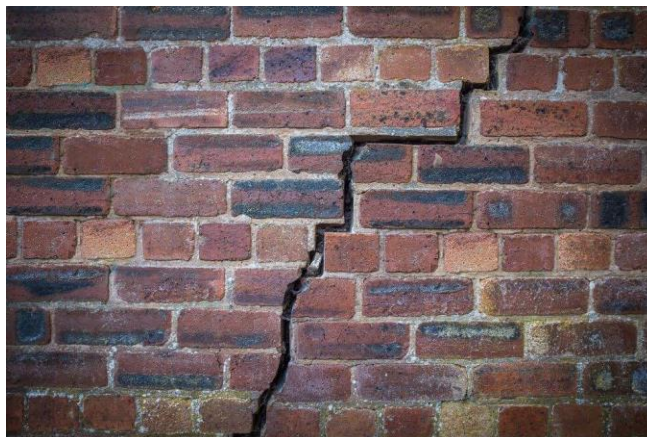


Ilustración 20. Falla por agrietamiento diagonal. Fuente [34]

- 5) Carga lateral fuera del plano, se presentan esfuerzos de flexión fuera del plano debido a sollicitaciones por cargas horizontales como sismo o viento, es una falla local que compromete la capacidad general del muro, depende del tipo de soporte con respecto a la edificación.

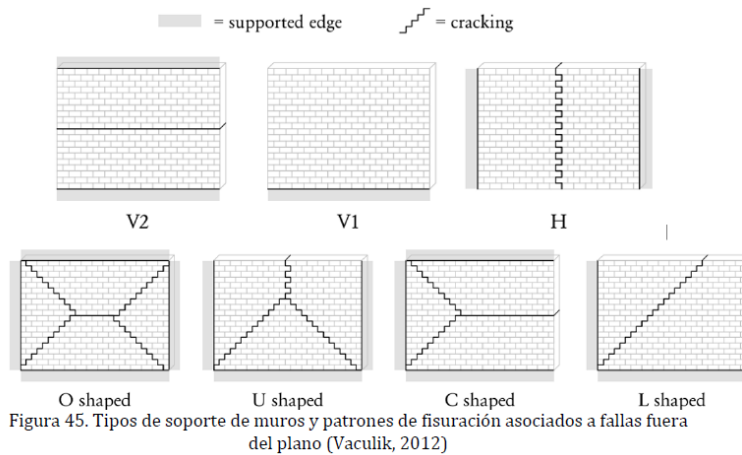


Ilustración 21. Fallas por carga lateral fuera del plano. Fuente [35]

2.1.3 Metodologías de evaluación de vulnerabilidad sísmica:

Las diferentes metodologías de evaluación de vulnerabilidad se pueden clasificar en tres grandes tipos: (I) métodos analíticos, (II) métodos empíricos (EM) e (III) métodos híbridos (HM) [36], Véase ilustración 22. Los métodos analíticos requieren algoritmos detallados de evaluación de la vulnerabilidad que tengan en cuenta las propiedades físicas, mecánicas de los edificios y su nivel de riesgo [37]. Por otro lado, los (EM) buscan evaluar la vulnerabilidad sísmica en una edificación a partir de registros sísmicos en estructuras de características similares a la evaluada [38]. Los (HM) combinan los datos de perdidas posteriores a un sismo, con los resultados de los métodos analíticos para una tipología de edificio [31].

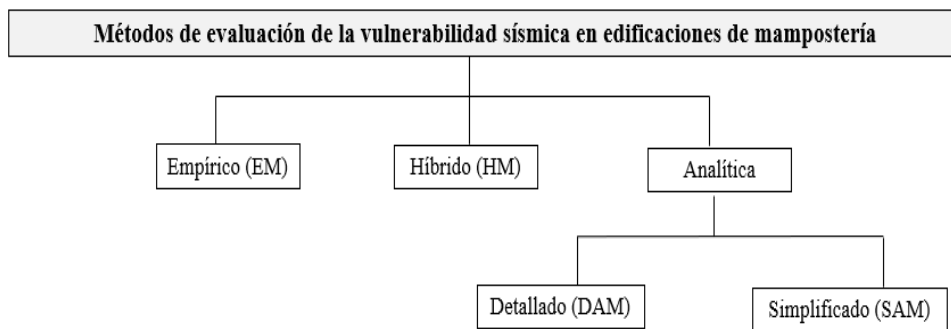


Ilustración 22. Métodos de evaluación de edificaciones en mampostería no reforzada en MNR. Fuente [36]

Los métodos analíticos pueden dividirse en dos subgrupos: (a) *métodos analíticos detallados* [39], que comprenden una simulación numérica relativamente sofisticada mediante la realización de análisis no lineales [40]. Por otra parte, con fines de reducir el consumo de tiempo y esfuerzo computacional se han creado (b) *los métodos analíticos simplificados*, en donde se busca comparar la demanda con la capacidad de la estructura desde diferentes puntos de vista basados en: 1) Mecanismos de colapso, 2) Espectros de capacidad y 3) Espectros de desplazamiento.

Dentro de las metodologías analíticas, por un lado, se encuentran aquellas *basadas en niveles de servicio*, como las que se proponen en el NSR-10, en donde se evalúa la capacidad de la estructura y cada uno de sus elementos estructurales para ser comparados con el desempeño requerido por una edificación nueva; por otro lado, *las HM* son el resultado de la combinación entre los análisis y la experiencia en eventos sísmicos anteriores, dentro de éstas se encuentran las descritas en este documento a excepción de la propuesta por Benedetti y Petrini que está fundamentada sobre la opinión de expertos por lo cual es clasificada como una EM.

Para el caso particular de Colombia, el marco normativo indica que la evaluación de edificaciones existentes debe hacerse a través del capítulo A.10 del NSR-10 [4], sin embargo, para este tipo de evaluación es necesario que la estructura cumpla con algunas características básicas, como: a) Definición de un sistema estructural cubierto dentro del reglamento; b) Información acerca del proceso constructivo de la cimentación y estructura de la edificación; c) Información acerca de las propiedades constitutivas de los materiales; entre otros, que en la mayoría de los casos no se cumplen debido al origen informal de dichas edificaciones. Adicionalmente, este tipo de análisis requiere la determinación de sollicitaciones equivalentes (flexibilidad y sobreesfuerzo), lo que dificulta la evaluación de estructuras a gran escala [4].

Considerando lo anterior, el NSR-10 acepta la utilización de métodos alternativos como el ASCE/SEI 41-06 (ASCE 41-17) [8], el cual a diferencia de la metodología empleada por el NSR-10 [4], permite la evaluación de cada uno de los diferentes elementos estructurales en función de su capacidad de disipación de energía, del tipo de falla esperado (dúctil o frágil) y el nivel de servicio de la edificación (ocupación inmediata y preservación de la vida), adicionalmente, considera tres etapas de evaluación (evaluación simplificada, evaluación y

evaluación detallada), en donde a partir de la segunda etapa se podrán evaluar todos los elementos estructurales o los elementos críticos de acuerdo con el resultado de la primera etapa.

Por su parte, el FEMA-178 [9], es otro de los métodos permitidos por el NSR-10, en donde la evaluación de las edificaciones se realiza mediante la inspección visual y el uso de formularios que facilitan la calificación del riesgo de colapso de la estructura. Dicha calificación está dada en un rango de cero a diez en donde el valor mínimo permitido es 2, en estos formularios se tienen en cuenta parámetros relacionados con las irregularidades geométricas, condiciones del suelo y el tipo de sistema estructural de la edificación. La principal ventaja de este método con respecto al NSR-10 [4], es que permite realizar evaluaciones globales de manera rápida y reduciendo el gasto computacional.

Para la evaluación de viviendas de mampostería, el NSR-10 ha definido la metodología AIS 410-23, que corresponde a una adaptación de los documentos ASCE-31 [41] y ASCE-41 [42], propuesta en el documento: Evaluación y reducción de la vulnerabilidad sísmica en viviendas de mampostería, de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS) [11], éste permite evaluar edificaciones en mampostería (reforzada, no reforzada y confinada), de uno a tres pisos, mediante la utilización de una lista de verificación cuyo fin es identificar deficiencias sísmicas críticas, teniendo en cuenta parámetros como: cimentación, muros, losas de entrepiso, cubierta y elementos no estructurales. Esta metodología permite un nivel de desempeño equivalente al de seguridad humana definido en ASCE 41-17.

En segundo lugar, existen metodologías que no se incluyen dentro del NSR-10 pero han demostrado ser funcionales, de fácil aplicación y además han entregado resultados comparables a las metodologías del NSR-10, que en esencia corresponden a metodologías analíticas, a modo de ejemplo se pueden revisar los estudios presentados para ciudades como Bucaramanga por parte de autores como Gustavo Chio Cho. De este modo, las metodologías que se describen a continuación corresponden a métodos híbridos (HM), lo que significa que están basadas tanto en criterios analíticos como en experiencias de eventos pasados en diferentes lugares y para diversas configuraciones estructurales:

El método del índice de vulnerabilidad de Benedetti y Petrini, basa su evaluación de calidad de la estructura en el uso de once parámetros relacionados con: 1) Organización del sistema resistente, 2) Calidad del sistema resistente, 3) Resistencia convencional, 4)

Posición del edificio y cimentación, 5) Entrepisos, 6) Configuración en planta, 7) Configuración en elevación, 8) Separación máxima entre muros, 9) Tipo de cubierta, 10) Elementos no estructurales y 11) Estado de conservación; con respecto a estos parámetros el método asigna una escala de calificación literal entre A (optimo) y D (pésimo), en donde a su vez, para cada parámetro y escala se le asigna un peso numérico (Ki). Además, se diferencia la importancia de cada parámetro mediante un factor de multiplicación (Wi) que varía entre 0.25 (menor peso) y 1 (mayor peso) [13].

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

Ecuación 1. Cálculo del índice de Vulnerabilidad Sísmica, método de Benedetti y Petrini.

IV: Índice de vulnerabilidad

Ki: Valor numérico asignado a cada literal

Wi: Peso asignado a cada parametro de evaluación.

La metodología propuesta por EMS-98 [12], evalúa la vulnerabilidad sísmica en materiales como: mampostería, concreto reforzado, acero, madera y adobe, permitiendo algunas combinaciones entre estos. La evaluación se basa en seis niveles de vulnerabilidad clasificados entre A y F, en donde A es la mejor calificación y F es la peor, estos seis niveles se asignan de acuerdo con el sistema estructural y material de la edificación; posteriormente se modifican teniendo en cuenta la calidad de los materiales, los procesos constructivos, estado de conservación, regularidad, ductilidad del sistema estructural y sus componentes, posición de la edificación (medianera o esquinera), refuerzo de la estructura y diseño sismo resistente.

La metodología propuesta por Omar Darío Cardona y Jorge Eduardo Hurtado (1990) [42], se desarrolló para evaluar viviendas de uno y dos pisos en mampostería, se considera la resistencia a cortante de la edificación considerando la menor longitud de muros, y la relación entre el cortante resistido y el cortante exigido por un sismo determinado; el coeficiente resultante de la relación anterior se comparará contra el coeficiente de disipación de energía básica Ro de las estructuras según el Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistente (en adelante CCCSR-84), para dar una vulnerabilidad a cortante de la edificación considerando la menor longitud de muros. En esta

metodología se tienen en cuenta las irregularidades en planta y en altura a través de los factores de reducción del coeficiente R_o .

El AIS-2001[15], permite realizar la evaluación de vulnerabilidad sísmica de viviendas de uno y dos pisos, en mampostería (reforzada, no reforzada o confinada), cuantificando el nivel de vulnerabilidad general de la estructural a través de la verificación particular de 15 parámetros en cada elemento, relacionados con aspectos geométricos, constructivos, estructurales, de la cimentación, los suelos y el entorno. A cada parámetro se le asigna un nivel de vulnerabilidad alto, intermedio o bajo, de acuerdo con una lista de chequeo, que se puede verificar mediante una inspección visual y algunas exploraciones sobre las edificaciones y sus componentes.

Los ingenieros Gustavo Chío Cho y Esperanza Maldonado, desarrollaron la metodología “Índice de vulnerabilidad sísmica en edificaciones de mampostería basado en la opinión de expertos” [43], que realiza la evaluación mediante once parámetros contenidos en una lista de verificación, a los cuales se les asigna un grado de vulnerabilidad comprendido entre 0 y 10, en donde 0 es nada vulnerable y 10 absolutamente vulnerable, estos factores son modificados por un coeficiente de importancia cuyo peso fue determinado y calibrado mediante la opinión de expertos y el uso de conjuntos difusos para disminuir la subjetividad de las opiniones; este método no usa registros de sismos, pero está sustentado en estudios de comportamiento de los muros ante cargas horizontales.

De acuerdo con la revisión bibliográfica se identificaron los siguientes aspectos de evaluación: cimentación, suelo y entorno, antigüedad de la edificación, sistema constructivo, calidad de la construcción, regularidad y geometría, elementos no estructurales y tipo de cubierta; estos a su vez se dividen en parámetros de verificación que permiten medir la calidad de cada aspecto y comparar las diferentes metodologías identificando su tendencia. Cabe señalar que, aunque las hipótesis de análisis difieren en cada metodología, existen parámetros en común como irregularidades geométricas, cimentación, suelo y entorno, resistencia estructural, cubierta y la calidad del sistema estructural, no obstante, algunos parámetros como el año de construcción y elementos no estructurales son tenidas en cuenta en menor proporción.

En conclusión, las metodologías analíticas permiten obtener una buena precisión de los análisis, sin embargo, implican un conocimiento avanzado de la estructura, su composición

y un detallado análisis computacional, lo que puede dificultar la evaluación de vulnerabilidad a escalas regionales y locales, no obstante, las HM facilitan la evaluación grupal de edificaciones disminuyendo el esfuerzo computacional y el tiempo de evaluación; los resultados de experiencias pasadas indican que es posible obtener indicadores de vulnerabilidad similares cuando se usan estos dos tipos de metodología a escalas intermedias. por lo anterior, las metodologías complementarias seleccionadas para la evaluación del caso de estudio son el AIS 410-23 y la de los profesores Esperanza Maldonado y Gustavo Chío Cho.

2.1.4 Metodologías para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica usadas en el caso de estudio:

2.1.4.1 AIS 410-23: Evaluación y reducción de la vulnerabilidad sísmica en viviendas de mampostería

Si bien es cierto, AIS 410-23 no es una metodología simplificada, pues implica la revisión detalla de la estructura, simplifica la modelación computacional, entendiéndose como una metodología híbrida, según las clasificaciones enunciadas en párrafos anteriores; por ende, permite evaluaciones más rápidas comparadas con el enfoque de A.10 de NSR-10.

El documento, corresponde a una adaptación del manual de evaluación y reforzamiento sísmico para reducción de vulnerabilidad en viviendas de Build Change, que a su vez adopta la filosofía de ASCE 31 y ASCE 41; este define el criterio de desempeño estructural, de tal manera que la vivienda incluye daños a los componentes estructurales durante el sismo considerado en el diseño, en este sentido: a) Queda al menos algún margen antes de un colapso estructural parcial o total y b) Se pueden producir lesiones, pero el riesgo de fatalidad de las mismas se espera sea bajo [11].

La metodología permite la evaluación de vulnerabilidad sísmica de viviendas en mampostería reforzada, no reforzada y confinada hasta de tres pisos, partiendo de la identificación de deficiencias estructurales, que deben ser evaluadas y corregidas mediante las alternativas presentadas en el mismo [11].

Teniendo en cuenta lo señalado, se define el sistema de resistencia a fuerzas horizontales y verticales como sistemas de muros de cargas dentro de los que clasifica: a) *Muros de mampostería no reforzada (en adelante MNR)*, incluso cuando este cuenta con algunos muros confinados y/o intervenidos con revoques con malla electrosoldada, al cual asigna un coeficiente de disipación de energía de 1 y al que permite como máximo 2 pisos en etapa evaluación, sin embargo, la solución para la reducción de vulnerabilidad debe asegurar los confinamientos de los muros a excepción de las casas de 1 piso en donde se permite mantener el sistema MNR. b) *Muros de mampostería confinada (en adelante MC)*, en donde permite la evaluación de viviendas hasta de 3 pisos en zonas de amenaza sísmica intermedia y baja y hasta de 2 pisos en zonas sísmicas altas, a este sistema se le asigna un coeficiente de disipación de energía de 2.

Por otro lado, el documento indica como procedimiento general: a) La verificación de la factibilidad de la intervención en el alcance definido por el mismo, b) La evaluación de la vivienda de acuerdo con la lista de verificación del documento, c) La propuesta para la reducción de deficiencias, d) El diseño de nuevos elementos estructurales y no-estructurales y, por último, e) La evaluación de la demanda sísmica y capacidad de la vivienda intervenida mediante el cálculo de área muros (PAM).

La verificación de la factibilidad de la intervención se realiza definiendo el tipo de material de la construcción a evaluar, así como el número de niveles, sistema estructural y zona de amenaza sísmica de la edificación. Por su parte, en cuanto a la evaluación de la vivienda se debe definir por medio de la lista de verificación incluida en el apéndice uno que tiene en cuenta los parámetros que se describen a continuación:

- 1) Amenazas geotécnicas en el sitio:** Con este punto, la metodología busca revisar que la edificación en evaluación no se encuentre en zonas de licuefacción, laderas y muros de contención en sitio; para el primer caso se realiza la evaluación a partir de los mapas disponibles del sitio, en el caso específico de este trabajo se realizará la evaluación mediante los mapas entregados por el componente geotécnico del proyecto, además, se realizan algunas inspecciones visuales sobre el nivel freático y la rigidez del suelo. Para el caso de laderas se evalúa la pendiente del sitio, los muros de contención se evalúan a partir de su existencia y de su nivel de tecnología.

- 2) Cimientos:** Para la revisión de los cimientos se tiene en cuenta varios criterios, entre ellos: el tipo, el desempeño, el volcamiento, la conexión entre elementos de cimentación y el nivel de deterioro de los elementos. En el caso del tipo de cimentación, se busca que las edificaciones cuenten con un anillo completo de cimientos ciclópeos en todos los muros y un anillo en concreto reforzado cuando tenga una pendiente superior al 17%; en cuanto al desempeño se evalúa que no existan asentamientos u levantamientos excesivos, el volcamiento se evalúa con respecto a las dimensiones de las edificaciones. La conexión entre elementos de cimentación, se evalúan con respecto al nivel de unión entre los elementos, el nivel de deterioro, la corrosión de materiales y degradación de los materiales. Además, se permite que en caso de no contar con las herramientas disponible se evalúe el

estado de la cimentación a través del nivel de fisuración de los muros a los que se da apoyo, de la siguiente manera [11]:

-a) *Ninguno o muy leve*: fisuras pequeñas difícilmente visibles, con abertura menor a 0.2 mm, sobre la superficie del muro, b) *leve*: agrietamiento perceptible a simple vista, con abertura entre 0.2 mm y 1 mm, sobre la superficie del muro, c) *moderado*: agrietamiento diagonal incipiente, grietas con abertura entre 1 mm y 3 mm, en la superficie del muro. Algunas fisuras en columnas y vigas de confinamiento. Inicio de la formación de agrietamiento diagonal en muros confinados, d) *fuerte*: agrietamiento diagonal severo, aberturas mayores a 3 mm con dislocación de piezas de mampostería y, e) *severo*: desprendimiento de partes de piezas, aplastamiento local de la mampostería, prolongación del agrietamiento diagonal en columnas y vigas de confinamiento. Desplome o inclinación apreciable horizontal o vertical del muro.

3) Sistema constructivo: Este ítem evalúa parámetros relacionados con los materiales, la trayectoria de cargas, la cantidad de pisos, altura de pisos, carga, sistema de piso y cubierta, muros y voladizos. Para el caso de los materiales, se acota el rango de acción del documento a elementos de mampostería y concreto, se exige una trayectoria de cargas definida en por lo menos dos ejes de muros por dirección con espacios máximos de cuatro metros, se acepta un máximo de tres pisos, pero depende de la zona de amenaza sísmica y se recomienda alturas máximas de entrepisos de 3m si se trata del nivel 1 y 2.75m si se trata de los pisos siguientes. Se aceptan cargas máximas de 505 kg/m², los sistemas piso son en concreto reforzado, no se aceptan muros sobre voladizos a menos que se traten de parapetos de cubierta y se espera que los muros sean en mampostería.

4) Muros de mampostería: Los muros de mampostería son evaluados en función del confinamiento presente, el tipo de vanos, las vigas de marre y el porcentaje de área de muros (presente y requerido), en el caso del confinamiento se busca que todo muro cuente con un confinamiento definido bien sea como elemento viga o placa, los vanos y las vigas de amarre se evalúan en su conjunto en función del tipo de configuración que aportan, el porcentaje de área de muros se revisara en los párrafos siguientes. Los aspectos relacionados con la calidad de los muros son

función de la unidad de mampostería, mortero de pega y el revoque sobre el elemento. A continuación, se describen algunos de los aspectos de evaluación de dichos ítems:

a) *Unidades de mampostería*: mediante una inspección visual se debe identificar el tipo de unidad de mampostería y su heterogeneidad; debe verificarse que los extremos de las unidades no se encuentren desportillados dado que indica baja calidad de las piezas, así como validar la no existencia de patologías que pueden afectar la capacidad portante como humedades excesivas o musgos, b) *Morteros de pega*: se debe revisar la heterogeneidad y uniformidad de las juntas de pega entre mampuestos; su espesor debe ser de 10 mm con tolerancias de +/- 4 mm [4] y debe realizarse una prueba de dureza mediante el paso de un lápiz por la junta, en caso de presentarse fácilmente el desprendimiento del material se indica calidad no aceptable y, c) *Pañete sobre muros*: En este ítem se debe validar la adherencia y condiciones de calidad, para el primer caso no deben existir grietas, destaques, hinchamientos; en el caso de la revisión de condiciones de calidad debe verificarse el estado del pañete mediante las pruebas indicadas en 6.7.3 de AIS 410-23 [11].

5) Configuración: La revisión de configuración, se hace teniendo en cuenta factores asociados a la torsión, separación entre edificaciones adyacentes y discontinuidad de los elementos verticales. En cuanto a la torsión, se evalúa en términos de la cantidad de muros externos de la edificación o del nivel de excentricidad siendo 15% el máximo nivel asociado, la separación entre edificaciones adyacentes se tiene en cuenta mediante la tabla A.6.5-1 de NSR-10; en la discontinuidad vertical se busca corroborar que exista una correcta transferencia de carga.

6) Elementos constructivos: Está compuesto por 3 indicadores de revisión: el primero, se refiere a las columnas de concreto aisladas o discontinuas y se busca revisar esencialmente las dimensiones del elemento, en función del número de niveles que soporta; el segundo, se refiere a los vanos de placas cerca de muros y al número de aberturas, inicialmente se chequea mediante el porcentaje de longitud de muros, en seguida, se busca no exceder una longitud de 2.5 m en aberturas, por último, se revisan parapetos, escaleras y descansos, los parapetos deben estar anclados y las escaleras deben estar apoyadas en muros, llegando a una viga

definida en el sistema de entrepiso. Para todos los casos en que existan deficiencias, el documento presenta sugerencias para el reforzamiento de los elementos, a excepción de las amenazas geotécnicas en donde no existen alternativas de reforzamiento; el tercero, presenta una lista de comprobación que deberá completarse antes y después de realizar cualquier tipo de reforzamiento.

7) Evaluación demandad/capacidad: el documento usa una relación entre el porcentaje de área de muros presente en la edificación, contra el porcentaje de área requerido; el porcentaje de área presente en la edificación, se calcula teniendo en cuenta muros de por lo menos un metro de longitud, libres de afectaciones (debe cumplir con fisuramiento máximo aceptable descrito anteriormente), pegas con espesores admisibles de acuerdo con los rangos mencionados en la descripción de muros de mampostería, continuidad desde la cimentación hasta el nivel en evaluación y porcentajes de aberturas inferiores al 25% del área del muro. A continuación, se define de manera detallada el procedimiento.

2.1.4.2 Definición del porcentaje de área de muros existente.

La resistencia a corte de la edificación, depende del área neta de muros disponibles para tomar el cortante, por esa razón, el documento AIS 410-23 define un factor que relaciona el área bruta de los bloques con su área efectiva a corte (C_N), este es nombrado como el factor de área neta y está definido como la relación entre el porcentaje de área sólida del bloque en consideración y el porcentaje de área sólida del bloque de referencia que corresponde a un bloque #5, para el cual el factor corresponde a 24.8%; dicho factor es obtenido de la siguiente manera:

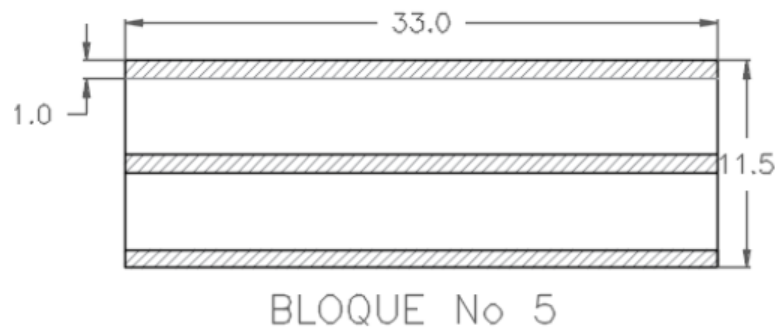


Ilustración 23. Dimensiones típicas de un bloque #5 (Elaboración propia, 2024)

$$\%solido = \frac{3 * 0.99 * 33}{12 * 33} * 100 = 24.8\%$$

Ecuación 2. Porcentaje de área sólida en un bloque promedio #5 (bloque de estandarización)

$$C_N = \frac{\%Solido}{24.8\%}$$

Ecuación 3. Factor de área neta

El documento, presenta los siguientes factores de área neta para diferentes tipologías de bloques de perforación horizontal en diferentes materiales y para distintas regiones; también, tiene en cuenta bloques macizos, estos trabajan con el 100% del área al no tener tabiques ni aberturas.

Tabla 5.10-1. Factores de área neta para diferentes tipos de bloques

LUGAR Material del Bloque	Tipo de Ladrillo (Dimensiones en cm)		C _N
			%As / 0.248
BOGOTÁ (Arcilla)	No. 5	No. 5 (330 x 115 x 230)	1.00
		No. 5 (330 x 115 x 230) + REVOQUE A UNA CARA	1.24
		No. 5 (330 x 115 x 230) + REVOQUE A DOS CARAS	1.45
	No. 4	No. 4 (330 x 90 x 230)	1.28
		No. 4 (330 x 90 x 230) + REVOQUE A UNA CARA	1.55
		No. 4 (330 x 90 x 230) + REVOQUE A DOS CARAS	1.78
	Tolete	Tolete Sólido (245 x 120 x 55)	4.03
LEPV	LEPV (330 x 115 x 230)	2.02	
MEDELLÍN (Arcilla)	100 mm	100x200x400 Perforación Horizontal	1.13
		100 x 200 x 400 Perforación Horizontal + REVOQUE A UNA CARA	1.39
		100 x 200 x 400 Perforación Horizontal + REVOQUE A DOS CARAS	1.61
	150 mm	150x200x400 Perforación Horizontal	1.24
		15 x 20 x 40 Perforación Horizontal + REVOQUE A UNA CARA	1.41
		150 x 200 x 400 Perforación Horizontal + REVOQUE A DOS CARAS	1.57
CALI (Arcilla)	100 mm	100 x 200 x 300 Perforación Horizontal	1.45
		100 x 200 x 300 Perforación Horizontal + REVOQUE A UNA CARA	1.69
		100 x 200 x 300 Perforación Horizontal + REVOQUE A DOS CARAS	1.88
	120 mm	120 x 200 x 300 Perforación Horizontal	1.41
		120 x 200 x 300 Perforación Horizontal + REVOQUE A UNA CARA	1.61
		120 x 200 x 300 Perforación Horizontal + REVOQUE A DOS CARAS	1.79
COLOMBIA (Concreto)	140 mm	140 x 190 x 390	2.3

Ilustración 24. Factores de área neta para diferentes tipologías de bloques. Fuente [11]

Las ecuaciones presentadas por la metodología para el cálculo del porcentaje de área de muro en cada piso son las siguientes:

$$PAM_{existente,x,i} = \frac{t_{m1,x} * l_{m1,x} * C_{N1,x} + t_{m2,x} * l_{m2,x} * C_{N2,x} + \dots + t_{mn,x} * l_{mn,x} * C_{Nn,x}}{A_C}$$

Ecuación 4. Porcentaje de área de piso en la dirección x.

$$PAM_{existente,y,i} = \frac{t_{m1,y} * l_{m1,y} * C_{N1,y} + t_{m2,y} * l_{m2,y} * C_{N2,y} + \dots + t_{mn,y} * l_{mn,y} * C_{Nn,y}}{A_C}$$

Ecuación 5. Porcentaje de área de piso en la dirección Y.

Donde:

$t_{mn,x}$ ó y = Espesor de muro n en la dirección x.

$l_{mn,x}$ ó y = Espesor de muro n en la dirección x.

$C_{Nn,x}$ ó y = Factor de área neta del muro.

A_C = Factor de área neta del muro.

2.1.4.3 Definición del porcentaje de área de muros requerido.

El porcentaje de área de muros requerido está definido con base en la demanda sísmica del piso en evaluación; depende del número de pisos, la aceleración espectral en la zona de periodos cortos, la resistencia del bloque, la calidad de la obra y el coeficiente de disipación de energía del sistema:

$$PAM_{requerido} = \frac{bPAM_{requerido} * C_B * C_Q * C_P * C_w}{R'} \geq \text{Porcentaje de área minima}$$

Ecuación 6. Porcentaje de área de muros requerido.

Donde:

$bPAM_{requerido} = 0.203 * N * Sa$

N = Numero de niveles

Sa = Parámetro de la aceleración espectral en la meseta del espectro.

C_B = Factor de resistencia del bloque

C_Q = Factor de calidad de la obra

C_P = Factor de piso

C_w = Factor de peso sísmico

R' = Coeficiente de disipación de energía (1 o 2), depende del sistema estructural.

El porcentaje básico de área de muros requerida definida como $bPAM_{req}$, corresponde a una relación entre la capacidad de un muro y la demanda del muro, tal y como se presenta a continuación:

La capacidad del muro puede definirse como:

$$V_n = v_n * \%sólido * A_w$$

Ecuación 7. Resistencia a cortante de un muro.

Donde A_w es el área bruta del muro.

La resistencia a corte v_n se obtiene de acuerdo con D.5.8.4.2 de NSR-10, como el 20% de la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión de la mampostería. El documento toma como resistencia a la compresión 2 Mpa, de acuerdo con los resultados encontrados en la universidad EAFIT, de esta manera se obtiene:

$$v_n = 0.2 * \sqrt{2}$$

$$v_n = 0.283 \text{ MPa.}$$

Ecuación 8. Resistencia a corte del bloque típico de perforación horizontal definido en AIS 410-23

De acuerdo con lo anterior la capacidad de un muro estaría definida como:

$$V_n = 0.283 \text{ MPa} * 0.248 * A_w$$

Ecuación 9. Capacidad de un muro con la resistencia típica definida en AIS 410-23.

Además de determinar la capacidad, será necesario conocer la demanda a la cual se verá sometido el muro de acuerdo con la sección 5.9.4.1 del documento en referencia la fuerza esta amplificada por un factor para considerar la torsión, así como la relación entre los desplazamientos inelásticos máximos esperados y los elásticos calculados por métodos lineales; se tomara la constante torsional como 2, teniendo como referencia los estudios presentados en la tesis “Propuesta de actualización parcial del manual de evaluación y reforzamiento sísmico para reducción de vulnerabilidad en viviendas de mampostería no estructural de Build Change”. Así mismo, de acuerdo con ASCE la constante que relaciona desplazamientos elásticos con inelásticos corresponde a 1.4, por lo que la demanda se puede definir como:

$$V_{UD} = 2.0 * 1.4 * (A_p * W * N) * S_a$$

Ecuación 10. Demanda de un muro definida en ais 410-23.

Donde:

A_p = Corresponde al área en planta de la edificación

W = Corresponde al peso de la edificación por metro cuadrado

N = Corresponde al número de niveles de la edificación.

El documento presenta como carga máxima por metro cuadro 5.05 kN/m², por lo que igualando las ecuaciones 7 y 8 se obtiene lo siguiente:

$$1.5 * 1.4 * (A_p * W * N) * S_a = 0.283MPa * 0.248 * A_w$$

$$\frac{A_w}{A_p} = \frac{2.0 * 1.4 * W * S_a * N}{283 * 0.248}$$

$$bPAM_{requerido} = \frac{A_w}{A_p} = 0.202 * N * S_a$$

Ecuación 11. Demanda de un muro definida en ais 410-23.

El factor de resistencia del bloque C_B , presentado por AIS 410-23, relaciona la resistencia de las diferentes unidades de mampostería; de acuerdo con el capítulo 4 del documento en

mención, la resistencia típica para un bloque de perforación horizontal corresponde a 2MPa, para toletes solidos es de 15Mpa y para bloques de concreto es de 5.0MPa, además presenta la siguiente expresión para cálculo de dicho coeficiente:

$$C_B = \frac{\sqrt{f^F m(f^F cu típica)}}{\sqrt{f^F m(f^F cu = variable)}}$$

Ecuación 12. Ecuación para el cálculo de la resistencia del bloque definida en ais 410-23.

Adicionalmente, en la siguiente tabla se muestran los valores típicos de C_B :

Tabla 6.8-4. Valores de C_B por tipo de unidad de mampostería

f_{cu} (MPa)	Tipo de unidad de mampostería		
	Bloque de arcilla PH	Tolete Solido	Bloque de concreto
1.5	1.11	1.00	1.60
2.0	1.00	0.95	1.45
3.0	0.85	0.86	1.24
8.0	0.55	0.63	0.81
12.0	0.46	0.54	0.67
>15	0.41	0.49	0.60

Ilustración 25. Valores de C_b por tipo de unidad de mampostería. Fuente [11]

El factor de calidad de obra C_Q , pretende plasmar detalles constructivos de la edificación presentes en el momento de la evaluación; los factores varían entre 0.9 y 1.70 pasando por 1.0 y 1.25, el primer valor del intervalo representa muros pañetados, con revoque existentes en condiciones aceptables o nuevos, 1.0 es asignado a una buena calidad de mampostería, 1.25 para mampostería de calidad regular y el ultimo, corresponde a mala calidad de la mampostería; obsérvese que el factor puede disminuir en un 10% el área de muros requeridos pero también puede aumentarlo hasta en 70% por lo que una evaluación detallada de la calidad de la mampostería, así como del revoque y el mortero de pegas es importante.

El factor de piso C_P , tiene como objetivo mostrar la distribución de las fuerzas sísmicas en la altura de la edificación y fue estandarizado y normalizado de acuerdo con los criterios ASCE 31, el factor diferencia entre edificaciones con pisos y sistemas de techo pesado, así

como, edificaciones con entresijos pesados y techos livianos (Ver tablas 6.8-5 y 6.8-6 de AIS 410-23).

El factor de peso sísmico C_w , considera la variación de peso entre la edificación existente y la edificación reforzada, así como los pesos para diferentes pañetes [11], por lo que el documento presenta la tabla 6.8-7 donde muestra una serie de valores para C_w en función del tipo de pañete, comparándolos contra el peso promedio de una edificación informal en muros de mampostería (5.05 kPa).

2.1.4.4 Estrategias de reforzamiento presentadas en la metodología.

El documento, establece las metodologías de reforzamiento acorde con la tipología de deficiencia presentada en la lista de verificación desarrollada durante la evaluación de la vivienda; como primera medida, establece que es posible cambiar el coeficiente de disipación de energía siempre y cuando se garantice el confinamiento de todos elementos resistentes a cargas laterales, así como el aseguramiento de elementos no estructurales.

Metodologías para la Intervención de aspectos relativos al sitio: En este ítem se consideran amenazas por fenómenos naturales o socio naturales (que no son objeto de este trabajo dado que no se pueden mitigar a través de la intervención de la vivienda) así como, las edificaciones y predios vecinos y las estructuras de contención. A continuación, se detallan las soluciones propuestas por el documento: Edificaciones y predios vecinos, el documento enfoca la solución de estos problemas a las condiciones alrededor de la edificación, por lo que presenta alternativas de reforzamiento para muros de contención con alturas variables entre 1.6 m y 2.4 m; busca solucionar el volcamiento en la vivienda mediante el incremento de la dimensión corta en planta o la eliminación de niveles para reducir la altura de esta.

Metodologías para la Intervención de aspectos relativos a la configuración: En este caso, se consideran elementos relacionados con la regularidad en planta de la edificación, volcamiento y número de niveles. Algunas de las propuestas de intervención planteadas son las siguientes: 1) Regularidad en planta, cuando no se cumpla con los criterios de A.3-1 y A.3-6 del Reglamento NSR-10, el documento propone separar la edificación en módulos que cumplan con criterios de regularidad mediante juntas de 30 mm, 60 mm y 90mm para casas de 1, 2 y 3 pisos respectivamente; 2) El número de niveles está restringido de acuerdo con la tabla 1.2-1 del documento AIS 410-23, en caso de edificaciones en mampostería no reforzada, se sugiere proporcionar confinamientos para aumentar el rango de aplicabilidad de las estrategias del manual y, 3) Altura libre, en este caso se debe llevar al muro a cumplir con los límites, mediante el incremento de espesor con revoques con o sin malla, por una o ambas caras; además se plantea la posibilidad de demolición de la parte superior de los muros (donde estos no estén vinculados al SVRFL).

Elementos estructurales: Referido a elementos de cimentación, muros perimetrales, muros internos, viga de amarre, voladizos, columnas de confinamiento, aberturas en muros, aberturas en sistemas de losas, columnas aisladas, sistemas de losas y sistemas de techos; en todos los casos, el documento presenta alternativas para la corrección de deficiencias, la siguiente tabla enuncia algunas de estas:

Elementos estructurales	
<u>Cimientos</u>	
<i>Aspecto para mejorar</i>	<i>Solución implementada en AIS 410-23</i>
No cumplimiento de límite de fisuración en muros asociado a problemas de cimentación (sección 6.4.1).	1. Construcción de nuevos cimientos bajo muros existentes.
	2. Demolición y reconstrucción de muro.
	3. Resane de grietas y fisuras de muros existentes.
<u>Muros perimetrales</u>	
<i>Aspecto para mejorar</i>	<i>Solución implementada en AIS 410-23</i>
Muros perimetrales compartidos, en donde no se pueden intervenir ambas edificaciones al tiempo.	1. Construcción de nuevo muro asegurando el cumplimiento de juntas sísmicas acorde con A.6.5 de NSR-10, además debe tenerse en cuenta: a) Si el muro es paralelo a la fachada con vanos la longitud mínima de muro nuevo independiente debe ser de 1.5m o el 25% del ancho total de la vivienda, el que sea mayor. b) Si el muro compartido es uno de los laterales la longitud mínima del muro nuevo independiente debe ser por lo menos el 50% de la longitud total de la vivienda, posicionado en dos tramos de manera simétrica.
No cumplimiento de la longitud mínima para muros perimetrales de	1. Relleno parcial o total de aberturas en el muro de fachada hasta cumplir con la longitud mínima de fachada.

fachada (Otra alternativa es verificar el cumplimiento de E.3.6-2 de NSR-10)	<p>2. Mover o trasladar una o más aberturas de fachada hasta cumplir con la longitud mínima requerida.</p> <p>3. Construir un muro interno a nos mas del 25% de la cota en borde, que tenga la longitud mínima solida especificada.</p>
<u>Muros internos</u>	
Aspecto para mejorar	Solución implementada en AIS 410-23
No cumplimiento de los parámetros de configuración requeridos.	Construcción de nuevos muros usando soluciones mampostería confinada aun cuando el sistema clasifique como un MNR.
No cumplimiento de requisitos de continuidad vertical de los muros a lo largo de todos los pisos.	<p>1. Demoler los muros de niveles superiores y construir muros nuevos, alineados al nivel inferior.</p> <p>2. Admitir excentricidad de la discontinuidad, dilatando los muros de niveles superiores para evitar atraer fuerzas laterales, la tabla 7.4-1 presenta los diferentes requisitos de anclaje.</p>
<u>Viga de amarre</u>	
Aspecto para mejorar	Solución implementada en AIS 410-23
No cumplimiento de criterios definidos en 6.4.4 de AIS 410-23	<p>1. Reemplazo de elementos existentes.</p> <p>2. Construcción de nuevas vigas sobre todos los muros (excepto las existentes y estas se pueden mantener dentro de la solución de intervención).</p> <p>Los nuevos elementos deben cumplir:</p> <p>a) Área mínima de 200 cm². con ancho por lo menos igual al del muro sobre el que se apoya.</p> <p>b) Resistencia a la compresión mínima del concreto reforzado de 17MPa.</p> <p>c) Refuerzo longitudinal mínimo de 4 barras de acero #3 con resistencia, $f_y = 420$ MPa.</p> <p>d)Estribos cerrados #2, cada 15 cm.</p>
<u>Voladizos</u>	

Aspecto para mejorar	Solución implementada en AIS 410-23
Existencia de voladizos ocupados que no cumplen con requisitos geométricos y de calidad de la sección 6.4.5, de AIS 410-23.	Demoler el muro de fachada y construir uno nuevo en línea con el muro del primer piso.
	Construir muros o columnas de soporte de la losa en voladizo, el documento recomienda asegurarse de no invadir el espacio público.
Existencia de voladizos NO ocupados que no cumplen con requisitos geométricos y de calidad de la sección 6.4.5, de AIS 410-23.	Retroceder frontalmente el parapeto y reducir la longitud de la losa mediante la demolición.
	Construcción de muros o columnas para dar soporte al voladizo.
	Construcción de las medidas necesarias para estabilizar los antepechos o barandas existentes.
<u>Columnas de confinamiento</u>	
Aspecto para mejorar	Solución implementada en AIS 410-23
Cuando se requiera un sistema de mampostería confinada.	Construcción de nuevas columnas al menos: a) Intersecciones de los muros de la vivienda. b) Todos los extremos de los muros. c) Todos los ejes de aberturas en muros.
	Los nuevos elementos deben cumplir: a) Área mínima de 200 cm ² , con ancho por lo menos igual al del muro sobre el que se apoya. b) Resistencia a la compresión mínima del concreto reforzado de 17MPa. c) Refuerzo longitudinal mínimo de 4 barras de acero #3 con resistencia, $f_y = 420$ MPa. d) Estribos cerrados #2, cada 15 cm.
<u>Aberturas en muros</u>	
Aspecto para mejorar	Solución implementada en AIS 410-23
	En la parte superior:

Cuando la abertura no cumpla con los requisitos de 6.4.7 de AIS 410-23.	Extender la abertura hasta el nivel de la viga de amarre o sistema de losa, demoliendo la parte de muro superior a la misma.
	Demoler localmente el muro y construir el dintel en concreto reforzado, extendido como mínimo 200 mm dentro de la mampostería.
	<i>En la parte lateral:</i>
	Donde la vivienda intervenida cuente con un sistema estructural en mampostería confinada, los ejes laterales de las aberturas con un ancho mayor a 500 mm, deberá estar confinado por columnas de concreto reforzado.
	Las nuevas columnas de confinamiento deben anclarse en la parte superior a la losa y en la parte inferior a la viga de cimentación o losa.
	<i>Condición inferior:</i>
	Cuando la evaluación indique grietas con aberturas superior a 0.5 mm en las esquinas de la abertura se construirá elemento de confinamiento.
<u>Aberturas en muros</u>	
<i>Aspecto para mejorar</i>	<i>Solución implementada en AIS 410-23</i>
Cuando no se cumpla con las condiciones de aberturas de losa definidas en 6.4.10 de AIS 410-23.	Disminución de la longitud de la abertura paralela al muro, hasta respetas los límites de 6.4.8, puede construirse una nueva parte a la losa.
	Construcción de un muro portante paralelo al muro portante.

	Siempre debe existir una viga de amarre sobre el muro adyacente a la abertura.
<u>Columnas aisladas</u>	
<i>Aspecto para mejorar</i>	<i>Solución implementada en AIS 410-23</i>
Cuando las columnas no cumplan parámetros de 6.4.9.	Reparación o intervención estructural. Sustitución mediante la demolición y construcción de nuevos elementos. Escarificación del recubrimiento para la inclusión de nuevos muros, al lado de la columna existente para convertirla en columna de confinamiento. Cuando se construyan nuevas columnas aisladas en sustitución de las existentes deben cumplir los requisitos DMI de NSR-10.
<u>Sistemas de losas</u>	
<i>Aspecto para mejorar</i>	<i>Solución implementada en AIS 410-23</i>
Cuando la no conformidad esté relacionada con la falta de vigas amarre, especialmente en sistemas de losa bloquelon o losa colaborante.	Se pueden incluir vigas nuevas, detalladas de acuerdo con AIS 410-23
<u>Sistemas de techos</u>	
<i>Aspecto para mejorar</i>	<i>Solución implementada en AIS 410-23</i>
Cuando se encuentren afectaciones sobre el techo liviano.	Reemplazo total o parcial de las tejas existentes.
	Reemplazo total o parcial de correas.
	Construcción de vigas de amarre.
	Confinamiento de culatas.
	Intervención de correa, viga de amarre.

Tabla 2. Soluciones a problemas en elementos estructurales, planteados por AIS 410-23. Fuente: Adaptado de [11]

Metodologías para la intervención de elementos estructurales que no hacen parte del sistema de resistencia sísmica: en este parámetro el documento incluye las escaleras, en donde muestra soluciones como conectar la escalera con el entrepiso a través de anclajes epóxicos o nuevas barras embebidas, apoyar la escalera sobre nuevos muros, asegurar la presencia de elementos de cimentación y conectarlos con los elementos de la edificación general, además, propone reparaciones locales, así como demoliciones y reemplazo total.

Adicionalmente, AIS 410-23 presenta soluciones para problemas con la calidad del material, principalmente en morteros de pega, unidades de mampostería y pañetes, así como para elementos no estructurales.

Metodologías para intervención estructural de aspectos relativos a la resistencia: Cuando el porcentaje de muros presente en la edificación es inferior al porcentaje de muros requeridos el documento en referencia presenta como alternativas: a) construcción de nuevos muros de mampostería confinada, b) Duplicación del espesor de muros existentes a través de la construcción de un muro nuevo acoplado al existente, c) Relleno de aberturas en muros para obtener más longitud resistente a corte, d) Agregar pañetes con malla o sin malla, en una o más caras; además presenta un enfoque de reducción en el porcentaje de área de muros requerido mediante la conversión del sistema MNR a MC o la disminución de la demanda sísmica mediante la reducción del número de pisos o la reducción de la masa sísmica a través de la demolición de acabados.

2.1.5 Índice de vulnerabilidad sísmica en edificaciones de mampostería basado en la opinión de expertos:

La metodología está basada en la identificación de las características que dominan el comportamiento de una edificación de mampostería bajo solicitaciones sísmicas, sin necesidad de contar con información de daños reales a causa de este evento en la zona de estudio; por esta razón, se identificaron tendencias en los parámetros analizados por otras propuestas metodológicas, se implementaron estudios de caracterización dinámica, estudios de respuesta ante la acción del sismo y se realizaron encuestas de la opinión de expertos calibradas mediante el uso de técnicas difusas para eliminar la subjetividad de las opiniones, logrando así, identificar los parámetros a evaluar y sus respectivas condiciones de calidad e importancia.

Los parámetros más relevantes según la metodología corresponden al sistema estructural, calidad del sistema resistente, resistencia estructural, posición de la cimentación, suelo y pendiente del terreno, diafragmas horizontales, configuración en planta, configuración en elevación, distancias máximas entre los muros, tipo de cubierta y estado de conservación. Cada uno de estos parámetros, presenta indicadores de clasificación de calidad a los que se les asignó un grado de vulnerabilidad y a su vez un grado de importancia; el índice de vulnerabilidad se clasifica de manera numérica y se lleva a una variable lingüística de la siguiente manera: 0 Nada vulnerable, 3 Poco vulnerable, 5 Medianamente vulnerable 7 Muy vulnerable y 10 Absolutamente vulnerable.

A continuación, se describen los parámetros evaluados: en primer lugar, el sistema estructural se revisa en función de la capacidad sismo resistente, se agrupan en 5 clasificaciones a) Mampostería confinada en todas las plantas, b) Mampostería reforzada en todas las plantas, C) Mampostería confinada pero no en todas las plantas, D.) Mampostería que sólo posee vigas de confinamiento sin columnas o columnas sin vigas de confinamiento y E) Mampostería no confinada en todas las plantas. Cabe aclarar que, para el caso de estudio específico la mayoría de las edificaciones no contaban con un esquema resistente en toda su edificación o carecían del mismo [43].

La calidad del sistema resistente es medida a través de la homogeneidad del mampuesto y la calidad del mortero de pega en cuatro rangos: a) Mampostería de buena calidad, con piezas homogéneas y buen ligamento, b) Mampostería de buena calidad, con piezas no

muy homogéneas y bien ligadas, c) Mampostería de baja calidad con piezas homogéneas y bien ligadas, d) Mampostería de buena o baja calidad, con piezas no homogéneas o mal ligadas [43].

Por otra parte, la resistencia estructural se refiere a la relación entre la capacidad y la demanda; para el caso de la metodología, está cuantificado en función de un factor alfa en cuatro rangos: 1) Cuando alfa es menor a 1, 2) Cuando alfa esta encuentra entre 0.6 y 1, 3) Cuando alfa esta entre 0.4 y 0.6 y, 3) cuando alfa es menor a 0.4.

El factor alfa depende de la relación entre un coeficiente de capacidad sísmica denotado como C, y el coeficiente de demanda que, para el caso, corresponde a la aceleración en la zona de periodos cortos del espectro definido en A.2 de NSR-10. A continuación se denota la formulación general:

$$\alpha_o = \frac{A}{A_T}$$

Ecuación 13. Factor que relaciona el área total en planta de la edificación con el área de muros. Fuente [44]

Donde:

AT = Área total en planta en m²

A = Corresponde al área neta de muros en X o Y se toma la menor de las dos.

$$q = \frac{(A_x + A_y) * H}{A_T} * P_m + P_s$$

Ecuación 14. Cálculo del peso por metro cuadrado. Fuente: [44]

Donde:

A_x y A_y = Corresponden al área de muros en X y Y

h = Altura promedio de los pisos (m)

A_T = Area total en planta (m²)

P_m = Es el peso específico de la mampostería (Ton/m³)

P_s = Es peso por unidad de área del diafragma (Ton/m²)

$$\tau_k = \frac{\sum \tau_i * A_i}{\sum A_i}$$

Ecuación 15. Cálculo de la resistencia a cortante de los muros. Fuente: [44]

Donde:

τ_i = Resistencia a corte de la mampostería

A_i = Área neta del elemento resistente.

$$C = \frac{\alpha_o * \tau_k}{q * N}$$

Ecuación 16. Cálculo de la resistencia a cortante de la edificación en evaluación. Fuente: [44]

Donde:

N = Número de pisos.

$$\alpha = \frac{C}{Z}$$

Ecuación 17. Factor alfa de relación demanda/capacidad. Fuente: [44]

Donde:

$Z = 2.5AaFa$, tomando Aa y Fa de acuerdo con la zona sísmica definida el reglamento NSR-10.

En el caso de la configuración en altura, se hace una relación entre la diferencia de masas de dos pisos sucesivos y el piso anterior y se clasifican en cuatro casos: a) Si la relación es menor al 10%, b) Si la relación esta entre el 10% y el 20%, c) Si la relación esta entre el 20% y 30% y, d) Si la relación es mayor a 30%, además, se incluye el signo más si existe un aumento en la masa de un piso con respecto al piso de abajo y un menos si sucede lo contrario.

La posición de la cimentación se refiere a la horizontalidad de esta, es decir, evalúa si se encuentra toda en un mismo nivel, se distinguen cuatro casos en este parámetro: a) La cimentación está ubicada a una misma elevación. Ausencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén, b) La diferencia máxima entre las cotas de la cimentación es inferior a un metro, con ausencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén o la fundación se encuentra a una misma cota con empuje, c) La diferencia máxima entre las cotas de cimentación es inferior a un metro, con presencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén y, d) La diferencia máxima entre las cotas de la fundación es superior a un metro.

El suelo y la pendiente del terreno es evaluada en función de la pendiente del terreno y de la posición de la edificación sobre un terraplén (en caso de que este exista) y lo clasifican en 3 parámetros, que a la vez se subdividen en 3 y 4 ítems de la siguiente manera: A) Edificación que cumpla con una de las siguientes condiciones:

- a) Ubicada sobre una pendiente menor a 30° o fuera de un talud mayor de 30° que cumple con las distancias de aislamiento requeridas. b) Ubicada arriba de la corona de una ladera con pendiente del terreno entre 30° y 45°, sobre un talud de altura inferior a 5 metros pero que cuenta con un muro de contención en estructura rígida de igual o mayor altura total a la del talud. c) Localizada debajo de la base o pie del talud, con altura total inferior a 5 metros, con muro de contención en estructura rígida de altura igual o superior a la altura total a la del talud.

B) No se cumple ni A ni C.

Y, por último, C) Edificación que presenta una de las siguientes características:

- 1) Ubicada sobre el talud o con pendiente natural superior a 30° o fuera de él, pero donde no se cumple con las distancias de aislamientos requeridas. 2) Construido sobre cortes. 3) Ubicada sobre un corte realizado en una ladera con pendiente natural del terreno superior a 30° y, 4) Ubicada sobre relleno en ladera.

Todos los otros ítems pueden revisarse en la siguiente tabla extraída del mismo estudio:

I. Organización del sistema resistente
Presenta vigas y columnas de confinamiento en todas las plantas

Vigas o confinamiento sin columnas; o
Columnas sin vigas de confinamiento; o
Posee vigas y columnas de confinamiento, pero no en todas las plantas.
No posee confinamiento en ninguna de las plantas.
II. Estado de conservación
Muros en buena condición, sin fisuras visibles.
Muros que presentan fisuras no extendida.
Muros con fisuras de tamaño entre 2 a 3 mm de ancho o que presentan un estado mediocre de conservación.
Muros que presentan un fuerte deterioro de sus materiales constituyentes o fisuras de más de 3 mm de ancho.
III. Calidad del sistema resistente
Homogeneidad
Todas las unidades de mampostería dentro del muro son del mismo tipo, y posee dimensiones constantes y correcta colocación.
Existen dos tipos de unidades de mampostería dentro del muro, o menos del 50% de las unidades tienen dimensiones diferentes o incorrecta colocación.
Existen tres tipos de unidades o más dentro de los muros, o más del 50% de las unidades del muro tienen dimensiones o incorrecta colocación.
Ligamento
Presencia de buen ligamento.
El mortero evidencia separación con las piezas de mampostería.
No existen juntas con mortero verticales u horizontales en algunas zonas del muro.

IV. Elementos No estructurales
Ausencia de elementos no estructurales.
Existen estructuras en la parte superior de pequeña dimensión y de peso modesto (Ej. Tanques elevados de plástico).
Edificación con balcones salidos menos de 1m.
Existen estructuras en la parte superior de peso significativo (Ej. Tanques elevados de asbesto o concreto).
V. Diafragma horizontal
Losa Maciza (Espesor entre 0.1 m y 0.20 m).
Losa Aligerada (Espesor mayor de 0.20 m).
Losa prefabricada (Sección tipo T).
Sin diafragma.
VI. Tipo de cubierta
Losa de concreto.
Liviana, con zinc o Eternit.
Pesada con teja de barro.
VII. Datos Numéricos
Número de pisos.
Altura 1er piso (m).
VIII. Cimentación
La fundación está ubicada a una misma cota.
La diferencia máxima de las cotas de fundación es inferior a 1m.
La diferencia máxima de las cotas de fundación es superior a 1m.

IX. Entorno
Presencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén.
Ausencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén.

Tabla 3. Parámetros evaluados en la metodología (Elaboración propia, 2024)

2.1.5.1 Definición de los números difusos

Para describir un número difuso, se necesita revisar la teoría de conjuntos difusos abordada en un paralelismo con la teoría de conjuntos concretos, definiendo estos últimos como una colección de elementos que existen en un universo, con la condición de que cada elemento pertenece o no al mismo; en los conjuntos difusos, también se define un universo llamado comúnmente como universo de discurso, en el caso del conjunto difuso, cada elemento puede pertenecer a otro conjunto en mayor, menor o igual grado [45].

Definido lo anterior, se precisa que un número difuso es un conjunto difuso con las siguientes características: a) Tiene un universo de discurso definido en los reales, esto significa que formalmente el universo de discurso de los número difusos son los reales, sin embargo, para efectos prácticos se puede definir sobre un intervalo cerrado de la forma $[A,B]$; b) Es normal, lo que significa que al menos uno de los elementos tiene como función de pertenencia 1; c) Es convexo, lo que significa que cualquier valor de pertenencia que se obtiene al pasar una línea horizontal es mayor o igual al valor que alcanza la línea y , y d) Es semicontinuo superiormente, es decir, que si definimos a X_0 como un valor de la función $f(X_0)$ todos los valores cercanos a X_0 son próximos o menores a $f(X_0)$. A continuación, se muestran algunas graficas que ilustran de manera sencilla las propiedades de un numero difuso:

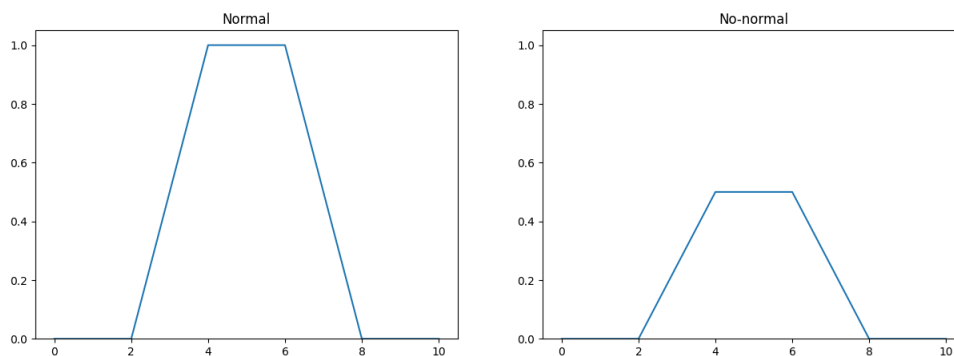


Ilustración 26. Muestra la normalidad de un número difuso (Elaboración propia, 2024)

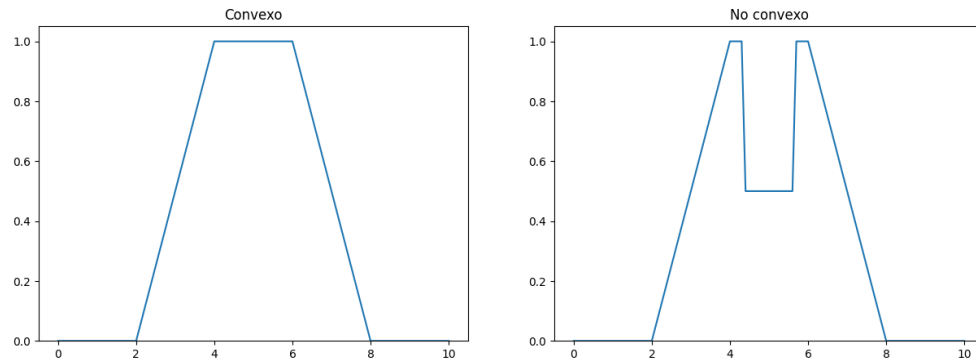


Ilustración 27. Muestra la convexidad de un número difuso (Elaboración propia, 2024)

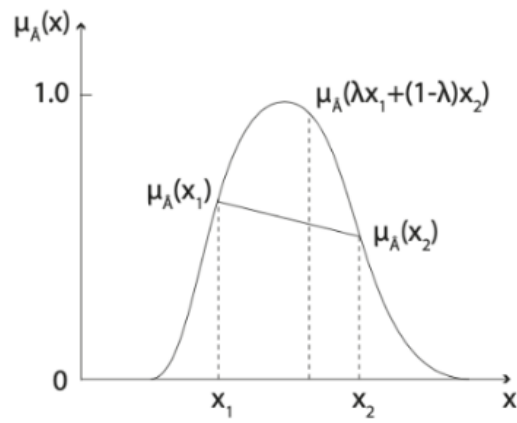


Ilustración 28. Muestra la semi - continuidad superior de un número difuso (Elaboración propia, 2024)

En general, los números difusos permiten modelar cantidades sobre las que existe algún tipo de incertidumbre; refiriéndonos aquí, a lograr modelos de expresiones que puedan usarse en el lenguaje habitual y para las cuales no existe un sustento empírico para formular una distribución de probabilidad. Estos números permiten operaciones entre ellos de manera similar a como las conocemos en la aritmética euclidiana; en este trabajo, se usó el concepto de alfa corte para realizar las operaciones del modelo desarrollado por los ingenieros Esperanza Maldonado y Gustavo Chío Cho; definimos alfa corte como un corte que se hace sobre el número difuso, tomando un grado de pertenencia mayor al valor de alfa, siendo alfa corte siempre un intervalo cerrado.

El modelo del índice de vulnerabilidad sísmica en edificaciones de mampostería, basado en la opinión de expertos, está descrito de manera general en términos de números difusos, lo que significa que presenta resultados como un número difuso que luego se interpretan como variables lingüísticas; pero también, los insumos usados para el desarrollo del modelo corresponden a número difusos.

A partir del grado de vulnerabilidad de cada elemento evaluado y su respectivo valor de importancia se define un índice de vulnerabilidad, el cual califica a la estructura en: nada, poco, medianamente, muy y absolutamente vulnerable. Esto se asocia con un valor numérico y una representación de la ambigüedad de la respuesta. El índice de vulnerabilidad se definirá tal y como se muestra en la ecuación número 18.

$$IV = \frac{\sum_{i=1}^n W_i * K_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

Ecuación 18. Cálculo del índice de Vulnerabilidad Sísmica en edificaciones de mampostería basado en la opinión de expertos.

Donde:

IV = Corresponden al índice de vulnerabilidad sísmica de la edificación.

K_i = Es la medida del grado de vulnerabilidad de la categoría del parámetro i .

W_i = Es una medida de la opinión de importancia asociada al parámetro i respecto a los demás parámetros.

n = Es el número de parámetros de importancia del modelo.

La clasificación general entregada por el modelo se encuentra expresada en términos de variables lingüísticas, y cada una de estas tiene asociado un número difuso descrito en un rango de universo de discurso entre 0 y 10; las variables lingüísticas y las escalas son las siguientes:

Índice de vulnerabilidad	
Escala literaria	Escala Numérica
Nada Vulnerable	0-3
Poco Vulnerable	0-5
Mediante Vulnerable	3-7
Muy Vulnerable	5-7
Absolutamente Vulnerable	7-10

Tabla 4. Escalas usadas en el modelo. Fuente Adaptado de [43]

A continuación, se presentan los números difusos asociados a las escalas literarias mostradas en la tabla 4:

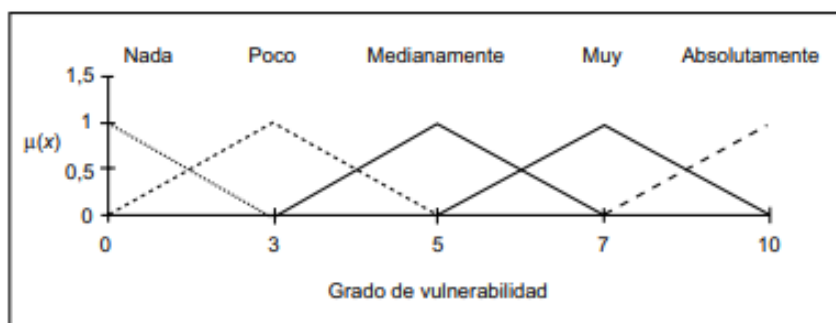


Tabla 5. Descripción general de los números difusos del modelo. Fuente [43]

Cada uno de los once parámetros descritos en el modelo, tiene asociado tres o cuatro números difusos que permiten representar la vulnerabilidad de la característica mencionada, pero además cada parámetro tiene asociado un coeficiente que representa la importancia del parámetro con respecto al resto de parámetros del modelo. A continuación, se presenta los números difusos y coeficientes de importancia asociados a cada parámetro.

Parámetro 1 (K1): Sistema estructural
A: Edificación en mampostería confinada o reforzada en todas las plantas
B: Edificación en mampostería que sólo posee vigas de confinamiento son columnas o columnas sin vigas de confinamiento o, poseen vigas y
C: Edificación en mampostería que no posee vigas y columnas de confinamiento en ninguna de las plantas.
Numero difusos asociados a cada parámetro (A,B,C)
<p>Funciones de Pertenencia - Parametros sistema estructural</p>
Coefficiente de importancia asociado al parámetro K1
<p>Funcion de importancia - Parametros sistema estructural</p>
Parámetro 2 (K2): Calidad del sistema resistente
A: Mampostería de buena calidad, con piezas homogéneas y presencia de buen ligamento
B: Mampostería de buena calidad, con piezas no muy homogénea y bien ligadas
C: Mampostería de baja calidad con piezas homogéneas o no muy homogéneas y que se encuentren bien ligadas
D: Mampostería de buena o baja calidad, con piezas no homogéneas o mal ligadas
Numero difusos asociados a cada parámetro (A,B,C,D)
<p>Funciones de Pertenencia - Calidad del sistema resistente</p>
Coefficiente de importancia asociado al parámetro K2
<p>Funcion de importancia - Parametros sistema calidad del sistema resistente</p>

Tabla 6. Números difusos y coeficiente de importancia parámetros 1 y 2, metodología IVEM.

Parámetro 3 (K3): Resistencia estructural
A: Edificación con un valor de alfa mayor o igual a 1
B: Edificaciones con un valor de alfa entre 0.6 y 1.0
C: Edificaciones con un valor de alfa entre 0.4 y 0.6
D: Edificaciones con un valor de alfa menor a 0.4
Numero difusos asociados a cada parámetro (A,B,C,D)
Coefficiente de importancia asociado al parámetro K3
Parámetro 4 (K4): Posición de la cimentación
A: La fundación está ubicada a una misma cota. Ausencia de empuje no
B: La diferencia máxima entre las cotas de la fundación es inferior a un
C: La diferencia máxima entre las cotas de la fundación es inferior a un
D: La diferencia máxima entre las cotas de la fundación es superior a un
Numero difusos asociados a cada parámetro (A,B,C,D)
Coefficiente de importancia asociado al parámetro K4

Tabla 7. Números difusos y coeficiente de importancia parámetros 3 y 4, metodología IVEM.

Parámetro 5 (K5): Suelo y pendiente del terreno
A: Edificación cimentada sobre roca o suelo rígido con pendiente inferior
B: Edificación cimentada sobre roca o suelo rígido con pendiente
C: Edificación cimentada sobre llenos con pendiente comprendida entre
D: Edificación cimentada sobre llenos con pendiente mayor al 30% o
Numero difusos asociados a cada parámetro (A,B,C,D)
Coeficiente de importancia asociado al parámetro K5
Parámetro 6 (K6): Diafragmas horizontales
A: Edificación con diafragmas, de cualquier naturaleza, que satisfacen
B: Edificación con diafragma como los de la clase A, pero que no
C: Edificación con diafragmas como los de la clase A, pero que no
D: Edificación cuyos diafragmas no cumplen ninguna de las tres
Numero difusos asociados a cada parámetro (A,B,C,D)
Coeficiente de importancia asociado al parámetro K6

Tabla 8. Números difusos y coeficientes de importancia, parámetros 5 y 6 metodología IVEM.

Parámetro 7 (K7): Configuración en planta	
A: Edificación con $a/L \geq 0.8$ ó $b/L \leq 0.1$	
B: Edificación con $0.8 > a/L \geq 0.6$ ó $0.1 < b/L \leq 0.2$	
C: Edificación con $0.6 > a/L \geq 0.4$ ó $0.2 < b/L \leq 0.3$ o presenta las	
D: Edificación con $0.4 > a/L$ ó $0.3 < b/L$ o presenta la irregularidad en	
Numero difusos asociados a cada parámetro (A,B,C,D)	
Coeficiente de importancia asociado al parámetro K7	
Parámetro 8 (K8): Configuración en elevación	
A: Edificación con $DMM < 10\%$ o edificaciones de un solo piso	
B: $10\% \leq -DMM < 20\%$	
C: $DMM > 20\%$	
D: $DMM > 0$	
Numero difusos asociados a cada parámetro (A,B,C,D)	
Coeficiente de importancia asociado al parámetro K8	

Tabla 9. Números difusos y coeficientes importancia parámetros 7 y 8, metodología IVEM.

Parámetro 9 (K9): Distancia máxima entre los muros
A: Edificación con $L < 15S$
B: Edificación con $L \geq 15S$ y $L < 18S$
C: Edificación con $L \geq 18S$ y $L < 25S$
D: Edificio con $L \geq 25S$
Numero difusos asociados a cada parámetro (A,B,C,D)
Coefficiente de importancia asociado al parámetro K9
Parámetro 10 (K10): Tipo de cubierta
A: Edificación con cubierta estable y provista de viga de cumbrera; o
B: Edificio con cubierta estable y bien conectada a los muros, pero sin
C: Edificio con cubierta que no cuenta con apoyo en uno de los extremos
D: Edificio con cubierta que no posee apoyo en uno de los extremos y no
Numero difusos asociados a cada parámetro (A,B,C,D)
Coefficiente de importancia asociado al parámetro K10

Tabla 10. Números difusos y coeficientes de importancia parámetros 9 y 10, metodología IVEM

Parámetro 11 (K11): Estado de conservación																																			
A: Muros en buena condición, sin fisuras visibles																																			
B: Muros que presentan fisuras no extendidas, producidas por causas																																			
C: Muros con fisuras de tamaño medio entre 2 a 3 milímetros de ancho																																			
D: Muros que presentan un fuerte deterioro de sus materiales																																			
Numero difusos asociados a cada parámetro (A,B,C,D)																																			
<p>Funciones de Pertenencia - Estado de conservación</p> <table border="1"> <caption>Datos para el gráfico de funciones de pertenencia</caption> <thead> <tr> <th>Estado</th> <th>0</th> <th>2</th> <th>4</th> <th>6</th> <th>8</th> <th>10</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>1.00</td> <td>1.00</td> <td>0.50</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>0.50</td> <td>1.00</td> <td>0.50</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>0.50</td> <td>1.00</td> <td>0.50</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>0.50</td> <td>1.00</td> </tr> </tbody> </table>	Estado	0	2	4	6	8	10	A	1.00	1.00	0.50	0.00	0.00	0.00	B	0.00	0.00	0.50	1.00	0.50	0.00	C	0.00	0.00	0.00	0.50	1.00	0.50	D	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	1.00
Estado	0	2	4	6	8	10																													
A	1.00	1.00	0.50	0.00	0.00	0.00																													
B	0.00	0.00	0.50	1.00	0.50	0.00																													
C	0.00	0.00	0.00	0.50	1.00	0.50																													
D	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	1.00																													
Coefficiente de importancia asociado al parámetro K11																																			
<p>Funcion de importancia - Estado de conservación</p> <table border="1"> <caption>Datos para el gráfico de la función de importancia</caption> <thead> <tr> <th>Estado</th> <th>0</th> <th>2</th> <th>4</th> <th>6</th> <th>8</th> <th>10</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Importancia</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>0.50</td> <td>1.00</td> <td>1.00</td> </tr> </tbody> </table>	Estado	0	2	4	6	8	10	Importancia	0.00	0.00	0.00	0.50	1.00	1.00																					
Estado	0	2	4	6	8	10																													
Importancia	0.00	0.00	0.00	0.50	1.00	1.00																													

Tabla 11. Números difusos y coeficientes de importancia, parámetro 11, metodología IVEM

2.1.6 Uso de los sistemas de información geográfica para la evaluación de vulnerabilidad sísmica:

Los sistemas de información geográfica (En adelante SIG), constituyen una herramienta que además de permitir el trabajo de grandes volúmenes de información, ayuda a la extracción y creación de esta, por lo que es posible modelar los elementos de la zona de estudio de manera sencilla y rápida [46]. En general, en este trabajo el uso de estos sistemas está orientado a la creación de mapas que permitan dar a conocer la vulnerabilidad de las edificaciones a las poblaciones e instituciones que corresponde.

De acuerdo con la revisión bibliográfica realizada, las metodologías SIG pueden ser utilizadas para la evaluación de las estructuras haciendo uso de metodologías de inspección visual tales como el FEMA 154, que permite hacer revisiones de vulnerabilidad sin necesidad de entrar a la edificación, sin embargo, la calidad de las evaluaciones dependerá del nivel de información disponible sobre el área de estudio. Cabe resaltar que, en Mirador de Corinto - Soacha no se cuenta con registros cargados que permitan realizar este tipo de evaluaciones.

Es importante mencionar que, el trabajo presentado por Luis Miguel Castañeda y José Cardoza en la Universidad Ricardo Palma, permitió determinar la vulnerabilidad sísmica de cerca 1050 viviendas, combinando el uso de formularios creados en ARGIS PRO y las metodologías FEMA, de acuerdo con las conclusiones del estudio el software SIG permitió realizar una primera estimación de la vulnerabilidad basado en las fotografías satélites disponibles [47].

Capítulo III

3.1 Metodología

En el capítulo anterior se describieron varias metodologías para la evaluación estructural de viviendas; además, se detallaron las metodologías propuestas en el documento AIS 410-23: *Evaluación y reducción de vulnerabilidad sísmica en vivienda informal* y la propuesta por los ingenieros Esperanza Maldonado y Gustavo Chío Cho: *Índice de Vulnerabilidad sísmica en edificaciones de mampostería basado en la opinión de expertos (IVEM)*; para la aplicación de estas metodologías en el caso de estudio se identificaron parámetros comunes con el fin de lograr una mayor rapidez en la evaluación de las viviendas. La metodología de trabajo seguida en el desarrollo del proyecto fue la siguiente:

3.1.1 Determinación de los criterios comunes entre las metodologías:

Teniendo en cuenta las dos metodologías seleccionadas y pretendiendo evaluaciones rápidas debido a las limitaciones de tiempo propias del proyecto, fue necesario encontrar puntos comunes en las metodologías, de manera que, en el momento de aplicación al menos uno de los formatos se simplificara sin perder información necesaria para la correcta revisión, los formatos de levantamiento son parte del anexo 1 del presente documento. Para la metodología IVEM, se agruparon los 11 parámetros de evaluación en 6 criterios de modo que fueran comparables. A continuación, se presentan los puntos en común de dichos formatos.

Metodología AIS 410-23	Metodología IVEM
1.Caracterización del sitio Evalúa 5 parámetros ✓ Deslizamiento (pendiente del terreno) ✓ Avenida torrencial por sismo ✓ Inundaciones ✓ Volcanes ✓ Licuación	1.Caracterización del sitio Evalúa 1 parámetro ✓ Pendiente del terreno
2.Estructuras de contención Evalúa 3 parámetros ✓ Muros de contención en sitio	2.Estructuras de contención Evalúa 1 parámetro ✓ Muros de contención integrados.
	3.Aspectos relativos a la configuración Se evalúan 4 parámetros:

<ul style="list-style-type: none"> ✓ Muros de contención de cimentación ✓ Muros de contención integrados <p>3.Aspectos relativos a la configuración</p> <p>Se evalúan 4 parámetros:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Volcamiento ✓ Irregularidades en planta ✓ Numero de niveles ✓ Alturas libres con respecto al espesor de muros. <p>4.Elementos estructurales</p> <p>Se evalúan 10 parámetros:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Cimientos ✓ Muros ✓ Vigas de confinamiento ✓ Columnas de confinamiento ✓ Columnas aisladas ✓ Aberturas en muros ✓ Aberturas en sistemas de losa ✓ Voladizos ✓ Sistemas de techo ✓ Sistemas de losas <p>5.Elementos no estructurales</p> <p>Se evalúan dos aspectos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Escaleras y descansos ✓ Parapetos <p>6.Aspectos relacionados con la calidad</p> <p>Se evalúan tres aspectos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Mampuestos ✓ Morteros de pega ✓ Pañetes 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Irregularidades en planta ✓ Irregularidad en elevación ✓ Numero de niveles ✓ Separación entre muros <p>4.Elementos estructurales</p> <p>Se evalúan 7 parámetros:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Cimientos ✓ Muros ✓ Vigas de confinamiento ✓ Columnas de confinamiento ✓ Placas ✓ Cubiertas ✓ Voladizos <p>5.Elementos no estructurales</p> <p>Se evalúan dos aspectos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Parapetos ✓ Apoyo de tanques <p>6.Aspectos relacionados con la calidad</p> <p>Se evalúan dos aspectos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Mampuestos ✓ Morteros de pega
--	---

Tabla 12. Revisión de parámetros comunes entre las metodologías (Elaboración propia, 2024)

3.1.2 Revisión de la zona de estudio y de la muestra disponible para evaluación:

Es importante resaltar que, el caso de estudio debió ser revisado de manera cuidadosa, con el fin de acotar la población sobre la cual se aplicó el estudio y además entender las condiciones sociales y morfológicas del lugar, en este sentido, se revisaron los mapas de amenaza por remoción de masa, entregados por el área de geotecnia del presente proyecto. De dicha revisión, se obtuvieron los siguientes resultados:

Número de viviendas	Número de viviendas en amenaza alta por remoción de masa	Número de viviendas en amenaza media por remoción de masa	Número de viviendas en amenaza baja por remoción de masa
1382	489	348	545

Tabla 13. Caracterización del barrio en función del número de viviendas por zonas de amenaza de remoción de masa (Elaboración propia, 2024)

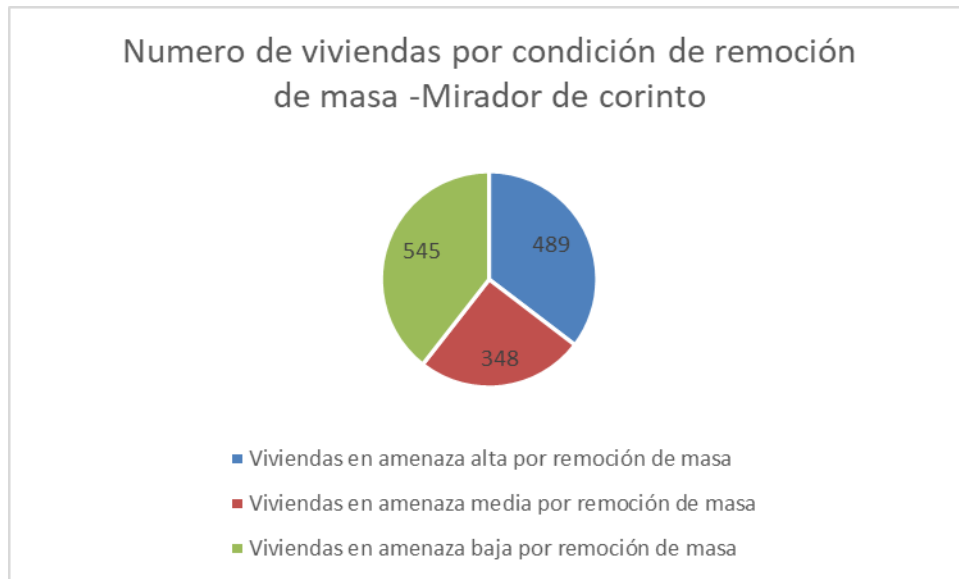


Ilustración 29. Caracterización del barrio en función del número de viviendas por zonas de amenaza de remoción de masa (Elaboración propia, 2024)

3.1.3 Inspección y evaluación de las edificaciones:

Una vez revisados los parámetros a evaluar, así como la revisión de la zona de estudio y la muestra disponible, se procedió con un reconocimiento general del terreno, su morfología y posibles afectaciones a la integridad de las estructuras; como segunda medida, se realizaron campañas de levantamientos de cada edificación, en las actividades de levantamiento se definieron las siguientes etapas: 1) Recopilación de información existente, a partir de la historia de la edificación conocida por los habitantes; 2) Evaluación de las características de la edificación a partir de una inspección ocular y el diligenciamiento de los formatos adaptados; 3, Ensayos no invasivos con ayuda de la comunidad sobre las edificaciones evaluadas y, 4.) Dibujo de las plantas de lo existente.

3.1.4 Determinación de la vulnerabilidad de las edificaciones:

Una vez recopilada y organizada la información característica de las estructuras, se determina el índice de vulnerabilidad con la metodología simplificada y la evaluación de las viviendas con el documento AIS 410-23. A continuación, se hace descripción del procedimiento que se siguió:

AIS 410-23: Evaluación y reducción de vulnerabilidad sísmica en viviendas de mampostería: En este caso se evaluaron 30 viviendas de manera específica y se generaron informes y planos esquemáticos de recomendación para el reforzamiento, que hacen parte del anexo 1 y 2 respectivamente. Los informes generados, corresponden a un desglose del formato presentado en el anexo 1 del documento oficial AIS 410-23 expedido por el Ministerio de Vivienda y se usaron las recomendaciones de reforzamientos del anexo 2 del mismo documento.

Índice de Vulnerabilidad sísmica en edificaciones de mampostería, basado en la opinión de expertos (Esperanza Maldonado, Gustavo Chío Cho): Para este caso se determina el índice de vulnerabilidad de 400 viviendas dentro del área de estudio, haciendo uso de la metodología y de un programa desarrollado por los autores del presente documento para el tratamiento de los datos. El programa desarrollado se detallará en el capítulo 4.4 de este documento.

3.1.5 Consolidación de la información de la vulnerabilidad en un sistema de información geográfica (SIG).

Cuando encontraron los índices de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones, se incluyó en un SIG; en este caso se usó el sistema ArcGIS, que permitió presentar los datos de manera ordenada y mediante un mapa de calor.

Capítulo IV

4.1 Desarrollo del trabajo

4.1.1 Definición de los criterios comunes entre las metodologías:

Como fase preliminar al levantamiento de cada edificación dentro de la muestra seleccionada, se determinaron los parámetros de entrada necesarios para establecer el índice de vulnerabilidad en las zonas de estudio, así como las características necesarias para llevar a cabo la evaluación por medio de la metodología AIS 410-23, aplicada en una submuestra de 30 viviendas.

Para el caso donde se aplicó el formato para evaluación de AIS 410-23, se suprimió el uso del formato desarrollado en la metodología simplificada, teniendo en cuenta que los parámetros evaluados en esta se encuentran contenidos dentro de la primera.

El formato desarrollado para AIS 410-23, tiene en cuenta 145 parámetros de caracterización, no obstante, posterior a la revisión del documento origen y su cruce con el estudio de clasificación de remoción de masa [48] para los levantamientos, se evaluaron 132 parámetros. Para la elaboración de este formato se tienen como punto de referencia las siguientes consideraciones:

- A) Se mantuvo la clasificación presentada en el anexo 1 del AIS 410-23, sin embargo, se desglosaron los elementos de cada parámetro.
- B) Se agregan imágenes de las irregularidades en planta presentes en el Reglamento NSR-10, de tal forma que fuera fácil para el evaluador identificar en campo.
- C) Se agrega un espacio para el número de niveles, para la dimensión en planta más pequeña de la edificación, el espesor del muro y alturas de entepiso; esto debido a que son los insumos necesarios para la evaluación de la edificación en el capítulo 2 y el formato del anexo 1 de AIS 410-23.
- D) Para el caso de las fisuras en muros, se creó un espacio para numerar la cantidad de elementos con problemas, debido a que es el criterio de evaluación 6.4-1 de AIS 410-23.

- E) No se considera la verificación de la ecuación E.3.6-2 de NSR-10 en el momento de la visita, por lo que se elimina del formato de levantamiento.
- F) Se tiene en cuenta la distancia máxima entre muros paralelos, en lugar de que se confirme o niegue si la distancia máxima corresponde a 4m.
- G) Para la revisión de la continuidad de muros se agrega la imagen que muestra las posibilidades de apoyo, esto para mejorar la comprensión en campo.
- H) Se elimina la tabla de verificación del sistema estructural en cada dirección y piso, pero se tiene en cuenta la heterogeneidad del sistema y se identifica la existencia y ubicación de los elementos confinantes.
- I) Las condiciones de calidad de los elementos se propusieron de manera independiente, de modo que, el evaluador logre identificar en campo el cumplimiento o incumplimiento de estas.

En cuanto a los levantamientos realizados para la evaluación de la metodología IVEM, se elaboró un formato que cuenta con 54 parámetros de verificación; cabe resaltar que, la caracterización más compleja de revisar en las edificaciones con esta metodología fue la longitud de muros, debido a que este trabajo se enmarca en una evaluación a gran escala (Ver anexo 1).

4.1.2 Revisión de la zona de estudio y selección de la muestra:

Previo a las visitas de campo, se revisaron los documentos existentes para el barrio, lo que permitió conocer las condiciones generales del terreno y seleccionar las viviendas a evaluar. Dentro de esos documentos, está el estudio de zonificación de la amenaza del barrio, cuyos parámetros de estudio y conclusiones se presentan a continuación [48]:.

Amenaza sísmica: De acuerdo con la caracterización geotécnica se realizaron cinco ensayos de líneas sísmicas para la medición de la velocidad de onda de corte, con el fin de determinar el tipo de perfil de suelo.

En promedio, la velocidad de onda de compresión encontrada fue de 700 m/s para los primeros 7 m del terreno, entre 700 y 1300 m/s para los 7 m siguientes y desde 1300 a 1800 m/s para las profundidades restantes y evaluadas. En cuando a la onda de corte, corresponde a 350 m/s para los primeros 6m y entre 500 y 800 m/s para el restante de

estratos. De acuerdo con lo anterior, el informe de geotecnia determina un perfil tipo C correspondiente a una roca blanda, para los primeros 30m superiores de suelo.

Susceptibilidad por movimientos en masa tipo deslizamiento: Según el estudio mencionado, al menos el 85 % del terreno en estudio es susceptible a movimientos en masa, pero en la mayoría de los casos este riesgo es mitigable con alguna obra, por lo que se pudo considerar un universo de al menos 400 viviendas. A continuación, se presentan mapas de localización general del caso de estudio y el mapa de amenaza por remoción en masa, cabe señalar, que la zona verde corresponde a un sector donde la amenaza es baja, la zona amarilla corresponde a una amenaza mitigable con el algún tipo de obra y las rojas están en riesgo alto.

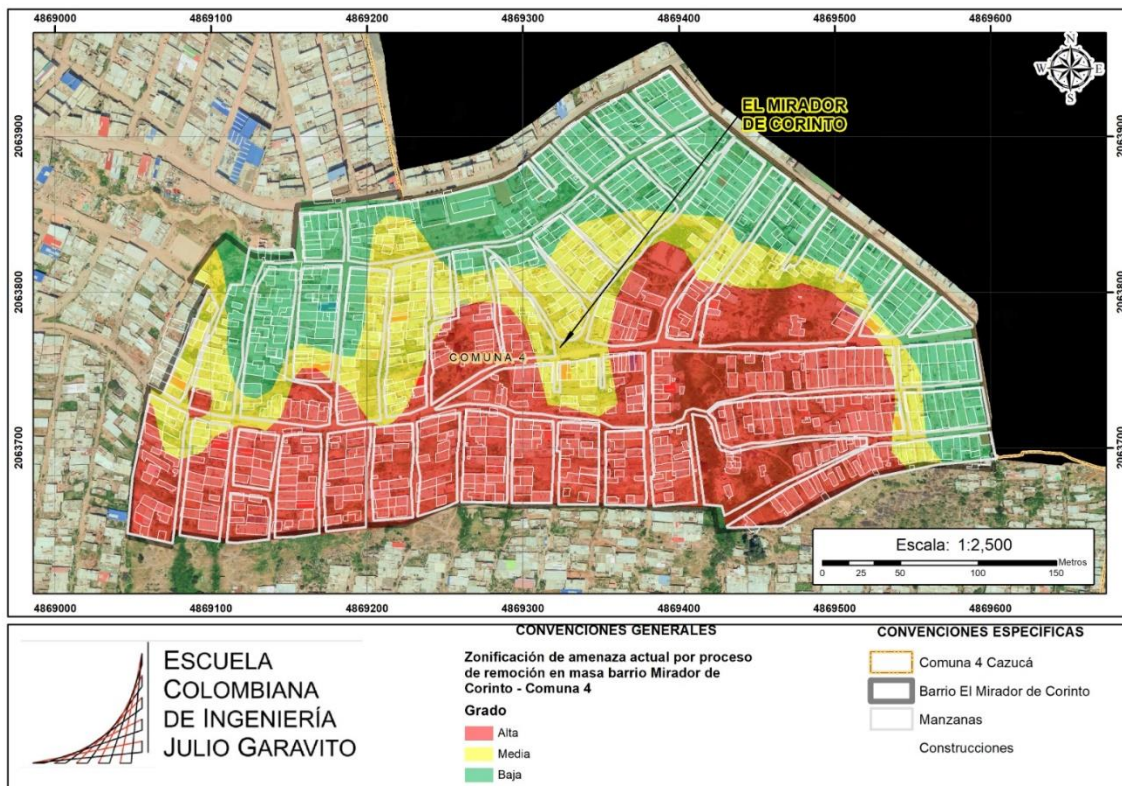


Ilustración 30. MAPA DE ZONIFICACIÓN POR PROCESOS DE REMOCIÓN DE MASA (Elaboración propia, 2024, ADAPTADO DE [48])

Estratigrafía de la zona a evaluar: Para la caracterización del perfil estratigráfico se realizaron 5 apiques en donde se describe la estratigrafía así:

Superficialmente se encuentran rellenos arenosos con tierras varias, posteriormente se encuentran arcillas de color café con una profundidad hasta los 5 m, luego se encuentran arcillas grises veteadas. Los análisis geotécnicos sugieren límites líquidos que fluctúan entre 25 y 90%, con humedades cercanas al límite plástico, lo que indica un suelo de consistencia firme [48].

Perforación P-1		Perforación P-2
m	Material Nivel (m)	Material Nivel (m)
1	Arcilla Arenosa Café Oscura con Raíces consistencia media	Relleno Arenoso con Tierras Varias
2		
3	Arena Café Clara con gravas gruesas y consistencia compacta	Arena Café, con Densidad Media
4		
5		
6		
7		
8	Arcillas café veteadas con gravas gruesas consistencia Dura	Arcilla Gris Oscura con Gravas Consistencia muy dura
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		

Ilustración 31. ESTRATIGRAFÍAS TÍPICAS DE LA ZONA A EVALUAR (Elaboración propia, 2024, ADAPTADO DE [48])

De acuerdo con lo anterior, el terreno sobre el que se cimientan las viviendas presenta buenas condiciones. Durante las visitas de campo referentes a la investigación estructural, no se realizaron apiques sobre el terreno, sin embargo, se revisó la condición general del mismo, por esta razón, el ítem correspondiente a 3.4.2 de AIS 410, no fue revisado acorde con el documento sino recurriendo al conocimiento de los habitantes de la vivienda, así como revisando las prácticas constructivas usadas en viviendas en construcción.

Determinación de la muestra a evaluar: Como se mencionó con anterioridad, el número total de viviendas en el barrio Mirador de Corinto corresponde a 1382, de las cuales 893 se encuentran en zona por amenaza de remoción en masa baja o intermedia; en este estudio se evaluaron 400 viviendas por la metodología IVEM, lo que corresponde a una muestra de 44.8% y 30 como una submuestra de las 400 viviendas se evaluaron por medio de la metodología propuesta en AIS 410-23, es decir, una muestra de 7.5%. El criterio usado para la determinación de la muestra se basó en el número de visitas máximas posibles al sitio de estudio determinado por la Alcaldía de Soacha y el número de personas disponibles para levantamientos y aplicación de encuestas.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD SÍSMICA EN VIVIENDAS INFORMALES CASO DE ESTUDIO BARRIO MIRADOR DE CORINTO SOACHA				
Visita	Actividad	Fecha	Tiempo estimado de visita	Detalle
1	Contextualización e identificación de zonas de evaluación	29/09/2023	8.00 AM 2.00 PM	1. Contextualizar a la comunidad del caso de estudio y presentarles el cronograma de trabajo. 2. Identificar viviendas en las que se puedan aplicar las metodologías AIS 410 y IVEM Cho.
2	Campaña de evaluación 1	30/09/2023	8.00 AM 2.00 PM	1. Aplicar metodologías de evaluación de vulnerabilidad sísmica IVEM Cho 50 viviendas y AIS 410-23: en 6 viviendas.
3	Campaña de evaluación 2	6/10/2023	8.00 AM 2.00 PM	1. Aplicar metodologías de evaluación de vulnerabilidad sísmica IVEM: 50 viviendas y AIS 410-23: en 5 viviendas.
4	Campaña de evaluación 3	7/10/2023	8.00 AM 2.00 PM	1. Aplicar metodologías de evaluación de vulnerabilidad sísmica IVEM: 50 viviendas y AIS 410-23: en 5 viviendas.
5	Campaña de evaluación 4	13/10/2023	8.00 AM 2.00 PM	1. Aplicar metodologías de evaluación de vulnerabilidad sísmica IVEM: 50 viviendas y AIS 410-23: en 5 viviendas.
6	Campaña de evaluación 5	14/10/2023	8.00 AM 2.00 PM	1. Aplicar metodologías de evaluación de vulnerabilidad sísmica IVEM: 50 viviendas y AIS 410-23: en 5 viviendas.
7	Campaña de evaluación 6	20/10/2023	8.00 AM 2.00 PM	1. Aplicar metodologías de evaluación de vulnerabilidad sísmica IVEM: 50 viviendas y AIS 410-23: en 5 viviendas.
8	Campaña de evaluación 7	3/11/2023	8.00 AM 2.00 PM	1. Aplicar metodologías de evaluación de vulnerabilidad sísmica IVEM: 50 viviendas y AIS 410-23: en 5 viviendas.
9	Campaña de evaluación 8	4/11/2023	8.00 AM 2.00 PM	1. Aplicar metodologías de evaluación de vulnerabilidad sísmica IVEM: 50 viviendas y AIS 410-23: en 5 viviendas.
10	Entrega de resultados a la alcaldía de Soacha	Pendiente		Pendiente

Tabla 14. Cronograma de visitas y campañas de evaluación (Elaboración propia, 2024)

De igual manera, a continuación, se presenta una relación de número de horas dedicadas versus el número de viviendas encuestadas o levantadas, solo como un indicativo para futuras campañas de evaluación.

Visita	Número hombres para levantamientos	Numero de horas hombre	Numero total de horas
1	0	6	0
2	3	6	18
3	3	6	18
4	3	6	18
5	3	6	18
6	3	6	18
7	3	6	18
8	3	6	18
9	3	6	18
10	0	0	0
Sumatoria			144
Numero total de viviendas encuestadas			400
Numero promedio de viviendas por hora			2.78

Tabla 15. Indicativo de número de viviendas encuestadas por hora (Elaboración propia, 2024)

En el siguiente gráfico, es posible apreciar el número de viviendas encuestadas y su porcentaje con relación a la población total. Para el caso de la metodología AIS 410-23, se presentan porcentajes con respecto a la muestra total disponible.

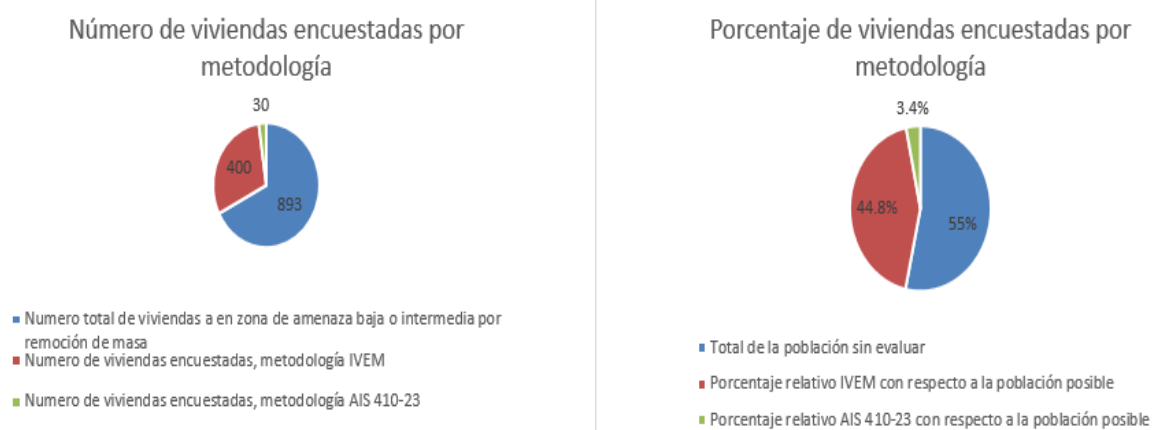


Ilustración 32. NÚMERO DE VIVIENDAS EVALUADAS CON RESPECTO A LA POBLACIÓN TOTAL (Elaboración propia, 2024)

4.1.3 Inspección y evaluación de las edificaciones:

A partir de los levantamientos realizados se caracterizaron las edificaciones. A continuación, se presentan algunos de los parámetros más relevantes:

- 1) Material de construcción:** Considerando la naturaleza de las metodologías a aplicar, se tomarán datos solamente para viviendas en mampostería, sin embargo, en el caso de estudio se evidenció presencia de viviendas en materiales prefabricados.

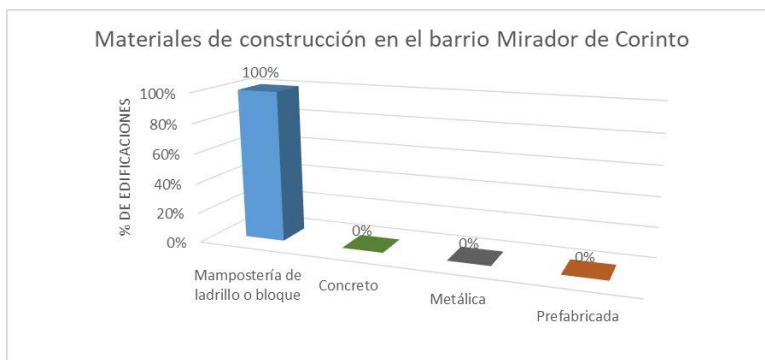


Ilustración 33. Materiales de la construcción en el barrio mirador de corinto (Elaboración propia, 2024)

- 2) Año de construcción:** La mayoría de las edificaciones tiene entre 10 y 20 años, un 28% tienen entre 5 y 10 años, un 20% tienen más de 20 años y un 11% tiene menos de 5 años.

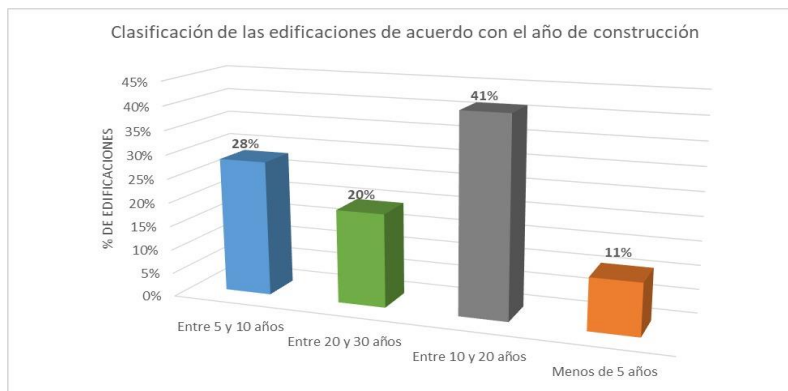


Ilustración 34. Clasificación de las edificaciones de acuerdo con el año de construcción (Elaboración propia, 2024)

- 3) Número de pisos construidos:** La mayoría de las edificaciones son de dos pisos con un 51%, las de un piso corresponden a un 34% y un 15% a tres pisos.

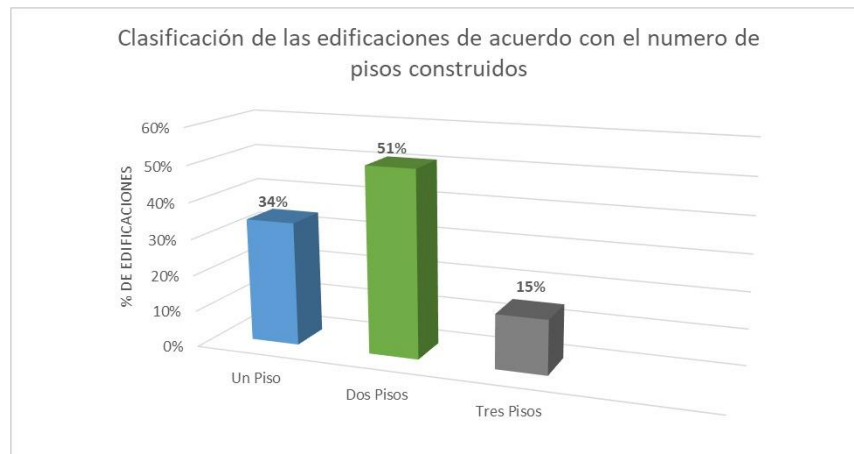


Ilustración 35. Clasificación de las edificaciones de acuerdo con el número de pisos del edificio (Elaboración propia, 2024)

- 4) **Tipo de diafragma horizontal:** El 54% de las edificaciones presenta losas prefabricadas tipo bloquelon Santa Fe, el 9% presenta losas aligeradas, el 6% losas macizas, el 1% presenta losa colaborante y el 30% se consideró que no presentaba diafragma, esta condición esta descrita para casas de un piso.

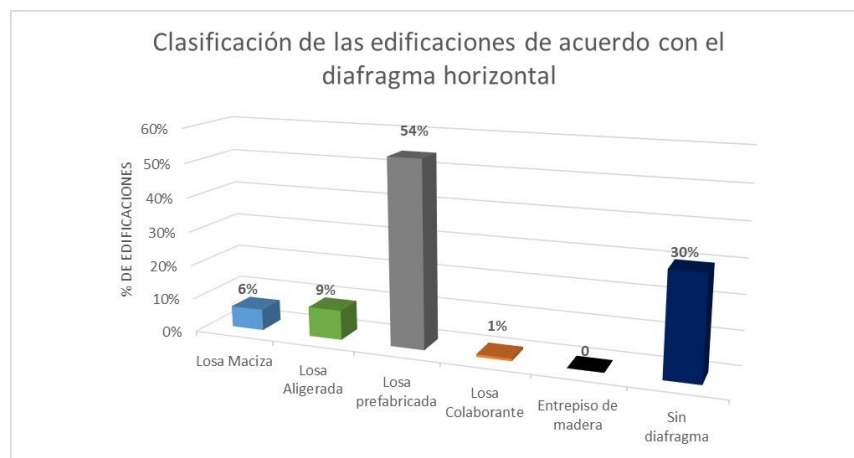


Ilustración 36. Clasificación del tipo de diafragma horizontal (Elaboración propia, 2024)

- 5) **Tipo de cubierta:** El 67% de las edificaciones presenta cubiertas en teja Eternit o zinc, es importante aclarar que para la mayoría de estos casos las correas se

encontraban mal apoyadas; el 32% presenta losas de concreto, el 1% presenta tejas de barro.

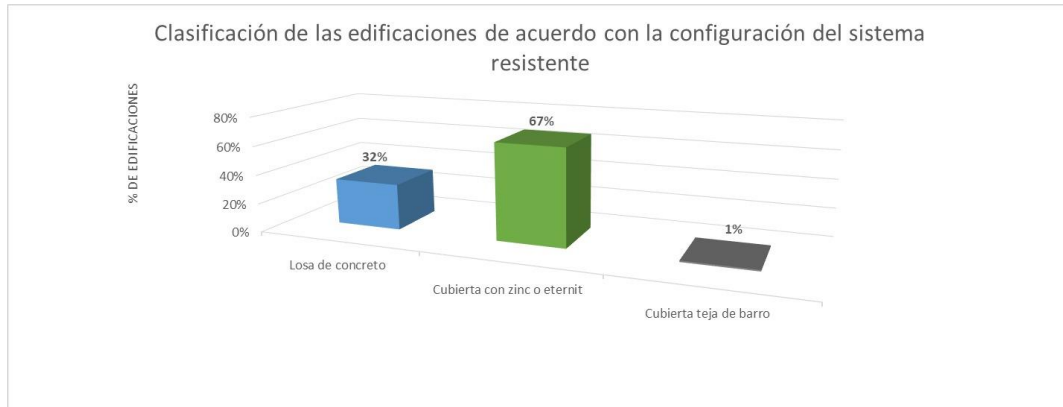


Ilustración 37. Clasificación de los tipos de cubierta (Elaboración propia, 2024)

6) Clasificación de los confinamientos: El 45% de las edificaciones presenta confinamientos en las plantas, el 20% presenta confinamiento incompletos o inadecuados y el 36% no poseen confinamientos.

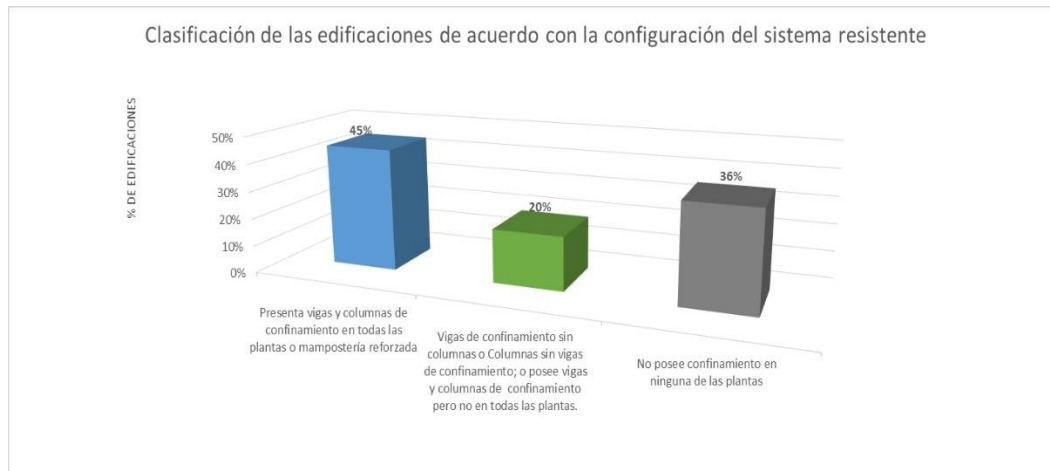


Ilustración 38. Clasificación de los tipos de confinamiento (Elaboración propia, 2024)

A continuación, se presenta una tabla con los parámetros de entrada para el cálculo de la metodología IVEM, estos parámetros son el resultado de la combinación de elementos encontrados en los levantamientos. Para ver las descripciones de cada literal remitirse al capítulo 2.4.2.1.

	Sistema estructural	Calidad del sistema resistente	Resistencia estructural	Posición de la cimentación	Suelo y pendiente del terreno	Diafragmas horizontales	Configuración en planta	Configuración en elevación	Distancia máxima entre los muros	Tipo de cubierta	Estado de conservación
1	B	D	A	A	A	B	A	A	D	D	A
2	C	D	A	A	A	B	A	A	D	D	A
3	A	D	A	A	A	A	C	A	D	D	A
4	C	D	A	A	A	C	C	A	D	D	A
5	A	D	A	A	A	B	A	B	D	D	A
6	A	D	A	A	A	A	C	A	D	D	B
7	B	D	D	A	A	D	B	A	D	D	A
8	B	B	A	A	A	D	B	A	D	D	B
9	A	A	A	A	A	D	A	B	D	D	A
10	A	A	B	A	A	A	A	B	D	D	A
11	B	A	A	A	A	D	B	B	D	D	A
12	B	A	A	A	A	A	A	C	D	D	A
13	C	A	A	A	A	B	B	C	D	D	A
14	B	D	A	A	C	D	A	B	D	D	B
15	B	D	A	A	C	C	A	B	D	D	B
16	A	D	A	A	A	D	A	A	D	D	A
17	A	D	A	A	C	A	A	B	D	D	A
18	B	A	A	A	C	D	A	B	D	D	A
19	B	B	A	A	A	A	D	D	D	D	C
20	B	D	A	A	C	D	A	B	D	D	A
21	B	A	A	A	A	D	B	A	D	D	A
22	C	A	A	A	A	A	A	C	D	D	A
23	B	D	A	A	A	C	A	B	D	D	C
24	B	D	A	A	A	B	B	B	D	D	B
25	B	A	B	A	C	A	A	C	D	D	B
26	A	A	A	A	A	D	A	A	D	D	A
27	B	A	A	A	A	A	A	A	D	D	B
28	B	D	A	A	A	B	A	B	D	D	A
29	C	D	A	A	A	C	B	B	D	D	A
30	B	B	A	A	A	A	A	A	D	D	B

Ilustración 39. Parámetros de ingreso, para el cálculo del índice de vulnerabilidad usando IVEM (Elaboración propia, 2024)

Para la metodología AIS 410-23, se muestran los porcentajes de área de muros obtenidos por vivienda y en el anexo 1 se puede encontrar el detalle para cada una, además se aclara que corresponde a los datos para la misma muestra representativa de la metodología IVEM. Así mismo, el tipo de bloque encontrado en las viviendas fue #4.

Porcentaje de área de muro						
ID_Casa	Piso 1		Piso 2		Piso 3	
	Dirección, X	Dirección, Y	Dirección, X	Dirección, Y	Dirección, X	Dirección, Y
1	11.7	11.3	10.27	9.85		
2	9.9	7.08	7.4	5.6		
3	6.43	8.43	6.3	8.5		
4	4.97	7.89	5	7.9		
5	4.85	6.92	4.4	6.9		
6	3.76	8.76	3.76	8.76		
7	6.62	9.34				
8	4.97	5.72				
9	4.87	4.18				
10	4.66	7.4	3.8	7.7	3.4	6.3
11	4.02	5.65				
12	4.52	6.76	11.8	6.8		
13	3.5	5.96	2.9	5.96		
14	3.84	9.73				
15	6.55	10.25	6.5	11.2		
16	4.5	4.72				
17	5.4	7.39	4.8	7.3		
18	5.48	5.97				
19	4.99	4.57	5.3	4.9	4.2	4.8
20	6.38	9.48				
21	4.18	9.15				
22	5.59	4.92	5.2	3.3		
23	6.97	6.1	5.9	5.9		
24	9.01	8.06	8.1	9.6		
25	7.14	6.91	6.4	6.8	6.3	5.6
26	5.22	7.33				
27	3.99	6.76	4	7.1		
28	5.57	8.78	5.6	8.4		
29	4.15	7.35	3.9	6.8		
30	3.97	6.39	2.7	6.3		

Ilustración 40. Porcentaje de áreas de muros. INCLUYE FACTOR Cn (Elaboración propia, 2024)

4.1.4 Determinación de la vulnerabilidad de las edificaciones:

La revisión de vulnerabilidades se llevó a cabo mediante el IVEM, utilizando un programa desarrollado por los autores del documento a través del lenguaje Python. Este programa emplea bibliotecas estándar del lenguaje, así como la teoría de conjuntos difusos para crear los números difusos asociados a cada parámetro evaluado por la metodología, así como para calcular el índice de vulnerabilidad.

A continuación, se procede a describir las librerías retomadas y su uso dentro el programa:

- 1) Tkinter: Posibilitó la creación de la interfaz gráfica y la interacción con el usuario.
- 2) NumPy: Facilita el trabajo con matrices de datos, en este caso, cada entrada al sistema es un vector con letras asociado a su vez con un número difuso, tratado como un arreglo de datos para el universo de discurso y las pertenencias.
- 3) Matplotlib.pyplot: Permite la visualización gráfica de los resultados y de los números difusos de cada parámetro.
- 4) Scikit-fuzzy (skfuzzy): Habilita operaciones entre números difusos, así como su creación. Cabe aclarar que, para lograr una buena precisión se utilizó el enfoque de alfa cortes presentado en el marco teórico.
- 5) Pandas: Facilitó el manejo de grandes volúmenes de datos, especialmente en la evaluación grupal de las edificaciones.

La interfaz de inicio del programa muestra la selección de evaluación que el usuario requiera, es posible realizar evaluaciones individuales o grupales; para el caso de las evaluaciones individuales, se despliega un menú que va dirigiendo el ingreso de las variables de entrada (A,B,C o D), para cada parámetro en evaluación, una vez ingresado el programa devuelve el índice de vulnerabilidad en forma de número difuso. Para las evaluaciones grupales, el usuario debe crear un archivo que contenga los parámetros por vivienda en forma de filar y cargarlo por medio de la opción evaluación grupal, el programa devolverá un archivo de Excel con las vulnerabilidades por edificación. A continuación, se muestra la interfaz del programa (El código del programa hace parte del anexo 2).

El proceso general de calculo que sigue ECIVUL es:

- a) Recibe los parámetros generales (A, B, C o D) para cada condición evaluada y les asigna su respectivo número difuso.

- b) Realiza las multiplicaciones del parámetro por el coeficiente de importancia que le corresponde a cada uno (Multiplicación difusa).
- c) Suma las multiplicaciones anteriores y las divide entre la suma de los coeficientes difusos de importancia (Suma y división de números difusos).
- d) Desfusifica el resultado anterior, es decir, vuelve el número difuso un número concreto, en función del centro de gravedad del número difuso y el grado de pertenencia de este.
- e) Asigna un variable lingüística al valor encontrado.

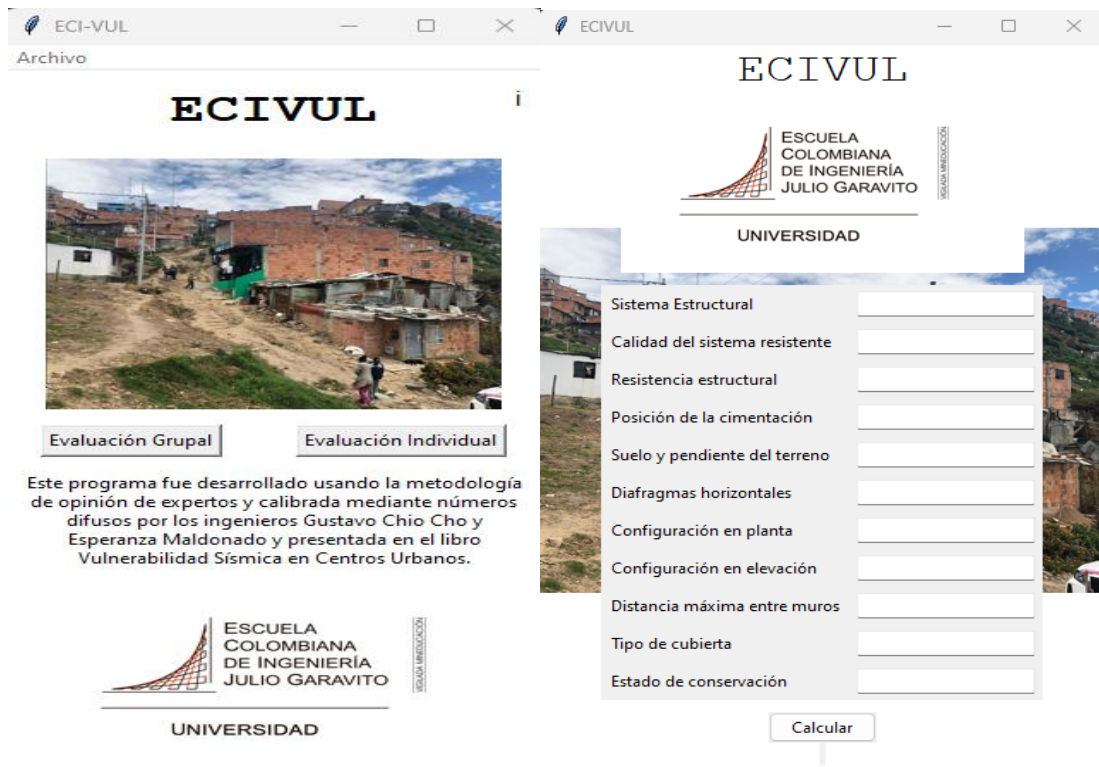


Ilustración 41. A la izquierda interfaz de inicio del programa ecivil; a la derecha interfaz para recolección de datos de entrada para evaluación individual (Elaboración propia, 2024)

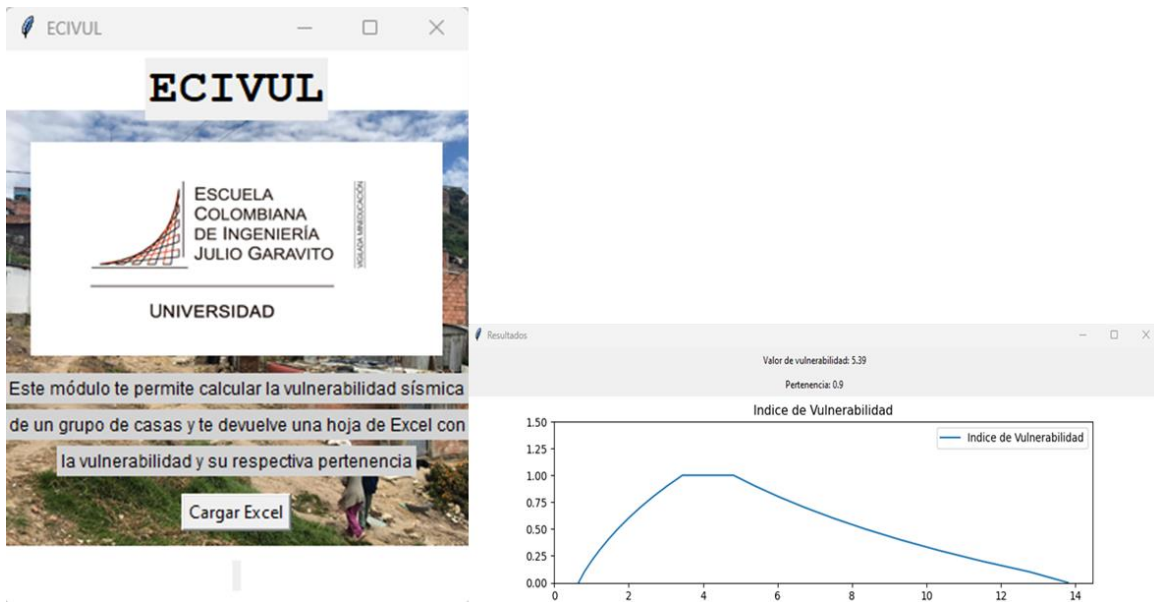


Ilustración 42. A la derecha, pestaña de evaluación grupal ECIVUL. A la izquierda resultado entregado para evaluación individual (Elaboración propia, 2024)

Una vez desarrollado y calibrado el programa, se calculan las vulnerabilidades de las 400 viviendas evaluadas. En el anexo 1 del presente documento, se pueden observar las tablas de resultados entregados por el programa, los cuales fueron graficados y se muestran enseguida:

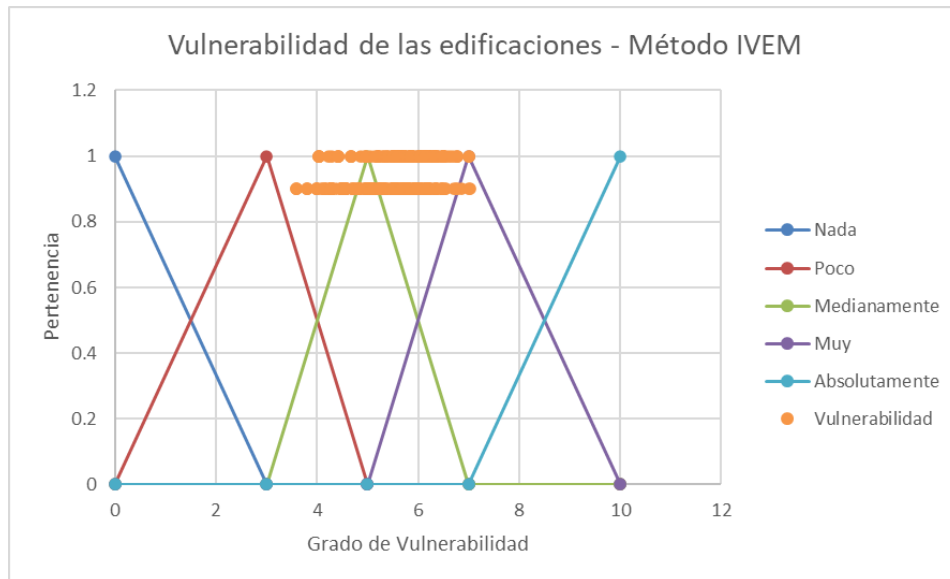


Ilustración 43. Vulnerabilidad para las 400 viviendas evaluadas por el método IVEM (Elaboración propia, 2024)

Para el caso de la metodología AIS 410-23, se creó un libro de Excel donde se ingresan los datos obtenidos en las encuestas y además se grafican los muros de la vivienda, haciendo uso de las coordenadas de estos, una vez graficados los muros se procede a escoger el tipo de mampostería y la ciudad de origen, esto con el fin de aplicar los factores de área neta necesarios para el cálculo del área de muros presente tal y como se describió en la sección 2.2.1.1 de este documento. Así mismo, se ingresan los datos del tipo de suelo, tipo de cubierta y todos los parámetros descritos en el capítulo 2.2.1.2 para el cálculo del área de muros requeridos, este cálculo se compara con los porcentajes mínimos presentados en las tablas 6.8-1 y 6.8-2 del AIS 410-23 y se escoge la condición crítica. Con los datos anteriores se procede a revisar los índices de capacidad versus demanda, En el anexo 1 de este documento se encuentran las verificaciones realizadas por esta metodología.

A continuación, se dan a conocer los índices sísmicos:

Índices demanda/capacidad						
ID_Casa	Piso 1		Piso 2		Piso 3	
	Dirección, X	Dirección, Y	Dirección, X	Dirección, Y	Dirección, X	Dirección, Y
1	0.84	1.18	0.54	0.71		
2	1.29	0.99	0.64	0.47		
3	0.81	0.85	0.34	0.35		
4	4.3	2.71	4.3	2.71		
5	1.46	1.02	0.92	0.58		
6	2.21	0.95	1.06	0.46		
7	0.68	0.48				
8	0.92	0.8				
9	0.82	0.96				
10	2.19	1.38	2.08	1.03	1.17	0.64
11	1	0.71				
12	1.51	1.01	0.58	1.01		
13	1.14	0.67	1.36	0.67		
14	1.04	0.41				
15	0.93	0.6	0.62	0.6	0.54	
16	0.89	0.85				
17	2.09	1.23	1	0.57		
18	0.73	0.67				
19	2.04	2.23	1.48	1.61	0.96	0.84
20	0.63	0.42				
21	0.96	0.44				
22	2.98	3.38	1.31	2.08		
23	1.01	1.16	1.2	1.19		
24	1.74	1.82	0.85	0.71		
25	1.43	1.48	1.24	1.16	0.64	0.71
26	0.77	0.55				
27	2.09	1.23	1	0.57		
28	1.49	0.95	0.72	0.48		
29	4.01	2.26	1.77	1		
30	2.1	1.3	1.47	0.63		

Ilustración 44. Índices demanda/capacidad, en función de las áreas de muros necesarias y las encontradas en las edificaciones en evaluación, metodología AIS 410-23 (Elaboración propia, 2024)

4.1.5 Consolidación de la información de la vulnerabilidad en un sistema de información geográfica (SIG):

Para crear la capa correspondiente a la vulnerabilidad sísmica entregada por ECIVUL en ArcGIS se siguieron los siguientes pasos:

- A) *Preparación de datos:* Se obtuvieron los datos de vulnerabilidad sísmica en términos de índices y variables lingüísticas, que se enlistaron en un archivo de Excel con la llave o ID de la vivienda entregada por catastro de Soacha como se muestra a continuación:

T_ID	Vulnerabilidad	Pertenencia	Escala
8005629	5.66	1	Medianamente Vulnerable
22686375	5.28	1	Medianamente Vulnerable
22686732	6.54	0.9	Muy vulnerable
22686740	5.92	1	Medianamente Vulnerable
22684950	6.49	1	Muy vulnerable
22686823	6.57	1	Muy vulnerable
22687214	6.54	0.9	Muy vulnerable
22686817	6.39	1	Muy vulnerable
22686820	5.2	0.9	Medianamente Vulnerable
22686896	6.36	0.9	Muy vulnerable
22702407	6.04	1	Muy vulnerable
45630730	6.29	1	Muy vulnerable
45630732	5.79	0.9	Medianamente Vulnerable
8006512	6.11	1	Muy vulnerable
10435355	5.53	0.9	Medianamente Vulnerable
14024270	6.48	0.9	Muy vulnerable

Ilustración 45. Muestra de datos con t_id para ingreso a arcGis (Elaboración propia, 2024)

Además, a cada categoría de elemento se le asigna un color para representar y diferenciar en el mapa de la siguiente manera:

Poco Vulnerable	Medianamente vulnerable	Muy vulnerable
(3.6 – 4.0)	[4.0 – 6.0)	[6-10]

Tabla 16. Escalas de color usadas para representación de datos en arcGis (Elaboración propia, 2024)

A continuación, se presenta el mapa de vulnerabilidades, que supone el insumo más importante para entrega a la alcaldía de Soacha pues muestra de manera explícita la condición de las viviendas.

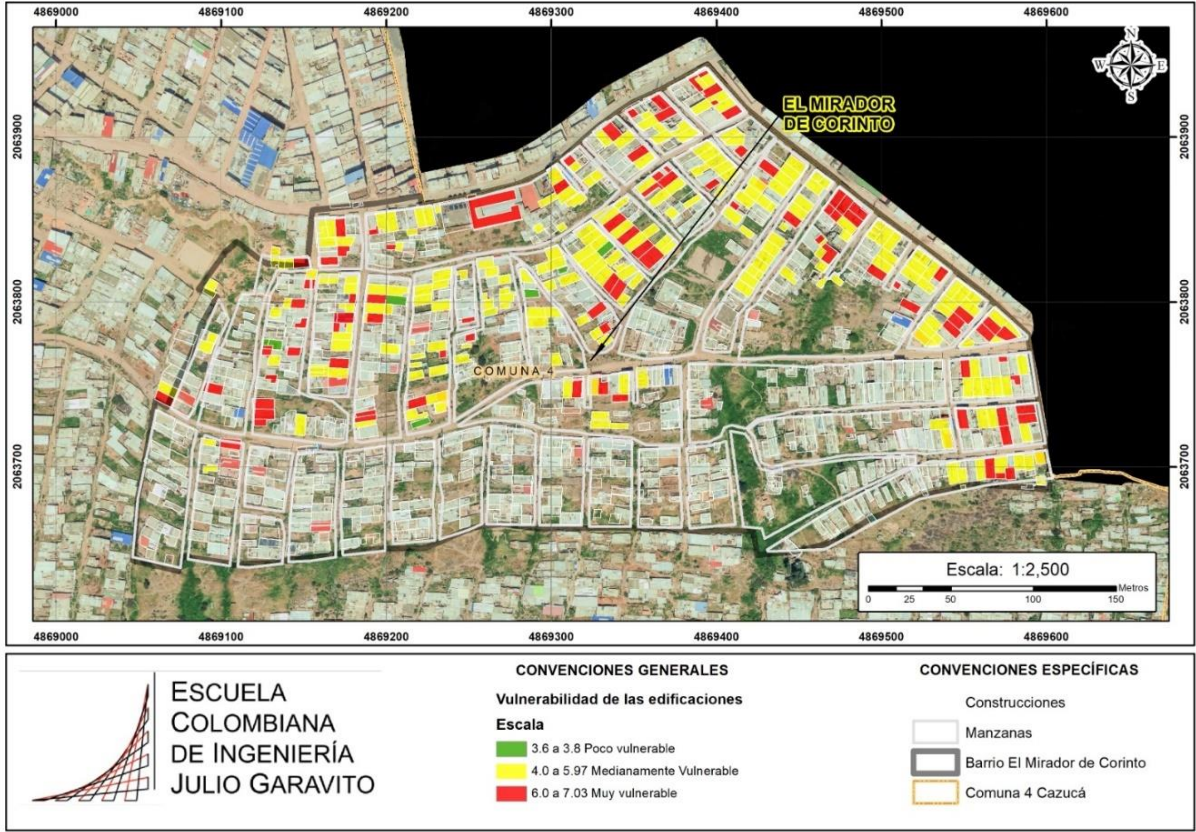


Ilustración 46. Mapa de vulnerabilidad sísmica, barrio mirador de corinto Soacha (Elaboración propia, 2024)

Capítulo V

5.1 Resultados y análisis

En este capítulo se realiza un análisis de los resultados obtenidos para las edificaciones, seguido de una reflexión sobre las posibilidades de reforzamiento de estas. En este sentido, se examinan los resultados de las 30 viviendas evaluadas mediante ambas metodologías, presentando un paralelismo entre estas dos, que no implica una comparación directa, sino más bien una complementación. Igualmente, se analizan los resultados generales obtenidos para las 400 viviendas en estudio. Cabe mencionar que el análisis individual para cada caso, así como los planos de reforzamiento se presentan en el anexo 1 de este documento.

5.1.1 Resultados y análisis para la submuestra de 30 viviendas:

Vivienda 1 – 2 Pisos – Mampostería Confinada			
AIS 410-23		IVEM	
Modificaciones y reparaciones en la edificación: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Se reduce la distancia máxima entre muros. ➤ Se proponen confinamientos. ➤ Se proponen reforzamientos tipo dintel ➤ Se deben adicionar nuevas vigas de confinamiento. ➤ Se debe revisar conexión correas vigas. ➤ Los parapetos y muros cortos deben asegurarse. 		Índice de vulnerabilidad: <ul style="list-style-type: none"> ➤ 5.24 	
		Pertenencia: <ul style="list-style-type: none"> ➤ 0.90 	
		Clasificación en escala lingüística: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Medianamente vulnerable. 	
Demanda/capacidad:			
Piso	En x	En Y	
1	0.81	0.85	
2	0.34	0.35	

Vivienda 2 – 2 pisos – Mampostería confinada											
AIS 410-23		IVEM									
<p>Modificaciones y reparaciones en la edificación:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Se reduce la distancia máxima entre muros. ➤ Se proponen confinamientos. ➤ Se proponen reforzamientos tipo dintel ➤ Se deben adicionar nuevas vigas de confinamiento. ➤ Se deben cambiar piezas de mampostería. ➤ Los parapetos y muros cortos deben asegurarse. <p>Demanda/capacidad:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Piso</th> <th>En x</th> <th>En Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0.84</td> <td>1.18</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0.54</td> <td>0.71</td> </tr> </tbody> </table>		Piso	En x	En Y	1	0.84	1.18	2	0.54	0.71	<p>Índice de vulnerabilidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 5.39 <p>Pertenencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 0.90 <p>Clasificación en escala lingüística:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Medianamente vulnerable.
Piso	En x	En Y									
1	0.84	1.18									
2	0.54	0.71									

Vivienda 3 – 2 Pisos – Mampostería No Reforzada		
AIS 410-23		IVEM
<p>Modificaciones y reparaciones en la edificación:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Se propone el uso de pañetes con malla electrosoldada. ➤ Se proponen confinamientos. ➤ Se proponen reforzamientos tipo dintel. ➤ Se deben adicionar nuevas vigas de confinamiento. ➤ Se debe revisar conexión correas vigas. 		<p>Índice de vulnerabilidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 5.76 <p>Pertenencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 0.90 <p>Clasificación en escala lingüística:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Medianamente vulnerable.

<ul style="list-style-type: none"> ➤ Los parapetos y muros cortos deben asegurarse. ➤ Se proponen muros nuevos para asegurar continuidad en muros superiores. ➤ Se propone cambiar el tipo de sistema estructural. <p>Demanda/capacidad:</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>Piso</th> <th>En x</th> <th>En Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>3.33</td> <td>3.42</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>2.54</td> <td>2.51</td> </tr> </tbody> </table>	Piso	En x	En Y	1	3.33	3.42	2	2.54	2.51	
Piso	En x	En Y								
1	3.33	3.42								
2	2.54	2.51								

Vivienda 4 – 2 Pisos – Mampostería No Reforzada	
AIS 410-23	IVEM
<p>Modificaciones y reparaciones en la edificación:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Se propone el uso de pañetes para aumentar espesor de muros. ➤ Se proponen muros para reducir distancias máximas entre muros. ➤ Se proponen muros en primer piso para dar continuidad a los del segundo piso. ➤ Se proponen dinteles para reforzar aberturas. ➤ Se proponen vigas de confinamiento en cubierta, así como revisión de conexión con correas. ➤ Se proponen confinamientos para elementos no estructurales. 	<p>Índice de vulnerabilidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 6.16 <p>Pertenencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 0.90 <p>Clasificación en escala lingüística:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Muy vulnerable.

<ul style="list-style-type: none"> ➤ Se propone cambiar el sistema estructural a MC para cumplir con áreas mínimas de muros. ➤ Demanda/capacidad: <table border="1"> <thead> <tr> <th>Piso</th> <th>En x</th> <th>En Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>4.30</td> <td>2.71</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>4.30</td> <td>2.71</td> </tr> </tbody> </table>	Piso	En x	En Y	1	4.30	2.71	2	4.30	2.71	
Piso	En x	En Y								
1	4.30	2.71								
2	4.30	2.71								

Vivienda 5 – 2 Pisos – Mampostería confinada										
AIS 410-23	IVEM									
Modificaciones y reparaciones en la edificación: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Se propone el reforzamiento de aberturas, mediante dinteles. ➤ Se propone reforzamiento para elementos no estructurales. ➤ Demanda/capacidad: <table border="1"> <thead> <tr> <th>Piso</th> <th>En x</th> <th>En Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1.46</td> <td>1.02</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0.92</td> <td>0.58</td> </tr> </tbody> </table>	Piso	En x	En Y	1	1.46	1.02	2	0.92	0.58	Índice de vulnerabilidad: <ul style="list-style-type: none"> ➤ 5.12 Pertenencia: <ul style="list-style-type: none"> ➤ 0.90 Clasificación en escala lingüística: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Medianamente vulnerable.
Piso	En x	En Y								
1	1.46	1.02								
2	0.92	0.58								

Vivienda 6 – 2 Pisos – Mampostería confinada	
AIS 410-23	IVEM
Modificaciones y reparaciones en la edificación: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Se proponen muros adicionales para reducir espaciamientos entre los mismos. ➤ Se propuso pañere con malla en algunos muros de sentido X. 	Índice de vulnerabilidad: <ul style="list-style-type: none"> ➤ 6.26 Pertenencia: <ul style="list-style-type: none"> ➤ 0.90 Clasificación en escala lingüística: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Muy vulnerable.

<ul style="list-style-type: none"> ➤ Se proponen dinteles sobre las aberturas. ➤ Se propone vigas corona, así como revisar la conexión de las correas. ➤ Se propone viga de apoyo para la escalera. ➤ Demanda/capacidad: <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th>Piso</th> <th>En x</th> <th>En Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1.14</td> <td>0.67</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>1.36</td> <td>0.67</td> </tr> </tbody> </table>	Piso	En x	En Y	1	1.14	0.67	2	1.36	0.67	
Piso	En x	En Y								
1	1.14	0.67								
2	1.36	0.67								

Vivienda 7 – 1 Piso – Mampostería confinada							
AIS 410-23	IVEM						
<p>Modificaciones y reparaciones en la edificación:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Se proponen muros adicionales para reducir espaciamientos entre los mismos. ➤ Se propone confinamientos adicionales. ➤ Se proponen reforzamientos adicionales en aberturas de muros. ➤ Se proponen confinamientos para elementos no estructurales. ➤ Se propone vigas corona, así como revisar la conexión de las correas. ➤ Demanda/capacidad: <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th>Piso</th> <th>En x</th> <th>En Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0.82</td> <td>0.96</td> </tr> </tbody> </table>	Piso	En x	En Y	1	0.82	0.96	<p>Índice de vulnerabilidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 4.57 <p>Pertenencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 0.90 <p>Clasificación en escala lingüística:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Medianamente vulnerable.
Piso	En x	En Y					
1	0.82	0.96					

Vivienda 8 – 1 Piso – Mampostería confinada								
AIS 410-23		IVEM						
<p>Modificaciones y reparaciones en la edificación:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Se proponen muros adicionales para reducir espaciamientos entre los mismos. ➤ Se propone confinamientos adicionales. ➤ Se proponen reforzamientos adicionales en aberturas de muros. ➤ Se proponen confinamientos para elementos no estructurales. ➤ Se propone vigas corona, así como revisar la conexión de las correas. ➤ Demanda/capacidad: <table border="1"> <thead> <tr> <th>Piso</th> <th>En x</th> <th>En Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1.0</td> <td>0.71</td> </tr> </tbody> </table>		Piso	En x	En Y	1	1.0	0.71	<p>Índice de vulnerabilidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 5.32 <p>Pertenencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 0.90 <p>Clasificación en escala lingüística:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Medianamente vulnerable.
Piso	En x	En Y						
1	1.0	0.71						

Vivienda 9 – 1 Piso – Mampostería no reforzada		
AIS 410-23		IVEM
<p>Modificaciones y reparaciones en la edificación:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Se proponen muros adicionales para mantener distancias de 4m como máximo. ➤ Se proponen reforzamientos adicionales en aberturas de muros ➤ Se proponen confinamientos para elementos no estructurales. 		<p>Índice de vulnerabilidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 5.52 <p>Pertenencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 0.90 <p>Clasificación en escala lingüística:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Medianamente vulnerable.

<ul style="list-style-type: none"> ➤ Se propone vigas corona, así como revisar la conexión de las correas. ➤ Demanda/capacidad: <table border="1"> <thead> <tr> <th>Piso</th> <th>En x</th> <th>En Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0.68</td> <td>0.48</td> </tr> </tbody> </table>	Piso	En x	En Y	1	0.68	0.48	
Piso	En x	En Y					
1	0.68	0.48					

Vivienda 10 – 2 Pisos – Mampostería no reforzada										
AIS 410-23	IVEM									
<p>Modificaciones y reparaciones en la edificación:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Se propone mover muro de fachada en segundo piso para alinear con el inferior. ➤ Se proponen muros adicionales para reducir espaciamientos entre muros paralelos. ➤ Se propone viga para apoyo de escalera. ➤ Se proponen confinamientos para elementos no estructurales. ➤ Se propone vigas corona, así como revisar la conexión de las correas. ➤ Se sugirieron pañetes con malla. ➤ Demanda/capacidad: <table border="1"> <thead> <tr> <th>Piso</th> <th>En x</th> <th>En Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0.68</td> <td>0.48</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>1.01</td> <td>1.01</td> </tr> </tbody> </table>	Piso	En x	En Y	1	0.68	0.48	2	1.01	1.01	<p>Índice de vulnerabilidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 5.52 <p>Pertenencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 0.90 <p>Clasificación en escala lingüística:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Medianamente vulnerable.
Piso	En x	En Y								
1	0.68	0.48								
2	1.01	1.01								

Vivienda 11 – 1 Piso – Mampostería confinada	
AIS 410-23	IVEM

<p>Modificaciones y reparaciones en la edificación:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Se proponen muros adicionales para reducir espaciamientos entre muros paralelos. ➤ Se sugiere el cambio de piezas de mampostería para lograr homogeneidad en los muros, así como en el mortero de pega. ➤ Se agrega un muro en fachada principal. ➤ Demanda/capacidad: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%;">Piso</th> <th style="width: 30%;">En x</th> <th style="width: 30%;">En Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">1.04</td> <td style="text-align: center;">0.41</td> </tr> </tbody> </table>	Piso	En x	En Y	1	1.04	0.41	<p>Índice de vulnerabilidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 6.92 <p>Pertenencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 0.90 <p>Clasificación en escala lingüística:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Muy vulnerable.
Piso	En x	En Y					
1	1.04	0.41					

Vivienda 12 – 2 Pisos – Mampostería confinada										
AIS 410-23	IVEM									
<p>Modificaciones y reparaciones en la edificación:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Se mueve muros de fachada para alinear con primer piso. ➤ Se propone reforzamientos con dinteles en aberturas. ➤ Se revisa apoyo de escaleras. ➤ Se sugiere el remplazo de algunas piezas de mampostería y morteros de pega. ➤ Demanda/capacidad: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%;">Piso</th> <th style="width: 30%;">En x</th> <th style="width: 30%;">En Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">0.74</td> <td style="text-align: center;">0.54</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">0.83</td> <td style="text-align: center;">0.55</td> </tr> </tbody> </table>	Piso	En x	En Y	1	0.74	0.54	2	0.83	0.55	<p>Índice de vulnerabilidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 5.79 <p>Pertenencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 0.90 <p>Clasificación en escala lingüística:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Medianamente vulnerable.
Piso	En x	En Y								
1	0.74	0.54								
2	0.83	0.55								

--	--

Vivienda 13 – 2 Pisos – Mampostería confinada										
AIS 410-23	IVEM									
<p>Modificaciones y reparaciones en la edificación:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Se mueve muros de fachada para alinear con primer piso. ➤ Se propone reforzamientos con dinteles en aberturas. ➤ Se proponen muros adicionales de fachada. ➤ Se sugiere revisión de vigas de confinamiento en cubierta. ➤ Se proponen reforzamiento sobre elementos no estructurales. ➤ Demanda/capacidad: <table border="1"> <thead> <tr> <th>Piso</th> <th>En x</th> <th>En Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0.93</td> <td>0.60</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0.62</td> <td>0.54</td> </tr> </tbody> </table>	Piso	En x	En Y	1	0.93	0.60	2	0.62	0.54	<p>Índice de vulnerabilidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 6.63 <p>Pertenencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 0.90 <p>Clasificación en escala lingüística:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Muy vulnerable.
Piso	En x	En Y								
1	0.93	0.60								
2	0.62	0.54								

Vivienda 14 – 3 Pisos – Mampostería confinada	
AIS 410-23	IVEM
<p>Modificaciones y reparaciones en la edificación:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Se proponen muros adicionales para reducir distancias entre paralelos. 	<p>Índice de vulnerabilidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 6.64 <p>Pertenencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 0.90 <p>Clasificación en escala lingüística:</p>

<ul style="list-style-type: none"> ➤ Se propone reducción de vacíos en la fachada principal. ➤ Se proponen reforzamientos sobre el sistema de losa en escalera. ➤ Se propone revisar conexión de correas de cubierta. ➤ Se proponen vigas cintas en cubierta. ➤ Se propone cambios de piezas de mampostería. ➤ Demanda/capacidad: <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th>Piso</th> <th>En x</th> <th>En Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>2.04</td> <td>2.23</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>1.48</td> <td>1.61</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0.96</td> <td>0.84</td> </tr> </tbody> </table>	Piso	En x	En Y	1	2.04	2.23	2	1.48	1.61	3	0.96	0.84	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Muy vulnerable.
Piso	En x	En Y											
1	2.04	2.23											
2	1.48	1.61											
3	0.96	0.84											

Vivienda 15 – 1 Piso – Mampostería confinada	
AIS 410-23	IVEM
<p>Modificaciones y reparaciones en la edificación:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Se proponen muros adicionales para reducir distancias entre paralelos. ➤ Se propone reducción de vacíos en la fachada principal. ➤ Se proponen vigas para el sistema de confinamiento. ➤ Se propone reforzamiento para el muro de contención integrado a la vivienda. 	<p>Índice de vulnerabilidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 6.35 <p>Pertenencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 0.90 <p>Clasificación en escala lingüística:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Muy vulnerable.

<ul style="list-style-type: none"> ➤ Se propone revisar conexión de correas de cubierta. ➤ Se proponen vigas cintas en cubierta. ➤ Demanda/capacidad: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="width: 33%;">Piso</th> <th style="width: 33%;">En x</th> <th style="width: 33%;">En Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0.63</td> <td>0.42</td> </tr> </tbody> </table>	Piso	En x	En Y	1	0.63	0.42	
Piso	En x	En Y					
1	0.63	0.42					

Vivienda 16 – 1 Piso – Mampostería confinada							
AIS 410-23	IVEM						
<p>Modificaciones y reparaciones en la edificación:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Se proponen reforzamientos en aberturas de muros. ➤ Se proponen vigas de reforzamiento para el sistema de techo y la conexión. ➤ Se proponen reforzamientos para parapetos y elementos no estructurales. ➤ Se propone reforzamiento del muro de contención integrado a la edificación. <p>➤ Demanda/capacidad:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="width: 33%;">Piso</th> <th style="width: 33%;">En x</th> <th style="width: 33%;">En Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0.73</td> <td>0.67</td> </tr> </tbody> </table>	Piso	En x	En Y	1	0.73	0.67	<p>Índice de vulnerabilidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 5.21 <p>Pertenencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 1.0 <p>Clasificación en escala lingüística:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Medianamente vulnerable.
Piso	En x	En Y					
1	0.73	0.67					

Vivienda 17 – 1 Piso – Mampostería confinada								
AIS 410-23		IVEM						
<p>Modificaciones y reparaciones en la edificación:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Se propone llenar algunos muros de fachada para cumplir con áreas mínimas. ➤ El sistema de techo es una losa a la intemperie por lo que se propuso proteger la totalidad de los elementos. ➤ Se proponen reforzamientos sobre elementos no estructurales. ➤ Se propone el cambio de algunas piezas de mampostería y sustituirlas por nuevos elementos. ➤ Se proponen algunos confinamientos adicionales a los existentes. ➤ Demanda/capacidad: <table border="1"> <thead> <tr> <th>Piso</th> <th>En x</th> <th>En Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0.77</td> <td>0.55</td> </tr> </tbody> </table>		Piso	En x	En Y	1	0.77	0.55	<p>Índice de vulnerabilidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 3.60 <p>Pertenencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 0.9 <p>Clasificación en escala lingüística:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Poco Vulnerable.
Piso	En x	En Y						
1	0.77	0.55						

Vivienda 18 – 2 Pisos – Mampostería confinada		
AIS 410-23		IVEM
<p>Modificaciones y reparaciones en la edificación:</p>		<p>Índice de vulnerabilidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 6.25 <p>Pertenencia:</p>

<ul style="list-style-type: none"> ➤ Se proponen muros adicionales para reducir distancia entre elementos. ➤ Se proponen reforzamientos sobre las aberturas de muros. ➤ Se proponen vigas cintas y revisar conexión de cubierta. ➤ Se propone viga adicional para apoyo de escalera. ➤ Se propone llenar vacíos de muros de fachada. ➤ Demanda/capacidad: <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th>Piso</th> <th>En x</th> <th>En Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1.01</td> <td>1.16</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0.75</td> <td>0.92</td> </tr> </tbody> </table>	Piso	En x	En Y	1	1.01	1.16	2	0.75	0.92	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 0.9 <p>Clasificación en escala lingüística:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Muy Vulnerable.
Piso	En x	En Y								
1	1.01	1.16								
2	0.75	0.92								

Vivienda 19 – 1 Piso – Mampostería confinada	
AIS 410-23	IVEM
<p>Modificaciones y reparaciones en la edificación:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Se proponen muros adicionales para reducir distancia entre elementos. ➤ Se proponen reforzamientos sobre las aberturas de muros. ➤ Se proponen vigas cintas y revisar conexión de cubierta. ➤ Se proponen reforzamientos sobre elementos no estructurales. 	<p>Índice de vulnerabilidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 5.03 <p>Pertenencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 0.9 <p>Clasificación en escala lingüística:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Medianamente vulnerable.

<ul style="list-style-type: none"> ➤ Se proponen cambiar algunos paños de mampostería no homogéneos. ➤ Se proponen dilataciones para evitar irregularidades por relación largo/ancho. ➤ Se propone llenar vacíos de muros de fachada. ➤ Demanda/capacidad: <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th>Piso</th> <th>En x</th> <th>En Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0.96</td> <td>0.44</td> </tr> </tbody> </table>	Piso	En x	En Y	1	0.96	0.44	
Piso	En x	En Y					
1	0.96	0.44					

Vivienda 20 – 3 Pisos – Mampostería confinada	
AIS 410-23	IVEM
<p>Modificaciones y reparaciones en la edificación:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Se propone llenar algunos vacíos de fachada. ➤ Se proponen muros adicionales para reducir distancias entre elementos paralelos. ➤ Se propone correr algunos muros de fachada para dar continuidad a los elementos. ➤ Se proponen vigas cintas y revisar conexión de cubierta. ➤ Se proponen reforzamientos sobre elementos no estructurales. 	<p>Índice de vulnerabilidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 5.11 <p>Pertenencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 0.9 <p>Clasificación en escala lingüística:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Medianamente vulnerable.

<p>➤ Se proponen cambiar algunos paños de mampostería no homogéneos.</p> <p>➤ Demanda/capacidad:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%;">Piso</th> <th style="width: 30%;">En x</th> <th style="width: 30%;">En Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">2.19</td> <td style="text-align: center;">1.38</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">2.08</td> <td style="text-align: center;">1.03</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3</td> <td style="text-align: center;">1.17</td> <td style="text-align: center;">0.64</td> </tr> </tbody> </table>	Piso	En x	En Y	1	2.19	1.38	2	2.08	1.03	3	1.17	0.64	
Piso	En x	En Y											
1	2.19	1.38											
2	2.08	1.03											
3	1.17	0.64											

Vivienda 21 – 2 Pisos – Mampostería no reforzada								
AIS 410-23	IVEM							
<p>Modificaciones y reparaciones en la edificación:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Se propone llenar algunos vacíos de fachada. ➤ Se proponen muros adicionales para reducir distancias entre elementos paralelos. ➤ Se proponen vigas cintas y revisar conexión de cubierta ➤ Se proponen reforzamientos sobre elementos no estructurales. ➤ Se proponen pañetes con malla. ➤ Se agregan muros en ambos sentidos. ➤ Demanda/capacidad: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%;">Piso</th> <th style="width: 30%;">En x</th> <th style="width: 30%;">En Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>	Piso	En x	En Y				<p>Índice de vulnerabilidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 5.59 <p>Pertenencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 1.0 <p>Clasificación en escala lingüística:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Medianamente vulnerable. 	
Piso	En x	En Y						

1	2.98	3.38	
2	1.31	2.08	

Vivienda 22 – 3 Pisos – Mampostería confinada															
AIS 410-23		IVEM													
<p>Modificaciones y reparaciones en la edificación:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Se proponen muros adicionales para reducir distancias entre elementos paralelos. ➤ Se proponen reforzamientos de en aberturas de los muros. ➤ Se proponen vigas cintas y revisar conexión de cubierta. ➤ Se proponen reforzamientos sobre elementos no estructurales. ➤ Se proponen pañetes con malla. ➤ Se agregan muros en ambos sentidos. ➤ Demanda/capacidad: <table border="1"> <thead> <tr> <th>Piso</th> <th>En x</th> <th>En Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1.43</td> <td>1.48</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>1.24</td> <td>1.16</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0.64</td> <td>0.71</td> </tr> </tbody> </table>		Piso	En x	En Y	1	1.43	1.48	2	1.24	1.16	3	0.64	0.71	<p>Índice de vulnerabilidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 6.03 <p>Pertenencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 0.9 <p>Clasificación en escala lingüística:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Muy vulnerable. 	
Piso	En x	En Y													
1	1.43	1.48													
2	1.24	1.16													
3	0.64	0.71													

Vivienda 23 – 2 Pisos – Mampostería no reforzada			
AIS 410-23		IVEM	

<p>Modificaciones y reparaciones en la edificación:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Se propone aumentar el revoque a 1.5 cm de revoque. ➤ Se propone llenar algunos vacíos de fachada para cumplir con áreas de muros. ➤ Se propone cambiar todo el sistema a confinado para mejorar las relaciones demanda/capacidad. ➤ Demanda/capacidad: <table border="1"> <thead> <tr> <th>Piso</th> <th>En x</th> <th>En Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1.74</td> <td>1.82</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0.85</td> <td>0.71</td> </tr> </tbody> </table>	Piso	En x	En Y	1	1.74	1.82	2	0.85	0.71	<p>Índice de vulnerabilidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 6.16 <p>Pertenencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 0.9 <p>Clasificación en escala lingüística:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Muy vulnerable.
Piso	En x	En Y								
1	1.74	1.82								
2	0.85	0.71								

Vivienda 24 – 2 Pisos – Mampostería confinada.							
AIS 410-23	IVEM						
<p>Modificaciones y reparaciones en la edificación:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Se proponen muros adicionales para reducir las distancias libres. ➤ Se proponen vigas de reforzamiento y conexiones de correas en cubierta. ➤ Se propone viga adicional para apoyo de escalera. ➤ Se proponen pañetes con mallas. ➤ Demanda/capacidad: <table border="1"> <thead> <tr> <th>Piso</th> <th>En x</th> <th>En Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>2.09</td> <td>1.23</td> </tr> </tbody> </table>	Piso	En x	En Y	1	2.09	1.23	<p>Índice de vulnerabilidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 5.19 <p>Pertenencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 0.9 <p>Clasificación en escala lingüística:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Medianamente vulnerable.
Piso	En x	En Y					
1	2.09	1.23					

	2	1.00	0.57	
--	----------	-------------	-------------	--

Vivienda 25 – 2 Pisos – Mampostería no reforzada.											
AIS 410-23		IVEM									
Modificaciones y reparaciones en la edificación: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Se proponen muros adicionales para reducir las distancias libres. ➤ Se proponen vigas de reforzamiento y conexiones de correas en cubierta. ➤ Se propone viga adicional para apoyo de escalera. ➤ Se proponen pañetes con mallas. ➤ Se propone el cambio de sistema estructural. ➤ Demanda/capacidad: <table border="1" data-bbox="289 1180 748 1333"> <thead> <tr> <th>Piso</th> <th>En x</th> <th>En Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>4.01</td> <td>2.26</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>1.77</td> <td>1.00</td> </tr> </tbody> </table>		Piso	En x	En Y	1	4.01	2.26	2	1.77	1.00	Índice de vulnerabilidad: <ul style="list-style-type: none"> ➤ 5.67 Pertenencia: <ul style="list-style-type: none"> ➤ 1.0 Clasificación en escala lingüística: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Medianamente vulnerable.
Piso	En x	En Y									
1	4.01	2.26									
2	1.77	1.00									

Vivienda 26 – 1 Piso – Mampostería confinada.		
AIS 410-23		IVEM
Modificaciones y reparaciones en la edificación: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Se proponen muros adicionales para reducir las distancias libres. ➤ Se proponen vigas de reforzamiento y conexiones de correas en cubierta. 		Índice de vulnerabilidad: <ul style="list-style-type: none"> ➤ 4.84 Pertenencia: <ul style="list-style-type: none"> ➤ 1.0 Clasificación en escala lingüística: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Medianamente vulnerable.

➤ Demanda/capacidad:		
Piso	En x	En Y
1	0.89	0.85

Vivienda 27 – 2 Pisos – Mampostería confinada.		
AIS 410-23		IVEM
Modificaciones y reparaciones en la edificación: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Se proponen confinamientos adicionales. ➤ Se proponen vigas de reforzamiento y conexiones de correas en cubierta. ➤ Se propone reforzamientos sobre las aberturas. ➤ Se proponen muros adicionales, así como el uso de pañetes con malla. ➤ Demanda/capacidad: 		Índice de vulnerabilidad: <ul style="list-style-type: none"> ➤ 5.52 Pertenencia: <ul style="list-style-type: none"> ➤ 0.90 Clasificación en escala lingüística: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Medianamente vulnerable.
Piso	En x	En Y
1	2.21	0.95
2	1.06	0.46

Vivienda 28 – 2 Pisos – Mampostería confinada.		
AIS 410-23		IVEM
Modificaciones y reparaciones en la edificación: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Se proponen confinamientos adicionales. 		Índice de vulnerabilidad: <ul style="list-style-type: none"> ➤ 5.68 Pertenencia: <ul style="list-style-type: none"> ➤ 0.90 Clasificación en escala lingüística: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Medianamente vulnerable.

<ul style="list-style-type: none"> ➤ Se proponen vigas de reforzamiento y conexiones de correas en cubierta. ➤ Se propone reforzamientos sobre las aberturas. ➤ Se proponen muros adicionales. ➤ Demanda/capacidad: <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th>Piso</th> <th>En x</th> <th>En Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1.49</td> <td>0.95</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0.72</td> <td>0.48</td> </tr> </tbody> </table>	Piso	En x	En Y	1	1.49	0.95	2	0.72	0.48	
Piso	En x	En Y								
1	1.49	0.95								
2	0.72	0.48								

Vivienda 29 – 2 Pisos – Mampostería confinada.										
AIS 410-23	IVEM									
<p>Modificaciones y reparaciones en la edificación:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Se proponen confinamientos adicionales. ➤ Se proponen vigas de reforzamiento y conexiones de correas en cubierta. ➤ Se propone reforzamientos sobre las aberturas. ➤ Se proponen muros adicionales. ➤ Demanda/capacidad: <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th>Piso</th> <th>En x</th> <th>En Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>2.10</td> <td>1.30</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>1.47</td> <td>0.63</td> </tr> </tbody> </table>	Piso	En x	En Y	1	2.10	1.30	2	1.47	0.63	<p>Índice de vulnerabilidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 5.39 <p>Pertenencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 0.90 <p>Clasificación en escala lingüística:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Medianamente vulnerable.
Piso	En x	En Y								
1	2.10	1.30								
2	1.47	0.63								

Vivienda 30 – 1 Piso – Mampostería no reforzada confinada.	
AIS 410-23	IVEM

<p>Modificaciones y reparaciones en la edificación:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Se proponen reforzamientos adicionales en aberturas. ➤ Se propone aseguramientos de elementos no estructurales. ➤ Se plantean vigas cintas para el correcto apoyo de correas. ➤ Demanda/capacidad: <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>Piso</td> <td>En x</td> <td>En Y</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0.92</td> <td>0.80</td> </tr> </table>	Piso	En x	En Y	1	0.92	0.80	<p>Índice de vulnerabilidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 5.59 <p>Pertenencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 0.90 <p>Clasificación en escala lingüística:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Medianamente vulnerable.
Piso	En x	En Y					
1	0.92	0.80					

Numero de pisos/ Índice de vulnerabilidad																				Promedios y repetición																																											
2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	1	2	2	3	1	1	2	1	3	2	3	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	1	5.24	5.39	5.76	6.16	5.12	6.26	4.57	5.35	5.52	5.53	6.92	5.79	6.63	6.64	6.35	5.21	3.6	6.25	5.03	5.11	5.59	6.03	6.16	5.19	5.67	4.84	5.52	5.68	5.39	5.59	5.60
Distancia máxima entre muros																																																															
x	x		x		x	x	x		x	x			x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x							63%																													
Falta de confinamiento																																																															
x	x	X	x			x	x					x	x	x	x	x	x			x	x		x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	70%																													
Reforzamientos en dinteles																																																															
x	x	X	x	x	x	x	x		x				x																						53%																												
Elementos no estructurales																																																															
x	x	x	x	x	x	x	x	x	x																										50%																												
Espesor muy pequeño																																																															
		X	x			x																														27%																											
Conexión correas																																																															
		x			x		x	x	x																												40%																										
Continuidad de muros																																																															
		x																																			23%																										
Requirió el cambio de sistema estructural																																																															
		x	x																																		13%																										
Calidad de los materiales																																																															
																																						23%																									
Muros de contención integrados																																																															
																																						7%																									
Dilataciones																																																															
																																						3%																									

Ilustración 47. Resumen de las principales estrategias de reforzamiento propuestas para mirador de corinto (Elaboración propia, 2024)

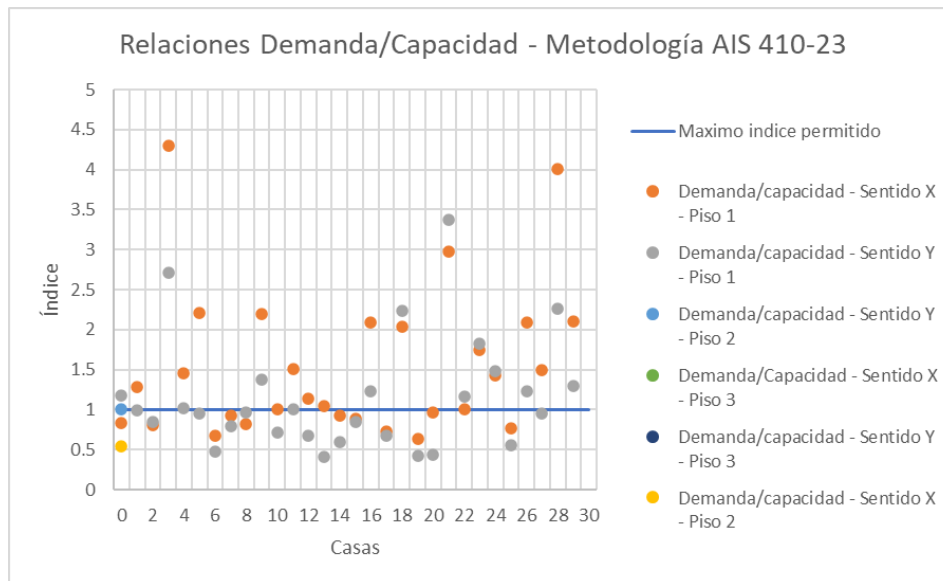


Ilustración 48. Índices demanda/capacidad en términos de porcentaje de área de muros, metodología AIS 410-23 (Elaboración propia, 2024)

Con base en todo lo abordado hasta el momento, es importante señalar que la metodología AIS 410-23 analiza la relación entre la demanda y la capacidad sísmica, teniendo en cuenta el área de muros necesarios y presentes; esto indica una influencia significativa de la calidad de los materiales y elementos estructurales en la edificación, por ende, es crucial llevar a cabo todas las reparaciones necesarias y mejorar los elementos existentes. Así mismo, se debe contemplar la creación de nuevos elementos para cumplir con los requisitos de ubicación y espacialidad antes de realizar el cálculo de la capacidad sísmica.

En contraste, la metodología IVEM incorpora los daños y afectaciones de los elementos en el cálculo de los valores de vulnerabilidad, por lo tanto, aunque la metodología AIS 410-23 cumple con las relaciones demanda/capacidad, IVEM sugiere que las edificaciones pueden ser moderadamente o muy vulnerables, incluso con la misma cantidad de elementos resistentes. En este sentido, mientras que una metodología ofrece recomendaciones específicas de reparación, la otra integra todos los parámetros para proporcionar un índice general de vulnerabilidad. Por esta razón, en este documento se proponen ambas metodologías como complementarias, con el objetivo de ofrecer un análisis más completo y preciso de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones.

Como era de esperar los índices demanda/capacidad calculados por medio de AIS 410-23, presentan mayor valor en el primer piso y en sentido X (lado corto), aunque son ligeramente

inferiores en el otro sentido; en cuanto a los pisos superiores estos empiezan a bajar lo que no significa que se cumplan en la mayoría de los casos (Véase Ilustración 48).

Sumado a lo anterior, en el 50% de los casos las edificaciones presentan malas condiciones en elementos no estructurales, como apoyos de las correas, parapetos o muros cortos sin confinamiento. Igualmente, la falta de confinamiento ya sea por vigas o columnas está presente en el 70% de las edificaciones, así mismo, la distancia máxima entre muros supera los 4 m en el 63% de las edificaciones. Estos parámetros explican por qué, aunque en la metodología AIS 410-23 el índice de demanda/capacidad para algunas edificaciones es bajo, en la metodología IVEM se sugieren edificaciones medianamente vulnerables.

Por otro lado, para el 13% de las edificaciones evaluadas AIS 410–23 sugirió un cambio en el sistema estructural; desde la perspectiva de IVEM, se sugirieron edificaciones muy vulnerables, además, es importante agregar que las condiciones críticas de los materiales en algunos casos contribuyeron a esta clasificación. En el caso de edificaciones de un piso con sistemas resistentes de mampostería no reforzada, se pudo mantener añadiendo elementos o incluso con mejoras en lo existente, pero para edificaciones de dos o tres pisos, se necesitó cambiar el sistema estructural. En algunos casos, IVEM las sugirió como medianamente vulnerables, incluso cuando se ingresaron parámetros de resistencia y sistema estructural con las peores condiciones posibles.

Se destaca que, en las edificaciones de un solo piso, que cuentan con algún muro de contención integrado a la vivienda, la metodología IVEM muestra índices de vulnerabilidad elevados, lo que indica que esta condición es considerada crítica según dicha metodología; lo mismo ocurre para las condiciones de calidad de los materiales.

A continuación, se presentan resultados y análisis para las 400 viviendas que se evaluaron por medio de la metodología IVEM y se resaltan algunos puntos del resultado.

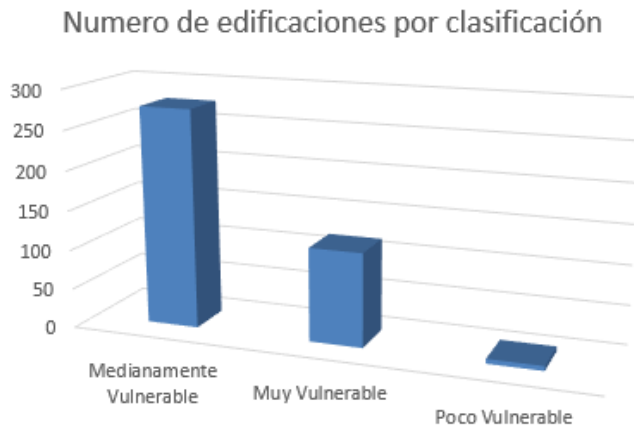


Ilustración 49. Clasificación de la vulnerabilidad para las edificaciones de mirador de corinto (Elaboración propia, 2024)

Como se evidencia en la Ilustración 49, el 69 % de las edificaciones son medianamente vulnerable, el 30 % muy vulnerable y el 2 % de edificaciones poco vulnerables, 6 casas con buena simetría, un solo piso y techo liviano.

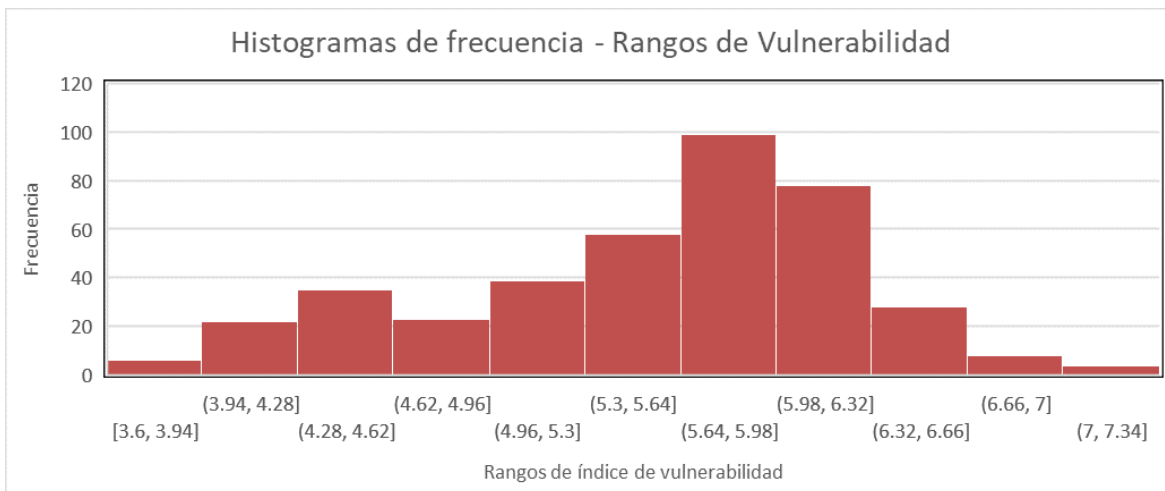


Ilustración 50. Histograma de frecuencias de vulnerabilidades (Elaboración propia, 2024)

En la Ilustración 50, puede observarse que el intervalo con la mayor cantidad de datos corresponde a (5.64, 5.98], indicando que la mayoría de las viviendas se encuentran dentro de este rango. Aunque el límite inferior para edificaciones clasificadas como "muy vulnerables" se estableció en 6, existe la posibilidad de que alguna vivienda pueda ser categorizada como tal dentro de un rango específico, por lo tanto, al realizar evaluaciones detalladas, es crucial examinar con especial cuidado los parámetros de sistema estructural,

sistema resistente y estado de conservación. Estos parámetros, análogamente a la metodología AIS-410, corresponden al sistema estructural, porcentaje de área de muros, distribución de elementos de confinamiento y calidad de los materiales, respectivamente.

El intervalo más próximo al mencionado anteriormente, corresponde a las edificaciones clasificadas como "*muy vulnerables*", con una frecuencia de 79 datos. En tercer lugar, se encuentran los datos que tienden a ser clasificados como "*medianamente vulnerables*", con una frecuencia del 58; esto indica que la mayoría de las edificaciones en el barrio, se sitúan en un rango muy cercano a la clasificación de "*muy vulnerable*". Las vulnerabilidades por vivienda fueron consignadas en el mapa de ArcGis presentado en la Ilustración 46 de este documento.

Capítulo VI

6.1 Recomendaciones

De la aplicación de las metodologías, así como del trabajo en campo y la determinación de las vulnerabilidades sísmicas sugerimos:

- Es crucial establecer una coordinación efectiva entre las entidades públicas involucradas en las evaluaciones, el equipo evaluador y la comunidad, como actividad previa a las campañas de evaluación. En este documento se sugiere la organización de cronogramas y la definición de objetivos comunes, esto no solo facilitará el trabajo, sino que también permitirá la generación de compromisos claros en términos de tiempo, entregables y recursos.
- El formato presentado en el anexo 1 del documento AIS 410-23, es una herramienta de evaluación sólida, considerando todas las características definidas a lo largo del documento; sin embargo, se identificaron algunas dificultades durante la evaluación, por lo que en este documento se elaboró un formulario de levantamiento que facilitó

los trabajos de campo (Anexo 1), por esta razón, se recomienda la inclusión de un formato descriptivo para el levantamiento de las edificaciones.

- Aunque el documento AIS 410-23 recopila la mayoría de los parámetros en los que diferentes metodologías de evaluación coinciden (Véase Ilustración 3), se sugiere evaluar, incluir y desarrollar recomendaciones de evaluación y refuerzo para elementos no estructurales, tales como, tanques plásticos, lámparas y, en general, aquellos que requieran algún tipo de anclaje.
- La evaluación de irregularidades en altura no es una condición clara dentro del manual, por lo que se sugiere hacerla explícita o, al menos, aclarar la manera en que se realiza dicha revisión.
- La metodología IVEM presenta una gran versatilidad en cuanto a la facilidad de calibración, por lo que se recomienda una revisión bibliográfica y de modelamiento cuidadosa para mejorar el conocimiento acerca de la influencia de las variables consideradas en la metodología.
- El uso de números difusos en la metodología IVEM, permite la aplicación de técnicas de análisis de datos e inteligencia artificial para su mejoramiento y correcta calibración, además, sugiere la facilidad de crear herramientas que faciliten el manejo de escenarios de gestión del riesgo y evaluaciones a escala regional, por lo que se sugiere plantear investigaciones tendientes a mejorar la metodología mediante el uso de las nuevas herramientas que supone la inteligencia artificial.
- Para el caso de AIS 410-23 se sugiere la posibilidad de evaluar la inclusión de la evaluación del mecanismo fuera del plano de los muros de mampostería no reforzada y semiconfinada.
- En ambas metodologías se sugiere la revisión de la estimación de acción sísmica para casos de media laderas/taludes. El efecto topográfico suele amplificar la acción sísmica en la corona del talud y reducirse en la pata de este.

Capítulo VII

7.1 Conclusiones

Este proyecto buscaba aplicar dos metodologías complementarias para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de viviendas informales al caso de estudio del barrio Mirador de Corinto en el municipio de Soacha. A continuación, se presentan las conclusiones más importantes sobre los aspectos evaluados por el trabajo:

- Los resultados de vulnerabilidad sísmica obtenidos con las dos metodologías empleadas en este trabajo son consistentes, aunque no son directamente comparables, porque, aunque ambas presentan parámetros de evaluación similares, una de ellas busca ser específica y proporcionar posibles recomendaciones de reforzamiento, mientras que la otra tiene como objetivo proporcionar una clasificación de vulnerabilidad.
- El barrio Mirador de Corinto presenta vulnerabilidades significativas, principalmente relacionadas con la calidad de los elementos confinantes en viviendas que emplean sistemas de mampostería confinada y la disponibilidad de muros para resistir el corte en sistemas de mampostería no reforzada. Los principales defectos identificados en estas edificaciones incluyen la falta de elementos de confinamiento, distancias entre muros paralelos mayores a 4 metros, carencia de dinteles y refuerzo en aberturas, insuficiencia o falta de aseguramiento en elementos no estructurales y conexiones de correas, así como la ausencia de continuidad vertical en los muros.
- Condiciones como muros de contención integrados a la edificación no son frecuentes, pero resultan determinantes en el cálculo de las vulnerabilidades sísmicas ya que arrojan los resultados más elevados. Lo mismo ocurre con condiciones de irregularidad y propiedades de los materiales.
- Las metodologías de reforzamiento presentadas en el documento AIS 410-23, están adecuadamente enfocadas puesto que abordan la mayoría de los problemas en las edificaciones; sin embargo, podría resultar beneficioso incluir algunas adiciones que resuelvan problemas comunes, como los anclajes en cubierta, y sugerir materiales y espaciamientos mínimos, especialmente en el caso del uso de elementos livianos.
- La metodología IVEM presenta resultados de vulnerabilidad consistentes con AIS 410-23; sin embargo, se sugiere la posibilidad de recalibrar los valores de

importancia difusos para cada parámetro, así como de los parámetros en sí, para lograr una evaluación más precisa. En algunos casos, se observó que el estado de vulnerabilidad entregado por IVEM era inferior al esperado, especialmente cuando el parámetro demanda/capacidad en AIS 410-23 era muy alto y era consistente con las observaciones en campo. Una recalibración cuidadosa de esta metodología, podría convertirla en una herramienta versátil adaptable a escenarios de gestión de riesgos.

- El formato anexo en AIS 410-23, es una herramienta de evaluación valiosa, no obstante, podría mejorarse para el trabajo de campo pues sugiere algunas verificaciones difíciles de realizar durante levantamientos y puede prestarse para confusiones debido a la falta de especificidad en algunos puntos.
- Para finalizar, el desarrollo de la herramienta ECIVUL, demostró que el enfoque de números difusos para manejar grandes volúmenes de datos y variables con cierta incertidumbre arroja resultados coherentes con metodologías más específicas. De modo que, permite adaptar diversas variables que influyen en el comportamiento sísmico de las edificaciones, siempre y cuando se posea un buen conocimiento de la influencia de estas variables.

Referencias bibliográficas

- [1] C. Yepes-Estrada y V. Silva, «52.PROBABILISTIC SEISMIC RISK ASSESSMENT OF THE RESIDENTIAL BUILDING STOCK IN SOUTH AMERICA», ene. 2017.
- [2] «1. Decreto 1077 de 2015 Sector Vivienda, Ciudad y Territorio». Accedido: 7 de noviembre de 2021. [En línea]. Disponible en: https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=77216
- [3] «2. Indicadores de Riesgo de Desastre y de Gestión de Riesgos: Programa para América Latina y el Caribe: Colombia | Publications». Accedido: 7 de noviembre de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Indicadores-de-Riesgo-de-Desastre-y-de-Gesti%C3%B3n-de-Riesgos-Programa-para-Am%C3%A9rica-Latina-y-el-Caribe-Colombia.pdf>
- [4] «3.Reglamento Colombiano De Construcción Sismo Resistente NSR-10». Accedido: 7 de noviembre de 2021. [En línea]. Disponible en: https://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/sites/default/files/reglamento_construccion_sismo_resistente.pdf
- [5] S. Londoño *et al.*, «4.La crisis humanitaria en Colombia persiste. El pacífico en disputa.», 2013.
- [6] «5. Asentamientos Informales, la Ciudad Invisible: si no nos los atendemos sólo habremos hecho la mitad de la tarea en materia de reducción de pobreza», El PNUD en Colombia. Accedido: 7 de noviembre de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.co.undp.org/content/colombia/es/home/presscenter/articles/2016/12/16/asentamientos-informales-la-ciudad-invisible-si-no-nos-los-atendemos-s-lo-habremos-hecho-la-mitad-de-la-tarea-en-materia-de-reduccion-de-pobreza.html>
- [7] «7.Modelación del riesgo sísmico en edificaciones para la ciudad de Bogotá Versión 2018 SISMARB». Accedido: 7 de noviembre de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.idiger.gov.co/documents/20182/417348/PRESENTACION>
- [8] «8.American Society of civil Engineers - 2007- Seismic rehabilitation of existing buildings», ASCE Library. Accedido: 15 de noviembre de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://ascelibrary.org/action/downloadCitation?prg140729=c545ec11-6dd9-48b0-84aa-23928ac77bf7>

- [9] «9.Unreinforced Masonry Buildings and Earthquakes FEMA 774». Accedido: 7 de noviembre de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://mitigation.eeri.org/wp-content/uploads/femap774.pdf>
- [10] «10. ATC-13.pdf». Accedido: 7 de noviembre de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.atccouncil.org/pdfs/atc13.pdf>
- [11] AIS, «11.AIS 410-23: Evaluación y reducción de la vulnerabilidad sísmica en viviendas de mampostería». AIS. [En línea]. Disponible en: <https://ddhhcolombia.org.co/wp-content/uploads/2023/08/2.1.-Anexo-tecnico-3.pdf>
- [12] «12.European Macroseismic Scale 1998.pdf». Accedido: 7 de noviembre de 2021. [En línea]. Disponible en: <http://lib.riskreductionafrica.org/bitstream/handle/123456789/1193/1281.European%20Macroseismic%20Scale%201998.pdf?sequence=1>
- [13] D. Benedetti y V. Petrini, «13.Sulla vulnerabilità sismica di edifici in muratura: un metodo di valutazione. A method for evaluating the seismic vulnerability of masonry buildings», *L'industria delle costruzioni*, n.º 149, pp. 66-74, 19840000, Accedido: 7 de noviembre de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.bcin.ca/bcin/detail.app?id=75082>
- [14] M. L. Carreño y O. D. Cardona, «14.EVALUACION DEL RIESGO SISMICO: UN MODELO BASADO EN LA TEORIA DE CONJUNTOS DIFUSOS», p. 9.
- [15] «15.Manual de construcción, evaluación y rehabilitación sísmo resistente de viviendas de mampostería». Accedido: 7 de noviembre de 2021. [En línea]. Disponible en: https://www.pseau.org/outils/ouvrages/ais_mamposteria_fraccionado_es.pdf
- [16] S. Safina Melone, «16.Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Análisis de su contribución al riesgo sísmico», Ph.D. Thesis, Universitat Politècnica de Catalunya, 2003. Accedido: 17 de noviembre de 2021. [En línea]. Disponible en: <http://www.tdx.cat/handle/10803/6226>
- [17] Servicio Geológico Colombiano, «17.Modelo nacional de amenaza sísmica para Colombia». 2020.
- [18] American Society of Civil Engineers, *18.Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*, 41.ª ed. Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 2017. doi: 10.1061/9780784414859.

- [19] «19.Manual de Evaluación y Reforzamiento Sísmico para Reducción de Vulnerabilidad en Viviendas». Accedido: 7 de noviembre de 2021. [En línea]. Disponible en: https://buildchange.org/app/uploads/2016/04/15-11-05-BC_Manual-de-Evaluacion-y-Reforzamiento.pdf
- [20] A. Marinilli y E. Castilla, «20.Evaluación sismorresistente de muros de mampostería confinada con dos o más machones», *Boletín Técnico*, vol. 45, n.º 2, pp. 58-73, jul. 2007, Accedido: 17 de julio de 2022. [En línea]. Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0376-723X2007000200004&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- [21] D. T. Dávila, «21.REFUERZO DE MUROS Y TABIQUES DE ALBAÑILERÍA CON MALLAS DE POLÍMERO».
- [22] G. AHUMADA FORERO, «22.REFORZAMIENTO Y REHABILITACIÓN DE FACHADAS DE MAMPOSTERIA, CONSTRUIDAS EN BOGOTÁ D.C.- COLOMBIA, ANTES DE LA EXPEDICIÓN DEL REGLAMENTO NSR-10». UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, 2015.
- [23] A. Marinilli y E. Castilla, «23.Evaluación sismorresistente de muros de mampostería confinada con dos o más machones», *Boletín Técnico*, vol. 45, n.º 2, pp. 58-73, jul. 2007, Accedido: 17 de julio de 2022. [En línea]. Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0376-723X2007000200004&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- [24] S. S. Tizapa, «24.DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ PARIS-EST», p. 195.
- [25] J. M. Leal Graciano, J. J. Pérez-Gavilán Escalante, J. H. Castorena González, A. Reyes Salazar, y M. A. Barraza Guerrero, «25.NUEVAS EXPRESIONES DE LAS NTCM (2017) PARA EL CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE MUROS DIAFRAGMA DE MAMPOSTERÍA», *RIS*, n.º 100, pp. 1-29, jul. 2019, doi: 10.18867/ris.100.531.
- [26] Bogota Colombia. 26.*Ensayo de mamposteria confinada*. [En línea Video]. Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=if4r_FSnng4
- [27] J. L. Varela-Rivera, S. Chan-Esquivel, y L. E. Fernández-Baqueiro, «27.COMPORTAMIENTO DE MUROS DE MAMPOSTERÍA CONFINADA CON ABERTURAS SUJETOS A CARGAS FUERA DEL PLANO», vol. 7, p. 14, 2015.
- [28] «28. La pobreza urbana y las condiciones de vivienda.pdf». Accedido: 18 de noviembre de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.cenac.org.co/apc-aa->

files/0ade36208dd78addf4cf67a52e84dba8/LA_POBREZA_URBANA_Y_LAS_CONDICIONES_DE_VIVIENDA_1.pdf

- [29] Juan Felipe Torres León, «29.Propuesta de Actualización Parcial del Manual de Evaluación y Reforzamiento Sísmico para Reducción de Vulnerabilidad en Viviendas de Mampostería no Estructural de Build Change». Accedido: 18 de noviembre de 2021. [En línea]. Disponible en:
<https://repositorio.escuelaing.edu.co/flip/index.jsp?pdf=/bitstream/handle/001/1120/Torres%20Le%c3%b3n%2c%20Juan%20Felipe-2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [30] T. Paulay y M. J. N. Priestley, *30. Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings*. New York: Wiley, 1992.
- [31] A. J. Kappos, G. Panagopoulos, C. Panagiotopoulos, y G. Penelis, «31.A hybrid method for the vulnerability assessment of R/C and URM buildings», *Bull Earthquake Eng*, vol. 4, n.º 4, pp. 391-413, nov. 2006, doi: 10.1007/s10518-006-9023-0.
- [32] «32.Falla Por Deslizamiento en Muros Armados | PDF | Fundación (Ingeniería) | Falla (geología)», Scribd. Accedido: 17 de julio de 2022. [En línea]. Disponible en:
<https://es.scribd.com/document/64012857/Falla-Por-Deslizamiento-en-Muros-Armados>
- [33] M. Javed, B. Alam, y S. M. Ali, «33.SEISMIC RESISTANCE & FAILURE MODES IN UNREINFORCED MASONRY SHEAR WALLS - A COMPARISON OF EXPERIMENTAL AND ANALYTICAL RESULTS», p. 16.
- [34] S. L. Restrepo, N. T. Castellanos, y I. J. Garavito, «34.EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MUROS DE MAMPOSTERÍA NO REFORZADA RECUBIERTA CON MORTERO REFORZADO», p. 10.
- [35] J. Vaculik, «35.Unreinforced masonry walls subjected to out-of-plane seismic actions», p. 329.
- [36] A. Shabani, M. Kioumars, y M. Zucconi, «6.State of the art of simplified analytical methods for seismic vulnerability assessment of unreinforced masonry buildings», *Engineering Structures*, vol. 239, p. 112280, jul. 2021, doi: 10.1016/j.engstruct.2021.112280.
- [37] F. De Luca, G. M. Verderame, y G. Manfredi, «36.Analytical versus observational fragilities: the case of Pettino (L'Aquila) damage data database», *Bull Earthquake Eng*, vol. 13, n.º 4, pp. 1161-1181, abr. 2015, doi: 10.1007/s10518-014-9658-1.

- [38]G. De Martino, M. Di Ludovico, A. Prota, C. Moroni, G. Manfredi, y M. Dolce, «37.Estimation of repair costs for RC and masonry residential buildings based on damage data collected by post-earthquake visual inspection», *Bull Earthquake Eng*, vol. 15, n.º 4, pp. 1681-1706, abr. 2017, doi: 10.1007/s10518-016-0039-9.
- [39]A. M. D'Altri *et al.*, «38.Modeling Strategies for the Computational Analysis of Unreinforced Masonry Structures: Review and Classification», *Arch Computat Methods Eng*, vol. 27, n.º 4, pp. 1153-1185, sep. 2020, doi: 10.1007/s11831-019-09351-x.
- [40]M. Rota, A. Penna, y G. Magenes, «39.A methodology for deriving analytical fragility curves for masonry buildings based on stochastic nonlinear analyses», *Engineering Structures*, vol. 32, n.º 5, pp. 1312-1323, may 2010, doi: 10.1016/j.engstruct.2010.01.009.
- [41]American Society of Civil Engineers, Ed., *40.Seismic rehabilitation of existing buildings*. Reston, Va: American Society of Civil Engineers, 2007.
- [42]American Society of Civil Engineers, «41.Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings».
- [43]E. Rondón, G. Chio Cho, y I. Gomez Araujo, «43.Índice de vulnerabilidad sísmica en edificaciones de mampostería basado en la opinión de expertos», *Ingeniería y Universidad*, ene. 2007.
- [44]E. Maldonado Rondón y G. Chio Cho, *44.Vulnerabilidad Sísmica en Centros Urbanos*, Universidad industrial de Santander. Universidad Industrial de Santander, 2010.
- [45]«51.Introducción a la Lógica Difusa - Damavis Blog». Accedido: 22 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://blog.damavis.com/introduccion-a-la-logica-difusa/>
- [46]A. Caballero, «46.DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA POR MEDIO DEL MÉTODO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD EN LAS ESTRUCTURAS UBICADAS EN EL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE SINCELEJO, UTILIZANDO LA TECNOLOGÍA DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA».
- [47]L. M. Castañeda Avendaño y J. Cruz Cordova, «47.Sistema de información geográfica con la metodología FEMA P-154 para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en la urbanización El Cercado, Villa María del Triunfo», *Universidad Ricardo Palma*, 2022, Accedido: 23 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/5895>

[48]L. N. Torres, «48.Tesis Elaboración de la zonificación de amenaza escala 1_1000 Barrio Mirador de Corinto». Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, diciembre de 2022.