

**Análisis Sísmico por Desempeño, Caso: Edificio Jimena, Calle 35 # 26-75**

**Francys Daniela Herrera Cala**

**John Alexander Estaper Pérez**

**Monografía presentada como requisito para optar por el título de  
Especialista en Estructuras**

**Cohorte VII**

**Directora**

**Luz Marina Torrado Gómez**

**Magister en Geotecnia**

**Universidad Industrial de Santander  
Facultad de Ingeniería Físico Mecánicas  
Escuela de ingeniería Civil  
Especialización en Estructuras**

**Bucaramanga**

**2018**

*A Dios, que me ha dado las fuerzas para seguir adelante y no desfallecer, le dedico todos mis logros y mis sueños hechos realidad. Mi fuente de vida, de amor y mi motivación en todo momento.*

*A mis padres y mi hermano, que han sido mi apoyo incondicional, con quienes he vivido los mejores momentos de mi vida y los más difíciles, pero en todo momento Dios ha sido nuestro motor, los amo con todo mí ser.*

*A mis familiares, pastores y amigos que, a pesar del tiempo, siempre tienen una palabra de aliento que me impulsa a seguir a adelante.*

*Daniela*

*A Dios creador y dador de vida el cual me ha dado todo. A mi Hermosa familia Alexandra, Fredy Absalón y Claudia Lucia por el tiempo sacrificado en este proceso y ser mi motivación para nunca desfallecer. A mis padres Absalón y Libia Lucia por su apoyo incondicional. A mis Suegros Claudia y Fredy por la colaboración, talento, apoyo y aporte que me ha dado en mi desarrollo personal y profesional.*

*John*

## **Agradecimientos**

Agradecemos a Dios fuente de todas las buenas obras, quien nos ha dado la capacidad de trabajar y luchar por nuestros sueños.

A nuestra directora, Ingeniera Luz Marina Torrado Gómez, por su compromiso y dedicación para el desarrollo de esta monografía.

Al Ingeniero Álvaro Viviecas, por creer siempre en nosotros para la culminación de estos estudios.

A nuestros docentes y compañeros de especialización, por su colaboración y aporte en las actividades desarrolladas durante este proceso.

## Contenido

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	20
1. Objetivos .....	21
1.1 Objetivo general .....	21
1.2 Objetivos específicos .....	21
2. Justificación .....	22
3. Alcance .....	23
4. Marco Teorico.....	24
4.1 Análisis Modal Espectral .....	24
4.2 Comportamiento de pórticos de concreto reforzado durante eventos sísmicos .....	30
4.3 Análisis estático no lineal .....	30
4.4 Rotula Plastica .....	32
4.5 Reforzamiento estructural .....	33
5. Evaluación de la Edificación .....	33
5.1 Etapa 1 .....	34

5.2 Etapa 2 .....	34
5.3 Etapa 3 .....	35
5.4 Etapa 4 .....	36
5.5 Etapa 5 .....	40
5.6 Etapa 6 .....	41
5.7 Etapa 7 .....	42
5.8 Etapa 8 .....	43
5.9 Etapa 9 .....	47
5.10 Etapa 10 .....	49
6. Análisis Pushover de la Estructura Existente.....	49
7. Determinación de Rotulas y Rigidez Efectiva para Vigas y Columnas.....	50
8. Distribución de la Carga Lateral .....	53
9. Resultados del Análisis Pushover .....	55
9.1 Pushover sentido X positivo torre A.....	55
9.2 Pushover sentido X negativo, Torre A.....	57
9.3 Pushover sentido y positivo, Torre A .....	59
9.4 Pushover sentido Y negativo, Torre A.....	61
9.5 Pushover sentido X positivo torre B .....	63
9.6 Pushover sentido X negativo torre B .....	65

9.7 Pushover sentido Y positivo torre B .....	67
9.8 Pushover sentido y negativo torre B .....	69
10. Diseño del Reforzamiento.....	71
10.1 Distribución de la deriva para el reforzamiento.....	74
11. Diseño de Los Muros de Concreto Reforzado .....	75
11.1 Muro M1 .....	76
11.2 Muro M2 .....	78
11.3 Muro M3 .....	80
11.4 Muro M4 .....	82
11.5 Muro M5 .....	84
11.6 Muro M6 .....	86
11.7 Muro M7 .....	88
11.8 Muro M8 .....	90
11.9 Muro MA .....	92
11.10 Muro MB .....	94
11.11 Muro MC .....	96
11.12 Muro MD .....	98
11.13 Muro ME.....	100
11.14 Muro MF.....	102
11.15 Muro MG .....	104
11.16 Muro MH .....	106

12. Análisis Pushover de la Estructura Reforzada .....	108
13. Definición de Rotulas en los Muros.....	108
13.1 Pushover sentido X positivo torre A reforzada.....	109
14. Comparación Estructura Reforzada, Vs Estado Actual .....	109
14.1 Torre A.....	110
14.2 Torre B.....	112
15. Conclusiones .....	114
Referencias Bibliograficas .....	116

## Lista de Figuras

	<b>Pág.</b>
<i>Figura 1.</i> Ubicación Edificio Jimena.....	22
<i>Figura 2.</i> Espectro Elástico de Diseño. ....	36
<i>Figura 3.</i> Vista 3D del modelo matemático.....	38
<i>Figura 4.</i> Definición módulo de elasticidad del concreto original. ....	41
<i>Figura 5.</i> Distribución de momentos.....	43
<i>Figura 6.</i> Distribución de cortantes. ....	44
<i>Figura 7.</i> Distribución de carga axial. ....	44
<i>Figura 8.</i> Derivas de niveles.....	48
<i>Figura 9.</i> Derivas e identificación de niveles. ....	48
<i>Figura 10.</i> Vista en planta del modelo.....	50
<i>Figura 11.</i> Definición de rotulas en columnas.....	51
<i>Figura 12.</i> Ejemplo definición de rotulas. ....	53
<i>Figura 13.</i> Formas modales .....	54
<i>Figura 14.</i> Curva pushover sentido X positivo, Torre A.....	55
<i>Figura 15.</i> Rotulas pushover sentido X positivo, torre A.....	56
<i>Figura 16.</i> Curva pushover sentido X negativo, Torre A.....	57
<i>Figura 17.</i> Rotulas Pushover sentido X negativo, torre A.....	58
<i>Figura 18.</i> Curva pushover sentido Y positivo, Torre A.....	59
<i>Figura 19.</i> Rotulas pushover sentido Y positivo, Torre A .....	60

<i>Figura 20.</i> Curva pushover sentido Y negativo, Torre A .....	61
<i>Figura 21.</i> Rotulas pushover sentido y negativo, Torre A .....	62
<i>Figura 22.</i> Curva pushover sentido X positivo, Torre B .....	63
<i>Figura 23.</i> Rotulas pushover sentido X positivo, Torre B.....	64
<i>Figura 24.</i> Curva pushover sentido X negativo, Torre B .....	65
<i>Figura 25.</i> Rotulas pushover sentido X negativo, torre B .....	66
<i>Figura 26.</i> Curva pushover sentido Y positivo, Torre B .....	67
<i>Figura 27.</i> Rotulas pushover sentido y positivo, Torre B.....	68
<i>Figura 28.</i> Curva pushover sentido y negativo, Torre B .....	69
<i>Figura 29.</i> Rotulas pushover sentido y negativo, Torre B.....	70
<i>Figura 30.</i> Vista 3D modelo reforzado.....	72
<i>Figura 31.</i> Vista en planta y nomenclatura de muros del reforzamiento.....	73
<i>Figura 32.</i> Deriva de piso para el reforzamiento.....	74
<i>Figura 33.</i> Diseño muro M1 .....	76
<i>Figura 34.</i> Diagrama de interacción muro M1 .....	77
<i>Figura 35.</i> Diseño muro M2 .....	78
<i>Figura 36.</i> Diagrama de interacción muro M2 .....	79
<i>Figura 37.</i> Diseño muro M3 .....	80
<i>Figura 38.</i> Diagrama de interacción muro M3 .....	81
<i>Figura 39.</i> Diseño muro M4 .....	82
<i>Figura 40.</i> Diagrama de interacción muro M4 .....	83
<i>Figura 41.</i> Diseño muro M5 .....	84
<i>Figura 42.</i> Diagrama de interacción muro M5 .....	85

<i>Figura 43.</i> Diseño muro M6 .....	86
<i>Figura 44.</i> Diagrama de interacción muro M6 .....	87
<i>Figura 45.</i> Diseño muro M7 .....	88
<i>Figura 46.</i> Diagrama de interacción muro M7 .....	89
<i>Figura 47.</i> Diseño muro M8 .....	90
<i>Figura 48.</i> Diagrama de interacción muro M8 .....	91
<i>Figura 49.</i> Diseño muro MA .....	92
<i>Figura 50.</i> Diagrama de interacción muro MA .....	93
<i>Figura 51.</i> Diseño muro MB .....	94
<i>Figura 52.</i> Diagrama de interacción muro MB .....	95
<i>Figura 53.</i> Diseño muro MC .....	96
<i>Figura 54.</i> Diagrama de interacción muro MC .....	97
<i>Figura 55.</i> Diseño muro MD .....	98
<i>Figura 56.</i> Diagrama de interacción muro MD .....	99
<i>Figura 57.</i> Diseño muro ME.....	100
<i>Figura 58.</i> Diagrama de interacción muro ME.....	101
<i>Figura 59.</i> Diseño muro MF.....	102
<i>Figura 60.</i> Diagrama de interacción muro MF.....	103
<i>Figura 61.</i> Diseño muro MG .....	104
<i>Figura 62.</i> Diagrama de interacción muro MG .....	105
<i>Figura 63.</i> Diseño muro MH .....	106
<i>Figura 64.</i> Diagrama de interacción muro MH .....	107
<i>Figura 65.</i> Definición de refuerzo para rotulas en Muros .....	108

<i>Figura 66.</i> Curva pushover sentido X positivo, Torre A reforzada.....	109
<i>Figura 67.</i> Curvas de pushover sentido X positivo Torre A.....	110
<i>Figura 68.</i> Curvas de pushover sentido X negativo Torre A.....	111
<i>Figura 69.</i> Curvas de pushover sentido Y positivo Torre A.....	111
<i>Figura 70.</i> Curvas de pushover sentido Y negativo Torre A.....	112
<i>Figura 71.</i> Curvas de pushover sentido X positivo Torre B.....	112
<i>Figura 72.</i> Curvas de pushover sentido X negativo Torre B.....	113
<i>Figura 73.</i> Curvas de pushover sentido Y positivo Torre B.....	113
<i>Figura 74.</i> Curvas de pushover sentido Y negativo Torre B.....	114

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. <i>Clasificación de los perfiles del suelo</i> .....	27
Tabla 2. <i>Valores del coeficiente <math>F_a</math> para la zona de periodos cortos del espectro</i> .....	28
Tabla 3. <i>Valores del coeficiente <math>F_v</math>, para la zona de peridos intermedios del espectro</i> .....	28
Tabla 4. <i>Valores del coeficiente de importancia, <math>I</math></i> .....	29
Tabla 5. <i>Combinaciones de carga según NSR-10</i> .....	40
Tabla 6. <i>Valores de <math>\phi_c</math> y <math>\phi_e</math></i> .....	42
Tabla 7. <i>Índices de sobre resistencia de columnas</i> .....	45
Tabla 8. <i>Índices de sobre resistencia para las vigas</i> .....	46
Tabla 9. <i>Deriva máxima de piso</i> .....	47
Tabla 10. <i>Informacion para creacion de rotulas</i> .....	52
Tabla 11. <i>Valores formas modales</i> .....	54
Tabla 12. <i>Derivas máximas de piso para el reforzamiento</i> .....	74

## **Lista de Apendices**

**“Ver Apéndices adjuntos al CD”**

Apéndice A. Registro Fotografico

Apéndice B. Planos Estructurales y Memorias de Calculo Originales

Apendice C. Índices de sobre resistencia de columnas

Apendice D. Índices de sobre resistencia para vigas

Apendice E. Graficas pushover con reforzamiento

## Resumen

**Título:** Análisis sísmico por desempeño, caso: Edificio Jimena, calle 35 # 26-75\*

**Autores:** Francys Daniela Herrera Cala, John Alexander Estaper Pérez\*\*

**Palabras Claves:** Análisis modal, vulnerabilidad, reforzamiento, desempeño, análisis pushover.

### Descripción

En esta monografía se presenta el análisis modal de una estructura construida en el año 1974 en la ciudad de Bucaramanga, así mismo, se presenta el estudio de vulnerabilidad de esta, teniendo en cuenta la metodología postulada por la Norma Sismo Resistente Colombiana del 2010. Como respuesta a este estudio, y debido a que los índices de sobre resistencia y flexibilidad, no cumplen los requerimientos mínimos de la NSR-10, se presenta una alternativa de reforzamiento considerando muros de concreto reforzado, esto aprovechando la alta rigidez y resistencia que logran aportar este tipo de elementos, adicionalmente se realiza un análisis no lineal estático del tipo pushover obteniendo como resultado las curvas que relacionan el cortante en la base vs el desplazamiento en la cubierta de la edificación. Se presenta el análisis y diseño de los elementos que hacen parte del sistema de reforzamiento así como la modificación de los índices debidos a la implementación de la solución propuesta. Como complemento a la solución propuesta se compara el desempeño tanto de la estructura en su estado actual, como con la configuración de reforzamiento, esto mediante un análisis del tipo pushover. Se encuentra que aunque la solución de reforzamiento aumenta la capacidad de la estructura para resistir cargas horizontales, se ve sacrificada la ductilidad global de la estructura.

---

\* Monografía

\*\* Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniera Civil. Directora: Luz Marina Torrado Gómez. Magister en Geotecnia.

## Abstract

**Title:** Seismic analysis for performance, case: Jimena building, 35th street # 26-75\*

**Authors:** Francys Daniela Herrera Cala, John Alexander Estaper Pérez\*\*

**Keywords:** Modal analysis, vulnerability, reinforcement, performance, analysis pushover.

### Description

This monograph presents the modal analysis of a structure built in 1974 likewise, the vulnerability study of this one is presented, considering the methodology postulated by the "Norma Sismo Resistente Colombiana del 2010". As a result of this study, and because the over-resistance and flexibility indexes do not meet the minimum requirements of the NSR-10, an alternative reinforcement is presented considering reinforced concrete walls, this taking advantage of the high rigidity and resistance that they achieve. Additionally, a static non-linear analysis of the pushover type is made, obtaining as a result the curves that relate the shear in the base to the displacement in the roof of the building. It presents the analysis and design of the elements that are part of the reinforcement system as well as the modification of the indexes due to the implementation of the proposed solution. As a complement to the proposed solution, the performance of both the structure in its current state and the reinforcement configuration is compared, using a pushover type analysis. It is found that although the reinforcing solution increases the capacity of the structure to resist horizontal loads, the overall ductility of the structure is sacrificed.

---

\* Monografía.

\*\* Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Directora: Luz Marina Torrado Gomez. Magister en Geotecnia.

## Introducción

Bucaramanga se encuentra catalogada como una zona de amenaza sísmica alta, razón por la cual es de gran importancia que las edificaciones levantadas sobre esta zona cuenten con sistemas estructurales que garanticen un apropiado desempeño frente a eventos sísmicos. Actualmente la norma que rige el diseño de nuevas edificaciones según el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial es la Norma Sismo Resistente Colombiana [NSR-10] (2010), sin embargo, en la ciudad, existe un sin número de estructuras que fueron construidas antes de la entrada en vigencia de esta normativa.

El Edificio Jimena, ubicado según la nomenclatura urbana de la ciudad de Bucaramanga, en la calle 35 # 26-75, es un edificio familiar de 4 pisos, conformado por 7 unidades residenciales, fue construido en el año 1974. Esta edificación hace parte de las estructuras que fueron construidas antes de la vigencia de la actual norma sismo resistente, razón por la cual es interés de esta monografía estudiar una posible alternativa de reforzamiento a la misma, así como comparar el desempeño de su configuración actual con la propuesta de reforzamiento. Este documento presenta el análisis sísmico por desempeño realizado a la estructura en mención, mediante la técnica de análisis pushover, en el software ETABS, mediante el cual se determina un nivel de amenaza sísmica de la edificación y se diseña una propuesta de reforzamiento de acuerdo con los requerimientos establecidos por la NSR-10, a la cual se le realizó el análisis pushover, y se comparó el comportamiento con el obtenido del estado actual de la estructura.

## 1. Objetivos

### 1.1 Objetivo general

Realizar un estudio de vulnerabilidad sísmica en un edificio de vivienda familiar de 4 pisos tipo pórtico, construido en Bucaramanga en el año 1974 y diseñar el reforzamiento de la edificación según requerimientos de la NSR-10 y comparar el desempeño del reforzamiento propuesto con el estado actual.

### 1.2 Objetivos específicos

- Realizar el análisis modal espectral para la estructura con objeto de conocer sus modos de vibración y fuerzas debidas al sismo piso a piso.
- Determinar el nivel de amenaza sísmica, mediante los índices establecidos en el capítulo B.2 de la NSR-10.
- Realizar el análisis pushover del estado actual de la edificación con el objeto de determinar el cortante, y la deformación de cubierta máximos.
- Diseñar una propuesta de reforzamiento para la estructura, realizar el análisis pushover de esta y comparar el desempeño del estado actual de la estructura y el reforzamiento propuesto.

## 2. Justificación

Actualmente muchas de las edificaciones que se encuentran en servicio en varias ciudades de Colombia fueron construidas en épocas en las que no se contaba con una normativa de diseño sísmo-resistente, para este entonces los ingenieros calculistas recurrían a su propio criterio para atender las solicitudes sísmicas y gravitacionales. Infortunadamente no todas las soluciones a las que se llegaban pueden ser validadas según los nuevos criterios de la Norma Sismo Resistente Colombiana (NSR-10); tal es el caso del Edificio Jimena, ubicado en la calle 35 # 26-75 del barrio Antonia Santos en el centro de la ciudad de Bucaramanga, como se muestra en la Figura 1.

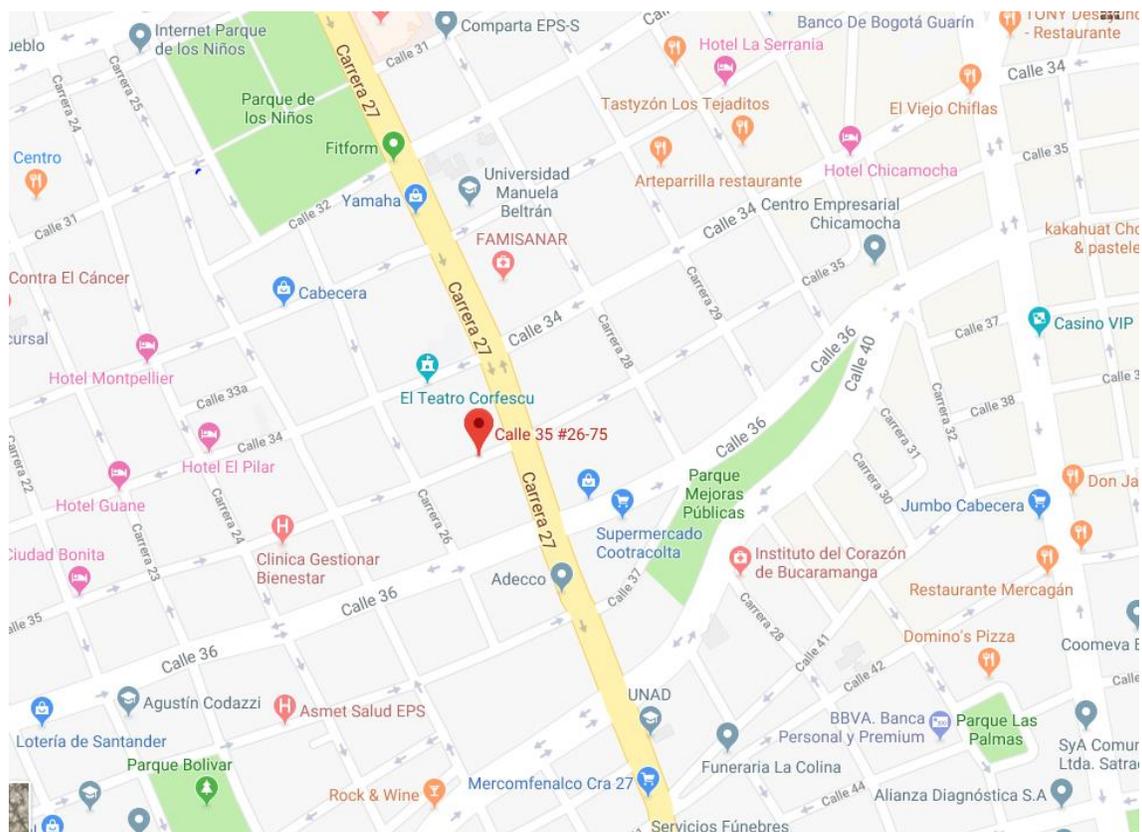


Figura 1. Ubicación Edificio Jimena. Adaptado de: Google Maps.

Esta edificación cuenta con 4 plantas de usos residencial, un semisótano, y una cubierta liviana, estructuralmente tiene la particularidad que sus pórticos están orientados solo en un sentido, lo cual según las nuevas prácticas no constituye un sistema de resistencia sísmico según la NSR-10 en su capítulo A, pues, aunque si bien este sistema responde a las cargas sísmicas en una de las direcciones principales, no ofrece ningún mecanismo de disipación de energía en el sentido contrario. Es por esta razón y teniendo en cuenta que esta edificación, entre otras similares siguen siendo ocupadas, es importante caracterizar el comportamiento que podrían tener estas durante un evento sísmico de importancia, así como identificar posibles alternativas de reforzamiento que mejoren las condiciones actuales, y lograr ofrecer mayores garantías en la preservación de las vidas y los bienes de quienes ocupan estas edificaciones. Para este caso de estudio se cuenta con los planos constructivos originales así como sus memorias de cálculo, los cuales se muestran en el Apéndice B.

### **3. Alcance**

La presente monografía solo busca estudiar desde el ámbito académico el comportamiento de la edificación en estudio, de tal manera que los resultados obtenidos no deben ser interpretados como un mandato ó/u advertencia para los residentes y propietarios de esta edificación, y de la misma manera la alternativa de reforzamiento no tendrá en cuenta la distribución arquitectónica particular de esta, más se planteara siempre pensando en estudiar el cambio en el comportamiento global de la edificación. De la misma manera como resultado de este estudio no se generarán planos a nivel

constructivo, pues solo se definirán las características mínimas necesarias para lograr elaborar los modelos matemáticos que describan el comportamiento de interés en este documento.

## **4. Marco Teorico**

### **4.1 Análisis Modal Espectral**

El origen a un evento sísmico está relacionado con la presencia de fallas continentales o ambientes de subducción (Gallego, 2003), en general estos eventos son impredecibles, y pueden llegar a generar una gran afectación a las zonas en donde ocurren, es por esta razón que el estudio del efecto de estos fenómenos sobre las estructuras ha ido ganando cada vez más importancia en la sociedad.

Para esto, se ha recurrido a estimar el riesgo sísmico presente en cada región del territorio nacional, esto con el fin de afianzar los criterios de diseño sismo resistente. El riesgo sísmico es cuantificado en términos del periodo de retorno, intensidades sísmicas y el comportamiento de las estructuras (Gallego, 2003), siendo también un factor que aumenta el riesgo, la presencia de edificaciones antiguas que no responden a las prácticas más recientes.

Durante el último siglo, se han mejorado las técnicas de análisis estructural, lo que permite diseñar construcciones sismo-resistentes, sin embargo, la ejecución de estos análisis se ha hecho cada vez más compleja, obligando así, al desarrollo de métodos simplificados que permitan evaluar

una estructura sometida a acciones dinámicas utilizando la información más básica posible y disponible para el ingeniero c. Uno de los métodos más estudiados y aplicados es el análisis modal espectral, el cual permite obtener los desplazamientos y las fuerzas de una estructura de manera eficiente y rápida.

### **Definición del análisis modal espectral**

El análisis modal espectral da como resultado la máxima respuesta de una estructura mediante la separación de sus modos de vibración, de forma que combina las máximas respuestas de cada modo mediante la aplicación del espectro de respuesta. Cada respuesta es afectada por el coeficiente de participación modal, el cual indica el porcentaje de respuesta con el que cada modo contribuye a la estructura (Gallego, 2003).

Para aplicar el método de análisis modal espectral, se requiere conocer los modos de vibración y las frecuencias naturales del sistema, los cuales pueden ser obtenidos aplicando los conceptos de la dinámica estructural, como se muestra a continuación en la ecuación 1, que describe el movimiento de un sistema de múltiples grados de libertad: (Tirado, 2017).

$$MU\ddot{(t)} + CU\dot{(t)} + LU(t) = -M\ddot{u}_s(t) \quad 1$$

Donde,

M: Matriz de masa

C: Matriz de amortiguamiento

L: Matriz de rigidez

$-M\ddot{u}_s(t)$ : Acción sísmica

Entre las desventajas que presenta el método modal espectral, esta que únicamente es válido para sistemas lineales, es decir, estructuras que se encuentren dentro del rango elástico, y el análisis modal espectral da como resultado el máximo valor de respuesta, pero no se sabe en qué instante de tiempo se produce (Tirado, 2017).

### **Métodos de combinación modal**

Existen métodos de combinación modal que consideran la articulación de los modos de vibración, sin embargo, es difícil definir cuál de estos métodos es el más acertado. Se describen a continuación los más usados (Tirado, 2017):

- Método del valor absoluto (o por sus siglas en inglés, ABS): Este método asume que para cada punto de la estructura todos los valores modales suceden al mismo tiempo y en la misma etapa. Se considera aceptable este método en los casos de una vibración de larga duración.
- Método de la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados (o por sus siglas en inglés, SRSS): En este método la asunción es que todos los valores modales máximos son estáticamente independientes, que las respuestas modales no están correlacionadas y los máximos valores para cada uno de los modos se dan en distintos instantes de tiempo. Este método podría subestimar los máximos valores reales, ya que el resultado es probable en el instante de tiempo que se realiza el análisis del espectro de respuesta.
- Método de combinación cuadrática completa (o por sus siglas en inglés, CQC): El método CQC toma los modos espaciados más cercanos, los acopla estadísticamente con los coeficientes de acoplamiento modal  $\rho_{ij}$ , los cuales son función de la duración y del contenido de la frecuencia, así como del amortiguamiento modal de la estructura, y siempre es positivo.

## Espectro de diseño

En Colombia, se define el espectro de diseño de acuerdo con lo establecido en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, teniendo en cuenta:

- Zona de amenaza sísmica: Se debe establecer la región en donde se encuentra ubicada la estructura, con el fin de determinar el nivel de amenaza sísmica, que según la norma se define como Baja, Intermedia y Alta, y para cada uno de estos niveles existen unos valores de  $A_a$  (Coeficiente de aceleración horizontal pico efectiva)  $A_v$  (Coeficiente de velocidad horizontal efectiva)
- Perfil de suelo: La NSR-10 define 6 tipos de perfil de suelo, los cuales son mostrados y definidos en la tabla 1:

Tabla 1.

### Clasificación de los perfiles del suelo

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$\bar{V}_S \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > \bar{V}_S \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760 \text{ m/s} > \bar{V}_S \geq 360$ m/s
	perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$\bar{N} \geq 50$ , o $\bar{q}_u \geq 100$ kPa ( $\approx 1$ kgf/cm <sup>2</sup> )
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > \bar{V}_S \geq 180$ m/s
	perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > \bar{N} \geq 15$ , o $100 \text{ kPa} (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{q}_u \geq 50$ kPa ( $\approx 0.5$ kgf/cm <sup>2</sup> )
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$180 \text{ m/s} > \bar{V}_S$
	perfil que contiene un espesor total $H$ mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $50 \text{ kPa} (\approx 0.50 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{q}_u$
F	Los perfiles de suelo tipo <b>F</b> requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista de acuerdo con el procedimiento de A.2.10. Se contemplan las siguientes subclases: <b>F<sub>1</sub></b> — Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc. <b>F<sub>2</sub></b> — Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas ( $H > 3$ m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas). <b>F<sub>3</sub></b> — Arcillas de muy alta plasticidad ( $H > 7.5$ m con Índice de Plasticidad $IP > 75$ ) <b>F<sub>4</sub></b> — Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda ( $H > 36$ m)	

Fuente: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR – 10: Título A – Requisitos Generales de Diseño y Construcción Sismo Resistente. Tabla A.2.4 – 1.

- **Coefficientes de amplificación:** De acuerdo con la NSR-10 A.2.4.5.6, este coeficiente amplifica las ordenadas del espectro en roca para tener en cuenta los efectos de sitio en el rango de periodos cortos ( $F_a$ ) e intermedios ( $F_v$ ). En las tablas 2 y 3 se muestran estos valores:

Tabla 2.

*Valores del coeficiente  $F_a$  para la zona de periodos cortos del espectro*

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_a \leq 0.1$	$A_a = 0.2$	$A_a = 0.3$	$A_a = 0.4$	$A_a \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

**Nota:** Para el perfil tipo F debe realizarse una investigación geotécnica particular para el lugar específico y debe llevarse a cabo un análisis de amplificación de onda de acuerdo con A.2.10.

Nota: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR – 10: Título A – Requisitos Generales de Diseño y Construcción Sismo Resistente. Tabla A.2.4 – 3.

Tabla 3.

*Valores del coeficiente  $F_v$ , para la zona de periodos intermedios del espectro*

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_v \leq 0.1$	$A_v = 0.2$	$A_v = 0.3$	$A_v = 0.4$	$A_v \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

**Nota:** Para el perfil tipo F debe realizarse una investigación geotécnica particular para el lugar específico y debe llevarse a cabo un análisis de amplificación de onda de acuerdo con A.2.10.

Nota: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR – 10: Título A – Requisitos Generales de Diseño y Construcción Sismo Resistente. Tabla A.2.4 – 4.

- Coeficiente de importancia: La NSR-10 además establece un coeficiente de importancia que clasifica las edificaciones de acuerdo con su grupo de uso, tal como se especifica en la NSR-10 artículo A.2.5.1. Este coeficiente de importancia modifica el espectro y las fuerzas de diseño como se muestra en la siguiente tabla 4:

Tabla 4.

*Valores del coeficiente de importancia, I*

Grupo de Uso	Coeficiente de Importancia, I
IV	1.50
III	1.25
II	1.10
I	1.00

Nota: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR – 10: Título A – Requisitos Generales de Diseño y Construcción Sismo Resistente. Tabla A.2.5 – 1.

- Coeficiente de capacidad de disipación de energía R: Este coeficiente de acuerdo con la NSR-10 debe ser afectado por factores de reducción debidos a las irregularidades en altura, en planta y por ausencia de redundancia del sistema estructural de resistencia sísmica, los cuales se determinan según la ecuación 2:

$$R = \phi_a \phi_p \phi_r R_0 \quad 2$$

Donde,

$\phi_p$ : Configuración en planta – Tabla A.3-7 (NSR-10)

$\phi_a$ : Configuración en altura – Tabla A.3-6 (NSR-10)

$\phi_r$ : Ausencia de redundancia en el sistema estructural de resistencia sísmica – A.3.3.8. (NSR-10)

## **4.2 Comportamiento de pórticos de concreto reforzado durante eventos sísmicos**

A pesar del largo tiempo de implementación y estudio de este tipo de estructuras, las fallas presentes durante eventos sísmicos recientes han evidenciado las falencias que pueden estar presentes en este tipo de edificaciones, así como los requisitos de ductilidad y en general de desempeño que se deben garantizar, para obtener una solución segura (Bonett, 2003).

De tal manera que la respuesta de estas edificaciones durante un evento sísmico se ve afectada por lo menos por los siguientes 5 factores, tal y como los enuncia Bonett (2003) en su tesis doctoral, los cuales se citan a continuación:

“1) las propiedades mecánicas de los materiales, 2) el tipo de acero de refuerzo longitudinal, 3) la disposición y el detallado del acero de refuerzo longitudinal y transversal, 4) el nivel de carga axial en las columnas y 5) la calidad de las conexiones viga-columna, entre otros.” Como es de amplio conocimiento es posible encontrar gran dispersión en los valores de estas variables, lo cual afecta directamente la capacidad de predecir el desempeño de estructuras aporricadas de concreto reforzado, además cada variable de manera individual afecta de un modo distinto la respuesta global del sistema, tal y como lo hace ver Ruiz (2012) en su publicación.

## **4.3 Análisis estático no lineal**

Este tipo de análisis se caracteriza principalmente por considerar el comportamiento no lineal de los elementos que componen la estructura, tanto desde el punto de vista material como de

elementos individuales, los resultados de este análisis se representan generalmente por la relación entre las fuerzas cortantes en la base de la edificación vs el desplazamiento de la cubierta o punto más alto de la estructura, a esta curva se le suele conocer como curva pushover (Bonett, 2003).

Este método se caracteriza por su simplicidad, principalmente debido a la información que intencionalmente se decide dejar fuera del análisis, en particular se obvian los efectos de los modos de vibración más elevados, además de escoger una distribución de la carga de piso basada en las condiciones iniciales de la estructura, obviando de esta forma el hecho que el comportamiento modal de esta varía a medida que avanza el análisis, a este tipo de análisis en donde se considerara esta variación en la distribución de la carga lateral, se conoce como modelo estático no lineal adaptativo (Soleimani 2017).

El daño estructural es una función de la deformación y la energía en la estructura, pero el análisis no lineal estático solo considera el desplazamiento como criterio para evaluar el daño, esto dejando de lado los efectos de la duración, la energía acumulada durante un evento sísmico y las diferentes fuentes de disipación de energía presentes (Bonett, 2003).

Estudiar la vulnerabilidad de edificaciones existentes, basados en los criterios tradicionales como rigidez y resistencia, tal y como lo establece actualmente la NSR-10, en general resulta en un ejercicio conservador, pues las alternativas de reforzamiento no suelen tener en cuenta criterios de ductilidad, ni la forma como este afecta el desempeño futuro de la estructura, considerar la implementación de estudios enfocados en el desempeño permitiría estimar de manera más acertada el comportamiento futuro de la estructura y de este modo permitir la evaluación e implementación

de soluciones que realmente mejoren el desempeño sísmico de las edificaciones, logrando así una inversión más inteligente (Carrillo, 2008).

A pesar del creciente interés en el uso de este tipo de análisis, la incertidumbre en la definición de las propiedades de los materiales, así como de la configuración del refuerzo en estructuras existentes, agrega gran variabilidad a los resultados obtenidos, tal y como lo concluyó en su investigación Vargas (2013), teniendo esto en cuenta es de gran importancia contar con información veraz de la estructura en estudio, y garantizar una apropiada implementación de este tipo de análisis.

#### **4.4 Rotula Plastica**

Para la correcta implementación de un análisis estático no lineal es necesario considerar dentro del modelo matemático las propiedades de los elementos tanto del rango elástico como inelástico del material, y es precisamente en el rango inelástico del material que surge la duda de como se comportaran los elementos que componen la estructura; para el caso de las estructuras aperticadas de concreto reforzado se ha implementado el modelo de rotula plástica concentrada (Pedrosa, 2007).

Con este modelo de rotula plástica concentrada, se resuelve el problema del modelado limitando el comportamiento no lineal solamente a una sección localizada generalmente a los extremos de las vigas y columnas, y restringiendo al resto del elemento dentro del rango elástico, las propiedades de estas rotulas se definen en función, del refuerzo longitudinal y transversal del

elemento, el grado de confinamiento del concreto, y desde luego la geometría de la sección transversal.

#### **4.5 Reforzamiento estructural**

Con el continuo avance de los criterios normativos, metodologías de análisis, y en general del estudio del comportamiento de las estructuras en concreto reforzado; surge la necesidad de estudiar los efectos que un sismo de importancia tendría sobre edificaciones diseñadas y construidas bajo normativas antiguas, que comparadas con el estado actual del arte no llegan a garantizar los objetivos de desempeño esperados para las edificaciones modernas. Para lograr esta mejoría en el comportamiento de estructuras antiguas, existen un sin número de alternativas de reforzamiento, como muros de concreto reforzado (Nail, 2018), matrices cementicias reforzadas con fibra (Donnini, 2017), amortiguadores (Sanati, 2014), entre otras.

### **5. Evaluación de la Edificación**

En el artículo A.10 de la NSR-10 se definen los requerimientos y pasos a seguir para evaluar la vulnerabilidad sísmica de edificaciones existentes, así como las adiciones y modificaciones al sistema estructural de estas. En este documento monografico se seguirán los pasos definidos en el procedimiento registrado en el artículo A.10.1.4 de la NSR-10, así:

## 5.1 Etapa 1

“Debe verificarse que la intervención esté cubierta por el alcance dado en A.10.1.3” (NSR-10).

La edificación en estudio fue construida en el año 1974, por lo tanto se diseñó y construyó antes de la vigencia de la NSR-10, razón por la cual está cubierta por el procedimiento definido en A.10.1.4.

## 5.2 Etapa 2

“Debe recopilarse y estudiarse la información existente acerca del diseño geotécnico y estructural, así como del proceso de construcción de la edificación original y sus posteriores modificaciones y deben hacerse exploraciones en la edificación, todo esto de acuerdo con A.10.2” (NSR-10).

Como parte de este estudio se cuenta con copia de los planos estructurales aprobados, que incluyen el diseño de la cimentación y las plantas estructurales típicas del edificio, y las memorias estructurales presentadas al municipio de Bucaramanga durante el trámite de licenciamiento de la obra, esta documentación se encuentra en el Apéndice B de este documento.

Gracias a que se cuenta con esta información no se realizaron estudios exploratorios diferentes a la confirmación visual de los elementos estructurales contenidos en los planos y se procede a hacer el estudio con las cuantías de acero presentes en esta documentación. De la misma manera durante la inspección visual se logró confirmar que la estructura no ha sufrido modificaciones posteriores a la fecha de entrega a los propietarios.

### 5.3 Etapa 3

“El estado del sistema estructural debe calificarse con respecto a: (i) la calidad del diseño de la estructura original y su sistema de cimentación y de la construcción de esta y (ii) el estado de mantenimiento y conservación. Esta calificación debe hacerse de acuerdo con los requisitos de A.10.2” (NSR-10)

**Calidad del diseño y la construcción:** En función a la tecnología existente en la época, esta edificación no presenta ninguna falencia en lo que respecta a su ejecución, pues se cuidó la verticalidad de los elementos y en general la geometría planteada de vigas y columnas, el diseño como ya se ha mencionado antes responde a las practicas que para ese entonces se consideraban normales, aun así, la ausencia de pórticos en uno de los sentidos principales de la estructura, se considerara como una debilidad durante esta evaluación, razón por la que se le asignara una clasificación de **Regular**.

**Estado de la estructura:** Desde su construcción la edificación en estudio ha presentado un desempeño apropiado durante los eventos sísmicos que han afectado a la ciudad de Bucaramanga, pues no se han presentado fisuración ni desprendimientos de elementos no estructuras (muros divisorios y de fachada, pisos, puertas y ventanas), y de igual manera, no se evidencia la ocurrencia de asentamientos diferenciales debidos a problemas en la cimentación, por estas razones se le asignara una calificación de **Buena** al estado actual de la estructura.

## 5.4 Etapa 4

“Deben determinarse unas sollicitaciones equivalentes de acuerdo con los requisitos de A.10.4.2”

**Movimientos sísmicos para un nivel de seguridad equivalente de una edificación nueva.**

Ubicación:	Bucaramanga, Santander
Zona de amenaza sísmica:	Alta, según NSR-10 apendice A-4.
Aa:	0.25
Av:	0.25
Perfil de suelo:	C
Fa:	1.15
Fv:	1.55

Espectro Elástico de diseño: Teniendo en cuenta los parámetros mencionados anteriormente, se presenta el espectro elástico de diseño, como se muestra en la **Figura 2**. Espectro Elástico de Diseño.

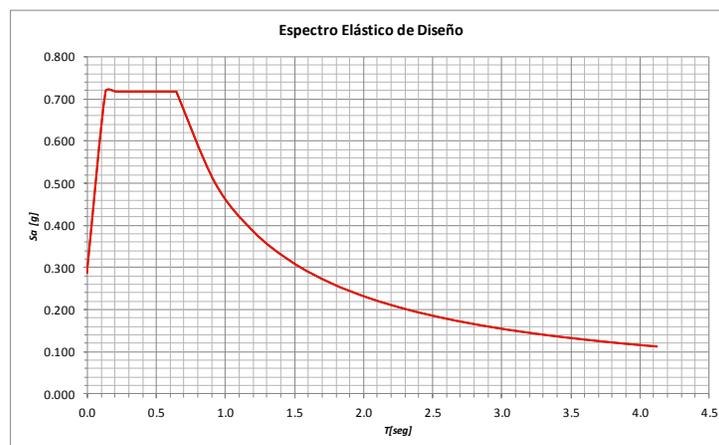


Figura 2. Espectro Elástico de Diseño.

Grupo de uso:	Grupo I-Estructuras de ocupación normal
Coefficiente de importancia:	1.0

### **Clasificación del sistema estructural**

Con base a la información registrada en los planos de construcción y lo observado durante la inspección visual, el sistema estructural de esta edificación será clasificado como un pórtico resistente a momento, aunque, es importante aclarar que este no se encuentra completamente conformado, pues como ya se ha mencionado solo cuenta con porticos en una de las direcciones principales de la estructura.

### **Coefficiente de capacidad de disipación de energía $R'$**

Teniendo en cuenta que el sistema estructural de la estructura presenta un cumplimiento parcial de los requisitos que fija el reglamento se hará una interpolación entre los valores establecidos para un sistema de pórticos resistentes a momento y una estructura de péndulo invertido, obteniendo así para un  $R' = (7.0+2.5) / 2 = 4.75$ .

### **Fuerzas sísmicas**

Para la estimación de las fuerzas de sismo se empleará un modelo matemático de la estructura tal y como se muestra en la Figura 3, y que contempla la totalidad de las masas presentes en la edificación, la forma como ésta se distribuye en su geometría, de igual manera se consideraran las rigideces de los elementos que la constituyen, permitiendo y según lo establecido en el artículo A.5.2 de la NSR-10 que se lleve a cabo un análisis dinámico de la estructura para estimar las sollicitaciones sísmicas sobre la estructura.

Como se puede observar, la estructura consta de dos bloques conectados por una escalera, esta escalera no se considera suficiente para conformar un diafragma entre los modulos, razón por la cual se dividirá la estructura en 2.

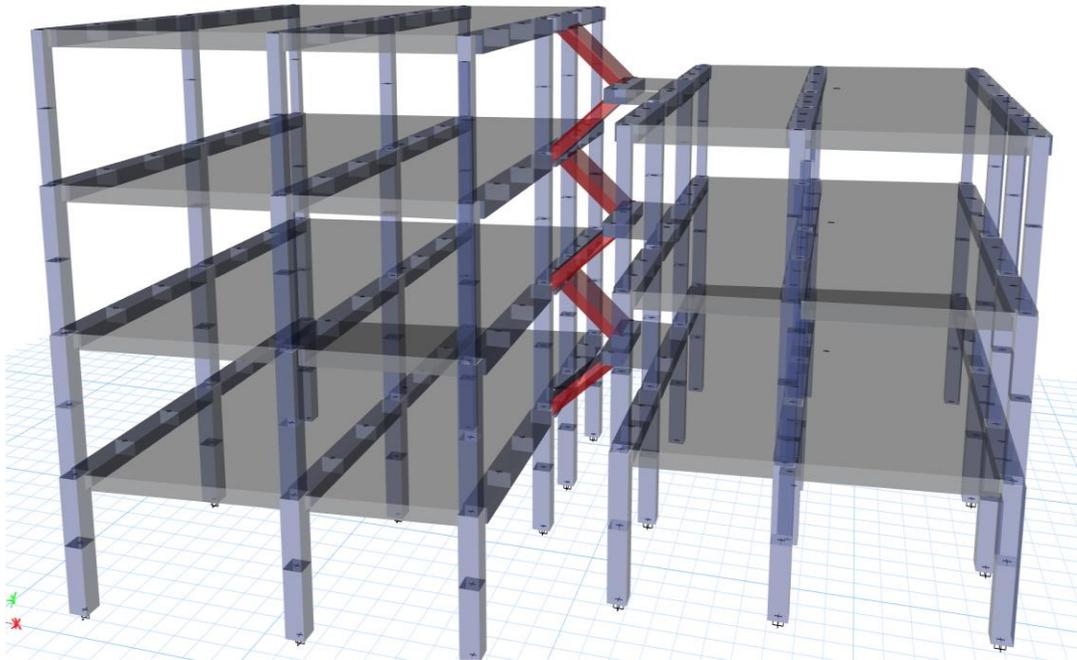


Figura 3. Vista 3D del modelo matemático.

Cargas diferentes a las solicitaciones sísmicas

Carga muerta, según lo establecido en la Tabla B.3.4.3-1 de la NSR-10 y teniendo en cuenta que el uso de la edificación es residencial, la carga muerta a emplear será de:

Fachada y particiones de mampostería	3.0 kN/m <sup>2</sup>
Afinado de piso y cubierta	1.6 kN/m <sup>2</sup>

Carga viva, según lo establecido en la tabla B.4.2.1-1 de la NSR-10 y teniendo en cuenta que el uso de la edificación será residencial, la carga viva a emplear será de:

Balcones	5.0 kN/m <sup>2</sup>
Cuartos privados y sus corredores	1.8 kN/m <sup>2</sup>
Escaleras	3.0 kN/m <sup>2</sup>

### **Análisis estructural**

Para el análisis estructural se utilizó el programa de computadora ETABS Nonlinear v.16.2.1. Se construyó un modelo matemático tridimensional elástico con múltiples grados de libertad, suponiendo un diafragma rígido en cada entrepiso, considerando las no linealidades producidas por los efectos P- $\Delta$  y se asumió que los materiales, tales como concretos y acero de refuerzo, tienen propiedades isotrópicas. A las vigas y columnas se les dio un tratamiento de elementos tipo Frame, mientras que los muros estructurales se consideraron elementos tipo Shell.

El análisis realizado, tanto para fuerzas gravitacionales como para fuerzas sísmicas, es estático, con un amortiguamiento igual al 5% del amortiguamiento crítico. En el caso del análisis sísmico, se realizó un análisis modal espectral mediante vectores Ritz, y las respuestas de los diferentes modos de vibración se combinaron mediante la regla cuadrática completa (o por sus siglas en inglés CQC).

### **Solicitaciones equivalentes**

Se obtienen las combinaciones de carga según lo establecido en el capítulo B.2 de la NSR-10, a continuación, en la Tabla 5 se muestran las combinaciones de carga a emplear.

Tabla 5.

*Combinaciones de carga según NSR-10*

COMBINACIONES DE CARGA												
COMBO	SI D	SI L	SI EX	SI EY	NO W	NO F	NO H	NO T	NO Lr	NO G	NO Le	
B.2.4.-1	0	1,4				1,4						
B.2.4.-2	1a	1,2	1,6			1,2	1,6	1,2	0,5			
	1b	1,2	1,6			1,2	1,6	1,2		0,5		
	1c	1,2	1,6			1,2	1,6	1,2			0,5	
B.2.4.-3	2a	1,2	1						1,6			
	2b	1,2	1							1,6		
	2c	1,2	1								1,6	
	2d	1,2				0,8			1,6			
	2e	1,2				0,8				1,6		
	2f	1,2				0,8					1,6	
B.2.4.-4	3a	1,2	1			1,6			0,5			
	3b	1,2	1			1,6				0,5		
	3c	1,2	1			1,6					0,5	
B.2.4.-5	4a	1,2	1	0,211	0,063							
	4b	1,2	1	0,063	0,211							
B.2.4.-6	5	0,9			1,6		1,6					
B.2.4.-7	6a	0,9		0,211	0,063			1,6				
	6b	0,9		0,063	0,211			1,6				

COMBINACIONES DE CARGA		
B.2.4.-1	COMB0	1.4D
B.2.4.-2	COMB1a	1.2D+1.6L
B.2.4.-3	COMB2a	1.2D+1L
	COMB2d	1.2D
B.2.4.-4	COMB3a	1.2D+1L
B.2.4.-5	COMB4a	1.2D+1L+0.211EX+0.063EY
	COMB4b	1.2D+1L+0.063EX+0.211EY
B.2.4.-6	COMB5	0.9D
B.2.4.-7	COMB6a	0.9D+0.211EX+0.063EY
	COMB6b	0.9D+0.063EX+0.211EY

### 5.5 Etapa 5

“Debe llevarse a cabo un análisis elástico de la estructura y de su sistema de cimentación para las solicitaciones equivalentes definidas en la Etapa 4” (NSR-10).

## 5.6 Etapa 6

“La resistencia existente de la estructura debe determinarse utilizando los requisitos de A.10.4.3.3” (NSR-10).

Basado en lo registrado en las memorias de cálculo se determina una resistencia  $f'_c$  del concreto igual a 17.5 MPa. En la Figura 1 se muestra la definición de este material en el modelo.

Material Property Design Data

**Material Name and Type**

Material Name: CONCRETO

Material Type: Concrete, Isotropic

**Design Properties for Concrete Materials**

Specified Concrete Compressive Strength,  $f'_c$ : 17500 kN/m<sup>2</sup>

Lightweight Concrete

Shear Strength Reduction Factor: [Empty]

OK Cancel

Figura 4. Definición módulo de elasticidad del concreto original.

### 5.7 Etapa 7

“Se debe obtener una resistencia efectiva de la estructura, a partir de la resistencia existente, afectándola por dos coeficientes de reducción de resistencia obtenidos de los resultados de la calificación llevada a cabo en la Etapa 3” (NSR-10). Se calcula la resistencia efectiva según lo establecido en el artículo A.10.4.3.4, por medio de la ecuación A.10-1 (NSR-10), y los coeficientes presentes en la Tabla A.10.4-1 (NSR-10).

$$N_{ef} = \phi_c \phi_e N_{ex} \quad (\text{A.10-1})$$

Tabla 6.

Valores de  $\phi_c$  y  $\phi_e$

	Calidad del diseño y la construcción, o del estado de la edificación		
	Buena	Regular	Mala
$\phi_c$ o $\phi_e$	1.0	0.8	0.6

Fuente: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR – 10: Título A – Requisitos Generales de Diseño y Construcción Sismo Resistente. Tabla A.10.4 – 1.

$$N_{ef} = (0.8)(1.0)N_{ex} = 0.8N_{ex} \quad 2$$

Para considerar esta resistencia efectiva se multiplicarán por un valor de 0.8, los valores de  $f'_c$  y  $F_y$  dentro del modelo matemático.

## 5.8 Etapa 8

“Debe determinarse un índice de sobreesfuerzo como el máximo cociente obtenido para cualquier elemento o sección de este, entre las fuerzas internas solicitadas obtenidas del análisis estructural realizado en la etapa 5 para las solicitaciones equivalentes definidas en la Etapa 4 y la resistencia efectiva obtenida en la Etapa 7” (NSR-10).

Teniendo en cuenta todas las etapas anteriores se procede a correr el modelo matemático, a fin de ilustrar los resultados a continuación en las ilustraciones 3 a 5 se presentan las distribuciones de momentos, cortantes y cargas axiales en la estructura, para la envolvente de las combinaciones de diseño.

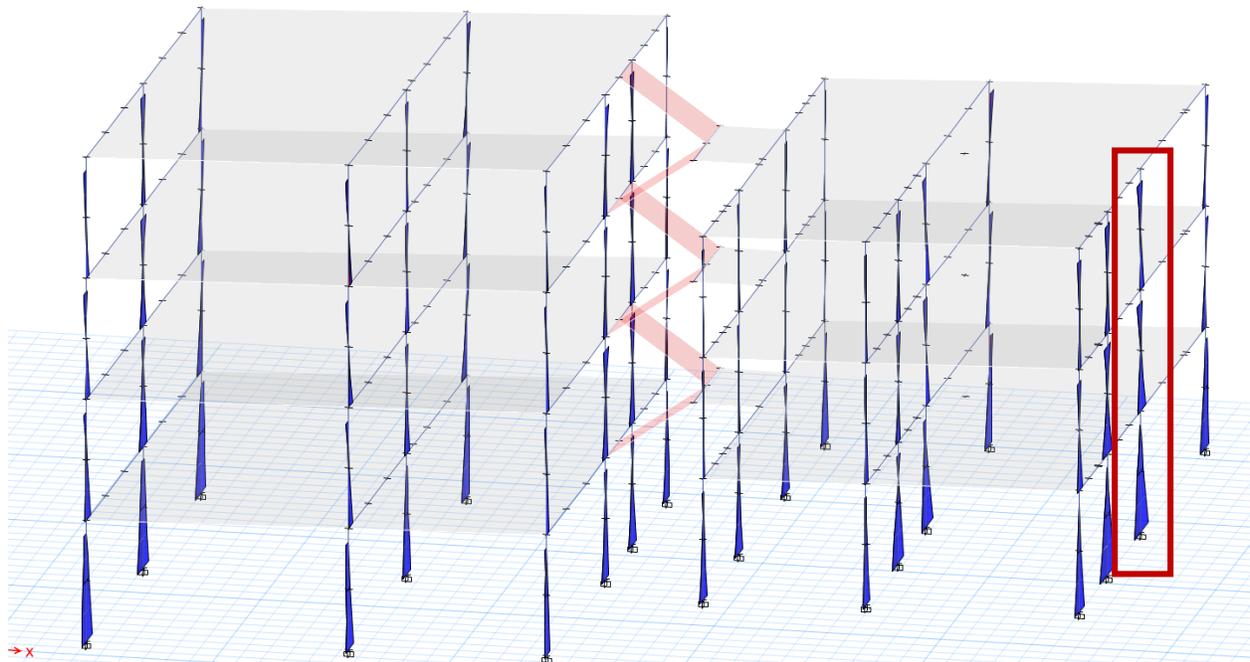


Figura 5. Distribución de momentos.

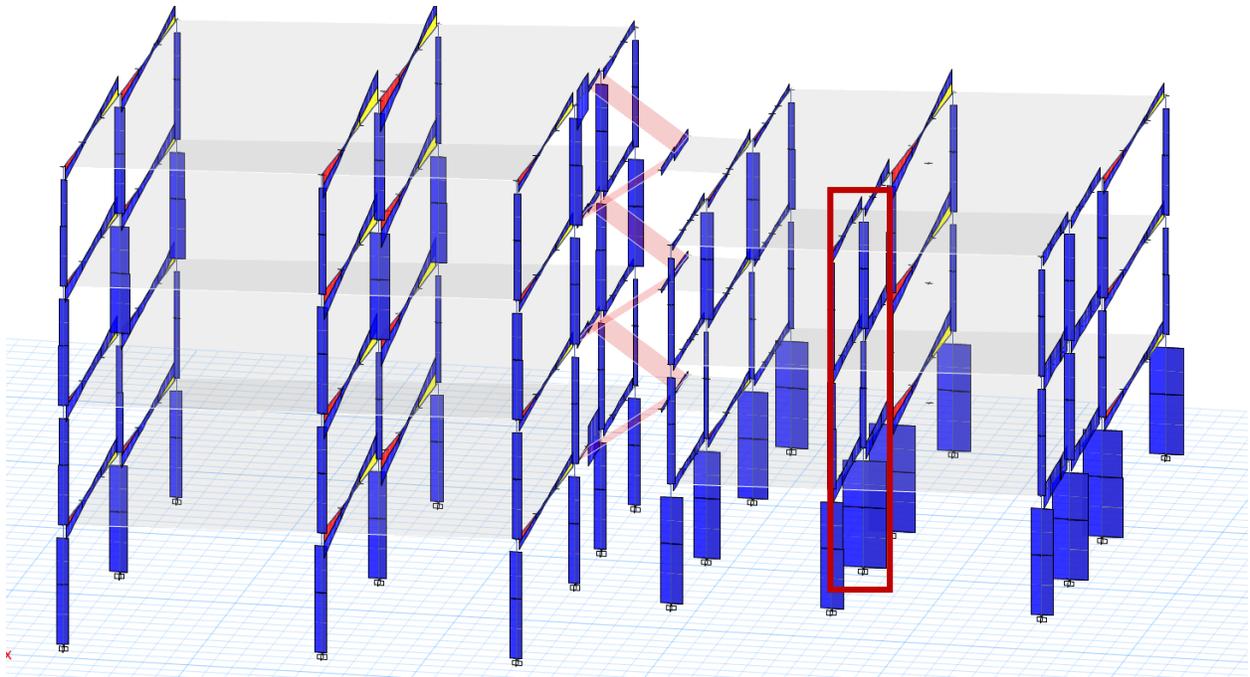


Figura 6. Distribución de cortantes.

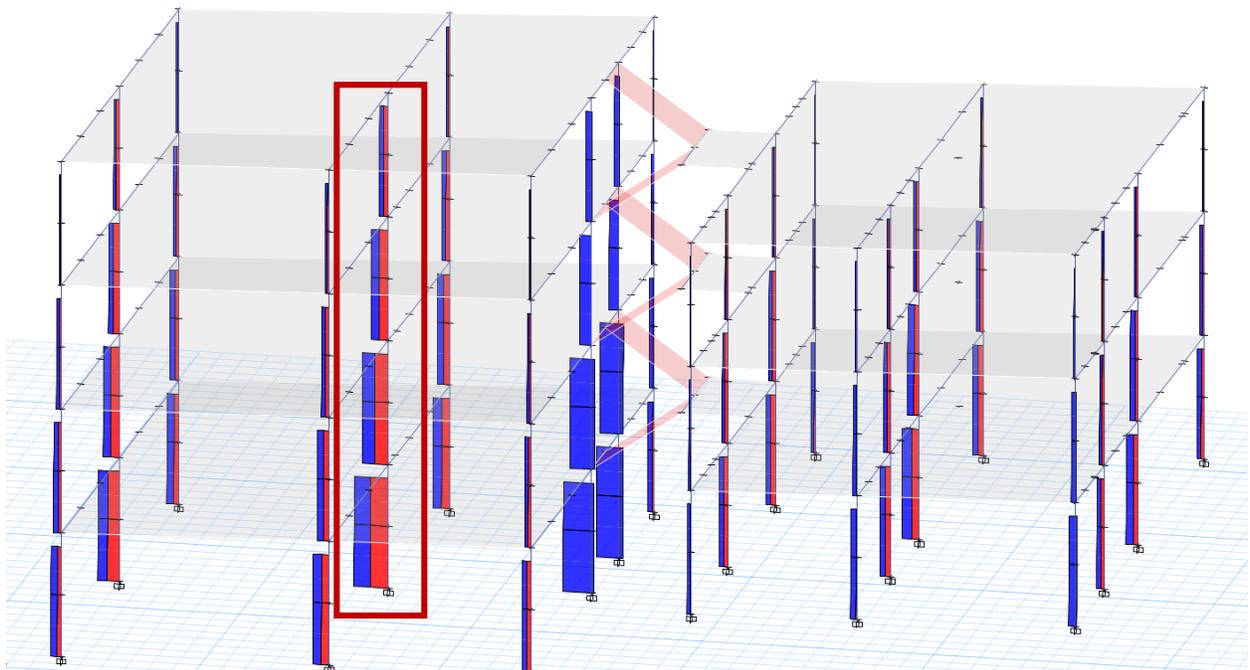


Figura 7. Distribución de carga axial.

A continuación, se presentan los índices de resistencia para las columnas del edificio en estudio, en la Tabla 7 se muestran algunos de los valores, mas, la totalidad de estos se encuentran en el Apéndice C:

Tabla 7.

*Índices de sobre resistencia de columnas*

Label	Story	Section	Location	P	M Major	M Minor	PMM Combo	PMM Ratio or Rebar %
				kN	kN-m	kN-m		
C1	P-5B	COL30X30 6-5	Top	84,722	5,299	-59,215	Comb4b	1,299
C1	P-5B	COL30X30 6-5	Bottom	82,799	18,713	-10,428	Comb4a	0,507
C2	P-5B	COL30X30 6-5	Top	118,297	5,355	-75,544	Comb4b	1,637
C2	P-5B	COL30X30 6-5	Bottom	118,824	18,739	-14,599	Comb4a	0,59
C3	P-5B	COL30X30 6-5	Top	19,512	4,245	-20,236	Comb4b	0,478
C3	P-5B	COL30X30 6-5	Bottom	26,261	17,061	-3,054	Comb4a	0,343
C8	P-5B	COL 35X35 6-6 2-5	Top	170,799	4,508	42,082	Comb4b	0,512
C8	P-5B	COL 35X35 6-6 2-5	Bottom	174,346	35,876	4,604	Comb4a	0,438
C9	P-5B	COL 35X35 6-6 2-5	Top	280,562	-7,525	26,521	Comb4b	0,409
C9	P-5B	COL 35X35 6-6 2-5	Bottom	284,182	36,080	7,626	Comb4a	0,496
C10	P-5B	COL 40X40 6-6 2-5	Top	196,047	5,414	-58,988	Comb4b	0,492
C10	P-5B	COL 40X40 6-6 2-5	Bottom	174,250	43,182	-11,160	Comb4a	0,401
C14	P-5B	COL30X30 6-5	Top	72,564	5,538	54,711	Comb4b	1,209
C14	P-5B	COL30X30 6-5	Bottom	70,449	21,457	9,151	Comb4a	0,525
C15	P-5B	COL30X30 6-5	Top	117,593	5,610	70,373	Comb4b	1,533
C15	P-5B	COL30X30 6-5	Bottom	118,000	21,541	13,335	Comb4a	0,613
C16	P-5B	COL30X30 6-5	Top	64,679	5,155	41,136	Comb4b	0,921
C16	P-5B	COL30X30 6-5	Bottom	65,490	20,373	9,072	Comb4a	0,505
C23	P-5B	COL 40X40 6-6 2-5	Top	-17,118	4,737	-35,517	Comb6b	0,338
C23	P-5B	COL 40X40 6-6 2-5	Bottom	121,493	42,143	5,955	Comb4a	0,344
C1	P-5A	COL30X30 6-5	Top	82,799	18,713	-10,428	Comb4a	0,507
C1	P-5A	COL30X30 6-5	Bottom	79,300	37,737	39,108	Comb4a	1,347
C2	P-5A	COL30X30 6-5	Top	118,824	18,739	-14,599	Comb4a	0,59
C2	P-5A	COL30X30 6-5	Bottom	118,374	37,812	57,286	Comb4a	1,697
C3	P-5A	COL30X30 6-5	Top	26,261	17,061	-3,054	Comb4a	0,343
C3	P-5A	COL30X30 6-5	Bottom	29,786	36,181	15,375	Comb4a	0,894
C4	P-5A	COL30X30 6-5	Top	26,531	4,065	-18,658	Comb4b	0,44
C4	P-5A	COL30X30 6-5	Bottom	32,911	19,955	-2,636	Comb4a	0,385
C5	P-5A	COL30X30 6-5	Top	110,776	4,712	-79,764	Comb4b	1,715
C5	P-5A	COL30X30 6-5	Bottom	111,096	21,050	-16,713	Comb4a	0,665
C7	P-5A	COL30X30 6-5	Top	69,281	4,866	-61,814	Comb4b	1,347
C7	P-5A	COL30X30 6-5	Bottom	68,500	21,223	-12,010	Comb4a	0,573
C8	P-5A	COL 35X35 6-6 2-5	Top	174,346	35,876	-4,604	Comb4a	0,438
C8	P-5A	COL 35X35 6-6 2-5	Bottom	179,144	72,115	-17,099	Comb4a	0,88
C9	P-5A	COL 35X35 6-6 2-5	Top	284,182	36,080	7,626	Comb4a	0,496
C9	P-5A	COL 35X35 6-6 2-5	Bottom	288,980	72,533	-13,239	Comb4a	0,891
C10	P-5A	COL 40X40 6-6 2-5	Top	174,250	43,182	-11,160	Comb4a	0,401
C10	P-5A	COL 40X40 6-6 2-5	Bottom	70,443	85,209	42,118	Comb4a	0,893

A continuación, se presentan los índices de sobre resistencia para las vigas del edificio en estudio, en la Tabla 8 se muestran algunos de los valores, mas, la totalidad de estos se encuentran en el Apéndice D:

Tabla 8.

*Índices de sobre resistencia para las vigas*

Story	Label	Design Section	Station	As Top	As Top	Indice Top	As Bottom	As Bottom	Indice Bottom
			m	Combo	m <sup>2</sup>		Combo	m <sup>2</sup>	
P-5B	B37	V3 60X30 CENTRO	0,2	Comb4b	0,000565	0,1548	Comb4b	0,000363	0,1447
P-5B	B37	V3 60X30 CENTRO	0,595	Comb4b	0,000327	0,0896	Comb4b	0,000305	0,1216
P-5B	B37	V3 60X30 CENTRO	0,99	Comb6b	0,000500	0,1370	Comb6b	0,000500	0,1993
P-5B	B37	V3 60X30 CENTRO	1,385	Comb6b	0,000824	0,2258	Comb4b	0,001010	0,4026
P-5B	B38	V3 60X30 CENTRO	0	Comb4b	0,000137	0,0375	Comb6b	0,000098	0,0391
P-5B	B38	V3 60X30 CENTRO	0,395	Comb6b	0,000050	0,0137	Comb4b	0,000079	0,0315
P-5B	B38	V3 60X30 CENTRO	0,79	Comb4b	0,000034	0,0093	Comb4b	0,000034	0,0136
P-5B	B38	V3 60X30 CENTRO	1,185	Comb4b	0,000086	0,0236	Comb4b	0,000043	0,0171
P-5B	B27	V1-V2 60X30 EXTREM	0,15	Comb4b	0,000641	0,2912	Comb4b	0,000410	0,1863
P-5B	B27	V1-V2 60X30 EXTREM	0,6036	Comb4b	0,000377	0,1713	Comb6b	0,000248	0,1127
P-5B	B27	V1-V2 60X30 EXTREM	1,0573	Comb4b	0,000201	0,0913	Comb4b	0,000479	0,2176
P-5B	B27	V1-V2 60X30 EXTREM	1,5109	Comb4b	0,000201	0,0913	Comb4b	0,000500	0,2272
P-5B	B27	V1-V2 60X30 EXTREM	1,9646	Comb6b	0,000000	0,0000	Comb4b	0,000580	0,2635
P-5B	B28	V1-V2 60X30 EXTREM	0	Comb6b	0,000000	0,0000	Comb4b	0,000580	0,2635
P-5B	B28	V1-V2 60X30 EXTREM	0,4911	Comb4b	0,000183	0,0831	Comb1a	0,000607	0,2758
P-5B	B28	V1-V2 60X30 EXTREM	0,9823	Comb4b	0,000183	0,0831	Comb1a	0,000591	0,2685
P-5B	B28	V1-V2 60X30 EXTREM	1,4734	Comb4b	0,000183	0,0831	Comb4b	0,000500	0,2272
P-5B	B28	V1-V2 60X30 EXTREM	1,9646	Comb6b	0,000000	0,0000	Comb4b	0,000495	0,2249
P-5B	B29	V1-V2 60X30 CENTRO	0	Comb6b	0,000000	0,0000	Comb4b	0,000496	0,2339
P-5B	B29	V1-V2 60X30 CENTRO	0,4474	Comb4b	0,000374	0,1257	Comb4b	0,000374	0,1763
P-5B	B29	V1-V2 60X30 CENTRO	0,8948	Comb4b	0,000474	0,1593	Comb4b	0,000374	0,1763
P-5B	B29	V1-V2 60X30 CENTRO	1,3422	Comb4b	0,000750	0,2520	Comb4b	0,000374	0,1763
P-5B	B29	V1-V2 60X30 CENTRO	1,7896	Comb4b	0,001273	0,4278	Comb4b	0,000582	0,2744
P-5B	B30	V1-V2 60X30 CENTRO	0,175	Comb4b	0,001278	0,4294	Comb4b	0,000584	0,2753
P-5B	B30	V1-V2 60X30 CENTRO	0,6348	Comb4b	0,000738	0,2480	Comb4b	0,000375	0,1768
P-5B	B30	V1-V2 60X30 CENTRO	1,0946	Comb4b	0,000443	0,1489	Comb4b	0,000375	0,1768
P-5B	B30	V1-V2 60X30 CENTRO	1,5545	Comb4b	0,000375	0,1260	Comb4b	0,000375	0,1768
P-5B	B30	V1-V2 60X30 CENTRO	2,0143	Comb6b	0,000000	0,0000	Comb4b	0,000500	0,2357
P-5B	B31	V1-V2 60X30 EXTREM	0	Comb6b	0,000000	0,0000	Comb4b	0,000500	0,2272
P-5B	B31	V1-V2 60X30 EXTREM	0,4029	Comb4b	0,000190	0,0863	Comb4b	0,000505	0,2294
P-5B	B31	V1-V2 60X30 EXTREM	0,8057	Comb4b	0,000190	0,0863	Comb1a	0,000606	0,2753
P-5B	B31	V1-V2 60X30 EXTREM	1,2086	Comb4b	0,000190	0,0863	Comb1a	0,000650	0,2953
P-5B	B31	V1-V2 60X30 EXTREM	1,6114	Comb4b	0,000190	0,0863	Comb1a	0,000635	0,2885
P-5B	B31	V1-V2 60X30 EXTREM	2,0143	Comb6b	0,000000	0,0000	Comb4b	0,000602	0,2735

El máximo índice de sobreesfuerzo para cualquier elemento es de **1.926 > 1.0**, razón por la cual se requiere el reforzamiento de la estructura, en este caso de las columnas.

## 5.9 Etapa 9

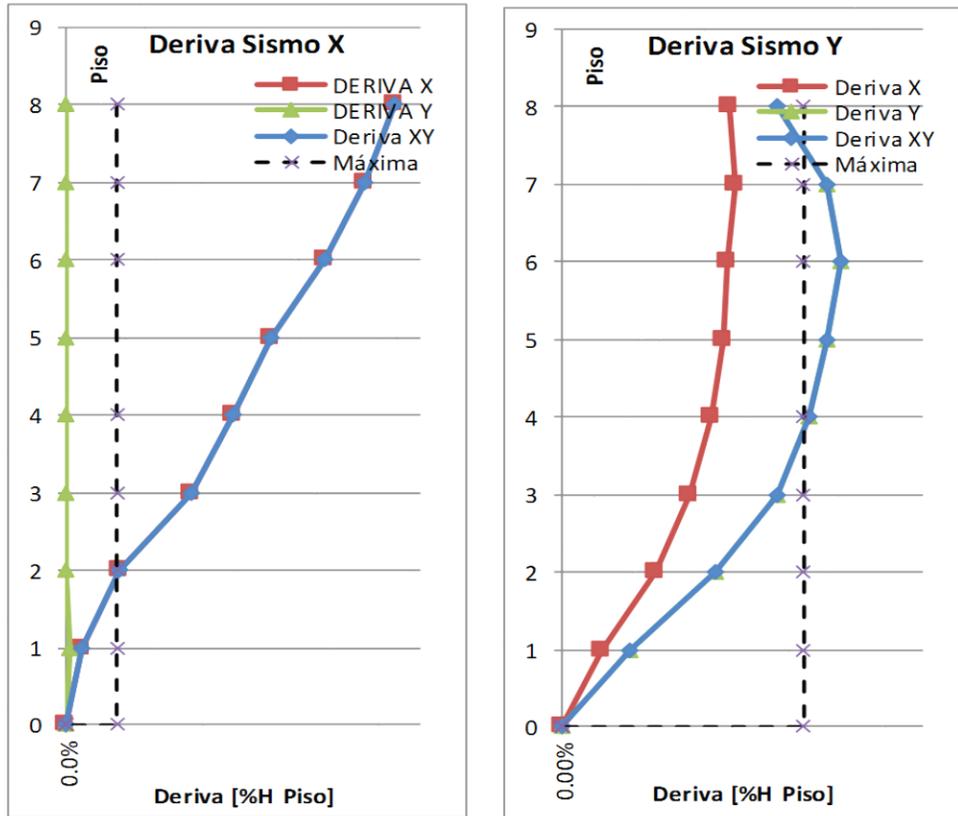
“Utilizando los desplazamientos horizontales obtenidos en el análisis de la Etapa 5 deben obtenerse las derivas de la estructura” (NSR-10).

Considerando que no se tienen irregularidades en planta del tipo 1aP o 1bP, la deriva puede ser calculada como el valor absoluto de la diferencia algebraica de los desplazamientos horizontales del centro de masa del diafragma de cada piso en las dos direcciones principales de estudio con respecto a los del diafragma del piso inmediatamente inferior en las mismas direcciones, incluyendo los efectos P-Delta (NSR-10). En la Tabla 9 se muestran los valores de deriva para cada piso.

Tabla 9.

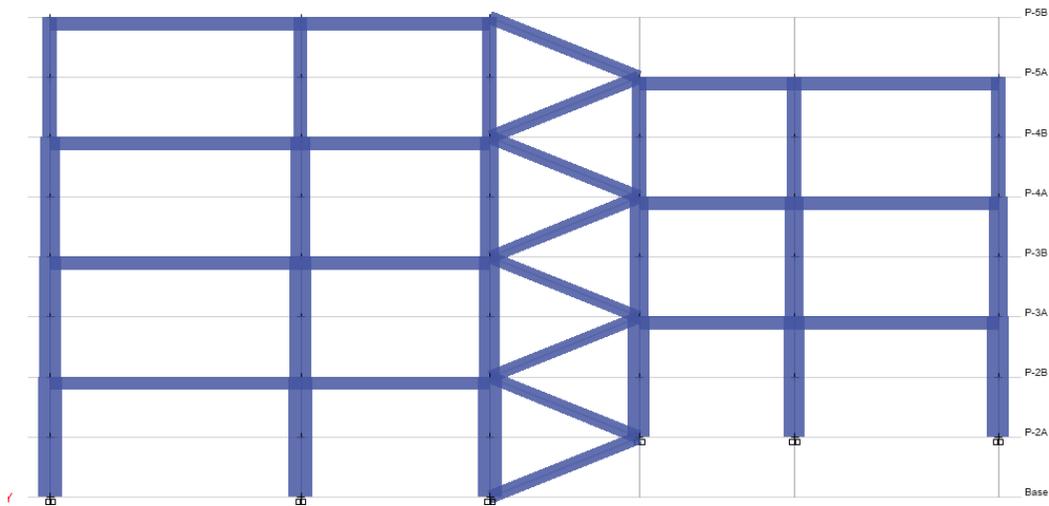
### *Deriva máxima de piso*

PISO	SISMO X				SISMO Y				
	X	Y	Max Drift XY	ESTADO	X	Y	Max Drift XY	ESTADO	MAX
P-5B	6,5%	0,0%	6,5%	NO CUMPLE	0,69%	0,89%	0,89%	o.k	1,00%
P-5A	5,9%	0,0%	5,9%	NO CUMPLE	0,72%	1,10%	1,10%	o.k*	1,00%
P-4B	5,1%	0,0%	5,1%	NO CUMPLE	0,69%	1,15%	1,15%	o.k*	1,00%
P-4A	4,1%	0,0%	4,1%	NO CUMPLE	0,66%	1,10%	1,10%	o.k*	1,00%
P-3B	3,3%	0,0%	3,3%	NO CUMPLE	0,62%	1,02%	1,02%	o.k*	1,00%
P-3A	2,5%	0,0%	2,5%	NO CUMPLE	0,52%	0,89%	0,89%	o.k	1,00%
P-2B	1,0%	0,0%	1,0%	o.k*	0,39%	0,63%	0,63%	o.k	1,00%
P-2A	0,3%	0,1%	0,3%	o.k	0,16%	0,28%	0,28%	o.k	1,00%



(a) Derivas de niveles.

Figura 8. Derivas de niveles



(b) Identificación de niveles.

Figura 9. Derivas e identificación de niveles.

### 5.10 Etapa 10

“Debe determinarse un índice de flexibilidad por efectos horizontales como el máximo cociente entre las derivas obtenidas en la Etapa 9 y las derivas permitidas por el reglamento en el capítulo A.6.” (NSR-10).

El máximo índice de flexibilidad de la estructura corresponde a  $6.5\%/1.43\% = 4.54 > 1.0$  (resaltado en la Tabla 9), razón por la cual se requiere aumentar la rigidez global de la estructura.

## 6. Análisis pushover de la Estructura Existente

Adicional a los requerimientos que plantea la NSR-10 para el estudio de una edificación de este tipo, en esta monografía se propone estimar la curva de desempeño por medio de un análisis del tipo pushover, esto con el fin de comparar el desempeño antes y después del reforzamiento propuesto.

Para llevar a cabo el análisis pushover, se tomó la decisión de dividir la estructura en dos bloques, esto debido a su configuración arquitectónica, pues se compone básicamente de dos bloques rectangulares conectados solamente por la escalera, tal y como se presenta en la Figura 10.

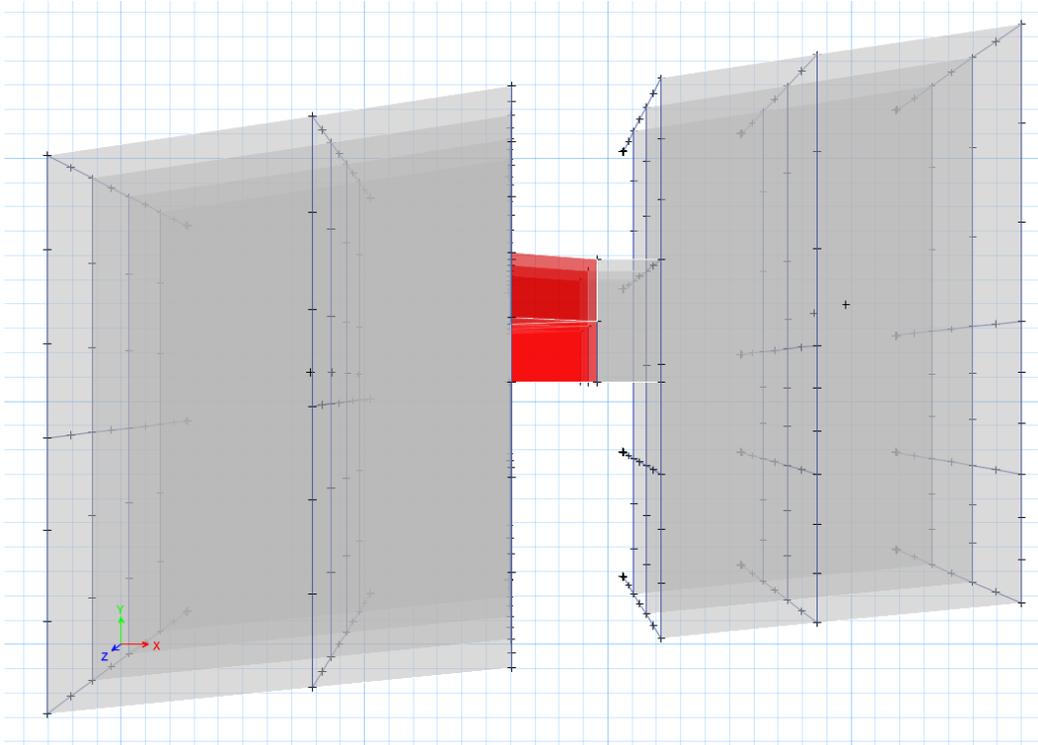


Figura 10. Vista en planta del modelo.

Por esta razón de ahora en adelante se analizarán por aparte dos bloques, el bloque A para el segmento de la izquierda, y el bloque B para el segmento de la derecha.

## 7. Determinación de Rotulas y Rigidez Efectiva para Vigas y Columnas

Las rotulas en columnas se determinarán con la ayuda de la herramienta integrada dentro del software ETABS, tomando como insumo el refuerzo que se le asignó a cada tramo según la información registrada en los planos de construcción del proyecto, como se muestra en la **Figura**.

Auto Hinge Assignment Data

Auto Hinge Type  
From Tables In ASCE 41-13

Select a Hinge Table  
Table 10-8 (Concrete Columns)

Degree of Freedom  
 M2  P-M2  Parametric P-M2-M3  
 M3  P-M3  
 M2-M3  P-M2-M3

Concrete Column Failure Condition  
 Condition i - Flexure  Condition iii - Shear  
 Condition ii - Flexure/Shear  Condition iv - Development

Deformation Controlled Hinge Load Carrying Capacity  
 Drops Load After Point E  
 Is Extrapolated After Point E

P and V Values From  
 Case/Combo Comb1  
 User Value  
V2  kN V3  kN

Shear Reinforcing Ratio  $p = A_v / (b_w * s)$   
 From Current Design  
 User Value

OK Cancel

Figura 11. Definición de rotulas en columnas.

Para las vigas se empleó la herramienta de código abierto CUMBIA, la cual corre sobre la plataforma de Matlab. Al igual que con las columnas, el programa se alimenta con el refuerzo de las vigas presente en los planos de construcción, a continuación, se presenta en la Tabla 10 el resumen con la información para la creación de las rotulas plasticas y en la Figura 3 un ejemplo de creación de rotula en el modelo.

Tabla 10.

*Informacion para creacion de rotulas*

VIGA	H (mm)	B (mm)	My (KN.m)	MU (KN.m)	$\phi_y$	$\phi_u$	Hing lenght	IO	LS	CP	IE efectiva	FACTOR INERCIA
S1	300	600	128,71	209,31	0,00876	0,24923	0,16	0,071	0,165	0,321	14692,922	0,554
S2	300	600	166,91	240,33	0,00918	0,21184	0,16	0,072	0,165	0,322	18181,917	0,685
S3	300	600	145,04	232,34	0,00865	0,24308	0,16	0,071	0,165	0,321	16767,630	0,632
S4	300	600	186,15	263,45	0,00853	0,18447	0,16	0,071	0,165	0,321	21822,978	0,822
S5	300	500	101,42	138,41	0,0878	0,2169	0,16	0,150	0,244	0,400	1155,125	0,052
S6	300	500	133,95	188,38	0,0088	0,20225	0,16	0,071	0,165	0,321	15221,591	0,688
S8	300	500	101,42	138,41	0,00878	0,2169	0,16	0,071	0,165	0,321	11551,253	0,522
S9	300	500	101,8	164,79	0,00879	0,26465	0,16	0,071	0,165	0,321	11581,342	0,524
S10	300	500	87,6	130,41	0,0877	0,24859	0,15	0,154	0,254	0,421	998,860	0,045
S11	300	500	109,22	158,05	0,00866	0,22213	0,15	0,075	0,175	0,342	12612,009	0,570
S13	300	400	61,15	100,63	0,00839	0,29442	0,141	0,079	0,186	0,363	7288,439	0,412

Hinge Property Data for S1 - Moment M3

Displacement Control Parameters

Point	Moment/SF	Curvature/SF
E-	0	-0.24923
D-	0	-0.24923
C-	-209.31	-0.24923
B-	-128.71	0
A	0	0
B	128.71	0
C	209.31	0.24923
D	0	0.24923
E	0	0.24923

Symmetric

Type

Moment - Rotation

Moment - Curvature

Hinge Length

Relative Length

Hysteresis Type and Parameters

Hysteresis

No Parameters Are Required For This Hysteresis Type

Load Carrying Capacity Beyond Point E

Drops To Zero

Is Extrapolated

Scaling for Moment and Curvature

Use Yield Moment    Moment SF     Positive     Negative    kN-m

Use Yield Curvature    Curvature SF     Positive     Negative    1/m  
(Steel Objects Only)

Acceptance Criteria (Plastic Curvature/SF)

	Positive	Negative
<input checked="" type="checkbox"/> Immediate Occupancy	<input type="text" value="0.071"/>	<input type="text" value="-0.071"/>
<input type="checkbox"/> Life Safety	<input type="text" value="0.165"/>	<input type="text" value="-0.165"/>
<input type="checkbox"/> Collapse Prevention	<input type="text" value="0.321"/>	<input type="text" value="-0.321"/>

Show Acceptance Criteria on Plot

OK    Cancel

Figura 12. Ejemplo definición de rotulas.

## 8. Distribución de la Carga Lateral

La carga lateral se aplicará según la distribución de los modos principales piso a piso en cada una de las direcciones principales, para el sentido X se aplicará la distribución del primer modo, y para el sentido Y la del segundo modo, tal y como se muestran en la Tabla 11 y la gráfica 2.

Tabla 11.

*Valores formas modales*

PISO	Modo 1	Modo 2
P-5B	1	0.32
P-5A	0.79	1
P-4B	0.58	0.82
P-4A	0.4	0.61
P-3B	0.25	0.4
P-3A	0.13	0.21
P-2B	0.05	0.07
Base	0	0

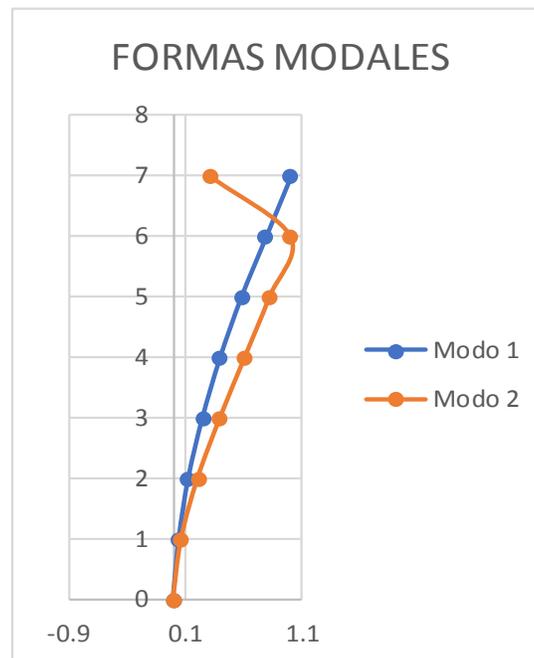


Figura 13. Formas modales

## 9. Resultados del Análisis pushover

Se aplicó carga lateral en las dos direcciones principales de análisis X y Y, además en los dos sentidos positivo y negativo, como resultado se obtiene la curva de desplazamiento en la cubierta vs cortante en la base, así como las rotulas en los elementos y el nivel de desempeño en el que se encuentra cada rotula.

### 9.1 pushover sentido X positivo Torre A

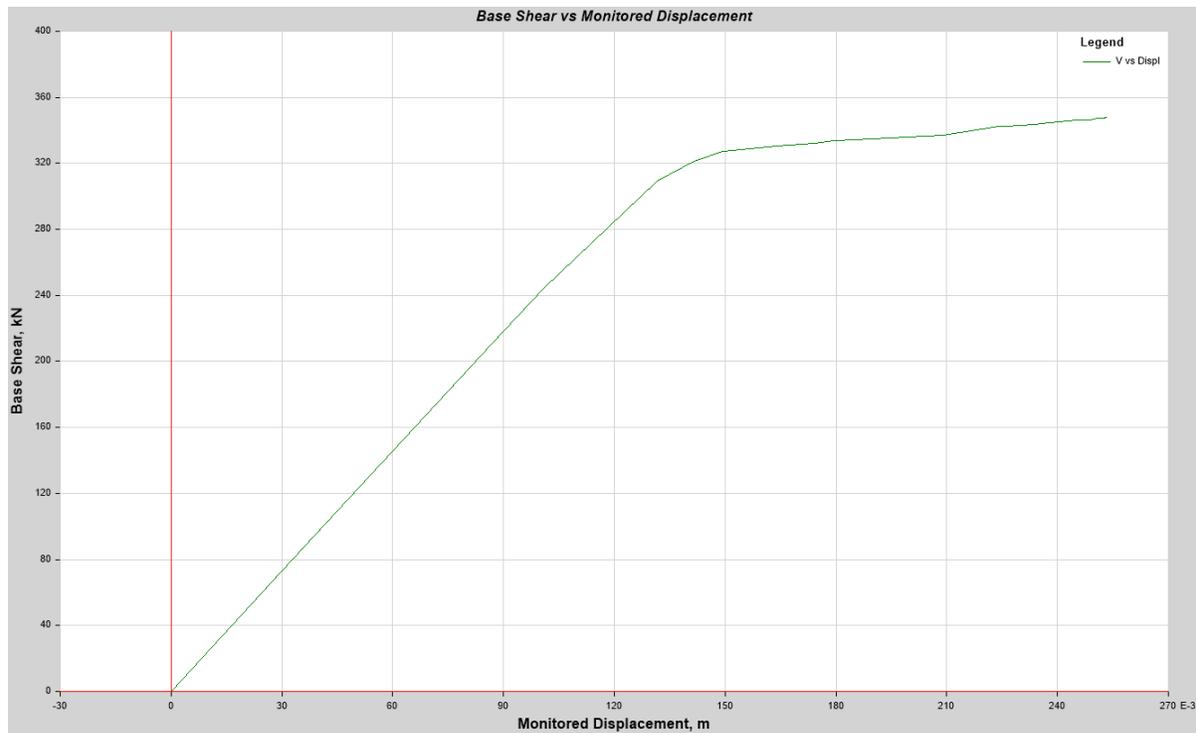


Figura 14. Curva pushover sentido X positivo, Torre A

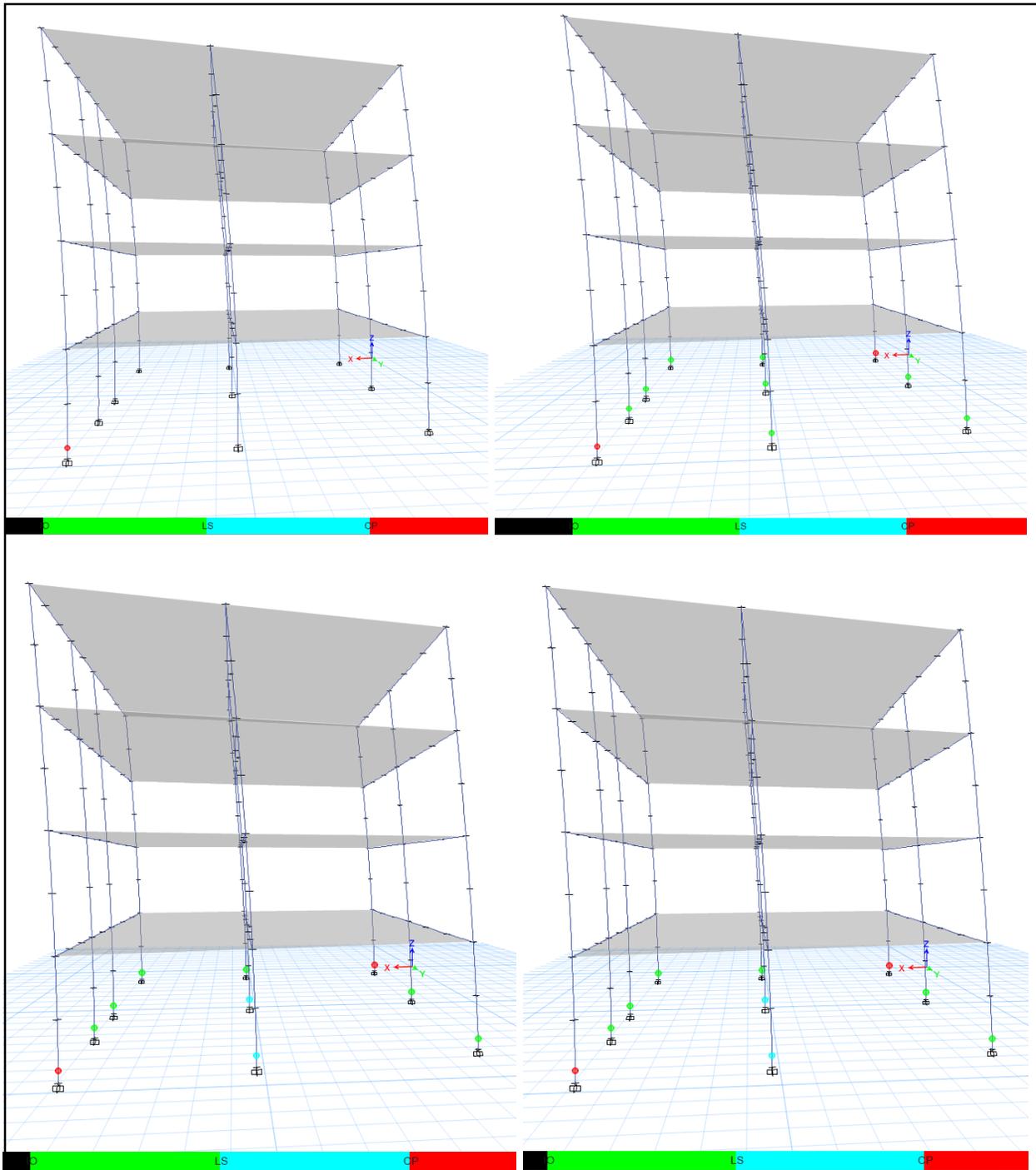


Figura 15. Rotulas pushover sentido X positivo, torre A

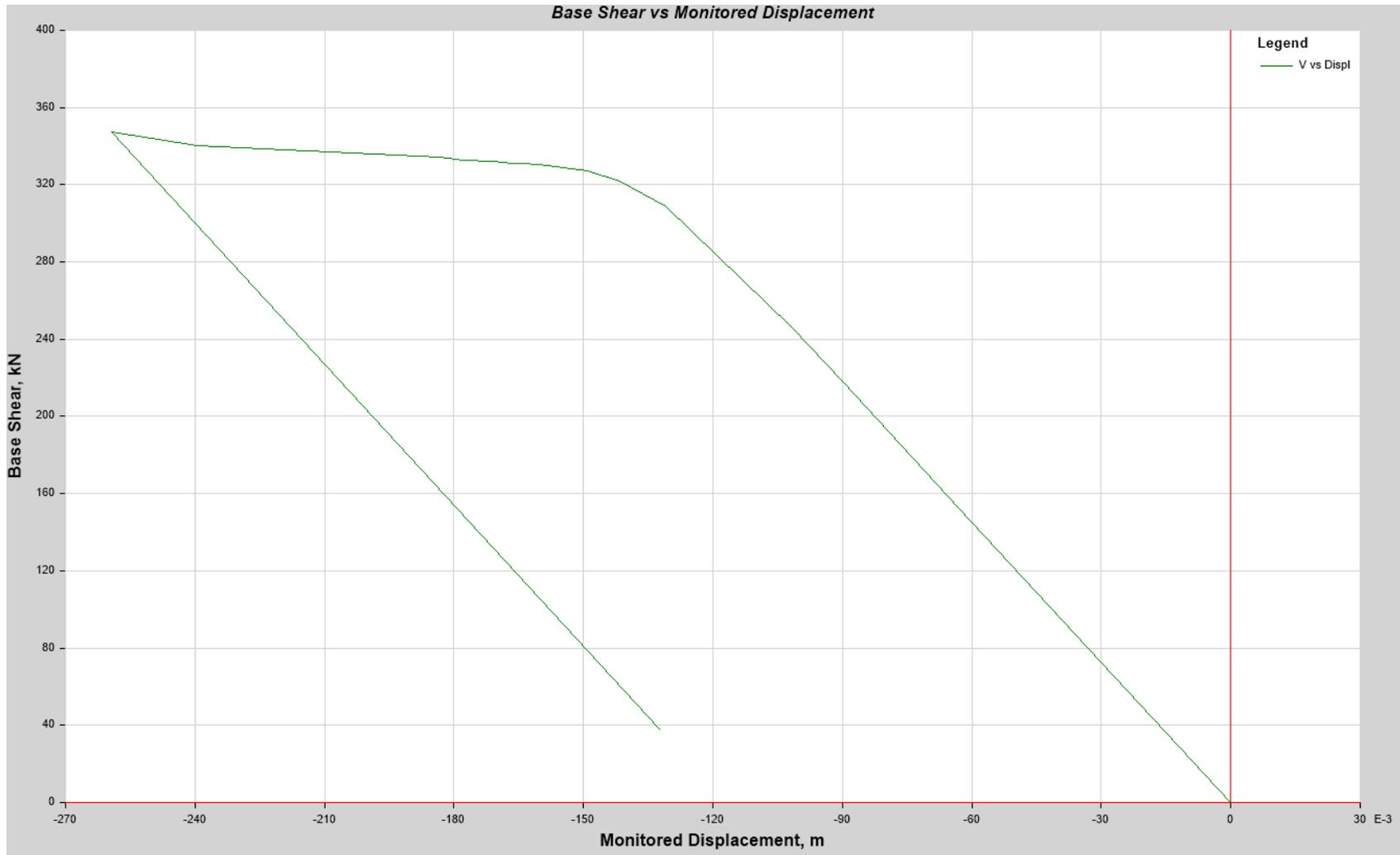
**9.2 pushover sentido X negativo, Torre A**

Figura 16. Curva pushover sentido X negativo, Torre A

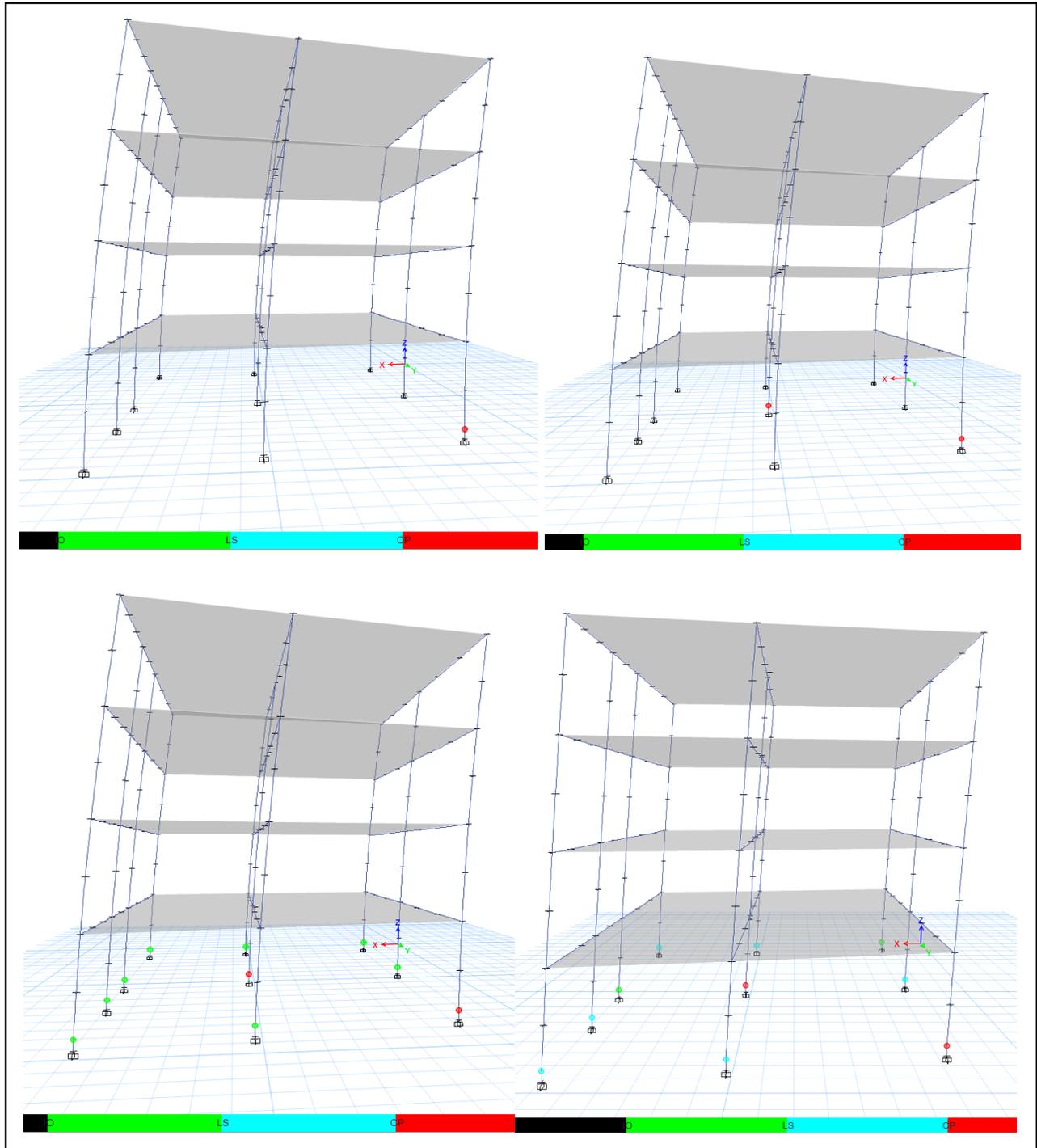


Figura 17. Rotulas pushover sentido X negativo, Torre A

### 9.3 pushover sentido y positivo, Torre A

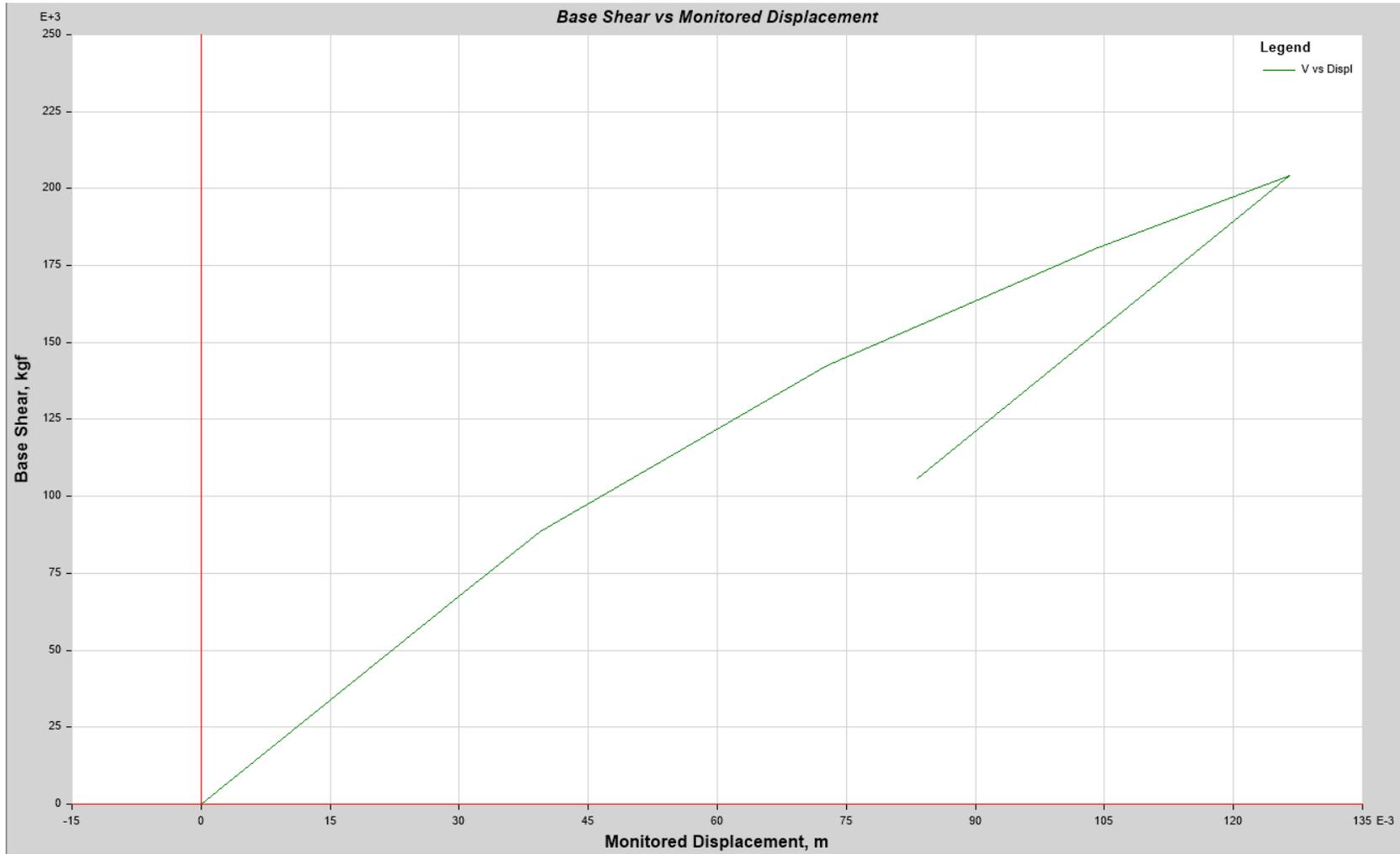


Figura 18. Curva pushover sentido Y positivo, Torre A

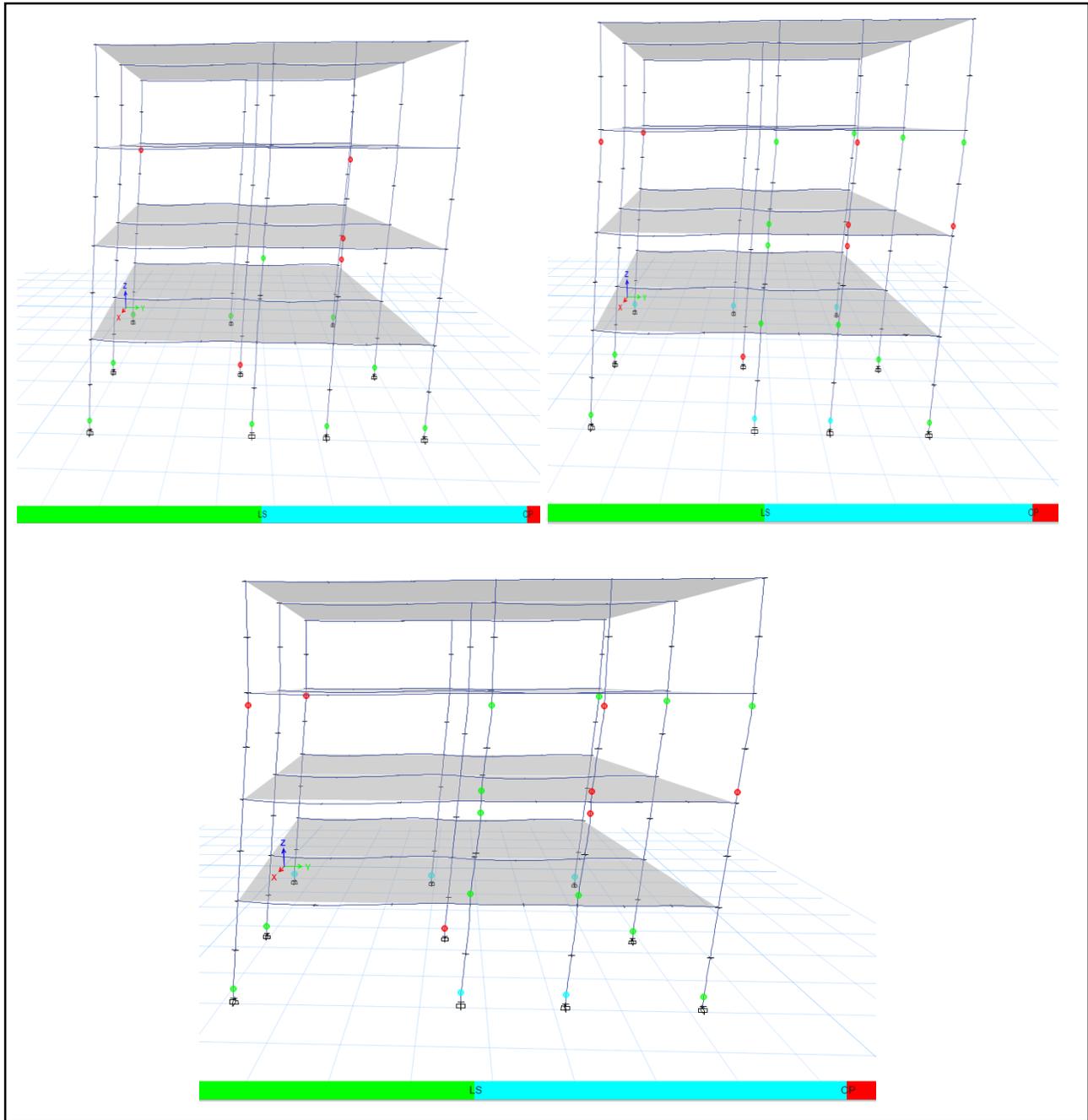


Figura 19. Rotulas pushover sentido Y positivo, Torre A

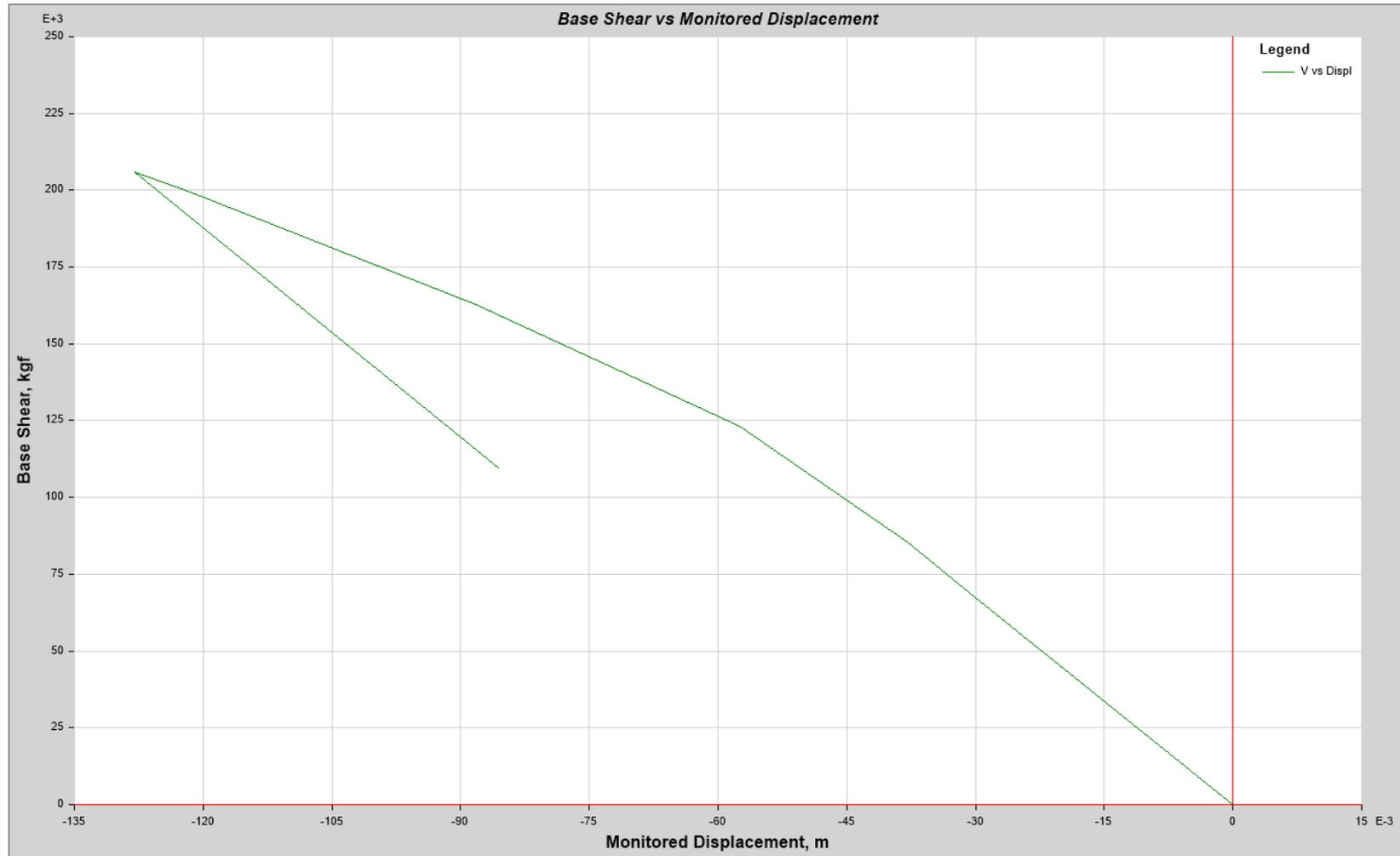
**9.4 pushover sentido Y negativo, Torre A**

Figura 20. Curva pushover sentido Y negativo, Torre A

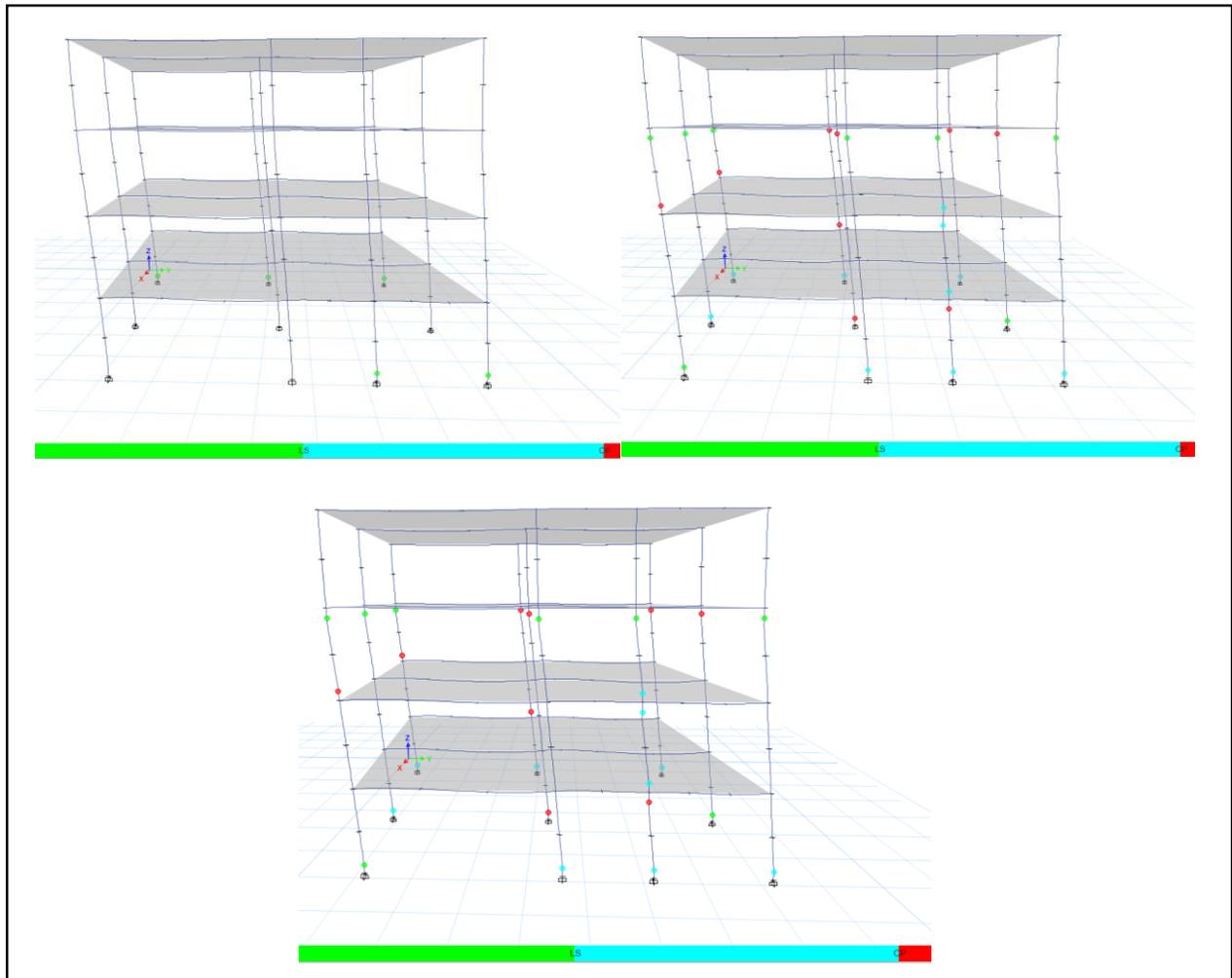


Figura 21. Rotulas pushover sentido y negativo, Torre A

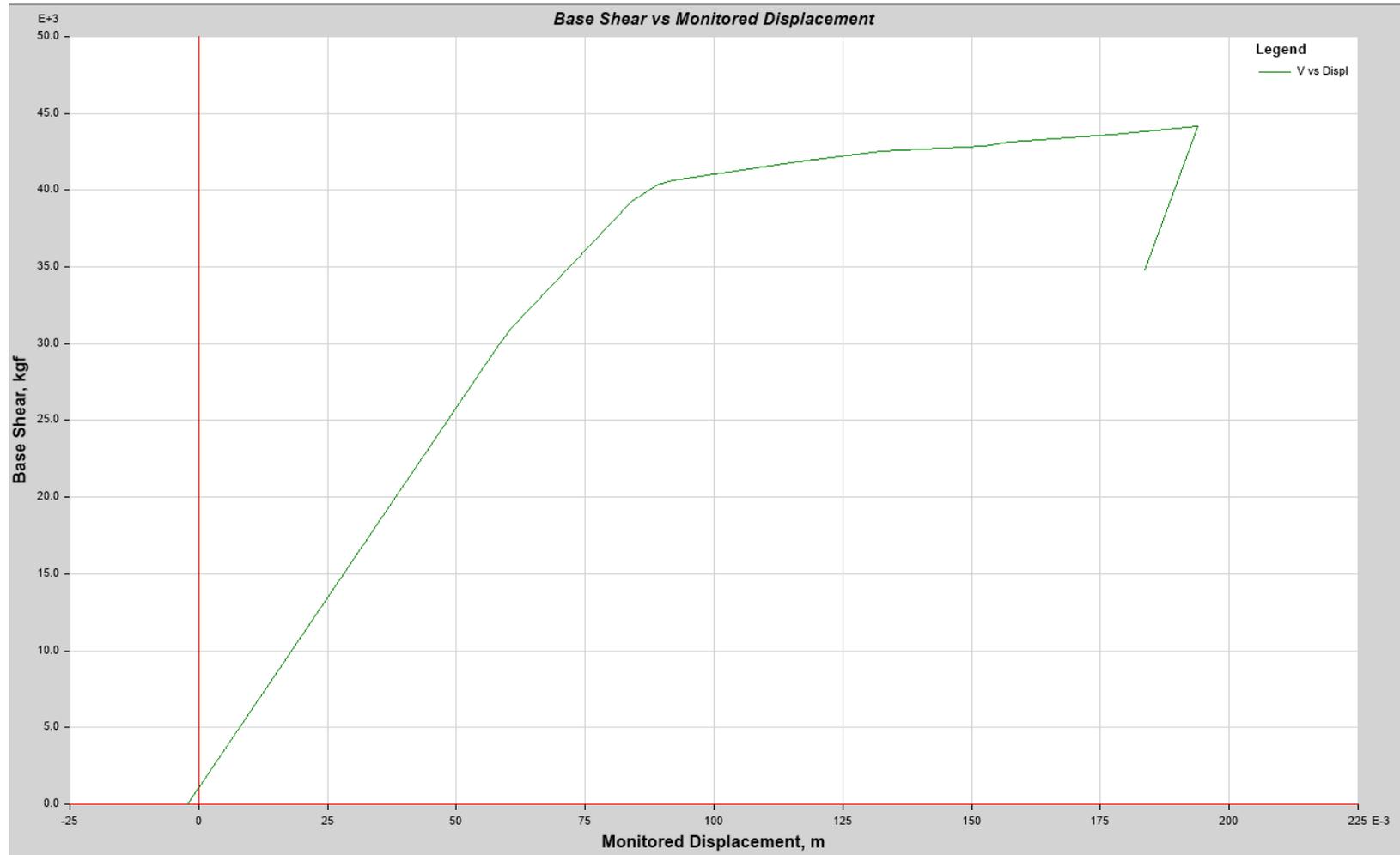
**9.5 pushover sentido X positivo Torre B**

Figura 22. Curva pushover sentido X positivo, Torre B

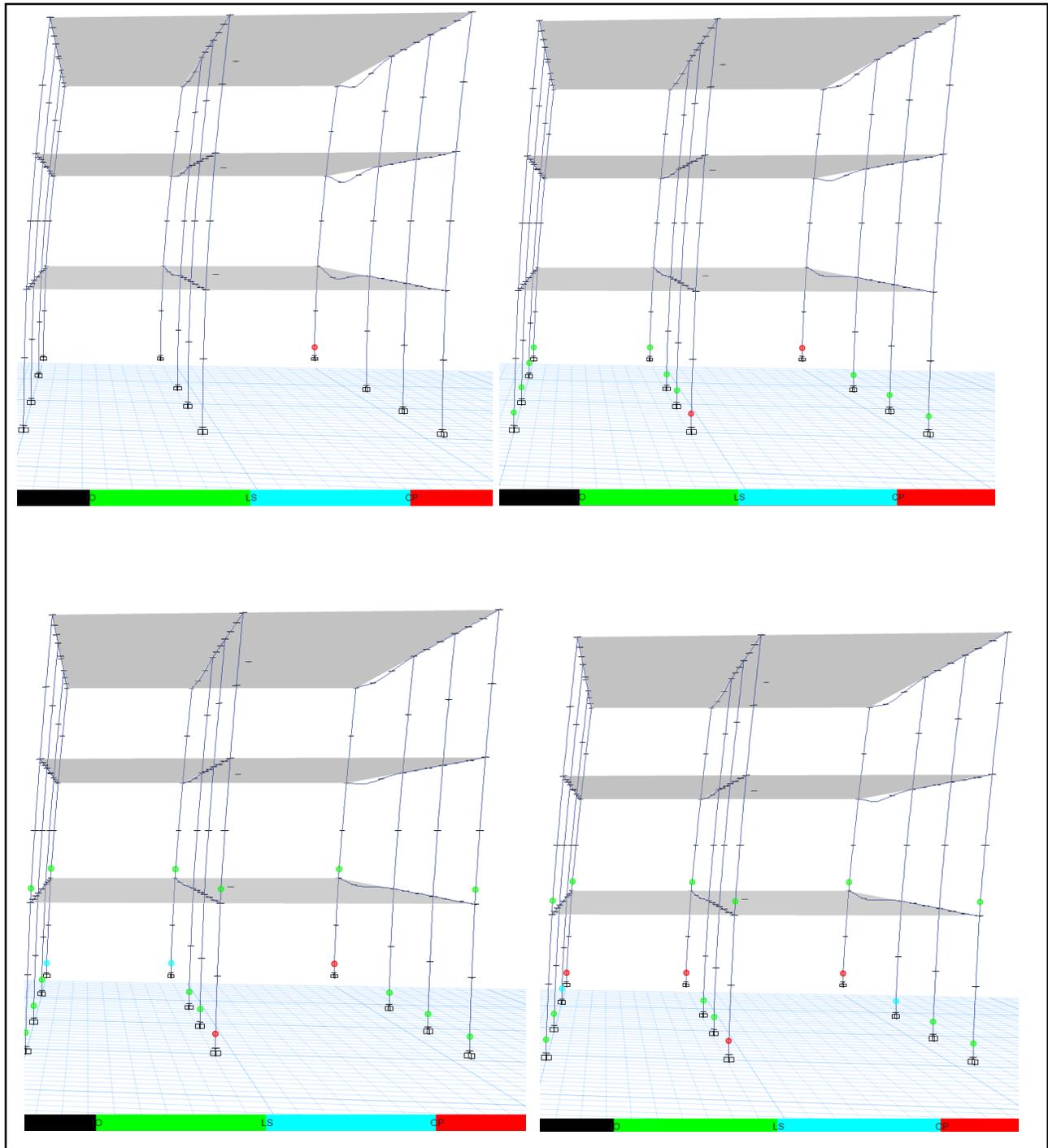


Figura 23. Rotulas pushover sentido X positivo, Torre B

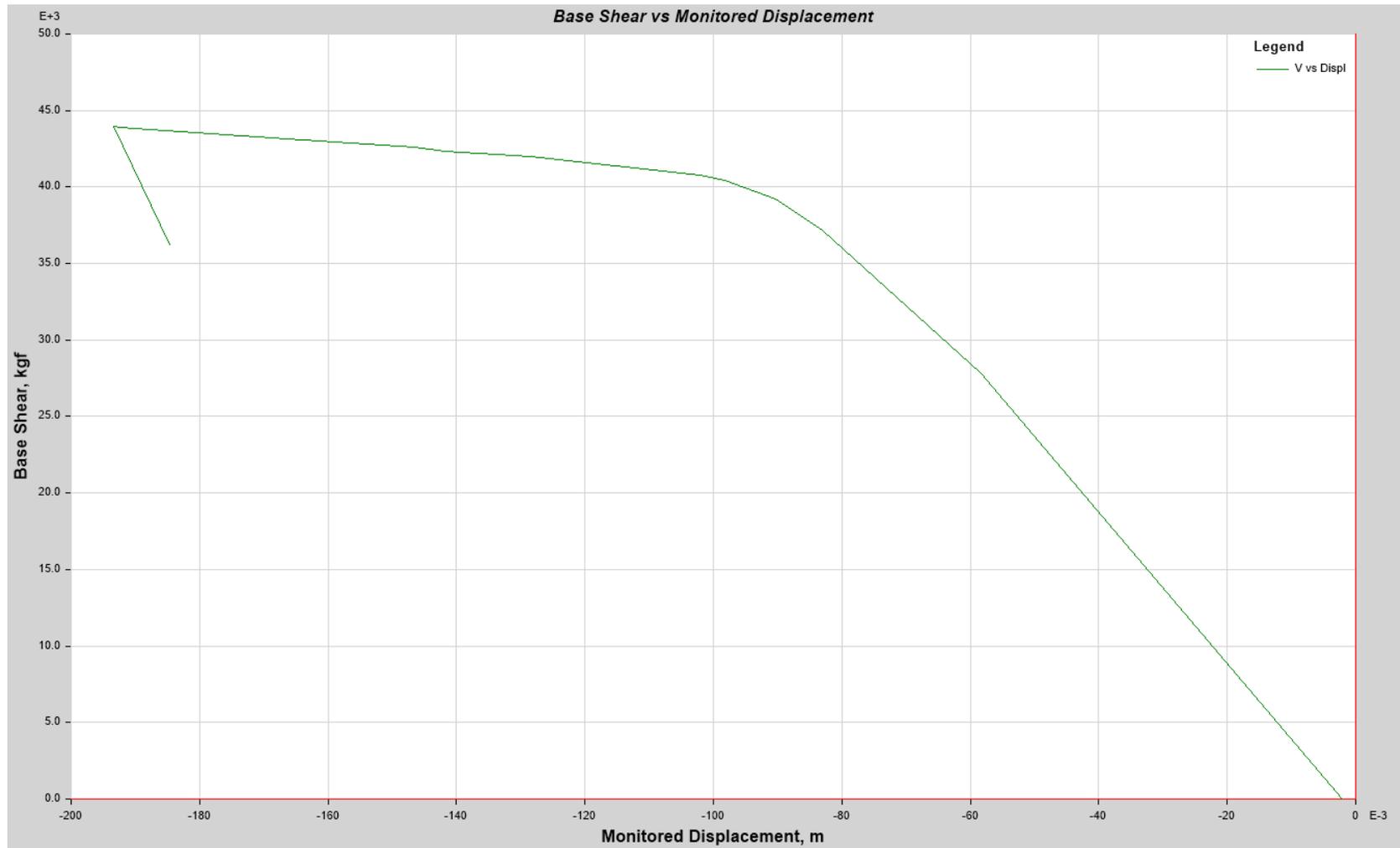
**9.6 pushover sentido X negativo Torre B**

Figura 24. Curva pushover sentido X negativo, Torre B

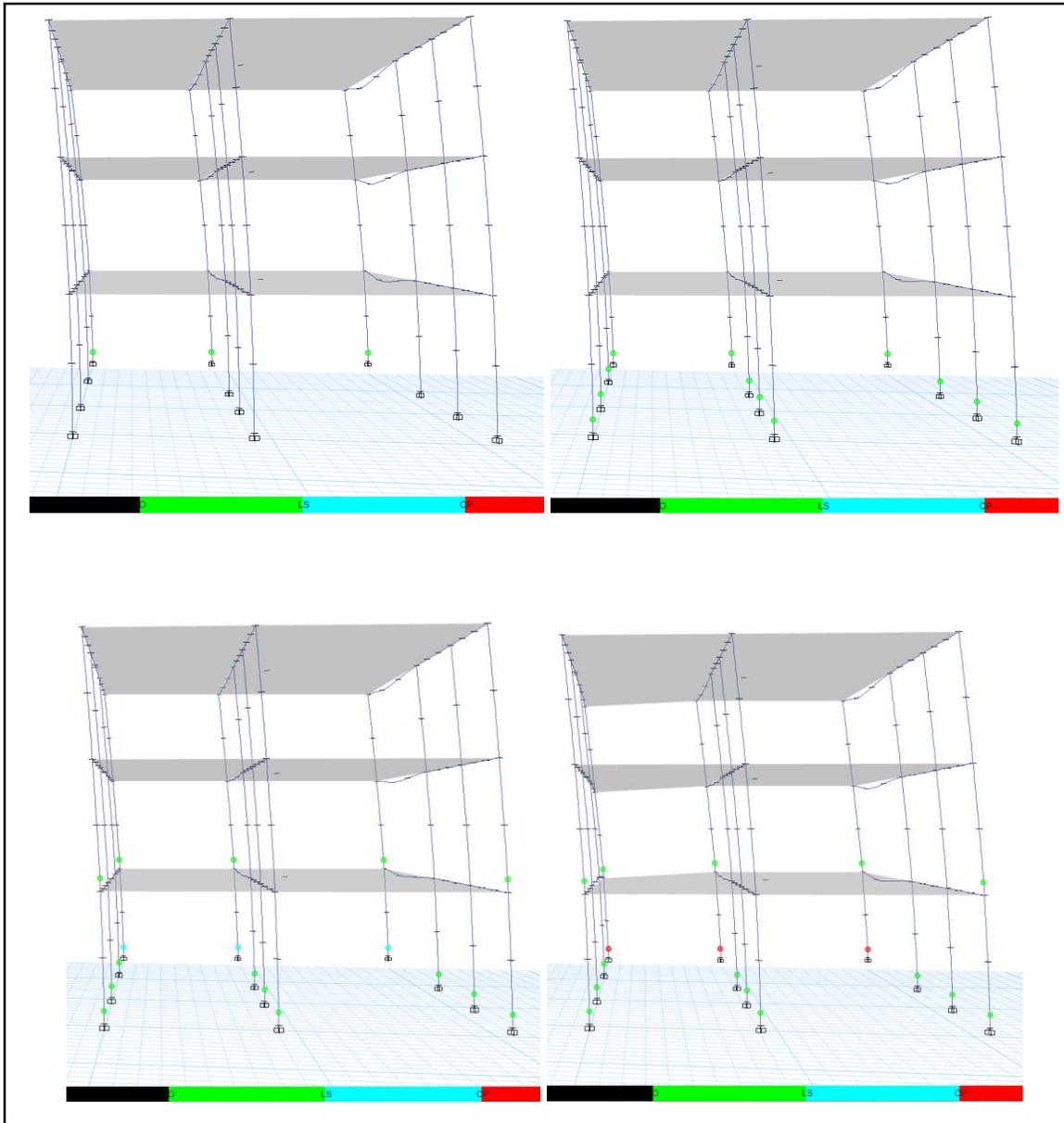


Figura 25. Rotulas pushover sentido X negativo, torre B

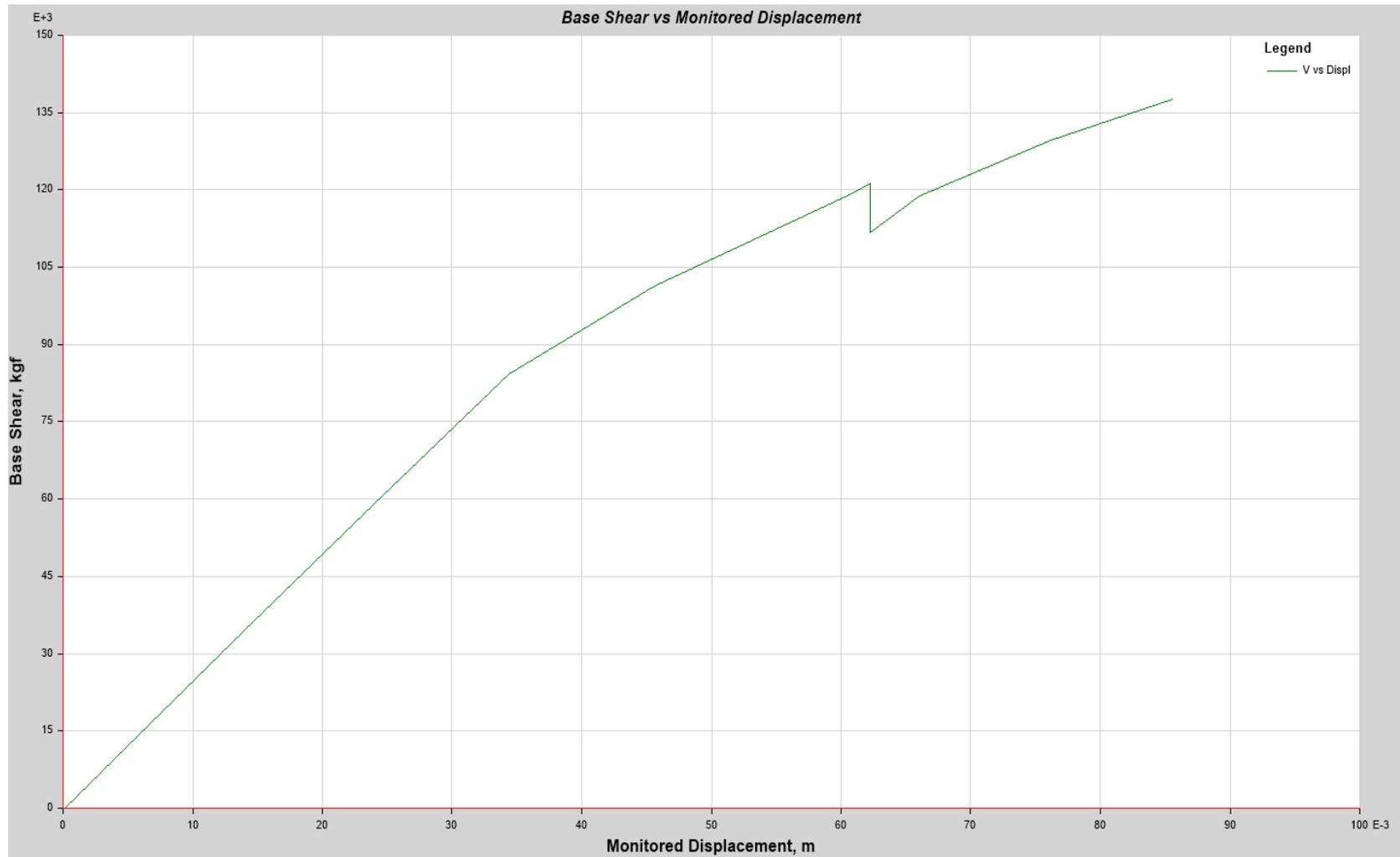
**9.7 pushover sentido Y positivo Torre B**

Figura 26. Curva pushover sentido Y positivo, Torre B

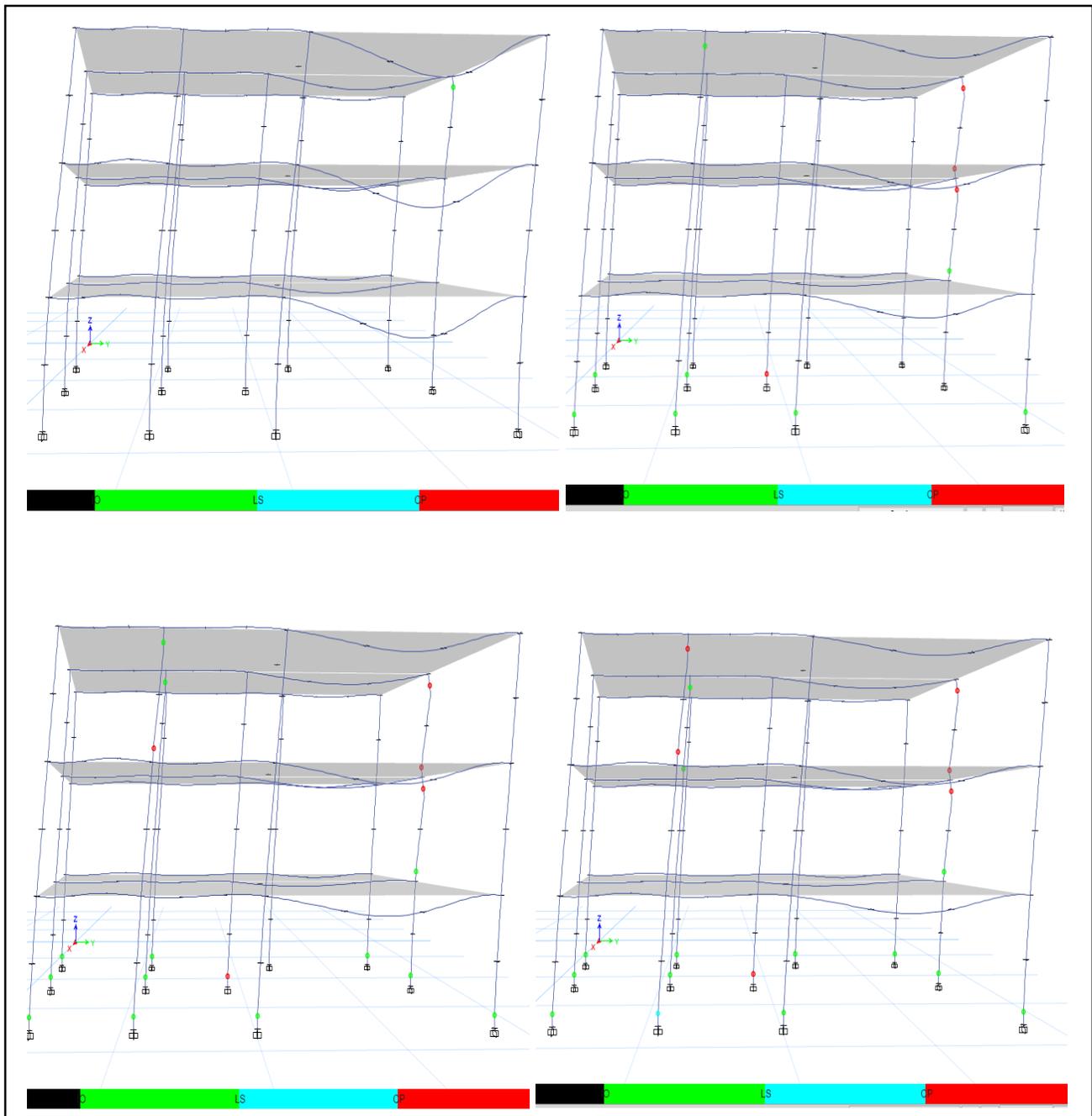


Figura 27. Rotulas pushover sentido y positivo, Torre B

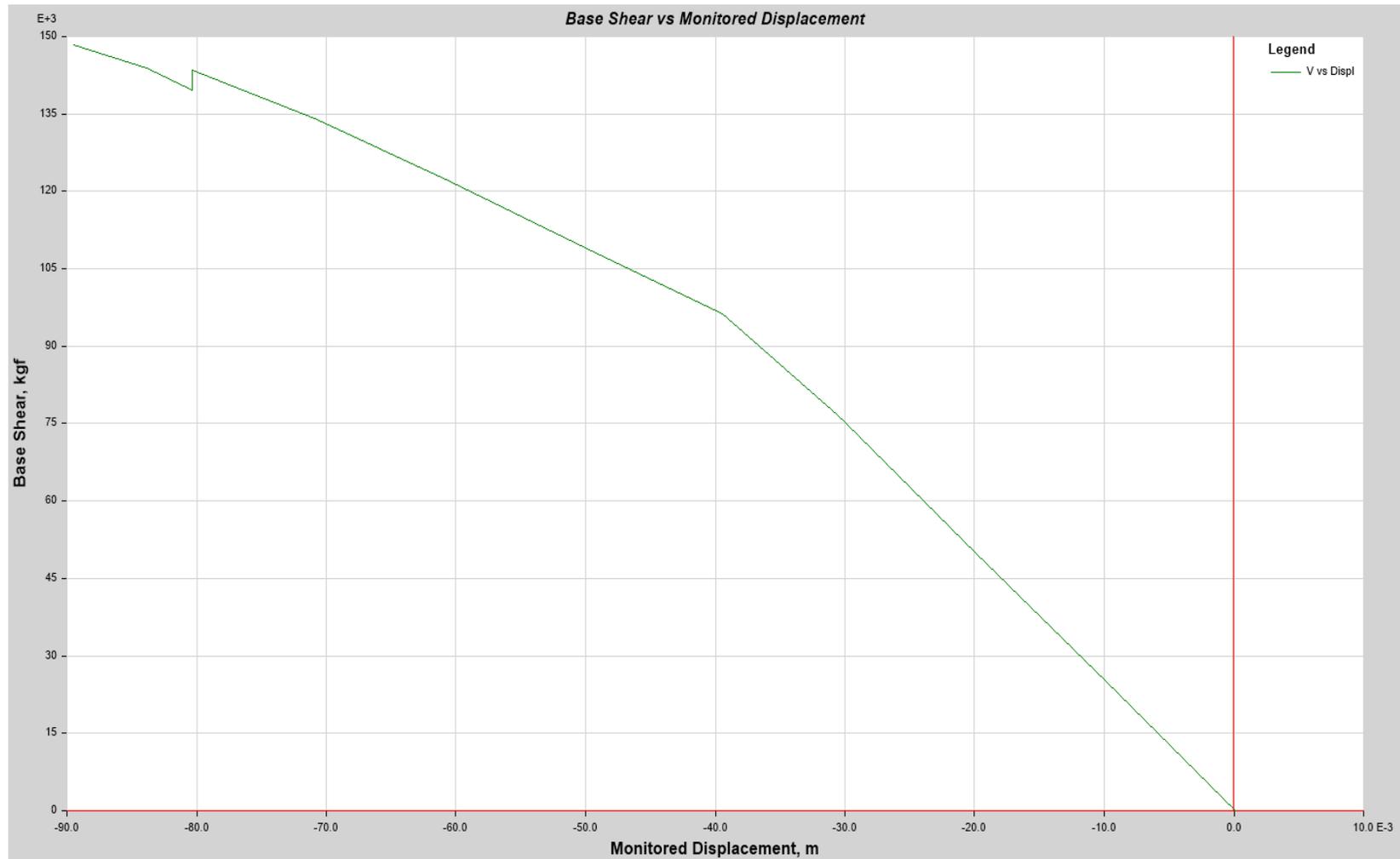
**9.8 pushover sentido y negativo Torre B**

Figura 28. Curva pushover sentido y negativo, Torre B

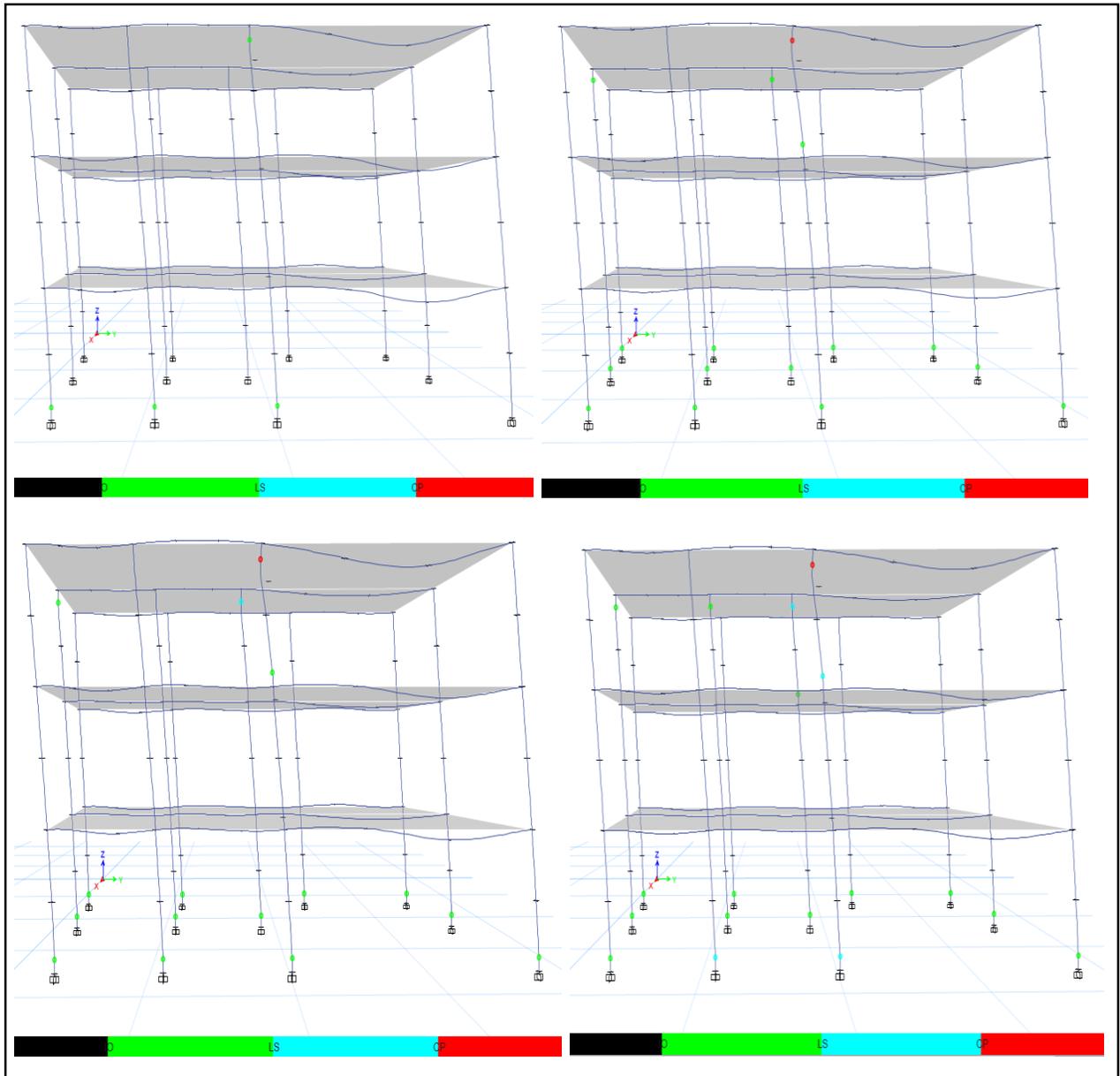


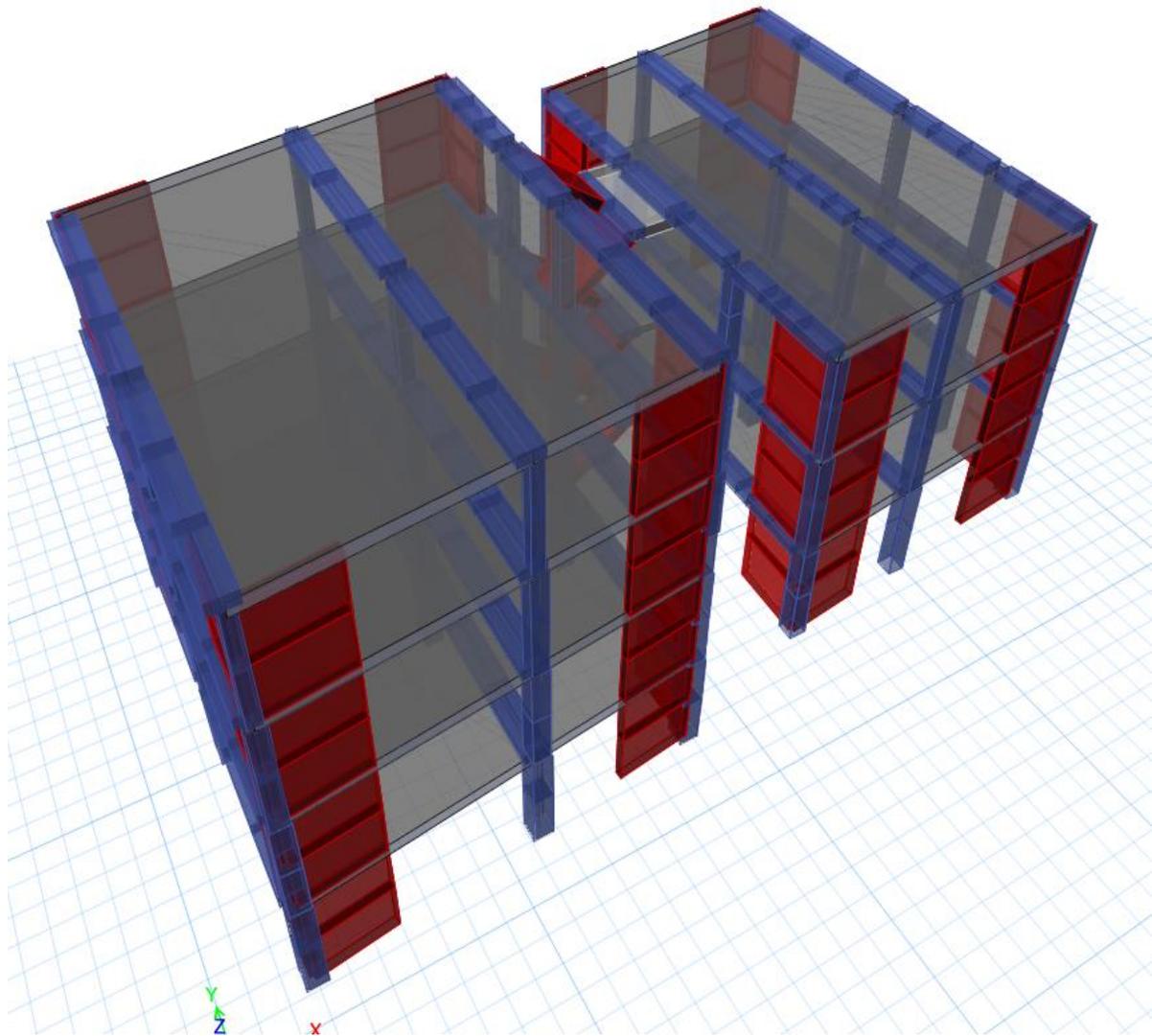
Figura 29. Rotulas pushover sentido y negativo, Torre B

## 10. Diseño del Reforzamiento

Con el fin de mejorar el comportamiento y resistencia de la estructura, y teniendo en cuenta que solo las columnas se encuentran con índices de sobre resistencia superiores a 1.0, existen varias configuraciones que podrían funcionar apropiadamente para esta estructura. Entre estas soluciones se encuentran las siguientes alternativas:

- Aumentar la sección de las columnas.
- Incluir muros de concreto reforzado.
- Adicionar arrostros metálicos.
- Aumentar el confinamiento en las columnas por medio de fibra de carbono.
- Implementación de muros diafragma en mampostería.
- En general cualquier solución, que aumente la resistencia y/o rigidez de las estructuras.

Para el caso particular de la estructura en estudio se consideró la siguiente alternativa: muros de concreto reforzado en las esquinas de cada bloque, y orientados en los sentidos principales de la estructura, esto teniendo en cuenta que los índices de resistencia que no cumple con los requerimientos de la NSR-10 se encuentran en las columnas, y al emplear muros de concreto, estos las liberaran de su carga, al tiempo que rigidizan lateralmente la estructura, mejorando así los índices de flexibilidad, y haciéndose responsables de la resistencia sísmica en el sentido que actualmente carece de porticos completos. A continuación, se presentan la Figura 30. Vista 3D modelo reforzado, así como la Figura 31. Vista en planta y nomenclatura de muros del reforzamiento



*Figura 30.* Vista 3D modelo reforzado

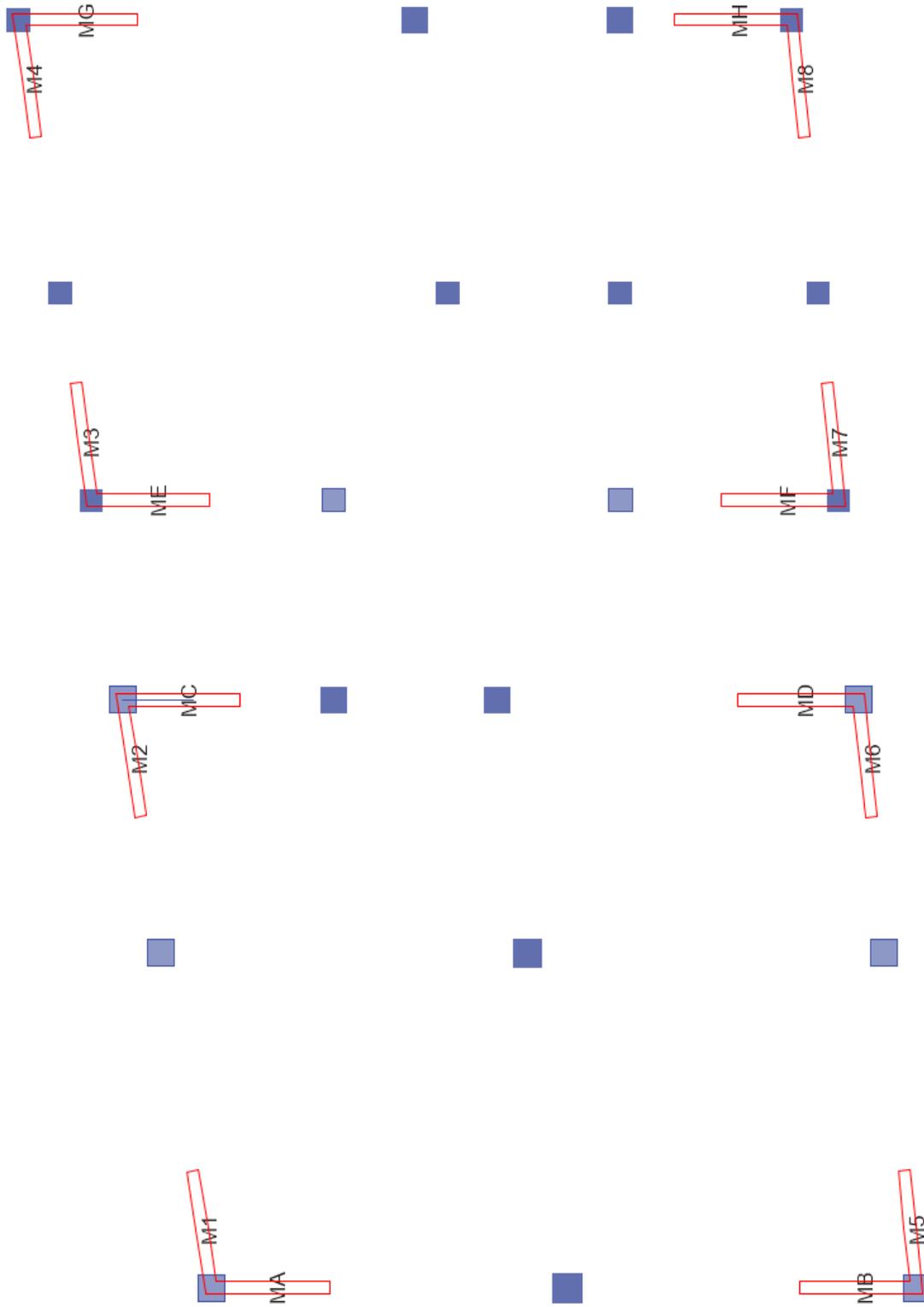


Figura 31. Vista en planta y nomenclatura de muros del reforzamiento

### 10.1 Distribución de la deriva para el reforzamiento

Una vez implementados los muros de concreto, y como era de esperarse estos redujeron notablemente el nivel de las derivas en los diferentes niveles tal y como se pueden ver en la Tabla 12 y la Gráfica 12.

Tabla 12.

*Derivas máximas de piso para el reforzamiento*

PISO	SISMO X				SISMO Y				
	X	Y	Max Drift XY	ESTADO	X	Y	Max Drift XY	ESTADO	MAX
P-5B	0,3%	0,0%	0,3%	o.k	0,26%	0,13%	0,26%	o.k	1,00%
P-5A	0,3%	0,0%	0,3%	o.k	0,28%	0,16%	0,28%	o.k	1,00%
P-4B	0,3%	0,0%	0,3%	o.k	0,27%	0,13%	0,27%	o.k	1,00%
P-4A	0,3%	0,0%	0,3%	o.k	0,26%	0,13%	0,26%	o.k	1,00%
P-3B	0,2%	0,0%	0,2%	o.k	0,23%	0,12%	0,23%	o.k	1,00%
P-3A	0,2%	0,0%	0,2%	o.k	0,19%	0,11%	0,19%	o.k	1,00%
P-2B	0,1%	0,0%	0,1%	o.k	0,14%	0,12%	0,14%	o.k	1,00%
P-2A	0,0%	0,0%	0,0%	o.k	0,04%	0,04%	0,04%	o.k	1,00%

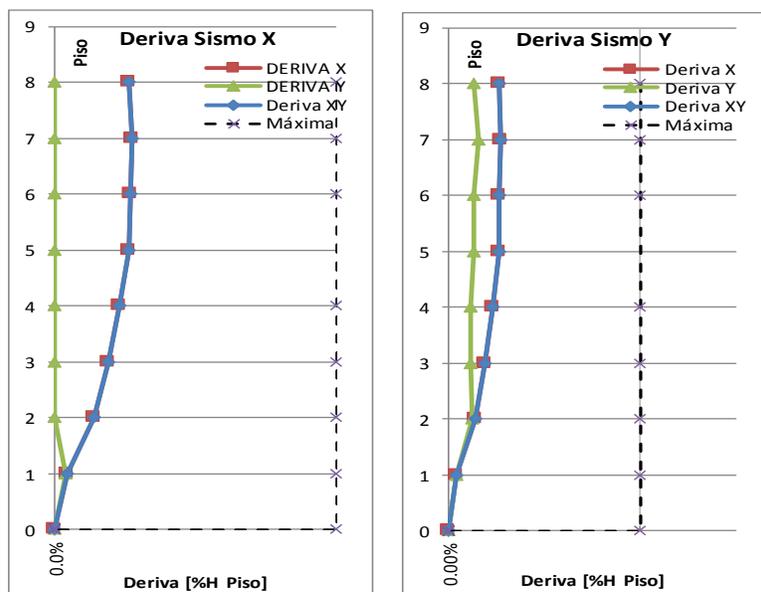


Figura 32. Deriva de piso para el reforzamiento

Como se puede evidenciar, la efectividad de los muros de concreto reforzados rigidizando la estructura es notable, lo cual se refleja en la reducción de las derivas de piso, llevándolas a valores por debajo del 1%.

### **11. Diseño de Los Muros de Concreto Reforzado**

Para el diseño de los muros de concreto reforzado, se empleo un enfoque elástico del material, considerando la teoría de compatibilidad de deformaciones entre el concreto y el acero de refuerzo, y controlando la esbeltes en función de la altura de entre piso de la edificación ( $H=2.72$  m). Para el diseño se procede a definir una cuantía de acero inicial, y para esta se calcula el diagrama de interacción, teniendo en cuenta los principios mencionados anteriormente así como los requerimientos del título C de la NSR-10, luego estos se grafican junto con las duplas momento-carga axial para cada una de las combinaciones de diseño, y se verifica que ninguna sollicitación superar la curva que define la resistencia máxima del muro, en caso de que esto ocurra se deberá aumentar la cuantía de refuerzo longitudinal o transversal según corresponda, para este caso fue suficiente trabajar con las cuantías de refuerzo mínimo establecidos en el título C de la NSR-10 para resistir las sollicitaciones ultimas en todos los muros y para todos los niveles.

De la figura 12 a la 24 se presentan los datos de entrada para la verificación de cada muro y de la Gráfica 13 a 25 se presentan los diagramas de interacción para cada uno, en estas gráficas cada punto represente una sollicitación correspondiente a cada una de las combinaciones de diseño,

debido a que se empleó el mismo refuerzo en toda la altura del muro, se presentan agrupadas las solicitaciones para diferentes niveles en la misma gráfica.

### 11.1 Muro M1

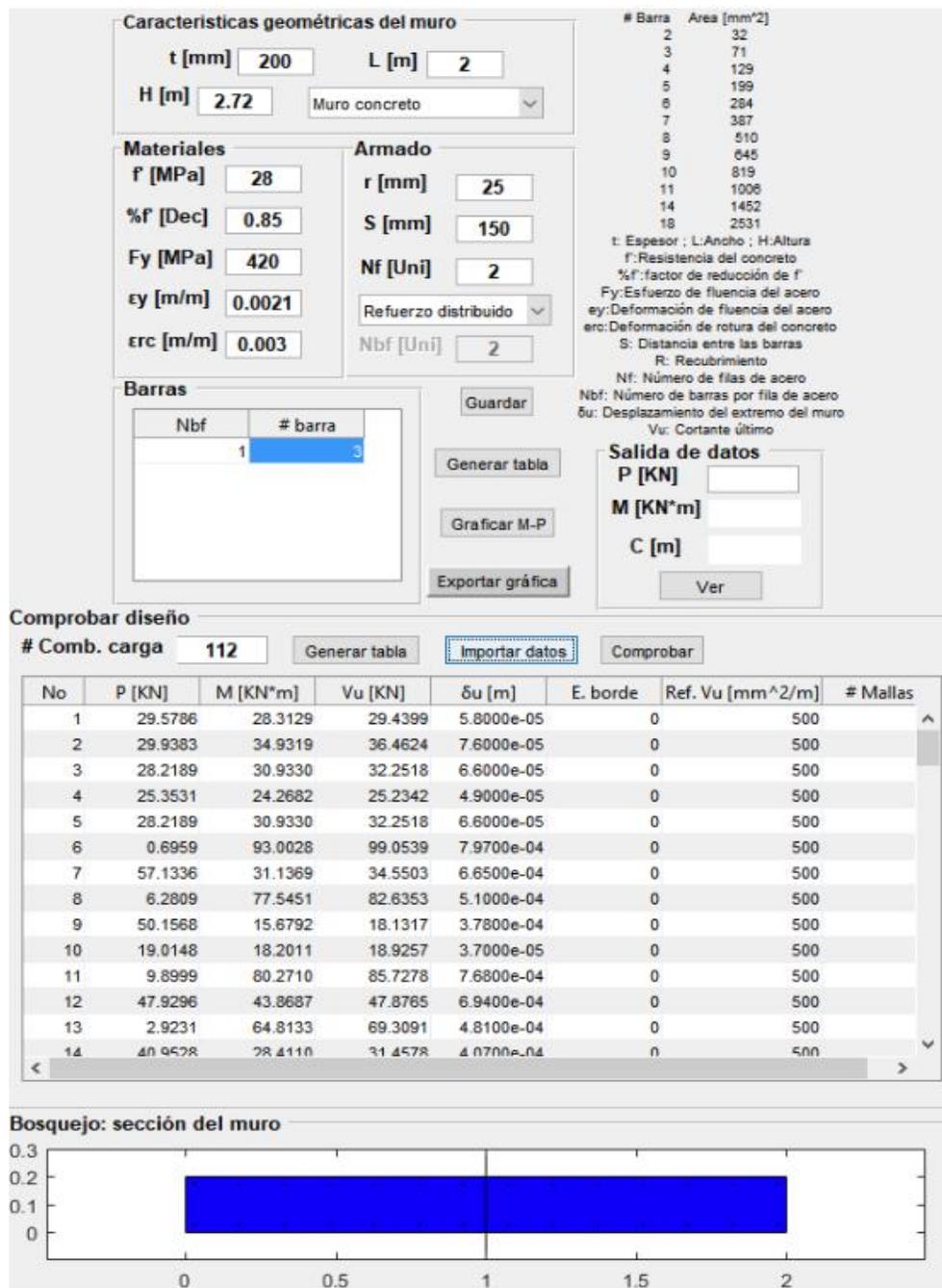


Figura 33. Diseño muro M1

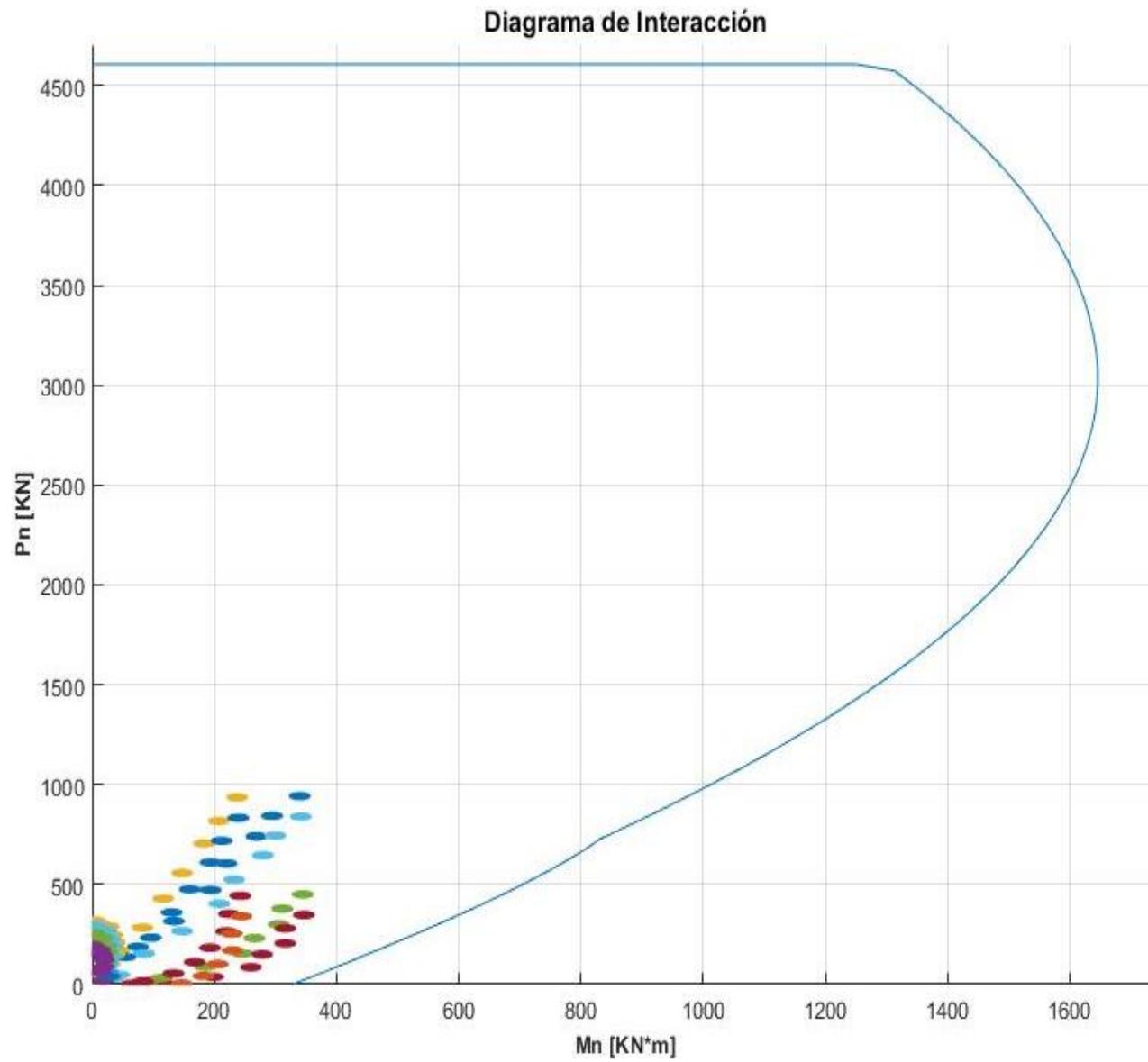


Figura 34. Diagrama de interacción muro M1

## 11.2 Muro M2

**Características geométricas del muro**

t [mm]  L [m]

H [m]  Muro concreto

**Materiales**

F [MPa]

%f [Dec]

Fy [MPa]

εy [m/m]

εrc [m/m]

**Armado**

r [mm]

S [mm]

Nf [Unj]

Refuerzo distribuido

Nbf [Unj]

**Barras**

Nbf	# barra
1	3

# Barra	Area [mm <sup>2</sup> ]
2	32
3	71
4	129
5	199
6	284
7	387
8	510
9	645
10	819
11	1006
14	1452
18	2531

t: Espesor ; L: Ancho ; H: Altura  
f': Resistencia del concreto  
%f': factor de reducción de f'  
Fy: Esfuerzo de fluencia del acero  
εy: Deformación de fluencia del acero  
εro: Deformación de rotura del concreto  
S: Distancia entre las barras  
R: Recubrimiento  
Nf: Número de filas de acero  
Nbf: Número de barras por fila de acero  
δu: Desplazamiento del extremo del muro  
Vu: Cortante último

**Salida de datos**

P [KN]

M [KN\*m]

C [m]

**Comprobar diseño**

# Comb. carga

No	P [KN]	M [KN*m]	Vu [KN]	δu [m]	E. borde	Ref. Vu [mm <sup>2</sup> /m]	# Mallas
1	21.1459	0.1753	1.9509	5.9000e-05	0	500	
2	18.3888	1.5518	1.2296	7.9000e-05	0	500	
3	18.2899	0.9136	1.3956	6.8000e-05	0	500	
4	18.1250	0.1502	1.6722	5.1000e-05	0	500	
5	18.2899	0.9136	1.3956	6.8000e-05	0	500	
6	7.1776	67.4556	65.4965	8.0100e-04	0	500	
7	43.7573	65.6285	68.2877	6.6500e-04	0	500	
8	1.9931	40.6344	39.7207	5.2200e-04	0	500	
9	34.5866	38.8073	42.5119	3.8600e-04	0	500	
10	13.5938	0.1127	1.2542	3.8000e-05	0	500	
11	11.8737	66.4294	65.6379	7.7000e-04	0	500	
12	39.0612	66.6547	68.1462	6.9400e-04	0	500	
13	2.7030	39.6082	39.8622	4.9200e-04	0	500	
14	29.8905	39.8335	42.3705	4.1600e-04	0	500	

**Bosquejo: sección del muro**

Figura 35. Diseño muro M2

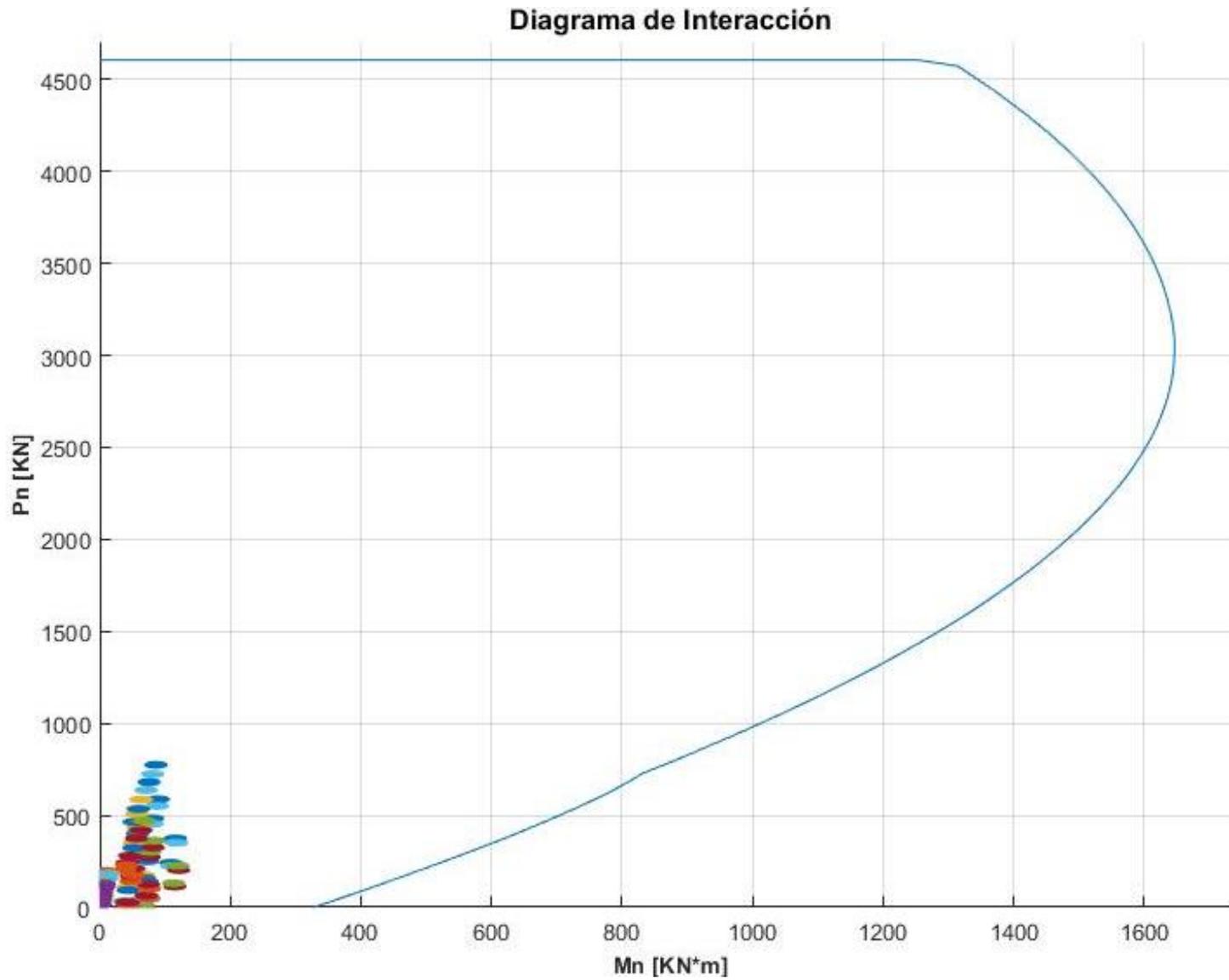


Figura 36. Diagrama de interacción muro M2

11.3 Muro M3

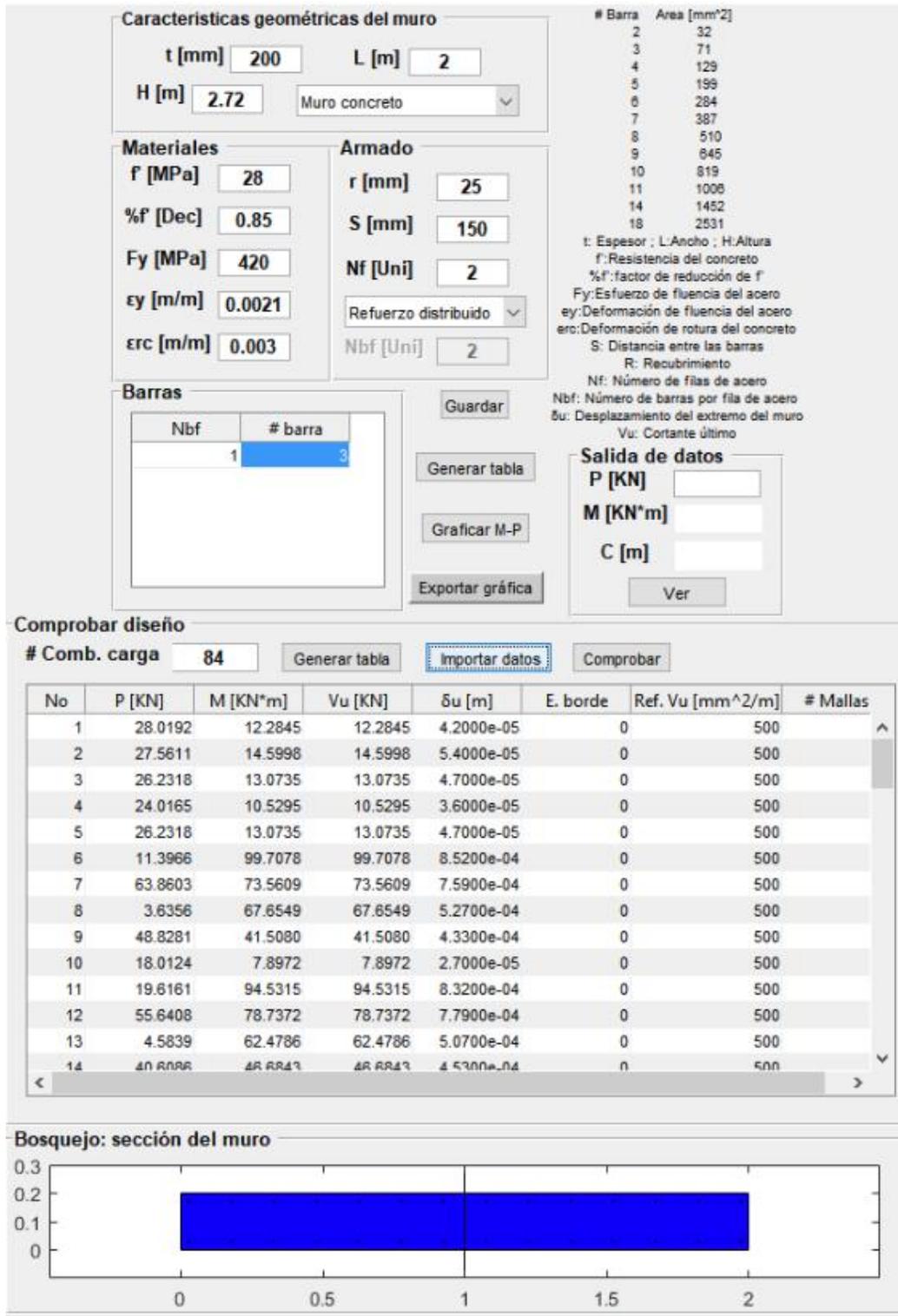


Figura 37. Diseño muro M3

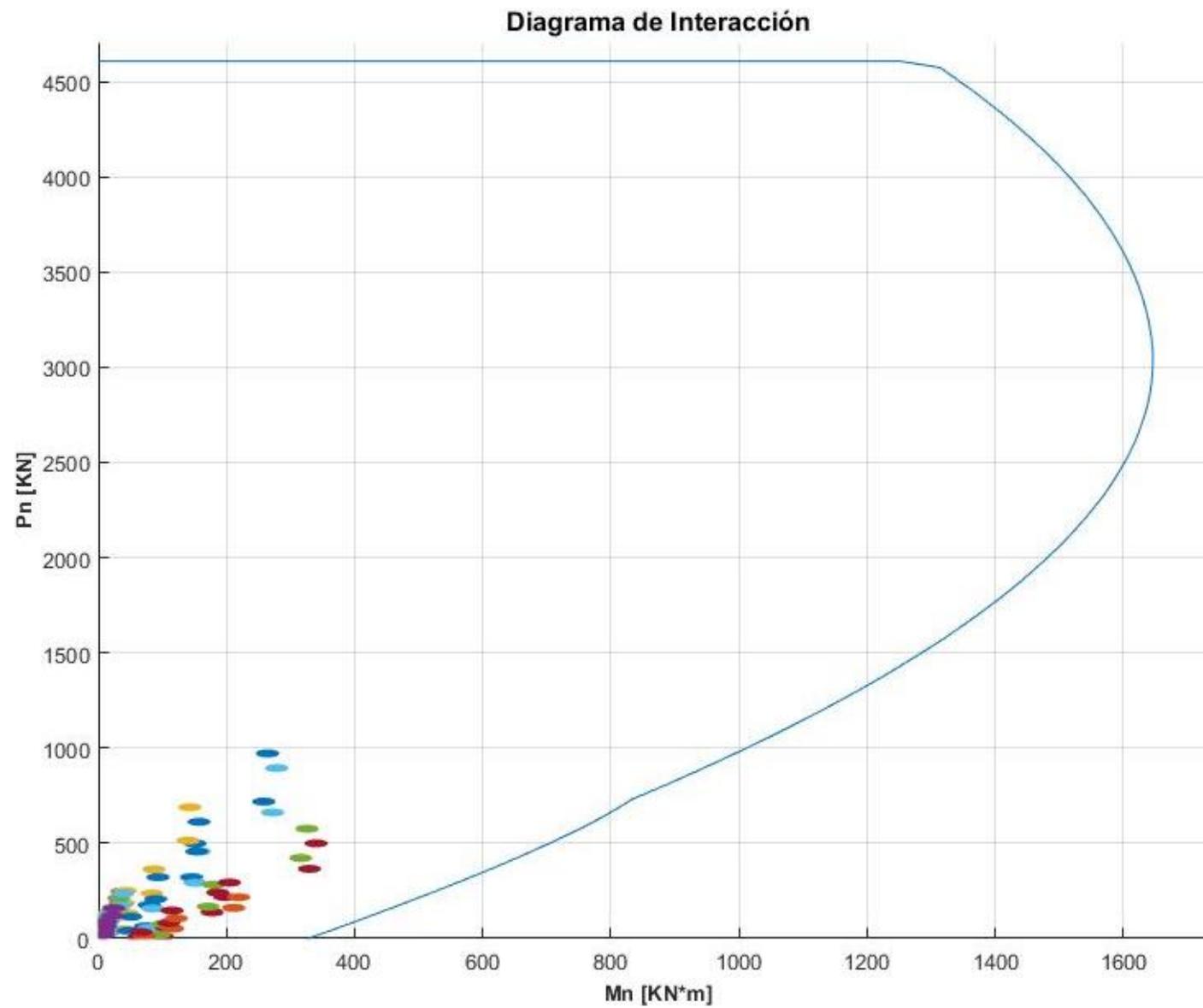


Figura 38. Diagrama de interacción muro M3

## 11.4 Muro M4

**Características geométricas del muro**

t [mm]  L [m]

H [m]  Muro concreto

**Materiales**

f [MPa]

%f [Dec]

Fy [MPa]

ey [m/m]

erc [m/m]

**Armado**

r [mm]

S [mm]

Nf [Uni]

Refuerzo distribuido

Nbf [Uni]

**Barras**

Nbf	# barra
1	3

# Barra	Area [mm <sup>2</sup> ]
2	32
3	71
4	129
5	199
6	284
7	387
8	510
9	645
10	819
11	1008
14	1452
18	2531

t: Espesor ; L: Ancho ; H: Altura  
f: Resistencia del concreto  
%f: factor de reducción de f'  
Fy: Esfuerzo de fluencia del acero  
ey: Deformación de fluencia del acero  
ero: Deformación de rotura del concreto  
S: Distancia entre las barras  
R: Recubrimiento  
Nf: Número de filas de acero  
Nbf: Número de barras por fila de acero  
δu: Desplazamiento del extremo del muro  
Vu: Cortante último

**Salida de datos**

P [KN]

M [KN\*m]

C [m]

**Comprobar diseño**

# Comb. carga

No	P [KN]	M [KN*m]	Vu [KN]	δu [m]	E. borde	Ref. Vu [mm <sup>2</sup> /m]	# Mallas
1	18.7231	11.9405	15.6288	4.3000e-05	0	500	^
2	15.8208	13.2383	17.7574	5.4000e-05	0	500	
3	15.9062	12.1119	16.1219	4.8000e-05	0	500	
4	16.0484	10.2347	13.3961	3.6000e-05	0	500	
5	15.9062	12.1119	16.1219	4.8000e-05	0	500	
6	23.3008	78.6908	68.5409	8.7800e-04	0	500	
7	55.1131	102.9146	100.7847	7.8300e-04	0	500	
8	9.3440	44.0723	35.5143	5.4300e-04	0	500	
9	41.1563	68.2962	67.7581	4.4800e-04	0	500	
10	12.0363	7.6760	10.0471	2.7000e-05	0	500	
11	27.1707	83.1267	74.6157	8.5800e-04	0	500	
12	51.2432	98.4787	94.7099	8.0300e-04	0	500	
13	13.2139	48.5082	41.5891	5.2300e-04	0	500	
14	17.2864	83.8603	81.6833	4.6800e-04	0	500	v

**Bosquejo: sección del muro**

Figura 39. Diseño muro M4

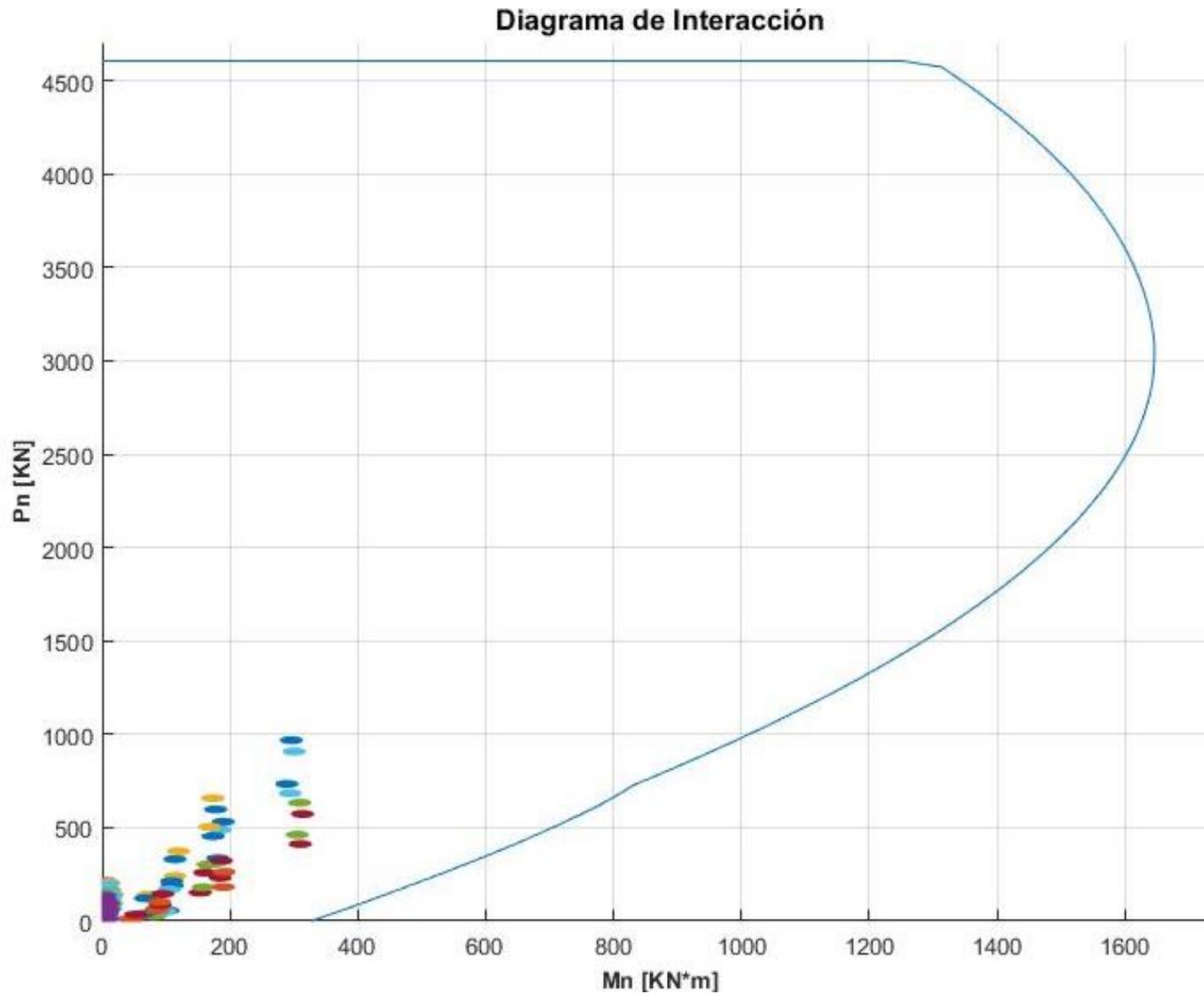


Figura 40. Diagrama de interacción muro M4

11.5 Muro M5

**Características geométricas del muro**

t [mm]  L [m]

H [m]  Muro concreto

**Materiales**

f [MPa]

%f [Dec]

Fy [MPa]

ey [m/m]

erc [m/m]

**Armado**

r [mm]

S [mm]

Nf [Un]

Refuerzo distribuido

Nbf [Un]

**Barras**

Nbf	# barra
1	3

# Barra	Area [mm <sup>2</sup> ]
2	32
3	71
4	129
5	199
6	284
7	387
8	510
9	645
10	819
11	1006
14	1452
18	2531

t: Espesor ; L:Ancho ; H:Altura  
 f: Resistencia del concreto  
 %f: factor de reducción de f  
 Fy: Esfuerzo de fluencia del acero  
 ey: Deformación de fluencia del acero  
 erc: Deformación de rotura del concreto  
 S: Distancia entre las barras  
 R: Recubrimiento  
 Nf: Número de filas de acero  
 Nbf: Número de barras por fila de acero  
 δu: Desplazamiento del extremo del muro  
 Vu: Cortante último

**Salida de datos**

P [KN]

M [KN\*m]

C [m]

**Comprobar diseño**

# Comb. carga   Importar datos

No	P [KN]	M [KN*m]	Vu [KN]	δu [m]	E. borde	Ref. Vu [mm <sup>2</sup> /m]	# Mallas
1	28.8541	22.7794	25.9905	2.3000e-05	0	500	^
2	28.9165	27.7032	31.8214	3.0000e-05	0	500	
3	27.3474	24.6364	28.2425	2.6000e-05	0	500	
4	24.7321	19.5252	22.2776	1.9000e-05	0	500	
5	27.3474	24.6364	28.2425	2.6000e-05	0	500	
6	6.1460	103.9045	103.0429	8.5300e-04	0	500	
7	60.8407	54.6316	46.5579	8.0100e-04	0	500	
8	2.7982	81.9229	81.7988	6.0100e-04	0	500	
9	51.8965	32.6500	25.3139	5.4900e-04	0	500	
10	18.5491	14.6439	16.7082	1.4000e-05	0	500	
11	14.9443	93.9119	91.5086	8.4100e-04	0	500	
12	52.0424	64.6241	58.0922	8.1200e-04	0	500	
13	6.0001	71.9304	70.2645	5.8900e-04	0	500	
14	43.0982	42.6425	36.6482	5.6100e-04	0	500	v

**Bosquejo: sección del muro**

Figura 41. Diseño muro M5

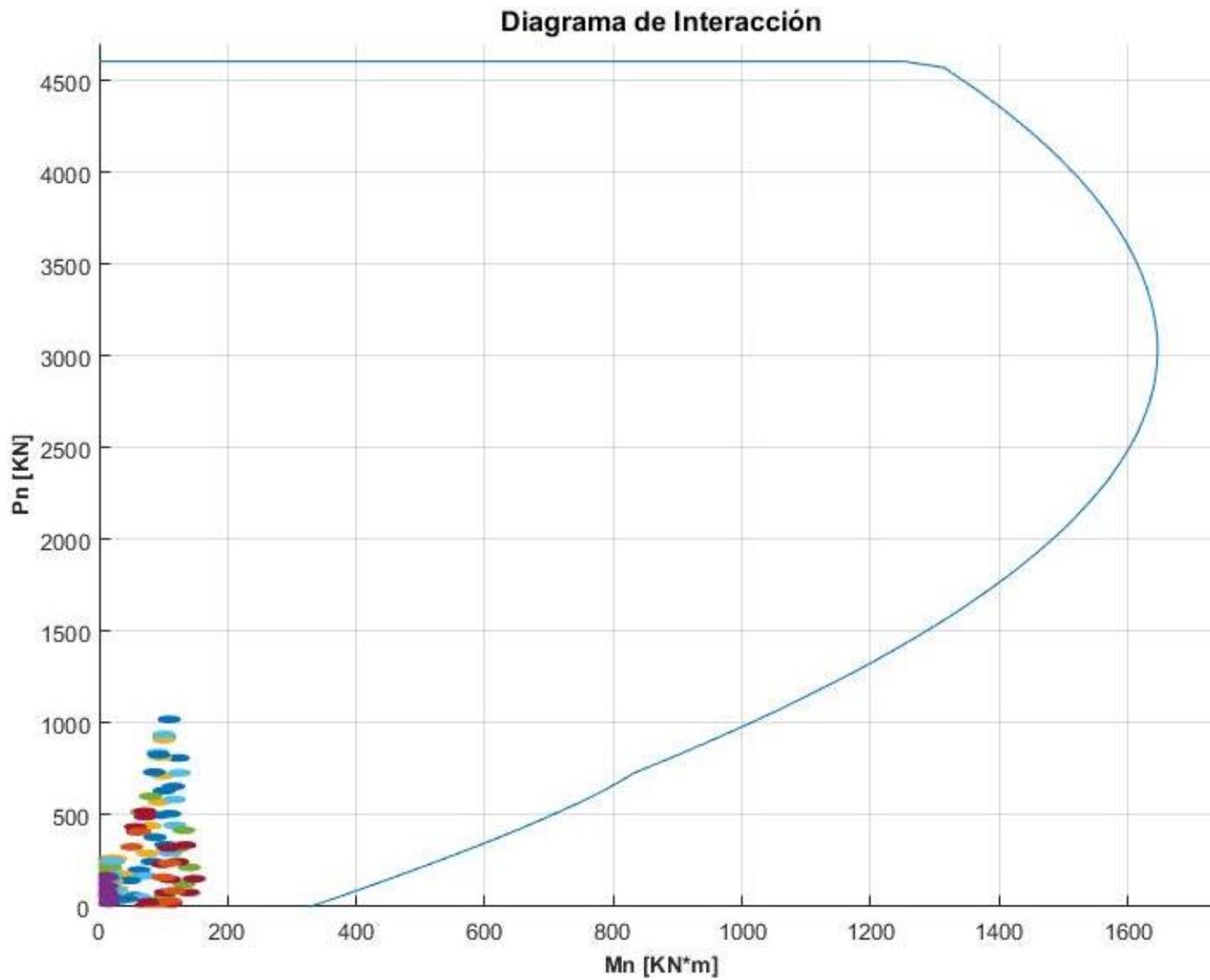


Figura 42. Diagrama de interacción muro M5

11.6 Muro M6

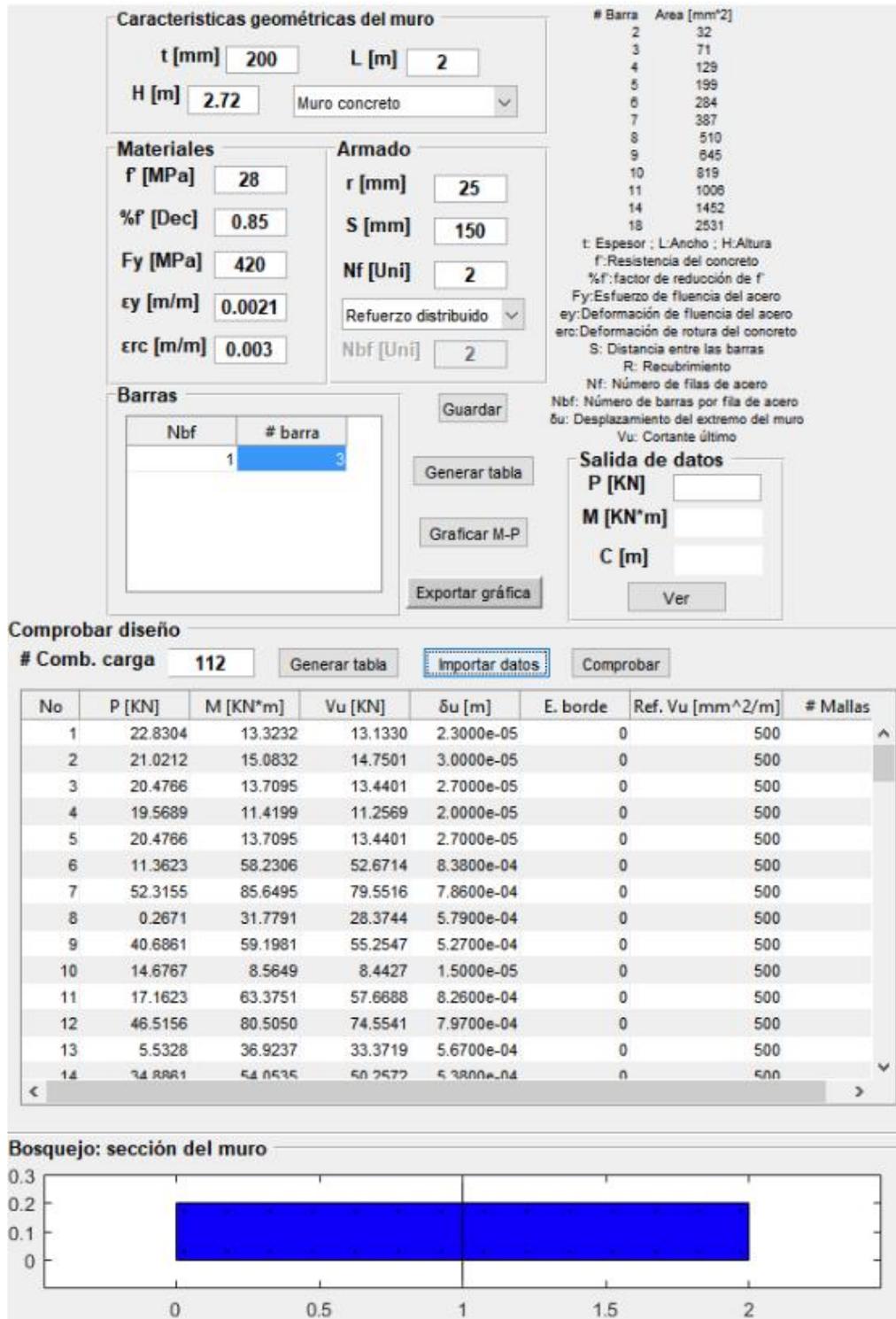


Figura 43. Diseño muro M6

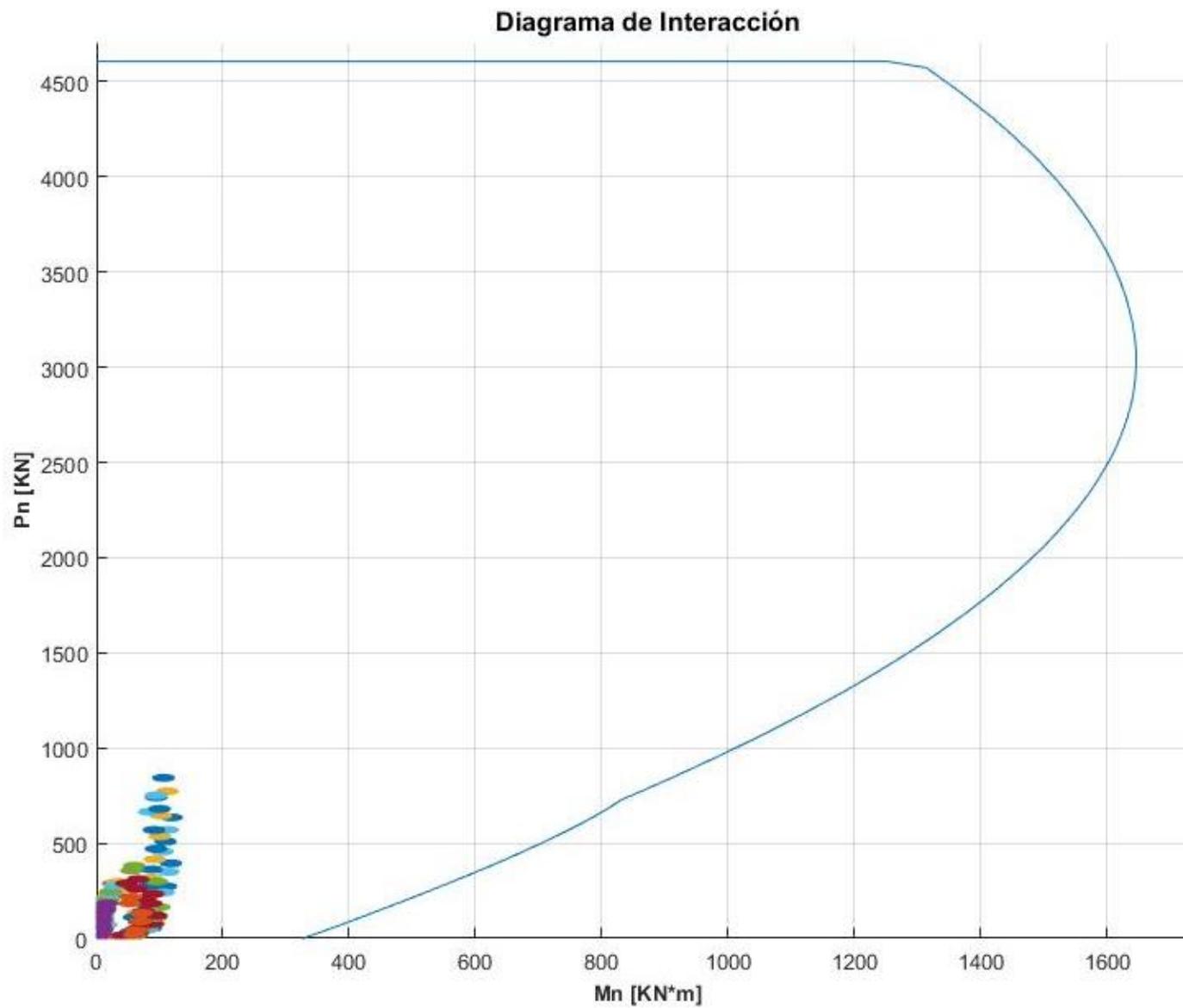


Figura 44. Diagrama de interacción muro M6

11.7 Muro M7

**Características geométricas del muro**

t [mm]  L [m]

H [m]  Muro concreto

---

**Materiales**

f [MPa]

%f [Dec]

Fy [MPa]

εy [m/m]

εrc [m/m]

---

**Armado**

r [mm]

S [mm]

Nf [Un]

Refuerzo distribuido ▼

Nbf [Un]

# Barra	Area [mm <sup>2</sup> ]
2	32
3	71
4	129
5	199
6	284
7	387
8	510
9	645
10	819
11	1008
14	1452
18	2531

t: Espesor ; L: Ancho ; H: Altura  
f: Resistencia del concreto  
%f: factor de reducción de f  
Fy: Esfuerzo de fluencia del acero  
εy: Deformación de fluencia del acero  
εrc: Deformación de rotura del concreto  
S: Distancia entre las barras  
R: Recubrimiento  
Nf: Número de filas de acero  
Nbf: Número de barras por fila de acero  
δu: Desplazamiento del extremo del muro  
Vu: Cortante último

**Barras**

Nbf	# barra
1	3

**Salida de datos**

P [KN]

M [KN\*m]

C [m]

---

**Comprobar diseño**

# Comb. carga

No	P [KN]	M [KN*m]	Vu [KN]	δu [m]	E. borde	Ref. Vu [mm <sup>2</sup> /m]	# Mallas
1	27.2586	11.1844	8.3123	1.6000e-05	0	500	▲
2	26.7409	13.8825	10.6311	2.6000e-05	0	500	
3	25.4748	12.2715	9.3162	2.2000e-05	0	500	
4	23.3645	9.5866	7.1249	1.3000e-05	0	500	
5	25.4748	12.2715	9.3162	2.2000e-05	0	500	
6	5.7183	87.4800	81.9740	6.2700e-04	0	500	
7	56.6678	62.9369	63.3415	5.8400e-04	0	500	
8	4.4727	58.7346	53.5334	3.9400e-04	0	500	
9	46.4768	34.1916	34.9009	3.5100e-04	0	500	
10	17.5234	7.1900	5.3436	1.0000e-05	0	500	
11	13.6697	82.3984	78.0014	6.1500e-04	0	500	
12	48.7165	68.0185	67.3141	5.9600e-04	0	500	
13	3.4788	53.6531	49.5808	3.8200e-04	0	500	
14	38.5254	30.7731	38.8735	3.8300e-04	0	500	▼

---

**Bosquejo: sección del muro**

Figura 45. Diseño muro M7

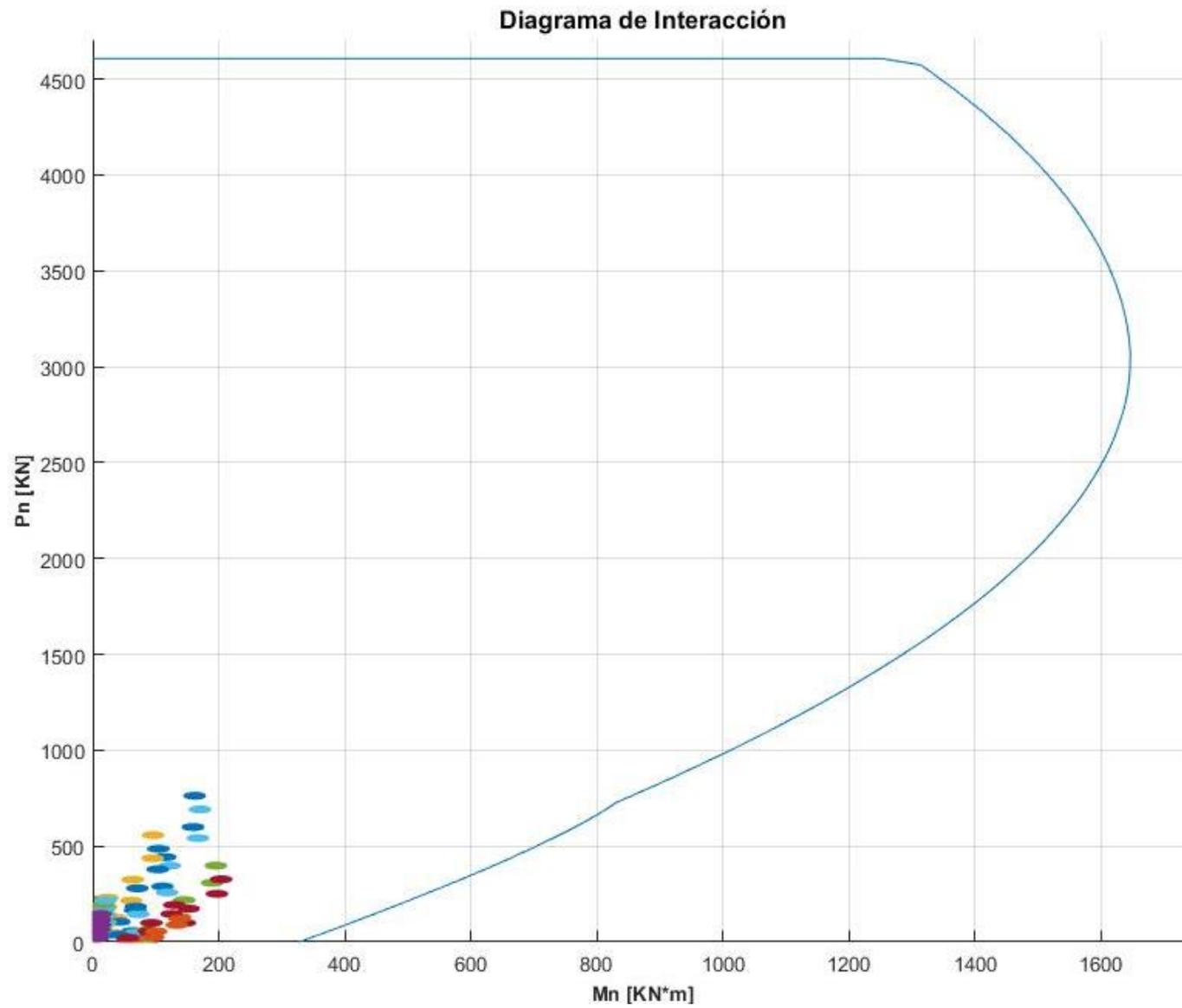


Figura 46. Diagrama de interacción muro M7

11.8 Muro M8

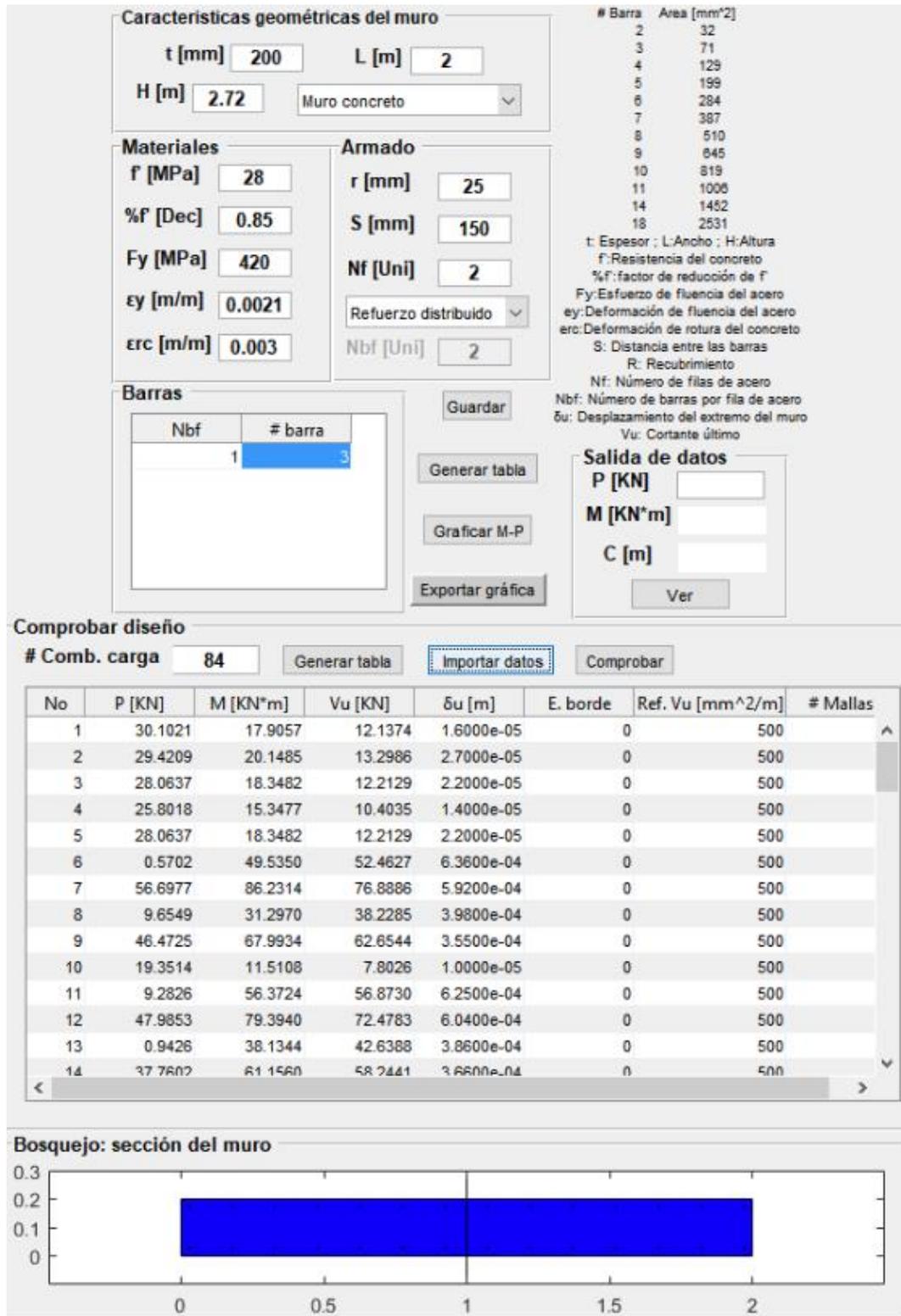


Figura 47. Diseño muro M8

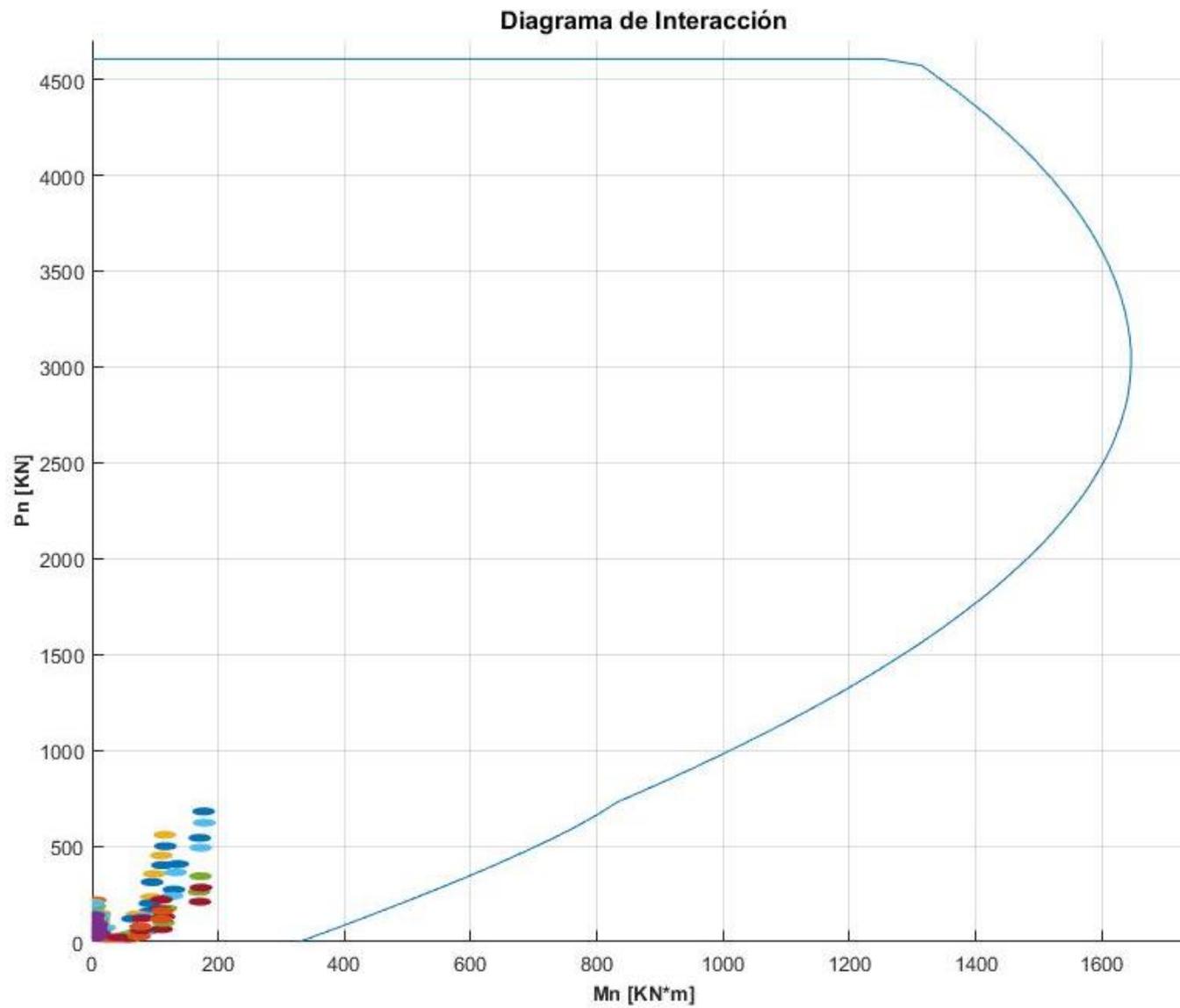


Figura 48. Diagrama de interacción muro M8

11.9 Muro MA

**Características geométricas del muro**

t [mm]  L [m]

H [m]  Muro concreto

# Barra	Area [mm <sup>2</sup> ]
2	32
3	71
4	129
5	199
6	284
7	387
8	510
9	645
10	819
11	1008
14	1452
18	2531

t: Espesor ; L: Ancho ; H: Altura  
f: Resistencia del concreto  
%f: factor de reducción de f'  
Fy: Esfuerzo de fluencia del acero  
ey: Deformación de fluencia del acero  
erc: Deformación de rotura del concreto  
S: Distancia entre las barras  
R: Recubrimiento  
Nf: Número de filas de acero  
Nbf: Número de barras por fila de acero  
δu: Desplazamiento del extremo del muro  
Vu: Cortante último

**Materiales**

f [MPa]

%f [Dec]

Fy [MPa]

ey [m/m]

erc [m/m]

**Armado**

r [mm]

S [mm]

Nf [Uni]

Reforzo distribuido

Nbf [Uni]

**Barras**

Nbf	# barra
1	3

Guardar

Generar tabla

Graficar M-P

Exportar gráfica

**Salida de datos**

P [KN]

M [KN\*m]

C [m]

Ver

**Comprobar diseño**

# Comb. carga  Generar tabla Importar datos Comprobar

No	P [KN]	M [KN*m]	Vu [KN]	δu [m]	E. borde	Ref. Vu [mm <sup>2</sup> /m]	# Mallas
1	111.6012	76.3863	12.7449	9.0000e-06	0	500	^
2	127.0287	91.3940	15.3779	1.0000e-05	0	500	
3	115.2648	81.6740	13.7078	9.0000e-06	0	500	
4	95.6581	65.4740	10.9242	7.0000e-06	0	500	
5	115.2648	81.6740	13.7078	9.0000e-06	0	500	
6	91.2899	134.7984	49.5207	5.1000e-04	0	500	
7	139.2396	28.5495	22.1051	5.2800e-04	0	500	
8	99.4656	136.5269	49.6197	6.1300e-04	0	500	
9	131.0639	26.8210	22.2041	6.3100e-04	0	500	
10	71.7436	49.1055	8.1932	6.0000e-06	0	500	
11	47.7688	102.2300	44.0060	5.1300e-04	0	500	
12	95.7184	4.0189	27.6197	5.2500e-04	0	500	
13	55.9444	103.9585	44.1051	6.1600e-04	0	500	
14	87.5478	5.7474	27.7188	6.2700e-04	0	500	v

**Bosquejo: sección del muro**

Figura 49. Diseño muro MA

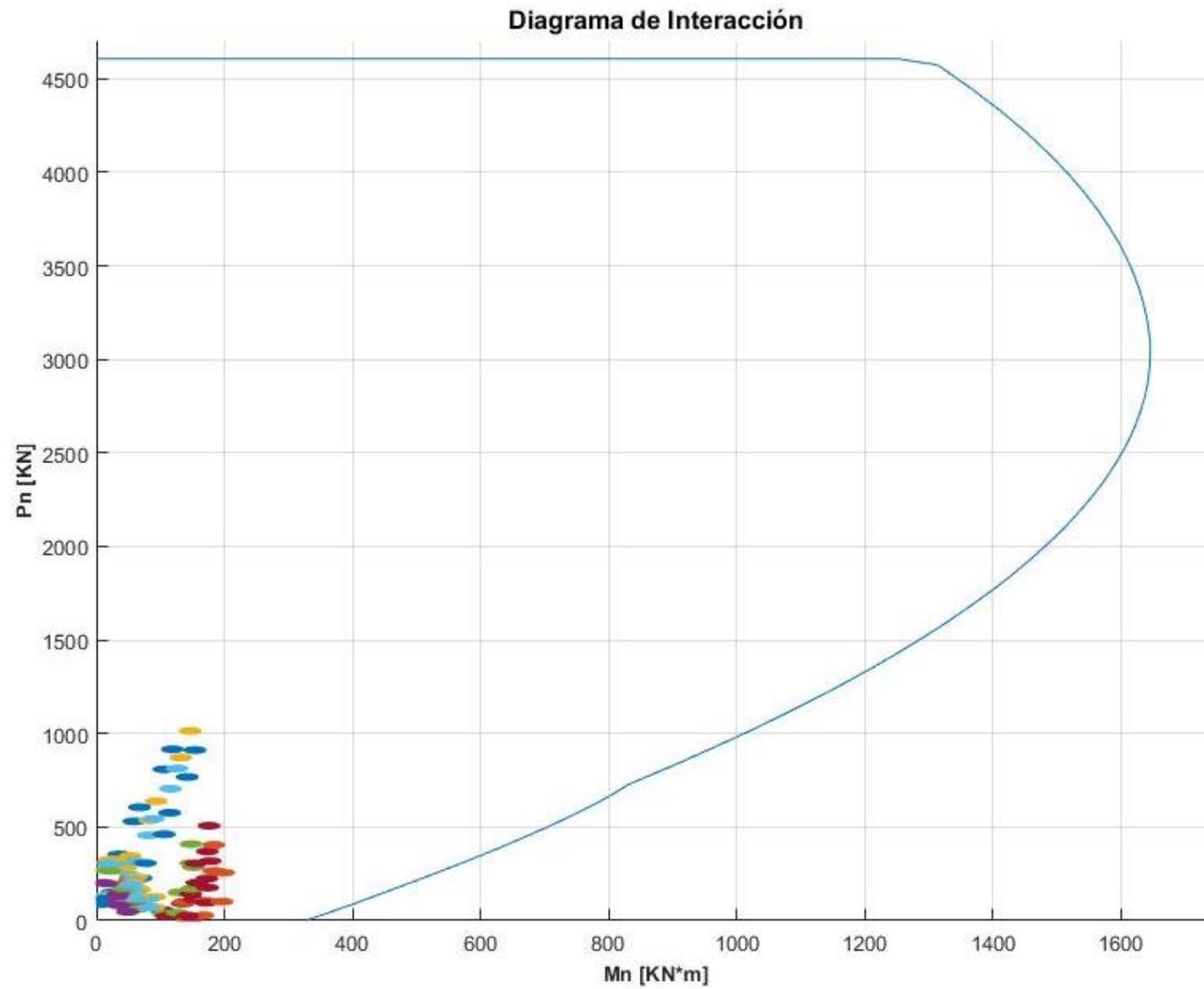


Figura 50. Diagrama de interacción muro MA

11.10 Muro MB

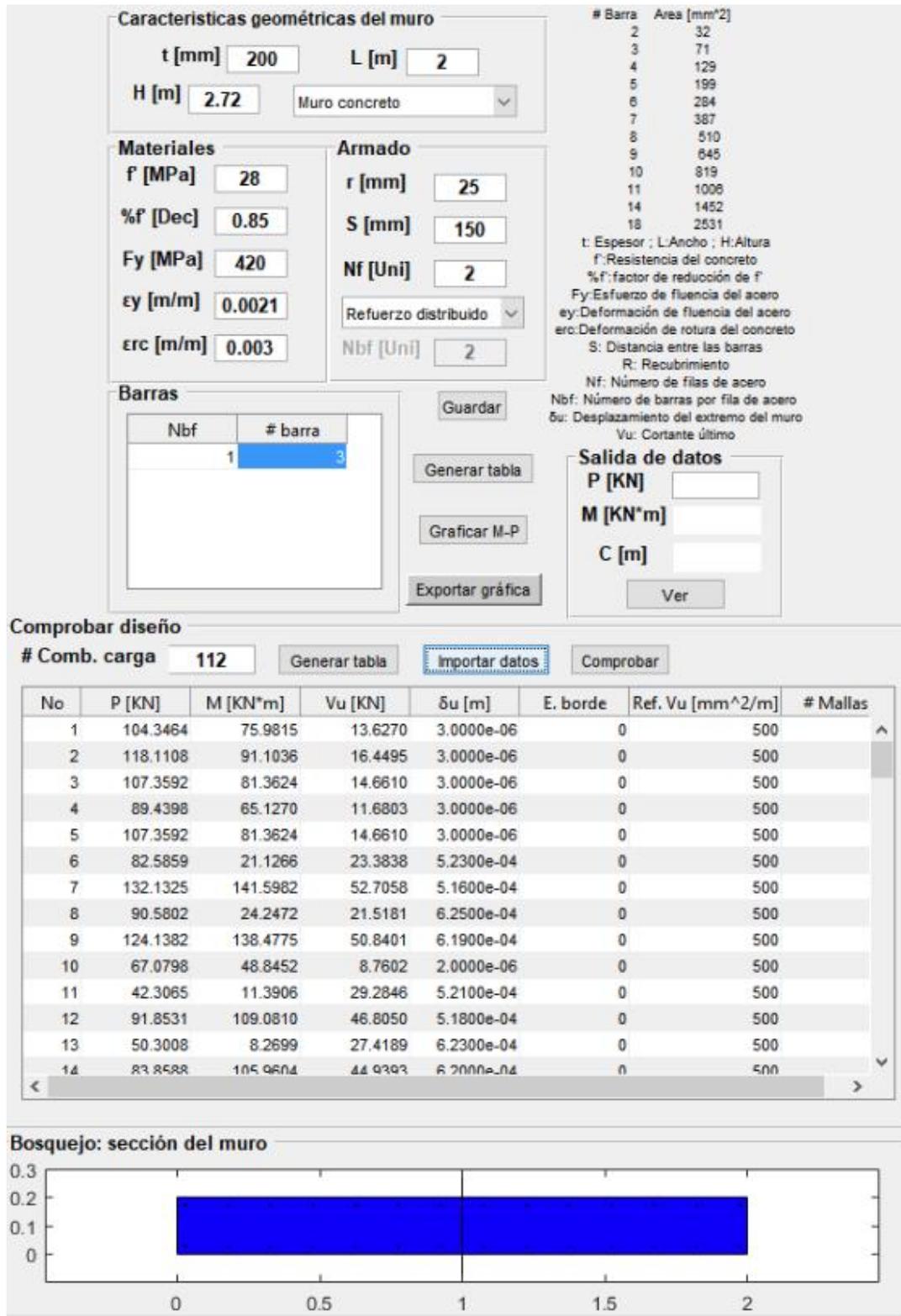


Figura 51. Diseño muro MB

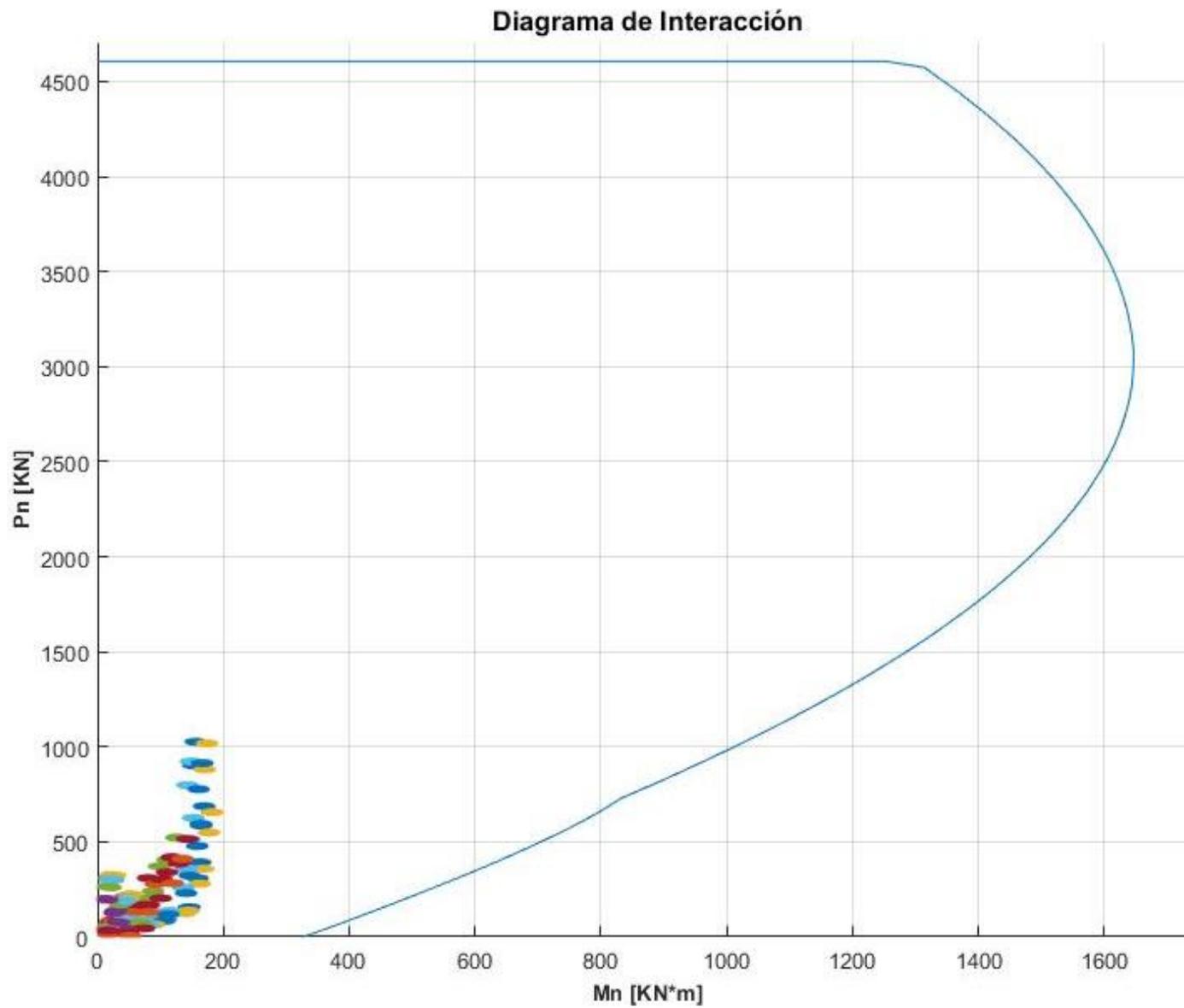


Figura 52. Diagrama de interacción muro MB

11.11 Muro MC

**Características geométricas del muro**

t [mm]  L [m]

H [m]  Muro concreto

# Barra	Area [mm <sup>2</sup> ]
2	32
3	71
4	129
5	199
6	284
7	387
8	510
9	645
10	819
11	1006
14	1452
18	2531

t: Espesor ; L: Ancho ; H: Altura  
f: Resistencia del concreto  
%f: factor de reducción de f  
Fy: Esfuerzo de fluencia del acero  
ey: Deformación de fluencia del acero  
erc: Deformación de rotura del concreto  
S: Distancia entre las barras  
R: Recubrimiento  
Nf: Número de filas de acero  
Nbf: Número de barras por fila de acero  
δu: Desplazamiento del extremo del muro  
Vu: Cortante último

**Materiales**

f [MPa]

%f [Dec]

Fy [MPa]

ey [m/m]

erc [m/m]

**Armado**

r [mm]

S [mm]

Nf [Unj]

Refuerzo distribuido

Nbf [Unj]

**Barras**

Nbf	# barra
1	3

Guardar

Generar tabla

Graficar M-P

Exportar gráfica

**Salida de datos**

P [KN]

M [KN\*m]

C [m]

Ver

**Comprobar diseño**

# Comb. carga  Generar tabla Importar datos Comprobar

No	P [KN]	M [KN*m]	Vu [KN]	δu [m]	E. borde	Ref. Vu [mm <sup>2</sup> /m]	# Mallas
1	80.2284	33.4843	0.1244	1.6800e-04	0	500	
2	90.1686	39.4343	1.1036	2.2100e-04	0	500	
3	82.1431	35.4093	0.7297	1.9300e-04	0	500	
4	68.7672	28.7008	0.1067	1.4400e-04	0	500	
5	82.1431	35.4093	0.7297	1.9300e-04	0	500	
6	40.7455	110.2528	25.5964	0.0018	0	500	
7	123.5407	39.4343	27.0559	0.0022	0	500	
8	27.0854	105.4100	19.0451	0.0024	0	500	
9	137.2007	34.5915	20.5046	0.0028	0	500	
10	51.5754	21.5256	0.0800	1.0800e-04	0	500	
11	10.1778	96.3692	26.2461	0.0019	0	500	
12	92.9730	53.3179	26.4061	0.0021	0	500	
13	3.4822	91.5263	19.6949	0.0025	0	500	
14	106.6331	48.4751	19.8549	0.0027	0	500	

**Bosquejo: sección del muro**

Figura 53. Diseño muro MC

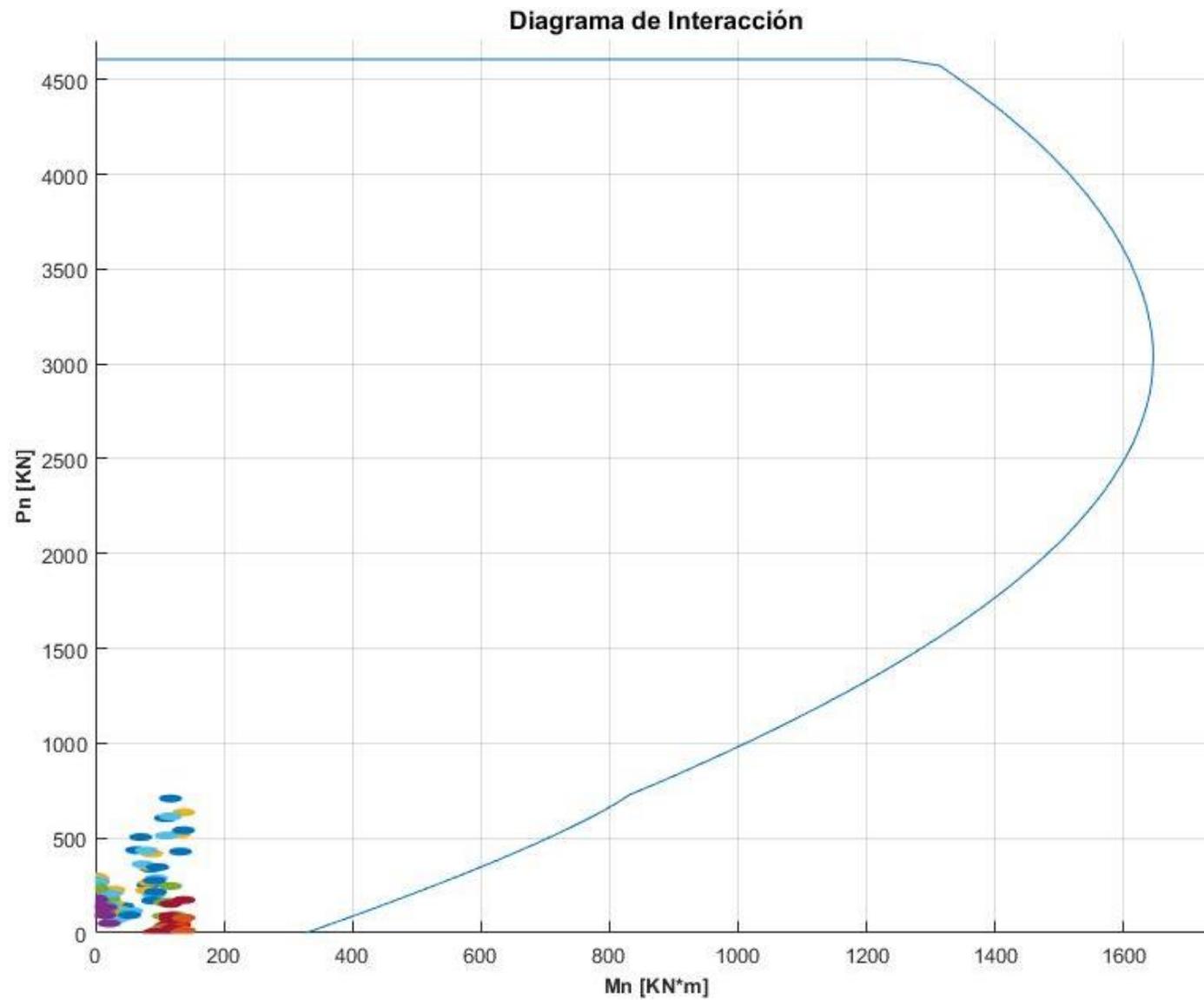


Figura 54. Diagrama de interacción muro MC

11.12 Muro MD

**Características geométricas del muro**

t [mm]     L [m]

H [m]     Muro concreto

# Barra	Area [mm <sup>2</sup> ]
2	32
3	71
4	129
5	199
6	284
7	387
8	510
9	645
10	819
11	1006
14	1452
18	2531

t: Espesor ; L: Ancho ; H: Altura  
f: Resistencia del concreto  
%*f*: factor de reducción de *f*  
*F<sub>y</sub>*: Esfuerzo de fluencia del acero  
*ε<sub>y</sub>*: Deformación de fluencia del acero  
*ε<sub>rc</sub>*: Deformación de rotura del concreto  
*S*: Distancia entre las barras  
*R*: Recubrimiento  
*N<sub>f</sub>*: Número de filas de acero  
*N<sub>bf</sub>*: Número de barras por fila de acero  
*δ<sub>u</sub>*: Desplazamiento del extremo del muro  
*V<sub>u</sub>*: Cortante último

**Materiales**

*f* [MPa]

%*f* [Dec]

*F<sub>y</sub>* [MPa]

*ε<sub>y</sub>* [m/m]

*ε<sub>rc</sub>* [m/m]

**Armado**

*r* [mm]

*S* [mm]

*N<sub>f</sub>* [Unj]

Reforzo distribuido

*N<sub>bf</sub>* [Unj]

**Barras**

Nbf	# barra
1	3

Guardar

Generar tabla

Graficar M-P

Exportar gráfica

**Salida de datos**

*P* [KN]

*M* [KN\*m]

*C* [m]

Ver

**Comprobar diseño**

# Comb. carga     Generar tabla    Importar datos    Comprobar

No	<i>P</i> [KN]	<i>M</i> [KN*m]	<i>V<sub>u</sub></i> [KN]	<i>δ<sub>u</sub></i> [m]	E. borde	Ref. <i>V<sub>u</sub></i> [mm <sup>2</sup> /m]	# Mallas
1	99.2611	65.9157	11.5694	1.6800e-04	0	500	^
2	110.6740	77.4457	13.8781	2.2100e-04	0	500	
3	101.0766	69.5908	12.3925	1.9300e-04	0	500	
4	85.0809	56.4991	9.9166	1.4400e-04	0	500	
5	101.0766	69.5908	12.3925	1.9300e-04	0	500	
6	70.4598	23.7170	21.9429	0.0018	0	500	
7	131.6933	115.4645	46.7279	0.0022	0	500	
8	80.2165	34.7085	12.3340	0.0024	0	500	
9	121.9366	104.4730	37.1191	0.0028	0	500	
10	63.8107	42.3744	7.4375	1.0800e-04	0	500	
11	33.1939	3.4994	26.8979	0.0019	0	500	
12	94.4275	88.2481	41.7729	0.0021	0	500	
13	42.9507	7.4921	17.2891	0.0025	0	500	
14	84.6708	77.2566	32.1640	0.0027	0	500	v

**Bosquejo: sección del muro**

Figura 55. Diseño muro MD

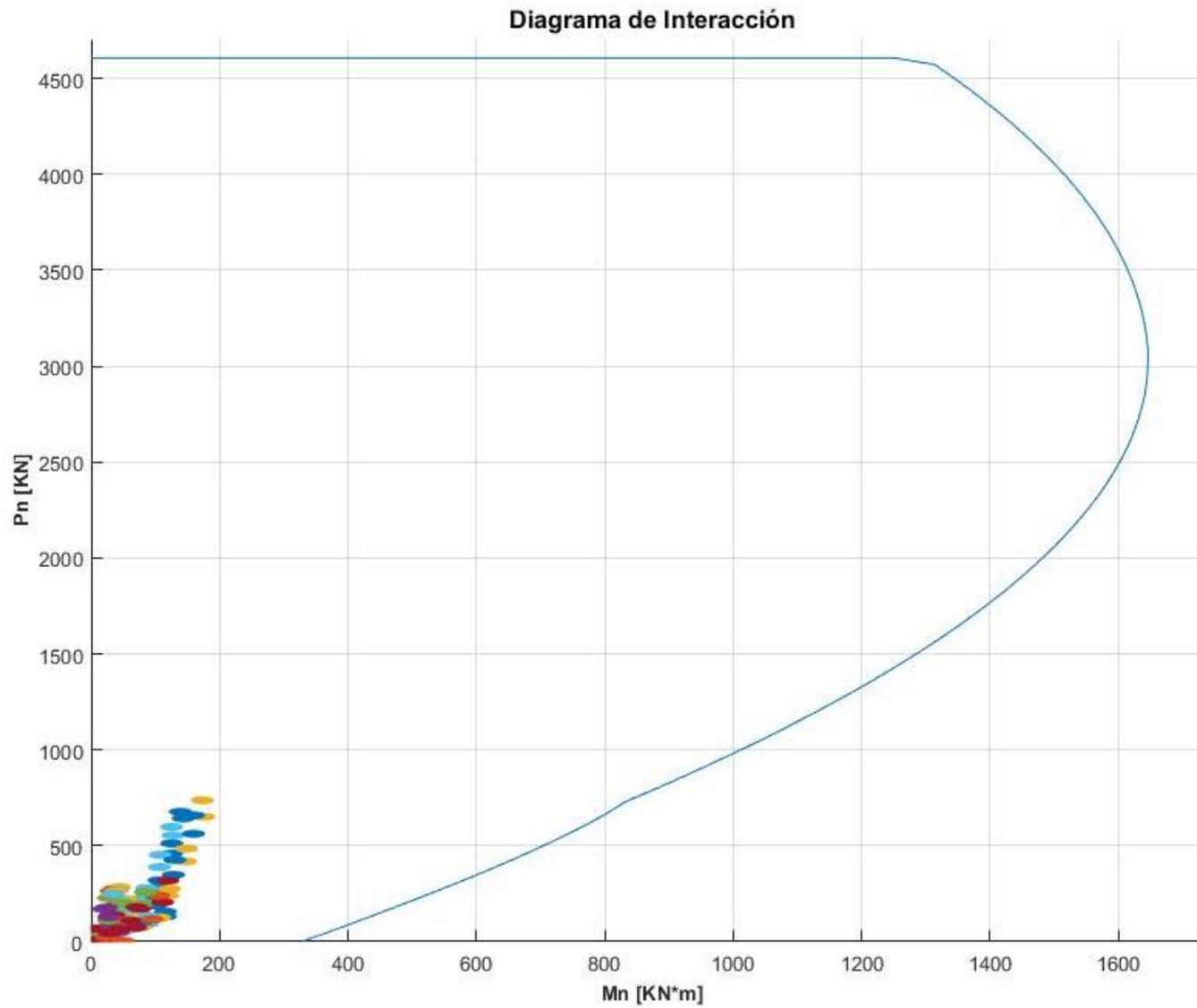


Figura 56. Diagrama de interacción muro MD

## 11.13 Muro ME

**Características geométricas del muro**

t [mm]  L [m]

H [m]  Muro concreto

**Materiales**

f [MPa]

%f [Dec]

Fy [MPa]

ey [m/m]

erc [m/m]

**Armado**

r [mm]

S [mm]

Nf [Uni]

Reforzo distribuido

Nbf [Uni]

**Barras**

Nbf	# barra
1	3

# Barra	Area [mm <sup>2</sup> ]
2	32
3	71
4	129
5	199
6	284
7	387
8	510
9	645
10	819
11	1006
14	1452
18	2531

t: Espesor ; L: Ancho ; H: Altura  
f: Resistencia del concreto  
%f: factor de reducción de f'  
Fy: Esfuerzo de fluencia del acero  
ey: Deformación de fluencia del acero  
ero: Deformación de rotura del concreto  
S: Distancia entre las barras  
R: Recubrimiento  
Nf: Número de filas de acero  
Nbf: Número de barras por fila de acero  
δu: Desplazamiento del extremo del muro  
Vu: Cortante último

**Salida de datos**

P [KN]

M [KN\*m]

C [m]

**Comprobar diseño**

# Comb. carga   Importar datos

No	P [KN]	M [KN*m]	Vu [KN]	δu [m]	E. borde	Ref. Vu [mm <sup>2</sup> /m]	# Mallas
1	55.0100	22.5111	4.5306	1.3700e-04	0	500	^
2	58.4257	25.8040	5.0044	1.7200e-04	0	500	
3	54.1979	23.3632	4.5840	1.5100e-04	0	500	
4	47.1515	19.2953	3.8834	1.1700e-04	0	500	
5	54.1979	23.3632	4.5840	1.5100e-04	0	500	
6	16.1457	79.9327	43.3548	0.0015	0	500	
7	92.2501	33.2063	34.1868	0.0018	0	500	
8	24.5974	66.7018	28.7636	0.0020	0	500	
9	83.7983	19.9754	19.5957	0.0023	0	500	
10	35.3636	14.4714	2.9125	8.8000e-05	0	500	
11	2.6886	71.0409	41.6833	0.0016	0	500	
12	73.4158	42.0981	35.8583	0.0018	0	500	
13	5.7631	57.8101	27.0922	0.0020	0	500	
14	64.9641	28.8672	21.2671	0.0022	0	500	v

**Bosquejo: sección del muro**

Figura 57. Diseño muro ME

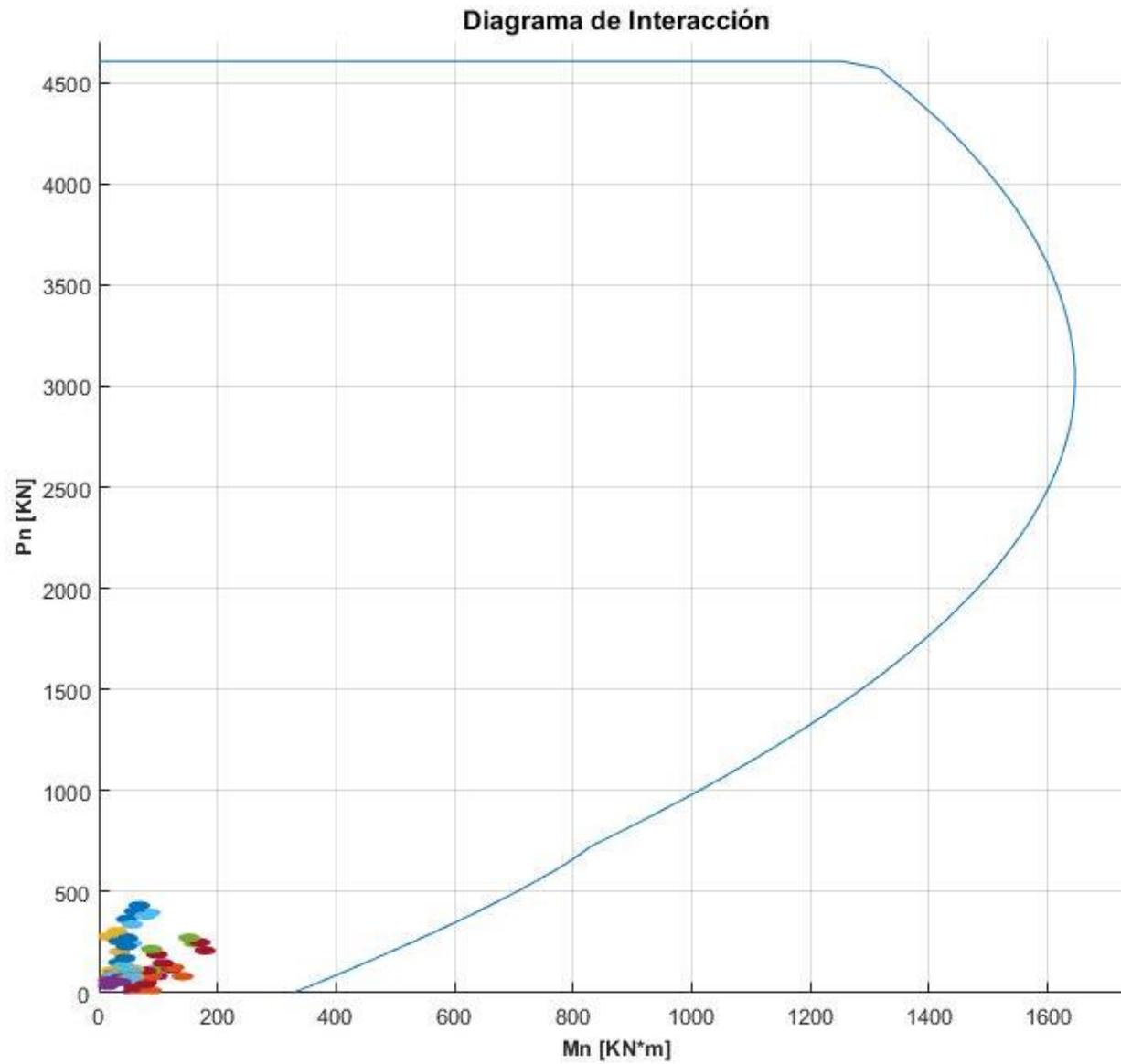


Figura 58. Diagrama de interacción muro ME

## 11.14 Muro MF

**Características geométricas del muro**

t [mm]  L [m]

H [m]  Muro concreto

# Barra	Area [mm <sup>2</sup> ]
2	32
3	71
4	129
5	199
6	284
7	387
8	510
9	645
10	819
11	1006
14	1452
18	2531

t: Espesor ; L: Ancho ; H: Altura  
f: Resistencia del concreto  
%f: factor de reducción de f'  
Fy: Esfuerzo de fluencia del acero  
ey: Deformación de fluencia del acero  
erc: Deformación de rotura del concreto  
S: Distancia entre las barras  
R: Recubrimiento  
Nf: Número de filas de acero  
Nbf: Número de barras por fila de acero  
δu: Desplazamiento del extremo del muro  
Vu: Cortante último

**Materiales**

f [MPa]

%f [Dec]

Fy [MPa]

ey [m/m]

erc [m/m]

**Armado**

r [mm]

S [mm]

Nf [Unj]

Reforzo distribuido

Nbf [Unj]

**Barras**

Nbf	# barra
1	3

Guardar

Generar tabla

Graficar M-P

Exportar gráfica

**Salida de datos**

P [KN]

M [KN\*m]

C [m]

Ver

**Comprobar diseño**

# Comb. carga  Generar tabla Importar datos Comprobar

No	P [KN]	M [KN*m]	Vu [KN]	δu [m]	E. borde	Ref. Vu [mm <sup>2</sup> /m]	# Mallas
1	52.2482	11.7411	31.6145	1.3700e-04	0	500	
2	55.0701	14.1495	37.7203	1.7200e-04	0	500	
3	51.2129	12.6174	33.7370	1.5100e-04	0	500	
4	44.7842	10.0638	27.0982	1.1700e-04	0	500	
5	51.2129	12.6174	33.7370	1.5100e-04	0	500	
6	22.1543	18.9579	27.7107	0.0015	0	500	
7	80.2714	44.1926	95.1846	0.0018	0	500	
8	14.5016	9.5180	10.3987	0.0020	0	500	
9	87.9242	34.7528	77.8727	0.0023	0	500	
10	33.5881	7.5479	20.3236	8.8000e-05	0	500	
11	4.5296	24.0274	41.1240	0.0016	0	500	
12	62.6467	39.1231	81.7713	0.0018	0	500	
13	3.1232	14.5875	23.8121	0.0020	0	500	
14	70.2995	29.6832	64.4593	0.0022	0	500	

**Bosquejo: sección del muro**

Figura 59. Diseño muro MF

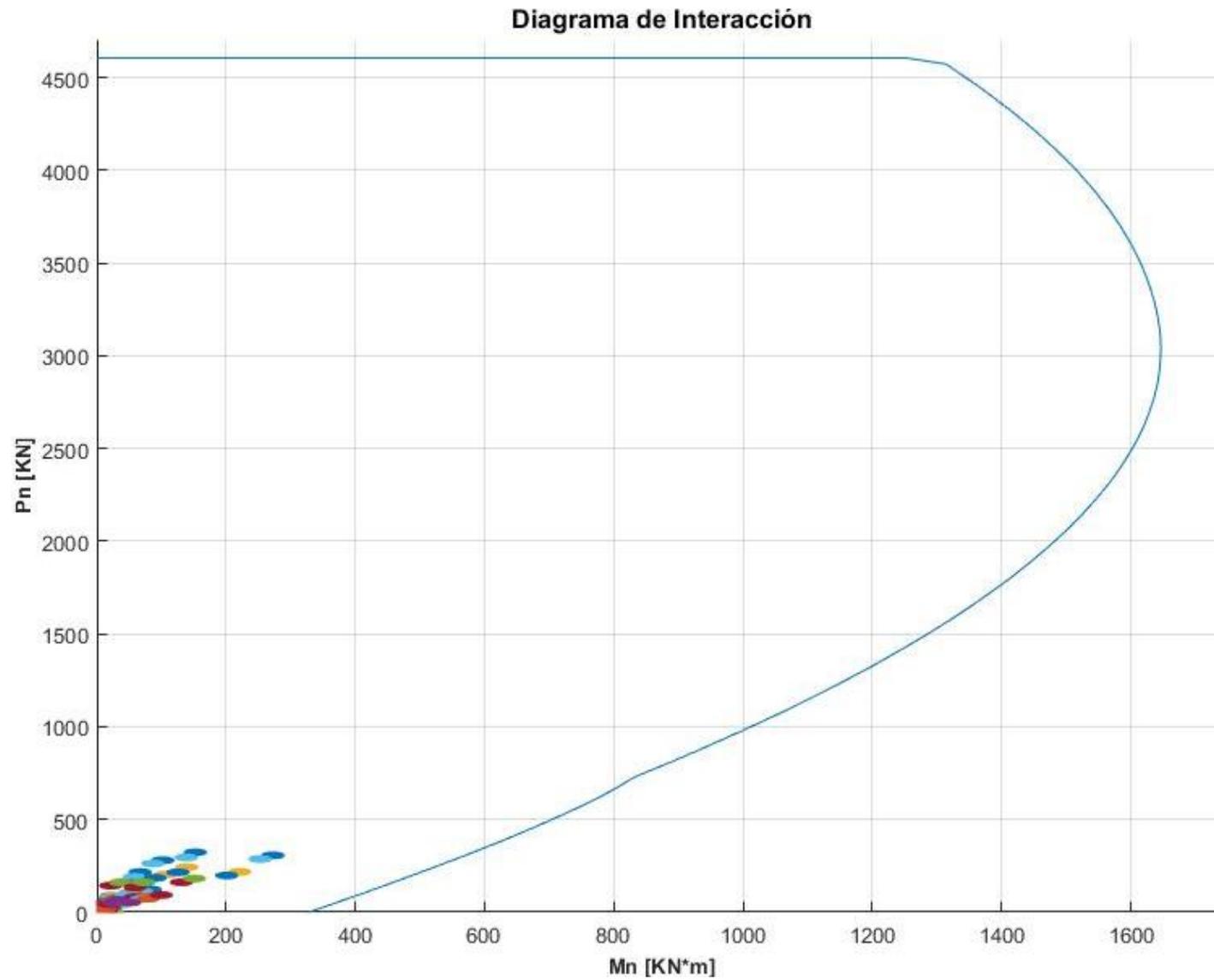


Figura 60. Diagrama de interacción muro MF

11.15 Muro MG

**Características geométricas del muro**

t [mm]     L [m]

H [m]     Muro concreto

# Barra	Area [mm <sup>2</sup> ]
2	32
3	71
4	129
5	199
6	284
7	387
8	510
9	645
10	819
11	1006
14	1452
18	2531

t: Espesor ; L:Ancho ; H:Altura  
 f: Resistencia del concreto  
 %f: factor de reducción de f  
 Fy: Esfuerzo de fluencia del acero  
 ey: Deformación de fluencia del acero  
 εrc: Deformación de rotura del concreto  
 S: Distancia entre las barras  
 R: Recubrimiento  
 Nf: Número de filas de acero  
 Nbf: Número de barras por fila de acero  
 δu: Desplazamiento del extremo del muro  
 Vu: Cortante último

**Materiales**

f [MPa]

%f [Dec]

Fy [MPa]

ey [m/m]

εrc [m/m]

**Armado**

r [mm]

S [mm]

Nf [Uni]

Reforzo distribuido

Nbf [Uni]

**Barras**

Nbf	# barra
1	3

Guardar

Generar tabla

Graficar M-P

Exportar gráfica

**Salida de datos**

P [KN]

M [KN\*m]

C [m]

Ver

**Comprobar diseño**

# Comb. carga     Generar tabla    Importar datos    Comprobar

No	P [KN]	M [KN*m]	Vu [KN]	δu [m]	E. borde	Ref. Vu [mm <sup>2</sup> /m]	# Mallas
1	105.3948	2.8834	62.9596	2.1300e-04	0	500	^
2	119.8507	2.9147	74.3605	2.4800e-04	0	500	
3	108.7836	2.7485	66.7123	2.2300e-04	0	500	
4	90.3384	2.4715	53.9653	1.8200e-04	0	500	
5	108.7836	2.7485	66.7123	2.2300e-04	0	500	
6	76.0220	46.2590	128.7102	0.0020	0	500	
7	141.5452	40.7621	4.7145	0.0024	0	500	
8	85.1335	33.1149	105.7352	0.0021	0	500	
9	132.4337	27.6179	27.6894	0.0026	0	500	
10	67.7538	1.8536	40.4740	1.3700e-04	0	500	
11	34.9922	45.3642	102.4719	0.0020	0	500	
12	100.5153	41.6569	21.5239	0.0023	0	500	
13	44.1037	32.2200	79.4969	0.0022	0	500	
14	91.4039	28.5128	1.4511	0.0025	0	500	v

**Bosquejo: sección del muro**

Figura 61. Diseño muro MG

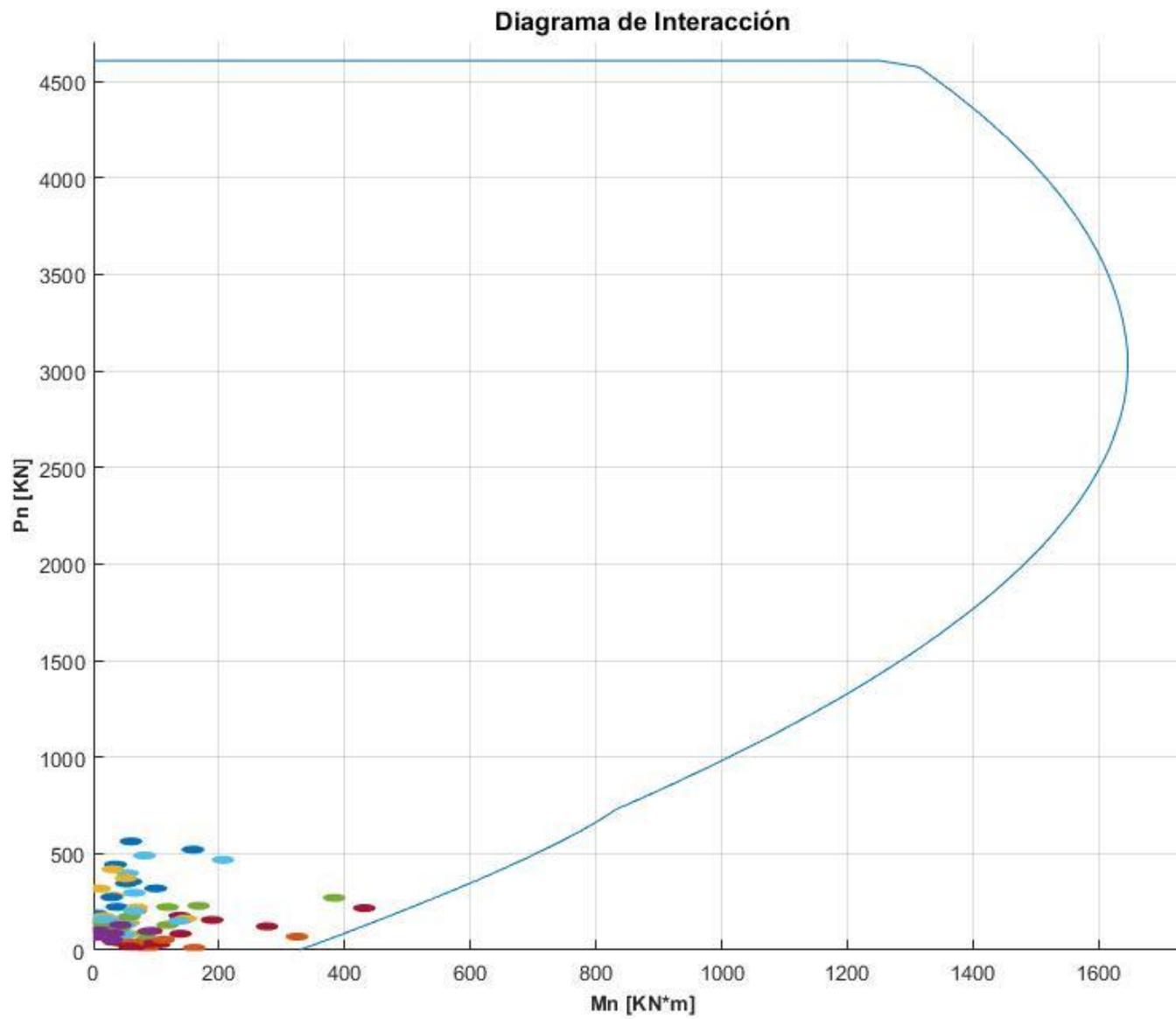


Figura 62. Diagrama de interacción muro MG

## 11.16 Muro MH

**Características geométricas del muro**

t [mm]  L [m]

H [m]  Muro concreto

**Materiales**

f [MPa]  %f [Dec]

Fy [MPa]  ey [m/m]

erc [m/m]

**Armado**

r [mm]  S [mm]

Nf [Uni]  Refuerzo distribuido

Nbf [Uni]

**Barras**

Nbf	# barra
1	3

# Barra	Area [mm <sup>2</sup> ]
2	32
3	71
4	129
5	199
6	284
7	387
8	510
9	645
10	819
11	1006
14	1452
18	2531

t: Espesor ; L: Ancho ; H: Altura  
f: Resistencia del concreto  
%f: factor de reducción de f  
Fy: Esfuerzo de fluencia del acero  
ey: Deformación de fluencia del acero  
erc: Deformación de rotura del concreto  
S: Distancia entre las barras  
R: Recubrimiento  
NF: Número de filas de acero  
Nbf: Número de barras por fila de acero  
δu: Desplazamiento del extremo del muro  
Vu: Cortante último

**Salida de datos**

P [KN]

M [KN\*m]

C [m]

**Comprobar diseño**

# Comb. carga

No	P [KN]	M [KN*m]	Vu [KN]	δu [m]	E. borde	Ref. Vu [mm <sup>2</sup> /m]	# Mallas
1	60.2029	15.7128	39.0583	2.1300e-04	0	500	^
2	66.3915	18.0994	45.6708	2.4800e-04	0	500	
3	60.8456	16.3627	41.0987	2.2300e-04	0	500	
4	51.6025	13.4681	33.4785	1.8200e-04	0	500	
5	60.8456	16.3627	41.0987	2.2300e-04	0	500	
6	0.0629	7.6042	14.9398	0.0020	0	500	
7	121.6284	40.3296	97.1371	0.0024	0	500	
8	1.4590	6.0510	31.3728	0.0021	0	500	
9	120.2322	38.7764	113.5702	0.0026	0	500	
10	38.7019	10.1011	25.1089	1.3700e-04	0	500	
11	22.0809	13.8658	30.9296	0.0020	0	500	
12	99.4846	34.0680	81.1473	0.0023	0	500	
13	20.6848	12.3126	47.3626	0.0022	0	500	
14	98.0885	32.5148	97.5804	0.0025	0	500	∨

**Bosquejo: sección del muro**

Figura 63. Diseño muro MH

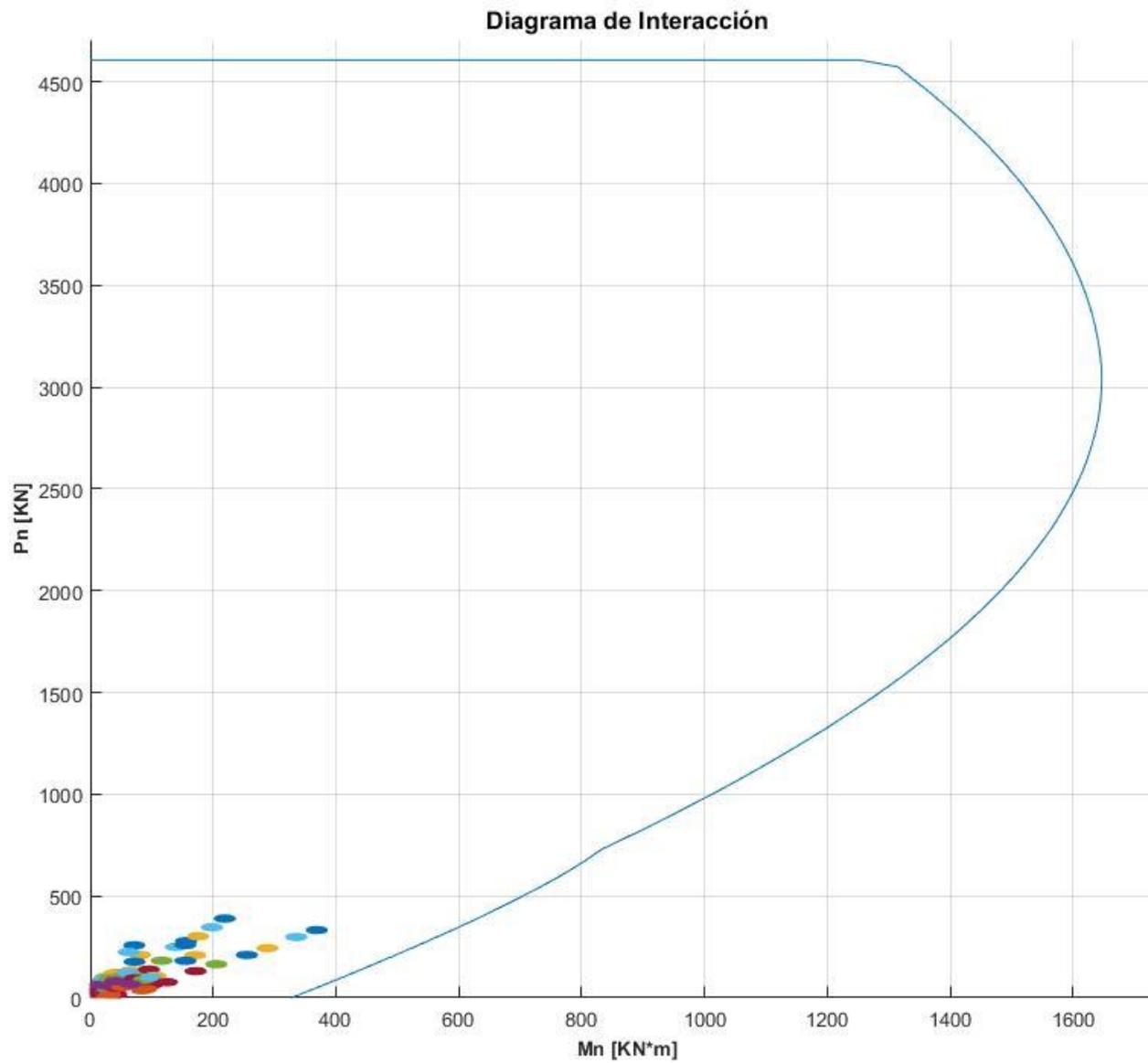


Figura 64. Diagrama de interacción muro MH

## 12. Análisis pushover de la Estructura Reforzada

Con el fin de evaluar la mejoría en el desempeño de la edificación con la implementación del reforzamiento se realizó un análisis pushover, esto con fin de comparar las curvas de desplazamiento vs cortante, y la mejoría en la ductilidad general de la estructura.

## 13. Definición de Rotulas en los Muros

Para la definición de las rotulas en los muros, se empleo la herramienta integrada en el software de análisis Etabs 2016, la cual define las rotulas en función al reforzamiento de los muros, en la Figura 28, se puede ver un ejemplo de creación de estas rotulas, en donde se alimenta el modelo con el refuerzo vertical de los muros, los estribos y si el concreto se encuentra confinado.

The screenshot shows the 'Reinforcement' dialog box in a software application. It is divided into several sections:

- Rebar Material:** Material Flexure (A615Gr60), Material Shear (A615Gr60), Bar Clear Cover (0.025 m).
- Layout:** A diagram showing the reinforcement layout on a wall section.
- Geometry:** A table with columns: Start X (m), Start Y (m), End X (m), End Y (m), Length (m), Thickness (m), Start Zone Ratio, and End Zone Ratio. The first row contains values: 2, 12.93592, 3.98053, 13.21426, 2, 0.2, 0.25, 0.25.
- Reinforcement:**
  - Flexural Detail:** A table with columns: Station, Bar Size, Bar Spacing (m), and Number of Bars. Rows: Start (#3, 0.15, 3), Center (#3, 0.15, 6), End (#3, 0.15, 3).
  - Flexural Detail (Additional Individual Bar):** A table with columns: Material, Distance (m), and Area (m2).
  - Shear/Confinement Detail:** A table with columns: Station, Bar Size, Bar Spacing (m), and Confined. Rows: Start (#3, 0.15, No), Center (#3, 0.15, No), End (#3, 0.15, No).

Buttons for 'OK' and 'Cancel' are located at the bottom right of the dialog.

Figura 65. Definición de refuerzo para rotulas en Muros

### 13.1 pushover sentido X positivo torre A reforzada

En la Figura 66, se muestra una de las curvas resultado del análisis pushover, en el apéndice E, se pueden encontrar las curvas completas para las torres A y B, en ambos sentidos.

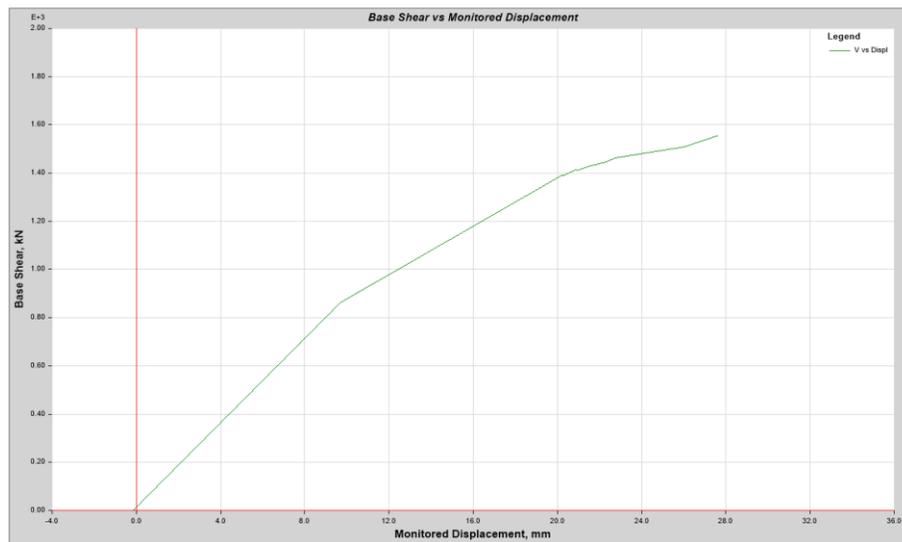


Figura 66. Curva pushover sentido X positivo, Torre A reforzada.

## 14. Comparación Estructura Reforzada, Vs Estado Actual

La solución de reforzamiento estudiada garantiza una mejoría tanto en la resistencia como en la rigidez lateral de la estructura, disminuyendo los índices de sobreesfuerzo en las columnas, y las derivas globales de la estructura. Hasta este punto y según la práctica aceptada en el medio colombiano, se concluye que esta solución y las verificaciones presentadas son suficiente para la validación del reforzamiento. Por otro lado, y siendo uno de los objetivos de esta monografía, vale la pena comparar el desempeño que tendría la estructura con el reforzamiento, y compararlo con el que presentaría actualmente, esto con fin de evaluar la solución de reforzamiento desde una

perspectiva diferente a la usual. A continuación, se presentan las curvas de desempeño, tanto para la estructura actual, como para la propuesta de reforzamiento.

De la Figura 67 a la 74, se puede observar que el efecto del reforzamiento en la curva del pushover para las dos torres, es similar, pues para todos los casos, se presenta un aumento en la rigidez inicial de la estructura, lo cual se evidencia con una mayor pendiente de la curva al inicio de la aplicación de la carga. De igual manera el cortante máximo en la base se ve aumentado en un 375% para la dirección X y en un 167% para la dirección Y. La deformación máxima en la cubierta, para todos los casos se vio considerablemente reducida.

#### 14.1 Torre A

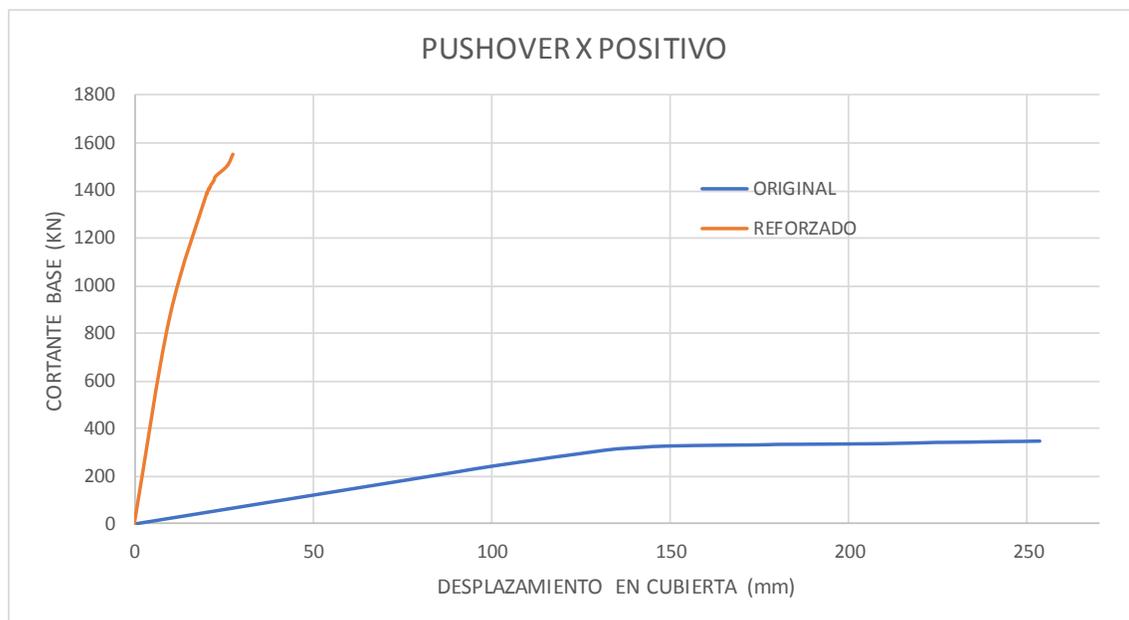


Figura 67. Curvas de pushover sentido X positivo Torre A

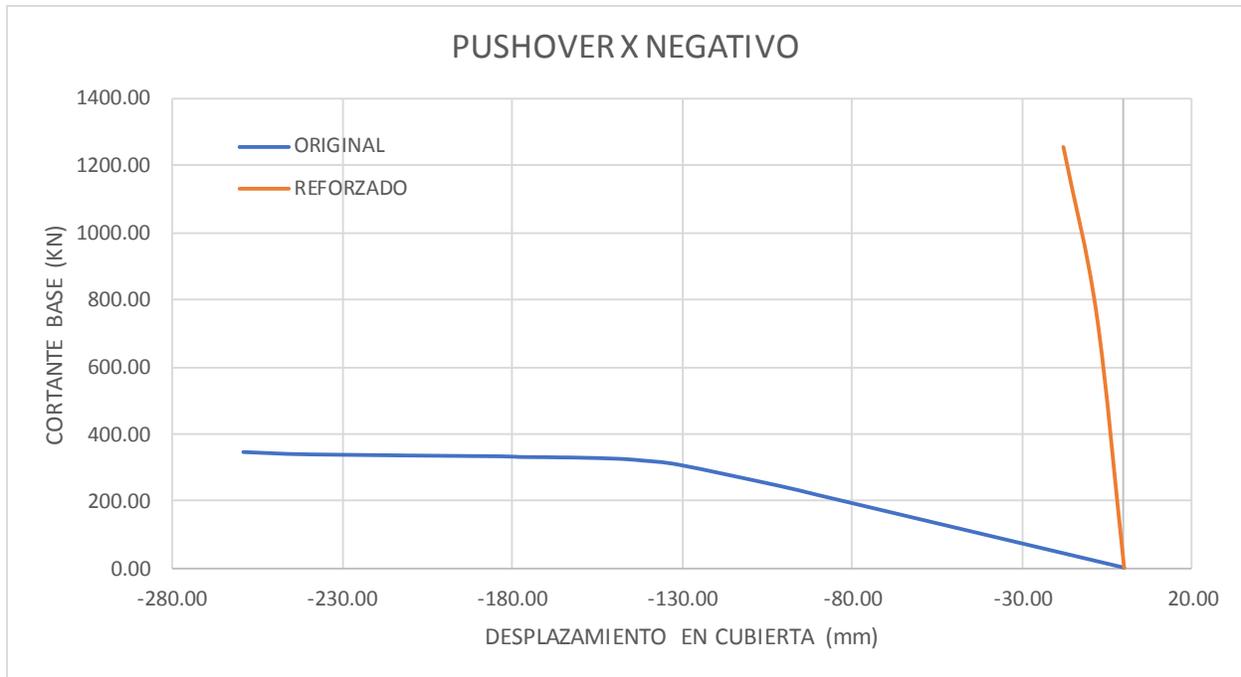


Figura 68. Curvas de pushover sentido X negativo Torre A

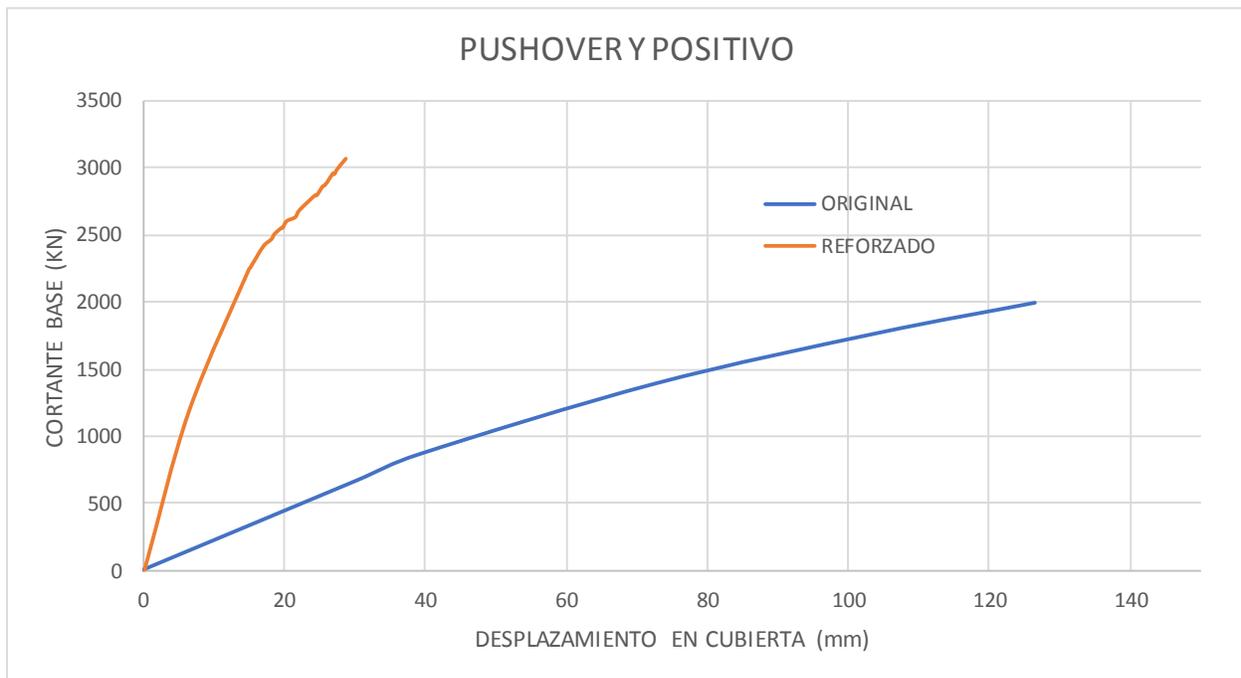


Figura 69. Curvas de pushover sentido Y positivo Torre A

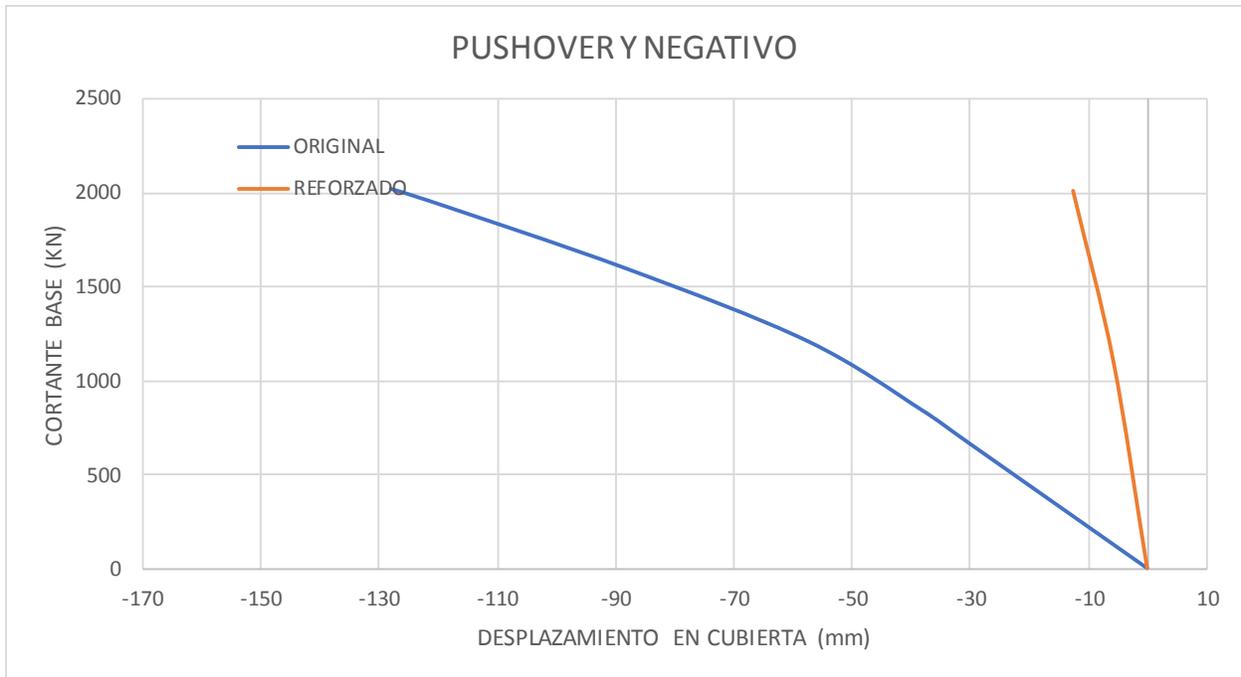


Figura 70. Curvas de pushover sentido Y negativo Torre A

## 14.2 Torre B

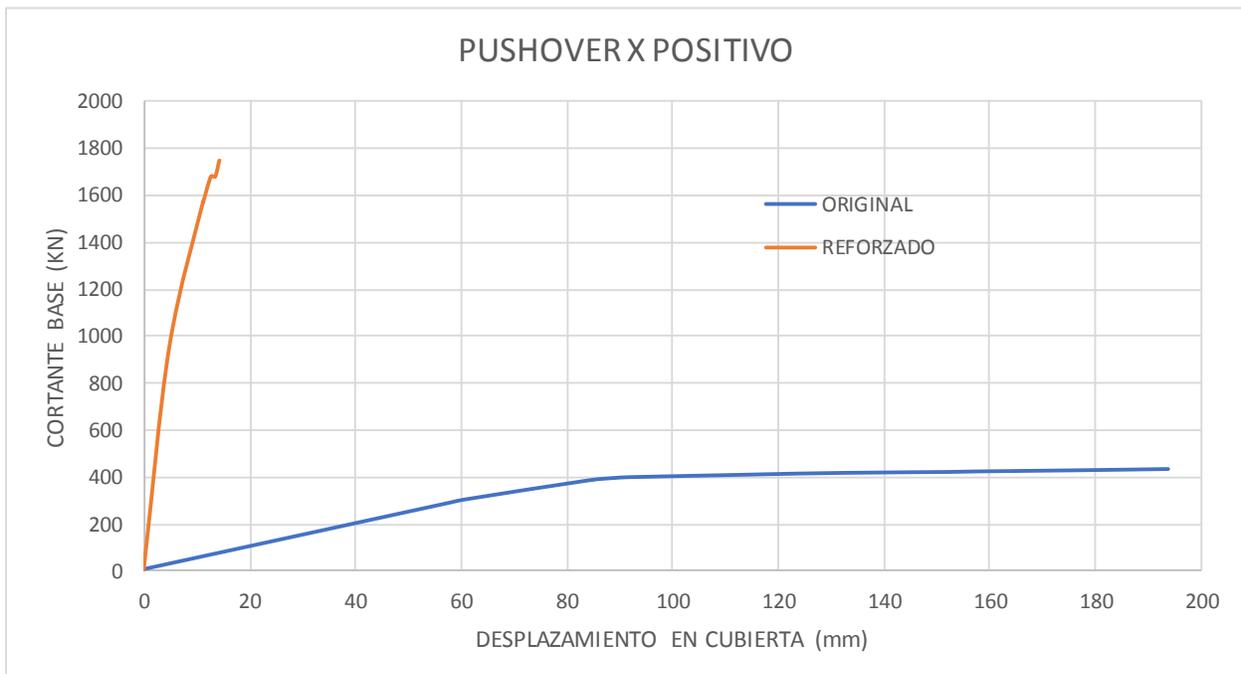


Figura 71. Curvas de pushover sentido X positivo Torre B

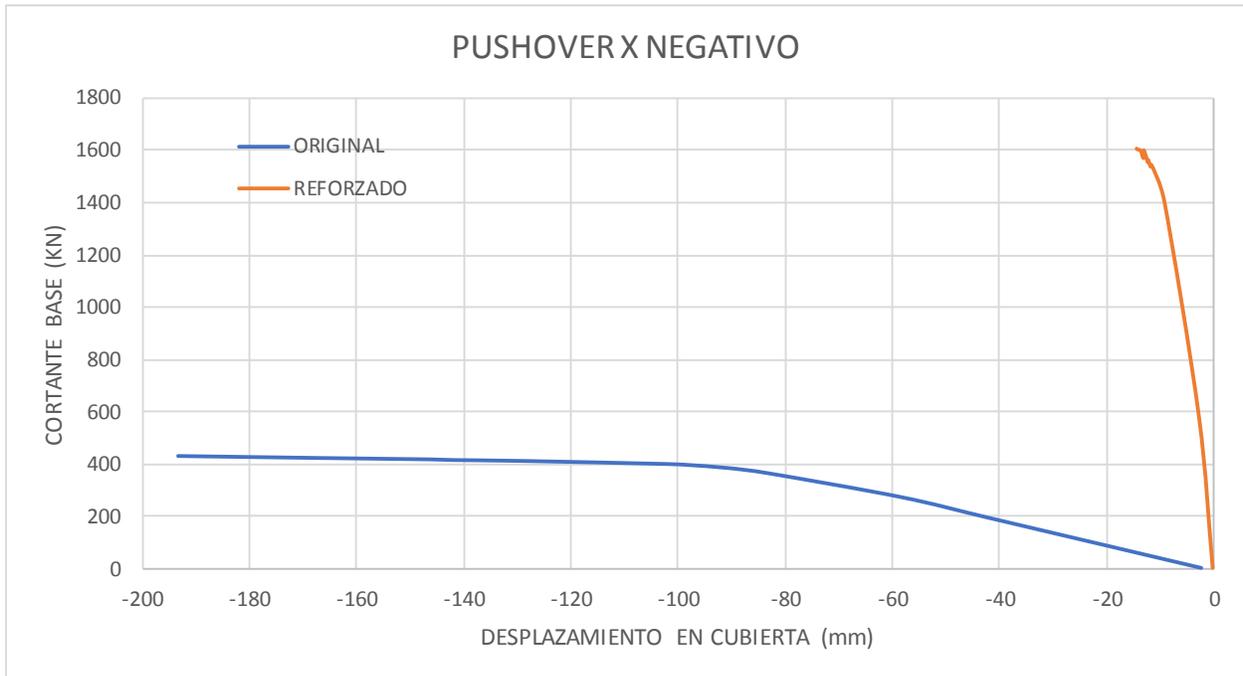


Figura 72. Curvas de pushover sentido X negativo Torre B

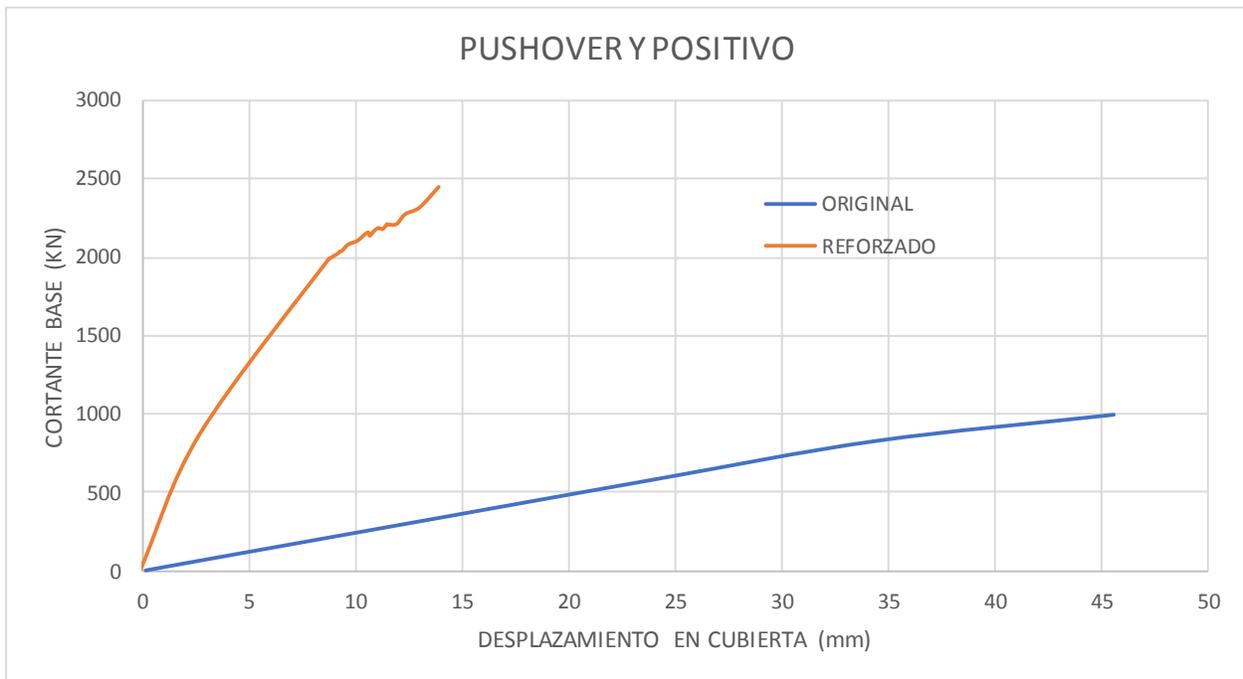


Figura 73. Curvas de pushover sentido Y positivo Torre B

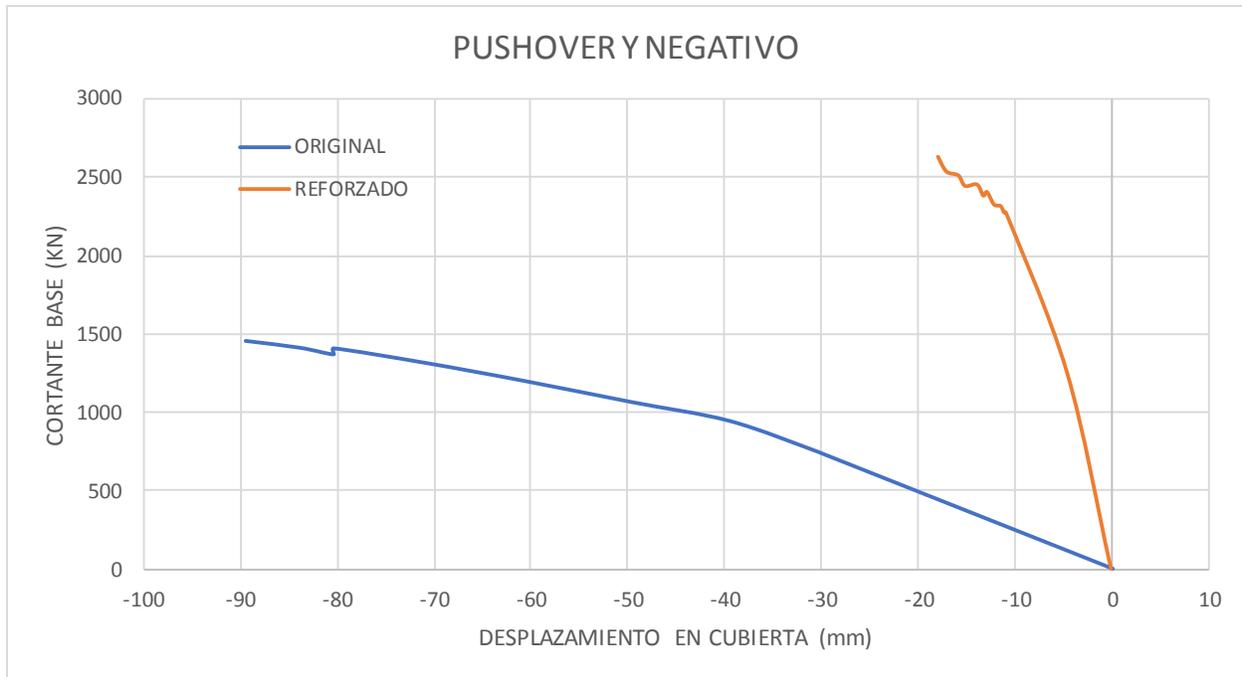


Figura 74. Curvas de pushover sentido Y negativo Torre B

## 15. Conclusiones

Se realizó un estudio de vulnerabilidad sísmica para una edificación de vivienda familiar de 4 pisos, obteniendo las fuerzas sísmicas por medio de un análisis modal espectral, encontrando que la configuración original es insuficiente para cumplir con los requisitos establecidos por la NSR-10, siendo necesaria la implementación de muros de concreto reforzado, los cuales disminuyeron los índices de flexibilidad y resistencia dentro de los rangos apropiados.

El máximo índice de sobre resistencia encontrado fue de 1.92, y el de flexibilidad de 4.54, ambos mayores a 1.0, razón por la cual fue necesario el diseño de un reforzamiento.

La propuesta de reforzamiento logró una reducción en la deriva máxima de piso en el sentido X de un 95% y en el sentido Y de un 75%, mostrando así, la gran efectividad de la inclusión de muros de concreto reforzado, en la reducción de los índices de flexibilidad en estructuras de este tipo.

Al comparar las curvas de desempeño de la estructura en su estado actual, contra la solución reforzada, se evidencia, como era de esperarse, un considerable aumento en la resistencia global de la estructura frente al cortante en la base en 375% para la dirección X y en un 167% para el sentido Y. Por otro lado, en términos de ductilidad, la solución reforzada presenta una capacidad de desplazamiento considerablemente baja con respecto a la capacidad inicial de la edificación.

La reducción encontrada en la ductilidad global de la estructura llama la atención con respecto a las metodologías empleadas actualmente en el diseño de reforzamientos, pues si bien se logran reducir los índices de flexibilidad y sobreesfuerzo, por lo menos para el caso estudiado, se evidencia una reducción en la ductilidad de la estructura, lo que se puede ver comparando las deformaciones máximas alcanzadas en la gráficas 37 a 44, lo cual según las nuevas metodologías de diseño por desempeño no debería ser una característica para descuidar.

En este documento solo se estudió una alternativa de reforzamiento (con muros de concreto reforzado), y se encontró una reducción en el comportamiento dúctil de la estructura, cabe aclarar, que existen otras alternativas de reforzamiento (porticos metálicos, riostras, muros de mampostería estructural, entre otros) que bien podrían mantener el grado de ductilidad actual, y aun así mejorar los índices de flexibilidad y resistencia de la estructura, más deberían ser estudiados en futuras monografías.

**Referencias Bibliograficas**

- Bonett Díaz, R. L. (2003). Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada. Universitat Politècnica de Catalunya, 2003. Retrieved from <https://bibliotecavirtual.uis.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edstdx&AN=edstdx.10803.6230&lang=es&site=eds-live>
- Donnini, J., & Corinaldesi, V. (2017). Mechanical characterization of different FRCM systems for structural reinforcement. *Construction and Building Materials*, 145, 565–575. <https://bibliotecavirtual.uis.edu.co:2236/DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.04.051>.
- Gallego Silva, M., & Sarria Molina, A. (2006). EL CONCRETO Y LOS TERREMOTOS : CONCEPTOS, COMPORTAMIENTO, PATOLOGIA Y REHABILITACION / Mauricio Gallego Silva, Alberto Sarria Molina. Bogotá : Asocreto, 2006. 21-22
- Google Maps (2018). Ubicación Edificio Jimena. Consultado el 26 octubre de 2018. Disponible en: <https://www.google.com.co/maps/place/C1.+35+%2326-75,+Bucaramanga,+Santander/@7.1220045,-73.1194261,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x8e6815621c2841eb:0x2a36daa721f9dbb!8m2!3d7.1219992!4d-73.1172374>
- João Pedrosa, Pedro Delgado, Patrício Rocha, António Arêde, Nelson Vila Pouca, João Miranda Guedes, Raimundo Delgado. (2007). Metodologias de simulação do comportamento cíclico de elementos de betão armado: estudo comparativo e validação experimental. Retrieved from <https://bibliotecavirtual.uis.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsrca&AN=rcaap.openAccess.10216.67558&lang=es&site=eds-live>

- Julián Carrillo. (2008). Evaluación De La Vulnerabilidad Sísmica De Estructuras Utilizando Un Diseño Por Desempeño. *Dyna*, Vol 75, Iss 155, Pp 91-102 (2008), (155), 91. Retrieved from <https://bibliotecavirtual.uis.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsdoj&AN=edsdoj.75dbd03841b4a599fba6298c0924386&Lang=es&site=eds-live>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR – 10: Título A – Requisitos Generales de Diseño y Construcción Sismo Resistente.
- Naik, P. K., & M., M. (2018). Performance Evaluation of RC Haunch Beam Frame with Shear Wall. *IUP Journal of Structural Engineering*, 11(2), 52–61. Retrieved from <https://bibliotecavirtual.uis.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=asn&AN=129838831&lang=es&site=eds-live>
- Ruiz, D. M., Borrero, M. C., León, M. P., & Vacca, H. A. (2012). Estimación de los niveles de desempeño estructural y de la deriva inelástica de pórticos de concreto considerando la variabilidad de los materiales de Bogotá. *Ingeniería y Competitividad*, 14(1), 165–183. Retrieved from <https://bibliotecavirtual.uis.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=fua&AN=82082350&lang=es&site=eds-live>
- Sanati, M., Khadem, S. E., Mirzabagheri, S., Sanati, H., & Khosravieh, M. Y. (2014). Performance evaluation of a novel rotational damper for structural reinforcement steel frames subjected to lateral excitations. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 13(1), 75–84. <https://bibliotecavirtual.uis.edu.co:2236/DOI: 10.1007/s11803-014-0213-5>.

- Soleimani, S., Aziminejad, A., & Moghadam, A. S. (2017). Extending the concept of energy-based pushover analysis to assess seismic demands of asymmetric-plan buildings. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* (1984), 93, 29–41. <https://bibliotecavirtual.uis.edu.co:2236/10.1016/j.soildyn.2016.11.014>
- Vargas Alzate, Y. F. (2013). Análisis estructural estático y dinámico probabilista de edificios de hormigón armado. Aspectos metodológicos y aplicaciones a la evaluación del daño. Universidad Politécnica de Catalunya, 2013. Retrieved from <https://bibliotecavirtual.uis.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edstdx&AN=edstdx.10803.123770&lang=es&site=eds-live>
- Tirado, R. (2017). Aspectos metodológicos del diseño de estructuras altas en concreto reforzado: comparación entre el método de análisis modal espectral y el método de análisis dinámico no lineal. Colombia.53-58