

## **Incidencia de la Microzonificación Sísmica en el Comportamiento Sismorresistente de una Edificación Ubicada en Distintas Localizaciones de Caracas, Evaluada Bajo la Norma Covenin 1756-1:2019**

*Bueno Ramírez, Juan Leonardo<sup>1</sup>; Bonilla, Guillermo<sup>2</sup>*

*<https://orcid.org/0009-0005-6415-9445><sup>1</sup> ; <https://orcid.org/0009-0000-8082-3266><sup>2</sup>*

*[ing.civil.juan.bueno@gmail.com](mailto:ing.civil.juan.bueno@gmail.com)<sup>1</sup> , [gbproyectos@gmail.com](mailto:gbproyectos@gmail.com)<sup>2</sup>*

*Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, Venezuela<sup>1,2</sup>*

### **Resumen**

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la incidencia de la microzonificación sísmica en el comportamiento sismorresistente de una edificación tipificable aporticada en concreto reforzado ubicada en distintas localizaciones de Caracas con base en la norma Covenin 1756-1:2019. Analizando la respuesta de la estructura en lo relativo a las fuerzas cortantes basales y las derivas. Se evidenció que tanto para las fuerzas cortante basales como las derivas en los sitios con depósitos someros de suelos rígidos se presentaron los valores más desfavorables, en lo concerniente a desempeño y requerimientos de construcción, mientras que en los sitios de afloramiento rocoso cuasi-plano se obtuvieron los resultados menos desfavorables. Además, fue recomendado el análisis de la incidencia de otros parámetros del comportamiento sismorresistente no considerados y el análisis de otro tipo de edificación con periodos largos.

**Palabras clave:** Microzonificación sísmica, periodos de vibración, cortante basal, deriva.

## **Incidence of Seismic Microzoning on the Seismic Behavior of a Building Located in Different Locations of Caracas, Evaluated Under Covenin Standard 1756-1:2019**

### **Abstract**

The objective of this research was to evaluate the incidence of seismic microzoning on the earthquake-resistant behavior of a typifiable reinforced concrete porticoed building located in different locations in Caracas based on the Covenin 1756-1:2019 standard. Analyzing the response of the structure in relation to basal shear forces and drifts. It was evident that both for the basal shear forces and the drifts in the sites with shallow deposits of rigid soils the most unfavorable values were presented, with regard to performance and construction requirements, while in the quasi-flat rock outcrop sites the obtained the least unfavorable results. In addition, the analysis of the incidence of other parameters of earthquake-resistant behavior not considered and the analysis of other types of buildings with long periods was recommended.

**Keywords:** Seismic microzoning, vibration periods, basal shear, drift.

## **Incidência do Microzoneamento Sísmico no Comportamento Sísmico de um Edifício Localizado em Diferentes Locais de Caracas, Avaliado de Acordo com a Norma Covenin 1756-1:2019**

### **Resumo**

O objetivo desta pesquisa foi avaliar a incidência do microzoneamento sísmico no comportamento antissísmico de um edifício pórtico de concreto armado tipificável localizado em diferentes localidades de Caracas com base na norma Covenin 1756-1:2019. Analisar a resposta da estrutura em relação às forças cortantes basais e aos desvios. Ficou evidente que tanto para as forças cortantes basais quanto para as derivas nos locais com depósitos rasos de solos rígidos foram apresentados os valores mais desfavoráveis, no que diz respeito ao desempenho e às exigências construtivas, enquanto nos locais de afloramentos rochosos quase planos os resultados obtidos os resultados menos desfavoráveis. Além disso, recomendou-se a análise da incidência de outros parâmetros de comportamento sísmico não considerados e a análise de outros tipos de edifícios com longos períodos.

**Palavras-chave:** Microzoneamento sísmico, períodos de vibração, cisalhamento basal, deriva.

### **i. INTRODUCCIÓN**

Se sabe que los sismos son una amenaza de origen causante de numerosas pérdidas de vidas y daños materiales y a pesar de que no las podemos evitar, es posible mitigar sus efectos mediante un adecuado diseño sismorresistente.

En Venezuela se está desarrollando el reglamento técnico de la norma sismorresistente Covenin 1756-1:2019 "Construcciones Sismorresistentes", que presenta una reestructuración con respecto a la anterior en muchos aspectos, incluyendo el tipo de suelo y su microzonificación sísmica.

La microzonificación sísmica consiste en evaluar los niveles de amenaza sísmica y los efectos locales probables tomando en cuenta condiciones regionales y locales del suelo, en estos proyectos se realizan amplias investigaciones geológicas, geomorfológicas, geotécnicas y geofísicas; por consiguiente, proporcionan información más detallada en cuanto a la caracterización de la amenaza y del efecto en sitio en comparación a la norma mencionada.

Dentro de este contexto, vale la pena evaluar la incidencia de la localización de una estructura tipificable en el comportamiento sismorresistente cuando existe una microzonificación sísmica.

El trabajo se centró en evaluar la incidencia de la microzonificación sísmica en el comportamiento sismorresistente de una edificación tipificable ubicada en distintas localizaciones de Caracas,

evaluada bajo la norma Covenin 1756-1:2019. Para ello se analizó el comportamiento de las fuerzas cortantes basales y el comportamiento de las derivas en una edificación tipificable de concreto reforzado, localizada en distintas microzonificaciones de Caracas.

La norma Covenin 1756-1:2019 indica que se dispone para su fecha de emisión la microzonificación sísmica del Área Metropolitana de Caracas; por lo que deberán usarse los parámetros sísmicos básicos para la determinación del espectro de diseño basándose en este proyecto para lograr mayor precisión en el análisis del comportamiento sismorresistente en la diversidad de escenarios de la ciudad; pero debido a que el proyecto no tiene dentro de su alcance los criterios de construcción del espectro de respuesta inelástico, ni los factores de desempeño estructural, ni los criterios de controles del comportamiento sismorresistente, deben aplicarse los que establece la norma citada. Por lo que la integración de ambos documentos ofrece mayor efectividad en la mitigación del riesgo sísmico y reducción la incertidumbre asociada a estos eventos.

#### *1. Normas Sismorresistentes en Venezuela*

En Venezuela, se aprobó el 22 de mayo del 2020 la Norma Covenin 1756-1:2019 "Construcciones Sismorresistentes" sustituyendo a la versión del 2001. En su desarrollo participaron FODENORCA, La Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS), entre otras entidades.

En esta versión se dieron cambios radicales: se establecieron 3 estados de desempeño sísmico, se incluyeron tres mapas de amenaza sísmica para determinar los parámetros sísmicos básicos, se estableció un espectro de 5 ramas, se introdujeron los factores de sitio, se da una discretización más detallada de la tipología estructural, entre muchas otras cosas.[1]

## 2. Proyecto de Microzonificación Sísmica del Área Metropolitana de Caracas.

La ciudad de Caracas está sometida a una amenaza sísmica por su proximidad al límite entre las placas tectónicas del Caribe y Sudamericana, donde existe una zona de interacción compleja que incluye una banda de más de 100 km de ancho de actividad con las fallas de La Tortuga, San Sebastián, Tacagua-Ávila y los Sistemas de fallas de Ávila y La Victoria.[2]

El terremoto de Caracas de 1967 mostró fuertes efectos de sitio que influyeron en la magnitud y localización de daños causados, lo que sugirió que hay parámetros que controlan la respuesta sísmica dentro de la ciudad, que no están reflejados en la norma Covenin 1756. Los estudios realizados después del terremoto evidenciaron importantes efectos en los daños sufridos debido a los grandes espesores de sedimentos. [3]

Entre 1969 y 1970 se realizó un estudio de profundidad de rocas en Caracas y el litoral central y que produjo un mapa de curva de espesores de suelo de la ciudad. Entre 1968 y 1972 se elaboraron estudios de la concentración de los danos producidos por los terremotos y las características del suelo. [4]

En 1975 se presentó un mapa simplificado de zonificación sísmica de Caracas con recomendaciones sobre tipos de identificaciones que deberían permitirse o prohibirse en determinadas zonas. [4]

Entre 1978 y 1993 se publicaron los resultados de las investigaciones del terremoto de 1967, su relación entre las zonas donde se presentaron mayores daños en las estructuras y su lecho rocoso, así como la influencia del diseño arquitectónico en el comportamiento sismorresistente. Además, profesionales presentaron a nivel nacional e internacional ponencias sobre el tema de la microzonificación. [4]

Entre 2000 y 2003 se realizaron los estudios del proyecto Ávila, liderado por el Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (IGBS) por encargo del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR) en los que se elaboró una base cartográfica para la evaluación de los riesgos ante amenazas de origen natural y tecnológico. Además, entre los años 2003 y 2005, se desarrolló con el financiamiento de la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA), el estudio sobre el Plan Básico de Prevención de Desastres en el Distrito Metropolitano de Caracas, que incluye el tratamiento de la amenaza sísmica como tema prioritario, desarrollando una útil base de datos con información de edificaciones reales, pero el método planteado fue de carácter simplificado, por lo que condujo a la carencia de reproducción de los daños históricos conocidos. [5]

Tomando como referencias estas experiencias previas, FUNVISIS elaboro entre 2005 y 2009 el proyecto de microzonificación sísmica de Caracas. Este incorporó los efectos del subsuelo 1D y 2D-3D para lograr incrementar la seguridad y la confiabilidad de las edificaciones. Los efectos paramétricos 1D incluyen los efectos de respuesta local del suelo, de ellos se obtuvieron espectros promedio, estos resultados fueron calibrados con espectros de terremotos reales y comparados con normas internacionales. Para la cuenca sedimentaria de Caracas se toman en cuenta los espectros esperados de los efectos 2-D y 3-D, debido a que la configuración geométrica de esta conduce a la generación de ondas superficiales con sus respectivas amplificaciones en determinadas frecuencias de respuesta y el aumento de la duración de los movimientos fuertes del terreno. [3]

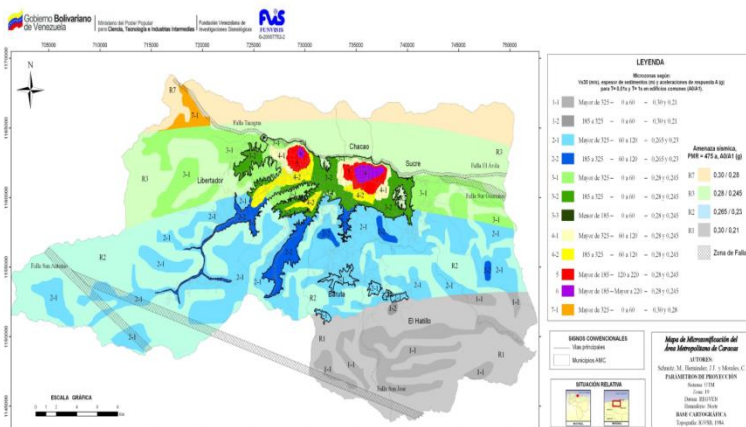


Figura 1: Mapa de macrozonas y microzonas de igual respuesta

El PMZC (Proyecto de Microzonificación Sísmica de Caracas) ha subdividido el AMC en 4 macrozonas sísmicas delimitadas por su valor de aceleración (g) A0 y A1 y en cada una de ellas se han delimitado microzonas sísmicas en depósitos sedimentarios según las características de espesor de sedimentos y del valor promedio Vs30 (Velocidad de propagación ondas de corte promedio a los 30 metros de profundidad). De esta manera, se le asigna un sufijo "-1" a suelos duros con Vs30>325 m/s, un sufijo "-2" a suelos intermedios con Vs30 entre 185 a 325 m/s y el sufijo "-3" a suelos blandos con Vs30 <185 m/s. La macrozona sur integra microzonas con depósitos sedimentarios de espesor inferiores a 60 m (someros) con el prefijo 1. La macrozona centro sur integra microzonas con depósitos sedimentarios de espesor inferiores a 60 m (someros) con el prefijo 2. La macrozona centro norte integra depósitos de sedimentos de 0 a 60 m de espesor (someros) con el prefijo 3. depósitos de sedimentos de 60 a 120 m (intermedios) con el prefijo 4, depósitos de sedimentos de 120 a 220 m (profundos) con el prefijo 5 y depósitos de sedimentos mayores a 220 m (muy profundos) con el prefijo 6. La macrozona norte integra microzonas con depósitos someros de 0 a 60 m con el prefijo 7.

#### *a. Macrozonas*

Para cada una de las macrozonas se establecieron rangos de aceleraciones de amenaza sísmica A0 y A1 en afloramientos rocosos sanos cuasi-planos, es decir, no meteorizado: Vs30> 650 m/s y de espesores menores de 60 m, válidos para periodos medios de retorno de 475 años y periodos de vibración de T=0,01 s y T=1 s respectivamente. Mencionados a continuación como fueron definidos en la referencia [3]:

R1: "corresponde a la macrozona sur, ubicada en el extremo sureste del área metropolitana de Caracas, zona sur de los municipios Baruta, El Hatillo y Sucre. Contiene respuestas de aceleración de 0,30 y 0,21 g para T=0,01 s y T=1 s respectivamente".

R2: "corresponde a la macrozona centro sur de amenaza sísmica que recubre la parte rocosa de los municipios Libertador (parte suroeste), Baruta (parte central), El Hatillo (parte norte) y Sucre (parte sureste). Contiene respuestas de aceleración de 0,265 y 0,23 g para T=0,01 s y T=1 s respectivamente".

R3: "corresponde a la macrozona centro norte de amenaza sísmica que recubre la parte rocosa de los municipios Libertador, Chacao y Sucre en su parte centro norte. Contiene respuestas de aceleración de 0,28 y 0,245 g para T=0,01 s y T=1 s respectivamente".

R7: "corresponde a la macrozona norte ubicada en la parte más norte del Área Metropolitana de Caracas, específicamente al norte de los municipios Libertador, Chacao y Sucre. Contiene respuestas de aceleración de 0,3 y 0,28 g para T=0,01 s y T=1 s respectivamente".

#### *b. Microzonas*

Citadas a continuación como fueron definidos en la referencia [3]:

1-1: "asociada a la macrozona Sur, se observan una serie de cuerpos que corresponden a zonas de roca meteorizada, ubicados al sur del AMC, específicamente al sur del Municipio El Hatillo".

1-2: "asociada a la macrozona sur, corresponde a un cuerpo en la zona sur del AMC, justo en la zona límite entre las macrozonas de amenaza sísmica R1 y R2, al sur de la zona albeolar de El Hatillo. Se observa un alto grado de meteorización evidenciado por el rango de valores Vs30 obtenido".

2-1: "asociada a la macrozona centro sur, corresponde a sitios de microzonas con diferentes espesores relativos de meteorización ubicados a lo largo y ancho de esta macrozona. Además, integra cuatro cuerpos de sedimentos ubicados entre los municipios Baruta y el Hatillo, específicamente en las adyacencias del pueblo de Baruta, del Hatillo y la Trinidad, ubicados en el lindero sur de esta macrozona".

2-2: "asociada a la macrozona centro sur, integrada por las planicies aluviales de La Vega-Montalbán hasta Las Adjuntas-Caricuao, la del río Valle entre El Hipódromo y La Bandera y la de la quebrada Baruta entre Prados del Este y las Mercedes".

3-1: "asociada a la macrozona centro norte, corresponde a una franja de alto grado de meteorización que se evidencia por el valor de Vs30 obtenidos y que corresponde a las zonas aledañas a la quebrada de Tacarigua. Ubicada al oeste y este, justo después del contacto roca-sedimento en los municipios Libertador y Sucre.

Está integrada por cuerpos aislados de planicies y abanicos aluviales. Uno entre las parroquias de Sucre, la Pastora, Catedral y San Juan. Otro entre el límite de las parroquias, el Recreo y Nuestra Señora de Baruta. Seguido por una franja fina bordeada con el Ávila, entre las parroquias, el Recreo Chacao y Leoncio Martínez. Y por último en la Parroquia El Paraíso”.

3-2: “asociada a la macrozona centro norte, integra 6 cuerpos de planicies y abanicos aluviales. El primero ubicado en la zona alveolar de Catia-Propatria. El segundo, ubicado en la zona centro norte del Valle de Caracas en la parroquia El Recreo. El tercero, ubicada en la parroquia San Pedro, San Agustín y El Recreo, hacia plaza Venezuela y los alrededores de la Ciudad Universitaria. El cuarto, ubicado en la Parroquia San Pedro y Santa Rosalía. El quinto entre la parroquia El Paraíso y San Juan. Y el sexto, entre la parte sur de la parroquia Chacao, Leoncio Martínez y Petare, y al norte de las parroquias El Cafetal y nuestra Señora del Rosario de Baruta”.

3-3: “asociada a la macrozona centro norte, formada por un conjunto de pequeños abanicos aluviales en la parroquia San Pedro”.

4-1: “asociada a la macrozona centro norte, conformada por dos cuerpos de sedimentos aluviales. Uno ubicada al este entre las parroquias Leoncio Martínez, Chacao y El Recreo; y el otro, hacia el oeste, entre las parroquias Catedral, Altagracia, la Pastora, San José y San Bernardino”.

4-2: “asociada a la macrozona centro norte, presenta tres zonas en el eje de las planicies aluviales del Rio Guaire. La primera, ubicada en el Rincón del Valle, entre la parroquia de San Pedro y Santa Rosalía, en el Centro Sur. La segunda, ubicada al sur de la parroquia Chacao y parte del suroeste de la parroquia Leoncio Martínez. Y la tercera, conformada por una franja al oeste de la ciudad, entre las parroquias El Paraíso, San Juan, Santa Teresa, San Agustín y la Candelaria”.

5: “asociada a la macrozona centro norte, compuesta por dos cuerpos de sedimentos. El primero, ubicado en la parte sur de las parroquias Chacao y Leoncio Martínez. Y el segundo, ubicado entre las parroquias La Pastora y Altagracia”.

6: “asociada a la macrozona centro norte, conformada por dos zonas. La primera, ubicada al este entre las parroquias Chacao y Leoncio

Martínez; y la segunda, ubicada al oeste en la parroquia San Bernardino”.

7-1: “asociada a la macrozona norte, conformada por una franja de roca meteorizada e incluso sedimentos depositados por la quebrada Tacagua, ubicada en la zona más noroeste del área metropolitana de Caracas”.

### *3. Otros proyectos de Microzonificación Sísmica en Venezuela*

En Barquisimeto, se desarrolló el estudio de la microzonificación sísmica con la colaboración de la Gobernación de Lara, el decanato de ingeniería de la UCLA, el Centro de ingenieros del estado, entre otros. Entre sus aspectos más resaltantes estuvieron los suelos blandos en las cercanías de sus ríos, los problemas de estabilidad en el talud sur de la ciudad, la verificación de los espectros de respuesta en la cercanía de la falla de Boconó, la gran cantidad de espesor de sedimentos en Cabudare, entre otras cosas. [5]

También existen microzonas sísmicas preliminares en Mérida, Maracay, Valencia, Valle de la Pascua y Barcelona, estas fueron seleccionadas en función de la presencia de amenazas, su desarrollo futuro y panorama institucional. [6]

## ii. METODOLOGÍA

### *1. Tipo y diseño de investigación*

Se realizó un trabajo de investigación con enfoque cuantitativo de alcance descriptivo, desarrollando un diseño de investigación experimental de tipo cuasi experimental.

### *2. Herramientas para obtención y análisis de resultados*

ETABS, versión 19., software de análisis estructural y dimensionamiento de edificios y Microsoft Excel, el cual es una hoja de cálculo que permite manipular datos numéricos y de texto.

### *3. Procedimiento metodológico*

1. Selección del modelo de edificación tipificable.

2. Selección de grupo de importancia de la edificación en función de su uso y chequeo de dimensiones.

3. Definición de las propiedades de los materiales y de las acciones a considerar en la edificación.

4. Determinación de los parámetros para la obtención de los espectros de respuesta elástica de cada microzona.

5. Determinación de los factores asociados al sitio y al desempeño para el diseño establecidos en la norma Covenin 1756-1:2019 para la obtención de los espectros de respuesta inelástico.

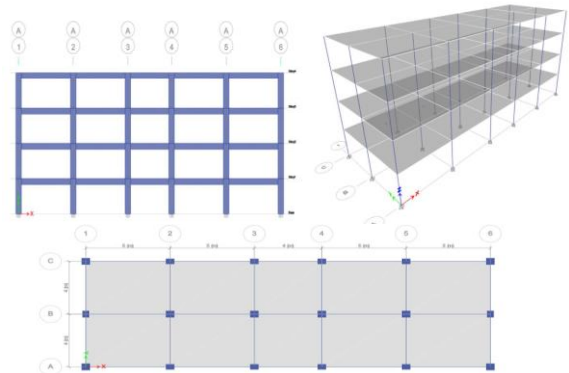
6. Introducción del modelo al software ETABS para la obtención del comportamiento sismorresistente.

7. Análisis de la incidencia de la microzonificación sísmica en el comportamiento sismorresistente de una edificación tipificable ubicada en distintas localizaciones de Caracas en función de los cortante basal y derivas.

#### 4. Características de la edificación

Se analizará una estructura conformada por un sistema de vigas y columnas de concreto armado conectado por juntas que se deforman por la flexión de sus elementos ante las acciones sísmicas, la norma categoriza la edificación dentro del tipo estructural Tipo 1-a.

Se escogió una edificación para uso residencial, de carácter tipificable, con dimensiones convencionales, no muy grande para la obtención de período cortos, sin irregularidades, con cierta ausencia de redundancia en una de sus direcciones para así tomar las consideraciones que indica la actualización de la norma covenin 1756. Está constituida por tres pórticos en la dirección X con una dimensión de 24 m y seis pórticos en la dirección Y con una dimensión de 8 m. Posee 4 niveles de 2,70 m de altura de entrepiso sumando un total de 10,80 m. Las losas de entrepisos son losas macizas de 20 cm de espesor.



**Figura 2:** Vista en Planta, corte y 3D de la edificación. (ETABS).

#### 5. Definición de parámetros requeridos

Los parámetros requeridos para el diseño del modelo tales como las propiedades de los materiales, las cargas permanentes y variables obtenidas de la Norma COVENIN 2002-88 [5] y los parámetros sísmicos básicos del espectro de respuesta definidos en la Norma COVENIN 1756-1:2019 y el Proyecto de Microzonificación Sísmica del Área Metropolitana de Caracas.

**Tabla I:** Propiedades de los materiales

Concreto	
<b>f'c (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	250
<b>γ conc. (kgf/m<sup>3</sup>)</b>	2500
<b>E (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	238752
Acero de refuerzo	
<b>γ acero (kgf/m<sup>3</sup>)</b>	7850
<b>E (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	2100000
<b>Fy (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	4200
<b>Fu (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	5250

**Tabla II:** Cargas permanentes según Norma COVENIN 2002:88.

Cargas Permanentes (CP) en losas de techo	kgf/m <sup>2</sup>
Sobrepiso de losa	100
Recubrimiento inferior de losa	25
<b>Total de sobrecarga permanente SCP</b>	<b>125</b>
Peso propio de Losa de espesor de 20 cm	500
<b>Total de cargas permanentes (CP) en losa de techo</b>	<b>625</b>
Cargas Permanentes (CP) en losas de entepiso	kgf/m <sup>2</sup>
Sobrepiso de losa	100
Recubrimiento inferior de losa	25
Paredes	200
<b>Total de sobrecarga permanente SCP</b>	<b>325</b>
Peso propio de Losa de espesor de 20 cm	500
<b>Total de Cargas Permanentes (CP) en losa de entepiso</b>	<b>825</b>

**Tabla III:** Cargas Variables según la Norma COVENIN 2002:88.

Ubicación	kgf/m <sup>2</sup>
Carga Variable (CV) en losas de techo	100
Carga Variable (CV) en entepiso áreas públicas ap.	300
Carga Variable (CV) en entepiso áreas internas ap.	175

### 6. Factor de Importancia

Las acciones sísmicas se determinan a partir de un periodo medio de retorno asociado al desempeño adoptado en función de su importancia y tipo de respuesta. A cada edificación tipificada el desempeño esperado está asociado a tres grados de amenaza sísmica. La norma la clasifica las

residencias de baja ocupación como Grupo B2 definido como Construcciones Comunes.

**Tabla IV:** Grupo de Importancia y Factor de Importancia basado en la Norma Covenin 1756-1:2019

Grupo de Diseño	B2
Factor de Importancia	1
Sismo de Diseño ( $\alpha$ )	
Vida Útil (años)	50
Periodo Medio de Retorno (PMR) (años)	475

### 7. Amenaza sísmica

#### a. Parámetros Sísmicos Básicos

La norma Covenin 1756-1:2019 especifica que cada lugar del país está caracterizado por los siguientes parámetros:

A0 = Coeficiente de la aceleración horizontal del terreno en la clase de sitio referencial para un periodo medio de retorno de 475 años, obtenido de los mapas de amenaza sísmica de Venezuela.

A1 = Coeficiente de aceleración espectral horizontal para periodo estructural de 1 segundo en la clase de sitio referencial, para coeficiente de amortiguamiento de 5% y un periodo medio de retorno de 475 años, obtenido de los mapas de amenaza sísmica de Venezuela.

TL = período de transición entre periodos intermedios y periodos largos del espectro elástico de respuesta horizontal, en la clase de sitio referencial para coeficiente de amortiguamiento de 5% y un periodo medio de retorno de 475 años, obtenido de los mapas de amenaza sísmica de Venezuela.

#### 8. Caracterización del sitio

Los sitios son clasificados en la norma Covenin 1756-1:2019 de acuerdo a las características del terreno, definidos por uno o varios perfiles geotécnicos. Cada perfil se caracteriza por su clase de sitio, su condición topográfica y la profundidad al basamento rocoso; en función de estas se emplean los factores de sitio para la construcción de los espectros de respuesta o para los controles referidos en la norma.

**a. Clase de Sitio**

Se asigna en la norma Covenin 1756-1:2019 una clase de sitio en función del grado de rigidez superficial, definida en función del Vs30 y de la descripción cualitativa del perfil. Además, los factores asociados se definen en función de la clase de sitio asignada, el grupo de importancia y los coeficientes de aceleración espectral horizontal A0 y A1.

**b. Condición Topográfica**

La norma Covenin 1756-1:2019 establece la pendiente del sitio, distinguiéndose entre sitios de poca pendiente y situaciones de ladera o cima. Las pendientes promedio topográficas se miden en una malla rectangular seleccionada dentro de la ladera con celdas de proyección horizontal máxima de 30 metros.

**c. Profundidad al Basamento Rocoso**

La norma Covenin 1756-1:2019 define la profundidad al basamento (H) rocoso como el espesor de sedimentos hasta la roca de Vs ≥ 1.000 m/s y que ofrezca un contraste de impedancia con la capa sedimentaria mayor o igual que 1,5.

**9. Factores asociados al sitio**

Fueron considerados para la para la determinación del coeficiente AA y los factores de condición de sitio que son usados en los controles requeridos por la norma los factores asociados a la profundidad del basamento rocoso, la clase de sitio, la condición topográfica en función de las condiciones del sitio dadas en el PMZC y los factores de importancia de la norma covenin 1756.

Los parámetros mencionados vienen dados por las siguientes ecuaciones:

$$AA = FA \alpha A0 \quad (1)$$

$$FA = F_A^C F_A^H F_A^T \quad (2)$$

**10. Factores de desempeño**

La norma establece que a cada edificación se le asignará un factor de reducción de respuesta (R), un factor de redundancia, un factor de Irregularidad, un factor de sobrerresistencia y un factor de amplificación de desplazamiento.

La edificación posee en la dirección X tres planos sismorresistentes cada uno con cinco vanos; y en la dirección Y posee 2 vanos, por lo cual posee diferentes factores de redundancia en sus dos direcciones y se aplicara este factor a los espectros para cada microzona ya que el proyecto de microzonificación sísmica no los considera.

-Se clasifica la edificación como regular debido a que no posee características de irregularidad en ninguna de sus direcciones. Posterior se verificarán las irregularidades críticas que están prohibidas por la norma para intensidades sísmicas AA>0,10.

-El factor de reducción viene dado por la norma en función del sistema sismorresistente, el material utilizado y el nivel de diseño definido.

**Tabla V:** Factores de desempeño de la edificación

Factores de Desempeño			
ρx	1	R	6
ρy	1,2	Fi	1

**11. Espectro de Respuesta**

El PMZC define para cada macrozona y microzonas asociadas un espectro elástico correspondientes a la respuesta estructural de sistemas de un grado de libertad con fracción del amortiguamiento crítico ξ=5%, ver figura 3; el espectro posee cinco ramas:

- Una rama de aceleración constante φA0, desde 0 a TA
- Una rama de transición lineal hasta φβA0, desde TA a T0.
- Una rama de caída hiperbólica de la aceleración con exponente m, al variar desde T0 hasta T\*.
- Una rama de caída hiperbólica de la aceleración con exponente p, desde T\* a TD
- Una rama de deformación constante desde TD en adelante = caída hiperbólica de la pseudoaceleración con exponente 2.

Donde:

A0: Coeficiente de Aceleración Horizontal del Terreno.



A1: Coeficiente de aceleración espectral. Ordenada del espectro elástico para edificaciones comunes, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad.

$\varphi$ : Factor de corrección del coeficiente de aceleración horizontal.

$\beta$ : Factor de amplificación para la meseta del espectro.

m: Exponente de la tercera rama hiperbólica del espectro.

p: Exponente de la cuarta rama, de caída hiperbólica del espectro

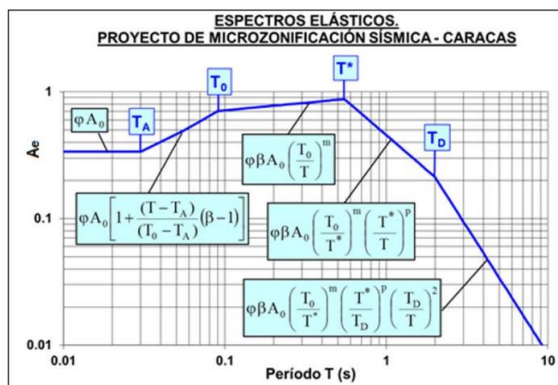
T: periodo de la estructura.

TA: Valor máximo del periodo de la primera rama constante del espectro.

T0: Valor máximo del periodo de la segunda rama del espectro, donde termina la rama de transición lineal y comienza la rama hiperbólica del espectro.

T\*: Valor máximo del periodo de la tercera rama del espectro. El coeficiente Ad es mayor para T\* que para T0 cuando m < 0 y viceversa.

TD: Valor máximo del periodo de la cuarta rama del espectro, donde comienza la rama de deformación constante del espectro.



**Figura 3:** Modelo de ajuste de espectros elásticos con 5 ramas.[2]

Para la determinación de los espectros inelásticos, el PMZC establece que se debe escoger un factor de reducción de respuesta R acorde al proyecto siguiendo lo establecido en la norma Covenin 1756 vigente. Para la construcción del espectro inelástico Ad(T) se parte del espectro elástico,

multiplicándolo por el factor de importancia  $\alpha_G(T)$  sin aplicar el factor de reducción hasta TA. Entre TA al periodo de transición T+ se define Ad(T) en función de R, añadiendo un control respecto a T\* ya que éste toma valores menores de 0.4 s para varios espectros en afloramiento rocoso de este proyecto. Además, se define un parámetro adicional denominado  $\beta +$  en función de  $\beta$  el cual representa la amplificación de la aceleración en el punto T+ respecto a la inicial del espectro para tomar en cuenta la rama de pendiente hiperbólica "m" del espectro elástico y se define el parámetro c en función de R y  $\beta +$ . Para los periodos superiores se aplica la reducción R constante. Las fórmulas se muestran a continuación:

$$A_d(T) = \alpha_G(T)\varphi A_0 \quad \text{para } T < T_A \quad (3)$$

$$A_d(T) = \alpha_G(T)\varphi A_0 \frac{1 + \left(\frac{T-T_A}{T^+ - T_A}\right)^{\beta^+ - 1}}{1 + \left(\frac{T-T_A}{T^+ - T_A}\right)^c (R-1)} \quad \text{para } T_A \leq T \leq T^+ \quad (4)$$

$$A_d(T) = \frac{A(T)}{R} \quad \text{Para } T > T^+ \quad (5)$$

Donde:

$$\beta^+ = \beta * \left(\frac{T_0}{T^+}\right) \quad (6)$$

$$c = \sqrt[4]{R/\beta^+} \quad (7)$$

$$T^+ = \frac{(R-1)}{10} \leq 0,4 \text{ s} \quad (8)$$

En las figuras de la 4 a la 11 se muestran los espectros inelásticos de las dos direcciones principales de análisis agrupados en cada una de las diferentes macrozonas analizadas.

## 12. Método de Análisis

La Norma Covenin 1756 establece los métodos de análisis que como mínimo deben ser empleados en las edificaciones en función de sus características.

Para características de la Construcción regular que no excede 10 pisos ni 30 metros de altura, permite el Método de Análisis Dinámico Elástico, que es el que utiliza ETABS. Para el desarrollo del método se escogieron en el software el método de combinación modal denominada Combinación Cuadrática Completa (CQC) y el método de combinación direccional de la Raíz Cuadrada de la Suma de los cuadrados (RCSC) que considera la acción simultánea de la respuesta ante la acción de la componente sísmica en la dirección "X" y "Y".

La norma indica que debe considerarse la acción simultánea de la componente sísmica vertical y las dos componentes horizontales por el método de RCSC o 30% en casos significativos que para nuestro análisis no aplica.

Son considerados los efectos de la torsión adicional incluyendo una excentricidad adicional del 6%.

### 13. Peso Sísmico Efectivo

El peso sísmico efectivo de la estructura (W) consta del peso de las cargas permanentes tales como los pesos propios de los miembros estructurales y sus conexiones, tabiques y paredes de mampostería, pavimentos, impermeabilización, frisos, equipos e instalaciones de carácter fijo y pesos de los materiales (sólidos o líquidos) almacenados en forma permanente; y de la fracción de las cargas variables dada en la norma; estas son las actúan sobre la edificación con magnitud variable en el tiempo y que se deben al uso y ocupación del edificio, como las cargas de personas, vehículos, ascensores, grúas móviles, maquinarias, entre otras. Ambos tipos de carga son definidos en la norma Covenin 2002.

La norma Covenin 1756 establece que para el análisis de viviendas se debe considerar una fracción de carga variable del 15%, por lo que se tendrá:

**Tabla VI:** Cargas en la Base

Caso de Carga	FZ kgf
CV	112800

CP	895800
Peso (W)	912720

### 14. Períodos de vibración

El periodo de vibración es el tiempo que tarda la estructura en realizar una oscilación; es una propiedad dinámica de la estructura asociada a cada modo de vibración el cual depende principalmente de las dimensiones de la estructura, su forma de construcción y materiales ocupados en ella.

El período fundamental de vibración el cual indica como será la respuesta de la estructura ante el sismo, será el menor valor entre los varios períodos de vibración y debe ser determinado para cada una de las direcciones horizontales de análisis de la estructura.

Para el análisis de los períodos de vibración se consideraron el número de modos de vibración capaces de garantizar la participación de al menos el 90% de las masas participativas.

**Tabla VII:** Períodos y Masas Participativas

Caso	Modo	Período	SumUX (%)	SumUY (%)	SumRZ (%)
		seg			
Modal	1	0.430	0.000	83.500	0.000
Modal	2	0.412	83.540	83.500	0.000
Modal	3	0.375	83.540	83.500	83.420
Modal	4	0.133	83.540	94.690	83.420
Modal	5	0.128	94.590	94.690	83.420
Modal	6	0.116	94.590	94.690	94.550
Modal	7	0.073	94.590	98.770	94.550
Modal	8	0.070	98.730	98.770	94.550
Modal	9	0.063	98.730	98.770	98.720
Modal	10	0.051	98.730	100.00	98.720
Modal	11	0.048	100.000	1 00.000	98.720
Modal	12	0.044	100.000	100.000	100.000

Para la edificación analizada los períodos pueden considerarse cortos y alcanzan el 90% de las masas participativas en el modo 6, se obtuvo el período fundamental de vibración en la dirección Y de 0,43 seg., seguido por el período asociado al modo 2 en la dirección X de 0.412 seg. y el período del modo 3 asociado a la rotación en la dirección Z de 0,375 seg.

### 15. Fuerzas cortantes basales

La fuerza cortante basal es la suma de las fuerzas sísmicas que actúan por encima del nivel de base de la estructura en una determinada dirección horizontal.

La fuerza cortante en la Base,  $V_0$ , en cada dirección de análisis, se determina con la siguiente fórmula:

$$V_0 = \mu Ad W \quad (9)$$

Donde:

Ad = Ordenada del espectro de respuesta inelástica, para el período fundamental.

W = Peso sísmico efectivo de la estructura.

$\mu$  = Mayor de los valores dados por las siguientes fórmulas.

$$\mu = 1,4 \left[ \frac{N+9}{2N+12} \right] \quad (10)$$

$$\mu = 0,8 + \frac{1}{1,2} \left[ \frac{T}{TC} - 1 \right] \quad (11)$$

Donde:

N = Número de niveles.

T = Período fundamental de la estructura.

TC = Período característico del espectro.

### a. Período fundamental aproximado

El período fundamental aproximado  $T_a$  requerido para el control de las cortantes basales viene dado por la siguiente expresión:

$$T_a = C_t * h_n^{0,75} \quad (12)$$

Donde:  $T_a$  es el período fundamental aproximado (segundos),  $h_n$  es la altura (metros) de la

edificación y el coeficiente  $C_t$  está dado en la norma.

Finalmente, el período fundamental T para el control del cortante será

$$T = \sigma T_a \quad (13)$$

Donde,  $\sigma$  está dado en la norma.

La fuerza cortante en la base  $V_{0d}$  obtenida de la combinación modal deberá compararse con el valor  $V_0$  calculado mediante el Método de Análisis Estático utilizando el período fundamental T. Con este período se obtendrá a partir del espectro de diseño la ordenada del espectro  $A_d$  y se determinará el factor de modificación de cortante  $\mu$ . Dicha comparación debe efectuarse para las dos direcciones principales de la estructura. Las fuerzas obtenidas para el diseño de los elementos estructurales deberán multiplicarse por 0,85  $V_0/V_{0d}$  cuando  $V_{0d}$  sea menor que 0,85  $V_0$ .

### b. Coeficiente Sísmico

Además, debe verificarse el coeficiente sísmico que es el cociente entre la fuerza cortante horizontal que actúa en el nivel de base en cada dirección horizontal y el peso sísmico de la estructura.

$$C = \frac{V_0}{W} \quad (14)$$

El valor del Coeficiente Sísmico C no será menor que  $C_{min}$  dado por:

$$C_{min} = \frac{A_A}{R} \geq 0,01 \quad (15)$$

Donde:

$A_A$  = Coeficiente de la aceleración del terreno.

R = Factor de Reducción.

Si el coeficiente sísmico dinámico  $C_{din}$  es menor que  $C_{min}$  las fuerzas para el diseño de los elementos estructurales y los desplazamientos deberán multiplicarse por  $C_{min}/C_{din}$ .

### 16. Desplazamiento y Deriva Lateral Total

Los desplazamientos laterales de un piso ocasionados por la acción de una fuerza horizontal con respecto al piso consecutivo, medido en dos puntos ubicados en la misma línea vertical de la estructura. La deriva lateral elástica es la diferencia de los desplazamientos laterales entre dos niveles o pisos consecutivos; los cálculos de las derivas de

piso son usados para mejorar el funcionamiento estructural en cualquier tipo de edificación.

#### *a. Relación de Deriva Lateral Total*

La relación de deriva lateral total  $\Delta_i$  en un punto del entrepiso  $i$  viene dada por la siguiente expresión:

$$\bar{\Delta}_i = Cd * \frac{\delta_{ei}}{H_i} \quad (16)$$

Dónde:

$H_i$  = diferencia de altura entre el nivel  $i$  y el nivel  $i-1$ .

$\delta_{ei}$  = Deriva lateral elástica en un punto del entrepiso  $i$  ( $\delta_{ei} - \delta_{e(i-1)}$ ).

$\delta_{ei}$  = Desplazamiento lateral elástico en un punto del nivel  $i$  calculado con el espectro de respuesta.

$Cd$  = Factor de amplificación del desplazamiento elástico y de la deriva elástica. Esta cual incluye los efectos inelásticos; este es determinado en función del tipo o subtipo estructural, el sistema sismorresistente, el material utilizado y el nivel de diseño del caso en estudio como lo establece la norma

Se debe verificar que no se excedan los valores límites de la relación de deriva lateral total  $\Delta_i$  en cada nivel y en cada punto de la planta para cada dirección de análisis.

### iii. ANALISIS Y RESULTADOS

#### *1. Fuerzas cortantes basales*

Mediante el software ETABS se determinaron las fuerzas cortantes concentradas por nivel incluyendo la fuerza cortante basal y fueron chequeados los controles requeridos en la norma.

Los resultados de las fuerzas concentradas por nivel y el chequeo del control de la fuerza cortante base requeridos por la norma. En las figuras de la 12 a la 19 se muestran las fuerzas cortantes de cada macrozona y sus microzonas asociadas.

El análisis constató que para todos los casos se cumplen los controles de cortante basal establecidos por la norma, por lo que no se requerirá aplicar ningún factor a las fuerzas o los desplazamientos obtenidos. Las mayores cortantes basales se obtuvieron en la dirección de análisis

“Y”, pero mayores en “X” en la macrozona para roca sana cuasi-plana ( $X=79.566$  kgf;  $Y=77.798$  kgf) y de pendiente alta ( $X=107.131$  kgf;  $Y=96.559$  kgf). En cada macrozona las mayores cortantes se consiguieron en los depósitos someros de suelos rígidos (117.488 a 167.604 kgf) y las menores en los sitios de afloramiento rocoso sano cuasi-plano de cada macrozona. (102.478 a 79.566 kgf).

#### *2. Derivas*

Mediante el software se determinó la relación de deriva lateral elástica para cada piso en ambas direcciones del análisis, estas son afectadas por el factor  $Cd$  para obtener la relación de deriva lateral total la cual no puede ser mayor a los valores límites de la norma.

En las figuras de la 20 a la 27 se muestran las representaciones graficas de las derivas laterales totales agrupadas para cada macrozona. Se verificó que para ninguno de los casos las derivas excedieron el valor límite establecido por la norma.

Con un comportamiento similar al de las cortantes basales, se agrega que se presentó en la dirección “X” mayores valores en las rocas sanas de pendiente alta (0,00415) que los depósitos intermedios de rigidez intermedia (0,00413) y que en los depósitos profundos (0,0038) y muy profundos (0,0039) de la macrozona centro norte; mientras que para la dirección “Y” esta no fue mayor que ninguno de los depósitos de esta macrozona.

Además, para esta macrozona en ambas direcciones de análisis los depósitos intermedios de suelo rígido ( $X=0,0042$ ;  $Y=0,0065$ ) tuvieron mayores valores que los depósitos someros de suelo suave ( $X=0,0041$ ;  $Y=0,0063$ ); y los depósitos muy profundos ( $X=0,0039$ ;  $Y=0,0061$ ) presentaron mayores valores que los depósitos profundos ( $X=0,0038$ ;  $Y=0,0059$ ). Aparte, en la macrozona sur los valores obtenidos en “Y” de los sitios de roca sana con pendiente media (0,0057) fueron superiores a los de pendiente alta (0,0045).

#### iv. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

##### 1. Conclusiones

- La investigación evidencio que las mayores fuerzas cortantes basales se presentaron en la dirección "Y" (entre los 140.000 a los 167.000 kgf) debido a la ausencia de redundancia que posee la edificación en esta dirección. Además, los resultados más desfavorables se evidenciaron para los depósitos menos profundos como para los suelos más rígidos (entre los 117.000 a los 167.000 kgf) debido a que los espectros del PMZC amplifican más la respuesta estructural en los periodos cortos; y en los sitios de roca sana disminuirá la amplificación ante menores pendientes del terreno para el periodo analizado (entre los 79.000 a los 102.000 kgf) con variaciones paulatinas de la amplificación de la respuesta para ciertos casos de pendiente en roca sana y para ciertas profundidades de los depósitos sedimentarios.

- Las mayores derivas de igual forma, se evidenciaron en la dirección "Y" (entre los 0,0068 a los 0,0083). Además, se encontraron las mayores derivas en los depósitos someros de suelo rígido de cada macrozona (entre los 0,0045 a los 0,0083). y las menores derivas se obtuvieron en los sitios de roca sana cuasi-plana (entre los 0,0030 a los 0,0050), poseyendo una amplificación de la respuesta similar a las cortantes para la estructura analizada.

-Los resultados más desfavorables, es decir, aquellos en donde la edificación presento mayores cortantes y derivas; y por consiguiente, se espera un menor desempeño y mayores requerimientos de construcción fueron en los depósitos someros de suelo rígido de la macrozona norte, seguido por los mismos depósitos de la macrozona centro norte, continuando con la macrozona centro sur y terminando con la macrozona sur, por lo que tendrá un menor desempeño en estos. Además, los resultados menos desfavorables se presentaron en los sitios de afloramiento rocoso sano cuasi-plano de cada macrozona, por lo tanto, la estructura presentara un mejor desempeño en estos sitios.

##### 2. Recomendaciones

-Se recomienda continuar con la investigación analizando la incidencia de otros parámetros del comportamiento sismorresistente como el efecto

P/Δ, irregularidades críticas, las solicitaciones producto de la combinación de cargas y el acero requerido de los miembros estructurales para los casos analizados.

-De igual manera, se recomienda realizar un análisis del comportamiento sismorresistente de cada uno de los casos modelando edificaciones con periodos largos, pudiendo utilizar otro tipo de configuración geométrica, otra tipología estructural u otro material de construcción.

- Se recomienda hacer un estudio donde se compare el comportamiento sismorresistente de la edificación aplicando un espectro de diseño desarrollando la envolvente según los controles de la norma Covenin 1756-1:2019 para zonas de Caracas más puntualizadas y ubicadas geográficamente debido a que no se consideraron como se indicó en las limitaciones.

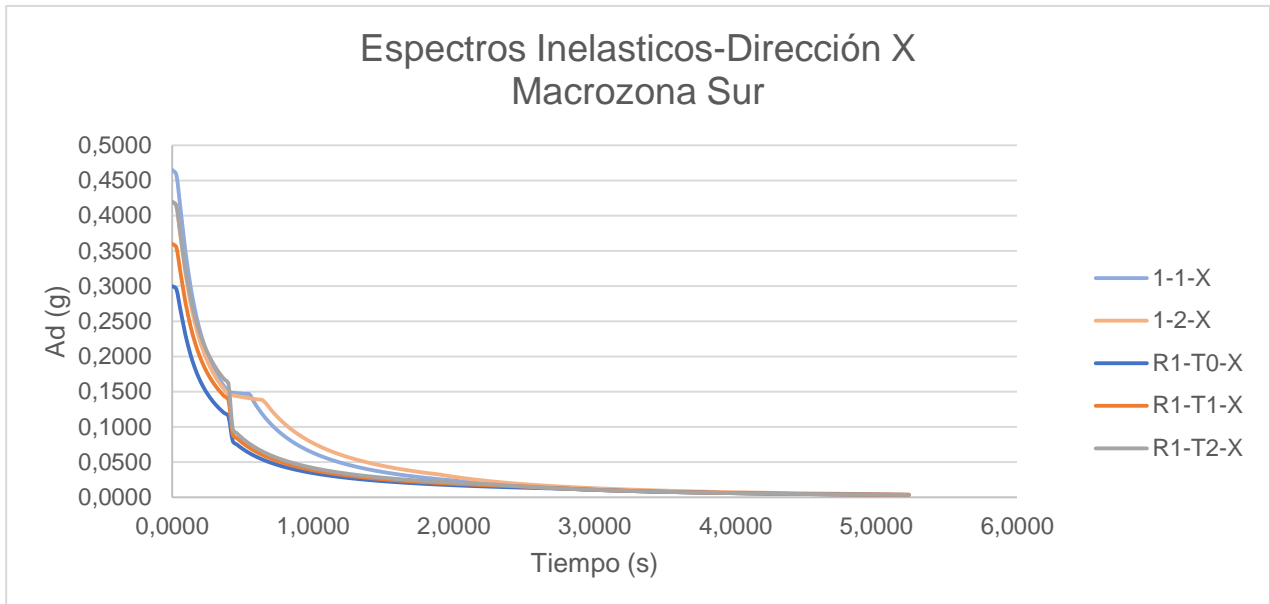
- Se recomienda analizar el comportamiento de los periodos de vibración considerando la interacción suelo-estructura que puede presentarse en cada microzona.

#### REFERENCIAS

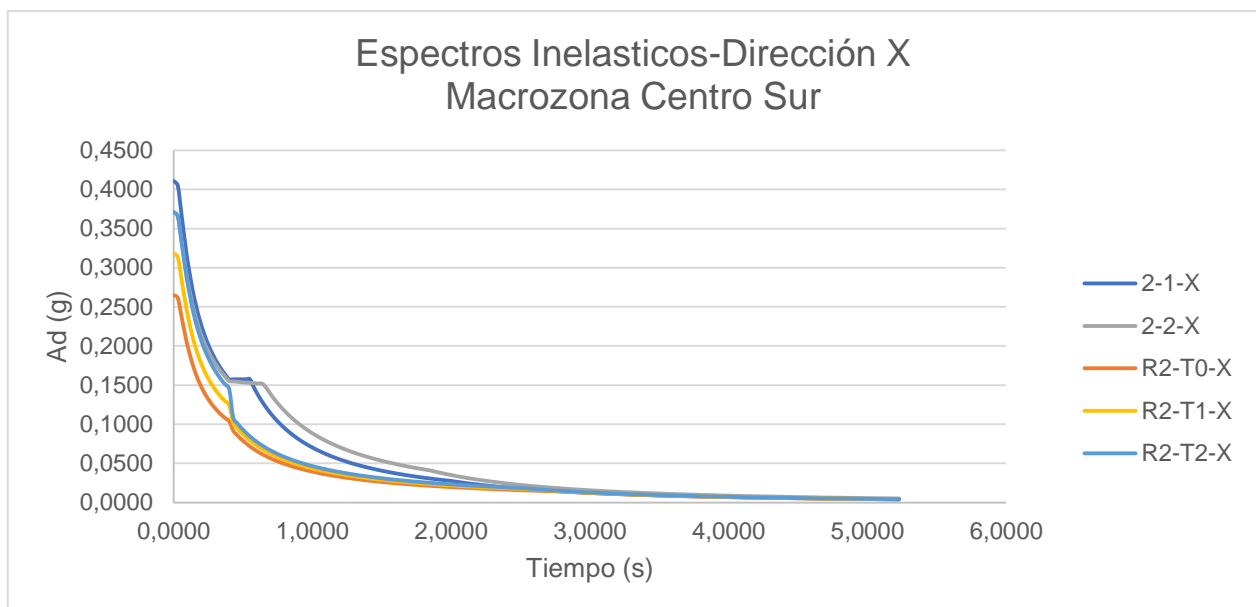
- [1] Quinto D. (2020). *Nueva Norma Sísmica Venezolana: Construcciones Sismorresistentes 1756-1:2018*. Linkelid. <https://es.linkedin.com/pulse/nueva-norma-s%C3%ADsmica-venezolana-construcciones-e-derek-a-quinto-c->
- [2] Schmitz et all. (2011). Principales resultados y recomendaciones del proyecto de microzonificación sísmica de caracas. *Revista de La Facultad de Ingeniería U.C.V.*, 26(2).
- [3] Schmitz y Singer. (2009). MICROZONIFICACIÓN SISMICA DE CARACAS. FUNVISIS.
- [4] Guevara y Stolk de Petetersson (1996). LA MICROZONIFICACIÓN SISMICA COMO BASE PARA EL ORDENAMIENTO URBANISTICO EN CARACAS. URBANA. [http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev\\_urb/article/view/8445/8337](http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_urb/article/view/8445/8337)
- [5] Schmitz y Hernández (2010). ESTUDIOS DE RIESO EN CARACAS. *Revista en Linea Saber UCAB*. <https://revistasenlinea.saber.ucab.edu.ve/index.php/temas-decoyuntura/article/download/1927/1666/6166>
- [6] Schmitz et all. (2020). Resultados de la microzonificación sísmica de Barquisimeto y Cabudare, Venezuela. *Geominas*. [https://www.researchgate.net/publication/342067532\\_Res\\_ults\\_and\\_implementation\\_of\\_the\\_Seismic\\_Microzoning\\_of\\_Barquisimeto\\_and\\_Cabudare\\_Venezuela](https://www.researchgate.net/publication/342067532_Res_ults_and_implementation_of_the_Seismic_Microzoning_of_Barquisimeto_and_Cabudare_Venezuela)

- [7] Schmitz et all. (2015). ESTUDIOS GEOFÍSICOS EN CUENCAS URBANAS EN VENEZUELA CON FINES DE MICROZONIFICACIÓN SISMICA. Universidad Industrial de Santander.
- [8] FODENORCA (2020). COVENIN 1756-1:2019 (2da. Revisión). Construcciones Sismorresistentes. Caracas, Venezuela.
- [9] FONDONORMA. (1988). COVENIN 2002-88. Criterios y acciones mínimas para el proyecto de edificaciones. Caracas, Venezuela.
- [10] ETABS (Extended Three-Dimensional Analysis of Building Systems) (Nº de versión 19). (2019). Windows. CSI Software Products - Computer and Structures, Inc.

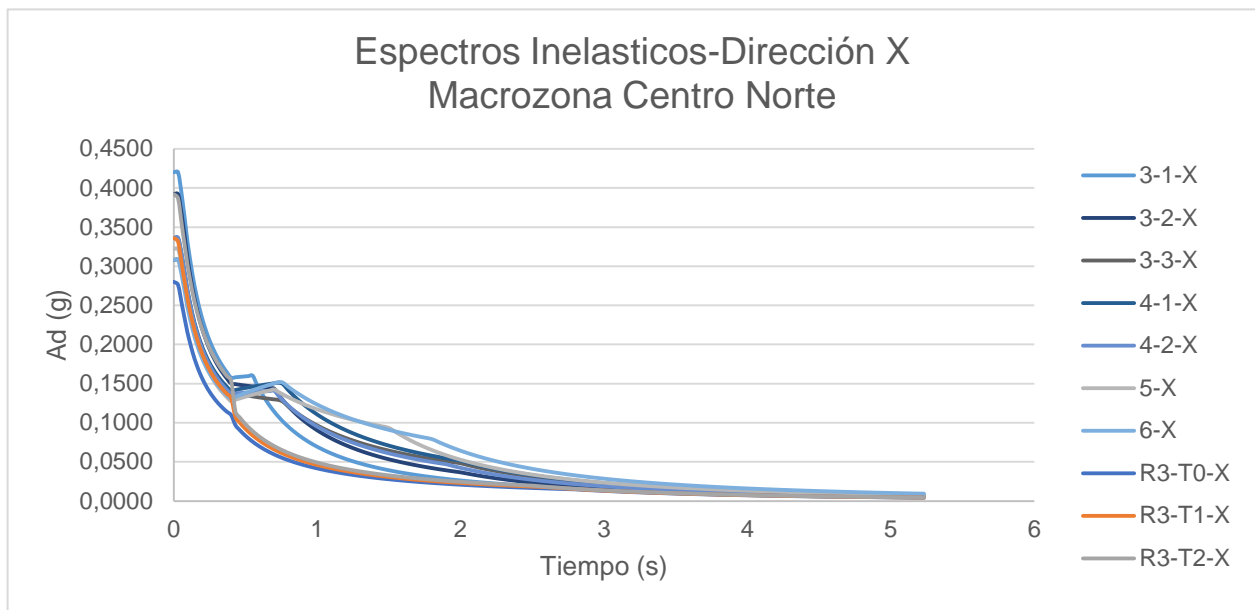
## Anexos



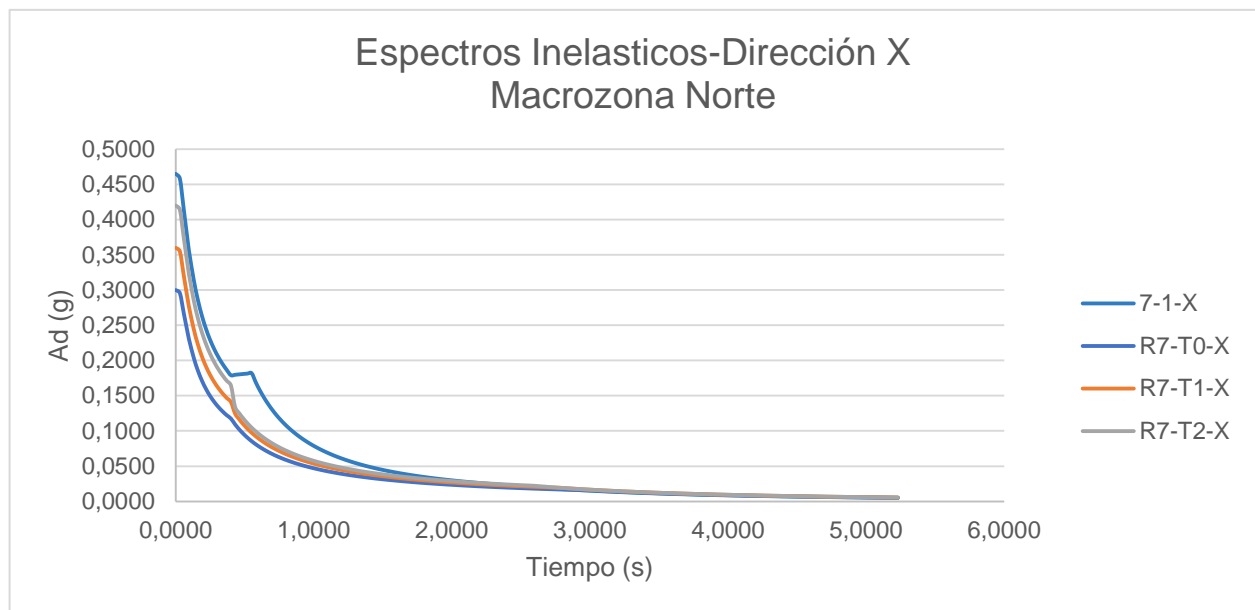
**Figura 4:** Espectro de diseño en dirección X de la macrozona sur (Elaboración propia).



**Figura 5:** Espectro de diseño en dirección X de la macrozona centro sur (Elaboración propia).

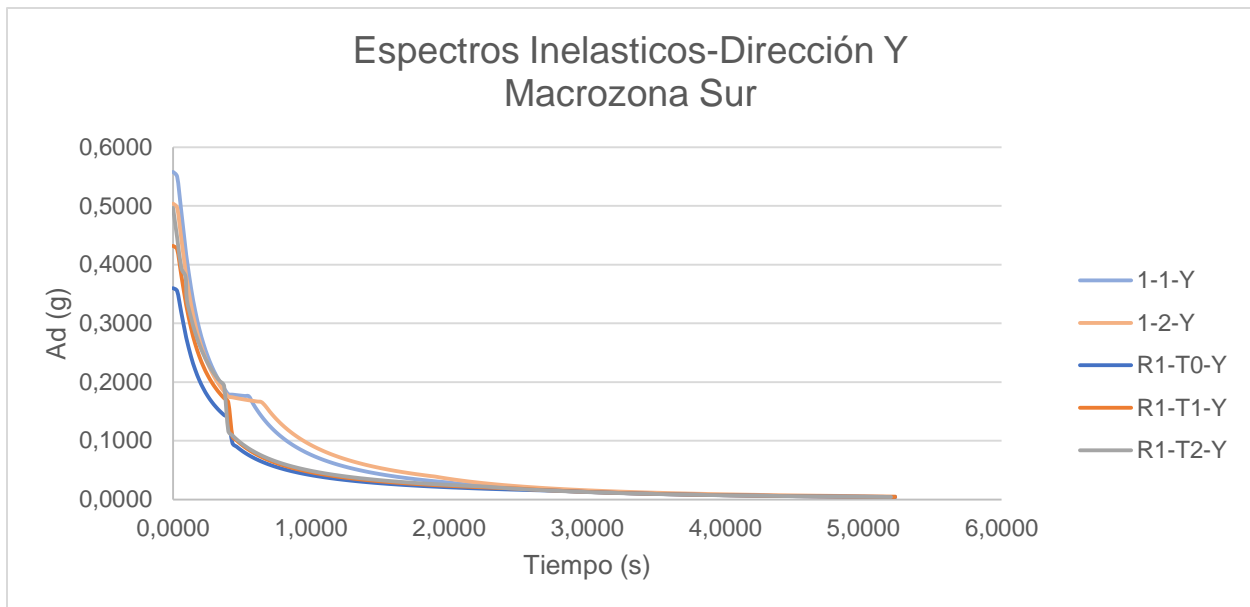


**Figura 6:** Espectro de diseño en dirección X de la macrozona centro norte (Elaboración propia).

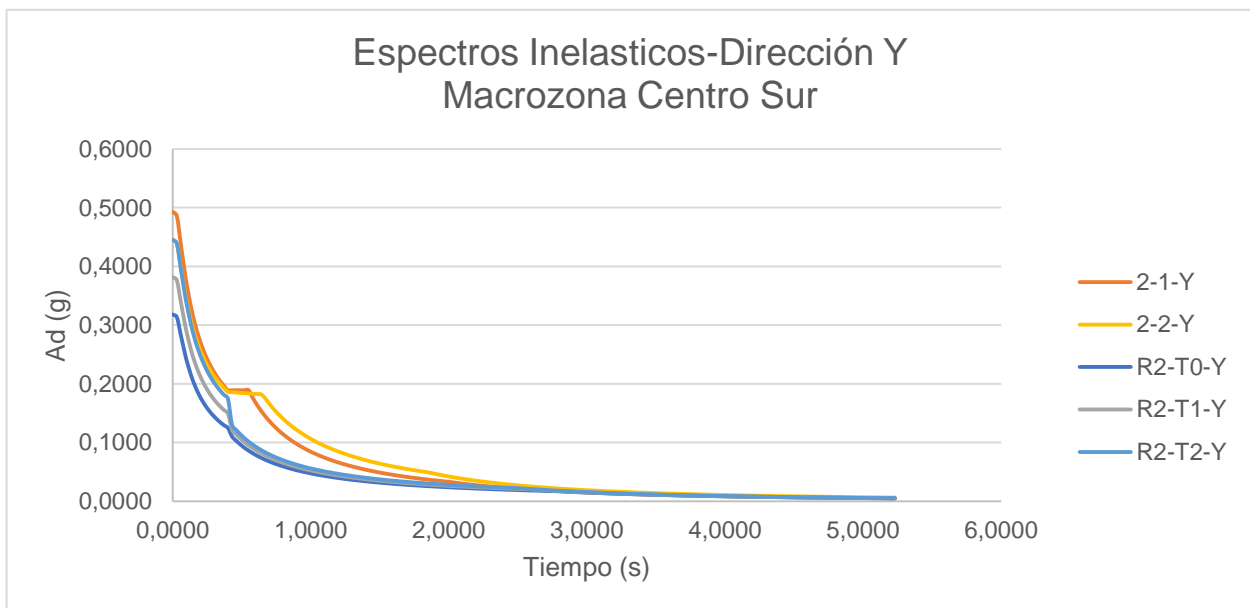


**Figura 7:** Espectro de diseño en dirección X de la macrozona norte (Elaboración propia).

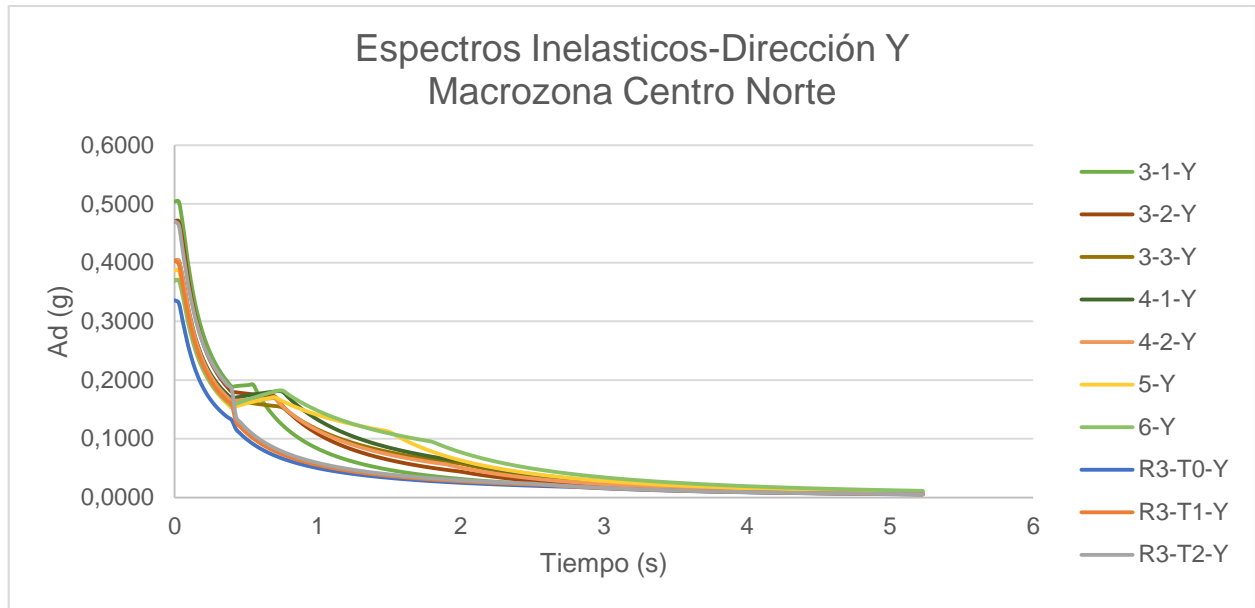




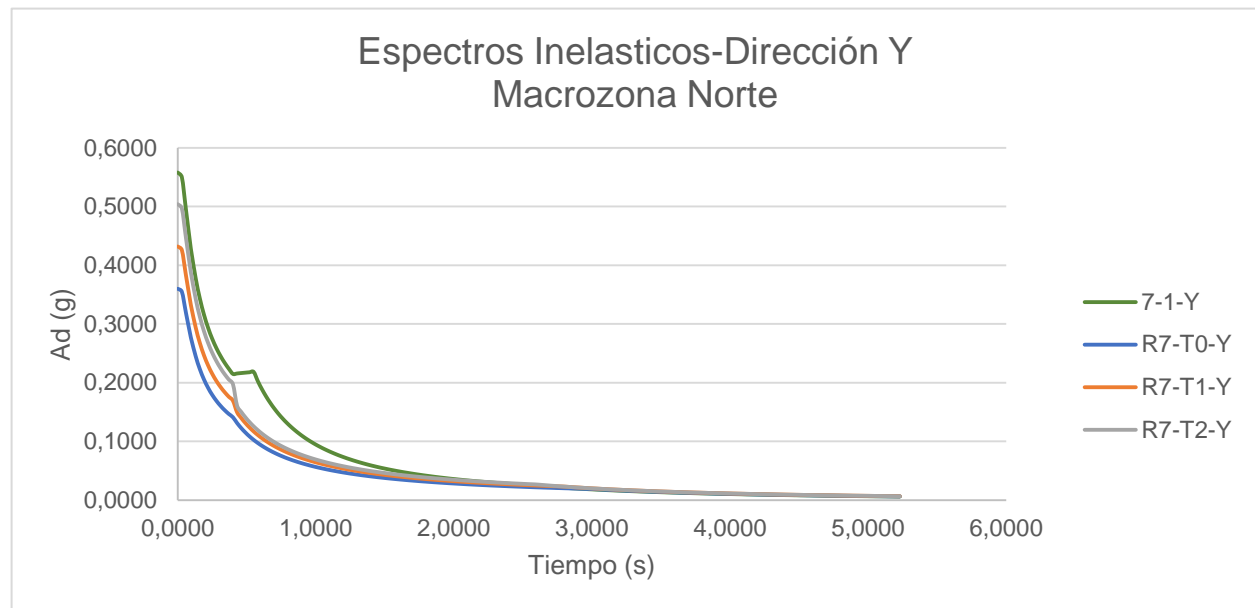
**Figura 8:** Espectro de diseño en dirección Y de la macrozona sur (Elaboración propia).



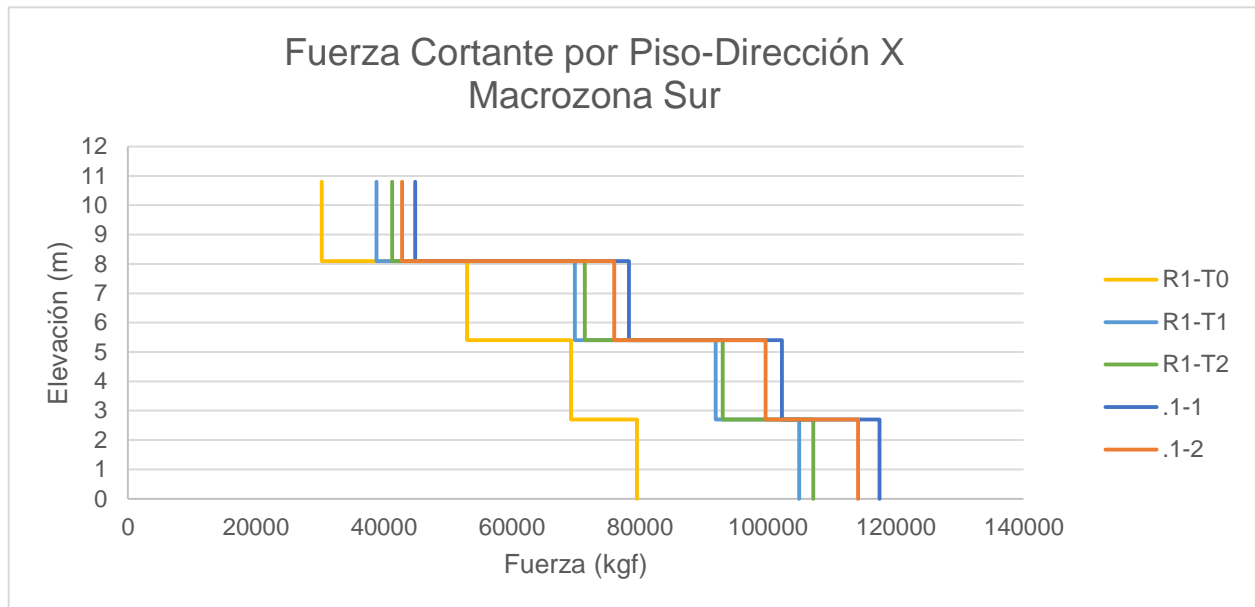
**Figura 9:** Espectro de diseño en dirección Y de la macrozona centro sur (Elaboración propia).



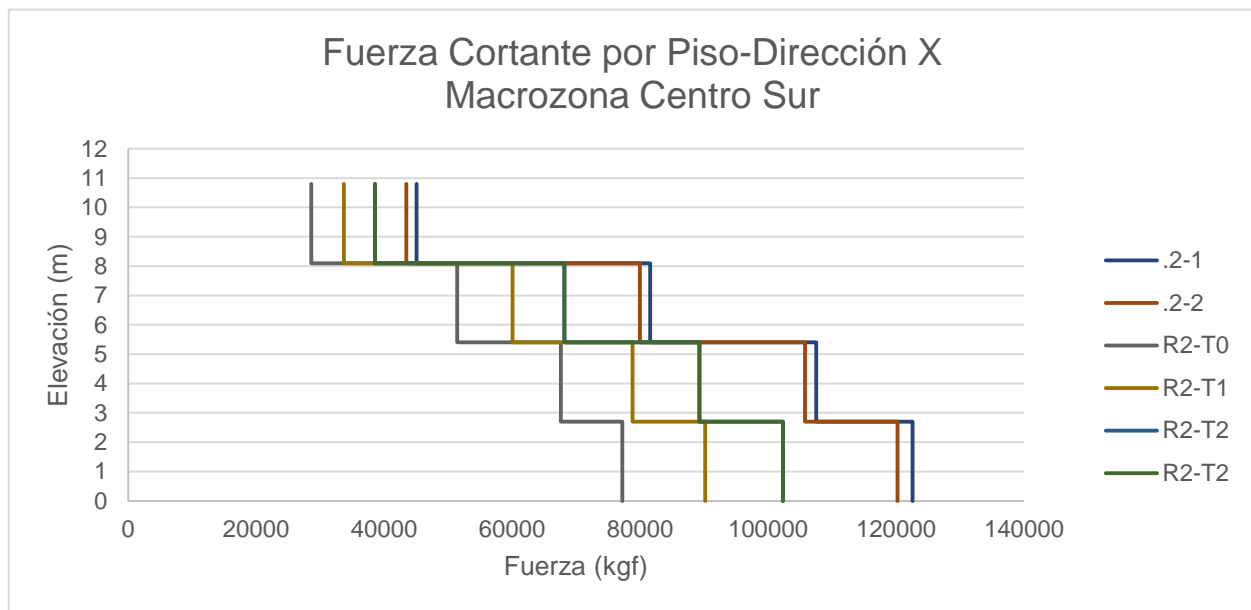
**Figura 10:** Espectro de diseño en dirección Y de la macrozona centro norte (Elaboración propia).



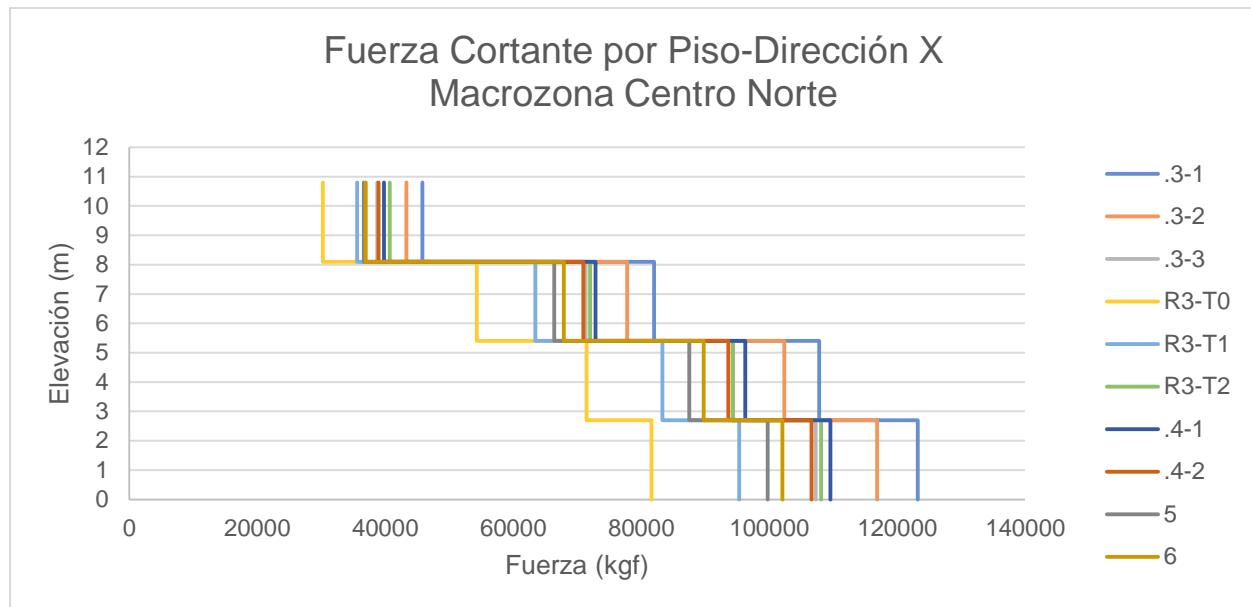
**Figura 11:** Espectro de diseño en dirección Y de la macrozona norte (Elaboración propia).



**Figura 12:** Cortante en la dirección X de la macrozona sur (Elaboración propia).



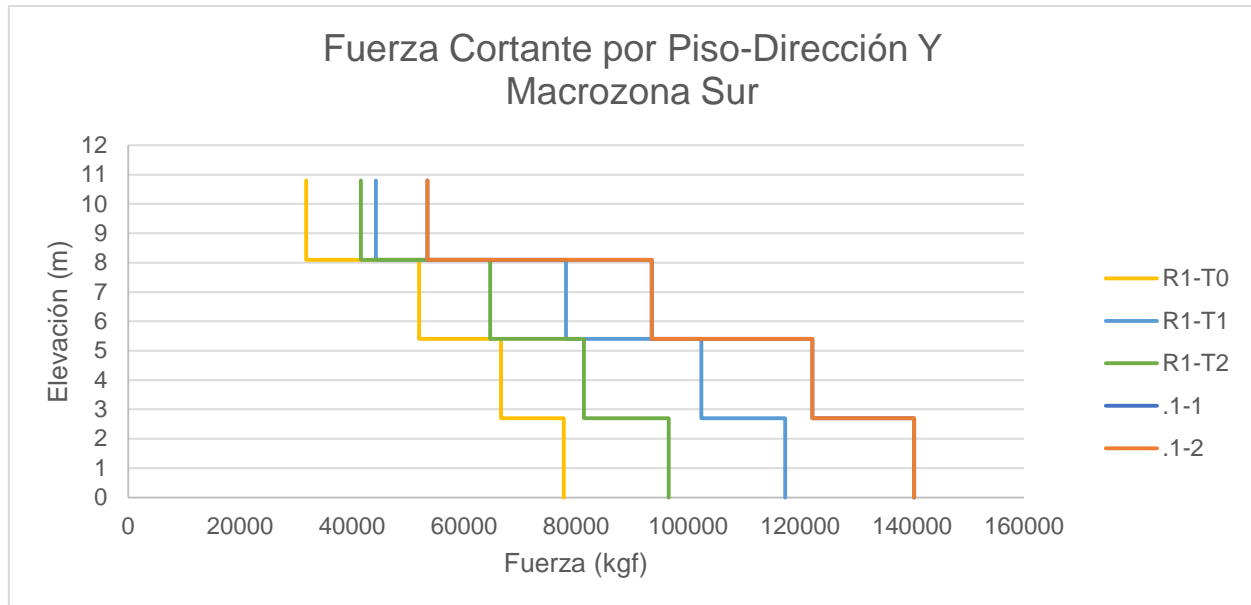
**Figura 13:** Cortante en la dirección X de la macrozona centro sur (Elaboración propia).



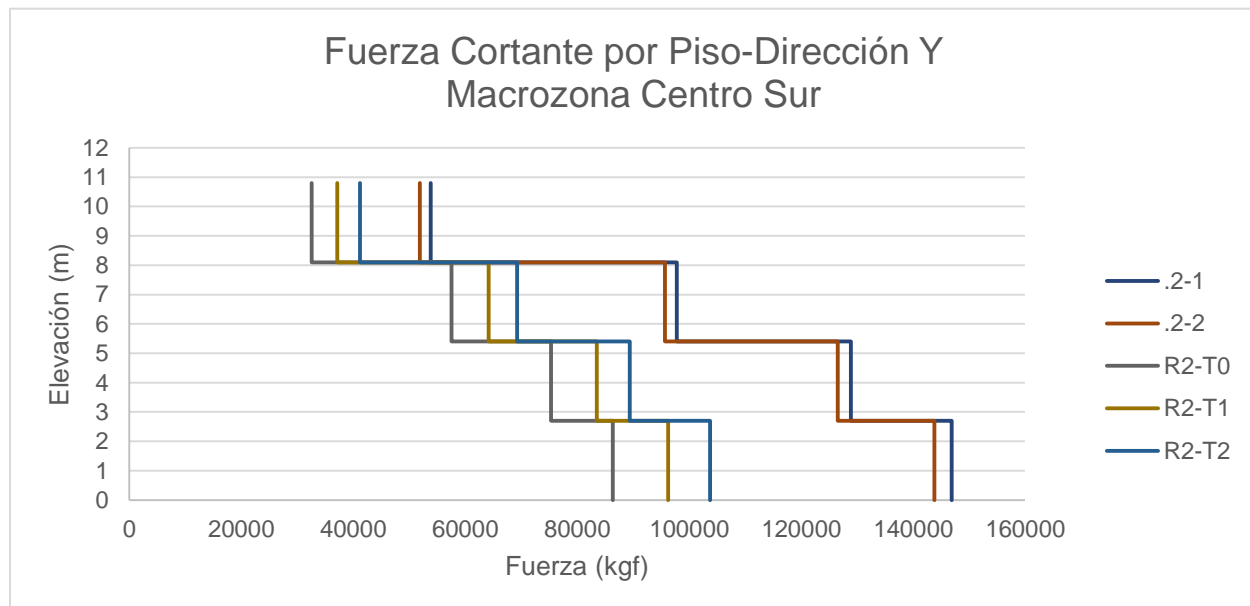
**Figura 14:** Cortante en la dirección X de la macrozona centro norte (Elaboración propia).



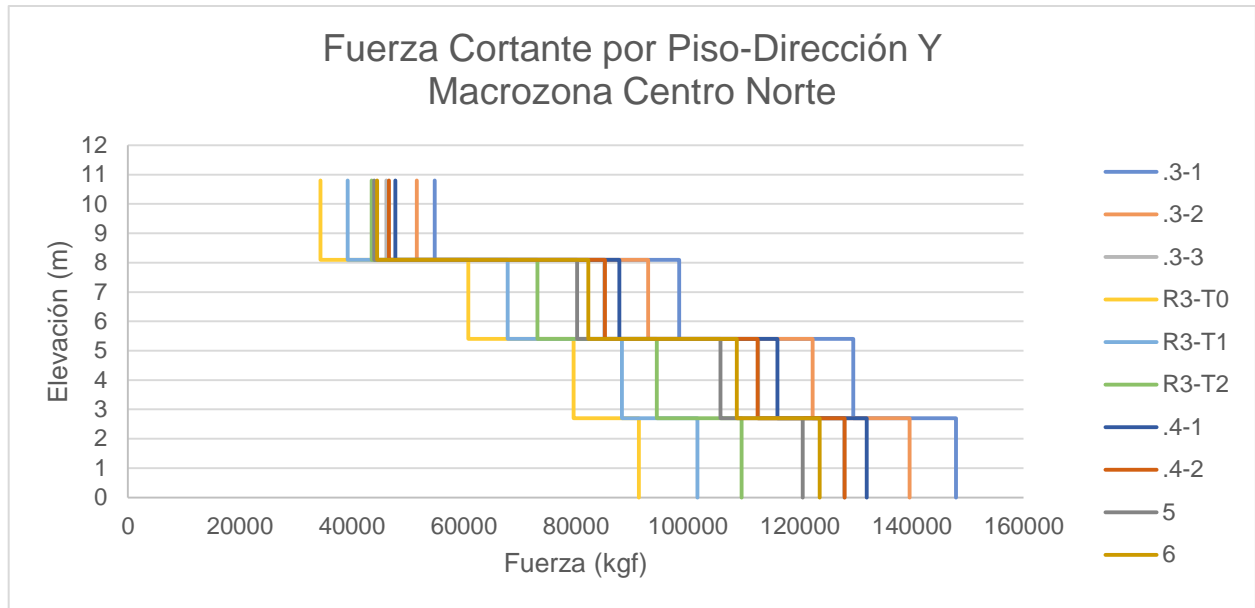
**Figura 15:** Cortante en la dirección X de la macrozona norte (Elaboración propia).



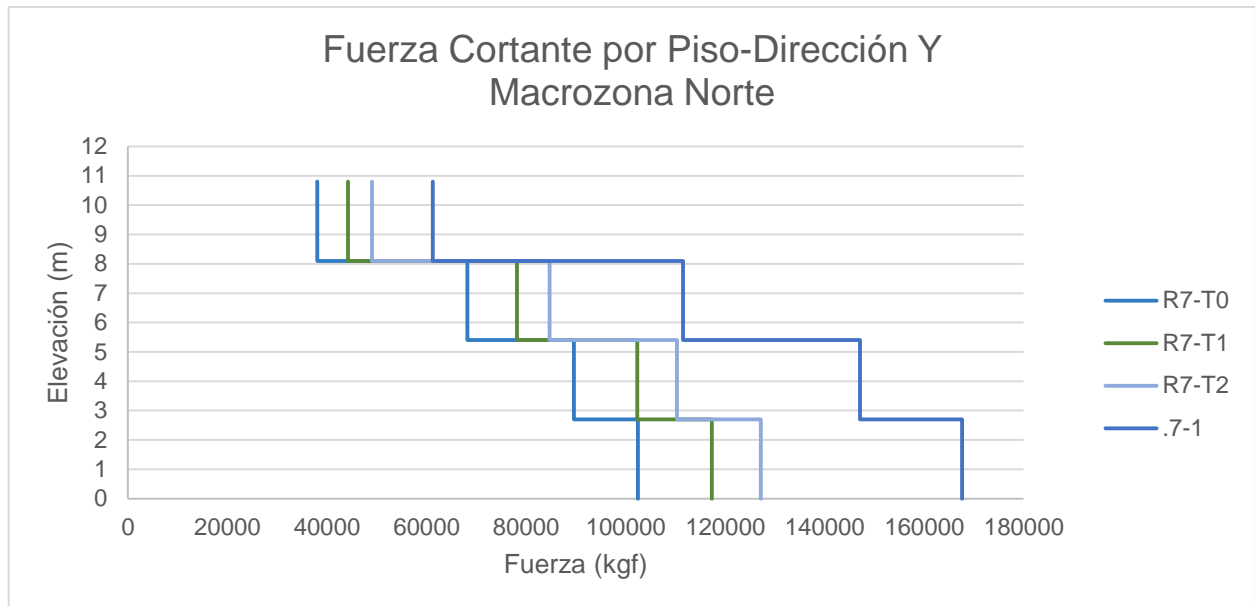
**Figura 16:** Cortante en la dirección Y de la macrozona sur (Elaboración propia).



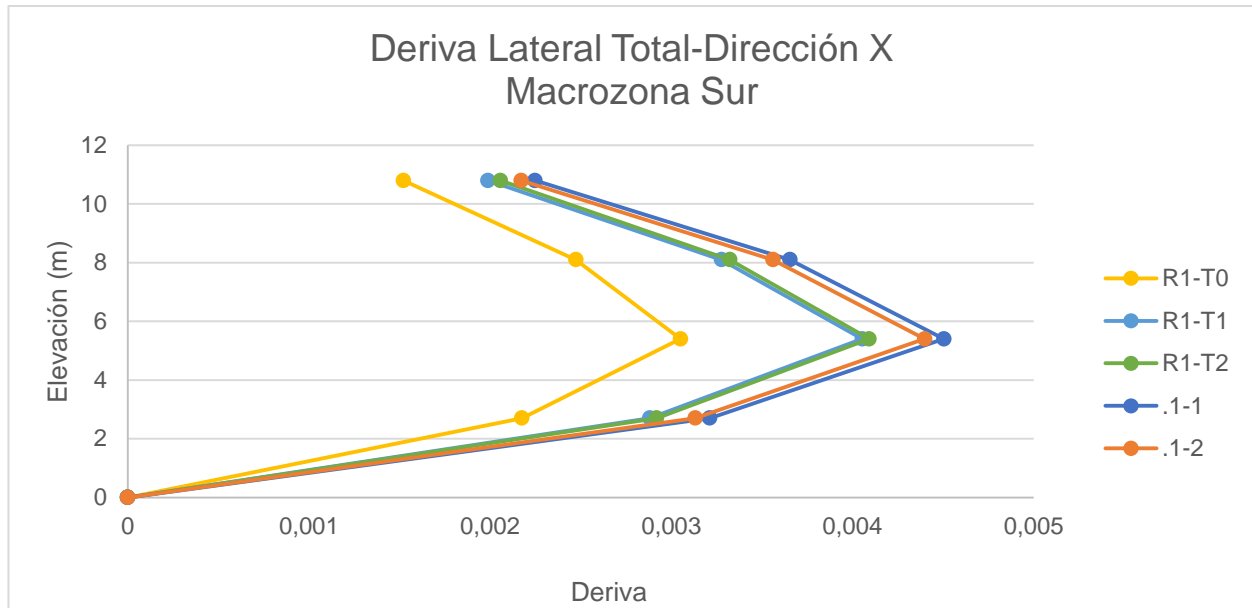
**Figura 17:** Cortante en la dirección Y de la macrozona centro sur (Elaboración propia).



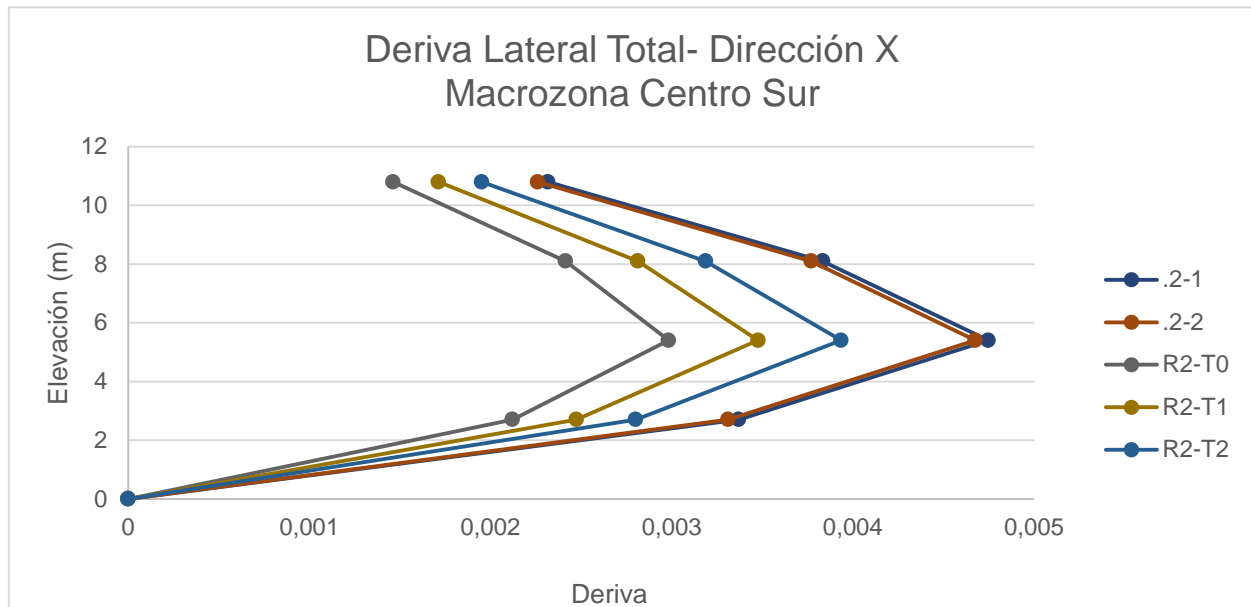
**Figura 18:** Cortante en la dirección Y de la macrozona centro norte (Elaboración propia).



**Figura 19:** Cortante en la dirección Y de la macrozona norte (Elaboración propia).



**Figura 20:** Deriva en la dirección X de la macrozona sur (Elaboración propia).



**Figura 21:** Deriva en la dirección X de la macrozona centro sur (Elaboración propia).

JUAN BUENO RAMÍREZ Y GUILLERMO BONILLA

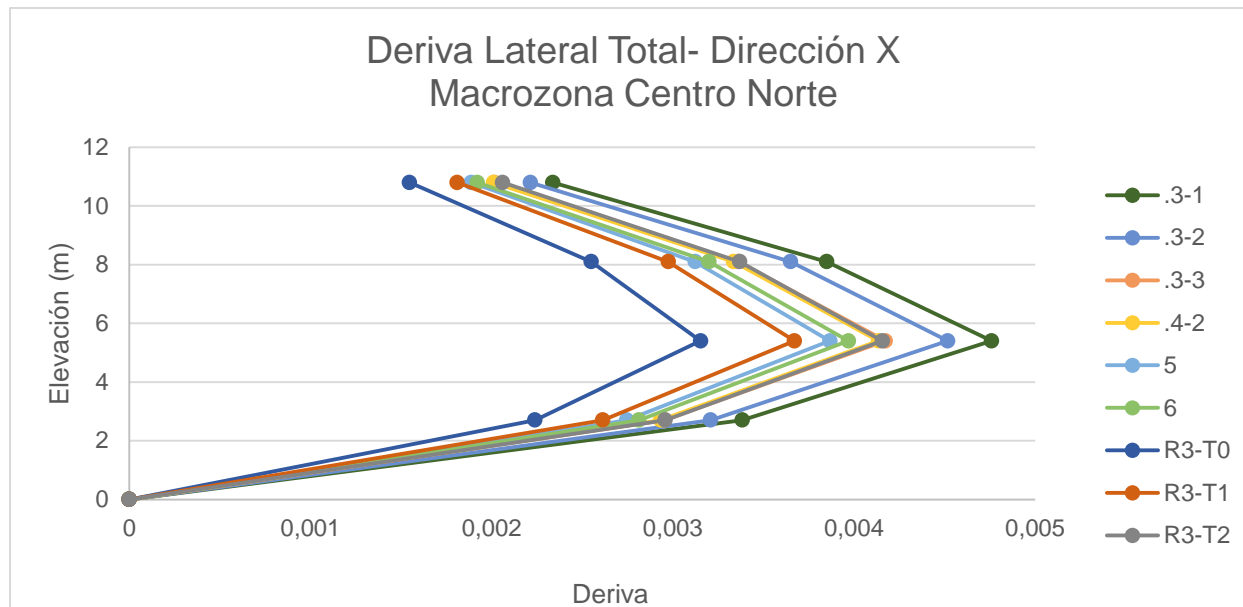


Figura 22: Deriva en la dirección X de la macrozona centro norte (Elaboración propia).

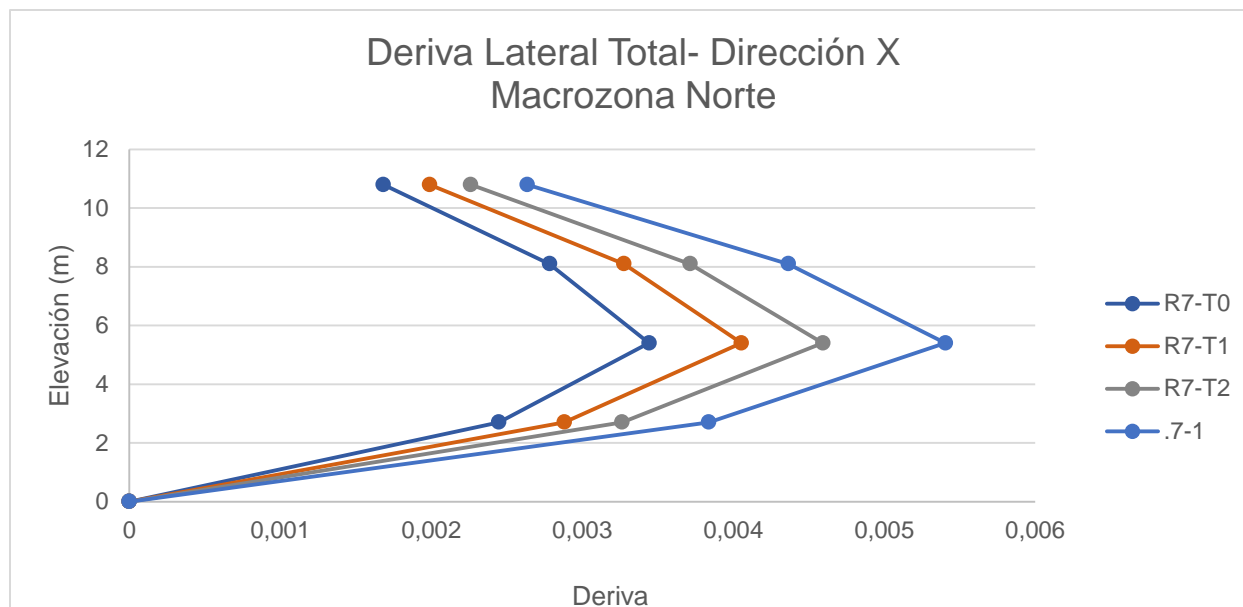
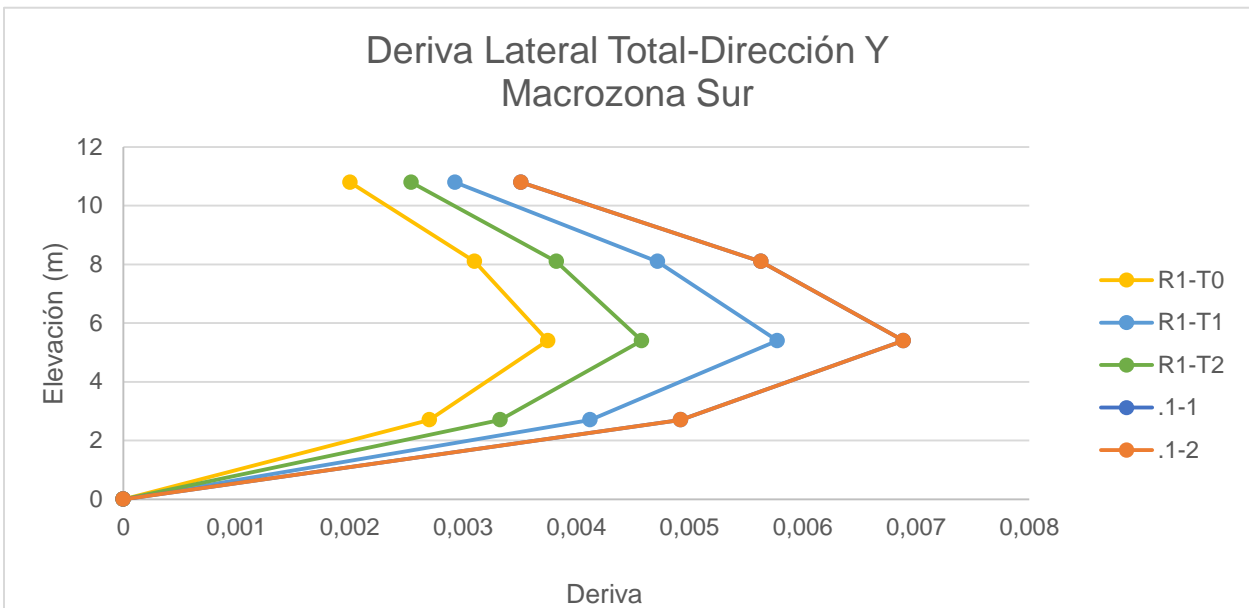
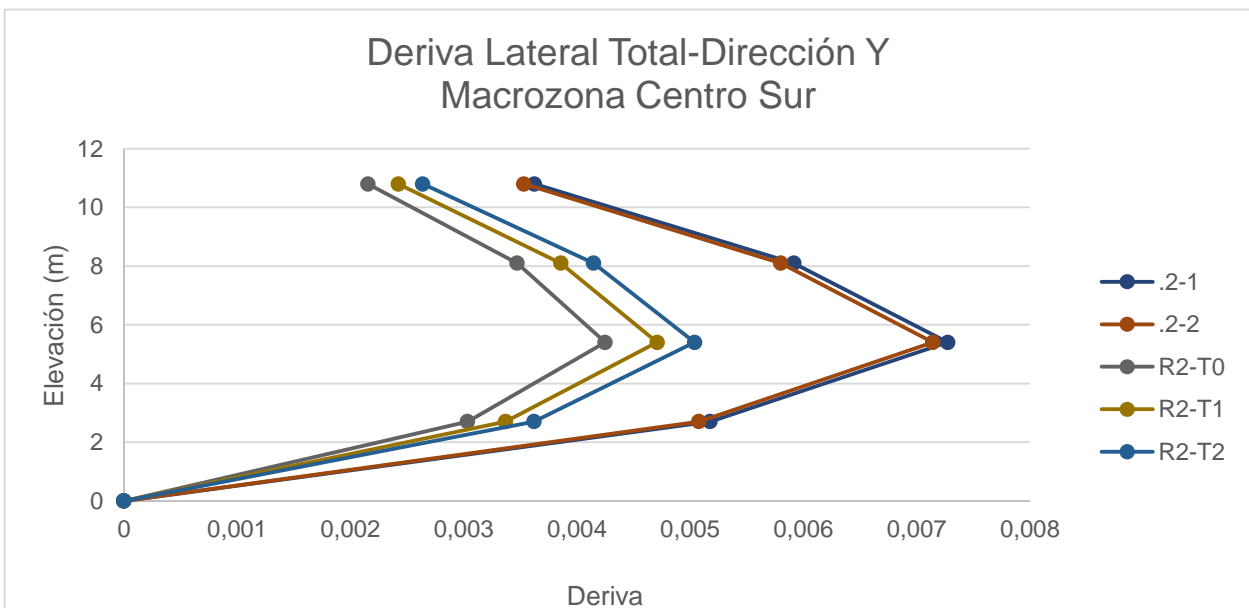


Figura 23: Deriva en la dirección X de la macrozona norte (Elaboración propia).

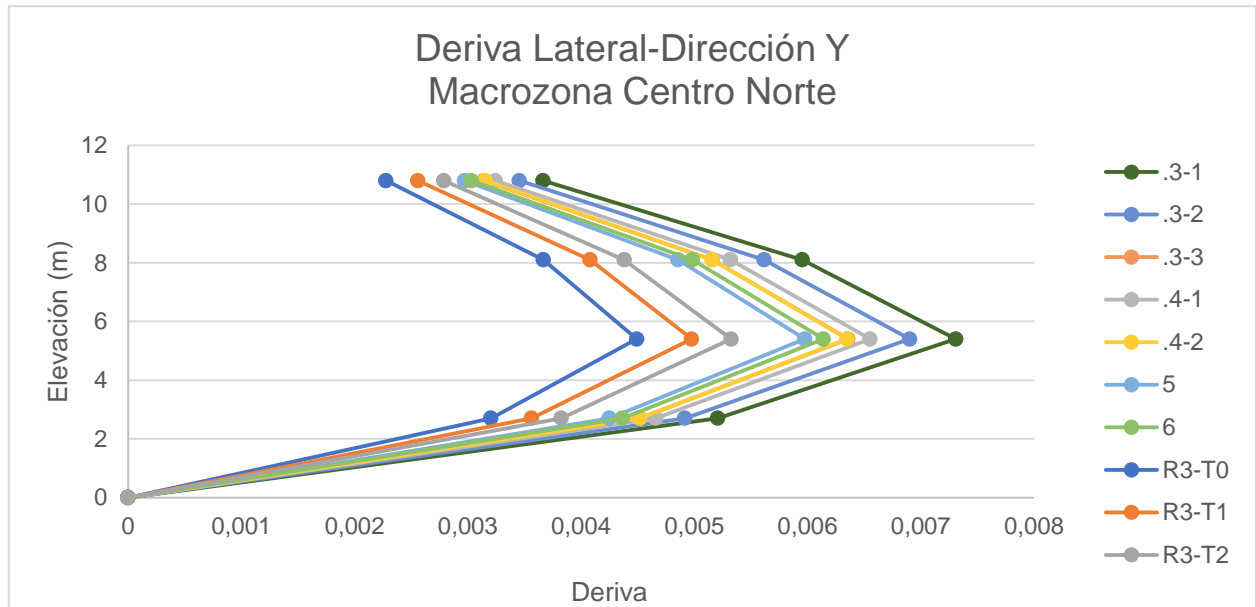




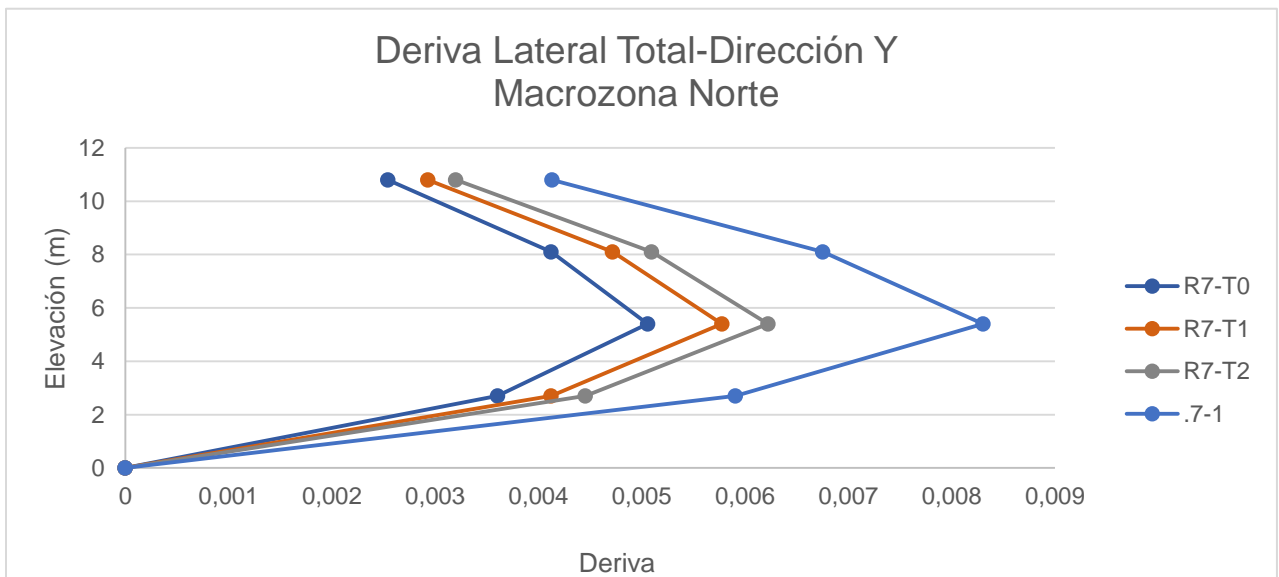
**Figura 24:** Deriva en la dirección Y de la macrozona sur (Elaboración propia).



**Figura 25:** Deriva en la dirección Y de la macrozona centro sur (Elaboración propia).



**Figura 26:** Deriva en la dirección Y de la macrozona centro norte (Elaboración propia).



**Figura 27:** Deriva en la dirección Y de la macrozona norte (Elaboración propia).