

ESTIMACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL NIVEL DE CIMENTACIÓN DE  
EDIFICACIONES TÍPICAS DE LA COMUNA 14 EN LA CIUDAD DE  
BUCARAMANGA.

WILFREDO ALEXANDER CALDERÓN RINCÓN

WILLIAM FERNELL MACIAS BLANCO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

BUCARAMANGA

2014

ESTIMACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL NIVEL DE CIMENTACIÓN DE  
EDIFICACIONES TÍPICAS DE LA COMUNA 14 EN LA CIUDAD DE  
BUCARAMANGA.

WILFREDO ALEXANDER CALDERÓN RINCÓN

WILLIAM FERNELL MACIAS BLANCO

Trabajo de grado para optar al título de  
Ingeniero Civil

Director

GUSTAVO CHIO CHO

Ingeniero Civil, Ms.C, Ph.D.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

BUCARAMANGA

2014

*A mis padres por su constante apoyo y de dedicación a lo largo de mi carrera*

*A mis hermanos por sus consejos y buenos deseos*

*Y a mis amigos por su colaboración y motivación*

WILFREDO ALEXANDER CALDERÓN RINCÓN

*A mis padres y hermanos quienes con su confianza y respaldo contribuyeron*

*al desarrollo de este proyecto*

*A mi esposa e hija por su infinito amor*

*Y a todos mis compañeros por su incondicional apoyo.*

WILLIAM FERNELL MACIAS BLANCO

## **AGRADECIMIENTOS**

A nuestro director, el Ingeniero Gustavo Chio Cho, por su orientación y disposición con el desarrollo del proyecto.

A los ingenieros Elkin Mauricio López y Sergio Andrés Vanegas, por su colaboración y consejos.

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	18
OBJETIVO GENERAL .....	19
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
1. MAMPOSTERÍA CONFINADA.....	20
2. ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL.....	21
2.1. No Linealidad en las Estructuras.....	21
2.2. Método del espectro Capacidad-Demanda y sus modificaciones .....	21
2.3. Espectro de capacidad.....	23
2.4. Espectro de demanda .....	24
2.5. Modificaciones al Método de Espectro-Capacidad de la ATC 40 según FEMA 440 (Equivalent Linearization).....	25
2.6. Modificaciones al Método de Coeficiente de la FEMA 356 según FEMA 440 (Displacement Modification).....	27
2.7. Punto de desempeño de la estructura .....	28
2.8. Niveles de desempeño de la edificación .....	29
3. ANÁLISIS DE UNA VIVIENDA TIPO DE LA COMUNA 14 EN BUCARAMANGA.....	31
3.1. Ajuste de las dimensiones en elementos estructurales según Nsr-10 .....	33
3.1.1. Placas aligeradas .....	34
3.1.2. Vigas de Confinamiento.....	37
3.1.3. Columnas de Confinamiento.....	37
3.1.4. Cimentación.....	37
3.1.5. Divisiones internas en mampostería .....	38
3.2. Modelo de la vivienda en el programa Sap2000 versión 14.....	40

3.2.1. Propiedades de los concretos y aceros para elementos estructurales (Vigas, columnas, placas aligeradas) .....	40
3.2.2. Propiedades de la Mampostería .....	40
3.2.3. Mampostería.....	40
3.2.4. Acero de refuerzo .....	41
3.2.5. Espesor Equivalente .....	42
3.2.6. Condiciones especiales de los muros.....	42
3.2.7. Condiciones de cargas y masas de los pisos .....	44
3.2.8. Espectro de diseño NSR-10. ....	44
3.2.9. Casos de carga o “Load Patterns”, para el análisis no lineal en dirección X y dirección Y. ....	45
3.2.10. Asignación de rótulas.....	48
4. CONSIDERACIONES DE LOS MODELOS PARA EL ANALISIS DE RESULTADOS.....	49
Modelos con MASA 1 .....	50
Modelos con MASA 2 .....	52
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	53
Eje X: .....	58
Eje Y: .....	59
6. CONCLUSIONES.....	60
7. OBSERVACIONES .....	61
BIBLIOGRAFÍA: .....	62
ANEXOS .....	64

## LISTA DE TABLAS

<b>TABLA 1: Coeficientes para el uso del amortiguamiento Efectivo (FEMA-440)</b> .....	<b>26</b>
<b>TABLA 2: Coeficientes para el uso de Periodo Efectivo (FEMA-440)</b> .....	<b>27</b>
<b>TABLA 3: Niveles de desempeño de la edificación (ATC-40)</b> .....	<b>30</b>
<b>TABLA 4: Porcentaje de daño para Modelos con Masa 1 en dirección X</b> .....	<b>54</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1: Mampostería Confinada .....</b>	<b>20</b>
<b>FIGURA 2: Conversión Curva de capacidad en Espectro de Capacidad .....</b>	<b>24</b>
<b>FIGURA 3: Conversión Espectro elástico inicial en espectro de demanda....</b>	<b>25</b>
<b>FIGURA 4: Espectro de capacidad-demanda (ATC-40) .....</b>	<b>28</b>
<b>FIGURA 5: Niveles de daño FEMA 356 y ATC 40 .....</b>	<b>31</b>
<b>FIGURA 6: Fachada Vivienda tipo .....</b>	<b>32</b>
<b>FIGURA 7: Vista lateral vivienda tipo .....</b>	<b>33</b>
<b>FIGURA 8: Sección placas Aligeradas .....</b>	<b>34</b>
<b>FIGURA 9: Planta placa terraza y primer nivel .....</b>	<b>35</b>
<b>FIGURA 10: Planta placa de entrepiso .....</b>	<b>36</b>
<b>FIGURA 11: Diferencias en alturas de las columnas de cimentación .....</b>	<b>37</b>
<b>FIGURA 12: Planta muros divisorios primer nivel .....</b>	<b>38</b>
<b>FIGURA 13: planta muros divisorios segundo nivel.....</b>	<b>39</b>
<b>FIGURA 14: Gráfica compresión-tracción para la mampostería, cargada al sap2000.....</b>	<b>41</b>
<b>FIGURA 15: Propiedades de acero para refuerzo .....</b>	<b>42</b>
<b>FIGURA 16: Selección del shell no lineal para los muros .....</b>	<b>43</b>
<b>FIGURA 17: Selección de los planos en los que la mampostería va a trabajar no linealmente.....</b>	<b>43</b>
<b>FIGURA 18: Creación y asignación de cargas para la estructura .....</b>	<b>44</b>
<b>FIGURA 19: Espectro de respuesta NSR-10 .....</b>	<b>45</b>
<b>FIGURA 20: Definiendo los casos de carga.....</b>	<b>46</b>
<b>FIGURA 21: Punto de control del análisis .....</b>	<b>46</b>
<b>FIGURA 22: Asignando el nodo de control y el desplazamiento máximo de la estructura .....</b>	<b>47</b>
<b>FIGURA 23: Designando los estados de análisis.....</b>	<b>47</b>
<b>FIGURA 24: Parámetros no lineales del análisis.....</b>	<b>48</b>
<b>FIGURA 25: Asignación de rótulas para las vigas .....</b>	<b>49</b>
<b>FIGURA 26: Asignación de rótulas para las columnas .....</b>	<b>49</b>

<b>FIGURA 27: Modelo de 25° de pendiente</b> .....	<b>50</b>
<b>FIGURA 28: Modelo de 30° de pendiente</b> .....	<b>51</b>
<b>FIGURA 29: Modelo de 35° de pendiente</b> .....	<b>52</b>
<b>FIGURA 30: Definición de Masa 2</b> .....	<b>53</b>
<b>FIGURA 31: Porcentaje de daño en X vs Pendiente, para modelos con Masa 1</b> .....	<b>54</b>
<b>FIGURA 32: Porcentaje de daño en Y vs Pendiente, para modelos con Masa 2</b> .....	<b>55</b>
<b>FIGURA 33: Porcentaje de daño en X vs Pendiente, para modelos con Masa 2</b> .....	<b>55</b>
<b>FIGURA 34: Porcentaje de daño en Y vs Pendiente, para modelos con Masa 2</b> .....	<b>56</b>
<b>FIGURA 35: Nomograma de daños para el eje X</b> .....	<b>57</b>
<b>FIGURA 36: Nomograma de daños para el eje Y</b> .....	<b>58</b>

## LISTA DE ANEXOS

<b>ANEXO A: Cálculo del peso específico de la mampostería .....</b>	<b>64</b>
<b>ANEXO B: Cálculo del espesor equivalente de un bloque de mampostería H-15.....</b>	<b>68</b>
<b>ANEXO C: Datos extraídos de SAP para la creación de los nomogramas .....</b>	<b>70</b>
<b>ANEXO D: Datos extraídos del SAP para modelos con Masa 2.....</b>	<b>70</b>

## RESUMEN

**TÍTULO:** Estimación de la Influencia del Nivel de Cimentación de Edificaciones Típicas de la Comuna 14 en la Ciudad de Bucaramanga\*.

**AUTORES:** Wilfredo Alexander Calderón Rincón\*\*  
William Fernell Macías Blanco

**PALABRAS CLAVES:** Mampostería confinada, Sap2000, Pushover, Análisis estático no lineal, nomograma.

### CONTENIDO:

Este proyecto de grado, surge de la necesidad de ayudar a refinar los modelos de vulnerabilidad sísmica desarrollado por el grupo de investigación de estructuras de la escuela de ingeniería civil de la UIS, en donde se han realizado estudios de caracterización dinámica de la zona nororiental de la ciudad de Bucaramanga, conocida como Morrónico, los cuales carecen de una cuantificación del nivel de daño que podría tener una estructura típica del sector construida en ladera con pendiente de cimentación muy pronunciada, ante la ocurrencia de un sismo de magnitud considerable. El presente documento contiene los resultados de la evaluación analítica (a través de análisis estático no lineal o "Pushover", según la Fema 440), de 14 modelos de una vivienda típica construida en mampostería confinada en un sector subnormal de la ciudad de Bucaramanga, realizados en el software Sap2000 versión14. Se hizo un estudio de vulnerabilidad del comportamiento de las estructuras de este sector. Para esto se observó la respuesta de una vivienda típica bajo el espectro de diseño propuesto por la norma sismo resistente Colombiana de 2010 (NSR-10), teniendo en cuenta la microzonificación sísmica. Se obtuvieron nomogramas de dicho comportamiento al variar el nivel de cimentación debido a la pendiente del terreno de los que se pudo deducir y observar el aumento en el porcentaje de daño en la estructura a medida que se incrementa la pendiente del terreno.

---

\*Proyecto de Grado

\*\*Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Gustavo Chio Cho, Ic, Ph.D

## ABSTRACT

**TITLE:** Estimating the Influence of Foundations of Buildings Level Typical of the Commune 14 in the city of Bucaramanga\*.

**AUTHORS:** Wilfredo Alexander Calderón Rincón\*\*  
William Fernell Macías Blanco

**KEY WORDS:** Confined Masonry, Sap2000, Pushover, Nonlinear Static Analysis, nomogram.

### CONTENIDO:

This project grade, arises from the need to help refine seismic vulnerability models developed by the research group of structures in the school of civil engineering at UIS, Where studies have been conducted dynamic characterization of the northeastern part of the city of Bucaramanga, known as Morrórico, which lack a quantification of the level of damage that could have a typical structure of the industry built on hillside steep slope foundation, upon the occurrence of an earthquake of considerable magnitude. This document contains the results of the analytical evaluation (through nonlinear static or "Pushover" analysis, according to FEMA 440) of 14 models of a typical confined masonry house built in a subnormal section of the city of Bucaramanga, Sap2000 made in version 14 software. A vulnerability study of the behavior of structures in this sector was made. To this the response of a typical home under the design spectrum proposed by the 2010 Colombian earthquake resistant standard (NSR-10) is observed, considering seismic microzonation. Nomograms were obtained such behavior by varying the foundation level due to the slope of the land from which one could deduce and observe the increase in the percentage of structural damage as it increases the slope.

---

\*Proyecto de Grado

\*\*Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Gustavo Chio Cho, Ic, Ph.D

## INTRODUCCIÓN

Las condiciones sociales y económicas a las cuales se ven sometidos algunos habitantes de las zonas rurales de la región, ocasionan desplazamientos hacia los centros urbanos y a su vez hacia las zonas periféricas de las ciudades, lo que origina asentamientos en zonas poco aptas para la construcción; como algunas de las viviendas levantadas en las laderas del macizo de Santander, al noroccidente de la ciudad de Bucaramanga.

Los factores mencionados anteriormente, sumados a las fuertes pendientes del terreno, más la falta de conocimientos de construcción sismo resistente por parte de los constructores del sector, y en muchas ocasiones a las condiciones económicas de los habitantes de la zona (que compran materiales de baja calidad, o en cantidades insuficientes para realizar edificaciones con un grado de resistencia sísmica aceptable), aumentan el riesgo de sufrir pérdidas humanas en la ocurrencia de un movimiento telúrico de magnitud considerable.

Al realizar estudios de vulnerabilidad se ve la necesidad de analizar el comportamiento de las estructuras típicas de estos sectores frente a un sismo; por lo tanto se estudiará cómo se comporta una vivienda típica bajo el espectro de diseño propuesto por la norma sismo resistente Colombiana de 2010 (NSR-10), y teniendo en cuenta la microzonificación sísmica planteada para la ciudad de Bucaramanga. Es nuestro interés en este estudio realizar un análisis Estático no Lineal del comportamiento de las estructuras, sujetas a cambios en los niveles de cimentación debido a la pendiente del terreno y al aumento en 100% de la masa de la vivienda, esto con el fin de contribuir a refinar los modelos de vulnerabilidad desarrollados por el grupo de investigación de la UIS.

## **OBJETIVO GENERAL**

Determinar un nomograma del comportamiento de una edificación típica de la comuna 14 de la ciudad de Bucaramanga, en mampostería confinada, cimentada sobre columnas al variar el nivel de cimentación por la pendiente del terreno.

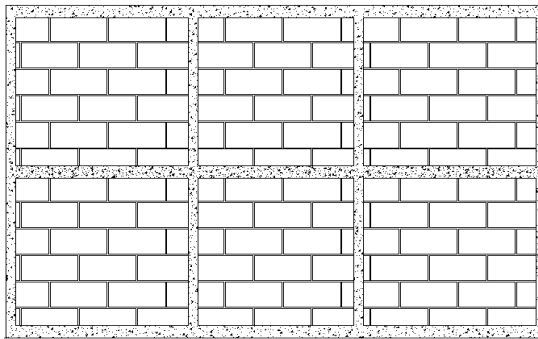
## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Construir modelos de una edificación típica de la comuna 14 de la ciudad de Bucaramanga, en mampostería confinada, cimentada sobre columnas, para diversas pendientes del terreno de cimentación.
- Establecer el punto de comportamiento (Nivel de daño), de los modelos construidos, mediante un análisis no lineal (Pushover).

## 1. MAMPOSTERÍA CONFINADA

En este sistema se implementa la utilización de bloques de perforación vertical u horizontal, o unidades macizas que conforman muros que son confinados por columnas y vigas siempre fundidas en sitio posteriormente al levante de muros **(Ver figura 1)**. Sus principales requerimientos en cuanto a diseño se encuentran establecidos en el capítulo D.10 de la NSR-10.

**FIGURA 1: Mampostería Confinada**



**Fuente:** Autores

Algunas características de este tipo de mampostería son:

- Se construye con piezas de mampostería unidas mediante mortero de pega. Los elementos de confinamiento son en concreto reforzado, y la integridad de estos elementos debe conformar características que permitan un buen comportamiento estructural del sistema.
- Como sistemas de entrepiso son frecuentemente utilizadas lozas aligeradas o lozas macizas de concreto construidas in- situ.
- La mano de obra que se necesita para este tipo de mampostería es menos especializada que la utilizada para mampostería reforzada.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Oscar Javier Gutiérrez; Mampostería Estructural; Tesis de Maestría en ingeniería civil; Universidad de los Andes; Bogotá 2003

## 2. ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL

Cuando se somete una edificación a movimientos del terreno debido a sismos, experimenta desplazamientos laterales y consecuentemente deformaciones en sus elementos. Para respuestas de pequeña amplitud, las deformaciones en los elementos permanecen en el rango elástico y prácticamente no ocurren daños, mientras que para respuestas de mayor amplitud, las deformaciones de los elementos exceden su capacidad elástica y la edificación experimenta daños. En este caso, la mejor estimación de la respuesta global de la estructura y de la demanda de sus componentes individuales, se obtiene recurriendo a procedimientos de análisis no lineales estáticos, cuyos resultados tienden a ser altamente sensibles a pequeños cambios del comportamiento de sus componentes y a las características del movimiento empleado.<sup>2</sup>

### 2.1. No Linealidad en las Estructuras

Se presenta cuando se verifica que los materiales que constituyen los sistemas estructurales sean no lineales (*no linealidad física*), o los desplazamientos sufridos por las estructuras ya no puedan considerarse como pequeños (*no linealidad geométrica*).

La no linealidad física se produce en estructuras en donde aparecen todas las sollicitaciones internas, el campo inelástico se manifiesta desarrollando articulaciones plásticas (rótulas), provocando una disminución de la rigidez inicial y disminuyendo la capacidad resistente estructural.<sup>3</sup>

### 2.2. Método del espectro Capacidad-Demanda y sus modificaciones

El método del Espectro de capacidad y Demanda define dos conceptos básicos: Demanda y capacidad. La demanda está dada por la definición del espectro de

---

<sup>2</sup> Safina Melone Salvador; Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Análisis de su contribución al riesgo sísmico, capítulo 6; Tesis de Doctorado; Universidad Politécnica de Cataluña; Barcelona 2003.

<sup>3</sup> Albert de Montserrat Navarro; Evaluación de los daños en estructuras de pórticos con mampostería y obtención de un índice de daño estructural; Tesis de pregrado; Universidad Politécnica de Cataluña; Barcelona 2011.

respuesta elástico específico para la zona y la capacidad por una curva Esfuerzo vs Deformación de la Estructura en consideración. Este método utiliza la intersección de la curva de capacidad de la estructura (curva *Pushover*) y una reducción del espectro de respuesta para evaluar el desempeño del edificio analizado.<sup>4</sup>

El ATC-40 especifica tres métodos (métodos A, B y C) para estimar la demanda de deformación inducida por acciones sísmicas. El procedimiento A y B son analíticos y computacionalmente amenos, considerando que el procedimiento C es gráfico y más adecuado para un análisis manual. El procedimiento iterativo A, no converge para algunos de los sistemas analizados. Converge en la mayoría de los casos, pero a una deformación muy diferente a la entregada por procedimientos dinámicos no lineales. El procedimiento B del ATC-40 siempre entrega un único valor de deformación, semejante al entregado por el procedimiento A, cuando este converge. Estos procedimientos aproximados subestiman significativamente la deformación para un amplio rango de periodos y factores de ductilidad con errores del orden del 50%, implicando que la deformación estimada es cerca de la mitad del valor “exacto”.<sup>5</sup>

El FEMA 356 (2000) corresponde a una norma establecida por La Agencia Federal para el Manejo de Emergencias de los Estados Unidos. Esta propone un método llamado Método del Coeficiente de Desplazamiento cuyo objetivo principal es dar una idea aproximada del desplazamiento lateral máximo de una estructura ante una carga sísmica; de aquí se define la gráfica Esfuerzo vs Deformación. Para efectos esta investigación es basada en las modificaciones planteadas en la FEMA 440 (2005).

---

<sup>4</sup> Pablo David Meneses Arcos; Análisis de Edificios de Hormigón Armado en Base a Pórticos Planos Acoplados a Muros de Altura Parcial; Tesis de Pregrado; Universidad Austral de Chile; Valdivia 2006

<sup>5</sup> Chopra, A. K.; R. K. Goel. 2000. Evaluation of NSP to Estimate Deformation: SDF Systems. J. Struct. Engrg. 126(4): 482-490

### 2.3. Espectro de capacidad

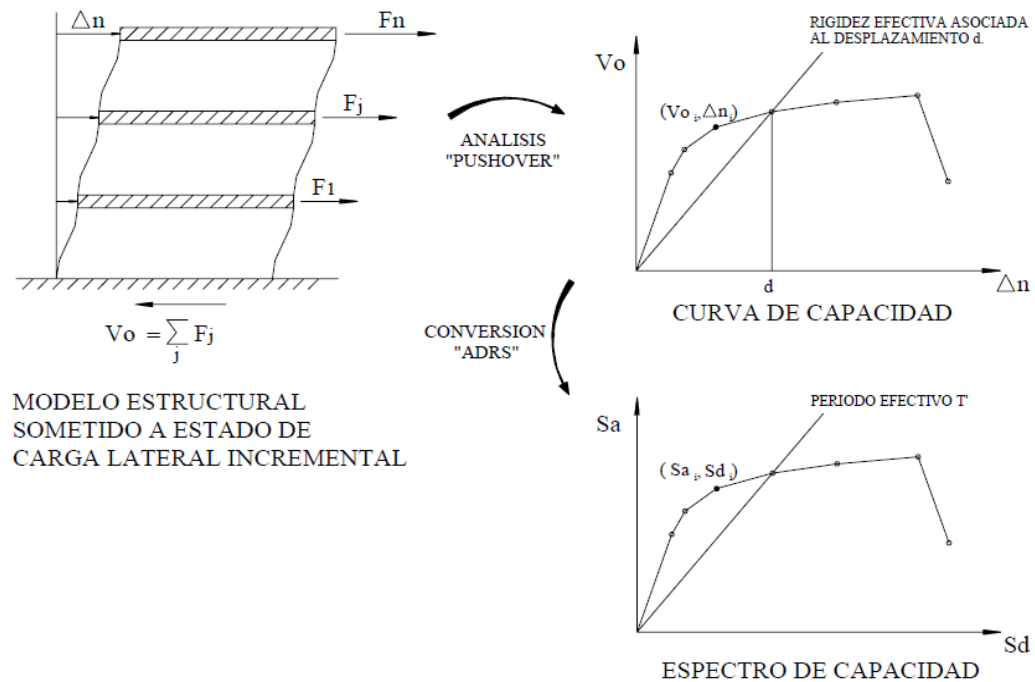
Generalmente se representa como el cortante basal ( $V_o$ ), obtenido para varios incrementos del estado de carga lateral, respecto al desplazamiento lateral del último nivel de la edificación ( $D_n$ ). Los análisis *pushover* consisten básicamente en aplicar, sobre los edificios, una carga mono tónicamente creciente hasta alcanzar un desplazamiento objetivo fijado en el nodo superior más alejado a la dirección de la acción de la carga; con estos datos, más las fuerzas que se generan en la base de la estructura para llegar a este desplazamiento, se construye la curva *Pushover* o curva de capacidad.

Usando propiedades modales asociadas al modo fundamental de vibración, es posible transformar la curva de capacidad a un nuevo formato ADRS (“\_”), (**ver figura 2**), donde se representa la aceleración espectral ( $S_a$ ), respecto al desplazamiento espectral ( $S_d$ ), denominado espectro de capacidad. Para esta conversión, cada punto ( $V_{oi}$ ,  $D_{ni}$ ) de la curva de capacidad, corresponde a un punto ( $S_{ai}$ ,  $S_{di}$ ) del espectro de capacidad.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> Albert de Montserrat Navarro; Evaluación de los daños en estructuras de pórticos con mampostería y obtención de un índice de daño estructural; Tesis de pregrado; Universidad Politécnica de Cataluña; Barcelona 2011.

**FIGURA 2: Conversión Curva de capacidad en Espectro de Capacidad**



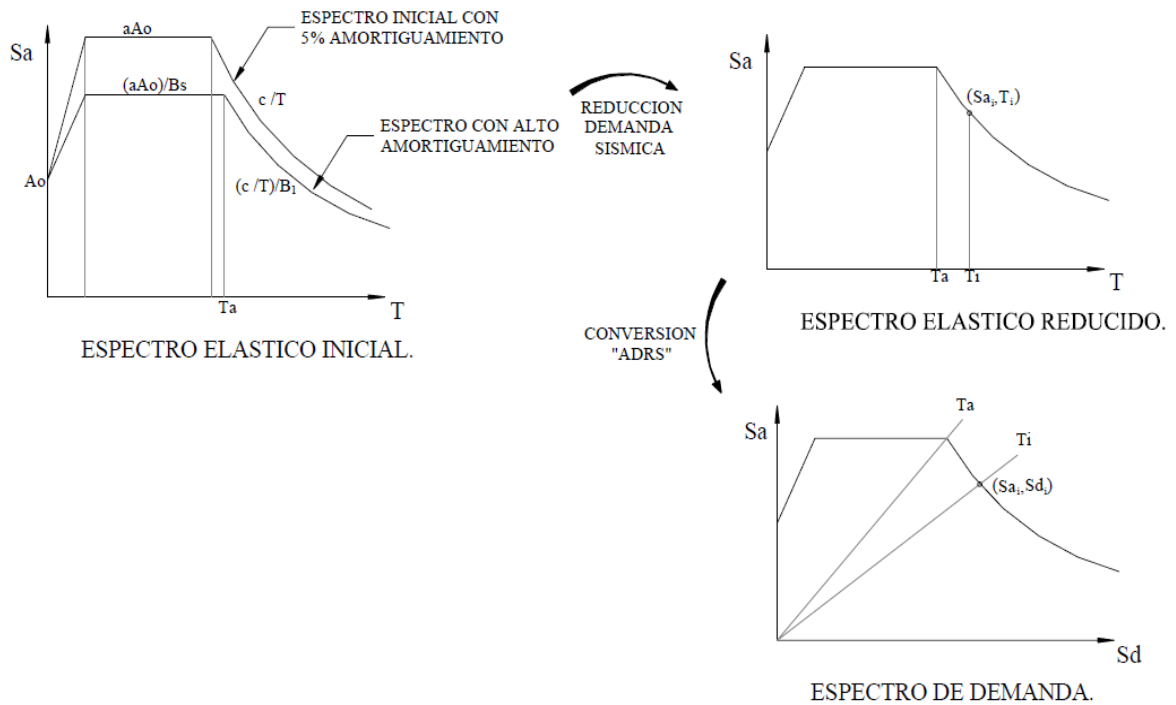
**Fuente:** *Imagen tomada de Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Análisis de su contribución al riesgo sísmico, capítulo 6.*

#### 2.4. Espectro de demanda

Es una representación gráfica de la aceleración máxima de respuesta respecto al correspondiente desplazamiento máximo, para un periodo y un nivel de amortiguamiento dado. Se logra por medio del espectro de diseño contemplado en el capítulo A.2.6 de la norma Sismo Resistente Colombiana de 2010 (Nsr-10) para la zona de Bucaramanga; este debe ser transformado a un formato ADRS (**ver figura 3**), es decir de aceleración espectral ( $S_a$  como una fracción de la aceleración de la gravedad  $g$ ), respecto al desplazamiento espectral ( $S_d$ ).<sup>7</sup>

<sup>7</sup> Albert de Montserrat Navarro; Evaluación de los daños en estructuras de pórticos con mampostería y obtención de un índice de daño estructural; Tesis de pregrado; Universidad Politécnica de Cataluña; Barcelona 2011.

**FIGURA 3: Conversión Espectro elástico inicial en espectro de demanda**



**Fuente:** Imagen tomada de *Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Análisis de su contribución al riesgo sísmico, capítulo 6.*

### 2.5. Modificaciones al Método de Espectro-Capacidad de la ATC 40 según FEMA 440 (Equivalent Linearization)

Los procedimientos para estructuras con comportamiento de histéresis tipo A subestimaron la respuesta máxima de desplazamiento de 25% a 35% para periodos de más de 0,7 segundos. Para las estructuras con el tipo de comportamiento de histéresis B, los procedimientos de la ATC-40 dieron lugar a

pequeñas subestimaciones o sobreestimaciones pequeñas de desplazamiento lateral de los sistemas con períodos de más de aproximadamente 0,6 s.<sup>8</sup>

Debido a esto los métodos A, B y C utilizados por la ATC-40 han sido suprimidos y actualizados por los conceptos de Amortiguamiento Efectivo y Periodo Efectivo en función de los coeficientes A,B,C,D,E,F,G,H,I,J,K,L. Para esta investigación se utilizaron los coeficientes de la fila 3 correspondientes a  $\alpha=5\%$ . **(Ver tablas 1 y 2).**

**TABLA 1: Coeficientes para el uso del amortiguamiento Efectivo (FEMA-440)**

Table 6-1 Coefficients for use in Equations for Effective Damping							
Model	$\alpha$ (%)	A	B	C	D	E	F
Bilinear hysteretic	0	3.2	-0.66	11	0.12	19	0.73
Bilinear hysteretic	2	3.3	-0.64	9.4	1.1	19	0.42
Bilinear hysteretic	5	4.2	-0.83	10	1.6	22	0.40
Bilinear hysteretic	10	5.1	-1.1	12	1.6	24	0.36
Bilinear hysteretic	20	4.6	-0.99	12	1.1	25	0.37
Stiffness degrading	0	5.1	-1.1	12	1.4	20	0.62
Stiffness degrading	2	5.3	-1.2	11	1.6	20	0.51
Stiffness degrading	5	5.6	-1.3	10	1.8	20	0.38
Stiffness degrading	10	5.3	-1.2	9.2	1.9	21	0.37
Stiffness degrading	20	4.6	-1.0	9.6	1.3	23	0.34
Strength degrading	-3 <sup>a</sup>	5.3	-1.2	14	0.69	24	0.90
Strength degrading	-5 <sup>a</sup>	5.6	-1.3	14	0.61	22	0.90

a. Negative values of post-elastic stiffness should be limited to  $\alpha_e$ , as discussed in Section 4.3

**Fuente:** FEMA 440, capítulo 6, página 6-3.

<sup>8</sup> FEMA 440, ASCE (American Society of Civil Engineers) Prestandar and commentary for the seismic rehabilitation of buildings D.C. Federal Emergency Management Agency. USA 2005

**TABLA 2: Coeficientes para el uso de Periodo Efectivo (FEMA-440)**

Table 6-2 Coefficients for use in Equations for Effective Period							
Model	$\alpha(\%)$	G	H	I	J	K	L
Bilinear hysteretic	0	0.11	-0.017	0.27	0.090	0.57	0.00
Bilinear hysteretic	2	0.10	-0.014	0.17	0.12	0.67	0.02
Bilinear hysteretic	5	0.11	-0.018	0.09	0.14	0.77	0.05
Bilinear hysteretic	10	0.13	-0.022	0.27	0.10	0.87	0.10
Bilinear hysteretic	20	0.10	-0.015	0.17	0.094	0.98	0.20
Stiffness degrading	0	0.17	-0.032	0.10	0.19	0.85	0.00
Stiffness degrading	2	0.18	-0.034	0.22	0.16	0.88	0.02
Stiffness degrading	5	0.18	-0.037	0.15	0.16	0.92	0.05
Stiffness degrading	10	0.17	-0.034	0.26	0.12	0.97	0.10
Stiffness degrading	20	0.13	-0.027	0.11	0.11	1.0	0.20
Strength degrading	-3 <sup>a</sup>	0.18	-0.033	0.17	0.18	0.76	-0.03
Strength degrading	-5 <sup>a</sup>	0.20	-0.038	0.25	0.17	0.71	-0.05

a. Negative values of post-elastic stiffness may be limited to  $\alpha_c$ , as discussed in Section 4.3

**Fuente:** FEMA 440, capítulo 6, página 6-4.

### 2.6. Modificaciones al Método de Coeficiente de la FEMA 356 según FEMA 440 (Displacement Modification)

El FEMA 356 plantea un coeficiente relacionado al desplazamiento inelástico máximo esperado  $C_1$ . Este coeficiente plantea unas limitaciones al desplazamiento las cuales el FEMA 440 recomienda sean abandonadas.<sup>9</sup>

Los efectos de degradación de fuerza atados al coeficiente  $C_2$  son modificados de la siguiente manera: Para periodos de menos de 0,2 s, se puede usar el valor del coeficiente  $C_2$  (**ecuación 1**) durante 0,2 s. Para periodos superiores a 0,7 seg,  $C_2$  puede suponerse igual a 1,0. El coeficiente  $C_2$  sólo debe aplicarse a las estructuras que presentan una rigidez significativa y/o degradación de la resistencia.

#### **Ecuación 1**

$$C_2 = 1 + \frac{1}{800} \left( \frac{R-1}{T} \right)^2$$

<sup>9</sup> FEMA 440, ASCE (American Society of Civil Engineers) Prestandar and commentary for the seismic rehabilitation of buildings D.C. Federal Emergency Management Agency. USA 2005

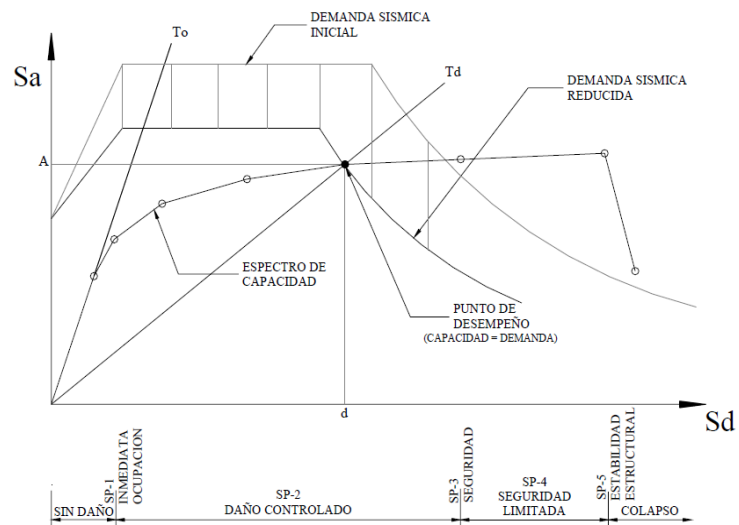
También se sugiere que el coeficiente actual C3 ser eliminado y reemplazado con un límite en la fuerza mínima (valor máximo de R) requerida para evitar la inestabilidad dinámica. Se recomienda la misma limitación de R (**ecuación 2**) para la linealización equivalente.<sup>10</sup>

$$R_{\max} = \frac{\Delta_d}{\Delta_y} + \frac{|\alpha_e|^{-r}}{4} \quad \text{Ecuación 2}$$

### 2.7. Punto de desempeño de la estructura

Hace referencia al desplazamiento estructural máximo esperado para una amenaza sísmica particular. Se llega a él superponiendo el espectro de capacidad con el espectro de demanda (**ver figura 4**), determinando así el punto en donde se iguala la demanda con la capacidad, permitiendo estimar la respuesta máxima de la edificación, la cual servirá de base para compararla con el nivel de desempeño esperado.

**FIGURA 4: Espectro de capacidad-demanda (ATC-40)**



<sup>10</sup> FEMA 440, ASCE (American Society of Civil Engineers) Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings D.C. Federal Emergency Management Agency. USA 2005

**Fuente:** *Imagen tomada de Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Análisis de su contribución al riesgo sísmico, capítulo 6.*

Así pues, el espectro capacidad-demanda, constituye una herramienta gráfica bastante práctica que permite determinar entre otras cosas:

- La respuesta estructural máxima del sistema.
- Calificar el desempeño sísmico que experimentará la edificación durante un movimiento sísmico específico, lo cual requiere la definición de los rangos de desplazamiento espectral asociado a cada nivel de desempeño estructural.
- La modificación del periodo de vibración efectivo durante el sismo respecto al obtenido en régimen elástico para bajos niveles de deformación.
- Evaluar la eficiencia de un esquema de intervención estructural propuesto.

### **2.8. Niveles de desempeño de la edificación**

Una vez determinado el punto de desempeño de la estructura, se procede a determinar el nivel de desempeño de la misma; en la clasificación propuesta por la ATC-40 (1996) se tienen en cuenta por separado los elementos estructurales de los no estructurales y la combinación de los dos conduce a la definición de nivel de daño en la estructura. El FEMA 440 no determina cambios en los niveles de desempeño

**La tabla 3**, muestra las posibles combinaciones donde se han destacado e identificado los cuatro niveles de desempeño de edificaciones más comúnmente referenciados; operacional (1-A), inmediata ocupación (1-B), seguridad (3-C) y estabilidad estructural (5-E), así como otros niveles de desempeño posibles (2-A, 2\_B, etc.). La designación NR corresponde a niveles de desempeño No recomendables en el sentido que no deben ser considerados en la evaluación.

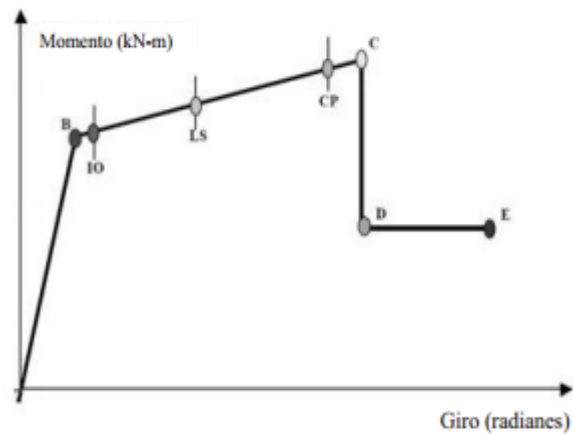
**TABLA 3: Niveles de desempeño de la edificación (ATC-40)**

	SP -1 Inmediata Ocupación	SP -2 Daño Controlado (rango)	SP-3 Seguridad	SP -4 Seguridad Limitada (rango)	SP-5 Estabilidad Estructural	SP-6 No Considerad o
NP-A Operaciona l	1-A Operacional	2A	NR	NR	NR	NR
NP-B Inmediata Ocupación	1-B Inmediata Ocupación	2-B	3-B	NR	NR	NR
NP-C Seguridad	1-C	2-C	3-C Seguridad	4-C	5-C	6-C
NP-D Amenaza	NR	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
NP-E No Considerad o	NR	NR	3-E	4-E	5-E Estabilidad Estructural	No Aplicable

**Fuente:** ATC – 40.

Los niveles de daño planteados por el FEMA 356(2000) y ATC 40(1996) los cuales no fueron modificados por la FEMA 440 (2005), se pueden apreciar en la **figura 5**.

**FIGURA 5: Niveles de daño FEMA 356 y ATC 40**



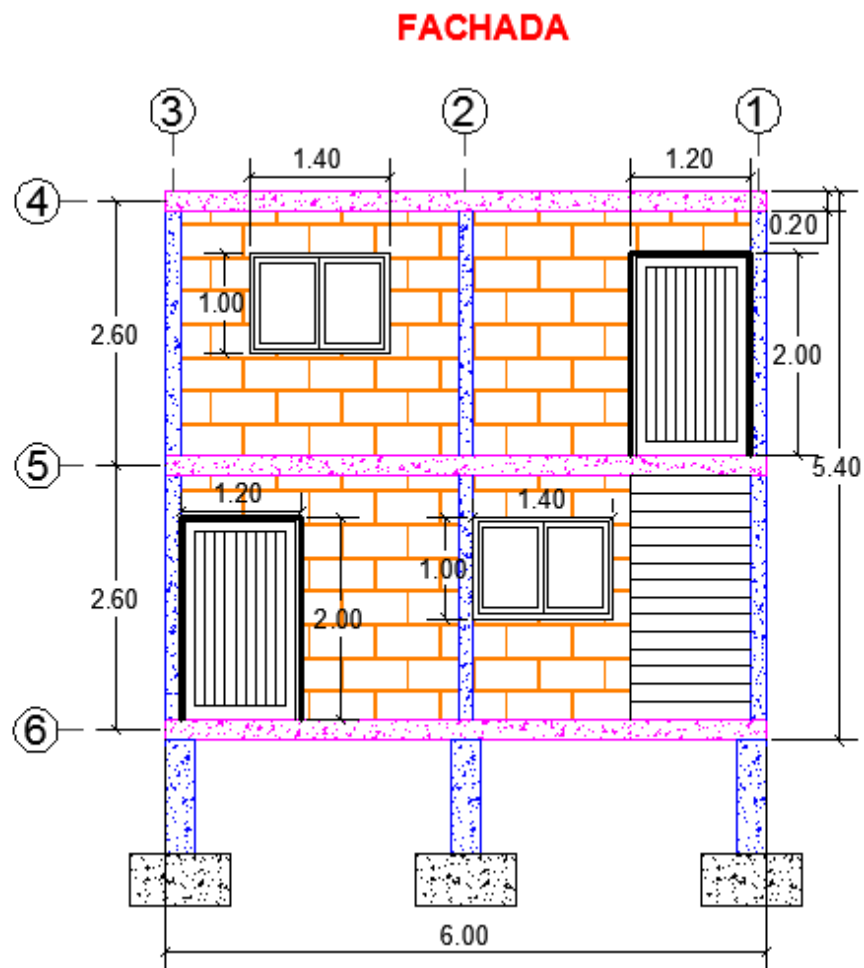
**Fuente:** Imagen tomada de Niveles de daño FEMA356 (2000) y ATC-40(1996). *B: Esfuerzo de fluencia de la sección, IO: Nivel de ocupación inmediata, LS: Nivel de protección la vida, CP: Prevención del colapso, C: Rango de seguridad limitada, D: Estabilidad estructural, E: Colapso.*

### **3. ANÁLISIS DE UNA VIVIENDA TIPO DE LA COMUNA 14 EN BUCARAMANGA**

Para realizar el estudio con el método de espectro de Capacidad-Demanda, se tomaron como base los planos de una vivienda típica de la zona 12 o comuna 14 “Morrórico”, edificada en un lote de 6 [m] de frente por 8 [m] de fondo; construida en pórticos de concreto reforzado y mampostería confinada con ladrillo H-15; se trata de una casa de dos niveles, constituida por tres placas aligeradas con casetones de madera seca, con una altura de entrepiso igual a 2.40 [m] en cada uno de los niveles, acceso exterior al segundo nivel; sin acabados en friso ni pintura en sus paredes tanto interiores como exteriores; se encuentra cimentada sobre zapatas a las cuales se llega con columnas de diferentes longitudes, buscando superar las fuertes pendientes del terreno de cimentación; en las **figuras 6** y **figura 7**, se pueden apreciar los planos de fachada y vista frontal de la

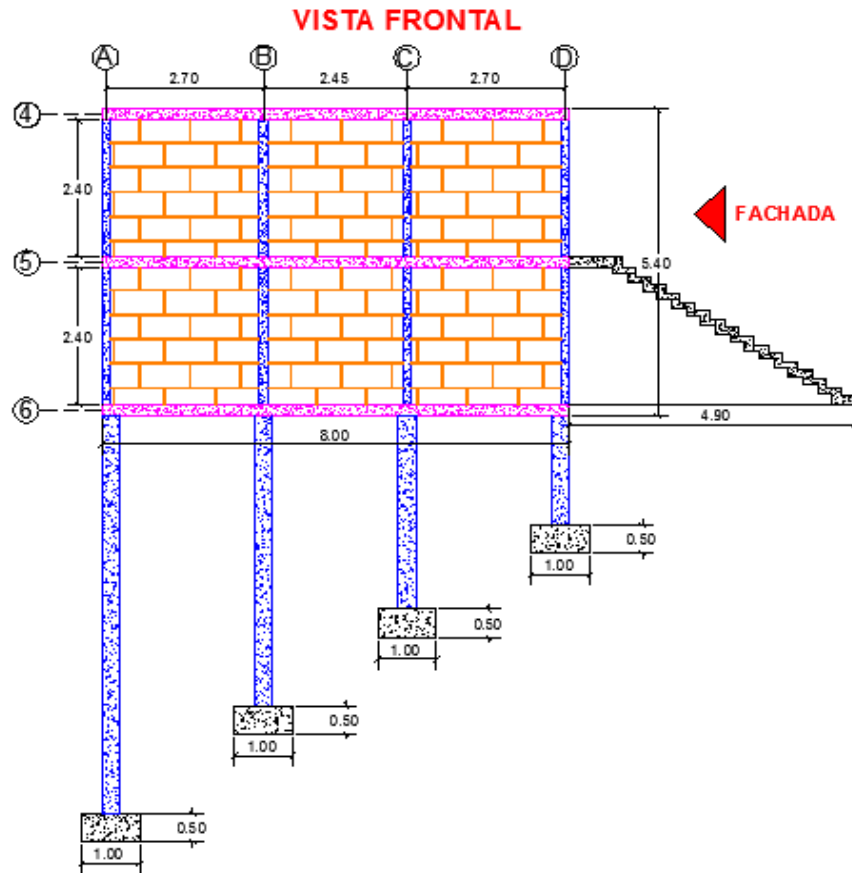
vivienda. Los planos utilizados, están sugeridos en las páginas 98 y 99 del libro Visión Estructural de las Edificaciones de la ciudad de Bucaramanga, de autoría del ingeniero Gustavo Chio Cho y la ingeniera Esperanza Maldonado Rondón; estudio correspondiente a las características estructurales de las viviendas ubicadas en cada una de las diferentes zonas en las que se encuentra dividida la ciudad de Bucaramanga.

**FIGURA 6: Fachada Vivienda tipo**



**Fuente:** los autores.

**FIGURA 7: Vista lateral vivienda tipo**



**Fuente:** los autores.

### **3.1. Ajuste de las dimensiones en elementos estructurales según Nsr-10**

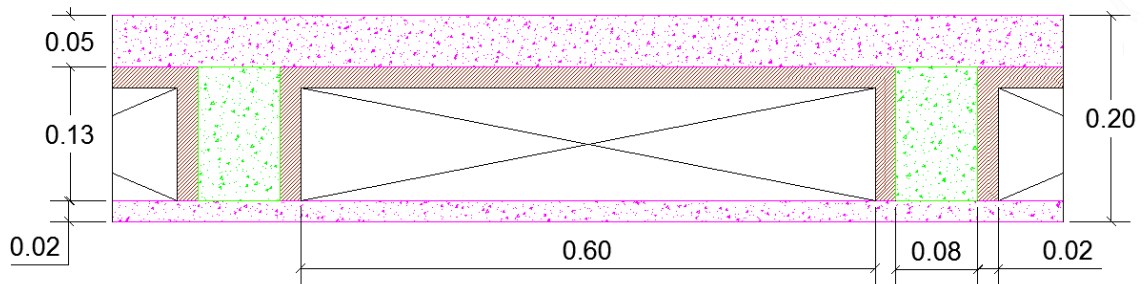
Se toman los planos correspondientes a la vivienda tipo de Morrórico, y se adecuan las dimensiones, los recubrimientos mínimos así como los refuerzos correspondientes a los elementos estructurales, con el fin de cumplir con las especificaciones mínimas indicadas en el reglamento de construcción sismo resistente Colombiano (Nsr-10). A continuación se indican las dimensiones finales de la vivienda a analizar:

### 3.1.1. Placas aligeradas

Están constituidas por una placa aligerada de 0.20 [m] de espesor (E.5.1.3 Nsr-10), con una torta superior de 0.05 [m] (E.5.1.5.1.3 Nsr-10), casetones de madera seca correspondientes a los elementos aligerantes (tabla B.3.2-1 Nsr-10), de 0.13 [m], una tora inferior de 0.02 [m] (E.5.1.5.1.1 Nsr-10), y viguetas de 0.08 [m] de espesor, por 0.13 [m] de alto y la separación máxima entre sus ejes, nunca excede los 0.6 [m] (E.5.1.5.1.4 Nsr-10), reforzadas con dos barras de acero N° 4 (tabla B.3.2-1 Nsr-10) (ver figura 8).

**FIGURA 8: Sección placas Aligeradas**

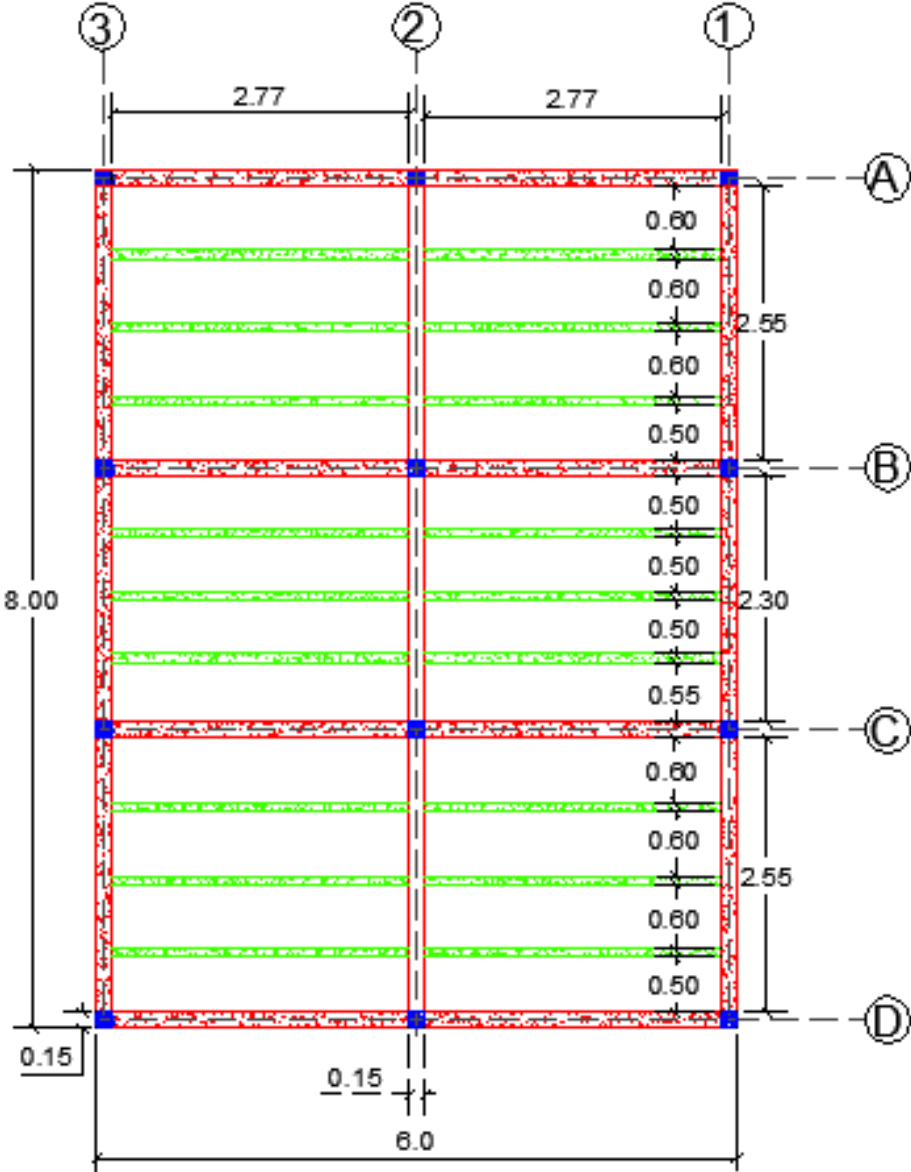
### SECCIÓN PLACAS ALIGERADAS



**Fuente:** los autores.

FIGURA 9: Planta placa terraza y primer nivel

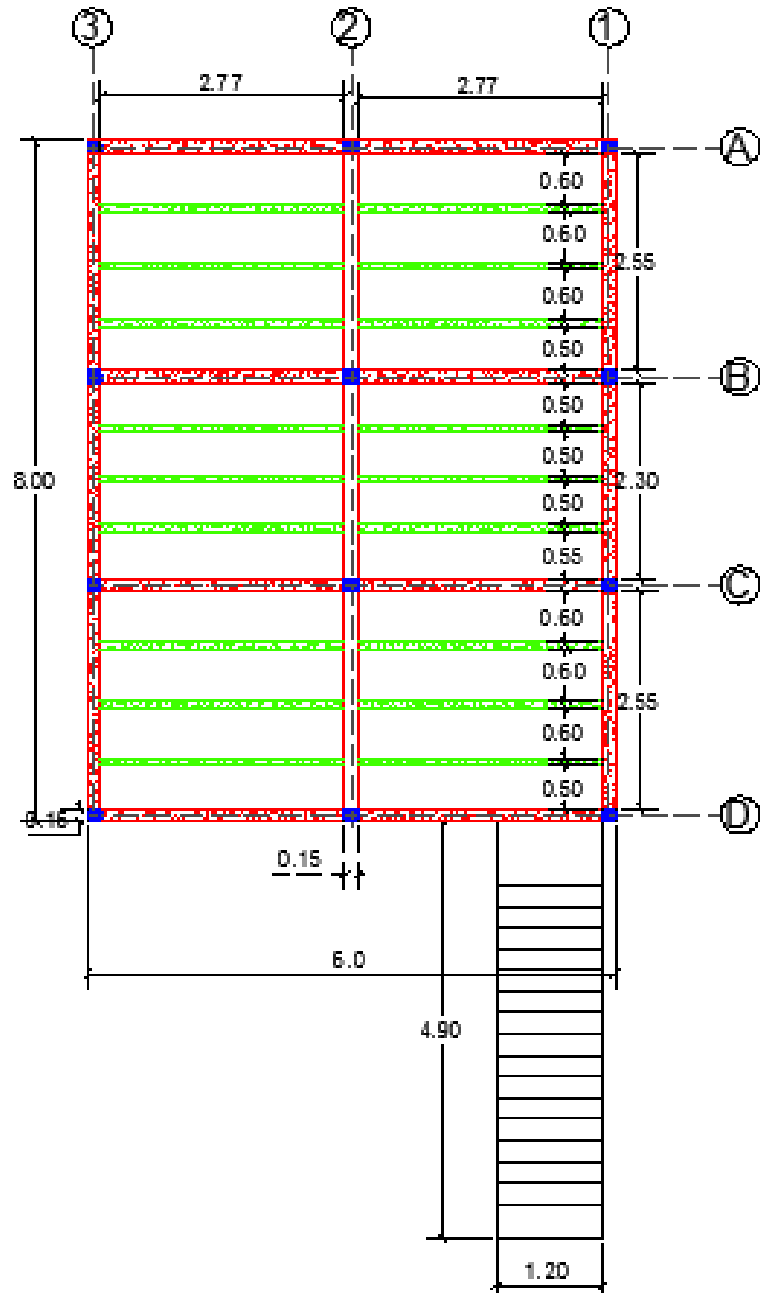
VISTA EN PLANTA TERRAZA Y PRIMER NIVEL



Fuente: los autores.

FIGURA 10: Planta placa de entrepiso

VISTA EN PLANTA PLACA DE ENTRE PISO



Fuente: Fuente: los autores.

### 3.1.2. Vigas de Confinamiento

Las vigas de confinamiento de la estructura están construidas en concreto reforzado, tienen un ancho de 0.15 [m], una altura de 0.20 [m], con área transversal de 0.03 [m<sup>2</sup>] (E.4.4.2 Nsr-10), reforzadas con cuatro barras de acero N°3 (E.4.4.4 Nsr-10), con un recubrimiento mínimo de 0.04 [m] (C.7.7.1 Nsr-10).

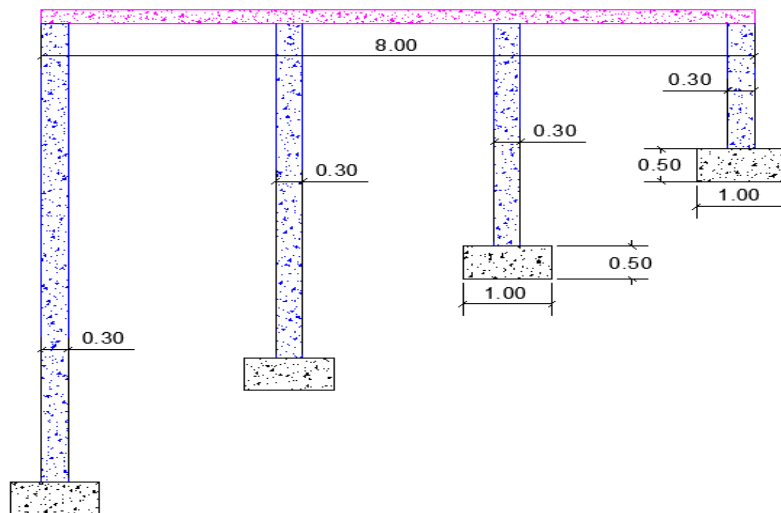
### 3.1.3. Columnas de Confinamiento

Las columnas de confinamiento de la estructura están construidas en concreto reforzado, tienen un ancho de 0.15 [m], un ancho de 0.15 [m], con área transversal de 0.0225 [m<sup>2</sup>] (E.4.3.2 Nsr-10), reforzadas con cuatro barras de acero N°3 (E.4.3.4 Nsr-10), con un recubrimiento mínimo de 0.04 [m] (C.7.7.1 Nsr-10).

### 3.1.4. Cimentación

La vivienda está cimentada sobre doce zapatas de 1 [m<sup>2</sup>] de área en la base, por 0.5 [m] de alto, a las cuales llegan columnas de 0.09 [m<sup>2</sup>] de área, las cuales tienen diferentes dimensiones debido a las diferencias de pendiente que se presenta en el terreno sobre el que están actuando (ver figura 11).

**FIGURA 11: Diferencias en alturas de las columnas de cimentación**



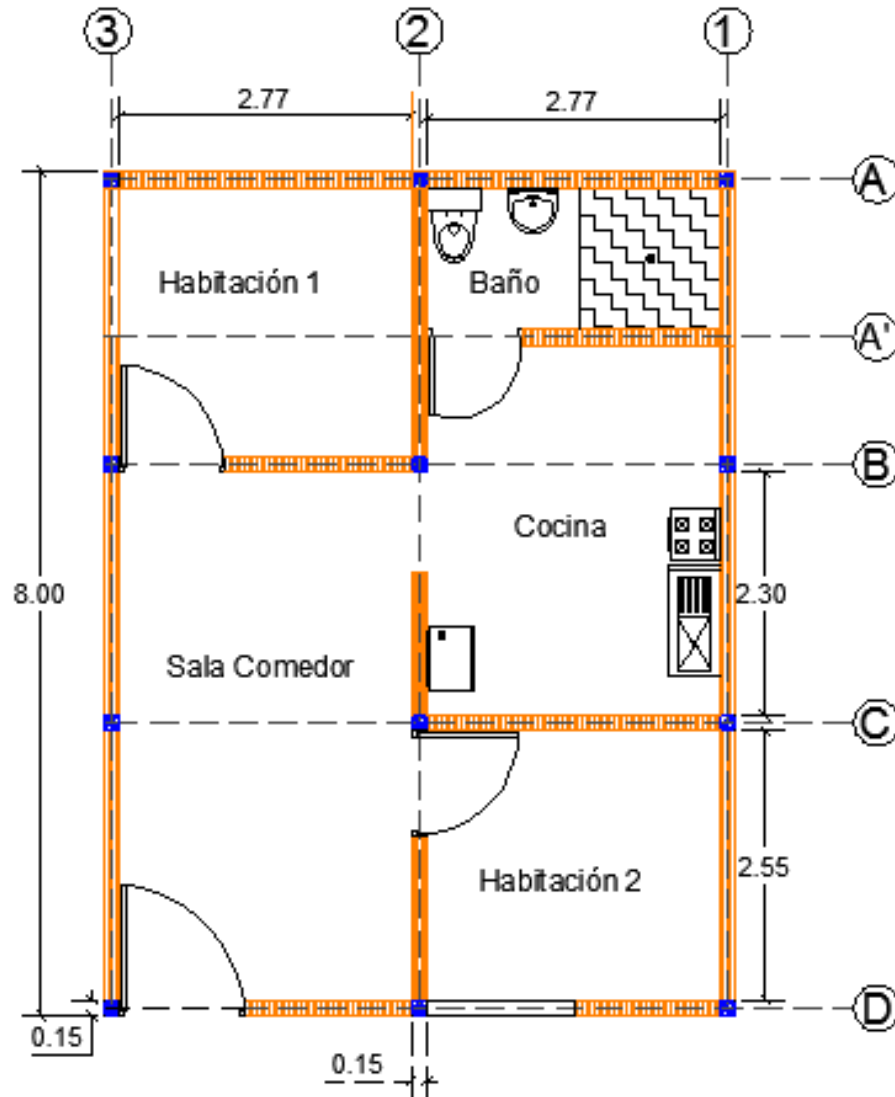
**Fuente:** los autores.

### 3.1.5. Divisiones internas en mampostería

Todas las divisiones y muros de mampostería de la vivienda, están conformados por bloques de arcilla H-15 (ver figuras 12 y 13).

**FIGURA 12: Planta muros divisorios primer nivel**

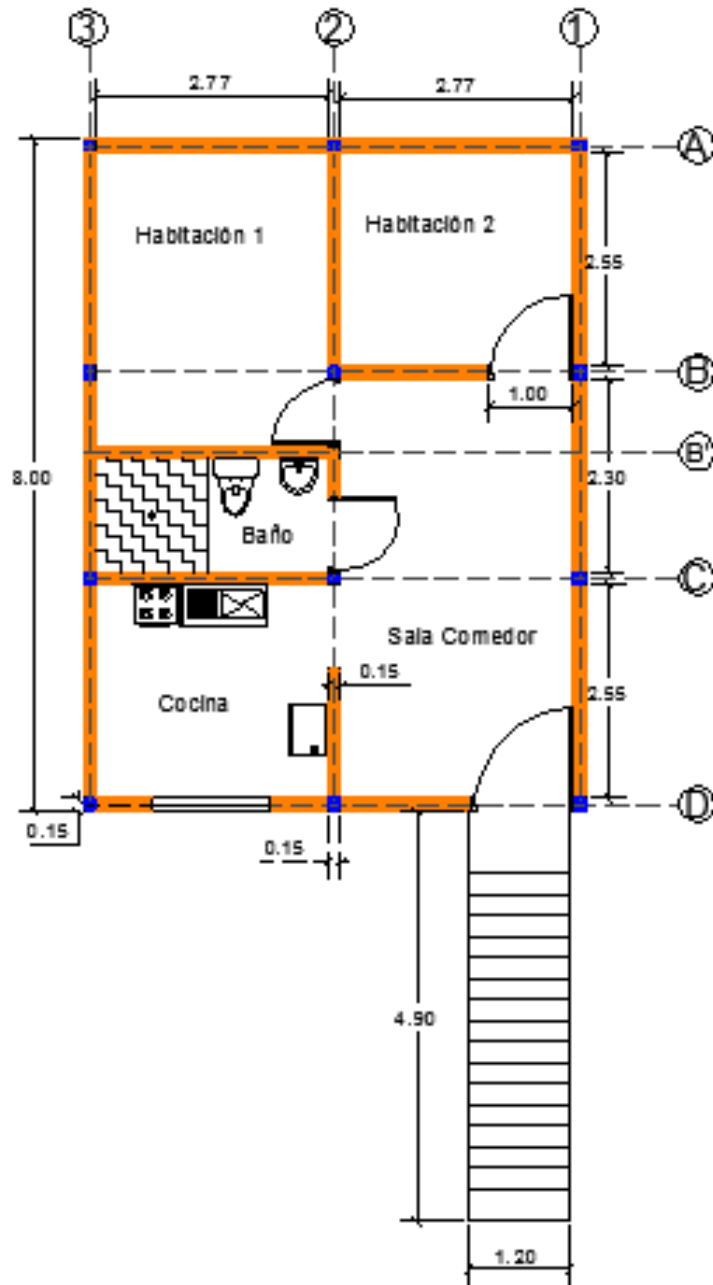
### VISTA EN PLANTA DISTRIBUCIÓN DE MUROS PRIMER PISO



**Fuente:** los autores.

FIGURA 13: planta muros divisorios segundo nivel

VISTA EN PLANTA DISTRIBUCIÓN DE MUROS SEGUNDO PISO



Fuente: los autores.

### **3.2. Modelo de la vivienda en el programa Sap2000 versión 14.**

Una vez ajustadas las dimensiones de los elementos estructurales de la casa a la norma sismo resistente Colombiana de 2010 (NSR-10), se procede a cargarla en el programa SAP 2000 versión 14, asignando al modelo las dimensiones reajustadas.

#### **3.2.1. Propiedades de los concretos y aceros para elementos estructurales (Vigas, columnas, placas aligeradas)**

Se escoge un concreto con resistencia a la compresión  $f'_c$  a los 28 días de 17.5 Mpa (*E.4.2.1 Nsr-10*), Peso específico  $W_c = 2400 \text{ Kg/m}^3$ , módulo de elasticidad  $E_c = 3900\sqrt{f'_c} = 16314,87 \text{ Mpa}$  (*C.8.5.1 Nsr-10*), un módulo de Poisson = 0.2 (*CR8.5.1 Nsr-10*), un acero longitudinal corrugado con límite de fluencia  $f_y$  de 420 Mpa (*E.4.2.1 Nsr-10*), módulo de elasticidad de 200000 Mpa (*E.4.2.1 Nsr-10*), peso específico de 7800Kg/m<sup>3</sup>.

#### **3.2.2. Propiedades de la Mampostería**

Debido a que el programa Sap2000 está diseñado para trabajar con concretos y no con elementos de mampostería no estructural, se asume material de concreto pero con las propiedades de la mampostería, se toman barras de acero con área tendiendo a cero y se calcula un espesor equivalente a la sección transversal del ladrillo, todo esto con el fin de simular de forma más precisa las condiciones reales de los muros de ladrillo H-15.

#### **3.2.3. Mampostería**

Peso específico de 1026.69 Kg/m<sup>3</sup> (**ver Anexo1**), resistencia última a la compresión  $f'_{cu} = 3 \text{ Mpa}$  (*Tabla D.10.3-1 NSR-10*), resistencia a la compresión  $f'_m = 1.666 \text{ Mpa}$  (*D.3.7-2 NSR-10*), resistencia mínima a la compresión  $f'_{cp} = 7.5 \text{ Mpa}$  (*Tabla D.3.4-1*), módulo de elasticidad  $E_m = 1249.99 \text{ Mpa}$  (*D.5.2-3 NSR-10*) y un módulo de poisson de 0.2 (*CR8.5.1 Nsr-10*). Una vez calculadas las características del concreto a usar en la mampostería, se cargan en el Sap2000 y adicional a estas, se añade la gráfica de compresión-tracción correspondiente a la mampostería; esta se define bilineal con deformación en el punto de fluencia

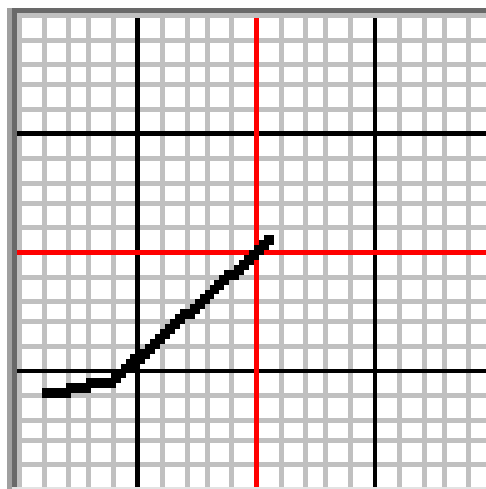
0,00133. La zona correspondiente a la tensión, se asume como un 10% de la parte a compresión (**ver figura 14**).

User Stress-Strain Curve Data

Number of Points in Stress-Strain Curve

	Strain	Stress	Point ID
1	-2.000E-03	-1875.044	
2	-1.333E-03	-1666.67	
3	0.	0.	A
4	1.333E-04	166.667	

**FIGURA 14: Gráfica compresión-tracción para la mampostería, cargada al sap2000**



**Fuente:** los autores.

### 3.2.4. Acero de refuerzo

Se crea un acero con propiedades que tiendan a cero para que el programa no altere sus procedimientos internos de cálculo y a la vez, este acero no aporte resistencia considerable a la tracción (**ver figura 15**).

**FIGURA 15: Propiedades de acero para refuerzo**

Material Name Acero Refuerzo 420MPa	Material Type Rebar	Symmetry Type Uniaxial
Modulus of Elasticity E1 2.000E+08	Weight and Mass Weight per Unit Volume 76.52 Mass per Unit Volume 7.8	Units KN, m, C
Poisson's Ratio U12 0.3	Other Properties for Rebar Materials Minimum Yield Stress, Fy 420000. Minimum Tensile Stress, Fu 630000. Expected Yield Stress, Fye 462000. Expected Tensile Stress, Fue 693000.	
Coeff of Thermal Expansion A1 1.170E-05	Advanced Material Property Data Nonlinear Material Data... Material Damping Properties... Time Dependent Properties... Thermal Properties...	
Shear Modulus G12 76923077		

**Fuente:** los autores.

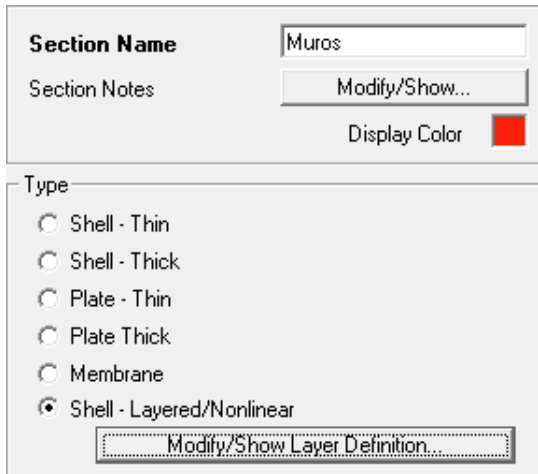
### 3.2.5. Espesor Equivalente

Se calcula un espesor equivalente de 0.09 [m] determinado con base a los momentos de inercia del bloque de arcilla H-15 (**Ver anexo 2**).

### 3.2.6. Condiciones especiales de los muros

Para que la mampostería trabaje de forma no lineal, se crea una sección área para los muros de arcilla, teniendo en cuenta de elegir la opción: Shell - layered/Nolinear, seguido de Modify/show Layer Definition (**ver figura 16**).

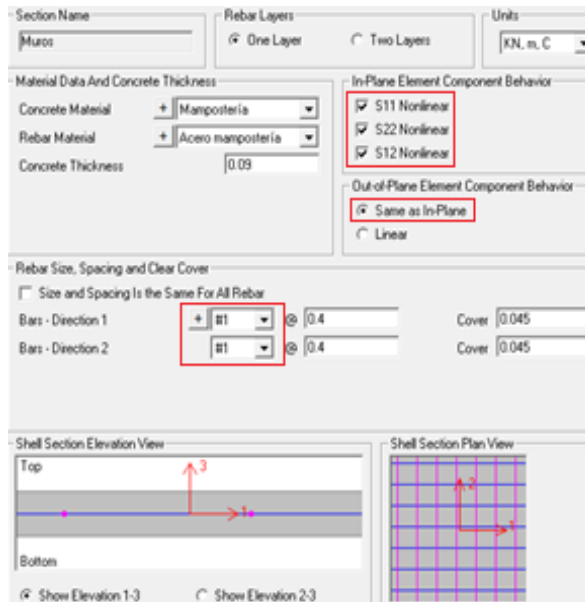
**FIGURA 16: Selección del shell no lineal para los muros**



**Fuente:** los autores.

Una vez allí, se selecciona la opción quick start, en donde se escogen los planos en los que el material va a trabajar de forma no lineal (S11, S22, S12) y Same as in-Plane; Adicional a esto, se crean y asignan barras de acero #1, cuyas propiedades geométricas tienden a cero (**Ver figura 17**).

**FIGURA 17: Selección de los planos en los que la mampostería va a trabajar no linealmente**

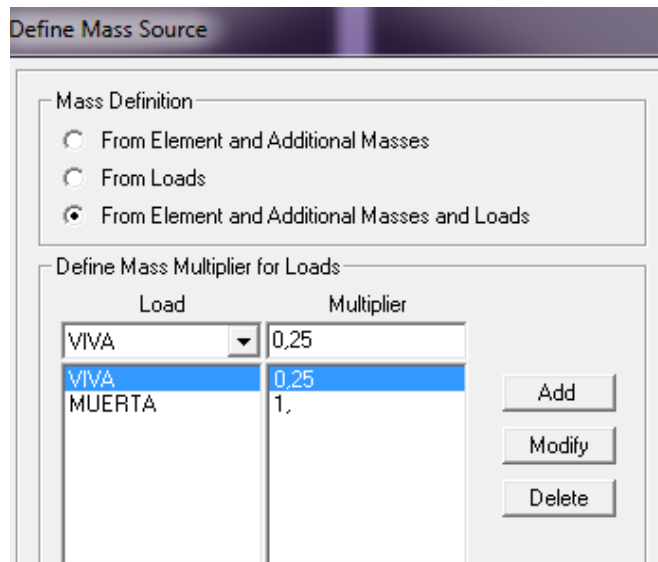


Fuente: los autores.

### 3.2.7. Condiciones de cargas y masas de los pisos

Se asigna un constraint para cada piso, asumiendo un diafragma rígido. Se define la masa de la casa usando la opción From Element and Additional masses and load; se debe prever no tener en cuenta el peso propio ya que éste el programa lo define por defecto con base en la opción antes mencionada, y por último se asigna un 25% de la carga viva (**ver figura 18**)

**FIGURA 18: Creación y asignación de cargas para la estructura**

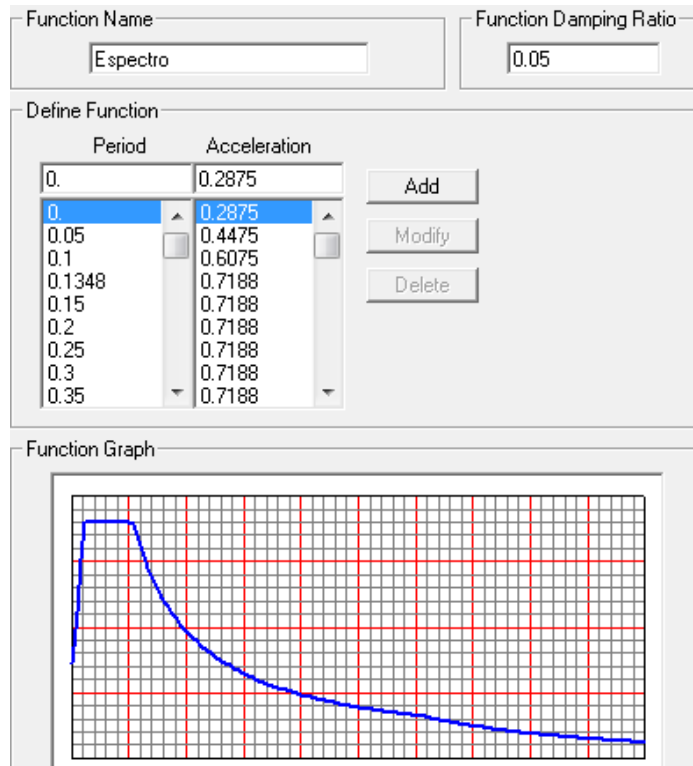


Fuente: los autores.

### 3.2.8. Espectro de diseño NSR-10.

Teniendo en cuenta todas las consideraciones que para esta región están plasmadas en el capítulo A.2.6 de la norma sismo resistente colombiana de 2010, Se carga el espectro de diseño correspondiente a la zona sísmica de Bucaramanga (**ver figura 19**).

**FIGURA 19: Espectro de respuesta NSR-10**

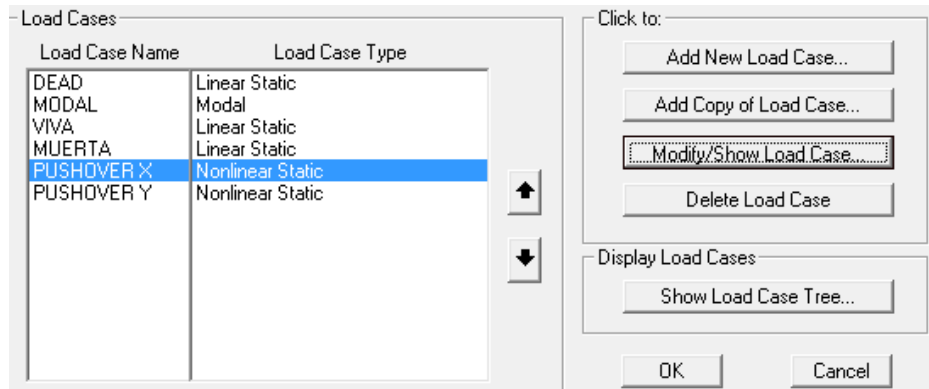


**Fuente:** los autores.

### **3.2.9. Casos de carga o "Load Patterns", para el análisis no lineal en dirección X y dirección Y.**

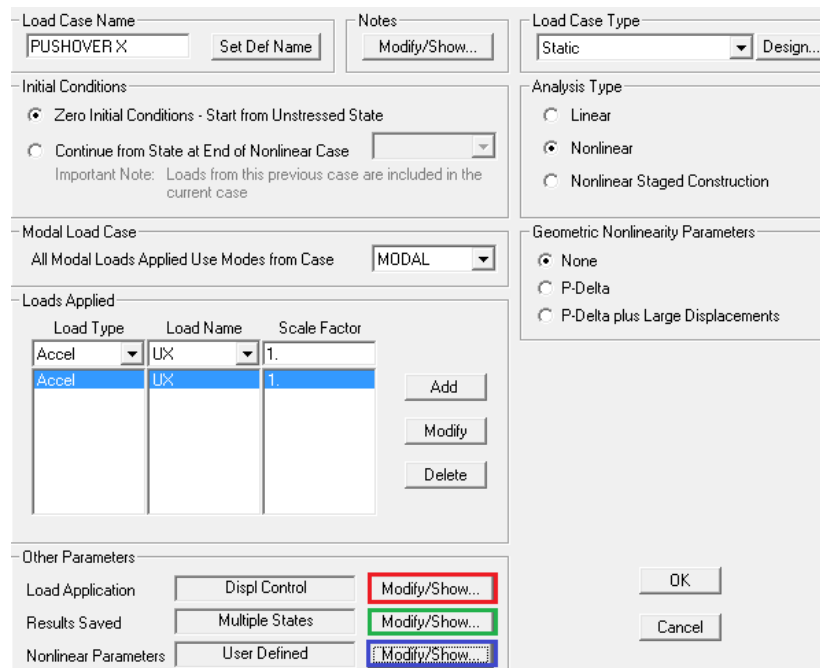
Se crean los casos de carga para el análisis no lineal en dirección X y en dirección Y, como se muestra en las **figuras 20, 21, 22, 23 y 24.**

**FIGURA 20: Definiendo los casos de carga**



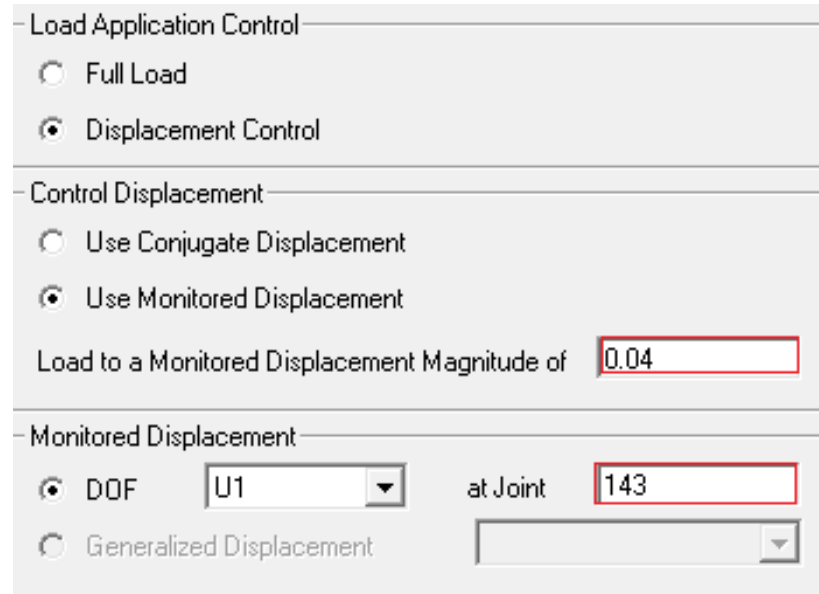
Fuente: los autores.

**FIGURA 21: Punto de control del análisis**



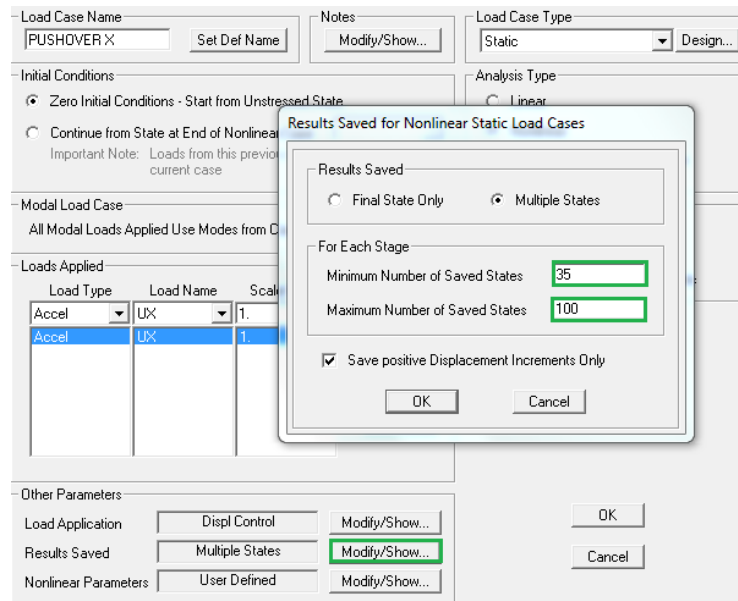
Fuente: los autores.

**FIGURA 22: Asignando el nodo de control y el desplazamiento máximo de la estructura**



**Fuente:** los autores.

**FIGURA 23: Designando los estados de análisis**



**Fuente:** los autores.

**FIGURA 24: Parámetros no lineales del análisis**

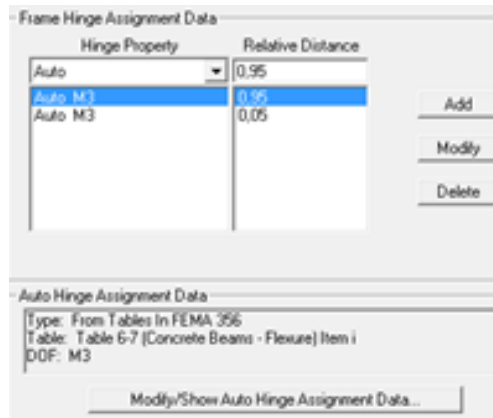
Material Nonlinearity Parameters	Solution Control
<input checked="" type="checkbox"/> Frame Element Tension/Compression Only	Maximum Total Steps per Stage: 4000
<input checked="" type="checkbox"/> Frame Element Hinge	Maximum Null (Zero) Steps per Stage: 2000
<input checked="" type="checkbox"/> Cable Element Tension Only	Maximum Constant-Stiff Iterations per Step: 10
<input checked="" type="checkbox"/> Link Gap/Hook/Spring Nonlinear Properties	Maximum Newton-Raphson Iter. per Step: 2000
<input checked="" type="checkbox"/> Link Other Nonlinear Properties	Iteration Convergence Tolerance (Relative): 1.000E-04
<input type="checkbox"/> Time Dependent Material Properties	Use Event-to-event Stepping: Yes
	Event Lumping Tolerance (Relative): 0.01
	Max Line Searches per Iteration: 20
	Line-search Acceptance Tol. (Relative): 0.1
	Line-search Step Factor: 1.618
Hinge Unloading Method	Target Force Iteration
<input type="radio"/> Unload Entire Structure	Maximum Iterations per Stage: 10
<input type="radio"/> Apply Local Redistribution	Convergence Tolerance (Relative): 0.01
<input checked="" type="radio"/> Restart Using Secant Stiffness	Acceleration Factor: 1.
	Continue Analysis If No Convergence: No

**Fuente:** los autores.

### 3.2.10. Asignación de rótulas

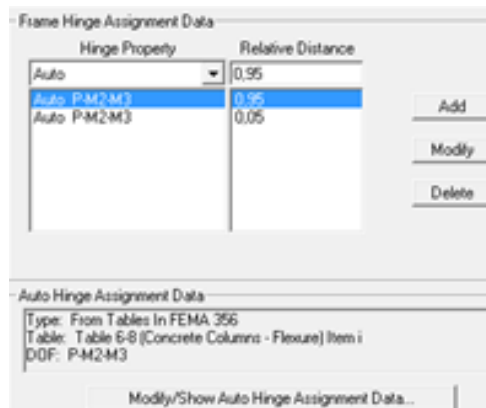
Se asignan las rótulas plásticas tanto en vigas como columnas, dándoles unas distancias relativas de 0.95 y 0.05 con respecto a la longitud total de cada elemento, teniendo en cuenta en seleccionar la opción P-M2-M3 para columnas y la opción M3 para vigas ( **ver figuras 25 y 26**).

**FIGURA 25: Asignación de rótulas para las vigas**



**Fuente:** los autores.

**FIGURA 26: Asignación de rótulas para las columnas**



**Fuente:** los autores.

#### **4. CONSIDERACIONES DE LOS MODELOS PARA EL ANALISIS DE RESULTADOS**

En general todos los modelos poseen las mismas propiedades de materiales y elementos Frame y Area. La variable que diferencia estos modelos es la masa y longitud de las columnas de cimentación (0,30m x 0,30m) las cuales se ajustan a lo observado en la realidad y a la pendiente del terreno.

### Modelos con MASA 1

Se llaman modelos de Masa 1 a los que poseen la masa normal asignada directamente de los cálculos.

Para el modelo de pendiente 0°, se asignan columnas de 0,60 metros de longitud.

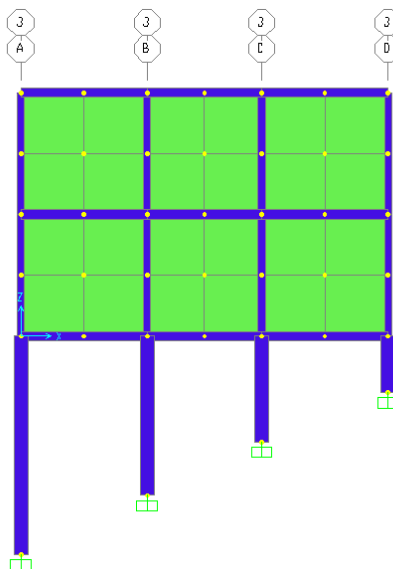
El modelo de 10° comienza en una columna de 0,60 m y termina en una columna de 1,98 metros.

El modelo de 15° comienza en una columna de 0,60 m y termina en una columna de 2,7 metros.

El modelo de 20° comienza en una columna de 1 m y termina en una columna de 3,86 metros.

En el modelo de 25°, tratando de simular la realidad de terreno, comienza en una pendiente de 21,5° del eje D al eje C, y pendiente de 25° del eje C al eje A. Las columnas son de 1,2 m seguido de 2,26 m, 3,4 m y termina en una columna de 4,66 metros (**ver figura 27**).

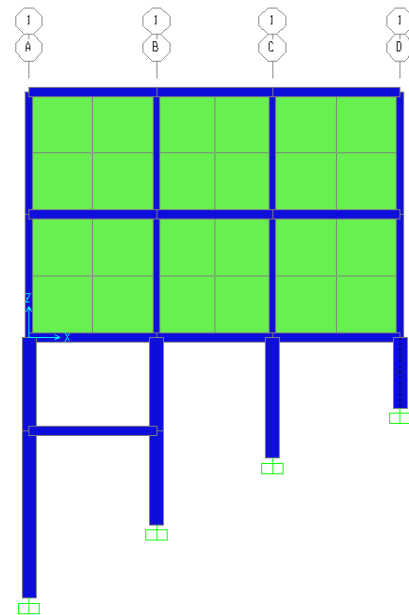
**FIGURA 27: Modelo de 25° de pendiente**



**Fuente:** los autores.

El modelo de 30°, comienza en una pendiente de 21,5° del eje D al eje C, y pendiente de 30° del eje C al eje A. Las columnas son de 1,5 m seguido de 2,56m, 3,973m y termina en una columna de 5,532 metros. Además se colocaron vigas riostras de 0,20m x 0,20m de sección transversal a una distancia de 1,98 m, la mitad de la columna del eje B (**ver figura 28**).

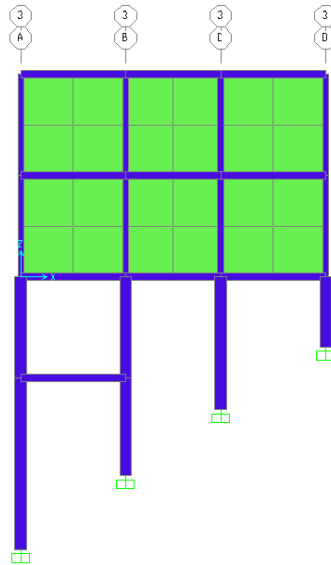
**FIGURA 28: Modelo de 30° de pendiente**



**Fuente:** los autores.

En el modelo de 35°, comienza en una pendiente de 30° del eje D al eje C, y pendiente de 35° del eje C al eje A. Las columnas son de 1,8 m seguido de 3,4m, 5,1m y termina en una columna de 7metros. Además se colocaron vigas riostras de 0,20m x 0,20m de sección transversal a una distancia de 2,5 m, la mitad de la columna del eje B. (**ver figura 29**).

**FIGURA 29: Modelo de 35° de pendiente**

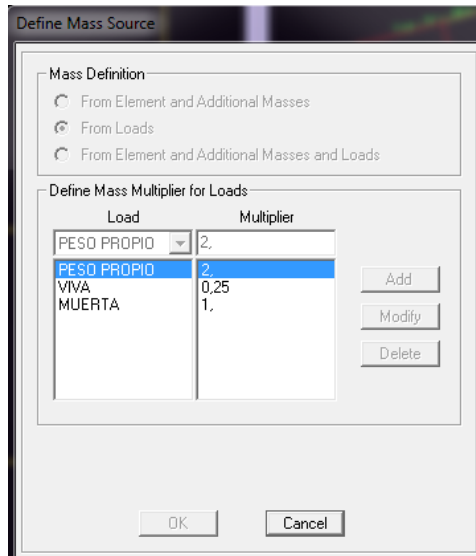


**Fuente:** los autores.

### **Modelos con MASA 2**

Los modelos de Masa 2 poseen las mismas propiedades que los de Masa 1 e incluso igual longitud de las columnas de cimentación. La masa 2 representa el doble de la masa 1. Para estos casos se cambia por 2 el factor multiplicador para la carga por peso propio, (**ver Figura 30**).

**FIGURA 30: Definición de Masa 2**



**Fuente:** los autores.

## **5. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Una vez ejecutados cada uno de los modelos correspondientes a la masa 1 y masa 2 en dirección X y Y, con base a los datos arrojados por el programa sap2000, se crearon dos tablas en donde se relacionan la inclinación del terreno con las rótulas que se generan en la estructura con el aumento de la pendiente **(Ver anexos 3 Y 4)**; en cada modelo se relacionó el cortante del punto de comportamiento de la estructura dentro de los intervalos creados en los análisis y se aproximó al paso más cercano. Una vez identificado el paso más representativo se deben contar el número de rótulas formadas en dicho paso y se dividen en el número total de éstas, dando como resultado el de porcentaje de daño aproximado. **(Ver Tabla 4)**

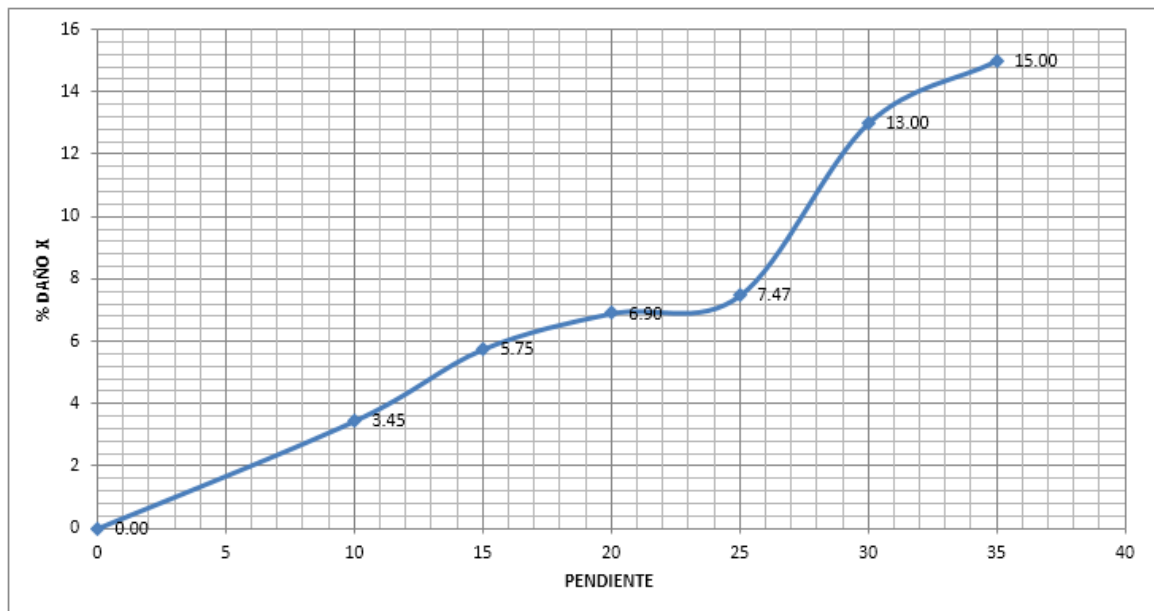
**TABLA 4: Porcentaje de daño para Modelos con Masa 1 en dirección X**

X	
GRADOS	%DAÑO
0	0.57
10	5.17
15	7.47
20	8.05
25	13.79
30	15
35	15

**Fuente:** Los autores.

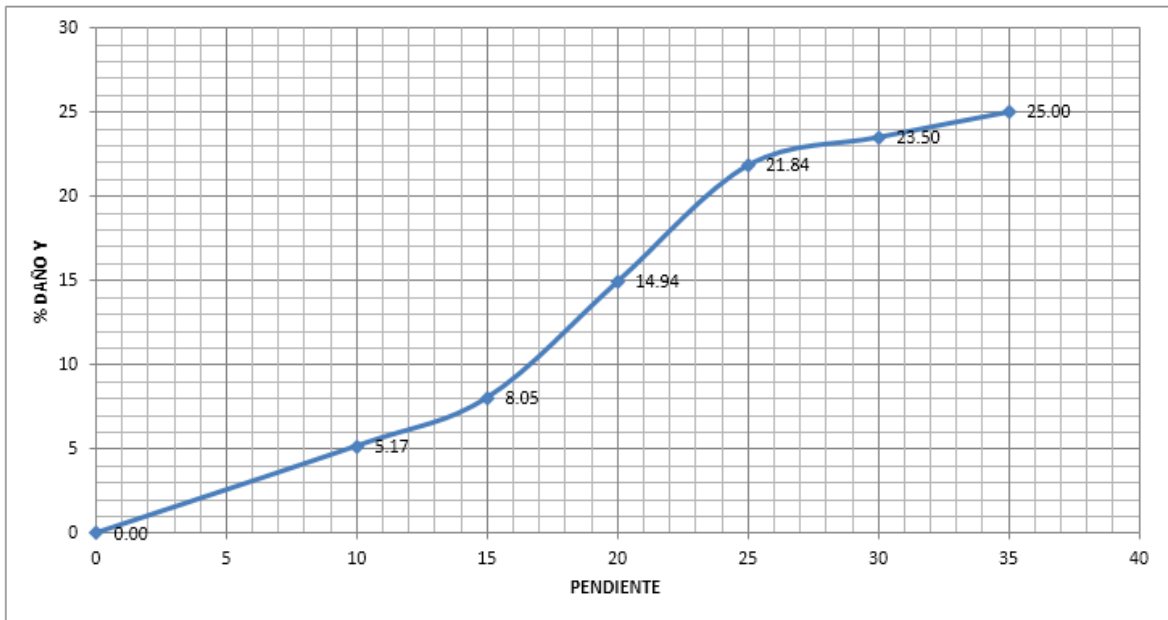
En total se derivan 4 gráficas representativas, las cuales definen la relación entre la pendiente con el porcentaje de daño. (Ver figuras 30, 31, 32, 33).

**FIGURA 31: Porcentaje de daño en X vs Pendiente, para modelos con Masa 1**



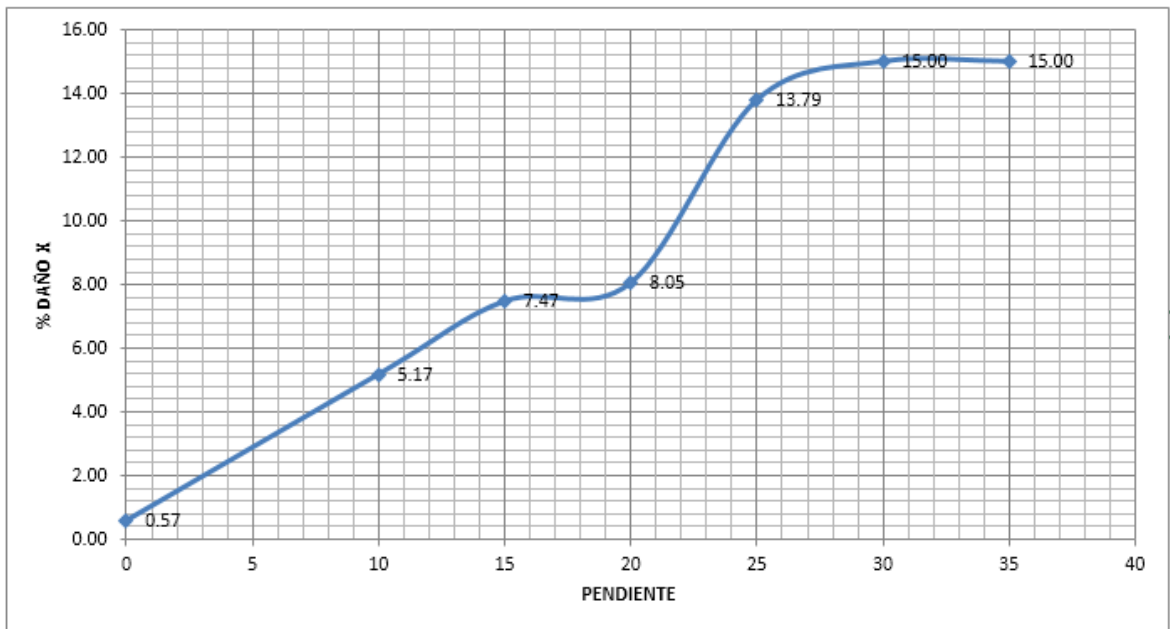
**Fuente:** los autores.

**FIGURA 32: Porcentaje de daño en Y vs Pendiente, para modelos con Masa 2**



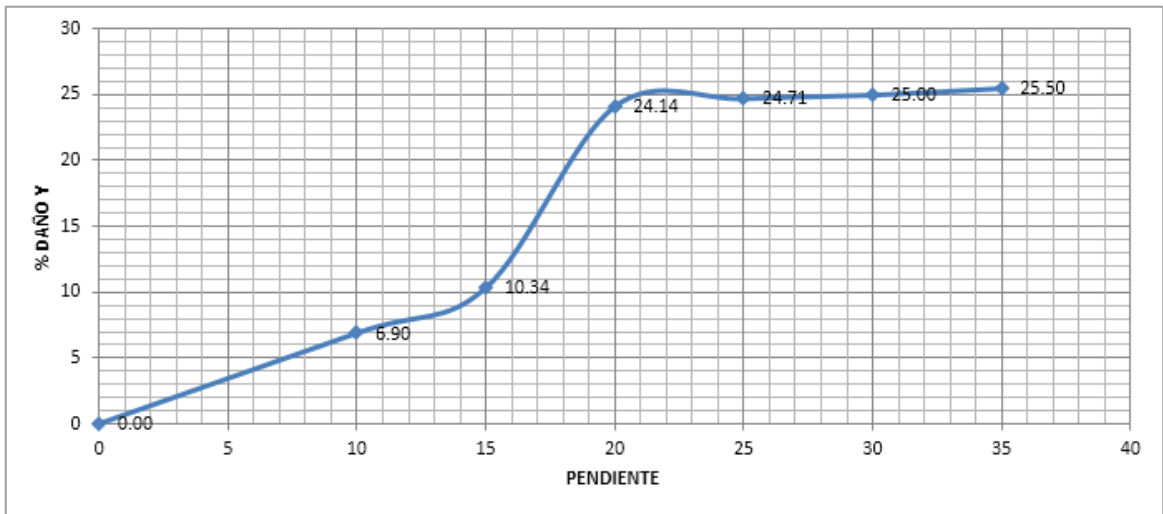
**Fuente:** los autores.

**FIGURA 33: Porcentaje de daño en X vs Pendiente, para modelos con Masa 2**



**Fuente:** los autores.

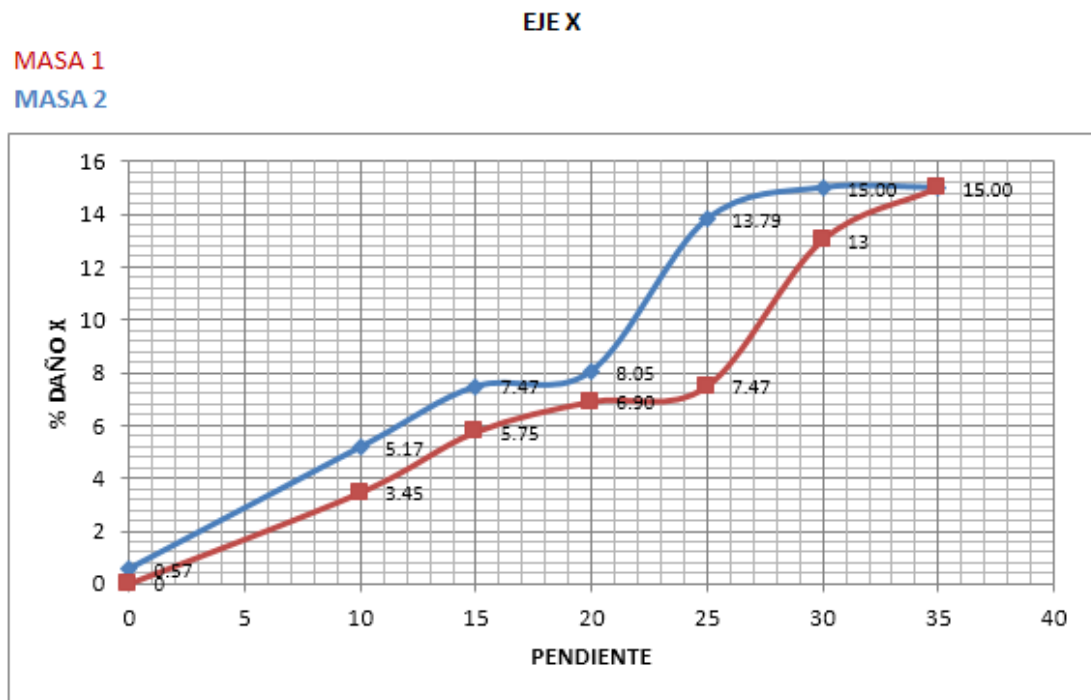
**FIGURA 34: Porcentaje de daño en Y vs Pendiente, para modelos con Masa 2**



**Fuente:** los autores.

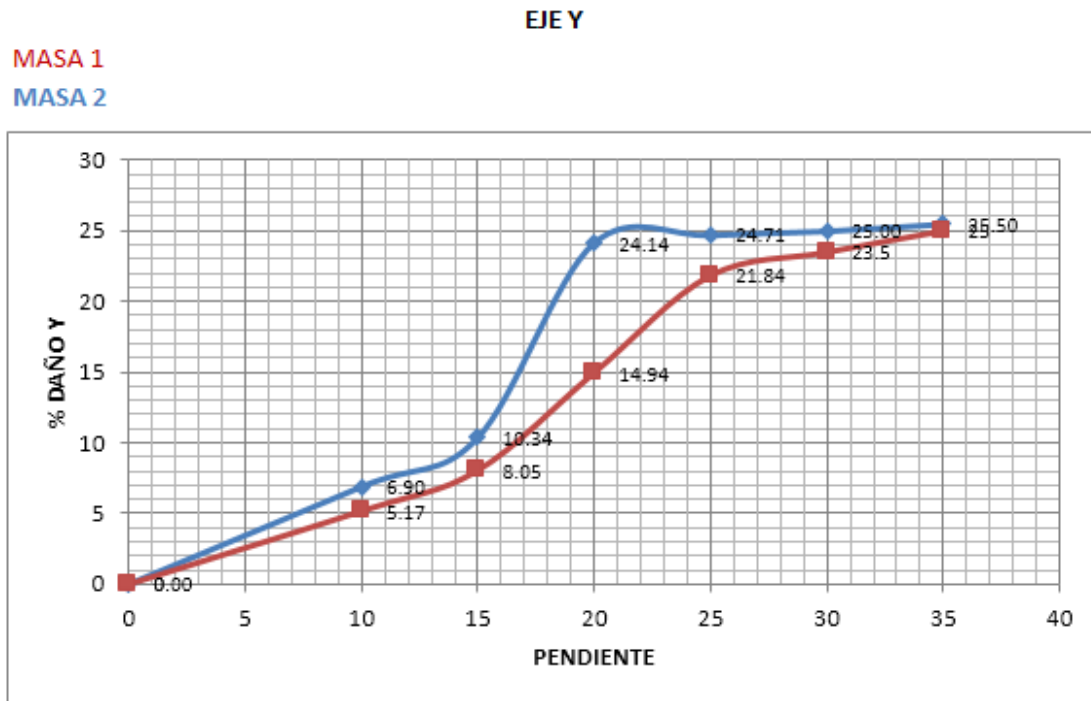
Los Nomogramas se forman de la unificación de las anteriores gráficas de la siguiente manera: la gráfica 34 con la 36 y la gráfica 35 con la 37. Quedando de la siguiente forma: (**Ver figuras 35 y 36**):

**FIGURA 35: Nomograma de daños para el eje X**



**Fuente:** los autores.

**FIGURA 36: Nomograma de daños para el eje Y**



**Fuente:** los autores.

En resumen las gráficas muestran un comportamiento definido para pendientes entre  $0^\circ$  y  $15^\circ$  con un porcentaje de daño máximo aproximado de 6% para modelos con masa 1 y 8% para modelos con masa 2 en eje X; así mismo para los modelos en el eje Y el porcentaje de daño máximo aproximado es de 8% para modelos con masa 1 y 10% para modelos con masa 2.

También se puede observar de la tabla del anexo 4, que las rótulas alcanzan un nivel de deformación comprendido en el rango de IO-LS, el cual es un rango aceptable (**Ver figura 7**).

Para pendientes mayores a  $15^\circ$  la información se resume así:

**Eje X:**

Para la Masa 1, en el intervalo de  $15^\circ$  a  $25^\circ$  la gráfica muestra un leve aumento, dando a entender que el porcentaje de daño en la estructura se mantiene casi

constante. Posteriormente se presenta un fuerte aumento en los valores de la gráfica, indicando que el porcentaje de daño para la estructura se ha incrementado considerablemente, llegando al nivel de colapso.

Para la Masa 2, en el intervalo de  $15^\circ$  a  $20^\circ$  la gráfica muestra un leve aumento, dando a entender que el porcentaje de daño en la estructura se mantiene casi constante. Posteriormente se presenta un fuerte aumento en los valores de la gráfica, indicando que el porcentaje de daño para la estructura se ha incrementado considerablemente, llegando al nivel de colapso.

#### **Eje Y:**

Para la Masa 1, en el intervalo de  $15^\circ$  a  $25^\circ$  la gráfica muestra un fuerte aumento en los valores de la gráfica, indicando que el porcentaje de daño para la estructura se ha incrementado considerablemente, llegando al nivel de colapso.

Para la Masa 2, en el intervalo de  $15^\circ$  a  $20^\circ$  la gráfica muestra un fuerte aumento en los valores de la gráfica, indicando que el porcentaje de daño para la estructura se ha incrementado considerablemente, llegando al nivel de colapso.

## 6. CONCLUSIONES

- La estructura tuvo un comportamiento aceptable para el rango de pendiente menor de  $15^\circ$ , manteniéndose en el intervalo de LS (Seguridad de la vida).
- Para pendientes del terreno mayores a  $15^\circ$  aumenta considerablemente el porcentaje de daño en la vivienda, demostrando así la influencia del nivel de cimentación sobre la integridad estructural ante un sismo.
- Se puede observar que el daño sufrido en el eje Y fue mayor que en el eje X. Para el eje Y alcanzo un valor máximo de 25% de daño, mientras que en el eje X alcanzo un valor máximo de 15% de daño.
- El estudio de los análisis estáticos no lineales complementan la formación del estudiante de pregrado, porque reflejan con mayor detalle el comportamiento real de la estructura ante un movimiento telúrico.
- Los resultados obtenidos están sujetos a la configuración estructural de la vivienda y no representan un comportamiento general de las estructuras de mampostería confinada.

## **7. OBSERVACIONES**

- Se recomienda realizar los modelos con información experimental de la mampostería para una mayor veracidad en los resultados.
- Es necesario definir una configuración estructural diferente para trabajar con pendientes mayores a  $35^\circ$ , debido a la altura de los elementos verticales de la cimentación.

## **BIBLIOGRAFÍA:**

Albert de Montserrat Navarro; Evaluación de los daños en estructuras de pórticos con mampostería y obtención de un índice de daño estructural; Tesis de pregrado; Universidad Politécnica de Cataluña; Barcelona 2011.

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, AIS. Reglamento Colombiano de construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá. AIS 2010.

ATC 40- Applied Technology Council. Seismic evaluation and retrofit of Concrete Buildings, ATC 40. Redwood City, CA, USA: Applied Technology council, 1996. V.1.

Chopra, A. K.; R. K. Goel. 2000. Evaluation of NSP to Estimate Deformation: SDF Systems. J. Struct. Engrg. 126(4): 482-490.

Computer and Structures INC. SAP 2000 Integrated Software for Structural Analysis and Design Version 14.0 Analysis Reference Manual. Berkeley. USA: CSI.

Cubillos Ardila Ray Andrés, Rincón Méndez Alexander; Caracterización Dinámica de las Edificaciones de la Comuna 14 "Morrórico"; Tesis de pregrado; Universidad Industrial de Santander; Bucaramanga 2003.

FEMA 356, ASCE (American Society of Civil Engineers) Prestandar and commentary for the seismic rehabilitation of buildings D.C. Federal Emergency Management Agency. USA 2000.

FEMA 440, ASCE (American Society of Civil Engineers) Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings D.C. Federal Emergency Management Agency. USA 2005.

Maldonado Rondón Esperanza, Chio Cho Gustavo; Visión Estructural de las Edificaciones de la Ciudad de Bucaramanga; 1ed. Bucaramanga. Ediciones UIS, 2007.

Oscar Javier Gutiérrez; Mampostería Estructural; Tesis de Maestría en ingeniería civil; Universidad de los Andes; Bogotá 2003.

Pablo David Meneses Arcos; Análisis de Edificios de Hormigón Armado en Base a Pórticos Planos Acoplados a Muros de Altura Parcial; Tesis de Pregrado; Universidad Austral de Chile; Valdivia 2006.

Safina Melone Salvador; Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Análisis de su contribución al riesgo sísmico, capítulo 6; Tesis de Doctorado; Universidad Politécnica de Cataluña; Barcelona 2003.

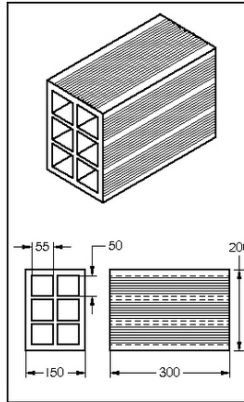
## **SOFTWARE**

SAP-2000 Nonlinear Version 14, Integrated Structural Analysis and Design software, Computer and Structures Inc. Berkeley. California.

AutoCAD Version 2014, design and documentation software, Autodesk Inc.

## ANEXOS

### Anexo A: Cálculo aproximado del peso de la Mampostería



**Fuente:** los autores.

Volumen de la unidad de ladrillo:  $0,2 \times 0,3 \times 0,15 = 0,009 \text{ m}^3$

Peso de la unidad de ladrillo: 7,7 Kg

Se hace el cálculo para un metro cúbico de mampostería. La Figura 1 muestra los ejes sobre los cuales se referencia el metro cúbico y la posición de los ladrillos.

El ladrillo H10 se colocó en la posición de la figura 3, de tal manera que la dimensión de 30 cm esta sobre el eje X, la de 20 cm sobre el eje Z y la de 15 cm sobre el eje Y. Otra consideración importante sobre las capas de mortero que recubren el metro cúbico de mampostería, es que sólo se asumen las caras paralelas al plano (Z, Y) y la cara inferior paralela al plano (X, Y). Esto con el fin de ser un poco conservadores con el peso del material ya que en la realidad no se utilizan mezclas que sean consideradas de alta calidad.



### Volumen total de ladrillos H-15

Dimensiones del ladrillo [m]	Volumen de la pieza [m <sup>3</sup> ]	Número de ladrillos sobre el eje			Número total de ladrillos	Volumen total para cada caso [m <sup>3</sup> ]
		X	Y	Z		
0,15 x 0,20 x 0,30	0,009	3	6	4	72	0,648
0,15 x 0,15 x 0,30	0,00675	3	6	1	18	0,1215
0,15 x 0,15 x 0,06	0,00135	1	6	1	6	0,0081
0,15 x 0,20 x 0,06	0,0018	1	6	4	24	0,0432
0,03 x 0,20 x 0,06	0,00036	1	4	1	4	0,00144
0,03 x 0,15 x 0,06	0,00027	1	1	1	1	0,00027
0,03 x 0,20 x 0,30	0,0018	3	1	4	12	0,0216
0,03 x 0,15 x 0,30	0,00135	3	1	1	3	0,00405
					<b>TOTAL</b>	<b>0,848 M3</b>

**Fuente:** los autores.

### VOLUMEN TOTAL DE MORTERO

El mortero es de 0,01 m de espesor. Sobre el eje X, Y y Z tenemos 5 capas de mortero.

Se calcula el área para cada plano y se multiplica por el espesor:

$$\text{PLANO (X, Y): } 1\text{m} \times 1\text{m} \times 0,01\text{m} = 0,01 \text{ m}^3$$

$$\text{PLANO (Y, Z): } 1\text{m} \times 0,95\text{m} \times 0,01\text{m} = 0,0095 \text{ m}^3$$

$$\text{PLANO (X, Z): } 0,95\text{m} \times 0,95\text{m} \times 0,01\text{m} = 0,009025 \text{ m}^3$$

$$\text{TOTAL DE MORTERO} = 0,01 \text{ m}^3 \times 5 + 0,0095 \text{ m}^3 \times 5 + 0,009025 \text{ m}^3 \times 5 = 0,1426 \text{ m}^3$$

$$\text{PESO ESPECÍFICO DEL LADRILLO} = \frac{7,7 \text{ Kg}}{0,009 \text{ m}^3} = 855,56 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{PESO ESPECÍFICO DEL MORTERO} = 2100 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

Ahora hallamos el peso del ladrillo y el peso del mortero en un m<sup>3</sup>:

$$W \text{ ladrillo} = 855,56 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 0,848 \text{ m}^3 = 727,226 \text{ Kg}$$

$$W \text{ mortero} = 2100 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 0,1426 \text{ m}^3 = 299,46 \text{ Kg}$$

Luego el peso de un metro cubico de mampostería es equivalente a:

$$W \text{ mampostería} = 727,226 \text{ Kg} + 299,46 \text{ Kg} = 1026,69 \text{ Kg}$$

$$\text{PESO ESPECÍFICO DE LA MAMPOSTERÍA} = 1026,69 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} / 9,81 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 10071,83$$

$$\frac{\text{N}}{\text{m}^3} = 10,072 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3}$$

**ANEXO B: Cálculo del espesor equivalente de un bloque de mampostería H-15**

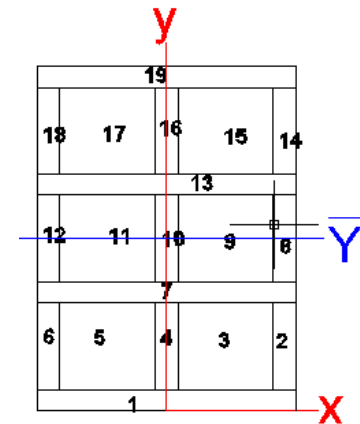
ELEMENTO	LARGO	ALTO	ÁREA	Y(i) EJE (0,0) A CENTRO DE CADA FIGURA	A(i) *y (i)	Y TOTAL ELEMENTO	Ix(i)	Iy(i)	d = Distancia X(i) al Y total	IX TOTAL	
1	0.15	0.0125	0.001875	0.0063	1.1813E-05	<b>0.10002781</b>	2.44141E-08	3.51563E-06	0.0938	1.65215E-05	
2	0.0133	0.05	0.000665	0.0375	2.4938E-05		1.38542E-07	9.80265E-09	0.0625	2.7362E-06	
4	0.0133	0.05	0.000665	0.0375	2.4938E-05		1.38542E-07	9.80265E-09	0.0625	2.7362E-06	
6	0.0133	0.05	0.000665	0.0375	2.4938E-05		1.38542E-07	9.80265E-09	0.0625	2.7362E-06	
7	0.15	0.0125	0.001875	0.0688	0.000129		2.44141E-08	3.51563E-06	0.0313	1.86133E-06	
8	0.0133	0.05	0.000665	0.1	0.0000665		1.38542E-07	9.80265E-09	0	1.38542E-07	
10	0.0133	0.05	0.000665	0.1	0.0000665		1.38542E-07	9.80265E-09	0	1.38542E-07	
12	0.0133	0.05	0.000665	0.1	0.0000665		1.38542E-07	9.80265E-09	0	1.38542E-07	
13	0.15	0.0125	0.001875	0.1313	0.00024619		2.44141E-08	3.51563E-06	0.0313	1.86133E-06	
14	0.0133	0.05	0.000665	0.1625	0.00010806		1.38542E-07	9.80265E-09	0.0625	2.7362E-06	
16	0.0133	0.05	0.000665	0.1625	0.00010806		1.38542E-07	9.80265E-09	0.0625	2.7362E-06	
18	0.0133	0.05	0.000665	0.1625	0.00010806		1.38542E-07	9.80265E-09	0.0625	2.7362E-06	
19	0.15	0.0125	0.001875	0.1938	0.00036338		2.44141E-08	3.51563E-06	0.0938	1.65215E-05	
<b>TOTALES</b>			<b>0.013485</b>		<b>0.00134888</b>			<b>1.41507E-05</b>			<b>5.35985E-05</b>

Fuente: los autores.

ESPESOR CON BASE A IX		
lx ladrillos =	5.3598E-05	[m4]
h =	0.2	[m]
e =	0.08039768	[m]

ESPESOR CON BASE A IY		
ly ladrillos =	1.4151E-05	[m4]
h =	0.2	[m]
e =	0.09469128	[m]

### PARTICIONES LADRILLO H-15



**Fuente:** los autores.

### ANEXO C: Datos extraídos de SAP para la creación de los nomogramas

MASA 1											
GRADOS	DIRECCIÓN	CONTROL DE DESPLAZAMIENTO	V [KN]	D[m]	PASO	RÓTULAS					%DAÑO
						A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	TOTALES	
0	x	0.012	649.44	-0.00328	-	-	-	-	-	174	0
0	y	0.015	688.44	-0.0053	-	-	-	-	-	174	0
10	x	0.015	688.04	-0.004	12	168	6	-	-	174	3.45
10	y	0.015	737.14	-0.011	23	165	9	-	-	174	5.17
15	x	0.017	677.69	-0.00872	15	164	9	1	-	174	5.75
15	y	0.018	697.31	-0.017	28	160	14	-	-	174	8.05
20	x	0.015	510.92	-0.011	23	162	9	3	-	174	6.90
20	y	0.035	596.09	-0.03	26	148	23	3	-	174	14.94
25	x	0.018	458.01	-0.014	25	161	9	4	-	174	7.47
25	y	0.045	536.17	-0.041	28	136	32	6	-	174	21.84
30	x	0.035	461.73	-0.023	20	174	19	7	-	200	13.00
30	y	0.053	524.35	-0.049	28	153	37	10	-	200	23.50
35	x	0.05	388.94	-0.035	20	170	20	7	3	200	15.00
35	y	0.08	438.39	-0.076	29	150	34	13	3	200	25.00

Fuente: los autores.

### ANEXO D: Datos extraídos del SAP para modelos con Masa 2

MASA 2											
GRADOS	DIRECCIÓN	CONTROL DE DESPLAZAMIENTO	V [KN]	D[m]	PASO	RÓTULAS					%DAÑO
						A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	TOTALES	
0	x	0.012	963.97	-0.00516	15	173	1	-	-	174	0.57
0	y	0.015	751.82	-0.00603	14	174	-	-	-	174	0.00
10	x	0.015	826.66	-0.00741	16	165	9	-	-	174	5.17
10	y	0.015	813.13	-0.013	28	162	12	-	-	174	6.90
15	x	0.017	719.52	-0.00981	17	161	10	3	-	174	7.47
15	y	0.023	767.57	-0.021	27	156	18	-	-	174	10.34
20	x	0.018	555.26	-0.013	21	160	10	4	-	174	8.05
20	y	0.045	649.78	-0.043	28	132	29	13	-	174	24.14
25	x	0.02	520.86	-0.02	26	150	18	6	-	174	13.79
25	y	0.07	577.34	-0.057	24	130	30	13	-	174	24.71
30	x	0.045	494.62	-0.028	18	170	20	10	-	200	15.00
30	y	0.07	631.55	-0.066	37	148	36	14	2	200	25.00
35	x	0.05	401.64	-0.043	20	170	20	6	4	200	15.00
35	y	0.085	557.21	-0.085	31	148	32	17	2	200	25.50

Fuente: los autores.