

**DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL A VIVIENDA CON  
VULNERABILIDAD, EN EL BARRIO MONTEBLANCO EN LA LOCALIDAD DE  
USME, EN BOGOTÁ D.C.**

**VIVIANA ANDREA RAMIREZ PINZÓN  
CESAR AUGUSTO ISAZA GÓMEZ**

**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ D.C  
2015**

**DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL A VIVIENDA CON  
VULNERABILIDAD, EN EL BARRIO MONTEBLANCO EN LA LOCALIDAD DE  
USME, EN BOGOTÁ D.C.**

**Trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniero Civil**

**Asesor Disciplinar:  
Ing. Néstor Camargo  
Asesora Metodológica:  
Lic. Laura Milena Cala Cristancho**

**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ D.C  
2015**

## NOTA DE ACEPTACIÓN

Observaciones

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma Director Trabajo de Grado

---

Firma del presidente jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Bogotá, Diciembre de 2015

*A Dios.*

*Por sembrar en mí sentimientos de paz y alimentarme cada día de pensamiento bonito  
para proyectar mi luz al mundo.*

*A mi hijo, David, gracias por ser la personita que incremento en mí las fuerzas y las  
ganas de salir adelante con la carrera de la vida. Te amo Hijo.*

*A mi madre, Monica; y mi padre, Eduardo, gracias por el apoyo continuo. Por confiar  
siempre en mí, he encontrado mi camino, mi razón de ser.*

*A mi familia y a mis amigos, de quienes he recibido siempre apoyo. Quien despertó en mí  
el interés por leer, la curiosidad por investigar, la pasión por descubrir el mundo.*

*A todos aquellos maravillosos seres que han compartido junto a mí sus enseñanzas y  
mis logros en estos años, así como quienes han estado para darme una voz de aliento  
en los momentos difíciles.*

*A ti querido lector.*

*Y claro, a la vida por permitirme llegar a este punto, fin de una etapa más pero  
comienzo de otra nueva que viviré con mayor intensidad.*

*Viviana.*

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN .....	5
1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	7
2. JUSTIFICACIÓN.....	9
3. OBJETIVOS.....	11
3.1 OBJETIVO GENERAL .....	11
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	11
4. ANTECEDENTES.....	12
5. MARCO REFERENCIAL.....	16
5.1 MARCO CONCEPTUAL .....	16
5.1.1 Análisis de vulnerabilidad.....	18
5.1.2 Riesgo Sísmico.....	21
5.1.3 Reducción de la Vulnerabilidad .....	21
5.1.4 Resistencia y capacidad de funcionamiento requeridas.....	21
5.1.5 Daños estructurales.....	22
5.1.6 Concreto.....	25
5.1.7 La mampostería Estructural.....	27
5.1.8 Vulnerabilidad Sísmica de edificaciones en mampostería.....	33
5.1.8.1 Metodología de Evaluación de la vulnerabilidad Sísmica en construcciones de mampostería de ladrillo, adobe y tierra .....	35
5.2 MARCO GEOGRÁFICO.....	41
5.3 MARCO LEGAL .....	44
6. DISEÑO METODOLÓGICO .....	46
6.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	46
6.2 METODOLOGÍA PARA DETERMINAR LA VULNERABILIDAD .....	46
6.3 FASES DE INVESTIGACIÓN .....	48
7. RESULTADOS.....	51
7.1 DETERMINACIÓN DEL GRADO DE VULNERABILIDAD EN UNA DEL BARRIO MONTEBLANCO.....	51
7.1.1 Descripción de la ubicación de la vivienda estudiada.....	51
7.1.2 Análisis del Comportamiento Estructural de La Vivienda .....	55
7.1.3 Levantamiento arquitectónico.....	58
7.1.4 Calidad del diseño y la construcción, y del estado de la edificación.....	65

7.3.2.	Modelo Estructural.....	74
7.3.3.	Resultados de Análisis .....	75
7.4.	DISEÑO DE ELEMENTOS .....	76
7.4.1.	Diseño de cimentación, columnas, vigas y muros .....	76
7.5.	ANALISIS AL DISEÑO ESTRUCTURAL PROGRAMA DE COMPUTADOR	76
8.	ANALISIS DE RESULTADOS.....	77
9.	CONCLUSIONES .....	79
10.	RECOMENDACIONES.....	80
11.	REFERENCIAS .....	82

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Especificaciones establecidas en la Institución Colombia de Normas Técnicas .....	27
Tabla 2. Coeficiente $M_o$ para longitud mínima de muros estructurales confinados* .....	29
Tabla 3 Calidad del Diseño .....	32
Tabla 4. Estado de la Estructura .....	33
Tabla 5. Tipos de falla y agrietamientos asociado con fallas sísmicas.....	34
Tabla 6. Parámetros utilizados en algunos modelos de evaluación de la vulnerabilidad sísmica .....	35
Tabla 7. Escala numérica del Índice de vulnerabilidad $I_v$ de las edificaciones de mampostería no reforzada (Benedetti and Petrini, 1984). .....	38
Tabla 8. Descripción de las zonas geotécnicas.....	53
Tabla 9. Composición cerros.....	54
Tabla 10. Descripción de las estructuras .....	56
Tabla 11. Calidad del diseño y la construcción, o del estado de la edificación. ....	65
Tabla 12. Diseño y estado estructural de la vivienda.- Usme, Monteblanco .....	65
Tabla 13. Parámetros de Evaluación .....	66
Tabla 14. Resultados del ensayo esclerómetro.....	68
Tabla 15. Propiedades de los materiales de la vivienda existente .....	69
Tabla 16 Material Properties 03a - Steel Data.....	69
Tabla 17 Material Properties 03b - Concrete Data .....	69
Tabla 18. Load Pattern Definitions .....	71
Tabla 19. Derivadas máximas como porcentaje de $h_{pi}$ .....	75

## LISTA IMAGENES

Imagen 1. Ejemplos de mampostería reforzada.....	30
Imagen 2. Ejemplo de un Muro confinado y su comportamiento estructural .....	31
Imagen 3. Mapa de Bogotá D.C .....	41
Imagen 4 Localidad de Usme, Bogotá D.C .....	42
Imagen 5. Localidad de Usme, Bogotá D.C .....	42
Imagen 6. ZONA GEOTECNICA.....	52
Imagen 7. ZONA DE RESPUESTA SISMICA .....	53



## LISTA FOTOS

Foto 1. Tipología Viviendas.....	43
Foto 2. Habitantes de la casa.....	58
Foto 3. Fachada vivienda escogida en el barrio Monteblanco .....	59
Foto 4. Placa segundo piso.....	60
Foto 5. Estado actual de la placa.....	60
Foto 6. Elemento estructural sin estribos .....	61
Foto 7. Mampostería perimetral sobre la placa .....	62
Foto 8. Zonas húmedas .....	63
Foto 9. Cubierta en Zinc.....	64

## INTRODUCCIÓN

Esta investigación se desarrolla a partir de la problemática con la que vive la población de pocos recursos para construir su casa como lo establece el reglamento establecida por la Constitución Colombiana de Construcción, NSR 10 norma vigente, con este trabajo se pretende analizar las características estructurales físicas de estas viviendas.

De igual manera se desarrolla con un enfoque cualitativo, y tipo descriptivo y proyectivo, el cual permita reconocer la materia prima, características comunes de las viviendas, describiendo el diseño estructural. Así como experimental, toda vez que, se pretende modelar elementos estructurales como refuerzo para un tipo de vivienda que garantice la vivienda digna enunciada en la constitución política, identificar los cambios socio cultural relevante a los que esto conlleve.

El estudio se desarrollara en el barrio Monteblanco de la localidad de Usme en la ciudad de Bogotá D.C. donde se identifican grupos poblacionales conformados por familias nucleares (padre, madre hijo) o madres solteras (madre, hijo) generalmente con 2 o 3 hijos en promedio. Se muestra que la población predominante son niños, otra parte importante de la población que conforma un hogar también está compuesta por adultos mayores, estos se encuentran viviendo en solitario o en algunos casos en compañía de un adulto o niño.

Para poder desarrollar la presente investigación se recurrió inicialmente a una revisión bibliográfica de estudios ya realizados en Colombia, además de una revisión de la normatividad existente en el tema de vivienda de uno y dos pisos desde el punto de vista Legal y Técnico.

Se dice que una edificación es sismo resistente cuando se diseña y construye con una adecuada configuración estructural, con componentes de dimensiones apropiadas y materiales con una proporción y resistencia suficientes para soportar la acción de fuerzas causadas por sismos frecuentes. Aun cuando se diseñe y construya una edificación cumpliendo con todos los requisitos que indican las normas de diseño y construcción sismo resistente, siempre existe la posibilidad de que se presente un terremoto aún más fuerte que los que han sido previstos y que deben ser resistidos por la edificación sin que ocurran colapsos totales o parciales en la edificación.

Por esta razón, no existen edificios totalmente sismo resistentes. Sin embargo, la sismo resistencia es una propiedad o capacidad que se le provee a la edificación con el fin de proteger la vida y los bienes de las personas que la ocupan. Aunque se

presenten daños, en el caso de un sismo muy fuerte, una edificación sismo resistente no colapsará y contribuirá a que no haya pérdida de vidas ni pérdida total de la propiedad.

Una edificación no sismo resistente es vulnerable, es decir susceptible o pre-dispuesta a dañarse en forma grave o a colapsar fácilmente en caso de terremoto. El sobre costo que significa el sismo resistencia es mínimo si la construcción se realiza correctamente y es totalmente justificado, dado que significa la seguridad de las personas en caso de terremoto y la protección de su patrimonio, que en la mayoría de los casos es la misma edificación.

Para el análisis de la vulnerabilidad inicialmente se inicia con el levantamiento de la información de campo, teniendo en cuenta que se analizaran el tipo de vivienda con más irregularidades en plantas o en altura del total del barrio. Ver Anexo C. Registro fotográfico visita en campo de la vivienda.

## 1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La ciudad de Bogotá D.C. como centro político y de gobierno, es la ciudad con mayor población migrante y desplazada por la violencia de diferentes regiones del país, población que llega buscando facilidades de vida, en la mayoría de los casos resultan ser poblaciones denominadas vulnerables con limitadas capacidades de acceso a una vivienda digna. Como resultado de esta migración esta población en su mayoría, grupos familiares completos, se apropian de terrenos y/o lotes en donde construyen sus viviendas, las cuales no cuenta con las condiciones mínimas para garantizar una vivienda digna, estas “construcciones” presentan diferentes problemas de índole social y técnico.

Las viviendas de características similares en los países en vía de desarrollo y típicamente son el producto de una necesidad urgente de obtención de vivienda de las comunidades de bajos recursos económicos. Son viviendas elaboradas con diversos materiales reciclados, normalmente este tipo de vivienda carecen de la infraestructura de los servicios básicos como: agua potable, electricidad, gas domiciliario, con el transcurso del tiempo estos inmuebles se van dotando de los servicios mediante autoconstrucción y cooperación comunitaria.

Sus residentes habitan en un estado de inseguridad legal y social, ya que viven en suelos inadecuados como suelos blandos, sedimentarios, roca compacta que pueden tener una velocidad de onda mayor o menor donde pueden estar sujetos a amenazas de sismos, inundaciones o caída de material.

La vivienda con vulnerabilidad sísmica alta en la ciudad de Bogotá aumenta directamente proporcional con el tiempo, debido a los conflictos internos del país se evidencia el aumento de población de otras ciudades, familias de bajos recursos que llega a la ciudad con la necesidad de construir su propia vivienda, en zonas de alto riesgo, sin ningún tipo de control en los elementos estructurales.

Para un buen planteamiento estructural de una edificación de uno y dos pisos, la norma NRS 10 describe que depende, en gran parte, de que se sigan algunos de los criterios generales apropiados, entre los cuales se encuentra: una Sistema de Resistencia Sísmica que deben cumplir un comportamiento adecuado, individual como en conjunto, ante cargas verticales y horizontales, esto se logra con el conjunto de elementos estructurales como: muros, columnas, vigas, sistema de cimentación,

simetría y como se especifica en el los títulos A (Requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente), D (Mampostería estructural) y E (Casas de uno y dos pisos), de la NSR-10<sup>1</sup>.

Particularmente, en la localidad de Usme se ha dado la tendencia a construir viviendas, dada la situación social, económica, política y de seguridad presentada anteriormente. Estas viviendas no han sido construidas teniendo en cuenta parámetros de sismoresistencia establecidos en la norma, incrementando la vulnerabilidad de las estructuras. En el barrio Monteblanco se presenta viviendas en alto riesgo por causa del mal procedimiento constructivo, físicamente se puede presenciar riesgo de colapso por la falta de los elementos estructurales eficientes.

Cuando existe la probabilidad de que se presenten sismos como se presenta en la ciudad de Bogotá de cierta severidad en un lugar y en un tiempo determinado, se dice que existe amenaza sísmica. Para la localidad de Usme se tiene una actividad sísmica intermedia sobre un suelo de tipo C, rocoso como lo describe la norma NSR-10.

Teniendo en cuenta lo anterior, se formula la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo se puede reforzar estructuralmente una casa en situación de vulnerabilidad ubicada en el barrio Monteblanco en la localidad de Usme de la Ciudad de Bogotá D.C?

---

<sup>1</sup> Norma Sismo Resistente NRS-10, Titulo E Casas 1 y 2 pisos. Comisión Asesora permanente para el régimen de construcciones sismo Resistentes. Bogotá, Colombia, 2010.

## 2. JUSTIFICACIÓN

En Colombia y en muchos países del mundo se encuentran personas de alto nivel de pobreza, bajo nivel de educación, o aquellas que son obligadas a abandonar sus tierras por múltiples motivos y se ven a la necesidad de desarrollar viviendas de invasión presentando un alto nivel de riesgo para su familia ya que no presenta ningún tipo de diseño estructural ni arquitectónico, dado que no tienen la posibilidad de vivir en una vivienda digna, muchas de ellas se presentan fuera de normas establecidas por las autoridades encargadas del ordenamiento urbano.

La Ciudad de Bogotá al estar ubicada en una zona de riesgo sísmico medio – alto, es muy vulnerable ante una eventualidad de sismo alto, por lo que las zonas de estrato socio económico 1 y 2 se encuentran en su gran mayoría, en áreas con riesgo. Por estar ubicadas en suelos poco consolidados.

El suelo de Usme en general se puede caracterizar como tipo S3 de acuerdo con la definición de la Norma Colombiana de Construcción Sismo Resistente NRS – 10 y por lo tanto el coeficiente de sitio tiene un valor de 1.5, y es claro que el potencial de licuación en los estratos arcillosos del perfil, es nulo.

En estas zonas es muy común observar edificaciones que los muros divisorios y de fachada son utilizados como elementos estructurales, como se ve en el caso de muros de carga y mampostería confinada. En su mayoría estas construcciones tienen un sistema estructural basado en muros de carga, los cuales están contruidos sin ningún tipo de refuerzo, y en el caso de construcciones de mampostería confinada, los elementos de confinamiento son incompletos, es decir solo se hacen las columnas sin viga de amarre, o están dispuestos de tal manera que el muro confinado es de gran área. Estas características constructivas son de un alto riesgo para los habitantes de estas edificaciones.

Ya desde la Época Colonial, en particular desde el terremoto de 1785, se ha cuestionado severamente la calidad de las construcciones de Bogota. El aviso del terremoto, documento que describe los efectos del sismo, discute algunos aspectos relacionados con la calidad de los edificios y las casas de habitación de la época e incluso hace las primeras recomendaciones en materia de construcción sismoresistentes.

En 1917, tras los sismos del 30 y 31 de agosto, muchos comentarios surgen en la prensa a propósito de la calidad de las construcciones de la ciudad. Curiosamente, algunos de ellos insisten en que las construcciones modernas del momento se han comportado de manera menos adecuada que las tradicionales.

A la luz de la historia sísmica de la ciudad es evidente que el tema del comportamiento de las construcciones bogotanas frente a un futuro sismo tiene una plena vigencia y en varios aspectos y en muchos sectores de la ciudad se puede considerar crítico.

Los motivos que llevan a realizar la investigación en la temática, es la problemática estructural existente, por la falta de aplicabilidad del procedimiento constructivo en las zonas del estado, sin utilidad pública, y donde existen viviendas vulnerables. Por lo tanto, se plantea un estudio de vulnerabilidad estructural que permita un diseño para que por medio de un diseño de reforzamiento y pueda llegar a obtener una vivienda segura, con sus condiciones de habitabilidad necesaria.

El interés de investigar más a fondo en Bogotá el estado actual de las viviendas construidas sin ningún tipo de normatividad vigente y el comportamiento de las edificaciones ante un sismo, los resultados esperados de esta investigación, es la vulnerabilidad de la vivienda y con un diseño de reforzamiento estructural mejorar el índice de vulnerabilidad, desde la perspectiva de las normas y reglamentos de la constitución Colombiana.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un reforzamiento estructural para el mejoramiento de una vivienda en estado de vulnerabilidad en el barrio Monteblanco en la localidad de Usme en Bogotá.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Determinar el grado de vulnerabilidad de una vivienda del barrio Monteblanco de acuerdo al método de Benedetti y Prettini 1982.
- Analizar el comportamiento que tienen los diferentes elementos estructurales como muros, columnas, vigas en viviendas del barrio Monteblanco.
- Diseñar un reforzamiento estructural de la vivienda analizada que cumpla con lo establecido por la NSR-10.



#### 4. ANTECEDENTES

Una edificación debe quedar en pie luego de un sismo, desastre y pudiendo quedar inhabilitado debido a daños estructurales. Un estudio de vulnerabilidad busca determinar el comportamiento de los elementos ante un sismo típico de diseño con el consecuente reforzamiento o ajuste para garantizar la integridad de los habitantes.

Jorge Andrés Navia Llorente<sup>2</sup> y Barrera Roa, en el trabajo de grado titulado *Determinación del índice de Vulnerabilidad sísmica en viviendas de interés social de uno y dos pisos construidas con mampostería estructural en la ciudad de Bogotá D.C.*, plantean que el sistema constructivo (mampostería estructural) presenta enormes ventajas (económicas) frente a los demás sistemas constructivos y es de vital importancia que su comportamiento en un evento sísmico sea óptimo siempre y cuando se sigan los parámetros que indica la normatividad NSR 98, en su momento que era vigente. Se concluyó en este trabajo que las viviendas construidas antes de la norma NSR – 98 tienen los mismos problemas que las viviendas nuevas. Por lo que fue de vital importancia un reforzamiento estructura que lleve a un adecuado comportamiento de la estructura en un sismo.

En la ciudad de Bogotá, en zonas donde es común el uso de mampostería como material de construcción<sup>3</sup>. Además es muy frecuente observar errores de construcción que se cometen en la aplicación de sistemas estructurales de mampostería no reforzada. Por ésta razón este trabajo de investigación tiene como finalidad estimar el daño que pueden sufrir estas estructuras ante una eventualidad de sismo.

Con el propósito de comprender el comportamiento sísmico de la mampostería no reforzada en especial el de los sistemas que se alejan al cumplimiento de la normatividad de la NSR – 98, para lo cual se realizó un documento que inicia con una descripción básica de los aspectos generales de riesgo sísmico. Luego presenta un recuento sobre la mampostería, en el cual se encuentra historia, actualidad y sistemas de construcción en mampostería. Luego se describe el comportamiento dinámico de

---

<sup>2</sup> NAVIA Llorente, Jorge Andrés y BARRERA Roa, Elkin Mauricio. *Determinación del índice de Vulnerabilidad sísmica en viviendas de interés social de uno y dos pisos construidas con mampostería estructural en la ciudad de Bogotá D.C.* Universidad de la Salle. 2007

<sup>3</sup> GIRALDO Galvis, Jairo Andrés y MÉNDEZ Nivia, David Mauricio. *Evaluación de Vulnerabilidad Sísmica en viviendas de Mampostería en estratos uno y dos según tipificación de la estructura.* Bogotá, Colombia. 2006.

construcciones en mampostería no reforzada mencionando los tipos de falla que estas presentan. Después se hace una presentación de las malas prácticas en mampostería no reforzada, por último se muestran la descripción de dos modelos a escala 1:5 y el procedimiento de ensayo, formas de fallas que se presentan en los modelos sobre los sistemas de mampostería fallados.

Se estudiaron de 5 casas coloniales en Cartagena<sup>4</sup> para un trabajo de grado en unas casas con vulnerabilidad ubicadas en el barrio San Diego, se concluyó que en la mayoría de las casas estudiadas muestra problemas de humedad, grietas, goteras por lo tanto se definió que el barrio San Diego de Cartagena centro histórico presenta una vulnerabilidad alta ya que tiene un índice de 40.33%, por lo que se encuentra en el límite, valor mayor del 35%. Pero se observa que la raíz de la vulnerabilidad de las casas son los materiales y el procedimiento constructivo, los suelos no están causando ningún factor de riesgo.

Para el proyecto de Vulnerabilidad Sena Agroindustrial El Hachon<sup>5</sup> en el kilómetro 17 vía Villavicencio – puerto Lopez, fue construida en el 1962, estas edificaciones tienen un nivel con estructuras en mampostería confinada, y cubiertas en estructura metálica y teja de asbesto cemento.

Tienen estructuras como la de la cimentación en zapatas aisladas y mampostería sobre viga de amarre, el sistema estructural se compone de muros portantes en mampostería, en algunos casos se encuentra confinada con columnetas. Hay sistema de pórticos en concreto reforzado con columnas y vigas.

La geometría de la edificación debe ser sencilla en planta y en elevación. Las formas complejas, irregulares o asimétricas causan un mal comportamiento cuando la edificación es sacudida por un sismo. Una geometría irregular favorece que la estructura sufra torsión o que intente girar en forma desordenada. La falta de uniformidad facilita que en algunas esquinas se presenten intensas concentraciones de fuerza, que son en general difíciles de resistir.

Entre más liviana sea la edificación menor será la fuerza que tendrá que soportar cuando ocurre un terremoto. Grandes masas o pesos se mueven con mayor

---

<sup>4</sup> BARRARE Ramos Omar Enrique y NIEVES Corredor Oscar David. Vulnerabilidad en las casas coloniales ubicadas en el barrio de San Diego de la ciudad de Cartagena, Universidad de Cartagena, Bolívar. 2015.

<sup>5</sup> MUNAR C Yesid. Vulnerabilidad sede Sena Agroindustrial El Hanco, Consultoría Estructural, Villavicencio. 2013.

severidad al ser sacudidas por un sismo y, por lo tanto, la exigencia de la fuerza actuante será mayor sobre los componentes de la edificación. Cuando la cubierta de una edificación es muy pesada, por ejemplo, ésta se moverá como un péndulo invertido causando esfuerzos y tensiones muy severas en los elementos sobre los cuales está soportada.

Es deseable que la estructura se deforme poco cuando se mueve ante la acción de un sismo. Una estructura flexible o poco sólida al deformarse exageradamente favorece que se presenten daños en paredes o divisiones no estructurales, acabados arquitectónicos e instalaciones que usualmente son elementos frágiles que no soportan mayores distorsiones.

Las edificaciones deben ser firmes y conservar el equilibrio cuando son sometidas a las vibraciones de un terremoto. Estructuras poco sólidas e inestables se pueden volcar o deslizar en caso de una cimentación deficiente. La falta de estabilidad y rigidez favorece que edificaciones vecinas se golpeen en forma perjudicial si no existe una suficiente separación entre ellas.

La cimentación debe ser competente para transmitir con seguridad el peso de la edificación al suelo. También, es deseable que el material del suelo sea duro y resistente. Los suelos blandos amplifican las ondas sísmicas y facilitan asentamientos nocivos en la cimentación que pueden afectar la estructura y facilitar el daño en caso de sismo.

Para que una edificación soporte un terremoto su estructura debe ser sólida, simétrica, uniforme, continua o bien conectada. Cambios bruscos de sus dimensiones, de su rigidez, falta de continuidad, una configuración estructural desordenada o voladizos excesivos facilitan la concentración de fuerzas nocivas, torsiones y deformaciones que pueden causar graves daños o el colapso de la edificación.

Los materiales deben ser de buena calidad para garantizar una adecuada resistencia y capacidad de la estructura para absorber y disipar la energía que el sismo le otorga a la edificación cuando se sacude. Materiales frágiles, poco resistentes, con discontinuidades se rompen fácilmente ante la acción de un terremoto. Muros o paredes de tapia de tierra o adobe, de ladrillo o bloque sin refuerzo, sin vigas y columnas, son muy peligrosos.

Se deben cumplir los requisitos de calidad y resistencia de los materiales y acatar las especificaciones de diseño y construcción. La falta de control de calidad en la construcción y la ausencia de supervisión técnica ha sido la causa de daños y colapsos de edificaciones que aparentemente cumplen con otras características o principios de la sismo resistencia. Los sismos descubren los descuidos y errores que se hayan cometido al construir.

Una estructura debe ser capaz de soportar deformaciones en sus componentes sin que se dañen gravemente o se degrade su resistencia. Cuando una estructura no es dúctil y tenaz se rompe fácilmente al iniciarse su deformación por la acción sísmica. Al degradarse su rigidez y resistencia pierde su estabilidad y puede colapsar súbitamente. Los flejes o estribos en las vigas y columnas de concreto deben colocarse muy juntos para darle confinamiento y mayor resistencia al concreto y la armadura longitudinal.

Los componentes no estructurales como tabiques divisorios, acabados arquitectónicos, fachadas, ventanas, e instalaciones deben estar bien adheridos o conectados y no deben interactuar con la estructura. Si no están bien conectados se desprenderán fácilmente en caso de un sismo. También pueden sufrir daños si no están suficientemente separados, es decir si interactúan con la estructura que se deforma lateralmente ante la acción del sismo.

Los materiales utilizados en la construcción de la sede entre otra el concreto, acero de refuerzo y mampostería. Se concluye después de realizar todos los estudios a establecidos en la investigación que la estructura a la luz de NSR-10. Presenta grandes deficiencias en su vulnerabilidad sísmica, tratándose como agravante que se encuentra en una zona Sísmica Alta, en un instituto de Educación, el cual es catalogado como de atención a la comunidad, y cuyas estructuras deben permanecer ante cualquier evento sísmico.

Según con lo anterior, este trabajo se guiará con los antecedentes mencionados para continuar con éxito del diseño de un reforzamiento estructural para el mejoramiento de una vivienda en estado de vulnerabilidad en el barrio Monteblanco en la localidad de Usme en Bogotá.

## 5. MARCO REFERENCIAL

### 5.1 MARCO CONCEPTUAL

Para comprender como va interactuar y responder una estructura que estará sometida a diferentes eventos durante su vida útil, es necesario estudiar principalmente los aspectos geológicos o naturales que pueden afectarla, como pueden ser: ubicación cercana o lejana de fallas geológicas y la profundidad en las que se encuentren, la ubicación del terreno respecto a fuentes hídricas que puedan producir inundaciones o altos niveles freáticos, el empuje de corrientes de viento y la respuesta del suelo con la aceleración en roca.

Además de estos aspectos naturales, son de vital importancia los aspectos estructurales, entre los cuales se destacan: el uso que se le dé al edificio, su configuración estructural, el tipo y calidad de los materiales, “calidad de los diseños y el cuidado” <sup>6</sup> que se haya seguido durante la construcción e instalación de la edificación. Para poder abordar este estudio es necesario tener presentes los siguientes conceptos: Riesgo sísmico, Amenaza Sísmica y Vulnerabilidad Sísmica. Hay dos problemas estructurales principales al construir, lograr dar altura y generar espacios horizontalmente al interior de la estructura. En mampostería la primera se logra utilizando columnas, muros y torres. Antiguamente desde tiempos del hombre Cromagnon se acostumbraba simplemente apilar piedras una encima de la otra para lograr altura. Entre más plana la pieza mejor porque daba más estabilidad tenía. Está demostrado que se podían apilar unidades de mampostería de hasta 1600 metros de altura, sin que las unidades de la primera línea sean aplastadas sin embargo es prácticamente imposible debido que factores de alineación y de fuerza de viento o de sismo que comprometerían seriamente la estabilidad de la estructura.

Por otro lado como se mencionaba anteriormente, también se construyeron muros de un tamaño considerable utilizando distintos tipos de mampostería, que se utilizaban como muros de contención, para proteger comunidades, etc., por lo cual eran muy comunes. También eran usados para los muros de los muros perimetrales de las torres. Estas estructuras eran relativamente económicas en el uso de materiales, sin embargo siguen siendo consideradas estructuras masivas para los estándares de

---

<sup>6</sup> RAMOS Q Julio. Análisis de la vulnerabilidad sísmica del edificio central bloque norte de la Universidad de Caldas, 2003.

diseño modernos, ya que se han llegado a encontrar ejemplos de torres que llegan a tener muros de hasta 2 metros de espesor en base, lo cual en la mayoría de los casos genere asentamientos.

En cuanto a los elementos horizontales encontramos la aplicación del uso de dinteles o vigas hechos con troncos de madera o con piedras en gran tamaño para evitar la fractura. También el uso de arcos, que van desde arcos primitivos hechos simplemente de rocas una apoyada sobre la otra, hasta arcos más complejos utilizando elementos de mampostería más detallada.

Para la Geometría se deben construir muros en dos direcciones perpendiculares entre sí. La geometría de la vivienda debe ser regular y simétrica. Una vivienda simétrica, bien construida, resiste mejor la acción de los terremotos. Se debe evitar construir viviendas con formas alargadas y angostas donde el largo de la vivienda es mayor a tres veces su ancho.

Geometrías irregulares o asimétricas en el plano horizontal como vertical causan un mal comportamiento cuando la vivienda es sacudida por un sismo. Una geometría irregular favorece que la vivienda sufra torsión o que intente girar en forma desordenada. La falta de uniformidad facilita que en algunas esquinas se presenten intensas concentraciones de fuerza, que pueden ser difíciles de resistir.

En la Resistencia es necesario garantizar uniformidad en el uso de los materiales en los muros, estructuras, cubiertas y demás. Esto permite una respuesta integral de la edificación en caso de sismo. La vivienda debe ser firme y conservar el equilibrio cuando es sometida a la vibración de un terremoto. Viviendas poco sólidas e inestables se pueden volcar o deslizar fácilmente.

Cuando se habla de Rigidez es deseable que los elementos que conforman la estructura de la vivienda se empalmen monolíticamente como una unidad y que se deformen poco cuando la vivienda se mueve ante la acción de un sismo. Una vivienda flexible o poco sólida al deformarse exageradamente favorece que se presenten daños en paredes o divisiones no estructurales, acabados arquitectónicos e instalaciones que usualmente son elementos frágiles que no soportan mayores distorsiones.

Para la Continuidad de una edificación soporte un terremoto su estructura debe ser

sólida, simétrica, uniforme, continua o bien conectada. Cambios bruscos de sus dimensiones, de su rigidez, falta de continuidad, una configuración estructural desordenada o voladizos excesivos facilitan la concentración de fuerzas nocivas, torsiones y deformaciones que pueden causar graves daños o el colapso de la edificación.

En una vivienda los ejes de los muros deben ser colineales y la mampostería con juntas y pegas continuas. Debe existir aproximadamente la misma longitud de muros en las dos direcciones perpendiculares de la vivienda. Esto se debe a que las fuerzas del sismo se pueden presentar en cualquier dirección.

Cuando la vivienda tiene dos pisos es necesario que los muros que cargan el techo sean una continuación de los muros del primer piso que se apoyan sobre la cimentación. Si los muros del segundo piso no coinciden exactamente con los muros del primer piso, éstos simplemente aumentan las cargas o el peso sobre el primer piso sin ayudar a soportar las fuerzas que causa el terremoto. Las aberturas en los muros de la vivienda deben estar distribuidas en todos los muros en forma equilibrada.

### **5.1.1 Análisis de vulnerabilidad**

La vulnerabilidad sísmica de una estructura se define como la predisposición intrínseca a sufrir daño ante la ocurrencia de un movimiento sísmico y está asociada directamente con sus características físicas y estructurales de diseño<sup>7</sup>.

La vulnerabilidad sísmica se puede realizar a muchas partes de la estructura, entre las cuales sobresalen:

- Elementos estructurales
- Elementos no estructurales
- Contenidos (maquinarias, muebles, enseres y demás elementos que formen el mobiliario de la estructura).

Un estudio de vulnerabilidad sísmica no sólo atiende la vulnerabilidad de los elementos estructurales sino que también, está asociada a la organización humana y

---

<sup>7</sup> BONNET R. (2003). Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios. Aplicación a entornos urbanos en zona de amenaza alta y moderada (tesis doctoral), 2010.

a su relación con la infraestructura. Esta relación debe considerar los distintos estados de la infraestructura para las diversas situaciones de desastre. Vulnerabilidad estructural.

Al determinar el grado de impacto que tendría la acción de un sismo sobre una estructura es importante determinar si la estructura es segura para habitarla. La Asociación Colombiana De Ingeniería Sísmica (AIS), la define como: “la susceptibilidad de la vivienda a sufrir daños estructurales en caso de un evento sísmico determinado”<sup>8</sup>.

La vulnerabilidad sísmica depende de aspectos como: la geometría de la estructura, aspectos constructivos y aspectos estructurales. De esta forma elaborar una estimación del grado de impacto que tendrá un sismo sobre una estructura se vuelve un trabajo totalmente complicado puesto que las características de cada construcción abren un sin fin de variables. Aun así la estimación es necesaria pero se aplica un muestreo cuando se requieren resultados globales.

Las metodologías para determinar la vulnerabilidad sísmica son numerosas, algunas presentan fallas porque dejan de evaluar ciertas características que influyen en la estabilidad de la estructura porque las instrucciones sobre cada uno de los parámetros y sus respectivas calificaciones son realizados por cualquier persona con los conocimientos básicos del tema pueda llenar los formularios pero esto puede conducir a resultados fallidos porque algunos parámetros son de naturaleza descriptiva y estas calificaciones dependen de la objetividad del observador.

Según la norma Sismo resistente NSR 10 el análisis de vulnerabilidad sísmica de una edificación existente consiste en los siguientes aspectos:

- a) Determinación de los índices de sobreesfuerzo individual de todos los elementos estructurales de la edificación, considerando las relaciones entre la demanda sísmica de esfuerzos y la capacidad de resistirlos.
- b) Formulación de una hipótesis de secuencia de falla de la edificación con base en la línea de menor resistencia, identificando la incidencia de la falla progresiva de los elementos, iniciando con aquellos con un mayor índice de sobreesfuerzo.

---

<sup>8</sup> AIS (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica). Manual de Construcción, Evaluación y Rehabilitación Sismo Resistente de Viviendas de Mampostería. San Salvador: LA RED (La Red de Estudios Sociales en Prevención en Desastres en América Latina), 2001. p.2-4



- c) Definición de un índice de sobre esfuerzo general de la edificación, definido con base en los resultados de (b). el inverso del índice de sobreesfuerzo general expresa la vulnerabilidad de la edificación como una fracción de la resistencia que tendría una edificación nueva construida de acuerdo con los requisitos de la presente versión del Reglamento.
- d) Obtención de un índice de flexibilidad general de la edificación, definido con base en el procedimiento definido en A.10.4.3.5. de la norma NSR 10. El inverso del índice de flexibilidad general expresa la vulnerabilidad sísmica de la edificación como fracción de la rigidez que tendría una edificación nueva construida de acuerdo con los requisitos de la norma vigente.

En la verificación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones indispensables existentes se debe incluir, además de lo anterior, al menos los siguientes aspectos:

- a) Identificar la influencia de los movimientos sísmicos de diseño y de los movimientos sísmicos correspondientes al umbral de daño como lo establece la norma sismoresistente NSR 10 en el Capítulo A.12.
- b) Determinar el cortante basal resistente de la edificación en su totalidad, ya sea por flexión o por esfuerzos cortantes, teniendo en cuenta los diferentes mecanismos de colapso posibles. Esta evaluación puede realizarse utilizando el procedimiento definido en el Apéndice A-3 de la norma sismo resistente NSR 10. Esta verificación puede realizarse para la distribución, en la altura de la edificación, de las fuerzas sísmicas horizontales que prescribe el método de la fuerza horizontal equivalente, o el método del análisis dinámico.
- c) Por medio de metodología inelásticas adecuadamente sustentadas como la presentada en el Apéndice A-3, llevar a cabo la identificación del modo de falla prevaleciente, ya sea por flexión o por cortante. El valor del coeficiente de capacidad de disipación de energía  $R'$  a emplear, debe ser concordante con la sustentación indicada, con la secuencia de degradación de rigidez y resistencia esperadas, y con su influencia en la vulnerabilidad sísmica de la edificación.

Cuando los índices de sobre esfuerzo y flexibilidad de la estructura existente son menores que la unidad no hay necesidad de intervenir el sistema estructural existente, siempre y cuando la porción nueva de la edificación se separe de la antigua con una junta apropiada de acuerdo con los requisitos del Capítulo A.6 de la norma. En este caso la porción nueva debe diseñarse y construirse de acuerdo con los requisitos del Reglamento para edificaciones nuevas.

### **5.1.2 Riesgo Sísmico**

Se entiende por riesgo sísmico, el grado de pérdidas esperadas de sufren las estructuras durante el lapso de tiempo que permanecen expuestas a la acción sísmica<sup>9</sup>. El riesgo sísmico está ligado tanto en la ocurrencia de eventos sísmicos que afecten a la estructura (amenaza sísmica) como a la respuesta de esta ante dichos movimientos del terreno (vulnerabilidad sísmica).

### **5.1.3 Reducción de la Vulnerabilidad**

Muchas de las edificaciones existentes en Colombia no cumplen con las normativas técnicas REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE (NSR-10), para que se asegure su funcionamiento después de que ocurra un desastre natural; lo que significa, que su vulnerabilidad puede ser tan alta, que su riesgo puede exceder los niveles aceptados actualmente. Por lo tanto es necesario que se tomen las medidas de mitigación, con base a los requisitos ingenieriles y así, reducir el riesgo.

El estudio de vulnerabilidad sísmica para una estructura altamente vulnerable, es necesario reestructurarla o rehabilitarla, con el objetivo de aumentar su resistencia, disminuir los desplazamientos, aumentar la ductilidad por curvatura y lograr una distribución adecuada de las fuerzas, entre los diferentes elementos resistentes tanto en planta como en altura.

### **5.1.4 Resistencia y capacidad de funcionamiento requeridas.**

La edificación en conjunto es la unión de la estructura antigua con la estructura nueva, y que trabajan en conjunto tanto en fuerzas horizontales como para cargas verticales, por lo tanto el análisis y diseño debe tener en cuenta de una manera integrada la porción antigua y la porción nueva; y se deben tomar todas las precauciones necesarias para que la acción en conjunto ocurra.

La edificación en conjunto se debe analizar utilizando las fuerzas y esfuerzos y que sea capaz de resistir, tanto las cargas horizontales como las cargas verticales. Además la cimentación, incluyendo las modificaciones.

---

<sup>9</sup> RAMOS Q Julio. op cit., P 12

### 5.1.5 Daños estructurales

En general, las enseñanzas que han dejado los movimientos sísmicos indican que en los países donde se diseña de acuerdo con una buena normativa sísmo resistente, donde la construcción es sometida a una supervisión estricta y donde el sismo de diseño es representativo de la amenaza sísmica real de la zona, el daño sobre la infraestructura es marginal en comparación con el observado en sitios donde no se han dado estas circunstancias<sup>10</sup>.

Desde una perspectiva histórica, un código por sí solo no puede garantizar la seguridad contra el daño excesivo, puesto que los códigos son reglamentos que establecen requisitos MÍNIMOS, los que a su vez experimentan actualizaciones continuas de acuerdo con los avances tecnológicos y las enseñanzas que dejan las investigaciones y los estudios de los efectos causados por terremotos, que no son más que pruebas de laboratorio a escala real. La ductilidad y redundancia estructural han resultado ser los medios más efectivos para proporcionar seguridad contra el colapso, especialmente si los movimientos resultan más severos que los anticipados por el diseño. El daño severo o colapso de muchas estructuras durante sismos importantes es, por lo general, consecuencia directa de la falla de un solo elemento o serie de elementos con ductilidad o resistencia insuficiente.

Cuando los daños son estructurales imputables a la interacción adversa con elementos no estructurales, el alcance de la reparación se puede limitar a reparar los elementos estructurales afectados, eliminando la interacción adversa de los elementos no estructurales, siguiendo el Capítulo ya mencionado en el párrafo anterior.

- Fisura

“Se denomina fisura la separación incompleta entre dos (2) o más partes con o sin espacio entre ellas, afecta la superficie del elemento o su acabado superficial. Su identificación se realizará según su dirección, ancho y profundidad utilizando los siguientes adjetivos: longitudinal, transversal, vertical, diagonal, o aleatoria”.

Los rangos de los anchos de acuerdo con el ACI son los siguientes (ASOCRETO 2010):

---

<sup>10</sup> Ibíd Pág 36.

## TIPO MEDIDA

Fina Menos de 1 mm

Media Entre 1 y 2 mm

Ancha Más de 2 mm

- Grieta

La grieta es la “Abertura incontrolada que afecta a todo el espesor del muro”. Una fisura o una grieta puede tener múltiples orígenes, en este informe técnico algunas de las causas más comunes de dichas patologías fueron:

- a) Deficiencia en los procesos y técnicas constructivas.
- b) Acciones mecánicas externas (cargas y asentamientos diferenciales del terreno).
- c) Construcciones nuevas y adosadas a las existentes sin control.

- Pisos débiles

Varios tipos de esquemas arquitectónicos y estructurales conducen a la formación de los llamados pisos débiles o suaves, es decir, pisos que son más vulnerables al daño sísmico que los restantes, debido a que tienen menor rigidez, menor resistencia o ambas cosas<sup>11</sup>:

La presencia de pisos débiles se puede atribuir a:

- Diferencia de altura entre pisos.
- Interrupción de elementos estructurales verticales en el piso.

Pisos débiles es aquel en el cual la resistencia ante fuerzas horizontales del sistema de resistencia sísmica, el piso es menor que el 75% de la resistencia ente fuerzas horizontales del sistema inmediatamente del piso superior.

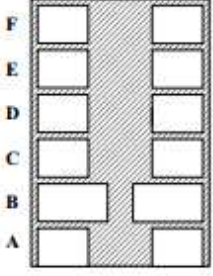
En la norma NSR 10 se describe en la tabla A.3 -7 discontinuidad en la resistencia, que en la irregularidad de altura los pisos débiles la resistencia es menor al 80 % del piso inmediatamente superior o igual 65%, entendiéndose la resistencia del piso como la suma de las resistencias de todos los elementos que comparten el cortante del piso

---

<sup>11</sup> ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. Fundamentos para la Mitigación de Desastres en Establecimientos de Salud. Washigton, D.C: OPS el 1999. Pág 38.

para la dirección considerada la estructura se considera irregular, como se muestra en la imagen 1.

Imagen 1. Irregularidades en altura.

<p><b>Tipo 5aA — Piso débil</b>  <math>\phi_a = 0.9</math>  <b>0.65 Resist. Piso C <math>\leq</math> Resist. Piso B &lt; 0.80 Resist. Piso C</b></p>	
<p><b>Tipo 5bA — Piso débil extremo</b>  <math>\phi_a = 0.8</math>  <b>Resistencia Piso B &lt; 0.65 Resistencia Piso C</b></p>	

Fuente: Figura A.3-2 Norma Sismoresistente NSR 10.

- Columnas débiles

Las columnas dentro de una estructura tienen la vital importancia de ser los elementos que transmiten las cargas a las cimentaciones y mantienen en pie a la estructura, razón por la cual cualquier daño en este tipo de elementos puede provocar una redistribución de cargas entre los elementos de la estructura y traer consigo el colapso parcial o total de una edificación<sup>12</sup>.

El diseño sísmico de pórticos (estructuras formadas preferentemente por vigas y columnas) busca que el daño producido por sismos intensos se produzca en vigas y no en columnas, debido al mayor riesgo de colapso del edificio por el de daño en columnas. Sin embargo, muchos edificios diseñados según códigos de sismo resistencia han fallado por esta causa. Estas fallas pueden agruparse en dos clases:

- Columnas de menor resistencia que las vigas.
- Columnas cortas.

Varias son las causas de que el valor de la longitud libre se reduzca drásticamente y se considere que se presenta una columna corta: ciertos tipos de interacción entre los elementos no estructurales y la estructura de la edificación deben evitarse a toda costa. Dentro de este tipo de interacción se encuentra el caso de estas columnas en las cuales la columna está restringida en su desplazamiento lateral por un muro no estructural que no llega hasta la losa de entrepiso en su parte superior. En este caso

<sup>12</sup> Ibíd Pág 36.

el muro debe separarse de la columna, o ser llevado hasta la losa de entrepiso superior, si se adherido a la columna.

Si estas columnas cortas o cautiva se encuentran el mal estado representan un peligro para la vida ante la ocurrencia de un sismo en el futuro. Esto se debe calcular con A.9.5.2 de la norma NRS 10.

Confinamiento lateral parcialmente en la altura de la columna por muros divisorios, muros de fachada, muros de contención, etc.

- Disposición de losas en niveles intermedios.
- Ubicación de la edificación en terrenos inclinados.

Las propiedades de los elementos y componentes más allá de fluencia deben tener en cuenta la degradación de la resistencia y la rigidez de acuerdo con los principios de la mecánica estructural o los resultados de ensayos experimentales. El modelo para columnas debe tener en cuenta la influencia de la carga axial cuando se excede el 15% de la resistencia a la compresión. Igualmente se deben considerar los efectos de figuración de la sección en el caso de las propiedades de rigidez de elementos de concreto y mampostería, así como la contribución de las deformaciones de las zonas de panel para los desplazamientos generados de piso en los pórticos en los pórticos de acero resistentes a momentos. Se debe suponer que la estructura tiene una base fija o alternativamente se debe permitir usar consideraciones reales con relación a la rigidez y a las características de capacidad de carga de las funciones, consistentemente con los datos del suelo específico del sitio y los principios racionales de la mecánica de suelos.

### **5.1.6 Concreto**

El Concreto presenta propiedades mecánicas a ser tenidas en consideración en el diseño estructural y en el control de obra.

- Resistencia a la compresión.

Esta se determina en muestras estandarizadas (cilindros) de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura llevadas a la rotura mediante cargas repetitivas de corta duración. Esta resistencia se mide luego de 28 días de fraguado bajo condiciones controladas de humedad.

La resistencia a la compresión de un concreto ( $f'c$ ) utilizada en el diseño estructural se mide en términos probabilísticos tomando la resistencia media de un conjunto de muestras ensayadas en laboratorio.

Los concretos a la compresión se consideran normales con resistencias entre (210 – 280 kg/cm<sup>2</sup>).

A menor relación de agua cemento mayor resistencia, a mayor compactación mayor resistencia, y a mejores granulometrías se obtendrán mayores resistencias.

- Módulo de Elasticidad.

Cuando se dibujan las curvas esfuerzo deformación ( $\epsilon-\bar{\delta}$ ) de las muestras cilíndricas de concreto bajo estándar ASTM, se obtienen gráficas que dependen de la rotura del material.

Los concretos de menor resistencia muestran una mayor capacidad a la deformación que los concretos de mayor resistencia.

La pendiente de la curva en el rango de comportamiento lineal recibe el nombre de Módulo de Elasticidad o Módulo de Young y se simboliza " $E_c$ ".

El Módulo de Elasticidad es diferente para las diferentes resistencias a la compresión de los concretos e incrementa su valor cuando la resistencia es mayor.

El ACI (American Concrete Institute) y el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, proponen una expresión obtenida experimentalmente del Módulo de Elasticidad en función de la resistencia.

El valor medio para toda la información experimental nacional, sin distinguir por tipo de agregado, es:

$$E_c = 3900\sqrt{f'_c} \text{ en MPa}$$

C.8.5 NSR-10

$E_c = 3900\sqrt{f'_c}$  donde:

$E_c$  = Módulo de Elasticidad en Mpa.

$f'_c$  = Resistencia a la Compresión en Mpa.

Otras propiedades del concreto que se deben controlar son: Ductilidad, Resistencia a la Tracción, Resistencia al Corte y Flujo Plástico.

### 5.1.7 La mampostería Estructural

En la construcción con base en piezas de mampostería unidas con mortero, cuyo refuerzo principal está dado por elementos de concreto reforzado (vigas y columnas) construidas en los bordes del muro. Estos elementos de concreto reforzado atienden todas las fuerzas de tracción (flexiones) y la parte de los esfuerzos cortantes que no resiste el muro de mampostería<sup>13</sup>.

Según la norma en el numeral E 3.2 unidades de mampostería que se utilicen en la casas de uno y dos pisos pueden ser de concreto, de arcilla cocida o de silical. Las unidades de mampostería pueden ser de perforación vertical, de perforación horizontal o maciza y deben cumplir las especificaciones establecidas en la NTC Instituto Colombiano de Normas Técnicas y certificación, INCONTEC, que se relacionan a continuación en la tabla 1.

**Tabla 1. Especificaciones establecidas en la Institución Colombia de Normas Técnicas**

UNIDADES	NORMA	DESCRIPCIÓN
<b>CONCRETO</b>	NTC 4026 (ASTM C90)	Las unidades de bloque de perforación vertical portante de concreto deben cumplir con la norma
	NTC 4026 (ASTM C55)	Las unidades portantes de concreto macizas tolete, deben cumplir con la norma

<sup>13</sup> BETSY, María. Estudio de Suelos. Bogotá (30-mar-2009). Disponible en internet: [http://jgranados4.blogspot.com/2009\\_03\\_01\\_archive.html](http://jgranados4.blogspot.com/2009_03_01_archive.html)



<b>ARCILLA</b>	NTC 4076 (ASTM C129)	Las unidades de concreto de resistencia baja, deben cumplir con la norma
	NTC 4205 (ASTM C34)	Las unidades de perforación vertical portante de arcilla deben cumplir con la norma
	NTC 4205 (ASTM C652)	Las unidades de arcilla maciza tolete deben cumplir con la norma
	NTC 4205 (ASTM C56, C212, C216)	Las unidades de arcilladle resistencia clase baja, deben cumplir con la norma

**Fuente:** Especificaciones establecidas en la NTC Instituto Colombiano de Normas Técnicas y certificación, INCONTEC.

Es un método constructivo que igual a los otros métodos tiene ventajas y desventajas variando el uso, lugar y demás variables de la estructura. El ladrillo de arcilla es el primer material creado por el ser humano sobre los cuatro elementos de la tierra agua y aire para masajearlo y secarlo y fuego para secarlo.

Características de los muros confinados:

- ✓ Deben estar confinados por columnas y vigas de confinamiento.
- ✓ Los componentes no estructurales como muros divisorios, acabados arquitectónicos fachadas ventanas, e instalaciones deben estar bien adheridas.
- ✓ Todos los elementos de confinamiento tienen refuerzo tanto longitudinal como transversalmente y están adecuadamente dispuestos.
- ✓ Las culatas y antepechos también están confinadas.
- ✓ La longitud de muros confinados requerida en cada direcciones principales de la edificación, en metros, no puede ser menor que la que se obtiene por medios de la siguiente ecuación.

$$L_{\min} = \frac{M_o A_p}{t} \quad (\text{E.3.6-1})$$

Dónde:

- $L_{\min}$  = Longitud mínima de muros estructurales en cada dirección (m)  
 $M_o$  = Coeficiente que se lee en la tabla E.3.6-1 de la NRS 10  
 $T$  = Espesor efectivo de muros estructurales en el nivel considerado (mm)  
 $A_p$  = Se considera en  $m^2$  como sigue:

- Igual al área de la cubierta en construcciones de un piso con cubierta en losa de concreto
- Igual al área de cubierta para muros del segundo nivel en construcciones de dos pisos, cuando la cubierta es una losa de concreto.
- Igual al área de cubierta más al área de entrepiso para muros de primer nivel en construcciones de dos pisos con cubierta consistente en una losa de concreto
- Cuando se emplee una cubierta liviana, los valores del área determinados para cubiertas de losa de concreto según a), b) o c)

**Tabla 2. Coeficiente  $M_o$  para longitud mínima de muros estructurales confinados\***

Zona e Amenaza Sísmica	Valores $A_a$	Valores $M_o$
Alta	0.40	33.0
	0.35	30.0
	0.30	25.0
	0.25	21.0
Intermedia	0.20	17.0
	0.15	13.0
Baja	0.10	8.0
	0.05	4.0

**Fuente:** Tabla E 3.6-1 Norma Sismoresistente NRS 10.

(\*) Los valores de  $A_a$  dependen de la zona sísmica en donde se construye el proyecto. Para ello consultar el mapa de la figura A.2.3.3 y la Tabla A.2.3-2

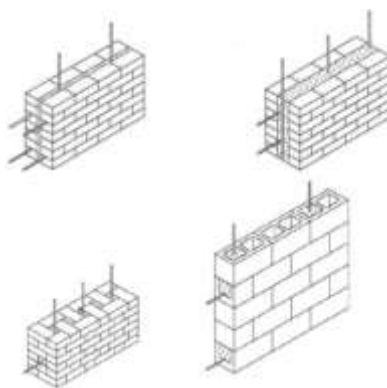
### 5.1.7.1 Mampostería no reforzada

Este tipo de mampostería ha sido comúnmente utilizado en construcciones de mediana y baja altura y en áreas de baja actividad sísmica. Los elementos de mampostería no reforzada son los más simples de construir ya que no tienen ningún tipo de reforzamiento aunque es posible incluir en algunas ocasiones juntas de refuerzo livianas para controlar el agrietamiento por encogimiento, por lo tanto estos elementos se basan en la resistencia de la mampostería misma para resistir cargas. Ya que la mampostería es fuerte a compresión pero débil a tensión, la mampostería no reforzada tiene gran resistencia bajo cargas compresivas pero tienen una limitada resistencia a cargas que causan esfuerzos tensores. Por lo tanto los esfuerzos tensores en mampostería no reforzada deben ser diseñados para ser menores que la fuerza tensora, de lo contrario se asume que la sección fallara.

### 5.1.7.2 Mampostería Reforzada

Aunque la mampostería antigua era esencialmente no reforzada el metal se usaba algunas veces para anclar una unidad de mampostería a otra. A partir del terremoto de Long Beach, California en 1933 donde muchas edificaciones de mampostería no reforzada colapsaron, se hizo evidente el usar refuerzo en edificaciones para mejorar el comportamiento estructural de estas ante un sismo. La función principal del refuerzo que se le incorporó a la mampostería es la de resistir esfuerzos tensores y cortantes y proveer una ductilidad adecuada.

Imagen 2. Ejemplos de mampostería reforzada

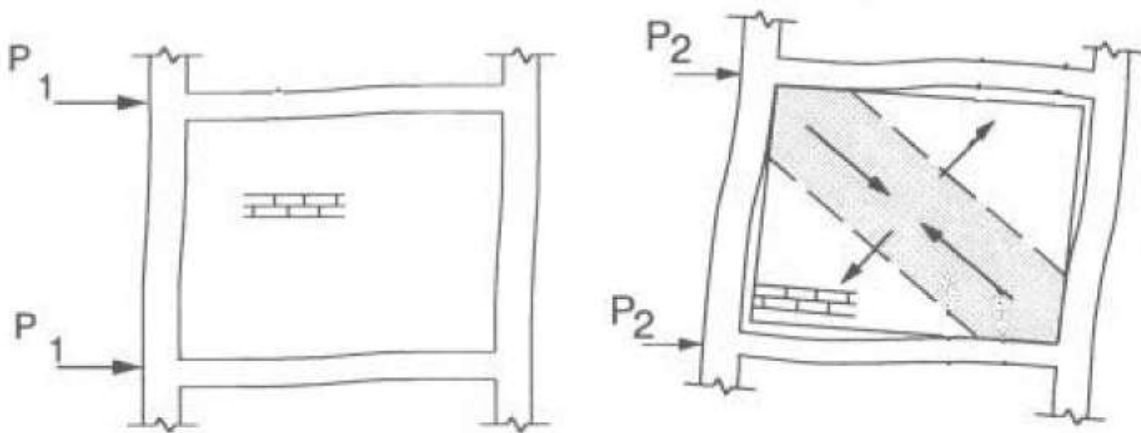


Fuente: Vulnerabilidad sísmica vivienda.

- Sistemas Híbridos

La mampostería puede ser usada con otros materiales para construir edificaciones que funcionan con un sistema híbrido. Muros en mampostería para cortante se han utilizado en sistemas de pórticos de acero para absorber carga de cortante lateral, otro uso de gran importancia en nuestro medio es el de la mampostería confinada con concreto reforzado donde los muros de mampostería le dan rigidez a la estructura para controlar la deriva. En estos casos es necesario tener un diseño y una construcción detallada y apropiada para permitir movimientos diferenciales a largo plazo de los muros y pórticos evitando que se genere sobreesfuerzos y fallas. La mampostería confinada debe ser diseñada apropiadamente para resistir cargas ya que de lo contrario estas fallaría y por lo tanto reducirían la rigidez de la estructura considerablemente y como resultado de esto, el incremento de deformaciones y esfuerzos en el sistema a porticado.

**Imagen 3. Ejemplo de un Muro confinado y su comportamiento estructural**



**Fuente:** Vulnerabilidad sísmica vivienda.

Para que una vivienda clasifique como de vulnerabilidad sísmica intermedia o alta es suficiente con que presente eficiencias en cualquier de sus elementos, pueden ser geométricos, constructivos, estructurales, cimentación o el entorno, suelos<sup>14</sup>.

---

<sup>14</sup> Asociación Ingeniería Sísmica, AIS. Colombiana, 2012.

La estructura se debe analizar para la aplicación de las acciones sísmicas ocurriendo simultáneamente con los efectos de carga muerta combinadas con no menos del 25% de las cargas vivas requeridas por el diseño.

El método del índice de vulnerabilidad ha sido ampliamente utilizado en Italia durante los últimos 20 años y su gran aceptación ha quedado demostrada por la GNTD (Grupo Nazionale per la Difesa dei Terremoti) que lo ha adoptado para los planes de mitigación de desastres a nivel gubernamental. Esto ha permitido la evolución del método, como resultado de la experimentación durante todos esos años.

El cálculo del índice de vulnerabilidad. De acuerdo con la escala de Benedetti – Petrini, el índice se obtiene mediante una suma ponderada de los valores numéricos que expresan la calidad de cada uno de los elementos estructurales y no estructurales.

Según la definido en A.10.2.2.1 y A.10.2.2.2. NRS – 10. (Evaluación de Acuerdo al criterio), se establece la calidad del diseño y la construcción de la estructura original. El concepto de este,<sup>15</sup> se define en la en términos de la mejor tecnología existente en la época en que se contribuyó la edificación. Dentro la calificación de tenerse en cuenta el potencial de mal comportamiento de la edificación debido a la distribución irregular de la masa o la rigidez, la ausencia de diafragmas, anclajes, amarres y otros elementos necesarios para garantizar su buen comportamiento de ella ente las distintas sollicitaciones. Esta calidad del diseño y la construcción de la estructura original deben calificarse de forma cualitativa de acuerdo al criterio del ingeniero que realiza la inspección, esta se cataloga como buena, regular o mala como se aprecia en la tabla 3.

**Tabla 3 Calidad del Diseño**

	<b>BUENA</b>	<b>REGULAR</b>	<b>MALA</b>
<b><math>\phi C</math></b>	<b>1.0</b>	<b>0.8</b>	<b>0.6</b>

**Fuente:** Norma sismo Resistente NRS-10

<sup>15</sup> Normas Técnicas de Construcción Colombiana, NTC. 2010 p. A-112

En el estado de la estructura la NSR10 (Asociación de Ingeniería Sísmica, 2010) recomienda que debe hacerse una calificación del estado actual de la estructura de la edificación, basado en aspectos tales como: sismos que la puedan haber afectado, fisuras por cambio de temperatura, corrosión de las armaduras, asentamientos diferenciales, reformas, deflexiones excesivas, estado de elementos de unión y otros aspectos que permitan determinar su estado actual. El estado de la estructura existente debe calificarse de forma cualitativa de acuerdo al criterio del ingeniero que realiza la inspección, esta se cataloga como buena, regular o mala, así como se muestra en la Tabla 4.

**Tabla 4. Estado de la Estructura**

	<b>BUENA</b>	<b>REGULAR</b>	<b>MALA</b>
<b><math>\phi_e</math></b>	<b>1.0</b>	<b>0.8</b>	<b>0.6</b>

**Fuente:** Norma sismo Resistente NRS10






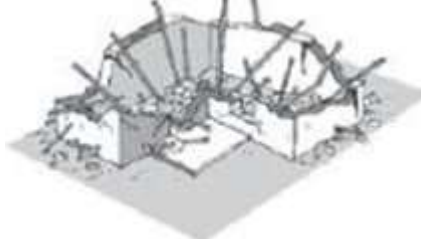
### **5.1.8 Vulnerabilidad Sísmica de edificaciones en mampostería**


Las edificaciones de mampostería presentan usualmente unas características constructivas que contribuyen a aumentar su vulnerabilidad sísmica. Frecuentemente la edad de estas edificaciones y el deterioro de las propiedades mecánicas de sus materiales llevan a una disminución adicional de su capacidad de soportar un terremoto.

Los principales factores que contribuyen a aumentar la vulnerabilidad sísmica de construcciones en mampostería son: irregularidades en planta y en altura, distribución inadecuada de los muros en planta, pérdida de la verticalidad -o plomo- de los muros, problemas de humedad, filtraciones, conexión inadecuada entre muros, pérdida de recubrimiento de muros, uso de materiales no compatibles, entresijos pesados y ausencia de diafragmas, apoyo y anclaje inadecuado de elementos de entresijo y cubiertas sobre muros, entresijos muy flexibles, luces muy largas y estructuración de cubierta deficiente, entre otros

Este tipo de construcciones que no siguen una reglamentación adecuada presenta un esquema de fallas así:

**Tabla 5. Tipos de falla y agrietamientos asociado con fallas sísmicas**

TIPO DE FALLA	ESQUEMA
<p>Flexión perpendicular al plano del muro.                      Agrietamiento horizontal en la base o a una altura intermedia y agrietamientos verticales adicionales.                      Esto se presenta frecuentemente en muros largos.</p>	
<p>Falla por flexión perpendicular al plano del muro con agrietamiento vertical en la zona central.                      Agrietamiento diagonal que constituye el mecanismo de falla y fisura.</p>	
<p>Falla por flexión perpendicular al plano en las esquinas no confinadas de muros sueltos, o en esquinas no conectadas efectivamente con los muros transversales.</p>	
<p>Falla por cortante en el plano del muro asociada a altos empujes horizontales. En muchos casos estos agrietamientos están asociados a entrepisos a cubiertas muy pesadas y se ven magnificados con las aberturas correspondientes a las puertas y ventanas en los muros.</p>	
<p>Caída de la cubierta hacia el interior de la vivienda, por encontrarse mal apoyada sobre los muros. Se genera una falla en la zona superior de los muros.</p>	
<p>Falla generalizada de la cubierta por ausencia de un apoyo adecuado o por mala estructuración de ella. Este tipo de mecanismo de falla es frecuente en edificaciones con cubiertas muy pesadas, mal concebidas estructuralmente o con</p>	

TIPO DE FALLA	ESQUEMA
alto grado de deterioro	
Falla que se presenta por mala conexión de los muros del primer piso con los segundo. En este mecanismo de falla el entrepiso rompe los muros principales en forma casi horizontal, generando la inestabilidad del segundo piso.	

**Fuente:** Método del índice de vulnerabilidad (Benedetti y Petrini, 1982)

### 5.1.8.1 Metodología de Evaluación de la vulnerabilidad Sísmica en construcciones de mampostería de ladrillo, adobe y tierra.

Este método inicia por los terremotos de los años 70 en Italia, este método tiene unos datos importantes que se tomaron para establecer la metodología, que fueron;

- a) Está fundamentada en datos reales.
- b) Se puede aplicar en estudio a niveles urbano.
- c) Se tiene la experiencia de haberse aplicado en diferentes ciudades de Italia con buenos resultados y como consecuencia se adaptó oficialmente por un organismo gubernamental de protección civil (Gruppo Nazionale per la Difesa dei Terremoti, GNDT).
- d) Se ha aplicado en España en los sismos de Almería en 1993 y 1994 (Yépez, 1994) y Murcia en 1999 (Mena, *et al* 1999).
- e) En general se ha aplicado en diversos trabajos como los Angeletti *et al*, 1988; Benedetti *et al*, 1988; Caicedo, 1993; Babat *et al*, 1996; Grimaz, 1994; Yépez . 1996; Mena, 1997; el proyecto Europa SERGISAI, 1998; Mena *et al*, 1999, entre otros

**Tabla 6. Parámetros utilizados en algunos modelos de evaluación de la vulnerabilidad sísmica**

METODOLOGÍA	CRITERIOS DE EVALUACIÓN
FEMA – 154 (1988)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Altura de la edificación</li> <li>• Irregularidad en planta</li> </ul>



METODOLOGÍA	CRITERIOS DE EVALUACIÓN
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Irregularidad en altura</li> <li>• Año de construcción</li> </ul>
EMS – 98 (1998)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materiales empleados</li> <li>• Nivel de desempeño</li> </ul>
Índice de Vulnerabilidad Benedetti y Petrini (1986)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Organización del sistema resistente</li> <li>• Calidad del sistema resistente</li> <li>• Capacidad – demanda</li> <li>• Posición del edificio y la cimentación</li> <li>• Diafragmas horizontales</li> <li>• Irregularidad en planta</li> <li>• Irregularidad en altura</li> <li>• Distancia máxima entre muros</li> <li>• Cubierta</li> <li>• Elementos no estructurales</li> <li>• Estado de conservación</li> </ul>
Cardona y Hurtado (1990)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad - demanda</li> <li>• Irregularidad en planta</li> <li>• Irregularidad en altura</li> <li>• Tipo de suelo</li> </ul>
AIS (2001)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aspectos geométricos Irregularidad en planta Cantidad de muros Irregularidad en altura</li> <li>• Aspectos constructivos Calidad de las juntas de pega Tipo y disposición de las unidades Calidad de los materiales</li> <li>• Aspectos estructurales Muros confinados y reforzados Detalles de aceros</li> </ul>

METODOLOGÍA	CRITERIOS DE EVALUACIÓN
	Vigas de amarre coronas Aberturas en los muros Entrepiso Amarre de cubierta <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cimentación</li> <li>• Suelo</li> <li>• Entorno</li> </ul>
ATC – 13 (1985)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo de estructura</li> <li>• Sistema estructural</li> </ul>
ASCE 41 – 06	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo de estructura</li> <li>• Sistema estructural</li> <li>• Aspectos estructurales</li> <li>• Tipo de suelo</li> <li>• Vida útil</li> <li>• Método sísmico no lineal</li> </ul>

**Fuente:** Memorias de Diseño Estructural –Vulnerabilidad Sísmica el Hachon

- Método Índice de vulnerabilidad ( Benedetti y Petrini, 1982)

El método del índice de vulnerabilidad (Benedetti y Petrini, 1984) identifica los parámetros más importantes que controlan el daño en los edificios causados por un terremoto o por el pasar del tiempo. El método califica diversos aspectos de las edificaciones tratando de distinguir las diferencias existentes en un mismo tipo de construcción o tipología. Esta es una ventaja sobre los métodos que clasifican las construcciones por tipología, material, o daño de construcción como son el ATC – 13C y las escalas de intensidad, entre otros. Esta metodología considera aspectos como la configuración en planta y elevación, el tipo de cimentación, los elementos estructurales y no estructurales, el estado de conservación, y el tipo y calidad de los materiales para evaluar los parámetros que calificados individualmente en una escala numérica (afectada por un peso  $W_i$ , que trata de enfatizar su importancia relativa en el resultado

final), proporciona un valor numérico de la calidad estructural o vulnerabilidad sísmica de los edificios de hormigón.

En total son once parámetros que calificados con su valor máximo de observa un índice de 392.5 (el valor mínimo es 0,0). La Tabla 7, muestra los once parámetros considerados en la calificación de las estructuras, los valores correspondientes a los coeficientes de la clasificación posible  $K_i$  de acuerdo a la condición de la calidad (de A - óptimo a D - desfavorable) y los factores de peso  $W_i$  asignados a cada parámetro. Los factores  $K_i$  y  $W_i$  se obtuvieron de una manera subjetiva basada en la experiencia de los investigadores y de los datos reales obtenidos en daca evento sísmico. Finalmente, el índice de vulnerabilidad global de cada edificación se evalúa utilizando la ecuación 1.

$$I = \sum_{i=1}^{11} K_i \cdot W_i \quad \text{Ec. 1.}$$

En la tabla 7 se muestra la escala numérica del índice de vulnerabilidad según Benedetti, 1984 como se describe en el párrafo anterior.

**Tabla 7. Escala numérica del Índice de vulnerabilidad  $I_v$  de las edificaciones de mampostería no reforzada (Benedetti and Petrini, 1984).**

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

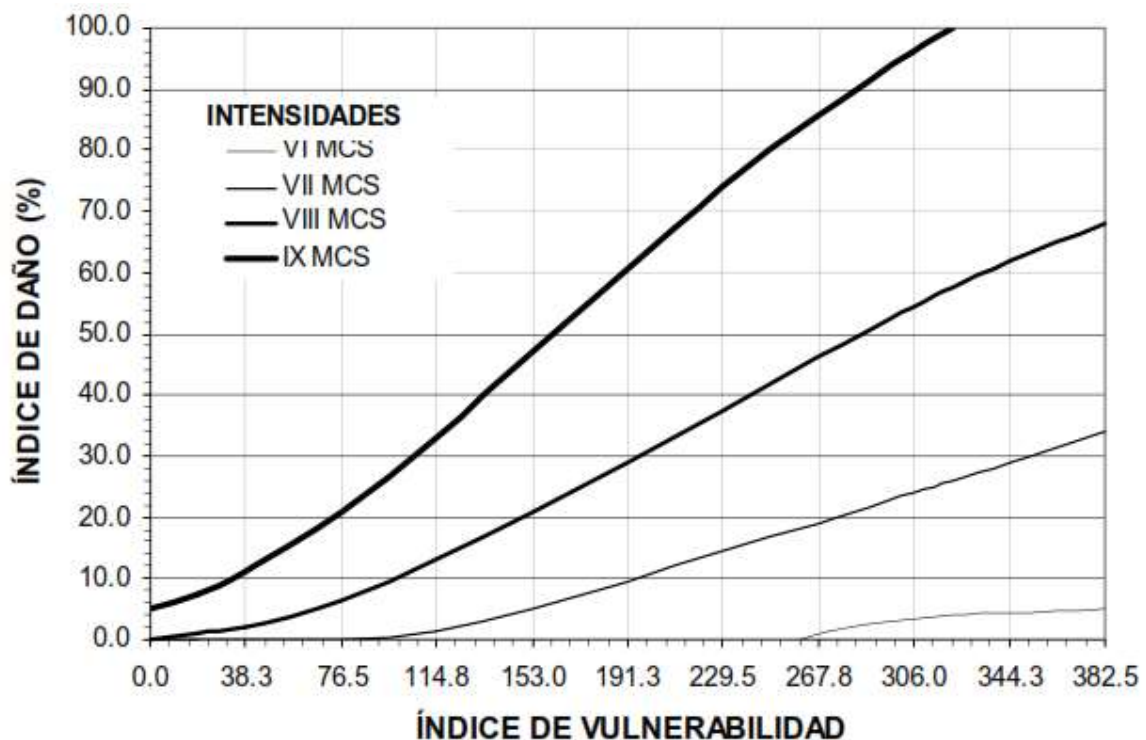
**Fuente:** Método del índice de vulnerabilidad (Benedetti y Petrini, 1984)

De los valores obtenidos en los estudios post – terremoto en Italia, con respecto al índice de vulnerabilidad y daño en las edificaciones se obtuvieron correlaciones para diferentes intensidades, utilizando funciones de vulnerabilidad. Dichas funciones relacionan el índice de vulnerabilidad ( $I_v$ ) con un índice de daño económico global (ID) para una intensidad dada. Un ejemplo de estas funciones se puede ver en la gráfica 1 (Angeletti et al, 1988), fruto de varios análisis de los levantamientos después de los terremotos en las localidades de Venzone y Barrea en Italia y expresadas matemáticamente de la siguiente manera:

$$D = 100 \cdot \left[ \rho + k \cdot I_v + \frac{I_v^2}{I_v^2 + A^2} \right] \quad \text{EC. 2}$$

Los coeficientes  $\rho$ ,  $k$  y  $A$  se obtienen del análisis de correlación.

**Gráfica 1. Funciones de índice de vulnerabilidad propuesta por Angeletti et al, 1988.**



**Fuente:** Método del índice de vulnerabilidad (Benedetti y Petrini, 1982)

Evidentemente, estas funciones de vulnerabilidad sólo se pueden aplicar a las zonas en donde se realizó el estudio, ya que depende de factores como el tipo de material, forma constructiva, tipo de suelo y al factor subjetivo de las personas que realiza los levantamientos, entre otras razones, por lo que la aplicación directa de las funciones en algún otro sitio podría conducir a resultados erróneos e inclusive, dependiendo del objetivo del estudio peligrosos. Sin embargo, la metodología del índice de vulnerabilidad sí se puede exportar a otros sitios, en donde se requiera realizar estudios de riesgos sísmico, como ha sido el caso de España, en el que por primera vez se obtuvieron funciones de vulnerabilidad fuera de Italia utilizando dicha metodología.

El índice de vulnerabilidad se puede entender como un valor que ayuda a evaluar la falta de seguridad en los edificios ante carga sísmicas, además forma parte de la definición de las funciones de vulnerabilidad, las cuales relacionan el índice de vulnerabilidad  $I_v$  con el índice de daño global de las estructuras. El Daño observado en las estructuras después de un movimiento sísmico, permite deducir por medio de métodos probabilistas las funciones de vulnerabilidad. El índice de daño global  $D$ , caracterizado por el estado estructural de un edificio completo después de un sismo puede ser definido como la combinación ponderada de los valores describiendo el estado post – sismo de los diferentes componentes estructurales tales como los elementos verticales y horizontales, los muros y los componentes no estructurales. El resultado final en el índice de daño en un rango de los valores entra 0 y 100% (ver grafica 1).

## 5.2 MARCO GEOGRÁFICO

La Ciudad de Bogotá cuenta 20 localidades y dentro de ellas Usme. Esta localidad es primordialmente rural y cuenta con grandes fuentes de recursos naturales e hídricos lo que la hace muy atractiva para el ecoturismo. En la Imagen 4, se observa la ubicación de la localidad de Usme en la ciudad de Bogotá. En la Imagen 5, se observa la delimitación de la localidad de Usme.

Imagen 4. Mapa de Bogotá D.C



**Fuente:** Mi ciudad Bogotá

Desde la época de la prehispánica este territorio fue ocupado por los indígenas por su riqueza en fuentes de agua y lagunas, era una población apartada y montañosa región del páramo de Sumapaz. En el periodo de la colonia y republicano, durante la conquista de los españoles se empieza con la construcción de edificaciones más grandes, para el periodo del siglo XIX aparecieron las políticas y las guerrillas entre los años 1876 hasta hace poco.

Para el periodo moderno Usme es primordialmente una comunidad rural con escasa presencia industrial, que cuenta con varios centros educativos, parcelas que producen gran cantidad de papa.

**Imagen 5. Localidad de Usme, Bogotá D.C**



**Fuente: Secretaria Distrital. Map data 2015 Google**

Tiene 400.686 habitantes aproximadamente, una extensión de 21.556,16 Hectáreas. El barrio de Moteblanco se encuentra en la UPZ 58 de la localidad de Usme. La ubicación de barrio escogido “Monteblanco” se presenta en la Imagen 6.

**Imagen 6. Localidad de Usme, Bogotá D.C**



**Fuente: Google Earth**

Las viviendas improvisadas típicamente son el producto de la necesidad urgente de obtención de vivienda de las comunidades urbanas de escasos recursos económicos, o de migrantes llegados de zonas rurales, empujadas a abandonar sus tierras por múltiples motivos, y al no existir, generalmente, políticas que habiliten a estas personas a adquirir por medios legales viviendas dignas.

**Foto 1. Tipología Viviendas**



**Fuente:** Propia

Las viviendas improvisadas se caracterizan por ciertas condiciones en común:

- Viviendas con limitado acceso a los servicios tales como agua potable, gas para calefacción y cocina y red cloacal;
- Difícil acceso a vivienda ya que frecuentemente no hay caminos consolidados de acceso;
- Multiplicidad de condiciones económicas y sociales en un mismo barrio;
- Dificultades de acceso de ambulancias, bomberos y policía ante distintos eventos.



### 5.3 MARCO LEGAL

En los últimos años se ha observado que no se obtiene homogeneidad en criterios al momento de construir viviendas en Colombia, ocasionada principalmente por la falta de supervisión, vigilancia y control en cada uno de los procesos administrativos y constructivos durante los proyectos o por la razón de construir empíricamente,

El proyecto se justifica en la necesidad de brindar información del estado actual en la Construcción de viviendas de invasión, en base al Reglamento Técnico de Construcciones Sismoresistentes NSR-10.

Para nuestro caso los títulos que aplican en nuestro análisis, son los siguientes:

- Título A: Requisitos Generales: este apartado generalmente nos brinda los parámetros para el análisis dinámico de nuestras viviendas en estudio.
- Título B: Cargas: este apartado brinda información de las cargas mínimas a utilizar en nuestro análisis estructural.
- Título C: Concreto Estructural.
- Título D: Mampostería Estructural.
- Título E: Casas de uno y dos pisos

Decreto 523 de 2010 - Microzonificación Sísmica de Bogotá. Que conforme a lo autorizado por la Ley 400 de 1997, el Gobierno Nacional expidió el Decreto 926 del 19 de marzo de 2010, por el cual se establecen los requisitos de carácter técnico y científico para construcciones sismo resistentes NSR-10, adoptando el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, anexo a dicho Decreto, cuya vigencia aplica en todo el territorio Nacional y que derogó los Decretos 33 de 1998, 34 de 1999, 2809 de 2000 y 52 de 2002.

la actualización del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, incluye unos nuevos mapas de amenaza sísmica adoptados con base en los estudios realizados por el Instituto de Investigaciones en Geociencia, Minería y Química - Ingeominas en convenio con la Universidad Nacional y la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica - AIS, los cuales tienen en cuenta los estudios de neotectónica que se han realizado en el país en la última década por diferentes instituciones y entidades, así como la distribución espacial y en el tiempo de más de 17.000 sismos registrados por la Red Sismológica Nacional y la Red Nacional de Acelerógrafos adscritas al Ingeominas durante este mismo lapso en el territorio nacional, de los cuales más de 100 tuvieron magnitud de (sic) Richter mayor de 5.0.

El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 en la sección A.2.9 establece las condiciones y requisitos para la elaboración los estudios de microzonificación sísmica, facultando a las autoridades municipales o distritales para expedir una reglamentación de carácter obligatorio, substitutiva de las secciones A.2.4 y A.2.6 del Reglamento.

El Fondo de Prevención y Atención de Emergencias - FOPAE adelantó los estudios técnicos requeridos para adoptar una nueva Microzonificación Sísmica de Bogotá, conforme la sección A.2.9.3.1 a A.2.9.3.6 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

## **6. DISEÑO METODOLÓGICO**

La Evaluación de la Vulnerabilidad o calidad estructural de los edificios no es única y el procedimiento o parámetros utilizados para la evaluación también varían, en este trabajo se decidió aplicar la Metodología del Índice de Vulnerabilidad propuesta por un grupo de investigadores italianos en 1982, que fue desarrollada a partir de la información de daño en edificios provocados por terremotos desde 1976. A partir de esta información se elaboró una gran base de datos con el índice de vulnerabilidad de cada edificio y el daño sufrido por terremotos de determinada intensidad.

La metodología se desarrolló para las tipologías de mampostería no reforzada y hormigón armado, poniendo un especial interés en las primeras debido a que son construcciones con mayor porcentaje en Italia y en general en muchas partes del mundo y en este caso en vivienda de invasión. De esta forma, se hará una revisión de la metodología del índice de vulnerabilidad.

### **6.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Este tipo de investigación busca el análisis de vulnerabilidad de viviendas de invasión, teniendo como una gran herramienta el análisis por el software Autocad, ETABS y Excel, básicamente. Por eso se realizará una investigación de tipo DESCRIPTIVA – EXPERIMENTAL, como se describe en el marco conceptual de donde se obtendrá datos de dimensiones y características de la vivienda escogida, (cualitativo) y serán comparados con la normatividad NSR 10 que rige la construcción, esto es para obtener las diferentes fallas en los elementos de la vivienda existente y así determinar mejoramiento con un diseño para estas viviendas fabricadas por mismos propietarios.

### **6.2 METODOLOGÍA PARA DETERMINAR LA VULNERABILIDAD**

En el caso particular de las edificaciones de vivienda de construcción popular, la mayoría no cuenta con la información referente a su diseño y construcción, como planos ó estudios técnicos que permitan servir de insumo para su evaluación. Por tal motivo es necesario considerar la posibilidad de adelantar evaluaciones que no siendo tan rigurosas, permitan realizar una valoración cualitativa de la vulnerabilidad sísmica de una o un grupo de edificaciones.

De todas las formas de hacer una evaluación, la inspección visual es una de las más rápidas, sencillas y económicas. Aún para saber si es necesario un análisis estructural o un modelo matemático, se requiere de una inspección visual para diagnosticar acciones futuras, ésta también contribuye a conocer de una manera global las edificaciones, para la toma de decisiones relacionadas con la intervención de la vulnerabilidad.

A continuación se presentará la metodología desarrollada por los autores de este trabajo de grado, para “REFORTAZAMIENTO ESTRUCTURAL A VIVIENDA CON VULNERABILIDAD, EN EL BARRIO MONTEBLANCO, EN LA LOCALIDAD DE USME, EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.”

Según Peralta:

Debido a que no existe una metodología estándar para la evaluación cualitativa la vulnerabilidad sísmica de edificaciones que sea aplicable en su totalidad en cualquier región, es necesario adoptar o proponer metodología que correspondan a las condiciones particulares de las edificaciones en su contexto local. En este sentido, el autor del presente desarrollo una metodología que tiene en cuenta las características constructivas, arquitectónicas y estructurales de las edificaciones de la zona estudiada, que permite realizar un diagnóstico inicial de la vulnerabilidad, hacer un análisis global y particular, tener un conocimiento integral de la zona, además general mapas de escenarios de vulnerabilidad y daño<sup>16</sup>.

Teniendo en cuenta lo expresado por José V. Altamirano<sup>17</sup> en el libro “Metodología de la Investigación” la investigación a desarrollar en este proyecto será contextualizada dentro del ámbito de una investigación cuasi – experimental, puesto que se observan unas variables independientes, a partir de las cuales se llega a determinar el probable efecto que tiene sobre otras variables (dependientes).

Por lo tanto se determinó que la metodología apropiada (ver Imagen 3), es la pertinente a la “Categoría de vulnerabilidad observada”, constituida por los “Métodos que evalúan la capacidad”, mediante un “Sistema de calificación”, debido que este permiten identificar y calificar de una forma rápida, mediante una inspección visual y

---

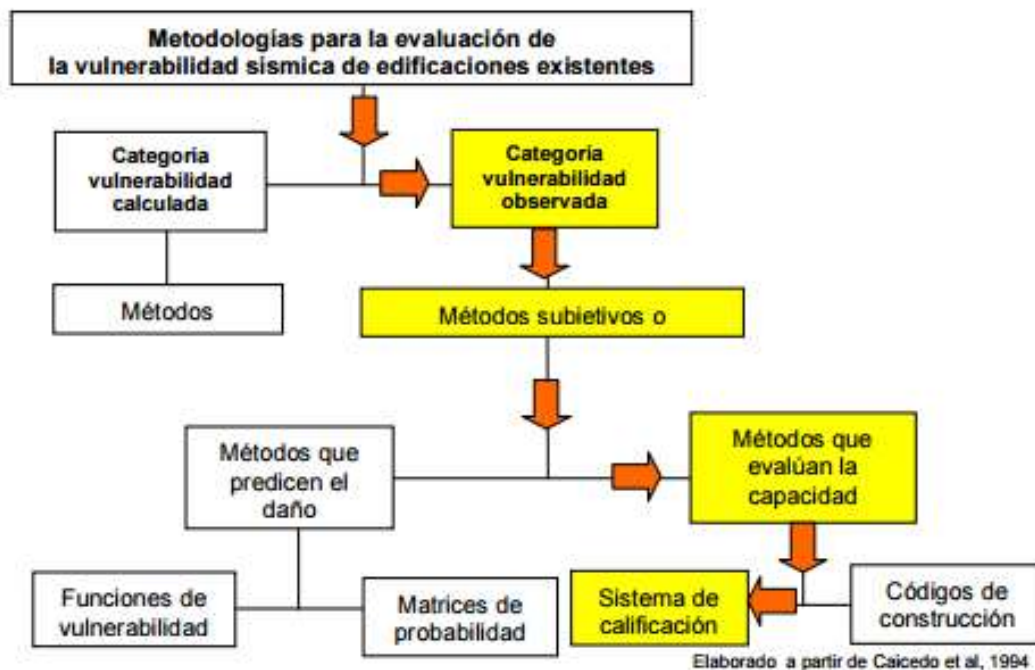
<sup>16</sup> PERALTA, Henry Adolfo. Escenarios de vulnerabilidad y daño sísmico de las edificaciones de mampostería. Cali, Colombia. Proyecto de Grado. Universidad del Valle, Cali. Colombia (2002).

<sup>17</sup> ALTAMIRANO, José V (1997) Metodología de la investigación. Asunción; Editorial 3ª Edición.

una evaluación cualitativa, el grado de vulnerabilidad sísmica de un conjunto de edificaciones de diversas tipologías constructivas, de acuerdo con el nivel de detalle que se requiere y los resultados esperados.

No se consideró la utilización de los “Métodos que predicen el Daño” de la “Categoría de Vulnerabilidad Observada”, debido a que no se cuenta con información y análisis estadísticos de daños observados en terremotos pasados en las edificaciones de ciudad, ni mucho menos en la zona de estudio, que permitan construir funciones o matrices de vulnerabilidad.

Gráfica 2. Diagrama de determinación de la metodología



Fuente: proyecto de grado – Henry Adolfo Peralta Buritiá, 2002

### 6.3 FASES DE INVESTIGACIÓN

**Fase 1.** Determinación del grado de vulnerabilidad en una vivienda de invasión del barrio Monteblanco.

- Ubicación de una vivienda de invasión en el barrio Monteblanco en la localidad de Usme.
- Análisis de los mapas de microzonificación de Bogotá D.C.
- Visita de campo a la vivienda seleccionada para realizar el levantamiento arquitectónico, registro fotográfico, observación de la estructura.
- Elaboración del plano de la vivienda en planta.
- Determinación tipo de materiales de construcción.
- Determinar el grado de vulnerabilidad de la vivienda con base en lo estipulado en el capítulo A de la NSR-10.

**Fase 2.** Análisis del comportamiento de los elementos estructurales.

El Modelamiento Estructural, se basa en el Método de Análisis Dinámico Modal, utilizando el software de Análisis Estructural SAP 2000.

Para obtener el Modelo de estructura, se siguieron los pasos siguientes:

- Caracterización de los Materiales.
- Levantamiento Arquitectónico.
- Exploración de Cimentaciones.
- Asesoría Técnica y profesional del Ingeniero Calculista YESID MUNAR CASTAÑEDA E.C.I.
- Informe de Vulnerabilidad Sísmica.
- Archivo Magnético del Modelo Estructural en SAP 2000

Para un último enfoque se genera un estudio del cumplimiento de las derivas y los cortantes basales para determinar qué elementos estructurales dentro de la construcción pueden carecer de características geométricas o de redundancia en la estructura en análisis.

**Fase 3.** Propuesta de reforzamiento estructural de la vivienda analizada

- Con base en los resultados y análisis de la modelación realizada y la norma NSR-10, se propone un diseño de reforzamiento en los elementos estructurales que presenten fallas.

- Se Modela la Estructura, para ver la factibilidad del diseño de refuerzo, en el Método de Análisis Dinámico Modal, utilizando el software de Análisis Estructural SAP 2000.

## 7. RESULTADOS

### 7.1 DETERMINACIÓN DEL GRADO DE VULNERABILIDAD EN UNA DEL BARRIO MONTEBLANCO

#### 7.1.1 Descripción de la ubicación de la vivienda estudiada

##### 7.1.1.1 Ubicación de la vivienda.

Se tomó objeto de estudio una vivienda ubicada en la localidad de Usme en el barrio de Monteblanco. Esta vivienda se escogió, dado que se encuentra dentro de los parámetros que fue construida por los mismos propietarios hace más de 45 años cuando Monteblanco era una zona rural, y no ha presentado remodelaciones ni mejoras desde su construcción. A los 25 años se construyó la placa para un segundo piso.

Alrededor de esta edificación hay viviendas de 2 y tres pisos, que no tiene estructura sin unidad de materiales ni de geometría en columnas ni vigas.

En la ilustración 6 se observa las personas que viven en esta casa con más de 45 años de construida por sus propias manos y con material de demolición de construcción.

##### 7.1.1.2 Microzonificación Sísmica De Bogotá

Para procesar el modelo matemático definido a partir de la geometría se debe tener en cuenta los parámetros establecidos en la norma NSR 10 y el Decreto 523 de 2010.

- **Zona de Amenaza Sísmica**

Localización Bogotá D.C.

Zona de Amenaza Sísmica. Intermedia (A.163 - NSR – 10)

$A_a = 0.15$

$A_v = 0.20$



- **Parámetros sísmicos**

Fa	1.65
Fv	1.70
Tc	0.66
TL	3.0
Ao	0.22

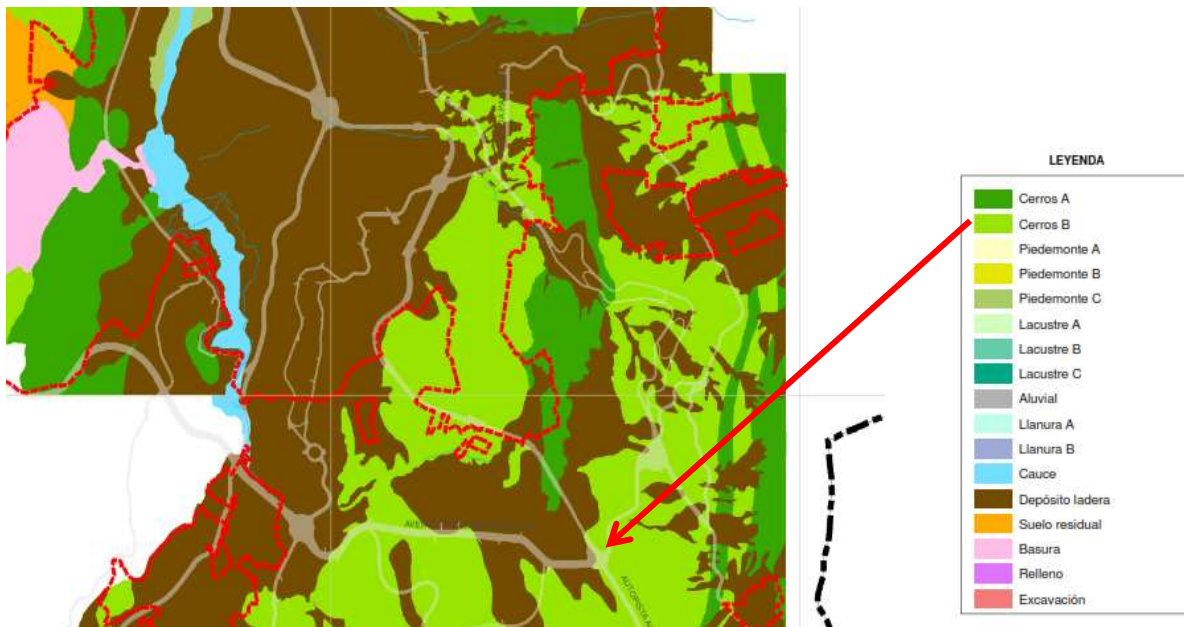
- **Coefficiente de Importancia**

Grupo de uso de vivienda, construida antes de la vigencia del presente Reglamento, el Capítulo A.10 establece los requisitos a emplear en la evaluación, adición, modificación y remodelación del sistema estructural; análisis de vulnerabilidad. (A.1.2.3.2 NRS – 10).

Grupo I (A.2.5.1.4. NSR – 10)  $I = 1.00$  .Estructura de Ocupación Normal.

En el siguiente mapa se ilustra la zona Geotécnica de la zona de Usme y de la ubicación de la vivienda que se usó, para más detalle del mapa ver anexo A.

**Imagen 7. ZONA GEOTECNICA**



**Fuente.** Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. Secretaría Distrital de Planeación. 2010.

La vivienda escogida se encuentra en una zona geotécnica de CERROS B. según la descripción de las zonas geotécnicas del decreto 523. En la tabla 8.

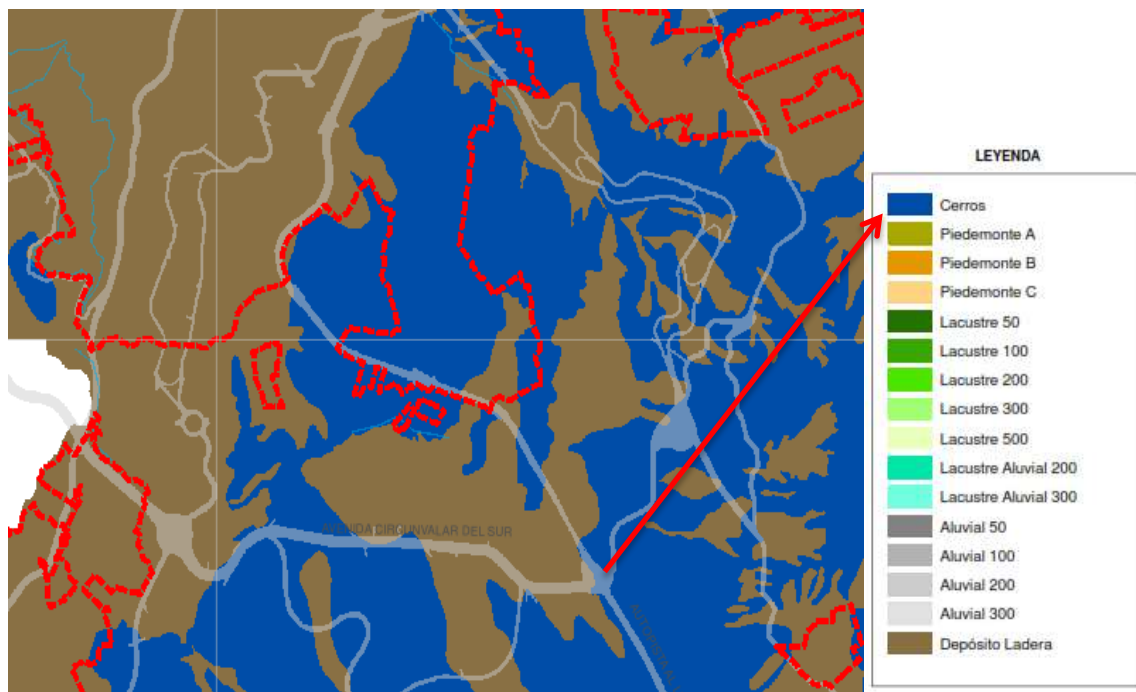
**Tabla 8. Descripción de las zonas geotécnicas.**

Nombre	Geotecnia	Geología	Geomorfología	Composición principal	Comportamiento geotecnico general
Cerros B	Roca arcillolita de	Formaciones de Arcillolitas	Cerros moderada a alta pendiente	Arcillolitas blandas	Rocas de moderada competencia y susceptible a la meteorización, problemas de estabilidad de taludes en excavaciones a cielo abierto, principalmente cuando esten fracturadas.

**Fuente:** Decreto 532 de 2010.

En la imagen 8 se observa el mapa de zona de respuesta sísmica que indica depósito de ladera, ver detalle en el anexo B, plano de zona de respuesta sísmica especialmente en la localidad de Usme en el barrio Monteblanco y en la tabla 9, se muestra las características de un Cerros.

**Imagen 8. ZONA DE RESPUESTA SISMICA**



**Fuente.** Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. Secretaria Distrital de Planeación. 2010.

**Tabla 9. Composición cerros**

Zona	Espesor del depósito (m)	Periodo fundamental del suelo	Descripción Geotécnica	Velocidad de la onda promedio 50m Vs (m/s)	Humedad Promedio 50 m Hn (%)	Efectos de sitio relacionados
Cerros	-	<0,3	Rocas sedimentarias y depósito de ladera con espesores inferiores a 6m	> 750	< 10	Topografía

**Fuente:** Decreto 532 de 2010.

En el anexo J se muestra los datos utilizados para el espectro de la curva de diseño que se muestra a continuación:

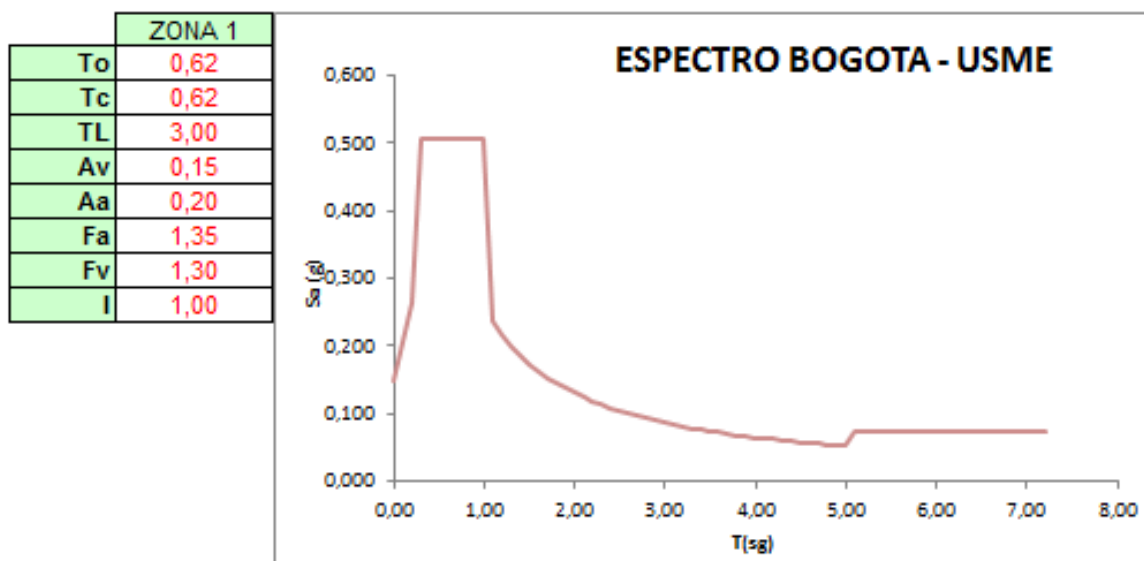
**Gráfica 3. Curva de diseño para un coeficiente de amortización de 5% del criterio**

**PARAMETROS SISMICOS**

Region: BOGOTA - USME

Coefficientes y curva de diseño

amortizacion 5% del critico



**Fuente:** Propio

- **Parámetros.**

Aa = Aceleración horizontal pico efectiva de diseño. Aa=0,15 g

Av = Aceleración que presenta la velocidad horizontal pico efectiva de diseño. Av=0.20g.

Ao = Aceleración horizontal pico efectiva del terreno es superficie (g).

Fa = Coeficiente de ampliación que afecta la aceleración en la zona de periodos cortos.

I = Coeficiente de importancia.

Sa = Aceleración espectral (g).

T = Periodo de vibración (s).

Tc = Periodo corto (s).

Tl = Periodo Largo (s).

El Espectro de diseño está definido para un coeficiente de amortiguamiento del 5% del crítico.

- **Efectos Ortogonales**

Se supone la concurrencia simultánea del 100% de las fuerzas sísmicas en una dirección y el 30% de las fuerzas sísmicas en la dirección Perpendicular (A.3.6.3. NSR10).

- **Torsión Accidental**

Se toma el 5% (0.05) de la dimensión de la edificación en cada sentido ortogonal, tomando el valor perpendicular de la dirección en estudio (A.3.6.7.1 NSR-10).


## **7.1.2 Análisis del Comportamiento Estructural de La Vivienda**

Según la metodología utilizada para este trabajo de índice de vulnerabilidad es importante el criterio de los investigadores y su capacidad de criterio sobre cada uno de los cm recorridos de la edificación.

### **7.1.2.1 Descripción de las estructuras**

A continuación se muestra en la tabla 10 estructuras de la vivienda con sus características observadas en el momento de visita de campo, se muestra las diferentes falencias de las estructuras y el deterioro de los mismos.

Tabla 10. Descripción de las estructuras

SISTEMA	DESCRIPCION
<p><b>SISTEMA ESTRUCTURAL:</b></p>	<p>El sistema estructural de las edificaciones se compone de muros en mampostería sin confinamiento.</p> <p>La vivienda a tratar en ninguno de los espacios se encuentra ni columnas, ni vigas, ni cimentación.</p>  <p>Se puede observar el estado de los muros que no presentan ningún confinamiento.</p>  <p>Placa del segundo piso apoyada sobre los muros de mampostería no presenta vigas, ni columnas que pueda soportar la placa</p>  <p>Agrietamiento en la placa y refuerzos descubiertos</p>

SISTEMA	DESCRIPCION
	 <p data-bbox="509 558 1243 590">Agrietamiento en la pared del cuarto mayor a 5 mm</p>
<p data-bbox="272 842 431 867"><b>CUBIERTAS</b></p>	<p data-bbox="509 648 1003 680">Parales en madera en mal estado.</p>  <p data-bbox="509 1010 1399 1079">Parales verticales en madera y metálicos como apoyo de la cubierta</p>

**Fuente:** propia

En la Foto 2. Se ilustra los habitantes de la vivienda, allí viven hace más de 45 años cuando el padre de esta casa compro el lote y la construyó para darles una vivienda digna.

**Foto 2. Habitantes de la casa**



**Fuente:** Propia

### **7.1.3 Levantamiento arquitectónico**

Teniendo en cuenta que la vivienda no cuenta con planos de la estructura previos a la realización del estudio, se realizó la recopilación de información por medio visual (Ver Anexo C), para realizar un levantamiento arquitectónico y estructural, verificando las medidas existentes en el lugar.

De acuerdo con la exploración de la cimentación de la vivienda en la visita de campo, se logró determinar que la estructura se encuentra apoyada sobre una placa que esta el terreno natural de la zona sin ningún tipo de cimiento, tan solo existe esta placa de 10 cm de espesor de mortero, cemento y arena en el área construida.

Se realizó una descripción visual, detallando cada uno de los elementos que identifica la vulnerabilidad, con el propósito de evaluar de manera inicial o preliminar las condiciones en que se encuentra la vivienda, para formarse una idea clara y precisa del estado general y determinar qué tipo de problemas la afectan.

Para la evaluación de patologías en estructuras de concreto y mampostería, no resulta fácil señalar una indicación única para la interpretación de un deterioro en particular ya sea por la presencia de una fisura, deterioro, mancha o anomalía.

El primer paso para la evaluación de la vivienda, consistió en la recopilación de toda la información (escrita, dibujada o esquematizada), verificación de la información y

elaboración de formatos (Ver Anexo D descripción de la estructura). Con su respectivo registro fotográfico.

A continuación, se presenta el Estudio Patológico y los resultados obtenidos para determinar el grado de vulnerabilidad en la vivienda de invasión del barrio Monteblanco de acuerdo al NSR-10.

En cuanto a la fachada se evidenció que no tiene muros, por lo tanto no tiene vigas ni columnas, se puede observar una fachada improvisada con portones en lata, tejas de zinc y madera (planchones) ver foto 3.

**Foto 3. Fachada vivienda escogida en el barrio Monteblanco**



**Fuente:** propia

En el interior de la vivienda se puede observar una estructura de dos plantas, no se pudo evidenciar la presencia de cimentaciones adecuadas, tales como zapatas o vigas corridas, por lo contrario la edificación se construyó sobre el terreno natural, sobre una placa de mortero de 10 cm de espesor. Ver anexo C detalle de la cimentación de la vivienda.

Con respecto a la segunda planta de la vivienda, corresponde a una terraza sin carga alguna de vigas ni de muros, solamente se encuentra una placa de 10 cm de espesor y con una geometría en L.

Alrededor de la vivienda se encuentra viviendas con uno y dos pisos, más arriba del nivel de la vivienda que se inspeccionó como se evidencia en la foto 4.



**Foto 4. Placa segundo piso.**



**Fuente:** Propia

Con el fin de estimar la posible distribución del refuerzo dentro de los elementos, se inició con una inspección visual de los lugares donde claramente se podía apreciar el acero a simple vista, gracias a que el recubrimiento que originalmente poseía ya no se encontraba en su lugar, ya fuese por acciones de la mala calidad de los materiales utilizados para dicho recubrimiento o por desgaste natural, tal como se muestra en la foto 5.

La placa presenta pandeos por un mal procedimiento de colocación de concreto y construcción de la misma, mostrando filtración de agua. Esta placa se construyó según los residentes de la vivienda aproximadamente hace 10 años, con base de guaduas, acero corrugado de 3/8" y espesor de 10 cm.

**Foto 5. Estado actual de la placa.**



**Fuente:** Propia

El acero se ve sometido a procesos de oxidación que generan el deterioro del material y la pérdida de su capacidad para resistir las fuerzas a las que están siendo sometidas.

En el caso del refuerzo transversal o estribos\*, no existía como se evidenció en la visita y en la Foto 6. Por lo que se puede concluir que no cumple con lo exigido por el código NSR - 10 Numeral C.7.10.5.1.

**Foto 6. Elemento estructural sin estribos**



**Fuente:** Propia

Sobre la placa se observa un perímetro de mampostería no estructural para formar la zona de ropas o terraza, que soportan parte de la cubierta y se tiene un voladizo sin columnas para que soporte la cubierta provisional en madera y tejas reutilizables.

Se evidencio que la placa no cumple con el recubrimiento mínimo exigido por la norma NSR – 10.

---

\* Las losas macizas no requieren refuerzo a cortante por dos razones:

- 1) Porque se apoyan sobre elementos de borde (vigas) que lo toman.
- 2) Porque se dimensiona su espesor de muro que lo tome el concreto, siendo consecuencia de la implementación de luces cortas.

**Foto 7. Mampostería perimetral sobre la placa**



**Fuente:** Propia

### **7.1.3.1 Calidad del material**

- **Concreto**

En cuanto a la calidad de los concretos, se realizó una inspección visual para determinar el estado de este material en los diferentes puntos de la placa ya que este es el único elemento de concreto de la casa.

Se pudo ver claramente que los materiales utilizados en la mezcla no fueron los más adecuados, esto debido a que las partículas del agregado grueso claramente están por encima de los tamaños máximos permitidos de la norma, lo que deriva en una mala adherencia del concreto con el refuerzo y en muchas de los casos termina con el desprendimiento del material, dejando al descubierto el refuerzo, por lo cual este último no cumple la función.

- **Muros**

Según la norma NSR-10 en el numeral D.2.1.4. MAMPOSTERIA NO REFORZADA describe que en la construcción con base en piezas de mampostería de perforación unidas por medio de mortero que no cumple las cuantías mínimas de refuerzo establecidas para la mampostería parcialmente reforzada. Debe cumplir los requisitos del Capítulo D.9. Este sistema estructural se clasifica, para efectos en las zonas

húmedas, como el baño y el lavadero y en general en toda la casa se evidencia mampostería no reforzada como se observa en la foto 8.

En la vivienda en el primer piso se encuentra los espacios de baño y lavadero, donde se observa que no tienen acabados de enchapes en los pisos ni muros, que ayuden a soportar esfuerzos cortantes sobre los muros de ladrillo que tiene esta vivienda.

**Foto 8. Zonas húmedas**

**a) Zona lavandería**



**b) Zona Baño**



**Fuente:** Propia.

En toda la estructura de la vivienda se evidencia que no tiene columnas ni vigas de amarre en los muros, tampoco dinteles en las puertas y ventanas y se observaron muros entramados entre sí, ver detalles en el anexo C. inspección visual.

La cubierta de todo el antejardín está soportada por postes en madera provisionales contruidos por los habitantes de la casa, el tejado se encuentra en mal estado como se muestra en la foto 9.

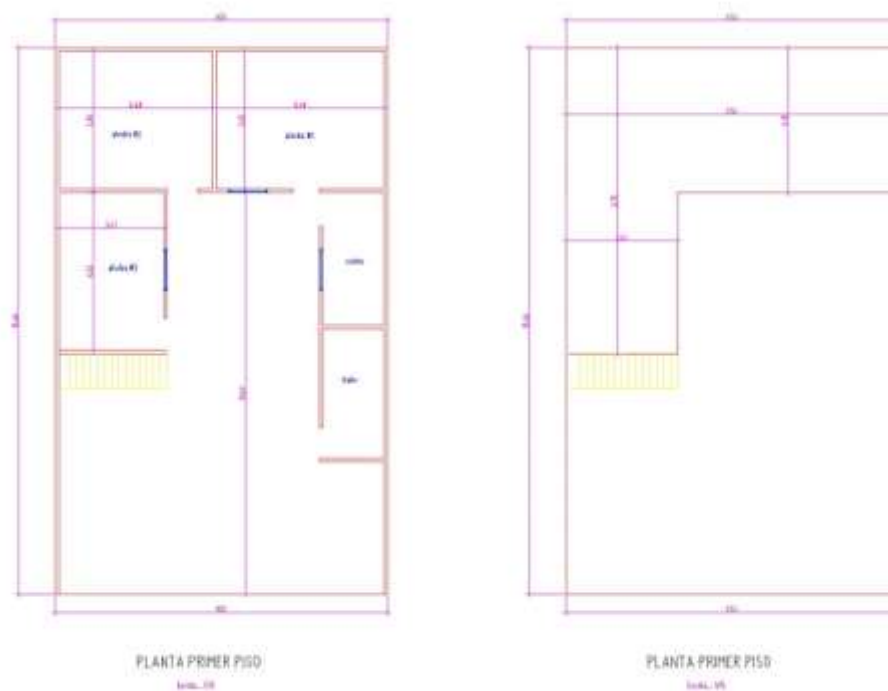
**Foto 9. Cubierta en Zinc**



**Fuente:** Propia

Con la toma de medidas de la estructura en los diferentes espacios, se realizó un levantamiento en Autocad, en planta como de muestra en la Ilustración 1 y en el Anexo E de forma magnética más detallada.

**Ilustración 1 Plano en planta de la vivienda**



**Fuente:** Propio

Este levantamiento arquitectónico y ejecución de plano permitió continuar con la modelación de vivienda en el software SAP 2000 e identificar el comportamiento de la vivienda.

#### 7.1.4 Calidad del diseño y la construcción, y del estado de la edificación

Se califica el sistema estructural de manera cualitativa, de acuerdo con las indicaciones del Título A de la NSR-10, Capítulo A-10.

$\phi_e$ : Coeficiente de reducción de resistencia por estado de la estructura

$\phi_c$ : Coeficiente de reducción de resistencia por calidad del diseño y construcción de la estructura

**Tabla 11. Calidad del diseño y la construcción, o del estado de la edificación.**

	<b>BUENA</b>	<b>REGULAR</b>	<b>MALA</b>
<b><math>\phi_c</math> o <math>\phi_e</math></b>	<b>1.0</b>	<b>0.8</b>	<b>0.6</b>

**Fuente:** NSR 10 - Tabla A.10.4-1, valores de  $\phi_c$  o  $\phi_e$ .

Para evaluar el estado de la vivienda existente fue necesario realizar lo establecido en la norma NSR / 10 para el diseño y estado estructural en cuenta en la calidad de diseño y construcción de la estructural, como se en la Tabla 12 Diseño y estado estructural de la vivienda. – Usme , Monteblanco.

**Tabla 12. Diseño y estado estructural de la vivienda.- Usme, Monteblanco**

$\phi_c$	<b>DISEÑO ESTRUCTURAL</b> Descripción	$\phi_e$	<b>ESTADO DE LA ESTRUCTURA</b> Descripción
0.6	La mayoría de las edificaciones datan de aproximadamente 45 años, la vivienda no fue elaborada con ningún tipo de norma ya que los propietarios no tenían los recursos económicos para construir una vivienda correctamente diseñada.  Con base a la configuración de los muros se visualiza que no existe un diseño estructural para los mismos.	0.6	La estructura se compone de mampostería no confinada, tampoco se visualiza la presencia de ningún elemento estructural de cimentación: las columnas, las vigas y la placa del segundo piso están apoyadas solamente con los muros.

**Fuente:** Propia.

La descripción del diseño estructural  $\phi_c$  y el estado  $\phi_e$ , como se describe en la tabla 8, se muestra que es mala tanto de una como de la otra. Hay deficiencia en la construcción ya que no se tiene en cuenta ninguna de las modalidades de la normatividad del NSR 10, por su antigüedad, por consiguiente no tiene estructuras sismo - resistentes.

En el levantamiento ejecutado en campo se realizó un plano de planta de la vivienda escogida para identificar la geometría de muros y vanos de ventanas y puertas como se muestra en la ilustración.

- **Parámetros de Evaluación**

De acuerdo con el método Cualitativo, tomado de la metodología Italiana ampliamente utilizada, con la escala de vulnerabilidad de “Benedetti –Petrini “.El índice de vulnerabilidad se obtiene mediante una suma ponderada de los valores numéricos que expresan la calidad sísmica de cada uno de los 11 parámetros estructurales y no estructurales considerados.

A cada uno se le atribuye una de las cuatro clases A, B, C, D de donde: A es óptimo y D es pésimo, y a cada uno le corresponde un valor numérico  $K_i$  que varía entre 0 y 45.

De igual forma a cada uno de los parámetros se afectan por un coeficiente  $W_i$ , que varía entre 0.25 y 1.5, este coeficiente refleja la importancia de cada uno de los parámetros dentro del Sistema resistente de la edificación. En el anexo I se especifica los parámetros de evaluación para hallar el índice de vulnerabilidad de la vivienda, ver anexo I.

**Tabla 13. Parámetros de Evaluación**

i	Parámetro Evaluación	$K_i$ A	$K_i$ B	$K_i$ C	$K_i$ D	$W_i$	$K_{wi}$
1	Sistema resistente				45	1	45
2	Calidad del sistema resistente			25		0,25	6,25
3	Resistencia convencional				45	1,5	67,5
4	Posición de edificio y cimentación		5			0,75	3,75
5	Diafragmas horizontales				45	1	45
6	Configuración en planta			25		0,5	12,5
7	Configuración en elevación			25		1	25
8	Separación máxima entre muros				45	0,25	11,25
9	Tipo de cubierta				45	1	45
10	Elementos no estructurales				45	0,25	11,25
11	Estado de conservación				45	1	45

**Fuente:** Propia

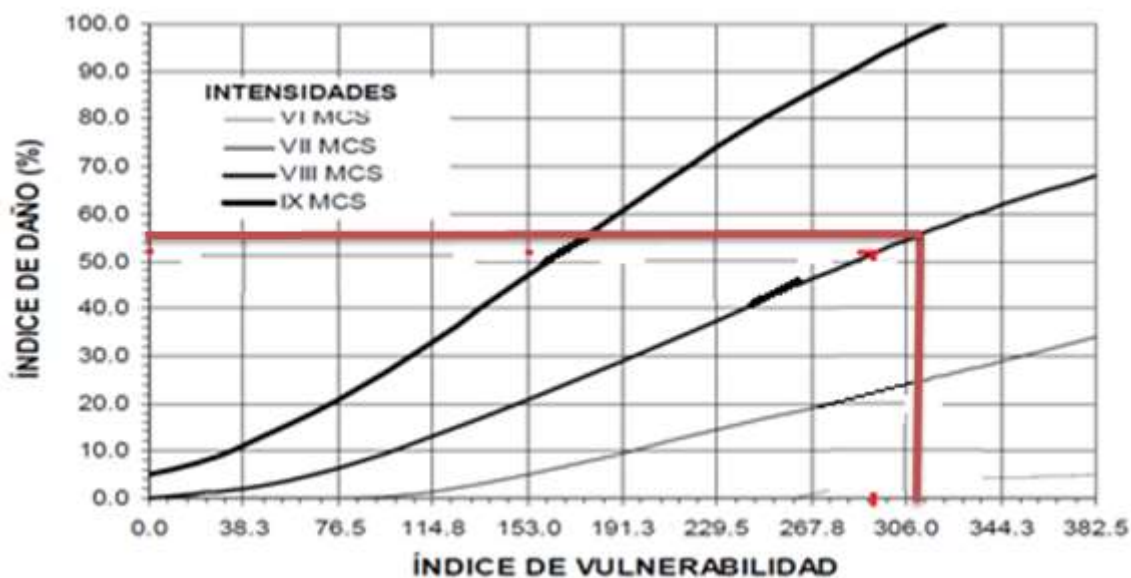
$$I_v = \sum_{i=1}^{11} K_i \cdot W_i$$

El valor máximo de  $I_v =$

Vulnerabilidad Baja	< 15%
Vulnerabilidad Media	15% <= 35%
Vulnerabilidad Alta	> 35 %

En la Tabla 13 anterior se muestra el índice de vulnerabilidad que para la vivienda evaluada muestra  $I_v = 317.5$ , porcentaje de Daño del 55% con una vulnerabilidad Alta en la vivienda como se evidencia en la gráfica 4.

Gráfica 4. . Funciones de índice de vulnerabilidad propuesta por Benedetti –Petrini Angeletti et al. 1988.



Fuente: Angeletti 1988 – propia



## 7.2. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Mediante el uso del programa SAP 2000 v14, de tipo educacional, se analiza y modela la estructura tridimensionalmente. Mediante un proceso consecutivo se crea la estructura con lo cual se define la geometría y conformación de la estructura. El programa calcula inicialmente la matriz de rigidez, considerando deformaciones axiales y de corte, y a partir de ella, obtiene las deformaciones, y reacciones para la vivienda.

El primer resultado del análisis estructural permite evaluar la magnitud de los desplazamientos y a partir de ellos las derivas correspondientes. Una vez la estructura cumplió con los requisitos de control de la deriva que se transcriben más adelante, se procedió al diseño de los elementos estructurales, utilizando el Método de la Resistencia Última, de conformidad con lo establecido en la Norma NSR-10. Para ello se tuvo en cuenta los efectos causados por el sismo de diseño mediante la capacidad de disipación de energía del sistema estructural, mediante la reducción de las fuerzas al dividir las por el coeficiente de reducción de capacidad de disipación de energía  $R$ .

### 7.2.1. Caracterización de los Materiales

Para obtener el Modelo de la estructura, se siguió lo siguiente, primeramente la caracterización de los materiales, para hallar la resistencia del concreto de la placa, de acuerdo con el ensayo de esclerómetro el esfuerzo aproximado del concreto de la placa es de  $216 \text{ kg/cm}^2$ , ver anexo F en la tabla 14.

Tabla 14. Resultados del ensayo esclerómetro.

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS CON ESCLERÓMETRO							
Elemento	Ubicación de prueba	Sector	Valores de golpes esclerometricos			Valor promedio	Resistencia aproximada $\text{kg./cm}^2$
Losa	Parte central	Cara exterior	2,5	2,4	2,0	2,4	216,9
			2,5	2,0	2,4		
			2,5	2,2	2,9		

Fuente: Propia

Los ladrillos de que se evidenciaron en la vivienda escogida no presentan uniformidad en la geometría, tiene dimensiones irregulares, textura porosa, tiene terrones, hendiduras y grietas.

El ladrillo tolete que tiene la vivienda no cumple con las Normas Técnicas Colombianas NTC respectivas de crudo o recocido según la especificación de la norma.

El mortero para la pega del ladrillo que se utilizó para la construcción de la casa los propietarios informa que se utilizó cemento y arena de peña, se utilizó mezcla manual, agua de una fuente hídrica cercana a la casa. En la inspección se evaluó mala adherencia, baja resistencia y no tiene uniformidad en el espesor de la pega entre 8 y 12 mm.

En la tabla 15 se muestra las propiedades básicas mecánicas de los materiales relacionados en la programa SAP 2000, como el concreto, mortero y mampostería.

**Tabla 15. Propiedades de los materiales de la vivienda existente**

Material	UnitWeight Tonf/m3	UnitMass Tonf-s2/m4	E1 Tonf/m2	G12 Tonf/m2	U12	A1 1/C
3000Psi	2.4028E+00	2.450E-01	2194996.45	914581.85	0.200000	9.9000E-06
4000Psi	2.4028E+00	2.4501E-01	2534563.54	1056068.14	0.200000	9.9000E-06
A992Fy50	7.8490E+00	8.0038E-01	20389019.16	7841930.45	0.300000	1.1700E-05
MAMPOS	2.1000E-03	2.1414E-04	1456419.80	560161.46	0.300000	1.1700E-05

Fuente: SAP 2000

**Tabla 16 Material Properties 03a - Steel Data**

Material	Fy Tonf/m2	Fu Tonf/m2	FinalSlope
A992Fy50	35153.48	45699.53	-0.100000

Fuente: SAP 2000

**Tabla 17 Material Properties 03b - Concrete Data**

Material	Fc Tonf/m2	FinalSlope
3000Psi	2109.21	-0.100000
4000Psi	2812.28	-0.100000

Fuente: SAP 2000

### **7.2.2. Levantamiento Arquitectónico**

El levantamiento arquitectónico se obtuvo tomando medidas, dimensiones y geometrías de la vivienda, desde un punto, luego se tiene la geometría de la vivienda y se empieza a medir con medidas exactas de las cuales se elaboró el plano en planta de la vivienda en AutoCad, ver anexo E.

### **7.2.3. Exploración de Cimentaciones**

En la exploración de la cimentación de la vivienda se realizó perforaciones y se evidenció que la vivienda está cimentada sobre el terreno natural. Cuando se realizó la modelación, el programa muestra fallas en la placa con un movimiento de hundimiento en la parte central de la vivienda.

### **7.2.4. Asesoría Técnica y profesional del Ingeniero Calculista YESID MUNAR CASTAÑEDA E.C.I.**

Con el estudio, se tuvo los índice de Flexibilidad y sobre- Esfuerzo, que exigen las especificaciones vigentes NRS-10, en el Capítulo A 10, para evaluar la Vulnerabilidad Sísmica de la vivienda de invasión en Monteblanco en Usme.

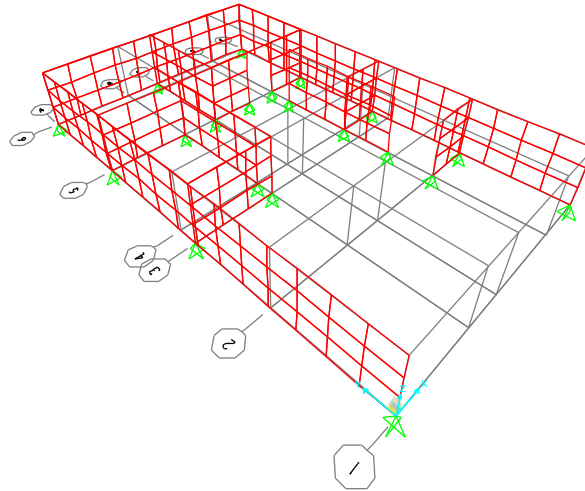
El Ingeniero Yesid Munar establece unos datos claros para modelar la vivienda en el programa y que muestre los puntos de falla de la vivienda como:

- ✓ Establecer los materiales
- ✓ Tener la geometría de la vivienda con medidas exactas
- ✓ Área y altura de muros de la vivienda
- ✓ Tipo de estructuras tiene la vivienda

### **7.2.5. Informe de Vulnerabilidad Sísmica.**

Para el informe de Vulnerabilidad Sísmica que el programa SAP 2000, se realiza la Modelación Geométrica, de la sección del nivel, coordenadas articulares, limitaciones de las articulaciones, y la conectividad del elemento, como se muestra en la Ilustración 2.

## Ilustración 2. Modelacion de los muros de la Vivienda de Usme del barrio Monteblanco



**Fuente:** propia.

Ya con el montaje de los puntos de los muros y de la placa del segundo nivel, se genera la caracterización de los materiales relacionados en el punto 7.2.1.

Consideraciones de carga en la vivienda se evidencia en la siguiente tabla.

**Tabla 18. Load Pattern Definitions**

LoadPat	DesignType	SelfWtMult	AutoLoad
DEAD	DEAD	1.000000	
LIVE	LIVE	0.000000	
EQX	QUAKE	0.000000	USER COEFF
EQY	QUAKE	0.000000	USER COEFF

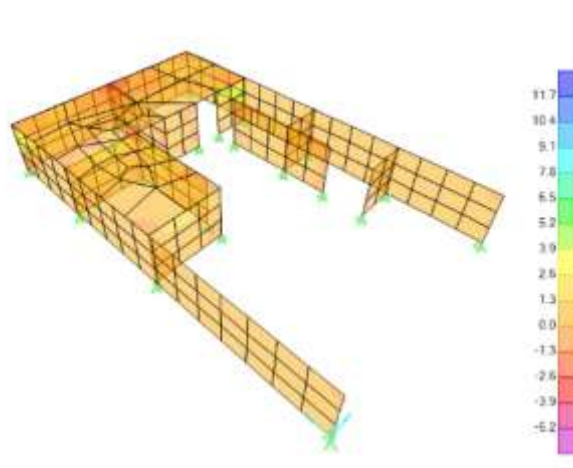
**Fuente:** Propia

### 7.2.6. Archivo Magnético del Modelo Estructural en SAP 2000

Para un último enfoque se genera un estudio del cumplimiento de las derivas y los cortantes basales para determinar qué elementos estructurales dentro de la construcción pueden carecer de características geométricas o de redundancia en la estructura en análisis.

Por medio de este programa se evidencia que la vivienda sobre la placa del segundo piso “placa” se muestra hundimiento como reflejo de la placa de cimentación por lo que se puede decir que la vivienda se está afectando por las viviendas de alrededor. En la siguiente gráfica se puede observar lo anteriormente mencionado.

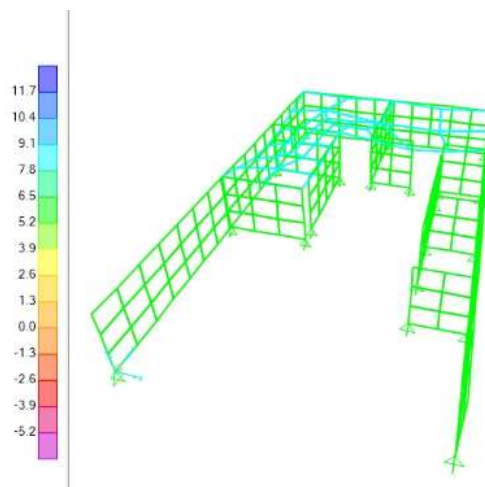
**Ilustración 3. Gráfica de Modelación**



**Fuente:** Propia

Igualmente se puede decir que la vivienda está en riesgo porque se encuentra en un punto neutro como se muestra en la ilustración 4 de deformación Shape (DEAD). y hay muros que tiene sobre esfuerzo por la placa que tiene sobre los muros.

**Ilustración 4. Shape (DEAD)**



**Fuente:** Propio

Después de trabajar con la modelación de la vivienda para hallar el índice de vulnerabilidad por medio de un programa se continúa con el diseño estructural para mejorar la resistencia de esta vivienda en un momento de sismo.

**Nota:** en el anexo G. se muestra el informe relacionado en el texto anterior.

## **7.3. PROPUESTA DE DISEÑO REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL**

### **7.3.1. Evaluó de cargas**

#### **7.3.1.1. Cargas muertas**

La carga muerte cubre todas las cargas de elementos permanentes de construcción incluyendo su estructura, los muros, pisos, cubiertas, cielo raso, escaleras, equipos fijos y todas aquellas cargas que no son causadas por la ocupación.

#### **CARGAS MUERTAS**

<b>Espesor de placa :</b>	<b>10cm</b>
<b>Espesor de pañete en ambas caras:</b>	<b>0 m</b>
<b>Altura de pisos:</b>	<b>2.20m</b>
<b>Área placa:</b>	<b>8,125m<sup>2</sup></b>
<b>Carga muerta Placa</b>	<b>1,95KN/m<sup>2</sup></b>
<b>Frente de la casa</b>	<b>9,50 m</b>
<b>Largo</b>	<b>15,64 m</b>
<b>Área terreno</b>	<b>148,58 m</b>
<b>Área total</b>	<b>231,7 m</b>

#### **7.3.1.2. Cargas vivas**

Son aquellas cargas producidas por el uso y ocupación de la edificación

<b>Residencial</b>	<b>1.80 KN/m<sup>2</sup></b>
--------------------	------------------------------

### 7.3.2. Modelo Estructural

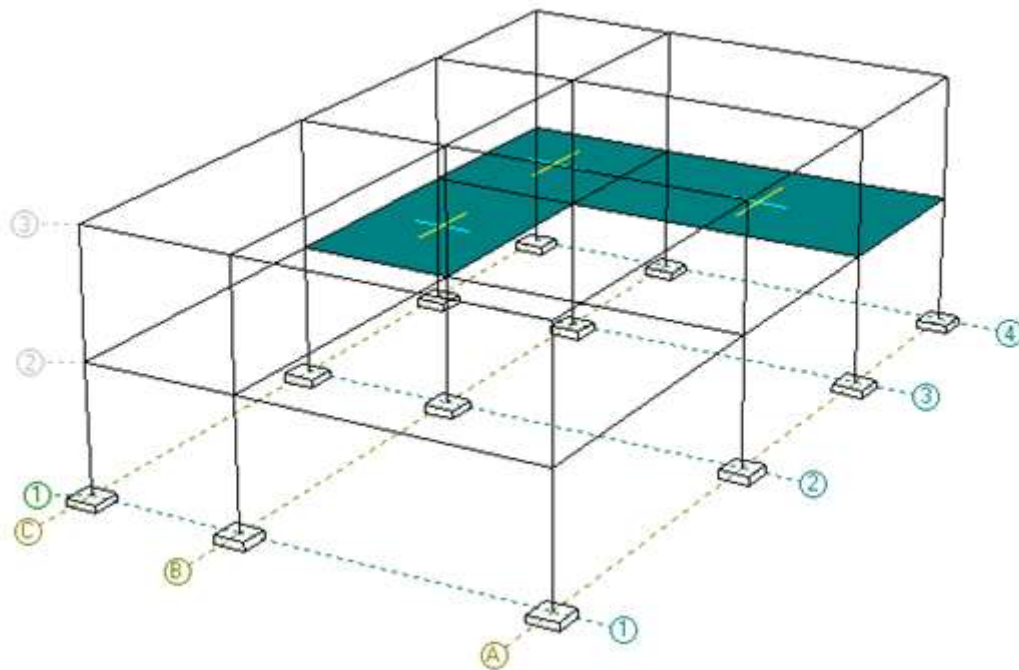
El modelo matemático de la estructura incluye todos los elementos que conforman el sistema estructural resistente, así como también la distribución espacial de las masas y rigideces en la estructura, con una aproximación de tal manera que es capaz de capturar las características más significativas del comportamiento dinámico.

Para el análisis dinámico de la estructura se utiliza un modelo con software especializado de análisis y diseño estructural en el cual como datos de entrada se le especifica la geometría, las cargas verticales, espectro de diseño sísmico para la generación de cargas horizontales, generando los resultados de esfuerzos en los elementos, vigas y columnas.

#### 7.3.2.1. Isométrico del modelo

Con el modelo Isométrico de la vivienda se muestra la geometría de la misma, como se muestra en la Ilustración 5. Se establecieron la ubicación de las zapatas y las columnas.

**Ilustración 5. Modelo Isométrico de la vivienda con elementos**



Fuente: propio

### 7.3.3. Resultados de Análisis

Del modelo se toman los datos de análisis (acciones internas de fuerzas, momentos, esfuerzos y deflexiones) para el diseño de cada uno de los elementos, columnas vigas y pantallas.

#### 7.3.3.1. Momentos de Flexión, Fuerza Cortante.

Los resultados de momentos y cortantes se muestran en los resultados de diseño de cada uno de los elementos. Ver resultados de diseño de elementos estructurales en los planos del anexo K.

#### 7.3.3.2. Verificación de derivadas.

Siguiendo el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, en (A.6.4).

Tabla 19. Derivadas máximas como porcentaje de  $h_{pi}$

Tabla A.6.4-1  
Derivas máximas como porcentaje de  $h_{pi}$

Estructuras de:	Deriva máxima
concreto reforzado, metálicas, de madera, y de mampostería que cumplen los requisitos de A.6.4.2.2	1.0% ( $\Delta_{max}^i \leq 0.010 h_{pi}$ )
de mampostería que cumplen los requisitos de A.6.4.2.3	0.5% ( $\Delta_{max}^i \leq 0.005 h_{pi}$ )

Fuente: NSR – 10 Capítulo A.

#### 7.3.3.3. Verificación de factor de redundancia.

La Norma Colombiana NSR 10 dice que si la falla de un elemento estructural resulta en una reducción de más del 33% de la resistencia sísmica del piso el sistema carece de redundancia, y se afecta el Coeficiente de disipación de energía R por el factor de redundancia de 0.75.



## **7.4. DISEÑO DE ELEMENTOS**

### **7.4.1. Diseño de cimentación, columnas, vigas y muros**

Para los diseños de las columnas, vigas y muros, primeramente se estableció inicialmente como se comportaba la estructura por medio del programa SAP vr 14. De allí se tomaron los elementos más críticos.

La vivienda escogida como se evidencio en los registros fotográficos y con la exploración de los materiales, esta vivienda no tiene elementos como columnas, ni vigas, por lo tanto los muros existentes se encuentran entrelazados entre sí.

Al hacer correr el programa SAP nos muestra que los muros tienen una sobre carga, por lo tanto es evidente de trabajar en implementar cimentación, vigas y columnas. En los planos que se muestran en el anexo K de los detalles de los elementos, estos elementos se diseñaron según la norma vigente en Colombia para construcción de edificaciones como NSR -10.

## **7.5. ANALISIS AL DISEÑO ESTRUCTURAL PROGRAMA DE COMPUTADOR**

El diseño se realizó de acuerdo con los requisitos propios del sistema estructural de resistencia sísmica y del material estructural utilizado. Los despieces se realizaron de acuerdo con el grado de capacidad de disipación para los valores más desfavorables obtenidos de las combinaciones más desfavorables señaladas.

## 8. ANALISIS DE RESULTADOS

- De acuerdo con los estudios realizados en este trabajo de grado pudimos concluir que la vivienda a tratar presenta un 55 % de vulnerabilidad.
- Con la modelación que se realizó en el software SAP 2000 de la mampostería existente, se reflejaron los puntos críticos que presenta estos elementos con momentos muy grandes, en la imagen anteriormente mostrada se puede observar que toda la vivienda se encuentra en color naranja que nos indica los graves problemas que tiene a la hora de presentarse un sismo.
- De acuerdo con el método Cualitativo, tomado de la metodología Italiana ampliamente utilizada, con la escala de vulnerabilidad de “Benedetti –Pettrini “.

El índice de vulnerabilidad de 307 con un daño de 55 % el cual se obtuvo mediante una suma ponderada de los valores numéricos que expresan la calidad sísmica de cada uno de los 11 parámetros estructurales y no estructurales considerados.

A cada uno se le atribuye una de las cuatro clases A, B, C, D de donde: A es óptimo y D es pésimo, y a cada uno le corresponde un valor numérico  $K_i$  que varía entre 0 y 45.

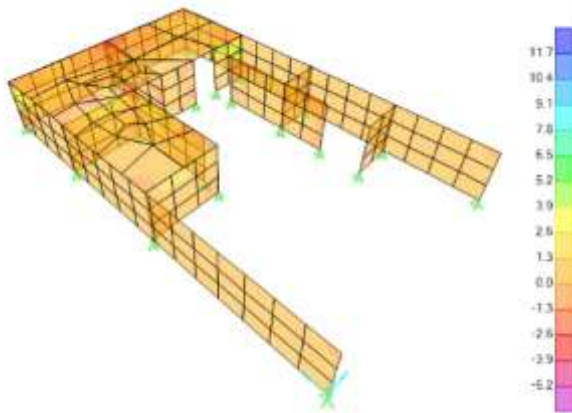
De igual forma a cada uno de los parámetros se afectan por un coeficiente  $W_i$ , que varía entre 0.25 y 1.5, este coeficiente refleja la importancia de cada uno de los parámetros dentro del Sistema resistente de la edificación.

i	Parámetro Evaluación	$K_i$ A	$K_i$ B	$K_i$ C	$K_i$ D	$W_i$	$K_{wi}$
1	Sistema resistente				45	1	45
2	Calidad del sistema resistente			25		0,25	6,25
3	Resistencia convencional				45	1,5	67,5
4	Posición de edificio y cimentación		5			0,75	3,75
5	Diafragmas horizontales				45	1	45
6	Configuración en planta			25		0,5	12,5
7	Configuración en elevación			25		1	25
8	Separación máxima entre muros				45	0,25	11,25
9	Tipo de cubierta				45	1	45
10	Elementos no estructurales				45	0,25	11,25
11	Estado de conservación				45	1	45

- La vivienda construida en mampostería sin confinar, apoyada sobre terreno natural, sin viga de amarre de cimentación y la placa de cubierta en concreto reforzado 0.10 m de espesor, se presenta con una deflexión excesiva,

realizada por mano de obra no calificada y materiales sin supervisión técnica de calidad, por las condiciones socioeconómicas que lo habitan y por lo tanto no presenta condiciones para cumplir con NSR 10.

- Se realizó moderación matemática de la casa donde se incluyeron los muros de mampostería existente, con las cargas verticales evaluadas , las características de los materiales y se obtuvieron resultados donde se muestra que los esfuerzos en los muros son muy grandes y no cumplían con la demanda solicitada en un evento sísmico .



## 9. CONCLUSIONES

- El grado de vulnerabilidad de la vivienda escogida del barrio Monteblanco con la metodología de Predetti. 1982, se puede concluir que la vivienda a tratar presenta un 317 % de vulnerabilidad que es un índice de daño de 55%, quiere decir que la vivienda no es estable ni segura para vivir en ella .
- En este trabajo de grado, se propone un reforzamiento estructural de la vivienda, analizada con dos tipos de reforzamiento diferentes, uno fue por mampostería confinada, de acuerdo al título E de NSR 10 , con columnetas en concreto, viga cinta y apoyada sobre viga corrida de cimentación. el otro es el tradicional con columnas y vigas en concreto apoyadas en zapatas aisladas , debido a las circunstancias económicas que presenta esta familia el reforzamiento más viable es el de la mampostería confinada ya que es un proceso más rápido y mucho más económico, el sistema de reforzamiento por pórticos puede ser más eficiente porque en un futuro le serviría para hacer varios pisos pero es un método mucho más costoso que el anterior, aclarando que estos dos diseños cumplirían con lo establecido en la NSR-10.
- De acuerdo al título E de la norma NSR 10 se establece una profundidad mínima de cimentación de 50cm , el refuerzo para una viga de cimentación debe ser 4 barras # 4 con flejes cada 20 cm, el refuerzo mínimo para las columnetas debe ser 3 barras # 4 con flejes cada 10 cm los primeros 50 cm y el resto de la luz cada 20 cm , la separación máxima entre columnetas no debe ser mayor a 3 mts , el área total de vacios no debe ser mayor al 35 % del área total del muro.

## 10. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios para definir los factores propios de los elementos para los materiales empleados en Colombia.
- El trabajo realizado sobre una vivienda localizada en Usme, con condiciones socioeconómicas muy bajas donde se construye en sitios de alta vulnerabilidad, en procesos de auto construcción a medida que los habitantes consiguen recursos para desarrollar la vivienda.
- Para la mayoría de los casos no se tiene diseños y la mano de obra no calificada y sin supervisión técnica de los materiales empleados.
- A la luz de los resultados obtenidos se muestra que la vivienda carece de condiciones estructurales para soportar eventos sísmicos de mediana a alta intensidad.
- Se recomienda acudir a los entes propios del estado para que presente supervisión técnica , aporta de materiales de calidad calificación de mano de obra mediante recursos , revisión de los terrenos que presenten vulnerabilidad , para localizar las personas apropiadamente.
- Gestionar programas de auto construcción , protegiendo las vidas de las personas y el patrimonio que están consiguiendo con el desarrollo de su vivienda .
- De parte de las facultades de ingeniería civil prestaríamos la supervisión en desarrollo de planos , diseño de las viviendas lo más económico posible que resista ante eventos sísmicos sin que corran peligro las personas que lo habitan .
- El diseño de estructuras requiere por parte de los Ingenieros civiles un sentido de responsabilidad e identidad en la ejecución de sus diseños, logrando así estructuras que sean sismorresistentes y en las cuales se garantice la conservación de la vida humana.

- Es necesario evaluar mediante un estudio de suelos correspondiente la capacidad portante o esfuerzo admisible utilizado en el diseño, con el fin de dar validez al diseño de la cimentación de la estructura.
- Se recomienda un análisis que realice PCA en el 2010 para viviendas con vulnerabilidad, consistente en no construir elementos de confinamiento para los muros, sino colocar malla electro soldada en las dos caras, recubierta con mortero, para que en caso de sismo no se suelten los muros, sin embargo la carga vertical se debe resistir con vigas y columnas.

## 11. REFERENCIAS

- AIS (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica). (2001). *Manual de Construcción, Evaluación y Rehabilitación Sísmica Residente de Viviendas de Mampostería*. San Salvador: LA RED (La Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina).
- AIS (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica). *Manual de Construcción, Evaluación y Rehabilitación Sísmica Residente de Viviendas de Mampostería*. San Salvador: LA RED (La Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina), 2001. p.2. (s.f.).
- Alcaldía Mayor de Bogotá . (2001). *Plan de ordenamiento territorial. Vivienda: programa estructurante del plan*. Bogotá: Panamericana Formas e Impresos S.A.
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2004). *Diagnostico físico y socioeconómico de las localidades de Bogotá D.C*. Bogotá: Asociación Editorial Buena Semilla.
- BARRARE Ramos Omar Enrique y NIEVES Corredor Oscar David. *Vulnerabilidad en las casas coloniales ubicadas en el barrio de San Diego de la ciudad de Cartagena, Universidad de Cartagena, Bolívar. 2015*. (s.f.).
- BONNET R. (2003). *Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios. Aplicación a entornos urbanos en zona de amenaza alta y moderada (tesis doctoral), 2010*. (s.f.).
- CARROL, A. (s.f.). *Las subdivisiones piratas y el mercado para lotes residenciales en Bogotá*. Banco Mundial: Corporación Centro Regional de Población.
- CEBALLOS, D. W. (10 de Junio de 2006). *SUBDIRECCIÓN DE GESTIÓN URBANÍSTICA*. Obtenido de [cerrosdebogota.org/elcorredor/descargables/caracterizacionydiagnostico.pdf](http://cerrosdebogota.org/elcorredor/descargables/caracterizacionydiagnostico.pdf)
- Conflictos de Tierra en USMe. (12 de Julio de 2012). *EL ESPECTADOR*, págs. <http://www.elespectador.com/noticias/bogota/conflicto-de-tierras-usme-articulo-359464>.
- DAPD . (2005). *Hacia una política de habitad* . Bogotá: Documento de trabajo.
- Diagnostico ambiental de la localidad de Usme*. (Noviembre de 2012). Obtenido de <http://www.ambientebogota.gov.co/documents/10157/2883161/Diagn%C3%B3stico+Ambiental+Local+Usme+.pdf>
- GIRALDO Galvis, Jairo Andrés y MÉNDEZ Nivia, David Mauricio. *Evaluación de Vulnerabilidad Sísmica en viviendas de Mampostería en estratos uno y dos según tipificación de la estructura*. Bogotá, Colombia. 2006. (s.f.).
- Ministerio de Ambiente, V. y. (MARZO de 2010). *Reglamento colombiano de construcción sísmica residente NSR-10*. Obtenido de <http://www.actiweb.es/jorgeluisguesso/archivo1.pdf>

- Ministerios de Educación Nacional . (Julio de 2015). *Lineamientos de política para la atención educativa a poblaciones vulnerables*. Obtenido de [http://www.oei.es/quipu/colombia/politica\\_vulnerables.pdf](http://www.oei.es/quipu/colombia/politica_vulnerables.pdf)
- MUNAR C Yesid. *Vulnerabilidad sede Sena Agroindustrial El Hancho, Consultoria Estructural, Villavicencio. 2013*. (s.f.).
- NAVIA Llorente, Jorge Andrés y BARRERA Roa, Elkin Mauricio. *Determinación del índice de Vulnerabilidad sísmica en viviendas de interés social de uno y dos pisos construidas con mampostería estructural en la ciudad de Bogotá D.C. Universidad de la Salle. 2*. (s.f.).
- Norma Sismo Resistente NRS-10, T. E. (s.f.).
- PERALTA, Henry Adolfo. *Escenarios de vulnerabilidad y daño sísmico de las edificaciones de mampostería. Cali, Colombia. Proyecto de Grado. Universidad del Valle, Cali. Colombia (2002)*. (s.f.).
- RAMOS Q Julio. *Análisis de la vulnerabilidad sísmica del edificio central bloque norte de la Universidad de Caldas, 2003*. (s.f.).
- Secretaría Distrital de Gobierno de Bogotá. (s.f.). *Alcaldía Local de Usme*. Obtenido de <http://www.usme.gov.co/>
- TORRES, C. (2006). *Habitad y vivienda para sectores de población de bajos ingresos en Bogotá*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.



## **ANEXO A. Zona Geotécnica**

## **ANEXO B. Zona de Respuesta Sísmica**

## **ANEXO C. Registro Visual**

## **ANEXO D. Formatos de descripción Estructural**

**ANEXO E. Plano en planta de la vivienda**

## **ANEXO F. Ensayo de Esclerómetro**

## **ANEXO G. Ensayo de Esclerómetro**

## **ANEXO I. Parámetros de Evaluación**



## **ANEXO J. Diseño Estructural**

## **ANEXO K. Planos**