

APLICACIÓN DE LA NSR-10 TITULO E, EN DISEÑOS ARQUITECTONICOS  
PROPUESTOS EN LA CARTILLA DE MODELOS REPLICABLES INURBE

CUELLAR MELGAREJO DILAN DAYAN

ROA BONILLA CRISTIAN DAVID

MONOGRAFIA PARA OBTENER EL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN  
CONSTRUCCIONES CIVILES

TUTOR A CARGO

MILTON MENA

INGENIERO CIVIL

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS

FACULTAD TECNOLOGICA

TECNOLOGIA EN CONSTRUCCIONES CIVILES

BOGOTA D.C

12 DE FEBRERO DE 2018

## CONTENIDO

1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.....	4
1.1. Actualización de la norma sismo resistente en Colombia.....	4
1.2. Historia sísmica de Colombia .....	5
1.3. Proyectos desarrollados por el INURBE .....	6
2. PROBLEMÁTICA .....	8
3. OBJETIVOS .....	10
3.1. Objetivo general.....	10
3.2. Objetivos específicos .....	10
4. ALCANCE .....	11
5. MARCO CONCEPTUAL.....	12
5.1. Muros en mampostería.....	12
5.2. Mampostería confinada .....	15
5.3. La mampostería como elemento estructural.....	16
5.3.1. Falla ante carga axial .....	16
5.4. Aceleración pico-efectiva .....	18
6. DESCRIPCIÓN DE LA PRÁCTICA .....	19
6.1. Evaluación de los modelos .....	19

6.2. Implementación de la norma.....	19
6.3. Cálculo de longitud de muro confinado:.....	20
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	28
8. BIBLIOGRAFÍA .....	29

### INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mampostería Reforzada.....	14
<b>Figura 2.</b> Falla por carga axial.....	17
<b>Figura 3.</b> Falla por flexión.....	17
<b>Figura 4.</b> Mapa de aceleración pico efectiva en Colombia.....	22
<b>Figura 5.</b> Mapa de representación de zonas de amenaza sísmica en Colombia ..	23
<b>Figura 6.</b> Representación de elementos en la ecuación de simetría.....	25

### INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Coeficiente $M_0$ para longitud mínima de muros estructurales confinados..	21
<b>Tabla 2.</b> Registro de zonas de implantación.....	26

## 1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

### 1.1. Actualización de la norma sismo resistente en Colombia

El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) es una norma técnica colombiana encargada de reglamentar las condiciones con las que deben contar las construcciones con el fin de que la respuesta estructural a un sismo sea favorable. Fue promulgada por el Decreto 926 del 19 de marzo de 2010, el cual fue sancionado por el entonces presidente Álvaro Uribe. Posteriormente al decreto 926 de 2010 han sido introducidas modificaciones en los decretos 2525 del 13 de julio de 2010, 092 del 17 de enero de 2011, 340 del 13 de febrero de 2012 y 945 del 5 de junio de 2017.

Conforme a lo que se dijo anteriormente, el fin de la norma sismo resistente es presentar aquellos requisitos que de algún modo garantizan una correcta reacción de una estructura frente a un sismo y de esa manera conducir al objetivo primordial que es salvaguardar vidas. Además, y como un efecto colateral se presenta la defensa de la propiedad, evitando así pérdidas que se traducirían en problemas no solo económicos sino también sociales y culturales, entre otros.

La versión actual de la norma Sismo Resistente NSR-10 corresponde a su segunda actualización. La primera reglamentación sismo resistente nacional fue expedida por el Gobierno nacional por medio del Decreto 1400 del 7 de junio de 1984, la primera actualización, correspondiente al Reglamento NSR-98, fue expedida por medio del Decreto 33 del 9 de enero de 1998 y la segunda actualización, correspondiente al Reglamento NSR-10, se expidió por medio del Decreto 926 del 19 de marzo de 2010.

*Según la misma norma “El 87% por ciento de la población colombiana habita en zonas de amenaza sísmica alta e intermedia, con el auspicio del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica – AIS, desde comienzos del año 2008, y con la participación de un muy amplio número de profesionales de la ingeniería y la arquitectura, asociaciones gremiales y profesionales de la ingeniería, la arquitectura y la construcción y funcionarios de las entidades del Estado relacionadas con el tema; logró concluir las labores de actualización de la reglamentación de diseño y construcción sismo resistente con la expedición por parte del Gobierno Nacional*

*del Decreto 926 del 19 de marzo de 2010 - Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Esta reglamentación actualiza y reemplaza el Reglamento NSR-98.” (Reglamento Colombiano de construcción Sismo- Resistente NSR-10, título A. Bogotá D.C. 2010)*

Para complementar a lo anteriormente expuesto se habla también de la necesidad de una actualización periódica de la norma, pues al ser un documento técnico deberá recopilar los avances tecnológicos y los registros sísmicos pertinentes. De esto se deduce la inminente implementación a futuro de una nueva edición del reglamento.

Finalmente, cabe resaltar y aclarar que esta norma está hecha por entes colombianos y no se especifica el uso del mismo para otras regiones.

## **1.2. Historia sísmica de Colombia**

Según el reglamento NSR-10 el primer evento sísmico en el país, del cual se tiene registro escrito, ocurrió en 1541. Existen también registros de numerosos sismos históricos desde la colonia y hasta 1922, en que se instaló el primer sismógrafo en el país, traído por la Compañía de Jesús. Dentro de los sismos de mayor relevancia es importante destacar el terremoto del 31 de enero de 1906 en la costa Pacífica colombiana, su magnitud fue de 8.9 en la escala de Richter y es considerado uno de los sismos más fuertes de la humanidad en tiempos modernos.

Se menciona además que fue desde 1922 que se dispuso de información instrumental, sobre lo que se denominan sismos instrumentales. Desde 1957 hasta 1992 estuvieron en funcionamiento siete estaciones sismológicas permanentes en el país, las cuales fueron operadas por el Instituto Geofísico de la Universidad Javeriana de Bogotá. A partir de 1993 se puso en marcha, adicionalmente, la Red Sismológica Nacional, operada por la Subdirección de Geofísica del INGEOMINAS, existiendo además el Observatorio Sismológico del Sur Occidente - OSSO, operado por la Universidad del Valle en Cali.

Continúa la norma mencionando que en la actualidad la Red Sismológica Nacional consta de 26 estaciones sismológicas remotas con lo cual se cubre gran parte del territorio nacional, su procesamiento es en tiempo real y se realiza en Bogotá por enlace satelital. Además, se cuenta con más de 250 acelerógrafos autónomos

digitales de movimiento fuerte los cuales cada día se ven incrementados para llegar cubrir la mayoría del territorio nacional. En la realización del estudio de amenaza sísmica que a su vez produjo los mapas de amenaza sísmica del Reglamento NSR-10 se dispuso de un catálogo de aproximadamente 28 000 eventos sísmicos, tanto históricos como instrumentales, de los cuales aproximadamente 9 000 tienen una magnitud de Richter igual o mayor de 3.

De acuerdo con los estudios realizados al momento de determinar el grado de amenaza sísmica de las diferentes regiones del país se encontró que 16.45 millones de colombianos de 553 de los 1126 municipios del país se encuentran en zonas de amenaza sísmica alta, es decir el 39.7% de la población nacional; 19.62 millones de habitantes de 431 municipios localizados en zonas de amenaza sísmica intermedia, equivalentes al 47.3% de la población del país; y 5.39 millones de habitantes en 139 municipios localizados en zonas de amenaza sísmica baja, es decir el 13% del total de la población nacional según la última información suministrada por el DANE proveniente del censo de 2005. En otras palabras, el 87% de los colombianos se encuentran bajo un nivel de riesgo sísmico apreciable, que no solamente depende del grado de amenaza sísmica sino también del grado de vulnerabilidad que en general tienen las edificaciones en cada sitio.

### **1.3. Proyectos desarrollados por el INURBE**

El Instituto Nacional de Vivienda de Interés Social y Reforma Urbana (INURBE) fue un establecimiento público del orden nacional, creado por la Ley 3ª de 1991 en reemplazo del desaparecido Instituto de Crédito Territorial. Se constituyó como la entidad encargada de desarrollar nuevos proyectos enfocados netamente en la vivienda de interés social, además buscaba facilitar nuevos subsidios a las personas de bajos recursos.

Por otra parte, el instituto de crédito territorial fue creado en 1939, buscando responder a las necesidades de la vivienda rural en Colombia, razón por la cual tres años después en 1942 se creó la sección de vivienda urbana, quien se encargó del diseño y construcción de barrios y de viviendas destinadas a atender las demandas de vivienda económica para el pueblo colombiano. Conforme pasaron los años esta labor se hizo cada vez más amplia y se encargó, además, de la reconstrucción, construcción de redes de infraestructura, y la atención a las necesidades de servicios comunales.

Ahora bien, uno de los proyectos que nacieron como resultado de los trabajos adelantados por el INURBE es una cartilla que recopila un conjunto de modelos arquitectónicos replicables que fueron diseñados con base a la experiencia en el campo de la vivienda y el desarrollo urbano acumulada en el Instituto de Crédito Territorial, modelos que en el año 1995 se ofrecieron a los municipios y comunidades como un aporte que reflejaba el compromiso de la entidad con el pueblo.

A raíz de la gran demanda de vivienda que existía en el país en la década de los 90, los modelos que hoy en día hacen parte de la cartilla INURBE fueron estudiados y adaptados según la normatividad y la necesidad que se presentaba en el momento, entonces se menciona que la idea en cada una de estas viviendas fue implementar modelos que cumplieran con requisitos arquitectónicos y estructurales con el fin primordial de facilitarle al usuario un diseño competente que además asegurara la calidad de la edificación en lo que se refiere no solo a sismo resistencia, si no que respondiera al contexto en el que se podría construir.

Como complemento se registra que en el año 2003 gracias al programa de renovación de la administración pública se oficializó la liquidación del INURBE y se dio paso a la creación de FONVIVIENDA, decisión que fue adoptada mediante los decretos 554 y 555 del 10 de marzo de 2003. Del informe de la entidad fiscalizadora se desprende el incumplimiento de las metas del INURBE, hecho que estuvo directamente relacionado con el mal manejo de sus recursos financieros.

Es así, que la cartilla adelantada por el INURBE no alcanzó las metas para la cual fue diseñada y finalmente terminó como un proyecto obstruido por la liquidación del instituto y el traspaso de funciones a FONVIVIENDA.

## 2. PROBLEMÁTICA

En un comienzo se hablará de proyecto propuesto por el ya liquidado Instituto Nacional de la Vivienda de Interés Social y de la Reforma Urbana (INURBE), que pretendía implementar 16 modelos replicables de hogares unifamiliares dentro del programa de subsidio de vivienda a estratos bajos, proyecto que se vio obstruido por la orden de liquidación del instituto y que sepultó la ejecución de dichos modelos, dejándolos al olvido.

La cartilla ya mencionada presenta los diseños arquitectónicos de la siguiente manera. “La experiencia en el campo de la vivienda y el desarrollo urbano acumulada por el Instituto de Crédito Territorial a lo largo de cincuenta y dos años de trabajo continuo ha permitido preparar este conjunto de modelos replicables que el INURBE ofrece a los municipios, a las comunidades y a los usuarios como parte del compromiso adquirido en los programas gubernamentales de vivienda social. Con base en esa experiencia la división de asistencia técnica INURBE y el Centro de Estudios de Arquitectura y Medio Ambiente CEAM LTDA han estudiado y formulado veinte modelos replicables de vivienda, proyecto que fue avalado en la República de Colombia, por la Presidencia de la Republica, El Ministerio de Desarrollo Económico, y el Viceministerio De Vivienda, Desarrollo Urbano y Agua Potable.” (CARTILLA PARA USUARIOS, MODELOS REPLICABLES PARA ASISTENCIA TECNICA, página 4, 1995)

Estos modelos fueron puestos en servicio de la comunidad y se esperaba una gran utilidad en el desarrollo de programas municipales, comunitarios o individuales de vivienda, con el objetivo de convertirlos en uno de los apoyos efectivos de los programas de subsidio ofrecidos por el INURBE. Sin embargo, los modelos de la cartilla que adelantó el instituto han sido dejados de lado puesto que fueron diseñados con base a la normativa que regía en el país en 1995 (Código de construcciones sismo-resistentes, Decreto 1400 del 7 de junio de 1984), norma que con el paso del tiempo ha sido actualizada y en la que se han ajustado nuevos requerimientos de modo que se pueda garantizar la capacidad de las edificaciones para soportar de una manera óptima las cargas y fuerzas a que está expuesta, convirtiendo con esto en obsoletos a los diseños arquitectónicos presentados.

Ahora bien, el estado crítico en que se encuentran las edificaciones en Colombia da cuenta del por qué nace la necesidad de esta cartilla, y no haciendo referencia precisamente a las zonas rurales del país, por el contrario, son en las grandes urbes en donde encontramos viviendas y barrios enteros que no tienen un sistema constructivo apropiado y no cumplen en los más mínimo con las normas de construcción establecidas, son por tanto edificaciones que tienen una probabilidad de derrumbarse al momento de recibir una fuerza externa, (tal como las fuerzas producidas en un sismo) convirtiéndose en un riesgo no solo para sus habitantes sino también para toda la comunidad en general.



Por lo anteriormente mencionado se hace necesario renovar los diseños y sobretodo ajustarlos a un sistema portante que cumpla con los requisitos actuales que exige la NSR-10, para así poder ofrecer nuevamente los modelos como una opción válida, segura y replicable según la necesidad del usuario.

Continuando, a simple vista los cambios que exige la NSR-10 refieren a la diferencia en la longitud de muro confinado, la calidad y dimensionamiento de los mampuestos y la importancia de la simetría en este tipo sistema portante. Todos estos son parámetros que se consideran en la norma actual, y que se convierten en los agentes que invalidan en su totalidad estos modelos. Además, es importante resaltar que en la actualización de la norma se implementa de una manera más completa la información referente a la zona de amenaza sísmica en la que se construirá, información crucial en este proyecto pues es con base en esto que se diseñó estructuralmente.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivo general**

Generar un documento que recopile los modelos arquitectónicos presentados en la cartilla ofrecida por el instituto INURBE, actualizando su sistema portante a la norma sismo resistente vigente NSR-10, de modo que el usuario pueda escoger y construir aquel que se ajuste más a sus necesidades al seguir los parámetros estructurales propuestos en este proyecto.

#### **3.2. Objetivos específicos**

- Definir el contexto en el que fueron formulados dichos modelos y el por qué deben ser actualizados.
- Determinar el sistema portante más apropiado para este proyecto.
- Examinar cada modelo, analizar la distribución arquitectónica y los detalles constructivos que se pensaron inicialmente para éstos.
- Establecer los parámetros formulados por la norma sismo resistente NSR-10, que garantizan una buena reacción de las estructuras ante un sismo.
- Aplicar el título E de la norma sismo resistente NSR-10 al diseño estructural de cada uno de los modelos propuestos por el INURBE.
- Constituir la zona de amenaza sísmica en la que se puede construir cada una de las viviendas.
- Realizar un esquema comparativo de los atributos arquitectónicos y estructurales de las viviendas.

#### 4. ALCANCE

Este proyecto pretende ofrecer al usuario una cartilla basada en la anteriormente propuesta por el INURBE que contenga diseños tanto arquitectónicos como estructurales y que cumplan con la norma actual NSR-10, que puedan ser aplicados como modelos replicables dependiendo la zona de amenaza sísmica y el contexto en el que se vaya a construir.

No obstante, es necesario limitar el alcance del proyecto, pues si bien son modelos replicables cada casa tendrá especificaciones diferentes dentro de su sistema portante, más claramente en la cimentación. En Colombia cada departamento incluye zonas de climas variables, así como una amplia gama de suelos, lo que implica un problema al momento de proponer un diseño general pues no va a funcionar de la misma manera en cada zona ni van a reaccionar igual ante un sismo.

Haciendo énfasis en lo anteriormente dicho señalaremos que en este proyecto no se podrán brindar diseños replicables para la cimentación puesto que como ya se mencionó, cada caso particular cuenta con un suelo variable, que exigirá requerimientos diferentes. Es allí donde se aclarará que los modelos proponen una estructura diseñada a partir de la placa de contra piso y hasta la cubierta.

Por otro lado, se hace necesario indicar que los diseños arquitectónicos iniciales que propone la cartilla incurren en faltas a la norma misma, por esta razón se adaptaron a los requerimientos, haciendo lo posible por evitar el cambio entre la relación y proporción de los espacios. En consecuencia, los cambios que tuvieron los diseños en términos arquitectónicos incluyen la variación en el espesor de los muros y el desplazamiento de los vanos.

Para dar continuación se hará mención de los modelos, se dirá que son aplicados para viviendas unifamiliares de uno y dos pisos dentro de zonas de clima cálido, frío o templado. Así mismo se tratará de adecuar los modelos arquitectónicos a un diseño estructural que se adapte a las condiciones más severas de amenaza sísmica.

Antes de continuar se aclarará que no todos los modelos propuestos se acogieron en la actualización de la cartilla, pues algunos diseños arquitectónicos no se han podido adaptar debido a requisitos técnicos que exige la norma y que se explicarán a detalle más adelante.

Ahora bien, por el objetivo del proyecto se ha decidido acoger los materiales para acabados que se proponen en la cartilla original, pues se espera presentar la información más completa posible al usuario para un mayor provecho. También se indicará que el aporte de esta práctica es la cartilla en sí, exponiéndola como un medio abierto al estudiante que desee ampliar su alcance y brindar un servicio más completo al beneficiario

## 5. MARCO CONCEPTUAL

Para la construcción de viviendas y edificaciones en Colombia el sistema constructivo más empleado consta de vigas, columnas en concreto y muros en mampostería, lo que se conoce como un tipo de construcción convencional, sin embargo, gracias al avance tecnológico y la implementación de rigurosas normas técnicas, dicho sistema de construcción ha mejorado y evolucionado notoriamente, pues si bien hablamos de muros, su técnica de elaboración en esencia continúa siendo la instalación de mampuestos unidos por algún tipo de material cementante que buscan adherencia entre los mampuestos.

Antiguamente se utilizaba el barro, argamasa o excremento de animales como elemento cementante, al igual que los mampuestos podían ser rocas de diferentes características o simplemente elementos que aparentemente mente fueran rígidos, es por esto que en algunas viviendas encontramos muros con diferentes espesores que oscilan de los 15 a los 25 cm.

Sin embargo, en la actualidad se han parametrizado la conformación de los muros en mampostería dejando definido a un muro como la asociación de elementos mampuestos y sus materiales de unión en un elemento monolítico que puede resistir las exigencias de cualquier muro: cargas, gravedad, acción de vientos o sismos. Esto siempre que las juntas sean capaces de transmitir los esfuerzos entre las piezas sin que se produzcan deformaciones importantes.

### 5.1. Muros en mampostería

Los muros de mampostería son la parte más duradera de cualquier edificio o estructura. Ellos proporcionan resistencia, durabilidad a la estructura y también ayudan a controlar la temperatura interior y exterior. Estos separan un edificio del mundo exterior.

La NSR- 10, define a un muro como un elemento laminar vertical que soporta los diafragmas horizontales y transfiere las cargas a la cimentación, sin embargo, cuando se habla de mampostería se refiere a un sistema constructivo basado en la acomodación manual de elementos (mampuestos) formando niveles de hileras que van conformando muros. Estos componentes pueden ser ladrillos, bloques de piedra o cemento prefabricados, piedras talladas, entre otros.

A su vez la mampostería se divide en categorías en función del uso que tendrá el muro en la construcción. Se mencionan algunos a continuación:

- **Mampostería en seco:** Este tipo de mampostería es aquella que no emplea ningún tipo de mortero en sus uniones, se debe escoger los

mampuestos uno a uno para que el conjunto tenga estabilidad, funciona gracias al peso de sus mampuestos y al encaje entre los mismos, adicionalmente se emplean piedras pequeñas, llamados ripios, con el fin de acuñar los mampuestos y rellenar los huecos entre estos.

- **Mampostería Concertada:** Son cuyos mampuestos tienen sus caras de junta y de parámetro labradas en formas poligonales, más o menos regulares, para que el asiento de los mampuestos se realice sobre caras sensiblemente planas. No se admite el empleo de ripios y los mampuestos del paramento exterior deben prepararse de modo que las caras visibles tengan forma poligonal y rellenan el hueco que dejan los mampuestos contiguos. Debe evitarse la concurrencia de cuatro aristas de mampuestos en un mismo vértice. El propósito de este tipo de mampostería es que la parte superior de la construcción tenga un aspecto más o menos plano y de forma regular según los materiales utilizados.
- **Mampostería no reforzada:** Este sistema se basa únicamente en el comportamiento monolítico del muro. Si bien puede recibir cargas y transmitir las a la cimentación no tiene una buena conducta frente al esfuerzo cortante y las cargas que lo someten a flexión. Por esta razón este tipo de mampostería tiende a usarse únicamente en muros envolventes y particiones y no como parte de un sistema portante. Exceptuando las viviendas de uno y dos pisos ubicadas en zonas de amenaza sísmica baja, en la cual se permite su uso como un tipo de mampostería estructural.

Los muros de mampostería no reforzados son propensos a las grietas y fallas bajo pesadas cargas de compresión y durante los terremotos. Tienen poca capacidad de soportar fuerzas laterales durante las fuertes lluvias y el viento, dichas grietas también se desarrollan debido a la presión de la tierra o el asentamiento diferencial causado por el peso de la estructura.

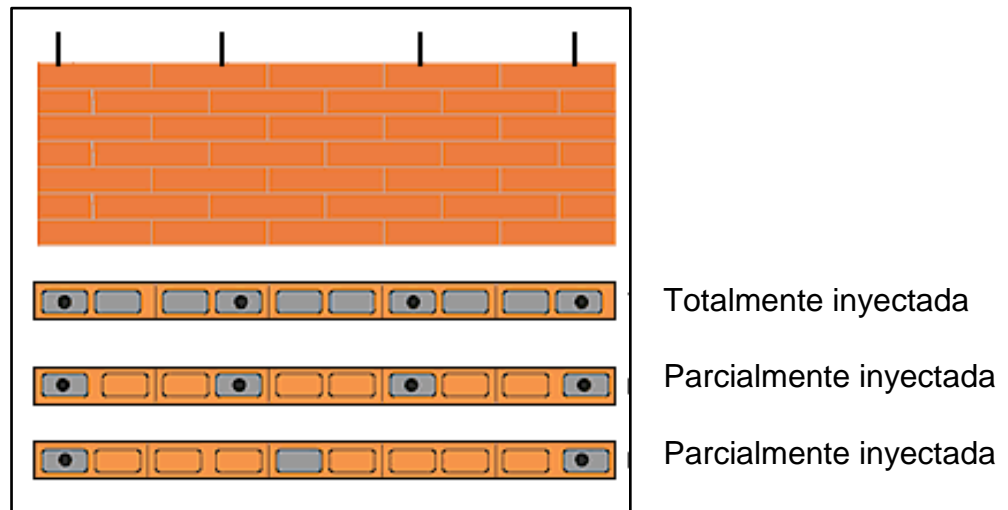
- **Mampostería reforzada:** Los muros de mampostería reforzados pueden ser muros de carga o muros sin carga en las que se emplea el uso de refuerzo en las paredes lo que le ayuda a resistir las fuerzas de tensión y cargas de compresión; Este refuerzo se hace en intervalos requeridos tanto horizontalmente como verticalmente. Su tamaño, cantidad y el espaciamiento al que se deben ubicar estos refuerzos se determina en función de las cargas en las paredes y las condiciones estructurales.

Este es un tipo de mampostería rígida, lo que garantiza su resistencia hacia cualquier eventualidad de la natural, como vientos, sismos, huracanes, etc. Además, es un sistema de construcción de muros de los más seguros y resistentes ya que los elementos son fijados con mortero de alta resistencia y sus refuerzos son anclados al diafragma inferior y superior de la estructura para que brinden resistencia y durabilidad.

El sistema de mampostería reforzada se fundamenta en la construcción de muros con piezas de mampostería de perforación vertical, unidas por medio de mortero, reforzadas internamente con barras y alambres de acero, cumpliendo los requisitos de análisis, diseño y construcción apropiados establecidos en la NSR - 2010. Este sistema permite la inyección de todas sus celdas con mortero de relleno o inyectar sólo las celdas verticales que llevan refuerzo.

- **Mampostería reforzada totalmente inyectada** Es aquella que tiene todas las celdas inyectadas de mortero de relleno o grouting y el refuerzo vertical es colocado en dichas celdas con espaciamientos menores a 1.20m.
- **Mampostería reforzada parcialmente inyectada** Es similar a la anterior con la diferencia que no todas las celdas de las unidades van inyectadas. Sin embargo, todas las celdas donde se coloca refuerzo van rellenas de mortero.
- **Mampostería parcialmente reforzada** Se diferencia de la anterior en la cantidad de refuerzo colocado, el cual es aproximadamente la mitad y es espaciado hasta un máximo de 2.40m.

**Figura 1. Mampostería Reforzada**



Fuente: [www.construdata.com/BancoConocimiento/T/terracota1edificiosaltoscopia/terracota1edificiosaltoscopia.asp](http://www.construdata.com/BancoConocimiento/T/terracota1edificiosaltoscopia/terracota1edificiosaltoscopia.asp)

- **Mampostería confinada:** Este sistema se basa en mampuestos unidos con mortero, que se rodean con elementos en concreto (vigas y columnas) y que atienden todas las fuerzas de tracción (flexiones) y los esfuerzos cortantes que no resiste el muro de mampostería.<sup>1</sup>

Debido al buen comportamiento de la mampostería confinada frente a esfuerzos cortantes y fuerzas de tracción, la norma sismo resistente la ha adoptado como un sistema estructural aplicable a edificaciones no mayores a dos niveles. Dado el alcance del proyecto se acogerá a éste como el sistema portante para los modelos replicables, siguiendo entonces el título E de la NSR-10 que es el cual establece sus parámetros de seguridad. EN lo que sigue se explicará con mayor detalle.

## 5.2. Mampostería confinada

La norma NSR-10 define a un muro confinado como aquel muro de mampostería que está enmarcado por vigas y columnas de amarre, este es un sistema sobre el cual existe amplia experiencia constructiva en Colombia y cuenta con un buen soporte experimental y analítico debido a largo tiempo que se ha empleado esta técnica. Los muros confinados estructurales están diseñados para soportar las losas y techos, además de su propio peso, dar rigidez a la edificación y resistir las fuerzas horizontales causadas por un sismo, estos se hacen con el fin de evitar que la estructura en su totalidad salga del rango elástico y colapse.

Como se mencionó, es aquel sistema que usa el muro como el elemento que soporta la mayor parte de las fuerzas de compresión y los elementos en su perímetro (vigas y columnas) para absorber esfuerzos cortantes.

En nuestro medio, este tipo de mampostería es usado para construir la mayoría de las viviendas de hasta dos pisos debido a la economía y a la versatilidad que ofrece en cuanto al diseño arquitectónico, pues normalmente el muro sigue manteniendo el mismo espesor y como se verá más adelante puede configurarse siempre y cuando cumpla con requisitos de simetría.

---

<sup>1</sup> Ajustado desde: <http://www.arqhys.com/casas/tipos-mamposteria.html>

### **5.3. La mampostería como elemento estructural**

La mampostería estructural es un sistema constructivo que hace parte del sistema denominado muros de carga, y como tal puede cumplir de manera apropiada la función de rigidizar las estructuras para que se mantengan en los límites de desplazamiento lateral previstos en su diseño durante los movimientos sísmicos.

Los elementos de mampostería se verán sometidos a tres tipos de cargas:

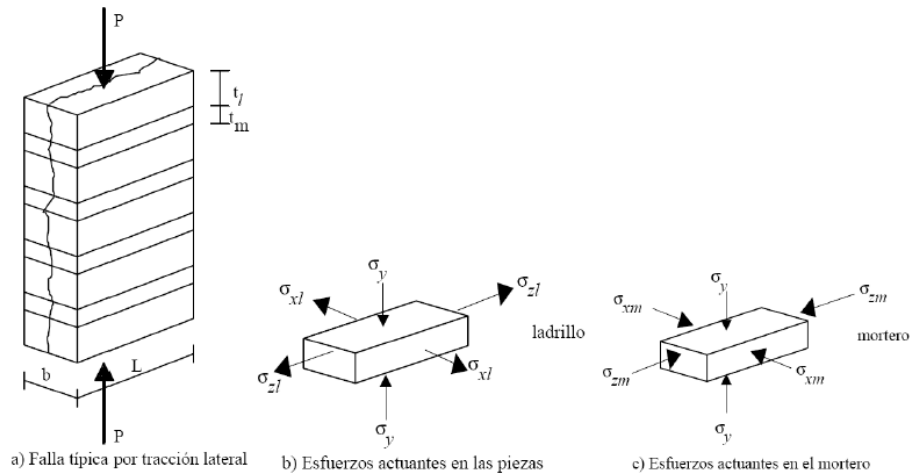
- a) Carga vertical, que refiere al peso mismo de la estructura, incluyendo las cargas vivas.
- b) Fuerzas cortantes y momentos flexionantes, que normalmente son los que produce un sismo.
- c) Fuerzas ortogonales al plano del muro, que son aquellas cargas externas que recibirá la edificación, y que por lo general se deben a la acción de elementos naturales, como el viento.

#### **5.3.1. Falla ante carga axial**

Es un tipo de falla que consiste en el agrietamiento vertical de una estructura (por ejemplo, muro de ladrillo y mortero) debido a una gran carga axial -ver figura 1. Teniendo en cuenta las propiedades que se adquieren con la combinación de estas piezas, en donde el material más rígido (ladrillo), evita las deformaciones transversales del material más deformable (mortero), su ocurrencia no es muy usual. Generalmente se presenta por problemas en la calidad de los materiales, o porque estos se han expuesto mucho tiempo a condiciones externas o de intemperie lo cual hace que pierdan capacidad de carga.



**Figura 2.** Falla por carga axial



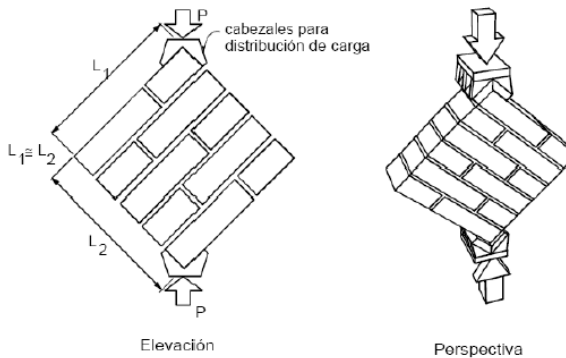
Fuente:

[www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6230/07CAPITULO6.pdf?sequence=7](http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6230/07CAPITULO6.pdf?sequence=7)

### 5.3.2. Falla por flexión

Cuando se encuentran grietas horizontales en los extremos de un muro que se hacen más grandes en la parte inferior, se identifica una falla por flexión; dicha falla puede ser grave si no se tiene acero de refuerzo en la mampostería.

**Figura 3.** Falla por flexión.



Fuente:

[www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6230/07CAPITULO6.pdf?sequence=7](http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6230/07CAPITULO6.pdf?sequence=7)

#### **5.4. Aceleración pico-efectiva**

La aceleración pico-efectiva es una medida de las aceleraciones que sufre la superficie del suelo por causa de los terremotos. Esta es muy importante en ingeniería sísmica. Normalmente la unidad de aceleración utilizada es la intensidad del campo gravitatorio ( $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ).

A diferencia de otras medidas que cuantifican terremotos, como la escala Richter o la escala de magnitud de momento, no es una medida de la energía total liberada del terremoto, por lo que no es una medida de magnitud sino de intensidad. Se puede medir con simples acelerómetros y es sencillo correlacionar la aceleración sísmica con la escala de Mercalli.

La aceleración pico-efectiva es la medida de un terremoto más utilizada en ingeniería, y es el valor utilizado para establecer normativas sísmicas y zonas de riesgo sísmico. Durante un terremoto, el daño en los edificios y las infraestructuras está íntimamente relacionado con la velocidad y la aceleración sísmica, y no con la magnitud del temblor. En terremotos moderados, la aceleración es un indicador preciso del daño, mientras que en terremotos muy severos la velocidad sísmica adquiere una mayor importancia.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Adaptado desde <http://ncarquitectura.com/que-es-la-aceleracion-sismica/>

## **6. DESCRIPCIÓN DE LA PRÁCTICA**

### **6.1. Evaluación de los modelos**

Al hacer una primera revisión se evidencian algunos inconvenientes que derivaron en la supresión de dos modelos que se detallarán en lo que sigue. Además, fue necesario proponer algunos cambios en el diseño arquitectónico del modelo 4 de la cartilla INURBE.

- El modelo replicable número 3 de la cartilla propuesta por el INURBE fue descartado debido a que no contaba con la cantidad mínima de muros, y por ende no tiene condiciones de simetría.
- Debido al alcance de este proyecto y a las características estructurales que exige el título E de la NSR-10 el modelo 1 no se desarrollará, pues se trata de una vivienda de más de dos pisos, y el diseño en mampostería estructural para esta edificación no está contemplado.
- En el modelo 4 fue necesario proponer un muro que divide el salón del comedor, pues de no existir, el parámetro de simetría impediría la implementación de la vivienda.

### **6.2. Implementación de la norma**

Para poder alcanzar el objetivo propuesto en un inicio se siguió el proceso que exige la norma NSR-10 en el título E, para diseños en mampostería confinada en estructuras de no más de dos pisos.

En un comienzo se evaluó cada uno de los planos y para no generar un cambio arquitectónico importante se procedió a reducir el ancho de los muros, pues originalmente se plantearon con un espesor de 20 centímetros, (hecho que no es práctico debido a las dimensiones que las unidades de mampostería con las cuales se trabajará tienen 12 centímetros de espesor). Bajo este orden de ideas los espacios en cada unidad de vivienda fueron ampliados respetando el eje original que se propuso para los muros.

Una vez que se ajustó el espesor de los muros se obtuvieron unos planos como punto de partida para poder empezar a calcular los muros en mampostería estructural que tendrá cada vivienda.

### 6.3. Cálculo de longitud de muro confinado:

Para calcular la longitud que tendrán los muros estructurales la norma NSR-10 en el título E se parte de la siguiente ecuación:

$$L_{min} = \frac{M0 * A_p}{t} \quad (\text{ecuación 1})^3$$

Donde:

- *L<sub>min</sub>* = Longitud mínima de muros estructurales en cada dirección (en metros)
- *M0* = Coeficiente que se lee en la tabla 1
- *t* = Espesor efectivo de muros estructurales en nivel considerado (en milímetros)
- *A<sub>p</sub>* = Se considera en metros cuadrados y varía dependiendo:
  - Es el área cubierta en edificaciones de un piso y con cubierta en losa de concreto.
  - Es el área cubierta para muros del segundo nivel en construcciones de dos pisos, siempre y cuando la cubierta es una losa de concreto.
  - El área de cubierta sumada al área de entrepiso para muros de primer nivel en construcciones de dos pisos con cubierta consistente en una losa de concreto.
  - Los valores del área determinados para cubiertas de losa de concreto según (a), (b) o (c) se deben multiplicar por 2/3 si se emplea una cubierta liviana.

Ahora bien, un factor muy importante que se explicará con más detalle a continuación es la relación de la zona de amenaza sísmica con el diseño estructural de la vivienda, y según la norma se da a través del *M0* en la ecuación 1. Sus valores se asocian a continuación.

---

<sup>3</sup> Esta ecuación fue tomada del título E de la norma sismo resistente NSR-10.

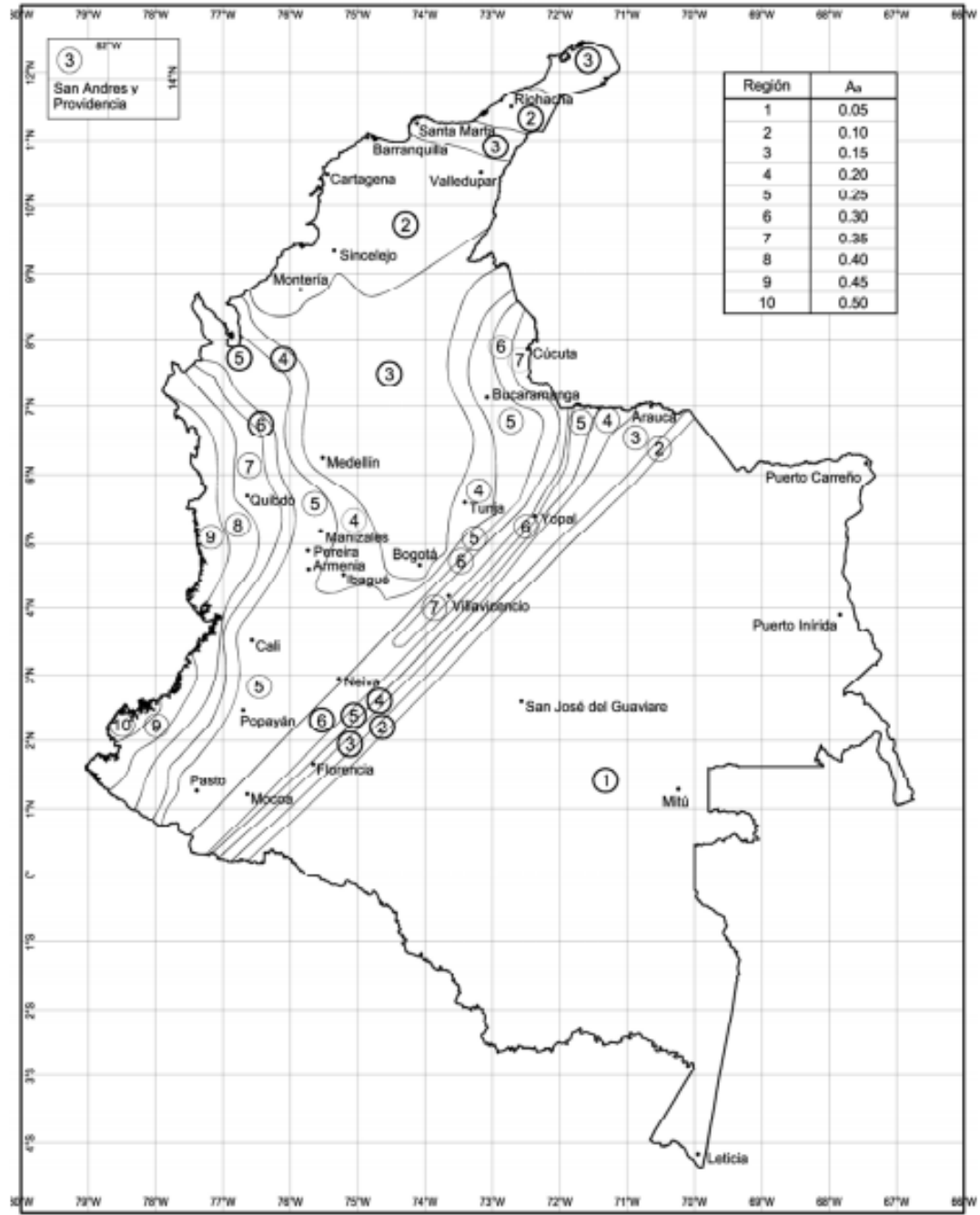
**Tabla 1.** Coeficiente M0 para longitud mínima de muros estructurales confinados

<b>Zona de Amenaza Sísmica</b>	<b>Valores Aa</b>	<b>Valores M0</b>
Alta	0.40	33.0
	0.35	30.0
	0.30	25.0
	0.25	21.0
Intermedia	0.20	17.0
	0.15	13.0
Baja	0.10	8.0
	0.05	4.0

Tomado de: Norma sismo resistente NSR-10, título E (2010)

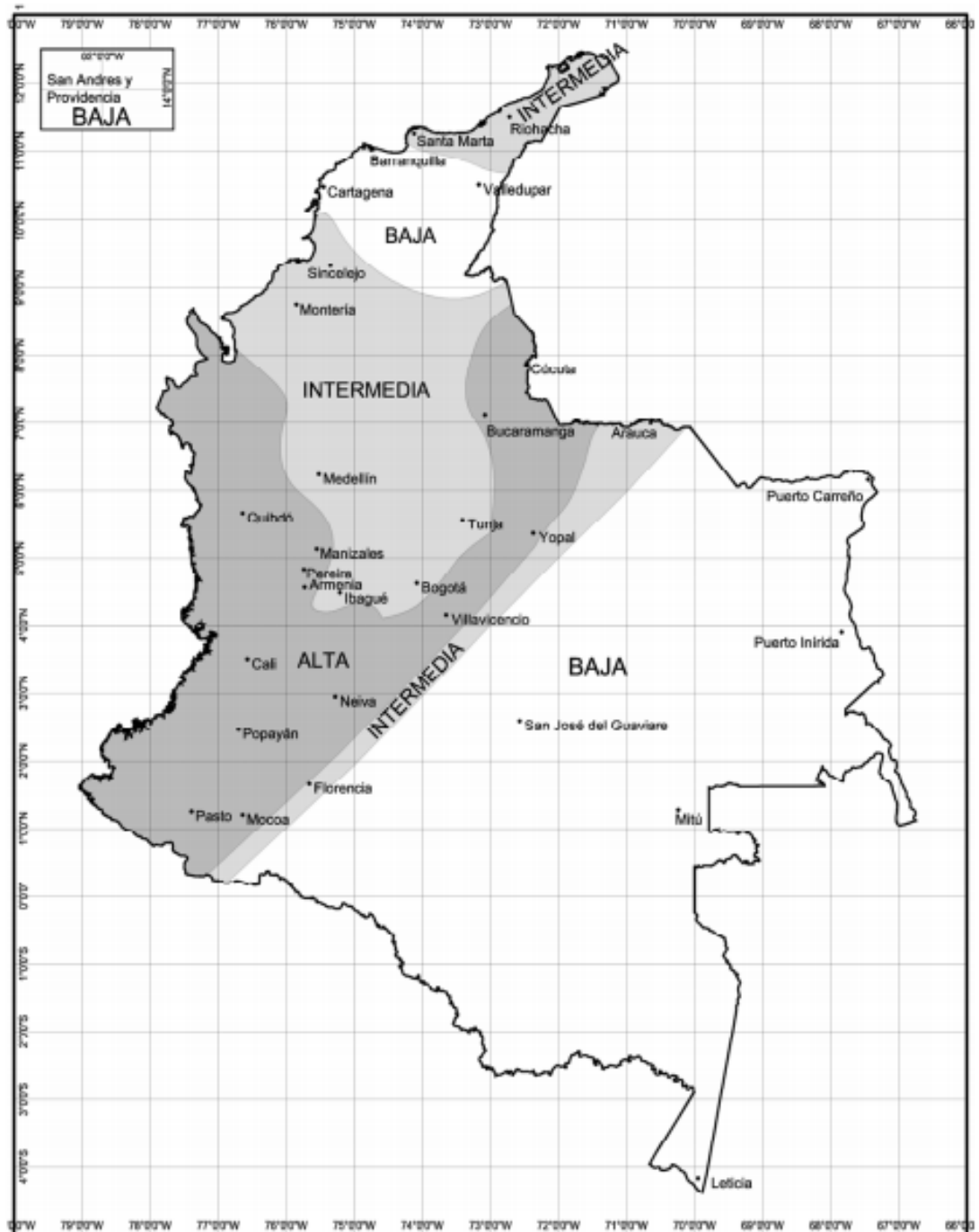
Además, y como parte complementaria a la tabla 1, es necesario hacer uso de las siguientes figuras, tomadas del título A de la NSR-10 y que identifican las diferentes zonas de Colombia y el nivel de amenaza sísmica al que se ven expuestas. Gracias a esto es que se podrá identificar en qué lugares podrá replicarse cada uno de los modelos adelantados en el presente trabajo.

Figura 4. Mapa de aceleración pico efectiva en Colombia.



Tomado de: Norma sismo resistente NSR-10, título A (2010)

Figura 5. Mapa de representación de zonas de amenaza sísmica en Colombia.



Tomado de: Norma sismo resistente NSR-10, título A (2010)

No obstante, hay que tener en cuenta que en esta investigación se busca alcanzar la mayor cantidad posible de muro estructural para así poder replicar los modelos en las diferentes zonas de amenaza sísmica en Colombia, por ende, hay que partir de que la verdadera incógnita en la ecuación 1 no es la longitud mínima sino el coeficiente  $M_0$ , que es quien asocia el cálculo estructural con la zona en la que se aplicará el proyecto. Dadas las cosas bajo estos términos se entiende entonces que la ecuación que se utilizará para alcanzar los objetivos de este proyecto será la dada a continuación:

$$M_0 = \frac{L_{min} * t}{A_p} \text{ (ecuación 2)}$$

Donde se entenderá que la longitud mínima de muro confinado ( $L_{min}$ ) será dada al analizar cada proyecto y revisar cuáles muros se pueden aprovechar como estructurales haciendo uso de lo que sigue.

Al tomar cada uno de los modelos propuestos por el INURBE se empieza a evaluar cuáles son los muros que se pueden confinar teniendo en cuenta lo expresado por la norma a continuación. “Para efectos de contabilizar la longitud de muros confinados en cada dirección principal, sólo deben tenerse en cuenta aquellos muros que están confinados, que son continuos desde la cimentación hasta la cubierta, y que no tienen ninguna abertura entre columnas de confinamiento...” (Reglamento Colombiano de construcción Sismo- Resistente NSR-10, título E. Bogotá D.C. 2010)

Bajo este orden de ideas se empiezan a establecer los parámetros que delimitarán la capacidad portante de la vivienda, pues en algunos casos la longitud de muro que se puede confinar en el eje paralelo a las fachadas no supera los tres metros, lo que implica una disminución importante en las cargas que podrá soportar la vivienda.

Llegados a este punto se hace necesario analizar la simetría que se presenta al momento de distribuir los elementos confinados, que según la norma NSR-10 debe considerarse siguiendo la siguiente ecuación:

$$\left| \frac{\left( \frac{\sum L_{mi} * b}{\sum L_{mi}} \right) - \left( \frac{B}{2} \right)}{B} \right| \leq 0.15 \text{ (ecuación 3)}^4$$

---

<sup>4</sup> Ecuación de simetría, tomada de título E de norma sismo resistente NSR-10

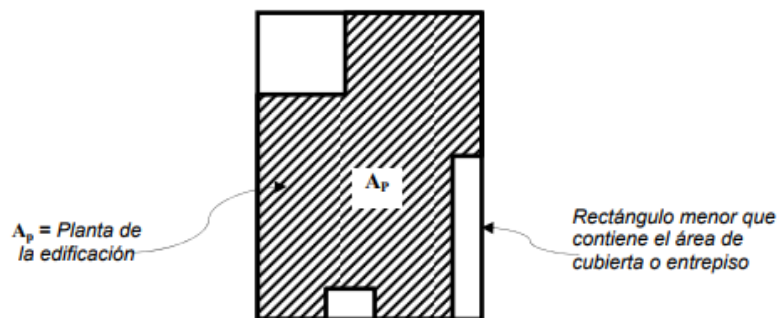


En donde:

- $L_{mi}$  = longitud de cada muro (en m) en la dirección  $i$ .
- $b$  = la distancia perpendicular (en m) desde cada muro en la dirección  $i$ , hasta un extremo del predio que contiene el área de entrepiso.
- $B$  = longitud del lado (en m), perpendicular a la dirección  $i$ , del rectángulo menor que contiene el área de la cubierta o entrepiso.

Por efectos explicativos la NSR-10 presenta la siguiente imagen que permite identificar los elementos de la ecuación anterior:

**Figura 6.** Representación de elementos en la ecuación de simetría.



Tomado de: Norma sismo resistente NSR-10, título E (2010)

Esta ecuación se aplicó a cada modelo arquitectónico y se revisó que la simetría cumpliera los parámetros previamente explicados, lo que en la mayoría de los casos derivó en una disminución en la longitud de muro confinado que ya se tenía previsto y por obvias razones una depreciación en la capacidad portante que soportaría la estructura.

El principal problema encontrado al analizar la simetría de las edificaciones fue el hecho de que arquitectónicamente hablando existe mayor cantidad de muro en el sentido longitudinal que en el sentido transversal de las viviendas. A esto se le suma que la mayoría de las paredes que tienen vanos son precisamente las que están en el eje paralelo a la fachada, lo que supone un reto para distribuir los muros confinados pues en muchos casos los vanos los delimitan a una longitud menor a 0.8m.

Pues bien, se confinó cada elemento posible para que la edificación cumpliera con los requisitos que exige la norma sismo resistente colombiana (NSR-10) teniendo en cuenta que bajo ninguna circunstancia se cambió la disposición de los muros o de algún otro elemento arquitectónico debido al alcance de este proyecto.

Una vez revisado este punto se procedió a aplicar la ecuación 2 buscando encontrar un valor  $M_0$  (que se tomaría de la tabla 1 como el valor inmediatamente menor al indicado como resultado de la ecuación 2) que permitiría clasificar cada modelo dentro de una zona de amenaza sísmica en Colombia, que se aplicaría teniendo en cuenta criterios tanto de diseño estructural como de diseño arquitectónico y en función del lugar de implantación.

Finalmente, se relaciona cada modelo con el valor  $M_0$  obtenido, la zona de amenaza sísmica en la que se podría implantar y el contexto climatológico que se tuvo en cuenta para el diseño arquitectónico del mismo:

**Tabla 2.** Registro de zonas de implantación.

<b>Modelo</b>	<b>Área del lote (<math>m^2</math>)</b>	<b><math>M_0</math></b>	<b>Zona de amenaza sísmica</b>	<b>Contexto climatológico</b>
Modelo 1	54	17	Intermedia	zonas de clima templado y caliente.
Modelo 2	36	17	Intermedia	zonas de clima frío y templado.
Modelo 3	36	17	Intermedia	zonas de clima frío y templado.
Modelo 4	54	15	Intermedia	zonas de clima frío y templado.
Modelo 5	54	17	Intermedia	zonas de clima frío y templado.
Modelo 6	44	33	Alta	zonas de clima caliente.
Modelo 7	43	25	Alta	zonas de clima cálido.
Modelo 8	56	17	Intermedia	zonas de clima frío y templado.
Modelo 9	74	17	Intermedia	clima templado y caliente.
Modelo 10	63	17	Intermedia	clima frío y templado.
Modelo 11	62	21	Alta	clima templado y caliente.
Modelo 12	62	13	Intermedia	clima caliente.
Modelo 13	36	33	Alta	clima frío.
Modelo 14	90	33	Alta	clima cálido.

Fuente. Los autores.

Por otra parte, se presenta un cuadro con la discriminación de áreas por cada uno de los modelos estudiados, con el fin de que usuario identifique cuál de los 15 modelos arquitectónicos satisface de una mejor manera su requerimiento, puesto que en esta se pueden observar las dimensiones del terreno, el número de habitación, zonas comunes, entre otros.

### **6.3.1. Consideraciones:**

- En todos los casos se buscó adaptar los modelos a la zona de amenaza sísmica más severa, teniendo en cuenta que la posibilidad de confinar muros depende de la simetría de la edificación y no solamente de su distribución arquitectónica.
- Los modelos 7, 13 y 14 se diseñaron considerándolos en dos secciones, pues en la mayoría de los casos fue el patio quien aisló los espacios habitacionales y ocasionó que estructuralmente la vivienda se comportara como dos módulos independientes.
- En el primer nivel del modelo 11 se consideraron dos áreas de cubierta, pues una es en teja y la otra es la placa de entrepiso.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los modelos arquitectónicos han sido actualizados en base a las zonas de amenaza sísmica, elementos propuestos únicamente en la actualización de la norma y que evidentemente ofrecen mayor versatilidad al contrastar la configuración estructural con el contexto en el que se implementará.

La mampostería confinada es un excelente sistema portante en este tipo de edificaciones, pues es un recurso que tiene un impacto mínimo en la distribución de espacios y se adapta fácilmente al programa arquitectónico. Además, se asegura la rigidez uniforme de la estructura siguiendo parámetros de simetría.

Por otro lado, las viviendas descritas en este proyecto servirán como modelos arquitectónicos propuestos a quien le interese, persona que podrá seleccionar aquel que más le convenga de acuerdo no solo al contexto en el que se construirá, sino también a su necesidad. Es importante resaltar que cada modelo cuenta con la garantía estructural dada por el seguimiento de la norma sismo resistente NSR-10, un servicio enfocado para aquellos usuarios que no tienen conocimientos técnicos en el área de la construcción.

Asimismo, se pretende presentar este proyecto abierto al estudiante que quiera retomarlo y complementarlo con la información necesaria, el objetivo es que siga estando actualizado con el paso del tiempo y siga brindando a quien lo necesiten las herramientas para poder construir los modelos replicables trabajados.

Finalmente, expresamos con alegría el gusto con el que se llevó a cabo el desarrollo de este documento, pues esperamos poder contribuir al desarrollo del país, y aún más, poder ofrecer un diseño seguro de vivienda a quién lo necesite.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10)*. Bogotá D.C. 2010.
- Carazo, N. (2012), *¿Qué es la aceleración sísmica?* nc arquitectura. Recuperado de <http://ncarquitectura.com/que-es-la-aceleracion-sismica/>
- Alcocer, S. (1997), *Comportamiento sísmico de estructuras de mampostería: una revisión*, Veracruz, México.
- Instituto colombiano de normas técnicas, Normas Técnicas Colombianas - NTC, *Unidades de mampostería de arcilla cocida. ladrillos y bloques cerámicos*, NTC-4205-2. Bogotá D.C. 2009.
- Comportamiento sísmico de edificios de mampostería no reforzada. Recuperado de [www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6230/07CAPITULO6.pdf?sequence=7](http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6230/07CAPITULO6.pdf?sequence=7)
- Equipo de colaboradores y profesionales de la revista ARQHYS.com. (2012). *Tipos de mampostería*. Obtenido 01, 2018, Recuperado de <http://www.arqhys.com/casas/tipos-mamposteria.html>
- Instituto nacional de vivienda de interés social y reforma urbana, *Cartilla para usuarios, modelos replicables para asistencia técnica*. Bogotá D.C. 2010.
- Valbuena, S (2017), *Dimensionamiento de muros para Mampostería Confinada*, Construcción y diseño en vis. Recuperado de <https://sites.google.com/site/cydenvis/5mamposteria/disenio>