

**ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL
CASO ASENTAMIENTO SUBNORMAL BARRIO HACIENDA LOS MOLINOS
LOCALIDAD RAFAEL URIBE URIBE DE BOGOTÁ D.C**

EDWIN EDUARDO ALVARADO PEREZ

BAYARDO BUSTOS LINARES

CRISTHIAN QUINTERO ROJAS



**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

Santafé de Bogotá D.C., junio de 2015

**ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL
CASO ASENTAMIENTO SUBNORMAL BARRIO HACIENDA LOS MOLINOS
LOCALIDAD RAFAEL URIBE URIBE DE BOGOTA D.C**

EDWIN EDUARDO ALVARADO PEREZ

BAYARDO BUSTOS LINARES

CRISTHIAN QUINTERO ROJAS

**Asesor Disciplinar
ING. JULIO OSWALDO TORRES**

**Asesor Metodológico
ING. OLGA LUCIA VANEGAS**

**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
Bogotá D.C., junio de 2015**

CONTENIDO

Pág.

LISTA DE TABLAS.....	4
LISTA DE FIGURAS.....	5
INTRODUCCIÓN.....	8
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
2. JUSTIFICACIÓN.....	10
3. OBJETIVOS.....	13
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	13
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	13
4. ANTECEDENTES.....	14
5. MARCOS REFERENCIALES.....	19
5.1. MARCO CONCEPTUAL.....	19
5.2. MARCO GEOGRÁFICO.....	28
5.3. MARCO LEGAL.....	32
5.4. MARCO HISTÓRICO.....	35
6. DISEÑO METODOLÓGICO.....	38
6.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN.....	49
6.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	50
6.3. DISEÑO MUESTRAL.....	50
6.4. FASES DE LA INVESTIGACIÓN.....	51
6.4.1. FASE I - RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.....	52
6.4.2. FASE II - DETERMINACIÓN DE LAS MUESTRAS (EDIFICACIONES A ESTUDIAR).....	52
6.4.3. FASE III - DETERMINACIÓN DE LA METODOLOGÍA.....	53
6.5. INSTRUMENTOS Y TECNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	53
7. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	55
8. PRESUPUESTO.....	56
9. RESULTADOS DE LOS ÍNDICES DE VULNERABILIDAD SÍSMICA POR VIVIENDA INVENTARIADA PARA EL BARRIO HACIENDA LOS MOLINOS DE LA LOCALIDAD RAFAEL URIBE URIBE AL SUR DE BOGOTÁ.....	57
9.1 GENERALIDADES.....	57

9.2. DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA.....	57
9.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS SEGÚN EL ASPECTO SECUNDARIO EVALUADO.....	59
9.3.1. ASPECTOS GEOMÉTRICOS.....	59
9.3.1.1. IRREGULARIDAD EN PLANTA.....	59
9.3.1.2. CANTIDAD DE MUROS EN LAS DOS DIRECCIONES.....	61
9.3.1.3. IRREGULARIDAD EN ALTURA.....	62
9.3.2.1. CALIDAD DE LAS JUNTAS DE PEGA CON MORTERO.....	63
9.3.2.2. DISPOSICIÓN DE LAS UNIDADES DE MAMPOSTERÍA.....	64
9.3.2.3. CALIDAD DE LOS MATERIALES.....	65
9.3.3. ASPECTOS ESTRUCTURALES.....	66
9.3.3.1. MUROS CONFINADOS Y REFORZADOS.....	66
9.3.3.2. DETALLE DE VIGAS Y COLUMNAS.....	67
9.3.3.3. VIGA DE AMARRE O CORONA.....	68
9.3.3.4. CARACTERÍSTICAS DE LAS ABERTURAS.....	69
9.3.3.5. ENTREPISO.....	70
9.3.3.6. AMARRE DE CUBIERTA.....	71
9.3.4. CIMENTACIÓN.....	72
9.3.5. SUELOS.....	73
9.3.6. ENTORNO.....	74
CONCLUSIONES.....	85
RECOMENDACIONES.....	87
BIBLIOGRAFIA.....	88
ANEXOS.....	91

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. CATEGORÍAS, VARIABLES E INDICADORES	30
TABLA 2. Cronograma de actividades	33
TABLA 3. Cuadro de presupuesto	34

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 Estructura basica de la upz 54 16

FIGURA 2 Demarcación de la zona de investigación 17

INTRODUCCION

La asociación Colombiana de Ingeniería sísmica¹ aporta normas sismo resistentes desde los años 70 a nivel internacional más exactamente en América Latina. A causa del terremoto del 31 de Marzo del 1983 en Popayán, se logra realizar más adelante el primer Código Colombiano de construcciones sismo resistentes. Unos años más tarde se crea la NSR del 98 y luego debido al terremoto de 1999 sucedido en Armenia se genera el primer mapa de microzonificación sísmica de esta ciudad y más adelante se generan en otras ciudades incluida la ciudad de Bogotá, de igual forma unos años más tarde en el 2010, se crea la que hasta hoy es la norma sismo resistente que rige a Colombia (NSR-10), donde se define en el titulo A numeral A.10.5 a la vulnerabilidad Sísmica como “Es la cuantificación del potencial de mal comportamiento de una edificación con respecto a alguna sollicitación.”²

En este trabajo se desarrolla una evaluación de vulnerabilidad a casas típicas del asentamiento subnormal barrio hacienda los Molinos, realizando un análisis detallado de los aspectos que conforman las viviendas tomadas de una muestra representativa hallada por medios estadísticos y bajo una teoría adoptada.

Lo anteriormente mencionado se trabaja bajo la demanda sísmica para la ciudad de Bogotá.

¹ Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. En: Quienes somos, historia. [en línea]. <http://www.asosismica.org.co/?idcategoria=1052> (citado en 17 de abril de 2015).

² NSR-10 Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. Titulo A, requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente. p A-105.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Conforme a los terremotos presentados en Colombia y a sus consecuencias, es importante generar una revisión a las partes o componentes de las edificaciones de obra civil que fueron construidas antes de la norma sismo resistente y las construidas posterior a ella, pero sin la aplicación de la misma.

Para efectos de este trabajo el análisis se centra en el asentamiento subnormal barrio Hacienda los Molinos de la Localidad Rafael Uribe Uribe ubicada al sur de la ciudad de Bogotá con el fin de reconocer las viviendas típicas del sitio, y determinar su vulnerabilidad sísmica estructural.

Los resultados finales deben mostrar qué componentes de la estructura de las viviendas tipo presentan alta vulnerabilidad ante las solicitaciones de un sismo, prescrito en la norma sismo resistente de Colombia NSR-10.

El lugar donde se lleva a cabo la investigación se edificó de manera no planificada, ya que fue conformada por asentamientos subnormales que comúnmente se denominan invasiones.

De lo anterior se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál es el grado de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones típicas del asentamiento subnormal barrio hacienda los molinos?

2. JUSTIFICACIÓN

El desplazamiento masivo de personas de las zonas rurales del país debido a los conflictos internos que afronta Colombia ha generado asentamientos de familias en zonas de terrenos baldíos³, lo que ha conllevado a la construcción irregular de viviendas debido a la no utilización de la normativa para el desarrollo de las mismas, incrementando con ello la vulnerabilidad de las estructuras ante un evento sísmico.

Colombia de acuerdo al fondo de prevención y atención de emergencias⁴ se caracteriza por la influencia de terremotos y sismos de manera frecuente en su territorio, lo que genera una amenaza para todos y cada uno de los habitantes.

Según el Convenio Interadministrativo 01-93 entre la Unidad para la Prevención y Atención de Emergencias, UPES, (actual Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático, IDIGER), el Instituto Colombiano de Geología y Minería, INGEOMINAS y la Universidad de los Andes, UNIANDES: Microzonificación Sísmica de Santafé de Bogotá:

La ciudad de Santafé de Bogotá está localizada en las inmediaciones de un ambiente sismo tectónico de reconocida actividad histórica, en el cual la Zona de subducción del pacífico, la falla de Romeral y el sistema de falla de Piedemonte Llanero (Falla de Guaicáramo o Frontal de la Cordillera Oriental), son las fuentes sismogénicas que mayor efecto potencial tienen sobre la Sabana de Bogotá. Lo anterior sin destacar la acción de otras fallas de carácter menos regional, como

³ SÁNCHEZ STEINER, Lina María. Migración forzada y urbanización en Colombia. En: Quienes somos, historia. [en línea] http://www.uniweimar.de/architektur/raum/doktoranden/sanchez_Migracion_forzada_urbanizacion_en_Colombia.pdf (citado en 14 de abril de 2015).

⁴ Amenaza sísmica en Bogotá. En: Fondo de prevención y atención de emergencias. [en línea] <http://www.seisan.sgc.gov.co/RSNC/imagen/terremoto-AmenazaSismicaEnBogota.pdf> (citado en 12 de abril de 2015).

las fallas de Salinas, Bucaramanga y Bogotá, que presentan evidencias de actividad⁵.

Ahora bien, Bogotá está enmarcada dentro de una zona de amenaza sísmica intermedia según la NSR-10-Apendice A4 definición de la zona de amenaza sísmica de los municipios colombianos⁶.

A continuación presentamos una tabla con registro de sismos de alta intensidad que se han presentado en Bogotá⁷.

Fecha	Origen	Efectos en Bogotá	Intensidad
1743, octubre 18	Páramo Chingaza	Daños intermedios	VII
1785, julio 12	Páramo Chingaza	Daños severos	VIII
1826, junio 17	Sopó	Daños Intermedios	VII
1827, noviembre 16	Timaná (Huila)	Daños severos	VIII
1917, agosto 31	Páramo Sumapaz	Daños severos	VIII
1928, noviembre 1	Valle de Tenza	Daños intermedios	VII
1967, febrero 9	Vegalarga (Huila)	Daños intermedios	VI - VII

Tabla 1. Sismos con daños intermedios y severos en Bogotá.

En la localidad Rafael Uribe Uribe de la ciudad de Bogotá de acuerdo al plan local de prevención y atención de emergencias “La migración y la falta de planificación en su urbanización llevaron a la ocupación de terrenos en las partes altas”⁸.

Los estudios de vulnerabilidad tienen una gran importancia especialmente cuando las edificaciones objeto de estudio han sido construidas por personas empíricas que no tienen mayor conocimiento de la norma sismo resistente actual

⁵ GUZMAN ALARCON, Adolfo. Microzonificación Sísmica de Bogotá. En: Ingeominas y Dirección Nacional para la Prevención y Atención de Desastres. [en línea]. <http://www.cridlac.org/digitalizacion/pdf/spa/doc10063/doc10063.htm> (citado en 18 de febrero de 2015), pg. 14

⁶ NSR-10 Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, Op. Cit. Pg. 10.

⁷ ESPINOSA VAQUERO, Armando. Historia Sísmica de Bogotá. En: Sociedad Geográfica de Colombia Academia de Ciencias Geográficas. [en línea] <http://www.sogeocol.edu.co/documentos/histosisbta.pdf> (citado en 12 de abril de 2015), pg. 4.

⁸ Plan Local de prevención y atención de emergencias. En: Localidad Rafael Uribe y Uribe. [en línea] http://www.sire.gov.co/documents/13276/152246/18_PLPAE_RAFAELURIBE+URIBE.pdf/7bdc350b-94e9-4d77-9b86-513edc600e46 (citado en 17 de abril de 2015). p. 9.

como lo es la NSR -10. Las construcciones han sido realizadas o ejecutadas bajo la orientación y gestión de una comunidad de bajos recursos que no tienen conocimientos técnicos para hacerlo adecuadamente, solo con el fin último de satisfacer una de las necesidades básicas como lo es la vivienda.

Para mejorar la capacidad de soporte estructural de las viviendas tipo del barrio Hacienda Los Molinos en la ciudad de Bogotá, que ha crecido como asentamiento subnormal y bajo condiciones económicas deficientes, es necesario iniciar con la realización de un estudio en donde se lleve a cabo el análisis de la vulnerabilidad sísmica estructural en las edificaciones objeto de investigación.

Del análisis que se realiza se debe obtener un grado de vulnerabilidad tal que se relacione con la amenaza sísmica la cual se define por la Norma Sismo Resistente como “El valor esperado de futuras acciones sísmicas en el sitio de interés y se cuantifica en términos de una aceleración horizontal del terreno esperada, que tiene una probabilidad de excedencia dada en un lapso de tiempo predeterminado.”⁹ Dicha aceleración está inmersa en el espectro de aceleraciones contemplado en el decreto 523 de 2010¹⁰ para la ciudad de Bogotá.

⁹ NSR-10 Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, Op. Cit.

¹⁰ COLOMBIA. ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA. Decreto 523 (16, Diciembre, 2010). Por el cual se adopta la Microzonificación Sísmica de Bogotá D.C.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el grado de vulnerabilidad sísmica de edificaciones de uno y dos pisos de una muestra representativa del asentamiento subnormal barrio Hacienda los Molinos de la localidad Rafael Uribe Uribe al sur de Bogotá.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar una muestra representativa de viviendas del barrio Hacienda los Molinos, que permitan mediante una inspección visual hacer una caracterización de los aspectos a evaluar.
- Ejecutar el procedimiento de evaluación del grado de vulnerabilidad sísmica de la muestra seleccionada de acuerdo a los parámetros especificados por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS) a través del formato desarrollado por la misma para este fin para viviendas de uno y dos pisos en mampostería.
- Establecer el grado de vulnerabilidad sísmico de acuerdo a los parámetros de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS) y la Normativa Colombiana de Sismo Resistencia NSR 10.

4. ANTECEDENTES

Según tesis relacionadas con el análisis de vulnerabilidad en Colombia ¹¹ se han realizado diferentes estudios a principios del siglo xx, como una necesidad ante la consecuencia de sismos que habían ocurrido en distintos lugares del mundo (por ejemplo San Francisco 1906, Italia 1908 o Japón en 1923). De esta manera, se fue incorporando la norma sismo resistente proponiendo análisis de vulnerabilidad en diferentes investigaciones.

El director de Ingeominas Adolfo Alarcón Guzmán (1993) afirma ¹² que Colombia está ubicada en un sitio de alta actividad tectónica, en donde ocurren fenómenos naturales, entre ellos sismos. Desde décadas anteriores, el aumento de los asentamientos humanos con construcciones que no cumplen los requisitos establecidos en el código de construcciones sismo resistentes de 1984, esto conllevó a aumentar la vulnerabilidad.

Recopilando información sísmica de Bogotá La Sociedad Geográfica de Colombia - Academia de Ciencias Geográficas¹³ realiza una síntesis en donde menciona que en los últimos 500 años la capital ha sido afectada por múltiples sismos dentro de los cuales alrededor de 20 han causado gran daño, entre ellos se encuentran “la cima de la cordillera oriental, Páramos de Chingaza (1785) y Sumapaz (1917) y el sur del Huila (Timaná, 1827)”, con su epicentro respectivamente mencionado.

En cuanto a sismos de mayor intensidad y siguiendo a la sociedad geográfica de Colombia se afirma que:

¹¹ LLANOS LOPEZ, Lina Fernanda y VIDAL GOMEZ, Lina María. Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de escuelas públicas de Cali: Una propuesta Metodológica. En: internet [en línea] http://www.osso.org.co/docu/tesis/2003/eva_escuelas/informe_final.pdf [citado en 10 de enero de 2015]

¹² GUZMAN ALARCON, Adolfo, Op. Cit.

¹³ ESPINOSA BAQUERO, Armando, Op. Cit.

Estos provienen también de zonas muy afines a las anteriores: el flanco oriental de la cordillera oriental: valle de tenza (1918), Choachi – Caqueza (1743), y el sur de Huila (Vegalarga, 1967). Un punto novedoso está en uno de los sismos de intensidad VII, el de 1826, aparece originado en una zona muy cercana a la Bogotá, el borde oriental de la sabana en la región de Sopó¹⁴

De lo anterior se puede determinar que Bogotá ha tenido efectos negativos en las construcciones a causa de los sismos, dentro de esto se ha mencionado la posibilidad que vuelva a ocurrir, teniendo en cuenta el periodo de retorno de Bogotá, el cual está en 475 años según el FOPAE¹⁵, ahora IDIGER (Instituto Distrital de Gestión del Riesgo y Cambio Climático) en su artículo Escenario de daños en Bogotá por un sismo de la falla frontal de magnitud 7.0.

Con relación a lo anterior y a la Tesis de Doctorado en Red que fue escrita por el señor Dr. Ricardo León Bonett Díaz de la Universidad Politécnica de Catalunya (España) el 15 de Diciembre de 2003¹⁶, su objetivo fue analizar los aspectos conceptuales y metodológicos relacionados con la evaluación de la vulnerabilidad en entornos urbanos, el comportamiento sísmico esperado de los edificios aporricados de hormigón armado, tomando como estudio edificios de la ciudad de Manizales (Colombia), que se caracteriza por tener una amenaza sísmica alta. El ponente, también hace referencia a un análisis de riesgo sísmico en la ciudad de Barcelona (España), donde argumenta que no se están tomando las precauciones constructivas muy posiblemente por encontrarse esta ciudad en una zona de amenaza sísmica baja.

¹⁴ *Ibíd.*, p.7.

¹⁵ FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS. Escenario de daños en Bogotá por un sismo de la falla frontal de magnitud 7.0. En: Coordinación de Investigación y Desarrollo [en línea]

<http://www.sire.gov.co/documents/13276/69801/Escenario+sismo+Magnitud+7.0+de+la+Falla+Frontal.pdf/99bf1555-291d-4ae6-8e7e-3fb90437776e> [citado en 28 de mayo de 2015]

¹⁶ BONETT DÍAZ, Ricardo León. Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios. aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada. Tesis Doctoral. Cataluña: Universidad Politécnica de Cataluña. Departamento de Ingeniería del Terreno, Cartográfica y Geofísica. 2003.

Los resultados obtenidos demuestran cómo se puede dar inicio a un plan de solución.

Bajo el documento de Esperanza Maldonado Rendón¹⁷ presentan una metodología para estimar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones de un área determinada, donde se definen las características más relevantes que pueden influir en una estructura de mampostería. Éstas características se han obtenido a través de once parámetros, por medio de metodologías existentes, estudios de comportamientos de edificaciones de mampostería de entornos nacionales y de la opinión de expertos.

El método de esta investigación se basa, en la identificación de las características más influyentes en el daño que sufrirá una edificación de mampostería bajo la acción de un sismo. La mayoría de los estudios de vulnerabilidad de edificaciones de mampostería están basados en datos obtenidos a partir de inventarios actualizados de las estructuras y de daños registrados ante efectos sísmicos y solo son aplicables a la zona de estudio.

Los parámetros utilizados en la caracterización de la vulnerabilidad sísmica de una edificación están clasificados de acuerdo a condiciones de calidad, así mismo a cada parámetro se le da un valor de importancia, que determina cuál de ellos tiene mayor relevancia.

De este texto se puede inferir en que para dicha evaluación de vulnerabilidad sísmica se basan en parámetros asociados con características geométricas, constructivas, estructurales, de cimentación, de suelos y de pendientes de las edificaciones.

¹⁷ MALDONADO RENDÓN, Esperanza; CHIO CHO, Gustavo y GÓMEZ ARAUJO, Iván. Índice de vulnerabilidad sísmica en edificaciones de mampostería basado en la opinión de expertos. Artículo derivado de proyecto de investigación Zonificación del riesgo sísmico en centros urbanos utilizando funciones de vulnerabilidad calculado. Bogotá, 2007.

Este artículo es de gran aporte para el trabajo que se desarrolla, porque brinda pautas a seguir para la caracterización de los parámetros influyentes, en la evaluación de vulnerabilidad sísmica de edificaciones de mampostería, que son las edificaciones de tipología más usadas en las ciudades colombianas y no obstante en el barrio en donde se lleva a cabo el análisis objeto de esta investigación.

Otro artículo que hace referencia al análisis de vulnerabilidad sísmica que se hizo por localidades en la ciudad de Bogotá fue desarrollado por el FOPAE¹⁸, con los registros de la base de datos catastral actualizada a diciembre de 2010, donde se indican unos estimativos de los índices de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones de dichas localidades, allí se manifiesta que en general los índices de vulnerabilidad son de medios a altos (Ver figura 1). Las localidades de La Candelaria, Tunjuelo y Santa Fe son las que presentan mayores índices de vulnerabilidad sísmica promedio entre 45% y 50%.

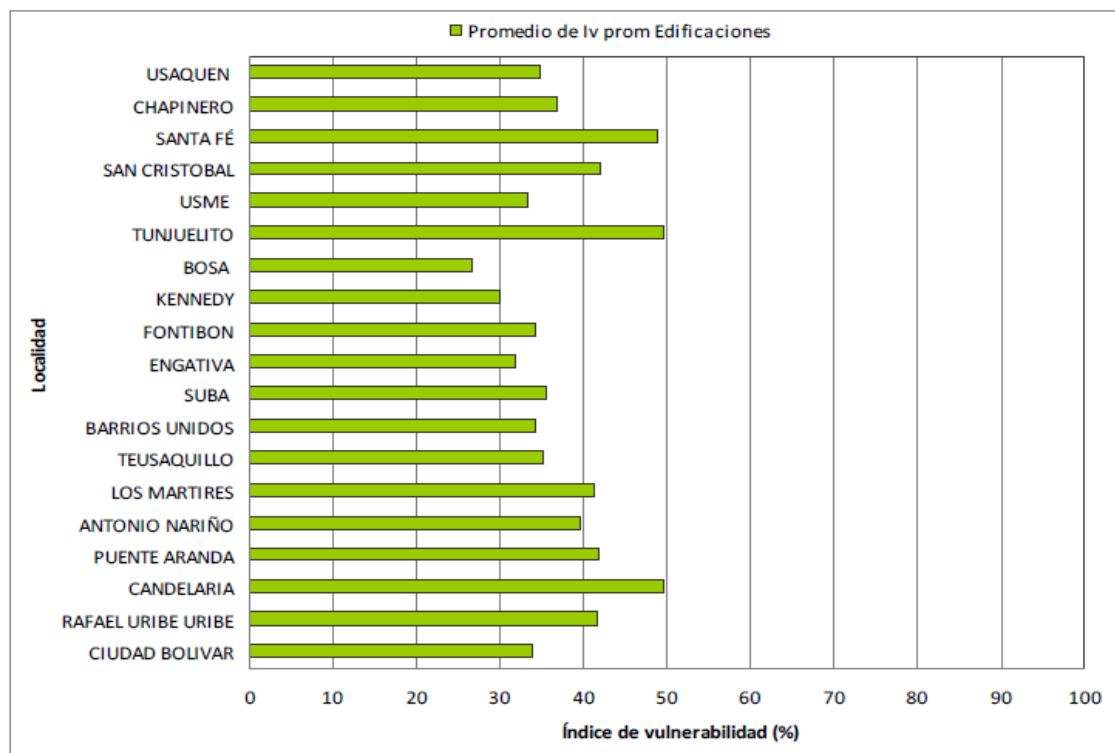


Figura 1. Índice de Vulnerabilidad promedio de edificaciones por localidad

¹⁸ FOPAE, Op. Cit.

Fuente: FOPAE Fondo de Prevención y Atención de Emergencias – Coordinación de Investigación y Desarrollo –” ESCENARIO DE DAÑOS EN BOGOTÁ POR UN SISMO DE LA FALLA FRONTAL DE MAGNITUD 7.0”. Octubre de 2011.

En la figura anterior se puede apreciar que las localidades con menor índice de vulnerabilidad sísmica son Bosa y Kennedy con 26% y 30% respectivamente, la localidad Rafael Uribe Uribe donde se encuentra la zona de estudio presenta un índice de vulnerabilidad sísmica promedio del 42%, esto, con base en los registros catastrales de la ciudad.

Sin embargo es de aclarar que la zona objeto de estudio de la vulnerabilidad sísmica estructural es un asentamiento subnormal que definitivamente no está contemplado en catastro ni en el plan de ordenamiento territorial. Lo que se pretende es comparar el porcentaje del estudio del FOPAE, con el encontrado en este estudio.

Uno de los más importantes trabajos realizados en cuanto a la determinación del índice de vulnerabilidad es la tesis de grado de estudiantes de la Universidad de La Salle¹⁹, allí se busca determinar el grado de vulnerabilidad sísmica de la mampostería estructural para casas de interés social de uno y dos pisos, en donde se tienen en cuenta los aspectos como la geometría de la estructura, elementos constructivos y estructurales.

¹⁹ 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. Proyecto de grado de Ingeniería Civil. Bogotá: Universidad de la Salle. Facultad de Ingeniería civil. Área de estructuras, 2007.141 h.

5. MARCOS REFERENCIALES

5.1 MARCO CONCEPTUAL

Vulnerabilidad es la cuantificación del potencial del mal comportamiento de una edificación con respecto a alguna sollicitación.²⁰

Vulnerabilidad estructural, establecer o determinar el impacto que tiene una estructura al momento de un sismo, es fundamental para determinar la capacidad de la estructura para ser habitable o por lo tanto segura.

Según la Asociación Colombiana De Ingeniería Sísmica (AIS), define la vulnerabilidad sísmica como: “La susceptibilidad de la vivienda a sufrir daños estructurales en caso de un evento sísmico determinado.”²¹

La vulnerabilidad sísmica depende de la forma como está construida la estructura, es decir, la geometría de ella, también la vulnerabilidad depende de los elementos constructivos y la forma como estos se fabrican.

Para determinar la vulnerabilidad sísmica de una estructura existen varios planteamientos pero ninguno completo, ya que no todos recopilan los aspectos que afectan la estabilidad estructural y otros son solo conceptos que cualquier persona puede “significar” teniendo un conocimiento básico, esto conlleva a que depende la forma como el evaluador lo vea.

Según la AIS: “para que una vivienda se califique como de vulnerabilidad sísmica intermedia o alta es suficiente con que presente deficiencias en cualquiera de los

²⁰ *Ibíd.*, p.1

²¹ 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 de Desastres en América Latina), 2001. p.5

aspectos mencionados (geométricos, constructivos, estructurales, cimentación, entorno, suelos).”²²

Los componentes anteriormente mencionados son evaluados de 1 a 3, siendo 1 la calificación de vulnerabilidad baja, 2 media y 3 alta. La parametrización de cada aspecto se obtiene como el promedio de las calificaciones de las vulnerabilidades de los componentes correspondientes y la calificación global de la vulnerabilidad se obtiene mediante la ponderación de las vulnerabilidades de los aspectos según los factores de ponderación relativa (ver figura 2):

Geométrico	Constructivo	Estructural	Cimentación	Suelos	Entorno	Índice de Vulnerabilidad
20%	20%	30%	10%	10%	10%	

Figura 2. Factores de ponderación relativa.

La evaluación de la vulnerabilidad de edificios existentes por medio de métodos analíticos, está fundamentada en los mismos principios utilizados para el diseño de construcciones sismo resistentes. Es decir, se considera como una evaluación por medio de un método analítico a la arrojada por un modelo previamente calibrado, el cual tiene en cuenta un Análisis Dinámico Inelástico que permite conocer el proceso de plastificación paso a paso y el posterior colapso de la estructura, conocidos los ciclos de histéresis de sus componentes.²³

La aplicabilidad de estos métodos ha sido discutida debido a que requieren una alta complejidad en el modelo utilizado y la evaluación del comportamiento de las edificaciones ante la posible ocurrencia de sismos de diferentes magnitudes, con el fin de cubrir las posibilidades de acción sobre la estructura.

A continuación se describen otros métodos de evaluación estructural los cuales también conllevan a la evaluación de la vulnerabilidad.

²² AIS. Op. cit., p. 7

²³ PCER (Programa de Capacitación para la Estimación del Riesgo) métodos para evaluar la vulnerabilidad sísmica de viviendas existentes En: Rehabilitación Sísmica de Estructuras [en línea] http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc320/doc320_7b.pdf [citado en 17 abril 2015]

- **Método NSR-10**

Se presentan los criterios para revisar la vulnerabilidad sísmica estructural y se obtiene un nivel de seguridad que luego se compara con lo que dicha norma exigiría a una edificación nueva.

Como lo requiere cualquier otro código de diseño, para conocer la vulnerabilidad sísmica estructural, se deben primero identificar los parámetros de análisis en forma previa al análisis matemático:

- (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,
- (c) Definición de un índice de sobreesfuerzo 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, y
- (d) Obtención de un índice de flexibilidad general de la edificación, definido con base en el procedimiento definido en el numeral A.10.4.3.5 de la NSR-10. El inverso del índice de flexibilidad general expresa la vulnerabilidad sísmica de la edificación como una fracción de la rigidez que tendría una edificación nueva construida de acuerdo con los requisitos del Reglamento²⁴.

- **Método FEMA-178**

Un procedimiento preparado por el Building Seismic Safety Council (Concejo de Seguridad Sísmica de la Construcción) de EE.UU. Puede también ser utilizado para llevar a cabo la evaluación y diagnóstico sísmico de cualquier edificación existente. Este documento presenta una guía para determinar qué tan vulnerable y peligrosa (en cuanto a pérdida de vidas) es una estructura existente. Incluye una

²⁴ NSR-10 Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. Título A.10.5. Análisis de Vulnerabilidad. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Colombia: 2010.

guía en forma de lista para determinar algunas zonas o puntos débiles dentro de la estructura que podrían precipitar el colapso local o total de la estructura.

Las guías y los procedimientos del FEMA-178 son utilizados únicamente para evaluar la capacidad de la edificación en cuanto a si es peligrosa para ser ocupada o no. El uso de la estructura después del terremoto no se está evaluando en este caso.

En la lista guía se marcan con "Verdadero" o "Falso" cada una de las declaraciones. Interrogantes que han sido hallados que son verdaderos indican que son revisiones que están de acuerdo con el criterio del FEMA 178 y pueden hacerse a un lado; mientras que los interrogantes que sean falsos identifican aspectos que necesitan mayor investigación y análisis.²⁵

Dentro de la revisión del sistema estructural se miran aspectos tales como:

- ✓ Si la trayectoria de cargas es continua para los efectos de fuerzas sísmicas.
- ✓ Si hay redundancia estructural o no.
- ✓ Si se tiene un piso débil o no.
- ✓ Si se tiene un piso flexible en la edificación.
- ✓ Se revisa si existen irregularidades geométricas o de masa en la edificación.
- ✓ Se revisa que los elementos del sistema de resistencia sísmica formen un sistema balanceado, el cual no sufre de torsión relevante.
- ✓ Se estudia si existen o no construcciones adyacentes a la estructura con el fin de evitar golpeteos.
- ✓ Si existe o no existe deterioro visible del concreto o del acero de refuerzo en los elementos de los pórticos principales.

²⁵ PCER (Programa de Capacitación para la Estimación del Riesgo) métodos para evaluar la vulnerabilidad sísmica de viviendas existentes En: Rehabilitación Sísmica de Estructuras [en línea] http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc320/doc320_7b.pdf [citado en 17 abril 2015]

Adicionalmente existen otras listas según el sistema de resistencia sísmica que se tenga.²⁶

- **Método del ATC-14**

Método desarrollado por el Applied Technology Council (Consejo de Tecnología Aplicada) "Evaluating the Seismic Resistance of Existing Buildings" (Evaluando La Resistencia Sísmica de Edificaciones Existentes), en 1987.

Este método evalúa el riesgo sísmico potencial de cualquier tipo de estructura, ubicada en cualquier zona de riesgo sísmico en los Estados Unidos. En la metodología se hace énfasis en la determinación de los "puntos débiles del edificio" con base en la observación de daños en edificios similares ocurridos en eventos sísmicos previos.²⁷

Inicialmente se identifican aquellos edificios que significan un riesgo para la vida humana, es decir, aquellos que pueden presentar alguna de las siguientes características durante un sismo determinado:

- Posibilidad que el edificio entero colapse.
- Posibilidad que porciones del edificio colapsen.
- Si componentes del edificio pueden fallar o caerse.
- Factibilidad de bloqueo de las salidas, impidiendo la evacuación o el rescate.

Evalúa los esfuerzos cortantes actuantes, los desplazamientos relativos en el entrepiso y ciertas características especiales del edificio.

²⁶ INETER (Instituto Nicaragüense de estudios territoriales) métodos para evaluar la vulnerabilidad sísmica de viviendas existentes En: Estudio Piloto de Vulnerabilidad Sísmica en Viviendas de 1 y 2 Pisos del Barrio Cuarto de Legua en el Cono de Cañaveralejo (Cali, Colombia) [en línea] <http://webserver2.ineter.gob.ni/geofisica/sis/vulne/cali/> [citado en 17 abril 2015]

²⁷ INETER. Op. cit., p. 7

El procedimiento básico es el siguiente:

1. Recolección de datos.

2. Inspección detallada in-situ.

Para cada uno de los edificios inspeccionados se realiza una planilla o "lista de chequeo", a la cual hay que responder con "cierto" o "falso" para tener una descripción de las características de la estructura. Si todas las respuestas son "cierto", la estructura no tiene problemas de comportamiento. Si alguna de estas preguntas se responde con un "falso" es necesario investigar el elemento que presenta problemas.

3. Descripción del modelo estructural del edificio.

4. Cálculo aproximado de los esfuerzos de corte y de los desplazamientos relativos para estructuras de concreto.

5. Comparación de la relación Capacidad/Demanda (C/D) con los valores especificados en la norma ATC, los cuales varían entre el 20% y el 40%.

6. Estimación rápida de la deriva o desplazamiento relativo.

7. Se realiza una revisión de los detalles especiales basándose en las respuestas dadas en la "lista de chequeo".

- **Método FEMA-273**

Está diseñado para identificar más en detalle los miembros estructurales (columnas y vigas), que se encuentran deficientes en cuanto a su capacidad o resistencia que el detalle al que llega el FEMA-178 que se comentará más adelante. Este método adicionalmente nos ofrece una metodología para desarrollar las estrategias de rehabilitación o reforzamiento de la edificación.

Se definen diferentes métodos y criterios de diseño para alcanzar diferentes niveles de desempeño sísmico de la edificación. Dentro de los niveles de desempeño sísmico se encuentran: Nivel Operacional, Nivel de Ocupación

Inmediata, Nivel de Protección de la Vida y Nivel de Prevención de Colapso. La escogencia de estos niveles depende del desempeño esperado de la edificación durante y después de un terremoto, de cuánto daño se va permitir que ocurra en la edificación, cuánta pérdida económica se permita y del traumatismo o interrupción que cause en las actividades de los ocupantes de la edificación.²⁸

- **Metodología de Hurtado y Cardona**

Esta metodología fue desarrollada por los ingenieros Omar Darío Cardona y Jorge Eduardo Hurtado en 1990²⁹ la cual evalúa la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones construidas en mampostería confinada y no confinada, generalmente de uno y dos pisos, mediante el cálculo de la resistencia sísmica al cortante y la ductilidad en la dirección más desfavorable, teniendo en cuenta la longitud y espesor de sus muros, al igual que el peso de la vivienda. Esta metodología permite categorizar el tipo de daños que puede presentar una edificación sometida a diversos valores de aceleración pico del terreno.

Métodos Cualitativos

Estos métodos son usados para obtener un estimativo de la vulnerabilidad de las edificaciones, lo que permite conocer el comportamiento de una zona urbana ante la ocurrencia de algunos fenómenos naturales, proporcionando con esto una herramienta muy importante para los planes de prevención y mitigación de desastres.

Dentro de estos métodos se encuentran:

- **Método de la AIS**

²⁸ INETER. Op. cit., p. 7

²⁹ HURTADO, J.E: "Metodología para el análisis de vulnerabilidad", Informe de consultoría al proyecto UNDRO – CIDA – ONAD "Mitigación de Riesgos Naturales en Colombia". Tema 1: Terremotos en Cali", Cali 1990.

La Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, publicó para el año 2001 el documento "Manual de Construcción, Evaluación y Rehabilitación Sismo Resistente de Viviendas de Mampostería", donde en su capítulo II presenta un método de evaluación del grado de vulnerabilidad sísmica de viviendas de mampostería, donde indica que la vulnerabilidad sísmica es la susceptibilidad de la vivienda a sufrir daños estructurales en caso de un evento sísmico determinado. Depende de aspectos como la geometría de la estructura, aspectos constructivos y aspectos estructurales.

Para que una vivienda califique como de vulnerabilidad sísmica intermedia o alta es suficiente con que presente deficiencias en cualquiera de los aspectos mencionados con anterioridad; geométricos, constructivos, cada uno con sus respectivas subdivisiones. La evaluación para calificar la vulnerabilidad debe hacerse con el mayor cuidado investigando los detalles a los que se hace referencia en su metodología.³⁰

- **Método ATC-21**

Método de Revisión por Filtro de Peligros Sísmicos Potenciales en edificaciones existentes, también tomado de la referencia [34], es un método analítico que se basa en darle una calificación inicial a una edificación y a medida que se avanza en la revisión, se van filtrando las características estructurales de la edificación y así mismo se le van restando o sumando puntos a la calificación inicial.

El procedimiento comienza por identificar el sistema estructural que resiste las fuerzas sísmicas así como los materiales de los que está compuesto. El puntaje se le irá sumando o restando a la calificación inicial dependiendo de factores tales como:

- Si es de gran altura.
- Si está deteriorado.

³⁰ INETER. Op. cit., p. 7

- Si tiene irregularidades geométricas.
- Si existen pisos flexibles dentro de la edificación.
- Si existe torsión en planta.³¹

- **MÉTODO FEMA -154**

El método usado en los Estados Unidos por el Federal Emergency Management Agency (FEMA), conocido como FEMA-154, es un método cualitativo, el cual para la determinación de si se reforzará la edificación lo hace a través de un índice, si el resultado de la evaluación es menor o igual que dos (≤ 2) hay que usar un método más detallado que conlleva el análisis de la edificación con análisis primeramente lineal, si cumple no hay que reforzar, si no cumple hay que hacer un análisis no lineal de la edificación, si cumple no hay que reforzar y si no cumple definitivamente hay que reforzarla. Si el índice de la metodología es mayor o igual que dos (≥ 2), no necesita reforzamiento, el índice 2 significa que la edificación tiene una probabilidad de 1 a 100 de que colapse.

El método maneja un formulario que contempla una descripción de la edificación que incluye: localización, número de pisos, año de construcción, área de construcción, nombre del edificio, uso, foto de la edificación, un espacio para esquematizar irregularidades tanto en planta como en elevación. También posee unos recuadros donde se señalará el uso, la cantidad de persona que la ocuparán, los tipos de suelo, los tipos de elementos no estructurales, 15 estructuraciones a contemplar, las cuales presentaremos con los índices básicos de acuerdo al riesgo sísmico de la localidad, luego presenta un recuadro donde están los factores de ajuste del índice básicos por las siguientes características: altura media (4 – 7 niveles), gran altura (≥ 8 niveles), irregularidades en elevación, irregularidades en planta, ajuste por el año de la edificación antes de uso de la primera normativa, ajuste por el año de construcción después de la normativa vigente. Luego presenta el cuadro de ajuste por el tipo de suelo, y por último se determina el índice final a través de una suma algebraica de los valores

³¹ INETER. Op. cit., p. 7

involucrados. Conocido este índice final se determina si no se necesita reforzar la edificación o si hay que utilizar otro método.³²

Los sismos, los temblores y terremotos son movimientos de la corteza terrestre estimulados por ondas sísmicas, estos movimientos tienden a evidenciar las grietas en los sistemas estructurales y agrupar ahí los daños, la mampostería es uno de los elementos que contiene mayor número de conexiones débiles que otros materiales, ya que es la mampostería es un material frágil.

Las edificaciones son obras que diseña, planifica y ejecuta el ser humano en su mayoría su uso es para vivienda, existen otras como las iglesias, los estadios que son de uso social para reunión pero no para vivir.

Según el decreto 302 de 2000 los asentamientos subnormales son aquellas cuya infraestructuras de servicios públicos domiciliarios presenta serias deficiencias por no estar integrada totalmente a la estructura formal urbana.

5.2 MARCO GEOGRÁFICO

El IDU indica que:

La ciudad de Bogotá D.C., se localiza en promedio a 2650m de altitud sobre el eje de la cordillera oriental de Colombia. Geomorfológicamente se diferencia de dos zonas: 1) La plana, ubicada hacia la parte central de del área, en donde se concentra la mayor parte de la población y 2) de relieve montañosos con una parte habitada, otra dedicada a la minería de tajo abierto (canteras gravilleras y chircales) y otra intervenida por el hombre, localizada res oriental y sur occidental de la ciudad.³³

³² INETER. Op. cit., p. 7

³³ INSTITUTO DEL DESARROLLO URBANO. Estudio y diseño geotécnico para fundaciones de puentes y otras estructuras. En: Consorcio IDS, Vol. 10, No 1, (2006). [en línea]. <http://webidu.idu.gov.co:9090/jspui/bitstream/123456789/32575/5/60014216-01.pdf> [citado en 31 de mayo de 2015].

En la zona dos anteriormente descrita se encuentra la localidad Rafael Uribe Uribe en donde la secretaria distrital de cultura³⁴ indica que tiene una extensión de 1310 hectáreas de donde el 97,6 es considerada como área urbana y solo un 2,4% es área por desarrollar y los cuales son terrenos no urbanizados, adicional no tiene suelo de expansión. De igual forma dicha localidad se divide en varias unidades de planeamiento zonal, una de ellas es la UPZ 54 la cual contiene 39 barrios.

La figura 3 muestra toda la parte de estructura básica de la UPZ 54, dentro de la cual está ubicado el barrio objeto del estudio, la UPZ mencionada es considerada según el decreto 406 de 2004³⁵ como una UPZ de atención prioritaria y mejoramiento integral por estar conformada con asentamientos humanos de origen ilegal, con uso residencial predominante, de estratos 1 y 2, los cuales presentan serias deficiencias de infraestructura, accesibilidad, equipamientos y espacio público.

De lo anterior se destaca que los barrios colindantes son de igual forma asentamientos subnormales con más tiempo de uso del suelo y que fueron creados en las mismas condiciones.

³⁴ SECRETARIA DISTRITAL DE CULTURA, RECREACION Y DEPORTE. Localidad Rafael Uribe Uribe ficha básica. 2009-2010. (en línea). <http://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/observatorio/documentos/localidades/rafaelUribe.pdf> [citado en 31 de mayo de 2015].

³⁵ COLOMBIA. ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ. DECRETO 406 DEL 2004. Por el cual se reglamenta la Unidad de Planeamiento Zonal (UPZ) No. 54, Marruecos, ubicada en la Localidad Rafael Uribe Uribe. (en línea). <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=15618> (citado el 28 de abril 2014).

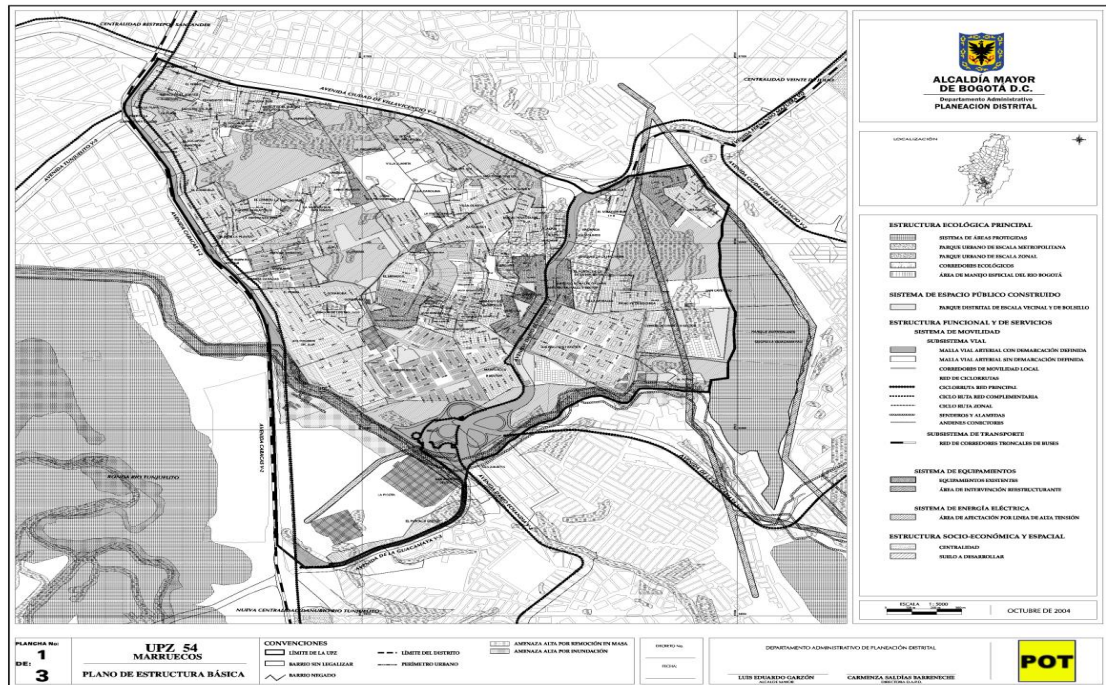


Figura 3. ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ. Plan de ordenamiento Territorial. (En línea). http://www.sdp.gov.co/portal/page/portal/PortalSDP/POT_2020/Documentos/01_Clasificacion_Rural_V1_2013.pdf (citado el 28 de abril de 214).

De acuerdo a la figura 4 se resalta la zona de estudio con una demarcación en color amarillo, y de manera aleatoria se escogieron las viviendas del asentamiento a ser evaluadas. (véase figuras 5,6 y 7).



Figura 4. GOOGLE MAPS. Imágenes © 2014digital globe, datos del mapa © 2014google. (En línea). <https://www.google.es/maps/@4.5528849,-74.1082792,1164m/data=!3m1!1e3>. (Modificado para fines científicos propios del autor).



Figura 5. Vista costado occidental del barrio Hacienda Los Molinos. Zona de estudio.
Fuente: propia



Figura 6. Vista vía principal del barrio Hacienda Los Molinos. Zona de estudio.
Fuente: propia



Figura 7. Vista costado sur del barrio Hacienda Los Molinos. Zona de estudio.
Fuente: propia

El asentamiento subnormal del barrio marruecos lleva más de 7 años en construcción, tiene una extensión aproximada de 4 Hectáreas y limita por el Occidente con la Carrera 5L Sur, por el Oriente con la Carrera 5D Sur, por el Norte con la calle 49 B Bis Sur y por el Sur con la Calle 49 Bis Sur (figura 3 y 4).

Además de colindar con las direcciones anteriormente mencionadas este lote hacía parte de la Hacienda los Molinos y una ladrillera considerados hoy en día Patrimonio cultural.

Teniendo en cuenta que la upz pertenece a la localidad Rafael Uribe Uribe, el sitio objeto de estudio tiene según la alcaldía mayor de Bogotá³⁶ una altitud aproximada de 2.590 metros sobre el nivel del mar (msnm), el clima es frío con una temperatura media anual de 14°C, la mayoría de su población se encuentra en estrato bajo (83.8%), seguido de estrato bajo- bajo (12%) y sin estrato (3.2%) por ilegalidad de barrios.

5.3 MARCO LEGAL

Para poder llevar a cabo un estudio de vulnerabilidad sísmica es necesario tener en cuenta una serie de requisitos establecidos por la gobernación colombiana, bajo las indicación de Ingenieros civiles expertos en el tema, dentro de ellas la Ley 400 de 1997, modificada por la Ley 1229 de julio 16 de 2008, en su Artículo 1º, tiene por objeto “establecer criterios y requisitos mínimos para el diseño, construcción y supervisión técnica de edificaciones nuevas, así como de aquellas indispensables para la recuperación de la comunidad con posterioridad a la ocurrencia de un sismo”³⁷, ahora bien es de aclarar que únicamente la norma aplica en el evento en que la estructura pueda verse sometidas a fuerzas

³⁶ COLOMBIA ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA. Diagnóstico físico y socioeconómico de las localidades de Bogotá, D.C. En: Recorriendo Rafael Uribe Uribe. [en línea]. <http://www.shd.gov.co/shd/sites/default/files/documentos/Recorriendo%20RAFAEL%20URIBE.pdf> [citado en 4 de abril de 2014].

³⁷ BERON USUBILLAGA, Emma Lúcia. Evaluación y elaboración de vulnerabilidad sísmica y reforzamiento estructural - infraestructura física educativa. Bogotá: 2011. PP 38-42.

sísmicas y otras fuerzas impuestas por la naturaleza, entonces se aplicara ya que cualquier estructura está expuesta a un eventual sismo.

El Artículo 54, Actualización de las Edificaciones Indispensables dice: “A las construcciones existentes cuyo uso las clasifique como edificaciones indispensables y de atención a la comunidad, localizadas en zonas de amenaza sísmica alta e intermedia, se les debe evaluar su vulnerabilidad sísmica, de acuerdo con los procedimientos que habrá de incluir el Título A de la reglamentación, en un lapso no mayor de tres (3) años contados a partir de la vigencia de la presente Ley”.

Según el artículo anterior³⁸ estas edificaciones deben ser intervenidas o reforzadas para llevarlas a un nivel de seguridad sísmica equivalente al de una edificación nueva diseñada y construida de acuerdo con los requisitos establecidos, esto teniendo en cuenta que el asentamiento subnormal en construcción tendrá edificaciones con estas especificaciones.

Es importante tener en cuenta la norma que rige a la Ingeniería civil, el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente – NSR-10 el cual en su título A, Capítulo A.2.5, coeficiente de importancia, clasifica las edificaciones de acuerdo a su tipo de uso y grado de importancia, para lo cual, las instituciones educativas (Guarderías, escuelas, colegios, universidades y otros centros de enseñanza) fueron clasificadas en el Grupo de Uso III, “Edificaciones de Atención a la Comunidad.

Teniendo en cuenta lo anterior, las Leyes 400 de 1997 y 1229 de 2008 y los Decretos 0926 de 2010 y 2525 de 2010, el REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCION SISMO RESISTENTE, NSR-10, para la elaboración de los diferentes proyectos que tengan que ver con los estudios de vulnerabilidad sísmica y reforzamiento estructural, establece unos criterios y requisitos mínimos para la evaluación e intervención de éstos, mediante la cual, las diferentes

³⁸ Ibíd. p 29

propuestas que resulten, se pueda escoger en un momento indicado, la que cumpla con los requerimientos del mismo.

En el Capítulo A.10 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10³⁹, “Evaluación e Intervención de Edificaciones construidas antes de la vigencia de la presente versión del Reglamento” se establecen los criterios que se deben seguir para los Estudios de Vulnerabilidad Sísmica”.

La Ley 1523 del 2012 por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el sistema nacional de gestión del riesgo de desastres y se dictan otras disposiciones⁴⁰.

Según el artículo 6 de la citada ley, como objetivo general se deberá llevar a cabo el proceso social de gestión de riesgos con el propósito de ofrecer protección a la población en el territorio colombiano.

A nivel local, el decreto 523 del 16 de diciembre de 2010⁴¹ por el cual se adoptó la Microzonificación Sísmica de Bogotá, reglamenta la planificación del desarrollo de la ciudad hacia el futuro a través de las restricciones a los tipos de construcción y los parámetros de diseño definidos para las diferentes zonas de la ciudad.

Con relación a los asentamientos subnormales El Decreto Nacional 564 de febrero 24 de 2006⁴² reglamentó, entre otras, las disposiciones sobre licencias urbanísticas, reconocimiento de edificaciones y legalización de asentamientos humanos constituidos por viviendas de interés social. En los artículos 122 a 131,

³⁹ COMISION ASESORA PERMANETE PARA EL REGIMEN DE CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES. Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica. Creada por la ley 400 de 1997. Colombia: 2010.

⁴⁰ COLOMBIA. CONGRESO DE COLOMBIA. Ley 1523. (24, Abril, 2012). Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el sistema nacional de gestión del riesgo de desastres y se dictan otras disposiciones.

⁴¹ COLOMBIA. ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ. Decreto 523. (16, diciembre, 2010). Por el cual se adopta la Microzonificación Sísmica de Bogotá. Bogotá: La Alcaldía, 2010. 21 p.

⁴² COLOMBIA. ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ. Decreto 564. (24, febrero, 2006). Por la cual se reglamentan las disposiciones relativas a las licencias urbanísticas; al reconocimiento de edificaciones; a la función pública que desempeñan los curadores urbanos; a la legalización de asentamientos humanos constituidos por viviendas de Interés Social, y se expiden otras disposiciones. Bogotá: La Alcaldía, 2006.

se establecen expresamente las disposiciones generales, el proceso y el trámite para la legalización de asentamientos humanos realizados clandestinamente.

5.4 MARCO HISTÓRICO

De acuerdo a lo contemplado por la alcaldía mayor de Bogotá⁴³ la Localidad Rafael Uribe Uribe se conforma a partir de las haciendas y fincas que componían un gran terreno de lo que es hoy en día el sur de Bogotá, Posee una parte plana, en donde se conecta con la zona más urbanizada de la ciudad y otra parte montañosa, donde se evidencia que están las construcciones más antiguas de la zona, es notorio el crecimiento acelerado y desordenado, de mal uso urbanístico y explotación de canteras. La población que se encuentra hoy en día inicia su verdadera expansión hacia los años cuarenta y cincuenta, cuando se producen las grandes migraciones de población que huye de la violencia del campo hacia la ciudad.

En la actualidad este territorio es llamado según el POT localidad Rafael Uribe Uribe. De allí surgen barrios como Santa Lucía, Olaya, el Libertador, Bravo Páez, Marco Fidel Suárez, San Jorge entre otros más adelante surgen barrio más grande como los son el Claret, el Inglés y Murillo Toro.

Los barrios siguieron naciendo a partir de invasiones masivas y surgen más barrios como San Agustín, barrio colindante con el asentamiento de investigación.

Para 1979, nacen urbanizadores invasores, entre ellos el señor Alfredo Guerrero Estrada, uno de los mayores urbanizadores ilegales del sur de Bogotá, quien crea más barrios como el Diana Turbay, ubicado en la parte media y alta. En 1988 y 1999 surgen treinta nuevos asentamientos subnormales que aumentan los índices de población.

⁴³ ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA, SECRETARIA DE PLANEACION. Diagnósticos de los aspectos físicos, demográficos y socio económicos año 2009. (en línea). http://www.sdp.gov.co/portal/page/portal/PortalSDP/ciudadania/Publicaciones%20SDP/PublicacionesSDP/18rafael_uribe_uribe.pdf (citado el 29 de abril de 2014).

Dentro de este proceso por la historia surgen los predios en donde actualmente crece de manera acelerada el barrio Hacienda Los Molinos, llamada así por colindar con una hacienda llamada del mismo modo y de propiedad de la familia Morales Gómez, terrero chircalero, con un permanente problema de ocupación de tierras.

Este último nombrado es el objeto de estudio, sobre el cual Camilo Segura Álvarez⁴⁴ averiguó que el 18 de enero del año 2012 un operativo de desalojo y demolición se desplegó sobre los lotes de 160 familias en Bosques de los Molinos, localidad de Rafael Uribe Uribe. Desde la noche anterior, donde más de mil policías circundaban el barrio. Visores nocturnos, armas de largo alcance, antimotines y un despliegue de tanquetas y camiones fueron el preámbulo del operativo que terminó con el derribo de 90 casas y marcó el comienzo de uno de los capítulos más trágicos de la historia de las urbanizaciones ilegales en la ciudad.

Un día después del comienzo de la diligencia adelantada por la Inspección 18 Distrital de Policía, que resolvía una querrela interpuesta por Francisco Morales, representante de la Ladrillera Molinos del Sur Ltda., la Corte Constitucional intervino y hoy aún meses después, no hay respuesta de la Corte para esta comunidad que pasa por una crisis humanitaria y de salubridad que no ha sido resuelta ni atendida por ninguna institución del Estado.

En el año 2001, el IDRDR decidió que la hacienda sería comprada para construir el parque zonal Hacienda Los Molinos para posibilitar la conectividad ecológica entre el Parque Ecológico de Montaña Entre Nubes y el río Tunjuelo. Meses después, se dio cuenta de que sería muy costoso remover los escombros que estaba dejando la Ladrillera San José y desistió de su plan. Sin embargo, la

⁴⁴ ALVAREZ SEGURA, Camilo. En manos de los tierreros en. Diario el Espectador Bogotá 11 de noviembre de 2012. (en línea). <http://www.elespectador.com/noticias/bogota/articulo-386364-manos-de-los-tierreros> (citado el 29 de abril de 2014).

Alcaldía dejó en firme sus intenciones con los terrenos y, por ello, cualquier movimiento sobre la propiedad quedó bloqueado.

El predio quedó en limbo el cual le dio la oportunidad excepcional para que los tierreros intervinieran.

En la hacienda Los Molinos, al ver que no había una población consolidada, los tierreros elaboraron todo un proyecto urbanístico desde 2003, con planos y diseños que incluían un total de 686 lotes, de los cuales lograron vender alrededor de 500 con un valor promedio de \$12'000.000. La mayoría de ellos en lo que hoy es el barrio La Laguna o Hacienda los Molinos.⁴⁵

Información el terreno en donde está actualmente el asentamiento fue una cantera de explotación de la ladrillera Molinos del sur, por lo que se generaron grandes excavaciones que con el paso del tiempo llegó a tener aproximadamente 12 metros de profundidad, de igual forma se iba llenando con material de escombros de la misma ladrillera y escombros traído de otras zonas de la ciudad.

⁴⁵ ALVAREZ SEGURA. Op. cit., p. 7

6. DISEÑO METODOLÓGICO

De acuerdo a Peralta⁴⁶ en el caso particular de las edificaciones de uno y dos pisos de construcción popular, la mayoría no cuenta con información referente a su diseño y construcción, como planos o estudios técnicos que permitan servir de insumo para su evaluación, es por tal razón que se hace necesario adelantar evaluaciones que no siendo tan rigurosas, permitan realizar una valoración cualitativa de la vulnerabilidad sísmica de la muestra tomada.

Con relación a lo anterior y al marco conceptual se ha propuesto desarrollar la metodología considerada por la AIS (Asociación de Ingeniería Sísmica), independiente de las otras metodologías y teniendo en cuenta que es recomendada por la comisión asesora permanente para el régimen de construcciones sismo resistentes creada por la ley 400 de 1997⁴⁷ y según la vigencia de la NSR 10.

La metodología adoptada según la AIS (Asociación de Ingeniería Sísmica)⁴⁸ tiene en cuenta la evaluación de varios aspectos que permiten realizar el análisis de vulnerabilidad sísmico estructural y los cuales se describen a continuación y con los que se realizan las calificaciones:

a. Aspectos geométricos

Este indicador considera y califica el grado de vulnerabilidad sísmica de acuerdo con la irregularidad en planta de la edificación, la cantidad de muros en las dos direcciones y la irregularidad en altura de la siguiente manera.

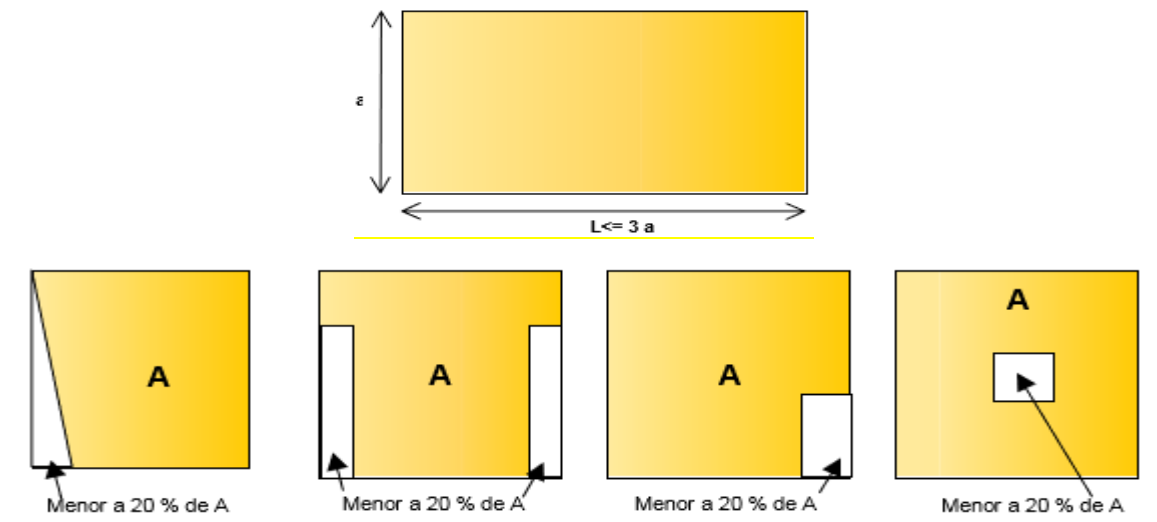
⁴⁶ PERALTA, Henry Adolfo. Escenarios de vulnerabilidad y daño sísmico de las edificaciones de mampostería de uno y dos pisos en el barrio San Antonio, Cali, Colombia. Cali: Proyecto de grado. Universidad del Valle, 2002.

⁴⁷ COMISIÓN ASESORA PERMANENTE PARA EL RÉGIMEN DE CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES. En: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, (1997). Bogotá:[en línea]. http://camacol.co/sites/default/files/comision_sismo_resistente/ACTA%20N.116%20Septiembre%2004%20de%202013.PDF [citado en 01 de mayo de 2015].

⁴⁸ AIS, Op. Cit.

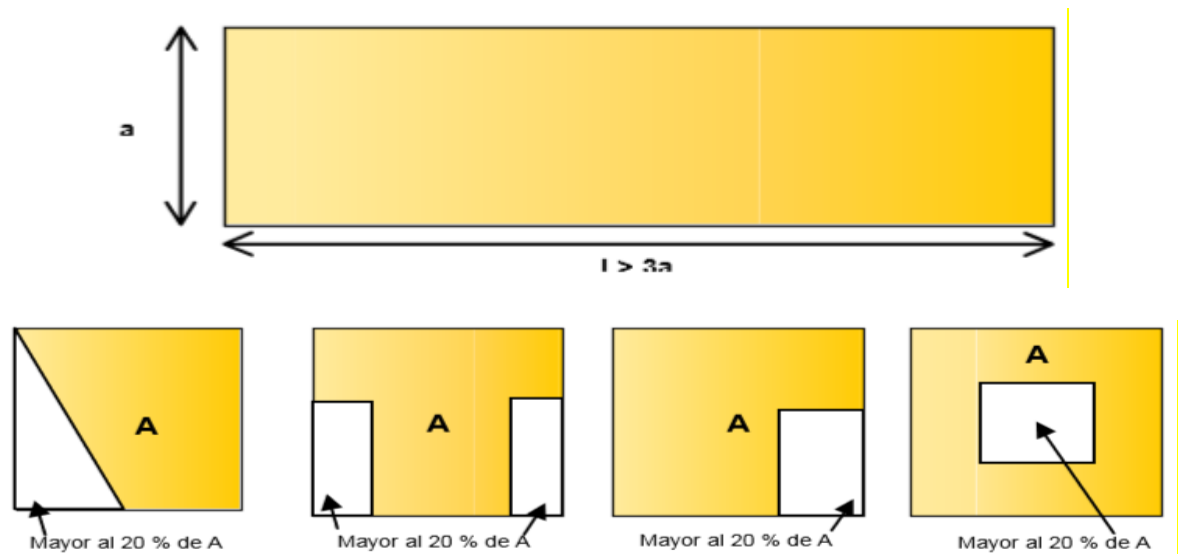
➤ **Irregularidad en planta de la edificación**

Para que la edificación clasifique como vulnerabilidad baja esta debe tener una forma geométrica regular y los más simétrica posible, el largo debe ser menor a tres veces el ancho y no debe tener entradas o salidas.



Fuente: AIS, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2001

Si por el contrario no cumple ninguna de las anteriores condiciones su calificación será desfavorable.



Fuente: AIS, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2001.

➤ **Cantidad de muros en las dos direcciones.**

En este ítem se califica la vulnerabilidad sísmica en relación a la cantidad de muros que debe tener una edificación en sus dos direcciones, de acuerdo con su espesor y la zona sísmica en donde se encuentre. Muros la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica indica que el cálculo de la longitud mínima de muros se debe realizar bajo la siguiente ecuación:

$$L_o = (M_o \times A_p)/t$$

Dónde:

A_p = área en m^2 de la planta (Si la cubierta es liviana, lámina, asbesto cemento, A_p se puede multiplicar por 0.67).

t = espesor de muros en mm.

L_o = Longitud total de muros en una dirección.

M_o = coeficiente que se obtiene de la siguiente tabla.

Figura 10. Valor de (M_o) para distintas aceleraciones (A_a)

Zona sísmica	A_a	M_o
Alta	0.4	33
	0.35	30
	0.3	25
	0.25	21
Intermedia	0.2	17
	0.15	13
Baja	0.1	8
	0.05	4

Fuente: AIS, 2001

➤ **Irregularidad en altura**

En este indicador se debe tener en cuenta que para que la vivienda califique como vulnerabilidad baja los muros estructurales deben ser continuos desde la cimentación hasta la cubierta, de lo contrario y cuanto a la cantidad de discontinuidades se calificara como media o baja según criterio del encuestador.

a. Aspectos constructivos.

Dentro de este indicador es de vital importancia realizar una inspección visual a la casa minuciosas y muy cercana a lo que es la mampostería como tal ya que debe evaluar aspectos como el material de pega, su calidad y la cantidad de material usado, en conclusión se está calificando las condiciones del mortero como material y como aplicación, de lo anterior surgen tres aspectos.

➤ **Calidad de las juntas de pega del mortero.**

Para que la calificación sea baja es necesario que el espesor del mortero presente una constante entre 0.07 y 1.3 cm entre las unidades de mampostería, de igual forma la junta deberá presentar un llenado total y la calidad deberá ser alta de tal forma que no permita un desprendimiento fácil al manipularlo, de lo contrario y en cuanto a la disminución de la calidad se calificara como media o baja según criterio del encuestador.

➤ **Tipo y disposición de las unidades de mampostería.**

Para que la calificación sea baja es necesario que las unidades de mampostería mantengan una posición de trabado entre cada una, un alineamiento totalmente horizontal y vertical hilada tras hilada, de no cumplirse alguna de las anteriores se calificara como media o baja según criterio del encuestador.

➤ **Calidad de los materiales.**

Para que la calificación sea baja deberá cumplir con las condiciones de buena calidad, el mortero, las unidades de mampostería y cada material utilizado allí, no se dejara rayar fácilmente con un clavo, adicional los elementos estructurales

deberán tener estribos abundantes y por lo menos de 3 a 4 barras de acero longitudinal y las unidades de mampostería no deberán tener gran cantidad de fisuras y no se romperán fácilmente al dejarlas caer de una altura de al menos 2 metros de no cumplirse alguna de las anteriores se calificara como media o baja según criterio del encuestador.

b. Aspectos estructurales.

Mediante este indicador se determina el tipo de sistema resistente que compone la estructura de la casa, que pueden estar confinados o reforzados. Para el caso específico de este estudio, las edificaciones se determinaron dos clasificaciones:

- Edificaciones de mampostería parcialmente confinada.
- Edificaciones de mampostería no confinada.

De lo anterior se evaluarán los siguientes aspectos.

➤ **Muros confinados y reforzados.**

Para que la calificación sea baja deberá cumplir con las condiciones de tener los muros confinados con vigas y columnas en concreto reforzados longitudinalmente y transversalmente, adicional estarán espaciados en un orden de al menos cada 4 metros o la altura de entrepisos y finalmente las culatas y antepechos deberán de igual forma estar confinadas, de no cumplirse alguna de las anteriores se calificara como media o baja según criterio del encuestador.

➤ **Detalles de columnas y vigas de confinamiento.**

Para que la calificación sea baja las columnas y vigas deberán tener mas de 20 cm de espesor o al menos más de 400 cm² de área transversal, estas deberán

estar ancladas entre si y tener un buen contacto con los muros, finalmente deberán tener al menos 4 barras longitudinales de 3/8 y estribos distribuidos a no más de 15cm, de no cumplirse alguna de las anteriores se calificara como media o baja según criterio del encuestador.

➤ **Vigas de amarre o corona.**

Para que la calificación sea baja los parapetos, antepechos, culatas uy fachadas deberán tener viga de amarre, de no cumplirse alguna de las anteriores se calificara como media o baja según criterio del encuestador.

➤ **Características de las aberturas.**

Para que la calificación sea baja las aberturas (puertas y ventanas), no deberán totalizar más del 35% del total del muro, la longitud total no deberá tener más de la mitad de la longitud del muro y entre un vano y el otro deberá haber 50 cm o la altura de la misma, de no cumplirse alguna de las anteriores se calificara como media o baja según criterio del encuestador.

➤ **Entrepiso**

Para que la calificación sea baja el entrepiso deberá estar conformado por placas construidas en sitio o prefabricadas y esta deberán ser monolíticas, continuas y estar apoyadas sobre los elementos estructurales verticales, de no cumplirse alguna de las anteriores se calificara como media o baja según criterio del encuestador.

➤ **Amarre de cubiertas.**

Para que la calificación sea baja el techo debe estar amarrado a los muros y a la estructura que la soporta, de igual forma deberá haber arriostramiento de las vigas y las distancia no deberá ser muy grande entre ellas y la cubierta deberá ser liviana, de no cumplirse alguna de las anteriores se calificara como media o baja según criterio del encuestador.

c. Cimentación

Para que la calificación sea baja la cimentación deberá conformar un sistema de anillos y estar empotrado dentro del terreno al menos 50cm, si el suelo es poco estable deberá tener un cimientado en concreto ciclópeo, de no cumplirse alguna de las anteriores se calificara como media o baja según criterio del encuestador.

d. Suelos.

Para que la calificación sea baja el suelo deberá ser duro, generalmente no hay fisuramientos en las viviendas ni hundimientos en el terreno, de no cumplirse alguna de las anteriores se calificara como media o baja según criterio del **encuestador.**

e. Entorno.

Para que la calificación sea baja la topografía donde se encuentra la vivienda deberá ser plana o muy poco inclinada, de lo contrario si la inclinación esta entre 20 a 30 grados se calificara como media o si por el contrario supera los 30° se calificará con una vulnerabilidad alta.

De igual forma y amañera de tener un visión global del daño que podría presentar las viviendas se adopta la metodología de hurtado aplicada a 4 de ellas, claro está sin ahondar en el tema relacionado con daños, solo se tomara como una

referencia para comparar con el índice de vulnerabilidad que se obtenga por el método de la AIS. Dicha metodología se aplicara de la siguiente forma:

a. Ubicación de la zona geotécnica

Con los valores mostrados en la siguiente tabla 19 ubicamos en el mapa de la figura 11 nuestra área de estudio para saber en qué zona geotécnica se encuentra.

Zona	F_a (475)	F_v (475)	T_C (s)	T_L (s)	A_0 (475) (g)
CERROS	1.35	1.30	0.62	3.0	0.18
PIEDEMONTE A	1.65	2.00	0.78	3.0	0.22
PIEDEMONTE B	1.95	1.70	0.56	3.0	0.26
PIEDEMONTE C	1.80	1.70	0.60	3.0	0.24
LACUSTRE-50	1.40	2.90	1.33	4.0	0.21
LACUSTRE-100	1.30	3.20	1.58	4.0	0.20
LACUSTRE-200	1.20	3.50	1.87	4.0	0.18
LACUSTRE-300	1.05	2.90	1.77	5.0	0.16
LACUSTRE-500	0.95	2.70	1.82	5.0	0.14
LACUSTRE ALUVIAL-200	1.10	2.80	1.63	4.0	0.17
LACUSTRE ALUVIAL-300	1.00	2.50	1.60	5.0	0.15
ALUVIAL-50	1.35	1.80	0.85	3.5	0.20
ALUVIAL-100	1.20	2.10	1.12	3.5	0.18
ALUVIAL-200	1.05	2.10	1.28	3.5	0.16
ALUVIAL-300	0.95	2.10	1.41	3.5	0.14
DEPÓSITO LADERA	1.65	1.70	0.66	3.0	0.22

Tabla 19. Coeficientes de Diseño
Fuente: Decreto 523 de 16 de Diciembre de 2016

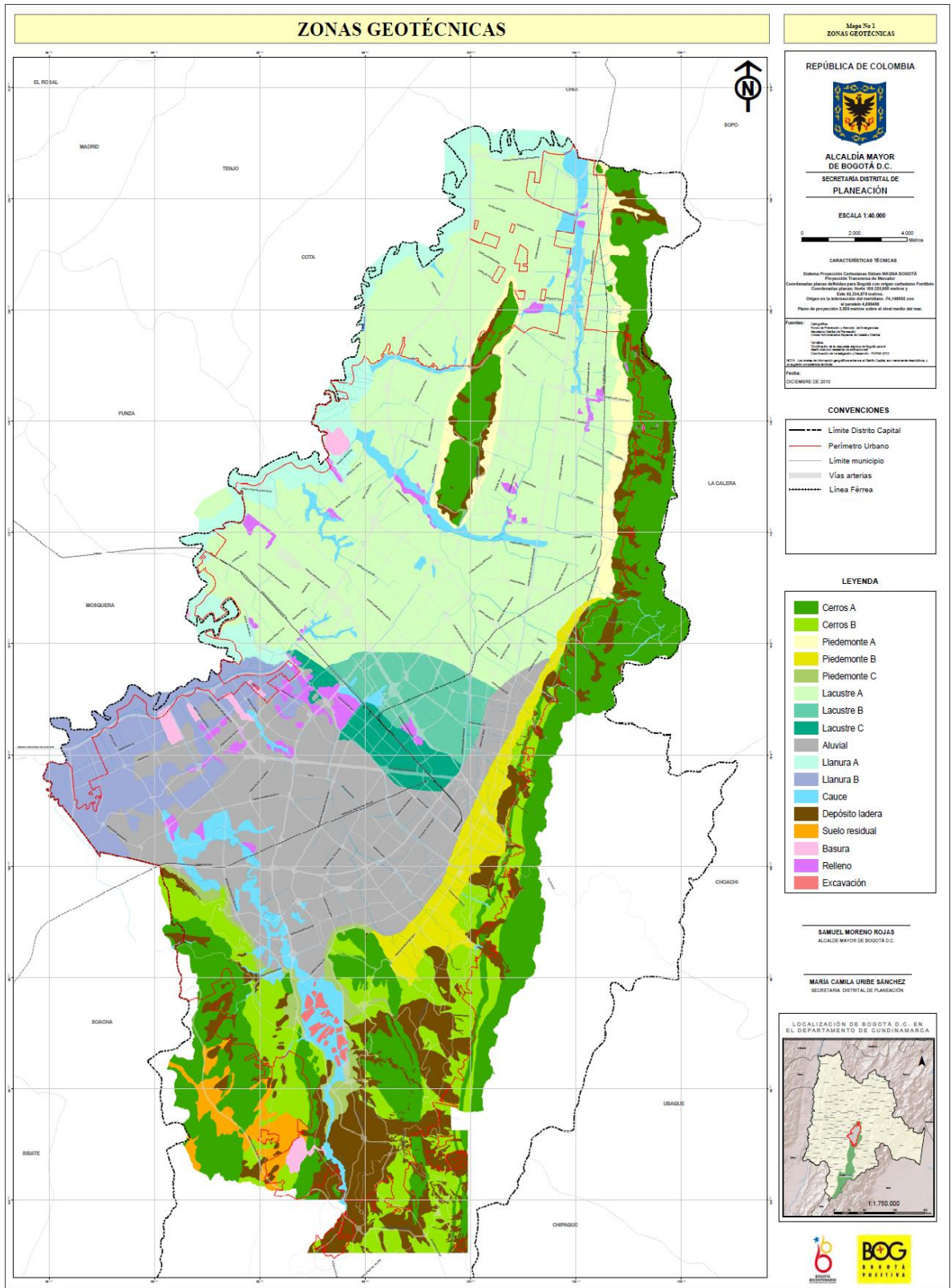
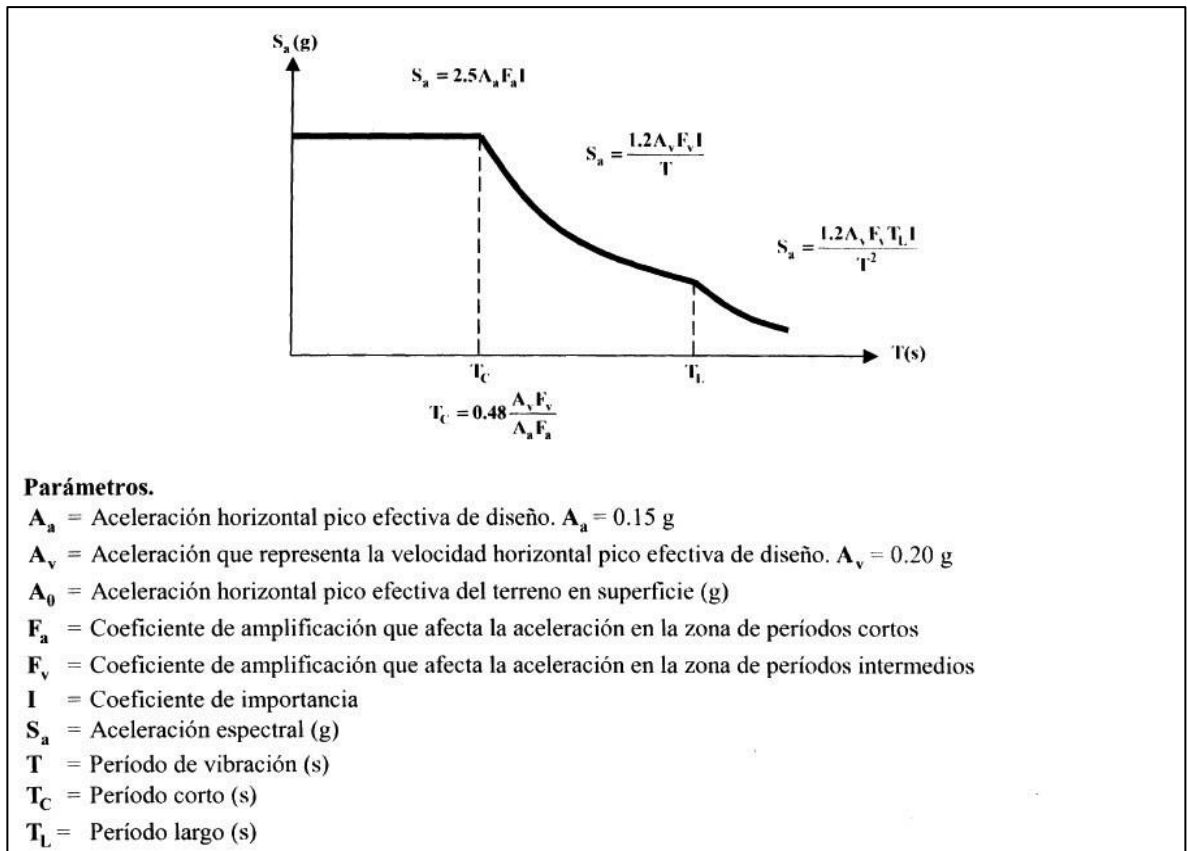


Figura 11. Zonas geotécnicas
Fuente: Decreto 523 de 16 de Diciembre de 2010

b. **Calculo de la demanda de ductilidad:** se necesita la aceleración dada por la norma NSR-10 de donde se toma el valor S_a (Espectro de aceleración) para un periodo corto T_c o en la meseta del espectro.



Gráfica 18. Curva de diseño para un coeficiente de amortiguamiento de 5% del crítico
Fuente: Decreto 523 de 16 de Diciembre de 2010

Posterior a eso es necesario continuar calculando lo siguiente:

1. Cálculo de las longitudes de los muros resistentes del primer piso de la vivienda.
2. Cálculo de la resistencia a cortante menos favorable (VR), considerando la menor longitud de muros en una dirección en el primer piso de la edificación. La resistencia al cortante se calcula como:

$$VR = (L) \times (e) \times (v)$$

Donde:

VR: cortante de los muros.

L: longitud de muros en cada una de las dos direcciones principales de la edificación.

e: espesor de los muros

v: valor de la resistencia a cortante de los muros (15 Tn/m² para mampostería confinada y 75 Tn/m² para mampostería no confinada). Que para nuestro trabajo tomaremos $v = 10 \text{ Tn/m}^2$ que representa el valor para muros parcialmente confinados. Según los ensayos de laboratorio para muros de mampostería de la universidad de los Andes en 1990 49 (Campos, 1992).

1. Cálculo del peso de la edificación que es resistido por la estructura (W), multiplicando el área por el peso por m².
2. Cálculo del coeficiente (CSR), es decir, el porcentaje del peso de la edificación que es resistido por la estructura, como cortante horizontal en la dirección más desfavorable. Esto resulta de dividir la resistencia a cortante menos favorable VR, por el peso promedio de la vivienda según la siguiente expresión:

$$(CSR) = (VR) / (W).$$

5. Cálculo del coeficiente exigido a la estructura CSE (Sa) a partir del espectro de respuesta escogido, de acuerdo con la NSR-10 estipulado en el Título A.
6. Cálculo de la demanda de ductilidad (DD), como la relación entre el coeficiente sísmico exigido (Sa) y el coeficiente sísmico resistente (CSR), de acuerdo con la siguiente expresión:

$$(DD) = (CSE) / (CSR)$$

⁴⁹ CAMPOS, García Ana. Mitigación del Riesgo Sísmico en Cali. "Programa de Mitigación de Desastres en Colombia". Informe Final -FASE I. Observatorio Sismológico del Sur Occidente. OSSO -Universidad del Valle. Cali, 1992.

Se toma como valor de referencia la ductilidad disponible (capacidad de ductilidad) con un valor de 1.0 para MNC (muros no confinados) y un valor de 2.0 para la MC (muros confinados).

Por último teniendo en cuenta los resultados anteriores, se puede clasificar y los daños de una manera cualitativa en las categorías de daño que se mostraron en la tabla 20.

Los efectos por categoría de daños se expresan de acuerdo con lo expuesto por Hurtado⁵⁰ de la siguiente manera:

1. Ninguno: sin daños.
2. Menores: daños menores en elementos arquitectónicos.
3. Moderados: daños generalizados en los elementos arquitectónicos y daños menores en los elementos estructurales.
4. Mayores: daños generalizados en los elementos estructurales y arquitectónicos.
5. Totales: daños en la estructura no reparables, por lo tanto la edificación debe ser demolida y reemplazada.
6. Colapso: edificación parcial o totalmente colapsada por inestabilidad.

Una vez obtenido este valor se relacionara con la metodología principal adoptada.

6.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

Para el análisis del grado de vulnerabilidad sísmica estructural de viviendas de uno y dos pisos se parte de un enfoque cualitativo y cuantitativo que permite realizar este proceso. Con este método se obtienen valores que permiten conocer que aspectos presentan deficiencias en zona en estudio ante la ocurrencia de un sismo.

La metodología se aplicó a las viviendas de la muestra específica. Con base en este procedimiento y en el análisis de los aspectos incidentes en la vulnerabilidad

⁵⁰ HURTADO, Jorge Eduardo, Op. Cit.

de las viviendas objeto de estudio, se procedió a evaluar el grado de vulnerabilidad sísmica de las viviendas de la población estudiada.

6.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación es de tipo descriptiva pues se ocupa de la recopilación de datos y características de las viviendas de la población objeto de estudio de manera visual. El objetivo es la recolección de datos que pueden usarse en promedios y cálculos estadísticos de la evaluación de vulnerabilidad sísmica de viviendas. Los estudios no involucran experimentación.

6.3. DISEÑO MUESTRAL

Una vez visitado el sitio se procedió a identificar las edificaciones objeto de este estudio y se llevó a cabo un muestreo probabilístico el cual es un método de los más frecuentes, y es probabilístico debido a que todos los elementos tienen la misma oportunidad o probabilidad de ser escogidos, adicional es uno de los más recomendables.

Para llevar a cabo este tipo de método se tuvo en cuenta varios aspectos fundamentales relacionados con el parámetro y el estimador, el error muestral, el nivel de confianza y la varianza poblacional.

- El parámetro se refiere a la característica de la población que es objeto de estudio.
- El Estimador es la función de la muestra que se usa para medirlo.
- El Error muestral siempre se comete ya que existe una pérdida de la representatividad al momento de escogerlos elementos de la muestra.

- Nivel de Confianza es la probabilidad de que la estimación efectuada se ajuste a la realidad; es decir, que caiga dentro de un intervalo determinado basado en el estimador y que capte el valor verdadero del parámetro a medir. A continuación se muestra la tabla del nivel de confianza basado en el porcentaje de confiabilidad que se quiere.

Figura 8. Valores de la variable z en relación al nivel de confianza elegido.

Nivel de Confianza	99.73%	99%	98%	96%	95.45%	95%	90%	80%	68.27%
Valores de Z	3.00	2.58	2.33	2.05	2.00	1.96	1.645	1.28	1.00

SCHEAFFER L. Richard. Elementos de muestreo. España, 2007.

A continuación se presentan dos fórmulas para determinar tamaño de muestra considerando muestra aleatoria simple o sistemática.

Figura 9. Ecuaciones de muestreo en relación a la muestra.

El tamaño de muestra cuando no se conoce la población (Población infinita)	El tamaño de muestra cuando se conoce la población (Población finita)
$n = \frac{Z^2 \sigma^2}{e^2}$	$n = \frac{Z^2 \sigma^2 N}{e^2 N - 1 + Z^2 \sigma^2}$

SCHEAFFER L. Richard. Elementos de muestreo. España, 2007.

En donde:

Z= Nivel de confianza elegido

σ = Desviación estándar de una variable cuantitativa

e= Error máximo

N=Tamaño de la población.

Con el número de calculado se tomarán de manera de aleatoria las viviendas a evaluar.

6.4. FASES DE LA INVESTIGACIÓN

A partir de los criterios establecidos en los marcos de referencia y la metodología definida, a continuación se presenta las fases propuestas con base en los

parámetros teóricos de la sismo resistencia. Se calificaron los parámetros denominados Indicadores de Vulnerabilidad Sísmica, con los cuales se determina el grado de vulnerabilidad por indicador, además de la vulnerabilidad física global de las edificaciones obtenida a partir la suma de todos los indicadores.

6.4.1. Fase I - determinación de la muestra (edificaciones a estudiar)

En relación al diseño muestral y de acuerdo al proyecto de investigación se utilizó la ecuación del cálculo del tamaño de la muestra cuando se conoce la población, es decir cuando la población es finita, cabe aclarar que como no se tiene un valor de la desviación estándar suele usarse el valor 0.5 o 50%⁵¹

Para efectos de esta investigación se usó:

$Z= 1.695$ que corresponde a un nivel de confianza del 90%

$\sigma= 0.5$ ó 50%, según el recomendado

$e= 0.09$ ó 9%, error tomado a disposición de los autores de este trabajo de grado

$N= 447$ unidades o viviendas, el cual corresponde al total de viviendas del sitio.

6.4.2. Fase II - recopilación de información

Se realizó visita de campo y se analizaron cada una de las viviendas teniendo en cuenta variables como número de pisos, localización en sitio, tipo de estructura, tipo de muros, etc. En el registro fotográfico tomado en el sector de estudio, se observan algunos detalles de características de mampostería y placas de entrepiso. Falta confinamiento en algunas partes de la vivienda, falta continuidad en los elementos estructurales, irregularidad en la planta y alturas de las

⁵¹ SCHEAFFER L. Richard. Elementos de muestreo. España, 2007.

viviendas, pendientes del terreno, tipo de cimentación entre otras, fueron las variables observadas en campo.

6.4.3. Fase III – Determinación de la vulnerabilidad sísmica de la muestra

Cada uno de los elementos de la vulnerabilidad recibe una calificación de 1, 2 o 3, correspondiendo la primera una condición baja o leve, el segundo a una condición intermedia o moderada y la última a una condición severa o desfavorable, teniendo en cuenta los criterios de calificación mostrados más adelante.

Una vez calificado cada indicador y diligenciado en el formato creado por los autores de este trabajo de grado, se procede a sumar los valores respectivos para obtener el grado de vulnerabilidad física global cualitativa de la edificación de acuerdo con la siguiente expresión.

$$GV = \frac{\sum Iv}{n}$$

Dónde:

GV = Grado de vulnerabilidad sísmica

Iv = Indicador de vulnerabilidad de cada casa de la muestra.

n = Cantidad de casa de la muestra

La metodología permite obtener como resultado el análisis de cada indicador de la vulnerabilidad y establecer cuáles son los elementos más susceptibles de sufrir ante las sollicitaciones de un evento sísmico.

6.5. INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Las técnicas son básicas en cuanto al conocimiento mínimo de los elementos que componen una estructura y de por sí una vivienda, de allí que se realiza un formato en Excel para determinar o realizar la toma de información que posterior se analizará y procesará para el conocimiento del índice.

A partir de la información recolectada se ubicara una parte de la población objeto de estudio para iniciar con las visitas a cada vivienda ya habitada y lotes en construcción, en donde se evidencia físicamente fallas de tipo constructivo de la estructura principal y donde el ingreso económico presuntamente es más bajo debido a las condiciones de habitabilidad.

Adicional a esto no se ha podido encontrar un registro o una base de datos que contenga datos como tal del barrio, más en el plan de ordenamiento territorial este sitio estaba destinado para fines de un parque zonal. Ante la ausencia de este tipo de registros se realizó una serie de visitas cortas que se denomina preliminares, con el fin de realizar el acopio de información más específica.

7. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

A continuación se muestra una tabla con las fechas y actividades que se realizarán para el desarrollo de la investigación:

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES 2015 (meses-semanas)																
Actividades	Febrero				Marzo				Abril				Mayo			
	1ra	2da	3ra	4ta	1ra	2da	3ra	4ta	1ra	2da	3ra	4ta	1ra	2da	3ra	4ta
Recolección de información sobre el tema	■	■														
Determinación de las muestras en sitio			■	■	■											
Recolección de datos en sitio					■	■	■	■								
Recopilación de Información Obtenida									■	■						
Procesamiento de la Información												■				
Determinación del índice de vulnerabilidad sísmica del lugar objeto de estudio													■			

Tabla 2. QUINTERO ROJAS, Cristhian. Cronograma de actividades. Noviembre 22 de 2014. Bogotá.

8. PRESUPUESTO

Ahora bien de acuerdo a lo que se quiere desarrollar se presenta a continuación un cuadro en donde se relacionan los valores a invertir en el proyecto de investigación cuya fuente de financiación son recursos propios.

COTIZACIÓN PROYECTO DE INVESTIGACIÓN ASENTAMIENTO SUBNORMAL BARRIO HACIENDA LOS MOLINOS.				
CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
<i>Transportes al sitio objeto de estudio</i>	<i>Pasajes</i>	32	\$1.500,00	\$ 48.000,00
<i>Resma de papel Bond Tamaño carta</i>	<i>Unidad</i>	1	\$35.000,00	\$ 35.000,00
<i>Discos Compactos (CD)</i>	<i>Unidad</i>	2	\$1.500,00	\$ 3.000,00
<i>Fotocopias</i>	<i>Glb</i>	1	\$20.000,00	\$ 20.000,00
<i>cartucho de impresora</i>	<i>Glb</i>	1	\$65.000,00	\$ 65.000,00
TOTAL PRESUPUESTO				\$171.000,00

Tabla 3. BUSTOS LINARES, Bayardo. Presupuesto asentamiento subnormal Hacienda los Molinos. Mayo 5 de 2014. Bogotá.

9. RESULTADOS DE LOS ÍNDICES DE VULNERABILIDAD SÍSMICA POR VIVIENDA INVENTARIADA PARA EL BARRIO HACIENDA LOS MOLINOS DE LA LOCALIDAD RAFAEL URIBE URIBE AL SUR DE BOGOTÁ.

A cada vivienda inventariada se le calculó el índice con base en la calificación de vulnerabilidad para cada uno de los aspectos inspeccionados en el terreno (geométricos, constructivos, estructurales, cimentación, suelos y entorno). Fue necesario adoptar un porcentaje de acuerdo con el orden de importancia considerado ante un evento sísmico, el cual está especificado en el formato guía de evaluación del grado de vulnerabilidad sísmica de viviendas de uno y dos pisos de mampostería de la AIS.

9.1. Generalidades

Una vez realizado el cálculo de muestra el cual arroja como resultado un tamaño de (n) igual a 74.1 que se aproximó a 75 unidades y con el cual se realizó el análisis de vulnerabilidad.

Una vez calificados los aspectos en campo, se procedió a calcular el índice de vulnerabilidad sísmico de las edificaciones de la muestra objeto de estudio, aplicando la metodología adoptada.

Es de aclarar que los análisis obedecen a criterios cualitativos, los cuales podrán ser ratificados siempre y cuando se realice un estudio con mayor detalle. es importante indicar que este trabajo hace parte de un elemento importante para el desarrollo del barrio que permita la identificación de parámetros que puedan constituir un riesgo para los habitantes de las viviendas.

9.2. Determinación de la vulnerabilidad sísmica.

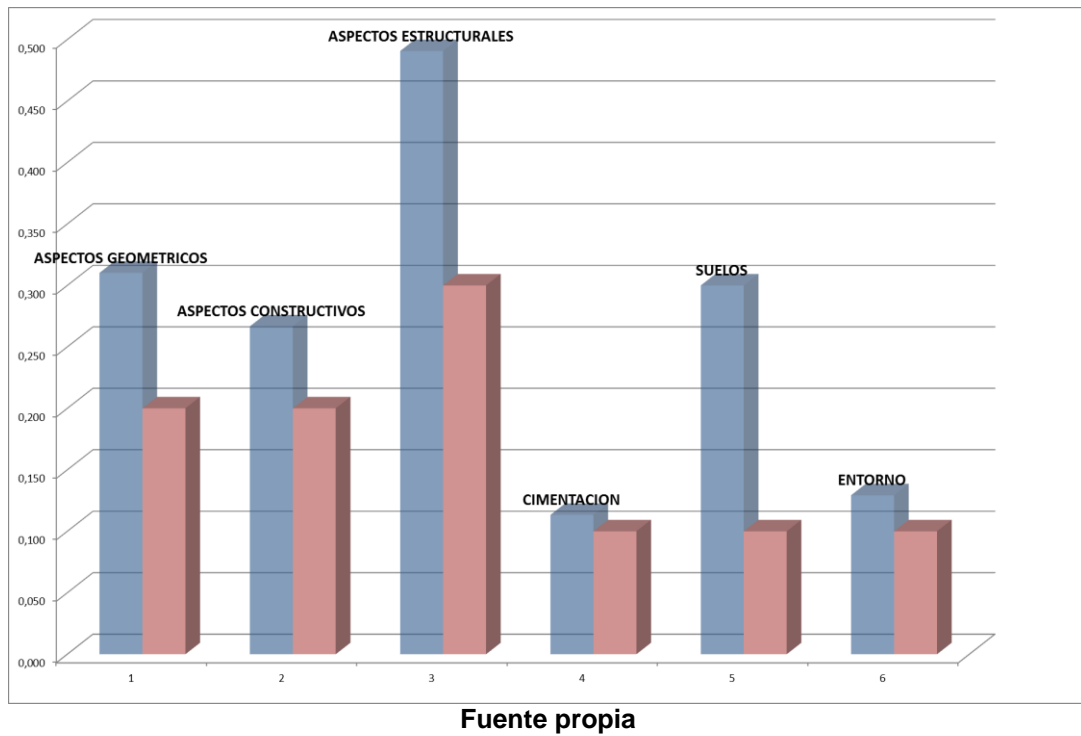
Después de realizar la calificación de los índices de vulnerabilidad de cada aspecto a las 75 viviendas, se procede a sistematizar los datos en Excel cuyo

resultado final revela un índice de vulnerabilidad de 2, lo que indica que es una vulnerabilidad media, tal y como lo muestra la gráfica N°.1

Grafica N° 1
Resumen del porcentaje de la vulnerabilidad total



Grafica 2. Resultados de aspectos generales vs ideales.



La Grafica N° 2 indica bajo las barras azules los resultados obtenidos para cada aspecto primario, las barras rojas indican los resultado ideales a obtener para que el área de estudio sea de baja vulnerabilidad, por lo que se puede evidenciar que los aspectos más desfavorables son los aspectos estructurales y suelos, con una mediana incidencia los aspectos geométricos y con menor acción los demás aspectos.

A continuación se muestran gráficamente los porcentajes de incidencia en cada uno de los aspectos que componen los aspectos primarios contemplados en el estudio de vulnerabilidad por el método cualitativo para las viviendas inventariadas en el barrio de estudio y así analizar más detalladamente cada aspecto principal.

9.3. Análisis de los resultados obtenidos según el aspecto secundario evaluado

9.3.1. Aspectos geométricos

De la gráfica 2 se observa que el resultado obtenido como número adimensional esta medianamente lejano del resultado ideal, por tanto a continuación se analiza los resultados obtenidos de los aspectos que componen a este.

9.3.1.1. Irregularidad en planta.

La gráfica 3 con relación a la Tabla 4 indica que el 91% de las viviendas inventariadas tienen forma regular. En algunos casos escasos, el largo es tres veces mayor que el ancho única característica que afecta este aspecto y que por

consiguiente es baja calificación en cuanto a vulnerabilidad media y en menos proporción vulnerabilidad alta.

Hay pocos muros confinados o reforzados. La mayoría de los muros están en una sola dirección.

Tabla 4.
Resumen de la vulnerabilidad con relación a la irregularidad en planta

RESUMEN DE DATOS		
TIPO DE CALIFICACION	CANTIDAD DE CASAS	PORCENTAJE (%)
Vulnerabilidad baja	68	91%
Vulnerabilidad media	5	7%
Vulnerabilidad alta	2	3%
TOTAL	75	100%

Gráfica 3.
Cálculo de la vulnerabilidad con relación a la irregularidad en planta



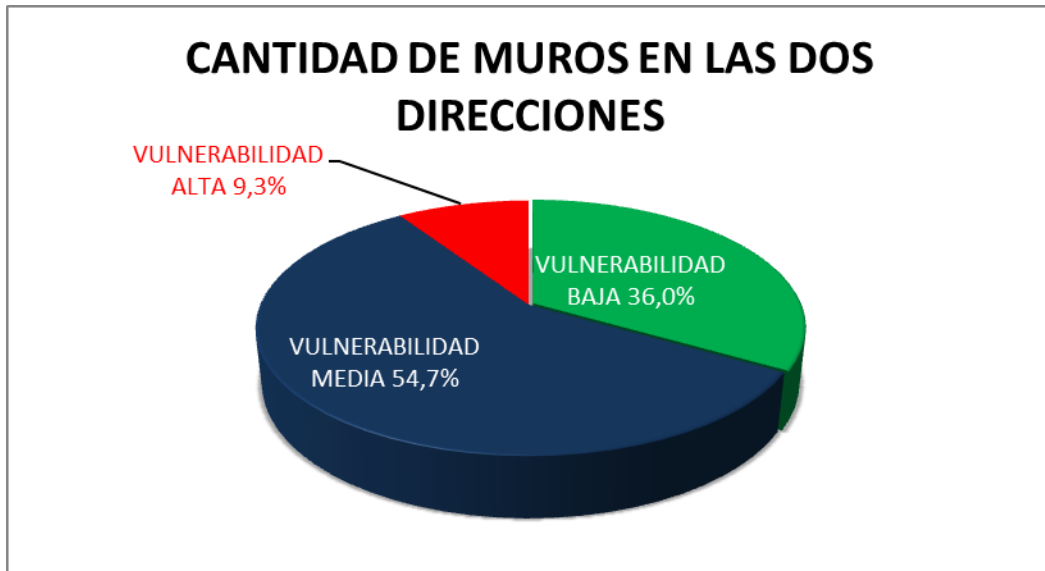
9.3.1.2. Cantidad de muros en las dos direcciones

En relación a la tabla 5 y grafica 4 se puede observar claramente que la vulnerabilidad media predomina en este aspecto, seguido de la vulnerabilidad baja y en último lugar la alta. Analizados estos resultados se determina que la única causal de este resultado fue que no se cumplió la igualdad dada por la fórmula para hallar la longitud de los muros relacionada en el capítulo 6, en esta se usó un coeficiente de $M_o = 13$ relacionada en la figura N° 10 descrita anteriormente.

Tabla 5.
Resumen de la vulnerabilidad en relación a la cantidad de muros en las dos direcciones

RESUMEN DE DATOS		
TIPO DE CALIFICACION	CANTIDAD DE CASAS	PORCENTAJE (%)
Vulnerabilidad baja	27	36,0
Vulnerabilidad media	41	54,7
Vulnerabilidad alta	7	9,3
TOTAL	75	100,0

Grafica 4.
Calculo de la vulnerabilidad en relación a la cantidad de muros en las dos direcciones



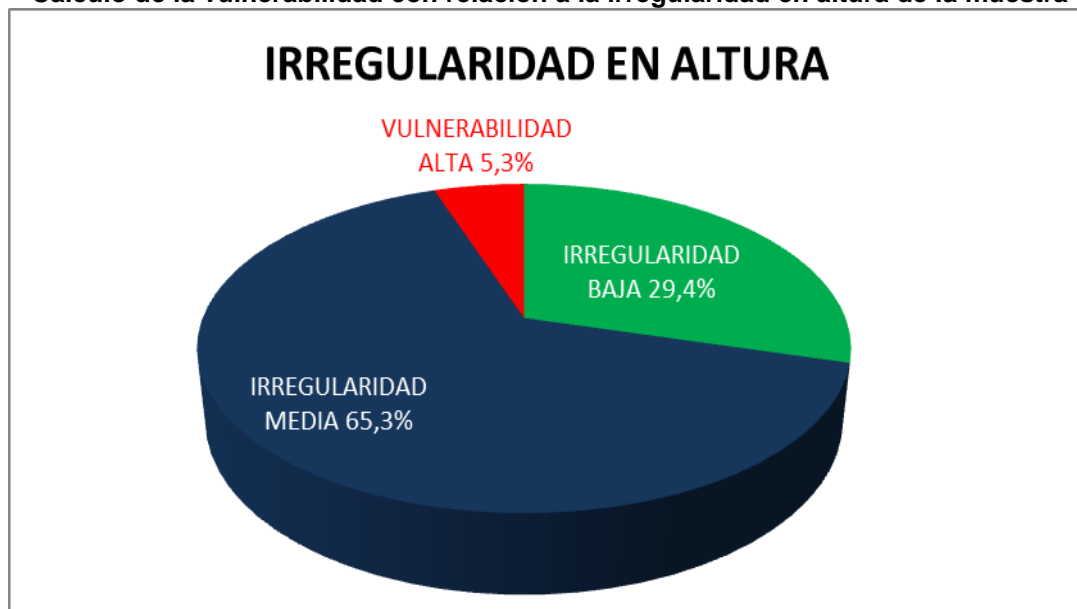
9.3.1.3. Irregularidad en altura.

Con relación a la tabla 6 y grafica 5, se observa que predomina la vulnerabilidad media, seguido por la baja y finalmente la vulnerabilidad alta. De estos resultados se analiza algunos de los muros que son discontinuos desde la cimentación y que no cumplen con lo establecido para esta calificación.

Tabla 6.
Resumen de la vulnerabilidad con relación a irregularidad en altura

RESUMEN DE DATOS		
TIPO DE CALIFICACION	CANTIDAD DE CASAS	PORCENTAJE (%)
Vulnerabilidad baja	22	29,4
Vulnerabilidad media	49	65,3
Vulnerabilidad alta	4	5,3
TOTAL	75	100,0

Grafica 5.
Cálculo de la vulnerabilidad con relación a la irregularidad en altura de la muestra



9.3.2. Aspectos constructivos

De la gráfica 6 se observa que el resultado obtenido como número adimensional está muy cercano al resultado ideal, por tanto a continuación se analiza los resultados obtenidos de los aspectos que componen a este.

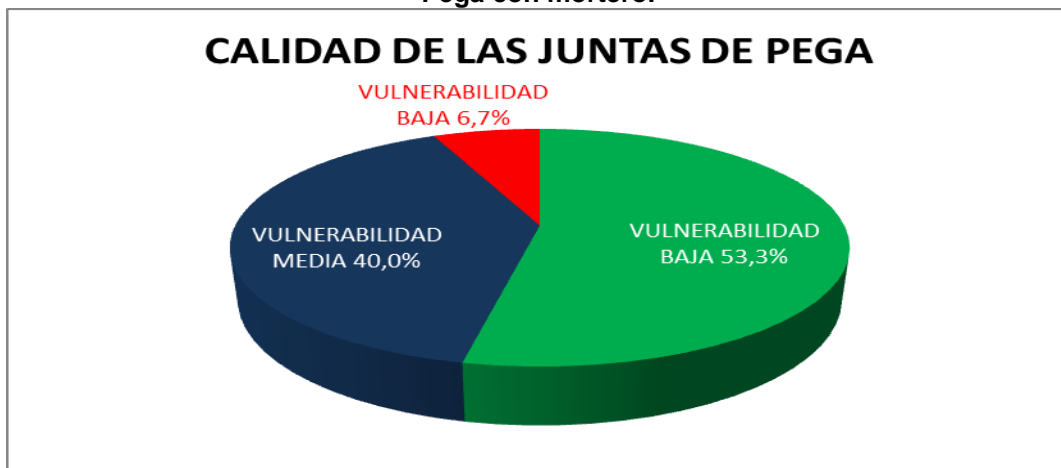
9.3.2.1. Calidad de las juntas de pega con mortero.

Con relación a la tabla 7 y grafica 6, se observa que la mayoría de las casas tienen buen mortero de pega entre las juntas y que mantienen un espesor constante, las de calificación media aunque tiene un porcentaje amplio no están lejos de tener las condiciones de baja vulnerabilidad, cabe aclarar que la mayor cantidad de casas están construidas en bloque de perforación horizontal N°4.

Tabla 7.
Resumen de la vulnerabilidad con relación a la calidad de las Juntas de pega con mortero.

RESUMEN DE DATOS		
TIPO DE CALIFICACION	CANTIDAD DE CASAS	PORCENTAJE(%)
Vulnerabilidad baja	40	53,3
Vulnerabilidad media	30	40,0
Vulnerabilidad alta	5	6,7
TOTAL	75	100,0

Gráfica 6.
Calculo de la vulnerabilidad con relación a la calidad de las juntas de Pega con mortero.



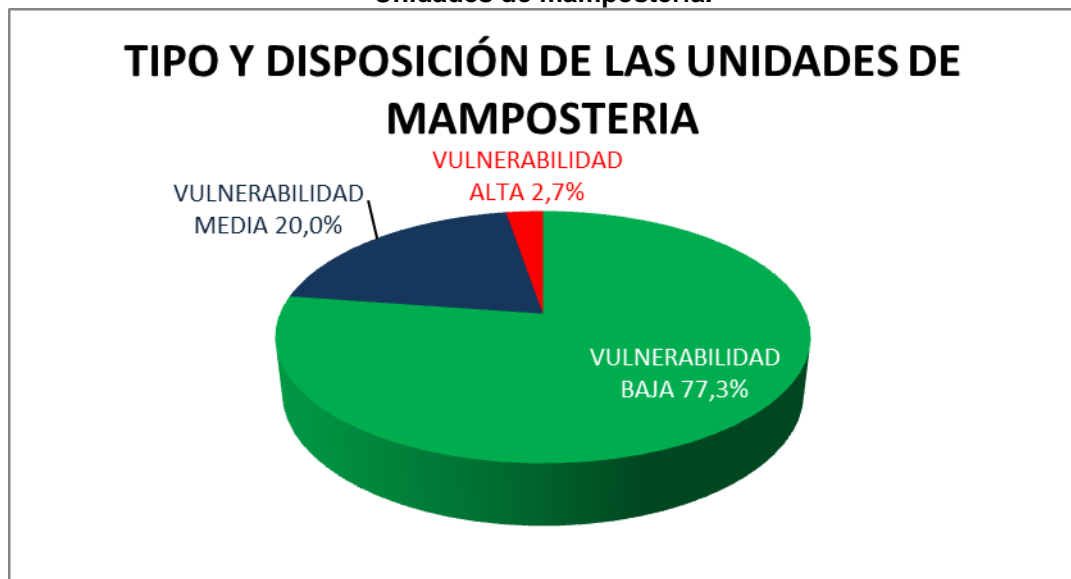
9.3.2.2. Disposición de las unidades de mampostería.

Con relación a la tabla 8 y grafica 7 es claro que las unidades de mampostería mantienen alineación horizontal como vertical correcta estando dentro de un rango bueno, las demás tienen algunos desplomes y desnivelaciones notorias que obligan a esta calificación, evidentemente en menos proporción.

Tabla 8.
Resumen de la vulnerabilidad con relación a la disposición de las unidades de mampostería.

RESUMEN DE DATOS		
TIPO DE CALIFICACION	CANTIDAD DE CASAS	PORCENTAJE (%)
Vulnerabilidad baja	58	77,3
Vulnerabilidad media	15	20,0
Vulnerabilidad alta	2	2,7
TOTAL	75	100,0

Gráfica 7.
Calculo de la vulnerabilidad con relación a la disposición de las Unidades de mampostería.



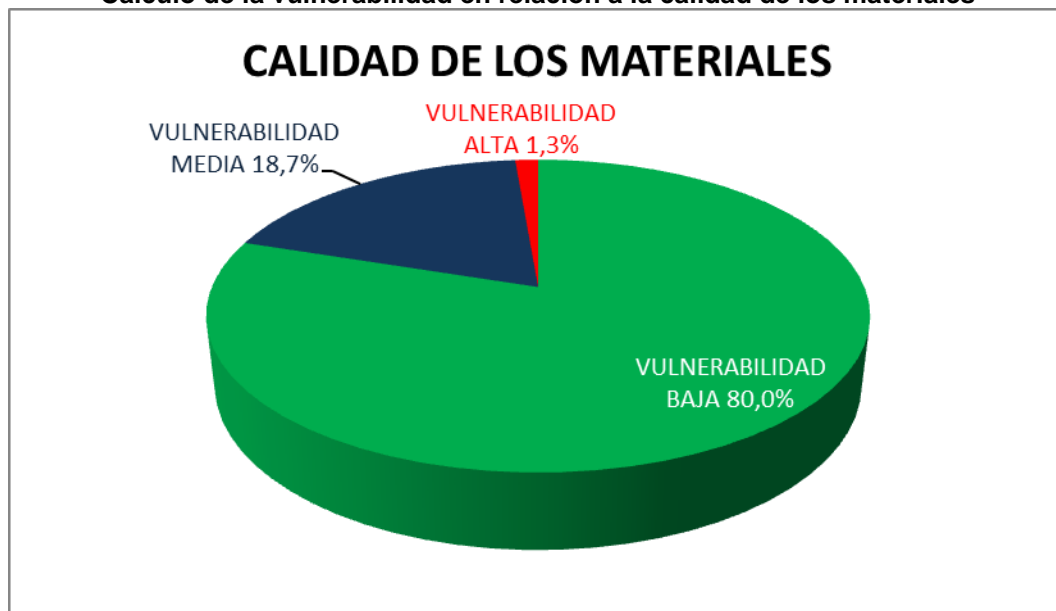
9.3.2.3. Calidad de los materiales.

Con relación a la tabla 9 y grafica 8 se muestra claramente que la calidad de los materiales es buena no se degrada fácilmente y la adherencia es buena, por otra parte hay varias columnas y vigas que presenta exposición del acero y hormigoneo en los elementos, en otros casos lo que hace que aparezcan calificaciones medias y altas pero de menor relevancia.

Tabla 9.
Resumen de la vulnerabilidad con relación a la calidad de los materiales

RESUMEN DE DATOS		
TIPO DE CALIFICACION	CANTIDAD DE CASAS	PORCENTAJE(%)
Vulnerabilidad baja	60	80,0
Vulnerabilidad media	14	18,7
Vulnerabilidad alta	1	1,3
TOTAL	75	100,0

Gráfica 8.
Cálculo de la vulnerabilidad en relación a la calidad de los materiales



9.3.3. Aspectos estructurales

Según los datos obtenidos en el aspecto estructural, se puede ver que el porcentaje es deficiente, es un valor que refleja la falta de la acción en la estructura y adicional es uno de los aspectos principales más importantes, a continuación se reflejan los resultados de cada aspecto secundario que componen el aspecto estructural propiamente dicho.

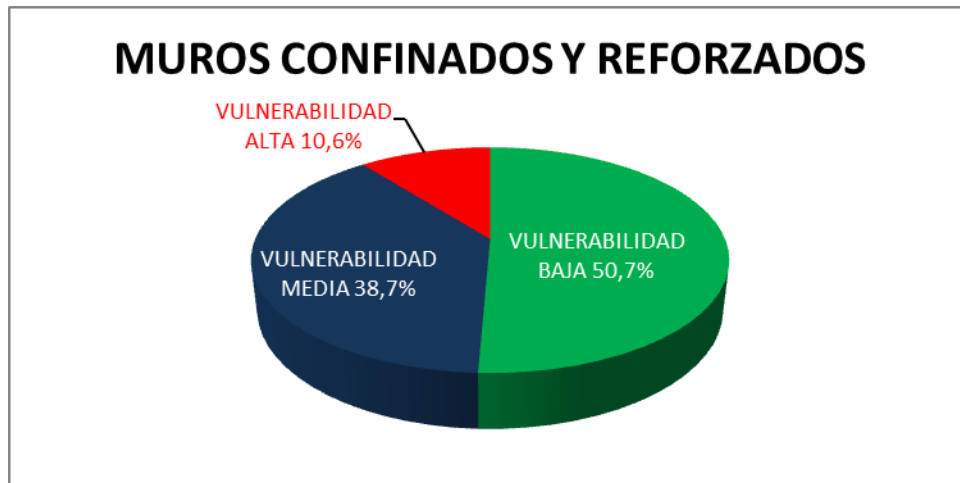
9.3.3.1. Muros confinados y reforzados.

Es de vital importancia el confinamiento en todos los muros de la edificación en relación a la tabla 10 y grafica 9, se puede detallar que el 50.7% de la vulnerabilidad es baja lo que puede considerarse que la mitad de la muestra está en condiciones favorables y la otra mitad no, aunque el siguiente porcentaje de 38.7 le corresponde a una vulnerabilidad media lo que conlleva a analizar que las viviendas no están del todo en un estado crítico en este aspecto. De lo observado el problema frecuente fue la falta de confinamiento de los muros teniendo en cuenta que las columnas y vigas existentes si presentaban reforzamiento con varillas N°4 y colocación de estribos.

Tabla 10.
Resumen de la vulnerabilidad en relación a los muros confinados y reforzados

RESUMEN DE DATOS		
TIPO DE CALIFICACION	CANTIDAD DE CASAS	PORCENTAJE (%)
Vulnerabilidad baja	38	50,7
Vulnerabilidad media	29	38,7
Vulnerabilidad alta	8	10,6
TOTAL	75	100,0

Gráfica 9.
Cálculo de la vulnerabilidad en relación a los muros confinados y reforzados.



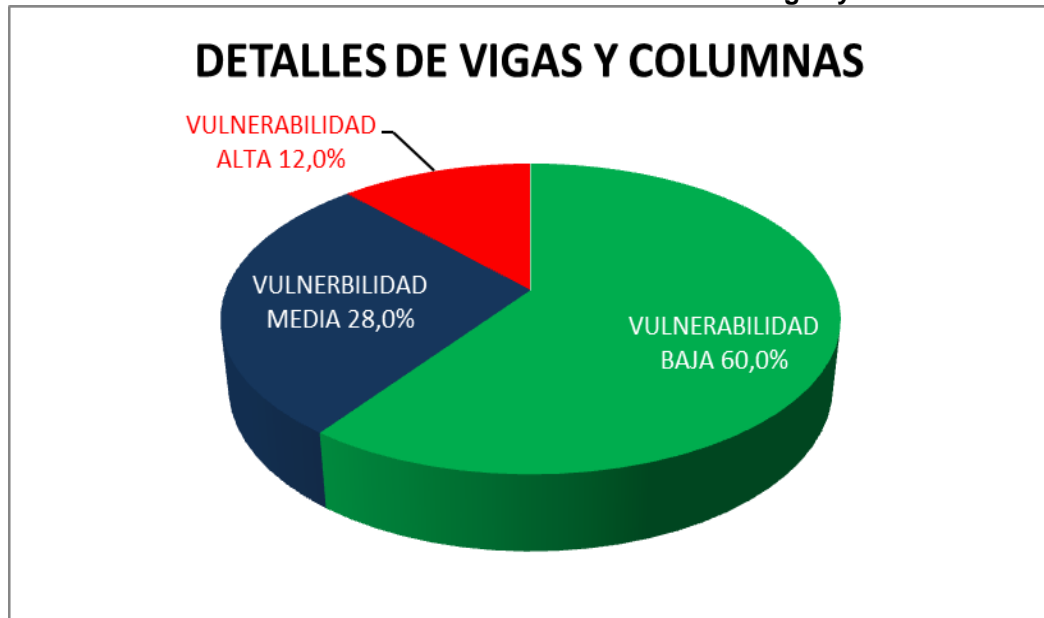
9.3.3.2. Detalle de vigas y columnas.

Nuevamente la tabla 11 y gráfica 10, permiten apreciar que con relación a los detalles de vigas y columnas la vulnerabilidad predominante una vez más es la baja, pues los elementos visualmente y bajo medidas externas conservaban la mínimas normas exigidos por el manual, para saber la conformación interna se realizó una indagación con los propietarios de cada casa quienes manifestaron el proceso y el material colocado dentro de cada elemento estructural, de allí las calificaciones y resultados obtenidos.

Tabla 11
Resumen de la vulnerabilidad con relación al detalle de vigas y columnas

RESUMEN DE DATOS		
TIPO DE CALIFICACION	CANTIDAD DE CASAS	PORCENTAJE (%)
Vulnerabilidad baja	45	60,0
Vulnerabilidad media	21	28,0
Vulnerabilidad alta	9	12,0
TOTAL	75	100,0

Grafica 10.
Cálculo de la vulnerabilidad con relación al detalle de vigas y columnas



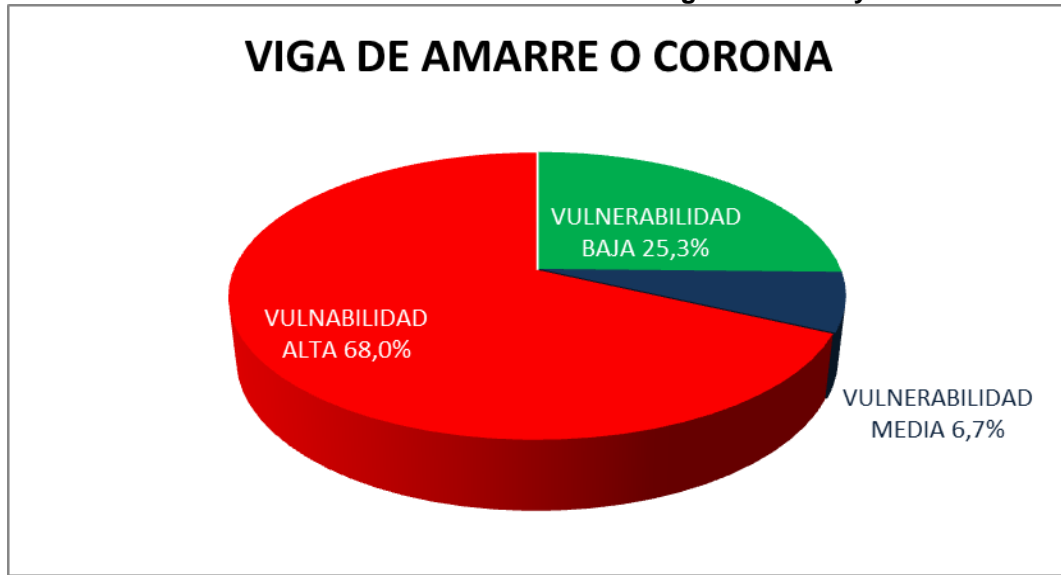
9.3.3.3. Viga de amarre o corona.

Al evaluar este aspecto se evidenció notoriamente que queda al descubierto una vulnerabilidad alta con un 68%, lo que hace que el aspecto general estructural se eleve y quede en condiciones de vulnerabilidad alta. Al analizar a fondo cualitativamente se refleja la total falta de viga corona, que fue el ítem que afectó directamente este aspecto, tal y como lo muestra la tabla 12 y grafica 11 a continuación.

Tabla 12.
Resumen de la vulnerabilidad con relación a viga de amarre y corona

RESUMEN DE DATOS		
TIPO DE CALIFICACION	CANTIDAD DE CASAS	PORCENTAJE (%)
Vulnerabilidad baja	19	25,3
Vulnerabilidad media	5	6,7
Vulnerabilidad alta	51	68,0
TOTAL	75	100,0

Gráfica 11.
Cálculo de la vulnerabilidad con relación a viga de amarre y corona



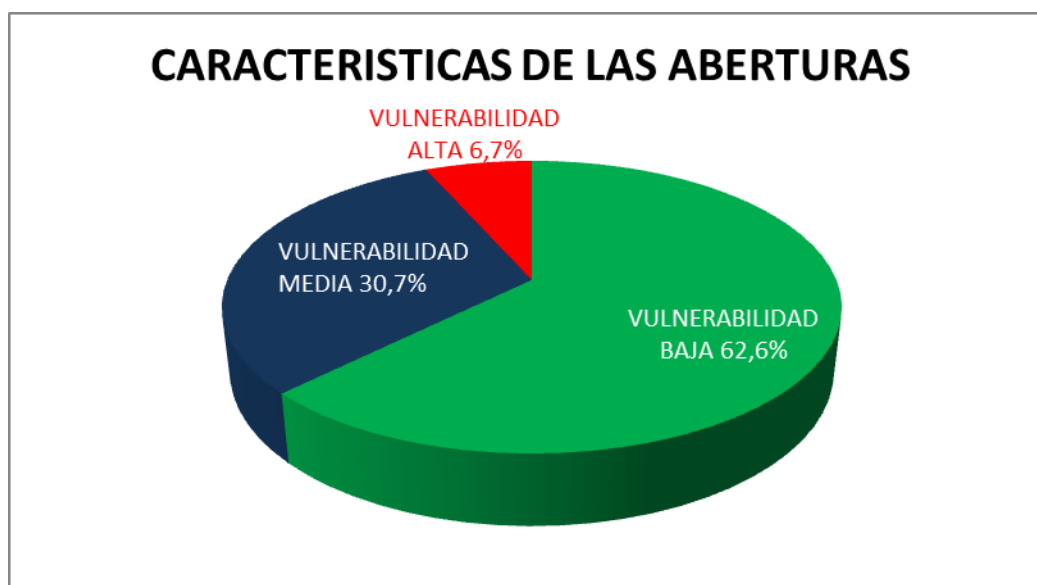
9.3.3.4. Características de las aberturas.

De acuerdo al cuadro 13 y gráfica 12 se analiza que las características de las aberturas cumplen en la gran mayoría con respecto a las medidas y especificaciones dadas por el manual, el 62% de las edificaciones cumple con estas condiciones más sin embargo hay algunas que fallan levemente y por ende su calificación media, cabe aclarar que la edificaciones en la gran mayoría solo presentan aberturas en las fachadas en cuanto a ventanas e internamente las aberturas corresponden a puertas en una gran minoría alrededor de 3 o 4 unidades.

Tabla 13.
Resumen de la vulnerabilidad con relación a las características de las aberturas

RESUMEN DE DATOS		
TIPO DE CALIFICACION	CANTIDAD DE CASAS	PORCENTAJE (%)
Vulnerabilidad baja	47	62,6
Vulnerabilidad media	23	30,7
Vulnerabilidad alta	5	6,7
TOTAL	75	100,0

Grafica 12.
12 Cálculo de la vulnerabilidad con relación a las características de las aberturas.



9.3.3.5. Entrepiso

El entrepiso generalmente realizado en placas macizas y placa aligerada en bloquelón, es la constante de la edificaciones del sitio de estudio, se observó que generalmente la placa es monolítica y sin presencia escalonada, de lo anterior la Tabla 14 y gráfica 13 muestran claramente la realidad en cuanto a esta característica estructural y que aun predominando la vulnerabilidad baja no deja de aparecer alguna casa que presenta este déficit.

Tabla 14.
Resumen de la vulnerabilidad con relación al entrepiso

RESUMEN DE DATOS		
TIPO DE CALIFICACION	CANTIDAD DE CASAS	PORCENTAJE (%)
Vulnerabilidad baja	69	92,0
Vulnerabilidad media	4	5,3
Vulnerabilidad alta	2	2,7
TOTAL	75	100,0

Gráfica 13.
Cálculo de la vulnerabilidad con relación al entrepiso



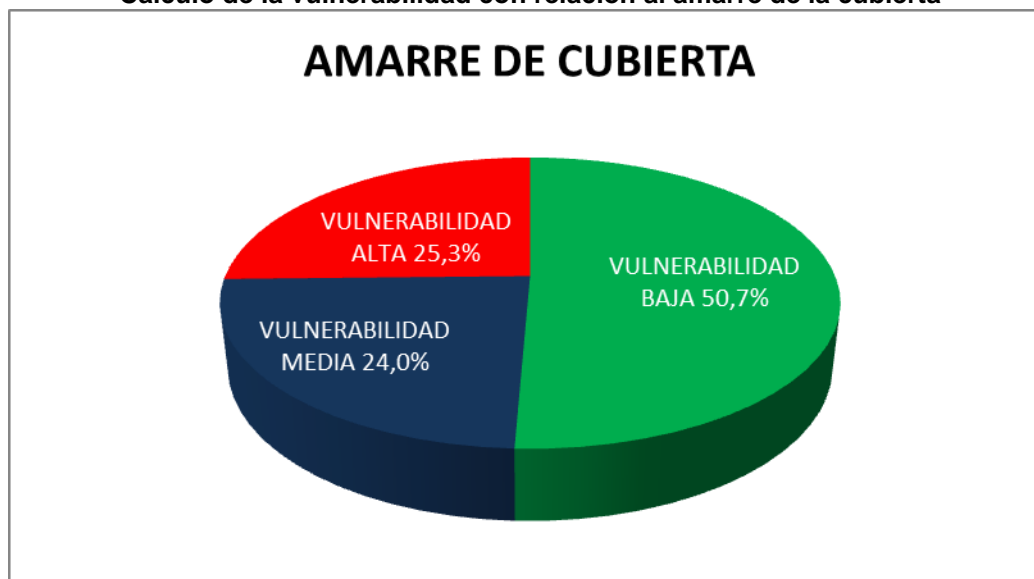
9.3.3.6. Amarre de cubierta

De acuerdo a la Tabla 15 y gráfica 14, se observa que la mitad de las cubiertas presentan arriostramiento y están debidamente amarradas o pernadas, sin embargo el otro 50% comienza a decrecer de tal forma que el 25% esta medianamente amarrada y el otro 25 presenta un déficit en este tema.

Tabla 15.
Resumen de la vulnerabilidad con relación a la cubierta.

RESUMEN DE DATOS		
TIPO DE CALIFICACION	CANTIDAD DE CASAS	PORCENTAJE (%)
Vulnerabilidad baja	38	50,7
Vulnerabilidad media	18	24,0
Vulnerabilidad alta	19	25,3
TOTAL	75	100,0

Grafica 14.
Cálculo de la vulnerabilidad con relación al amarre de la cubierta



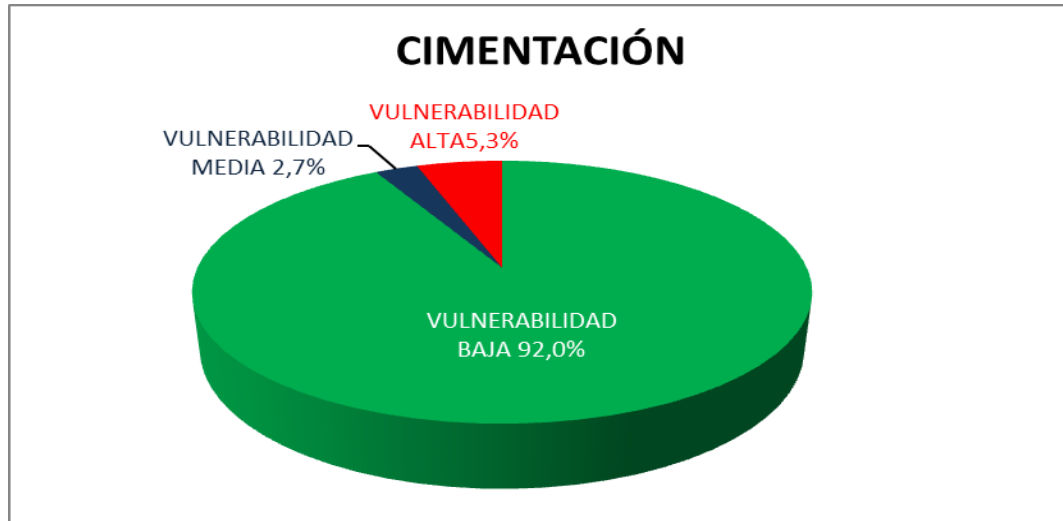
9.3.4. Cimentación

La Tabla 16 y gráfica 15, muestran que el 92% de las viviendas conforman su cimentación únicamente en concreto y zapatas aisladas, las cuales presentan el refuerzo adecuado. Se ha calificado como buena pero se aclara que no se observó en el terreno la calidad, la información recolectada fue a través de los propietarios de cada una de las viviendas.

Tabla 16.
Resumen de la vulnerabilidad con relación a la cimentación

RESUMEN DE DATOS		
TIPO DE CALIFICACION	CANTIDAD DE CASAS	PORCENTAJE (%)
Vulnerabilidad baja	69	92,0
Vulnerabilidad media	2	2,7
Vulnerabilidad alta	4	5,3
TOTAL	75	100,0

Gráfica 15.
Cálculo de la vulnerabilidad con relación a la cimentación



9.3.5. Suelos

Con relación a la gráfica 16 y tabla 17, se obtuvo un resultado desfavorable clasificando como vulnerabilidad alta la totalidad de la muestra, lo anterior gracias a la información de los habitantes y el material fotográfico recolectado, según esa información el terreno en donde está actualmente el asentamiento fue una cantera de explotación de la ladrillera Molinos del sur, por lo que se generaron grandes excavaciones que con el paso del tiempo llegó a tener aproximadamente 12 metros de profundidad, de igual forma se iba llenando con material de escombros de la misma ladrillera y escombros traído de otras zonas de la ciudad.

Tabla 17.
Resumen de la vulnerabilidad con relación al suelo

RESUMEN DE DATOS		
TIPO DE CALIFICACION	CANTIDAD DE CASAS	PORCENTAJE (%)
Vulnerabilidad baja	0	0,0
Vulnerabilidad media	0	0,0
Vulnerabilidad alta	75	100,0
TOTAL	75	100,0

Gráfica 16.
Cálculo de la vulnerabilidad con relación al suelo



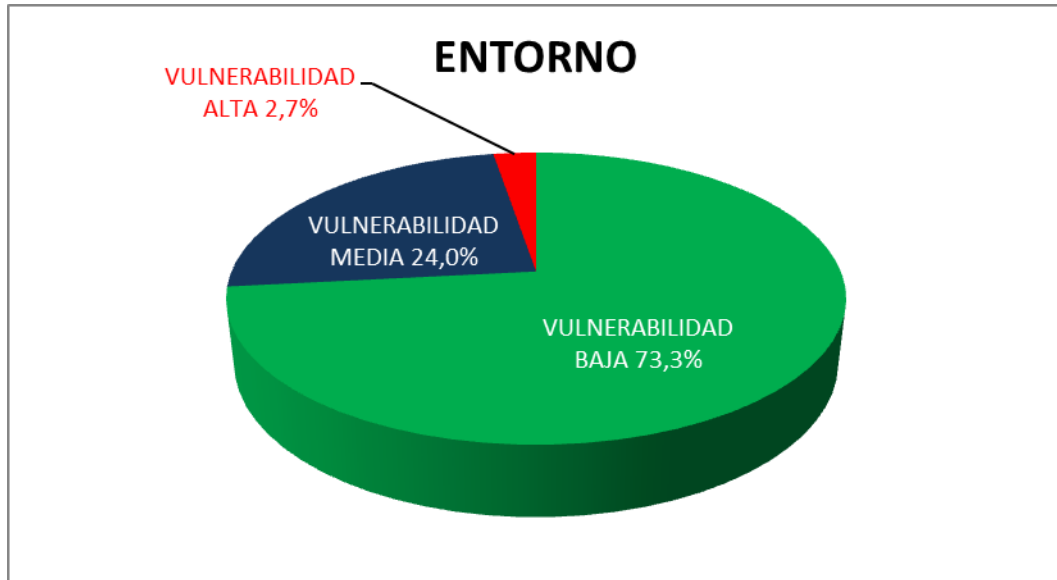
9.3.6. Entorno

Con relación a la gráfica 17 y la Tabla 18, se evidencia que el terreno en general a pesar de ser un relleno está en la actualidad de forma plana, de igual forma en sus linderos presenta breves inclinaciones que se pueden observar en la gráfica como vulnerabilidad media y tan solo un 2.7% presenta una inclinación superior al 30°, lo que indica que en general el suelo en cuanto a inclinación presenta gran eficiencia.

Tabla 18.
Resumen de la vulnerabilidad en relación al entorno

RESUMEN DE DATOS		
TIPO DE CALIFICACION	CANTIDAD DE CASAS	PORCENTAJE(%)
Vulnerabilidad baja	69	92,0
Vulnerabilidad media	2	2,7
Vulnerabilidad alta	4	5,3
TOTAL	75	100,0

Gráfica 17.
Cálculo de la vulnerabilidad en relación al entorno.



Después de haber obtenido los resultados de índice de vulnerabilidad de los diferentes aspectos evaluados a las viviendas objeto de nuestro estudio, decidimos tomar un método de análisis desarrollado por Hurtado (1990)⁵², el cual evalúa la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones construidas en mampostería confinada y no confinada, generalmente de uno y dos pisos, mediante el cálculo de la resistencia sísmica al cortante y la ductilidad en la dirección más desfavorable, teniendo en cuenta la longitud y espesor de sus muros, al igual que el peso de la vivienda. Esta metodología permite categorizar el tipo de daños que puede presentar una edificación sometida a diversos valores de aceleración pico del terreno pero que para nuestro estudio nos basamos con los datos designados por la NSR-10 y cuya tabla describiremos a continuación y que se rige bajo el decreto 523 de 2010 por el cual se adopta la Microzonificación Sísmica de Bogotá D.C:

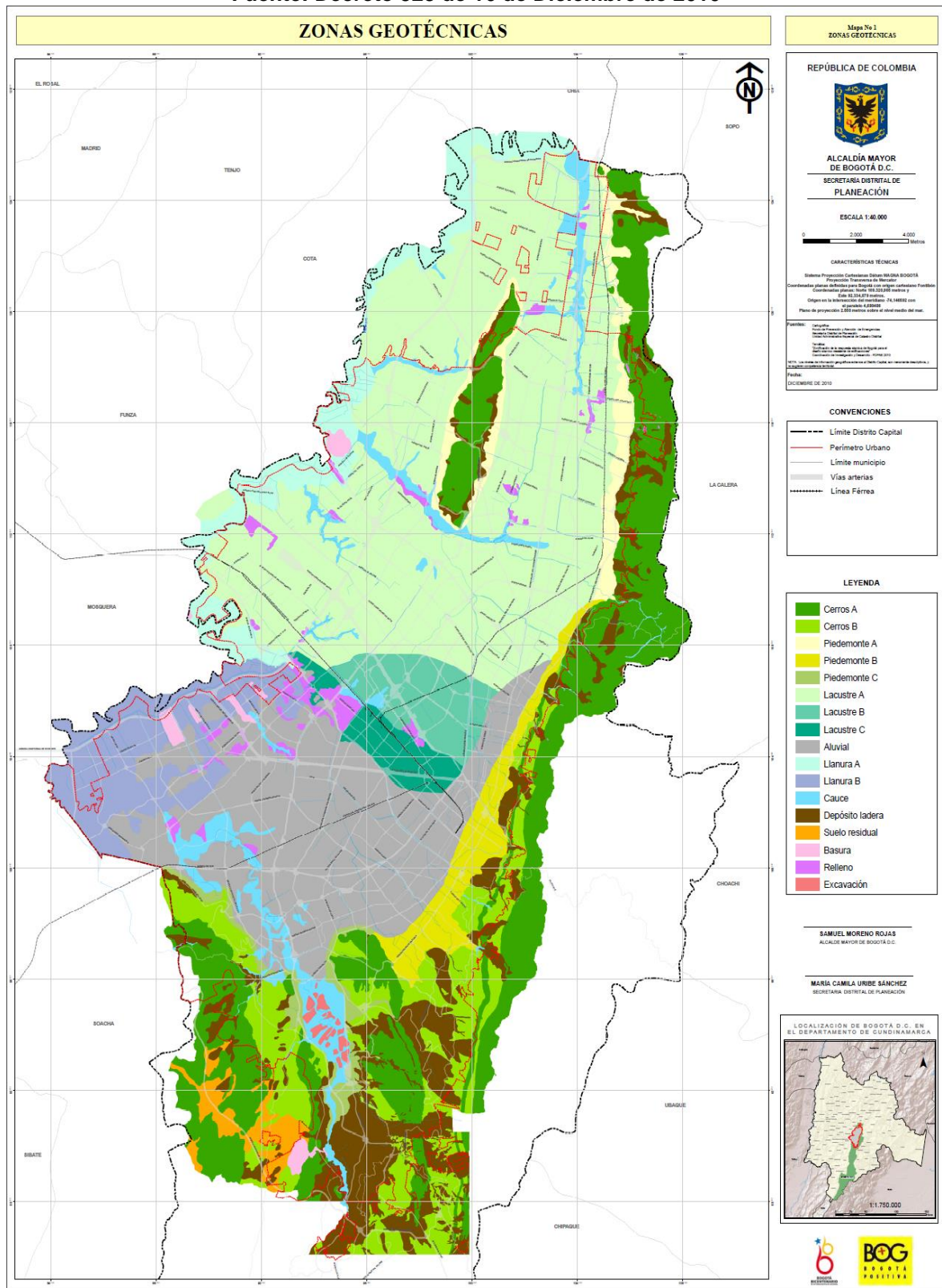
⁵² HURTADO, J.E: “Metodología para el análisis de vulnerabilidad”, Informe de consultoría al proyecto UNDRO – CIDA – ONAD “Mitigación de Riesgos Naturales en Colombia”. Tema 1: Terremotos en Cali”, Cali 1990.

Tabla 19. Coeficientes de Diseño
Fuente: Decreto 523 de 16 de Diciembre de 2016

Zona	F_a (475)	F_v (475)	T_C (s)	T_L (s)	A_0 (475) (g)
CERROS	1.35	1.30	0.62	3.0	0.18
PIEDEMONTA A	1.65	2.00	0.78	3.0	0.22
PIEDEMONTA B	1.95	1.70	0.56	3.0	0.26
PIEDEMONTA C	1.80	1.70	0.60	3.0	0.24
LACUSTRE-50	1.40	2.90	1.33	4.0	0.21
LACUSTRE-100	1.30	3.20	1.58	4.0	0.20
LACUSTRE-200	1.20	3.50	1.87	4.0	0.18
LACUSTRE-300	1.05	2.90	1.77	5.0	0.16
LACUSTRE-500	0.95	2.70	1.82	5.0	0.14
LACUSTRE ALUVIAL-200	1.10	2.80	1.63	4.0	0.17
LACUSTRE ALUVIAL-300	1.00	2.50	1.60	5.0	0.15
ALUVIAL-50	1.35	1.80	0.85	3.5	0.20
ALUVIAL-100	1.20	2.10	1.12	3.5	0.18
ALUVIAL-200	1.05	2.10	1.28	3.5	0.16
ALUVIAL-300	0.95	2.10	1.41	3.5	0.14
DEPÓSITO LADERA	1.65	1.70	0.66	3.0	0.22

Con los valores mostrados en la tabla anterior ubicamos en el mapa nuestra zona de estudio para saber en qué zona geotécnica se encuentra:

Figura 11. Zonas geotécnicas
Fuente: Decreto 523 de 16 de Diciembre de 2010



La tabla a continuación fue descrita por Hurtado para categorizar el tipo de daño que puede presentar una edificación al ser sometida a diversos valores de aceleración pico del terreno:

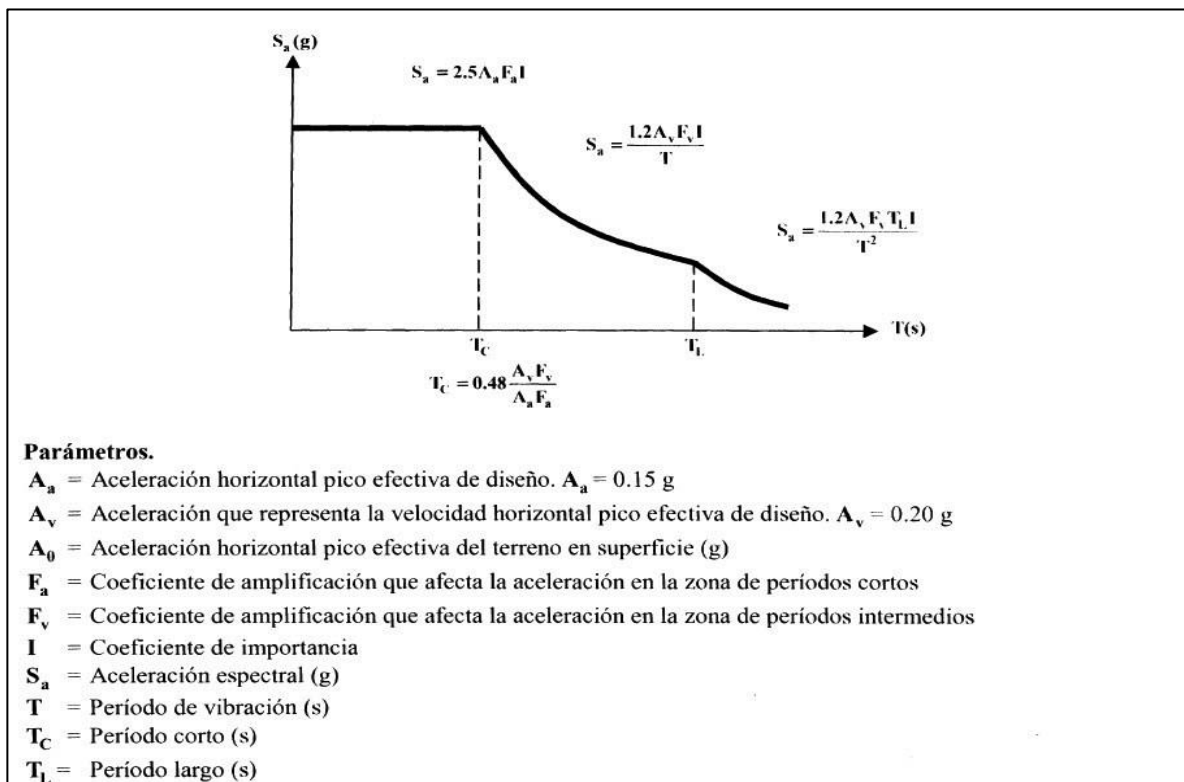
Tabla 20. Matriz de categorización de los daños por método de Hurtado

CATEGORIA Y ESTADO DE DAÑOS	DEMANDA DE DUCTILIDAD
1. Ninguno	DD < 0.50 CD
2. Menores	0.50 CD < DD < 0.75 CD
3. Moderados	0.75 CD < DD < 1.00 CD
4. Mayores	1.00 CD < DD < 1.50 CD
5. Totales	1.50 CD < DD < 2.00 CD
6. Colapso	2.00 CD < DD

Fuente: Hurtado, 1990 en Campos (1992).

Presentamos ahora la curva de diseño para el espectro de aceleración dado por la norma NSR-10, de la cual tomaremos el valor S_a (Espectro de aceleración) para un periodo corto T_c .

Gráfica 18. Curva de diseño para un coeficiente de amortiguamiento de 5% del crítico
Fuente: Decreto 523 de 16 de Diciembre de 2010



Valor que utilizaremos para hallar el valor de la demanda de ductilidad (DD) y cuyo procedimiento es el siguiente:

1. Cálculo de las longitudes de los muros resistentes del primer piso de la vivienda.
2. Cálculo de la resistencia a cortante menos favorable (**VR**), considerando la menor longitud de muros en una dirección en el primer piso de la edificación. La resistencia al cortante se calcula como:

$$\mathbf{VR = (L) \times (e) \times (v)}$$

Donde:

VR: cortante de los muros.

L: longitud de muros en cada una de las dos direcciones principales de la edificación.

e: espesor de los muros

v: valor de la resistencia a cortante de los muros (15 Tn/m² para mampostería confinada y 75 Tn/m² para mampostería no confinada). Que para nuestro trabajo tomaremos $v = 10 \text{ Tn/m}^2$ que representa el valor para muros parcialmente confinados. Según los ensayos de laboratorio para muros de mampostería de la universidad de los Andes en 1990 ⁵³ (Campos, 1992).

3. Cálculo del peso de la edificación que es resistido por la estructura (W), multiplicando el área por el peso por m².
4. Cálculo del coeficiente (CSR), es decir, el porcentaje del peso de la edificación que es resistido por la estructura, como cortante horizontal en la dirección más desfavorable. Esto resulta de dividir la resistencia a cortante menos favorable VR, por el peso promedio de la vivienda según la siguiente expresión:

$$\mathbf{(CSR) = (VR) / (W).}$$

⁵³ CAMPOS, García Ana. Mitigación del Riesgo Sísmico en Cali. "Programa de Mitigación de Desastres en Colombia". Informe Final -FASE I. Observatorio Sismológico del Sur Occidente. OSSO -Universidad del Valle. Cali, 1992.

5. Cálculo del coeficiente exigido a la estructura CSE (S_a) a partir del espectro de respuesta escogido, de acuerdo con la NSR-10 estipulado en el Título A.
6. Cálculo de la demanda de ductilidad (DD), como la relación entre el coeficiente sísmico exigido (S_a) y el coeficiente sísmico resistente (CSR), de acuerdo con la siguiente expresión:

$$(DD) = (CSE) / (CSR)$$

Se toma como valor de referencia la ductilidad disponible (capacidad de ductilidad) con un valor de 1.0 para MNC (muros no confinados) y un valor de 2.0 para la MC (muros confinados).

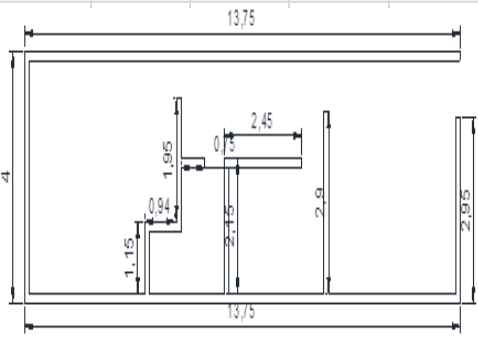
Por último teniendo en cuenta los resultados anteriores, se puede clasificar y los daños de una manera cualitativa en las categorías de daño que se mostraron en la tabla 20.

Los efectos por categoría de daños se expresan de acuerdo con lo expuesto por Hurtado de la siguiente manera:

7. **Ninguno:** sin daños.
8. **Menores:** daños menores en elementos arquitectónicos.
9. **Moderados:** daños generalizados en los elementos arquitectónicos y daños menores en los elementos estructurales.
10. **Mayores:** daños generalizados en los elementos estructurales y arquitectónicos.
11. **Totales:** daños en la estructura no reparables, por lo tanto la edificación debe ser demolida y reemplazada.
12. **Colapso:** edificación parcial o totalmente colapsada por inestabilidad.

Hemos tomado para nuestro trabajo el desarrollo de esta metodología para 4 viviendas y para las cuales mostramos los resultados obtenidos a continuación:

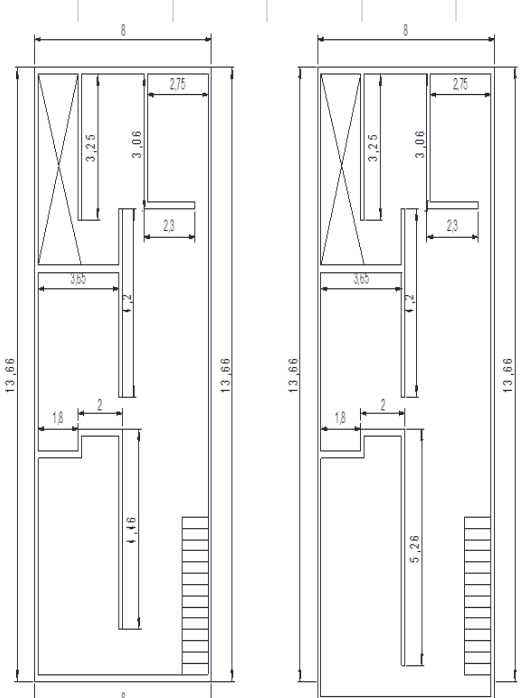
DETERMINACION DE LA CATEGORIA DEL DAÑO SISIMICO.							
CALCULO DEL PESO DE LA EDIFICACION							
PARTE 1							
DATOS DE ENTRADA							
AREA DEL PREDIO	55	m2					
AREA CONSTRUIDA	48.07	m2					
PESO DE LA CUBIERTA	0.03	TON/M2					
ESPEJOR PROMEDIO DE MUROS	0.15	M					
ALTURA PROMEDIO DE MUROS	2.3	M					
MAMPOSTERIA EN LADRILLO	1.8	TON/M3					
LONGITUD TOTAL DE MUROS	46.74	ML					
DATOS DE ENTRADA							
PESO TOTAL CUBIERTA	1.65	TON					
AREA TOTAL DE MUROS	107.50	M2					
TOTAL MURSO EN M3	16.13	M3					
PESO TOTAL DE MUROS	29.03	TON					
PESO PROMEDIO TOTAL DE LA EDIFICACION	30.68	TON					
PARTE 2							
DATOS DE ENTRADA							
LONGITUD DE MUROS EN LA DIRECCION X	15.1	ML					
LONGITUD DE MUROS EN LA DIRECCION Y	31.64	ML					
Resistente al cortante de la mampostería parcialmente confinada (v)	10	TON/M2					
Cortante resistente de muros en la dirección x	22.65	TON					
Cortante resistente de muros en la dirección y	47.46	TON					
Cortante resistente de muros en la dirección y	22.65	TON					
Calculo de coeficiente sismico resistente (CSR)	0.738						
Calculo de coeficiente sismico exigido (CSE) Sa	0.50625	Sa= 2.5*Aa*Fa*I					
Calculo de la demanda de ductilidad	0.686	I= Coeficiente de importancia (por tratarse de viviendas su valor es 1)					
CATEGORIA DE DAÑO	DAÑOS MENORES						



PLANTA TIPICA CASAS DE LA MANZANA 1

Ejemplo desarrollado para una vivienda de 2 pisos de zona de estudio:

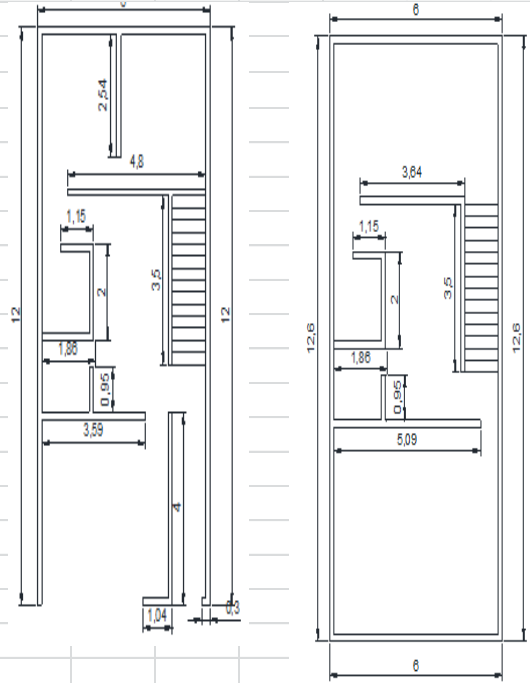
DETERMINACION DE LA CATEGORIA DEL DAÑO SISIMICO.		
CALCULO DEL PESO DE LA EDIFICACION		
PARTE 1		
DATOS DE ENTRADA		
AREA DEL PREDIO	109.28	m2
AREA CONSTRUIDA	197.64	m2
PESO DE LA CUBIERTA	0.06	TON/M2
ESPESOR PROMEDIO DE MUROS	0.15	M
ALTURA PROMEDIO DE MUROS	2.3	M
MAMPOSTERIA EN LADRILLO	1.8	TON/M3
LONGITUD TOTAL DE MUROS	136.08	ML
PESO DE CONCRETO REFORZADO	2.4	TON/M3
DATOS DE ENTRADA		
PESO TOTAL CUBIERTA	6.56	TON
AREA TOTAL DE MUROS	312.98	M2
TOTAL MUROS EN M3	46.95	M3
PESO DE BLOQUE EN LA PLACA	6.18	TON
PESO DE PLACA ALIGERADA	13.11	TON
PESO TOTAL DE MUROS	84.51	TON
PESO PROMEDIO TOTAL DE LA EDIFICACION	110.36	TON
PARTE 2		
DATOS DE ENTRADA		
LONGITUD DE MUROS EN LA DIRECCION X	84.58	ML
LONGITUD DE MUROS EN LA DIRECCION Y	51.5	ML
Resistente al cortante de la mampostería parcialmente confinada (v)	10	TON/M2
Cortante resistente de muros en la dirección x	126.87	TON
Cortante resistente de muros en la dirección y	77.25	TON
Cortante resistente de muros en la dirección y	77.25	TON
Calculo de coeficiente sismico resistente (CSR)	0.700	
Calculo de coeficiente sismico exigido (CSE) Sa	0.50625	$S_a = 2.5 * A_a * F_a * I$
Calculo de la demanda de ductilidad	0.723	I= Coeficiente de importancia (por tratarse de viviendas su valor es 1)
CATEGORIA DE DAÑO	MENORES	



PLANTA TIPICA CASA 2

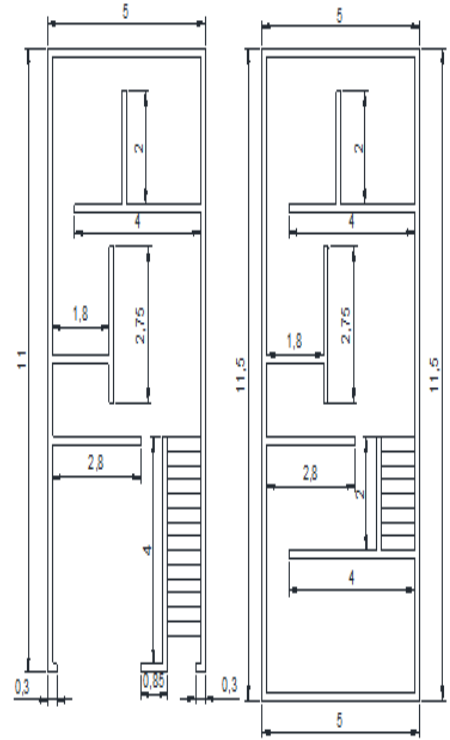
Ejemplo desarrollado para vivienda de 2 pisos de zona de estudio:

DETERMINACION DE LA CATEGORIA DEL DAÑO SISIMICO.		
CALCULO DEL PESO DE LA EDIFICACION		
PARTE 1		
DATOS DE ENTRADA		
AREA DEL PREDIO	72	m2
AREA CONSTRUIDA	131.05	m2
PESO DE LA CUBIERTA	0.06	TON/M2
ESPESOR PROMEDIO DE MUROS	0.15	M
ALTURA PROMEDIO DE MUROS	2.3	M
MAMPOSTERIA EN LADRILLO	1.8	TON/M3
LONGITUD TOTAL DE MUROS	224.52	ML
PESO DE CONCRETO REFORZADO	2.4	TON/M3
DATOS DE ENTRADA		
PESO TOTAL CUBIERTA	4.32	TON
AREA TOTAL DE MUROS	516.40	M2
TOTAL MUROS EN M3	77.46	M3
PESO DE BLOQUE EN LA PLACA	8.15	TON
PESO DE PLACA ALIGERADA	17.28	TON
PESO TOTAL DE MUROS	139.43	TON
PESO PROMEDIO TOTAL DE LA EDIFICACION	169.17	TON
PARTE 2		
DATOS DE ENTRADA		
LONGITUD DE MUROS EN LA DIRECCION X	182.04	ML
LONGITUD DE MUROS EN LA DIRECCION Y	42.48	ML
Resistente al cortante de la mampostería parcialmente confinada (v)	10	TON/M2
Cortante resistente de muros en la dirección x	273.06	TON
Cortante resistente de muros en la dirección y	63.72	TON
Cortante resistente de muros en la dirección y	63.72	TON
Calculo de coeficiente sismico resistente (CSR)	0.377	
Calculo de coeficiente sismico exigido (CSE) Sa	0.50625	$Sa = 2.5 * Aa * Fa * I$
Calculo de la demanda de ductilidad	1.344	I= Coeficiente de importancia (por tratarse de viviendas su valor es 1)
CATEGORIA DE DAÑO	MAYORES	



Ejemplo desarrollado para vivienda de 2 pisos de zona de estudio:

DETERMINACION DE LA CATEGORIA DEL DAÑO SISIMICO.		
CALCULO DEL PESO DE LA EDIFICACION		
PARTE 1		
DATOS DE ENTRADA		
AREA DEL PREDIO	55	m2
AREA CONSTRUIDA	97.95	m2
PESO DE LA CUBIERTA	0.06	TON/M2
ESPESOR PROMEDIO DE MUROS	0.15	M
ALTURA PROMEDIO DE MUROS	2.3	M
MAMPOSTERIA EN LADRILLO	1.8	TON/M3
LONGITUD TOTAL DE MUROS	98.15	ML
PESO DE CONCRETO REFORZADO	2.4	TON/M3
DATOS DE ENTRADA		
PESO TOTAL CUBIERTA	3.30	TON
AREA TOTAL DE MUROS	225.75	M2
TOTAL MUROS EN M3	33.86	M3
PESO DE BLOQUE EN LA PLACA	6.22	TON
PESO DE PLACA ALIGERADA	13.20	TON
PESO TOTAL DE MUROS	60.95	TON
PESO PROMEDIO TOTAL DE LA EDIFICACION	83.67	TON
PARTE 2		
DATOS DE ENTRADA		
LONGITUD DE MUROS EN LA DIRECCION X	60.5	ML
LONGITUD DE MUROS EN LA DIRECCION Y	37.65	ML
Resistente al cortante de la mampostería sin confinar (v)	10	TON/M2
Cortante resistente de muros en la dirección x	90.75	TON
Cortante resistente de muros en la dirección y	56.475	TON
Cortante resistente de muros en la dirección y	56.475	TON
Calculo de coeficiente sismico resistente (CSR)	0.675	
Calculo de coeficiente sismico exigido (CSE)	0.50625	$S_a = 2.5 * A_a * F_a * I$
Calculo de la demanda de ductilidad	0.750	I= Coeficiente de importancia (por tratarse de viviendas su valor es 1)
CATEGORIA DE DAÑO	MODERADOS	



CONCLUSIONES

1. El grado de vulnerabilidad sísmico hallado de toda la muestra fue de 2, por lo cual según la metodología aplicada en este trabajo se clasifica a estas viviendas como vulnerabilidad media en un 71 % del total de la viviendas analizadas.
2. El índice de vulnerabilidad hallado expresa una deficiencia en los aspectos evaluados en las construcciones, esto debido a que parte de los componentes evaluados presentan déficit.
3. El aspecto geométrico fue de vulnerabilidad baja en un 51% del total de la muestra, la viviendas presentan una geometría regular y aproximadamente simétrica, claro está que la mayoría de los muros se concentran en una sola dirección ya que no cumple con la cantidad de muros establecidos por la AIS, además poco probable de solucionar por cada habitante teniendo en cuenta la distribución de áreas de la misma. Otro punto que genera una vulnerabilidad desfavorable es la irregularidad en altura teniendo en cuenta que la distribución del primer nivel no es la misma que la del segundo por tanto no hay continuidad en los muros.
4. El aspecto constructivo fue de vulnerabilidad baja en un 76% del total de la muestra, esto se confirma con la buena calidad de materiales usados, disposición correcta de las unidades y espesores de juntas de pega adecuados.
5. El aspecto estructural fue de vulnerabilidad media en un 65% del total de la muestra, independientemente que lo muros confinados, entrepiso, amarre de cubierta y características de las aberturas hallan dado como resultado una vulnerabilidad baja, la falta de viga corona en la gran mayoría de las viviendas ocasionan que la calificación sea desfavorable, claro está que este elemento no

se ha elaborado debido a que cada propietario quiere seguir construyendo en altura.

6. La cimentación fue de vulnerabilidad baja en un 92% del total de la muestra, en el momento del registro de los datos se evidencio el proceso de cimentación en varios lotes que no hacen parte de la muestra objeto de estudio y se ratificó con la información dada por los propietarios, concluyendo una cimentación de zapata aislada con viga que cumple los parámetros establecidos por la norma.

7. La calificación del suelo fue totalmente desfavorable con una vulnerabilidad alta, lo anterior debido a que el suelo donde está situado el asentamiento y como se mencionó en el marco histórico es un relleno originado por la explotación de la ladrillera colindante, independientemente que en el mapa de microzonificación sísmica se contemple como cerros y laderas.

8. El entorno fue de vulnerabilidad baja en un 92% del total de la muestra, independientemente del relleno, se mantuvo en gran mayoría una superficie horizontal con poca inclinación.

9. La vulnerabilidad media obtenida del método AIS al relacionarla con el resultado del método hurtado en el cual como consecuencia genera daños moderados a la estructura y teniendo en cuenta que las 4 casas de dicho análisis si cumplían con lo relacionado a la cantidad de muros en dos direcciones y la continuidad de los mismos. Se puede establecer que los daños serían mayores en el total de la muestra.

10. Se adjunta evidencias fotográficas de las fachadas de las viviendas ya que no fue permitido por la pro junta de acción comunal tomar muestras fotográficas del interior de las mismas.

RECOMENDACIONES

Se sugiere continuar en la investigación con relación al suelo del área analizada.

No seguir construyendo en altura, hasta tanto no se realice el análisis estructural adecuado

Mejorar el confinamiento de los muros de acuerdo a la norma sismo resistente del 2010.

BIBLIOGRAFIA

UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA. Líneas de investigación Facultad de Ingeniería Civil: Línea de Estructuras. Bogotá: Universidad La gran Colombia, 2014.pp 33-41.

SILVA BUSTOS, Natalia Andrea. Vulnerabilidad Sísmica Estructural en Viviendas Sociales, y Evaluación Preliminar de Riesgo Sísmico en la Región Metropolitana. Atacama: Tesis Postgrado, facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, 2001.

ELABORACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA. (2008: Costa rica). Revista de Matemática: Teoría y Aplicaciones. Costa Rica: Universidad de Costa Rica, 2008. V 15, PP 41-48.

VIZCONDE CAMPOS, Adalberto. Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de un edificio existente: clínica san miguel de Piura. Piura: Universidad de Piura, 2004. p 17.

LLANOS LOPEZ, Lina Fernanda; VIDAL GOMEZ, Lina María. Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de escuelas públicas de Cali: Una propuesta metodológica. Cali: Universidad del valle, 2003. p 34

NORMA SISMO RESISTENTE COLOMBIANA. Asociación de Ingeniería Civil. Colombia: 2010.

GUILLEN, Leonardo. Vulnerabilidad Sísmica de Estructuras por Muestreo Estadístico. México: Tesis de Maestría, Universidad Autónoma Metropolitana, 2005.

ELABORACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA. (2008: Costa rica). Revista de Matemática: Teoría y Aplicaciones. Costa Rica: Universidad de Costa Rica, 2008. V 15, PP 41-48.

COHRAN, William Gemmel; SESTIER BOUCLIER, Andrés. Encuestas por muestreo, métodos de investigación, análisis estadístico. México: 1992.

PETRINI, Benedetti. Sísmica degli edifici in muratura. Roma: 1984

PIRELLI MELLI, Roberto. Diseño Sísmico de edificios. Roma: 1991.

PERALTA, Henry Adolfo. Escenarios de vulnerabilidad y daño sísmico de las edificaciones de mampostería de uno y dos pisos en el barrio San Antonio, Cali, Colombia. Cali: Proyecto de grado. Universidad del Valle, 2002.

BERON USUBILLAGA, Emma Lúcia. Evaluación y elaboración de vulnerabilidad sísmica y reforzamiento estructural - infraestructura física educativa. Bogotá: 2011. PP 38-42.

COMISION ASESORA PERMANENTE PARA EL REGIMEN DE CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES. Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica. Creada por la ley 400 de 1997. Colombia: 2010.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ. Plan de ordenamiento Territorial. (En línea). http://www.sdp.gov.co/portal/page/portal/PortalSDP/POT_2020/Documentos/01_Clasificacion_Rural_V1_2013.pdf (citado el 28 de abril de 2014).

COLOMBIA. ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ. DECRETO 406 DEL 2004. Por el cual se reglamenta la Unidad de Planeamiento Zonal (UPZ) No. 54, Marruecos, ubicada en la Localidad de Rafael Uribe Uribe. (en línea). <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=15618> (citado el 28 de abril 2014).

GOOGLE MAPS. Imágenes © 2014digital globe, datos del mapa © 2014google. (En línea).

<https://www.google.es/maps/@4.5528849,-74.1082792,1164m/data=!3m1!1e3>.

(Modificado para fines científicos propios del autor)

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA, SECRETARIA DE PLANEACION. Diagnósticos de los aspectos físicos, demográficos y socio económicos año 2009. (En línea).

http://www.sdp.gov.co/portal/page/portal/PortalSDP/ciudadania/Publicaciones%20SDP/PublicacionesSDP/18rafael_uribe_uribe.pdf (citado el 29 de abril de 2014)

ALVAREZ SEGURA, Camilo. En manos de los tierreros en. Diario el Espectador Bogotá 11 de noviembre de 2012. (en línea). <http://www.elespectador.com/noticias/bogota/articulo-386364-manos-de-los-tierreros> (citado el 29 de abril de 2014)

ANEXO 1

REGISTRO FOTOGRÁFICO BARRIO HACIENDA LOS MOLINOS



























ASPECTOS GENERALES DEL BARRIO HACIENDA LOS MOLINOS



Anexo 2

EVALUACIÓN DEL GRADO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DE VIVIENDAS DE UNO Y DOS PISOS DE MAMPOSTERÍA				
VULNERABILIDAD				
		BAJA = 1	MEDIA = 2	ALTA = 3
COMPONENTE		VULNERABILIDAD		
	Calificación de componentes	Calificación de la Vulnerabilidad de cada aspecto (1)	Factores de ponderación relativa (2)	Vulnerabilidad ponderada
ASPECTOS GEOMÉTRICO				
	* Irregularidad en planta de la edificación			
	* Cantidad de muros en las dos direcciones		20%	
	* Irregularidad en altura			
ASPECTOS CONSTRUCTIVOS				
	* Calidad de la juntas de pega en mortero			
	* Tipo y disposición de las unidades de mampostería		20%	
	* Calidad de los materiales			
ASPECTOS ESTRUCTURALES				
	* Muros confinados y reforzados			
	* Detalles de columnas y vigas de confinamiento			
	* Vigas de amarre o corona		30%	
	* Características de las aberturas			
	* Entrepiso			
	* Amarre de cubiertas			
CIMENTACION				
			10%	
SUELOS				
			10%	
ENTORNO				
			10%	
CALIFICACION GLOBAL DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LA VIVIENDA 1				
NOTA				
(1) La calificación de la vulnerabilidad de cada aspecto se obtiene como el promedio de las calificaciones de las vulnerabilidades de los componentes correspondientes				
(2) Las calificaciones global de la vulnerabilidad se obtiene mediante ponderación de las vulnerabilidades de los aspectos según los factores de ponderación relativa indicados				

ASOCIACION COLOMBIANA DE INGENIERIA SISMICA-AIS-