



**FACULTAD DE INGENIERIA**

**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

**“EVALUACIÓN DE LA FÓRMULA DE MAINSTONE  
COMPARANDOLA CON EL MÉTODO DE ELEMENTOS  
FINITOS EN PÓRTICOS DE CONCRETO CON  
MAMPOSTERÍA”**

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

presentado ante la

**UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO**

como parte de los requisitos para optar al título de

**INGENIERO CIVIL**

**REALIZADO POR:**

**Helen Arianna Barroso Paredes**

**María José De Sousa Ferreira**

**PROFESOR GUÍA:**

**ING. MAGLIONE DI GUIDA, PEDRO**

**FECHA:**

**Caracas, Junio del año 2016**

## **DEDICATORIA**

A mi mamá, Fabiola, que gracias a ella estoy logrando esta meta tan importante en mi vida y quien siempre me ha demostrado ser una mujer fuerte para que yo lo sea aún más ante los obstáculos de la vida.

A mi tía Karina, que todo el tiempo ha estado a mi lado en las buenas en las malas y en las peores, y siempre me ha ayudado aportando lo mejor de sí con su carisma y su cariño.

A mis hermanos que me dieron alegrías y fueron un respiro durante los momentos fuertes de la carrera.

A mi abuelo, Carlos, que estuvo pendiente de que mantuviera el foco en la meta hasta el final.

A Jorge, que nunca dudo en ayudarme con lo que fuese para lograr este éxito tan importante.

Helen Arianna Barroso Paredes

## **DEDICATORIA**

A mis Padres por todas las energías depositadas en mí. Por el cariño, apoyo moral y económico que siempre recibí. Es esta la ocasión para brindarles los frutos de su esfuerzo y bendecirlos para siempre. Sabiendo que no existirá forma alguna de agradecer una vida de sacrificios, esfuerzos y amor, quiero transmitirles que el objetivo alcanzado también es de ustedes y la fuerza que me ayudo a conseguirlos fue su gran apoyo.

A mi Abuelo, que desde el cielo es mi estrella y siempre guiara mis pasos.

A mi Abuela, que con la sabiduría de Dios me ha ensañado a ser quien soy hoy. Gracias por enseñarme a ser una luchadora, gracias por tus consejos, por el amor que me has dado y por tu apoyo incondicional. Gracias por llevarme siempre en tus oraciones.

A mis tías Margo y Luisa, quienes jamás encontraré la forma de agradecer el cariño, comprensión y apoyo brindado en los momentos buenos y malos de mi vida, hago este triunfo compartido. Mi tía Luisa quien fue mis pasos a seguir al decidir estudiar esta carrera.

A mis hermanos Daniel y Ori que yo sé que siempre voy a contar con su apoyo incondicional en las buenas y en las malas.

A mi tío Oscar quien siempre me brindó su apoyo incondicional.

María José De Sousa Ferreira.

## **AGRADECIMIENTOS**

Le agradecemos a Dios por habernos acompañado y guiado a lo largo de nuestra vida.

A nuestros padres Fabiola, Jorge, Beatriz y José que nos han conducido por la vida con amor y paciencia, hoy ven forjado un anhelo, una ilusión y un deseo. Gracias, por enseñarnos lo que han recogido a su paso por la vida, por compartir nuestras dificultades, momentos felices, ambiciones, sueños e inquietudes. Estimulando esta fase de nuestra vida de estudiante y alentándonos en el logro de nuestras aspiraciones. Por el tiempo que a ustedes pertenecía y que altruistamente nos concedieron.

A nuestro tutor, el Ing. Pedro Maglione. Por su tiempo, todo el material ofrecido y la confianza que depositó en nosotras y en el tema de este trabajo desde el inicio.

Agradecemos también al Ing. Eduardo López por compartir su experiencia y conocimientos en el manejo del software SAP2000, y su disposición de siempre aclarar las dudas que se presentaron en el camino.

Le agradecemos a nuestro compañero Carlos por sus horas dedicadas a solucionar nuestras dudas.

A Valeria, Leo y Angi por todas las horas de estudio y su apoyo durante toda la carrera; deseamos darles este pequeño agradecimiento y decirles que son los mejores y que nunca los olvidaremos. Gracias por todas las experiencias vividas.

*"Debes convertirte en el cambio que deseas ver en el mundo".*

Mahatma Gandhi

*"No te rindas que la vida es eso,  
Continuar el viaje,  
Perseguir tus sueños,  
Destruir el tiempo,  
Correr los escombros,  
Y destapar el cielo"*

Mario Benedetti.

## ÍNDICE GENERAL

|  | PÁG. N°   |
|--|-----------|
| <b>RESUMEN .....</b>                             | <b>10</b> |
| <b>INTRODUCCIÓN.....</b>                         | <b>11</b> |
| <b>CAPÍTULO I.....</b>                           | <b>12</b> |
| <b>EL PROBLEMA.....</b>                          | <b>13</b> |
| Planteamiento del Problema .....                 | 14        |
| Descripción General de los Modelos .....         | 15        |
| Objetivos de la Investigación.....               | 21        |
| Objetivo General.....                            | 21        |
| Objetivos Específicos .....                      | 22        |
| Justificación de la Investigación.....           | 22        |
| Alcance de la Investigación .....                | 23        |
| <b>CAPÍTULO II.....</b>                          | <b>24</b> |
| <b>MARCO TEÓRICO.....</b>                        | <b>24</b> |
| Antecedentes históricos de la Investigación..... | 24        |
| Bases Teóricas.....                              | 24        |
| Fundamentos Legales .....                        | 32        |
| <b>CAPÍTULO III .....</b>                        | <b>33</b> |
| <b>MARCO METODOLÓGICO .....</b>                  | <b>33</b> |
| Tipo y Diseño de Investigación .....             | 33        |
| Tipo .....                                       | 33        |
| Diseño .....                                     | 33        |
| Metodología de la Investigación.....             | 33        |

|   |            |
|---|------------|
| Técnicas para el análisis de los datos .....  | 34         |
| Operacionalización de los Objetivos.....  | 34         |
| <b>CAPÍTULO IV .....</b>  | <b>38</b>  |
| <b>DESARROLLO DEL TRABAJO .....</b>   | <b>38</b>  |
| Fase 1 – Selección de los modelos estructurales .....   | 38         |
| Fase 2 – Características de los materiales .....  | 52         |
| Fase 3 – Estimación de las cargas .....   | 52         |
| Fase 4 – Dimensionado de los miembros de las estructuras .....  | 53         |
| Fase 5 – Modelaje de la mampostería .....   | 59         |
| Fase 6 – Espectro sísmico .....   | 63         |
| Fase 7 – Combinaciones de carga .....   | 65         |
| Fase 8 – Corrida de los modelos .....   | 66         |
| Fase 9 – Propiedades dinámicas de los períodos .....  | 66         |
| Fase 10 – Ubicación de los períodos fundamentales en los espectros sísmicos para los diferentes modelos ..... | 68         |
| Fase 11 – Verificación del número de modos de vibración .....   | 70         |
| Fase 12 – Revisión del coeficiente sísmico y control del cortante basal .....                                 | 72         |
| Fase 13 – Respuesta dinámica: Cortantes de piso .....   | 77         |
| Fase 14 – Respuesta dinámica: Desplazamientos inelásticos .....   | 86         |
| Fase 15 – Respuesta dinámica: Derivas inelásticas.....  | 95         |
| Fase 16 – Comparación del porcentaje de acero en las columnas .....   | 104        |
| <b>CAPÍTULO V .....</b>   | <b>112</b> |
| <b>CONCLUSIONES.....</b>  | <b>112</b> |
| <b>CAPÍTULO VI.....</b>   | <b>118</b> |
| <b>RECOMENDACIONES .....</b>  | <b>118</b> |

**PÁG. N°**

|   |            |
|---|------------|
| <b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>                 | <b>119</b> |
| <b>ANEXO (CD con versión electrónica)</b> |            |

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

**PÁG. N°**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Figura 1.1:</b> Deformación bajo cargas laterales de pórtico .....                         | <b>13</b> |
| <b>Figura 1.2:</b> Puntal diagonal equivalente .....  | <b>14</b> |
| <b>Figura 1.3:</b> Geometría del puntal .....   | <b>14</b> |
| <b>Figura 1.4:</b> Bloque de pared 15x20x30 .....   | <b>16</b> |
| <b>Figura 1.5:</b> Planta típica de las edificaciones .....                                   | <b>17</b> |
| <b>Figura 1.6:</b> Modelo S/T de 4 niveles.....   | <b>18</b> |
| <b>Figura 1.7:</b> Modelo S/T de 12 niveles .....   | <b>19</b> |
| <b>Figura 1.8:</b> Modelo S/T de 24 niveles .....   | <b>20</b> |
| <b>Figura 1.9:</b> Geometría del puntal .....   | <b>21</b> |
| <b>Figura 4.1:</b> Modelo S/T de 4 Niveles. (Pórtico A,B,C,D) .....                           | <b>39</b> |
| <b>Figura 4.2:</b> Modelo Elementos Finitos de 4 Niveles. (Pórtico A=D y Pórtico B=C) .....   | <b>40</b> |
| <b>Figura 4.3:</b> Modelos Fórmula de Mainstone de 4 Niveles. (Pórtico A=D y Pórtico B=C) ... | <b>41</b> |
| <b>Figura 4.4:</b> Modelo S/T de 12 Niveles. (Pórtico A,B,C,D).....                           | <b>42</b> |
| <b>Figura 4.5:</b> Modelo Elementos Finitos de 12 Niveles. (Pórtico A=D) .....                | <b>43</b> |
| <b>Figura 4.6:</b> Modelo Elementos Finitos de 12 Niveles. (Pórtico B=C) .....                | <b>44</b> |
| <b>Figura 4.7:</b> Modelo Fórmula de Mainstone de 12 Niveles. (Pórtico A=D) .....             | <b>45</b> |
| <b>Figura 4.8:</b> Modelo Fórmula de Mainstone de 12 Niveles. (Pórtico B=C).....              | <b>46</b> |
| <b>Figura 4.9:</b> Modelo S/T de 24 Niveles. (Pórtico A,B,C,D).....                           | <b>47</b> |

|   |            |
|---|------------|
| <b>Figura 4.10:</b> Modelo Elementos Finitos de 24 Niveles. (Pórtico A=D) .....   | <b>48</b>  |
| <b>Figura 4.11:</b> Modelo Elementos Finitos de 24 Niveles. (Pórtico B=C) .....   | <b>49</b>  |
| <b>Figura 4.12:</b> Modelo Fórmula de Mainstone de 24 Niveles. (Pórtico A=D) .....  | <b>50</b>  |
| <b>Figura 4.13:</b> Modelo Fórmula de Mainstone de 24 Niveles. (Pórtico B=C).....   | <b>51</b>  |
| <b>Figura 4.14:</b> A la izquierda: Cargas triangulares sobre las vigas. A la derecha: Área tributaria para las columnas..... | <b>54</b>  |
| <b>Figura 4.15:</b> Ejemplo de la aplicación Fórmula de Mainstone .....   | <b>60</b>  |
| <b>Figura 4.16:</b> Espectro elástico e inelástico de la Norma Covenin.....   | <b>64</b>  |
| <b>Figura 4.17:</b> Espectro de Diseño .....  | <b>65</b>  |
| <b>Figura 4.18:</b> Espectro de Diseño, período fundamental T y aceleración Ad para los modelos de 4 niveles .....            | <b>69</b>  |
| <b>Figura 4.19:</b> Espectro de Diseño, período T y aceleración Ad para edificios de 12 niveles...                            | <b>69</b>  |
| <b>Figura 4.20:</b> Espectro de Diseño, período fundamental T y aceleración Ad para los modelos de 24 niveles .....           | <b>70</b>  |
| <b>Figura 5.1:</b> Espectro de Diseño, período fundamental T y aceleración Ad para los modelos de 4 niveles .....             | <b>113</b> |
| <b>Figura 5.2:</b> Espectro de Diseño, período fundamental T y aceleración Ad para modelos de 12 niveles .....                | <b>114</b> |
| <b>Figura 5.3:</b> Espectro de Diseño, período fundamental T y aceleración Ad para los modelos de 24 niveles .....            | <b>114</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   | PÁG. N° |
|---|---------|
| <b>Tabla 4.1:</b> Dimensiones Definitivas para Modelos de 4 niveles .....               | 55      |
| <b>Tabla 4.2:</b> Dimensiones Definitivas para Modelos de 12 niveles .....              | 56      |
| <b>Tabla 4.3:</b> Dimensiones Definitivas para Modelos de 24 niveles .....              | 57      |
| <b>Tabla 4.4:</b> Valores de “a” para edificios de 4 niveles.....                       | 61      |
| <b>Tabla 4.5:</b> Valores de “a” para edificios de 12 niveles.....                      | 61      |
| <b>Tabla 4.6:</b> Valores de “a” para edificios de 24 niveles.....                      | 62      |
| <b>Tabla 4.7:</b> Factores de reducción R (Covenin 1756-2001) .....                     | 63      |
| <b>Tabla 4.8:</b> Parámetros Utilizados (Covenin 1756-2001) .....                       | 64      |
| <b>Tabla 4.9:</b> Combinaciones Utilizadas .....  | 65      |
| <b>Tabla 4.10:</b> Valores del período para los modelos de 4 niveles .....              | 66      |
| <b>Tabla 4.11:</b> Valores del período para los modelos de 12 niveles .....             | 67      |
| <b>Tabla 4.12:</b> Valores del período para los modelos de 24 niveles .....             | 68      |
| <b>Tabla 5.1:</b> Comparación de Deriva Inelástica para los modelos de 4 niveles .....  | 115     |
| <b>Tabla 5.2:</b> Comparación de Deriva Inelástica para los modelos de 12 niveles ..... | 115     |
| <b>Tabla 5.3:</b> Comparación de Deriva Inelástica para los modelos de 24 niveles ..... | 116     |

## **RESUMEN**

En el cálculo estructural de edificios, por lo general, se desprecia la mampostería, sin embargo su contribución estructural es importante y debería ser tomada en cuenta en el proceso del cálculo. Ella es considerada normalmente por la mayoría de los calculistas sólo como una sobrecarga uniforme para la estructura y se la ignora para el análisis y diseño estructural, a pesar de que no tomarla en cuenta no está siempre del lado de la seguridad. La interacción entre la tabiquería y la estructura bajo cargas laterales altera significativamente las características dinámicas de la misma y por lo tanto, su respuesta a las cargas sísmicas.

En este trabajo especial de grado se evaluará la interacción entre tabiquería y estructura usando el método de elementos finitos y el método sugerido por el ingeniero Mainstone a través de diagonales equivalentes.

A tal fin se construirán modelos estructurales de 4, 12 y 24 niveles, para uso residencial, situando los edificios en la zona sísmica 5, con suelo S2, analizándolos mediante el programa SAP y aplicando la Norma COVENIN 1756-2001.

La generación de los Cortantes, Desplazamientos y Derivas de Piso permitirá representar el comportamiento de las estructuras y apreciar la contribución de la tabiquería en la respuesta de cada sistema estructural.

## **INTRODUCCIÓN**

El estudio ha sido dividido en 6 Capítulos (I, II, III, IV, V y VI).

En el Capítulo I, EL PROBLEMA se desarrolla la formulación del Objetivo General y los Objetivos Específicos y se tratan los enfoques que justificaron la investigación así como el alcance de la misma.

En el Capítulo II, se desarrolla el MARCO TEÓRICO de la investigación, el cual consta de los antecedentes históricos, las bases teóricas y los fundamentos legales.

En el Capítulo III, se desarrolla el MARCO METODOLÓGICO usado en el *Los Tres Modelos*. En él se presentan el tipo y diseño de la Investigación, su Metodología, las técnicas para el análisis de los datos y la operacionalización de los objetivos.

En el Capítulo IV, se desarrolla el trabajo propio del análisis y evaluación.

En el Capítulo V, se desarrolla las CONCLUSIONES del trabajo especial de grado.

En el Capítulo VI, se desarrollan las recomendaciones.

Finalmente en la página 118 se presentan las referencias bibliográficas consultadas para el presente estudio.

Se anexa un CD que contiene este trabajo especial de grado en forma electrónica.

## **CAPÍTULO I: EL PROBLEMA**

### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **Criterio de la Norma Venezolana:**

En las normas venezolanas, respecto a la incorporación de la tabiquería al análisis estructural, únicamente se menciona lo siguiente (Apartado 6.5.2, Covenin 1756-2001, página 30):

#### **a) Irregularidades Verticales**

##### **“a.1.) Entrepiso blando**

... En el cálculo de las rigideces se incluirá la contribución de la tabiquería; en el caso de que su contribución sea mayor para el piso inferior que para los superiores, ésta se podrá omitir.”

##### **“a.2) Entrepiso débil**

... En la evaluación de la resistencia de los entrepisos se incluirá la contribución de la tabiquería; en el caso de que su contribución sea mayor para el piso inferior que para los superiores, ésta se podrá omitir.”

La norma está muy clara, sin embargo la interrogante que queda de la lectura de la misma es como incorporar la contribución de la mampostería.

## Incorporación de la Mampostería

Existen varios caminos para estudiar el tema. En este trabajo se incorporará la mampostería a las estructuras basándonos en:

- Método de elementos finitos, donde se toma en cuenta la tabiquería a través de elementos finitos tipo "Shell – Thin", es decir de concha delgada, del mismo espesor de las paredes.
- Método basado en diagonales equivalentes, específicamente el desarrollado por el Ing. Mainstone, donde la tabiquería es simulada con puntales equivalentes excéntricos. Para comprender un poco en que consiste este método, es importante describir qué ocurre con una tabiquería confinada sometida a una fuerza horizontal.

Ensayos experimentales bajo cargas laterales han resultado en situaciones similares a las mostradas en la siguiente figura:

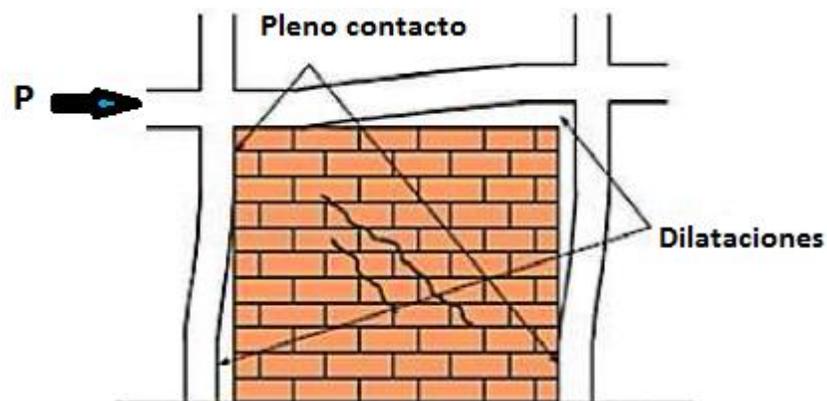


Figura 1.1 Deformación bajo cargas laterales de un pórtico.

Durante estos ensayos se forman grietas diagonales en el centro del panel y se originan dilataciones entre el pórtico y la mampostería. Este comportamiento se observa en las esquinas diagonales no cargadas de los modelos, mientras que en las dos esquinas diagonales cargadas

se observa pleno contacto. Esta conducta, inicialmente observada por Polyakov en el año 1960, condujo a una simplificación del análisis del pórtico – mampostería con una diagonal o puntal equivalente de mampostería en compresión.

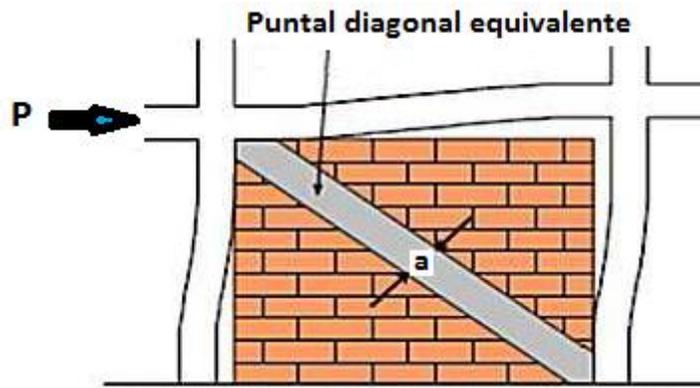


Figura 1.2 Puntal diagonal equivalente.

El puntal equivalente de mampostería de ancho “a”, con las mismas propiedades mecánicas de la mampostería (como el módulo de elasticidad  $E_m$ ) se asume simplemente apoyado en los dos extremos del pórtico de confinamiento.

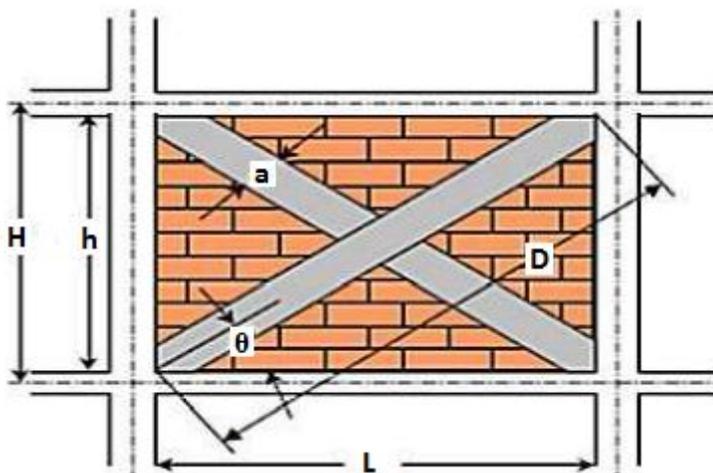
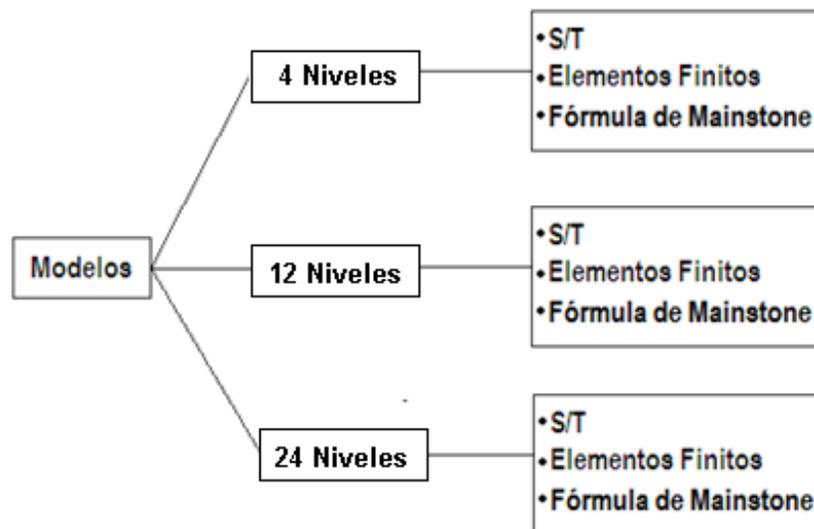


Figura 1.3 Geometría del puntal.

Basado en el comportamiento anterior, Mainstone desarrolló una fórmula donde hace depender el ancho “a” del puntal equivalente de la diagonal “D”, del ángulo de inclinación “ $\theta$ ” del puntal, de los módulos de elasticidad del concreto  $E_c$  y de la mampostería  $E_m$ , del espesor de la pared, de la altura de la pared y de las rigideces de las columnas.

## 1.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS MODELOS

Para el estudio de la incorporación de la tabiquería, se modelaron tres edificios con la misma planta y luces, pero diferentes número de niveles. Cada uno de ellos fue analizado de tres formas diferentes:



### Terminología anterior:

Se entiende por “S/T” el análisis al modelo sin considerar la contribución de la tabiquería.

Se entiende por “Elementos Finitos” el análisis al modelo considerando la contribución de la tabiquería a través del Método de Elementos Finitos.

Se entiende por “Fórmula de Mainstone” el análisis al modelo considerando la contribución de la tabiquería a través de diagonales equivalentes del Ing. Mainstone.

Características de los modelos estudiados:

- Uso: edificación residencial.
- Tipo de estructura: Tipo I.
- Número de niveles: 4, 12 y 24.
- Área de las plantas tipo: 324 m<sup>2</sup>
- Altura: La altura de cada piso es de 3 m.
- Dimensiones: edificios simétricos en ambas direcciones (Este-Oeste y Norte-Sur). Las plantas son de 18 m x 18 m, con pórticos de luces de 6 m.
- Sistema Estructural de piso: El sistema de piso esta constituido por losas macizas de 13cm de altura, armadas en dos direcciones.
- Tabiquería: La fachada y las paredes interiores de los modelos están formadas por bloques de arcilla frisados por ambas caras de 15 cm de espesor como el de la siguiente imagen:



Figura 1.4 Bloques de pared 15x20x30.

En la figura a continuación, puede verse la modulación estructural de las plantas (es la misma para los 3 modelos de edificios), donde en color naranja se aprecia la ubicación de las paredes de fachada y de las paredes interiores.

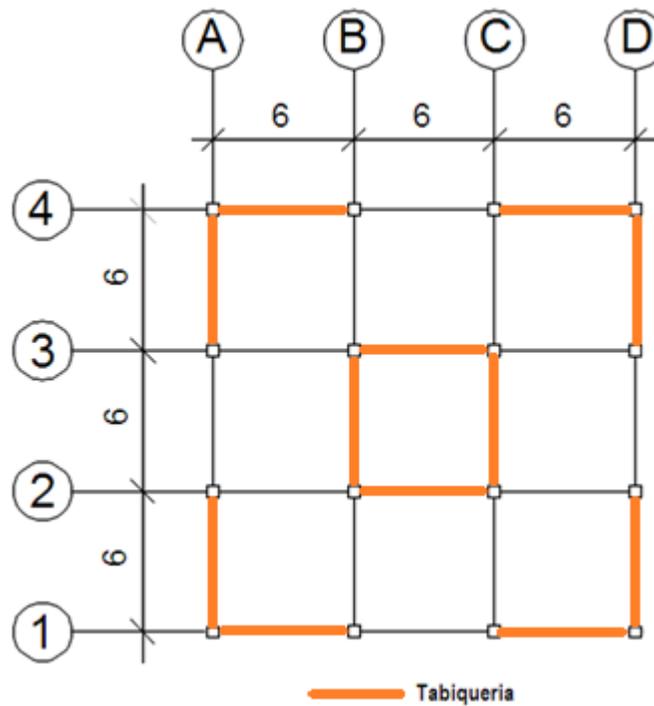


Figura 1.5 Planta típica de las edificaciones.

La estructura tiene 16 columnas (12 perimetrales o de fachada y 4 centrales). Todas las columnas tienen forma cuadrada, variando la sección de nivel a nivel.

En las figuras siguientes, puede verse el esquema estructural de los modelos en tres dimensiones:

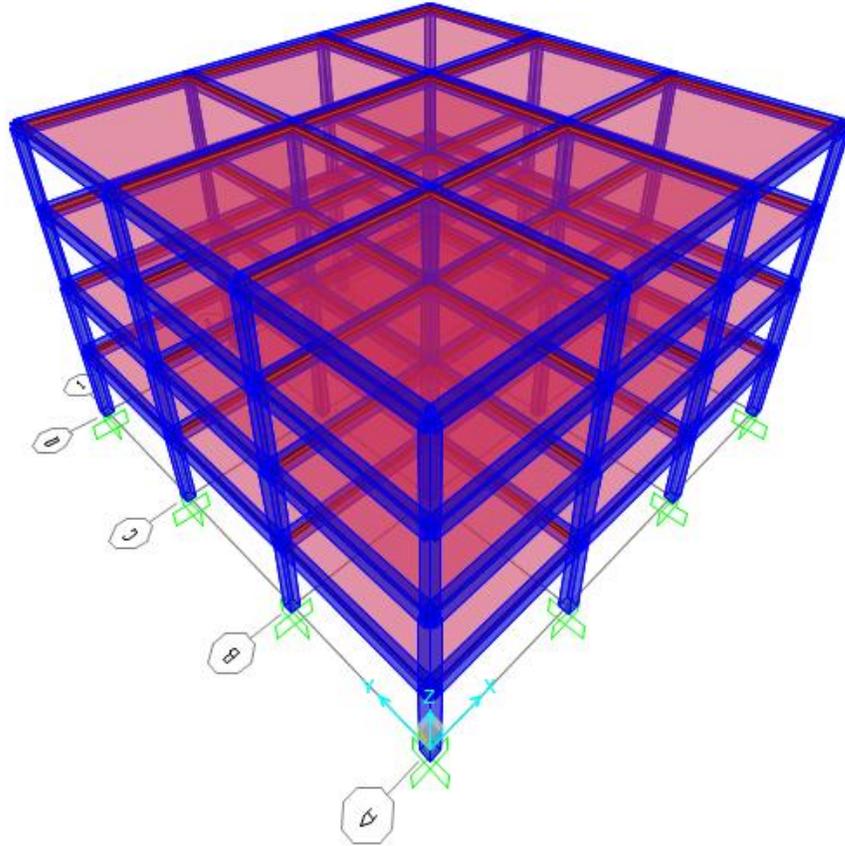


Figura 1.6 Modelo S/T de 4 niveles.

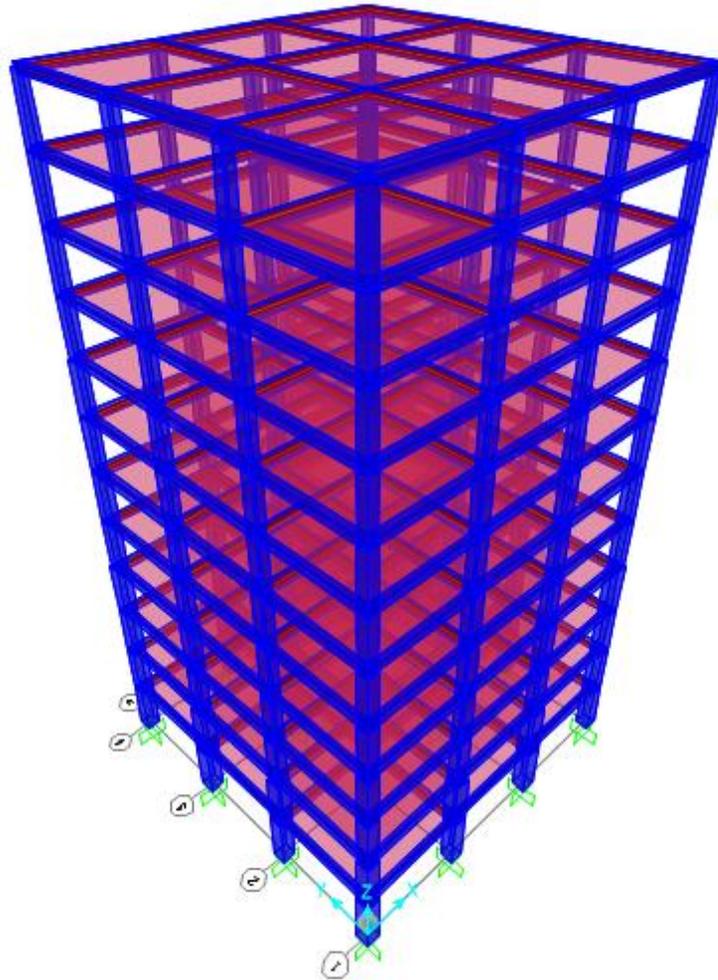


Figura 1.7 Modelo S/T de 12 niveles.

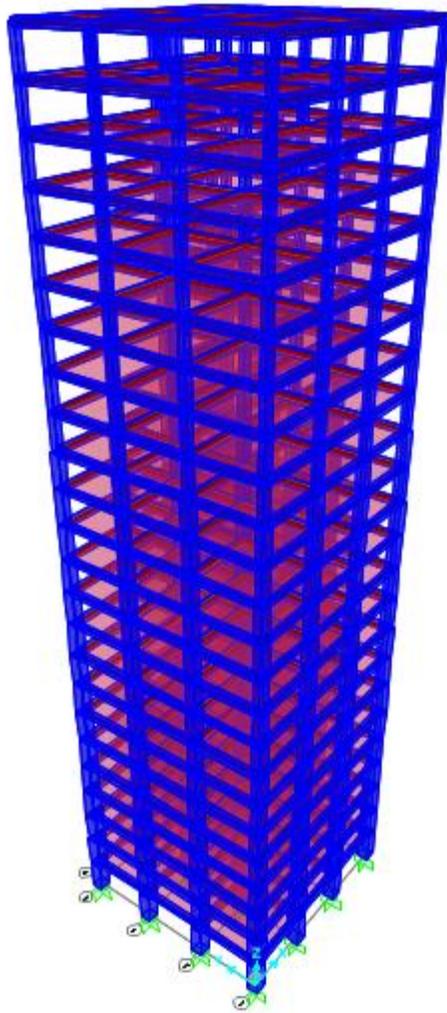


Figura 1.8 Modelo S/T de 24 niveles.

### 1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

#### Objetivo General

Esta investigación está orientada a la verificación en el análisis elástico de la fórmula desarrollada por el Dr. Rowland J. Mainstone en el año 1971, donde incorpora la tabiquería a los modelos estructurales a través de diagonales equivalentes.

Se compararán, en modelos de pórticos de concreto con mampostería, los resultados del comportamiento estructural de los modelos adquiridos por esta fórmula con los obtenidos basados en el método de elementos finitos tipo “Shell – Thin”, es decir de concha delgada.

Como consecuencia de lo anterior, se verificará también la importancia de incorporar la tabiquería en el análisis estructural comparando los resultados anteriores con los modelos sin la incorporación de la mampostería.

La fórmula de Mainstone es la siguiente:

$$a = 0.175 D \lambda_l H^{-0.40} \quad (1.1)$$

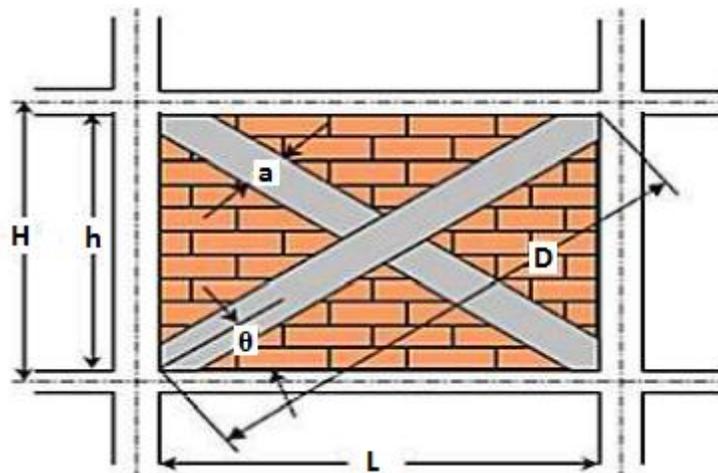


Figura 1.9 Geometría del puntal.

En esta fórmula Mainstone combinó los estudios hechos por el Ing. Holmes en el año 1961, el cual había definido un ancho “a” de la diagonal equivalente por medio de la siguiente fórmula:  $a = L/3$  con los estudios del Ing. Stafford en los años 1962 – 1966, que relacionaban la rigidez de la mampostería con la rigidez del pórtico a través de la siguiente fórmula:

$$\lambda_I = \frac{E_m t \operatorname{sen} 2\theta}{4 E_c I_{col} h} \frac{1}{4} \quad (1.2)$$

Donde  $\lambda_I$  es la rigidez relativa,  $I_{col}$  es la inercia de las columnas,  $h$  es la altura entre vigas,  $H$  es la altura de entrepisos,  $E_m$  es el módulo de elasticidad de la mampostería,  $E_c$  es el módulo de elasticidad del concreto,  $D$  es la longitud del puntal,  $\theta$  es el ángulo de inclinación del puntal, y  $t$  es el espesor de la mampostería como se aprecia en la figura anterior.

### **Objetivos Específicos**

- Construir estructuras regulares de modelos con mampostería y con diferentes números de niveles.
- Obtener las propiedades dinámicas de los modelos.
- Someter los modelos a un hipotético sismo de acuerdo a la Norma Vigente.
- Calcular los desplazamientos y derivas de los modelos.
- Evaluar los resultados obtenidos por la fórmula de Mainstone con los obtenidos por el método de elementos finitos.

## **1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

Verificar en varios modelos la contribución de la tabiquería en el análisis estructural.

Verificar semejanzas y diferencias en la incorporación de la tabiquería al análisis estructural a través del Método de Elementos Finitos y Fórmula de Mainstone.

## **1.5 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN**

El presente trabajo está limitado a mamposterías sin aberturas.

El caso de mampostería con aberturas es más complejo. Algunos estudios están proponiendo, para el caso de tabiquerías con aberturas, un factor de reducción del ancho "a", dependiendo del porcentaje de abertura respecto al área enmarcada por las columnas y por las vigas. Este factor en los actuales estudios está indicando que si el porcentaje de abertura es menor al 5%, no es necesaria reducción alguna y si es mayor al 40% debe despreciarse totalmente la tabiquería.

## **CAPÍTULO II : MARCO TEÓRICO**

### **2.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN**

Se conoce de investigaciones de edificios con incorporación de la tabiquería al análisis a través del Método de Elementos Finitos y a través de la Fórmula de Mainstone pero separadamente. No se conocen investigaciones comparativas entre el Método de Elementos Finitos y la Fórmula de Mainstone.

### **2.2 BASES TEÓRICAS**

Para este estudio fue necesario apoyarse en los conceptos y conocimientos básicos del diseño y cálculo estructural. En este sentido se definen los siguientes conceptos relacionados con este trabajo:

**Acabado:** último tratamiento o capa superficial que recibe un elemento de la construcción.

**Acciones:** fenómenos que producen cambios en el estado de tensiones y deformaciones en los elementos de una edificación.

**Acciones accidentales.** Acciones que en la vida útil de la edificación tienen una pequeña probabilidad de ocurrencia, de corta duración, como las acciones debidas al sismo, al viento y similares.

**Acciones mayoradas.** Acciones que resultan de aplicar a las cargas y fuerzas de diseño los factores de mayoración.

**Acciones permanentes.** Representa las cargas gravitatorias debidas al peso de todos los componentes estructurales y no estructurales, tales como muros, pisos, techos, tabiques, equipos de servicio unidos a la estructura y cualquiera otra carga de servicio fija.

**Acción sísmica.** Acción accidental debida a la ocurrencia de sismos, la cual incorpora los efectos traslacionales y los rotacionales respecto al eje vertical.

**Acciones variables.** Carga originada por el uso y ocupación del edificio, excluidas las cargas permanentes, de viento o sismo.

**Aceleración de diseño.** Valor de la aceleración del terreno para el diseño sismorresistente de obras de ingeniería.

**Análisis.** Determinación, según modelos matemáticos, de las respuestas correspondientes a las acciones previstas.

**Análisis dinámico.** En sistemas elásticos es un análisis de superposición modal para obtener la respuesta estructural a las acciones dinámicas. En sistemas inelásticos es un análisis en el cual se calcula la historia en el tiempo de la respuesta estructural a las acciones dinámicas.

**Análisis estructural.** Determinación de las solicitaciones en los elementos de una estructura.

**Cabilla.** Término que en Venezuela se usa por barra para concreto armado.

**Carga admisible:** carga que induce la tensión máxima admisible o permitida calculada en la sección crítica.

**Carga de servicio.** Carga que probabilísticamente se espera ocurra durante la vida útil de la edificación debida a su ocupación y uso habitual.

**Carga mayorada.** Carga de servicio multiplicada por los factores de mayoración indicados en las Normas Covenin correspondientes al material utilizado.

**Carga permanente.** Carga debida al peso propio de la estructura y de todos los materiales o elementos constructivos soportados por ella en forma permanente, tales como pavimentos, rellenos, paredes, friso, instalaciones fijas, etc.

**Carga variable.** Carga debida a la ocupación o uso habitual de la estructura, incluyendo los tabiques removibles y las grúas móviles.

**Cedencia.** Condición del sistema resistente a sismos, caracterizada por aumentos considerables de los desplazamientos, para pequeños incrementos del cortante basal.

**Centro de cortante.** Punto donde actúa la fuerza cortante en un nivel, considerando que las fuerzas horizontales en cada nivel actúan en los centros de masa respectivos.

**Centro de rigidez de un nivel.** Punto del nivel donde al aplicar una fuerza cortante horizontal, el nivel se traslada sin rotar respecto al nivel inferior.

**Coefficiente de aceleración horizontal.** Cociente de la aceleración horizontal máxima entre la aceleración de la gravedad

**Coefficiente sísmico.** Cociente entre la fuerza cortante horizontal de diseño que actúa en el nivel de base y el peso total por encima del mismo.

**Conexión.** Combinación de juntas para transmitir fuerzas entre dos o más miembros.

**Covenin.** Es la comisión venezolana de normas industriales.

**Deriva.** Diferencia de los desplazamientos laterales totales entre dos niveles o pisos consecutivos.

**Desplazamiento lateral:** el movimiento lateral de una estructura bajo la acción de cargas laterales, cargas verticales asimétricas, o propiedades asimétricas de la estructura.

**Diafragma.** Parte de la estructura, generalmente horizontal, con suficiente rigidez en su plano, diseñada para transmitir las fuerzas a los elementos verticales del sistema resistente a sismos.

**Ductilidad.** Capacidad que poseen los componentes de un sistema estructural de hacer incursiones alternantes en el dominio inelástico, sin pérdida apreciable en su capacidad resistente.

**Edificación.** Es una estructura que posee diafragmas, que compatibilizan los desplazamientos horizontales de los miembros que llegan a ese nivel.

**Entrepiso.** Espacio entre dos pisos consecutivos.

**Entrepiso blando.** Configuración caracterizada por una marcada diferencia de rigideces entre niveles adyacentes.

**Entrepiso débil.** Configuración caracterizada por una marcada diferencia de resistencias entre niveles adyacentes.

**Espectro.** Representación gráfica de los valores máximos de una serie cronológica en función de sus frecuencias o períodos.

**Espectro de diseño.** Espectro que incorpora el factor de reducción de respuesta correspondiente al sistema resistente a sismos adoptado.

**Espectro de respuesta:** representa la respuesta máxima de osciladores de un grado de libertad y de un mismo coeficiente de amortiguamiento, sometidos a una historia de aceleraciones dadas, expresada en función del período.

**Factor de ductilidad.** Valor que describe la ductilidad global esperada del sistema resistente a sismos, el cual cuantifica la relación entre los desplazamientos máximos reales y los desplazamientos calculados suponiendo un comportamiento elástico lineal de la estructura.

**Factor de reducción de respuesta.** Factor que divide las ordenadas del espectro de respuesta elástica para obtener el espectro de diseño.

**Frecuencia estructural.** Es la cantidad de oscilaciones que ocurren en una estructura en una (1) unidad de tiempo.

**Fuerza cortante basal:** fuerza cortante horizontal originada por acciones sísmicas en el nivel de la base.

**Fuerzas de diseño.** Fuerzas que representan la acción sísmica sobre la edificación o sus componentes; están especificadas a nivel de cedencia.

**Fuerzas sísmicas.** Fuerzas externas, capaces de reproducir los valores extremos de los desplazamientos y las solicitaciones internas causadas por la excitación sísmica actuando en el nivel de base.

**Infraestructura.** Parte de la estructura o sistema estructural que transfiere al terreno las solicitaciones máximas de la edificación.

**Losa maciza.** Estructura monolítica de dimensiones que por su geometría y condiciones de apoyo está reforzada preponderantemente en una dirección.

**Mampostería.** Es la obra hecha con ladrillos, bloques, adobes o piedras que se unen con mortero.

**Modelo matemático.** Formulación de la situación real en forma idealizada, adecuada para el cálculo y con propósitos de predicción y control.

**Modelo S/T.** Representación del modelo matemático de los edificios de 4, 12 y 24 niveles donde no se toma en cuenta la contribución de la tabiquería al análisis.

**Modelo “Elementos Finitos”.** Representación del modelo matemático de los edificios de 4, 12 y 24 niveles donde se toma en cuenta la contribución de la tabiquería al análisis a través del Método de Elementos Finitos.

**Modelo “Fórmula de Mainstone”.** Representación del modelo matemático de los edificios de 4, 12 y 24 niveles donde se toma en cuenta la contribución de la tabiquería al análisis a través del Método de diagonales equivalentes del Ing. Mainstone.

**Modo de vibración:** es un patrón o forma característica en el que vibrará un sistema mecánico. La mayoría de los sistemas tienen muchos modos de vibración y es tarea del análisis modal determinar la forma de esos modos. La vibración de una estructura es siempre una combinación o una mezcla de todos los modos de vibración. Pero no todos están excitados al mismo grado.

**Momento torsor.** Suma de los pares torsores en cada nivel por encima del nivel considerado, incluido éste, más el momento torsor normal a ese nivel, producto de la fuerza cortante del nivel multiplicada por su excentricidad.

**Nivel de base.** Nivel de la edificación donde se admite que las acciones sísmicas se transmiten a la estructura.

**Nivel de diseño.** Conjunto de requisitos normativos asociadas a un determinado factor de reducción de respuesta, que se aplica en el diseño de miembros del sistema resistente a sismos, tipificados en la Norma Covenin 1756-2001.

**Período estructural.** Es el tiempo que tarda la estructura en realizar una (1) oscilación completa. Al período correspondiente al primer modo de vibración, que es el mayor, se le conoce como período fundamental de la estructura.

**Piso.** Cada uno de las plantas que integran la edificación.

**Pórtico.** Sistema estructural constituido por vigas y columnas.

**Pórticos desplazables.** Son pórticos cuyos desplazamientos laterales pueden alcanzar valores significativos. Generalmente son pórticos no arriostrados.

**Pushover:** Es un análisis estático no lineal, este método consiste en determinar como la estructura se va deformando y como se van generando las rotulas plásticas a medida que se aumenta la deformación de un punto de control.

**Rigidez lateral de un entrepiso.** Resultado de dividir la fuerza cortante y la diferencia de desplazamientos laterales elásticos entre los dos pisos del entrepiso en consideración.

**Sistema resistente a sismos.** Parte del sistema estructural que se considera suministra a la edificación la resistencia, rigidez y ductilidad necesarias para soportar las acciones sísmicas.

**Superestructura.** Parte de la estructura de la edificación por encima de la cota superior de la base o losa de pavimento, o de la placa de fundación.

**Tabique.** Es una pared que no cumple función estructural sino la de dividir o limitar espacios.

**Vida útil.** Tiempo o duración en la cual se supone que una edificación se va a utilizar para el propósito que fue diseñada. En la Norma Covenin 1756-2001 se supone una vida útil de 50 años.

**Zona sísmica.** Zona geográfica en la cual se admite que la máxima intensidad esperada de las acciones sísmicas, en un período de tiempo prefijado, es similar en todos sus puntos.

## **2.3 FUNDAMENTOS LEGALES**

Para este trabajo se aplicarán las normas vigentes en Venezuela, tales como la Norma COVENIN 1756-2001 “Edificaciones Sismorresistentes” y la Norma COVENIN 2002-1988 “Criterios y acciones mínimas para el proyecto de edificaciones”.

## **CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO**

### **3.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

#### **Tipo**

El tipo de estudio, tratándose de la evaluación de la Fórmula de Mainstone comparándola con el Método de Elementos Finitos en pórticos de concreto con mampostería, se enmarca dentro de una investigación tipo evaluativa.

#### **Diseño**

La investigación se considera de diseño experimental.

### **3.2 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

Tomando en cuenta los objetivos propuestos a alcanzar, esta investigación consta básicamente de cuatro puntos que se describen a continuación:

1. Escogencia de los modelos incorporando la mampostería.
2. Desarrollo de los modelos.
3. Introducción de datos.
4. Resultados y Conclusiones.

### **3.3 TÉCNICAS PARA EL ANÁLISIS DE LOS DATOS**

Las técnicas empleadas son las del análisis estructural, haciéndose uso de herramientas electrónicas, tales como el programa estructural SAP 2000 Advanced 11.0.4 (Structural Analysis Program) de “COMPUTERS and STRUCTURES, Inc.”, Berkeley, California y el Microsoft Excel.

### **3.4 OPERACIONALIZACIÓN DE LOS OBJETIVOS**

Consta de 16 fases:

#### **Fase 1: SELECCIÓN DE LOS MODELOS ESTRUCTURALES.**

Esta etapa consiste en la selección de los modelos estructurales a ser estudiados, fijando la modulación estructural de las plantas (número de tramos, luces, número de columnas) así como los niveles (número y alturas) y ubicación de la mampostería.

#### **Fase 2: CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES.**

Esta etapa consistió en la determinación de las características de los materiales usados: concreto, acero y bloques de arcilla.

#### **Fase 3: ESTIMACIÓN DE LAS CARGAS.**

La losa usada fue una losa maciza en dos direcciones (13 cm de espesor), solución lógica en vista de la modulación totalmente cuadrada de los paños. En esta etapa se determinaron las acciones permanentes y las acciones variables que soportarán las estructuras,

tomando en cuenta el uso residencial de las mismas, todo de acuerdo a la norma Covenin 2002-1988 “Criterios y Acciones Mínimas para el Proyecto de Edificaciones”.

#### **Fase 4: DIMENSIONADO DE LOS MIEMBROS DE LAS ESTRUCTURAS.**

Tomando en cuenta las cargas estimadas en la fase anterior, se dimensionaron las secciones de las vigas y de las columnas para cada modelo.

#### **Fase 5: MODELAJE DE LA MAMPOSTERÍA.**

Esta etapa consistió en incorporar la mampostería en los modelos denominados “Elementos Finitos” y en los modelos denominados “Fórmula de Mainstone”.

#### **Fase 6: ESPECTRO SÍSMICO.**

Esta etapa consistió en seleccionar el espectro sísmico, tomando en cuenta de que los modelos fueron ubicados en un suelo S2, zona sísmica 5, como la correspondiente a la Urb. Los Palos Grandes, Caracas.

#### **Fase 7: COMBINACIONES DE CARGA.**

Esta etapa consistió en determinar las combinaciones de carga a las cuales someter los 9 modelos, de acuerdo a la Norma COVENIN 1756-2001 “Edificaciones Sismorresistentes” y COVENIN 1753-2006 “Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural”

### **Fase 8: CORRIDA DE LOS MODELOS.**

Esta etapa consistió en “correr” los 9 modelos. Para este estudio, se hizo uso del programa SAP 2000 Advanced 11.0.4 (Structural Analysis Program) de “COMPUTERS and STRUCTURES, Inc.”, Berkeley, California.

### **Fase 9: PROPIEDADES DINÁMICAS: PERÍODOS.**

Se calcularon los períodos (s) para cada modo de vibración.

### **Fase 10: UBICACIÓN DE LOS PERÍODOS FUNDAMENTALES EN LOS ESPECTROS SÍSMICOS PARA LOS DIFERENTES MODELOS.**

Se ubicaron los períodos fundamentales de cada modelo (S/T, Elementos Finitos y Fórmula de Mainstone) sobre el espectro sísmico, de tal forma de apreciar las diferencias. Esto se hizo para el modelo de 4 niveles, para el modelo de 12 niveles y para el modelo de 24 niveles.

### **Fase 11: VERIFICACIÓN DEL NÚMERO DE MODOS DE VIBRACIÓN.**

En esta etapa se seleccionó el número de modos de vibración a usarse para cada modelo, tomando en cuenta de que se incorporaran los necesarios para igualar o exceder el 90% de la masa participativa.

### **Fase 12: REVISIÓN DEL COEFICIENTE SÍSMICO Y CONTROL DEL CORTANTE BASAL.**

Esta etapa consistió en la revisión del coeficiente sísmico basal y el control del cortante basal, de acuerdo con la Norma Covenin 1756-2001.

### **Fase 13: RESPUESTA DINÁMICA: CORTANTES DE PISO.**

Esta etapa consistió en graficar los “Cortantes de Piso” (kgf), para el sismo en una sola dirección (ya que los modelos son simétricos).

### **Fase 14: RESPUESTA DINÁMICA: DESPLAZAMIENTOS INELÁSTICOS.**

Esta etapa consistió en graficar los desplazamiento inelásticos, de los modelos para el sismo en una dirección (ya que los modelos son simétricos).

### **Fase 15: RESPUESTA DINÁMICA: DERIVAS INELÁSTICAS.**

Esta etapa consistió en graficar las derivas inelásticas, de los modelos para el sismo en una dirección (ya que los modelos son simétricos).

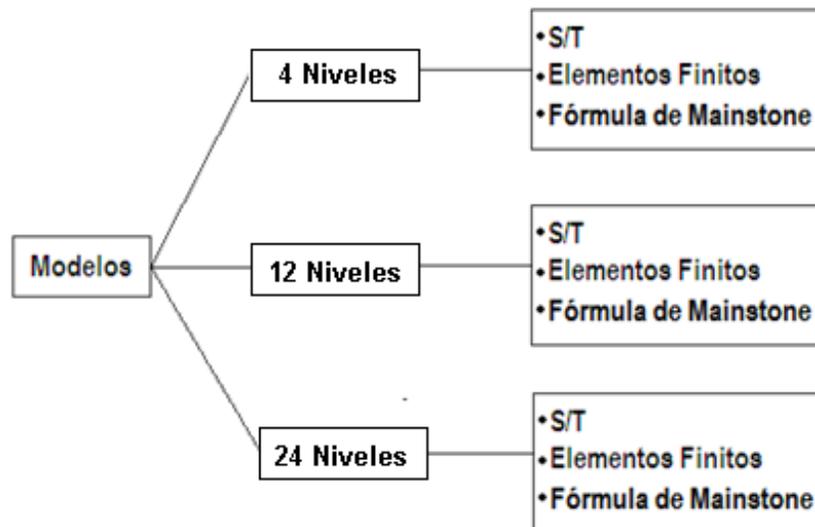
### **Fase 16: COMPARACIÓN DEL PORCENTAJE DE ACERO EN LAS COLUMNAS.**

Aún no siendo objetivo de este trabajo de grado, se quiso verificar las diferencias en el porcentaje de acero de las columnas para cada modelo a través del diagrama de interacción P-M-M en tres dimensiones mostrado por el programa “SAP” para cada combinación de carga definida en la fase 7.

## **CAPÍTULO IV: DESARROLLO DEL TRABAJO**

### **Fase 1: SELECCIÓN DE LOS MODELOS ESTRUCTURALES.**

De acuerdo a lo señalado en el punto 1.2 se estudiaron nueve modelos formados por pórticos.



Recordemos nuevamente la terminología:

- Se entiende por “S/T” el análisis al modelo sin considerar la contribución de la tabiquería.
- Se entiende por “Elementos Finitos” el análisis al modelo considerando la contribución de la tabiquería a través del Método de Elementos Finitos.
- Se entiende por “Fórmula de Mainstone” el análisis al modelo considerando la contribución de la tabiquería a través de diagonales equivalentes del Ing. Mainstone.

Cada modelo fue sometido a un hipotético sismo de acuerdo a la Norma Vigente (Covenin 1756-2001).

A continuación se muestran las esquematización de los modelos:

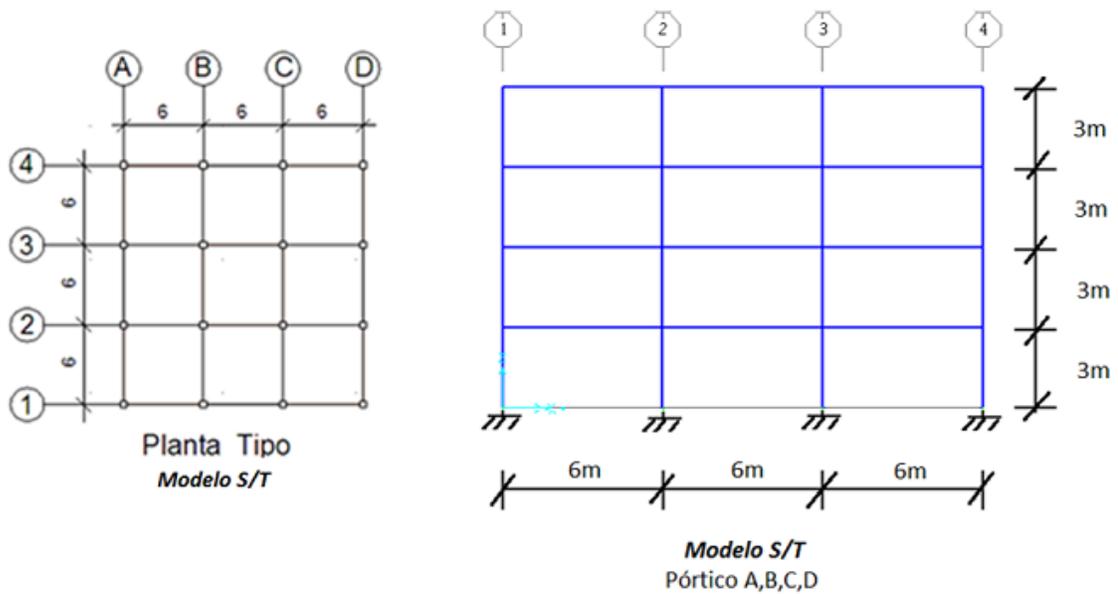


Figura 4.1 Modelo S/T de 4 Niveles. (Pórtico A,B,C,D).

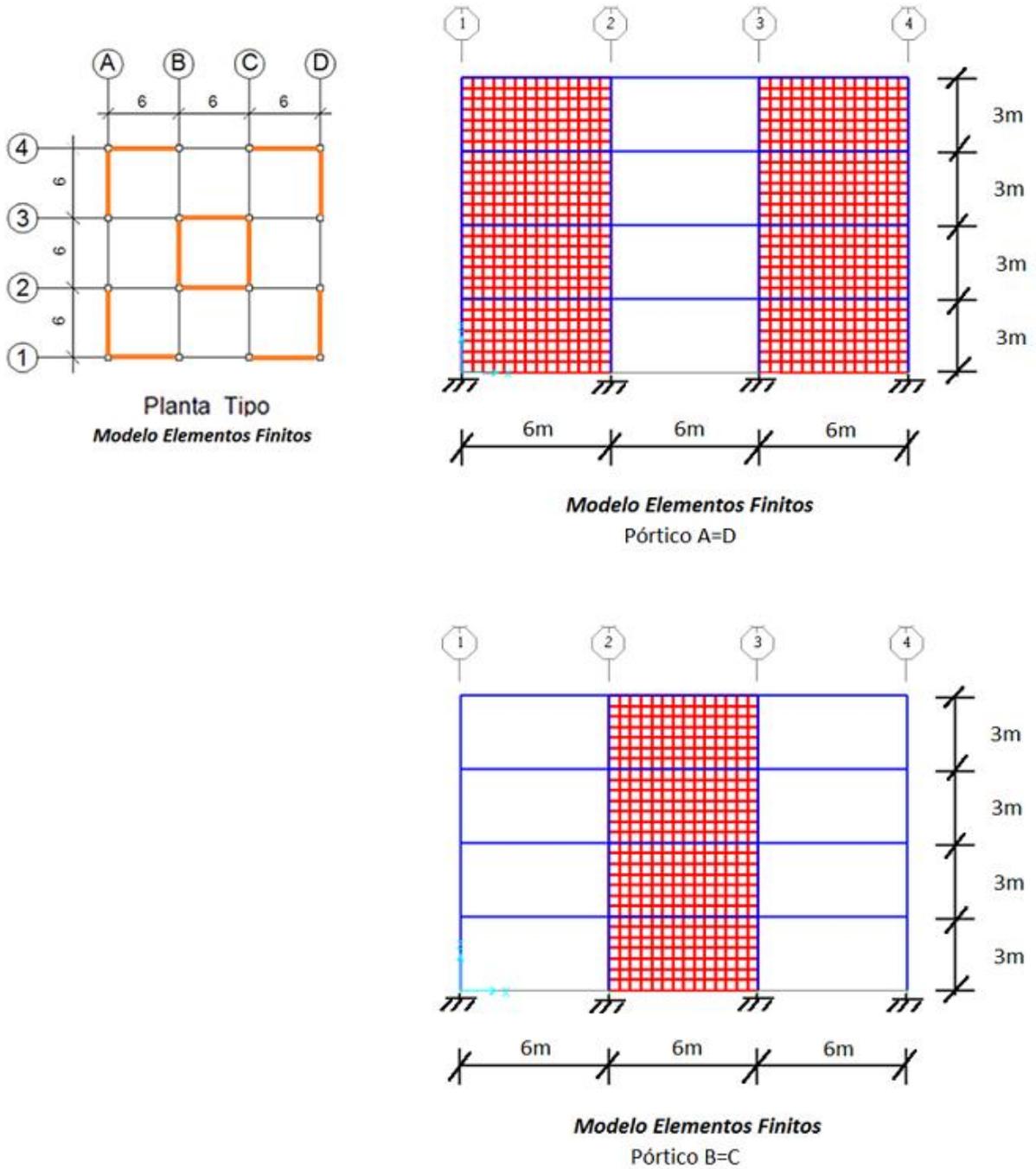


Figura 4.2 Modelo Elementos Finitos de 4 Niveles. (Pórtico A=D y Pórtico B=C).

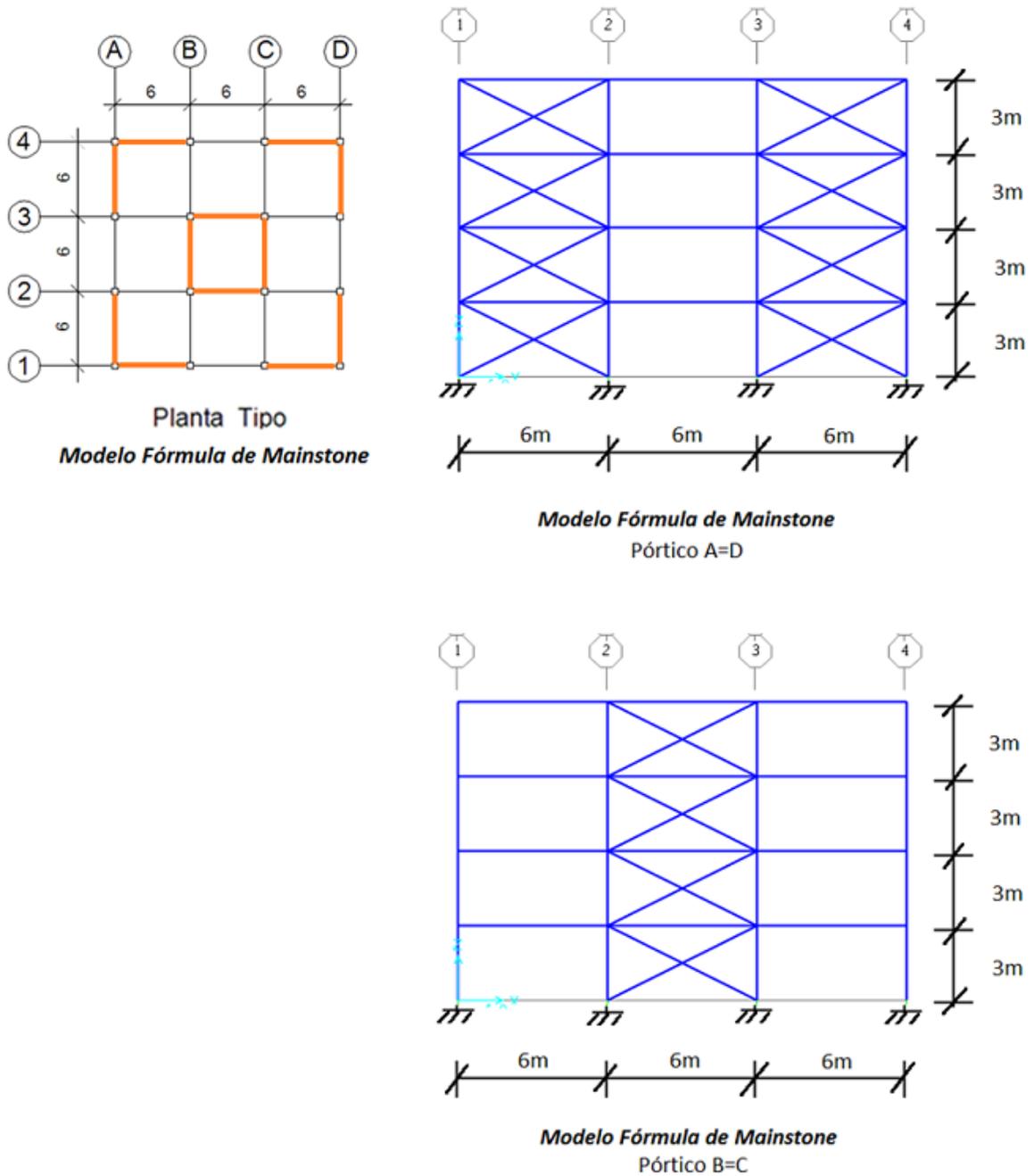


Figura 4.3 Modelos Fórmula de Mainstone de 4 Niveles. (Pórtico A=D y Pórtico B=C).

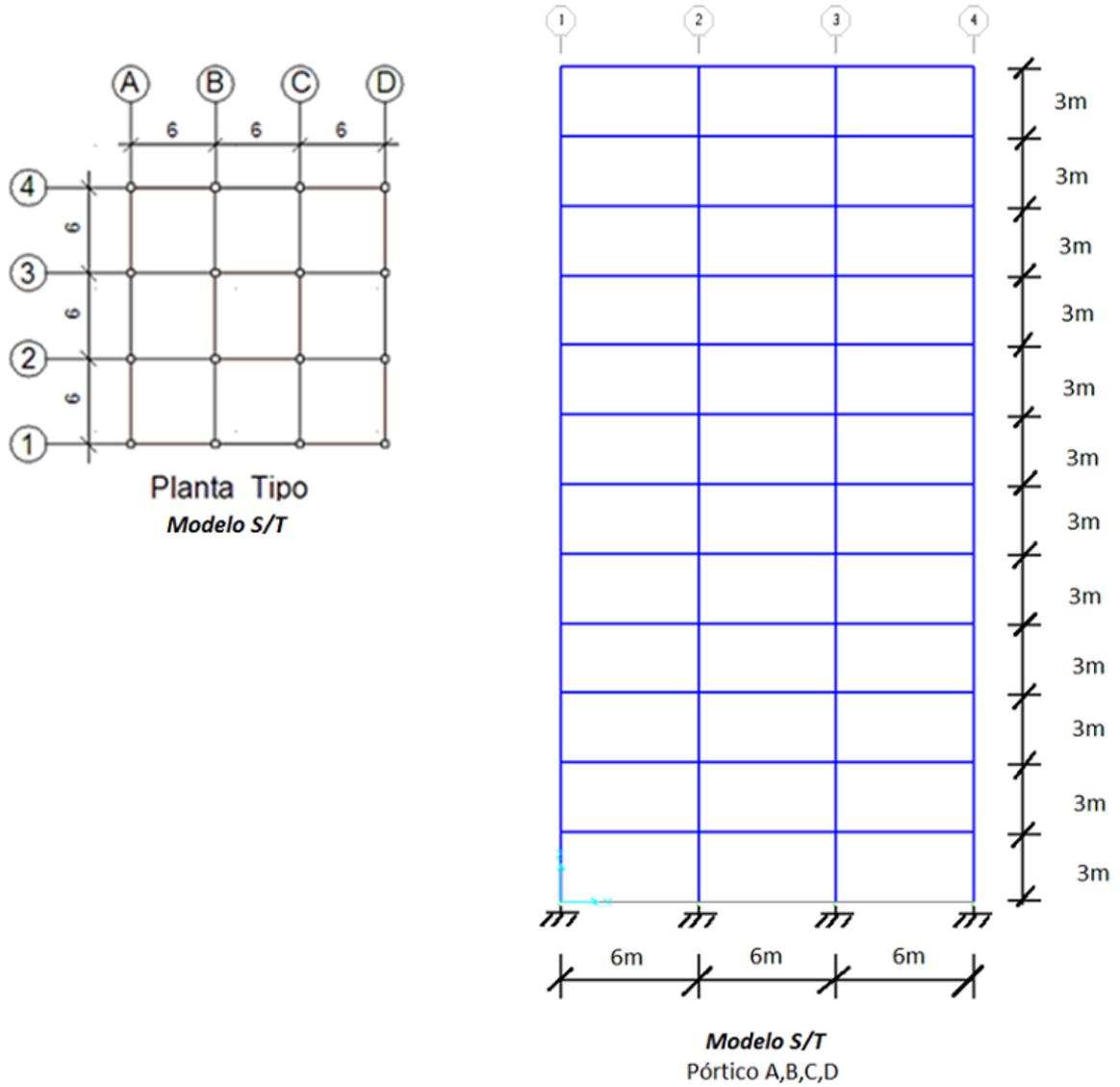


Figura 4.4 Modelo S/T de 12 Niveles. (Pórtico A,B,C,D).

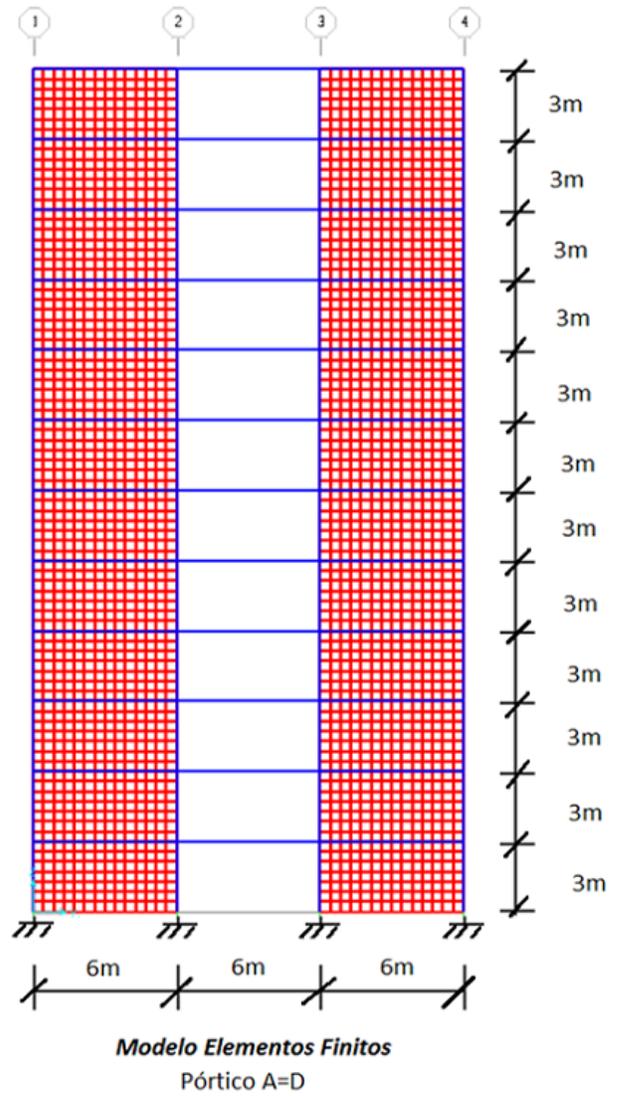
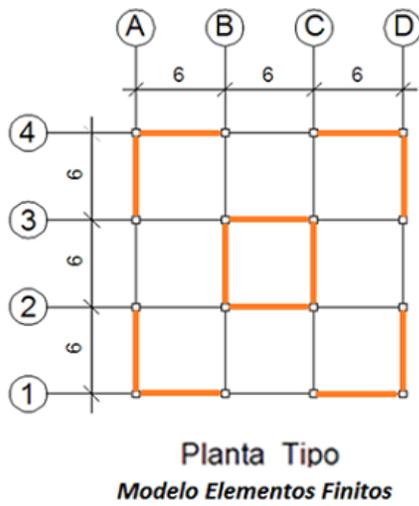


Figura 4.5 Modelo Elementos Finitos de 12 Niveles. (Pórtico A=D).

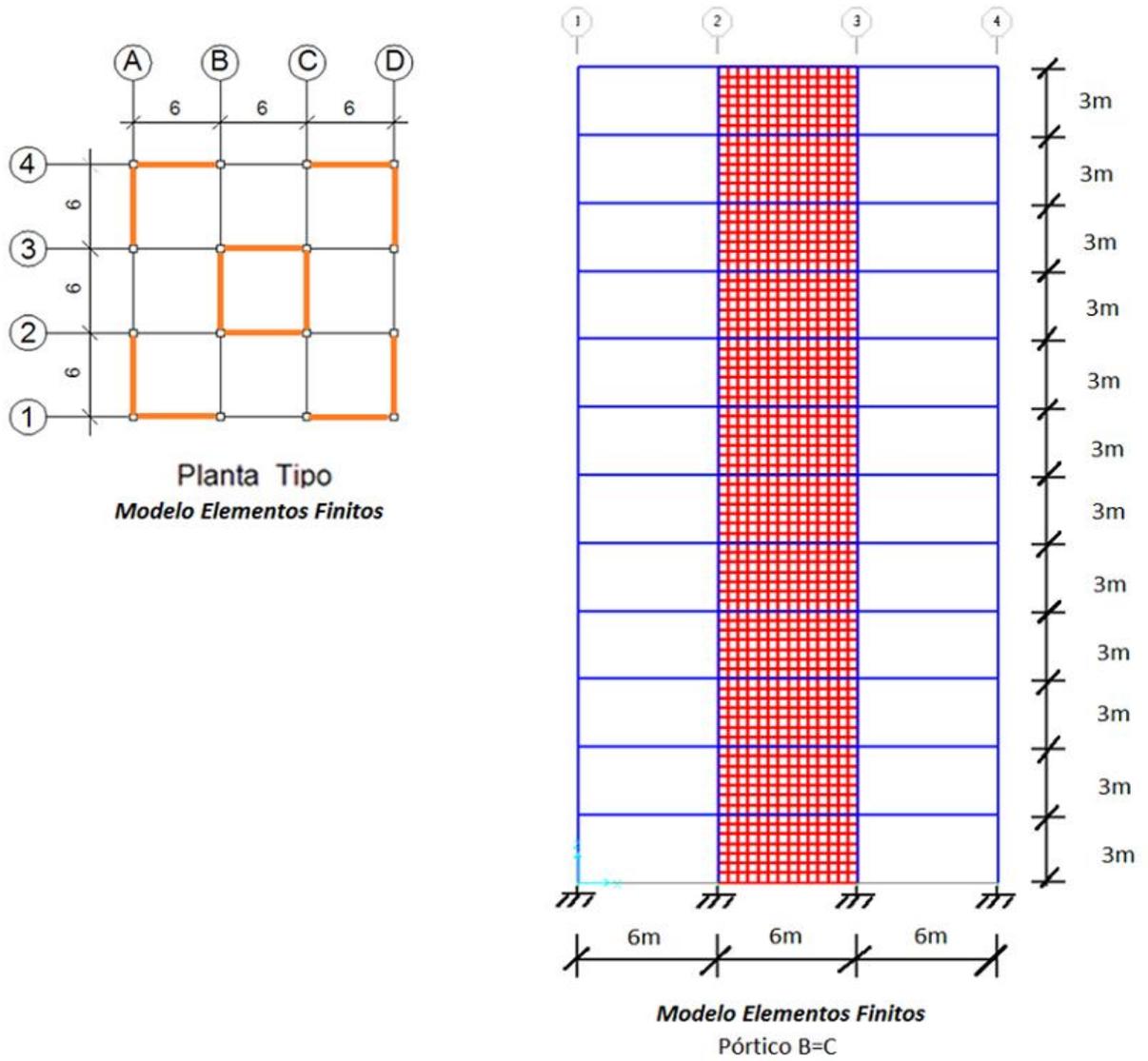


Figura 4.6 Modelo Elementos Finitos de 12 Niveles. (Pórtico B=C).

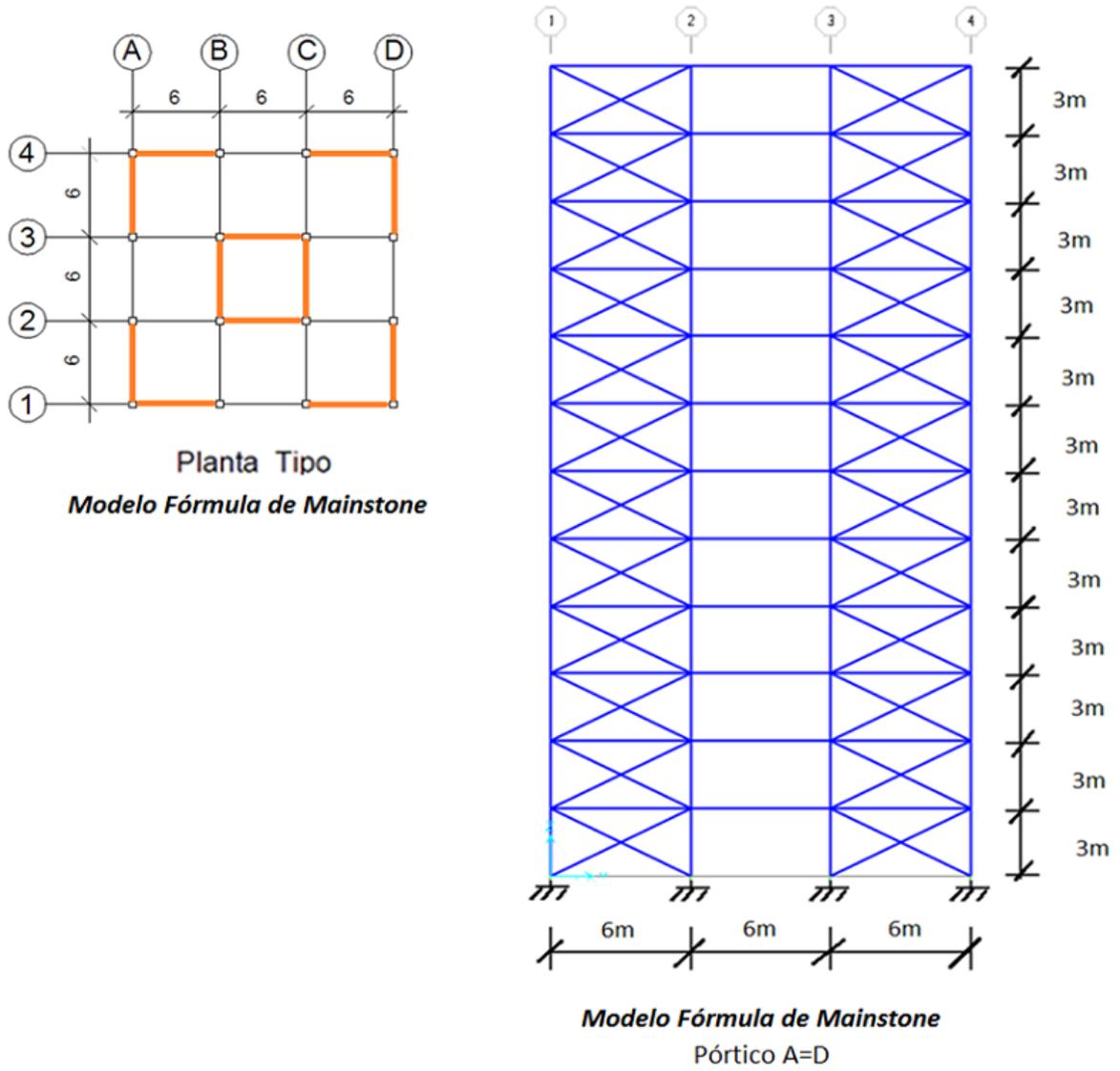


Figura 4.7 Modelo Fórmula de Mainstone de 12 Niveles. (Pórtico A=D).

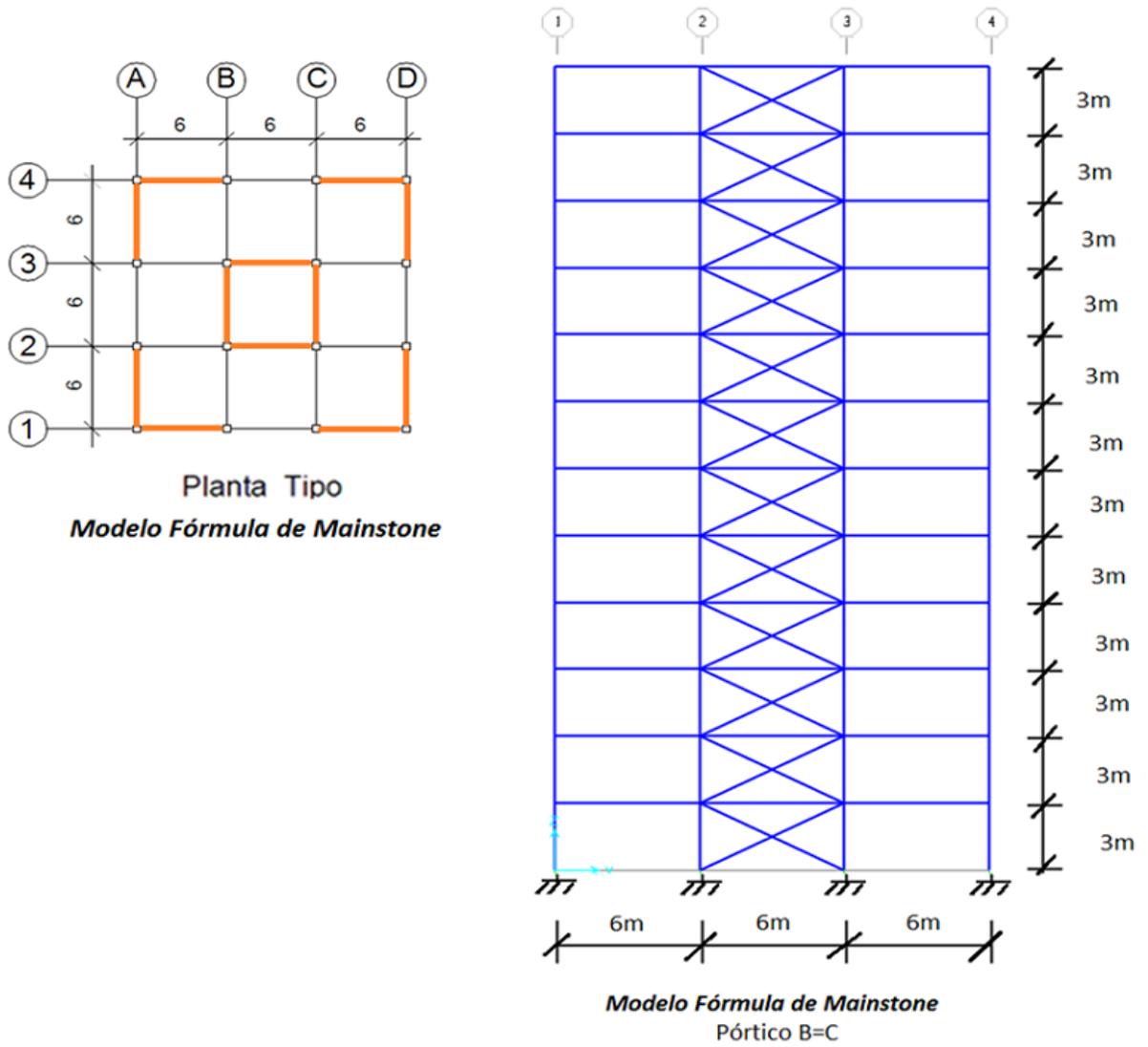


Figura 4.8 Modelo Fórmula de Mainstone de 12 Niveles. (Pórtico B=C).

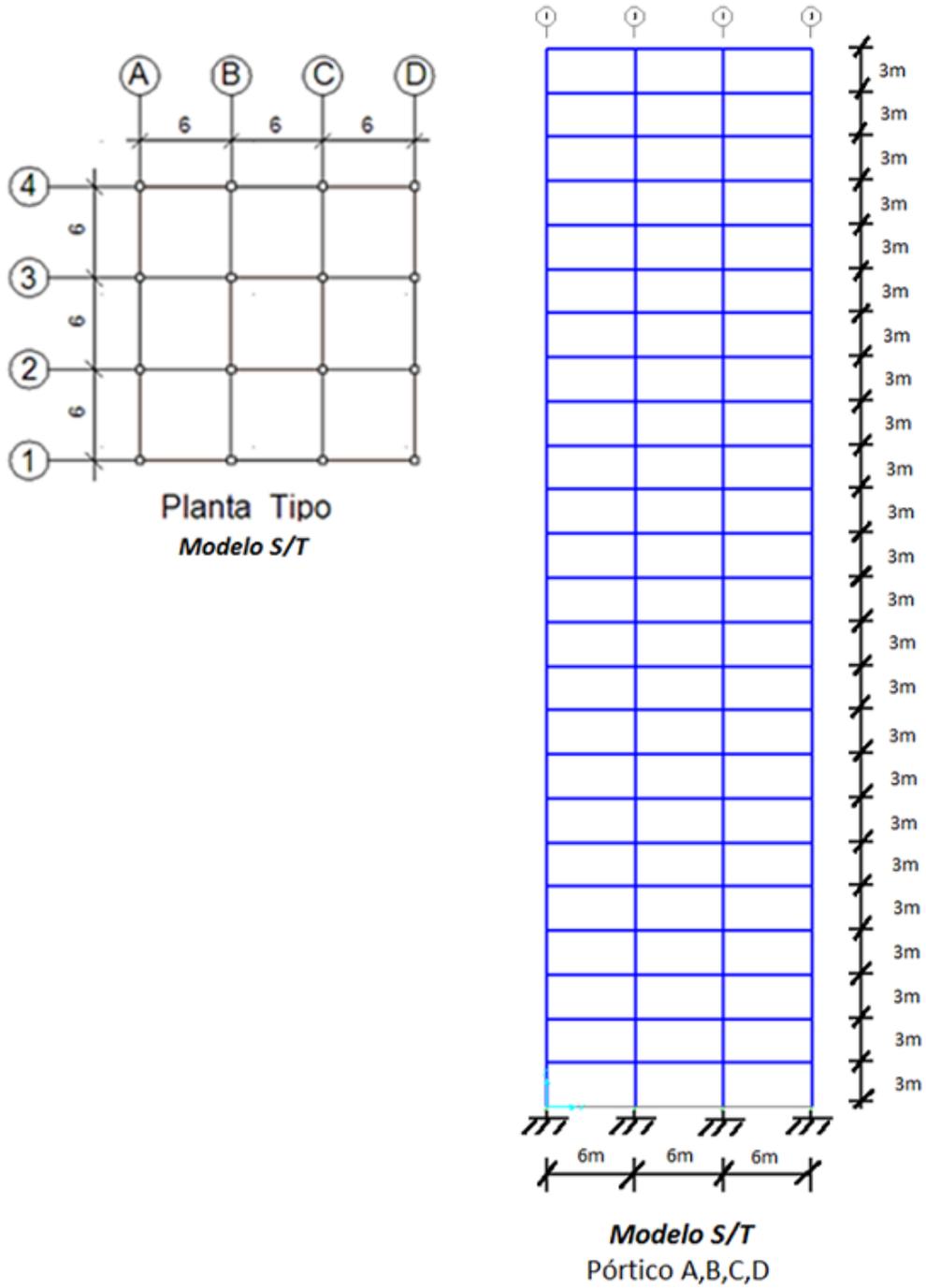


Figura 4.9 Modelo S/T de 24 Niveles. (Pórtico A,B,C,D).

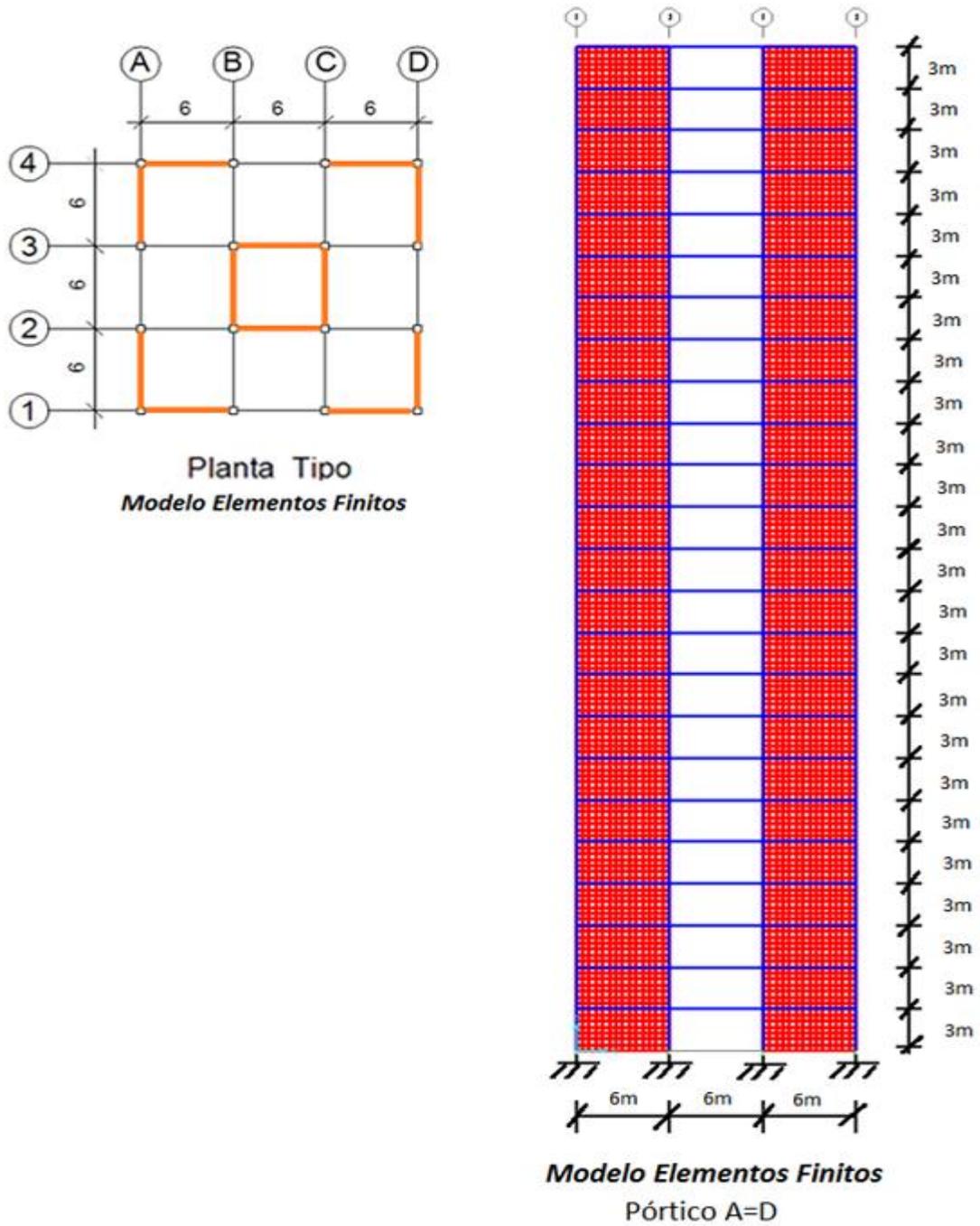


Figura 4.10 Modelo Elementos Finitos de 24 Niveles. (Pórtico A=D).

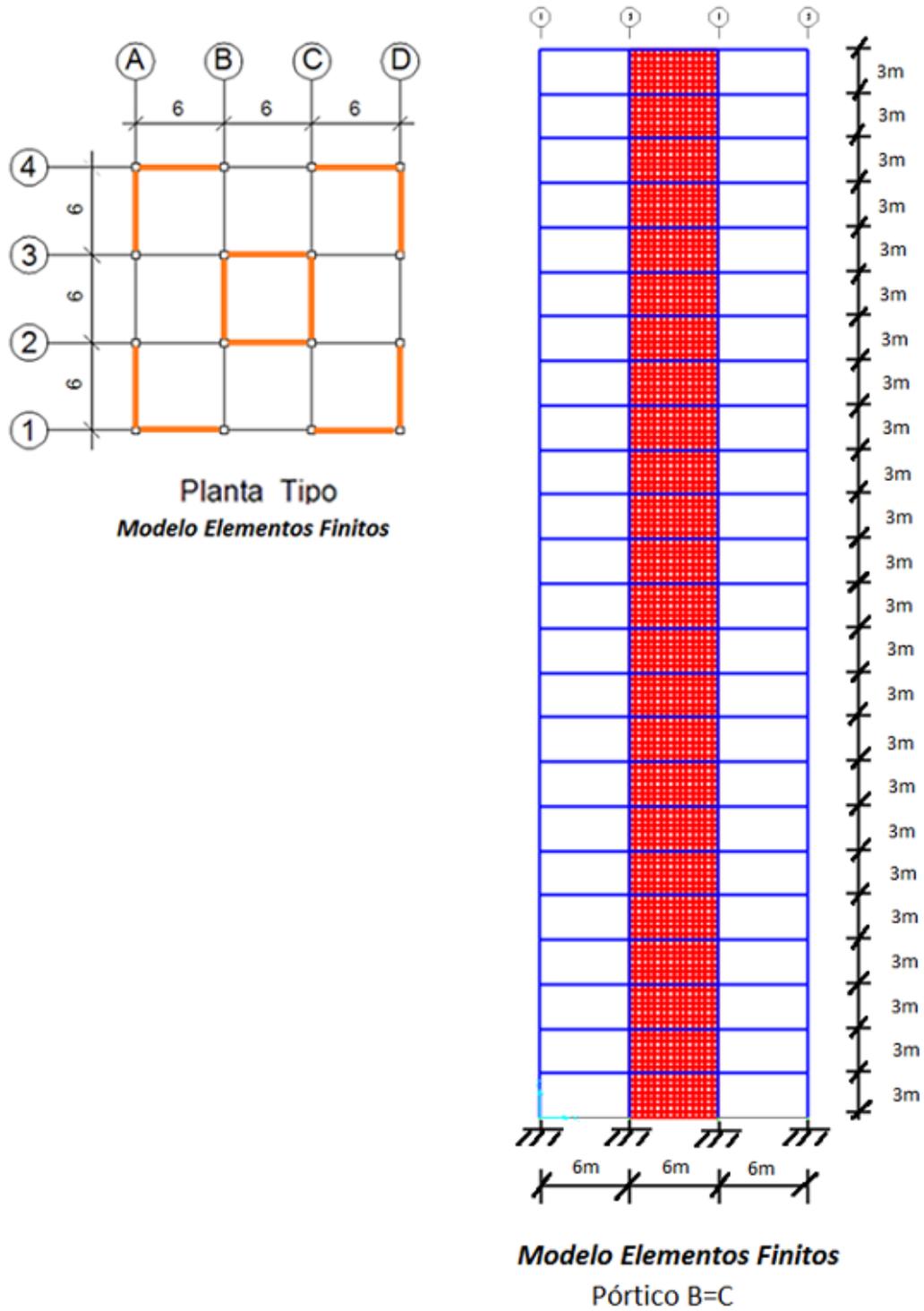


Figura 4.11 Modelo Elementos Finitos de 24 Niveles. (Pórtico B=C).

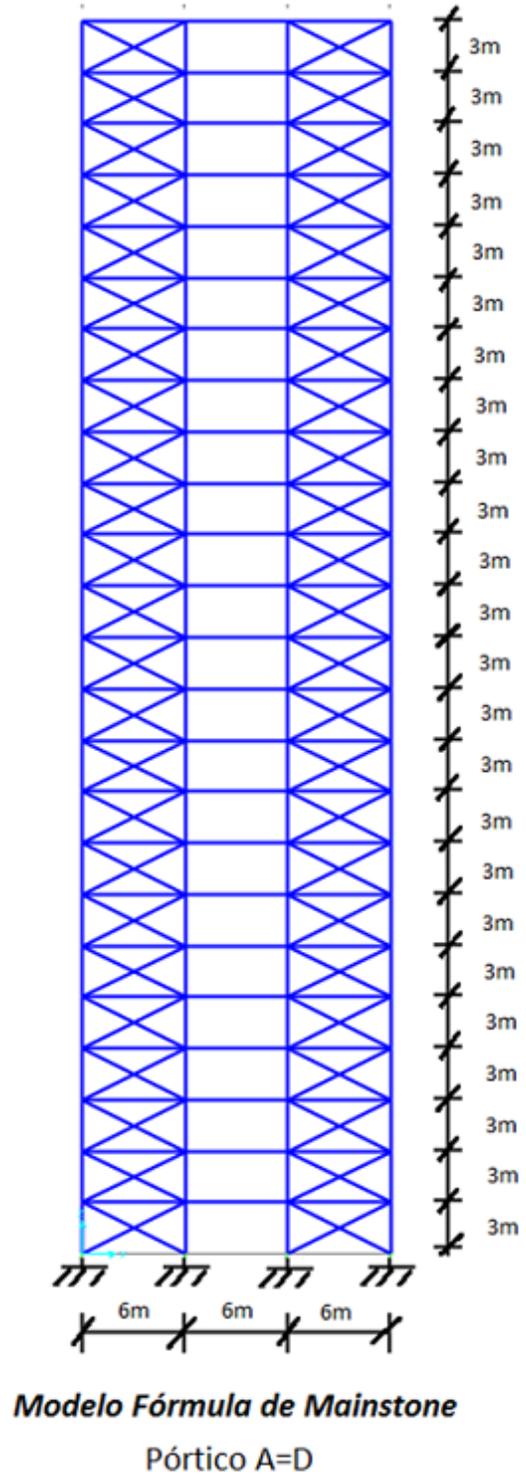
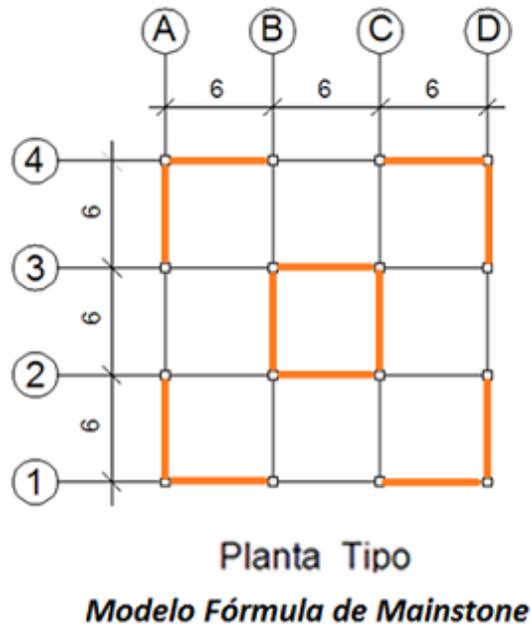


Figura 4.12 Modelo Fórmula de Mainstone de 24 Niveles. (Pórtico A=D).

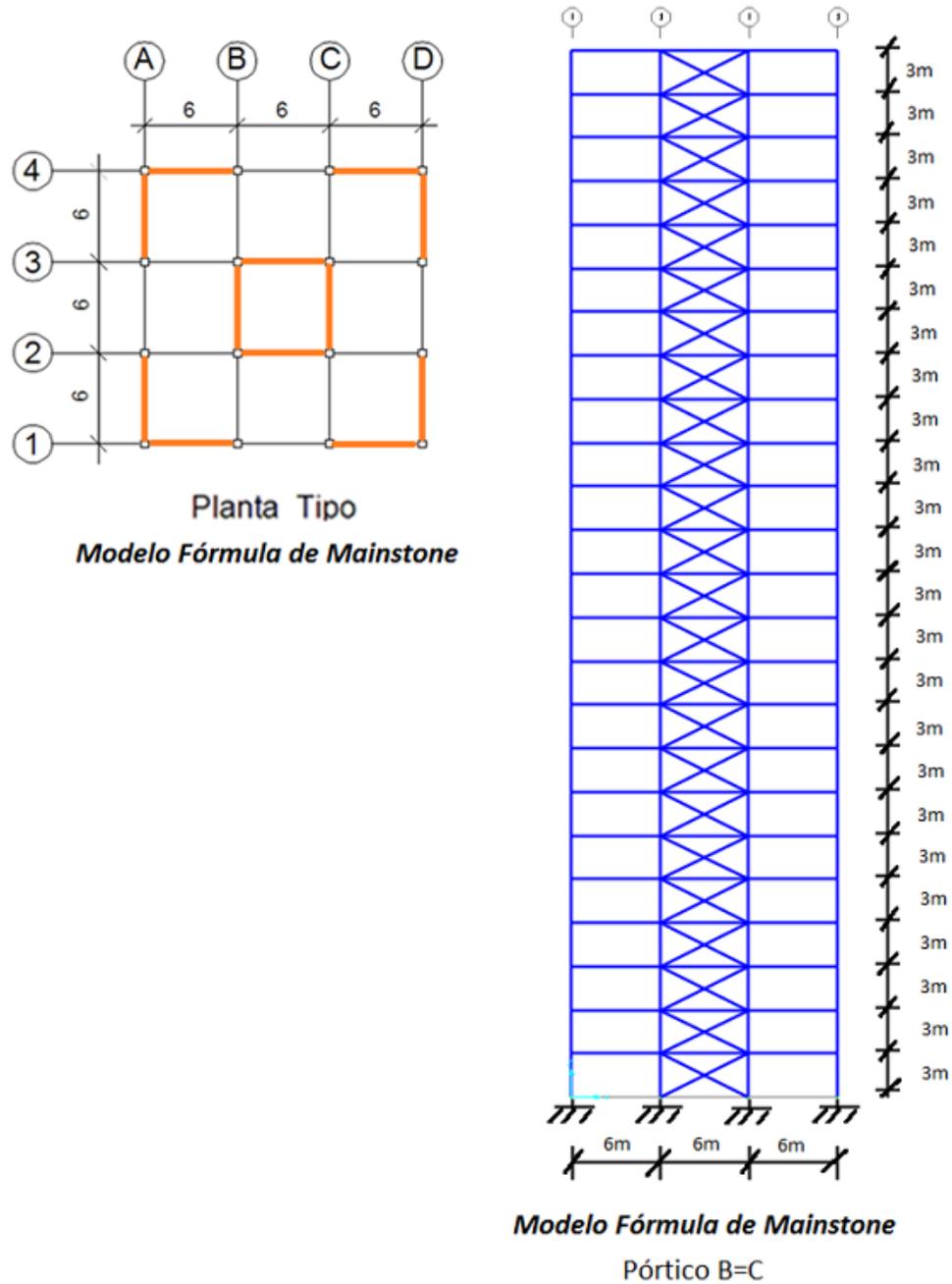


Figura 4.13 Modelo Fórmula de Mainstone de 24 Niveles. (Pórtico B=C).

Nota: todas las columnas estan centradas con los ejes.

## **Fase 2: CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES.**

Para la definición de los materiales de los modelos planteados en SAP los parámetros seleccionados para el comportamiento del acero y concreto son:

- Concreto:
  - $E_c$  = módulo de elasticidad del concreto = 238.752 kgf/cm<sup>2</sup>.
  - $f'_c$  = esfuerzo máximo de compresión = 250 kgf/cm<sup>2</sup>.
  
- Acero:
  - $E_s$  = Modulo de elasticidad del acero = 2.038.901 kgf/cm<sup>2</sup>.
  - $F_y$  = Esfuerzo cedente = 4.200 kgf/cm<sup>2</sup>.

En la incorporación de la mampostería al análisis estructural, tanto en el método de elementos finitos como en la fórmula de Mainstone, se tomó para la misma un valor del módulo de elasticidad igual a  $E_m = 9.663 \text{ Kgf/cm}^2$ , de acuerdo al trabajo especial de grado presentado en la UCAB en Junio 2015 y denominado "*Análisis de riesgo en viviendas informales de mampostería confinada de bloques de arcilla*".

## **Fase 3: ESTIMACIÓN DE LAS CARGAS.**

A continuación se presentan las cargas permanentes y variables aplicadas en el edificio, según lo indica la Norma Covenin 2002:1988 (Criterios y Acciones Mínimas).

- Cargas Permanentes Planta Tipo:
  - Losas Macizas armadas en dos direcciones  $e=13\text{cm}$ :  $325 \text{ kgf/m}^2$ .
  - Tabiquería:  $150 \text{ kgf/m}^2$ .
  - Piso Acabados:  $85 \text{ kgf/m}^2$ .
  - Friso:  $30 \text{ kgf/m}^2$ .
  
- Cargas Permanentes Planta Techo:
  - Losas Macizas armadas en dos direcciones  $e=13\text{cm}$ :  $325 \text{ kgf/m}^2$ .
  - Pendiente mas impermeabilización:  $100 \text{ kgf/m}^2$ .
  - Friso:  $30 \text{ kgf/m}^2$ .
  
- Carga Variable Planta tipo:  $175 \text{ kgf/m}^2$ .
- Carga Variable Planta Techo:  $100 \text{ kgf/m}^2$ .

#### **Fase 4: DIMENSIONADO DE LOS MIEMBROS DE LAS ESTRUCTURAS.**

En la estimación de las secciones de las columnas, se aplicó el método de área tributaria reduciendo las secciones a medida de que se va subiendo con el nivel.

En la estimación de las secciones de las vigas, se colocaron secciones mayores en los pórticos centrales (B – C – 2 y 3) que en los pórticos perimetrales o de fachada (A – D – 1 y 4) ya que soportan más carga. Adicionalmente, para tomar en cuenta el efecto sísmico, se decidió colocar secciones mayores en los niveles inferiores.

El espesor de la losa, la cual es maciza y armada en dos sentidos, fue estimado usando la fórmula empírica:  $e = \text{perímetro paño}/180$ , lo cual dio como resultado un espesor de 13 cm. Para efecto del análisis sísmico esta losa es considerada como diafragma rígido.

En la Figura 4.14 se indican las áreas tributarias para las columnas y la distribución de la carga sobre las vigas.

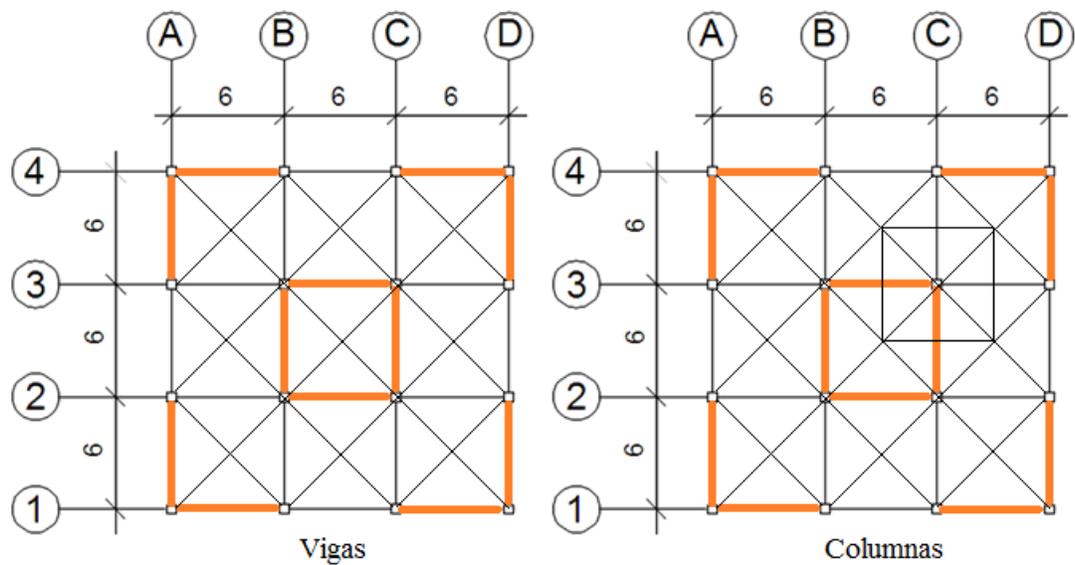


Figura 4.14 A la izquierda: Cargas triangulares sobre las vigas.  
A la derecha: Área tributaria para las columnas.

En las siguientes tablas se muestran las secciones de las columnas y de las vigas para cada modelo:

Tabla 4.1. Dimensiones Definitivas para Modelos de 4 niveles.

|       | Pórtico A=D (entre “1” y “4”) | Pórtico B=C (entre “1” y “4”) |
|-------|-------------------------------|-------------------------------|
| Nivel | Vigas (cm)                    | Vigas (cm)                    |
| 1     | 30x50                         | 30x50                         |
| 2     | 30x50                         | 30x50                         |
| 3     | 30x45                         | 30x45                         |
| 4     | 30x45                         | 30x45                         |

|       | Columnas A-1 = A-2 = A-3 = A-4 (cm)<br>Columnas D-1 = D-2 = D-3 = D4 (cm)<br>Columnas B-1 = C-1 = B4 = C-4 | Columnas B-2 = B-3 = C-2 = C-3 (cm) |
|-------|--|-------------------------------------|
| Nivel |  |                                     |
| 0 a 1 | 40x40  | 45x45                               |
| 1 a 2 | 40x40  | 40x40                               |
| 2 a 3 | 30x30  | 35x35                               |
| 3 a 4 | 30x30  | 30x30                               |

Tabla 4.2. Dimensiones Definitivas para Modelos de 12 niveles.

|       | Pórtico A=D (entre “1” y “4”) | Pórtico B=C (entre “1” y “4”) |
|-------|-------------------------------|-------------------------------|
| Nivel | Vigas (cm)                    | Vigas (cm)                    |
| 1     | 30x45                         | 30x55                         |
| 2     | 30x45                         | 30x55                         |
| 3     | 30x45                         | 30x55                         |
| 4     | 30x45                         | 30x50                         |
| 5     | 30x45                         | 30x50                         |
| 6     | 30x45                         | 30x50                         |
| 7     | 30x40                         | 30x40                         |
| 8     | 30x40                         | 30x40                         |
| 9     | 30x40                         | 30x40                         |
| 10    | 30x40                         | 30x40                         |
| 11    | 30x40                         | 30x40                         |
| 12    | 30x40                         | 30x35                         |

|         | Columnas A-1 = A-2 = A-3 = A-4 (cm)                                 | Columnas B-2 = B-3 = C-2 = C-3 (cm) |
|---------|---|-------------------------------------|
| Nivel   | Columnas D-1 = D-2 = D-3 = D4 (cm)<br>Columnas B-1 = C-1 = B4 = C-4 |                                     |
| 0 a 1   | 75x75   | 75x75                               |
| 1 a 2   | 75x75   | 75x75                               |
| 2 a 3   | 65x65   | 65x65                               |
| 3 a 4   | 65x65   | 65x65                               |
| 4 a 5   | 60x60   | 60x60                               |
| 5 a 6   | 60x60   | 60x60                               |
| 6 a 7   | 55x55   | 55x55                               |
| 7 a 8   | 55x55   | 55x55                               |
| 8 a 9   | 50x50   | 50x50                               |
| 9 a 10  | 50x50   | 50x50                               |
| 10 a 11 | 45x45   | 45x45                               |
| 11 a 12 | 45x45   | 45x45                               |

Tabla 4.3. Dimensiones Definitivas para Modelos de 24 niveles.

|       | Pórtico A=D (entre “1” y “4”) | Pórtico B=C (entre “1” y “4”) |
|-------|-------------------------------|-------------------------------|
| Nivel | Vigas (cm)                    | Vigas (cm)                    |
| 1     | 40x65                         | 40x70                         |
| 2     | 40x65                         | 40x70                         |
| 3     | 40x65                         | 40x70                         |
| 4     | 40x65                         | 40x70                         |
| 5     | 40x65                         | 40x70                         |
| 6     | 40x65                         | 40x70                         |
| 7     | 40x60                         | 40x65                         |
| 8     | 40x60                         | 40x65                         |
| 9     | 40x60                         | 40x65                         |
| 10    | 40x60                         | 40x65                         |
| 11    | 35x55                         | 35x60                         |
| 12    | 35x55                         | 35x60                         |
| 13    | 35x55                         | 35x60                         |
| 14    | 35x55                         | 35x55                         |
| 15    | 35x55                         | 35x55                         |
| 16    | 35x55                         | 35x55                         |
| 17    | 35x55                         | 35x55                         |
| 18    | 35x55                         | 35x55                         |
| 19    | 35x55                         | 35x55                         |
| 20    | 35x55                         | 35x55                         |
| 21    | 35x55                         | 35x55                         |
| 22    | 35x55                         | 35x55                         |
| 23    | 35x55                         | 35x55                         |
| 24    | 35x55                         | 35x55                         |

Tabla 4.3. Dimensiones Definitivas para Modelos de 24 niveles.

| Nivel   | Columnas A-1 = A-2 = A-3 = A-4<br>(cm)                              | Columnas B-2 = B-3 = C-2 = C-3<br>(cm) |
|---------|---|--|
|         | Columnas D-1 = D-2 = D-3 = D4 (cm)<br>Columnas B-1 = C-1 = B4 = C-4 |  |
| 0 a 1   | 110x110   | 110x110                                |
| 1 a 2   | 110x110   | 110x110                                |
| 2 a 3   | 105x105   | 105x105                                |
| 3 a 4   | 105x105   | 105x105                                |
| 4 a 5   | 100x100   | 100x100                                |
| 5 a 6   | 95x95   | 95x95                                  |
| 6 a 7   | 95x95   | 95x95                                  |
| 7 a 8   | 90x90   | 90x90                                  |
| 8 a 9   | 90x90   | 90x90                                  |
| 9 a 10  | 85x85   | 85x85                                  |
| 10 a 11 | 85x85   | 85x85                                  |
| 11 a 12 | 80x80   | 80x80                                  |
| 12 a 13 | 80x80   | 80x80                                  |
| 13 a 14 | 75x75   | 75x75                                  |
| 14 a 15 | 75x75   | 75x75                                  |
| 15 a 16 | 60x60   | 60x60                                  |
| 16 a 17 | 60x60   | 60x60                                  |
| 17 a 18 | 55x55   | 55x55                                  |
| 18 a 19 | 55x55   | 55x55                                  |
| 19 a 20 | 50x50   | 50x50                                  |
| 20 a 21 | 50x50   | 50x50                                  |
| 21 a 22 | 50x50   | 50x50                                  |
| 22 a 23 | 45x45   | 45x45                                  |
| 23 a 24 | 45x45   | 45x45                                  |

## **Fase 5: MODELAJE DE LA MAMPOSTERÍA.**

La mampostería fue incorporada a la estructura a través de los siguientes métodos:

- Método a través de Elementos Finitos

En este método se tomó en cuenta la tabiquería a través de elementos finitos tipo “Shell – Thin”, es decir de concha delgada, de 15 cm de espesor.

- Método del puntal diagonal equivalente, Fórmula de Mainstone:

En el punto 1.3, se escribió la fórmula de Mainstone. Aquí se repite:

$$a = 0.175 D \lambda_I H^{-0.40} \quad (4.1)$$

Donde:

$$\lambda_I = \frac{E_m t \operatorname{sen} 2\theta}{4 E_c I_{col} h}^{\frac{1}{4}} \quad (4.2)$$

Aplicándola, se obtienen los anchos equivalentes “a” señalados en las siguientes tablas. Nótese como los valores de “a” se van modificando con la altura, debido al cambio de las secciones de las columnas.

Como ejemplo de aplicación se muestra como se obtuvieron los valores de “ $\lambda_1$ ” y “a” en la tabla correspondiente al modelo de 4 niveles y señalados en color amarillo.

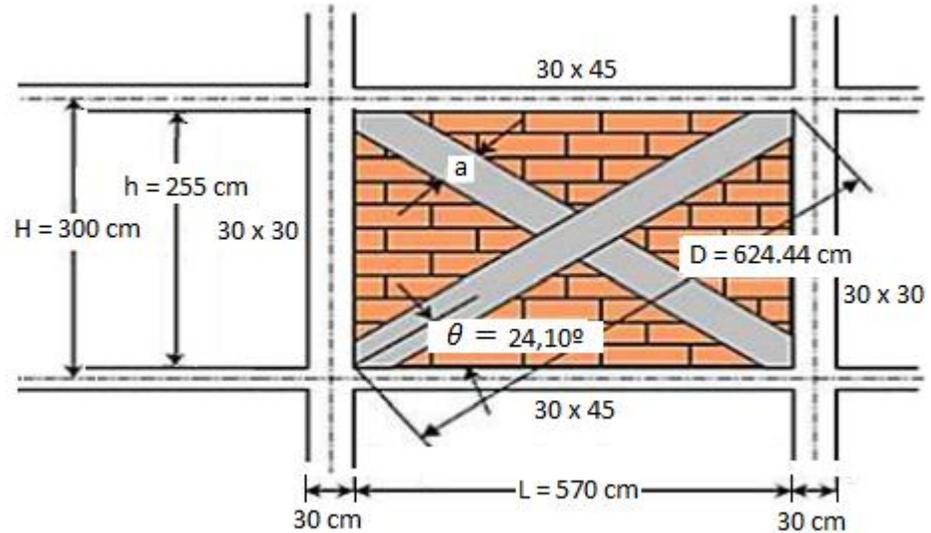


Figura 4.15 Ejemplo de la aplicación Fórmula de Mainstone.

$$E_m = 9.663 \text{ Kgf/cm}^2$$

$$E_c = 238.752 \text{ Kgf/cm}^2$$

$$L = 570 \text{ cm}$$

$$H = 300 \text{ cm}$$

$$h = 255 \text{ cm}$$

$$D = 624,44 \text{ cm}$$

$$\theta = 24,10^\circ$$

$$\text{sen } 2\theta = 0,7455$$

$$t = 15 \text{ cm}$$

$$I_{\text{col izq}} = 67500 \text{ cm}^4$$

$$I_{\text{col der}} = 67500 \text{ cm}^4$$

$$I_{\text{col}} = \frac{67500 + 67500}{2} = 67500 \text{ cm}^4$$

$$\lambda_1 = \frac{9663 \times 15 \times 0,7455}{4 \times 238752 \times 67500 \times 255}^{\frac{1}{4}} = 0,009$$

$$a = 0.175 \times 624,44 \times (0,009 \times 300)^{-0,40} = 73,434 \text{ cm}$$

Tabla 4.4. Valores de “a” para modelos de 4 niveles.

| Nivel | Pórtico A = D (Entre eje 1 y eje 2) =<br>Pórtico A = D (Entre eje 3 y eje 4) |        | Pórtico B = C (Entre eje 2 y eje 3) |        |
|-------|--|--------|-------------------------------------|--------|
|       | $\lambda_1$  | a      | $\lambda_1$                         | a      |
| 0 a 1 | 0,0062   | 85,163 | 0,0059                              | 86,277 |
| 1 a 2 | 0,0068   | 80,767 | 0,0068                              | 80,767 |
| 2 a 3 | 0,0083   | 75,890 | 0,0078                              | 77,285 |
| 3 a 4 | 0,0090   | 73,434 | 0,0090                              | 73,434 |

Tabla 4.5. Valores de “a” para modelos de 12 niveles.

| Nivel   | Pórtico A = D (Entre eje 1 y eje 2) =<br>Pórtico A = D (Entre eje 3 y eje 4) |         | Pórtico B = C (Entre eje 2 y eje 3) |         |
|---------|--|---------|-------------------------------------|---------|
|         | $\lambda_1$  | a       | $\lambda_1$                         | a       |
| 0 a 1   | 0,0036   | 100,566 | 0,0036                              | 100,094 |
| 1 a 2   | 0,0036   | 98,501  | 0,0036                              | 97,631  |
| 2 a 3   | 0,0042   | 94,569  | 0,0042                              | 93,759  |
| 3 a 4   | 0,0042   | 94,569  | 0,0042                              | 93,959  |
| 4 a 5   | 0,0045   | 92,342  | 0,0046                              | 91,949  |
| 5 a 6   | 0,0045   | 92,342  | 0,0046                              | 91,949  |
| 6 a 7   | 0,0049   | 90,295  | 0,0049                              | 90,295  |
| 7 a 8   | 0,0049   | 90,295  | 0,0049                              | 89,912  |
| 8 a 9   | 0,0054   | 87,618  | 0,0054                              | 87,618  |
| 9 a 10  | 0,0054   | 87,618  | 0,0054                              | 87,618  |
| 10 a 11 | 0,0060   | 84,675  | 0,0060                              | 84,675  |
| 11 a 12 | 0,0060   | 84,675  | 0,0060                              | 84,852  |

Tabla 4.6. Valores de “a” para modelos de 24 niveles.

| Nivel   | Pórtico A = D (Entre eje 1 y eje 2) =<br>Pórtico A = D (Entre eje 3 y eje 4) |         | Pórtico B = C (Entre eje 2 y eje 3) |         |
|---------|--|---------|-------------------------------------|---------|
|         | $\lambda_1$  | a       | $\lambda_1$                         | a       |
| 0 a 1   | 0,0025   | 106,112 | 0,0025                              | 105,61  |
| 1 a 2   | 0,0025   | 106,112 | 0,0025                              | 105,61  |
| 2 a 3   | 0,0027   | 105,088 | 0,0027                              | 104,599 |
| 3 a 4   | 0,0027   | 105,088 | 0,0027                              | 104,599 |
| 4 a 5   | 0,0028   | 103,974 | 0,0028                              | 103,498 |
| 5 a 6   | 0,0029   | 102,763 | 0,0029                              | 102,300 |
| 6 a 7   | 0,0029   | 102,997 | 0,0029                              | 102,503 |
| 7 a 8   | 0,0031   | 101,906 | 0,0031                              | 101,448 |
| 8 a 9   | 0,0031   | 101,906 | 0,0031                              | 101,448 |
| 9 a 10  | 0,0033   | 100,465 | 0,0033                              | 100,021 |
| 10 a 11 | 0,0032   | 100,690 | 0,0033                              | 100,242 |
| 11 a 12 | 0,0035   | 99,341  | 0,0035                              | 98,903  |
| 12 a 13 | 0,0035   | 99,341  | 0,0035                              | 98,903  |
| 13 a 14 | 0,0037   | 97,631  | 0,0037                              | 97,631  |
| 14 a 15 | 0,0037   | 97,631  | 0,0037                              | 97,631  |
| 15 a 16 | 0,0046   | 91,563  | 0,0046                              | 91,563  |
| 16 a 17 | 0,0046   | 91,563  | 0,0046                              | 91,563  |
| 17 a 18 | 0,0050   | 89,164  | 0,0050                              | 89,164  |
| 18 a 19 | 0,0050   | 89,164  | 0,0050                              | 89,164  |
| 19 a 20 | 0,0056   | 86,537  | 0,0056                              | 86,537  |
| 20 a 21 | 0,0056   | 86,537  | 0,0056                              | 86,537  |
| 21 a 22 | 0,0056   | 86,537  | 0,0056                              | 86,537  |
| 22 a 23 | 0,0061   | 83,647  | 0,0061                              | 83,647  |
| 23 a 24 | 0,0061   | 83,647  | 0,0061                              | 83,647  |

## Fase 6: ESPECTRO SÍSMICO.

La estructura, en general, puede tener incursiones importantes en el dominio inelástico bajo la acción de los movimientos sísmicos, por lo que la capacidad de absorción y disipación de energía de la estructura y cierto grado de resistencia se incorporan mediante factores de reducción, conformes a las exigencias de la Norma COVENIN 1756-2001.

Tabla 4.7. Factores de reducción R (Covenin 1756-2001).

| NIVEL<br>DE<br>DISEÑO | ESTRUCTURA DE CONCRETO ARMADO      |      |     |      |      |
|-----------------------|------------------------------------|------|-----|------|------|
|                       | TIPO DE ESTRUCTURA (SECCIÓN 6.3.1) |      |     |      |      |
|                       | I                                  | II   | III | IIIa | IV   |
| ND3                   | 6.0                                | 5.0  | 4.5 | 5.0  | 2.0  |
| ND2                   | 4.0                                | 3.5  | 3.0 | 3.5  | 1.5  |
| ND1                   | 2.0                                | 1.75 | 1.5 | 2.0  | 1.25 |

En este estudio, siendo la estructura Tipo I y el nivel de diseño ND3, se tomó un factor de reducción  $R = 6$ .

La Norma COVENIN 1756-2001 en su Sección 7.2, Espectros de Diseño, establece la manera de cómo se determinan las ordenadas espectrales correspondientes a las curvas para espectros de diseño elástico e inelásticos, tal como se muestra en la Figura 4.16.

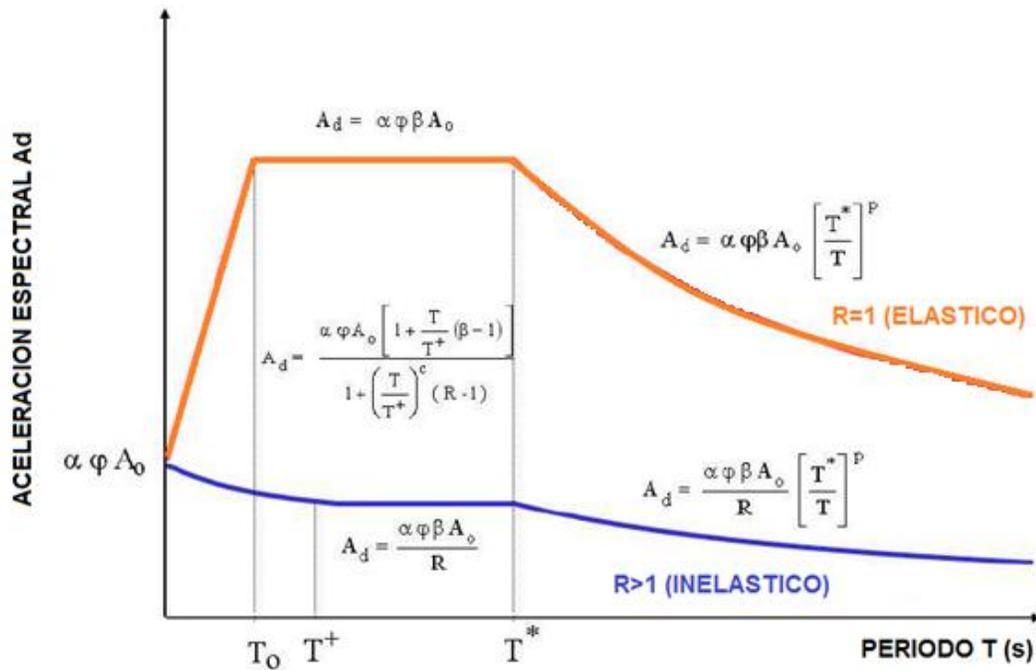


Figura 4.16 Espectro elástico e inelástico de la Norma Covenin.

A continuación se señalan en la siguiente tabla los parámetros usados para generar el espectro inelástico usado con  $R = 6$ , correspondientes a la zona sísmica 5, suelo S2, estructura tipo I, nivel de diseño ND3 y uso residencial, todo de acuerdo a la Norma Covenin 1756-2001:

Tabla 4.8. Parámetros Utilizados (Covenin 1756-2001).

| Aceleración máx. del terreno |        | Influencia del Suelo |           |         |           |   |
|------------------------------|--------|----------------------|-----------|---------|-----------|---|
| Zona                         | Ao (g) | Suelo                | $\varphi$ | $\beta$ | $T^*$ (s) | p |
| 5                            | 0.3    | S2                   | 0.9       | 2.6     | 0.7       | 1 |

$$c = \left(\frac{R}{\beta}\right)^{0.25}$$

| (Covenin 1756:01, R =1, elást.) |        |   |          | Coeficiente de Uso de Uso |          |
|---------------------------------|--------|---|----------|---------------------------|----------|
| To (s)                          | T+ (s) | R | c        | Grupo                     | $\alpha$ |
| 0.175                           | 0.25   | 6 | 1.232521 | B2                        | 1        |

Por lo tanto, el Espectro de Diseño de este estudio resulta de la siguiente manera:

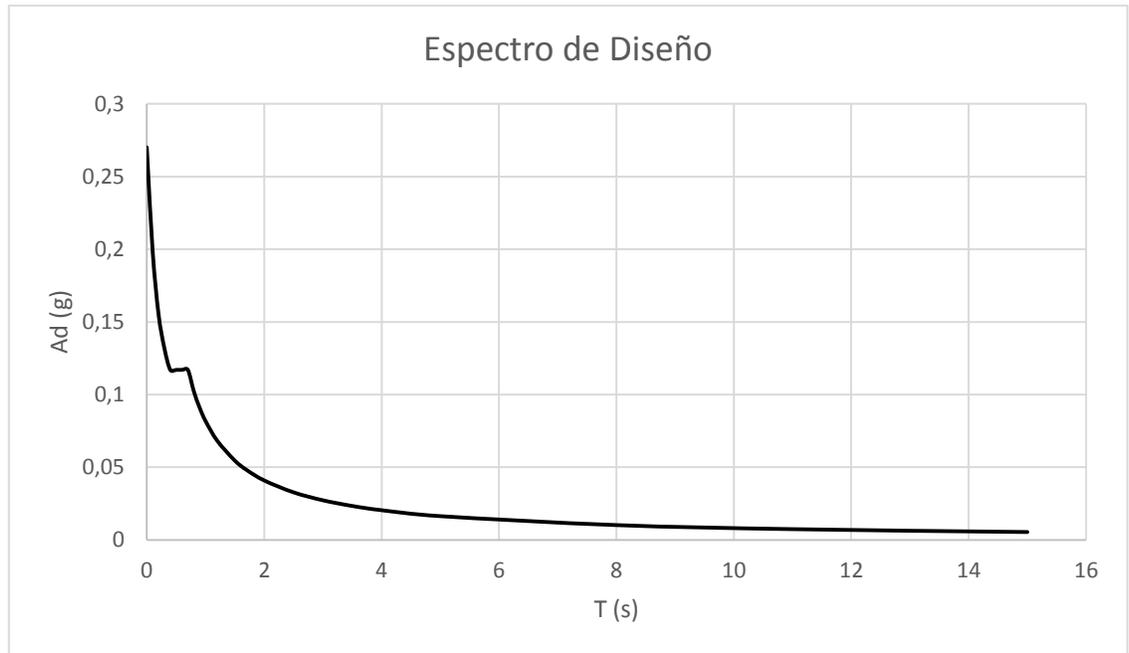


Figura 4.17 Espectro de Diseño.

### Fase 7: COMBINACIONES DE CARGA.

Se usaron las siguientes combinaciones:

Tabla 4.9. Combinaciones Utilizadas.

|                                       |
|---------------------------------------|
| $U1 = 1,4 CP$                         |
| $U2 = 1,2 CP + 1,6 CV$                |
| $U3x = 1,2 CP + 1 CV + 1 Sx + 0,3 Sy$ |
| $U3y = 1,2 CP + 1 CV + 1 Sy + 0,3 Sx$ |
| $U4x = 0,9 CP + 1 Sx + 0,3 Sy$        |
| $U4y = 0,9 CP + 1 Sy + 0,3 Sx$        |

Se tomaron las solicitaciones para el estado límite de agotamiento resistente para verificar, aun no siendo el objetivo principal de este trabajo de grado, el acero en las columnas.

En la tabla anterior se entiende por:

CP = carga permanente.

CV = Carga variable.

Sx = Sismo en sentido X.

Sy = Sismo en sentido Y.

### **Fase 8: CORRIDA DE LOS MODELOS.**

Toda la información anterior que conlleva la estructuración de un edificio, fue llevado al programa SAP 2000 (Structural Analysis Program) de “COMPUTERS and STRUCTURES, Inc.”, Berkeley, California.

### **Fase 9: PROPIEDADES DINÁMICAS DE LOS PERÍODOS.**

Tabla 4.10. Valores del período para los modelos de 4 niveles.

| Caso  | Modo | S/T         | E.Finitos   | F.Mainstone |
|-------|------|-------------|-------------|-------------|
|       |      | Periodo (s) | Periodo (s) | Periodo (s) |
| MODAL | 1    | 0,933       | 0,384       | 0,582       |
| MODAL | 2    | 0,929       | 0,382       | 0,581       |
| MODAL | 3    | 0,345       | 0,338       | 0,343       |
| MODAL | 4    | 0,345       | 0,335       | 0,336       |
| MODAL | 5    | -           | 0,335       | 0,330       |
| MODAL | 6    | -           | 0,332       | 0,329       |
| MODAL | 7    | -           | 0,188       | 0,212       |
| MODAL | 8    | -           | 0,188       | 0,211       |
| MODAL | 9    | -           | 0,123       | 0,120       |
| MODAL | 10   | -           | 0,123       | 0,120       |
| MODAL | 11   | -           | 0,107       | 0,111       |
| MODAL | 12   | -           | 0,061       | 0,069       |

Tabla 4.11. Valores del período para los modelos de 12 niveles.

| Caso  | Modo | S/T         | E. Finitos  | F. Mainstone | Caso  | Modo | S/T         | E. Finitos  | F. Mainstone |
|-------|------|-------------|-------------|--------------|-------|------|-------------|-------------|--------------|
|       |      | Periodo (s) | Periodo (s) | Periodo (s)  |       |      | Periodo (s) | Periodo (s) | Periodo (s)  |
| MODAL | 1    | 2,153       | 1,059       | 1,478        | MODAL | 19   | 0,199       | 0,337       | 0,203        |
| MODAL | 2    | 2,153       | 1,059       | 1,478        | MODAL | 20   | 0,198       | 0,337       | 0,192        |
| MODAL | 3    | 1,806       | 0,762       | 1,145        | MODAL | 21   | 0,198       | 0,337       | 0,189        |
| MODAL | 4    | 0,765       | 0,357       | 0,514        | MODAL | 22   | 0,178       | 0,336       | 0,177        |
| MODAL | 5    | 0,765       | 0,357       | 0,514        | MODAL | 23   | 0,178       | 0,336       | 0,169        |
| MODAL | 6    | 0,424       | 0,344       | 0,347        | MODAL | 24   | 0,162       | 0,336       | 0,154        |
| MODAL | 7    | 0,424       | 0,341       | 0,344        | MODAL | 25   | 0,149       | 0,335       | 0,147        |
| MODAL | 8    | 0,348       | 0,341       | 0,344        | MODAL | 26   | 0,135       | 0,335       | 0,132        |
| MODAL | 9    | 0,345       | 0,340       | 0,344        | MODAL | 27   | 0,134       | 0,334       | 0,124        |
| MODAL | 10   | 0,340       | 0,340       | 0,341        | MODAL | 28   | 0,122       | 0,333       | 0,113        |
| MODAL | 11   | 0,339       | 0,340       | 0,340        | MODAL | 29   | 0,116       | 0,333       | 0,112        |
| MODAL | 12   | 0,339       | 0,340       | 0,336        | MODAL | 30   | 0,095       | 0,333       | 0,093        |
| MODAL | 13   | 0,337       | 0,340       | 0,334        | MODAL | 31   | 0,092       | 0,333       | 0,088        |
| MODAL | 14   | 0,336       | 0,340       | 0,334        | MODAL | 32   | 0,085       | 0,333       | 0,078        |
| MODAL | 15   | 0,334       | 0,339       | 0,331        | MODAL | 33   | 0,066       | 0,332       | 0,065        |
| MODAL | 16   | 0,332       | 0,339       | 0,291        | MODAL | 34   | -           | 0,332       | -            |
| MODAL | 17   | 0,278       | 0,339       | 0,291        | MODAL | 35   | -           | 0,332       | -            |
| MODAL | 18   | 0,278       | 0,339       | 0,203        | MODAL | 36   | -           | 0,331       | -            |

Tabla 4.12. Valores del período para los modelos de 24 niveles.

| Caso  | Modo | S/T         | E. Finitos  | F. Mainstone | Caso  | Modo | S/T         | E. Finitos  | F. Mainstone |
|-------|------|-------------|-------------|--------------|-------|------|-------------|-------------|--------------|
|       |      | Periodo (s) | Periodo (s) | Periodo (s)  |       |      | Periodo (s) | Periodo (s) | Periodo (s)  |
| MODAL | 1    | 2,722       | 1,933       | 2,318        | MODAL | 29   | 0,309       | 0,207       | 0,257        |
| MODAL | 2    | 2,722       | 1,933       | 2,318        | MODAL | 30   | 0,243       | 0,207       | 0,204        |
| MODAL | 3    | 2,171       | 1,386       | 1,778        | MODAL | 31   | 0,243       | 0,200       | 0,204        |
| MODAL | 4    | 1,016       | 0,675       | 0,847        | MODAL | 32   | 0,196       | 0,194       | 0,177        |
| MODAL | 5    | 1,016       | 0,675       | 0,847        | MODAL | 33   | 0,196       | 0,194       | 0,169        |
| MODAL | 6    | 0,838       | 0,502       | 0,670        | MODAL | 34   | 0,177       | 0,174       | 0,169        |
| MODAL | 7    | 0,598       | 0,376       | 0,490        | MODAL | 35   | 0,166       | 0,162       | 0,167        |
| MODAL | 8    | 0,598       | 0,376       | 0,490        | MODAL | 36   | 0,166       | 0,161       | 0,160        |
| MODAL | 9    | 0,500       | 0,342       | 0,344        | MODAL | 37   | 0,160       | 0,160       | 0,159        |
| MODAL | 10   | 0,412       | 0,328       | 0,341        | MODAL | 38   | 0,158       | 0,155       | 0,158        |
| MODAL | 11   | 0,412       | 0,328       | 0,341        | MODAL | 39   | 0,156       | 0,153       | 0,156        |
| MODAL | 12   | 0,345       | 0,324       | 0,331        | MODAL | 40   | 0,156       | 0,153       | 0,139        |
| MODAL | 13   | 0,334       | 0,323       | 0,331        | MODAL | 41   | 0,138       | 0,138       | 0,138        |
| MODAL | 14   | 0,334       | 0,323       | 0,326        | MODAL | 42   | 0,136       | 0,127       | 0,137        |
| MODAL | 15   | 0,326       | 0,322       | 0,324        | MODAL | 43   | 0,136       | 0,127       | 0,122        |
| MODAL | 16   | 0,324       | 0,322       | 0,324        | MODAL | 44   | 0,120       | 0,118       | 0,120        |
| MODAL | 17   | 0,323       | 0,321       | 0,324        | MODAL | 45   | 0,116       | 0,108       | 0,117        |
| MODAL | 18   | 0,323       | 0,321       | 0,323        | MODAL | 46   | 0,115       | 0,107       | 0,106        |
| MODAL | 19   | 0,323       | 0,319       | 0,322        | MODAL | 47   | 0,103       | 0,104       | 0,103        |
| MODAL | 20   | 0,322       | 0,319       | 0,322        | MODAL | 48   | 0,095       | 0,093       | 0,095        |
| MODAL | 21   | 0,322       | 0,319       | 0,320        | MODAL | 49   | 0,095       | 0,089       | 0,093        |
| MODAL | 22   | 0,320       | 0,318       | 0,320        | MODAL | 50   | 0,093       | 0,087       | 0,088        |
| MODAL | 23   | 0,319       | 0,318       | 0,319        | MODAL | 51   | 0,074       | 0,074       | 0,074        |
| MODAL | 24   | 0,319       | 0,318       | 0,319        | MODAL | 52   | 0,073       | 0,069       | 0,072        |
| MODAL | 25   | 0,319       | 0,316       | 0,318        | MODAL | 53   | 0,072       | 0,066       | 0,067        |
| MODAL | 26   | 0,318       | 0,257       | 0,318        | MODAL | 54   | 0,059       | 0,058       | 0,059        |
| MODAL | 27   | 0,313       | 0,257       | 0,311        | MODAL | 55   | -           | 0,046       | -            |
| MODAL | 28   | 0,309       | 0,207       | 0,257        | MODAL | 56   | -           | 0,045       | -            |

### Fase 10: UBICACIÓN DE LOS PERÍODOS FUNDAMENTALES EN LOS ESPECTROS SÍSMICOS PARA LOS DIFERENTES MODELOS.

A continuación se ubicaron los períodos fundamentales de cada modelo (S/T, Elementos Finitos y Fórmula de Mainstone) sobre el espectro sísmico, de tal forma de apreciar las diferencias.

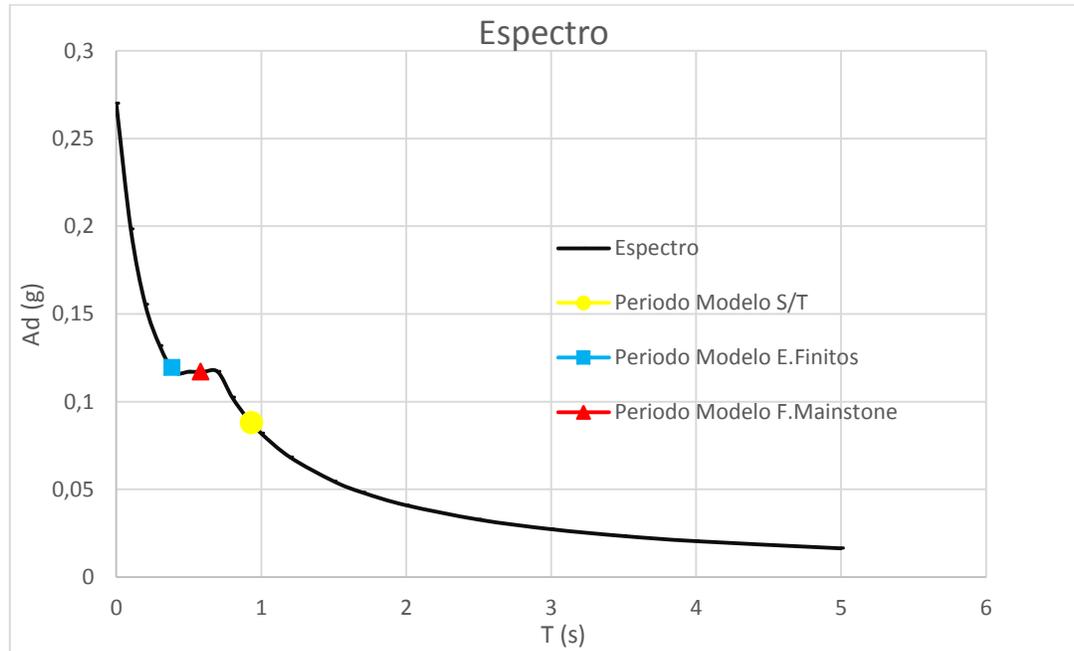


Figura 4.18 Espectro de Diseño, período fundamental T y aceleración Ad para los modelos de 4 niveles.

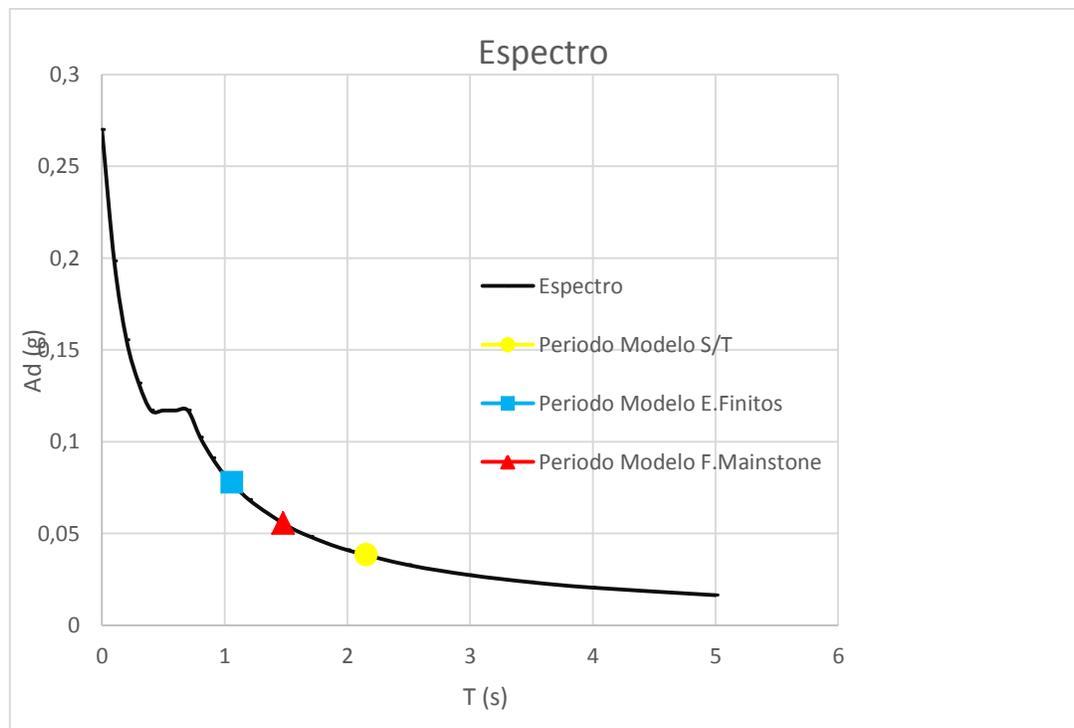


Figura 4.19 Espectro de Diseño, período fundamental T y aceleración Ad para modelos de 12 niveles.

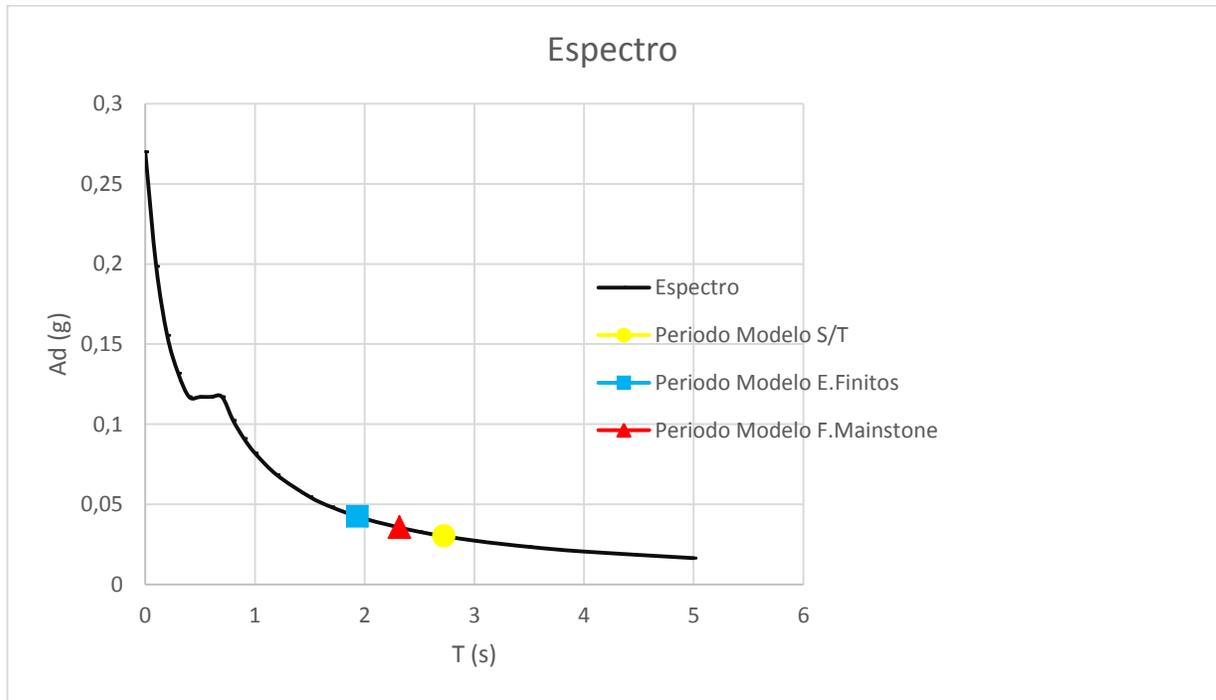


Figura 4.20 Espectro de Diseño, período fundamental  $T$  y aceleración  $A_d$  para los modelos de 24 niveles.

### Fase 11: VERIFICACIÓN DEL NÚMERO DE MODOS DE VIBRACIÓN.

Para cumplir con el 90% de la masa participativa, se incorporó el número de modos necesarios para igualar o exceder ese porcentaje. Adicionalmente, se cumplió con lo establecido en el Capítulo 9 de la Norma Covenin 1756-2001, donde el número mínimo de modos de vibración  $N_1$  debe ser:

a) para edificios con menos de 20 pisos:

$$N_1 = \frac{1}{2} \frac{T_1}{T^*} - 1.5 + 3 \geq 3 \quad (4.3)$$

b) para edificios con 20 pisos o más:

$$N_1 = \frac{2}{3} \frac{T_1}{T^*} - 1.5 + 4 \geq 4 \quad (4.4)$$

Donde:

$$T^* = 0,70$$

$T_1$  = Período del modo fundamental de la edificación.

| MODELO               | Períodos T1 del modo fundamental (s) |            |            |
|----------------------|--------------------------------------|------------|------------|
|                      | 4 niveles                            | 12 niveles | 24 niveles |
| S/T                  | 0.933                                | 2.153      | 2.722      |
| Elementos Finitos    | 0.384                                | 1.059      | 1.933      |
| Fórmula de Mainstone | 0.582                                | 1.478      | 2.318      |

Por lo tanto, el número de modos de vibración mínimos N1 debe ser mayor a los que aparecen en la siguiente tabla:

| MODELO               | # de Modos de vibración mínimos N1 |            |            |
|----------------------|------------------------------------|------------|------------|
|                      | 4 niveles                          | 12 niveles | 24 niveles |
| S/T                  | 2.92                               | 3.79       | 5.59       |
| Elementos Finitos    | 2.52                               | 3.01       | 4.84       |
| Fórmula de Mainstone | 2.67                               | 3.31       | 5.21       |

El número de modos de vibración con los cuales se cumplió el 90% de la masa participativa son los siguientes (Son mayores a los obtenidos en la tabla anterior):

| MODELO               | # de Modos de vibración con los cuales se cumplió el 90% de la masa participativa |            |            |
|----------------------|---|------------|------------|
|                      | 4 niveles   | 12 niveles | 24 niveles |
| S/T                  | 4   | 33         | 54         |
| Elementos Finitos    | 12  | 36         | 56         |
| Fórmula de Mainstone | 12  | 33         | 54         |

## **Fase 12: REVISIÓN DEL COEFICIENTE SÍSMICO Y CONTROL DEL CORTANTE BASAL.**

A continuación se definen algunos parámetros que serán utilizados en la presente fase:

$\alpha$ = Factor de importancia.

$A_0$ = Coeficiente de la aceleración horizontal.

$R$ = Factor de reducción.

$V_0$ = Fuerza cortante a nivel de base.

$W$ = Peso total de la edificación por encima del nivel base.

$h_n$  = Altura de la edificación medida desde el último nivel hasta el primer nivel cuyos desplazamientos estén restringidos total o parcialmente.

$N$  = número de niveles.

$T$  = período fundamental.

Siendo el modelo simétrico, la dirección del eje “X” a la dirección Norte-Sur y el eje “Y” a la dirección Este-Oeste darán el mismo valor.

*Revisión del coeficiente sísmico (Artículo 7.1, Capítulo 7, Norma Covenin 1756:2001):*

De acuerdo al Capítulo 7 de la Norma Covenin 1756:2001, el coeficiente sísmico definido como  $V_o/W$  no será menor que  $(\alpha A_o \phi)/R$

En caso de que alguno de los coeficientes sísmicos ( $V_{ox}/W$  o  $V_{oy}/W$ ) sea menor al coeficiente mínimo establecido por la norma, se tomará este último para avanzar con los cálculos.

*Control del cortante basal (Artículo 9.4.6, Capítulo 9, Norma Covenin 1756:2001):*

Este artículo exige que el corte basal  $V_o$  (en ambas direcciones) deba compararse con un corte  $V_o^*$  calculado según la Sección 9.3.1 con período  $T = 1,6T_a$ .

Cuando  $V_o$  sea menor que  $V_o^* = \mu A_d W$ , los valores para el diseño deberán multiplicarse por  $V_o^*/V_o$ .

VERIFICACIÓN COEFICIENTES SÍSMICOS:

Los siguientes parámetros son iguales para todos los modelos:

| $\alpha$ | $A_0$ | $\varphi$ | R | $C_t$ | $T^*$<br>(segundos) |
|----------|-------|-----------|---|-------|---------------------|
| 1        | 0,30  | 0,9       | 6 | 0,07  | 0,7                 |

✓ VERIFICACIÓN PARA EL MODELO DE 4 NIVELES

| Mod. (4 niv.) | W<br>(Kgf) | $V_0 = V_{0x} = V_{0y}$<br>(Kgf) | $\frac{(\alpha A_0 \varphi)}{R}$ | $V_0/W$ | $\left\{ \frac{(\alpha A_0 \varphi)}{R} \leq \frac{V_0}{W} \right\} ?$ | $\frac{(\alpha A_0 \varphi)}{\frac{R}{V_0} \times 9.81}$ |
|---------------|------------|----------------------------------|----------------------------------|---------|--|--|
| S/T           | 1218496    | 93327                            | 0,045                            | 0,077   | SI   | N/A  |
| Elem. Finitos | 1218582    | 135469                           | 0,045                            | 0,111   | SI   | N/A  |
| Mainstone     | 1168816    | 122984                           | 0,045                            | 0,105   | SI   | N/A  |

| Mod. (4 niv.) | N | hn<br>(m) | $Ta = Ct \cdot hn^{0,75}$<br>(segundos) | 1.6 Ta<br>(seg.) | Ad<br>para 1.6 Ta<br>(g) | T<br>(seg)<br>(Período<br>Fundam.) | $\mu = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,4 \left[ \frac{N+9}{2N+12} \right] \\ 0,80 + \frac{1}{20} \left[ \frac{T}{T^*} - 1 \right] \end{array} \right.$ |
|---------------|---|-----------|---|------------------|--------------------------|------------------------------------|--|
| S/T           | 4 | 12        | 0,451                                   | 0,721            | 0,113                    | 0,930                              | 0,91   |
| Elem. Finitos | 4 | 12        | 0,451                                   | 0,721            | 0,113                    | 0,383                              | 0,91   |
| Mainstone     | 4 | 12        | 0,451                                   | 0,721            | 0,113                    | 0,581                              | 0,91   |

| Mod. (4 niv.) | $V_0^* = \mu Ad W$<br>(Kgf) | $\{V_0^* \leq V_0\} ?$ | $(V_0^*/V_0) \times 9.81$<br>(m/s <sup>2</sup> ) |
|---------------|-----------------------------|------------------------|--|
| S/T           | 125298                      | NO                     | 13,17  |
| Elem. Finitos | 125307                      | SI                     | N/A  |
| Mainstone     | 120189                      | SI                     | N/A  |

✓ VERIFICACIÓN PARA EL MODELO DE 12 NIVELES

| Modelo (12 niv.) | W<br>(Kgf) | Vo = Vox = Voy<br>(Kgf) | $\frac{(\alpha A_o \phi)}{R}$ | Vo/W  | $\left\{ \frac{(\alpha A_o \phi)}{R} \leq \frac{V_o}{W} \right\} ?$ | $\frac{(\alpha A_o \phi)}{\frac{R}{\frac{V_o}{W}}} \times 9.81$ |
|------------------|------------|-------------------------|-------------------------------|-------|---|---|
| S/T              | 3926231    | 133450                  | 0,045                         | 0,033 | NO  | 13,37   |
| Elem. Finitos    | 3926490    | 248770                  | 0,045                         | 0,063 | SI  | N/A   |
| Mainstone        | 3876551    | 180870                  | 0,045                         | 0,046 | SI  | N/A   |

| Modelo (12 niv.) | N  | hn<br>(m) | $T_a = C_t \cdot h_n^{0,75}$<br>(segundos) | 1.6 Ta<br>(seg.) | Ad<br>para 1.6 Ta<br>(g) | T<br>(segundos)<br>(Período<br>Fundam.) | $\mu = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,4 \left[ \frac{N+9}{2N+12} \right] \\ 0,80 + \frac{1}{20} \left[ \frac{T}{T_*} - 1 \right] \end{array} \right.$ |
|------------------|----|-----------|--|------------------|--------------------------|---|--|
| S/T              | 12 | 36        | 1,029                                      | 1,650            | 0,050                    | 2,152                                   | 0,90   |
| Elem. Finitos    | 12 | 36        | 1,029                                      | 1,650            | 0,050                    | 1,058                                   | 0,82   |
| Mainstone        | 12 | 36        | 1,029                                      | 1,650            | 0,050                    | 1,477                                   | 0,85   |

| Modelo (12 niv.) | $V_o^* = \mu A_d W$<br>(Kgf) | $\{V_o^* \leq V_o\} ?$ | $(V_o^*/V_o) \times 9.81$<br>(m/s <sup>2</sup> ) |
|------------------|------------------------------|------------------------|--|
| S/T              | 176680                       | NO                     | 12,99  |
| Elem. Finitos    | 160986                       | SI                     | N/A  |
| Mainstone        | 164753                       | SI                     | N/A  |

✓ VERIFICACIÓN PARA EL MODELO DE 24 NIVELES

| Modelo (24 niv.) | W<br>(Kgf) | Vo = Vox = Voy<br>(Kgf) | $\frac{(\alpha A o \phi)}{R}$ | Vo/W  | $\left\{ \frac{(\alpha A o \phi)}{R} \leq \frac{V_o}{W} \right\} ?$ | $\frac{(\alpha A o \phi)}{\frac{R}{\frac{V_o}{W}}} \times 9.81$ |
|------------------|------------|-------------------------|-------------------------------|-------|---|---|
| S/T              | 9391927    | 251247                  | 0,045                         | 0,026 | NO  | 16,98   |
| Elem. Finitos    | 9442125    | 357432                  | 0,045                         | 0,038 | NO  | 11,620  |
| Mainstone        | 9391927    | 292327                  | 0,045                         | 0,031 | NO  | 14,240  |

| Modelo (24 niv.) | N  | hn<br>(m) | $Ta = Ct. hn^{0,75}$<br>(segundos) | 1.6 Ta<br>(seg.) | Ad<br>para 1.6 Ta<br>(g) | T<br>(segundos)<br>(Período<br>Fundam.) | $\mu = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,4 \left[ \frac{N + 9}{2N + 12} \right] \\ 0,80 + \frac{1}{20} \left[ \frac{T}{T^*} - 1 \right] \end{array} \right.$ |
|------------------|----|-----------|------------------------------------|------------------|--------------------------|---|--|
| S/T              | 24 | 72        | 1,730                              | 2,760            | 0,029                    | 2,720                                   | 0,94   |
| Elem. Finitos    | 24 | 72        | 1,730                              | 2,760            | 0,029                    | 1,933                                   | 0,88   |
| Mainstone        | 24 | 72        | 1,730                              | 2,760            | 0,029                    | 2,317                                   | 0,91   |

| Modelo (24 niv.) | $V_o^* = \mu Ad W$<br>(Kgf) | $\{V_o^* \leq V_o\} ?$ | $(V_o^*/V_o) \times 9.81$<br>(m/s <sup>2</sup> ) |
|------------------|-----------------------------|------------------------|--|
| S/T              | 256023                      | NO                     | 10,00  |
| Elem. Finitos    | 240963                      | SI                     | N/A  |
| Mainstone        | 247852                      | SI                     | N/A  |

NOTA:

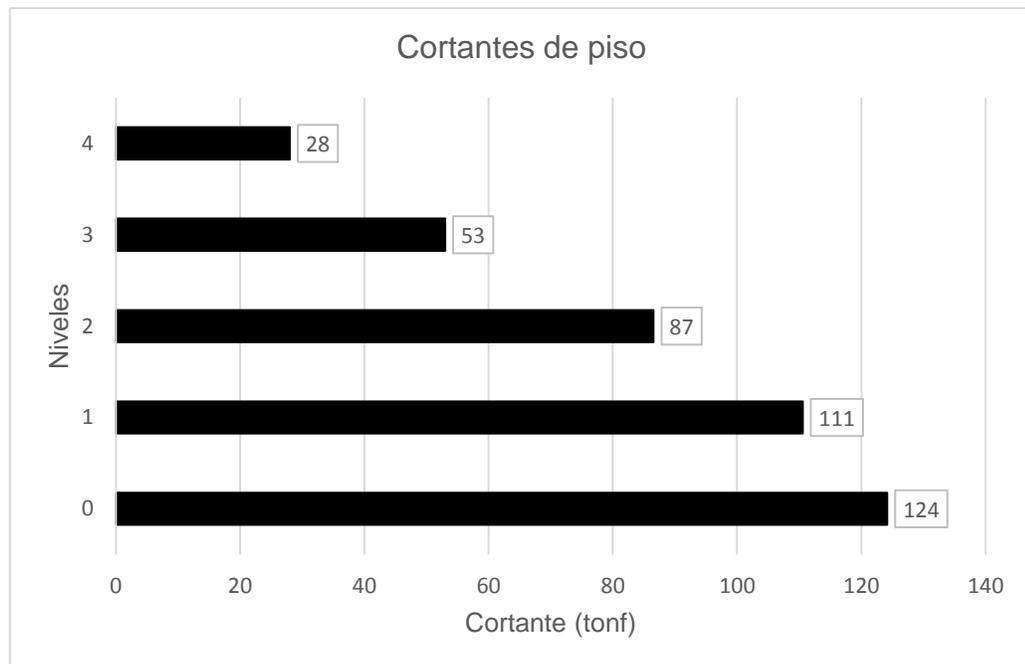
- En las tablas anteriores hay 2 casillas con signo de interrogación (son preguntas):
  - Si las dos respuestas son "SI", no hay que hacer modificación alguna en los cortantes.

- Si de las dos respuestas una es "SI" y la otra "NO", será necesario modificar los cortantes y se tomará para la modificación el valor de la casilla en color azul.
- Si las dos respuestas son "NO", será necesario modificar los cortantes y se tomará para la modificación el valor de la casilla en color azul (la mayor de las dos modificaciones).

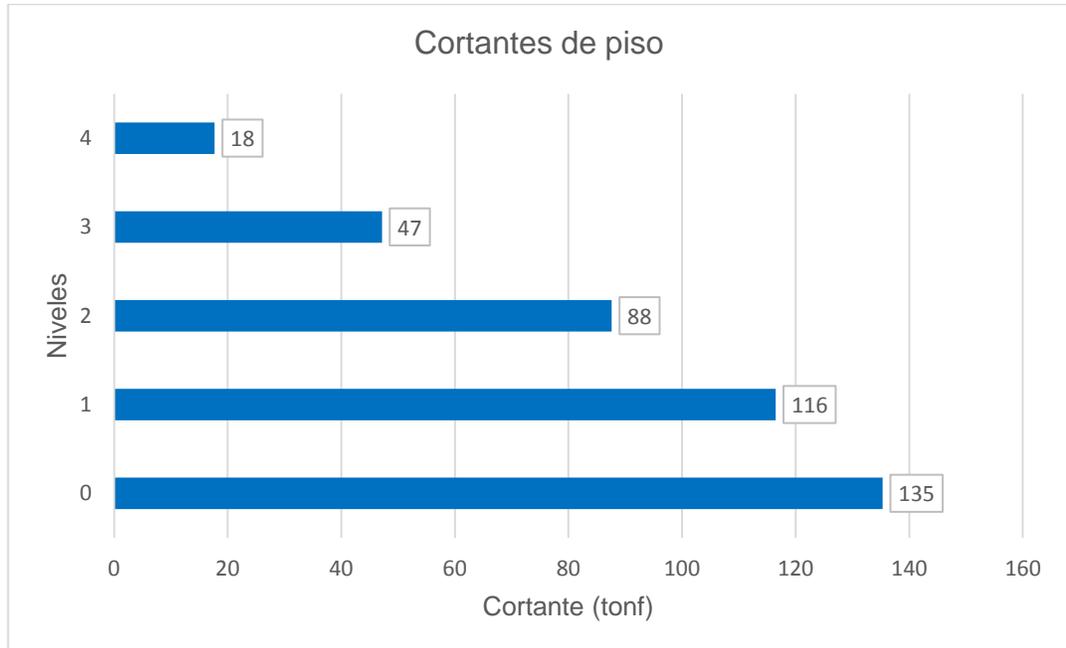
### Fase 13: RESPUESTA DINÁMICA: CORTANTES DE PISO.

En esta fase se graficaron los "Cortantes de Piso" (tonf) para sismo. Los Cortantes de piso en las dos direcciones dan practicamente igual (ya que los modelos son simetricos).

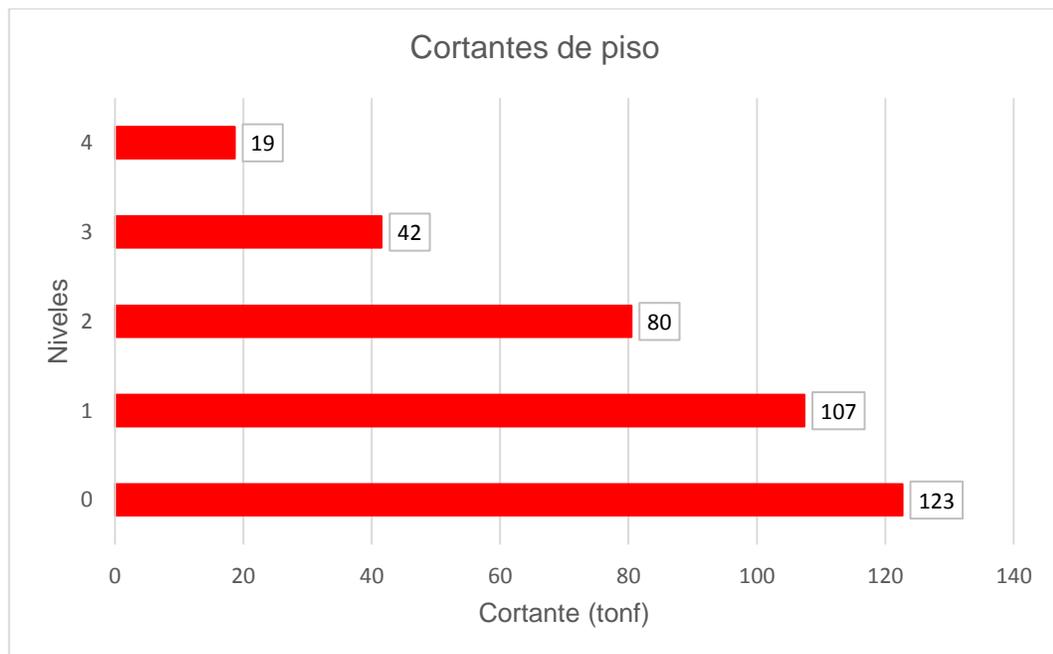
#### Modelo S/T de 4 Niveles



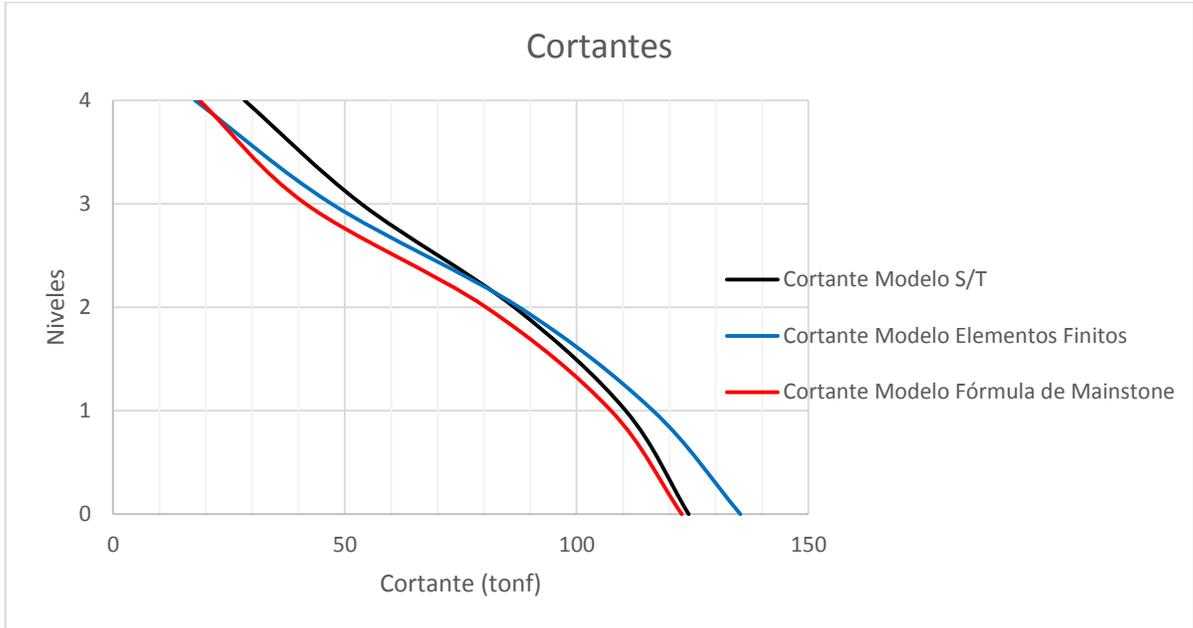
Modelo con Elementos Finitos de 4 Niveles



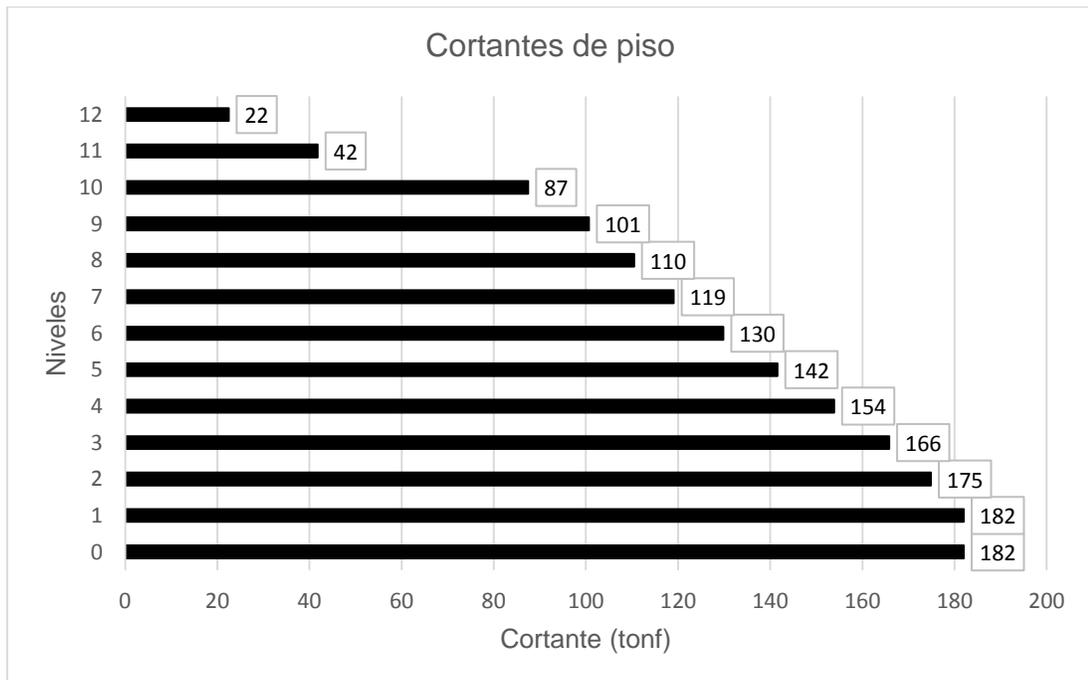
Modelo con Fórmula de Mainstone de 4 Niveles



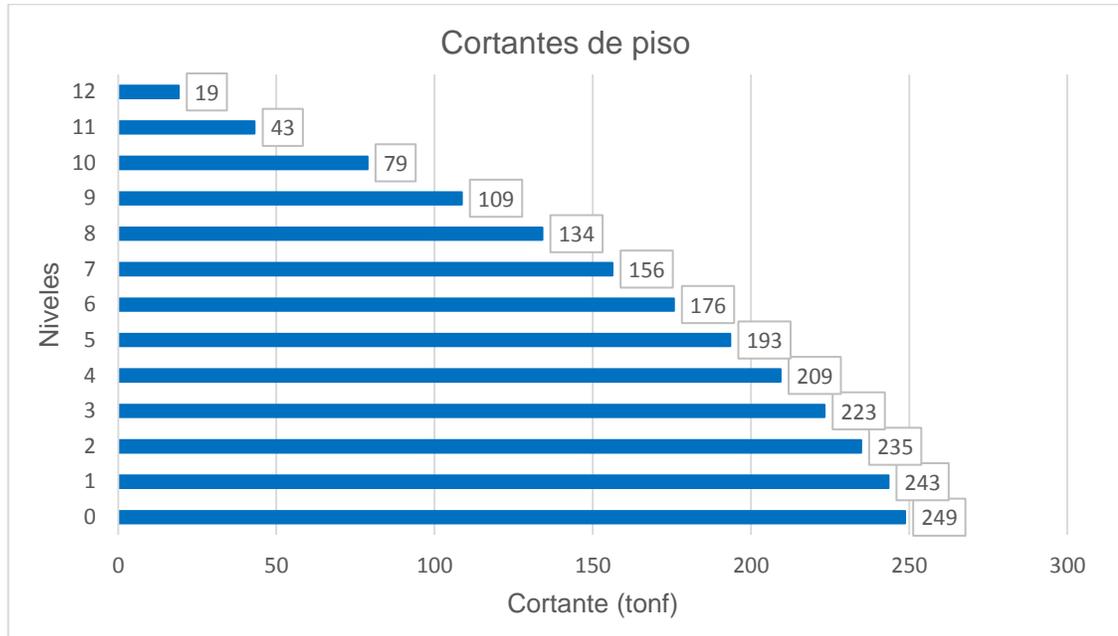
Comparación del Cortante de los tres modelos de 4 niveles



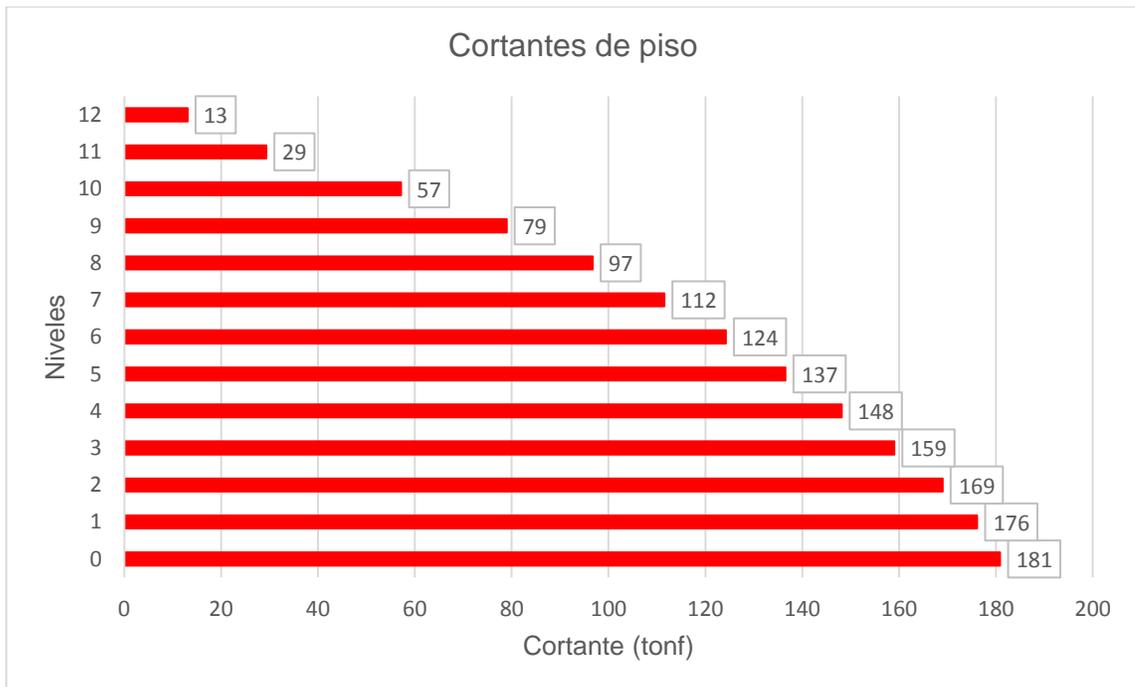
Modelo S/T de 12 Niveles



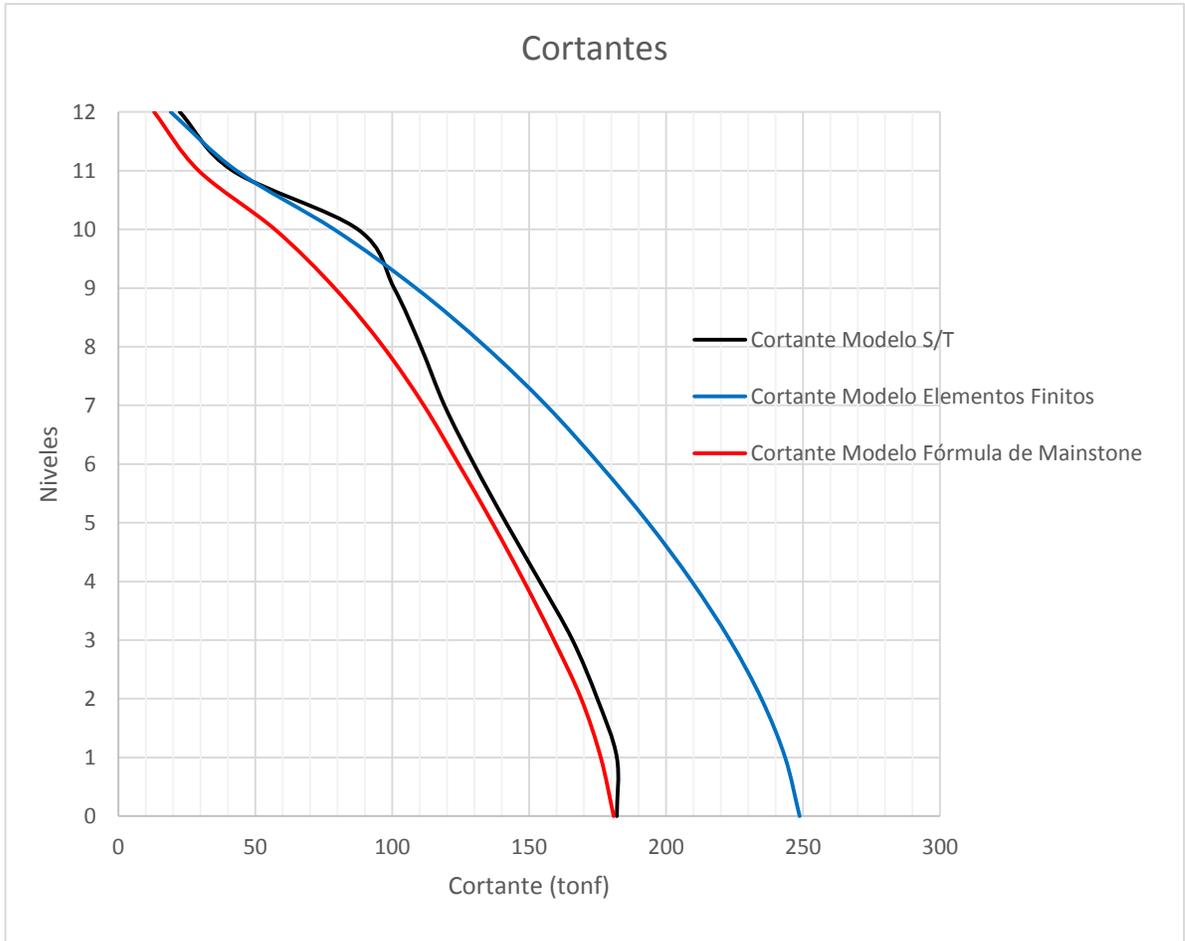
Modelo con Elementos Finitos de 12 Niveles



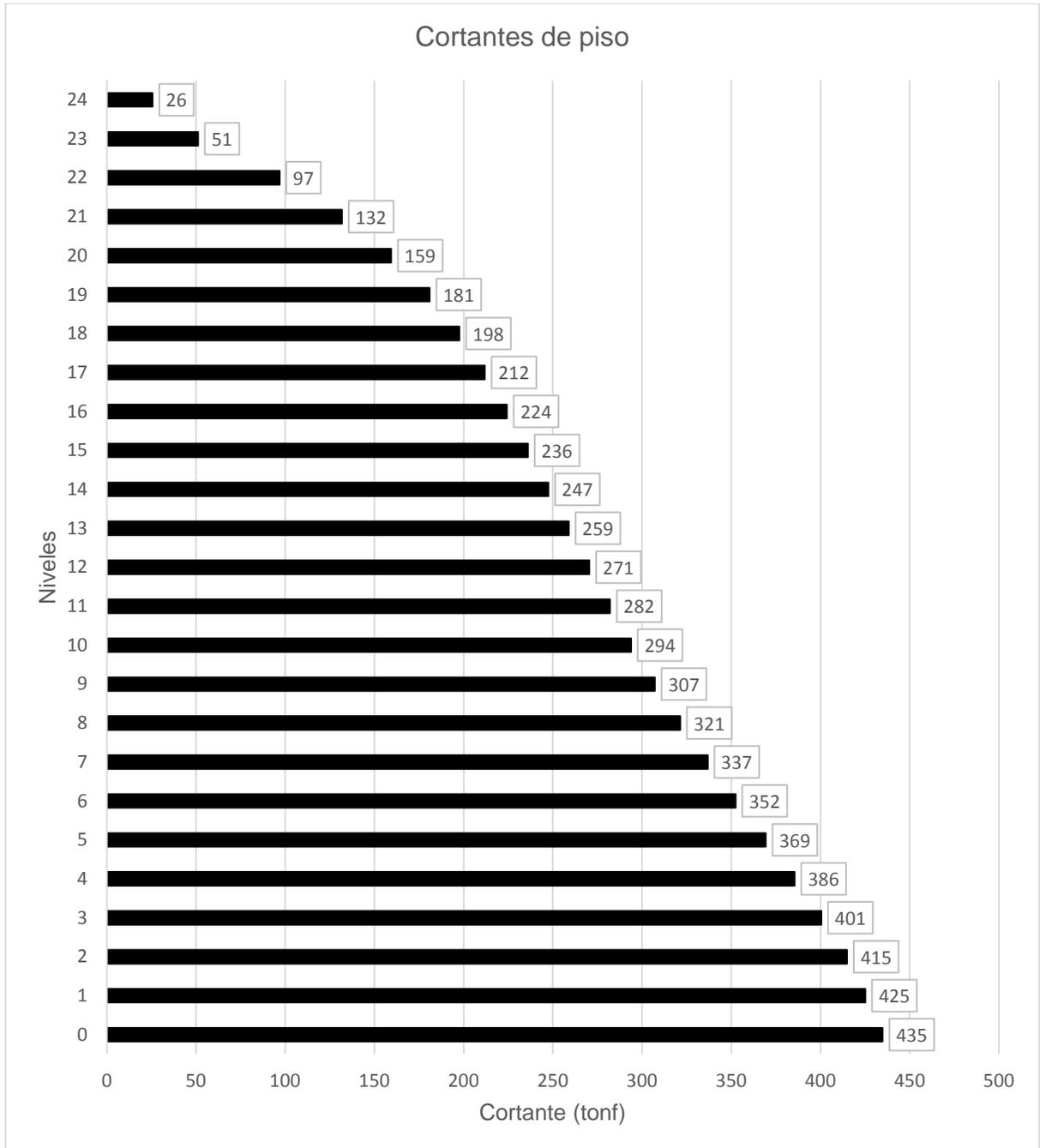
Modelo con Fórmula de Mainstone de 12 Niveles



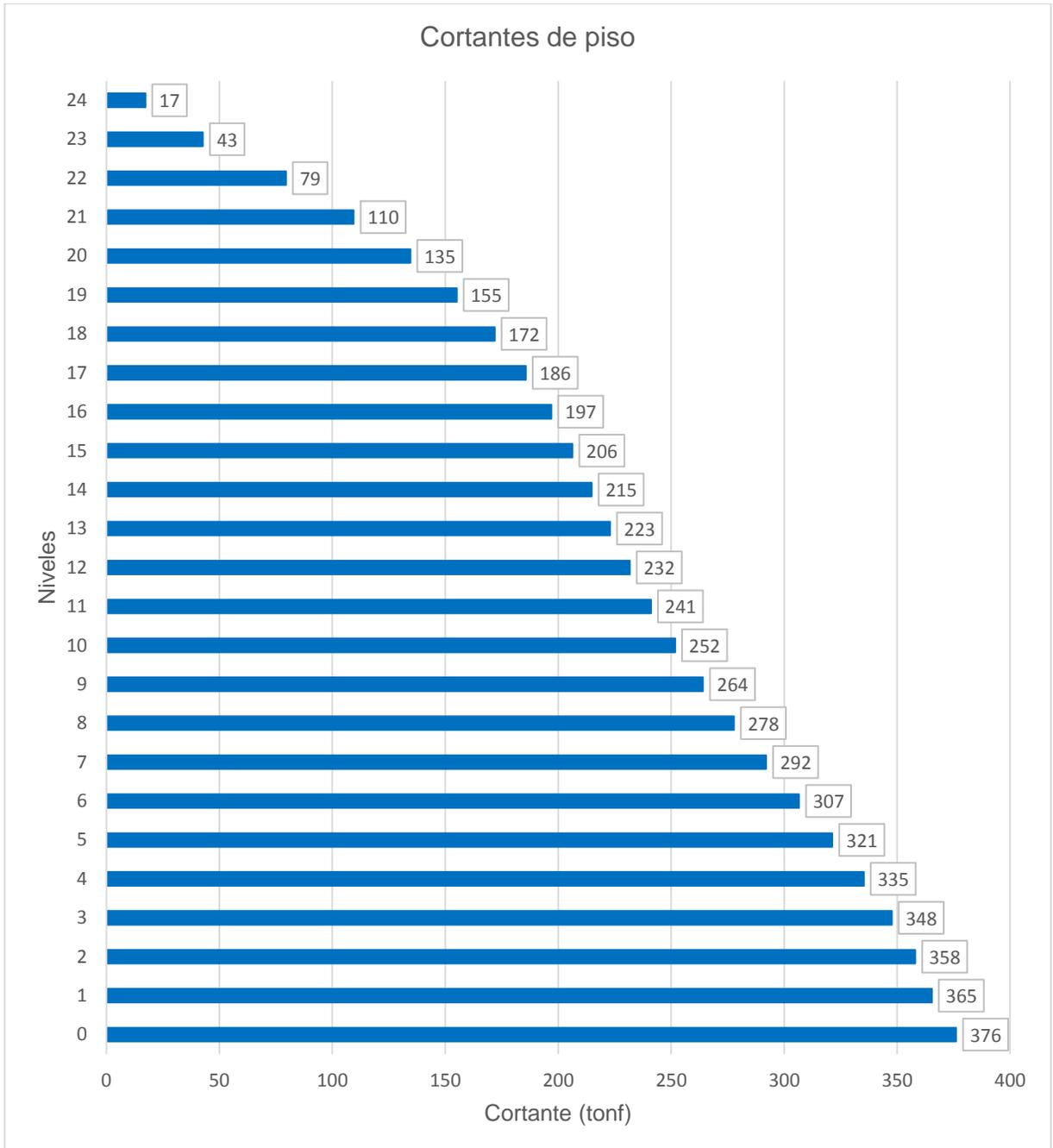
Comparación del Cortante de los tres modelos de 12 niveles



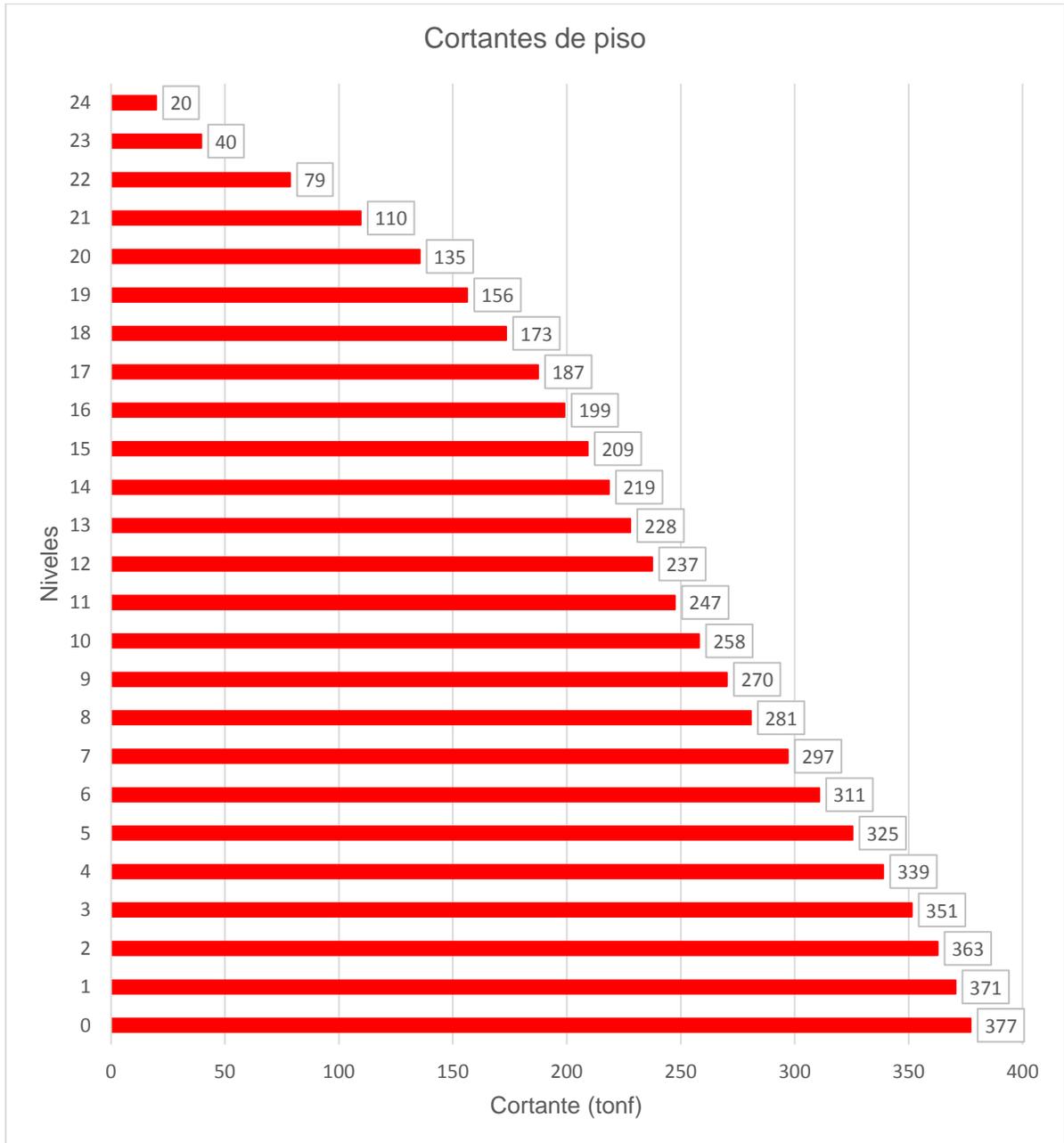
Modelo S/T de 24 Niveles



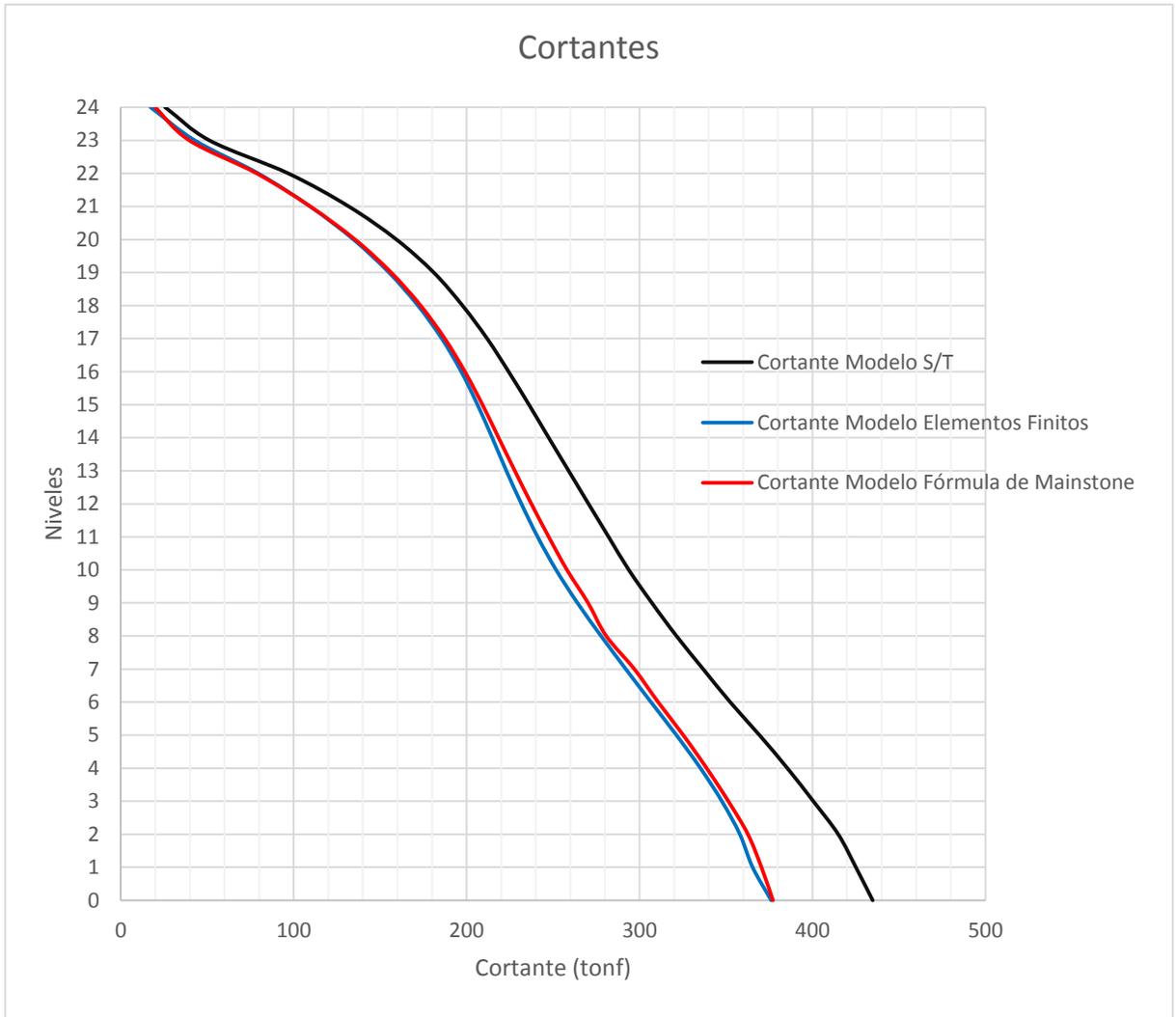
Modelo con Elementos Finitos de 24 Niveles



Modelo con Fórmula de Mainstone de 24 Niveles



Comparación del Cortante de los tres modelos para 24 Niveles



### Fase 14: RESPUESTA DINÁMICA: DESPLAZAMIENTOS INELÁSTICOS.

En esta fase se graficaron los “Desplazamientos Inelásticos” (cm) los cuales son iguales para las dos direcciones ya que los modelos son simétricos. Los mismos se obtienen a partir de los desplazamientos elásticos utilizando la siguiente ecuación del Capítulo 10 de la Norma Covenin 1756:2001:

$$\Delta_i = 0,8 \times R \times \Delta_{ei} \quad (4.6)$$

Donde:

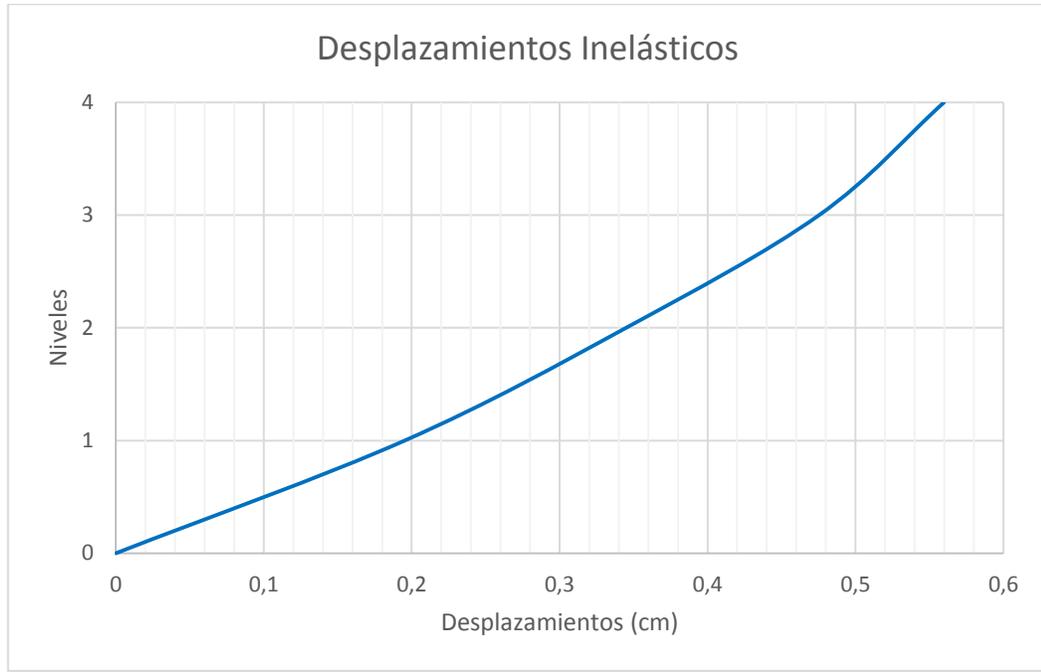
R = factor de reducción = 6

$\Delta_{ei}$  = desplazamiento lateral del nivel i calculado para las fuerzas de diseño, suponiendo que la estructura se comporta elásticamente.

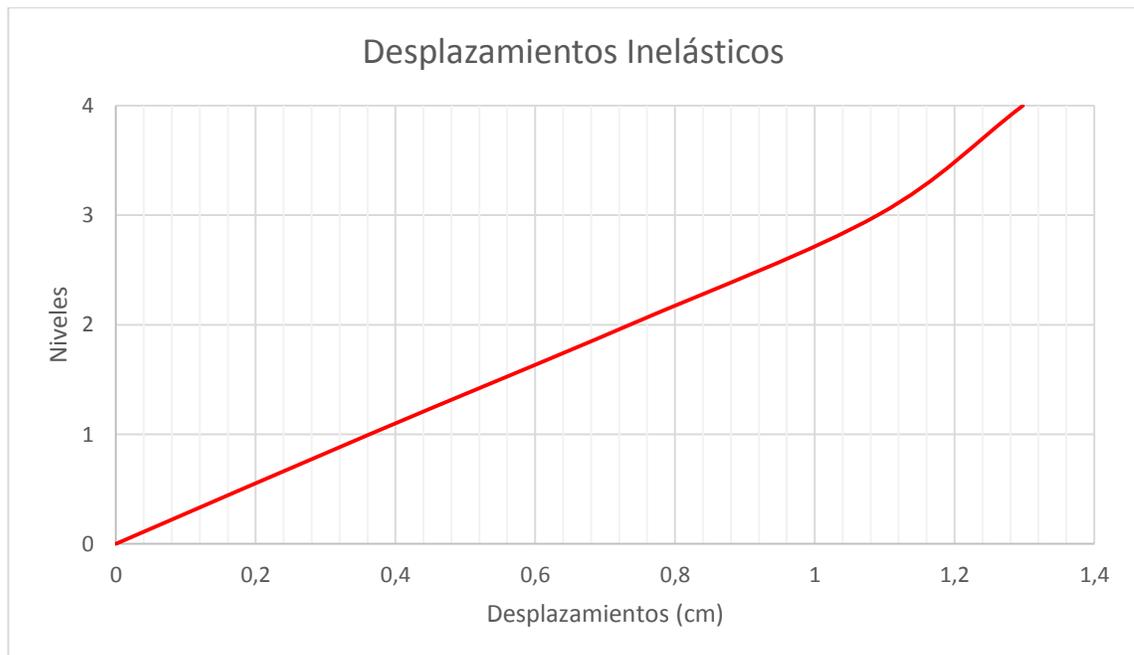
#### Modelo S/T de 4 Niveles



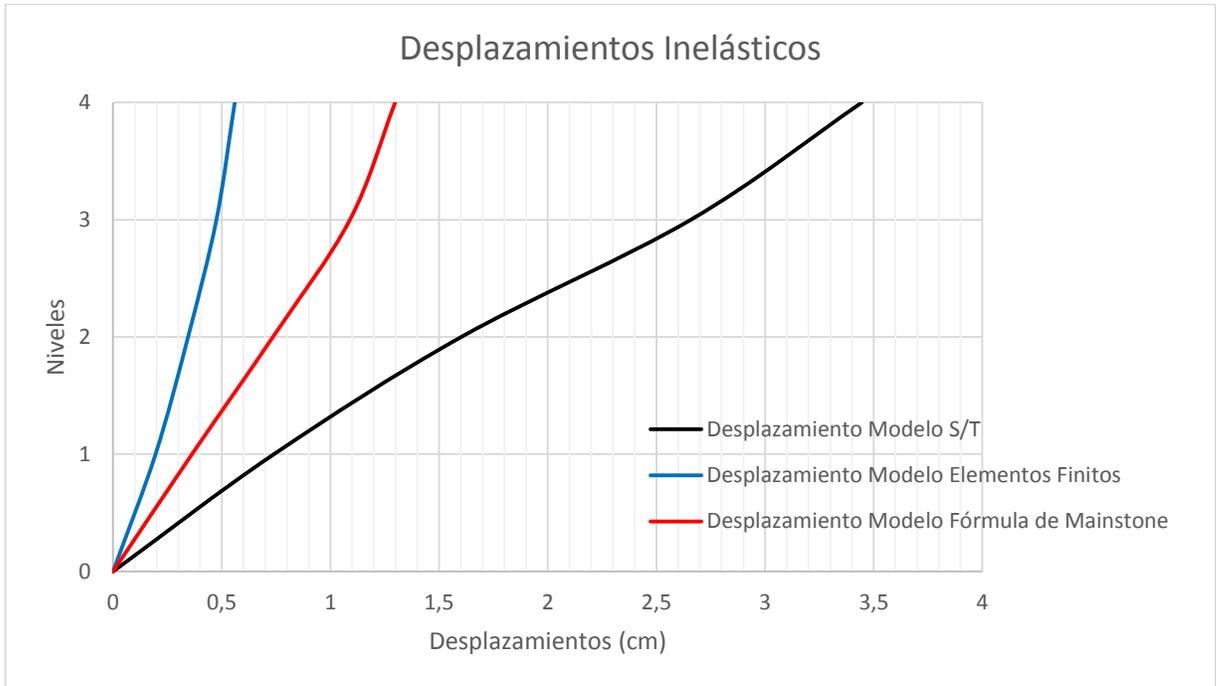
Modelo con Elementos Finitos de 4 Niveles



Modelo con Fórmula de Mainstone de 4 Niveles



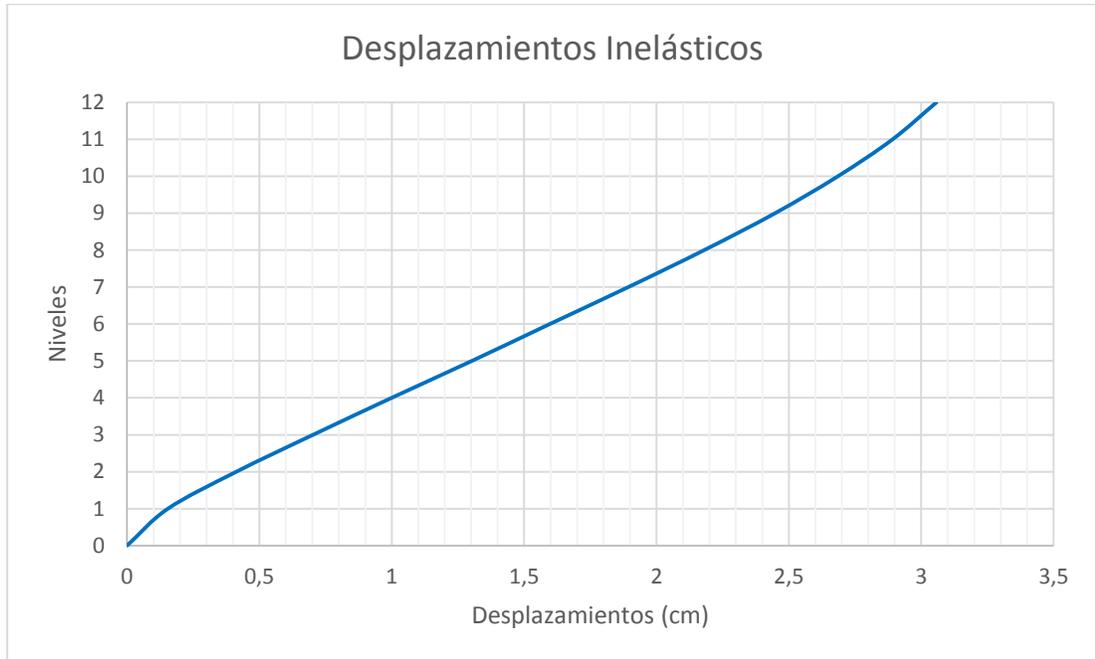
Comparación de los Desplazamientos Inelásticos de los tres modelos para 4 Niveles



Modelo S/T de 12 Niveles



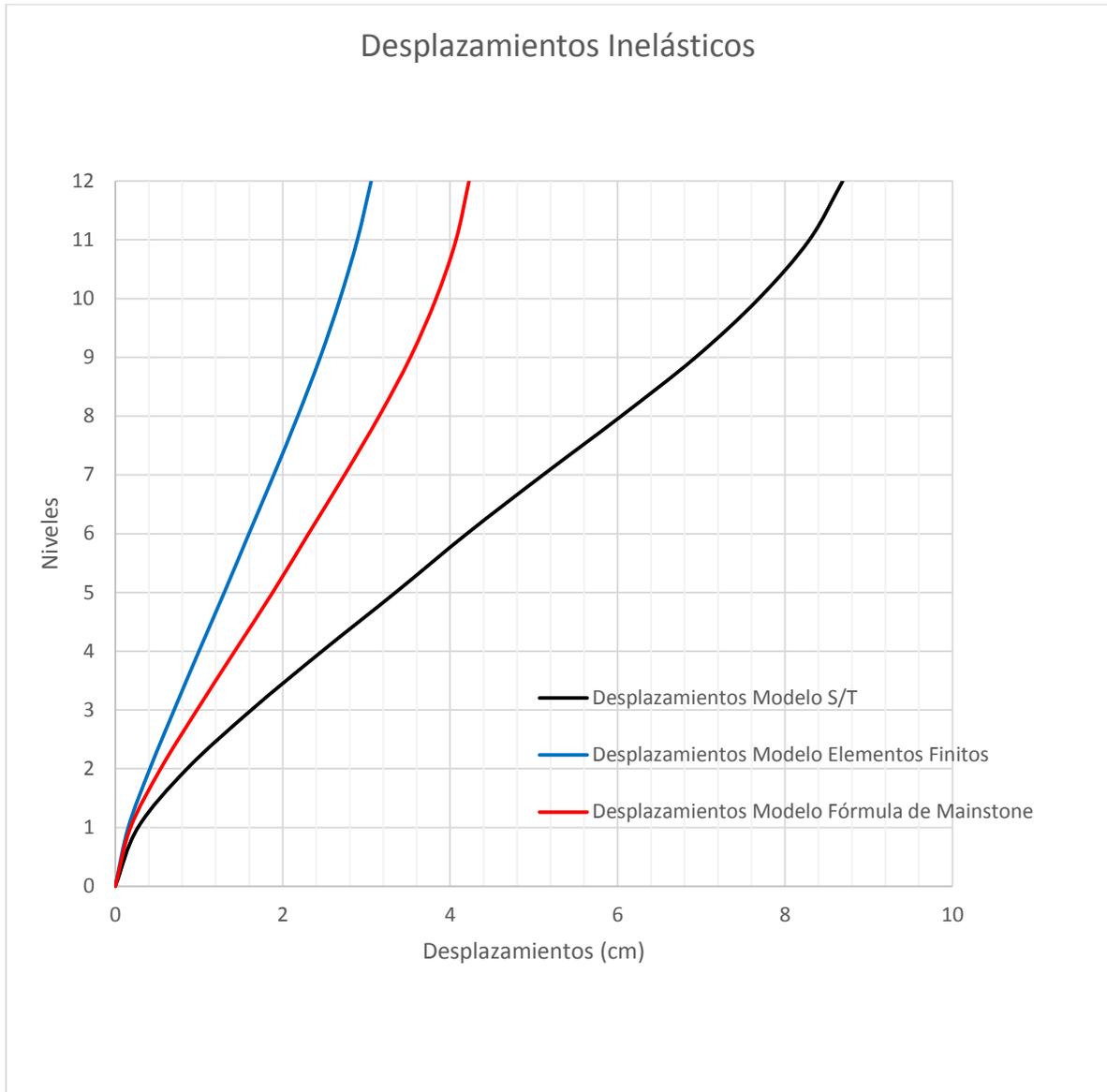
Modelo con Elementos Finitos de 12 Niveles



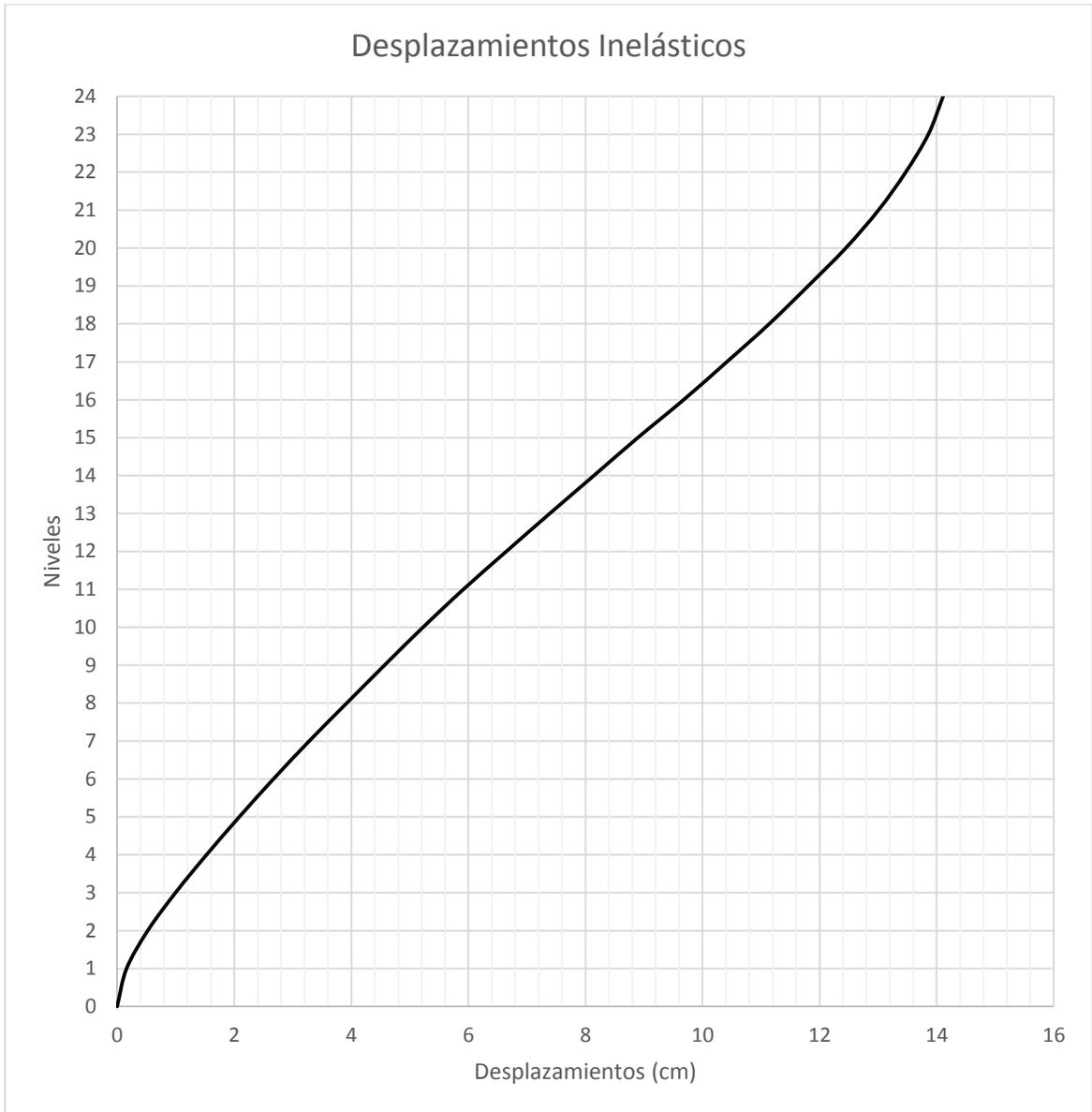
Modelo con Fórmula de Mainstone de 12 Niveles



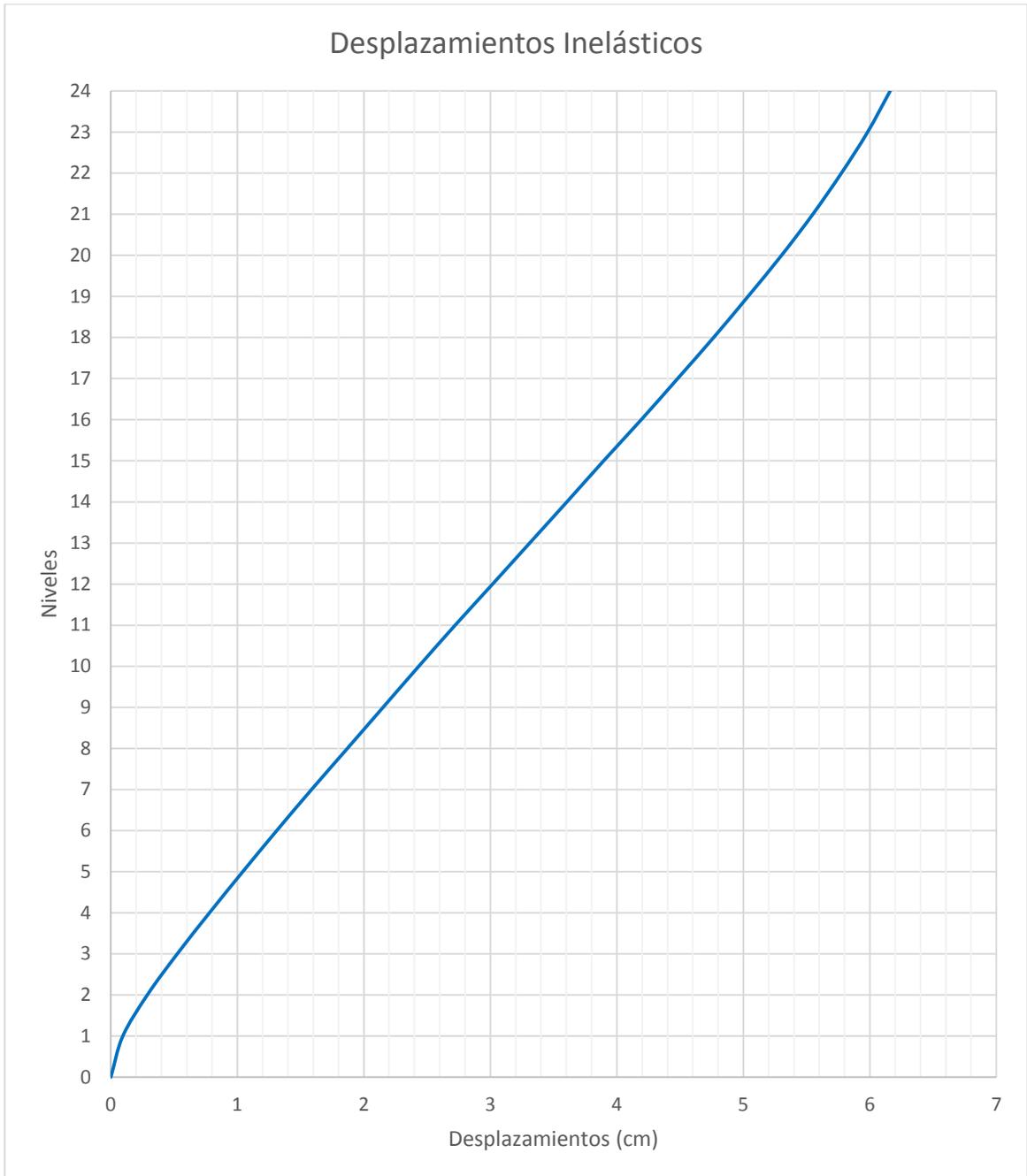
Comparación de los Desplazamientos Inelásticos de los tres modelos para 12 Niveles



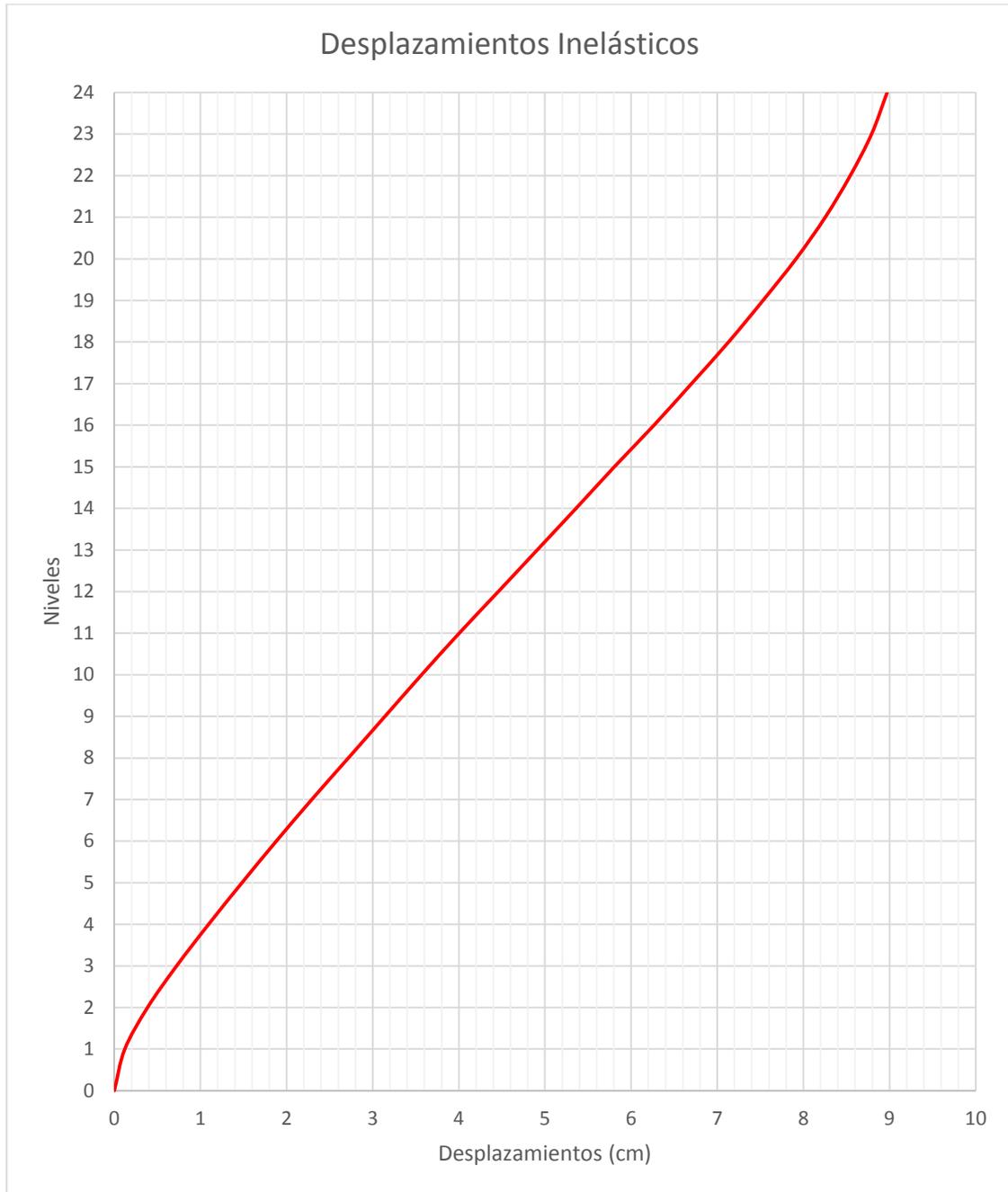
Modelo S/T de 24 Niveles



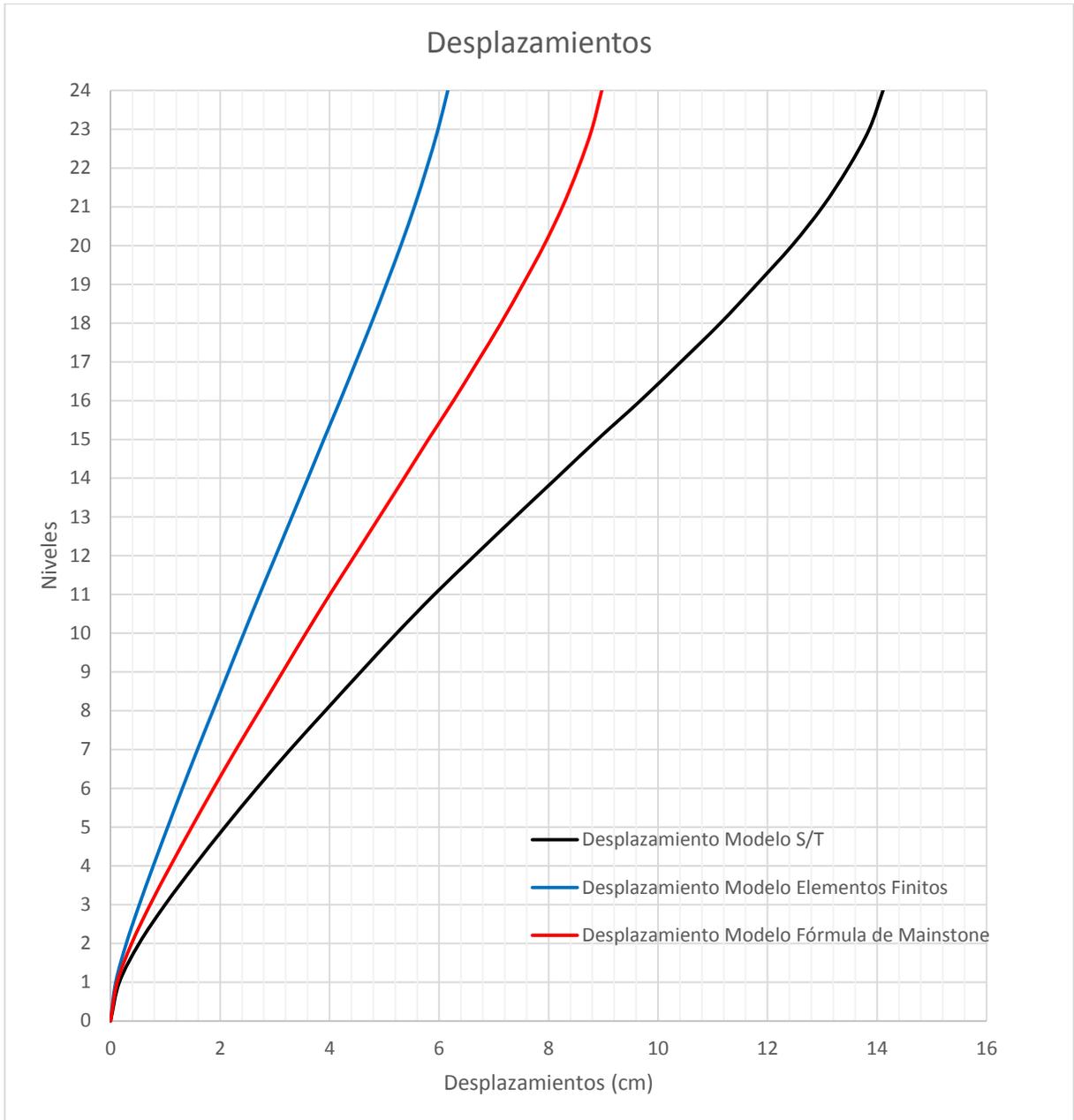
Modelo con Elementos Finitos de 24 Niveles



Modelo con Fórmula de Mainstone de 24 Niveles



Comparación de los Desplazamientos Inelásticos de los tres modelos para 24 Niveles



### **Fase 15: RESPUESTA DINÁMICA: DERIVAS INELÁSTICAS.**

En esta fase se graficaron los “Derivas Inelásticas” las cuales son iguales para las dos direcciones ya que los modelos son simétricos.

Siendo la deriva igual a:

$$deriva = \frac{\delta_i}{h_i - h_{i-1}} \% \quad (4.7)$$

donde:

$$\delta_i = \Delta_i - \Delta_{i-1} \quad (4.8)$$

$\delta_i$

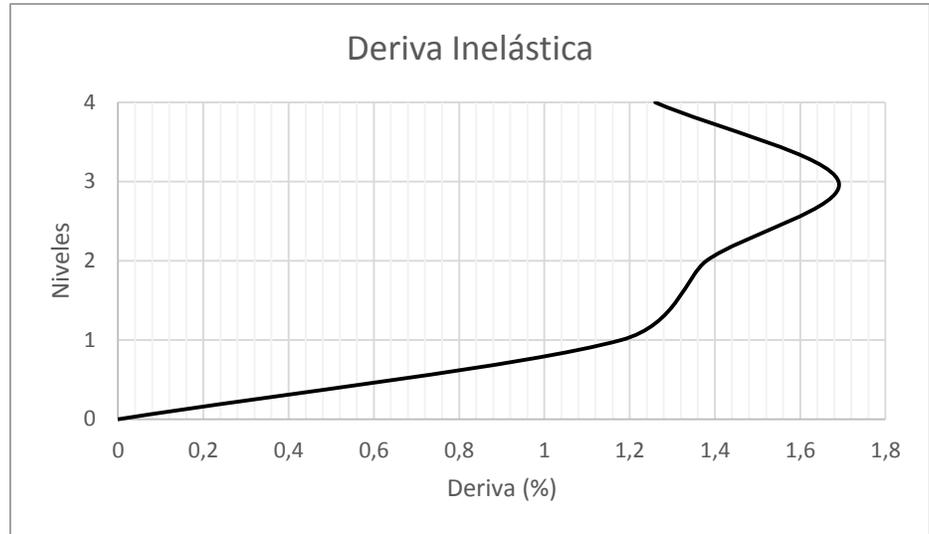
= *diferencia de los desplazamientos inelásticos entre dos niveles consecutivos.*

$h_i - h_{i-1}$  = *separación entre dos niveles consecutivos.*

De acuerdo a la tabla 10.1 de las Norma Covenin 1756:2001 (página 58), para edificaciones dentro del grupo B2 y no susceptibles de sufrir daños por deformaciones de la estructura, la máxima deriva tolerable es 1,8%.

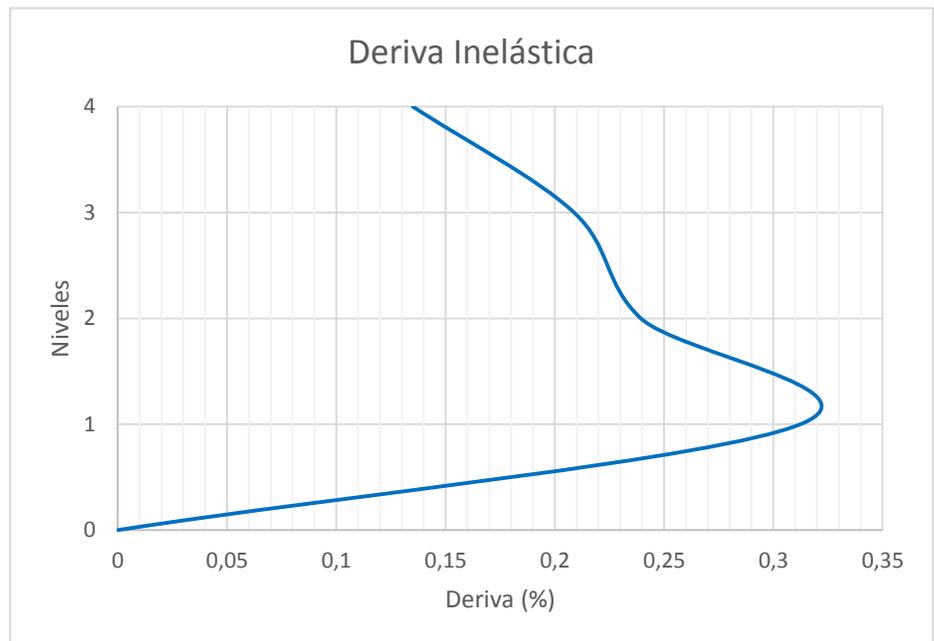
Modelo S/T de 4 Niveles

| Entre Niveles | Deriva |
|---------------|--------|
| 3 a 4         | 1,26%  |
| 2 a 3         | 1,69%  |
| 1 a 2         | 1,38%  |
| 0 a 1         | 1,18%  |



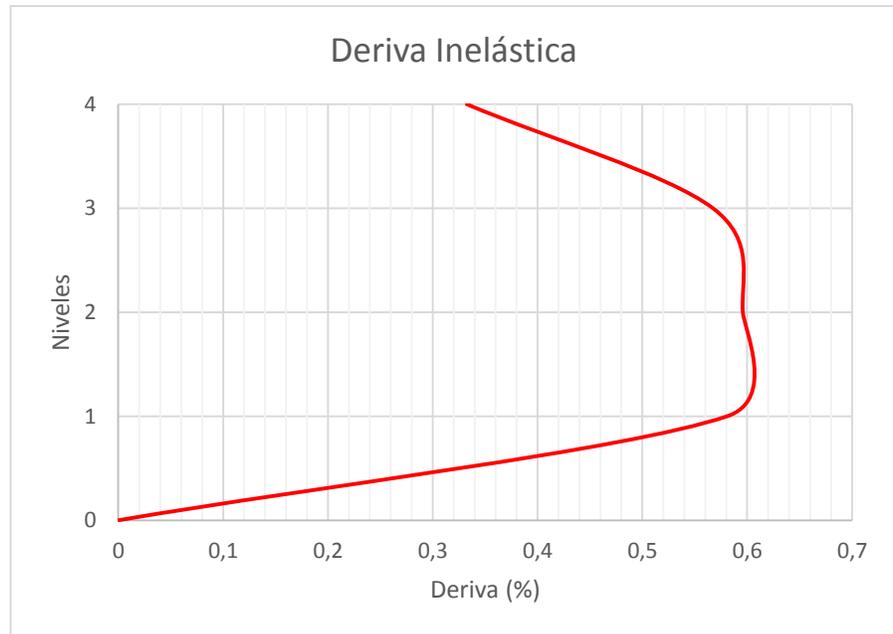
Modelo con Elementos Finitos de 4 Niveles

| Entre Niveles | Deriva |
|---------------|--------|
| 3 a 4         | 0,14%  |
| 2 a 3         | 0,20%  |
| 1 a 2         | 0,24%  |
| 0 a 1         | 0,31%  |

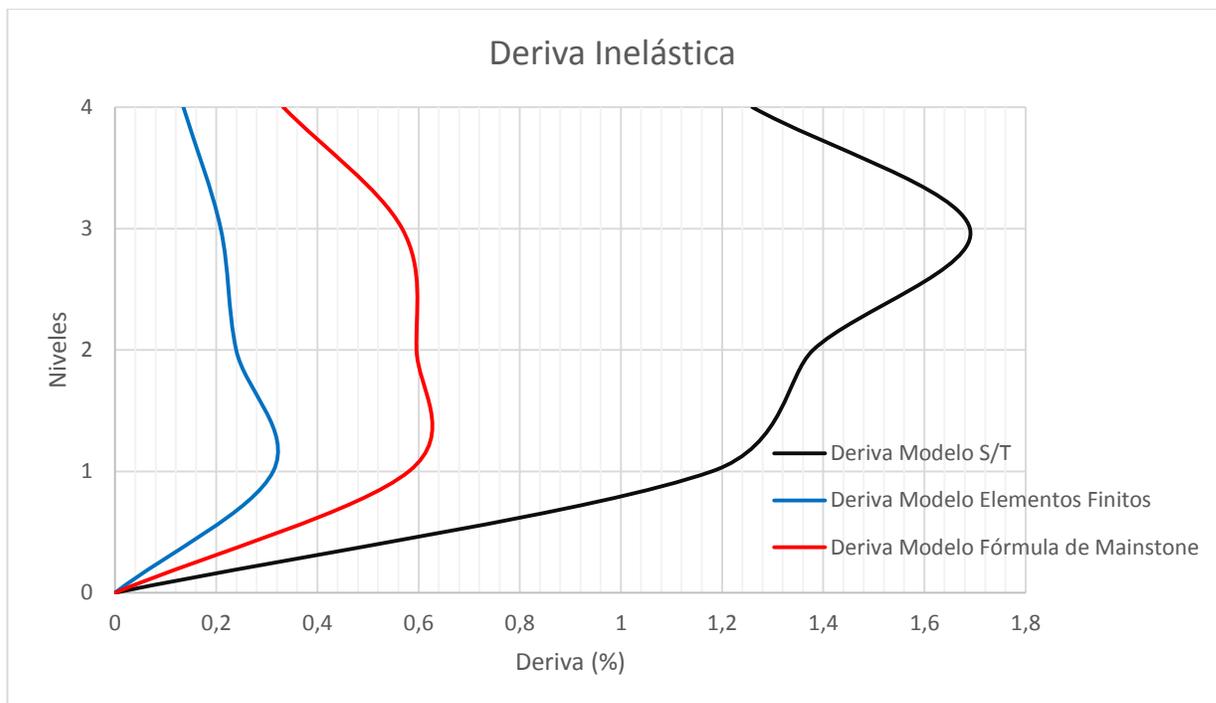


Modelo con Fórmula de Mainstone de 4 Niveles

| Entre Niveles | Deriva |
|---------------|--------|
| 3 a 4         | 0,33%  |
| 2 a 3         | 0,57%  |
| 1 a 2         | 0,60%  |
| 0 a 1         | 0,58%  |

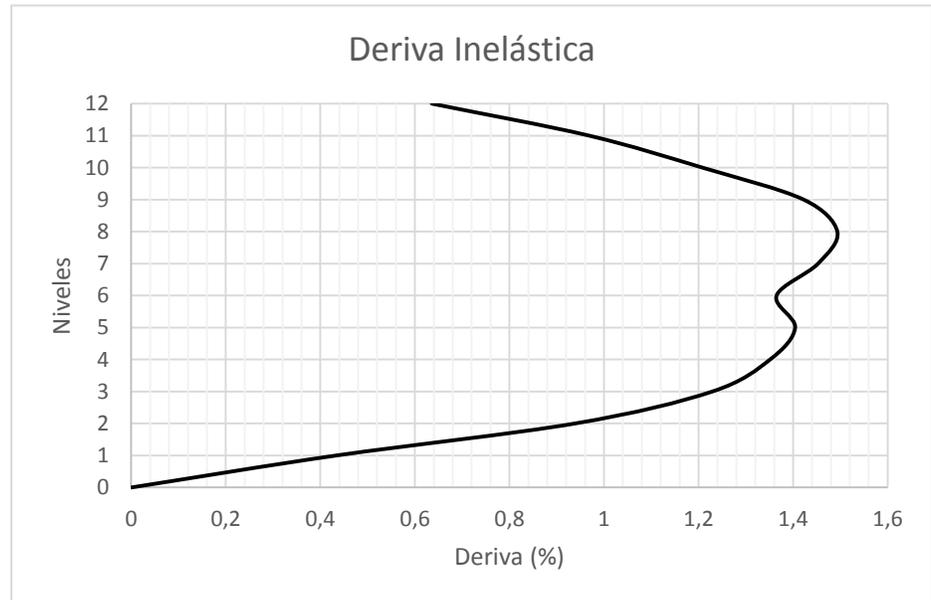


Comparación de la Deriva Inelástica de los tres modelos para 4 Niveles



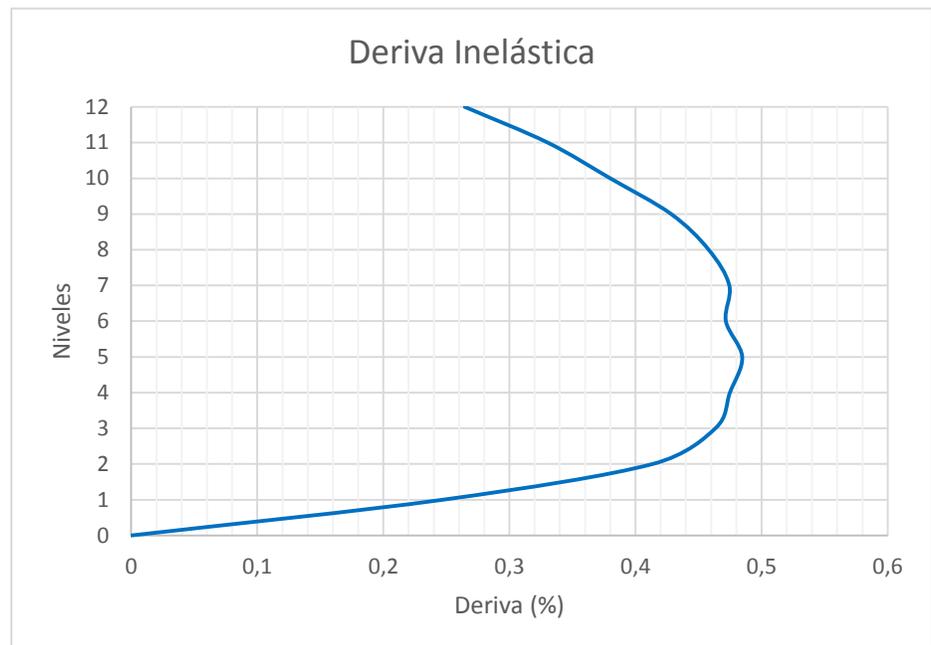
Modelo S/T de 12 Niveles

| Entre Niveles | Deriva |
|---------------|--------|
| 11 a 12       | 0,63%  |
| 10 a 11       | 0,97%  |
| 9 a 10        | 1,21%  |
| 8 a 9         | 1,42%  |
| 7 a 8         | 1,50%  |
| 6 a 7         | 1,45%  |
| 5 a 6         | 1,37%  |
| 4 a 5         | 1,40%  |
| 3 a 4         | 1,35%  |
| 2 a 3         | 1,23%  |
| 1 a 2         | 0,94%  |
| 0 a 1         | 0,43%  |



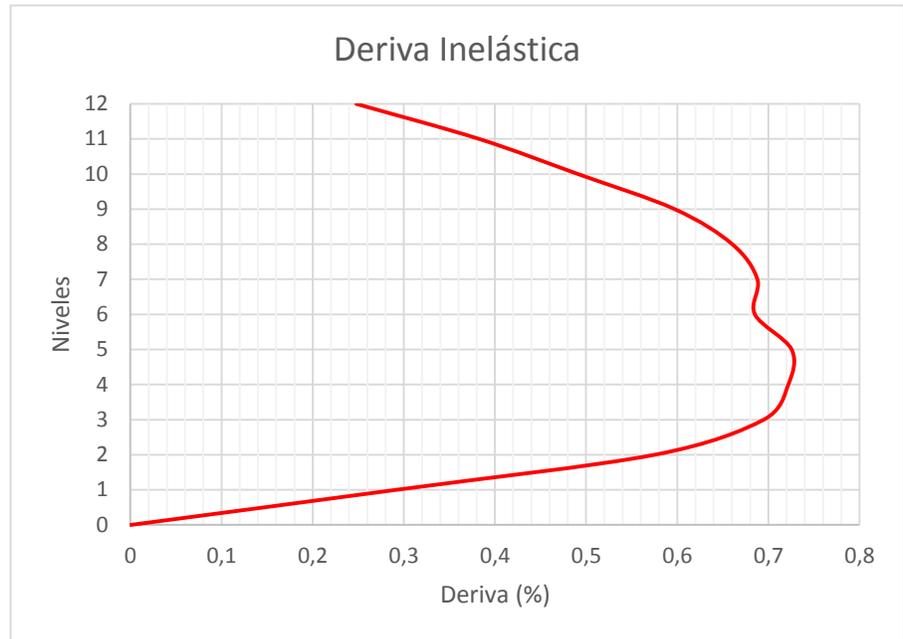
Modelo con Elementos Finitos de 12 Niveles

| Entre Niveles | Deriva |
|---------------|--------|
| 11 a 12       | 0,24%  |
| 10 a 11       | 0,33%  |
| 9 a 10        | 0,38%  |
| 8 a 9         | 0,43%  |
| 7 a 8         | 0,46%  |
| 6 a 7         | 0,47%  |
| 5 a 6         | 0,47%  |
| 4 a 5         | 0,49%  |
| 3 a 4         | 0,47%  |
| 2 a 3         | 0,46%  |
| 1 a 2         | 0,41%  |
| 0 a 1         | 0,25%  |

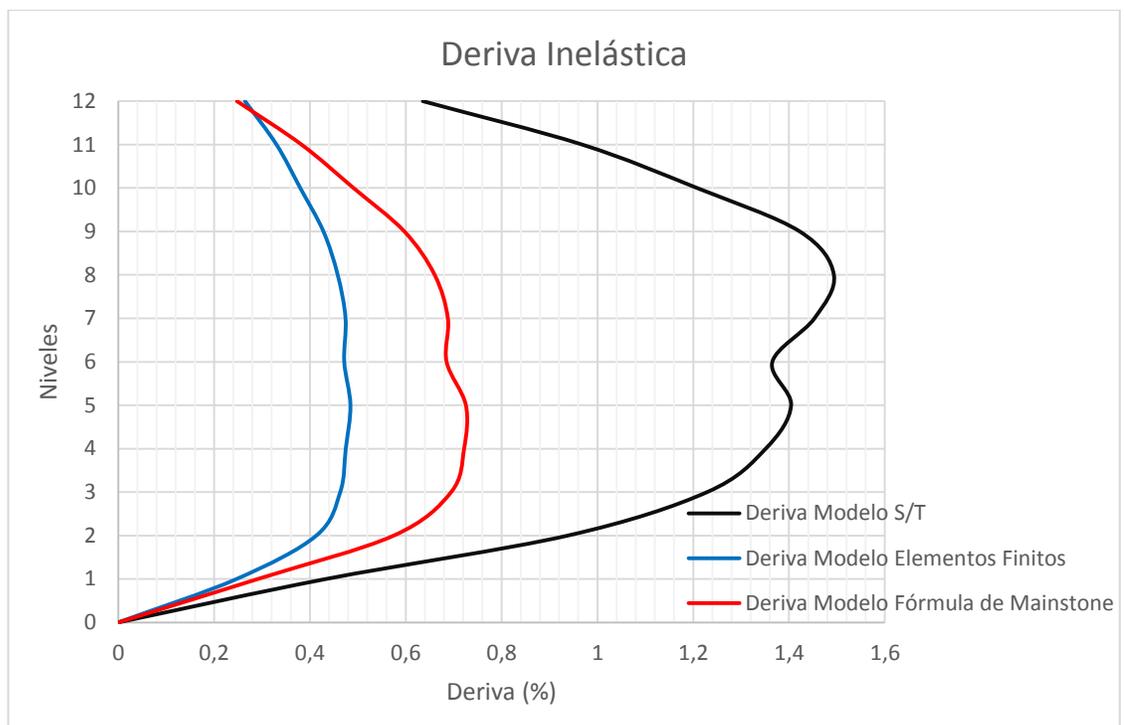


Modelo con Fórmula de Mainstone de 12 Niveles

| Entre Niveles | Deriva |
|---------------|--------|
| 11 a 12       | 0,25%  |
| 10 a 11       | 0,38%  |
| 9 a 10        | 0,49%  |
| 8 a 9         | 0,60%  |
| 7 a 8         | 0,66%  |
| 6 a 7         | 0,69%  |
| 5 a 6         | 0,69%  |
| 4 a 5         | 0,73%  |
| 3 a 4         | 0,72%  |
| 2 a 3         | 0,69%  |
| 1 a 2         | 0,58%  |
| 0 a 1         | 0,29%  |

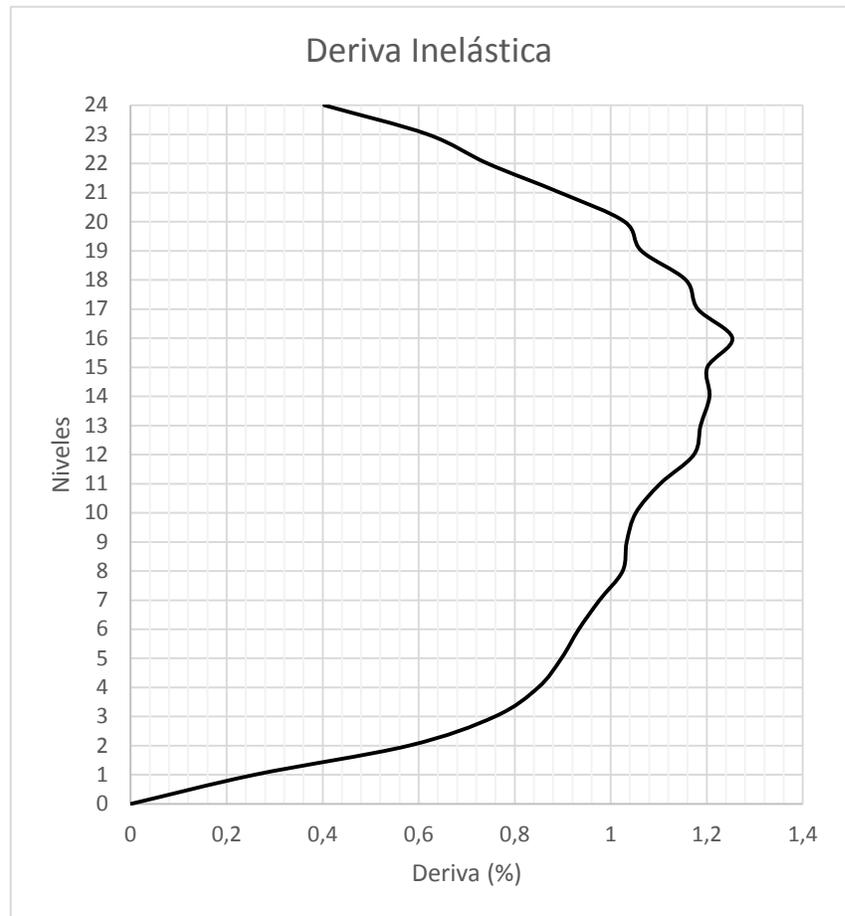


Comparación de la Deriva Inelástica de los tres modelos para 12 Niveles



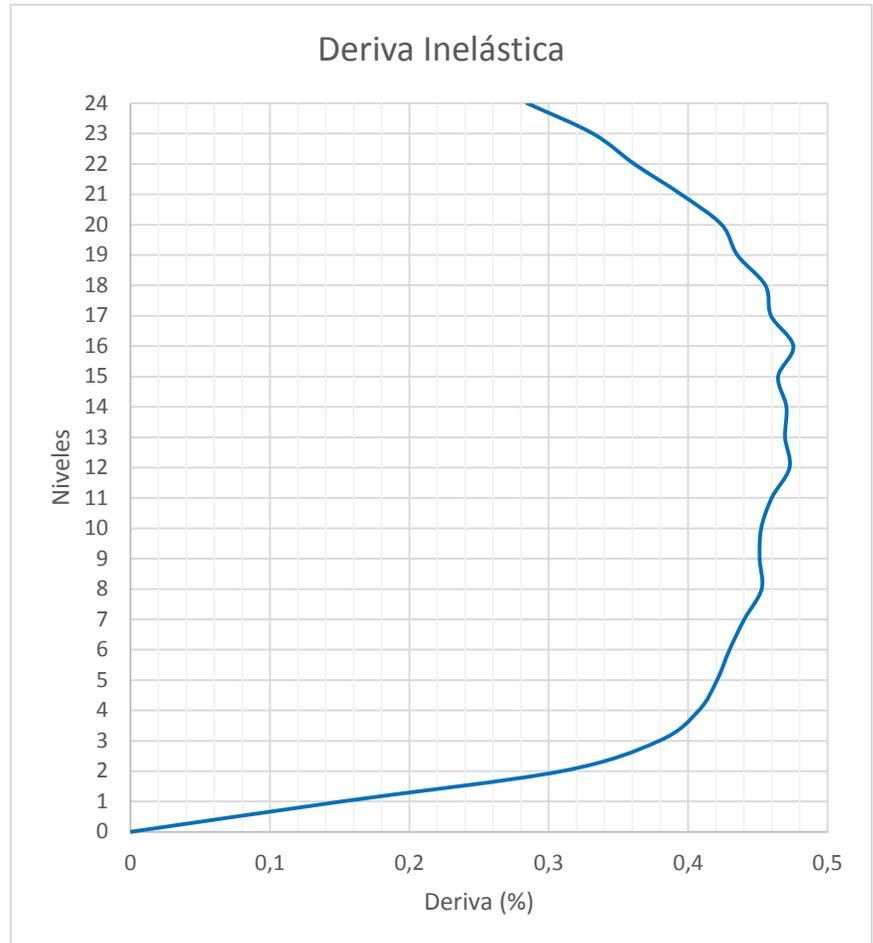
Modelo S/T de 24 Niveles

| Entre Niveles | Deriva |
|---------------|--------|
| 23 a 24       | 0,40%  |
| 22 a 23       | 0,62%  |
| 21 a 22       | 0,74%  |
| 20 a 21       | 0,89%  |
| 19 a 20       | 1,03%  |
| 18 a 19       | 1,06%  |
| 17 a 18       | 1,16%  |
| 16 a 17       | 1,18%  |
| 15 a 16       | 1,25%  |
| 14 a 15       | 1,20%  |
| 13 a 14       | 1,20%  |
| 12 a 13       | 1,19%  |
| 11 a 12       | 1,17%  |
| 10 a 11       | 1,10%  |
| 9 a 10        | 1,05%  |
| 8 a 9         | 1,03%  |
| 7 a 8         | 1,02%  |
| 6 a 7         | 0,98%  |
| 5 a 6         | 0,93%  |
| 4 a 5         | 0,89%  |
| 3 a 4         | 0,85%  |
| 2 a 3         | 0,76%  |
| 1 a 2         | 0,58%  |
| 0 a 1         | 0,26%  |



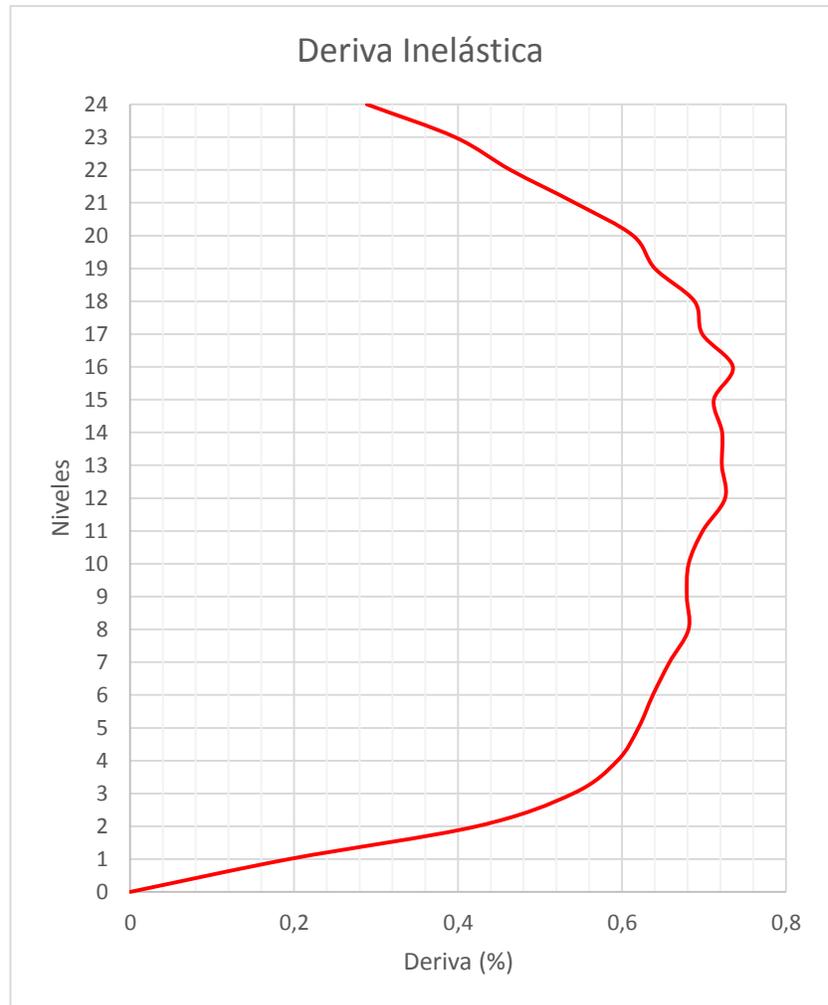
Modelo con Elementos Finitos de 24 Niveles

| Entre Niveles | Deriva |
|---------------|--------|
| 23 a 24       | 0,28%  |
| 22 a 23       | 0,33%  |
| 21 a 22       | 0,36%  |
| 20 a 21       | 0,39%  |
| 19 a 20       | 0,42%  |
| 18 a 19       | 0,44%  |
| 17 a 18       | 0,46%  |
| 16 a 17       | 0,46%  |
| 15 a 16       | 0,48%  |
| 14 a 15       | 0,47%  |
| 13 a 14       | 0,47%  |
| 12 a 13       | 0,47%  |
| 11 a 12       | 0,47%  |
| 10 a 11       | 0,46%  |
| 9 a 10        | 0,45%  |
| 8 a 9         | 0,45%  |
| 7 a 8         | 0,45%  |
| 6 a 7         | 0,44%  |
| 5 a 6         | 0,43%  |
| 4 a 5         | 0,42%  |
| 3 a 4         | 0,41%  |
| 2 a 3         | 0,38%  |
| 1 a 2         | 0,31%  |
| 0 a 1         | 0,15%  |

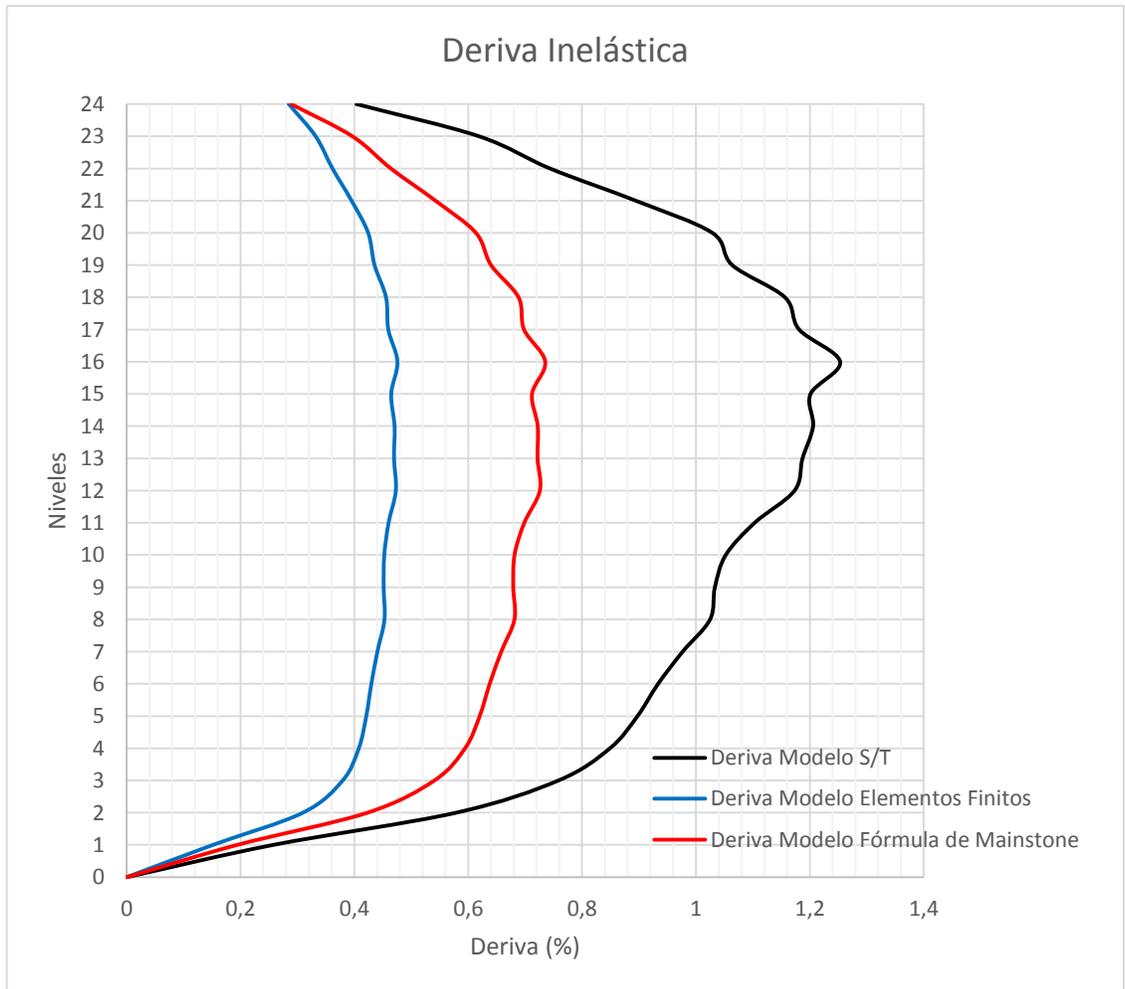


Modelo con Fórmula de Mainstone de 24 Niveles

| Entre Niveles | Deriva |
|---------------|--------|
| 23 a 24       | 0,28%  |
| 22 a 23       | 0,40%  |
| 21 a 22       | 0,47%  |
| 20 a 21       | 0,54%  |
| 19 a 20       | 0,61%  |
| 18 a 19       | 0,64%  |
| 17 a 18       | 0,69%  |
| 16 a 17       | 0,70%  |
| 15 a 16       | 0,74%  |
| 14 a 15       | 0,71%  |
| 13 a 14       | 0,72%  |
| 12 a 13       | 0,72%  |
| 11 a 12       | 0,73%  |
| 10 a 11       | 0,70%  |
| 9 a 10        | 0,68%  |
| 8 a 9         | 0,68%  |
| 7 a 8         | 0,68%  |
| 6 a 7         | 0,66%  |
| 5 a 6         | 0,64%  |
| 4 a 5         | 0,62%  |
| 3 a 4         | 0,59%  |
| 2 a 3         | 0,54%  |
| 1 a 2         | 0,42%  |
| 0 a 1         | 0,19%  |

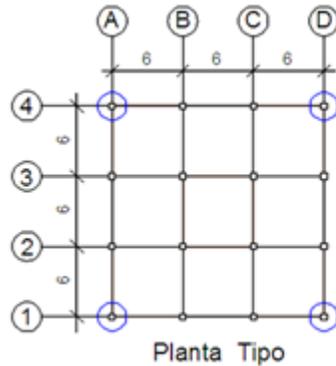


Comparación de la Deriva Inelástica de los tres modelos para 24 Niveles

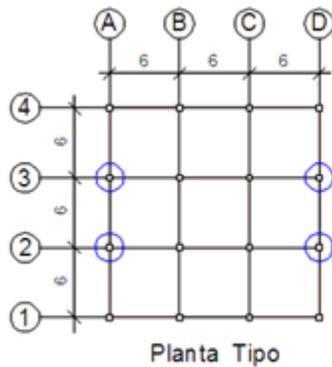


## Fase 16: COMPARACIÓN DEL PORCENTAJE DE ACERO EN LAS COLUMNAS.

### Modelos de 4 Niveles

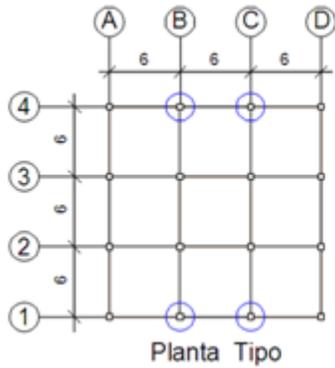


| Columnas A-1 = A-4 = D-1 = D-4 |         |                   |                   |                      |
|--------------------------------|---------|-------------------|-------------------|----------------------|
| Nivel                          | Sección | Modelo $\rho$ (%) |                   |                      |
|                                |         | S/T               | Elementos Finitos | Fórmula de Mainstone |
| 3 a 4                          | 30x30   | 1,66              | 0,79              | 0,86                 |
| 2 a 3                          | 30x30   | 1,34              | 0,75              | 0,77                 |
| 1 a 2                          | 40x40   | 0,93              | 0,51              | 0,85                 |
| 0 a 1                          | 40x40   | 0,93              | 0,77              | 0,82                 |

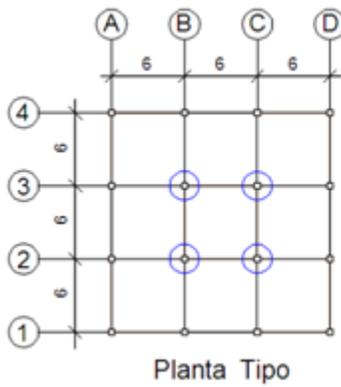


| Columnas A-2 = A-3 = D-2 = D-3 |         |                   |                   |                      |
|--------------------------------|---------|-------------------|-------------------|----------------------|
| Nivel                          | Sección | Modelo $\rho$ (%) |                   |                      |
|                                |         | S/T               | Elementos Finitos | Fórmula de Mainstone |
| 3 a 4                          | 30x30   | 1,66              | 1,10              | 1,12                 |
| 2 a 3                          | 30x30   | 1,54              | 0,96              | 1,00                 |
| 1 a 2                          | 40x40   | 1,07              | 0,73              | 0,91                 |
| 0 a 1                          | 40x40   | 0,97              | 0,78              | 0,83                 |

Modelos de 4 Niveles

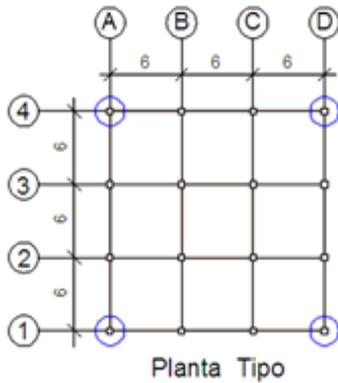


| Columna B-1 = B-4 = C-1 = C-4 |         |                   |                   |                      |
|-------------------------------|---------|-------------------|-------------------|----------------------|
| Nivel                         | Sección | Modelo $\rho(\%)$ |                   |                      |
|                               |         | S/T               | Elementos Finitos | Fórmula de Mainstone |
| 3 a 4                         | 30x30   | 1,35              | 0,82              | 1,02                 |
| 2 a 3                         | 35x35   | 1,14              | 0,60              | 0,84                 |
| 1 a 2                         | 40x40   | 1,04              | 0,86              | 0,89                 |
| 0 a 1                         | 45x45   | 1,01              | 0,49              | 0,71                 |

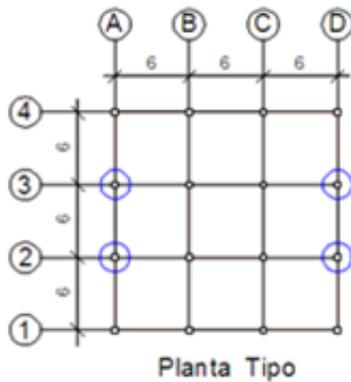


| Columna B-2 = B-3 = C-2 = C-3 |         |                   |                   |                      |
|-------------------------------|---------|-------------------|-------------------|----------------------|
| Nivel                         | Sección | Modelo $\rho(\%)$ |                   |                      |
|                               |         | S/T               | Elementos Finitos | Fórmula de Mainstone |
| 3 a 4                         | 30x30   | 1,05              | 0,27              | 0,86                 |
| 2 a 3                         | 35x35   | 1,29              | 0,50              | 0,82                 |
| 1 a 2                         | 40x40   | 1,07              | 0,79              | 0,88                 |
| 0 a 1                         | 45x45   | 1,36              | 0,77              | 1,21                 |

Modelos de 12 Niveles

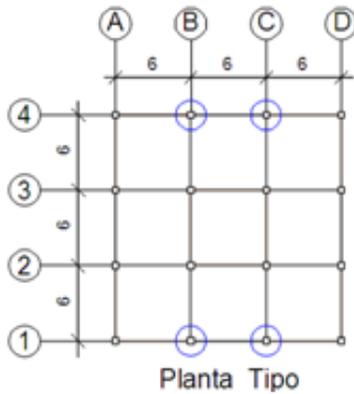


| Columnas A-1 = A-4 = D-1 = D-4 |         |                   |                   |                      |
|--------------------------------|---------|-------------------|-------------------|----------------------|
| Nivel                          | Sección | Modelo $\rho$ (%) |                   |                      |
|                                |         | S/T               | Elementos Finitos | Fórmula de Mainstone |
| 11 a 12                        | 45x45   | 0,99              | 0,41              | 0,75                 |
| 10 a 11                        | 45x45   | 0,70              | 0,24              | 0,54                 |
| 9 a 10                         | 50x50   | 0,75              | 0,25              | 0,49                 |
| 8 a 9                          | 50x50   | 0,70              | 0,32              | 0,46                 |
| 7 a 8                          | 55x55   | 0,55              | 0,32              | 0,40                 |
| 6 a 7                          | 55x55   | 0,60              | 0,40              | 0,42                 |
| 5 a 6                          | 60x60   | 0,46              | 0,41              | 0,41                 |
| 4 a 5                          | 60x60   | 0,50              | 0,45              | 0,48                 |
| 3 a 4                          | 65x65   | 0,45              | 0,42              | 0,46                 |
| 2 a 3                          | 65x65   | 0,51              | 0,47              | 0,52                 |
| 1 a 2                          | 75x75   | 0,50              | 0,43              | 0,48                 |
| 0 a 1                          | 75x75   | 0,70              | 0,57              | 0,64                 |

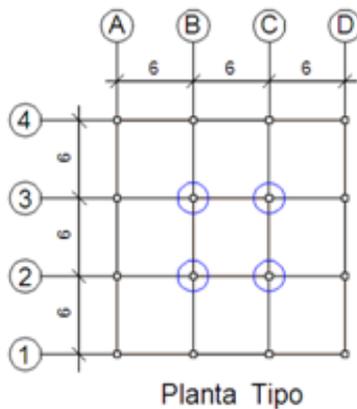


| Columnas A-2 = A-3 = D-2 = D-3 |         |                   |                   |                      |
|--------------------------------|---------|-------------------|-------------------|----------------------|
| Nivel                          | Sección | Modelo $\rho$ (%) |                   |                      |
|                                |         | S/T               | Elementos Finitos | Fórmula de Mainstone |
| 11 a 12                        | 45x45   | 0,95              | 0,50              | 0,72                 |
| 10 a 11                        | 45x45   | 0,74              | 0,52              | 0,54                 |
| 9 a 10                         | 50x50   | 0,79              | 0,52              | 0,54                 |
| 8 a 9                          | 50x50   | 0,79              | 0,49              | 0,51                 |
| 7 a 8                          | 55x55   | 0,62              | 0,43              | 0,45                 |
| 6 a 7                          | 55x55   | 0,71              | 0,46              | 0,49                 |
| 5 a 6                          | 60x60   | 0,58              | 0,46              | 0,48                 |
| 4 a 5                          | 60x60   | 0,62              | 0,52              | 0,51                 |
| 3 a 4                          | 65x65   | 0,57              | 0,48              | 0,50                 |
| 2 a 3                          | 65x65   | 0,63              | 0,53              | 0,55                 |
| 1 a 2                          | 75x75   | 0,59              | 0,44              | 0,46                 |
| 0 a 1                          | 75x75   | 0,74              | 0,55              | 0,57                 |

Modelos de 12 Niveles

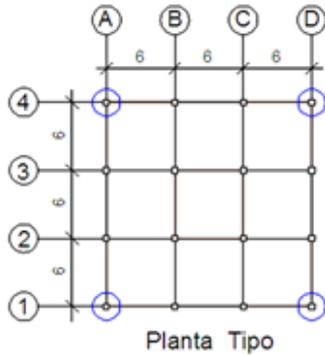


| Columna B-1 = B-4 = C-1 = C-4 |         |                   |                   |                      |
|-------------------------------|---------|-------------------|-------------------|----------------------|
| Nivel                         | Sección | Modelo $\rho$ (%) |                   |                      |
|                               |         | S/T               | Elementos Finitos | Fórmula de Mainstone |
| 11 a 12                       | 45x45   | 1,12              | 0,95              | 1,05                 |
| 10 a 11                       | 45x45   | 0,74              | 0,51              | 0,54                 |
| 9 a 10                        | 50x50   | 0,79              | 0,52              | 0,54                 |
| 8 a 9                         | 50x50   | 0,79              | 0,48              | 0,51                 |
| 7 a 8                         | 55x55   | 0,62              | 0,43              | 0,45                 |
| 6 a 7                         | 55x55   | 0,71              | 0,47              | 0,49                 |
| 5 a 6                         | 60x60   | 0,58              | 0,47              | 0,48                 |
| 4 a 5                         | 60x60   | 0,62              | 0,51              | 0,52                 |
| 3 a 4                         | 65x65   | 0,57              | 0,48              | 0,49                 |
| 2 a 3                         | 65x65   | 0,63              | 0,53              | 0,55                 |
| 1 a 2                         | 75x75   | 0,59              | 0,43              | 0,46                 |
| 0 a 1                         | 75x75   | 0,74              | 0,56              | 0,57                 |



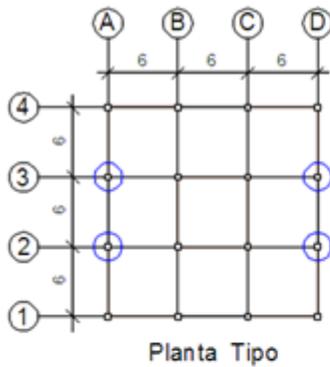
| Columna B-2 = B-3 = C-2 = C-3 |         |                   |                   |                      |
|-------------------------------|---------|-------------------|-------------------|----------------------|
| Nivel                         | Sección | Modelo $\rho$ (%) |                   |                      |
|                               |         | S/T               | Elementos Finitos | Fórmula de Mainstone |
| 11 a 12                       | 45x45   | 1,00              | 0,50              | 0,57                 |
| 10 a 11                       | 45x45   | 0,74              | 0,37              | 0,44                 |
| 9 a 10                        | 50x50   | 0,77              | 0,43              | 0,49                 |
| 8 a 9                         | 50x50   | 0,81              | 0,55              | 0,59                 |
| 7 a 8                         | 55x55   | 0,70              | 0,55              | 0,57                 |
| 6 a 7                         | 55x55   | 0,88              | 0,68              | 0,70                 |
| 5 a 6                         | 60x60   | 0,80              | 0,71              | 0,72                 |
| 4 a 5                         | 60x60   | 0,85              | 0,82              | 0,82                 |
| 3 a 4                         | 65x65   | 0,82              | 0,78              | 0,77                 |
| 2 a 3                         | 65x65   | 0,90              | 0,86              | 0,86                 |
| 1 a 2                         | 75x75   | 0,78              | 0,75              | 0,76                 |
| 0 a 1                         | 75x75   | 0,91              | 0,85              | 0,87                 |

Modelos de 24 Niveles



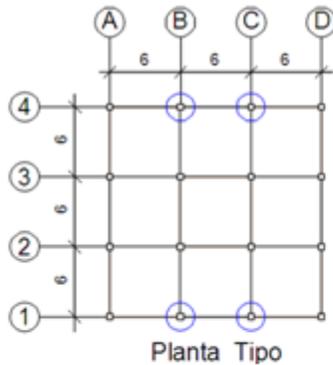
| Columnas A-1= A-4 = D-1 = D-4 |         |                   |                   |                      |
|-------------------------------|---------|-------------------|-------------------|----------------------|
| Nivel                         | Sección | Modelo $\rho$ (%) |                   |                      |
|                               |         | S/T               | Elementos Finitos | Fórmula de Mainstone |
| 23 a 24                       | 45x45   | 0,96              | 0,76              | 0,84                 |
| 22 a 23                       | 45x45   | 0,87              | 0,57              | 0,64                 |
| 21 a 22                       | 50x50   | 0,99              | 0,55              | 0,83                 |
| 20 a 21                       | 50x50   | 1,02              | 0,66              | 0,83                 |
| 19 a 20                       | 50x50   | 1,08              | 0,76              | 0,87                 |
| 18 a 19                       | 55x55   | 1,03              | 0,72              | 0,76                 |
| 17 a 18                       | 55x55   | 1,04              | 0,81              | 0,83                 |
| 16 a 17                       | 60x60   | 0,92              | 0,81              | 0,83                 |
| 15 a 16                       | 60x60   | 0,97              | 0,89              | 0,94                 |
| 14 a 15                       | 75x75   | 0,72              | 0,64              | 0,70                 |
| 13 a 14                       | 75x75   | 0,79              | 0,71              | 0,78                 |
| 12 a 13                       | 80x80   | 0,78              | 0,68              | 0,76                 |
| 11 a 12                       | 80x80   | 0,71              | 0,70              | 0,71                 |
| 10 a 11                       | 85x85   | 0,78              | 0,72              | 0,77                 |
| 9 a 10                        | 85x85   | 0,85              | 0,69              | 0,71                 |
| 8 a 9                         | 90x90   | 0,84              | 0,68              | 0,69                 |
| 7 a 8                         | 90x90   | 0,89              | 0,73              | 0,75                 |
| 6 a 7                         | 95x95   | 0,88              | 0,72              | 0,79                 |
| 5 a 6                         | 95x95   | 0,93              | 0,78              | 0,84                 |
| 4 a 5                         | 100x100 | 0,89              | 0,67              | 0,81                 |
| 3 a 4                         | 105x105 | 0,84              | 0,67              | 0,75                 |
| 2 a 3                         | 105x105 | 0,88              | 0,70              | 0,79                 |
| 1 a 2                         | 110x110 | 0,88              | 0,55              | 0,78                 |
| 0 a 1                         | 110x110 | 0,94              | 0,62              | 0,85                 |

Modelos de 24 Niveles



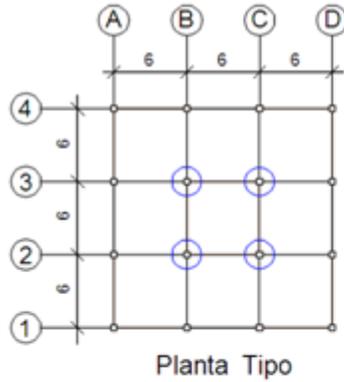
| Columnas A-2 = A-3 = D-2 = D-3 |         |                   |                   |                      |
|--------------------------------|---------|-------------------|-------------------|----------------------|
| Nivel                          | Sección | Modelo $\rho(\%)$ |                   |                      |
|                                |         | S/T               | Elementos Finitos | Fórmula de Mainstone |
| 23 a 24                        | 45x45   | 1,04              | 0,99              | 0,95                 |
| 22 a 23                        | 45x45   | 0,94              | 0,74              | 0,76                 |
| 21 a 22                        | 50x50   | 0,99              | 0,90              | 1,04                 |
| 20 a 21                        | 50x50   | 1,04              | 0,88              | 1,05                 |
| 19 a 20                        | 50x50   | 1,12              | 0,93              | 1,10                 |
| 18 a 19                        | 55x55   | 1,12              | 0,95              | 0,94                 |
| 17 a 18                        | 55x55   | 1,14              | 0,98              | 0,97                 |
| 16 a 17                        | 60x60   | 1,05              | 0,92              | 0,97                 |
| 15 a 16                        | 60x60   | 1,09              | 0,97              | 1,01                 |
| 14 a 15                        | 75x75   | 0,76              | 0,70              | 0,70                 |
| 13 a 14                        | 75x75   | 0,84              | 0,78              | 0,77                 |
| 12 a 13                        | 80x80   | 0,79              | 0,75              | 0,74                 |
| 11 a 12                        | 80x80   | 0,86              | 0,81              | 0,81                 |
| 10 a 11                        | 85x85   | 0,81              | 0,76              | 0,75                 |
| 9 a 10                         | 85x85   | 0,85              | 0,83              | 0,81                 |
| 8 a 9                          | 90x90   | 0,87              | 0,82              | 0,83                 |
| 7 a 8                          | 90x90   | 0,90              | 0,85              | 0,88                 |
| 6 a 7                          | 95x95   | 0,91              | 0,86              | 0,87                 |
| 5 a 6                          | 95x95   | 0,94              | 0,85              | 0,87                 |
| 4 a 5                          | 100x100 | 0,90              | 0,81              | 0,82                 |
| 3 a 4                          | 105x105 | 0,85              | 0,84              | 0,87                 |
| 2 a 3                          | 105x105 | 0,90              | 0,84              | 0,85                 |
| 1 a 2                          | 110x110 | 0,89              | 0,87              | 0,88                 |
| 0 a 1                          | 110x110 | 0,92              | 0,90              | 0,90                 |

Modelos de 24 Niveles



| Columna B-1 = B-4 = C-1 = C-4 |         |                   |                   |                      |
|-------------------------------|---------|-------------------|-------------------|----------------------|
| Nivel                         | Sección | Modelo $\rho$ (%) |                   |                      |
|                               |         | S/T               | Elementos Finitos | Fórmula de Mainstone |
| 23 a 24                       | 45x45   | 1,03              | 0,90              | 0,95                 |
| 22 a 23                       | 45x45   | 0,93              | 0,75              | 0,76                 |
| 21 a 22                       | 50x50   | 1,05              | 0,98              | 0,99                 |
| 20 a 21                       | 50x50   | 1,04              | 1,01              | 1,04                 |
| 19 a 20                       | 50x50   | 1,12              | 1,04              | 1,09                 |
| 18 a 19                       | 55x55   | 1,12              | 0,88              | 0,94                 |
| 17 a 18                       | 55x55   | 1,14              | 0,89              | 0,97                 |
| 16 a 17                       | 60x60   | 1,12              | 0,84              | 0,97                 |
| 15 a 16                       | 60x60   | 1,17              | 0,88              | 1,01                 |
| 14 a 15                       | 75x75   | 0,76              | 0,63              | 0,70                 |
| 13 a 14                       | 75x75   | 0,84              | 0,70              | 0,77                 |
| 12 a 13                       | 80x80   | 0,79              | 0,67              | 0,74                 |
| 11 a 12                       | 80x80   | 0,86              | 0,73              | 0,81                 |
| 10 a 11                       | 85x85   | 0,81              | 0,68              | 0,75                 |
| 9 a 10                        | 85x85   | 0,85              | 0,75              | 0,81                 |
| 8 a 9                         | 90x90   | 0,84              | 0,74              | 0,81                 |
| 7 a 8                         | 90x90   | 0,90              | 0,80              | 0,86                 |
| 6 a 7                         | 95x95   | 0,88              | 0,78              | 0,84                 |
| 5 a 6                         | 95x95   | 0,94              | 0,84              | 0,91                 |
| 4 a 5                         | 100x100 | 0,90              | 0,73              | 0,87                 |
| 3 a 4                         | 105x105 | 0,85              | 0,72              | 0,82                 |
| 2 a 3                         | 105x105 | 0,90              | 0,77              | 0,87                 |
| 1 a 2                         | 110x110 | 0,88              | 0,46              | 0,85                 |
| 0 a 1                         | 110x110 | 0,96              | 0,49              | 0,92                 |

Modelos de 24 Niveles



| Columna B-2 = B-3 = C-2 = C-3 |         |                   |                   |                      |
|-------------------------------|---------|-------------------|-------------------|----------------------|
| Nivel                         | Sección | Modelo $\rho$ (%) |                   |                      |
|                               |         | S/T               | Elementos Finitos | Fórmula de Mainstone |
| 23 a 24                       | 45x45   | 0,91              | 0,36              | 0,59                 |
| 22 a 23                       | 45x45   | 1,17              | 0,53              | 0,71                 |
| 21 a 22                       | 50x50   | 0,91              | 0,56              | 0,95                 |
| 20 a 21                       | 50x50   | 0,99              | 0,71              | 1,05                 |
| 19 a 20                       | 50x50   | 1,12              | 0,88              | 1,19                 |
| 18 a 19                       | 55x55   | 1,08              | 0,76              | 1,08                 |
| 17 a 18                       | 55x55   | 1,14              | 0,89              | 1,18                 |
| 16 a 17                       | 60x60   | 1,01              | 0,78              | 1,23                 |
| 15 a 16                       | 60x60   | 1,07              | 0,89              | 1,35                 |
| 14 a 15                       | 75x75   | 0,90              | 0,85              | 0,96                 |
| 13 a 14                       | 75x75   | 0,99              | 0,95              | 1,07                 |
| 12 a 13                       | 80x80   | 0,92              | 0,86              | 1,03                 |
| 11 a 12                       | 80x80   | 0,98              | 0,94              | 1,12                 |
| 10 a 11                       | 85x85   | 0,90              | 0,88              | 1,05                 |
| 9 a 10                        | 85x85   | 0,95              | 0,85              | 1,13                 |
| 8 a 9                         | 90x90   | 0,91              | 0,88              | 1,11                 |
| 7 a 8                         | 90x90   | 0,97              | 0,95              | 1,19                 |
| 6 a 7                         | 95x95   | 0,96              | 0,88              | 1,17                 |
| 5 a 6                         | 95x95   | 1,03              | 0,94              | 1,24                 |
| 4 a 5                         | 100x100 | 0,97              | 0,96              | 1,18                 |
| 3 a 4                         | 105x105 | 0,91              | 0,90              | 1,10                 |
| 2 a 3                         | 105x105 | 0,96              | 0,95              | 1,17                 |
| 1 a 2                         | 110x110 | 0,90              | 0,84              | 1,15                 |
| 0 a 1                         | 110x110 | 0,95              | 0,91              | 1,21                 |

## **CAPÍTULO V: CONCLUSIONES**

Los períodos fundamentales T son mayores en el modelo S/T. Esto es totalmente lógico. La tabiquería influye de un modo no despreciable que no puede ser ignorado, particularmente en casos donde la misma está enmarcada por los elementos estructurales, a los cuales se les asignó la función resistente bajo la acción sísmica en los cálculos.

Por su forma, rigidez y resistencia, la tabiquería modifica sensiblemente la respuesta del conjunto. Por una parte modifica la rigidez de la estructura y por la otra, dada su relativa fragilidad, su deterioro progresivo por la acción dinámica puede hacer cambiar el tipo de comportamiento del conjunto sin que pueda ceñirse a uno específico. La presencia de la tabiquería rigidiza grandemente al conjunto y, por lo tanto, modifica sustancialmente la deformabilidad de toda la estructura.

Comparando los períodos fundamentales T por el Método de Elementos Finitos y por la Fórmula de Mainstone, se nota que no hay una diferencia sustancial entre ellos. La única pequeña diferencia proviene del hecho de que el Método de Elementos Finitos aporta un poco más de rigidez que el Método de la Fórmula de Mainstone.

Comparando los períodos de los 3 modelos, en el de 4 niveles se aprecia una mayor variación porcentual entre el período fundamental del modelo S/T y los modelos con incorporación de la mampostería. Esto demuestra que en un edificio pequeño la influencia de la tabiquería es mayor.

Por otro lado, estudiando los valores de “a” en la Fórmula de Mainstone, se nota que en el modelo de 4 niveles, el valor del ancho “a” de las diagonales equivalentes disminuye significativamente con la reducción de las inercias de las columnas.

Esto no ocurre de igual forma en los modelos de 12 y 24 niveles, donde la reducción del valor del ancho “a” entre niveles sucesivos es menor, al ser las columnas de mayor sección.

Esto corrobora lo anterior, es decir, el aporte de la tabiquería es más significativo en los modelos pequeños al producir mayores variaciones de rigidez entre niveles sucesivos.

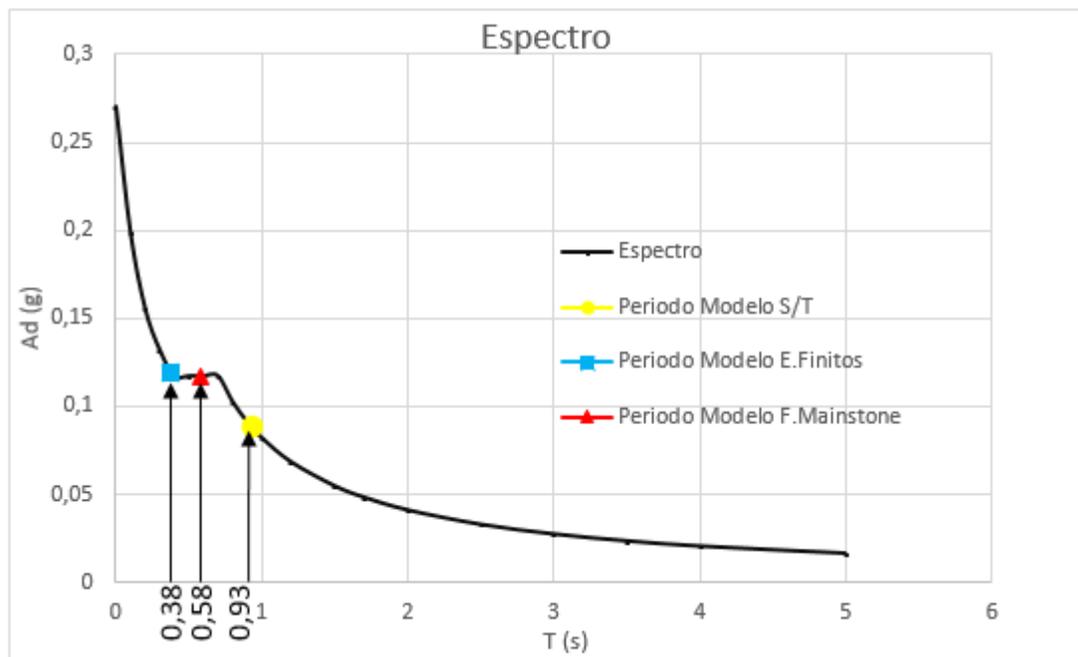


Figura 5.1 Espectro de Diseño, período fundamental  $T$  y aceleración  $A_d$  para los modelos de 4 niveles.

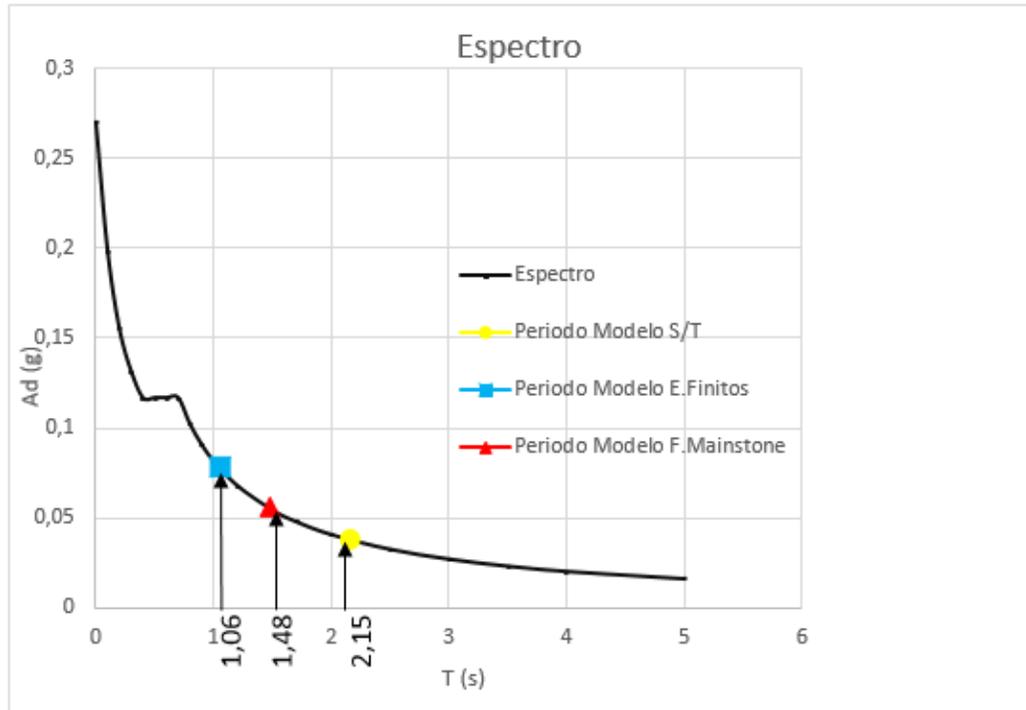


Figura 5.2 Espectro de Diseño, período T y aceleración Ad para modelos de 12 niveles.

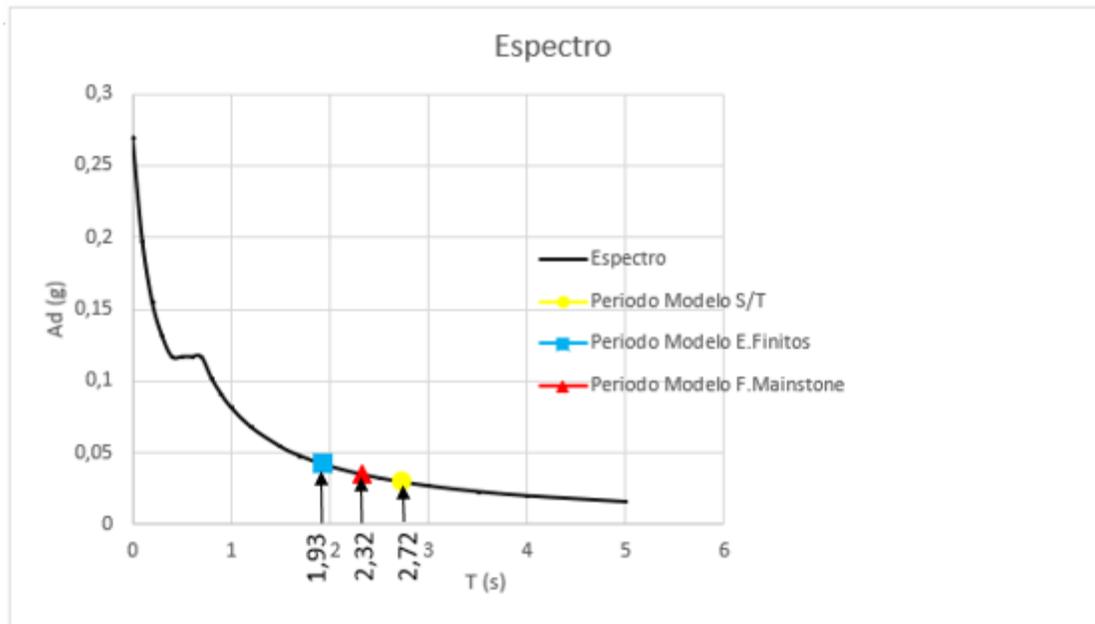


Figura 5.3 Espectro de Diseño, período fundamental T y aceleración Ad para los modelos de 24 niveles.

Observando las derivas inelásticas, las de los modelos S/T son mayores en comparación con la de los modelos de Elementos Finitos y de la Fórmula de Mainstone, que toman en cuenta la mampostería ya que esta última aporta rigidez.

Es importante destacar que las mayores diferencias porcentuales ocurren en los modelos de 4 niveles. Inclusive hay una diferencia significativa entre el Modelo Elementos Finitos y el Modelo Fórmula de Mainstone.

Tabla 5.1 Comparación de Deriva Inelástica para los modelos de 4 niveles.

| Entre Niveles | Deriva Inelástica |            |              |
|---------------|-------------------|------------|--------------|
|               | S/T               | E. Finitos | F. Mainstone |
| 3 a 4         | 1,26%             | 0,14%      | 0,33%        |
| 2 a 3         | 1,69%             | 0,20%      | 0,57%        |
| 1 a 2         | 1,38%             | 0,24%      | 0,60%        |
| 0 a 1         | 1,18%             | 0,31%      | 0,58%        |

Tabla 5.2 Comparación de Deriva Inelástica para los modelos de 12 niveles.

| Entre Niveles | Deriva Inelástica |            |              |
|---------------|-------------------|------------|--------------|
|               | S/T               | E. Finitos | F. Mainstone |
| 11 a 12       | 0,63%             | 0,24%      | 0,25%        |
| 10 a 11       | 0,97%             | 0,33%      | 0,38%        |
| 9 a 10        | 1,21%             | 0,38%      | 0,49%        |
| 8 a 9         | 1,42%             | 0,43%      | 0,60%        |
| 7 a 8         | 1,50%             | 0,46%      | 0,66%        |
| 6 a 7         | 1,45%             | 0,47%      | 0,69%        |
| 5 a 6         | 1,37%             | 0,47%      | 0,69%        |
| 4 a 5         | 1,40%             | 0,49%      | 0,73%        |
| 3 a 4         | 1,35%             | 0,47%      | 0,72%        |
| 2 a 3         | 1,23%             | 0,46%      | 0,69%        |
| 1 a 2         | 0,94%             | 0,41%      | 0,58%        |
| 0 a 1         | 0,43%             | 0,25%      | 0,29%        |

Tabla 5.3 Comparación de Deriva Inelástica para los modelos de 24 niveles.

| Entre Niveles | Deriva Inelástica |            |              |
|---------------|-------------------|------------|--------------|
|               | S/T               | E. Finitos | F. Mainstone |
| 23 a 24       | 0,40%             | 0,28%      | 0,28%        |
| 22 a 23       | 0,62%             | 0,33%      | 0,40%        |
| 21 a 22       | 0,74%             | 0,36%      | 0,46%        |
| 20 a 21       | 0,89%             | 0,39%      | 0,54%        |
| 19 a 20       | 1,03%             | 0,42%      | 0,61%        |
| 18 a 19       | 1,06%             | 0,44%      | 0,64%        |
| 17 a 18       | 1,16%             | 0,46%      | 0,69%        |
| 16 a 17       | 1,18%             | 0,46%      | 0,70%        |
| 15 a 16       | 1,25%             | 0,48%      | 0,73%        |
| 14 a 15       | 1,20%             | 0,47%      | 0,71%        |
| 13 a 14       | 1,20%             | 0,47%      | 0,72%        |
| 12 a 13       | 1,19%             | 0,47%      | 0,72%        |
| 11 a 12       | 1,17%             | 0,47%      | 0,72%        |
| 10 a 11       | 1,10%             | 0,46%      | 0,70%        |
| 9 a 10        | 1,05%             | 0,45%      | 0,68%        |
| 8 a 9         | 1,03%             | 0,45%      | 0,67%        |
| 7 a 8         | 1,02%             | 0,45%      | 0,68%        |
| 6 a 7         | 0,98%             | 0,44%      | 0,66%        |
| 5 a 6         | 0,93%             | 0,43%      | 0,64%        |
| 4 a 5         | 0,89%             | 0,42%      | 0,62%        |
| 3 a 4         | 0,85%             | 0,41%      | 0,59%        |
| 2 a 3         | 0,76%             | 0,38%      | 0,54%        |
| 1 a 2         | 0,58%             | 0,31%      | 0,42%        |
| 0 a 1         | 0,26%             | 0,15%      | 0,19%        |

Con respecto al acero de las columnas, puede concluirse que:

- ✓ Los aceros entre los modelos de Elementos Finitos y Fórmula de Mainstone son parecidos.
  
- ✓ Hay una variación importante en "ρ" entre los modelos S/T y los modelos que incorporan la mampostería, la cual es muy significativa en los modelos de 4 niveles.

## **CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES**

Este trabajo, cuyos modelos son totalmente simétricos, ha sido ejecutado en rango elástico, estando los mismos ubicados en suelo S2 y siendo la tabiquería completamente enmarcada entre columnas y vigas.

Recomendamos que al realizar investigaciones con la incorporación de mampostería siempre se efectúe un modelo S/T.

Que se siga este estudio en modelos asimétricos colocando mampostería con aberturas y ubicándolos en otro tipo de suelo.

Finalmente luce interesante incursionar en el rango inelástico en el que ingresan las estructuras sometidas a las acciones sísmicas por medio del método Pushover.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- MAINSTONE R.J. (1971). “On the stiffness and strenghts of infilled frames”. Proceedings Institution of Civil Engineers, London, England, Supplement IV, Paper 7360s.
- NORMA VENEZOLANA COVENIN 1753-2006, Caracas. *Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural* (Agosto de 2006).
- NORMA VENEZOLANA COVENIN 1756-2001, Caracas. *Edificaciones Sismorresistentes* (Marzo de 2001).
- NORMA VENEZOLANA COVENIN 1756:2001-2, *Edificaciones Sismorresistentes Parte 2: Comentarios* (Marzo de 2001).
- NORMA VENEZOLANA COVENIN 2002-1988, Caracas. *Criterios y Acciones Mínimas para el Proyecto de Edificaciones* (Agosto de 1988).
- RIVAS M. GUSTAVO, RIVERO R. PEDRO y LOBO QUINTERO WILLIAM. Evaluación del factor de reducción de respuesta dinámica en edificios de concreto armado con tabiquería. Facultad de Ingeniería de la Universidad de los Andes, presentado en el IX Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica, Caracas (19 al 24 de mayo de 2009).
- KATHERINA FLORES FERREIRA y FABRICIO SCHIAVO RUIZ. “Análisis de riesgo en viviendas informales de mampostería confinada de bloques de arcilla”, Caracas (junio del 2015).