

Análisis de los efectos de cargas accidentales dinámicas tipo explosivo en edificaciones  
tipo DES de concreto reforzado

Henry Andrés Díaz Barrera y Eliana Margarita Fiallo Hernández

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingenieros Civiles

Director

Homer Armando Buelvas Moya

Msc. en Ingeniería Estructural

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2021

### **Dedicatoria**

*A nuestro director de proyecto, Homer Buelvas por ser guía a lo largo de este camino de investigación en el área de estructuras, por todo el tiempo dedicado al desarrollo del proyecto, por cada una de sus valiosas revisiones y por la motivación para hacer un trabajo que sobrepasara las expectativas de un proyecto de investigación de pregrado.*

*A nuestros padres, Genry Díaz y Nubia Barrera; Jorge Fiallo y Rocío Hernández por todo el apoyo en cada paso del camino, por ser nuestra principal motivación para hacer las cosas lo mejor posible cada día y por incentivarnos a soñar cada vez más alto.*

*A nuestros hermanos Juliam Díaz y José Alejandro Fiallo por ser la mejor compañía a lo largo de esta etapa, en presencialidad remota fueron los mejores compañeros de clases.*

*A Dios por ser motor diario a lo largo de toda la carrera, por darnos la oportunidad de recorrer este camino juntos y por permitirnos sumar un logro más a esta amistad.*

*A nuestros amigos, especialmente a Daniel y Nubia por el tiempo empleado en la revisión de este trabajo y por sus valiosas observaciones al respecto, a su vez a todos los compañeros y profesores que hicieron parte de este camino y con quienes esperamos encontrarnos en la vida profesional como colegas.*

***Henry Andrés Diaz Barrera y Eliana Margarita Fiallo Hernández***

### **Agradecimientos**

Agradecemos a la Universidad Industrial de Santander por el préstamo del programa MIDAS gen para la debida realización del proyecto de investigación.

**Tabla de Contenido**

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	16
1. Objetivo.....	18
1.1 Objetivo General.....	18
1.2 Objetivos Específicos.....	18
2. Marco de Referencia .....	19
2.1 Antecedentes .....	19
2.2 Marco teórico .....	20
3. Metodología .....	24
3.1. Descripción general de la estructura base .....	24
3.2. Modos de vibración de la estructura restringida a tres grados de libertad por piso .....	26
3.3. Cargas de la estructura base.....	27
3.4. Análisis y diseño de la estructura.....	28
3.5. Control de deflexiones por cargas gravitacionales .....	30
3.6. Análisis sísmico .....	30
3.7. Identificación de los modelos .....	34
4. Metodología .....	36
4.1. Resultado fuerzas internas de las vigas.....	36
4.2. Capacidad según diseño propuesto de vigas .....	37
4.3. Resultado fuerzas internas de columnas .....	39
4.4. Capacidad según diseño propuesto de columnas .....	40

5. Propuesta del modelo de carga dinámica lineal tipo presión superficial para la explosión.....	43
6. Respuesta del modelo estructural ante la carga explosiva .....	46
6.1. Respuesta de las fuerzas en vigas .....	46
6.2. Respuesta de las fuerzas en columnas .....	49
7. Comparación de elementos antes y después de la aplicación .....	54
7.1. Comparación de solicitaciones en vigas .....	55
7.2. Comparación de solicitaciones en columnas .....	56
8. Conclusiones .....	59
9. Recomendaciones .....	60
Referencias Bibliográficas .....	62
Apéndices.....	65

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
<i>Tabla 1. Modos de vibración.....</i>	27
<i>Tabla 2. Cargas correspondientes a la estructura.....</i>	28
<i>Tabla 3. Combinaciones de carga ACI.....</i>	29
<i>Tabla 4. Especificaciones de tipo de suelo.....</i>	32
<i>Tabla 5. Vigas de mayores momentos de la estructura.....</i>	36
<i>Tabla 6. Columnas de mayores momentos de la estructura.....</i>	40
<i>Tabla 7. Coeficientes de la ecuación.....</i>	44
<i>Tabla 10. Valores D/C de momentos Y.....</i>	57
<i>Tabla 11. Valores D/C de momentos Z.....</i>	57
<i>Tabla 12. Valores D/C de cortantes.....</i>	58
<i>Tabla 13. Valores D/C de axiales.....</i>	58

## Lista de Figuras

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Interrelación temporal entre palabras de los artículos consultados. ....	20
<b>Figura 2.</b> Curva típica presión-tiempo para una onda debida a una explosión .....	23
<b>Figura 3.</b> Vista planta de la edificación con su respectiva nomenclatura .....	25
<b>Figura 4.</b> Vista isométrica de la edificación. ....	26
<b>Figura 5.</b> Espectro de diseño.....	32
<b>Figura 6.</b> Zona seleccionada de la edificación a evaluarse en cada piso .....	35
<b>Figura 7.</b> Sección transversal reforzada de la viga .....	37
<b>Figura 8.</b> Momentos máximos elemento 53 (Piso 2).....	38
<b>Figura 9.</b> Cortantes máximos elemento 53 (Piso 2).....	39
<b>Figura 10.</b> Sección transversal de la columna.....	41
<b>Figura 11.</b> Momentos máximos elemento 78(Piso 2).....	41
<b>Figura 12.</b> Axiales máximos elemento 78 (Piso 2).....	42
<b>Figura 13.</b> Axiales máximos elemento 78 (Piso 2).....	43
<b>Figura 14.</b> Gráfica efecto explosivo.....	45
<b>Figura 15.</b> Representación del tipo de distribución a usar en el modelo .....	45
<b>Figura 16.</b> Momentos máximos después de la aplicación de la carga explosiva. ....	47
<b>Figura 17.</b> Momentos respecto al tiempo del elemento 53 después de la aplicación de la carga explosiva .....	47
<b>Figura 18.</b> Cortantes máximos después de la aplicación de la carga explosiva.....	48

<b>Figura 19.</b> Cortantes respecto al tiempo elemento 53 después de la aplicación de la carga explosiva.....	49
<b>Figura 20.</b> Momentos máximos después de la aplicación de la carga explosiva.....	50
<b>Figura 21.</b> Momento Y respecto al tiempo elemento 78 después de la aplicación de la carga explosiva.....	51
<b>Figura 22.</b> Momento Z respecto al tiempo elemento 78 después de la aplicación de la carga explosiva.....	51
<b>Figura 23.</b> Cortantes máximos después de la aplicación de la carga explosiva.....	52
<b>Figura 24.</b> Cortantes respecto al tiempo elemento 78 después de la aplicación de la carga explosiva.....	52
<b>Figura 25.</b> Axiales máximos después de la aplicación de la carga explosiva.....	53
<b>Figura 26.</b> Gráfica de los axiales respecto al tiempo del elemento 78 después de la aplicación de la carga explosiva.....	54

### Lista de Apéndices

	<b>Pág.</b>
Apéndice A. Modelos de la edificación.....	65
Apéndice B. Espectro de diseño y modos de vibración.....	66
Apéndice C. Chequeo de columnas .....	68
Apéndice D. Explosión de 2 metros .....	69
Apéndice E. Derivas de la edificación.....	71
Apéndice F. Análisis de demanda capacidad de momentos para la viga seleccionada por entrepiso con explosión de radio 2 metros .....	75
Apéndice G. Análisis de demanda capacidad de cortantes para la viga seleccionada por entrepiso con explosión de radio 2 metros .....	84
Apéndice H. Análisis de demanda capacidad de momentos para la columna seleccionada por entrepiso con explosión de radio 2 metros.....	93
Apéndice I. Análisis de demanda capacidad de cortantes para la columna seleccionada por entrepiso con explosión de radio 2 metros.....	105
Apéndice J. Análisis de demanda capacidad de axiales para la columna seleccionada por entrepiso con explosión de radio 2 metros .....	114

Los apéndices K, L, M, N, O y P están adjuntos y pueden visualizarlos en la base de datos de la biblioteca UIS

Apéndice K. Carga de los elementos tipo viga y tipo columna – Libro de Excel.

Apéndice L. Time History de los elementos 53 y 78 – Libro de Excel.

Apéndice M. Modelo estructural con carga explosiva ubicada en el Piso 1 – MIDAS gen.

Apéndice N. Modelo estructural con carga explosiva ubicada en el Piso 2 – MIDAS gen.

Apéndice O. Modelo estructural con carga explosiva ubicada en el Piso 3 – MIDAS gen.

Apéndice P. Modelo estructural con carga explosiva ubicada en el Piso 4 – MIDAS gen.

### Glosario (Opcional)

Los conceptos referentes a este trabajo de investigación se resaltan en la siguiente sección, en donde se describen los elementos a referenciar como categoría general.

**Explosión:** La palabra explosión es utilizada para una súbita liberación de energía que puede causar un enorme aumento de presión en el espacio adyacente. Una explosión puede tomar forma de una deflagración, que genera una presión moderada con velocidades de orden m/seg, o de una detonación, que genera elevadas sobrepresiones en el espacio cercano con velocidades del orden de km/seg (Aráoz, 2012).

**Detonación:** Forma de reacción del explosivo que produce ondas de choque de gran intensidad. Los explosivos pueden ser detonados bajo un estímulo suficiente. Como reacción, se generan gases a alta temperatura bajo presiones entre 100kbar y 300kbar y temperaturas entre 3000°C y 4000°C. Dichos gases se expanden expulsando al aire circundante del volumen que ocupa (Luege, 1999).

**Cargas accidentales:** Una carga accidental es aquella que sucede eventualmente en la vida de una estructura, no es constante y puede alcanzar grandes magnitudes. Esta no se debe al funcionamiento normal de la estructura y se presenta solo durante lapsos breves. Una carga accidental puede ser la ocasionada por sismo, viento, explosiones, incendios y otros fenómenos extraordinarios que puedan presentarse (Montero López, 2004).

**Edificaciones convencionales:** Las Estructuras de Hormigón Armado se han expandido a toda una la gama de edificaciones de baja y media altura por su flexibilidad y eficacia en las construcciones. Es el sistema constructivo más empleado en el mundo (Valencia Vásconez, 2012).

**Cargas dinámicas explosivas:** Las cargas dinámicas asociadas con explosiones cercanas o libres provocan velocidades de deformación en el material del orden de  $10^{-1}$  a  $10^3$  1/seg. Eso da como resultado un comportamiento especial de los materiales afectados, observándose grandes sobre resistencias y aumento de la rigidez (Luege, 1999).

**Estructura:** La Estructura de una edificación es el esqueleto que soporta todas las cargas, la estructura de un edificio no solo soporta su peso propio sino también otras cargas y situaciones que alteran su carga total inicial.

**Estructura tipo pórtico:** Las estructuras tipo pórtico son un tipo de sistema estructural, en el cual los elementos estructurales de hormigón formados por columnas y vigas en toda la altura del edificio, las vigas se apoyan sobre los pilares y de esta manera, transmiten las cargas transversales (Valencia Vásconez, 2012).

**Hormigón:** El hormigón es un material utilizado en la construcción, este tiene una resistencia determinada a la compresión, sin embargo, en su resistencia a la tracción es casi nula. Se debe tener en cuenta que el hormigón convencionalmente tiene una resistencia a la tracción diez veces menor que a la compresión (Valencia Vásconez, 2012).

**Viga:** Estos elementos horizontales de la estructura, también llamados vigas, jácenas o riostras, se encargan de transmitir y soportar cargas transversales a las que está sometido el elemento de apoyo (Valencia Vásconez, 2012).

**Columna:** Los elementos verticales de la estructura comúnmente denominados como pilares, se encargan de brindar soporte vertical a una altura determinada bastante grande con respecto a su sección transversal (Valencia Vásquez, 2012).

**Placa:** Las placas son estructuras que sirven para actuar como refuerzo para el momento positivo en el que el hormigón alcanza la resistencia determinada, a su vez cumplen la función de plataformas de trabajo antes de la fundición del hormigón, debido a que estos previamente deben sujetarse de manera adecuada en la estructura (Vielma Pérez, 2008).

**Respuesta:** La respuesta de los edificios de hormigón se analiza por medio de un análisis numérico estático y dinámico mediante el cual se identifican diferentes propiedades del material. Con el fin de determinar una evaluación de la respuesta en estructuras y en materiales constitutivos se hace necesario en primer lugar la determinación las características de las cargas o solicitaciones (Mario Bermejo , José M. Goicolea, Felipe Gabaldón, 2011).

**Comportamiento:** En el análisis de cargas dinámicas se realizan estudios experimentales con el fin de estudiar y caracterizar el comportamiento del hormigón (Mario Bermejo , José M. Goicolea, Felipe Gabaldón, 2011).

## Resumen

**Título:** Análisis de los efectos de cargas accidentales dinámicas tipo explosivo en edificaciones tipo DES de concreto reforzado\*

**Autor:** Henry Andrés Díaz Barrera; Eliana Margarita Fiallo Hernández\*\*

**Palabras Clave:** Estructura tipo pórtico, cargas dinámicas, efectos explosivos, respuesta estructural.

**Descripción:** Las estructuras de hormigón reforzado tipo pórtico están compuestas por vigas, columnas y losas que trabajan en conjunto para soportar las diferentes acciones producidas por cargas estáticas y dinámicas. Este tipo de estructuras pueden llegar a estar expuestas a efectos accidentales que pueden ocasionar desde daños severos en la estructura hasta un colapso total de la edificación. El reglamento Colombiano de Construcciones Sismo-resistentes (NRS-10) carece de información detallada que incluya los efectos de los explosivos en el análisis y diseño de estructuras, sin embargo, como investigación académica se han planteado alternativas que deben ser revisadas a la luz del diseño en Colombia. En el siguiente trabajo se realizó un análisis lineal de estructuras tipo pórtico ante la aplicación de cargas explosivas tipo presión superficial dependiente el tiempo, determinando la respuesta estructural de los elementos de una estructura convencional de concreto reforzado en un nivel de amenaza sísmico alto. La inclusión de la explosión en la evaluación de la respuesta dinámica de la estructura es apoyada en el método de integración directa. A partir del análisis de los efectos estudiados se pudo observar una variación considerable en los momentos flectores y fuerzas cortantes de la edificación de hasta 41 veces, incidiendo directamente en el comportamiento estructural durante y después del evento explosivo.

---

\* Proyecto de grado

\*\* Facultad de Ingeniería fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Civil. Director: Homer Armando Buelvas Moya. Msc. en Ingeniería Estructural

### Abstract

**Title:** Analysis of the effects of dynamic explosive type accidental loads in reinforced concrete DES frame buildings\*

**Author:** Henry Andrés Díaz Barrera; Eliana Margarita Fiallo Hernández\*\*

**Key Words:** Convectional type structure, dynamic loads, explosive effects, structural response.

**Description:** Porticoes-type reinforced concrete structures are composed of beams, columns and slabs that work together to withstand the different actions produced by static and dynamic loads. These types of structures can be exposed to accidental effects that can cause from severe damage to the structure to a total collapse of the building. The Colombian regulation of Earthquake-resistant Constructions (NRS-10) lacks detailed information that includes the accidental effects of explosives in the analysis and design of this type of structures, however, as academic research, exploration alternatives are proposed on the subject. In the following work, a linear static analysis was carried out before the application of the load and linear dynamic once the application of the load is carried out. From the analysis of the effects studied, a considerable variation in the bending moments and shear forces of the building could be observed up to 41 times, directly affecting the structural behavior during and after the explosive event, specifically in the bending moments of columns and beams.

---

\* Degree Work

\*\* Physicomechanical Engineering Faculty. School of civil engineering: Director: Homer Armando Buelvas Moya.  
Msc. Structural Engineering

## Introducción

Los antecedentes vinculados con los efectos de artefactos explosivos relacionados al conflicto armado, y accidentes domésticos, ocasionales e intencionales en Colombia han generado la necesidad de contemplar estos efectos dentro de los análisis y diseño de estructuras de uso residencial de concreto reforzado, buscando desarrollar una alternativa que evalúe un modelo para estos casos (Rodríguez Castellanos et al., 2017). Pese a que en Colombia no se encuentra una documentación correspondiente a la incidencia de los eventos explosivos y del modelamiento de la carga generada por este evento, si se pueden observar los riesgos inminentes de tales eventos en la industria de la construcción y, por lo tanto, la necesidad de contemplarlos en el diseño (García, 1996).

La poca información académica y técnica sobre la temática de cargas explosivas en el reglamento Colombiano de Construcciones Sismo-resistentes (NSR-10) (Espert, 2018; Jaramillo, 2015) e internacional (ACI 318-19, PTI, Eurocode, ASTHO) para el diseño de diferentes sistemas estructurales, y la carencia de un modelo claro que estipule los parámetros dependientes para efectos de este tipo, evidencia la necesidad de desarrollar un procedimiento y evaluar sus efectos sobre cada componente de la estructura.

Un modelado, análisis y diseño estructural que contemple las condiciones accidentales de una explosión debe proveer beneficios tanto para la durabilidad de las estructuras tipo pórtico (estructuras más usadas en Colombia), como para la seguridad de la vida humana (Herrera Arroyave, Alejandro; González Restrepo, 2008). Por esta razón es necesario evaluar la relación

demanda-capacidad en la construcción de edificaciones convencionales que puedan llegar a estar sometidas a estos efectos, emulando investigaciones realizadas en estructuras tipo puentes donde se puede ver según el punto vista estático, que la relación demanda-capacidad podría llegar a ser alta (Rodríguez Granados & Cortés Durán, 2020).

El propósito de esta investigación consiste en analizar la respuesta de la estructura ante los efectos explosivos de una función dinámica que actúa sobre una estructura convencional tipo pórtico definida dentro del rango lineal, revisando el efecto que tiene la carga sobre una superficie plana dispuesta por los niveles de entepiso y detallando los efectos de demanda/capacidad que esta genera sobre los diferentes elementos estructurales de la edificación.

Lo anteriormente mencionado se puede resumir en la pregunta de investigación ¿Cuáles serían los efectos sobre la resistencia de los elementos estructurales de una edificación tipo pórtico que ha sido sometida a una carga explosiva?

## **1. Objetivo**

### **1.1 Objetivo General**

Analizar los efectos de las cargas accidentales dinámicas de tipo explosivo en la respuesta estructural de una edificación convencional tipo DES de concreto reforzado.

### **1.2 Objetivos Específicos**

Identificar el modelo de carga dinámica explosiva no lineal que según revisión bibliográfica mejor se ajuste a una superficie de la estructura tipo edificación pórtico de concreto reforzado.

Calcular la respuesta a flexión y cortante de los elementos estructurales de una edificación tipo pórtico de concreto reforzado sometido a cargas explosivas.

Comparar la respuesta límite de los elementos estructurales de una edificación tipo pórtico, antes y después de la aplicación de la carga explosiva.

## 2. Marco de Referencia

### 2.1 Antecedentes

En Estados Unidos, David G. Winget investigó el método de análisis de cargas explosivas en estructuras más usado en la práctica, este es derivado de un análisis dinámico de uno o varios grados de libertad. Las cargas que actúan sobre una estructura generalmente se determinan mediante un programa de propagación de ondas de choque, algunos de estos tipos de programas tienen en cuenta las ondas de choque reflejadas desde las superficies. Los resultados que corresponden a la presión a lo largo del tiempo se calcularon para objetivos específicos en una estructura, y los modelos de ingeniería utilizaron datos empíricos de las pruebas con explosivos para una calibración, pero con un alto grado de demanda del software (Winget et al., 2005).

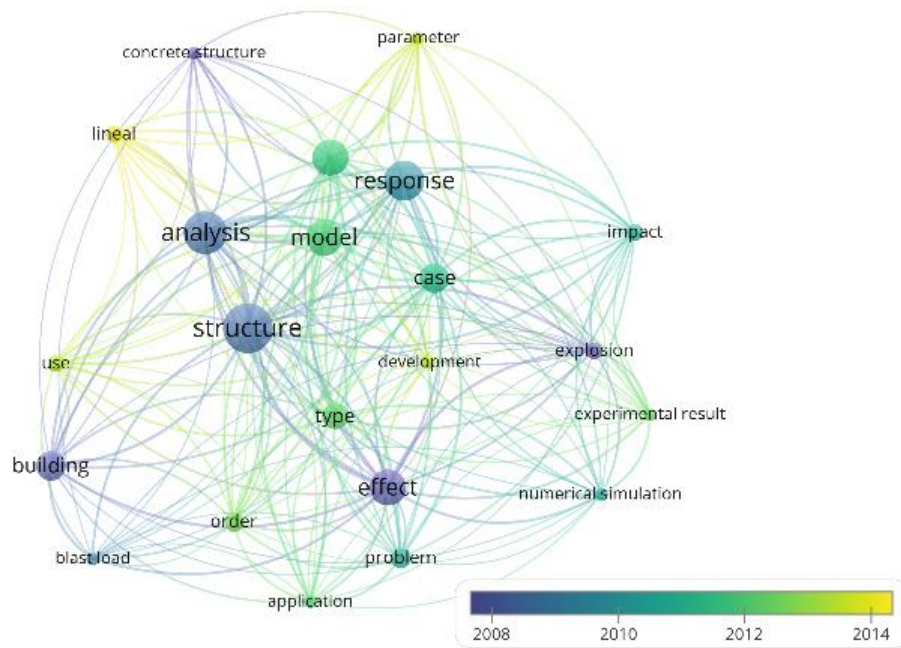
Una vez determinaron las cargas, la respuesta estructural fue analizada teniendo en cuenta la capacidad plástica total de los miembros de la edificación. Con esta respuesta, los niveles de daño fueron estimados utilizando criterios de deformación con base empírica fundamentado en la norma vigente en donde hicieron las pruebas correspondientes. Para el diseño preliminar de estructuras tipo puente bajo cargas críticas, consideraron los criterios de seguridad y redundancia, con el fin de aplicarlos a la primera etapa del análisis (Winget et al., 2005).

## 2.2 Marco teórico

Algunos autores internacionales han realizado investigaciones para explicar los efectos de las cargas explosivas en el análisis de las estructuras, por esta razón se revisaron trabajos de investigación recopilados desde el 2008 hasta años recientes. En la Figura 1 se puede denotar la interrelación de la búsqueda realizada en el presente documento, esta se hizo con base en la investigación conocida actual, permitiendo así un acercamiento a los conceptos mostrados en el marco teórico, con lo cual se verifica la “Definición de cargas explosivas” del marco teórico de este documento.

### *Figura 1.*

*Interrelación temporal entre palabras de los artículos consultados.*



### Definición de Carga Explosiva

La autora Mariela Luege en 1999 definió una simulación del comportamiento de los materiales bajo cargas explosivas junto al modelo de daño escalar dependiente del tiempo. Una de sus temáticas es la integración de la ecuación bajo altas velocidades de deformación a lo largo del tiempo. En este trabajo establecieron el uso de la variable  $Z_o$ , la cual permite representar de forma compacta y eficiente los datos de ondas explosivas para un amplio rango de situaciones, donde  $R$  es la distancia al lugar de impacto y  $W_e$  es la carga explosiva empleada en kg de trinitrotolueno (TNT) (Luege, 1999).

$$Z_o = \frac{R}{W_e^{1/3}} \quad (1)$$

Algunos autores más recientes como Simón Venslauskas Jaramillo (2015) analizaron los efectos de cargas explosivas e impactos en cuerpos sólidos complementando lo expuesto en la Ecuación 1 sobre la definición de la onda, realizando simulaciones representadas por ecuaciones que permitieron evaluar las presiones producidas por la explosión en forma aproximada (Jaramillo, 2015). Por otro lado, propuestas complementarias para el cálculo de los parámetros de carga explosiva proporcionadas en la Ecuación 2 de Kinney y Graham muestran una relación semi-empírica para el cálculo del valor máximo de presión ( $P_s$ ) en MPa, donde  $P_o$  es la Presión atmosférica típica (0.101 MPa) (Gilbert F. Kinney & Kenneth J. Graham, 1985).

$$\frac{P_s}{P_o} = \frac{808 \left[ 1 + \left( \frac{Z_o}{4.5} \right)^2 \right]}{(X)(Y)(Z)} \quad (2)$$

De la Ecuación 2, se desprenden los términos planteados por los mismos autores en las Ecuaciones 3, 4 y 5 (Gilbert F. Kinney & Kenneth J. Graham, 1985). Estas variables permiten integrar el modelo de carga explosiva con parámetros geométricos y físicos de la estructura.

$$X: \sqrt{1 + (Z/0.048)^2} \quad (3)$$

$$Y: \sqrt{1 + (Z/0.32)^2} \quad (4)$$

$$Z: \sqrt{1 + (Z/1.35)^2} \quad (5)$$

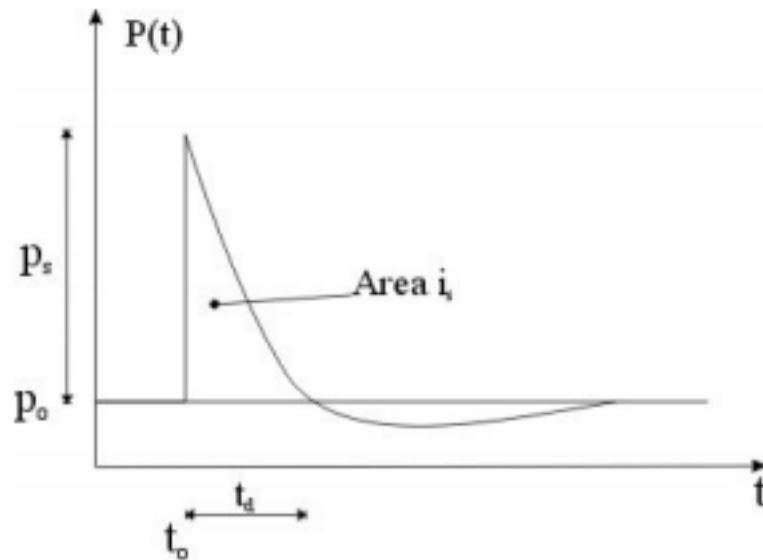
El apartado de los efectos de cargas explosivas sobre una semi-espacio homogéneo se apoya en las ecuaciones detallada anteriormente como base, sin embargo, el estudio de la evolución de las presiones de la onda explosiva a lo largo del tiempo en el punto de estudio incluye los posibles efectos dinámicos de la estructura. Estos efectos también fueron definidos por la Ecuación 6 propuesta también por Simón Venslauskas Jaramillo (Jaramillo, 2015). Donde  $p_s$  es la presión de pico en el punto de interés,  $t$  es el tiempo medido desde el instante en que la onda de presión alcanza el punto de interés, y  $t_d$  es la duración del impulso. El parámetro de forma  $\alpha$  en la ecuación puede ser considerado como un factor que permite variar el impulso entregado al sistema por la explosión.

$$P = p_s \left( 1 - t/t_d \right) \exp \left( -\alpha t/t_d \right) \quad (6)$$

La Figura 2 muestra una curva típica de variación de presión con el tiempo, según Jaramillo (Jaramillo, 2015) que representa lo denotado en la ecuación 6. Si bien el primer tramo de la función denota un comportamiento estático de la explosión, se evalúan los efectos en el tiempo de la onda explosiva, donde la duración  $t_d$  resulta de relevancia para el análisis.

**Figura 2.**

*Curva típica presión-tiempo para una onda debida a una explosión*



Nota: Gráfica *Curva típica presión-tiempo para una onda debida a una explosión* .

Tomado de: “Estudio numérico del efecto de explosivos sobre una superficie plana” (Riera, Jorge Daniel; Iturrioz, 2015).

### 3. Metodología

#### 3.1. Descripción general de la estructura base

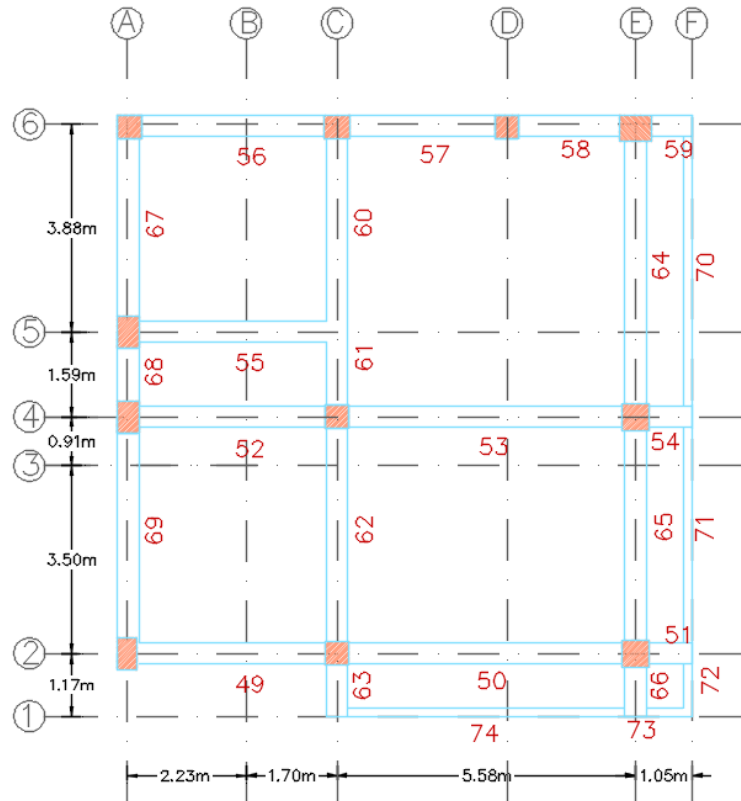
Se selecciona una edificación convencional tipo resistente a momentos de disipación especial de energía DES, ubicada en una zona de amenaza sísmica alta y caracterizada por lo siguiente:

- Área planta de  $105.8 \text{ m}^2$
- 11 columnas de 11.03 m de altura y 339.16 ml de vigas.
- Placa aligerada con 3 tipos de viguetas por piso de ancho 0.1 m y casetón de 0.9 m.
- La estructura está compuesta por 4 entrepisos y 1 cubierta con altura total de 0.5 m de espesor.
- Material base: Concreto de peso específico del concreto reforzado de  $24 \text{ kN/m}^3$ , resistencia de  $21 \text{ MPa}$  y  $28 \text{ MPa}$  para zapatas y vigas de cimentación, sin embargo, para estos elementos no se realizará análisis.
- Acero estructural de refuerzo  $f_y = 420 \text{ MPa}$ .

En la Figura 3 se presenta la vista planta del segundo piso de la edificación con la respectiva nomenclatura de cada uno de los elementos estructurales que se pueden observar en la vista.

**Figura 3.**

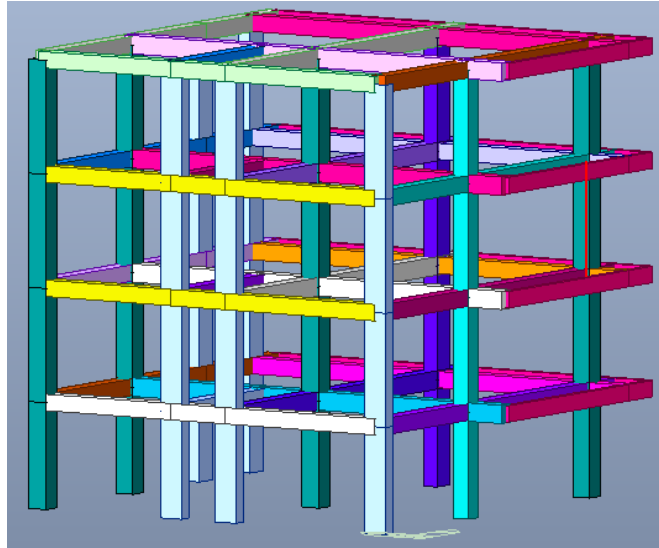
Vista planta de la edificación con su respectiva nomenclatura



La estructura está compuesta por columnas, vigas, vigas de borde y losa aligerada en una dirección con viguetas. En cada planta hay 5 columnas de 0.35x0.60m, 4 columnas de 0.50x0.50m, 1 columna de 0.60x0.40m y 1 columna de 0.45x0.45, 1 tipo de viga de 0.40x0.40m y otro tipo de viga de 0.40x0.45m; la vigueta de borde tiene una medida de 0.15x0.40m y la losa aligerada tiene un espesor de 0.40 m. Estos elementos se pueden observar en la Figura 4, en donde se muestra la vista isométrica de la estructura.

**Figura 4.**

*Vista isométrica de la edificación.*



En toda la estructura hay 11 soportes restringidos en todas las direcciones que representan las zapatas aisladas de cimentación. El modelo base del diseño es suministrado por el director de proyecto y ha sido diseñado previamente a la presente investigación.

### **3.2. Modos de vibración de la estructura restringida a tres grados de libertad por piso**

La estructura será evaluada con diafragmas rígidos con 3 grados de libertad asociados. Su comportamiento inicial es evaluado por un análisis estático lineal y los modos de vibración de la estructura se presentan como las diferentes formas de vibración propias que contribuyen de manera significativa a la respuesta dinámica de la misma. Los modos de vibración son encontrados mediante un análisis modal a través del software MIDAS GEN y se presentan en la Tabla 1 (AIS, 2010).

**Tabla 1.***Modos de vibración*

No Modo	Periodo (Segundos)
<b>1</b>	0,5616
<b>2</b>	0,4817
<b>11</b>	0,0609

Dentro de los 12 modos de vibración que se especifican en el Apéndice B, se tiene en cuenta el modo 11, ya que este tiene un mayor porcentaje de participación en la componente Z que representa el modo de vibración con mayor componente vertical, que viene siendo el sentido asociado al efecto de la carga explosiva según tipo presión gravitacional.

### 3.3. Cargas de la estructura base

La estructura se diseñó con base en el método de resistencia última, garantizando una estructura resistente a cargas vivas, cargas muertas y cargas de cubierta, que se estipulan en la norma sismo-resistente colombiana. La estructura se encuentra cargada con el peso propio de los elementos ya mencionados y con los valores sobreimpuestos de la Tabla 2, estas cargas se transmiten a la estructura por medio de aferencia. A su vez se tienen en cuenta las diferentes sollicitaciones sísmicas, de viento y granizo.

**Tabla 2.***Cargas correspondientes a la estructura*

<b>Entrepiso</b>	<b>Muerta [kN/m]</b>	<b>7,41</b>
	<b>Viva [kN/m]</b>	<b>1,80</b>
<b>Cubierta</b>	<b>Muerta [kN/m]</b>	<b>4,15</b>
	<b>Viva [kN/m]</b>	<b>1,80</b>

### 3.4. Análisis y diseño de la estructura

Todas las combinaciones de carga a usar en la evaluación de fuerzas internas de los elementos antes de que la estructura sea sometida a la explosión se referencian en la Tabla 3. Esta corresponde a la norma ACI 318, donde se puede resaltar que D corresponde a la carga muerta, L a la carga viva, Lr a la carga viva de cubierta, S a los efectos de cargas de servicio por nieve, R a los efectos de cargas de servicio por lluvia, W a los efectos de carga por viento y E a los efectos de las fuerzas horizontales y verticales inducidas por el sismo (ACI 318, 2014).

Para evaluar los efectos de la carga explosiva, se deben sumar las solicitaciones de las cargas gravitacionales y de la presión gravitacional de la explosión. Con el fin de realizar la comparación de resultados ante la aplicación de la carga explosiva, se hará uso de las diferentes combinaciones de carga encontradas en la normativa internacional. Pese a que la norma ACI en su documento principal no contempla las combinaciones de carga con la aplicación de una fuerza explosiva, se encuentra información en documentos complementarios, en el “Code Requirements for Nuclear Safety-Related Concrete Structures and Commentary”, el cual contiene en su apartado R.1.4.2. información sobre estructuras resistentes a explosiones (Committee, 1978).

**Tabla 3.***Combinaciones de carga ACI*

<b>Combinaciones de Carga</b>	<b>Ecuación</b>	<b>Carga Primaria</b>
<b><math>U = 1.4D</math></b>	<b>(5.3.1a)</b>	<b>D</b>
<b><math>U = 1.2D + 1.6L + 0.5(Lr \text{ ó } S \text{ ó } R)</math></b>	<b>(5.3.1b)</b>	<b>L</b>
<b><math>U = 1.2D + 1.6(Lr \text{ ó } S \text{ ó } R) + (1.0L \text{ ó } 0.5W)</math></b>	<b>(5.3.1c)</b>	<b>Lr ó S ó R</b>
<b><math>U = 1.2D + 1.0W + 1.0L + 0.5(Lr \text{ ó } S \text{ ó } R)</math></b>	<b>(5.3.1d)</b>	<b>W</b>
<b><math>U = 1.2D + 1.0E + 1.0L + 0.2S</math></b>	<b>(5.3.1e)</b>	<b>E</b>
<b><math>U = 0.9D + 1.0W</math></b>	<b>(5.3.1f)</b>	<b>W</b>
<b><math>U = 0.9D + 1.0E</math></b>	<b>(5.3.1g)</b>	<b>E</b>

Según el R.1.4.2, se utiliza una carga de presiones diferenciales “Pa” o una carga respecto con momentos o fuerzas generadas por un accidente de rotura de tubería, definición acorde a los casos de estudio relacionados con cargas explosivas.

En el código, apartado R9.2.7 se especifican casos de estudio dentro de los cuales se mencionan las explosiones accidentales, lo cual confirma el interés en el uso de la información de esta norma, más puntualmente en el Capítulo 9, el cual hace referencia a los requisitos de fuerzas y su utilidad (Committee, 1978).

A partir del documento “Code Requirements for Nuclear Safety-Related Concrete Structures and Commentary” se toma en cuenta la Ecuación 7, la cual corresponde a la ecuación 9-8, para la evaluación de cargas después de la aplicación de la explosión. Una vez se tiene la ecuación a usar, se excluyen los términos que no aportan al cálculo y queda establecida la Ecuación 8.

$$U = D + F + 0.8L + Ccr + H + (Ta + Ra + 1.2Pa) \quad (7)$$

$$U = D + 0.8L + 1.2Pa \quad (8)$$

Para el desarrollo del modelo de carga de la explosión, se selecciona un modelo de la estructura que permita tomar la información del marco teórico y plantee un modelo viable. Para esto se usa el software de modelado y análisis Midas Gen (POSCO, 2018).

### 3.5. Control de deflexiones por cargas gravitacionales

Según el capítulo C.9.5 de la NSR-10 (AIS, 2010), el control de deflexiones para una estructura tipo pórtico de uso residencial se realiza acorde a las especificaciones de la normativa. Según esto, se determina que para vigas nervadas en una dirección de extremo continuo y con soporte de elementos, se toma  $\frac{L}{14}$  y se evalúa una altura mínima de 0.40m para evitar el cálculo de deflexiones.

### 3.6. Análisis sísmico

La estructura fue diseñada para resistir una capacidad de disipación de energía especial DES, está ubicada en Bucaramanga y tiene las características de espectro de diseño mostrado en la Tabla 4 y la Figura 5 [NRS-10], el cual nos permite integrar un modelo de carga dinámica espectral al análisis sísmico de la edificación.

Según la NSR-10 se indica que para un pórtico resistente a momentos de concreto reforzado que se diseña para resistir la totalidad de las fuerzas sísmicas que no están limitados o adheridos a componentes más rígidos, ya sean estructurales o no estructurales y que limitan los desplazamientos horizontales al verse sometidos a las fuerzas sísmicas,  $C_t = 0.047$  y  $\alpha = 0.9$ , dependen de su altura (h) para definir su periodo y fuerzas sísmicas. La tabla A.4.2-1 permite calcular un periodo aproximado  $T_a$ , las cuales corresponden al periodo de vibración fundamental y que puede ser considerado y comparado con los periodos calculados mediante un análisis modal (AIS, 2010). El periodo fundamental de la estructura arroja un valor de 0.4706 segundos, la información ampliada se encuentra en las tablas del Apéndice B.

$$T_a = C_t h^\alpha \quad (9)$$

Para el cálculo del espectro de diseño se realiza un análisis fundamental y a partir de este obtenemos  $T_o$ ,  $T_c$  y  $T_l$ , lo cual corresponde al periodo de vibración en el cual inicia la zona de aceleraciones constantes del espectro de aceleraciones, periodo de vibración correspondiente a la transición entre la zona de aceleración constante del espectro de diseño para periodos cortos y la parte descendiente del mismo y el periodo de vibración correspondiente al inicio de la zona de desplazamiento aproximadamente constante del espectro de diseño para periodos largos respectivamente.

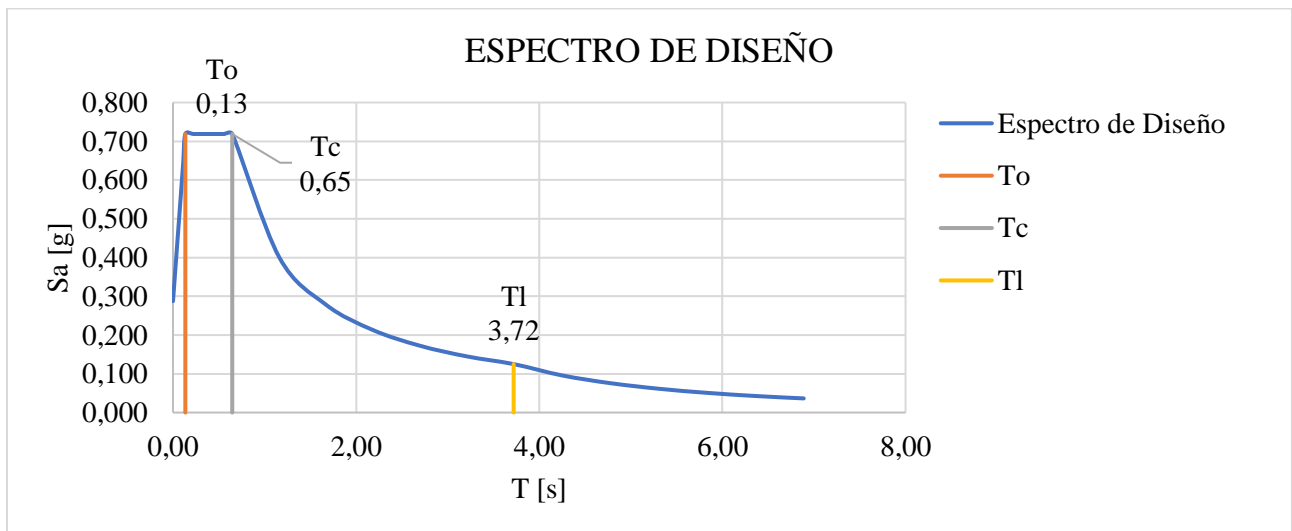
**Tabla 4.**

*Especificaciones de tipo de suelo*

Tipo de suelo	C
<b>Aa</b>	0,25
<b>Av</b>	0,25
<b>Fa</b>	1,15
<b>Fv</b>	1,55
<b>Coficiente de importancia</b>	<b>1</b>

**Figura 5.**

*Espectro de diseño*



Según la normativa en el apartado A.5.4.3 y el espectro de diseño mostrado anteriormente, se calcula el cortante en la base con la Ecuación 10, dando como resultado un cortante basal de 196.697 kN. Por medio del método de fuerza horizontal equivalente dado en la NSR-10 se comparan los resultados del análisis dinámico espectral, en el apartado A.6.4 en conjunto con los valores significancia, se pudieron hallar las derivas de cada piso y su respectivo chequeo. Para más información las derivas de piso se encuentra una tabla en específico del tema en el Apéndice E.

$$V_s = S_a * g * M_T \quad (10)$$

En cuanto al comportamiento final de la estructura se deben proponer las fuerzas sísmicas de diseño que se relaciona con el nivel de disipación de la estructura y la zona sísmica de esta. Las irregularidades del apartado de la norma A.3.3.3 permiten definir completamente una reducción del coeficiente de capacidad de disipación de energía  $R$ , ya que la estructura es definida como irregular en altura (Ver Ecuación 11). El valor de  $R_0$  se encuentra en las tablas A.3-3 para un sistema de resistencia sísmica (fuerzas horizontales) en pórticos resistentes a momentos con capacidad especial de disipación de energía (DES) con un valor de 7.0. Dentro de las irregularidades se encontró en planta que el factor de reducción  $\phi$  tiene un valor de 0.90, ya que la edificación posee una irregularidad torsional a razón de que su máxima deriva de piso se encuentra entre los valores 1.2 y 1.4 veces la deriva promedio de los dos extremos de la estructura. Al afectar la Ecuación 11 con los coeficientes obtenidos, se puede evaluar un coeficiente de disipación  $R$  y se obtienen las fuerzas sísmicas de diseño.

$$R = \phi_a \phi_p \phi_r R_0 \quad (11)$$

Con la Definición del nivel de disipación y las fuerzas sísmicas de diseño, se procede finalmente a evaluar los resultados de las fuerzas internas utilizando las combinaciones de estado limite último de la NSR-10 en la sección 4 y se propone un diseño para los elementos viga y columna.

### **3.7. Identificación de los modelos**

Para identificar las mayores solicitaciones en los elementos del modelo, se verifican las cargas mayoradas según la norma NSR-10 teniendo en cuenta las diferentes combinaciones de carga, y se evalúa el estado de la estructura y de los elementos tipo viga y tipo columna. Se selecciona la zona que arbitrariamente resultaría ser el espacio donde se aplicará la carga explosiva en la estructura, la cual en este caso se compone de los elementos de la zona indicada en la Figura 6. Esta zona se toma como referente para su evaluación en todos los pisos de la estructura y se evalúan 4 modelos en total, tomando en cuenta que se hace un modelo por cada piso para la misma zona.

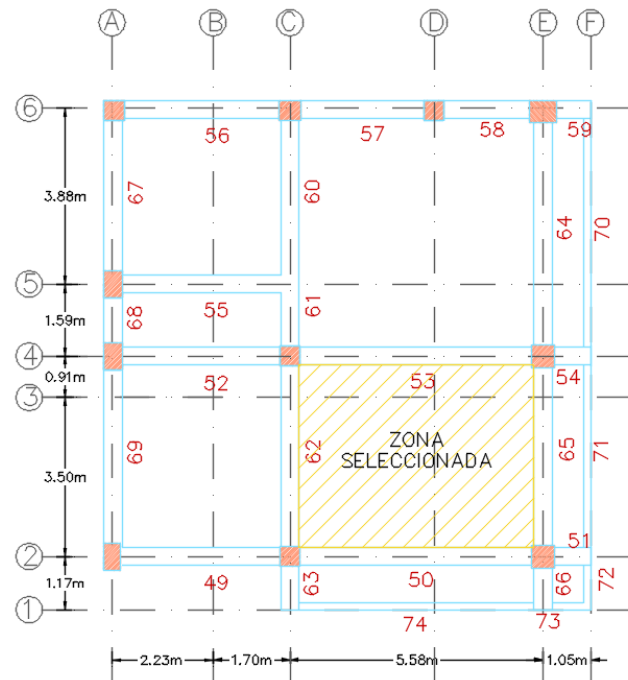
- Modelo 1: Modelo estructural con carga explosiva ubicada en el Piso 1, en la zona seleccionada.
- Modelo 2: Modelo estructural con carga explosiva ubicada en el Piso 2, en la zona seleccionada.
- Modelo 3: Modelo estructural con carga explosiva ubicada en el Piso 3, en la zona seleccionada.

- Modelo 4: Modelo estructural con carga explosiva ubicada en el Piso 4, en la zona seleccionada.

Para una revisión detallada de cada uno de los modelos, estos se encontrarán en los Apéndices M, N, O y P.

**Figura 6.**

*Zona seleccionada de la edificación a evaluarse en cada piso*



La carga explosiva tiene una incidencia dentro de la zona de aplicación para cada modelo y pese a que la carga puede tener efectos en los otros elementos de la edificación en cada caso, se evaluarán los elementos de la vecindad de la explosión. El parámetro de selección del piso a evaluar se realizó con la evaluación del elemento con mayores fuerzas internas y a partir de esto

se selecciona arbitrariamente el Modelo 2 como principal objeto de estudio. También se comprueba con los Modelos 1, 3 y 4 los resultados, con el fin de chequear que el Modelo 2 sea el más representativo y el que se ajusta a la zona seleccionada para la aplicación de la carga explosiva.

## 4. Metodología

### 4.1. Resultado fuerzas internas de las vigas

Se verifica el orden de mayor a menor de los valores de momento flector y cortante para todos los elementos estructurales del modelo, teniendo en cuenta que el combo con mayor influencia en las fuerzas internas de la edificación es el 1.2D + L + Ex. En el diseño original la torsión no es significativa sobre el refuerzo o capacidad de los elementos tipo viga. En la Tabla 5, se muestra un resumen de los elementos con mayores solicitaciones a flexión y cortantes. Estos valores pueden complementarse con la información de los Apéndices M, N, O y P.

**Tabla 5.**

*Vigas de mayores momentos de la estructura*

#	CARGA	CORTANTE Z [kN]	FLEXIÓN Y [kN.m]
53	1.2D+Ex+L	123,86	-189,16
16	1.2D+Ex+L	121,49	-182,48
61	1.2D-Ey+L	130,77	-176,89
24	1.2D-Ey+L	130,97	-175,77
60	1.2D+Ey+L	-116,04	-170,71

La tabla anterior nos indica que los resultados de un elemento sean deductivos sobre el comportamiento de toda la estructura, pero nos dará un valor tipo sobre el cual discutir en la presente investigación.

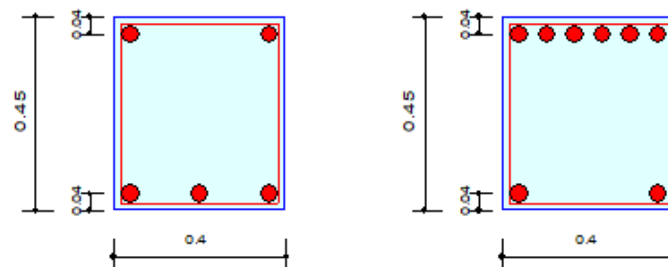
#### 4.2. Capacidad según diseño propuesto de vigas

Se selecciona una de las vigas con mayor sollicitación: el elemento 53. La viga o el elemento 53, posee un momento máximo de  $-162.59 \text{ kN} \cdot \text{m}$  en un extremo de la viga y un momento de  $-189.16 \text{ kN} \cdot \text{m}$  al otro extremo, identificando un momento a flexión positivo de  $66.69 \text{ kN} \cdot \text{m}$ .

Para el diseño de esta viga se obtuvo lo indicado en la Figura 7. En donde se resalta que el acero superior o por momento negativo es equivalente a 6 barras N7 generando una capacidad por momento flector de  $-210.11 \text{ kN} \cdot \text{m}$ ; mientras el acero por momento positivo resulta en 3 barras N7, generando una capacidad por momento flector de  $111.62 \text{ kN} \cdot \text{m}$  (se asume continuidad en el refuerzo superior e inferior en toda la viga).

**Figura 7.**

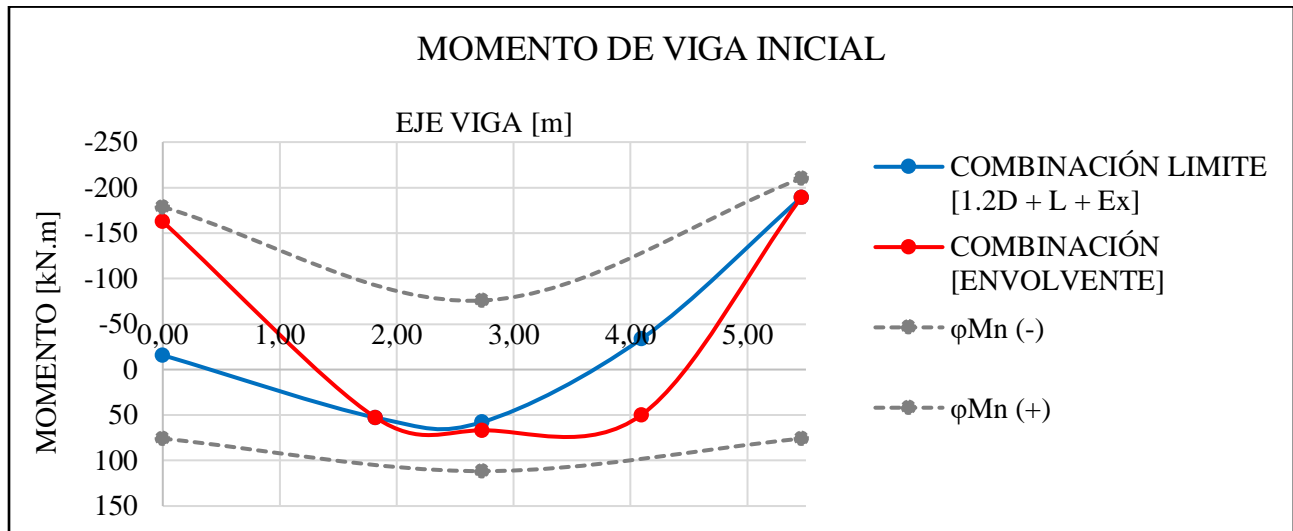
*Sección transversal reforzada de la viga*



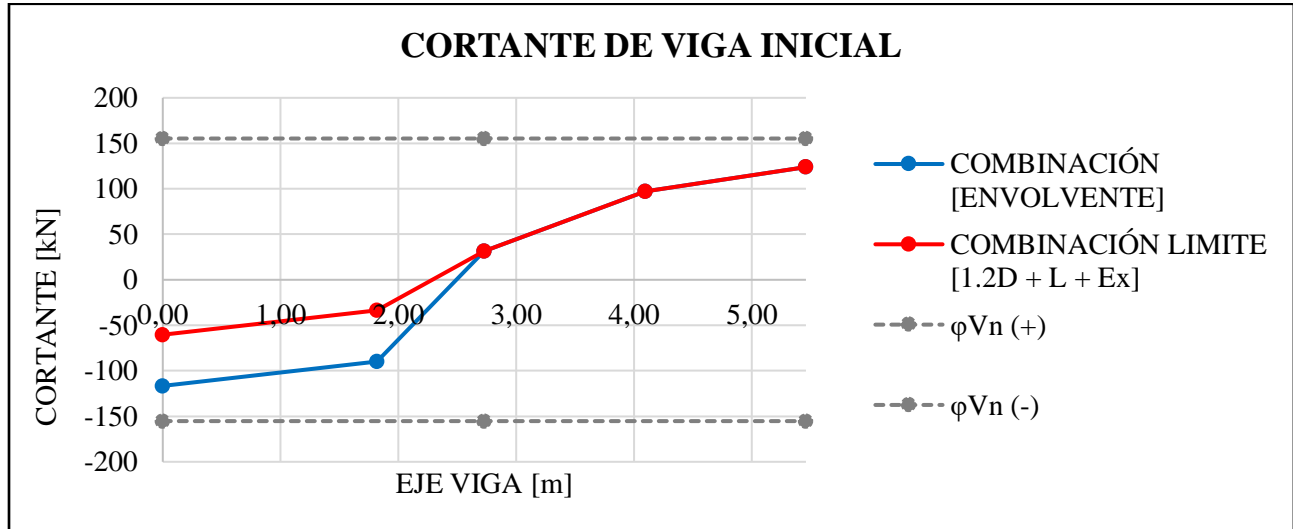
Los resultados de demanda inicial contra capacidad actual del elemento 53 se puede detallar en la Figura 8 donde se denotan las abscisas de la longitud de la viga desde 0 a 5.46m.

**Figura 8.**

*Momentos máximos elemento 53 (Piso 2)*



Las fuerzas cortantes iniciales están con valores de  $-116.61 \text{ kN}$  en un extremo y  $123.86 \text{ kN}$  en otro extremo, tal como se puede ver en la Figura 9. Esta sollicitación genera requerimientos mínimos para el refuerzo de estribos en la zona confinada, evidenciando refuerzo de dos ramas No 3 de manera constante sobre todo el elemento, que genera una capacidad de  $155.28 \text{ kN}$ .

**Figura 9.***Cortantes máximos elemento 53 (Piso 2)*

#### 4.3. Resultado fuerzas internas de columnas

Analizando también las sollicitaciones de la estructura, se selecciona arbitrariamente el elemento 78, que será el objeto de estudio para el análisis de columnas.

Este elemento está ubicado en la zona seleccionada ya descrita y se toma en cuenta una discretización de las fuerzas internas del elemento y elementos afines a este con el fin de verificar la selección, esto se encuentra representado en la Tabla 6 donde se denota la mayor sollicitación a flexión de la columna en mención. Para mayor detalle de la información sobre cada elemento, se encuentra una tabla en el Apéndice K.

**Tabla 6.***Columnas de mayores momentos de la estructura*

#	CARGA	AXIAL [kN]	CORTANTE Z [kN]	FLEXIÓN Y [kN.m]
40	1.2D+L-Ex	-449,65	41,05	-55,02
78	1.2D+Ex+L	-280,76	34,94	-54,36
41	1.2D+Ex+L	-1030,82	57,5	-44,19
10	1.2D-Ey+L	-285,71	34,94	-29,9

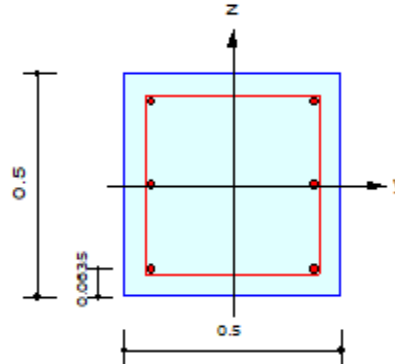
Lo anterior no indica que los resultados de un elemento sean deductivos sobre el comportamiento de toda la estructura, pero nos dará un valor tipo sobre el cual discutir con respecto a los efectos de las cargas explosivas en columnas en la presente investigación.

#### 4.4. Capacidad según diseño propuesto de columnas

Se realiza la revisión de resistencia, diagrama PM, esbeltez y biaxialidad de las columnas en la parte de diseño y se comprueba que la estructura convencional cumple con los requisitos mínimos de diseño a evaluar según la NSR-10. Los momentos iniciales en una dirección (Y) están con valores constantes de  $153.27 \text{ kN} \cdot \text{m}$  y momentos iniciales en otra dirección (Z) están con valores constantes de  $178.11 \text{ kN} \cdot \text{m}$ . Según el diseño para esta columna se obtuvo lo indicado en la Figura 10, en donde se resalta que el acero por flexión es de 6 barras N8 y esto genera una capacidad por momento flector de  $234.98 \text{ kN} \cdot \text{m}$ .

**Figura 10.**

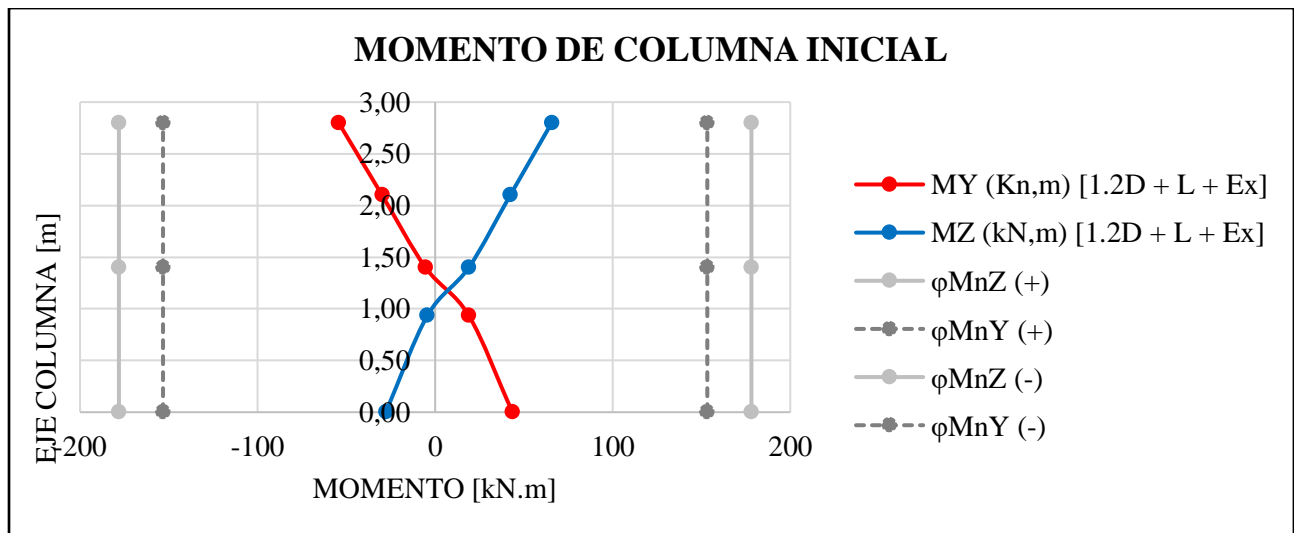
*Sección transversal de la columna*



Los resultados de demanda inicial contra capacidad actual del elemento 78 se puede detallar en la Figura 11 donde se denotan las abscisas de la longitud de la columna desde 0 a 2.8m. El elemento 78, posee un momento máximo de  $-54.36 \text{ kN} \cdot \text{m}$  en el sentido (Y) y un momento de  $65.66 \text{ kN} \cdot \text{m}$  en el sentido (Z).

**Figura 11.**

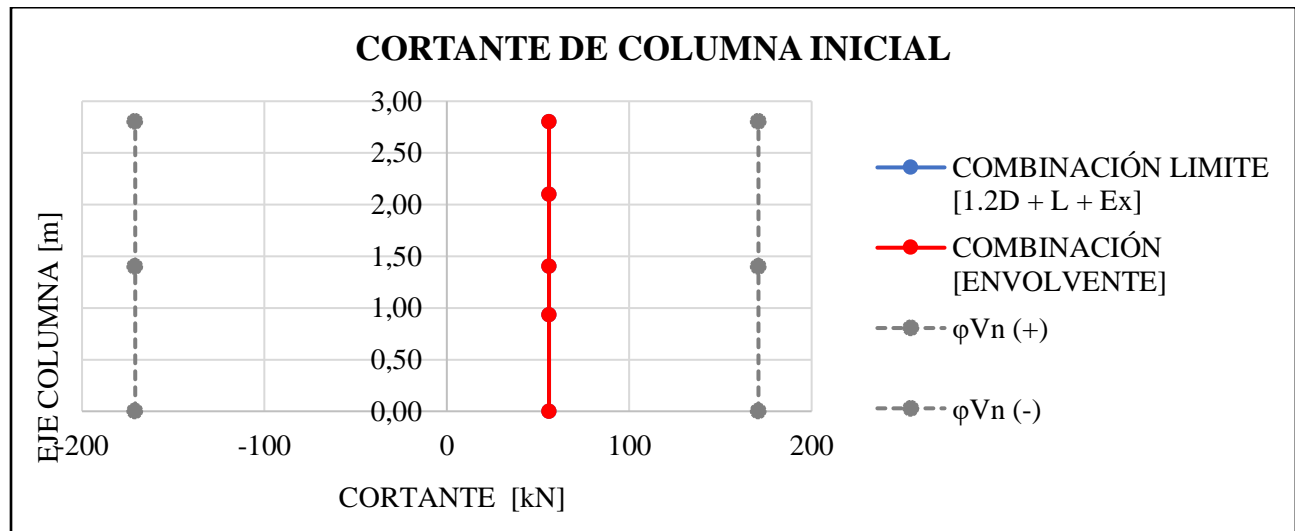
*Momentos máximos elemento 78(Piso 2)*



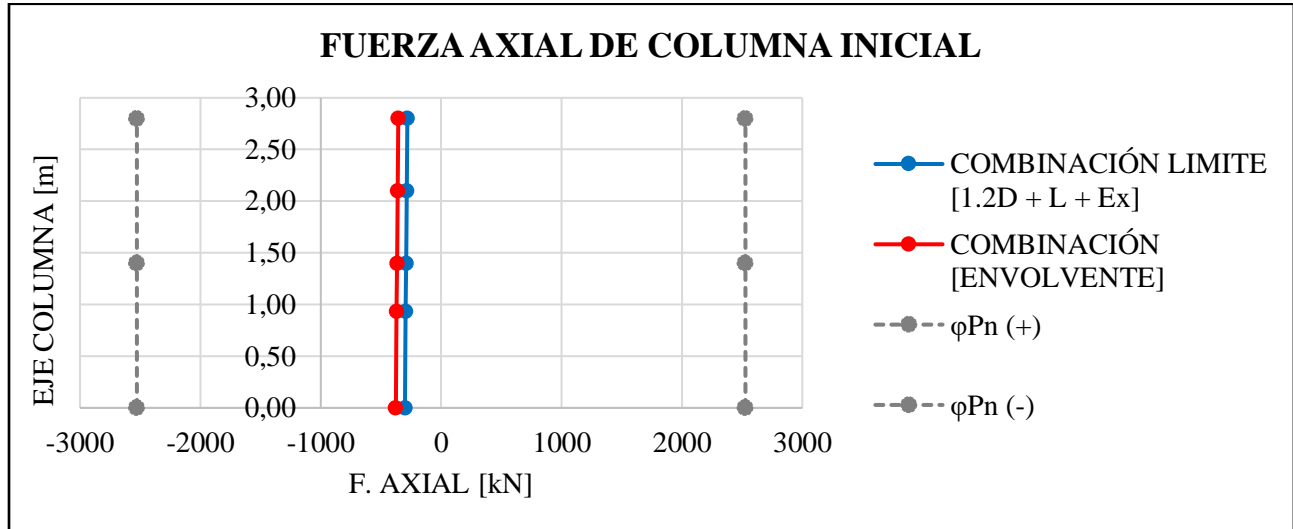
Las fuerzas cortantes iniciales están con valores constantes de  $56.02 \text{ kN}$  tal como se puede ver en la Figura 12. Esta sollicitación genera requerimientos mínimos para el refuerzo de estribos, evidenciando refuerzo de dos ramas No 3 de manera constante sobre todo el elemento (capacidad de  $170.84 \text{ kN}$ ).

**Figura 12.**

*Axiales máximos elemento 78 (Piso 2)*



Las fuerzas axiales iniciales están con valores de  $-300.55 \text{ kN}$  en un extremo de la columna y valores de  $-280.76 \text{ kN}$  en el otro extremo de la columna, tal como se puede ver en la Figura 13. Esta sollicitación genera requerimientos mínimos para el refuerzo de estribos en la zona confinada, evidenciando refuerzo de dos ramas No 3 de manera constante sobre todo el elemento, que genera una capacidad de  $2527.70 \text{ kN}$ .

**Figura 13.***Axiales máximos elemento 78 (Piso 2)*

## 5. Propuesta del modelo de carga dinámica lineal tipo presión superficial para la explosión

Se realiza la aplicación de carga explosiva dependiente del tiempo, usando el modelo de la función propuesta en el marco teórico, sección 2.2. Se evalúan diferentes radios de onda explosiva (R en la Tabla 7) desde los 2 metros hasta los 5 metros de incidencia, tomando en cuenta las luces máximas de diseño descritas en la NSR-10 y las dimensiones del modelo estructural. A partir de este análisis se determina que el radio de mayor incidencia en la estructura es el más corto, es decir, el asignado al valor de 2 metros, razón por la cual se selecciona con el fin de obtener resultados representativos (AIS, 2010).

A partir de una carga de 100 kg de TNT ( $W_e$  en la Tabla 7) y el radio ya descrito, se halla la relación de ondas explosivas. De esta manera, junto a la presión atmosférica ( $P_o$ ) y los parámetros geométricos (X), (Y) y (Z) mencionados en las Ecuaciones 3, 4 y 5 del capítulo 2, se

realiza el cálculo de la presión pico de explosión  $P_s$  dada por la Ecuación planteada por Simón Venslauskas Jaramillo (Jaramillo, 2015). En la Tabla 7 se muestran las variables complementarias necesarias para la definición del modelo de carga explosiva.

**Tabla 7.**

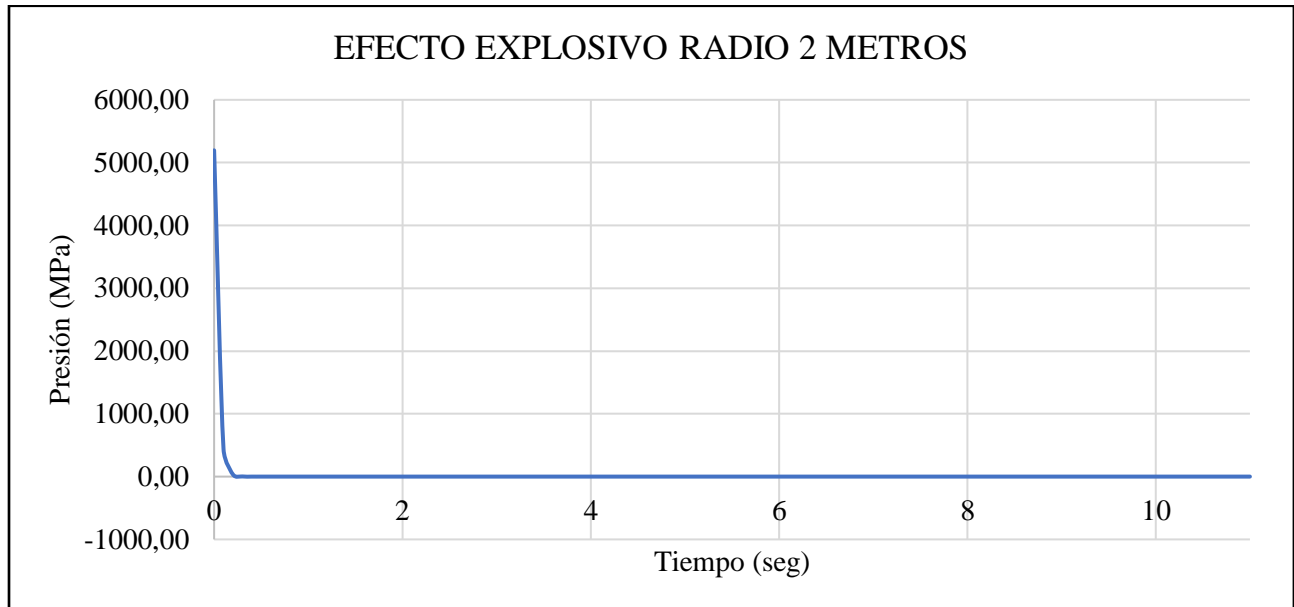
*Coefficientes de la ecuación*

<b>COFICIENTES</b>	
<b>Po [MPa]</b>	0,101
<b>R [m]</b>	2,000
<b>We [kg]</b>	100,00
<b>Zo [m]</b>	0,431
<b>Ps [MPa]</b>	5195,550
<b>td [seg]</b>	0,483
<b><math>\alpha</math></b>	10,833

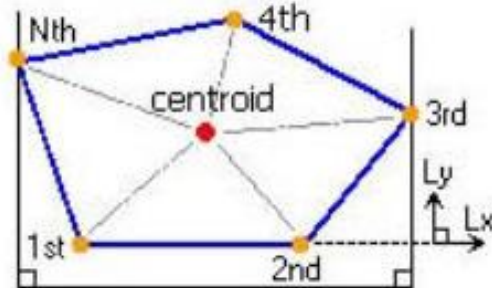
La representación de la función de la carga explosiva se realiza mediante un modelo dinámico lineal dependiente del tiempo (Time Story Function) en el Software MIDAS gen (Figura 14). El pico de la gráfica representa la presión máxima  $P_s$  y el tiempo máximo esperado es  $t_d$ . Se designa una distribución de la carga Radial que, según la revisión directa del modelo, se asemeja más al comportamiento de una onda explosiva, teniendo en cuenta que esta variará respecto al tiempo. A partir de las opciones encontradas en el manual de usuario del programa MIDAS gen, se determina el uso de "Polygon-Centroid". En la Figura 15 se muestra esta asignación, la cual es congruente con lo expuesto por Jaramillo.

**Figura 14.**

Gráfica efecto explosivo

**Figura 15.**

Representación del tipo de distribución a usar en el modelo



Nota: Imagen de representación del tipo de distribución a usar en el modelo. Tomado de:  
*Manual de usuario MIDAS gen* (POSCO, 2018)

## 6. Respuesta del modelo estructural ante la carga explosiva

Teniendo en la cuenta aplicación de la carga explosiva obtenida de la función Kinney y Graham se encontraron los valores de carga dependiendo de la distancia desde el foco de la explosión hasta el punto de análisis (Gilbert F. Kinney & Kenneth J. Graham, 1985). Se realiza la aplicación de la carga explosiva y se realiza una solución del modelo.

La respuesta de la estructura ante la aplicación dinámica lineal se realiza mediante la solución de ecuaciones basados en integración directa (Trejo Molina, 2007). Para el análisis de la carga explosiva se tuvieron en cuenta los valores arrojados por este efecto, considerando la implicación que tiene en conjunto con la carga muerta, en comparación con la combinación de la Ecuación 8, extraída del apartado anexo al código ACI.

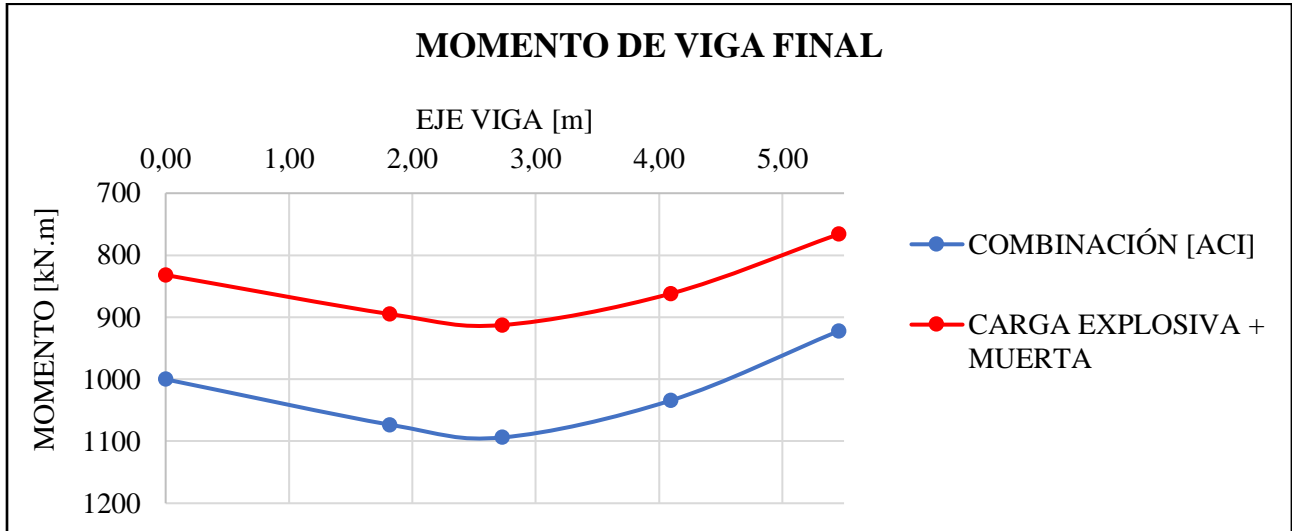
### 6.1. Respuesta de las fuerzas en vigas

Con respecto al comportamiento dinámico de las vigas con base en el evento explosivo anteriormente introducido en la estructura, se determinan los elementos más críticos y las zonas con mayor influencia para el análisis de este tipo de elementos se obtienen resultados tales como:

**Demanda a flexión de la viga elemento 53:** El momento máximo de  $831.94 \text{ kN} \cdot \text{m}$  en un extremo de la viga en el tiempo  $t=0.02$  segundos y un momento de  $765.79 \text{ kN} \cdot \text{m}$  al otro extremo en un tiempo  $t=0.02$  segundos. De igual forma, se obtiene del resultado dinámico de la viga elemento 53, e identificando un momento a flexión positivo de  $912.57 \text{ kN} \cdot \text{m}$  en un tiempo  $t= 0.02$  segundos. Los resultados se muestran a detalle en la Figura 16.

**Figura 16.**

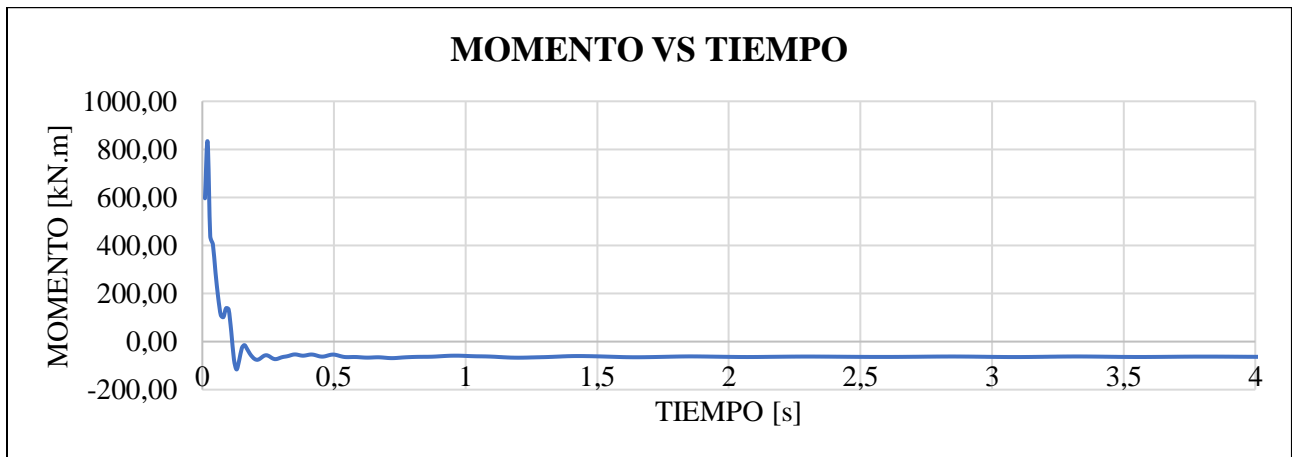
*Momentos máximos después de la aplicación de la carga explosiva.*



Para el extremo del elemento, en la Figura 17, se evaluaron los momentos flectores respecto al tiempo con un intervalo de 0.01 segundo se obtiene un máximo de  $831.94 \text{ kN} \cdot \text{m}$ , que coincide con el valor máximo de la carga explosiva + carga muerta mostrado en la Figura 16.

**Figura 17.**

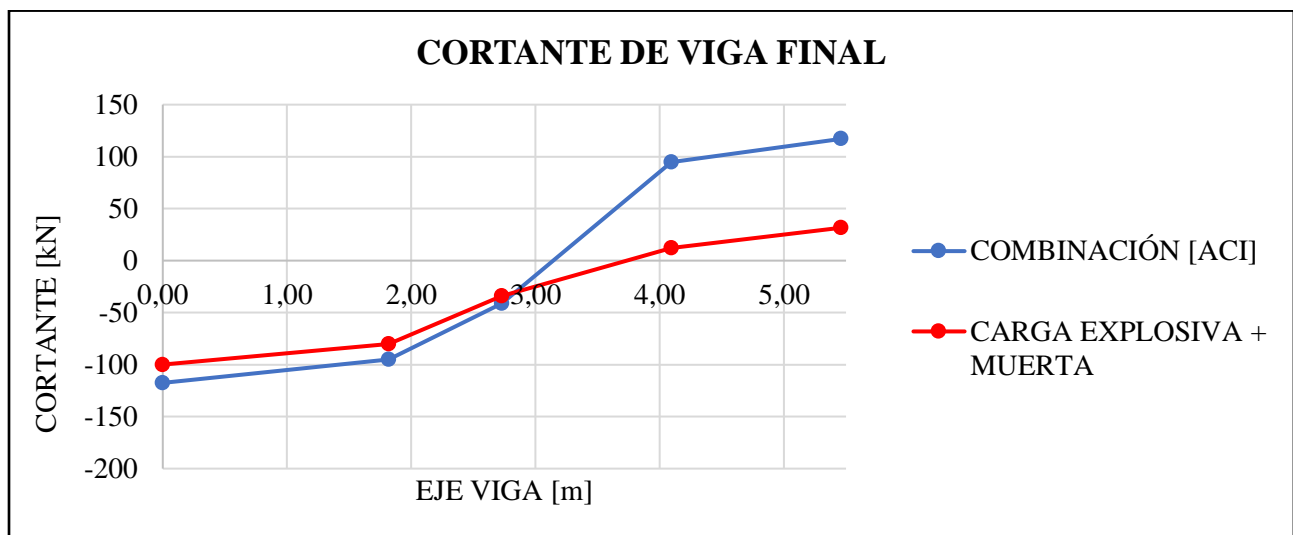
*Momentos respecto al tiempo del elemento 53 después de la aplicación de la carga explosiva*



**Demanda por cortante de la viga elemento 53:** La fuerza cortante máxima de  $-99.97 \text{ kN}$  en un extremo de la viga en el tiempo  $t=0.13$  segundos y fuerza de  $31.60 \text{ kN}$  al otro extremo en el tiempo  $t=0.13$  segundos. Los resultados se muestran a detalle en la Figura 18.

**Figura 18.**

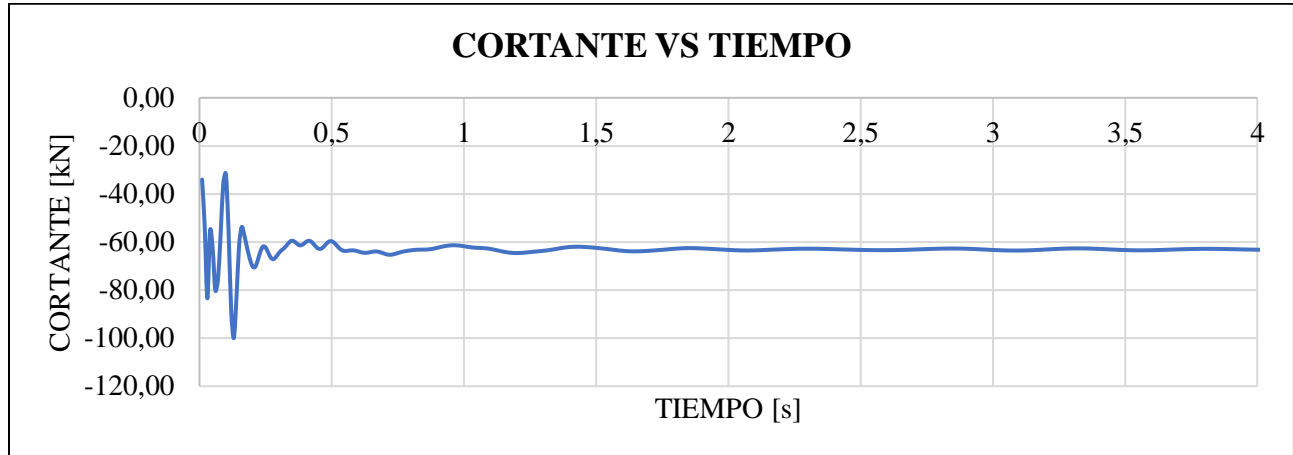
*Cortantes máximos después de la aplicación de la carga explosiva*



En la Figura 19, se evaluaron los cortantes respecto al tiempo con un intervalo de 0.01 segundos, el cual arrojó valor máximo de  $-99.97 \text{ kN}$  en el tiempo  $t=0.13$  segundos, que coincide con el valor máximo de la carga explosiva + carga muerta mostrado en la Figura 18.

**Figura 19.**

*Cortantes respecto al tiempo elemento 53 después de la aplicación de la carga explosiva*



Los resultados obtenidos respecto al tiempo indican que la incidencia del evento explosivo es de 2 segundos por lo cual se encuentra fuera de los posibles modos de vibración de la estructura, indicando que la onda explosiva afecta directamente la respuesta dinámica de esta.

## 6.2. Respuesta de las fuerzas en columnas

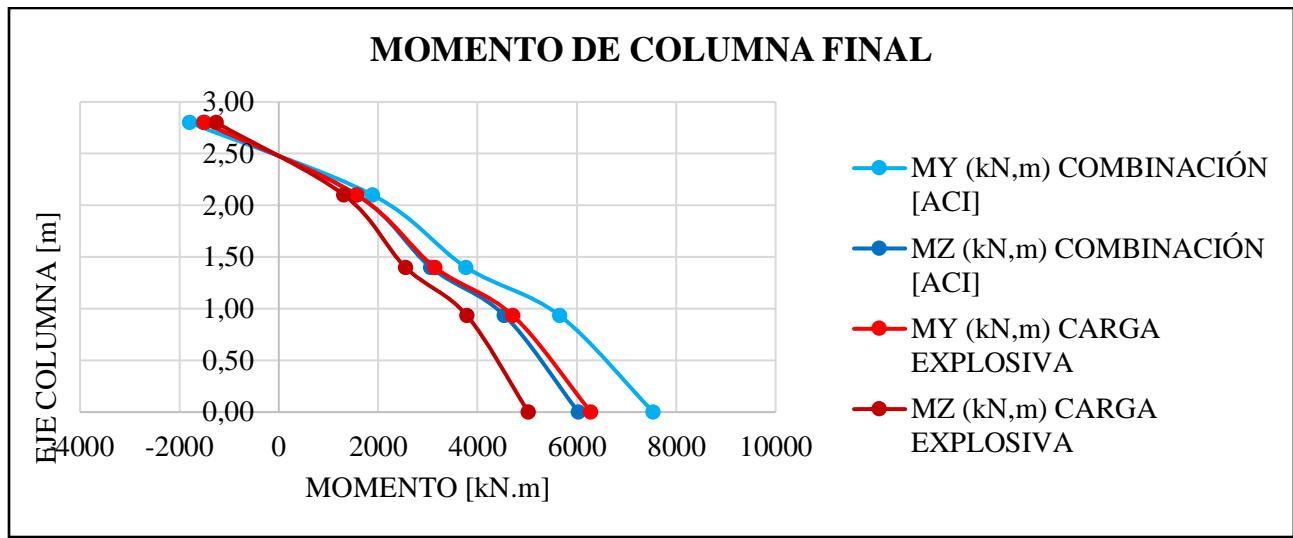
Ahora, el comportamiento de las columnas en base al evento explosivo de la estructura para los elementos críticos se obtiene para el elemento 78.

**Demanda a flexión de la columna elemento 78:** Se analizaron los momentos flectores después de la aplicación de la carga explosiva dando como resultados momentos respecto a los ejes (Y) y (Z), resultando valores máximos de  $6283.50 \text{ kN} \cdot \text{m}$  respecto a (Y) y  $5025.22 \text{ kN} \cdot \text{m}$

con respecto a (Z) en el tiempo  $t=0.02$  segundos. Los resultados se muestran a detalle en la Figura 20.

**Figura 20.**

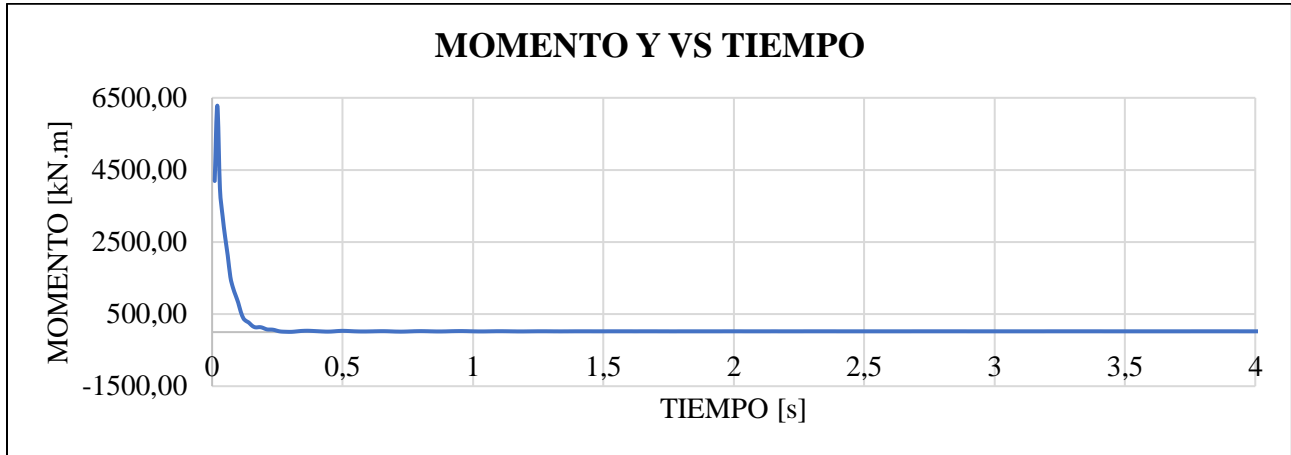
*Momentos máximos después de la aplicación de la carga explosiva*



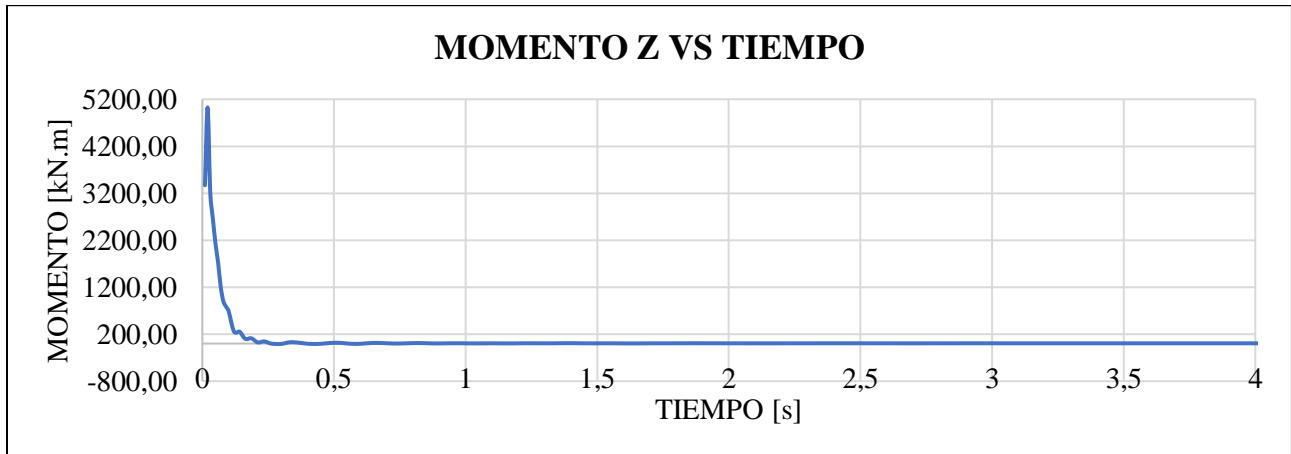
Para el extremo del elemento, en la Figura 21 y 22 se evaluaron los momentos flectores respecto al tiempo con un intervalo de tiempo de 0.01 segundos, el cual arrojó valor máximo de  $6283.50 \text{ kN} \cdot \text{m}$  para el momento (Y) y  $5025.22 \text{ kN} \cdot \text{m}$  para el momento (Z) dentro del primer segundo, que coincide con el valor máximo de la carga explosiva + carga muerta mostrado en la Figura 20.

**Figura 21.**

*Momento Y respecto al tiempo elemento 78 después de la aplicación de la carga explosiva*

**Figura 22.**

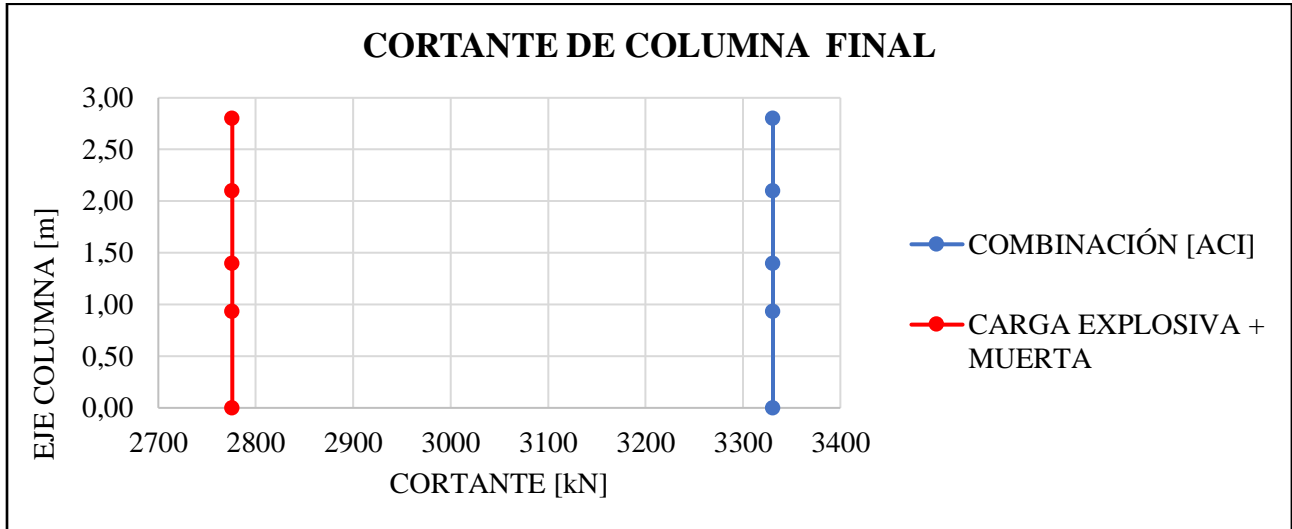
*Momento Z respecto al tiempo elemento 78 después de la aplicación de la carga explosiva*



**Demanda por cortante de la columna elemento 78:** La fuerza cortante máxima constante de 2775.93 kN en el tiempo  $t=0.02$  segundos. Los resultados se muestran a detalle en la Figura 23.

**Figura 23.**

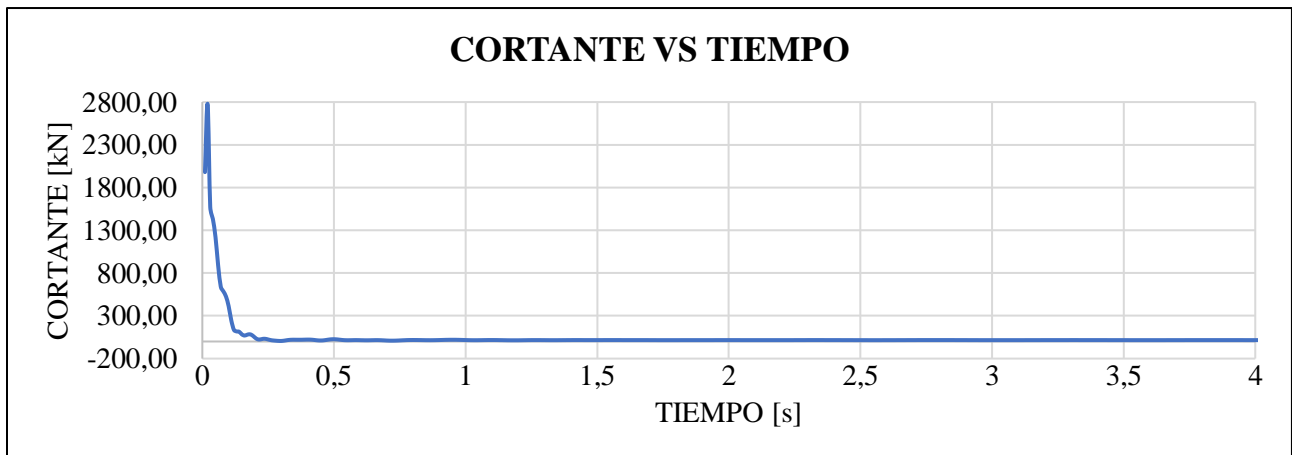
*Cortantes máximos después de la aplicación de la carga explosiva*



En la Figura 24, para el extremo del elemento se evaluaron los cortantes respecto al tiempo con un intervalo de 0.01 segundos, el cual arrojó valor máximo de 2775.93 kN en el tiempo t=0.02 segundos, que coincide con el valor máximo de la carga explosiva + carga muerta mostrado en la Figura 23.

**Figura 24.**

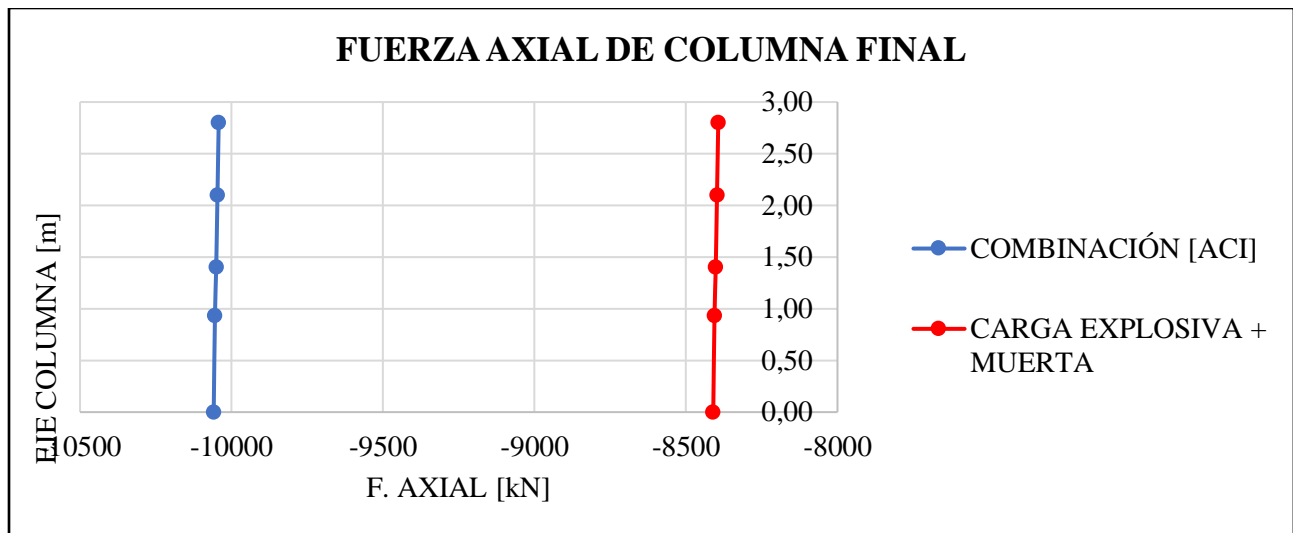
*Cortantes respecto al tiempo elemento 78 después de la aplicación de la carga explosiva.*



**Demanda por axiales de la columna elemento 78:** La fuerza axial máxima constante de  $-8410.01 \text{ kN}$  en el tiempo  $t=0.02$  segundos. Los resultados se muestran a detalle en la Figura 25.

**Figura 25.**

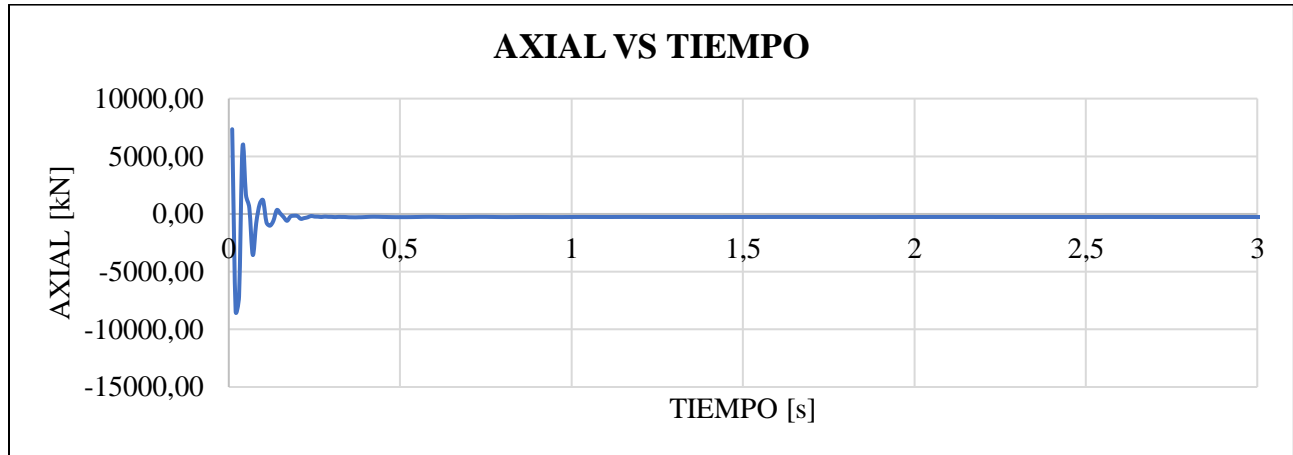
*Axiales máximos después de la aplicación de la carga explosiva.*



En la Figura 26, se evaluaron los axiales respecto al tiempo con un intervalo de 0.01 segundos, el cual arrojó valor máximo de  $-8410.01 \text{ kN}$  en el tiempo  $t=0.02$  segundos, que coincide con el valor máximo de la carga explosiva + carga muerta mostrado en la Figura 25.

**Figura 26.**

*Gráfica de los axiales respecto al tiempo del elemento 78 después de la aplicación de la carga explosiva.*



Los resultados obtenidos respecto al tiempo indican que la incidencia del evento explosivo es de menos de 1 segundo por lo cual se encuentra dentro de los posibles modos de vibración de la estructura, indicando que la onda explosiva no afecta directamente la respuesta dinámica de esta.

### **7. Comparación de elementos antes y después de la aplicación**

Una vez se obtienen los resultados de las fuerzas internas antes y después de la aplicación de la carga explosiva, se realiza una relación demanda/capacidad (D/C) donde asumiremos que la demanda se relaciona con las fuerzas internas obtenidas de las solicitaciones de la explosión, y la capacidad corresponderá a las fuerzas internas solicitadas antes de la explosión. Por medio de esta relación se busca revisar que tan cercano se encuentra el elemento de exceder capacidad y asumimos que la capacidad del elemento estructural es similar a la resistencia solicitada.

### 7.1. Comparación de solicitaciones en vigas

Una vez se ha determinado los elementos con mayores solicitaciones de la estructura, se evaluó el momento y cortante de cada una de las zonas en todos los pisos de la edificación. Una vez se obtiene la capacidad a partir del diseño de la viga y después de la aplicación de carga explosiva a la estructura. Se realiza el cociente entre estos dos valores para obtener la curva de demanda/capacidad, calculada a partir de la Ecuación 11 para momentos y a partir de la Ecuación 12 para cortantes.

$$\text{Demanda Vs. Capacidad} = \frac{My \text{ Final}}{My \text{ Inicial}} \quad (11)$$

$$\text{Demanda Vs. Capacidad} = \frac{Vx \text{ Final}}{Vx \text{ Inicial}} \quad (12)$$

**Demanda capacidad por momentos flectores en vigas:** A partir de estos resultados mostrados en la Tabla 8, se puede ver que se llega a momentos finales hasta de 8 veces más que los momentos iniciales debido a la aplicación de la explosión.

**Tabla 8.** Valores D/C de Momentos

VALORES DEMANDA CAPACIDAD			
ABScisa	MY INICIAL	MY FINAL	Demanda Vs. Capacidad
0,00	-178,74	831,94	4,65
2,73	111,62	912,57	8,18
5,46	-210,11	765,79	3,64

**Demanda capacidad por cortantes en vigas:** A partir de estos resultados mostrados en la Tabla 9, se puede ver que se llega a momentos finales hasta de 1 veces más que los momentos iniciales debido a la aplicación de la explosión.

**Tabla 9.** *Valores D/C de Cortante*

ABScisa	VALORES DEMANDA CAPACIDAD		
	SZ INICIAL	SZ FINAL	Demanda Vs. Capacidad
<b>0,00</b>	155,28	-99,97	0,64
<b>2,73</b>	155,28	-34,18	0,22
<b>5,46</b>	155,28	31,6	0,20

## 7.2. Comparación de solicitaciones en columnas

Al igual que para las vigas, a partir de la Ecuación 7 se realiza una evaluación de la carga cuando se ha realizado la aplicación de la carga y acorde con esto se obtienen los momentos, cortantes y axiales finales. Después se realiza una interrelación entre los mismos para su comparación de los valores de capacidad, calculada a partir de la ecuación 11 para momentos y ecuación 13 para fuerzas axiales.

$$Demanda Vs. Capacidad = \frac{Px Final}{Px Inicial} \quad (13)$$

**Demanda capacidad por momentos flectores en columnas:** A partir de los resultados de la Tabla 10 y 11, se puede ver que se llega a momentos finales de hasta 41 veces más que los momentos iniciales en (Y) y hasta 28 veces más que lo momentos iniciales en (Z) a causa a la

aplicación de la explosión. Estas relaciones son altas y se comparan con los resultados obtenidos por Islam y Yazdani, quienes realizan un análisis de carga estática equivalente en un puente de dos tramos para evaluar la capacidad de vigas presforzadas AASHTO (Anwarul Islam & Yazdani, 2008).

**Tabla 10.**

*Valores D/C de momentos Y*

<b>VALORES DEMANDA CAPACIDAD</b>			
<b>ABScisa</b>	<b>MY INICIAL</b>	<b>MY FINAL</b>	<b>Demanda Vs. Capacidad</b>
<b>0,00</b>	153,267	6283,5	41,00
<b>0,93</b>	153,267	4713,61	30,75
<b>1,40</b>	153,267	3143,72	20,51
<b>2,10</b>	153,267	1573,83	10,27
<b>2,80</b>	153,267	-1489,08	9,72

**Tabla 11.**

*Valores D/C de momentos Z*

<b>VALORES DEMANDA CAPACIDAD</b>			
<b>ABScisa</b>	<b>MZ INICIAL</b>	<b>MZ FINAL</b>	<b>Demanda Vs. Capacidad</b>
<b>0,00</b>	178,113	5025,22	28,21
<b>0,93</b>	178,113	3788,16	21,27
<b>1,40</b>	178,113	2551,1	14,32
<b>2,10</b>	178,113	1314,04	7,38
<b>2,80</b>	178,113	-1256,99	7,06

**Demanda capacidad por cortantes en columnas:** A partir de los resultados de la Tabla 12, se puede ver que se llega a momentos finales de hasta 16 veces el valor inicial.

**Tabla 12.***Valores D/C de cortantes*

<b>VALORES DEMANDA CAPACIDAD</b>			
<b>ABScisa</b>	<b>SZ INICIAL</b>	<b>SZ FINAL</b>	<b>Demanda Vs. Capacidad</b>
<b>0,00</b>	170,843	2775,93	16,25
<b>0,93</b>	170,843	2775,93	16,25
<b>1,40</b>	170,843	2775,93	16,25
<b>2,10</b>	170,843	2775,93	16,25
<b>2,80</b>	170,843	2775,93	16,25

**Demanda capacidad por cortantes en columnas:** La tabla de curva demanda vs capacidad en la Tabla 13. A partir de estos resultados se puede ver que se llega a momentos finales hasta de 3 veces más que los momentos iniciales debido a la aplicación de la explosión.

**Tabla 13.***Valores D/C de axiales*

<b>VALORES DEMANDA CAPACIDAD</b>			
<b>ABScisa</b>	<b>F. AXIAL INICIAL</b>	<b>F. AXIAL FINAL</b>	<b>Demanda Vs. Capacidad</b>
<b>0,00</b>	-2527,7	-8410,01	3,33
<b>0,93</b>	-2527,7	-8405,88	3,33
<b>1,40</b>	-2527,7	-8401,76	3,32
<b>2,10</b>	-2527,7	-8397,64	3,32
<b>2,80</b>	-2527,7	-8393,51	3,32

## 8. Conclusiones

Acorde a la revisión bibliográfica se planteó un modelo estructural basado en planos estructurales tipo, al cual, se pudo aplicar una carga explosiva tipo presión vertical para analizar los efectos de esta carga sobre el comportamiento o sobre la respuesta estructural tipo pórtico de concreto reforzado, específicamente a los elementos estructurales tipo viga y columna que más están siendo afectados por el evento explosivo. Es claro que la incidencia sobre las vigas de un pórtico es más asociada a relaciones reales de las cargas explosivas, por lo tanto, el modelo de carga asociado a la literatura es netamente superficial horizontal al incidir de manera menos adecuada en columnas.

La aplicación de la "curva típica presión-tiempo de una explosión" ocasiona que la estructura tipo pórtico tenga una respuesta dinámica similar a la función propuesta, al presentar un valor súbito en los primeros instantes del evento, para posterior presentar un decaimiento en su efecto. El cambio prolongado sobre las fuerzas internas se denota rápidamente por flexión en vigas y columnas, así como en el análisis de carga axial de columnas, sin embargo, en el cortante de las vigas se observa un efecto más prolongado de la carga explosiva. Esto se corrobora debido a que la respuesta máxima a flexión y la disminución del efecto por cargas explosivas en vigas se presenta al 0.13 segundos, la respuesta a cortante de vigas dentro del primer segundo aproximadamente y la respuesta a flexo-compresión de columnas dentro de los 0.02 segundos. Indicándonos que la respuesta de los elementos estructurales de las vigas que reciben una carga explosiva no puede ser evaluada dentro de la respuesta dinámica de la estructura ni concebida dentro del modo de vibración vertical, y debe ser evaluada por una respuesta no lineal.

La demanda generada por la carga explosiva desde el punto de vista estático afecta de manera negativa la estructura ya que supera los requisitos de capacidad generados por el diseño inicial. Se realizó una comparación de los elementos estructurales, obteniendo demandas de capacidad de hasta 41 veces el valor inicial en columnas y 8 veces en vigas lo que indica un daño sobre los elementos estructurales y un requerimiento de diseño superior al planteado por la NSR-10 [16]. A partir de esto se puede decir que la mayor incidencia en la edificación se da por el momento flector ocurrido en la columna, pero que también se debe revisar el tipo aplicación de la función dinámica ya que su incidencia sobre este elemento no es tan clara.

Finalmente, se puede evidenciar los efectos de resistencia ocasionados sobre los elementos de la estructura, lo que indicaría que la demanda de la explosión es tan grande que los elementos tipo viga y tipo columna requieren un análisis no lineal ante estos efectos.

## **9. Recomendaciones**

Teniendo en cuenta las limitaciones del estudio, se recomienda realizar un análisis especial para las fuerzas cortantes en la edificación, ya que estas quedan oscilando después del tiempo de aplicación de la carga explosiva, se recomienda generar un modelo de espectro de carga explosiva tridimensional y posiblemente incluirla en la solución de la respuesta de la edificación, en la que se pueda tener en cuenta la incidencia en los elementos estructurales y tener en cuenta que esta debe llegar hasta los 2 segundos de aplicación, lo cual no se alcanzó a determinar dentro de esta investigación.

Se espera que este proyecto de investigación pueda servir de base para futuras investigaciones que contemplen los efectos explosivos en los diferentes tipos de edificaciones de concreto reforzado existentes en Colombia.

### Referencias Bibliográficas

ACI 318. (2014). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318SUS-14)*.

AIS, A. C. de I. S. (2010). El reglamento Colombiano de Construcciones Sismo-resistentes (NSR-10). *Reglamento Colombiano De Construcción Sismo Resistente Nsr-10*, 590.

Anwarul Islam, A. K. M., & Yazdani, N. (2008). Performance of AASHTO girder bridges under blast loading. *Engineering Structures*, 30(7), 1922–1937.  
<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2007.12.014>

Aráoz, G. F. (2012). *Modelo de Hormigón Bajo Cargas Explosiva*.

Committee, A. (1978). Commentary on Code Requirements for Nuclear Safety Related Concrete Structures (ACI 349-76). En *ACI Journal Proceedings* (Vol. 75, Número 2).  
<https://doi.org/10.14359/10473>

Espert, L. G. (2018). Análisis de sensibilidad con comportamiento no lineal del material y su aplicación en el diseño asistido de estructuras. *Espacio y territorio*, 1–8.  
<https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.17837>

García, F. M. (1996). *Grandes incendios y explosiones con víctimas en el siglo XX*.

Gilbert F. Kinney, & Kenneth J. Graham. (1985). *Explosive Shock in Air*.

Herrera Arroyave, Alejandro; González Restrepo, D. (2008). *Evaluación de alternativas de repotenciación en una estructura en pórticos de mediana altura construida con el código Colombiano sismo-resistente (1984)*. 1984.

Jaramillo, S. V. (2015). *Sensibilidad de modelos de análisis no lineal caso: Estructura de Muros de Concreto*.

Luege, M. (1999). *Simulación del comportamiento de materiales bajo cargas explosivas*.

Mario Bermejo , José M. Goicolea, Felipe Gabaldón, A. S. (2011). *Cargas Explosivas Sobre Pilares Y Forjados Modelados*. June, 1–15.

Montero López, V. (2004). *Diseño de un edificio con muros de carga y cortante*. 69–114.

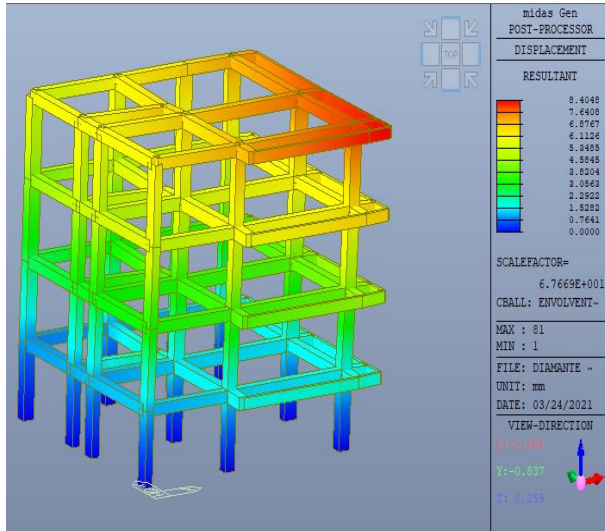
POSCO, G. (2018). *MIDAS gen* (MMS 8751 SW 2019 v1.1). 2018.07.18.  
[http://en.midasuser.com/download/commercial\\_read.asp?idx=149793&pg=1&so=&sort=&bid=16&nCat=&nCat2=&bType=](http://en.midasuser.com/download/commercial_read.asp?idx=149793&pg=1&so=&sort=&bid=16&nCat=&nCat2=&bType=)

Riera, Jorge Daniel; Iturrioz, I. (2015). *Estudio numérico del efecto de explosivos sobre una superficie plana*. Enero.

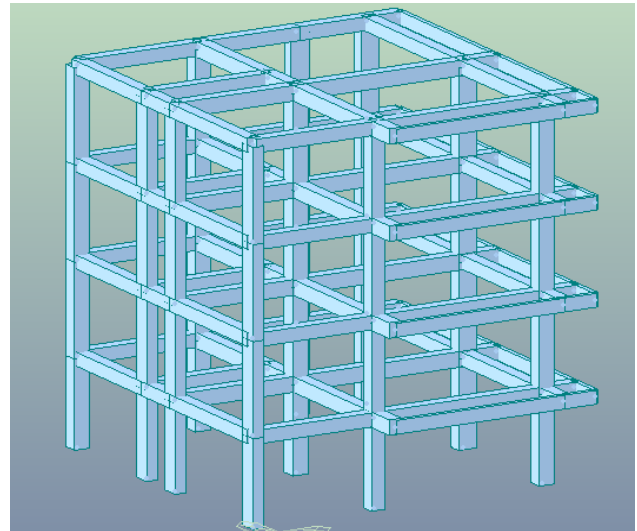
- Rodríguez Castellanos, A. A., Bojórquez Mora, E., Reyes Salazar, A., Avilés López, J., & Ruiz Gómez, S. E. (2017). Determinación De Espectros De Respuesta Considerando Daño Acumulado E Interacción Suelo-Estructura. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 96, 18–38. <https://doi.org/10.18867/ris.96.474>
- Rodríguez Granados, D. S., & Cortés Durán, S. A. (2020). Análisis del comportamiento estructural de un puente viga-losa de concreto reforzado bajo cargas explosivas. *SELL Journal*, 5(1), 55.
- Trejo Molina, F. de J. (2007). *Análisis comparativo de métodos numéricos en integración directa para evaluar la respuesta dinámica de estructuras*. 48–55.
- Valencia Vásconez, J. D. (2012). Analisis Del Metodo “Modal Push- Over” Y Su Incidencia En El Calculo De Porticos De Hormigon Armado En El Canton De Ambato. *Universidad Tecnica De Ambato*, 150.
- Vielma Pérez, J. C. (2008). *Caracterización del comportamiento sísmico de edificios de hormigón armado mediante la respuesta no lineal*. 272.
- Winget, D. G., Marchand, K. A., & Williamson, E. B. (2005). Analysis and Design of Critical Bridges Subjected to Blast Loads. *Journal of Structural Engineering*, 131(8), 1243–1255. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9445\(2005\)131:8\(1243\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9445(2005)131:8(1243))

Apéndices

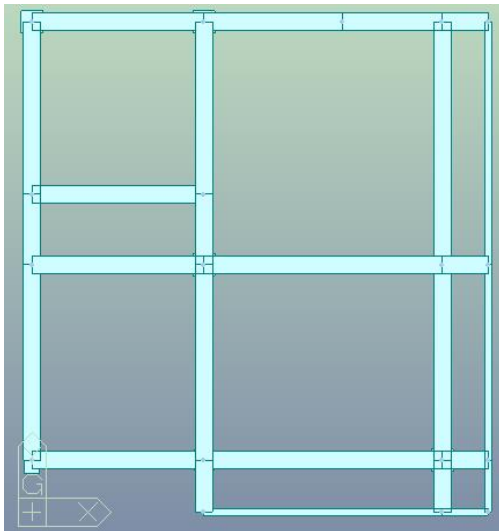
Apéndice A. Modelos de la edificación



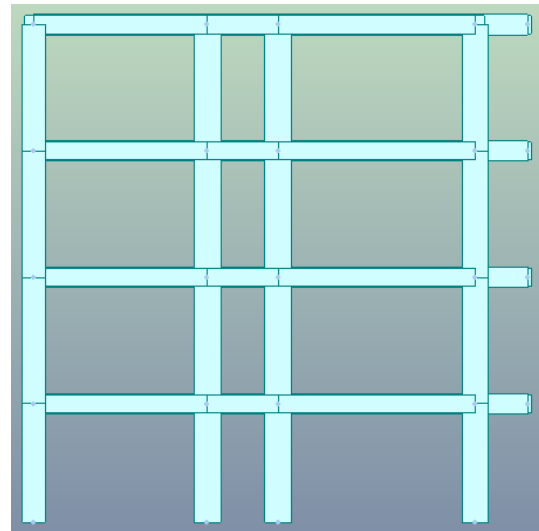
Modelo correspondiente a la estructura cargada dinámicamente



Modelo correspondiente a la estructura en vista isométrica



Modelo correspondiente a la estructura en vista planta

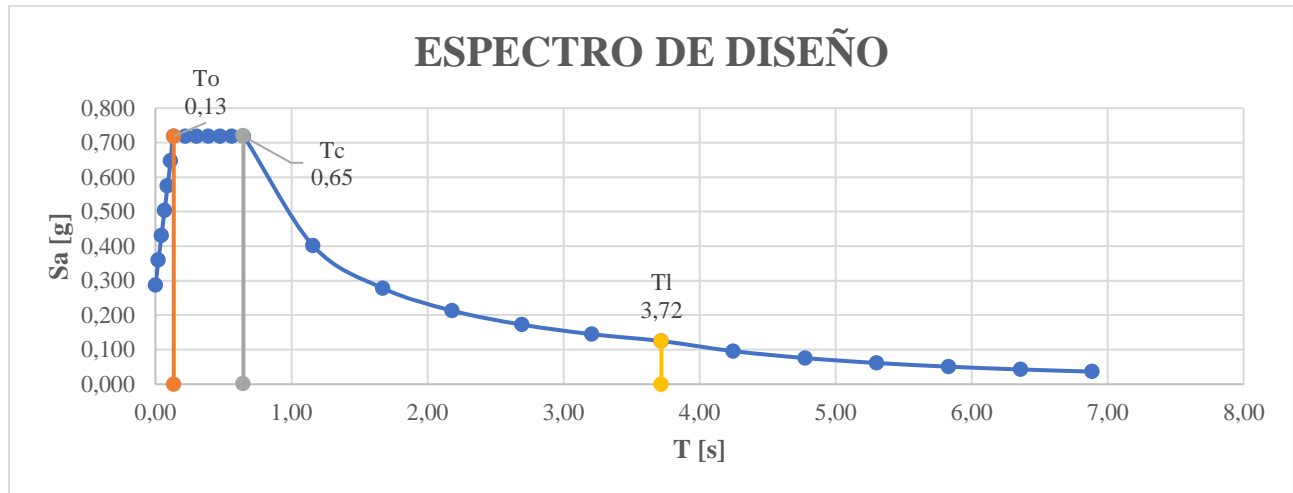


Modelo correspondiente a la estructura en vista perfil

## Apéndice B. Espectro de diseño y modos de vibración

Coeficientes		Periodos de Vibración		h
Aa	0,25	To	0,13478	12,93382
Av	0,25	Tc	0,64696	Calculado por MIDAS gen
Fa	1,15	Tl	3,72000	
Fv	1,55			
I	1			

Periodos de Vibración		Sa [g]	T [s]	Sa [g]
To	0,13	0,000	0,00	0,288
	<b>0,13</b>	<b>0,719</b>	0,02	0,359
Tc	0,65	0,000	0,04	0,431
	<b>0,65</b>	<b>0,719</b>	0,07	0,503
Tl	3,72	0,000	0,09	0,575
	<b>3,72</b>	<b>0,125</b>	0,11	0,647
Ta	0,4706		0,13	<b>0,719</b>
			0,22	0,719
			0,31	0,719
			0,39	0,719
			0,48	0,719
			0,56	0,719
			<b>0,65</b>	<b>0,719</b>
			1,16	0,401
			1,67	0,278
			2,18	0,213
			2,70	0,173
			3,21	0,145
			3,72	<b>0,125</b>
			4,25	0,096
			4,78	0,076
	5,30	0,061		
	5,83	0,051		
	6,36	0,043		
	6,89	<b>0,036</b>		

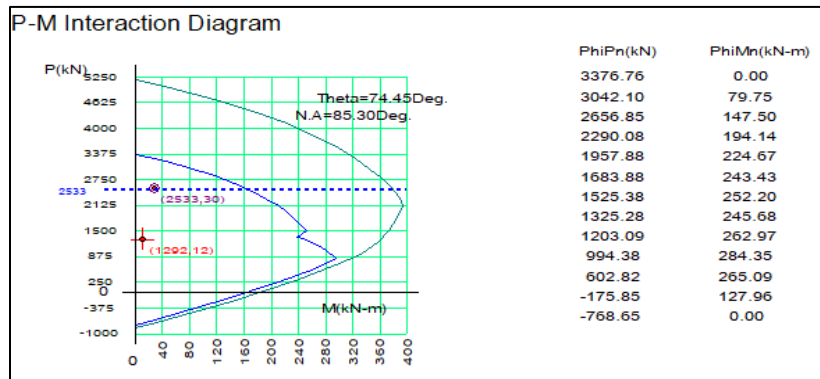


No MODO	FRECUENCIA		PERIODO
	(rad/sec)	(cycle/sec)	(Segundos)
1	11,1887	1,7807	0,5616
2	13,0431	2,0759	0,4817
3	16,7950	2,6730	0,3741
4	36,3975	5,7928	0,1726
5	42,7550	6,8047	0,1470
6	54,8645	8,7319	0,1145
7	66,7069	10,6167	0,0942
8	79,1913	12,6037	0,0793
9	95,1252	15,1397	0,0661
10	101,1025	16,0910	0,0621
11	103,1384	16,4150	0,0609
12	112,6391	17,9271	0,0558

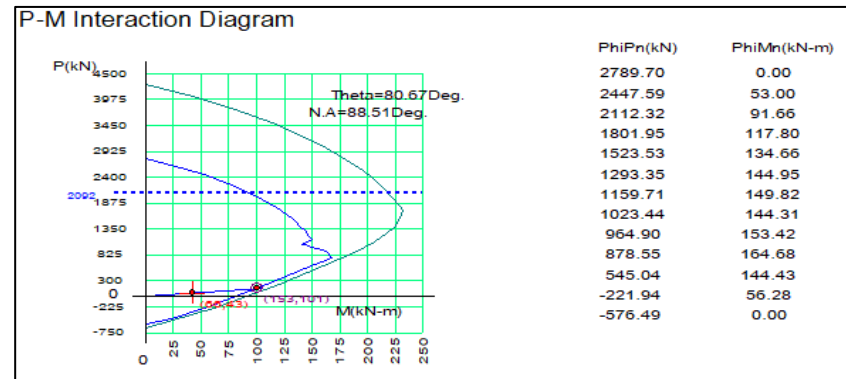
No MODO	X	Y	Z
	PARTICIPACION(%)	PARTICIPACION(%)	PARTICIPACION(%)
1	23,2175	36,5499	0,0007
2	46,518	33,8976	0,0067
3	11,0695	9,9855	0,0019
4	3,5449	5,2011	0,0024
5	6,7424	5,3006	0,0226
6	1,6654	1,6789	0,0057
7	1,5795	2,1223	0,0006
8	2,8369	2,2778	0,0122
9	0,5414	0,7089	0,0114
10	0,7884	0,9056	0,0708
11	0,0032	0,0031	18,288
12	0,0004	0,0418	0,0536

Apéndice C. Chequeo de columnas

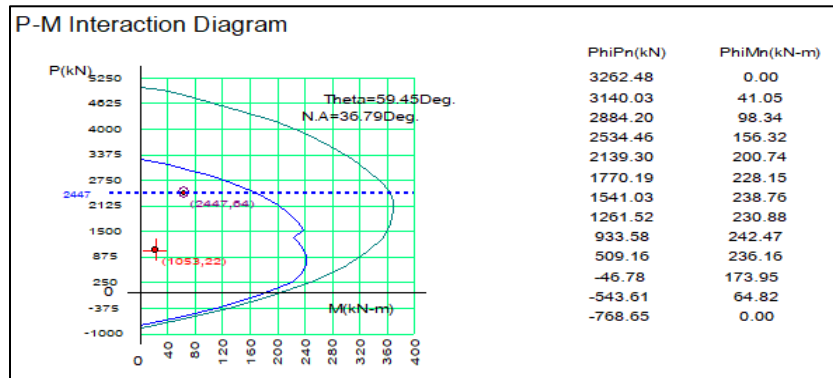
Columna 0.5x0.5 [m]



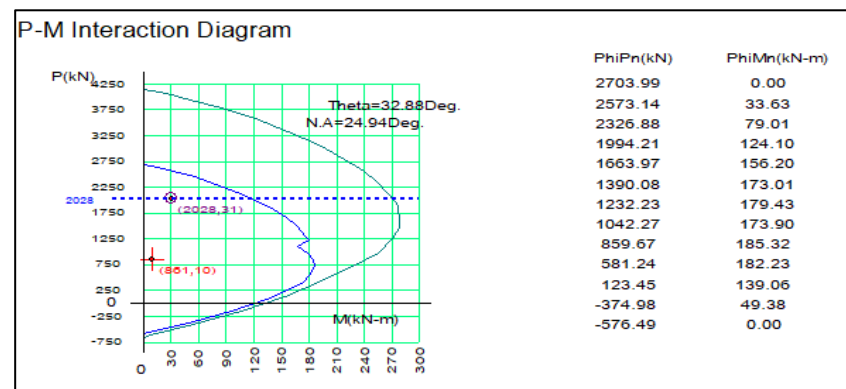
Columna 0.35x0.6 [m]



Columna 0.4x0.6 [m]



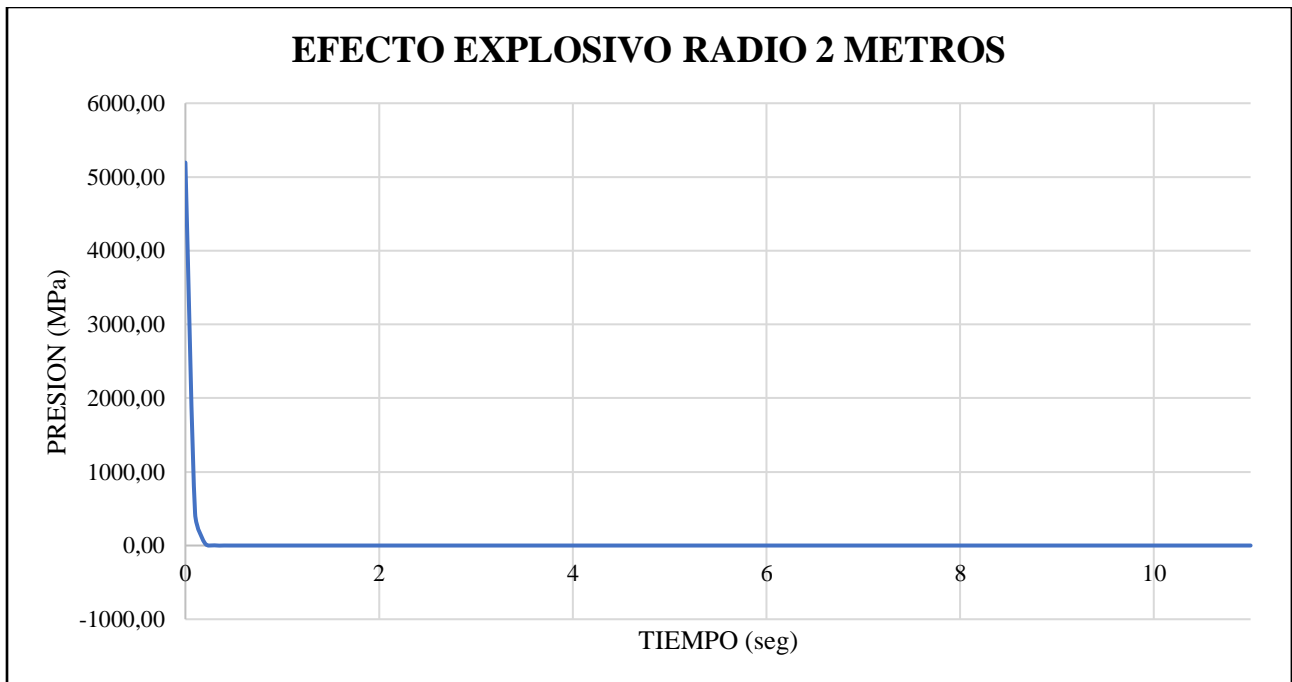
Columna 0.45x0.45 [m]



**Apéndice D.** Explosión de 2 metros

COEFICIENTES	
Po [MPa]	0,101
R [m]	2,000
We [kg]	100,000
Z [m]	0,431
Pso [MPa]	5195,550
td [seg]	0,483
$\alpha$	10,833

VALORES	
C	10764,950
D	22,445



ECUACIÓN					
t (seg)	P (MPa)				
0	5195,5500	4,3	0,0000	8,8	0,0000
0,1	436,5355	4,4	0,0000	8,9	0,0000
0,2	34,1730	4,5	0,0000	9	0,0000
0,3	2,3403	4,6	0,0000	9,1	0,0000
0,4	0,1122	4,7	0,0000	9,2	0,0000
0,5	-0,0025	4,8	0,0000	9,3	0,0000
0,6	-0,0018	4,9	0,0000	9,4	0,0000
0,7	-0,0004	5	0,0000	9,5	0,0000
0,8	-0,0001	5,1	0,0000	9,6	0,0000
0,9	0,0000	5,2	0,0000	9,7	0,0000
1	0,0000	5,3	0,0000	9,8	0,0000
1,1	0,0000	5,4	0,0000	9,9	0,0000
1,2	0,0000	5,5	0,0000	10	0,0000
1,3	0,0000	5,6	0,0000	10,1	0,0000
1,4	0,0000	5,7	0,0000	10,2	0,0000
1,5	0,0000	5,8	0,0000	10,3	0,0000
1,6	0,0000	5,9	0,0000	10,4	0,0000
1,7	0,0000	6	0,0000	10,5	0,0000
1,8	0,0000	6,1	0,0000	10,6	0,0000
1,9	0,0000	6,2	0,0000	10,7	0,0000
2	0,0000	6,3	0,0000	10,8	0,0000
2,1	0,0000	6,4	0,0000	10,9	0,0000
2,2	0,0000	6,5	0,0000	11	0,0000
2,3	0,0000	6,6	0,0000		
2,4	0,0000	6,7	0,0000		
2,5	0,0000	6,8	0,0000		
2,6	0,0000	6,9	0,0000		
2,7	0,0000	7	0,0000		
2,8	0,0000	7,1	0,0000		
2,9	0,0000	7,2	0,0000		
3	0,0000	7,3	0,0000		
3,1	0,0000	7,4	0,0000		
3,2	0,0000	7,5	0,0000		
3,3	0,0000	7,6	0,0000		
3,4	0,0000	7,7	0,0000		
3,5	0,0000	7,8	0,0000		
3,6	0,0000	7,9	0,0000		
3,7	0,0000	8	0,0000		
3,8	0,0000	8,1	0,0000		
3,9	0,0000	8,2	0,0000		
4	0,0000	8,3	0,0000		
4,1	0,0000	8,4	0,0000		
4,2	0,0000	8,5	0,0000		
		8,6	0,0000		
		8,7	0,0000		

Apéndice E. Derivas de la edificación

Caso carga	Entrepiso	Altura de piso [m]	P-Delta Incremental	Allowable Story Drift Ratio	Maximum Drift of All Vertical Elements					Drift at the Center of Mass				
					Node	Story Drift (m)	Modified Drift (m)	Story Drift Ratio	Remark	Story Drift (m)	Modified Drift (m)	Drift Factor (Maximum/Current)	Story Drift Ratio	Remark
gLCB1	4F	2,8	1	0,01	50	0,0005	0,0005	0,0002	OK	0,0004	0,0004	12.105	0,0001	OK
gLCB1	3F	2,8	1	0,01	32	0,0005	0,0005	0,0002	OK	0,0004	0,0004	11.957	0,0001	OK
gLCB1	2F	2,8	1	0,01	12	0,0004	0,0004	0,0001	OK	0,0003	0,0003	12.516	0,0001	OK
gLCB1	1F	2,63	1	0,01	1	0,0002	0,0002	0,0001	OK	0,0001	0,0001	13.070	0	OK
1.2D+1.6L	4F	2,8	1	0,01	50	0,0005	0,0005	0,0002	OK	0,0004	0,0004	11.952	0,0001	OK
1.2D+1.6L	3F	2,8	1	0,01	32	0,0005	0,0005	0,0002	OK	0,0004	0,0004	12.066	0,0001	OK
1.2D+1.6L	2F	2,8	1	0,01	12	0,0004	0,0004	0,0001	OK	0,0003	0,0003	12.631	0,0001	OK
1.2D+1.6L	1F	2,63	1	0,01	1	0,0002	0,0002	0,0001	OK	0,0001	0,0001	13.213	0	OK
1.2D+Sx+L	4F	2,8	1	0,01	53	0,0012	0,0012	0,0004	OK	0,0011	0,0011	10.880	0,0004	OK
1.2D+Sx+L	3F	2,8	1	0,01	35	0,0018	0,0018	0,0006	OK	0,0015	0,0015	11.320	0,0006	OK
1.2D+Sx+L	2F	2,8	1	0,01	15	0,0019	0,0019	0,0007	OK	0,0017	0,0017	11.530	0,0006	OK
1.2D+Sx+L	1F	2,63	1	0,01	9	0,0011	0,0011	0,0004	OK	0,0009	0,0009	11.776	0,0003	OK
gLCB4	4F	2,8	1	0,01	53	0,0005	0,0005	0,0002	OK	0,0004	0,0004	12.702	0,0002	OK
gLCB4	3F	2,8	1	0,01	35	0,0007	0,0007	0,0003	OK	0,0005	0,0005	15.201	0,0002	OK
gLCB4	2F	2,8	1	0,01	15	0,0007	0,0007	0,0003	OK	0,0004	0,0004	17.436	0,0001	OK
gLCB4	1F	2,63	1	0,01	9	0,0004	0,0004	0,0001	OK	0,0002	0,0002	20.652	0,0001	OK
gLCB5	4F	2,8	1	0,01	53	-0,0006	-0,0006	-0,0002	OK	-0,0004	-0,0004	16.143	-0,0001	OK
gLCB5	3F	2,8	1	0,01	35	-0,0011	-0,0011	-0,0004	OK	-0,0008	-0,0008	14.447	-0,0003	OK
gLCB5	2F	2,8	1	0,01	15	-0,0015	-0,0015	-0,0005	OK	-0,0011	-0,0011	13.887	-0,0004	OK
gLCB5	1F	2,63	1	0,01	9	-0,0009	-0,0009	-0,0003	OK	-0,0007	-0,0007	13.511	-0,0003	OK
1.2D-Sy+L	4F	2,8	1	0,01	50	0,0006	0,0006	0,0002	OK	0,0003	0,0003	18.805	0,0001	OK
1.2D-Sy+L	3F	2,8	1	0,01	32	0,0007	0,0007	0,0003	OK	0,0003	0,0003	23.734	0,0001	OK
1.2D-Sy+L	2F	2,8	1	0,01	12	0,0007	0,0007	0,0002	OK	0,0002	0,0002	32.691	0,0001	OK

1.2D-Sy+L	1F	2,63	1	0,01	1	0,0003	0,0003	0,0001	OK	0,0001	0,0001	53.671	0	OK
gLCB7	4F	2,8	1	0,01	53	0,0011	0,0011	0,0004	OK	0,001	0,001	11.177	0,0004	OK
gLCB7	3F	2,8	1	0,01	35	0,0017	0,0017	0,0006	OK	0,0014	0,0014	11.619	0,0005	OK
gLCB7	2F	2,8	1	0,01	15	0,0019	0,0019	0,0007	OK	0,0016	0,0016	11.804	0,0006	OK
gLCB7	1F	2,63	1	0,01	9	0,001	0,001	0,0004	OK	0,0009	0,0009	12.007	0,0003	OK
gLCB8	4F	2,8	1	0,01	53	0,0004	0,0004	0,0002	OK	0,0003	0,0003	14.367	0,0001	OK
gLCB8	3F	2,8	1	0,01	35	0,0006	0,0006	0,0002	OK	0,0003	0,0003	17.903	0,0001	OK
gLCB8	2F	2,8	1	0,01	15	0,0006	0,0006	0,0002	OK	0,0003	0,0003	20.851	0,0001	OK
gLCB8	1F	2,63	1	0,01	9	0,0003	0,0003	0,0001	OK	0,0001	0,0001	24.706	0,0001	OK
gLCB9	4F	2,8	1	0,01	53	-0,0007	-0,0007	-0,0003	OK	-0,0005	-0,0005	14.293	-0,0002	OK
gLCB9	3F	2,8	1	0,01	35	-0,0012	-0,0012	-0,0004	OK	-0,0009	-0,0009	13.554	-0,0003	OK
gLCB9	2F	2,8	1	0,01	15	-0,0015	-0,0015	-0,0006	OK	-0,0012	-0,0012	13.304	-0,0004	OK
gLCB9	1F	2,63	1	0,01	9	-0,0009	-0,0009	-0,0004	OK	-0,0007	-0,0007	13.128	-0,0003	OK
gLCB10	4F	2,8	1	0,01	50	0,0004	0,0004	0,0002	OK	0,0002	0,0002	23.092	0,0001	OK
gLCB10	3F	2,8	1	0,01	32	0,0005	0,0005	0,0002	OK	0,0002	0,0002	32.242	0,0001	OK
gLCB10	2F	2,8	1	0,01	12	0,0006	0,0006	0,0002	OK	0,0001	0,0001	51.933	0	OK
gLCB10	1F	2,63	1	0,01	1	0,0003	0,0003	0,0001	OK	0	0	125.197	0	OK
gLCB11	4F	2,8	1	0,01	50	0,0003	0,0003	0,0001	OK	0,0003	0,0003	12.105	0,0001	OK
gLCB11	3F	2,8	1	0,01	32	0,0003	0,0003	0,0001	OK	0,0003	0,0003	11.957	0,0001	OK
gLCB11	2F	2,8	1	0,01	12	0,0003	0,0003	0,0001	OK	0,0002	0,0002	12.516	0,0001	OK
gLCB11	1F	2,63	1	0,01	1	0,0001	0,0001	0	OK	0,0001	0,0001	13.070	0	OK
gLCB12	4F	2,8	1	0,01	50	0,0004	0,0004	0,0001	OK	0,0003	0,0003	11.986	0,0001	OK
gLCB12	3F	2,8	1	0,01	32	0,0004	0,0004	0,0001	OK	0,0003	0,0003	12.042	0,0001	OK
gLCB12	2F	2,8	1	0,01	12	0,0003	0,0003	0,0001	OK	0,0003	0,0003	12.606	0,0001	OK
gLCB12	1F	2,63	1	0,01	1	0,0001	0,0001	0,0001	OK	0,0001	0,0001	13.182	0	OK
gLCB13	4F	2,8	1	0,01	53	0,0009	0,0009	0,0003	OK	0,0008	0,0008	10.780	0,0003	OK
gLCB13	3F	2,8	1	0,01	35	0,0012	0,0012	0,0004	OK	0,0011	0,0011	11.288	0,0004	OK
gLCB13	2F	2,8	1	0,01	15	0,0014	0,0014	0,0005	OK	0,0012	0,0012	11.503	0,0004	OK
gLCB13	1F	2,63	1	0,01	9	0,0008	0,0008	0,0003	OK	0,0006	0,0006	11.753	0,0002	OK
gLCB14	4F	2,8	1	0,01	53	0,0004	0,0004	0,0001	OK	0,0003	0,0003	12.335	0,0001	OK
gLCB14	3F	2,8	1	0,01	35	0,0005	0,0005	0,0002	OK	0,0003	0,0003	14.909	0,0001	OK

gLCB14	2F	2,8	1	0,01	15	0,0005	0,0005	0,0002	OK	0,0003	0,0003	17.084	0,0001	OK
gLCB14	1F	2,63	1	0,01	9	0,0003	0,0003	0,0001	OK	0,0001	0,0001	20.212	0	OK
gLCB15	4F	2,8	1	0,01	53	-0,0004	-0,0004	-0,0001	OK	-0,0002	-0,0002	16.906	-0,0001	OK
gLCB15	3F	2,8	1	0,01	35	-0,0008	-0,0008	-0,0003	OK	-0,0005	-0,0005	14.609	-0,0002	OK
gLCB15	2F	2,8	1	0,01	15	-0,001	-0,001	-0,0004	OK	-0,0007	-0,0007	13.971	-0,0003	OK
gLCB15	1F	2,63	1	0,01	9	-0,0006	-0,0006	-0,0002	OK	-0,0005	-0,0005	13.560	-0,0002	OK
gLCB16	4F	2,8	1	0,01	50	0,0004	0,0004	0,0002	OK	0,0002	0,0002	18.346	0,0001	OK
gLCB16	3F	2,8	1	0,01	32	0,0005	0,0005	0,0002	OK	0,0002	0,0002	22.770	0,0001	OK
gLCB16	2F	2,8	1	0,01	12	0,0005	0,0005	0,0002	OK	0,0002	0,0002	31.039	0,0001	OK
gLCB16	1F	2,63	1	0,01	1	0,0002	0,0002	0,0001	OK	0	0	49.552	0	OK
gLCB17	4F	2,8	1	0,01	53	0,0007	0,0007	0,0003	OK	0,0007	0,0007	10.447	0,0002	OK
gLCB17	3F	2,8	1	0,01	35	0,001	0,001	0,0004	OK	0,0009	0,0009	10.923	0,0003	OK
gLCB17	2F	2,8	1	0,01	15	0,0011	0,0011	0,0004	OK	0,001	0,001	11.150	0,0003	OK
gLCB17	1F	2,63	1	0,01	9	0,0006	0,0006	0,0002	OK	0,0005	0,0005	11.440	0,0002	OK
gLCB18	4F	2,8	1	0,01	53	0,0004	0,0004	0,0001	OK	0,0003	0,0003	11.196	0,0001	OK
gLCB18	3F	2,8	1	0,01	35	0,0005	0,0005	0,0002	OK	0,0004	0,0004	12.933	0,0001	OK
gLCB18	2F	2,8	1	0,01	15	0,0004	0,0004	0,0002	OK	0,0003	0,0003	14.452	0,0001	OK
gLCB18	1F	2,63	1	0,01	9	0,0002	0,0002	0,0001	OK	0,0001	0,0001	16.855	0	OK
gLCB19	4F	2,8	1	0,01	53	-0,0002	-0,0002	-0,0001	OK	-0,0001	-0,0001	26.218	0	OK
gLCB19	3F	2,8	1	0,01	35	-0,0005	-0,0005	-0,0002	OK	-0,0003	-0,0003	16.846	-0,0001	OK
gLCB19	2F	2,8	1	0,01	15	-0,0007	-0,0007	-0,0003	OK	-0,0005	-0,0005	15.163	-0,0002	OK
gLCB19	1F	2,63	1	0,01	9	-0,0004	-0,0004	-0,0002	OK	-0,0003	-0,0003	14.258	-0,0001	OK
gLCB20	4F	2,8	1	0,01	50	0,0004	0,0004	0,0002	OK	0,0003	0,0003	16.070	0,0001	OK
gLCB20	3F	2,8	1	0,01	32	0,0005	0,0005	0,0002	OK	0,0003	0,0003	18.780	0,0001	OK
gLCB20	2F	2,8	1	0,01	12	0,0005	0,0005	0,0002	OK	0,0002	0,0002	23.529	0,0001	OK
gLCB20	1F	2,63	1	0,01	1	0,0002	0,0002	0,0001	OK	0,0001	0,0001	32.544	0	OK
gLCB21	4F	2,8	1	0,01	53	0,0008	0,0008	0,0003	OK	0,0007	0,0007	11.214	0,0002	OK
gLCB21	3F	2,8	1	0,01	35	0,0012	0,0012	0,0004	OK	0,001	0,001	11.649	0,0004	OK
gLCB21	2F	2,8	1	0,01	15	0,0013	0,0013	0,0005	OK	0,0011	0,0011	11.831	0,0004	OK
gLCB21	1F	2,63	1	0,01	9	0,0007	0,0007	0,0003	OK	0,0006	0,0006	12.029	0,0002	OK
gLCB22	4F	2,8	1	0,01	53	0,0003	0,0003	0,0001	OK	0,0002	0,0002	14.620	0,0001	OK

gLCB22	3F	2,8	1	0,01	35	0,0004	0,0004	0,0001	OK	0,0002	0,0002	18.266	0,0001	OK
gLCB22	2F	2,8	1	0,01	15	0,0004	0,0004	0,0002	OK	0,0002	0,0002	21.292	0,0001	OK
gLCB22	1F	2,63	1	0,01	9	0,0002	0,0002	0,0001	OK	0,0001	0,0001	25.209	0	OK
gLCB23	4F	2,8	1	0,01	53	-0,0005	-0,0005	-0,0002	OK	-0,0004	-0,0004	14.148	-0,0001	OK
gLCB23	3F	2,8	1	0,01	35	-0,0009	-0,0009	-0,0003	OK	-0,0006	-0,0006	13.484	-0,0002	OK
gLCB23	2F	2,8	1	0,01	15	-0,0011	-0,0011	-0,0004	OK	-0,0008	-0,0008	13.256	-0,0003	OK
gLCB23	1F	2,63	1	0,01	9	-0,0007	-0,0007	-0,0002	OK	-0,0005	-0,0005	13.095	-0,0002	OK
gLCB24	4F	2,8	1	0,01	50	0,0003	0,0003	0,0001	OK	0,0001	0,0001	23.813	0	OK
gLCB24	3F	2,8	1	0,01	32	0,0004	0,0004	0,0001	OK	0,0001	0,0001	33.794	0	OK
gLCB24	2F	2,8	1	0,01	12	0,0004	0,0004	0,0001	OK	0,0001	0,0001	55.901	0	OK
gLCB24	1F	2,63	1	0,01	1	0,0002	0,0002	0,0001	OK	0	0	147.857	0	OK
gLCB25	4F	2,8	1	0,01	50	0,0004	0,0004	0,0001	OK	0,0003	0,0003	12.375	0,0001	OK
gLCB25	3F	2,8	1	0,01	32	0,0003	0,0003	0,0001	OK	0,0003	0,0003	11.870	0,0001	OK
gLCB25	2F	2,8	1	0,01	12	0,0003	0,0003	0,0001	OK	0,0002	0,0002	12.443	0,0001	OK
gLCB25	1F	2,63	1	0,01	1	0,0001	0,0001	0	OK	0,0001	0,0001	12.987	0	OK
gLCB26	4F	2,8	1	0,01	50	0,0005	0,0005	0,0002	OK	0,0004	0,0004	12.056	0,0001	OK
gLCB26	3F	2,8	1	0,01	32	0,0005	0,0005	0,0002	OK	0,0004	0,0004	12.033	0,0001	OK
gLCB26	2F	2,8	1	0,01	12	0,0004	0,0004	0,0002	OK	0,0003	0,0003	12.604	0,0001	OK
gLCB26	1F	2,63	1	0,01	1	0,0002	0,0002	0,0001	OK	0,0001	0,0001	13.183	0	OK
gLCB27	4F	2,8	1	0,01	50	0,0005	0,0005	0,0002	OK	0,0004	0,0004	12.333	0,0001	OK
gLCB27	3F	2,8	1	0,01	32	0,0005	0,0005	0,0002	OK	0,0004	0,0004	11.923	0,0001	OK
gLCB27	2F	2,8	1	0,01	12	0,0004	0,0004	0,0001	OK	0,0003	0,0003	12.504	0,0001	OK
gLCB27	1F	2,63	1	0,01	1	0,0002	0,0002	0,0001	OK	0,0001	0,0001	13.065	0	OK

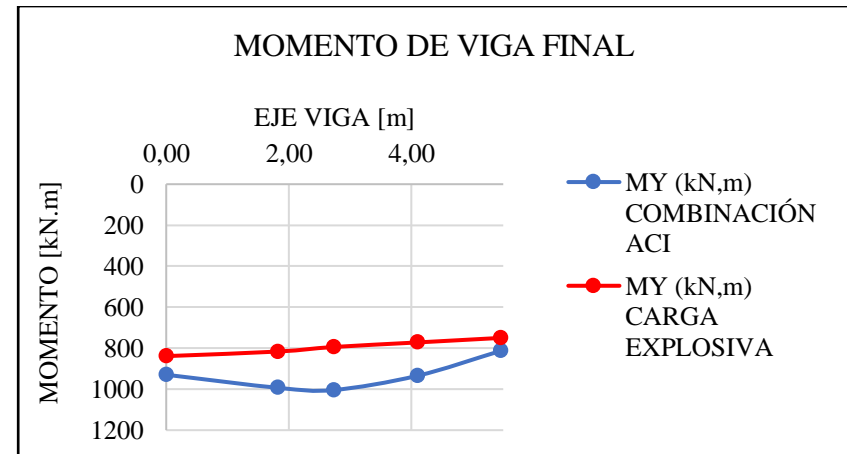
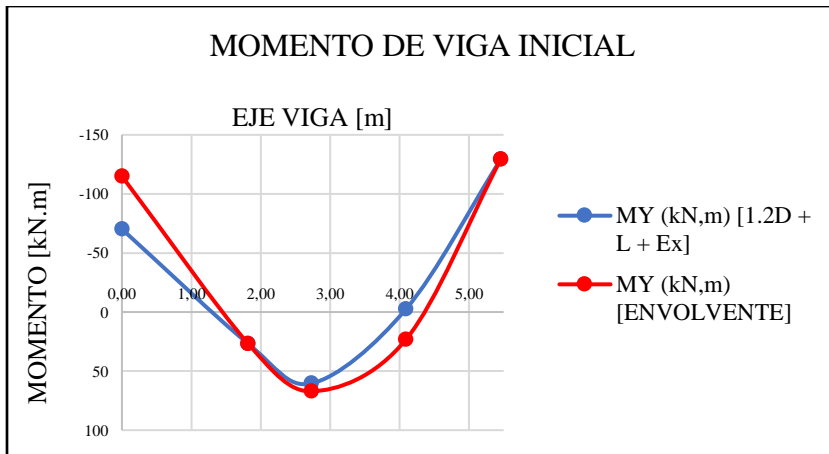
**Apéndice F.** Análisis de demanda capacidad de momentos para la viga seleccionada por entrepiso con explosión de radio 2 metros

**Modelo 1**

	ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	MY (kN,m) [1.2D + L + Ex]
<b>COMBINACIÓN LIMITE [1.2D + L + Ex]</b>			0,00	-70,23
			1,82	26,9
	16	5,46	2,73	60,42
			4,10	-2,68
			5,46	-129,39

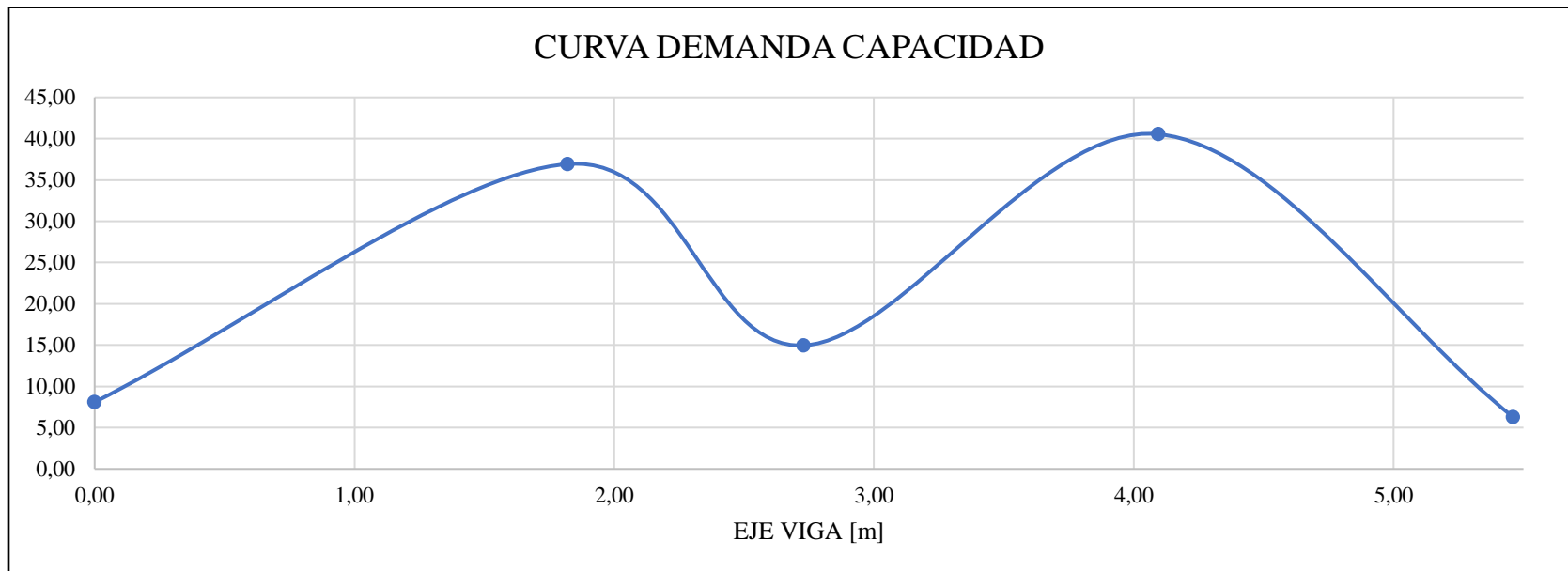
	ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	MY (kN,m) ENVOLVENTE
<b>COMBINACIÓN [ENVOLVENTE]</b>			0,00	-114,96
			1,82	26,9
	16	5,46	2,73	67,13
			4,10	23,06
			5,46	-129,39

	ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	MY (kN,m) ACI	MY (kN,m) CARGA EXPLOSIVA
<b>COMBINACIÓN [ACI]</b>			0,00	929,69	838,67
			1,82	993,26	816,48
	16	5,46	2,73	1004,12	794,29
			4,10	934,95	772,1
			5,46	813,08	749,91



**VALORES DEMANDA CAPACIDAD**

ABSCISA	MY INICIAL	MY FINAL	Demanda Vs. Capacidad
0,00	-114,96	929,69	8,09
1,82	26,9	993,26	36,92
2,73	67,13	1004,12	14,96
4,10	23,06	934,95	40,54
5,46	-129,39	813,08	6,28

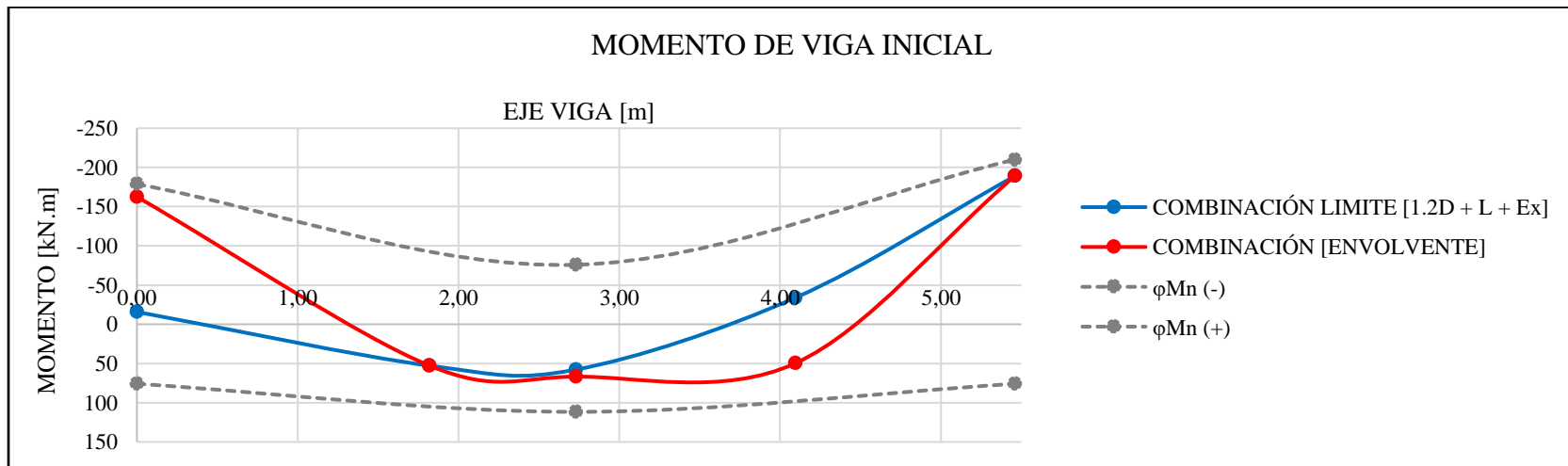


Modelo 2

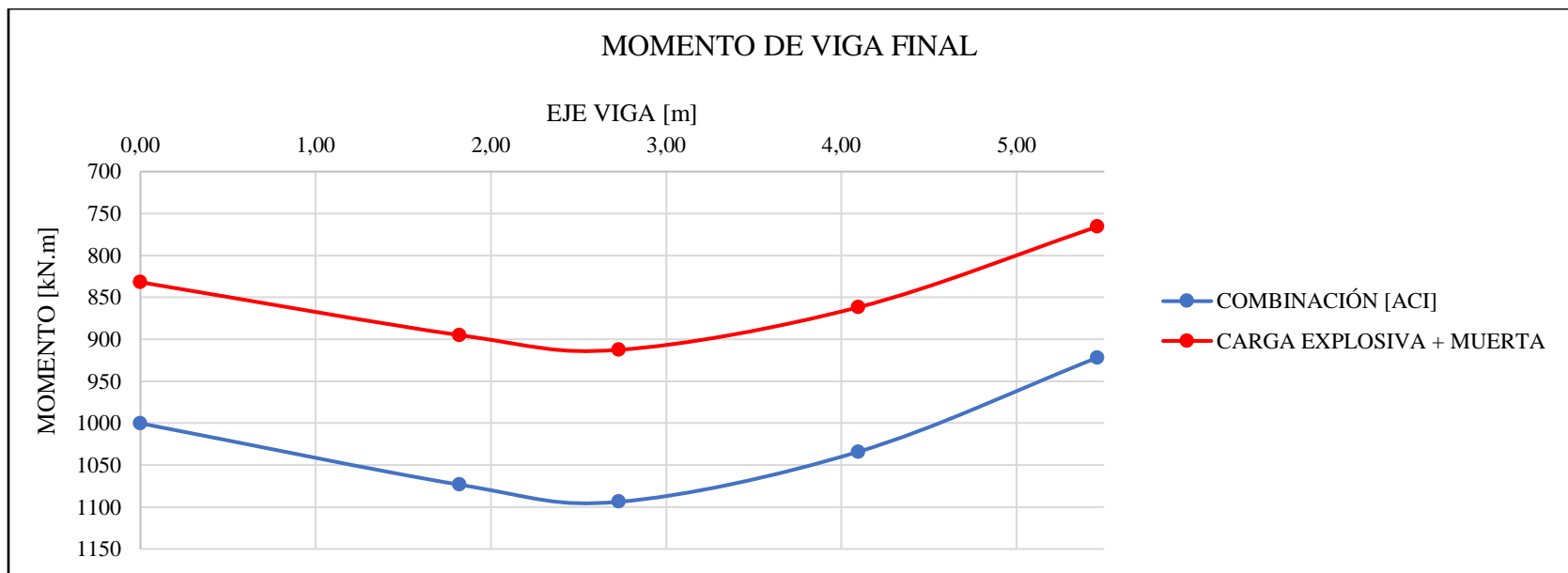
	ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	MY (kN,m) [1.2D + L + Ex]
<b>COMBINACIÓN LIMITE [1.2D + L + Ex]</b>			0,00	-15,81
			1,82	52,78
	53	5,46	2,73	57,75
			4,10	-33,9
			5,46	-189,16

	ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	MY (kN,m) [ENVOLVENTE]
<b>COMBINACIÓN [ENVOLVENTE]</b>			0,00	-162,59
			1,82	52,78
	53	5,46	2,73	66,69
			4,10	49,66
			5,46	-189,16

ABSCISA	$\phi M_n (-)$	$\phi M_n (+)$
<b>0,00</b>	-178,74	75,87
<b>2,73</b>	-75,87	111,62
<b>5,46</b>	-210,11	75,87

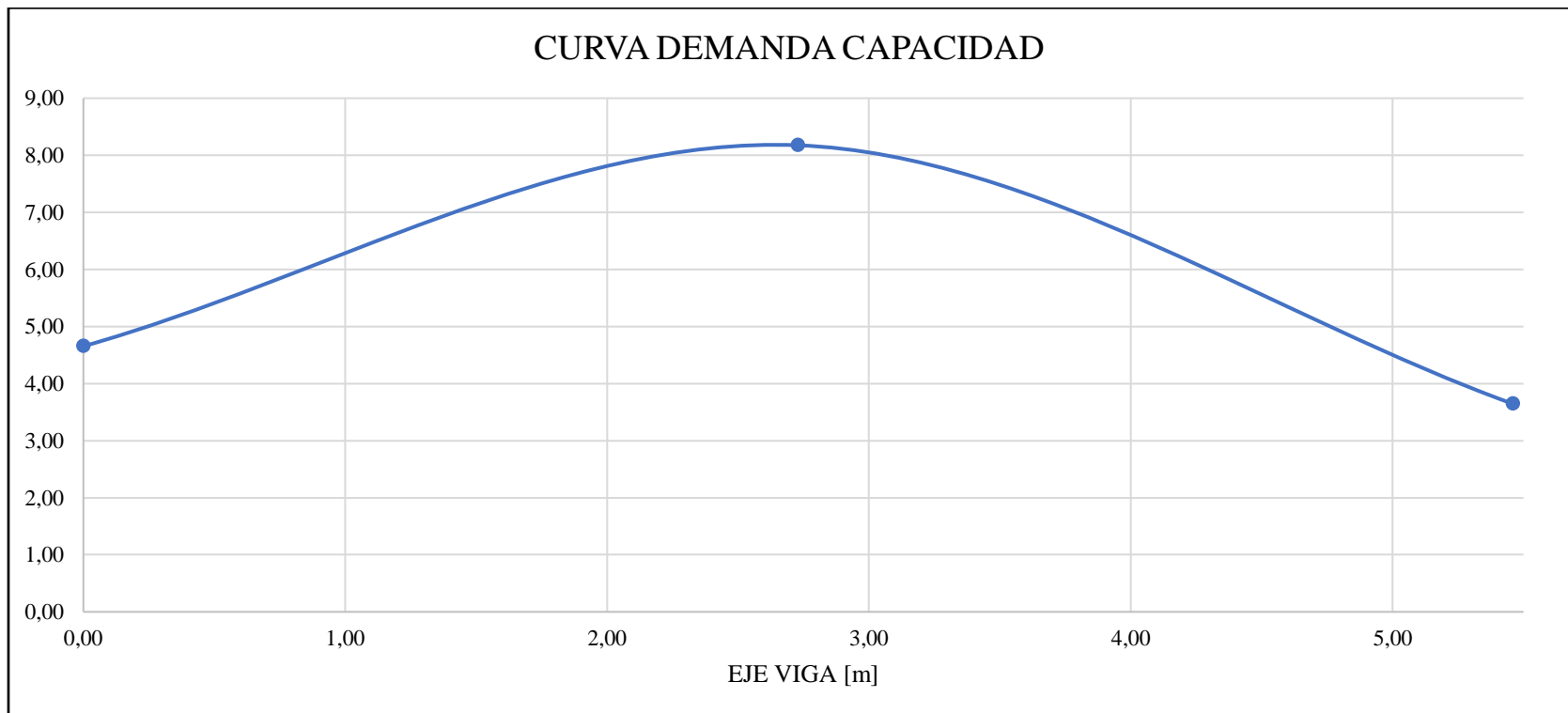


	ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	MY (kN,m)		MY (kN,m)		MY (kN,m)		MY (kN,m)
<b>COMBINACIÓN [ACI]</b>	53	5,46	0,00	1000,18	<b>CARGA EXPLOSIVA</b>	895,05	<b>CARGA MUERTA</b>	-63,11	<b>CARGA EXPLOSIVA + MUERTA</b>	831,94
			1,82	1073,35		882,18		12,78		894,96
			2,73	1093,81		869,31		43,26		912,57
			4,10	1034,25		856,44		5,45		861,89
			5,46	921,98		843,57		-77,78		765,79



**VALORES DEMANDA CAPACIDAD**

ABSCISA	MY INICIAL	MY FINAL	Demanda Vs. Capacidad
<b>0,00</b>	-178,74	831,94	4,65
<b>2,73</b>	111,62	912,57	8,18
<b>5,46</b>	-210,11	765,79	3,64

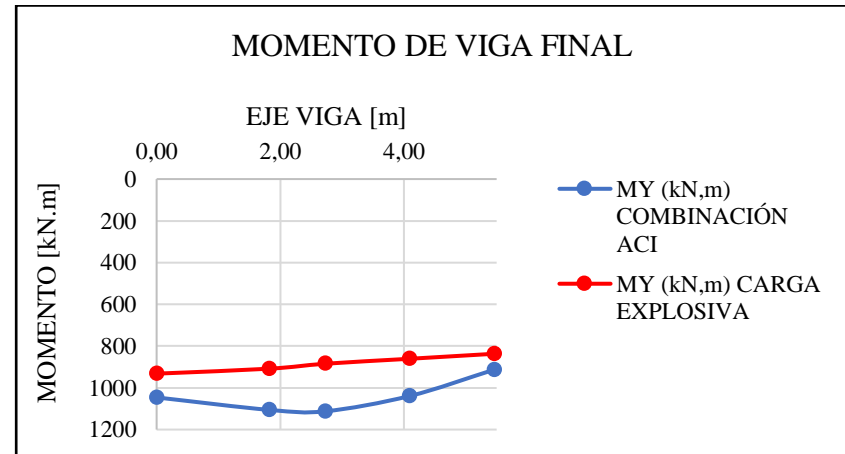
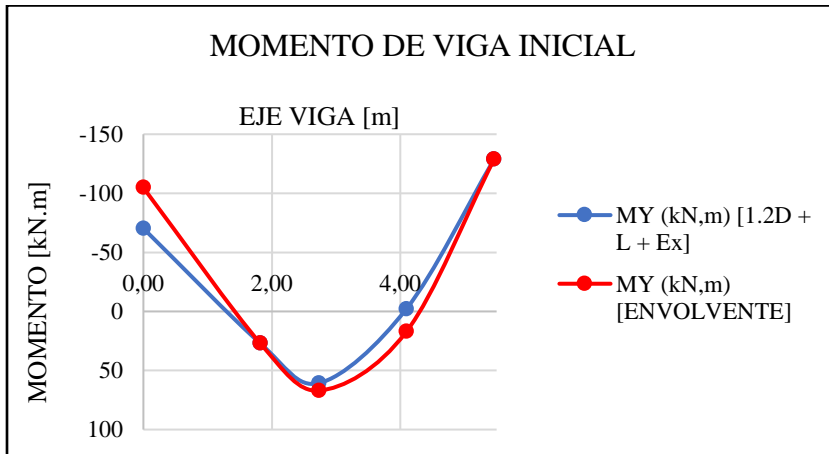


**Modelo 3**

	ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	MY (kN,m) [1.2D + L + Ex]
<b>COMBINACIÓN LIMITE [1.2D + L + Ex]</b>			0,00	-70,29
			1,82	27,03
	90	5,46	2,73	60,73
			4,10	-2,19
			5,46	-128,71

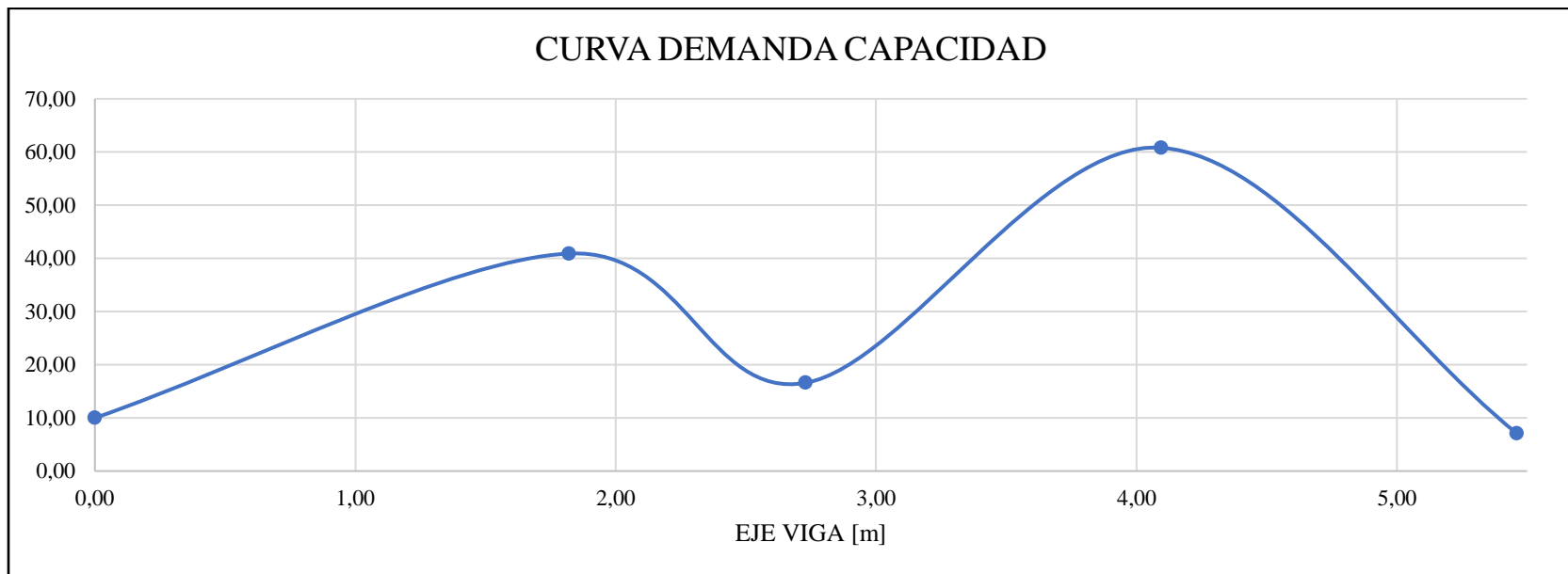
	ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	MY (kN,m) ENVOLVE NTE]
<b>COMBINACIÓN [ENVOLVENTE]</b>			0,00	-104,74
			1,82	27,03
	90	5,46	2,73	67,03
			4,10	17,09
			5,46	-128,71

	ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	MY (kN,m) ACI	MY (kN,m) CARGA EXPLOSIVA
<b>COMBINACIÓN [ACI]</b>			0,00	1046,12	932,17
			1,82	1105,59	908,37
	90	5,46	2,73	1112,36	884,58
			4,10	1039,1	860,79
			5,46	913,14	836,99



**VALORES DEMANDA CAPACIDAD**

ABSCISA	MY INICIAL	MY FINAL	Demanda Vs. Capacidad
<b>0,00</b>	-104,74	1046,12	9,99
<b>1,82</b>	27,03	1105,59	40,90
<b>2,73</b>	67,03	1112,36	16,59
<b>4,10</b>	17,09	1039,1	60,80
<b>5,46</b>	-128,71	913,14	7,09

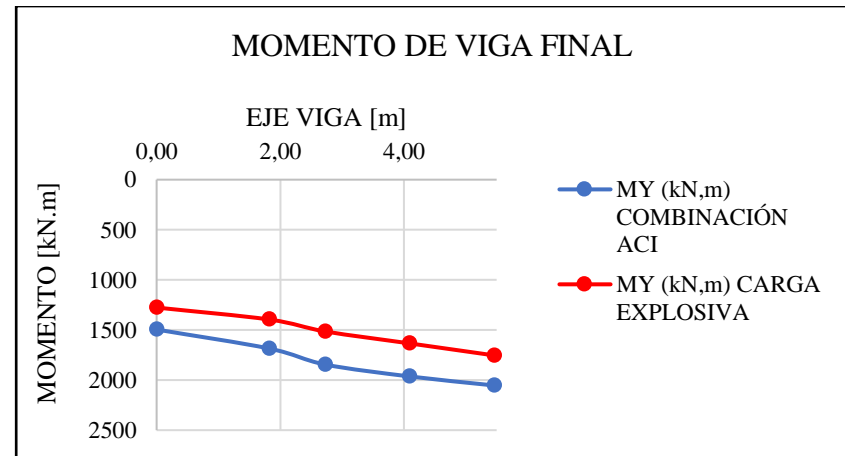
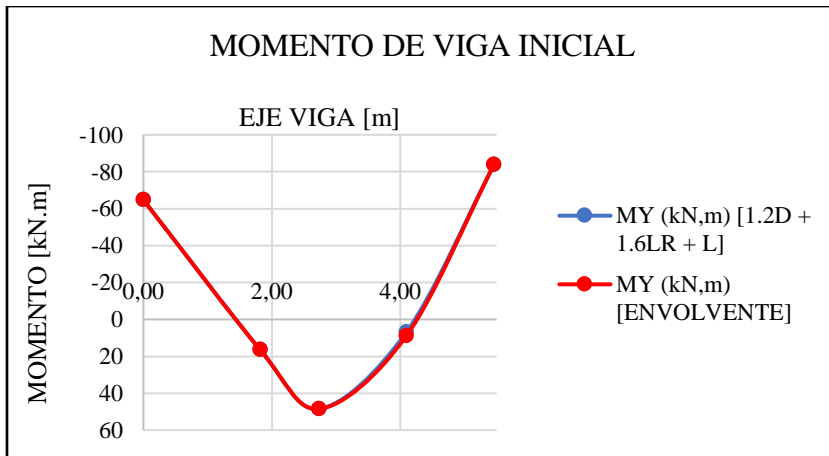


**Modelo 4**

	ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	MY (kN,m) [1.2D+L+ Ex]
<b>COMBINACIÓN LIMITE [1.2D + 1.6LR + L]</b>			0,00	-64,74
			1,82	16,51
	127	5,46	2,73	48,5
			4,10	6,94
			5,46	-83,89

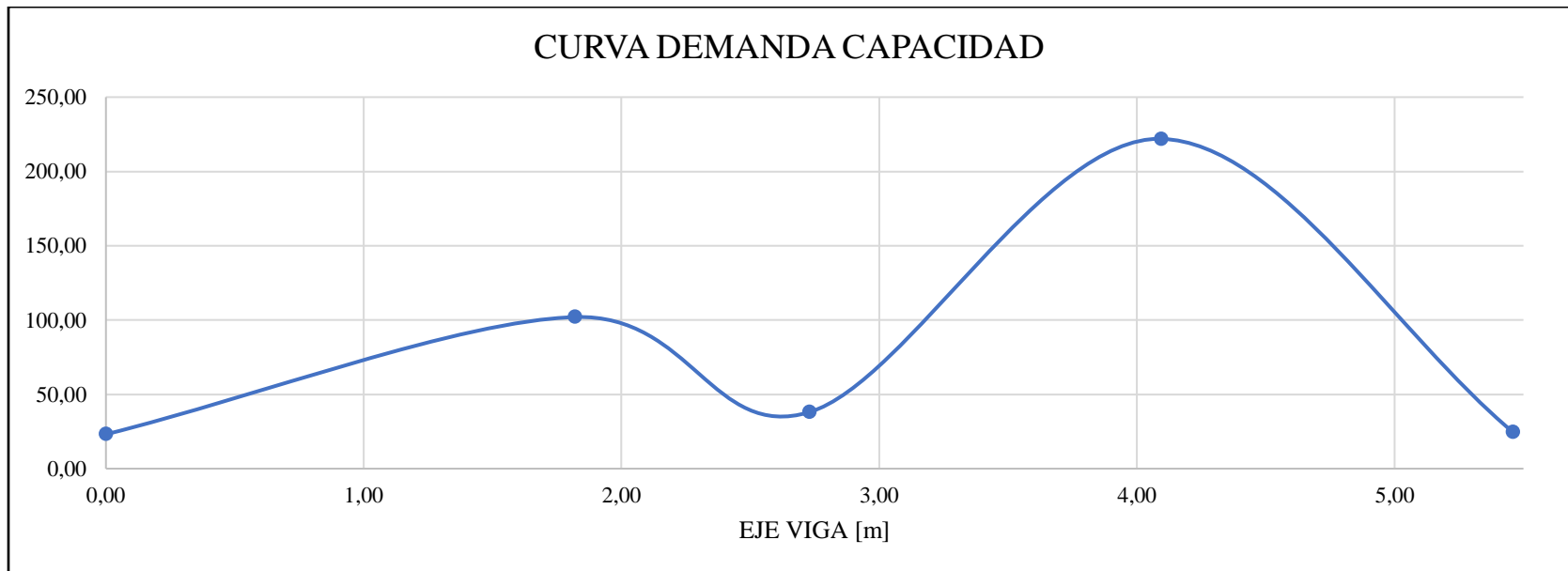
	ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	MY (kN,m) ENVOLVE NTE]
<b>COMBINACIÓN [ENVOLVENTE]</b>			0,00	-64,74
			1,82	16,52
	127	5,46	2,73	48,5
			4,10	8,85
			5,46	-83,89

	ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	MY (kN,m) ACI	MY (kN,m) CARGA EXPLOSIVA
<b>COMBINACIÓN [ACI]</b>			0,00	1495,84	1276,38
			1,82	1685,08	1395,74
	127	5,46	2,73	1845,4	1515,1
			4,10	1964	1634,46
			5,46	2053,68	1753,82



**VALORES DEMANDA CAPACIDAD**

ABSCISA	MY INICIAL	MY FINAL	Demanda Vs. Capacidad
0,00	-64,74	1495,84	23,11
1,82	16,52	1685,08	102,00
2,73	48,5	1845,4	38,05
4,10	8,85	1964	221,92
5,46	-83,89	2053,68	24,48



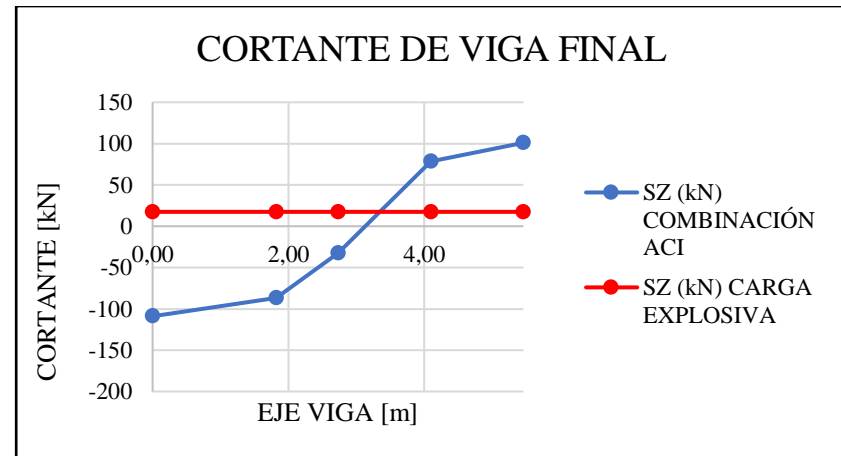
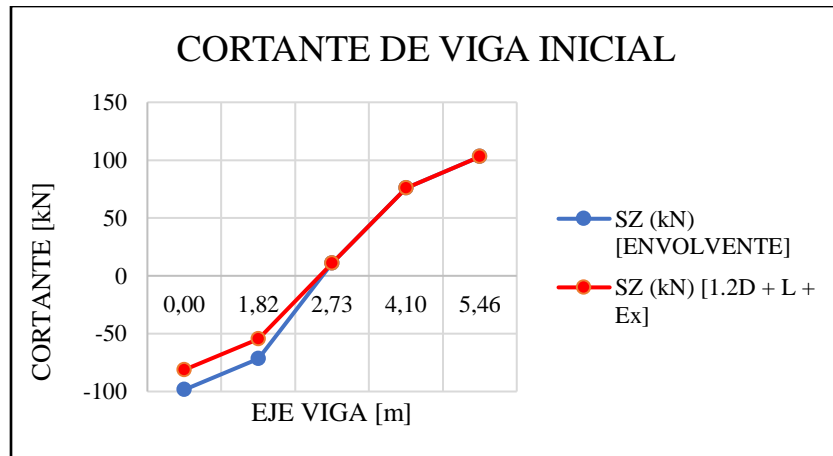
**Apéndice G.** Análisis de demanda capacidad de cortantes para la viga seleccionada por entrepiso con explosión de radio 2 metros

**Modelo 1**

	ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	SZ (kN) [1.2D + L + Ex]
<b>COMBINACIÓN LIMITE</b> [1.2D + L + Ex]			0,00	-81,27
			1,82	-54,4
	16	5,46	2,73	10,84
			4,10	76,07
			5,46	102,94

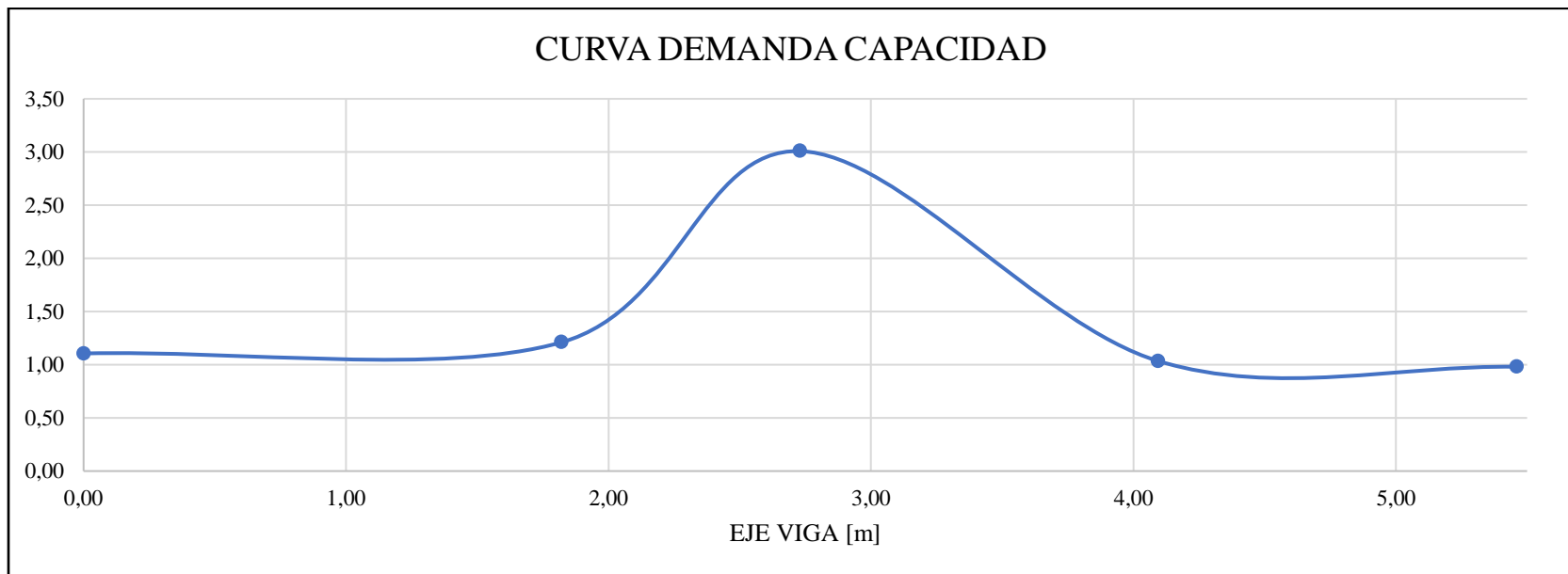
	ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	SZ (kN) [ENVOLVENTE]
<b>COMBINACIÓN</b> [ENVOLVENTE]			0,00	-98,48
			1,82	-71,61
	16	5,46	2,73	10,84
			4,10	76,07
			5,46	102,94

	ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	SZ (kN) ACI	SZ (kN) CARGA EXPLOSIVA
<b>COMBINACIÓN</b> [ACI]			0,00	-108,92	17,43
			1,82	-86,65	17,43
	16	5,46	2,73	-32,61	17,43
			4,10	78,67	17,43
			5,46	100,95	17,43



**VALORES DEMANDA CAPACIDAD**

ABSCISA	SZ INICIAL	SZ FINAL	Demanda Vs, Capacidad
0,00	-98,48	-108,92	1,11
1,82	-71,61	-86,65	1,21
2,73	10,84	-32,61	3,01
4,10	76,07	78,67	1,03
5,46	102,94	100,95	0,98

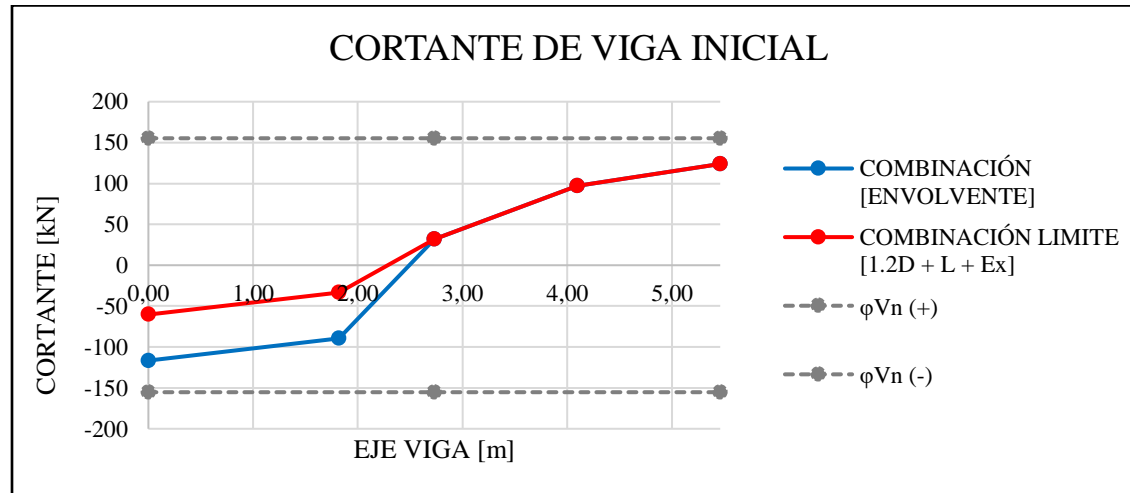


Modelo 2

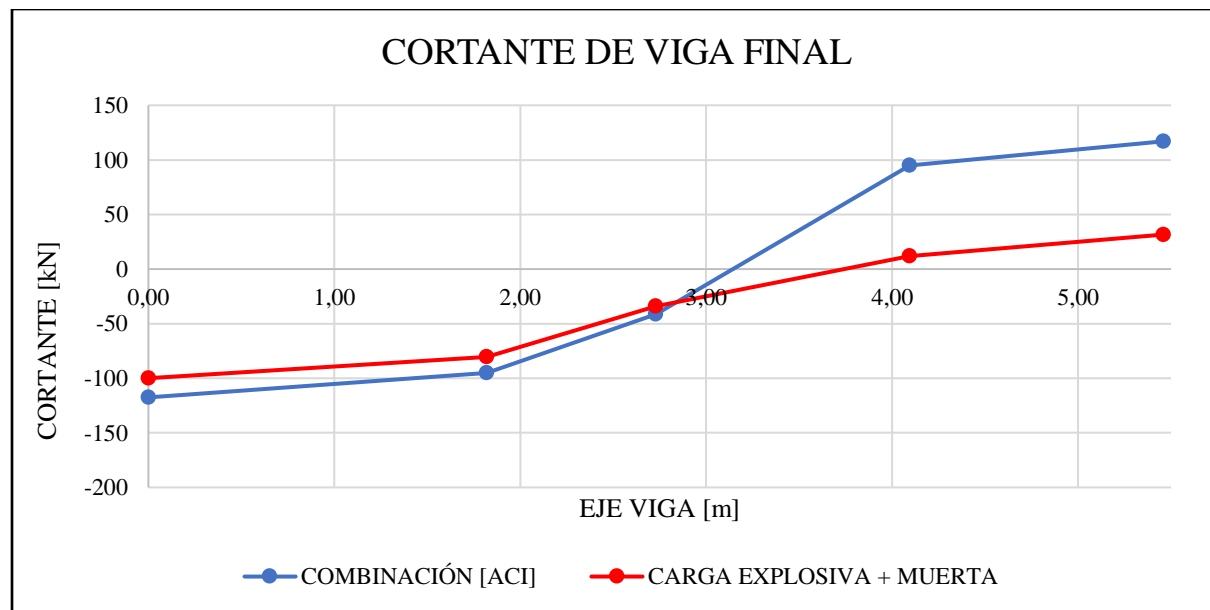
	ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	SZ (kN)
<b>COMBINACIÓN LIMITE</b> [1.2D + L + Ex]	53	5,46	0,00	-60,36
			1,82	-33,49
			2,73	31,75
			4,10	96,99
			5,46	123,86

	ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	SZ (kN)
<b>COMBINACIÓN</b> [ENVOLVENTE]	53	5,46	0,00	-116,61
			1,82	-89,74
			2,73	31,75
			4,10	96,99
			5,46	123,86

ABSCISA	$\phi Vc$	$\phi Vs$	$\phi Vn (+)$	$\phi Vn (-)$
<b>0,00</b>	95,1	60,18	155,28	-155,28
<b>2,73</b>	95,1	60,18	155,28	-155,28
<b>5,46</b>	95,1	60,18	155,28	-155,28

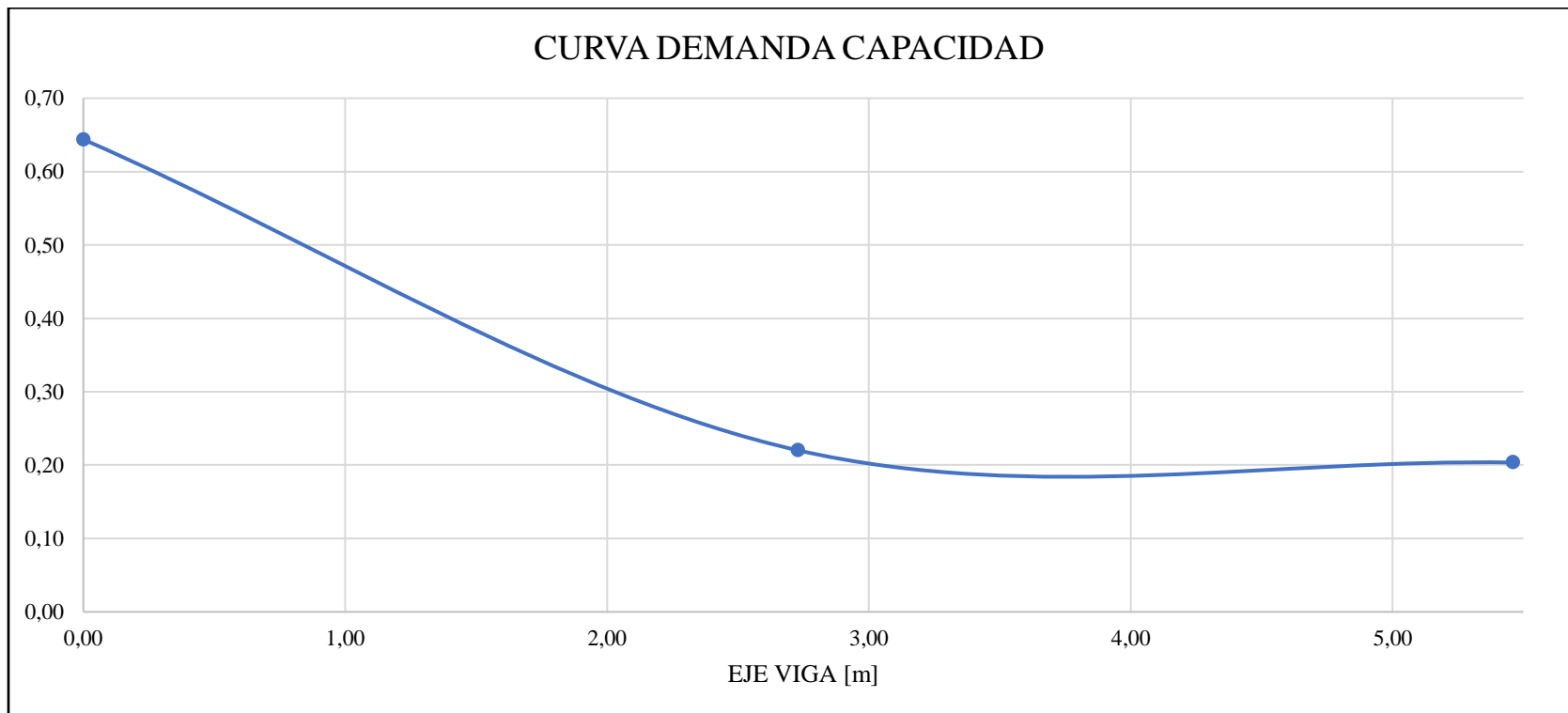


	ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	SZ (kN)		SZ (kN)		SZ (kN)		SZ (kN)
<b>COMBINACIÓN [ACI]</b>	53	5,46	0,00	-117,56	<b>CARGA EXPLOSIVA</b>	-36,87	<b>CARGA MUERTA</b>	-63,1	<b>CARGA EXPLOSIVA + MUERTA</b>	-99,97
			1,82	-95,28		-36,87		-43,5		-80,37
			2,73	-41,24		-36,87		2,69		-34,18
			4,10	94,76		-36,87		48,87		12
			5,46	117,04		-36,87		68,47		31,6



**VALORES DEMANDA CAPACIDAD**

ABSCISA	SZ INICIAL	SZ FINAL	Demanda Vs, Capacidad
0,00	155,28	-99,97	0,64
2,73	155,28	-34,18	0,22
5,46	155,28	31,6	0,20

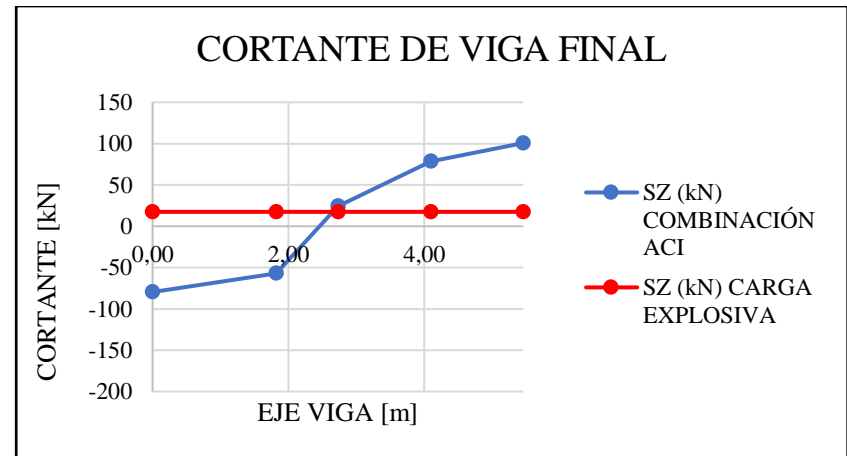
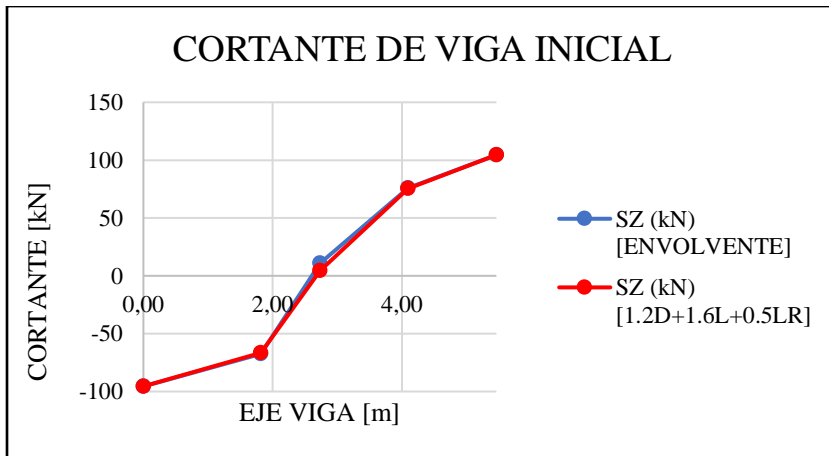


Modelo 3

	ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	SZ (kN) [1.2D+1.6L+0.5LR]
<b>COMBINACIÓN LIMITE</b> [1.2D+1.6L+0.5LR]			0,00	-95,53
			1,82	-66,65
	90	5,46	2,73	4,48
			4,10	75,61
			5,46	104,49

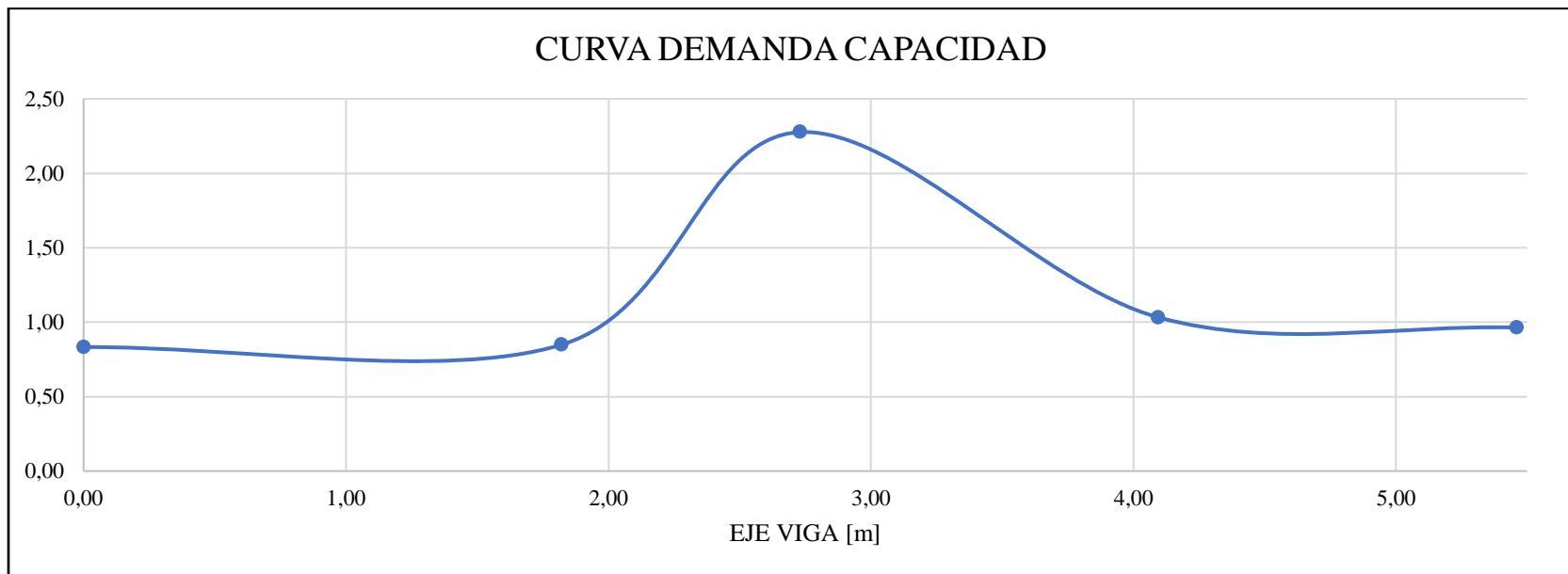
	ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	SZ (kN) [ENVOLVENTE]
<b>COMBINACIÓN</b> [ENVOLVENTE]			0,00	-95,63
			1,82	-67,66
	90	5,46	2,73	10,7
			4,10	75,94
			5,46	104,49

	ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	SZ (kN) ACI	SZ (kN) CARGA EXPLOSIVA
<b>COMBINACIÓN [ACI]</b>			0,00	-79,63	17,43
			1,82	-57,36	17,43
	90	5,46	2,73	24,36	17,43
			4,10	78,39	17,43
			5,46	100,67	17,43



**VALORES DEMANDA CAPACIDAD**

ABS	SZ INICIAL	SZ FINAL	Demanda Vs, Capacidad
0,00	-95,63	-79,63	0,83
1,82	-67,66	-57,36	0,85
2,73	10,7	24,36	2,28
4,10	75,94	78,39	1,03
5,46	104,49	100,67	0,96

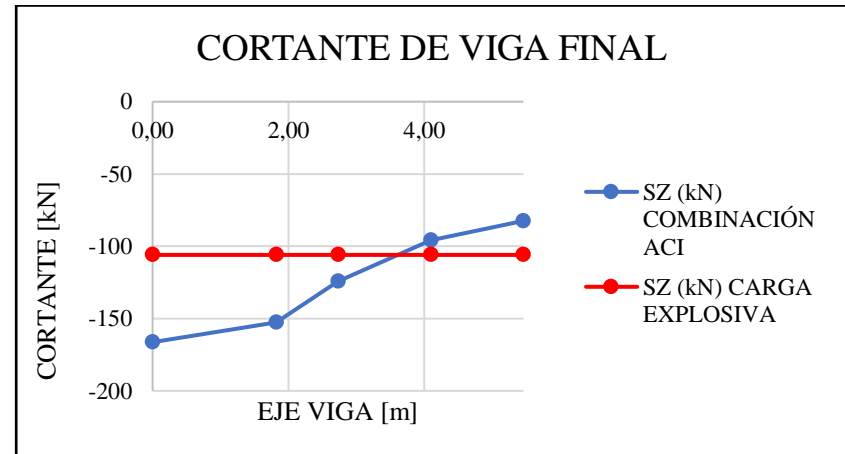
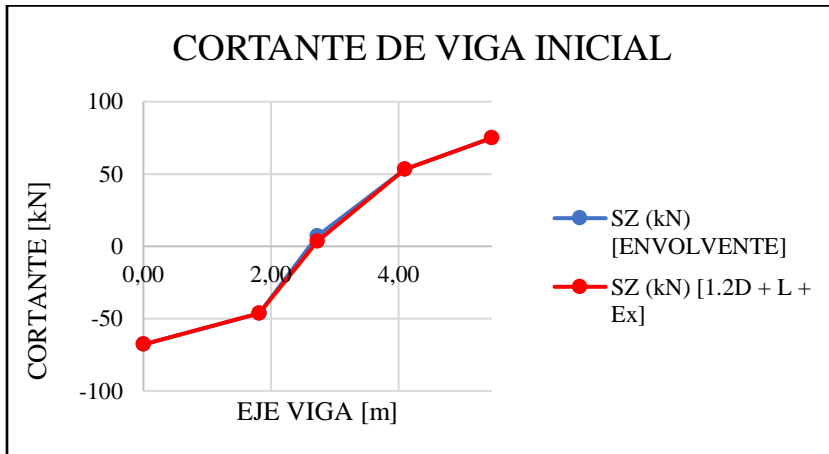


Modelo 4

	ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	SZ (kN) [1.2D + L + 1.6LR + L]
<b>COMBINACIÓN LIMITE</b> [1.2D + 1.6LR + L]			0,00	-67,89
			1,82	-46,29
	127	5,46	2,73	3,51
			4,10	53,3
			5,46	74,9

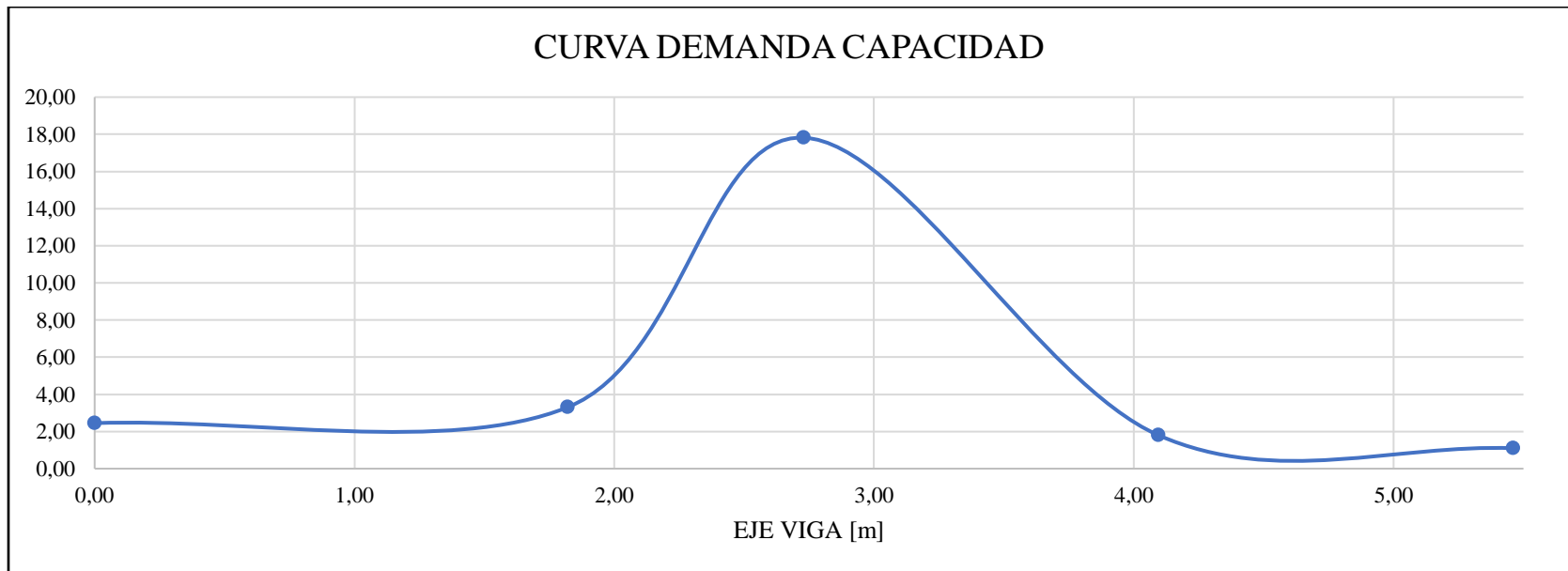
	ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	SZ (kN) [ENVOLVENTE]
<b>COMBINACIÓN</b> [ENVOLVENTE]			0,00	-67,89
			1,82	-46,29
	127	5,46	2,73	6,98
			4,10	53,3
			5,46	74,9

	ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	SZ (kN) ACI	SZ (kN) CARGA EXPLOSIVA
<b>COMBINACIÓN [ACI]</b>			0,00	-166,31	-105,95
			1,82	-152,79	-105,95
	127	5,46	2,73	-124,37	-105,95
			4,10	-95,96	-105,95
			5,46	-82,44	-105,95



**VALORES DEMANDA CAPACIDAD**

ABS	SZ INICIAL	SZ FINAL	Demanda Vs, Capacidad
0,00	-67,89	-166,31	2,45
1,82	-46,29	-152,79	3,30
2,73	6,98	-124,37	17,82
4,10	53,3	-95,96	1,80
5,46	74,9	-82,44	1,10

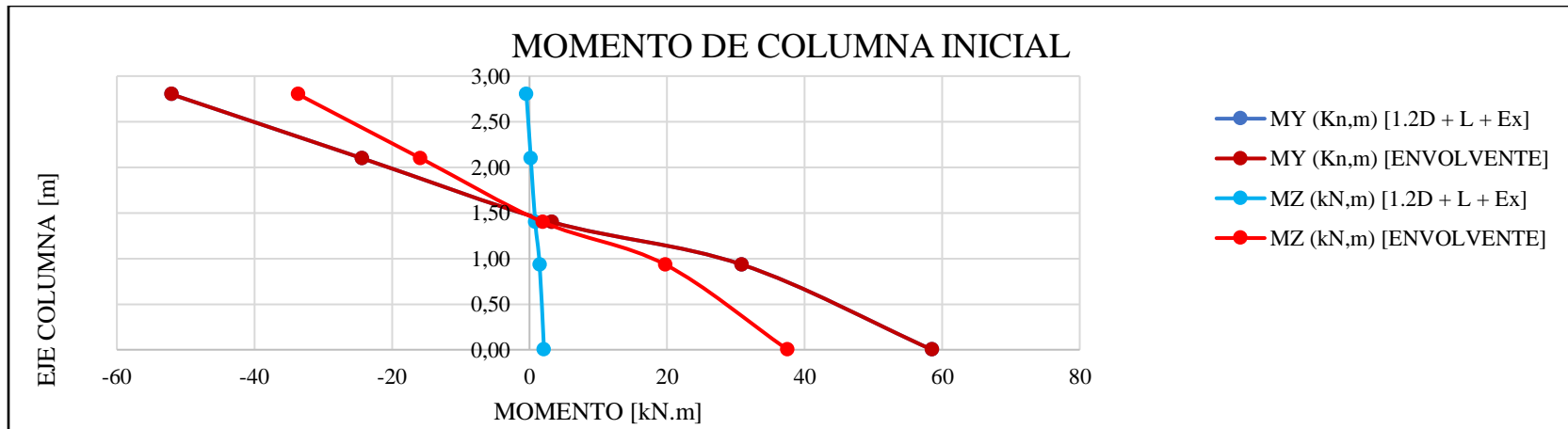


**Apéndice H.** Análisis de demanda capacidad de momentos para la columna seleccionada por entrepiso con explosión de radio 2 metros

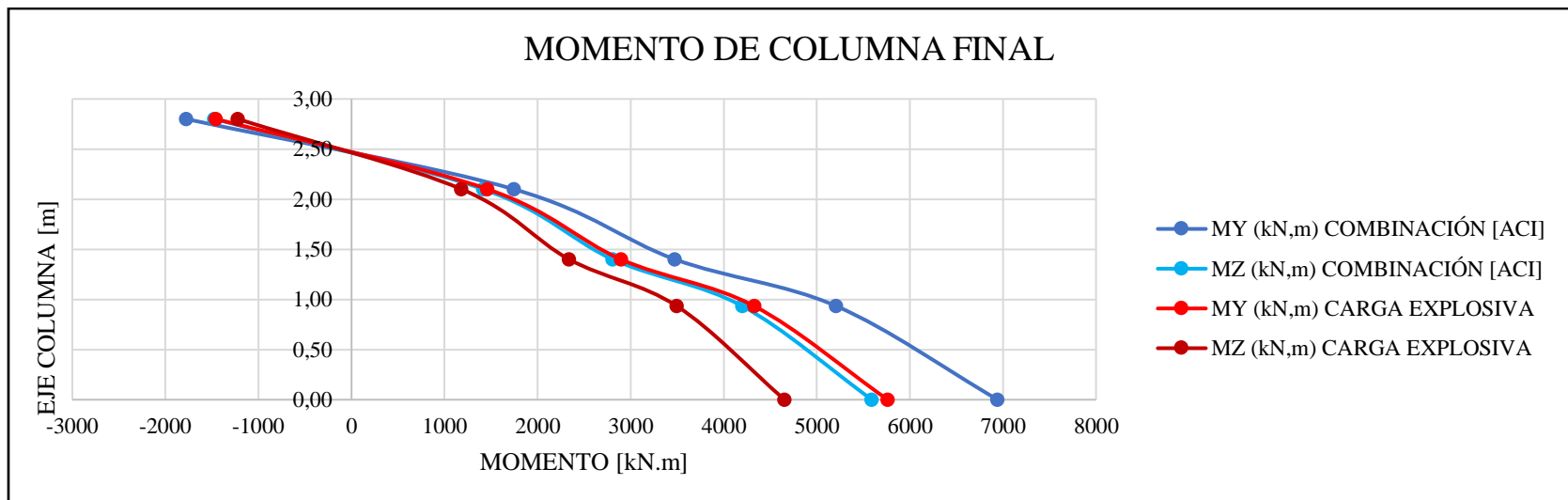
**Modelo 1**

COMBINACIÓN LIMITE [1.2D + L + FHex]	ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	MY (kN,m) [1.2D + L + FHex]	MZ (kN,m) [1.2D + L + FHex]
			0,00	58,53	2,11
			0,93	30,89	1,47
	41	2,8	1,40	3,26	0,83
			2,10	-24,38	0,19
			2,80	-52,02	-0,45

COMBINACIÓN [ENVOLVENTE]	ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	MY (kN,m) [ENVOL VENTE]	MZ (kN,m) [ENVOL VENTE]
			0,00	58,53	37,54
			0,93	30,89	19,74
	41	2,8	1,40	3,26	1,95
			2,10	-24,38	-15,85
			2,80	-52,02	-33,64

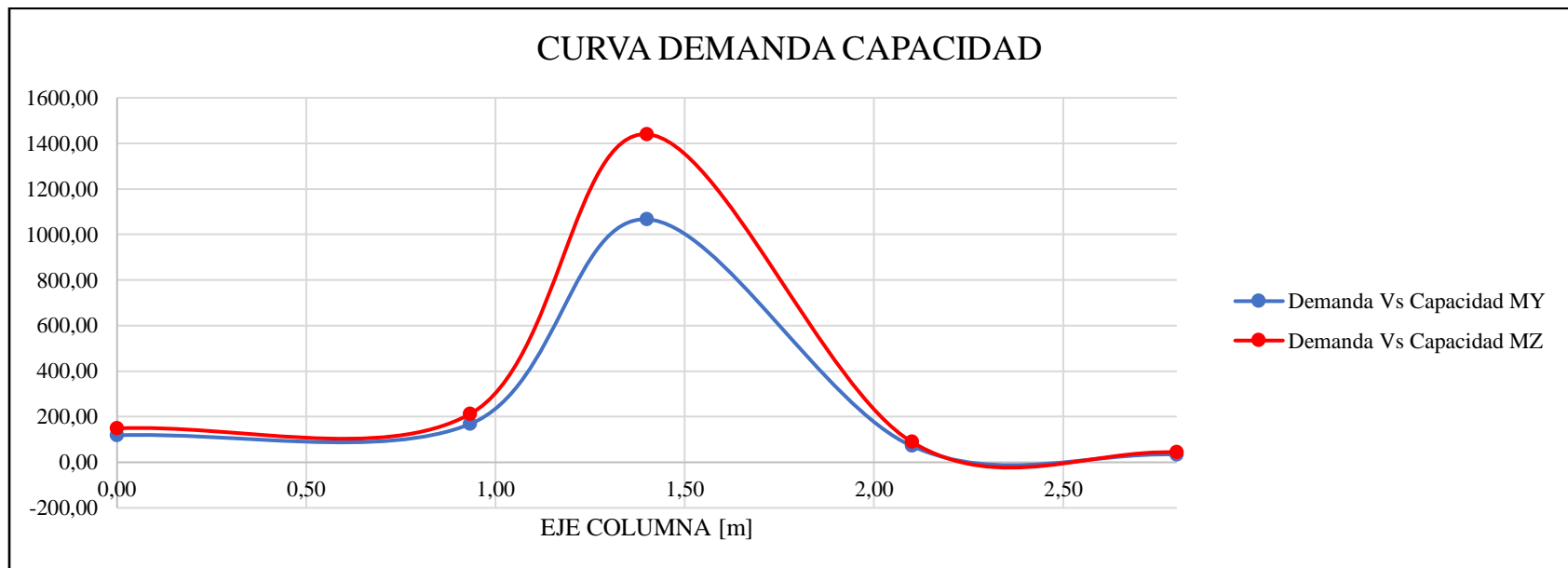


	ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	MY (kN,m) COMBINACIÓN ACI	MZ (kN,m) COMBINACIÓN ACI	MY (kN,m) CARGA EXPLOSIVA	MZ (kN,m) CARGA EXPLOSIVA
<b>COMBINACIÓN [ACI]</b>	41	2,8	0,00	6943,5	5591,95	5761,48	4653,14
			0,93	5210,19	4199,96	4328,56	3496,24
			1,40	3476,87	2807,98	2895,63	2339,33
			2,10	1743,56	1415,99	1462,71	1182,43
			2,80	-1775,09	-1472,83	-1458	-1221,84



**VALORES DEMANDA CAPACIDAD**

ABS	MY INICIAL	MY FINAL	Demanda Vs Capacidad	MZ INICIAL	MZ FINAL	Demanda Vs Capacidad
0,00	58,53	6943,5	118,63	37,54	5591,95	148,96
0,93	30,89	5210,19	168,67	19,74	4199,96	212,76
1,40	3,26	3476,87	1066,52	1,95	2807,98	1439,99
2,10	-24,38	1743,56	71,52	15,85	1415,99	89,34
2,80	-52,02	-1775,09	34,12	-33,64	-1472,83	43,78



Modelo 2

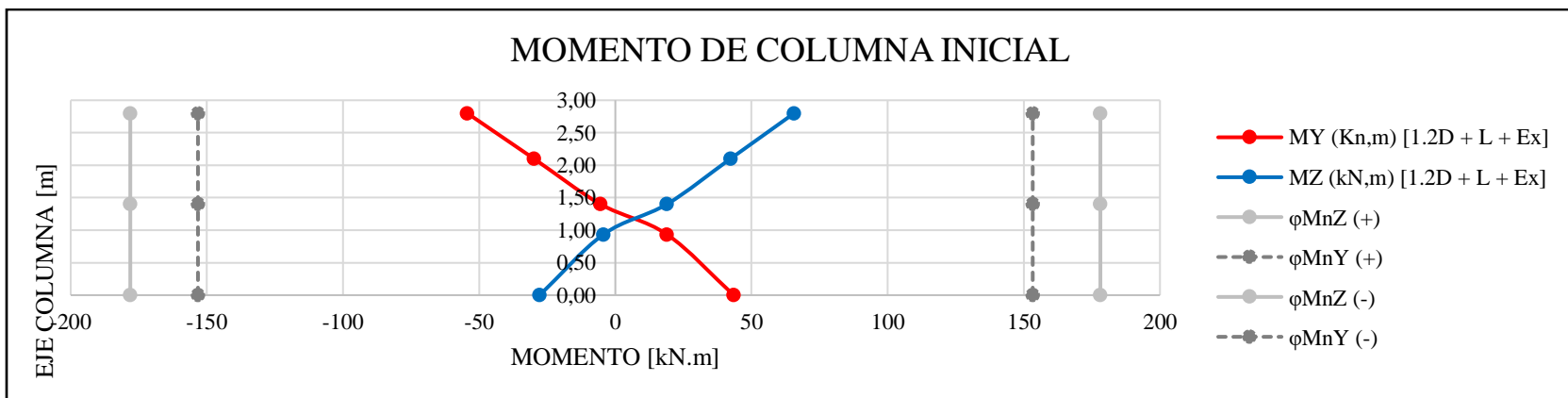
		ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	MY (Kn,m) [1.2D + L + Ex]	MZ (kN,m) [1.2D + L + Ex]
COMBINACIÓN LIMITE [1.2D + L + Ex]	78	2,8	0,00	43,47	-27,78	
			0,93	19,01	-4,42	
			1,40	-5,45	18,94	
			2,10	-29,9	42,3	
			2,80	-54,36	65,66	

		ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	MY (Kn,m) [ENVOLVENTE]	MZ (kN,m) [ENVOLVENTE]
COMBINACIÓN [ENVOLVENTE]	78	2,8	0,00	59,8	44,94	
			0,93	20,58	13,04	
			1,40	19,06	19,03	
			2,10	-57,84	-50,75	
			2,80	-97,05	-82,65	

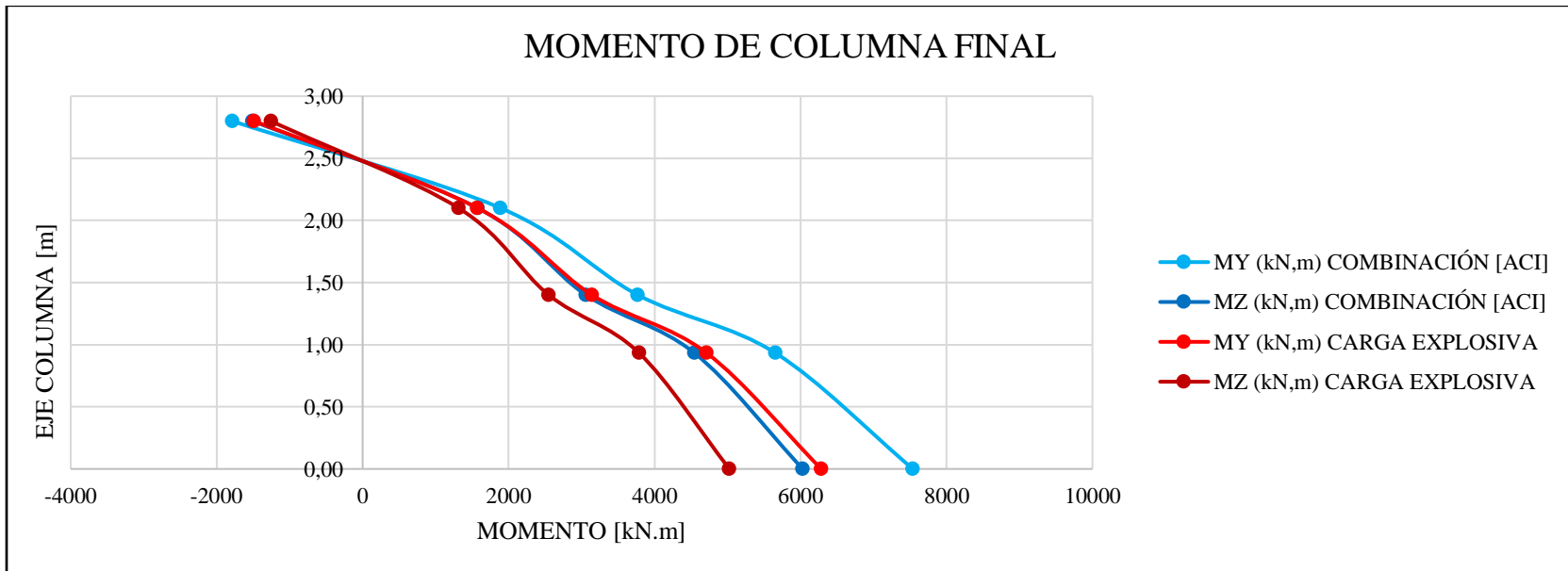
ABSCISA	φMnZ (+)	φMnY (+)
0,00	178,113	153,267
1,40	178,113	153,267
2,80	178,113	153,267

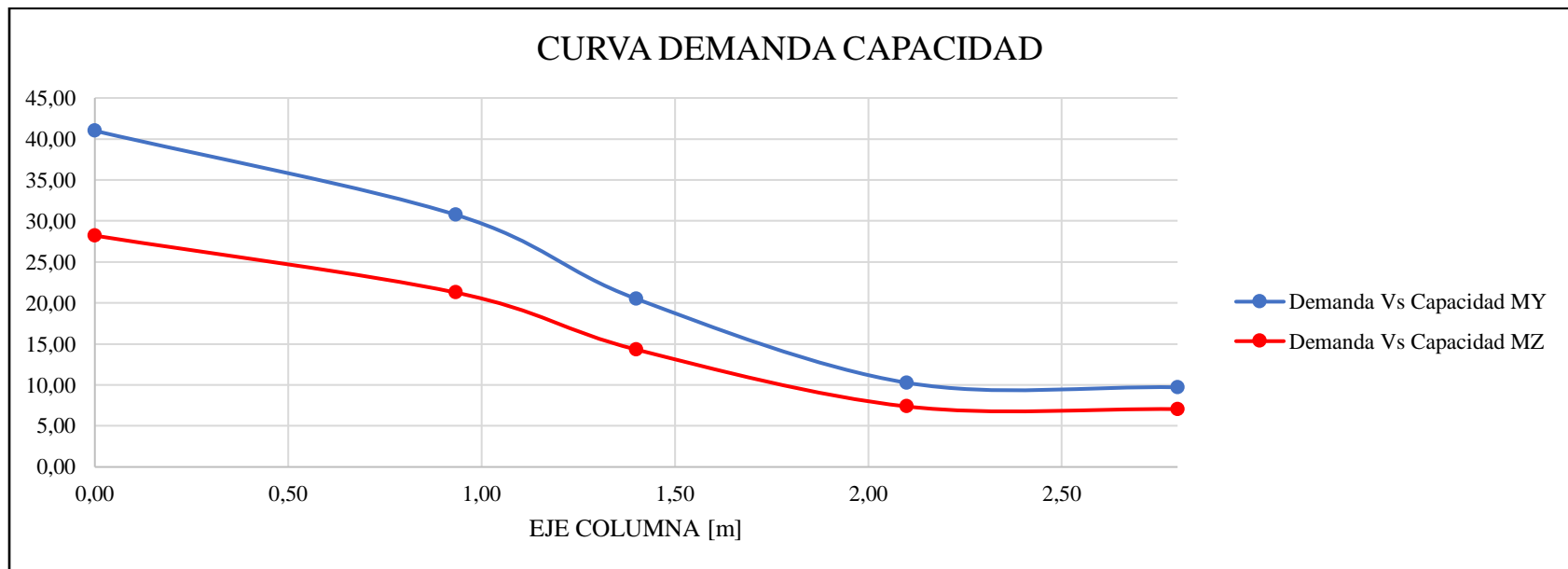
ABSCISA	φMnZ (-)	φMnY (-)
0,00	-178,113	-153,267
1,40	-178,113	-153,267
2,80	-178,113	-153,267



ELE M	LUZ [m]	ABSCISA	MY (kN,m) COMBINACIÓN [ACI]	MZ (kN,m) COMBINACIÓN [ACI]	MY (kN,m) CARGA EXPLOSI VA	MZ (kN,m) CARGA EXPLOSI VA	MY (kN,m) CARGA EXPLOSI VA	MZ (kN,m) CARGA EXPLOSI VA	MY (kN,m) CARGA EXPLOSI VA	MZ (kN,m) CARGA EXPLOSI VA
COMBINACIÓN [ACI]  78	2,8	0,0	7539,51	6030,2	6260,96	5019,25	22,54	5,97	6283,5	5025,22
		0,9	5655,82	4545,69	4702,16	3785,1	11,45	3,06	4713,61	3788,16
		1,4	3772,13	3061,18	3143,36	2550,95	0,36	0,15	3143,72	2551,1
		2,1	1888,44	1576,67	1584,56	1316,8	-10,73	-2,76	1573,83	1314,04
		2,8	-1786,88	-1508,6	-1467,26	-1251,32	-21,82	-5,67	-1489,08	-1256,99



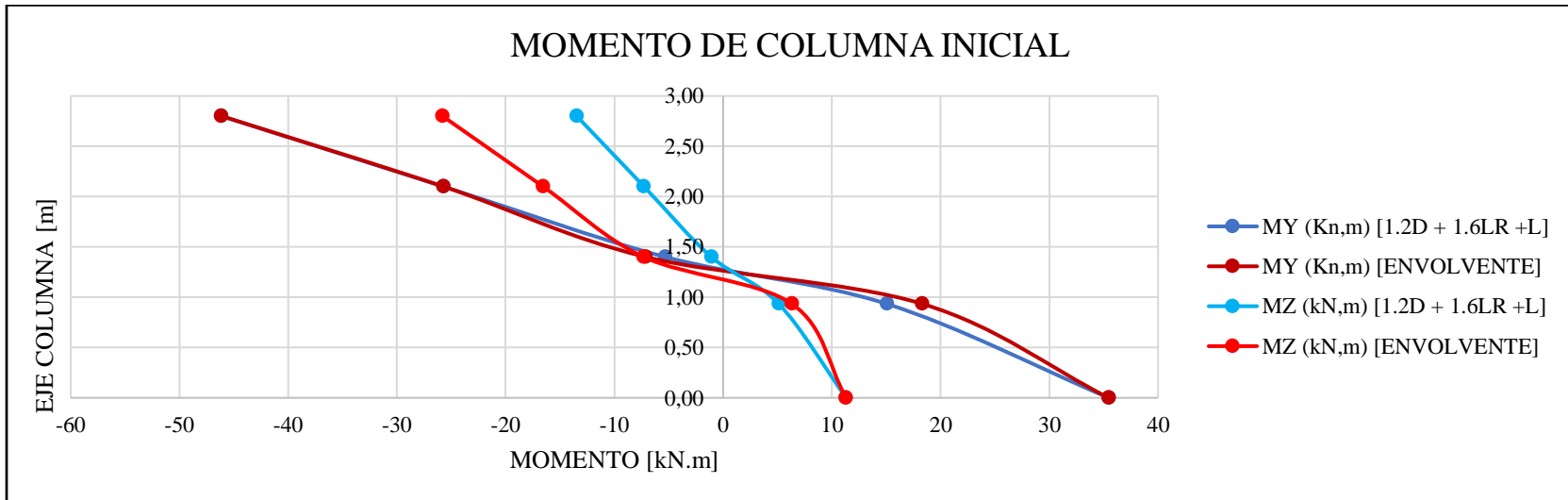
VALORES DEMANDA CAPACIDAD				VALORES DEMANDA CAPACIDAD			
ABSCISA	MY INICIAL	MY FINAL	Demanda Vs Capacidad MY	ABSCISA	MZ INICIAL	MZ FINAL	Demanda Vs Capacidad MZ
<b>0,00</b>	153,267	6283,5	41,00	0,00	178,113	5025,22	28,21
<b>0,93</b>	153,267	4713,61	30,75	0,93	178,113	3788,16	21,27
<b>1,40</b>	153,267	3143,72	20,51	1,40	178,113	2551,1	14,32
<b>2,10</b>	153,267	1573,83	10,27	2,10	178,113	1314,04	7,38
<b>2,80</b>	153,267	-1489,08	9,72	2,80	178,113	-1256,99	7,06



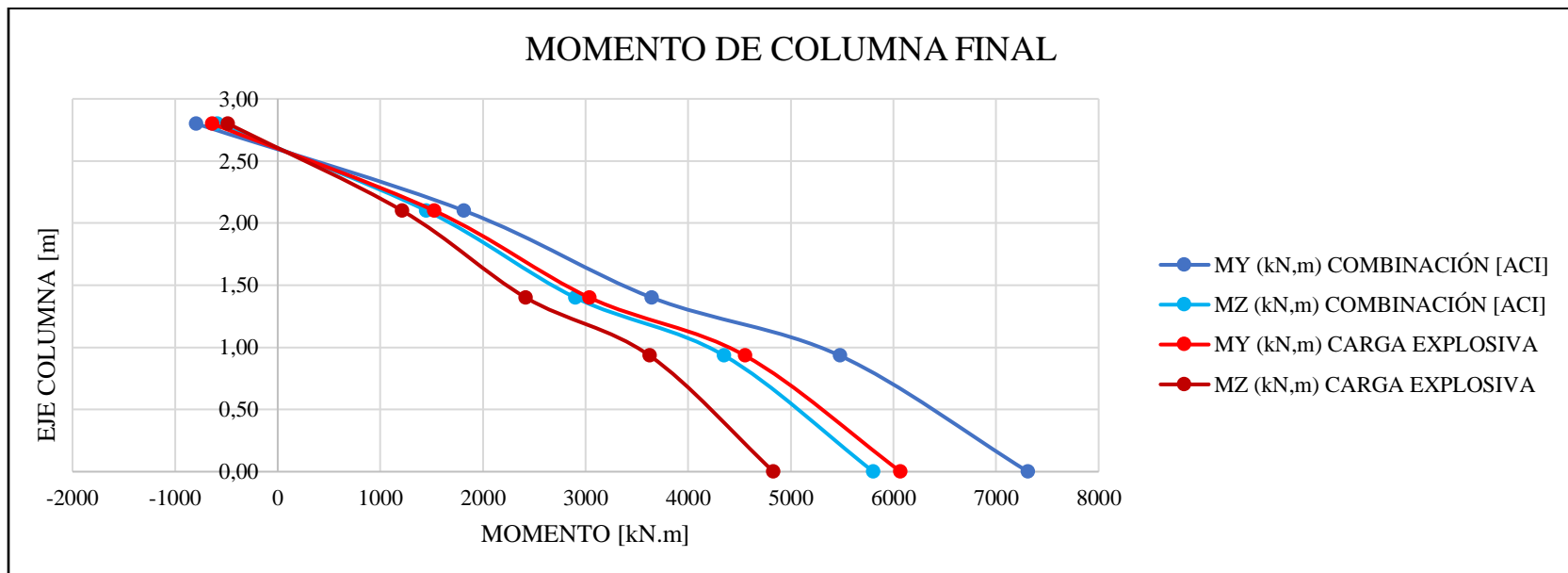
Modelo 3

COMBINACIÓN LIMITE [1.2D + 1.6LR +L]	ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	MY (Kn,m) [1.2D + 1.6LR +L]	MZ (kN,m) [1.2D + 1.6LR +L]
	115	2,8	0,00	35,46	11,31
			0,93	15,06	5,12
			1,40	-5,33	-1,08
			2,10	-25,73	-7,28
			2,80	-46,13	-13,47

COMBINACIÓN [ENVOLVENTE]	ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	MY (Kn,m) [ENVOL VENTE]	MZ (kN,m) [ENVOL VENTE]
	115	2,8	0,00	35,46	11,31
			0,93	18,33	6,33
			1,40	-7,13	-7,31
			2,10	-25,73	-16,56
			2,80	-46,13	-25,81

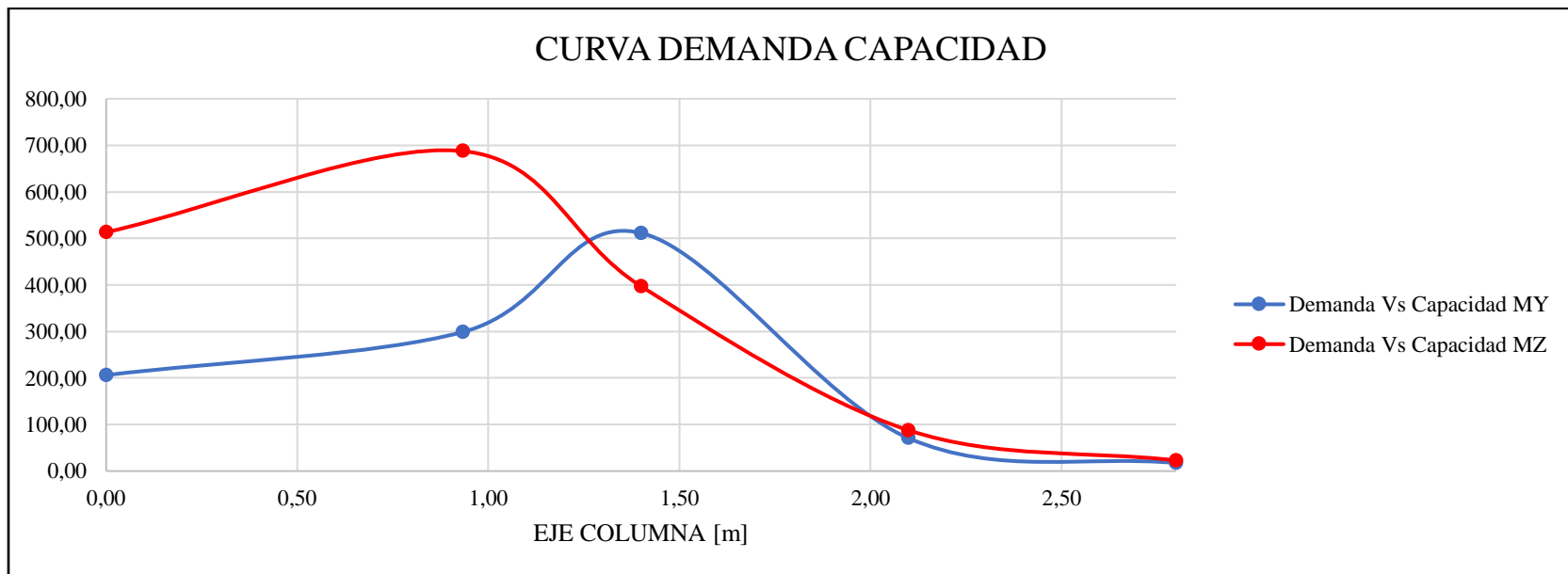


COMBINACIÓN [ACI]	ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	MY (kN,m)	MZ (kN,m)	MY (kN,m)	MZ (kN,m)
				COMBINACIÓN [ACI]	COMBINACIÓN [ACI]	CARGA EXPLOSIVA	CARGA EXPLOSIVA
COMBINACIÓN [ACI]	115	2,8	0,00	7310,69	5804,44	6069,98	4830,78
			0,93	5478,94	4353,07	4554,94	3624,7
			1,40	3647,19	2901,7	3039,91	2418,63
			2,10	1815,44	1450,33	1524,87	1212,55
			2,80	-792,78	-589,87	-637,24	-484,21



**VALORES DEMANDA CAPACIDAD**

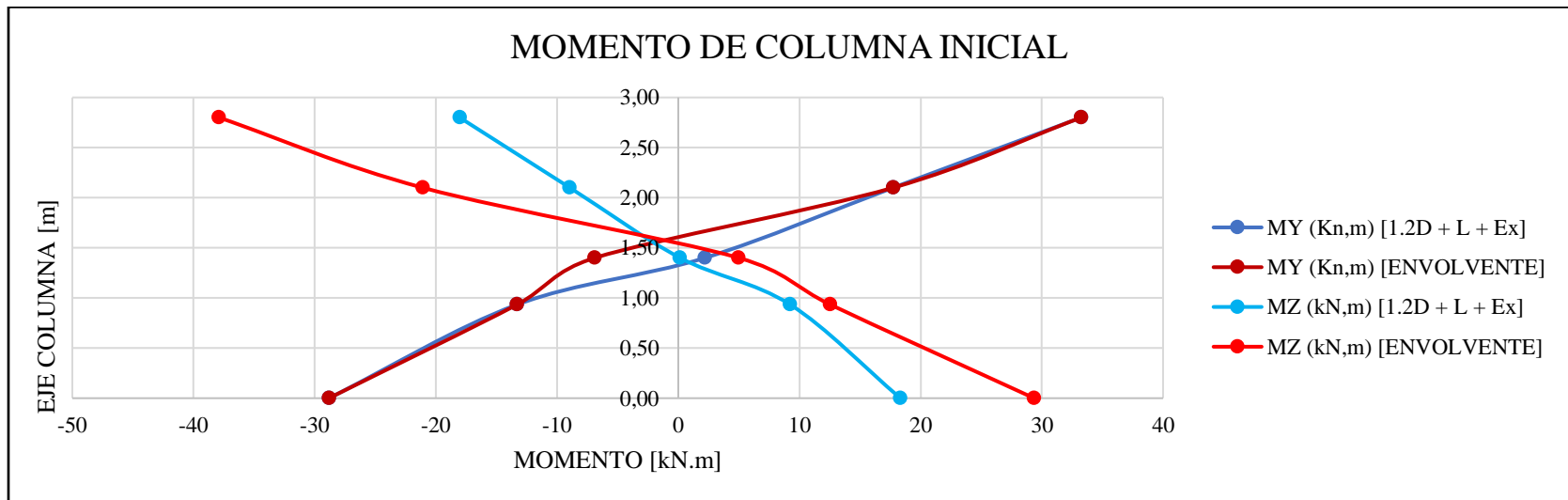
ABS	MY INICIAL	MY FINAL	Demanda Vs Capacidad MY	MZ INICIAL	MZ FINAL	Demanda Vs Capacidad MZ
0,00	35,46	7310,69	206,17	11,31	5804,44	513,21
0,93	18,33	5478,94	298,91	6,33	4353,07	687,69
1,40	-7,13	3647,19	511,53	-7,31	2901,7	396,95
2,10	-25,73	1815,44	70,56	-16,56	1450,33	87,58
2,80	-46,13	-792,78	17,19	-25,81	-589,87	22,85



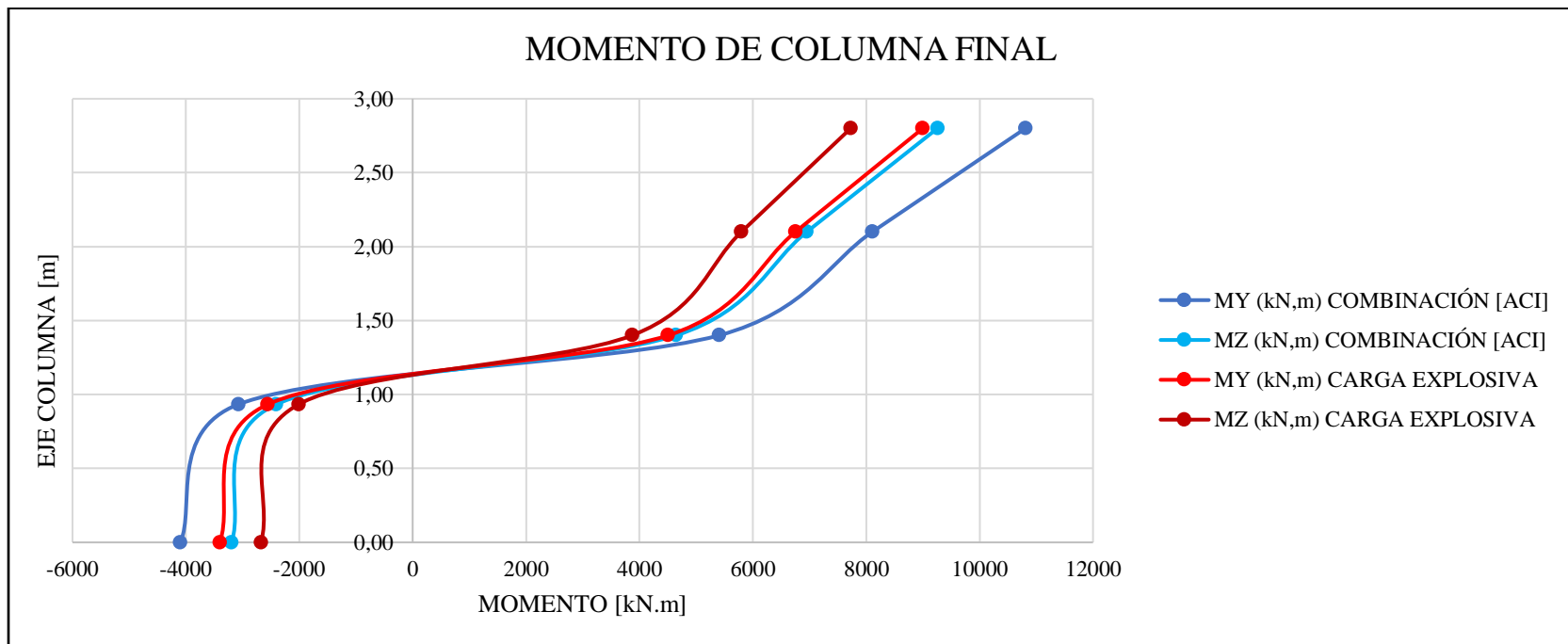
Modelo 4

COMBINACIÓN LIMITE [1.2D + L + Ex]	ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	MY (Kn,m) [1.2D + L + Ex]	MZ (kN,m) [1.2D + L + Ex]
	114	2,8	0,00	-28,83	18,33
			0,93	-13,31	9,24
			1,40	2,21	0,15
			2,10	17,73	-8,95
			2,80	33,25	-18,04

COMBINACIÓN [ENVOLVENTE]	ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	MY (Kn,m) [ENVOL VENTE]	MZ (kN,m) [ENVOL VENTE]
	114	2,8	0,00	-28,83	29,36
			0,93	-13,31	12,55
			1,40	-6,88	4,98
			2,10	17,73	-21,09
			2,80	33,25	-37,9

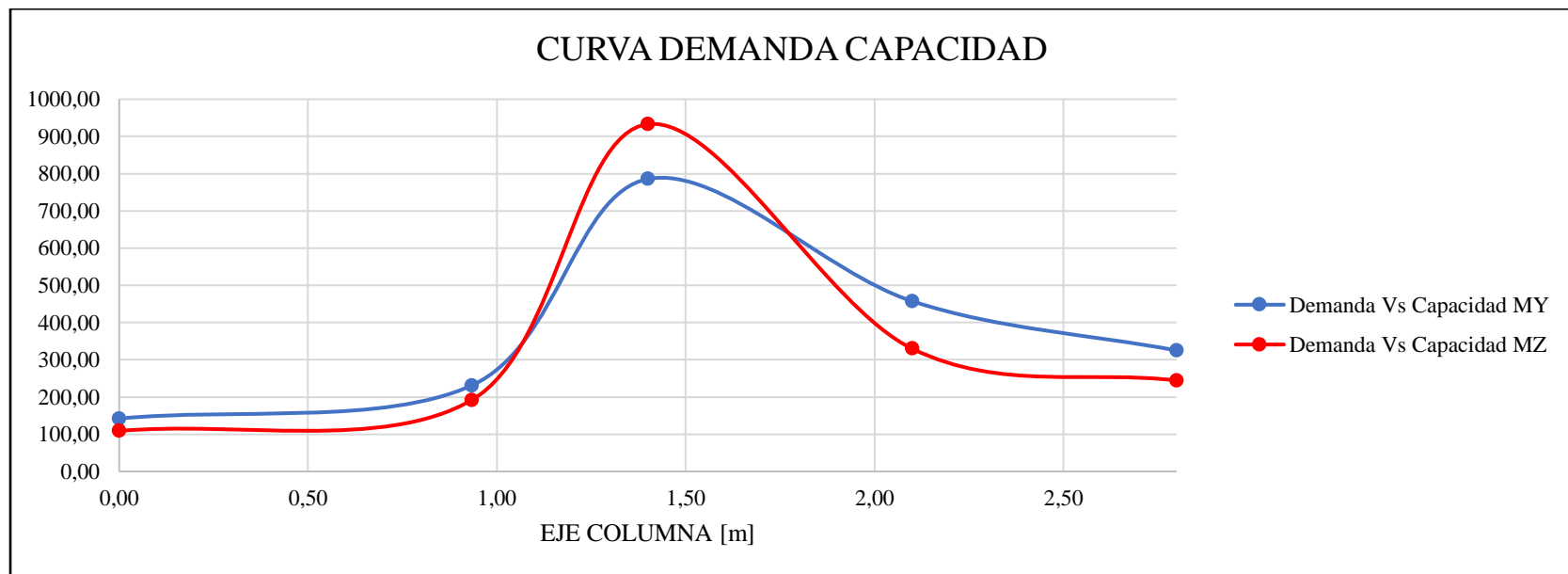


ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	MY (kN,m) COMBINACIÓN [ACI]	MZ (kN,m) COMBINACIÓN [ACI]	MY (kN,m) CARGA EXPLOSIVA	MZ (kN,m) CARGA EXPLOSIVA	
COMBINACIÓN [ACI]	114	2,8	0,00	-4095,82	-3193,59	-3401,29	-2674,5
			0,93	-3075,34	-2406,29	-2556,04	-2011,94
			1,40	5405,57	4646,65	4506,24	3871,99
			2,10	8106,92	6951,44	6752,21	5799,12
			2,80	10808,27	9256,22	8998,18	7726,24



**VALORES DEMANDA CAPACIDAD**

ABSCISA	MY INICIAL	MY FINAL	Demanda Vs Capacidad MY	MZ INICIAL	MZ FINAL	Demanda Vs Capacidad MZ
<b>0,00</b>	-28,83	-4095,82	142,07	29,36	-3193,59	108,77
<b>0,93</b>	-13,31	-3075,34	231,05	12,55	-2406,29	191,74
<b>1,40</b>	6,88	5405,57	785,69	4,98	4646,65	933,06
<b>2,10</b>	17,73	8106,92	457,24	-21,09	6951,44	329,61
<b>2,80</b>	33,25	10808,27	325,06	-37,9	9256,22	244,23



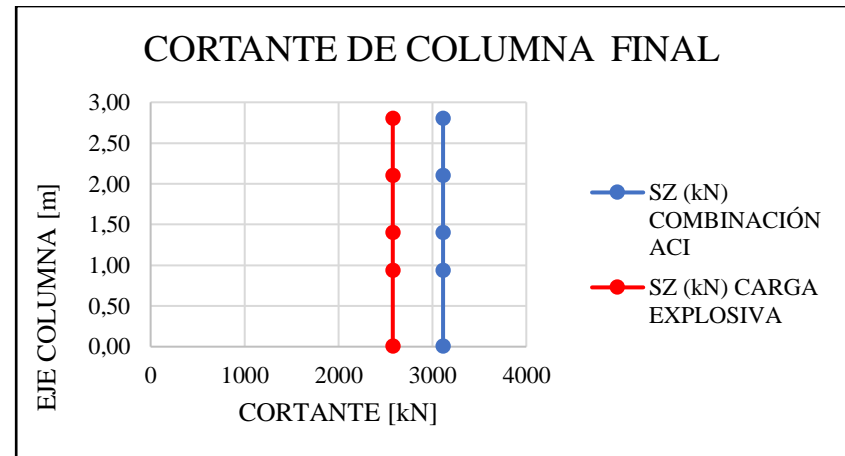
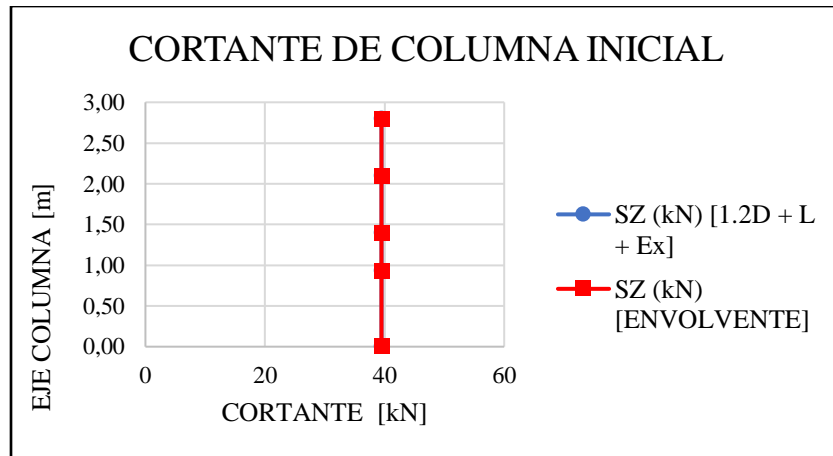
**Apéndice I.** Análisis de demanda capacidad de cortantes para la columna seleccionada por entrepiso con explosión de radio 2 metros

**Modelo 1**

	ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	SZ (kN) [1.2D + L + Ex]
<b>COMBINACIÓN LIMITE [1.2D + L + Ex]</b>			0,00	39,48
			0,93	39,48
	41	2,8	1,40	39,48
			2,10	39,48
			2,80	39,48

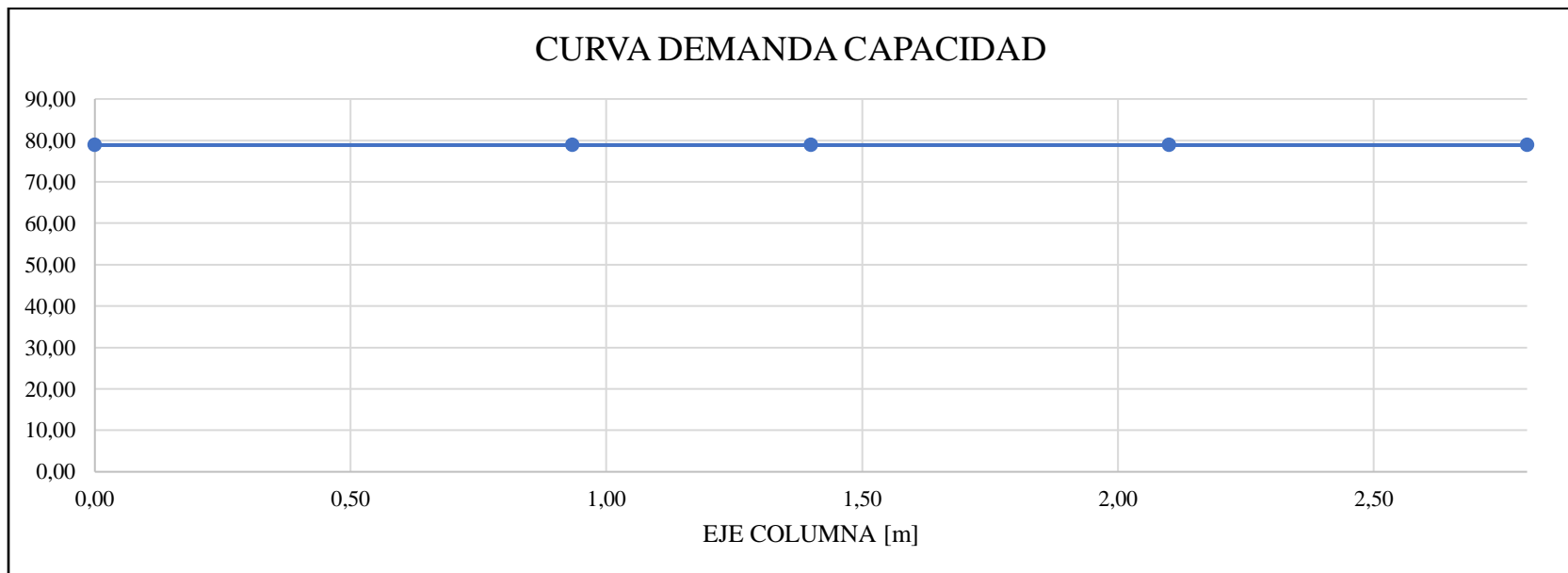
	ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	SZ (kN) [ENVOLVENTE]
<b>COMBINACIÓN [ENVOLVENTE]</b>			0,00	39,48
			0,93	39,48
	41	2,8	1,40	39,48
			2,10	39,48
			2,80	39,48

	ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	SZ (kN) COMBINACIÓN	SZ (kN) CARGA EXPLOSIVA
<b>COMBINACIÓN [ACI]</b>			0,00	3113,78	2578,38
			0,93	3113,78	2578,38
	41	2,8	1,40	3113,78	2578,38
			2,10	3113,78	2578,38
			2,80	3113,78	2578,38



**VALORES DEMANDA CAPACIDAD**

ABSCISA	SZ INICIAL	SZ FINAL	Demanda Vs, Capacidad
0,00	39,48	3113,78	78,87
0,93	39,48	3113,78	78,87
1,40	39,48	3113,78	78,87
2,10	39,48	3113,78	78,87
2,80	39,48	3113,78	78,87

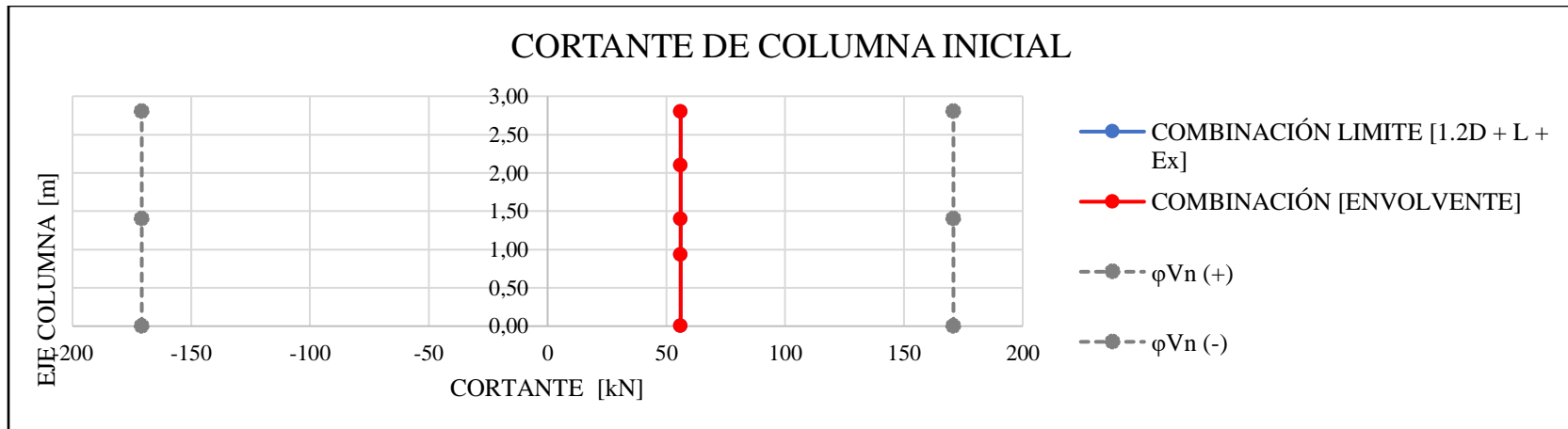


Modelo 2

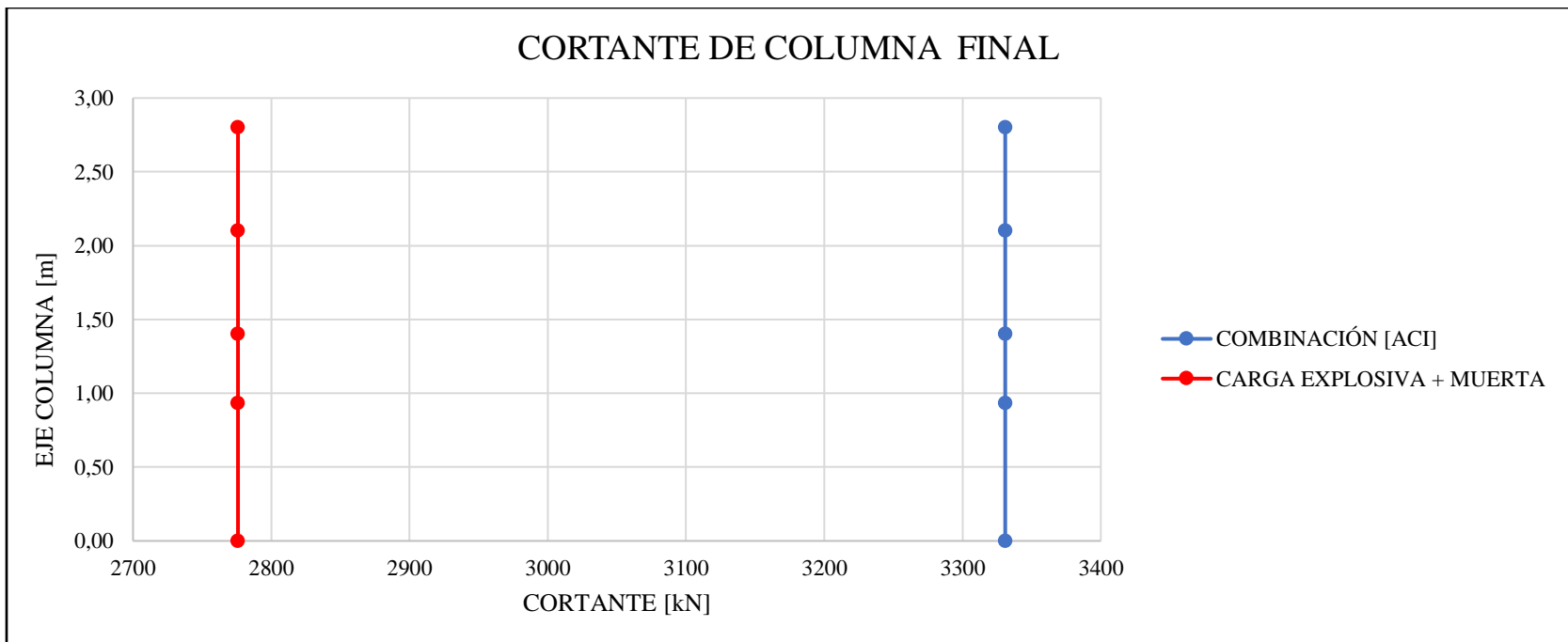
	ELEM	LUZ [m]	ABS	SZ (kN)
<b>COMBINACIÓN LIMITE</b> [1.2D + L + Ex]	78	2,8	0,00	56,02
			0,93	56,02
			1,40	56,02
			2,10	56,02
			2,80	56,02

	ELEM	LUZ [m]	ABS	SZ (kN)
<b>COMBINACIÓN</b> [ENVOLVENTE]	78	2,8	0,00	56,02
			0,93	56,02
			1,40	56,02
			2,10	56,02
			2,80	56,02

ABSCISA	$\phi Vc$	$\phi Vs$	$\phi Vn (+)$	$\phi Vn (-)$
<b>0,0</b>	138,80	32,03	170,84	-
<b>0</b>	6	7	3	170,843
<b>1,4</b>	138,80	32,03	170,84	-
<b>1,4</b>	6	7	3	170,843
<b>2,8</b>	138,80	32,03	170,84	-
<b>2,8</b>	6	7	3	170,843

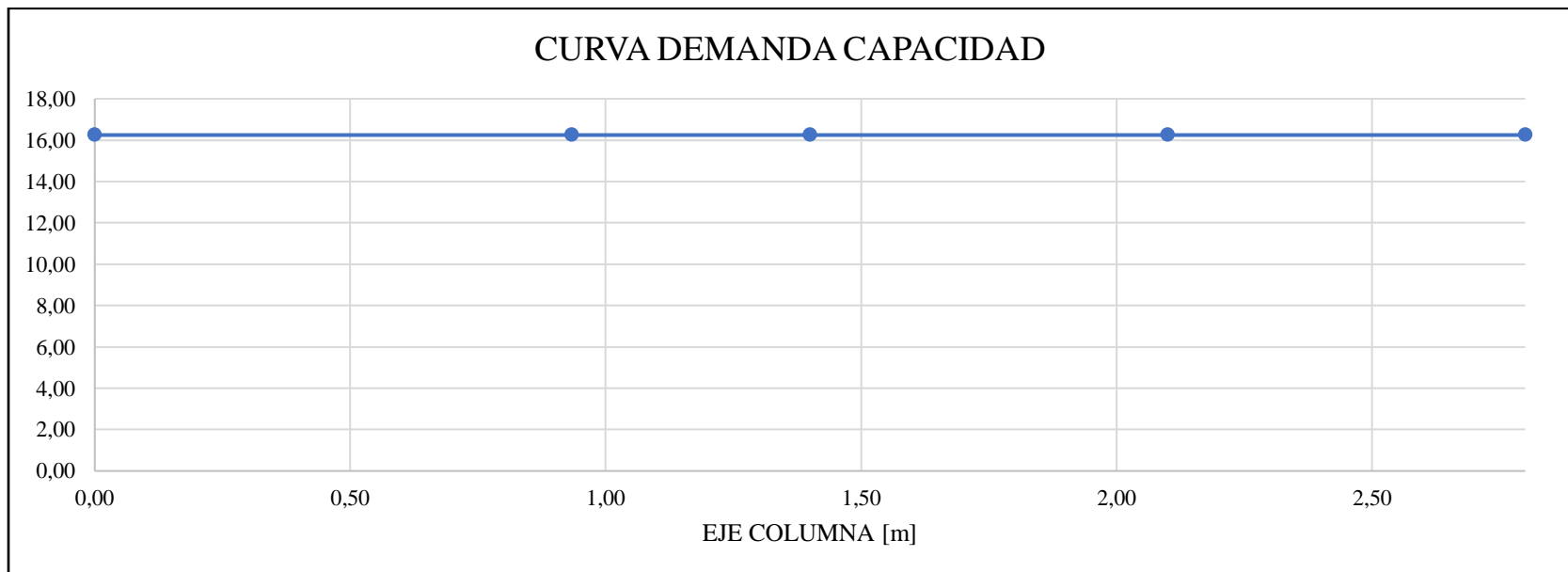


	ELEM	LUZ [m]	ABS	SZ (kN)		SZ (kN)		SZ (kN)		SZ (kN)
<b>COMBINACIÓN [ACI]</b>	78	2,8	0,00	3330,85	<b>CARGA EXPLOSIVA</b>	2760,08	<b>CARGA MUERTA</b>	15,85	<b>CARGA EXPLOSIVA + MUERTA</b>	2775,93
			0,93	3330,85		2760,08		15,85		2775,93
			1,40	3330,85		2760,08		15,85		2775,93
			2,10	3330,85		2760,08		15,85		2775,93
			2,80	3330,85		2760,08		15,85		2775,93



## VALORES DEMANDA CAPACIDAD

ABS	SZ INICIAL	SZ FINAL	Demanda Vs, Capacidad
0,00	170,843	2775,93	16,25
0,93	170,843	2775,93	16,25
1,40	170,843	2775,93	16,25
2,10	170,843	2775,93	16,25
2,80	170,843	2775,93	16,25

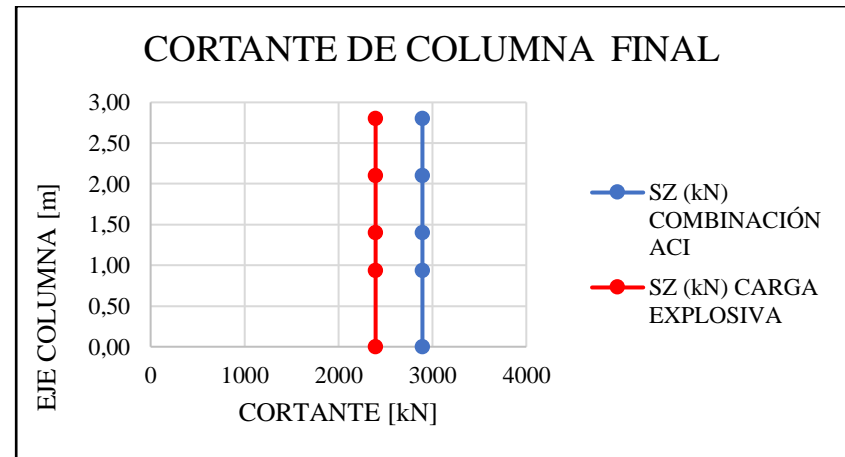
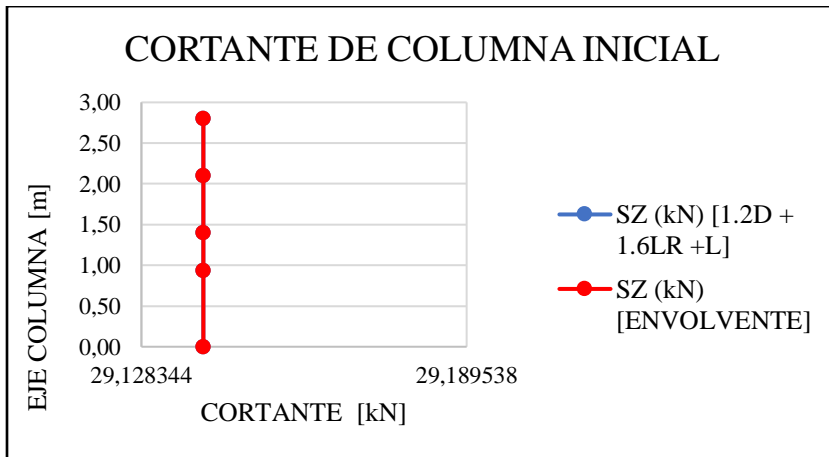


**Modelo 3**

	ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	SZ (kN) [1.2D + 1.6LR +L]
<b>COMBINACIÓN LIMITE [1.2D + 1.6LR +L]</b>			0,00	29,14
			0,93	29,14
	115	2,8	1,40	29,14
			2,10	29,14
			2,80	29,14

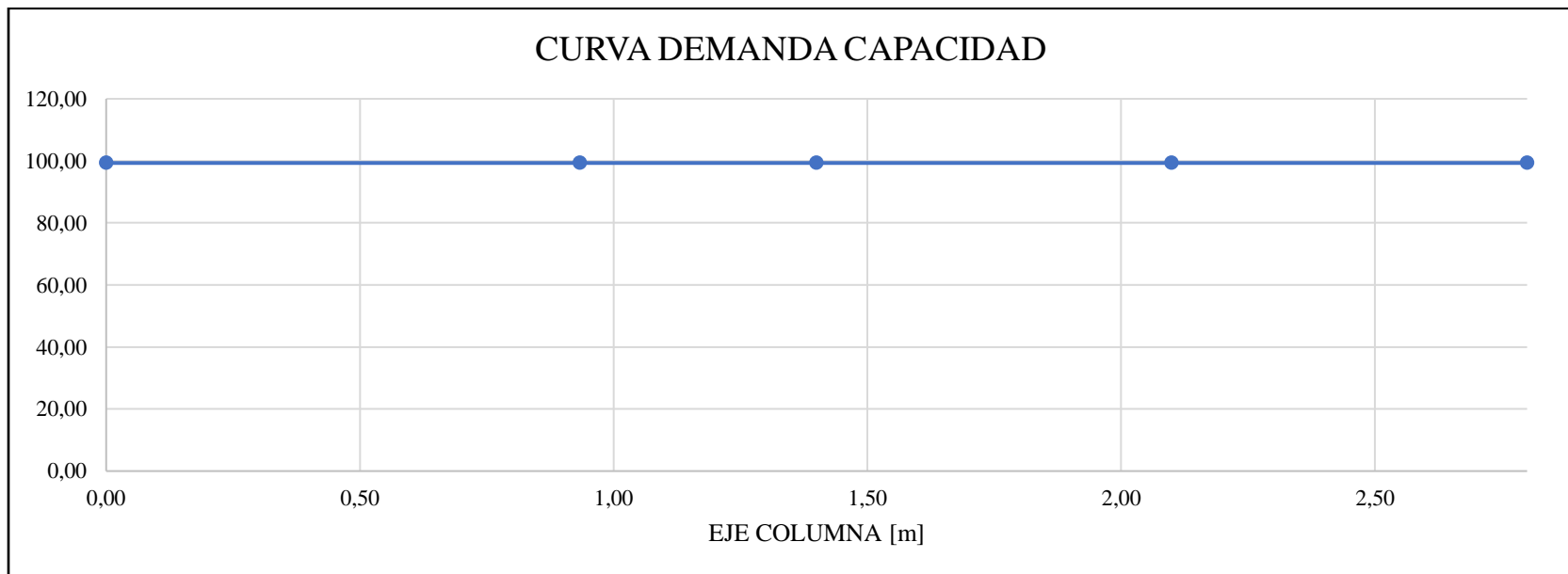
	ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	SZ (kN) [ENVOLVENTE]
<b>COMBINACIÓN [ENVOLVENTE]</b>			0,00	29,14
			0,93	29,14
	115	2,8	1,40	29,14
			2,10	29,14
			2,80	29,14

	ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	SZ (kN) COMBINACIÓN ACI	SZ (kN) CARGA EXPLOSIVA
<b>COMBINACIÓN [ACI]</b>			0,00	2894,1	2395,44
			0,93	2894,1	2395,44
	115	2,8	1,40	2894,1	2395,44
			2,10	2894,1	2395,44
			2,80	2894,1	2395,44



**VALORES DEMANDA CAPACIDAD**

ABSCISA	SZ INICIAL	SZ FINAL	Demanda Vs, Capacidad
0,00	29,14	2894,1	99,32
0,93	29,14	2894,1	99,32
1,40	29,14	2894,1	99,32
2,10	29,14	2894,1	99,32
2,80	29,14	2894,1	99,32

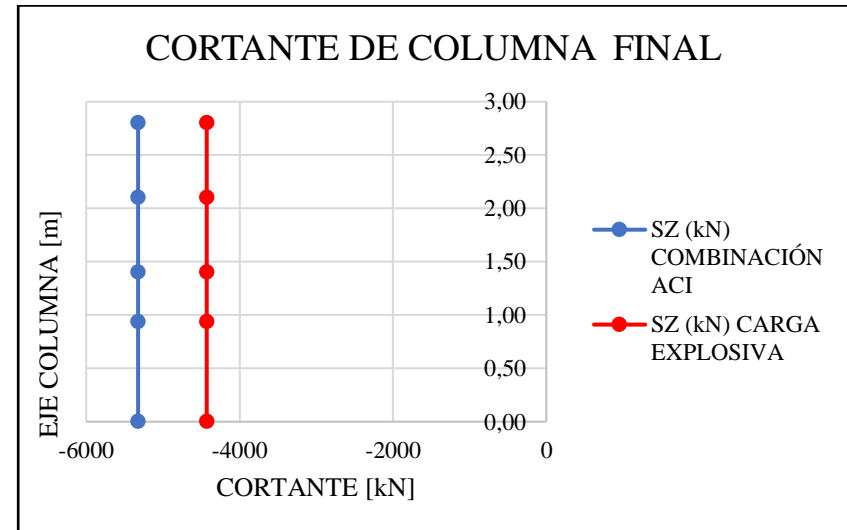
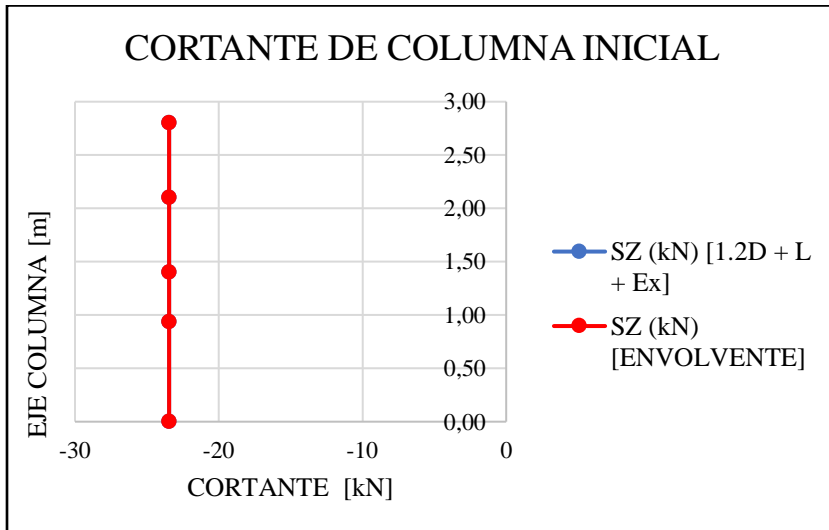


Modelo 4

	ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	SZ (kN) [1.2D + L + Ex]
<b>COMBINACIÓN LIMITE [1.2D + L + Ex]</b>	114	2,8	0,00	-23,45
			0,93	-23,45
			1,40	-23,45
			2,10	-23,45
			2,80	-23,45

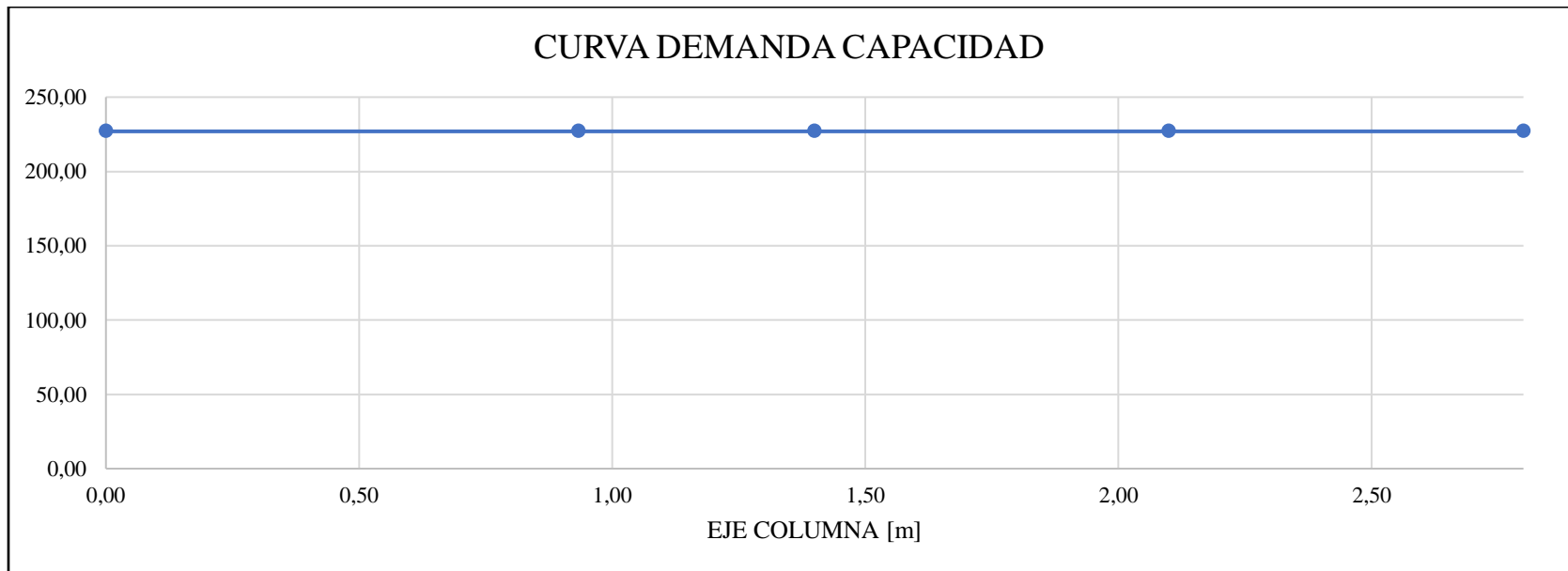
	ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	SZ (kN) [ENVOLVENTE]
<b>COMBINACIÓN [ENVOLVENTE]</b>	114	2,8	0,00	-23,45
			0,93	-23,45
			1,40	-23,45
			2,10	-23,45
			2,80	-23,45

	ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	SZ (kN) COMBINACIÓN ACI	SZ (kN) CARGA EXPLOSIVA
<b>COMBINACIÓN [ACI]</b>	114	2,8	0,00	-	-
			0,93	5322,89	4428,38
			1,40	-	-
			2,10	5322,89	4428,38
			2,80	-	-



**VALORES DEMANDA CAPACIDAD**

ABS	SZ INICIAL	SZ FINAL	Demanda Vs, Capacidad
0,00	-23,45	-5322,89	226,99
0,93	-23,45	-5322,89	226,99
1,40	-23,45	-5322,89	226,99
2,10	-23,45	-5322,89	226,99
2,80	-23,45	-5322,89	226,99



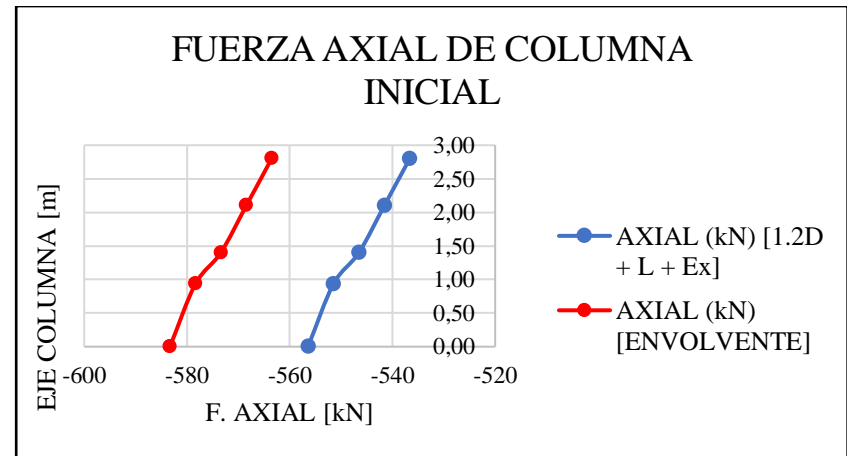
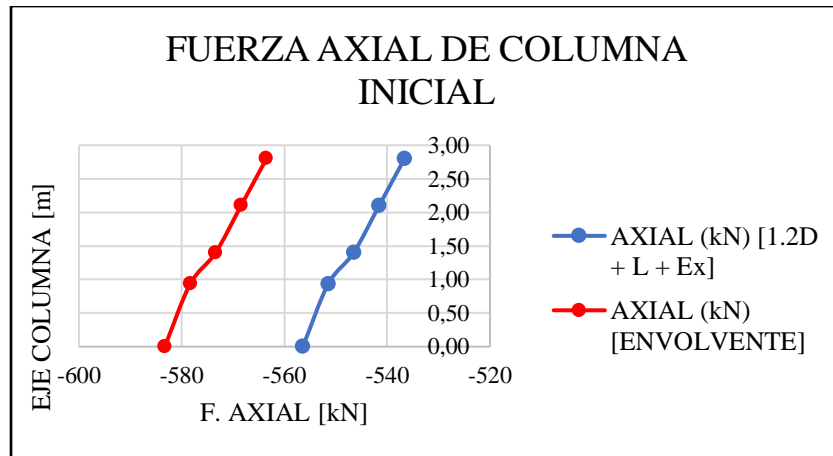
**Apéndice J.** Análisis de demanda capacidad de axiales para la columna seleccionada por entrepiso con explosión de radio 2 metros

**Modelo 1**

	ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	AXIAL (kN) [1.2D + L + Ex]
<b>COMBINACIÓN LIMITE [1.2D + L + Ex]</b>			0,00	-556,43
			0,93	-551,48
	41	2,8	1,40	-546,53
			2,10	-541,58
			2,80	-536,63

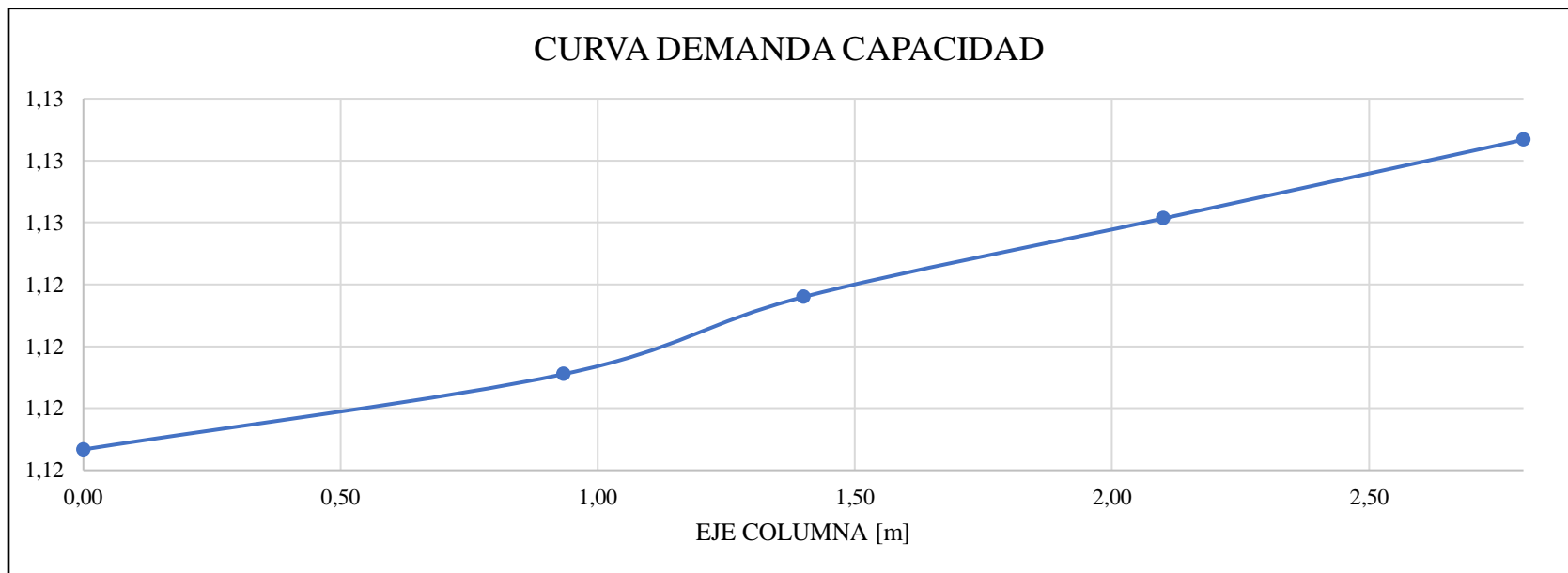
	ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	AXIAL (kN) [ENVOLVENTE]
<b>COMBINACIÓN [ENVOLVENTE]</b>			0,00	-583,3
			0,93	-578,35
	41	2,8	1,40	-573,4
			2,10	-568,45
			2,80	-563,51

	ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	AXIAL (kN) COMBINACIÓN ACI	AXIAL (kN) CARGA EXPLOSIVA
<b>COMBINACIÓN [ACI]</b>			0,00	-652,52	-168,67
			0,93	-648,39	-168,67
	41	2,8	1,40	-644,27	-168,67
			2,10	-640,15	-168,67
			2,80	-636,02	-168,67



**VALORES DEMANDA CAPACIDAD**

ABS	F. AXIAL INICIAL	F. AXIAL FINAL	Demanda Vs, Capacidad
0,00	-583,3	-652,52	1,12
0,93	-578,35	-648,39	1,12
1,40	-573,4	-644,27	1,12
2,10	-568,45	-640,15	1,13
2,80	-563,51	-636,02	1,13

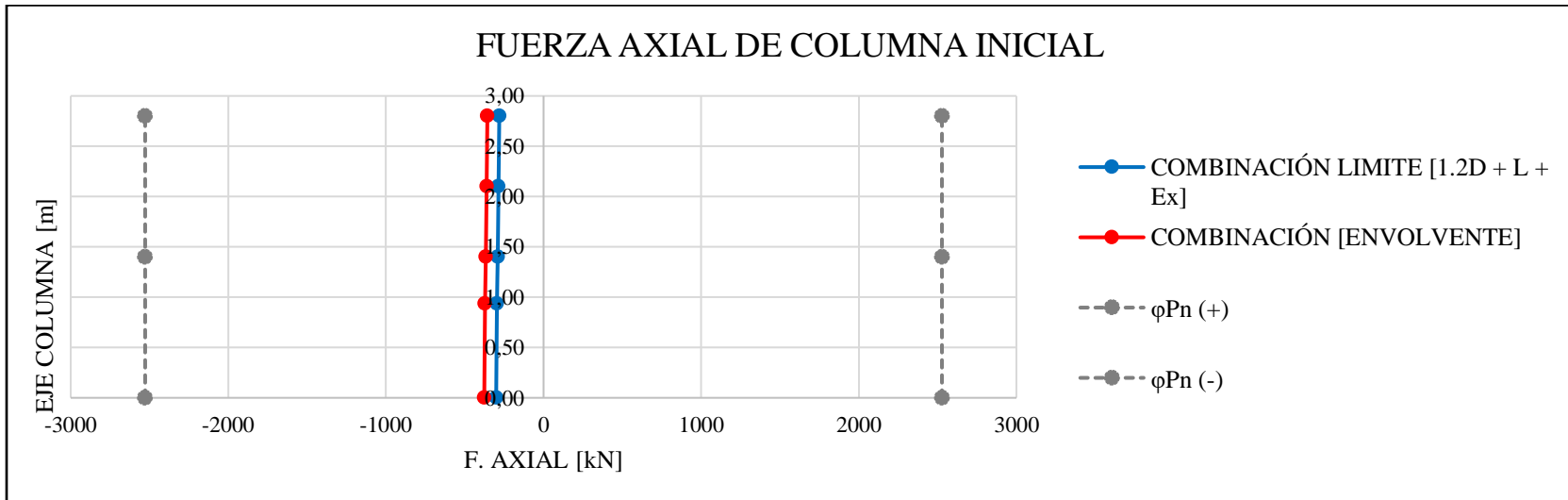


Modelo 2

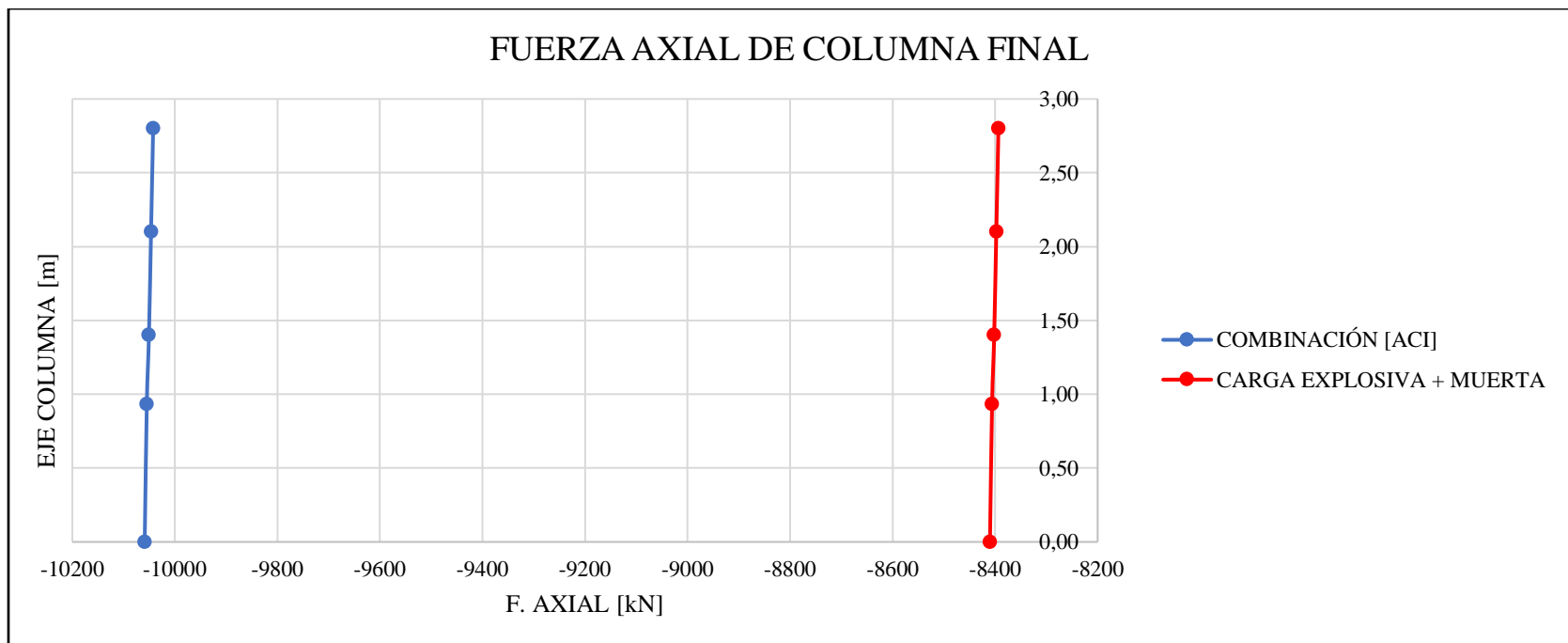
	ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	AXIAL (kN)
<b>COMBINACIÓN LIMITE</b> [1.2D + L + Ex]			0,00	-300,55
			0,93	-295,6
	78	2,8	1,40	-290,66
			2,10	-285,71
			2,80	-280,76

	ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	AXIAL (kN)
<b>COMBINACIÓN</b> [ENVOLVENTE]			0,00	-376,09
			0,93	-371,14
	78	2,8	1,40	-366,19
			2,10	-361,24
			2,80	-356,3

ABSCISA	$\phi Pn (+)$	$\phi Pn (-)$
<b>0,00</b>	2527,7	-2527,7
<b>1,40</b>	2527,7	-2527,7
<b>2,80</b>	2527,7	-2527,7

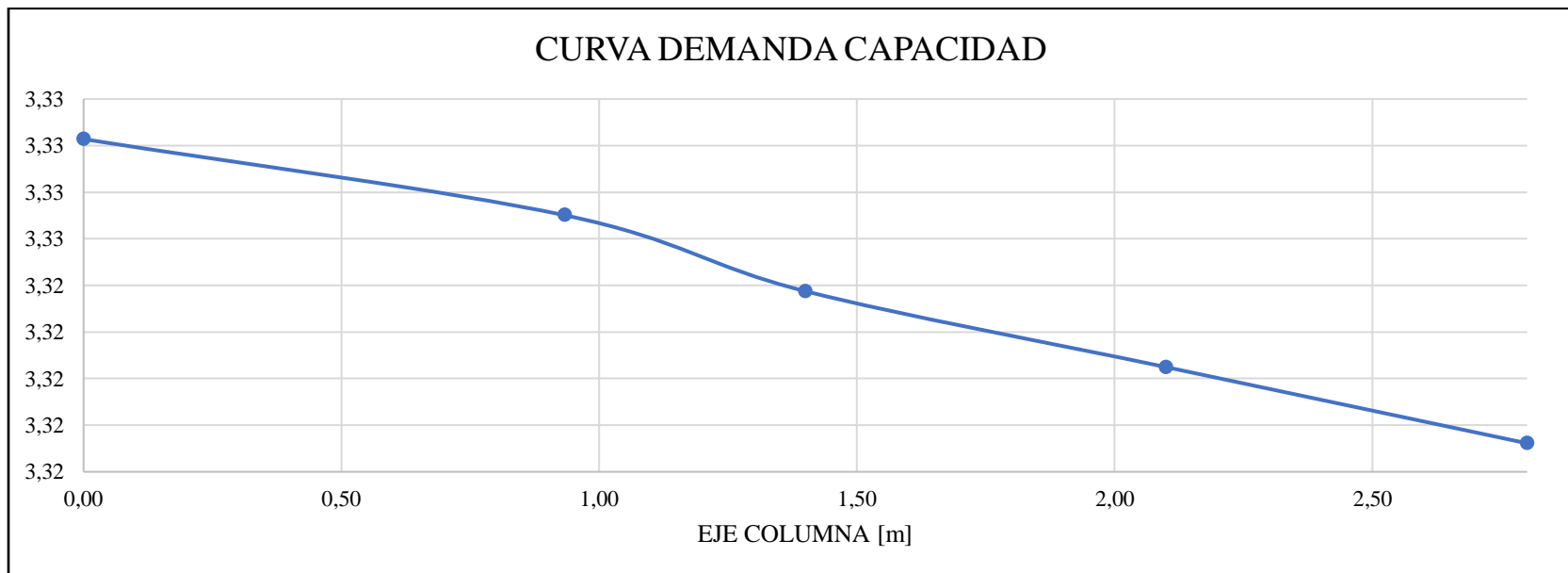


COMBINACIÓN [ACI]	ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	AXIAL (kN)	CARGA EXPLOSIVA	AXIAL (kN)	CARGA MUERTA	AXIAL (kN)	CARGA EXPLOSIVA + MUERTA	AXIAL (kN)
78	2,8	0,00	-10058,82	-8148,07	-261,94	-8410,01				
		0,93	-10054,7	-8148,07	-257,81	-8405,88				
		1,40	-10050,58	-8148,07	-253,69	-8401,76				
		2,10	-10046,45	-8148,07	-249,57	-8397,64				
		2,80	-10042,33	-8148,07	-245,44	-8393,51				



## VALORES DEMANDA CAPACIDAD

ABS	F. AXIAL INICIAL	F. AXIAL FINAL	Demanda Vs, Capacidad
0,00	-2527,7	-8410,01	3,33
0,93	-2527,7	-8405,88	3,33
1,40	-2527,7	-8401,76	3,32
2,10	-2527,7	-8397,64	3,32
2,80	-2527,7	-8393,51	3,32

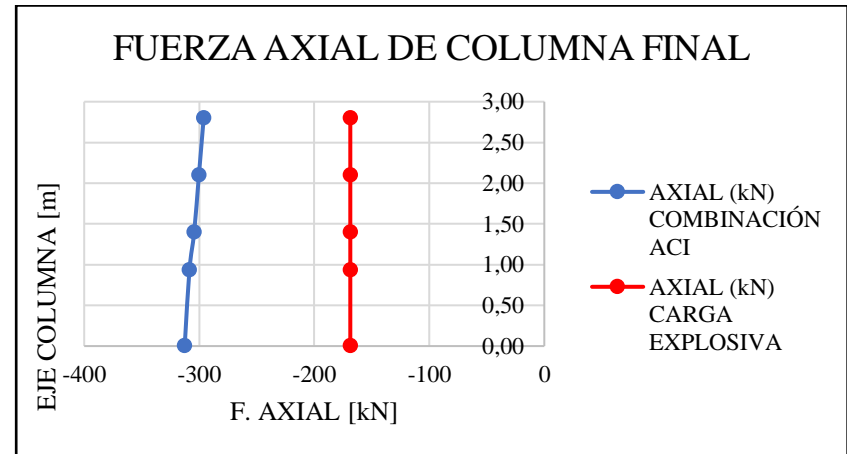
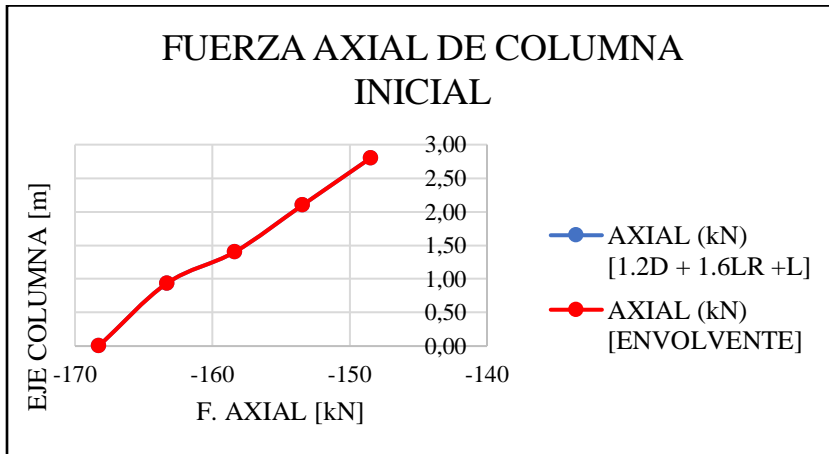


Modelo 3

ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	AXIAL (kN) [1.2D + 1.6LR + L]
COMBINACIÓN LIMITE [1.2D + 1.6LR + L]	115	2,8	0,00
			0,93
			1,40
			2,10
			2,80

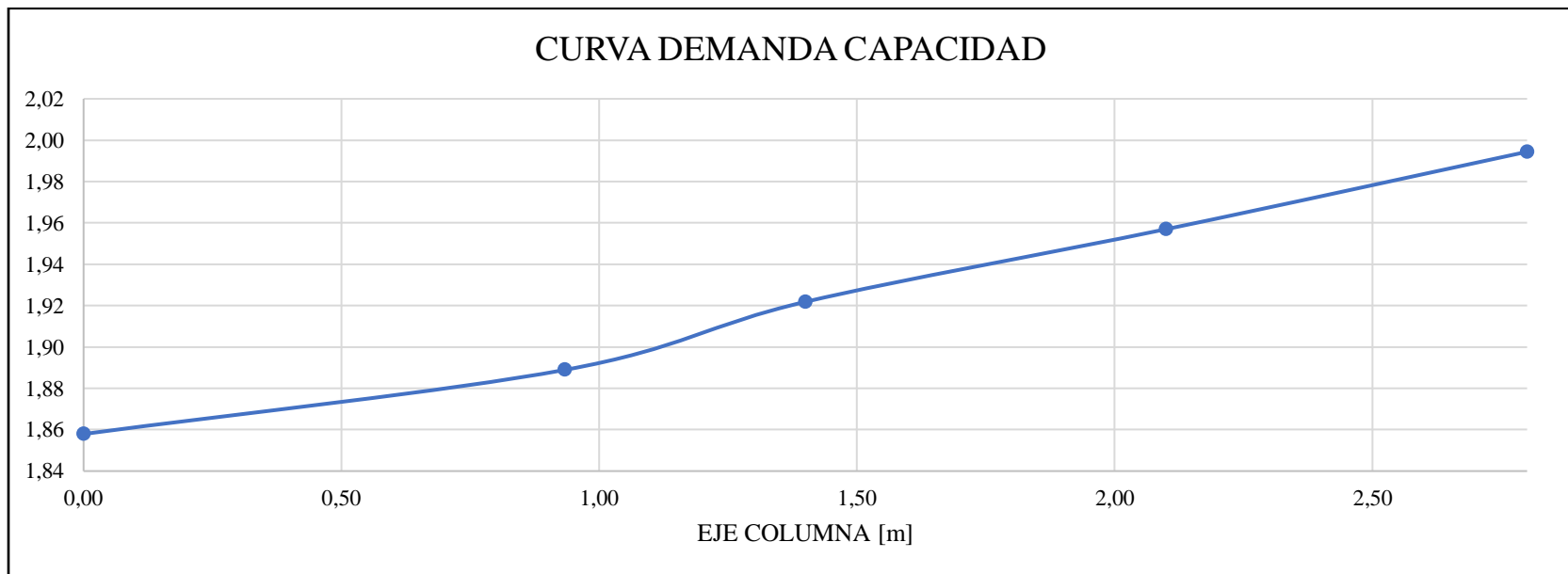
ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	AXIAL (kN) [ENVOLVENTE]
COMBINACIÓN [ENVOLVENTE]	115	2,8	0,00
			0,93
			1,40
			2,10
			2,80

ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	AXIAL (kN) COMBINACIÓN ACI	AXIAL (kN) CARGA EXPLOSIVA
COMBINACIÓN [ACI]	115	2,8	0,00	-168,67
			0,93	-308,5
			1,40	-304,38
			2,10	-300,26
			2,80	-296,13



**VALORES DEMANDA CAPACIDAD**

ABS	F. AXIAL INICIAL	F. AXIAL FINAL	Demanda Vs, Capacidad
<b>0,00</b>	-168,27	-312,63	1,86
<b>0,93</b>	-163,32	-308,5	1,89
<b>1,40</b>	-158,38	-304,38	1,92
<b>2,10</b>	-153,43	-300,26	1,96
<b>2,80</b>	-148,48	-296,13	1,99

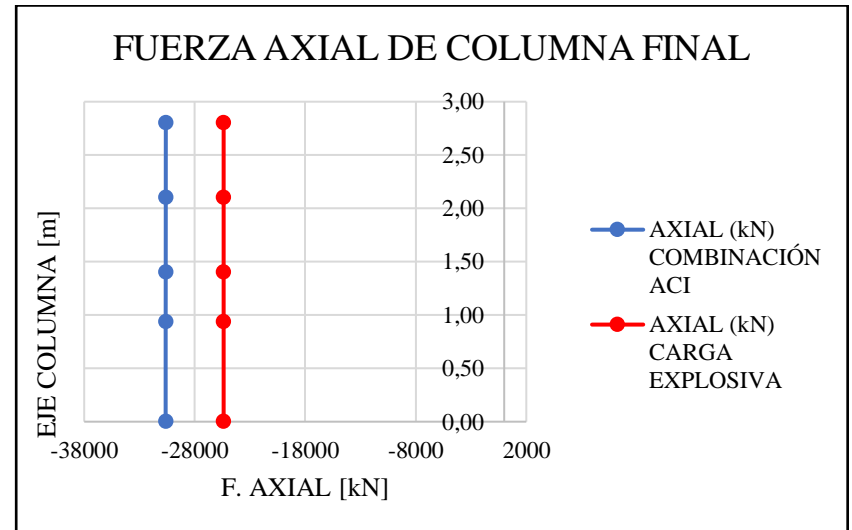
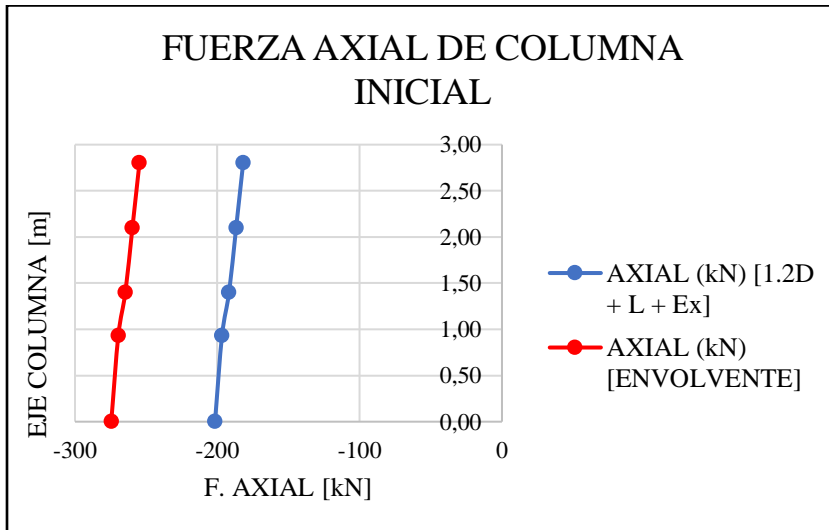


Modelo 4

	ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	AXIAL (kN) [1.2D + L + Ex]
COMBINACIÓN LIMITE [1.2D + L + Ex]	114	2,8	0,00	-201,64
			0,93	-196,69
			1,40	-191,74
			2,10	-186,79
			2,80	-181,84

	ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	AXIAL (kN) [ENVOLVENTE]
COMBINACIÓN	114	2,8	0,00	-274,51
			0,93	-269,56
			1,40	-264,61
			2,10	-259,66
			2,80	-254,72

	ELEM	LUZ [m]	ABSCISA	AXIAL (kN) COMBINACIÓN	AXIAL (kN) CARGA EXPLOSIVA
COMBINACIÓN [ACI]	114	2,8	0,0	-	-
			0	30632,57	25385,22
			0,9	-	-
			3	30628,45	25385,22
			11	1,4	-
4	8	0	30624,33	25385,22	
			2,1	-30620,2	-
			0	-	25385,22
			2,8	-	-
			0	30616,08	25385,22



**VALORES DEMANDA CAPACIDAD**

ABS	F. AXIAL INICIAL	F. AXIAL FINAL	Demanda Vs, Capacidad
<b>0,00</b>	-274,51	-30632,57	111,59
<b>0,93</b>	-269,56	-30628,45	113,62
<b>1,40</b>	-264,61	-30624,33	115,73
<b>2,10</b>	-259,66	-30620,2	117,92
<b>2,80</b>	-254,72	-30616,08	120,20

