

no mny  
6675

T  
C 313e  
2013



UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**COMPARACIÓN DE LA RESPUESTA  
ESTRUCTURAL, ENTRE UNA ESTRUCTURA  
CONVENCIONAL Y UNA CON AISLACIÓN  
BASAL**

**Por**

**Paulina Carrasco Escobar**

**Trabajo de Título para optar al Grado de Licenciado en  
Ciencias de la Ingeniería y Título de Ingeniero Civil**

**Profesor Guía: Alejandro Morales Gómez**

Diciembre, 2013

R. J. 6883

Anales Semco  
Hormigon Armado  
Norma NCH 2795

## AGRADECIMIENTOS.

En primer lugar a mis padres, en especial a mi mamá, quien ha sido el pilar fundamental de mi vida, brindándome todo su amor, quien a pesar de haber quedado sola supo sobreponerse. Siempre luchó e hizo lo que estuviera a su alcance para que yo pudiera estudiar y terminar esta larga carrera. A mi padre, a pesar de perderte tan pequeña me dejaste los mejores recuerdos y valores. Sé que siempre has estado conmigo y que este momento hubiera sido tan especial para ti como lo es para mí.

A mi hermana Viviana, que siempre ha estado junto a mí brindándome su apoyo, muchas veces comportándose como una madre. A mi Renata, por esos momentos de locura que nos invaden.

A Santiago, por haberme querido como una hija y porque sé que puedo contar contigo para cualquier cosa.

A mi amiga de toda la vida, ya casi hermana, Pepa (Estefanía), por estar en todos los momentos importantes de mi vida, en las buenas y en las malas, te quiero. A su familia, en especial a mi tía Amanda y tío Eduardo, quienes siempre estuvieron preocupados y atentos a lo que pudiera necesitar y por hacerme sentir como una hija.

A mi amiga Constanza, te conocí de grande pero creo que fue en un buen momento para las dos. A mi amiga Valen, nos conocimos tan pequeñas... Quién iba a pensar que terminarías apoyándome en esta etapa. A las dos muchas gracias por siempre preguntar cómo estaba, qué me pasaba y si necesitaba algo, las quiero.

A los amigos que conocí en esta última etapa de mi vida: Felipe, Pablo, Cristian, María Jesús y Valeria. Les agradezco a todos ustedes por haber llegado a mi vida y compartir tantos momentos agradables y otros más tristes, fueron esos momentos los que nos unieron. Los quiero mucho y nunca los olvidaré.

A mi profesor guía Alejandro, por ayudarme a terminar este último proceso.

Pido disculpas a todas aquellas personas que no nombro, que de alguna manera aportaron su granito de arena para que lograra este objetivo.

# Índice.

|  |    |
|--|----|
| Índice.....  | 5  |
| Índice de Tablas.....  | 8  |
| Índice de Figuras.....   | 9  |
| Capítulo I.....  | 16 |
| 1 Introducción.....  | 16 |
| 1.1 Planteamiento del problema.....  | 16 |
| 1.2 Objetivos.....   | 17 |
| 1.3 Alcances.....  | 17 |
| Capítulo II.....   | 19 |
| 2 Aislación Sísmica.....   | 19 |
| 2.1 Antecedentes.....  | 19 |
| 2.2 Concepto.....  | 19 |
| 2.3 Principios de la aislación sísmica.....  | 21 |
| 2.4 Tipos de aisladores sísmicos y sus componentes.....  | 22 |
| 2.4.1 Componentes básicos de todo sistema de aislamiento.....  | 22 |
| 2.4.2 Aisladores elastoméricos de caucho natural o aisladores de caucho de bajo amortiguamiento (LDR)..... | 23 |
| 2.4.3 Aisladores de caucho con núcleo de plomo (LRB).....  | 24 |
| 2.4.4 Aisladores elastoméricos de caucho de alto amortiguamiento (HDR).....                                | 25 |
| Capítulo III.....  | 26 |
| 3 Estructuras Analizadas.....  | 26 |
| 3.1 Modelos.....   | 26 |
| 3.2 Materiales empleados y calidades.....  | 28 |
| 3.2.1 Hormigón armado.....   | 28 |
| 3.2.2 Acero de refuerzo.....   | 29 |
| 3.3 Aisladores de base empleados.....  | 29 |
| Capítulo IV.....   | 31 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 4     | Análisis Sísmico Según Decreto Supremo N°61 y Norma Nch433 Of.96 Mod.2009.                  | 31 |
| 4.1   | Solicitaciones.   | 31 |
| 4.1.1 | Cargas muertas.   | 31 |
| 4.1.2 | Cargas vivas o sobrecargas de uso.  | 31 |
| 4.1.3 | Cargas sísmica.   | 31 |
| 4.2   | Combinaciones de cargas.  | 31 |
| 4.3   | Espectro de diseño.   | 32 |
| 4.4   | Resultados del análisis sísmico.  | 34 |
| 4.4.1 | Limitaciones del esfuerzo de corte basal.   | 34 |
| 4.4.2 | Deformaciones sísmicas.   | 36 |
|       | Capítulo V  | 39 |
| 5     | Norma de Aislamiento Basal NCh 2745 Of2003.   | 39 |
| 5.1   | Antecedentes generales.   | 39 |
| 5.2   | Diseño de la NCh 2745 Of 2003.  | 39 |
| 5.3   | Espectro de diseño.   | 40 |
| 5.4   | Resultados del análisis sísmico.  | 42 |
| 5.4.1 | Limitaciones del esfuerzo de corte basal.   | 42 |
| 5.5   | Desplazamientos laterales mínimos.  | 43 |
| 5.5.1 | Desplazamientos de diseño.  | 43 |
| 5.5.2 | Desplazamiento máximo.  | 43 |
| 5.5.3 | Desplazamiento total.   | 45 |
| 5.6   | Fuerzas laterales mínimas.  | 46 |
| 5.6.1 | Sistemas de aislación y elementos estructurales en el nivel o bajo el sistema de aislación. | 46 |
| 5.6.2 | Elementos estructurales sobre el sistema de aislación.                                      | 46 |
| 5.7   | Límite de desplazamiento de entrepiso.  | 47 |
|       | Capítulo VI   | 49 |
| 6     | Diseño de Elementos.  | 49 |
| 6.1   | Resistencia de diseño.  | 49 |
| 6.2   | Elementos sometidos a flexión.  | 50 |

|                    |   |     |
|--------------------|---|-----|
| 6.2.1              | Refuerzo transversal.....                     | 55  |
| 6.2.2              | Requisitos al corte.....                      | 56  |
| 6.3                | Elementos sometidos a flexión-compresión..... | 62  |
| 6.4                | Corte.....                                    | 63  |
| Capítulo VII.....  |   | 84  |
| 7                  | Análisis no Lineal.....                       | 84  |
| 7.1                | Modelo de Takeda.....                         | 84  |
| 7.2                | Modelo Bilineal.....                          | 85  |
| 7.3                | Análisis tiempo historia.....                 | 86  |
| Capítulo VIII..... |   | 88  |
| 8                  | Análisis de Resultados.....                   | 88  |
| 8.1                | Desplazamientos.....                          | 88  |
| 8.2                | Aceleraciones.....                            | 96  |
| 8.3                | Fuerza-desplazamiento de los aisladores.....  | 99  |
| 8.4                | Esfuerzo de elementos.....                    | 106 |
| Capítulo IX.....   |   | 114 |
| 9                  | Conclusiones.....                             | 114 |
| 10                 | Anexo.....                                    | 115 |

## Índice de Tablas.

|  |    |
|--|----|
| Tabla 3.1-Dimensiones de elementos estructurales de estructuras analizadas.....      | 26 |
| Tabla 3.2-Propiedades físicas y resistencia de hormigón utilizado.....               | 28 |
| Tabla 3.3- Propiedades físicas y resistencia de acero utilizado.....                 | 29 |
| 3.4- Masas y Rigideces. ....   | 29 |
| Tabla 3.5- Características Aisladores. ....  | 30 |
| Tabla 3.6- Sistema de Aislación utilizado. ....                                      | 30 |
| Tabla 4.1-Parámetros Sísmicos. ....  | 33 |
| Tabla 4.2-Parámetros Sísmicos. ....  | 33 |
| Tabla 4.3-Corte Basal Elástico.....  | 35 |
| Tabla 4.4-Resultado Análisis Sísmico. ....   | 35 |
| Tabla 4.5-Valores de $C_d^*$ .....   | 37 |
| Tabla 4.6-Desplazamiento lateral de diseño máxima dirección X.....                   | 38 |
| Tabla 5.1-Parámetros Sísmicos. ....  | 41 |
| Tabla 5.2-Corte Basal Elástico.....  | 42 |
| Tabla 5.3-Coeficientes sísmicos de desplazamiento. ....                              | 44 |
| Tabla 5.4-Factor que depende de la zonificación sísmica definida en NCh 433. ....    | 44 |
| Tabla 5.5-Factores de modificación de respuesta por amortiguamiento. ....            | 44 |
| Tabla 5.6-Factor de amplificación para el sismo máximo posible. ....                 | 44 |
| Tabla 5.7-Valores del Desplazamiento de diseño y máximo. ....                        | 45 |
| Tabla 5.8-Fuerzas laterales mínimas. ....  | 47 |
| Tabla 5.9-Factor de reducción. ....  | 47 |
| Tabla 6.1-Armadura a flexión de vigas en estructura convencional.....                | 51 |
| Tabla 6.2-Armadura a flexión de vigas en estructura aislada.....                     | 52 |
| Tabla 6.3-Esfuerzos de diseño de corte en vigas, estructuras convencionales. ....    | 57 |
| Tabla 6.4-Esfuerzos de diseño de corte en vigas, estructuras aisladas. ....          | 58 |
| Tabla 6.5-Esfuerzos de diseño de corte en columnas, estructuras convencionales. .... | 61 |
| Tabla 6.6-Esfuerzos de diseño de corte en columnas, estructuras aisladas. ....       | 61 |
| Tabla 6.7-Valores corte nominal $V_n$ muro 1, estructuras convencionales. ....       | 64 |
| Tabla 6.8-Valores corte nominal $V_n$ muro 1, estructuras convencionales. ....       | 66 |
| Tabla 6.9-Valores corte nominal $V_n$ muro 2, estructuras convencionales. ....       | 68 |
| Tabla 6.10-Valores corte nominal $V_n$ muro 2, estructuras convencionales. ....      | 70 |
| Tabla 6.11-Valores corte nominal $V_n$ muro 3, estructuras convencionales. ....      | 72 |
| Tabla 6.12-Valores corte nominal $V_n$ muro 3, estructuras convencionales. ....      | 74 |
| Tabla 6.13-Valores corte nominal $V_n$ muro 1, estructuras aisladas.....             | 76 |
| Tabla 6.14-Valores corte nominal $V_n$ muro 1, estructuras aisladas.....             | 78 |
| Tabla 6.15-Valores corte nominal $V_n$ muro 2, estructuras aisladas.....             | 80 |
| Tabla 6.16-Valores corte nominal $V_n$ muro 2, estructuras aisladas.....             | 82 |

## Índice de Figuras.

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 2.1-</b> Comparación de la respuesta de un Edificio Sin Aislación Basal y uno Con Aislación Basal. .... | 20 |
| <b>Figura 2.2-</b> Espectro General De Diseño. ....   | 21 |
| <b>Figura 2.3-</b> Componentes del aislador elastomérico.....   | 22 |
| <b>Figura 2.4-</b> Esquema de los componentes de un sistema de aislamiento. ....                                  | 23 |
| <b>Figura 2.5-</b> Ciclo fuerza – deformación de un aislador de bajo amortiguamiento (LDR)....                    | 24 |
| <b>Figura 2.6-</b> Ciclo fuerza – deformación de un aislador con corazón de plomo (LRB). ....                     | 24 |
| <b>Figura 2.7-</b> Curva fuerza – deformación de un aislador de alto amortiguamiento (HDR) ...                    | 25 |
| <b>Figura 3.1-</b> Eje tipo de la estructura.....   | 27 |
| <b>Figura 3.2-</b> Descarga de losa sobre el eje tipo. ....   | 27 |
| <b>Figura 4.1-</b> Espectro de pseudo- aceleración.....   | 34 |
| <b>Figura 4.2-</b> Desplazamiento lateral de entrepiso dirección X. ....  | 36 |
| <b>Figura 4.3-</b> Desplazamiento lateral de diseño dirección X. ....   | 38 |
| <b>Figura 5.1-</b> Definición genérica del espectro de pseudo aceleración. ....                                   | 41 |
| <b>Figura 5.2-</b> Espectro de diseño de pseudo-aceleración.....  | 42 |
| <b>Figura 5.3-</b> Desplazamiento lateral de entrepiso dirección X. ....  | 48 |
| <b>Figura 6.1-</b> Variación de $\phi$ para carga flexo-compresión.....   | 49 |
| <b>Figura 6.2-</b> Distribución de vigas en estructura tipo.....  | 50 |
| <b>Figura 6.3-</b> Distribución de refuerzo a flexión en vigas, estructuras convencionales. ....                  | 53 |
| <b>Figura 6.4-</b> Distribución de refuerzo a flexión en vigas, estructuras aisladas. ....                        | 54 |
| <b>Figura 6.5-</b> Corte de diseño para vigas. ....   | 56 |
| <b>Figura 6.6-</b> Corte de diseño para columnas. ....  | 60 |
| <b>Figura 6.7-</b> Diagrama de interacción P-M.....   | 62 |
| <b>Figura 6.8-</b> Distribución de elementos a flexo-compresión.....  | 63 |
| <b>Figura 6.9-</b> Diagrama de Corte muro1. Estructura I (Convencional). ....                                     | 64 |
| <b>Figura 6.10-</b> Diagrama de Corte muro1. Estructura II (Convencional).....                                    | 65 |
| <b>Figura 6.11 -</b> Diagrama de Corte muro1. Estructura III (Convencional). ....                                 | 65 |
| <b>Figura 6.12 -</b> Diagrama de Corte muro1. Estructura IV (Convencional). ....                                  | 65 |
| <b>Figura 6.13-</b> Diagrama de Corte muro1. Estructura V (Convencional).....                                     | 67 |
| <b>Figura 6.14-</b> Diagrama de Corte muro1. Estructura VI (Convencional). ....                                   | 67 |
| <b>Figura 6.15-</b> Diagrama de Corte muro1. Estructura VII (Convencional).....                                   | 67 |
| <b>Figura 6.16 -</b> Diagrama de Corte muro2. Estructura I (Convencional). ....                                   | 68 |
| <b>Figura 6.17-</b> Diagrama de Corte muro2. Estructura II (Convencional).....                                    | 69 |
| <b>Figura 6.18-</b> Diagrama de Corte muro2. Estructura III (Convencional). ....                                  | 69 |
| <b>Figura 6.19-</b> Diagrama de Corte muro2. Estructura IV (Convencional). ....                                   | 69 |
| <b>Figura 6.20-</b> Diagrama de Corte muro2. Estructura V (Convencional).....                                     | 71 |
| <b>Figura 6.21-</b> Diagrama de Corte muro2. Estructura VI (Convencional). ....                                   | 71 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 6.22</b> -Diagrama de Corte muro2. Estructura VII (Convencional).....               | 71 |
| <b>Figura 6.23</b> -Diagrama de Corte muro3. Estructura I (Convencional).....                 | 72 |
| <b>Figura 6.24</b> -Diagrama de Corte muro3. Estructura II (Convencional).....                | 73 |
| <b>Figura 6.25</b> -Diagrama de Corte muro3. Estructura III (Convencional).....               | 73 |
| <b>Figura 6.26</b> -Diagrama de Corte muro3. Estructura IV (Convencional).....                | 73 |
| <b>Figura 6.27</b> -Diagrama de Corte muro3. Estructura V (Convencional).....                 | 75 |
| <b>Figura 6.28</b> -Diagrama de Corte muro3. Estructura VI (Convencional).....                | 75 |
| <b>Figura 6.29</b> -Diagrama de Corte muro3. Estructura VII (Convencional).....               | 75 |
| <b>Figura 6.30</b> -Diagrama de Corte muro1. Estructura I (Aislada).....                      | 76 |
| <b>Figura 6.31</b> -Diagrama de Corte muro1. Estructura II (Aislada).....                     | 77 |
| <b>Figura 6.32</b> -Diagrama de Corte muro1. Estructura III (Aislada).....                    | 77 |
| <b>Figura 6.33</b> -Diagrama de Corte muro1. Estructura IV (Aislada).....                     | 77 |
| <b>Figura 6.34</b> -Diagrama de Corte muro1. Estructura V (Aislada).....                      | 79 |
| <b>Figura 6.35</b> -Diagrama de Corte muro1. Estructura VI (Aislada).....                     | 79 |
| <b>Figura 6.36</b> -Diagrama de Corte muro1. Estructura VII (Aislada).....                    | 79 |
| <b>Figura 6.37</b> -Diagrama de Corte muro2. Estructura I (Aislada).....                      | 80 |
| <b>Figura 6.38</b> --Diagrama de Corte muro2. Estructura II (Aislada).....                    | 81 |
| <b>Figura 6.39</b> -Diagrama de Corte muro2. Estructura III (Aislada).....                    | 81 |
| <b>Figura 6.40</b> -Diagrama de Corte muro2. Estructura IV (Aislada).....                     | 81 |
| <b>Figura 6.41</b> -Diagrama de Corte muro2. Estructura V (Aislada).....                      | 83 |
| <b>Figura 6.42</b> - Diagrama de Corte muro2. Estructura VI (Aislada).....                    | 83 |
| <b>Figura 6.43</b> -Diagrama de Corte muro2. Estructura VII (Aislada).....                    | 83 |
| <b>Figura 7.1</b> - Curva de rendimiento Viga-Columna.....                                    | 84 |
| <b>Figura 7.2</b> - Modelo histerético de Takeda modificado [Otani, 1974].....                | 85 |
| <b>Figura 7.3</b> - Modelo histerético bilineal.....  | 86 |
| <b>Figura 7.4</b> -Registro Terremoto del Maule 2010 Chile- Viña, componente EO.....          | 87 |
| <b>Figura 7.5</b> -Registro Terremoto del Maule 2010 Chile- Angol, componente NS.....         | 87 |
| <b>Figura 7.6</b> -Registro Terremoto del Maule 2010 Chile- Constitución, componente T.....   | 87 |
| <b>Figura 8.1</b> - Desplazamientos laterales. Estructura I.....                              | 88 |
| <b>Figura 8.2</b> - Desplazamientos laterales. Estructura II.....                             | 89 |
| <b>Figura 8.3</b> - Desplazamientos laterales. Estructura III.....                            | 89 |
| <b>Figura 8.4</b> - Desplazamientos laterales. Estructura IV.....                             | 89 |
| <b>Figura 8.5</b> - Desplazamientos laterales. Estructura V.....                              | 90 |
| <b>Figura 8.6</b> - Desplazamientos laterales. Estructura VI.....                             | 90 |
| <b>Figura 8.7</b> - Desplazamientos laterales. Estructura VII.....                            | 90 |
| <b>Figura 8.8</b> - Desplazamiento relativo de entrepiso. Estructura I (Convencional).....    | 91 |
| <b>Figura 8.9</b> - Desplazamiento relativo de entrepiso. Estructura II (Convencional).....   | 92 |
| <b>Figura 8.10</b> - Desplazamiento relativo de entrepiso. Estructura III (Convencional)..... | 92 |
| <b>Figura 8.11</b> - Desplazamiento relativo de entrepiso. Estructura IV (Convencional).....  | 92 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Figura 8.12-</b> Desplazamiento relativo de entrepiso. Estructura V (Convencional). .....              | 93  |
| <b>Figura 8.13-</b> Desplazamiento relativo de entrepiso. Estructura VI (Convencional).....               | 93  |
| <b>Figura 8.14-</b> Desplazamiento relativo de entrepiso. Estructura VII (Convencional). .....            | 93  |
| <b>Figura 8.15-</b> Desplazamiento relativo de entrepiso. Estructura I (Aislada). .....                   | 94  |
| <b>Figura 8.16-</b> Desplazamiento relativo de entrepiso. Estructura II (Aislada). .....                  | 94  |
| <b>Figura 8.17-</b> Desplazamiento relativo de entrepiso. Estructura III (Aislada). .....                 | 94  |
| <b>Figura 8.18-</b> Desplazamiento relativo de entrepiso. Estructura IV (Aislada).....                    | 95  |
| <b>Figura 8.19-</b> Desplazamiento relativo de entrepiso. Estructura V (Aislada). .....                   | 95  |
| <b>Figura 8.20-</b> Desplazamiento relativo de entrepiso. Estructura VI (Aislada).....                    | 95  |
| <b>Figura 8.21-</b> Desplazamiento relativo de entrepiso. Estructura VII (Aislada). .....                 | 96  |
| <b>Figura 8.22-</b> Respuesta comparativa de aceleración por piso. Estructura I.....                      | 96  |
| <b>Figura 8.23--</b> Respuesta comparativa de aceleración por piso. Estructura II. ....                   | 97  |
| <b>Figura 8.24-</b> Respuesta comparativa de aceleración por piso. Estructura III. ....                   | 97  |
| <b>Figura 8.25-</b> Respuesta comparativa de aceleración por piso. Estructura IV. ....                    | 97  |
| <b>Figura 8.26-</b> Respuesta comparativa de aceleración por piso. Estructura V. ....                     | 98  |
| <b>Figura 8.27-</b> Respuesta comparativa de aceleración por piso. Estructura VI. ....                    | 98  |
| <b>Figura 8.28-</b> Respuesta comparativa de aceleración por piso. Estructura VII.....                    | 98  |
| <b>Figura 8.29-</b> Cortante en la base Vs Desplazamiento. Estructura I, registro de Viña. ....           | 99  |
| <b>Figura 8.30-</b> Cortante en la base Vs Desplazamiento. Estructura I, registro de Angol. ....          | 100 |
| <b>Figura 8.31-</b> Cortante en la base Vs Desplazamiento. Estructura I, registro de Constitución. ....   | 100 |
| <b>Figura 8.32-</b> Cortante en la base Vs Desplazamiento. Estructura II, registro de Viña. ....          | 100 |
| <b>Figura 8.33-</b> Cortante en la base Vs Desplazamiento. Estructura II, registro de Angol. ....         | 101 |
| <b>Figura 8.34-</b> Cortante en la base Vs Desplazamiento. Estructura II, registro de Constitución. ....  | 101 |
| <b>Figura 8.35-</b> Cortante en la base Vs Desplazamiento. Estructura III, registro de Viña.....          | 101 |
| <b>Figura 8.36-</b> Cortante en la base Vs Desplazamiento. Estructura III, registro de Angol. .           | 102 |
| <b>Figura 8.37-</b> Cortante en la base Vs Desplazamiento. Estructura III, registro de Constitución. .... | 102 |
| <b>Figura 8.38-</b> Cortante en la base Vs Desplazamiento. Estructura IV, registro de Viña. ...           | 102 |
| <b>Figura 8.39-</b> Cortante en la base Vs Desplazamiento. Estructura IV, registro de Angol. .            | 103 |
| <b>Figura 8.40-</b> Cortante en la base Vs Desplazamiento. Estructura IV, registro de Constitución. ....  | 103 |
| <b>Figura 8.41-</b> Cortante en la base Vs Desplazamiento. Estructura V, registro de Viña.....            | 103 |
| <b>Figura 8.42-</b> Cortante en la base Vs Desplazamiento. Estructura V, registro de Angol. ..            | 104 |
| <b>Figura 8.43-</b> Cortante en la base Vs Desplazamiento. Estructura V, registro de Constitución. ....   | 104 |
| <b>Figura 8.44-</b> Cortante en la base Vs Desplazamiento. Estructura VI, registro de Viña. ...           | 104 |
| <b>Figura 8.45-</b> Cortante en la base Vs Desplazamiento. Estructura VI, registro de Angol. .            | 105 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 8.46-</b> Cortante en la base Vs Desplazamiento. Estructura VI, registro de Constitución.....  | 105 |
| <b>Figura 8.47-</b> Cortante en la base Vs Desplazamiento. Estructura VII, registro de Viña. ..          | 105 |
| <b>Figura 8.48-</b> Cortante en la base Vs Desplazamiento. Estructura VII, registro de Angol. 106        |     |
| <b>Figura 8.49-</b> Cortante en la base Vs Desplazamiento. Estructura VII, registro de Constitución..... | 106 |
| <b>Figura 8.50-</b> Demanda de momento. Estructura I, registro de Viña.....                              | 107 |
| <b>Figura 8.51-</b> Demanda de momento. Estructura I, registro de Angol.....                             | 107 |
| <b>Figura 8.52-</b> Demanda de momento. Estructura I, registro de Constitución.....                      | 107 |
| <b>Figura 8.53-</b> Demanda de momento. Estructura II, registro de Viña.....                             | 108 |
| <b>Figura 8.54-</b> Demanda de momento. Estructura II, registro de Angol.....                            | 108 |
| <b>Figura 8.55-</b> Demanda de momento. Estructura II, registro de Constitución.....                     | 108 |
| <b>Figura 8.56-</b> Demanda de momento. Estructura III, registro de Viña.....                            | 109 |
| <b>Figura 8.57-</b> Demanda de momento. Estructura III, registro de Angol.....                           | 109 |
| <b>Figura 8.58-</b> Demanda de momento. Estructura III, registro de Constitución.....                    | 109 |
| <b>Figura 8.59-</b> Demanda de momento. Estructura IV, registro de Viña.....                             | 110 |
| <b>Figura 8.60-</b> Demanda de momento. Estructura IV, registro de Angol.....                            | 110 |
| <b>Figura 8.61-</b> Demanda de momento. Estructura IV, registro de Constitución.....                     | 110 |
| Figura 8.62- Demanda de momento. Estructura V, registro de Viña.....                                     | 111 |
| Figura 8.63- Demanda de momento. Estructura V, registro de Angol.....                                    | 111 |
| Figura 8.64- Demanda de momento. Estructura V, registro de Constitución.....                             | 111 |
| <b>Figura 8.65-</b> Demanda de momento. Estructura VI, registro de Viña.....                             | 112 |
| <b>Figura 8.66-</b> Demanda de momento. Estructura VI, registro de Angol.....                            | 112 |
| <b>Figura 8.67-</b> Demanda de momento. Estructura VI, registro de Constitución.....                     | 112 |
| <b>Figura 8.68-</b> Demanda de momento. Estructura VII, registro de Viña.....                            | 113 |
| <b>Figura 8.69-</b> Demanda de momento. Estructura VII, registro de Angol.....                           | 113 |
| <b>Figura 8.70-</b> Demanda de momento. Estructura VII, registro de Constitución.....                    | 113 |
| <b>Figura 10.1-</b> Diagrama de interacción columna, Estructuras I y II (convencional).....              | 115 |
| <b>Figura 10.2-</b> Diagrama de interacción columna, Estructuras III y IV (convencional). .....          | 115 |
| <b>Figura 10.3-</b> Diagrama de interacción columna, Estructuras V y VI (convencional). .....            | 115 |
| <b>Figura 10.4-</b> Diagrama de interacción columna, Estructura VII (convencional).....                  | 116 |
| Figura 10.5-Diagrama de interacción columna, Estructuras I y II (Aislada).....                           | 116 |
| <b>Figura 10.6-</b> Diagrama de interacción columna, Estructuras III y IV (Aislada). .....               | 116 |
| <b>Figura 10.7-</b> Diagrama de interacción columna, Estructuras V y VI (Aislada).....                   | 117 |
| <b>Figura 10.8-</b> Diagrama de interacción columna, Estructura VII (Aislada).....                       | 117 |
| <b>Figura 10.9-</b> Armadura de flexo-compresión Muro 1, Estructura I (Convencional).....                | 117 |
| <b>Figura 10.10-</b> Diagrama de interacción Muro 1, Estructura I (Convencional).....                    | 118 |
| <b>Figura 10.11-</b> Armadura de flexo-compresión Muro 2, Estructura I (Convencional).....               | 118 |
| <b>Figura 10.12-</b> Diagrama de interacción Muro 2, Estructura I (Convencional).....                    | 118 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Figura 10.13-</b> Armadura de flexo-compresión Muro 3, Estructura I (Convencional).....    | 118 |
| <b>Figura 10.14-</b> Diagrama de interacción Muro 3, Estructura I (Convencional).....         | 119 |
| <b>Figura 10.15-</b> Armadura de flexo-compresión Muro 1, Estructura II (Convencional). ....  | 119 |
| <b>Figura 10.16-</b> Diagrama de interacción Muro 1, Estructura II (Convencional). ....       | 119 |
| <b>Figura 10.17-</b> Armadura de flexo-compresión Muro 2, Estructura II (Convencional). ....  | 119 |
| <b>Figura 10.18-</b> Diagrama de interacción Muro 2, Estructura II (Convencional). ....       | 120 |
| <b>Figura 10.19-</b> Armadura de flexo-compresión Muro 3, Estructura II (Convencional). ....  | 120 |
| <b>Figura 10.20-</b> Diagrama de interacción Muro 3, Estructura II (Convencional). ....       | 120 |
| <b>Figura 10.21-</b> Armadura de flexo-compresión Muro 1, Estructura III (Convencional). .... | 120 |
| <b>Figura 10.22-</b> Diagrama de interacción Muro 1, Estructura III (Convencional). ....      | 121 |
| <b>Figura 10.23-</b> Armadura de flexo-compresión Muro 2, Estructura III (Convencional). .... | 121 |
| <b>Figura 10.24-</b> Diagrama de interacción Muro 2, Estructura III (Convencional). ....      | 121 |
| <b>Figura 10.25-</b> Armadura de flexo-compresión Muro 3, Estructura III (Convencional). .... | 121 |
| <b>Figura 10.26-</b> Diagrama de interacción Muro 3, Estructura III (Convencional). ....      | 122 |
| <b>Figura 10.27-</b> Armadura de flexo-compresión Muro 1, Estructura IV (Convencional). ....  | 122 |
| <b>Figura 10.28-</b> Diagrama de interacción Muro 1, Estructura IV (Convencional).....        | 122 |
| <b>Figura 10.29-</b> Armadura de flexo-compresión Muro 2, Estructura IV (Convencional). ....  | 122 |
| <b>Figura 10.30-</b> Diagrama de interacción Muro 2, Estructura IV (Convencional).....        | 123 |
| <b>Figura 10.31-</b> Armadura de flexo-compresión Muro 3, Estructura IV (Convencional). ...   | 123 |
| <b>Figura 10.32-</b> Diagrama de interacción Muro 3, Estructura IV (Convencional).....        | 123 |
| <b>Figura 10.33-</b> Armadura de flexo-compresión Muro 1, Estructura V (Convencional). ....   | 123 |
| <b>Figura 10.34-</b> Diagrama de interacción Muro 1, Estructura V (Convencional). ....        | 124 |
| <b>Figura 10.35-</b> Armadura de flexo-compresión Muro 2, Estructura V (Convencional). ....   | 124 |
| <b>Figura 10.36-</b> Diagrama de interacción Muro 2, Estructura V (Convencional). ....        | 124 |
| <b>Figura 10.37-</b> Armadura de flexo-compresión Muro 3, Estructura V (Convencional). ....   | 124 |
| <b>Figura 10.38-</b> Diagrama de interacción Muro 3, Estructura V (Convencional). ....        | 125 |
| <b>Figura 10.39-</b> Armadura de flexo-compresión Muro 1, Estructura VI (Convencional). ....  | 125 |
| <b>Figura 10.40-</b> Diagrama de interacción Muro 1, Estructura VI (Convencional).....        | 125 |
| <b>Figura 10.41-</b> Armadura de flexo-compresión Muro 2, Estructura VI (Convencional). ....  | 125 |
| <b>Figura 10.42-</b> Diagrama de interacción Muro 2, Estructura VI (Convencional).....        | 126 |
| <b>Figura 10.43-</b> Armadura de flexo-compresión Muro 3, Estructura VI (Convencional). ....  | 126 |
| <b>Figura 10.44-</b> Diagrama de interacción Muro 3, Estructura VI (Convencional).....        | 126 |
| <b>Figura 10.45-</b> Armadura de flexo-compresión Muro 1, Estructura VII (Convencional)....   | 126 |
| <b>Figura 10.46-</b> Diagrama de interacción Muro 1, Estructura VII (Convencional).....       | 127 |
| <b>Figura 10.47-</b> Armadura de flexo-compresión Muro 2, Estructura VII (Convencional)....   | 127 |
| <b>Figura 10.48-</b> Diagrama de interacción Muro 2, Estructura VII (Convencional).....       | 127 |
| <b>Figura 10.49-</b> Armadura de flexo-compresión Muro 3, Estructura VII (Convencional)....   | 127 |
| <b>Figura 10.50-</b> Diagrama de interacción Muro 3, Estructura VII (Convencional).....       | 128 |
| <b>Figura 10.51-</b> Armadura de flexo-compresión Muro 1, Estructura I (Aislada).....         | 128 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Figura 10.52</b> -Diagrama de interacción Muro 1, Estructura I (Aislada).....        | 128 |
| <b>Figura 10.53</b> -Armadura de flexo-compresión Muro 2, Estructura I (Aislada).....   | 128 |
| <b>Figura 10.54</b> -Diagrama de interacción Muro 2, Estructura I (Aislada).....        | 129 |
| <b>Figura 10.55</b> -Armadura de flexo-compresión Muro 3, Estructura I (Aislada).....   | 129 |
| <b>Figura 10.56</b> -Diagrama de interacción Muro 3, Estructura I (Aislada).....        | 129 |
| <b>Figura 10.57</b> -Armadura de flexo-compresión Muro 1, Estructura II (Aislada).....  | 129 |
| <b>Figura 10.58</b> -Diagrama de interacción Muro 1, Estructura II (Aislada).....       | 130 |
| <b>Figura 10.59</b> -Armadura de flexo-compresión Muro 2, Estructura II (Aislada).....  | 130 |
| <b>Figura 10.60</b> -Diagrama de interacción Muro 2, Estructura II (Aislada).....       | 130 |
| <b>Figura 10.61</b> -Armadura de flexo-compresión Muro 3, Estructura II (Aislada).....  | 130 |
| <b>Figura 10.62</b> -Diagrama de interacción Muro 3, Estructura II (Aislada).....       | 131 |
| <b>Figura 10.63</b> -Armadura de flexo-compresión Muro 1, Estructura III (Aislada)..... | 131 |
| <b>Figura 10.64</b> -Diagrama de interacción Muro 1, Estructura III (Aislada).....      | 131 |
| <b>Figura 10.65</b> -Armadura de flexo-compresión Muro 2, Estructura III (Aislada)..... | 131 |
| <b>Figura 10.66</b> -Diagrama de interacción Muro 2, Estructura III (Aislada).....      | 132 |
| <b>Figura 10.67</b> -Armadura de flexo-compresión Muro 3, Estructura III (Aislada)..... | 132 |
| <b>Figura 10.68</b> -Diagrama de interacción Muro 3, Estructura III (Aislada).....      | 132 |
| <b>Figura 10.69</b> -Armadura de flexo-compresión Muro 1, Estructura IV (Aislada).....  | 132 |
| <b>Figura 10.70</b> -Diagrama de interacción Muro 1, Estructura IV (Aislada).....       | 133 |
| <b>Figura 10.71</b> -Armadura de flexo-compresión Muro 2, Estructura IV (Aislada).....  | 133 |
| <b>Figura 10.72</b> -Diagrama de interacción Muro 2, Estructura IV (Aislada).....       | 133 |
| <b>Figura 10.73</b> -Armadura de flexo-compresión Muro 3, Estructura IV (Aislada).....  | 133 |
| <b>Figura 10.74</b> -Diagrama de interacción Muro 3, Estructura IV (Aislada).....       | 134 |
| <b>Figura 10.75</b> -Armadura de flexo-compresión Muro 1, Estructura V (Aislada).....   | 134 |
| <b>Figura 10.76</b> -Diagrama de interacción Muro 1, Estructura V (Aislada).....        | 134 |
| <b>Figura 10.77</b> -Armadura de flexo-compresión Muro 2, Estructura V (Aislada).....   | 134 |
| <b>Figura 10.78</b> -Diagrama de interacción Muro 2, Estructura V (Aislada).....        | 135 |
| <b>Figura 10.79</b> -Armadura de flexo-compresión Muro 3, Estructura V (Aislada).....   | 135 |
| <b>Figura 10.80</b> -Diagrama de interacción Muro 3, Estructura V (Aislada).....        | 135 |
| <b>Figura 10.81</b> -Armadura de flexo-compresión Muro 1, Estructura VI (Aislada).....  | 135 |
| <b>Figura 10.82</b> -Diagrama de interacción Muro 1, Estructura VI (Aislada).....       | 136 |
| <b>Figura 10.83</b> -Armadura de flexo-compresión Muro 2, Estructura VI (Aislada).....  | 136 |
| <b>Figura 10.84</b> -Diagrama de interacción Muro 2, Estructura VI (Aislada).....       | 136 |
| <b>Figura 10.85</b> -Armadura de flexo-compresión Muro 3, Estructura VI (Aislada).....  | 136 |
| <b>Figura 10.86</b> -Diagrama de interacción Muro 3, Estructura VI (Aislada).....       | 137 |
| <b>Figura 10.87</b> -Armadura de flexo-compresión Muro 1, Estructura VII (Aislada)..... | 137 |
| <b>Figura 10.88</b> -Diagrama de interacción Muro 1, Estructura VII (Aislada).....      | 137 |
| <b>Figura 10.89</b> -Armadura de flexo-compresión Muro 2, Estructura VII (Aislada)..... | 137 |
| <b>Figura 10.90</b> -Diagrama de interacción Muro 2, Estructura VII (Aislada).....      | 138 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Figura 10.91</b> -Armadura de flexo-compresión Muro 3, Estructura VII (Aislada)..... | 138 |
| <b>Figura 10.92</b> -Diagrama de interacción Muro 3, Estructura VII (Aislada).....      | 138 |

# Capítulo I

## 1 Introducción.

### 1.1 Planteamiento del problema.

La actividad sísmica en ciertos sectores del planeta es una constante en el tiempo, cuyo control hasta el día de hoy no está al alcance del hombre. Debido a lo anterior, hay que considerar que el sismo como tal no es el causante de víctimas, sino más bien son las interacciones que se conjugan entre el evento sísmico y el ambiente creado por el hombre, el que está conformado por edificios, puentes, embalses, etc.

Con el objetivo de reducir los daños provocados por los terremotos, se deben considerar el control y la reducción del riesgo sísmico, tomando en cuenta la interacción de la amenaza o peligro sísmico, el que está dado por la actividad sísmica de la localidad y la vulnerabilidad sísmica, que está en función del ambiente generado por el hombre y del nivel de preparación que este posee para actuar ante el sismo.

Chile como localidad es uno de los países con mayores niveles de vulnerabilidad sísmica, así lo confirma el sismólogo Sergio Barrientos, cuando menciona que el 46,5% de toda la energía sísmica mundial del siglo XX, se liberó en territorio Chileno; y que de los quince terremotos más destructivos registrados a nivel mundial desde 1900, tres han ocurrido en Chile [ASOSEM, 2012].

La situación sísmica de Chile se debe principalmente a que se encuentra ubicado en una de las regiones sísmicamente más activas del mundo, ya que se sitúa en la llamada zona del Cinturón de Fuego del Pacífico, específicamente contiguo al encuentro entre la Placa de Nazca, subplaca del Pacífico y la Placa Sudamericana.

El último evento sísmico de grandes proporciones que ocurrió en nuestro país es el denominado “Terremoto del Maule”, acontecido el 27 de febrero del 2010, es el quinto a nivel mundial con una Magnitud Momento de 8.8. *“Lamentablemente, ocurrió el colapso de 6 edificios la mayoría de ellos por incumplimiento de la norma NCh433 Of.96 Mod.2009 (Diseño sísmico de edificios). Por este motivo se ha considerado, unánimemente y a nivel internacional, como un éxito el resultado de las normas y de la ingeniería sísmica chilena”* [Saragoni, 2011].

Como consecuencia de éste, ha surgido una gran demanda por el uso de protección sísmica en edificios habitacionales y de oficina al igual como sucedió en la década de los 90, con los terremotos de Northridge (1994) y Kobe (1995), ya que han registrado un excelente comportamiento. Antes del megaterremoto del Maule, existían 10 estructuras con protección sísmica, ahora contamos con más de 30.

La normativa chilena NCh2745.Of2003, rige el Análisis y Diseño de Edificios con Aislación Sísmica, la cual se encuentra en actualización. La utilización de la aislación sísmica apunta a la protección de la vida humana, el contenido y a la continuidad operacional.

Debido al auge que se está produciendo a nivel mundial, así como también a nivel nacional, en el uso de nuevas tecnologías de aislación sísmica, es que surge la inquietud de analizar el comportamiento entre estructuras, con y sin aislación basal. Por lo tanto, la problemática de este trabajo está centrada en determinar qué tan efectivo puede ser el uso de aislación sísmica en edificios de gran altura, a través de la comparación de la respuesta de la presencia o no de un sistema de aislación, como medida de disminución de daños estructurales y del contenido, así como también el riesgo de pérdidas humanas.

## 1.2 Objetivos.

- Diseñar y analizar sísmicamente siete modelos representativos de estructuras con y sin aislación basal.
- Evaluar la respuesta del sistema por medio de un análisis no lineal tiempo historia de ser necesario.
- Realizar una comparación de aceleraciones, desplazamientos y deformaciones de entre pisos, entre una estructura convencional y una con aislación basal.

## 1.3 Alcances.

Se diseñan y analizan 7 estructuras sin aislación basal y 7 con aislación basal las cuales se fundamentan en una estructuración de hormigón armado con muros, vigas y columnas. Para todos los casos se consideran los siguientes alcances:

- ✓ Se utiliza el programa ETABS 9.7 [CSI 2010] para realizar el análisis estructural de los edificios.
- ✓ Se utiliza el programa Ruaumoko [A.J. Carr2008] para desarrollar el análisis no lineal de las estructuras.
- ✓ Para todo tipo de análisis se realizara en un solo plano, dirección X-Z.

- ✓ Para el análisis sísmico modal espectral se considera que las estructuras se encuentran ubicadas en una Zona Sísmica 3 y un suelo tipo D.
- ✓ Se utilizarán aisladores elastoméricos.

Para el diseño de las estructuras se consideran las siguientes normativas:

|                                  |  |
|----------------------------------|--|
| ACI-318-08:                      | Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary. |
| NCh433 Of.96 Mod.2009:           | Diseño sísmico de edificios.                                       |
| NCh2745 Of.2003:                 | Análisis y diseño de edificios con aislación sísmica.              |
| NCh1537 Of.2009                  | Diseño Estructural – Cargas permanentes y cargas de uso.           |
| Decreto Supremo N°61 (D.S.N°61): | Reglamento que fija el diseño sísmico de edificios.                |

## Capítulo II

### 2 Aislación Sísmica.

#### 2.1 Antecedentes.

*“Durante la última década el concepto de aislación sísmica ha comenzado a ser considerado seriamente como una alternativa en el diseño sismorresistente de estructuras, especialmente en aquellos casos en que se busca un mejor desempeño sísmico para las estructuras y sus contenidos. El buen desempeño que las estructuras aisladas han tenido durante los sismos de Northridge (Los Ángeles, 1994) y Kobe (Kobe, 1995). Estos avalan las bondades de esta alternativa en cuanto a aumentar considerablemente el nivel de seguridad para las personas y la operabilidad de la estructura después de un sismo” [NCh2745 Of2003].*

En Chile, se ha utilizado esta técnica en variados proyectos obteniendo muy buenos resultados. El primer edificio a principio de los años 90, corresponde a un proyecto experimental entre la Universidad de Chile y el Ministerio de la Vivienda, y ha tenido excelentes resultados en el tiempo, soportando perfectamente el terremoto de febrero de 2010. Este sistema de aislación sísmica se utilizó después en la construcción del puente del viaducto Marga-Marga, que resultó ser un gran acierto, y eso permitió probar su capacidad para este tipo de estructuras en 2 ó 3 puentes más. Posteriormente se desarrolló la construcción del Hospital Militar, que fue todo un hito, porque es una de las estructuras aisladas más grandes que tenemos en Chile. Luego, con esa misma lógica se construyeron varios edificios de la Universidad Católica la clínica y la Facultad de Ingeniería, junto a los edificios de la Asociación Chilena de Seguridad, en Valparaíso y Santiago. Todas estas edificaciones resistieron sin inconvenientes el terremoto del 27 de febrero del 2010.

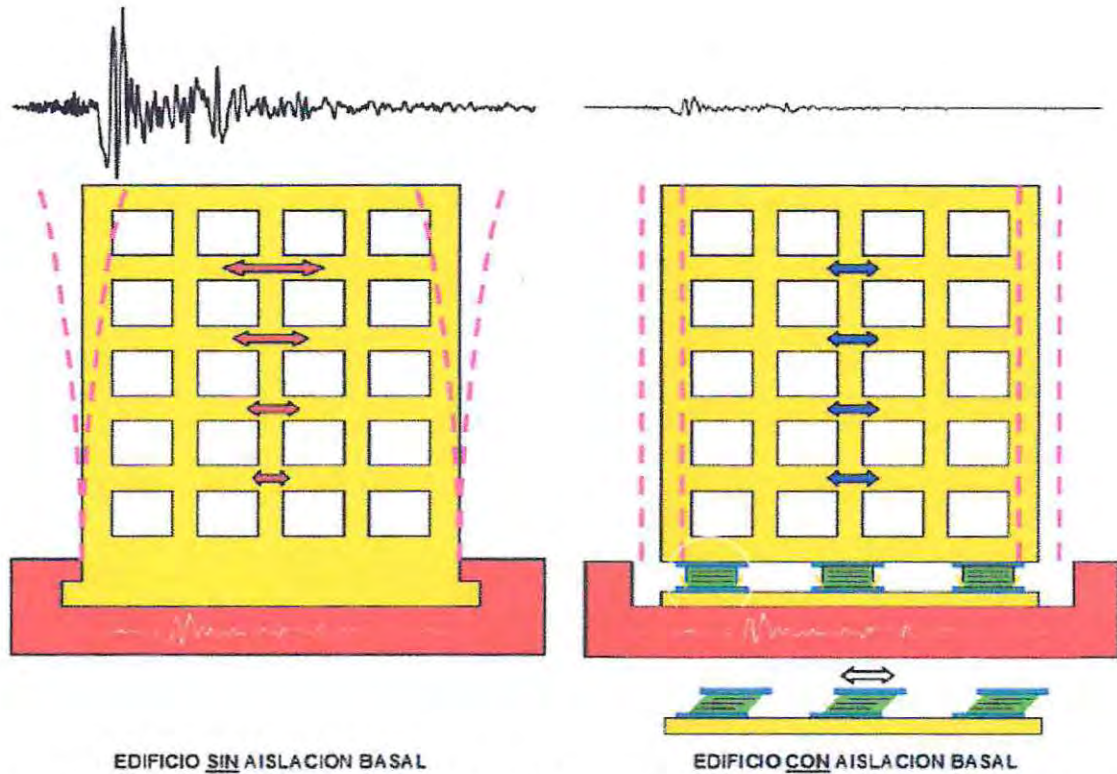
#### 2.2 Concepto

El aislamiento sísmico es una técnica de diseño sismorresistente que permite reducir la respuesta dinámica de la estructura, que consiste en desacoplar horizontalmente la estructura de la sub-estructura mediante aisladores sísmicos, estos dispositivos absorben mediante grandes deformaciones la energía que un sismo transmite a la estructura, estos elementos se ubican estratégicamente en la estructura según la configuración de ésta, los cuales, en un evento sísmico proveen a la estructura la suficiente flexibilidad para incrementar la diferencia entre el periodo natural de la estructura con el periodo del sismo.

Las edificaciones de baja a mediana altura experimentan grandes desplazamientos en su base, debido a que los dispositivos son muy flexibles en la dirección horizontal, pero extremadamente rígidos en la dirección vertical; sin embargo, los desplazamientos en la

superestructura se mantienen en el rango elástico con deformaciones mínimas, es decir, la respuesta que caracteriza a los edificios convencionales, con altas deformaciones y periodos cortos, se ve modificada con el sistema de aislación.

De esta manera, los edificios aislados sísmicamente logran tener un comportamiento superior al de los edificios que no cuentan con dispositivos de aislación, es decir, luego de un sismo los edificios pueden ser habitados inmediatamente.



**Figura 2.1-** Comparación de la respuesta de un Edificio Sin Aislación Basal y uno Con Aislación Basal.

Fuente: Departamento de estructuras y geotécnica UC.



## 2.4 Tipos de aisladores sísmicos y sus componentes.

Dentro de la aislación sísmica nos encontramos con dos tipos de sistemas; los de fricción y los elastoméricos. Como se mencionó en los alcances en este documento solo se utilizarán los sistemas elastoméricos, estos consisten en un conjunto de capas delgadas de goma natural adheridas a planchas delgadas de acero. En la Figura 2.3 se pueden ver los componentes de los aisladores elastoméricos.



**Figura 2.3-** Componentes del aislador elastomérico.  
Fuente: Carl Lüders (2013).

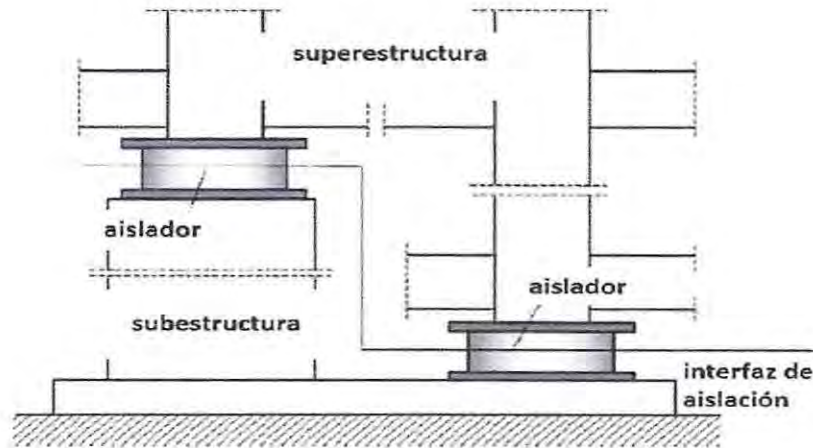
### 2.4.1 Componentes básicos de todo sistema de aislamiento.

Los componentes básicos del sistema de aislamiento según la norma NCh2745.Of2003:

- Superestructura: Porción de la estructura que se encuentra por sobre el nivel de aislación.
- Aislador: Elemento estructural del sistema de aislación que es horizontalmente flexible y verticalmente rígido y que permite grandes deformaciones laterales bajo sollicitación sísmica. Es un elemento que se puede utilizar como parte del, o adicionalmente al, sistema de carga gravitacional de la estructura.
- Subestructura: Porción de la estructura que se encuentra por debajo del nivel de aislación.

- Interfaz de aislación: Espacio generado por el sistema de aislación que se encuentra limitado en su parte superior por la superestructura y en su parte inferior por la subestructura.

En la Figura 2.4 se muestran las partes del sistema de aislación.



**Figura 2.4-** Esquema de los componentes de un sistema de aislamiento.  
Fuente: Roger Meza Blandón (2010).

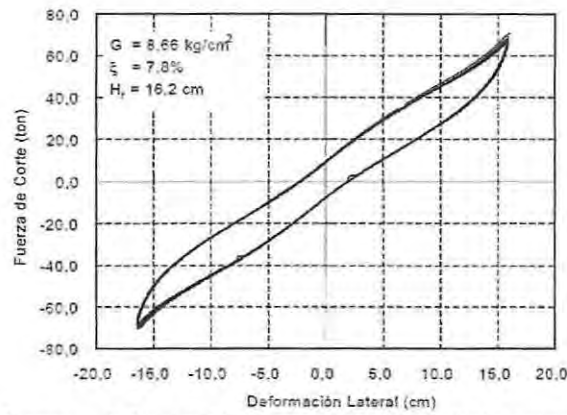
### **2.4.2 Aisladores elastoméricos de caucho natural o aisladores de caucho de bajo amortiguamiento (LDR).**

Este es el primer sistema de aislamiento, utilizados desde el año 1969 en la escuela Pestalozzi en Skopje Macedonia.

Estos primeros aisladores estaban compuestos por bloques de caucho sin refuerzo, ni placa de conexión, por lo que se abultaban debido al peso de la estructura. Hoy en día se fabrican de múltiples láminas de caucho con refuerzo de láminas de acero intercaladas permitiendo que estos no se deformen.

La relación lineal entre la fuerza cortante y la deformación lateral es una de las características que posee este tipo de aislador, este alcanza un amortiguamiento alrededor del 5% al 10%.

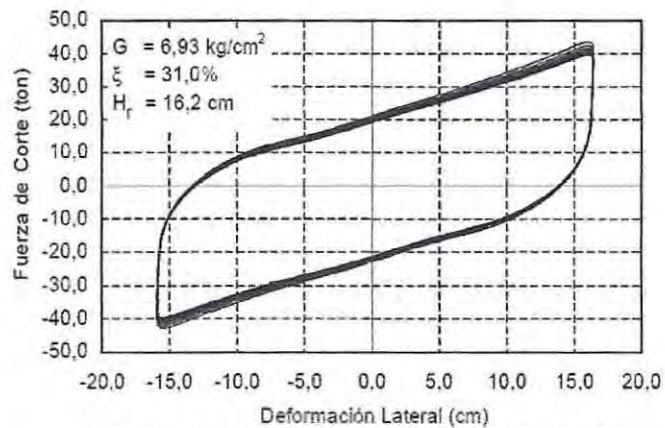
Estos dispositivos son fáciles de modelar, no se ven afectados por condiciones ambientales, aunque a menudo necesita un sistema de amortiguamiento adicional. Una curva característica de un LDR se muestra en la figura 2.5.



**Figura 2.5-**Ciclo fuerza – deformación de un aislador de bajo amortiguamiento (LDR).  
Fuente: NCh 2745.Of2003.

### 2.4.3 Aisladores de caucho con núcleo de plomo (LRB).

La introducción de un núcleo de plomo en el centro del aislador otorga una mayor amortiguación, entre un 15% y un 35%, suprimiendo la necesidad de amortiguadores adicionales, también proporciona una mayor rigidez inicial. Para esto, se hace un hueco en las placas y en el caucho, insertando el núcleo de plomo, que es un poco más ancho que el agujero, con tanta fuerza que se fusionan y funcionan como una unidad. El núcleo de plomo se coloca para producir numerosos ciclos histeréticos estables ya que este fluye y esto hace que tenga una buena resistencia a la fatiga. En la Figura 2.6 se observa un ciclo fuerza-deformación del LRB y se distingue que la rigidez inicial es mucho mayor que la del LRD.

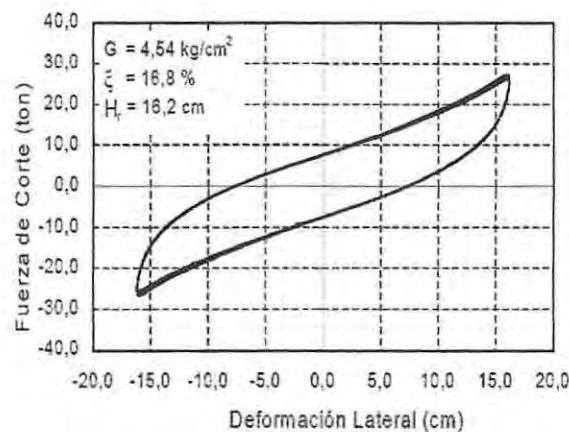


**Figura 2.6-** Ciclo fuerza – deformación de un aislador con corazón de plomo (LRB).  
Fuente: NCh 2745.Of2003.

#### 2.4.4 Aisladores elastoméricos de caucho de alto amortiguamiento (HDR).

Con las nuevas tecnologías la composición de los aisladores ha ido variando; hay aisladores compuesto de materiales especiales o el caucho lleva aditivos como carbón en polvo, aceites, resinas, polímeros u otros elementos que le dan al caucho propiedades especiales como mayor amortiguamiento (10% - 20%) y mejores propiedades ante altas deformaciones, sin necesidad de agregar un núcleo de plomo. Las propiedades de amortiguamiento varían según los materiales utilizados en su construcción. Estos aisladores son altamente eficientes soportando las pruebas más rigurosas en la industria. En la Figura 2.8 se muestran los componentes del HDR.

Para producir ciclos estables pasa por un proceso llamado *scragging* en el cual se le somete a varios ciclos de deformación y se logran ciclos estables para deformaciones menores. La relación entre la fuerza cortante y la deformación es lineal como se observa en la Figura 2.7.



**Figura 2.7-**Curva fuerza – deformación de un aislador de alto amortiguamiento (HDR)  
Fuente: NCh 2745.Of2003.

## Capítulo III

### 3 Estructuras Analizadas.

#### 3.1 Modelos.

En este capítulo se describen las estructuras analizadas las cuales corresponden a siete edificios de hormigón armado, de las cuales se analizará sólo un eje. Este análisis se realiza en un sólo plano, en la dirección X-Z.

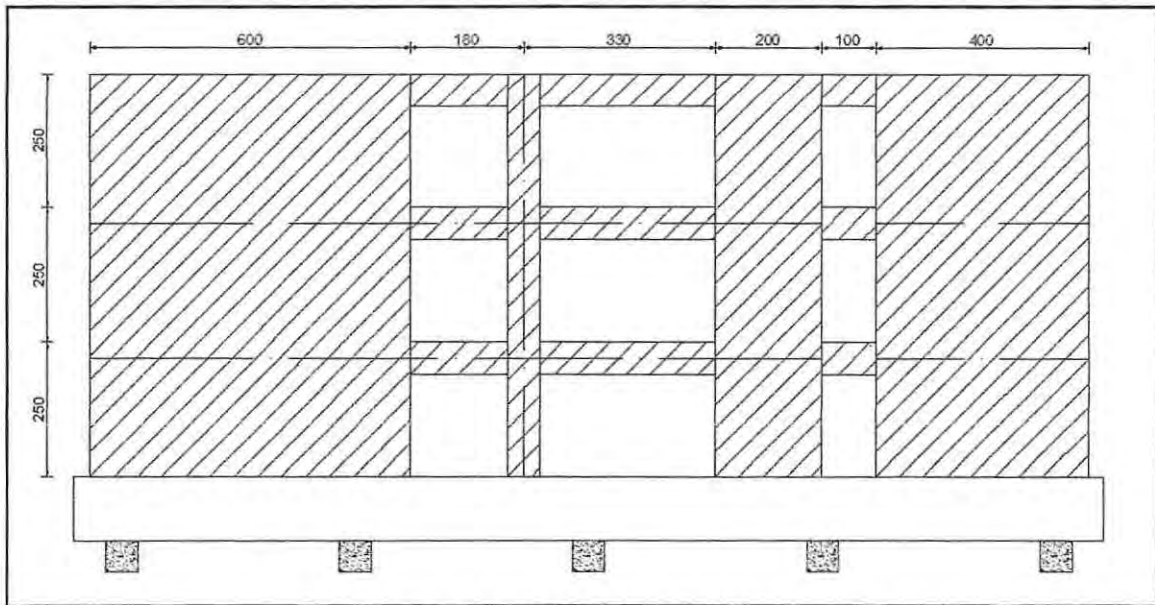
Cada edificio posee diferentes números de pisos 2, 5, 7, 10, 12, 15 y 20 pisos, sin embargo todos poseen el mismo eje tipo, como se muestra en la Figura 3.1.

Cada edificio está estructurado con columnas, muros y vigas, cuyas dimensiones difieren según la altura de la estructura.

En la Tabla 3.1 se resumen las dimensiones de los elementos estructurales de cada edificio y la calidad del hormigón considerada.

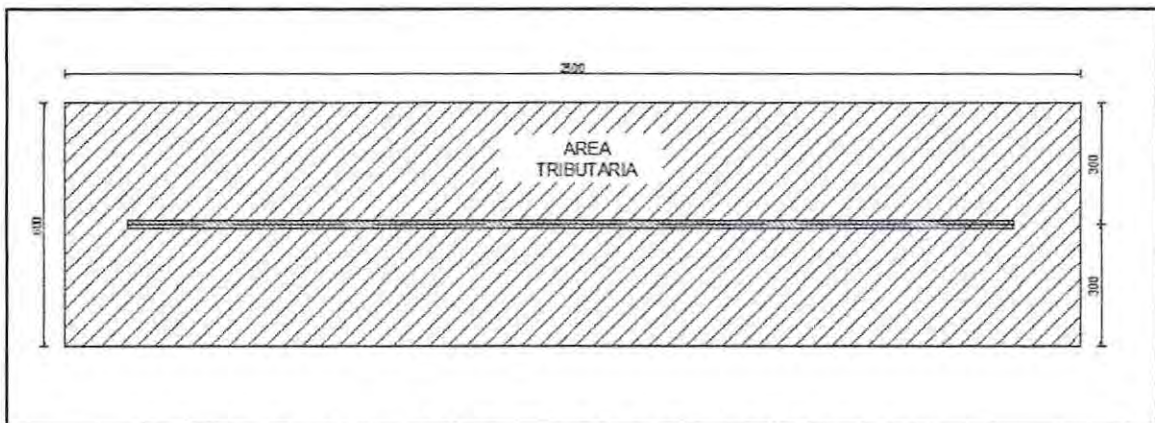
**Tabla 3.1**-Dimensiones de elementos estructurales de estructuras analizadas.

| Estructura | Nº de Pisos | Calidad Hormigón | Altura Entrepiso [cm] | Columnas | Vigas | Espesor Muros |
|------------|-------------|------------------|-----------------------|----------|-------|---------------|
| Modelo I   | 2           | H-25             | 250                   | 60/60    | 20/60 | 25 [cm]       |
| Modelo II  | 5           | H-25             | 250                   | 60/60    | 20/60 | 25 [cm]       |
| Modelo III | 7           | H-25             | 250                   | 60/60    | 20/60 | 25 [cm]       |
| Modelo IV  | 10          | H-25             | 250                   | 60/60    | 20/60 | 25 [cm]       |
| Modelo V   | 12          | H-35             | 250                   | 70/70    | 30/60 | 30 [cm]       |
| Modelo VI  | 15          | H-35             | 250                   | 70/70    | 30/60 | 30 [cm]       |
| Modelo VII | 20          | H-35             | 250                   | 70/70    | 30/60 | 30 [cm]       |



**Figura 3.1-** Eje tipo de la estructura.

El eje tipo está estructurado acorde a las edificaciones chilenas. Para realizar las descargas de las solicitaciones y sobrecarga de la losa al eje tipo, se ha escogido un área tributaria que represente la realidad nacional, con una dimensión de 25[m] por 6[m], la cual corresponde a 150[m<sup>2</sup>]. En la Figura 3.2 se muestra dicha área.



**Figura 3.2-** Descarga de losa sobre el eje tipo.

Las estructuras serán modeladas y analizadas con el programa ETABS versión 9.7[CSI, 2010]. El diseño de las estructuras se realizó siguiendo los criterios del código de diseño ACI318-08, DecretoSupremoN°60, la norma NCh433 Of 1996 Mod.2009 y Decreto Supremo N°61.

Para la modelación se consideró la base del edificio empotrada al suelo, por lo cual no se hace referencia al cálculo ni al diseño de las fundaciones. Con respecto a las losas, éstas tampoco serán diseñadas, pero de igual manera se han considerado con un espesor de 15[cm] en cada una de las estructuras, ya que son las responsables de traspasar las cargas a los ejes resistentes.

Para el cálculo de las siete estructuras se utiliza una carga de peso propio adicional de 100 [kg/m<sup>2</sup>] correspondiente a sobrelosas y tabiques y una sobrecarga de uso de 200 [kg/m<sup>2</sup>], según lo estipulado en la norma NCh1537 of2009 [INN, 2009].

### 3.2 Materiales empleados y calidades.

#### 3.2.1 Hormigón armado.

En losas, vigas, pilares y muros se utiliza hormigón armado de calidad H-25 para las estructuras de 2, 5, 7 y 10 pisos, H-35 para las estructuras de 12, 15 y 20 pisos.

Las propiedades físicas y resistencia a la compresión se muestran en la Tabla 3.2:

**Tabla 3.2-**Propiedades físicas y resistencia de hormigón utilizado.

| Propiedades                      |                       | H-25                  | H-35                  |
|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Resistencia cilíndrica ( $f_c$ ) | [kg/cm <sup>2</sup> ] | 200                   | 300                   |
| Densidad ( $\rho$ )              | [kg/cm <sup>3</sup> ] | 2,55x10 <sup>-3</sup> | 2,55x10 <sup>-3</sup> |
| Peso específico ( $\gamma$ )     | [kg/cm <sup>3</sup> ] | 2,5x10 <sup>-3</sup>  | 2,5x10 <sup>-3</sup>  |
| Módulo de Elasticidad ( $E_c$ )  | [kg/cm <sup>2</sup> ] | 213.000               | 262.000               |
| Coef. de Poisson ( $\nu$ )       |                       | 0,2                   | 0,2                   |
| Módulo de Corte ( $G$ )          | [kg/cm <sup>2</sup> ] | 88.978                | 107.083               |

### 3.2.2 Acero de refuerzo.

Se utiliza para la armadura de refuerzo, barras de acero comercial con resaltes de calidad A630-420H. Cuyas propiedades físicas se muestran en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3- Propiedades físicas y resistencia de acero utilizado.

| Propiedades   | A630 – 420H |
|---|-------------|
| Tensión de Fluencia ( $f_y$ ) [kg/cm <sup>2</sup> ]   | 4.200       |
| Tensión de Rotura ( $f_u$ ) [kg/cm <sup>2</sup> ]     | 6.300       |
| Densidad [kg/cm <sup>3</sup> ]                        | 7.833       |
| Módulo de Elasticidad ( $E_c$ ) [kg/cm <sup>2</sup> ] | 2.100.000   |
| Coef. de Poisson ( $\nu$ )                            | 0,25        |
| Módulo de Corte (G) [kg/cm <sup>2</sup> ]             | 800.000     |

### 3.3 Aisladores de base empleados.

Para poder definir las características de los aisladores a emplear, se ha definido un período objetivo para las estructuras, en este caso el período fue de 2,5 segundos, con este dato más el valor de las masas para cada estructura se ha obtenido la rigidez del sistema de aislación necesaria para realizar un análisis de ésta. Las masas y rigidez requerida se muestran en la Tabla 3.4.

3.4- Masas y Rigideces.

| Estructuras | Masa [Tonf/g] | K requerida |
|-------------|---------------|-------------|
| I           | 24,00         | 151,60      |
| II          | 52,81         | 333,58      |
| III         | 65,53         | 413,92      |
| IV          | 90,99         | 574,74      |
| V           | 135,55        | 856,21      |
| VI          | 163,94        | 1035,53     |
| VII         | 222,84        | 1407,58     |

Para definir la cantidad y tipo de aislador a utilizar en la Tabla 3.5 se muestran las características de los dispositivos comerciales existentes.

**Tabla 3.5-** Características Aisladores.

| ITEM                      | Dispositivo |        |        |      |
|---------------------------|-------------|--------|--------|------|
|                           | AS1         | AS2    | AS3    | SL1  |
| <b>K secante [tonf/m]</b> | 82,47       | 127,24 | 164,94 | 14,1 |
| <b>Altura [m]</b>         | 0,25        | 0,25   | 0,25   | 0,25 |

Donde:

AS: Aislador.

SL: Deslizador.

Debido a los requerimientos y configuración de cada estructura se ha utilizado una combinación entre aisladores y deslizadores los cuales se detallan en la Tabla 3.6.

**Tabla 3.6-** Sistema de Aislación utilizado.

| Estructuras | Numero de Aisladores | Dispositivo | Numero de Deslizadores | Rigidez Sistema de Aislación [tonf/m] |
|-------------|----------------------|-------------|------------------------|---------------------------------------|
| I           | 2                    | AS1         | 5                      | 235,44                                |
| II          | 4                    | AS1         | 3                      | 372,18                                |
| III         | 5                    | AS1         | 3                      | 454,65                                |
| IV          | 7                    | AS1         | 1                      | 591,39                                |
| V           | 7                    | AS2         | 1                      | 904,78                                |
| VI          | 7                    | AS3         | 1                      | 1168,68                               |
| VII         | 8                    | AS3         | -                      | 1319,52                               |

## Capítulo IV

### 4 Análisis Sísmico Según Decreto Supremo N°61 y Norma Nch433 Of.96 Mod.2009.

A partir de Diciembre de 2011, el diseño sísmico de edificios deberá realizarse en conformidad a las exigencias establecidas en el Decreto Supremo N°61 y en lo que no sé contraponga, por lo establecido en la Norma NCh433 Of.96 Mod.2009.

Para realizar el análisis sísmico se considera que las estructuras analizadas se encuentran situadas en una zona sísmica 3 y un suelo tipo D.

#### 4.1 Solicitaciones.

Las solicitaciones que se han considerado en este estudio son:

##### 4.1.1 Cargas muertas.

Son cargas permanentes y que no son debidas al uso de la estructura. En esta categoría se pueden clasificar las cargas correspondientes al peso propio y al peso de los materiales que soporta la estructura tales como acabados, divisiones, fachadas, techos, etc.

##### 4.1.2 Cargas vivas o sobrecargas de uso.

Corresponden a cargas gravitacionales debidas a la ocupación normal de la estructura y que no son permanentes en ella. Debido a la característica de movilidad y no permanencia de esta carga el grado de incertidumbre en su determinación es mayor. Se obtienen de la norma NCh 1537 Of.2009.

##### 4.1.3 Cargas sísmica.

Se determina de acuerdo a la ubicación geográfica de los edificios, su estructuración y materialidad, tipo de suelo e importancia que tengan, según Decreto Supremo N°61.

#### 4.2 Combinaciones de cargas.

Las estructuras deben ser diseñadas usando las reglas de superposición indicadas en la norma NCh3171 Of.2010; la cual en su apartado 9 señala que las estructuras deben ser diseñadas de manera que su resistencia de diseño sea mayor o igual que el efecto de las cargas mayoradas en las combinaciones siguientes:

$$U = 1,2 D + 1,6 L$$

$$U = 1,2 D + 1L \pm 1,4 E$$

$$U = 0,9 D \pm 1,4 E$$

Dónde:

$U$  = Resistencia requerida

$D$  = Carga muerta

$L$  = Carga viva

$E$  = Carga sísmica

### 4.3 Espectro de diseño.

Según el Decreto Supremo N°61, el espectro de diseño que determina la resistencia sísmica mínima de la estructura está definido por la Ecuación 4.1:

$$S_a = \frac{S A_0 \alpha}{(R^*/I)} \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Dónde:

$S$ : Parámetro que depende del tipo de suelo.

$A_0$ : Aceleración efectiva máxima del suelo.

$R^*$ : Factor de reducción de la aceleración espectral, calculado para el período del modo con mayor masa traslacional equivalente en la dirección de análisis.

$I$ : Coeficiente relativo a la importancia, uso y riesgo de falla del edificio.

$\alpha$ : Factor de amplificación de la aceleración efectiva máxima.

El factor de amplificación  $\alpha$  se determina para cada modo de vibrar  $n$ , de acuerdo a la Ecuación 4.2:

$$\alpha = \frac{1 + 4,5 \left(\frac{T_n}{T_0}\right)^P}{1 + \left(\frac{T_n}{T_0}\right)^3} \quad \text{Ecuación 4.2}$$

En que:

$T_n$ : Período de vibración del modo  $n$ .

$T_0, p$ : Parámetros relativos al tipo de suelo de fundación.

El factor de reducción  $R^*$  se determina según la Ecuación 4.3:

$$R^* = 1 + \frac{T^*}{0,10T_0 + \frac{T^*}{R_0}} \quad \text{Ecuación 4.3}$$

Dónde:

$T^*$ : Período del modo con mayor masa traslacional equivalente en la dirección de análisis.

$R_0$ : Factor de modificación de la respuesta estructural.

Los parámetros sísmicos y aquellos que dependen del tipo de suelo son los mismos para las siete estructuras analizadas, se presentan en la Tabla 4.1 y Tabla 4.2 respectivamente.

Tabla 4.1-Parámetros Sísmicos.

| Parámetros Sísmicos              |     |
|----------------------------------|-----|
| Zona sísmica                     | 3   |
| Tipo de Suelo                    | D   |
| Categoría Edificio               | II  |
| $R_0$                            | 7   |
| R                                | 11  |
| Aceleración Efectiva ( $A_0/g$ ) | 0,4 |
| Coefficiente de Importancia      | 1   |

Tabla 4.2-Parámetros Sísmicos.

| Parámetros que dependen del tipo de suelo |           |          |     |     |
|---|-----------|----------|-----|-----|
| S   | $T_0$ [s] | $T'$ [s] | n   | p   |
| 1,2                                       | 0,75      | 0,85     | 1,8 | 1,0 |

De acuerdo al análisis, el espectro elástico de pseudo aceleración para este caso, corresponde al grafico de la Figura 4.1.

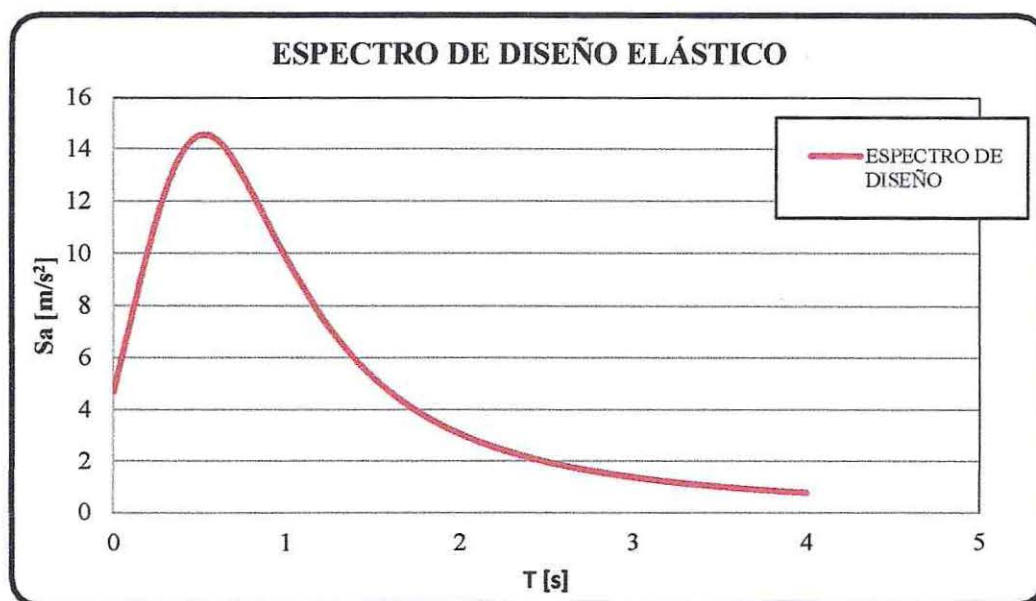


Figura 4.1- Espectro de pseudo- aceleración.

#### 4.4 Resultados del análisis sísmico.

El espectro de diseño se obtiene al reducir el espectro elástico con el factor  $R^*$ , transformándose en el espectro de diseño inelástico, cuyo parámetro depende de los materiales, estructuración y ductilidad de la estructura.

##### 4.4.1 Limitaciones del esfuerzo de corte basal.

Para cada edificio se obtuvo el corte basal, a través del espectro elástico, la masa y los períodos fundamentales para la dirección X. Cuyos valores son detallados en la Tabla 4.3.

**Tabla 4.3-Corte Basal Elástico.**

|                      | <b>Modelo I</b> | <b>Modelo II</b> | <b>Modelo III</b> | <b>Modelo IV</b> | <b>Modelo V</b> | <b>Modelo VI</b> | <b>Modelo VII</b> |
|----------------------|-----------------|------------------|-------------------|------------------|-----------------|------------------|-------------------|
| <b>Período [s]</b>   | 0,051           | 0,18             | 0,29              | 0,5              | 0,51            | 0,73             | 1,15              |
| <b>Modo</b>          | 1               | 1                | 1                 | 1                | 1               | 1                | 1                 |
| <b>Masa [Tonf/g]</b> | 18,51           | 47,32            | 60,04             | 85,51            | 129,63          | 162,36           | 216,92            |
| <b>Q Basal[Tonf]</b> | 99,89           | 347,19           | 534,73            | 888,96           | 1300,32         | 1477,41          | 1255,88           |

En la Tabla 4.4 se muestra el corte basal de diseño y el factor de reducción efectivo  $R^{**}$ , para cada estructura en estudio, satisfaciendo las limitaciones del esfuerzo de corte basal en la dirección de la acción sísmica, definidas en el artículo 14 del Decreto Supremo N°61.

**Tabla 4.4-Resultado Análisis Sísmico.**

|                          | <b>Modelo I</b> | <b>Modelo II</b> | <b>Modelo III</b> | <b>Modelo IV</b> | <b>Modelo V</b> | <b>Modelo VI</b> | <b>Modelo VII</b> |
|--------------------------|-----------------|------------------|-------------------|------------------|-----------------|------------------|-------------------|
| <b>Dirección</b>         | x               | x                | x                 | x                | x               | x                | x                 |
| <b>R*</b>                | 1,64            | 2,96             | 3,86              | 5,14             | 5,22            | 6,16             | 7,42              |
| <b>Q efectivo [Tonf]</b> | 60,9            | 117,34           | 138,59            | 173,12           | 249,04          | 240              | 169,34            |
| <b>R**</b>               | 3,27            | 4,45             | 5                 | 6                | 6               | 6                | 7                 |
| <b>Qmin [Tonf]</b>       | 14,5            | 37,1             | 47,1              | 67,1             | 101,7           | 127,4            | 170,2             |
| <b>Qmax [Tonf]</b>       | 30,5            | 78               | 98,9              | 140,9            | 213,6           | 267,6            | 357,5             |
| <b>Qdiseño [Tonf]</b>    | 30,5            | 78               | 98,9              | 140,9            | 213,6           | 240              | 170,2             |

#### 4.4.2 Deformaciones sísmicas.

##### Desplazamiento lateral de entrepiso.

Según lo estipulado en el apartado 5.9.2 de la norma NCh 433 Of.96 Mod. 2009. El desplazamiento relativo máximo entre dos pisos consecutivos, medido en el centro de masas en cada una de las direcciones de análisis, no debe ser mayor que la altura de entrepiso multiplicada por 0,002.

En la Figura 4.2 se grafican los desplazamientos laterales en la dirección de análisis para cada estructura, en relación al máximo permitido por la norma.

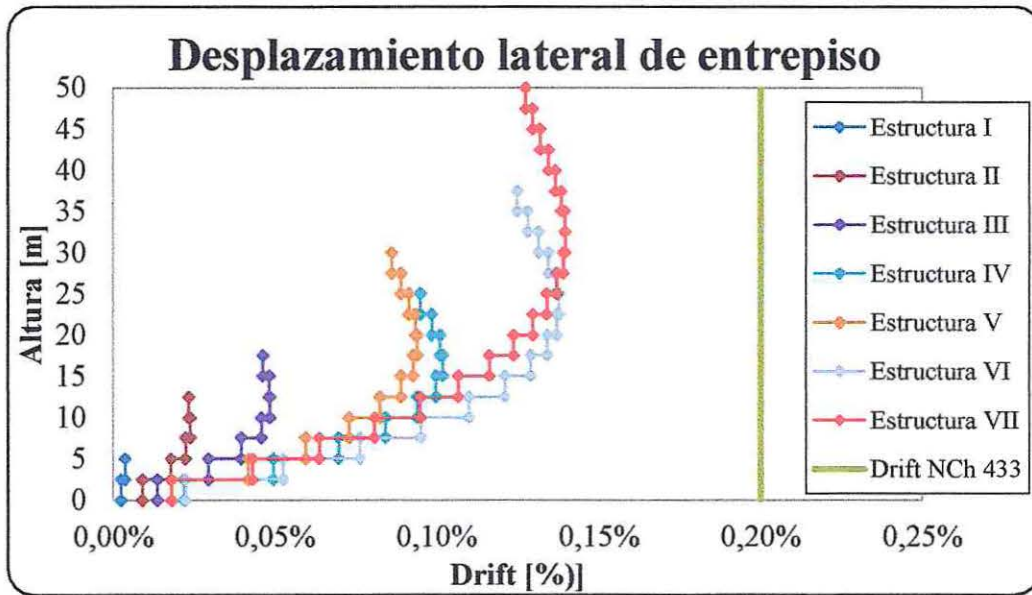


Figura 4.2- Desplazamiento lateral de entrepiso dirección X.

##### Desplazamiento lateral de diseño en el techo.

Tal como se indica en el artículo 9.2 del Decreto Supremo N°61. “Para efectos de diseño de estructuras de hormigón armado, el desplazamiento lateral de diseño en el techo,  $\delta_u$ , se debe considerar igual a la ordenada del espectro elástico de desplazamiento  $S_{de}$ , para un 5% de amortiguamiento respecto al crítico, correspondiente al período de mayor masa traslacional en la dirección de análisis multiplicada por un factor igual a 1,3” y se calcula según la Ecuación 4.4.

$$\delta_u = 1,3 S_{de} (T_{ag})$$

**Ecuación 4.4**

“Donde  $T_{ag}$  es el período de mayor masa traslacional en la dirección de análisis, considerando en su cálculo la influencia del acero y la pérdida de rigidez debido al agrietamiento del hormigón en la rigidez elástica inicial. Si el período ha sido calculado con las secciones brutas, es decir, sin considerar la influencia del acero y la pérdida de la rigidez debido al agrietamiento del hormigón, el período de mayor masa traslacional en la dirección de análisis de la estructura se puede aproximar a 1,5 veces al calculado sin considerar estos efectos”.

El espectro elástico de desplazamiento requerido para el cálculo del desplazamiento lateral de diseño en el techo se obtiene de la Ecuación 4.5.

$$S_{de}(T_n) = \frac{T_n^2}{4\pi^2} \alpha A_0 C_d^*$$

**Ecuación 4.5**

Dónde:

$S_{de}$ : Espectro elástico de desplazamiento [cm]

$A_0$ : Aceleración efectiva máxima del suelo [cm/s<sup>2</sup>]

$T_n$ : Período de vibración del modo  $n$  [s].

$C_d^*$ : Parámetro que depende del tipo de suelo, según Tabla 4.5

**Tabla 4.5-Valores de  $C_d^*$ .**

| Tipo de suelo | $C_d^*$  | Rango de períodos                              |
|---------------|----------|--|
| D             | 1        | $T_n \leq 0,90 \text{ seg}$                    |
|               | $1,1T_n$ | $0,90 \text{ seg} < T_n \leq 1,75 \text{ seg}$ |
|               | 1,93     | $1,75 \text{ seg} < T_n \leq 5,0 \text{ seg}$  |

Para cada una de las estructuras analizadas el desplazamiento lateral de diseño estimado se muestra en la Tabla 4.6, y se grafica en la Figura 4.3, para la dirección X.

Tabla 4.6-Desplazamiento lateral de diseño máximo dirección X.

| Estructura | T* [seg] | Tag [seg] | $\delta u$ [cm] | Demanda[%h] |
|------------|----------|-----------|-----------------|-------------|
| Modelo I   | 0,05     | 0,07      | 0,09            | 0,02%       |
| Modelo II  | 0,18     | 0,25      | 1,95            | 0,16%       |
| Modelo III | 0,29     | 0,41      | 6,46            | 0,37%       |
| Modelo IV  | 0,50     | 0,70      | 18,16           | 0,73%       |
| Modelo V   | 0,51     | 0,73      | 19,27           | 0,64%       |
| Modelo VI  | 0,73     | 1,03      | 31,06           | 0,83%       |
| Modelo VII | 1,15     | 1,63      | 58,90           | 1,18%       |

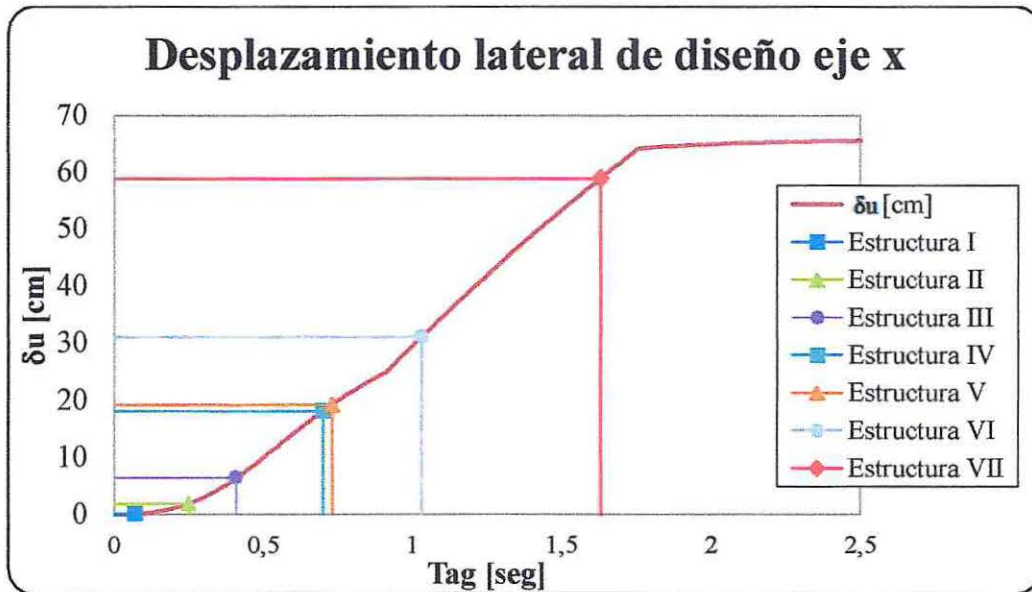


Figura 4.3- Desplazamiento lateral de diseño dirección X.

## Capítulo V

### 5 Norma de Aislamiento Basal NCh 2745 Of2003.

#### 5.1 Antecedentes generales.

La NCh 2745 Of 2003, “Análisis y diseño de edificios con aislación sísmica” declarada oficial en noviembre del 2003, es el fruto del trabajo del comité técnico del INN; contiene la traducción, comentario y adaptación del código Uniform Building Code del año 1997 (UBC1997). En la norma se considera la realidad sísmica chilena, sobre todo en el factor de reducción de respuesta.

La inclusión de sistemas de aislación sísmica va a la par con los nuevos conceptos de diseño estructural, en donde la protección sísmica es más amplia evitando daños en elementos estructurales, no estructurales, entregando una mayor seguridad a las personas, la inversión y teniendo presente la operabilidad de la estructura a través de un comportamiento controlado.

En este capítulo se presentarán las principales características y disposiciones de la norma NCh 2745 Of 2003.

#### 5.2 Diseño de la NCh 2745 Of 2003.

El diseño sismorresistente tradicional apela a la ductilidad característica de la estructura para aminorar y controlar las fuerzas provocadas por un sismo, *permaneciendo estable y gravitacionalmente sin daños masivos o fallas para desplazamientos que exceden con creces el límite de fluencia del sistema* [NCh2745 Of2003]. Para esto entra en un rango inelástico donde permite rotularse parcialmente vigas y columnas en su base, aprovechando la disipación de energía que estos elementos permiten. Esto se refiere a que un diseño sismorresistente eficiente debe garantizar que para un exigencia de ductilidad global, la ductilidad seccional, no sea superada. Bajo esta premisa es que se permiten daños en la estructura. Según especifica la NCh 433 Of 96 Mod. 2009. en sus principios establece que la estructura debe resistir sin daños movimientos de moderada intensidad, limitar los daños de elementos no estructurales durante sismos de mediana intensidad, y como fin último evitar el colapso de la estructura ante sismos severos, aunque se presenten daños.

Por otra parte, NCh 2745 Of 2003 establece en sus requerimientos para estructuras con sistema de aislación la garantía de protección a la vida y el mínimo deterioro de la estructura en cuestión y sus contenidos:

1. Resistir sismos pequeños y moderados sin daño en elementos estructurales, componentes no estructurales, y contenidos del edificio.
2. Resistir sismos severos sin que exista:
  - a) Falla del sistema de aislación.
  - b) Daño significativo a los elementos estructurales.
  - c) Daño masivo a elementos no estructurales.

Esto se logra gracias a que la estructura aislada se mantiene esencialmente en un rango elástico durante el sismo de diseño, ya que el desplazamiento lateral ocurre en la interfaz de aislación y no en la superestructura, reduciendo las aceleraciones, deformaciones de entrepiso y corte basal responsables de los daños.

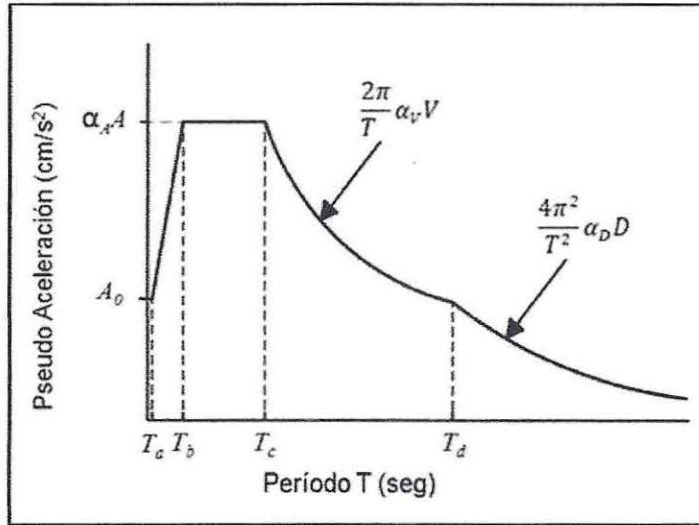
Como punto de partida, estos requisitos definen dos niveles sísmicos:

- *Sismo de diseño (SDI): Coincide con el nivel utilizado comúnmente en el diseño de estructuras convencionales consistente con una probabilidad de excedencia de 10% en 50 años.*
- *Sismo máximo posible (SMP): Corresponde al máximo nivel del movimiento del suelo que puede ocurrir dentro de un marco geológico conocido, y ha sido definido como el nivel que tiene una probabilidad de excedencia de un 10% en un periodo de 100 años.*

Como estipula la NCh2745 Of2003, los niveles de riesgo que ésta considera son distintos a los usados en la NCh433 Of2009, lo que se refleja en el espectro de diseño. El nuevo espectro debe mostrar mayor seguridad para el sistema de aislación, ya que la falla de ésta compromete la estabilidad vertical de la estructura.

### **5.3 Espectro de diseño.**

De acuerdo a la norma NCh 2745 el espectro de pseudo aceleración,  $S_{ae}$ , se debe construir de acuerdo a la definición genérica presentada en la Figura 5.1.



**Figura 5.1-** Definición genérica del espectro de pseudo aceleración.

Fuente: NCh2745.Of2009.

Dónde:

$\alpha_A A$ ,  $\alpha_V V$ ,  $\alpha_D D$ ,  $T_a$ ,  $T_b$ ,  $T_c$ ,  $T_d$ : Parámetros que intervienen en la construcción del espectro de diseño y que dependen del tipo de suelo.

$A_0$ : Aceleración efectiva máxima del suelo.

La aceleración máxima de terreno es de 0,45g, para un suelo tipo D. Los parámetros sísmicos son los mismos para las siete estructuras analizadas, se presentan en la Tabla 5.1.

**Tabla 5.1-** Parámetros Sísmicos.

| Tipo Suelo |      | Ta'  | Tb'   | Tc'  | Td'  | $\alpha_{AA'}$    | $\alpha_{VV'}$ | $\alpha_{DD'}$ |
|------------|------|------|-------|------|------|-------------------|----------------|----------------|
| NCh 2745   | DS61 | s    | s     | s    | s    | cm/s <sup>2</sup> | cm/s           | cm             |
| III        | D    | 0,03 | 0,375 | 0,68 | 1,58 | 1 212             | 131            | 33             |

De acuerdo al análisis, el espectro elástico de pseudo aceleración para este caso, corresponde al grafico de la Figura 5.2.

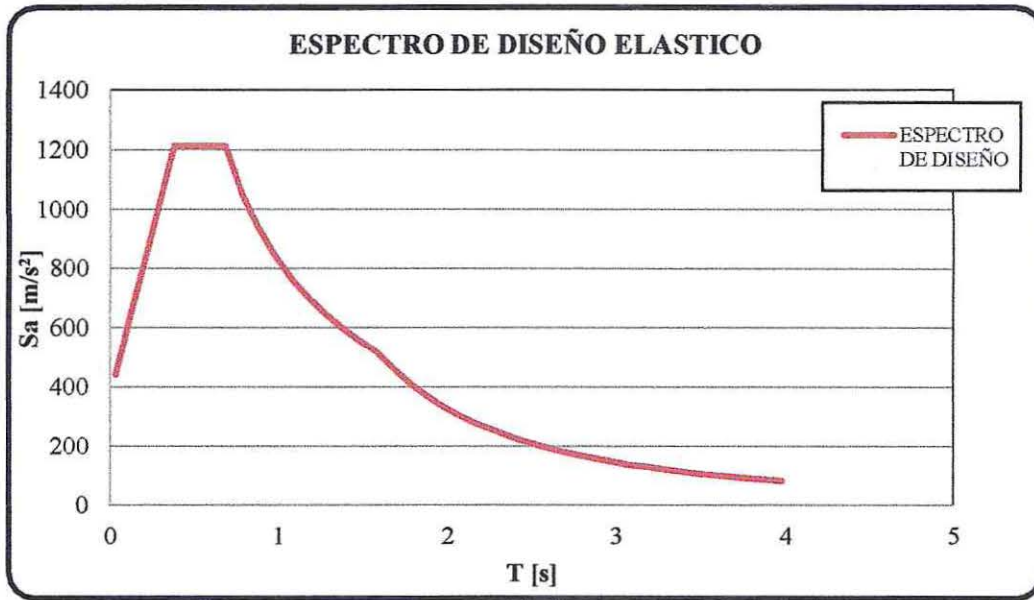


Figura 5.2- Espectro de diseño de pseudo-aceleración.

## 5.4 Resultados del análisis sísmico.

El espectro de diseño mostrado anteriormente corresponde al espectro elástico este se reduce con el factor  $R^*$ , transformándose en el espectro de diseño inelástico, cuyo parámetro depende de los materiales, estructuración y ductilidad de la estructura.

### 5.4.1 Limitaciones del esfuerzo de corte basal.

Para cada edificio se obtuvo el corte basal, a través del espectro elástico, la masa y los períodos fundamentales para la dirección X. Cuyos valores son mostrados en la Tabla 5.2:

Tabla 5.2-Corte Basal Elástico.

|               | Estructura I | Estructura II | Estructura III | Estructura IV | Estructura V | Estructura VI | Estructura VII |
|---------------|--------------|---------------|----------------|---------------|--------------|---------------|----------------|
| Período [S]   | 2.18         | 2.49          | 2.54           | 2.52          | 2.5          | 2.48          | 2.78           |
| Modo          | 1            | 1             | 1              | 1             | 1            | 1             | 1              |
| Masa [Tonf/g] | 24           | 52.81         | 65.53          | 90.99         | 135.55       | 163.94        | 222.84         |
| Q Basal[Tonf] | 97.1         | 153.06        | 168.79         | 237.65        | 362.94       | 453.49        | 476.06         |

## 5.5 Desplazamientos laterales mínimos.

### 5.5.1 Desplazamientos de diseño.

El sistema de aislación se debe diseñar para resistir como mínimo, desplazamientos laterales en los dos ejes principales de la estructura, se calculan según la Ecuación 5.1.

$$D_D = \frac{C_D}{B_D} \quad \text{Ecuación 5.1}$$

Dónde:

$C_D$ : Coeficiente sísmico de desplazamiento, correspondiente al tipo de suelo, según Tablas 5.3 y 5.4

$B_D$ : Coeficiente numérico relativo a la razón de amortiguamiento efectivo, según Tabla 5.5.

### 5.5.2 Desplazamiento máximo.

El desplazamiento máximo del sistema de aislación, en la dirección más crítica se debe calcular según la Ecuación 5.2.

$$D_M = \frac{C_M}{B_M} \quad \text{Ecuación 5.2}$$

Dónde:

$C_M$ : Coeficiente sísmico de desplazamiento, correspondiente al tipo de suelo, según Tablas 5.3, 5.4 y 5.5.

$B_M$ : Coeficiente numérico relativo a la razón de amortiguamiento efectivo, según Tabla 5.5

**Tabla 5.3-**Coeficientes sísmicos de desplazamiento.

| Tipo Suelo |       | CD    | CM       |
|------------|-------|-------|----------|
| NCh 2745   | DS61  | (mm)  | (mm)     |
| I          | A     | 200 Z | 200 Mm Z |
| II         | B     | 300 Z | 300 MM Z |
| III        | C y D | 330 Z | 330 MM Z |

**Tabla 5.4-**Factor que depende de la zonificación sísmica definida en NCh 433.

| Zona Sísmica | Z     |
|--------------|-------|
| 1            | 3/4   |
| 2            | 1     |
| 3            | 1 1/4 |

**Tabla 5.5-**Factores de modificación de respuesta por amortiguamiento.

| Amortiguamiento efectivo, $\beta_D$ o $\beta_M$ (%) | Factor BD y BM Suelos I, II y III |
|---|-----------------------------------|
| $\leq 2$  | 0,65                              |
| 5   | 1,00                              |
| 10  | 1,37                              |
| 15  | 1,67                              |
| 20  | 1,94                              |
| 25  | 2,17                              |
| 30  | 2,38                              |
| $\geq 50$   | 3,02                              |

**Tabla 5.6-**Factor de amplificación para el sismo máximo posible.

| Zona Sísmica | Mm  |
|--------------|-----|
| 1            | 1,2 |
| 2            | 1,2 |
| 3            | 1,2 |

En la Tabla 5.7 se pueden apreciar los valores para el  $D_D$  y  $D_M$  con un amortiguamiento del 12%.

**Tabla 5.7-**Valores del Desplazamiento de diseño y máximo.

| $D_D$ [m] | $D_M$ [m] |
|-----------|-----------|
| 0.28      | 0.33      |

### 5.5.3 Desplazamiento total.

Este debe incluir los desplazamientos adicionales debidos a la torsión natural y accidental calculada considerando la distribución espacial de la rigidez lateral del sistema de aislación y la ubicación menos favorable de la excentricidad de masa. La excentricidad de masa en planta se mide con respecto al centro de rigidez. El desplazamiento total de diseño  $D_{TD}$  se obtiene según la Ecuación 5.3:

$$D_{TD} = D_D \left[ 1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right] \quad \text{Ecuación 5.3}$$

Dónde:

$b$ : Dimensión más corta de la planta de la estructura, medida perpendicularmente a  $d$ .

$d$ : Dimensión en planta más larga de la estructura.

$e$ : Excentricidad real, medida en planta entre el centro de masa de la superestructura y el centro de rigidez del sistema de aislación.

$y$ : Distancia, entre el centro de rigidez del sistema de aislación y el elemento de interés..

El desplazamiento total puede ser menor al calculado con la ecuación 5.3 pero no menor a 1.1  $D_D$  ni a 1.1  $D_M$  respectivamente.

## 5.6 Fuerzas laterales mínimas.

### 5.6.1 Sistemas de aislación y elementos estructurales en el nivel o bajo el sistema de aislación.

El sistema de aislación y todos los elementos estructurales en el nivel o bajo el nivel de aislación, se deben diseñar para resistir una fuerza lateral mínimo  $V_b$ , según la Ecuación 5.4.

$$V_b = K_{D_{MAX}} D_D \quad \text{Ecuación 5.4}$$

Donde el  $K_{D_{MAX}}$ , es la rigidez efectiva o secante máxima del sistema de aislación.

### 5.6.2 Elementos estructurales sobre el sistema de aislación.

La estructura sobre el sistema de aislación, se debe diseñar para resistir como mínimo una fuerza lateral  $V_s$ , según la Ecuación 5.5.

$$V_s = \frac{K_{D_{MAX}} D_D}{R_l} \quad \text{Ecuación 5.5}$$

Donde  $R_l$  es el coeficiente de reducción para estructuras aisladas sísmicamente, este es siempre menor a 2 y  $V_s$  no debe ser menor a la fuerza de corte obtenida para una base fija con el mismo período de la estructura aislada ni tampoco a 1.5 veces la fuerza requerida para activar el sistema de aislación.

En la Tabla 5.8 se muestran los valores para las fuerzas laterales mínimas para cada estructura.

**Tabla 5.8-Fuerzas laterales mínimas.**

| Estructuras | $V_b$ [tonf] | $V_s$ [tonf] |
|-------------|--------------|--------------|
| I           | 65.18        | 32.59        |
| II          | 103.04       | 51.52        |
| III         | 125.87       | 62.93        |
| IV          | 163.72       | 81.86        |
| V           | 250.48       | 125.24       |
| VI          | 323.54       | 161.77       |
| VII         | 365.3        | 182.65       |

El espectro de diseño de pseudo-aceleración resulta al reducir el espectro elástico mediante el factor  $R^*$ , el cual se obtuvo entre la relación del corte basal elástico y el corte lateral total de diseño en los elementos de la superestructura ( $V_s$ ), los valores para  $R^*$  se muestran en la Tabla 5.9.

**Tabla 5.9-Factor de reducción.**

|                 | Estructura I | Estructura II | Estructura III | Estructura IV | Estructura V | Estructura VI | Estructura VII |
|-----------------|--------------|---------------|----------------|---------------|--------------|---------------|----------------|
| $R^*$           | 3.18         | 2.97          | 2.68           | 2.9           | 2.89         | 2.8           | 2.61           |
| Qefectivo[Tonf] | 32.59        | 51.52         | 62.93          | 81.86         | 125.24       | 161.8         | 182.65         |

## **5.7 Límite de desplazamiento de entrepiso.**

Según lo estipulado en el apartado 7.6 de la norma NCh 2745 Of.2003, para los pisos de la superestructura, el desplazamiento relativo máximo entre dos pisos consecutivos, medido en el centro de masas en cada una de las direcciones de análisis, no debe ser mayor que la altura de entrepiso multiplicada por 0,002.

En la Figura 5.3 se grafican los desplazamientos laterales de la superestructura en la dirección de análisis para cada estructura, en relación al máximo permitido por la norma.

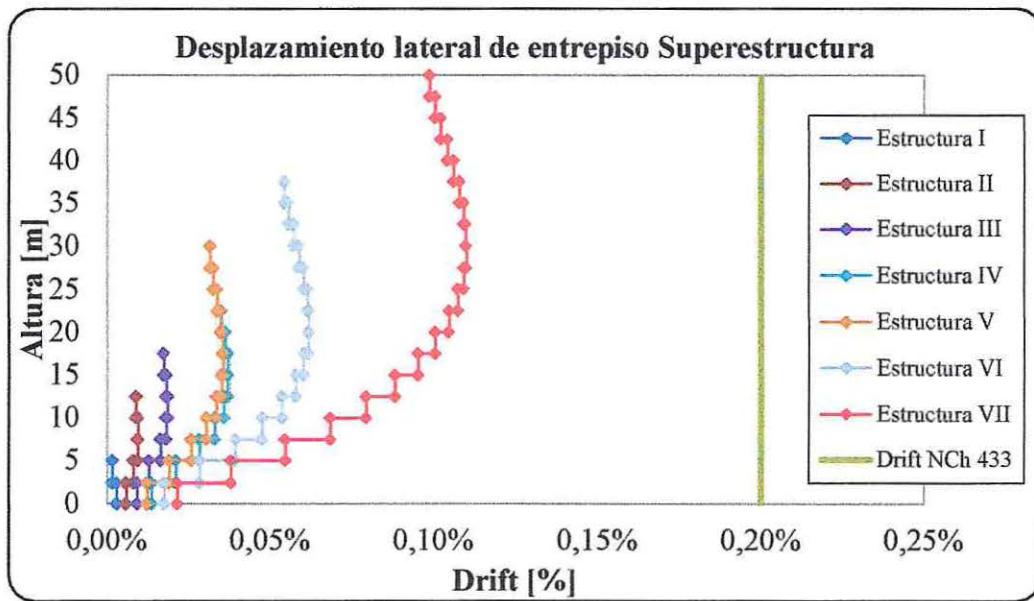


Figura 5.3- Desplazamiento lateral de entropiso dirección X.

Cabe destacar que las deformaciones producidas en el aislador no han sido consideradas en la figura anterior.

## Capítulo VI

### 6 Diseño de Elementos.

En este capítulo se presenta el diseño de los elementos de hormigón armado que constituyen las estructuras, de acuerdo a las disposiciones establecidas en el código ACI 318-08 y en el Decreto Supremo N° 60.

#### 6.1 Resistencia de diseño.

Para el diseño de los elementos de hormigón armado, se debe cumplir con la condición de diseño, especificada en el código ACI 318-08, de modo que:

$$\phi \text{ Resistencia Nominal} \geq \text{Resistencia Última}$$

Los factores de reducción de resistencia  $\phi$ , se especifican en los puntos 9.3.2.1 a 9.3.2.7 del código ACI 318-08, los cuales se muestran a continuación:

|  |      |
|--|------|
| Cortante y torsión   | 0,75 |
| Secciones controladas por tracción                             | 0,9  |
| Secciones controladas por compresión con refuerzo en espiral   | 0,7  |
| Secciones controladas por compresión con otro tipo de refuerzo | 0,65 |
| Cortante Sísmico (9.3.4 ACI 318-08)                            | 0,6  |

Para elementos sometidos a flexo-compresión, el factor de reducción de resistencia  $\phi$ , varía en función de la deformación unitaria del acero, tal como se muestra en la Figura 6.1.

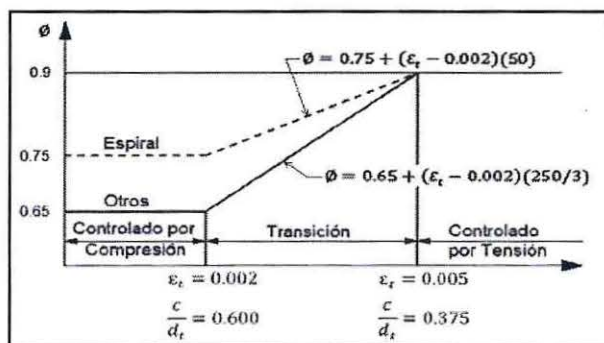


Figura 6.1-Variación de  $\phi$  para carga flexo-compresión.  
Fuente: ACI 318-08.

## 6.2 Elementos sometidos a flexión.

Los elementos sometidos a flexión deben cumplir con los requisitos especificados en el punto 21.5 del Código ACI 318-08.

En la Figura 6.2, se muestra la ubicación de los elementos sometidos a flexión en el eje analizado de las diferentes estructuras.

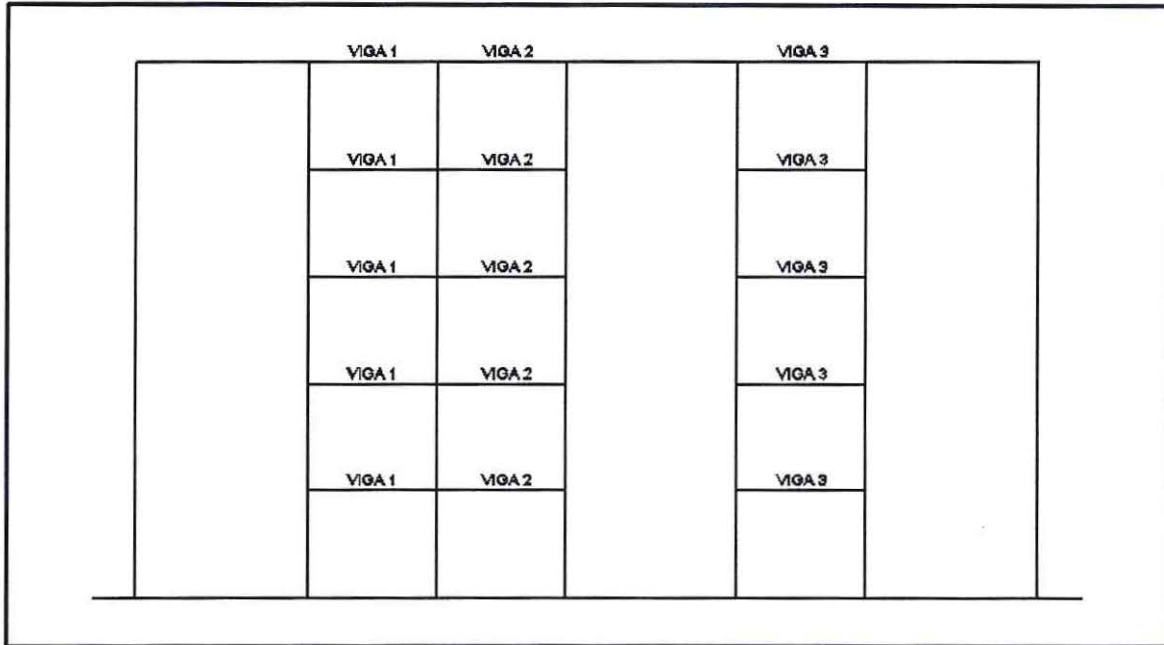


Figura 6.2- Distribución de vigas en estructura tipo.

Para determinar el refuerzo longitudinal de cada uno de los elementos sometidos a flexión, se debió verificar el valor de los esfuerzos producidos en dichos elementos, considerando el máximo valor para cada una de las vigas. En las Tablas 6.1 y 6.2 se detallan las armaduras a flexión para cada una de las vigas de las estructuras de base fija y con aislación basal analizadas.

**Tabla 6.1-Armadura a flexión de vigas en estructura convencional.**

| Edificio | Viga | Sección | As min | Posición Armadura | As requerida | As suministrada | Armadura        |
|----------|------|---------|--------|-------------------|--------------|-----------------|-----------------|
| 2 Pisos  | 1    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 2.11         | 4.020           | 2φ16            |
|          |      |         |        | Inf               | 1.00         | 4.020           | 2 φ16           |
|          | 2    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 3.62         | 4.020           | 2 φ16           |
|          |      |         |        | Inf               | 3.19         | 4.020           | 2 φ16           |
|          | 3    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 0.64         | 4.020           | 2 φ 16          |
|          |      |         |        | Inf               | 0.64         | 4.020           | 2 φ 16          |
| 5 Pisos  | 1    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 6.64         | 7.63            | 3 φ18           |
|          |      |         |        | Inf               | 4.40         | 6.03            | 3 φ16           |
|          | 2    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 5.72         | 6.03            | 3 φ16           |
|          |      |         |        | Inf               | 3.62         | 4.02            | 2 φ16           |
|          | 3    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 0            | 4.02            | 2 φ 16          |
|          |      |         |        | Inf               | 0.64         | 4.02            | 2 φ 16          |
| 7 Pisos  | 1    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 10.82        | 11.40           | 3 φ 22          |
|          |      |         |        | Inf               | 6.64         | 7.63            | 3 φ18           |
|          | 2    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 8.89         | 10.05           | 5 φ 16          |
|          |      |         |        | Inf               | 4.44         | 5.09            | 2 φ 18          |
|          | 3    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 0            | 4.02            | 2 φ 16          |
|          |      |         |        | Inf               | 0.47         | 4.02            | 2 φ 16          |
| 10 Pisos | 1    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 18.18        | 18.47           | 3 φ 28          |
|          |      |         |        | Inf               | 16.32        | 18.47           | 3 φ 28          |
|          | 2    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 15.97        | 18.47           | 3 φ 28          |
|          |      |         |        | Inf               | 11.63        | 12.72           | 5 φ 18          |
|          | 3    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 0            | 4.02            | 2 φ16           |
|          |      |         |        | Inf               | 0.64         | 4.02            | 2 φ 16          |
| 12 Pisos | 1    | 30/60   | 5.50   | Sup               | 27.9         | 29.45           | 6 φ 25          |
|          |      |         |        | Inf               | 10.82        | 11.4            | 3 φ 22          |
|          | 2    | 30/60   | 5.50   | Sup               | 24.42        | 24.54           | 5 φ 25          |
|          |      |         |        | Inf               | 19.19        | 24.54           | 5 φ25           |
|          | 3    | 30/60   | 5.50   | Sup               | 0            | 6.03            | 3 φ16           |
|          |      |         |        | Inf               | 0.64         | 6.03            | 3 φ 16          |
| 15 Pisos | 1    | 30/60   | 5.50   | Sup               | 35.24        | 36.95           | 6 φ 28          |
|          |      |         |        | Inf               | 5.89         | 6.03            | 3 φ 16          |
|          | 2    | 30/60   | 5.50   | Sup               | 32.69        | 33.95           | 3 φ 32 + 2 φ 25 |
|          |      |         |        | Inf               | 27.35        | 30.79           | 5 φ 28          |
|          | 3    | 30/60   | 5.50   | Sup               | 0            | 6.03            | 3 φ16           |
|          |      |         |        | Inf               | 0.64         | 6.03            | 3 φ 16          |
| 20 Pisos | 1    | 30/60   | 5.50   | Sup               | 26.58        | 29.45           | 6 φ 25          |
|          |      |         |        | Inf               | 10.84        | 11.4            | 3 φ22           |
|          | 2    | 30/60   | 5.50   | Sup               | 25.97        | 29.45           | 6 φ25           |
|          |      |         |        | Inf               | 20.81        | 24.54           | 5 φ 25          |
|          | 3    | 30/60   | 5.50   | Sup               | 0            | 6.03            | 3 φ16           |
|          |      |         |        | Inf               | 0.64         | 6.03            | 3 φ 16          |

**Tabla 6.2-Armadura a flexión de vigas en estructura aislada.**

| Edificio | Viga | Sección | As min | Posición Armadura | As requerida | As suministrada | Armadura                  |
|----------|------|---------|--------|-------------------|--------------|-----------------|---------------------------|
| 2 Pisos  | 1    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 1.74         | 4.020           | 2 $\phi$ 16               |
|          |      |         |        | Inf               | 0.87         | 4.020           | 2 $\phi$ 16               |
|          | 2    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 3.90         | 4.020           | 2 $\phi$ 16               |
|          |      |         |        | Inf               | 3.61         | 4.020           | 2 $\phi$ 16               |
|          | 3    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 0.00         | 4.020           | 2 $\phi$ 16               |
|          |      |         |        | Inf               | 0.64         | 4.020           | 2 $\phi$ 16               |
| 5 Pisos  | 1    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 3.61         | 4.02            | 2 $\phi$ 16               |
|          |      |         |        | Inf               | 2.14         | 4.02            | 2 $\phi$ 16               |
|          | 2    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 4.34         | 5.09            | 2 $\phi$ 18               |
|          |      |         |        | Inf               | 3.61         | 4.02            | 2 $\phi$ 16               |
|          | 3    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 0            | 4.02            | 2 $\phi$ 16               |
|          |      |         |        | Inf               | 0.64         | 4.02            | 2 $\phi$ 16               |
| 7 Pisos  | 1    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 4.70         | 5.09            | 2 $\phi$ 18               |
|          |      |         |        | Inf               | 3.62         | 4.02            | 2 $\phi$ 16               |
|          | 2    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 4.93         | 5.09            | 2 $\phi$ 18               |
|          |      |         |        | Inf               | 3.19         | 4.02            | 2 $\phi$ 16               |
|          | 3    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 0            | 4.02            | 2 $\phi$ 16               |
|          |      |         |        | Inf               | 0.64         | 4.02            | 2 $\phi$ 16               |
| 10 Pisos | 1    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 7.20         | 7.6             | 2 $\phi$ 22               |
|          |      |         |        | Inf               | 5.35         | 6.03            | 3 $\phi$ 16               |
|          | 2    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 7.00         | 7.6             | 2 $\phi$ 22               |
|          |      |         |        | Inf               | 3.62         | 4.02            | 2 $\phi$ 16               |
|          | 3    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 0            | 4.02            | 2 $\phi$ 16               |
|          |      |         |        | Inf               | 0.47         | 4.02            | 2 $\phi$ 16               |
| 12 Pisos | 1    | 30/60   | 5.50   | Sup               | 11.12        | 11.4            | 3 $\phi$ 22               |
|          |      |         |        | Inf               | 8.39         | 9.82            | 2 $\phi$ 25               |
|          | 2    | 30/60   | 5.50   | Sup               | 10.08        | 11.4            | 3 $\phi$ 22               |
|          |      |         |        | Inf               | 5.64         | 6.03            | 3 $\phi$ 16               |
|          | 3    | 30/60   | 5.50   | Sup               | 0            | 6.03            | 3 $\phi$ 16               |
|          |      |         |        | Inf               | 0.64         | 6.03            | 3 $\phi$ 16               |
| 15 Pisos | 1    | 30/60   | 5.50   | Sup               | 16.46        | 16.49           | 3 $\phi$ 22 + 2 $\phi$ 18 |
|          |      |         |        | Inf               | 13.56        | 14.73           | 3 $\phi$ 25               |
|          | 2    | 30/60   | 5.50   | Sup               | 14.80        | 15.21           | 4 $\phi$ 22               |
|          |      |         |        | Inf               | 10.17        | 11.4            | 3 $\phi$ 22               |
|          | 3    | 30/60   | 5.50   | Sup               | 0            | 6.03            | 3 $\phi$ 16               |
|          |      |         |        | Inf               | 0.64         | 6.03            | 3 $\phi$ 16               |
| 20 Pisos | 1    | 30/60   | 5.50   | Sup               | 22.45        | 22.49           | 3 $\phi$ 28 + 2 $\phi$ 16 |
|          |      |         |        | Inf               | 19.23        | 14.73           | 3 $\phi$ 25               |
|          | 2    | 30/60   | 5.50   | Sup               | 21.47        | 22.33           | 3 $\phi$ 25 + 2 $\phi$ 22 |
|          |      |         |        | Inf               | 16.58        | 18.47           | 3 $\phi$ 28               |
|          | 3    | 30/60   | 5.50   | Sup               | 0            | 6.03            | 3 $\phi$ 16               |
|          |      |         |        | Inf               | 0.64         | 6.03            | 3 $\phi$ 16               |

En las Figuras 6.3 y 6.4, se representa la distribución del refuerzo longitudinal en los elementos sometidos a flexión de las estructuras analizadas.








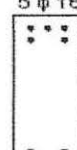

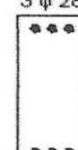











| 2 Pisos   |   |   | 5 Pisos  |  |  |
|---|---|---|--|--|--|
| Viga 1  | Viga 2  | Viga 3  | Viga 1   | Viga 2   | Viga 3   |
| $2 \phi 16$<br><br>$2 \phi 16$   | $2 \phi 16$<br><br>$2 \phi 16$   | $2 \phi 16$<br><br>$2 \phi 16$     | $3 \phi 18$<br><br>$3 \phi 16$  | $3 \phi 16$<br><br>$2 \phi 16$              | $2 \phi 16$<br><br>$2 \phi 16$  |
| 7 Pisos   |   |   | 10 Pisos   |  |  |
| Viga 1  | Viga 2  | Viga 3  | Viga 1   | Viga 2   | Viga 3   |
| $3 \phi 22$<br><br>$3 \phi 18$   | $5 \phi 16$<br><br>$2 \phi 18$   | $2 \phi 16$<br><br>$2 \phi 16$     | $3 \phi 28$<br><br>$3 \phi 28$  | $3 \phi 28$<br><br>$5 \phi 18$              | $2 \phi 16$<br><br>$2 \phi 16$  |
| 12 Pisos  |   |   | 15 Pisos   |  |  |
| Viga 1  | Viga 2  | Viga 3  | Viga 1   | Viga 2   | Viga 3   |
| $6 \phi 25$<br><br>$3 \phi 22$  | $5 \phi 25$<br><br>$5 \phi 25$  | $3 \phi 16$<br><br>$3 \phi 16$    | $6 \phi 28$<br><br>$3 \phi 16$ | $3 \phi 32 + 2 \phi 25$<br><br>$5 \phi 28$ | $3 \phi 16$<br><br>$3 \phi 16$ |
| 20 Pisos  |   |   |  |  |  |
| Viga 1  | Viga 2  | Viga 3  |  |  |  |
| $6 \phi 25$<br><br>$3 \phi 22$ | $6 \phi 25$<br><br>$5 \phi 25$ | $3 \phi 16$<br><br>$3 \phi 16$ |  |  |  |

Figura 6.3- Distribución de refuerzo a flexión en vigas, estructuras convencionales.


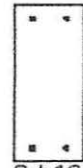





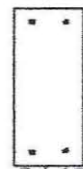









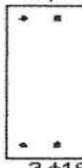
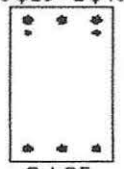
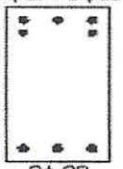
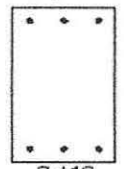
| 2 Pisos   |  |   | 5 Pisos  |   |  |
|---|--|---|--|---|--|
| Viga 1  | Viga 2   | Viga 3  | Viga 1   | Viga 2  | Viga 3   |
| 2 $\phi$ 16<br><br>2 $\phi$ 16                 | 2 $\phi$ 16<br><br>2 $\phi$ 16  | 2 $\phi$ 16<br><br>2 $\phi$ 16                 | 2 $\phi$ 16<br><br>2 $\phi$ 16                | 2 $\phi$ 18<br><br>2 $\phi$ 16   | 2 $\phi$ 16<br><br>2 $\phi$ 16  |
| 7 Pisos   |  |   | 10 Pisos   |   |  |
| Viga 1  | Viga 2   | Viga 3  | Viga 1   | Viga 2  | Viga 3   |
| 2 $\phi$ 18<br><br>2 $\phi$ 16                 | 2 $\phi$ 18<br><br>2 $\phi$ 16  | 2 $\phi$ 16<br><br>2 $\phi$ 16                 | 2 $\phi$ 22<br><br>3 $\phi$ 16                | 2 $\phi$ 22<br><br>2 $\phi$ 16   | 2 $\phi$ 16<br><br>2 $\phi$ 16  |
| 12 Pisos  |  |   | 15 Pisos   |   |  |
| Viga 1  | Viga 2   | Viga 3  | Viga 1   | Viga 2  | Viga 3   |
| 3 $\phi$ 22<br><br>2 $\phi$ 25                | 3 $\phi$ 22<br><br>3 $\phi$ 16 | 3 $\phi$ 16<br><br>3 $\phi$ 16                | 3 $\phi$ 22 + 2 $\phi$ 18<br><br>3 $\phi$ 25 | 4 $\phi$ 22<br><br>3 $\phi$ 22  | 3 $\phi$ 16<br><br>3 $\phi$ 16 |
| 20 Pisos  |  |   |  |   |  |
| Viga 1  |  | Viga 2  |  | Viga 3  |  |
| 3 $\phi$ 28 + 2 $\phi$ 16<br><br>3 $\phi$ 25 |  | 3 $\phi$ 25 + 2 $\phi$ 22<br><br>2 $\phi$ 28 |  | 3 $\phi$ 16<br><br>3 $\phi$ 16 |  |

Figura 6.4- Distribución de refuerzo a flexión en vigas, estructuras aisladas.

### 6.2.1 Refuerzo transversal.

El refuerzo transversal se requiere principalmente para confinar el hormigón, para resistir al corte y dar soporte lateral a las barras de refuerzo en regiones en las que se espere fluencia.

- a) Deben disponerse estribos cerrados de confinamiento en las siguientes regiones:
  - ✓ En una longitud igual a dos veces la altura del elemento, medida desde la cara de los elementos de apoyo hacia el centro de la luz, en ambos extremos de los elementos en flexión.
- b) El primer estribo cerrado de confinamiento debe estar situado a no más de 50 [mm] de la cara del elemento de apoyo. El espaciamiento de los estribos cerrados de confinamiento no debe exceder del menor de:
  - ✓  $d/4$
  - ✓ ocho veces el diámetro de las barras longitudinales más pequeñas.
  - ✓ 24 veces el diámetro de la barra del estribo cerrado de confinamiento.
  - ✓ 300 [mm].
- c) Cuando se requieran estribos cerrados de confinamiento, los estribos deben disponerse de tal forma que cada barra longitudinal de esquina y barra alterna tenga apoyo lateral proporcionado por la esquina de un estribo con un ángulo interior no mayor de  $135^\circ$ , y ninguna barra longitudinal debe estar separada más de 150 [mm] libres de una barra apoyada lateralmente.
- d) Cuando no se requieran estribos cerrados de confinamiento, deben colocarse estribos con ganchos sísmicos en ambos extremos, espaciados a no más de  $d/2$  en toda la longitud del elemento.
- e) Los estribos que se requieran para resistir esfuerzos de corte, deben ser estribos cerrados de confinamiento colocados en los lugares dentro de los elementos descritos en el punto (a) anterior.
- f) Se permite que los estribos cerrados de confinamiento en elementos en flexión, sean hechos hasta de dos piezas de refuerzo: un estribo con un gancho sísmico en cada extremo y cerrado por un gancho suplementario.

### 6.2.2 Requisitos al corte.

El esfuerzo de corte de diseño,  $V_e$ , se debe determinar a partir de las fuerzas estáticas en la parte del elemento comprendida entre las caras del nudo. Se debe suponer que en las caras de los nudos localizados en los extremos del elemento actúan momentos de signo opuesto correspondientes a la resistencia probable,  $M_{pr}$ , y que el elemento está además cargado con cargas gravitacionales mayoradas a lo largo de la luz.

En la determinación de las fuerzas laterales equivalentes que representan los efectos del sismo, se supone que los elementos del marco (vigas), disiparán energía en el rango no lineal de respuesta, y debe suponerse que la armadura longitudinal llegara a la fluencia en el caso de un sismo severo.

La fuerza cortante de diseño debe ser una buena aproximación del cortante máximo que se puede desarrollar en un elemento. Por lo tanto, la resistencia al corte requerida en elementos de marco está relacionada con la resistencia a flexión de dicho elemento más que con las fueras cortantes mayoradas obtenidas del análisis de cargas laterales.

Cabe destacar que la resistencia de fluencia real del refuerzo longitudinal puede exceder la resistencia de fluencia especificada y debido a que es probable que ocurra endurecimiento por deformación del refuerzo en un nudo sometido a grandes rotaciones, la resistencia al cortante requerida se determina usando un esfuerzo de al menos  $1.25 f_y$ , para el refuerzo longitudinal.

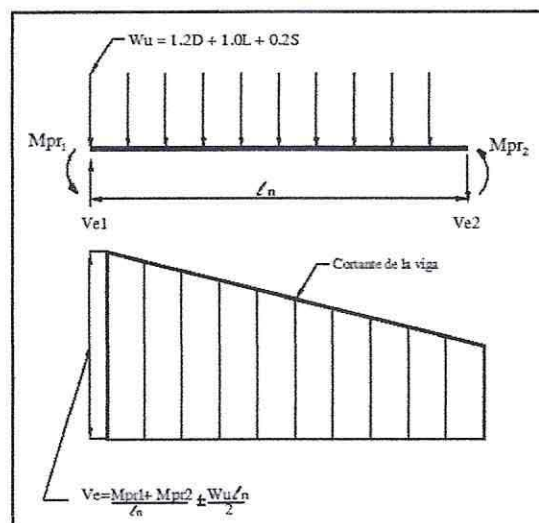


Figura 6.5- Corte de diseño para vigas.

Fuente: Elaboración propia.

$$M_{pr\ viga} = 1,25f_y(A_s - A'_s) \left( d - \frac{1,25f_y(A_s - A'_s)}{2 * 0,85f'_c b} \right) + 1,25f_y A'_s (d - d') \quad \text{Ecuación 6.1}$$

$$V_{e\ viga} = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} \pm \frac{W_u}{2} l_n \quad \text{Ecuación 6.2}$$

En la tabla 6.3 y 6.4 se detallan los momentos probables, el corte por capacidad y el corte gravitacional de las vigas para cada una de las estructuras analizadas, se incluye el corte máximo de diseño.

**Tabla 6.3-**Esfuerzos de diseño de corte en vigas, estructuras convencionales.

| Estructura | Viga | Sección | As min [cm <sup>2</sup> ] | Posición Armadura | As sum. [cm <sup>2</sup> ] | Mpr 1 [T-m] | Mpr2 [T-m] | Vcap [T] | Vgrav [T] | Ve dis [T] | Vn |
|------------|------|---------|---------------------------|-------------------|----------------------------|-------------|------------|----------|-----------|------------|----|
| I          | 1    | 20/60   | 3.67                      | Sup               | 4.020                      | 10.95       | 10.95      | 14.60    | 5.71      | 20.3       | 41 |
|            |      |         |                           | Inf               | 4.020                      | 10.95       | 10.95      | 14.60    | 5.71      | 20.3       | 41 |
|            | 2    | 20/60   | 3.67                      | Sup               | 4.020                      | 10.95       | 10.95      | 7.30     | 11.04     | 18.3       | 41 |
|            |      |         |                           | Inf               | 4.020                      | 10.95       | 10.95      | 7.30     | 11.04     | 18.3       | 41 |
|            | 3    | 20/60   | 3.67                      | Sup               | 4.020                      | 10.95       | 10.95      | 21.91    | 3.38      | 25.3       | 41 |
|            |      |         |                           | Inf               | 4.020                      | 10.95       | 10.95      | 21.91    | 3.38      | 25.3       | 41 |
| II         | 1    | 20/60   | 3.67                      | Sup               | 7.63                       | 19.67       | 19.67      | 23.74    | 6.19      | 29.9       | 41 |
|            |      |         |                           | Inf               | 6.03                       | 15.93       | 15.93      | 23.74    | 6.19      | 29.9       | 41 |
|            | 2    | 20/60   | 3.67                      | Sup               | 6.03                       | 15.93       | 15.93      | 8.96     | 10.80     | 19.8       | 41 |
|            |      |         |                           | Inf               | 4.02                       | 10.95       | 10.95      | 8.96     | 10.80     | 19.8       | 41 |
|            | 3    | 20/60   | 3.67                      | Sup               | 4.02                       | 10.95       | 10.95      | 21.91    | 3.38      | 25.3       | 41 |
|            |      |         |                           | Inf               | 4.02                       | 10.95       | 10.95      | 21.91    | 3.38      | 25.3       | 41 |
| III        | 1    | 20/60   | 3.67                      | Sup               | 11.40                      | 27.65       | 27.65      | 31.55    | 6.30      | 37.8       | 41 |
|            |      |         |                           | Inf               | 7.63                       | 19.67       | 19.67      | 31.55    | 6.30      | 37.8       | 41 |
|            | 2    | 20/60   | 3.67                      | Sup               | 10.05                      | 24.92       | 24.92      | 12.86    | 10.68     | 23.5       | 41 |
|            |      |         |                           | Inf               | 5.09                       | 13.64       | 13.64      | 12.86    | 10.68     | 23.5       | 41 |
|            | 3    | 20/60   | 3.67                      | Sup               | 4.02                       | 10.95       | 10.95      | 21.91    | 3.38      | 25.3       | 41 |
|            |      |         |                           | Inf               | 4.02                       | 10.95       | 10.95      | 21.91    | 3.38      | 25.3       | 41 |
| IV         | 1    | 20/60   | 3.67                      | Sup               | 14.73                      | 33.73       | 33.73      | 33.12    | 6.40      | 39.5       | 41 |
|            |      |         |                           | Inf               | 6.03                       | 15.93       | 15.93      | 33.12    | 6.40      | 39.5       | 41 |
|            | 2    | 20/60   | 3.67                      | Sup               | 18.47                      | 39.50       | 39.50      | 23.23    | 10.46     | 33.7       | 41 |
|            |      |         |                           | Inf               | 12.72                      | 30.17       | 30.17      | 23.23    | 10.46     | 33.7       | 41 |
|            | 3    | 20/60   | 3.67                      | Sup               | 4.02                       | 10.95       | 10.95      | 21.91    | 3.38      | 25.3       | 41 |
|            |      |         |                           | Inf               | 4.02                       | 10.95       | 10.95      | 21.91    | 3.38      | 25.3       | 41 |

| Estructura | Viga | Sección | As min | Posición Armadura | As sum. [cm <sup>2</sup> ] | Mpr 1 [T-m] | Mpr2 [T-m] | Vcap [T] | Vgrav [T] | Ve dis [T] | Vn |
|------------|------|---------|--------|-------------------|----------------------------|-------------|------------|----------|-----------|------------|----|
| V          | 1    | 30/60   | 4.58   | Sup               | 29.45                      | 69.41       | 69.41      | 66.66    | 7.4       | 74.1       | 76 |
|            |      |         |        | Inf               | 11.4                       | 30.58       | 30.58      | 66.66    | 7.4       | 74.1       | 76 |
|            | 2    | 30/60   | 4.58   | Sup               | 24.54                      | 60.01       | 60.01      | 40.01    | 10.99     | 51.0       | 76 |
|            |      |         |        | Inf               | 24.54                      | 60.01       | 60.01      | 40.01    | 10.99     | 51.0       | 76 |
|            | 3    | 30/60   | 4.58   | Sup               | 6.03                       | 16.76       | 16.76      | 33.51    | 3.47      | 37.0       | 76 |
|            |      |         |        | Inf               | 6.03                       | 16.76       | 16.76      | 33.51    | 3.47      | 37.0       | 76 |
| VI         | 1    | 30/60   | 4.58   | Sup               | 36.95                      | 82.10       | 82.10      | 65.90    | 7.42      | 73.3       | 76 |
|            |      |         |        | Inf               | 6.03                       | 16.76       | 16.76      | 65.90    | 7.42      | 73.3       | 76 |
|            | 2    | 30/60   | 4.58   | Sup               | 33.95                      | 77.27       | 77.27      | 49.70    | 10.92     | 60.6       | 76 |
|            |      |         |        | Inf               | 30.79                      | 71.83       | 71.83      | 49.70    | 10.92     | 60.6       | 76 |
|            | 3    | 30/60   | 4.58   | Sup               | 6.03                       | 16.76       | 16.76      | 33.51    | 3.47      | 37.0       | 76 |
|            |      |         |        | Inf               | 6.03                       | 16.76       | 16.76      | 33.51    | 3.47      | 37.0       | 76 |
| VII        | 1    | 30/60   | 4.58   | Sup               | 29.45                      | 69.41       | 69.41      | 66.66    | 7.43      | 74.1       | 76 |
|            |      |         |        | Inf               | 11.4                       | 30.58       | 30.58      | 66.66    | 7.43      | 74.1       | 76 |
|            | 2    | 30/60   | 4.58   | Sup               | 29.45                      | 69.41       | 69.41      | 43.14    | 10.85     | 54.0       | 76 |
|            |      |         |        | Inf               | 24.54                      | 60.01       | 60.01      | 43.14    | 10.85     | 54.0       | 76 |
|            | 3    | 30/60   | 4.58   | Sup               | 6.03                       | 16.76       | 16.76      | 33.51    | 3.47      | 37.0       | 76 |
|            |      |         |        | Inf               | 6.03                       | 16.76       | 16.76      | 33.51    | 3.47      | 37.0       | 76 |

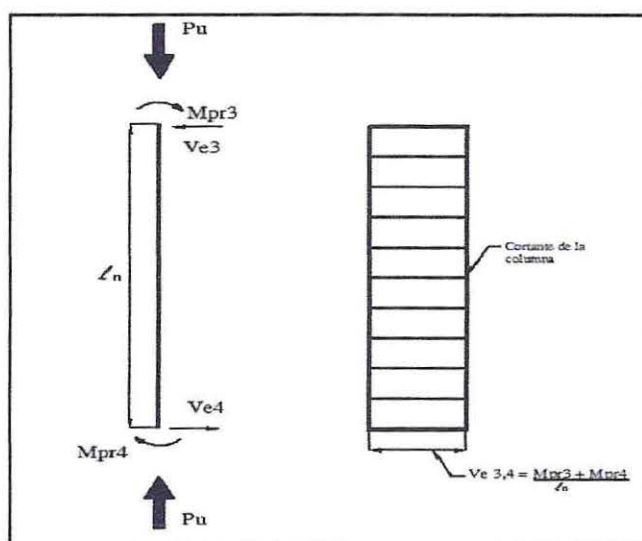
**Tabla 6.4-Esfuerzos de diseño de corte en vigas, estructuras aisladas.**

| Estructura | Viga | Sección | As min[cm <sup>2</sup> ] | Posición Armadura | As sum. [cm <sup>2</sup> ] | Mpr 1 [T-m] | Mpr2 [T-m] | Vcap [T] | Vgrav [T] | Ve dis [T] | Vn |
|------------|------|---------|--------------------------|-------------------|----------------------------|-------------|------------|----------|-----------|------------|----|
| I          | 1    | 20/60   | 3.67                     | Sup               | 4.02                       | 10.95       | 10.95      | 14.60    | 5.61      | 20.2       | 41 |
|            |      |         |                          | Inf               | 4.02                       | 10.95       | 10.95      | 14.60    | 5.61      | 20.2       | 41 |
|            | 2    | 20/60   | 3.67                     | Sup               | 4.02                       | 10.95       | 10.95      | 7.30     | 10.83     | 18.1       | 41 |
|            |      |         |                          | Inf               | 4.02                       | 10.95       | 10.95      | 7.30     | 10.83     | 18.1       | 41 |
|            | 3    | 20/60   | 3.67                     | Sup               | 4.02                       | 10.95       | 10.95      | 21.91    | 3.38      | 25.3       | 41 |
|            |      |         |                          | Inf               | 4.02                       | 10.95       | 10.95      | 21.91    | 3.38      | 25.3       | 41 |
| II         | 1    | 20/60   | 3.67                     | Sup               | 4.02                       | 10.95       | 10.95      | 14.60    | 6.09      | 20.7       | 41 |
|            |      |         |                          | Inf               | 4.02                       | 10.95       | 10.95      | 14.60    | 6.09      | 20.7       | 41 |
|            | 2    | 20/60   | 3.67                     | Sup               | 5.09                       | 13.65       | 13.65      | 8.20     | 10.52     | 18.7       | 41 |
|            |      |         |                          | Inf               | 4.02                       | 10.95       | 10.95      | 8.20     | 10.52     | 18.7       | 41 |
|            | 3    | 20/60   | 3.67                     | Sup               | 4.02                       | 10.95       | 10.95      | 21.91    | 3.38      | 25.3       | 41 |
|            |      |         |                          | Inf               | 4.02                       | 10.95       | 10.95      | 21.91    | 3.38      | 25.3       | 41 |
| III        | 1    | 20/60   | 3.67                     | Sup               | 5.09                       | 13.65       | 13.65      | 16.40    | 6.29      | 22.7       | 41 |
|            |      |         |                          | Inf               | 4.02                       | 10.95       | 10.95      | 16.40    | 6.29      | 22.7       | 41 |
|            | 2    | 20/60   | 3.67                     | Sup               | 5.09                       | 13.65       | 13.65      | 8.20     | 10.67     | 18.9       | 41 |
|            |      |         |                          | Inf               | 4.02                       | 10.95       | 10.95      | 8.20     | 10.67     | 18.9       | 41 |
|            | 3    | 20/60   | 3.67                     | Sup               | 4.02                       | 10.95       | 10.95      | 21.91    | 3.38      | 25.3       | 41 |
|            |      |         |                          | Inf               | 4.02                       | 10.95       | 10.95      | 21.91    | 3.38      | 25.3       | 41 |

| Estructura | Viga | Sección | As min | Posición Armadura | As sum. [cm <sup>2</sup> ] | Mpr 1 [T-m] | Mpr2 [T-m] | Vcap [T] | Vgrav [T] | Ve dis [T] | Vn |
|------------|------|---------|--------|-------------------|----------------------------|-------------|------------|----------|-----------|------------|----|
| IV         | 1    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 7.6                        | 19.60       | 19.60      | 23.69    | 6.39      | 30.1       | 41 |
|            |      |         |        | Inf               | 6.03                       | 15.94       | 15.94      | 23.69    | 6.39      | 30.1       | 41 |
|            | 2    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 7.6                        | 19.60       | 19.60      | 10.19    | 10.45     | 20.6       | 41 |
|            |      |         |        | Inf               | 4.02                       | 10.95       | 10.95      | 10.19    | 10.45     | 20.6       | 41 |
|            | 3    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 4.02                       | 10.95       | 10.95      | 21.91    | 3.38      | 25.3       | 41 |
|            |      |         |        | Inf               | 4.02                       | 10.95       | 10.95      | 21.91    | 3.38      | 25.3       | 41 |
| V          | 1    | 30/60   | 4.58   | Sup               | 11.4                       | 30.58       | 30.58      | 38.13    | 7.39      | 45.5       | 76 |
|            |      |         |        | Inf               | 9.82                       | 26.62       | 26.62      | 38.13    | 7.39      | 45.5       | 76 |
|            | 2    | 30/60   | 4.58   | Sup               | 11.4                       | 30.58       | 30.58      | 15.78    | 10.97     | 26.7       | 76 |
|            |      |         |        | Inf               | 6.03                       | 16.76       | 16.76      | 15.78    | 10.97     | 26.7       | 76 |
|            | 3    | 30/60   | 4.58   | Sup               | 6.03                       | 16.76       | 16.76      | 33.51    | 3.47      | 37.0       | 76 |
|            |      |         |        | Inf               | 6.03                       | 16.76       | 16.76      | 33.51    | 3.47      | 37.0       | 76 |
| VI         | 1    | 30/60   | 4.58   | Sup               | 16.49                      | 42.72       | 42.72      | 54.23    | 7.42      | 61.6       | 76 |
|            |      |         |        | Inf               | 14.73                      | 38.62       | 38.62      | 54.23    | 7.42      | 61.6       | 76 |
|            | 2    | 30/60   | 4.58   | Sup               | 15.21                      | 39.75       | 39.75      | 23.44    | 10.91     | 34.4       | 76 |
|            |      |         |        | Inf               | 11.4                       | 30.58       | 30.58      | 23.44    | 10.91     | 34.4       | 76 |
|            | 3    | 30/60   | 4.58   | Sup               | 6.03                       | 16.76       | 16.76      | 33.51    | 3.47      | 37.0       | 76 |
|            |      |         |        | Inf               | 6.03                       | 16.76       | 16.76      | 33.51    | 3.47      | 37.0       | 76 |
| VII        | 1    | 30/60   | 4.58   | Sup               | 22.49                      | 55.83       | 55.83      | 62.97    | 7.43      | 70.4       | 76 |
|            |      |         |        | Inf               | 14.73                      | 38.62       | 38.62      | 62.97    | 7.43      | 70.4       | 76 |
|            | 2    | 30/60   | 4.58   | Sup               | 22.33                      | 55.50       | 55.50      | 34.23    | 10.84     | 45.1       | 76 |
|            |      |         |        | Inf               | 18.47                      | 47.19       | 47.19      | 34.23    | 10.84     | 45.1       | 76 |
|            | 3    | 30/60   | 4.58   | Sup               | 6.03                       | 16.76       | 16.76      | 33.51    | 3.47      | 37.0       | 76 |
|            |      |         |        | Inf               | 6.03                       | 16.76       | 16.76      | 33.51    | 3.47      | 37.0       | 76 |

En el caso de las columnas, el corte máximo de diseño  $V_e$ , se debe determinar considerando como hipótesis la formación de rótulas plásticas en las secciones críticas de vigas; por lo tanto, éste queda definido por los momentos probables que son transmitidos a la columna a través de las vigas que concurren a ella. Se calcula según la Ecuación 6.3 (ver Figura 6.6).

$$V_e = \frac{M_{pr3} + M_{pr4}}{l_u} \quad \text{Ecuación 6.3}$$



**Figura 6.6-** Corte de diseño para columnas.  
Fuente: Elaboración propia.

Considerando que los nudos se encuentran en equilibrio, y que los momentos de vigas transmitidos a las columnas son proporcionales a la rigidez de las columnas que concurren al nudo; y dado que las columnas, tanto encima como por debajo del nudo, tienen la misma sección transversal, refuerzo, resistencia del hormigón y altura de entrepisos, se puede considerar que el momento probable de la columna,  $M_{pr}$ , es el que se determina según la Ecuación 6.4.

$$M_{pr3} = M_{pr4} = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{2} \quad \text{Ecuación 6.4}$$

El análisis anterior es válido sólo para elementos sobre el primer nivel, ya que para las columnas de primer piso, el corte máximo de diseño,  $V_e$ , se determina con la máxima resistencia flexural nominal probable proporcionada en la base de la columna, la que corresponde al punto de equilibrio del diagrama de interacción, calculado para la fuerza axial mayorada de compresión inducida por el sismo.

Las resistencias a momento deben determinarse usando un factor de reducción de resistencia igual a 1.0 y una resistencia del acero de refuerzo de al menos  $1.25 f_y$ . El refuerzo transversal debe diseñarse para resistir esfuerzos de corte suponiendo,  $V_c=0$ , cuando la fuerza de corte inducida por un sismo, representa la mitad o más de la resistencia máxima a corte requerida en esas zonas y la fuerza axial de compresión mayorada,  $P_u$ , incluyendo los efectos sísmicos es menor que  $A_g f_c / 20$  (ACI 318-08).

## Capítulo IV

### 4 Análisis Sísmico Según Decreto Supremo N°61 y Norma Nch433 Of.96 Mod.2009.

A partir de Diciembre de 2011, el diseño sísmico de edificios deberá realizarse en conformidad a las exigencias establecidas en el Decreto Supremo N°61 y en lo que no sé contraponga, por lo establecido en la Norma NCh433 Of.96 Mod.2009.

Para realizar el análisis sísmico se considera que las estructuras analizadas se encuentran situadas en una zona sísmica 3 y un suelo tipo D.

#### 4.1 Solicitaciones.

Las solicitaciones que se han considerado en este estudio son:

##### 4.1.1 Cargas muertas.

Son cargas permanentes y que no son debidas al uso de la estructura. En esta categoría se pueden clasificar las cargas correspondientes al peso propio y al peso de los materiales que soporta la estructura tales como acabados, divisiones, fachadas, techos, etc.

##### 4.1.2 Cargas vivas o sobrecargas de uso.

Corresponden a cargas gravitacionales debidas a la ocupación normal de la estructura y que no son permanentes en ella. Debido a la característica de movilidad y no permanencia de esta carga el grado de incertidumbre en su determinación es mayor. Se obtienen de la norma NCh 1537 Of.2009.

##### 4.1.3 Cargas sísmica.

Se determina de acuerdo a la ubicación geográfica de los edificios, su estructuración y materialidad, tipo de suelo e importancia que tengan, según Decreto Supremo N°61.

#### 4.2 Combinaciones de cargas.

Las estructuras deben ser diseñadas usando las reglas de superposición indicadas en la norma NCh3171 Of.2010; la cual en su apartado 9 señala que las estructuras deben ser diseñadas de manera que su resistencia de diseño sea mayor o igual que el efecto de las cargas mayoradas en las combinaciones siguientes:

$$U = 1,2 D + 1,6 L$$

$$U = 1,2 D + 1L \pm 1,4 E$$

$$U = 0,9 D \pm 1,4 E$$

Dónde:

$U$  = Resistencia requerida

$D$  = Carga muerta

$L$  = Carga viva

$E$  = Carga sísmica

### 4.3 Espectro de diseño.

Según el Decreto Supremo N°61, el espectro de diseño que determina la resistencia sísmica mínima de la estructura está definido por la Ecuación 4.1:

$$S_a = \frac{S A_0 \alpha}{(R^*/I)} \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Dónde:

$S$ : Parámetro que depende del tipo de suelo.

$A_0$ : Aceleración efectiva máxima del suelo.

$R^*$ : Factor de reducción de la aceleración espectral, calculado para el período del modo con mayor masa traslacional equivalente en la dirección de análisis.

$I$ : Coeficiente relativo a la importancia, uso y riesgo de falla del edificio.

$\alpha$ : Factor de amplificación de la aceleración efectiva máxima.

El factor de amplificación  $\alpha$  se determina para cada modo de vibrar  $n$ , de acuerdo a la Ecuación 4.2:

$$\alpha = \frac{1 + 4,5 \left(\frac{T_n}{T_0}\right)^P}{1 + \left(\frac{T_n}{T_0}\right)^3} \quad \text{Ecuación 4.2}$$

En que:

$T_n$ : Período de vibración del modo  $n$ .

$T_0, p$ : Parámetros relativos al tipo de suelo de fundación.

El factor de reducción  $R^*$  se determina según la Ecuación 4.3:

$$R^* = 1 + \frac{T^*}{0,10T_0 + \frac{T^*}{R_0}} \quad \text{Ecuación 4.3}$$

Dónde:

$T^*$ : Período del modo con mayor masa traslacional equivalente en la dirección de análisis.

$R_0$ : Factor de modificación de la respuesta estructural.

Los parámetros sísmicos y aquellos que dependen del tipo de suelo son los mismos para las siete estructuras analizadas, se presentan en la Tabla 4.1 y Tabla 4.2 respectivamente.

Tabla 4.1-Parámetros Sísmicos.

| Parámetros Sísmicos              |     |
|----------------------------------|-----|
| Zona sísmica                     | 3   |
| Tipo de Suelo                    | D   |
| Categoría Edificio               | II  |
| $R_0$                            | 7   |
| $R$                              | 11  |
| Aceleración Efectiva ( $A_0/g$ ) | 0,4 |
| Coefficiente de Importancia      | 1   |

Tabla 4.2-Parámetros Sísmicos.

| Parámetros que dependen del tipo de suelo |           |          |     |     |
|---|-----------|----------|-----|-----|
| S   | $T_0$ [s] | $T'$ [s] | n   | p   |
| 1,2                                       | 0,75      | 0,85     | 1,8 | 1,0 |

De acuerdo al análisis, el espectro elástico de pseudo aceleración para este caso, corresponde al grafico de la Figura 4.1.

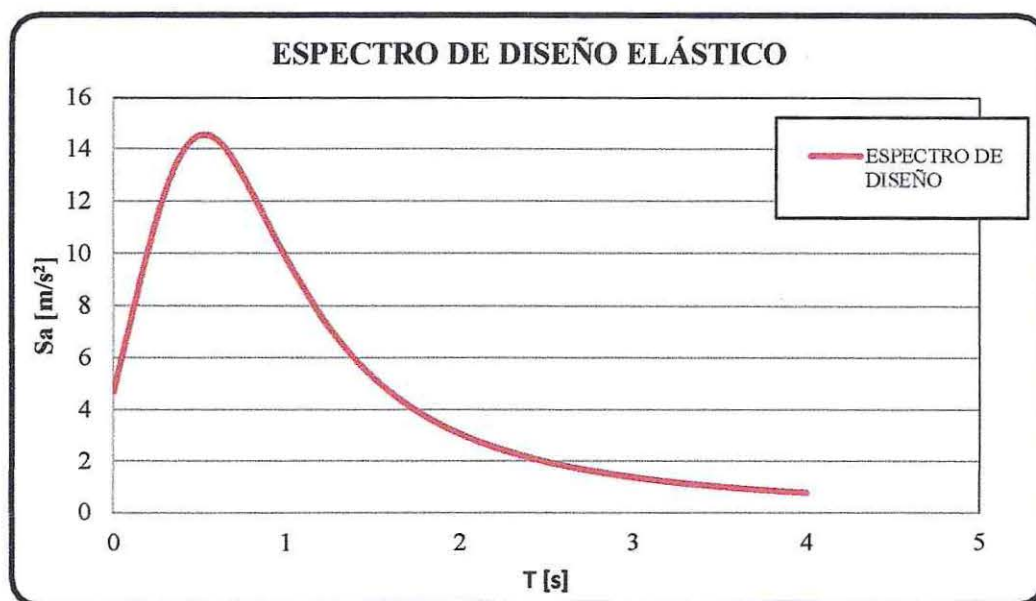


Figura 4.1- Espectro de pseudo- aceleración.

#### 4.4 Resultados del análisis sísmico.

El espectro de diseño se obtiene al reducir el espectro elástico con el factor  $R^*$ , transformándose en el espectro de diseño inelástico, cuyo parámetro depende de los materiales, estructuración y ductilidad de la estructura.

##### 4.4.1 Limitaciones del esfuerzo de corte basal.

Para cada edificio se obtuvo el corte basal, a través del espectro elástico, la masa y los períodos fundamentales para la dirección X. Cuyos valores son detallados en la Tabla 4.3.

**Tabla 4.3-Corte Basal Elástico.**

|                      | <b>Modelo I</b> | <b>Modelo II</b> | <b>Modelo III</b> | <b>Modelo IV</b> | <b>Modelo V</b> | <b>Modelo VI</b> | <b>Modelo VII</b> |
|----------------------|-----------------|------------------|-------------------|------------------|-----------------|------------------|-------------------|
| <b>Período [s]</b>   | 0,051           | 0,18             | 0,29              | 0,5              | 0,51            | 0,73             | 1,15              |
| <b>Modo</b>          | 1               | 1                | 1                 | 1                | 1               | 1                | 1                 |
| <b>Masa [Tonf/g]</b> | 18,51           | 47,32            | 60,04             | 85,51            | 129,63          | 162,36           | 216,92            |
| <b>Q Basal[Tonf]</b> | 99,89           | 347,19           | 534,73            | 888,96           | 1300,32         | 1477,41          | 1255,88           |

En la Tabla 4.4 se muestra el corte basal de diseño y el factor de reducción efectivo  $R^{**}$ , para cada estructura en estudio, satisfaciendo las limitaciones del esfuerzo de corte basal en la dirección de la acción sísmica, definidas en el artículo 14 del Decreto Supremo N°61.

**Tabla 4.4-Resultado Análisis Sísmico.**

|                          | <b>Modelo I</b> | <b>Modelo II</b> | <b>Modelo III</b> | <b>Modelo IV</b> | <b>Modelo V</b> | <b>Modelo VI</b> | <b>Modelo VII</b> |
|--------------------------|-----------------|------------------|-------------------|------------------|-----------------|------------------|-------------------|
| <b>Dirección</b>         | x               | x                | x                 | x                | x               | x                | x                 |
| <b>R*</b>                | 1,64            | 2,96             | 3,86              | 5,14             | 5,22            | 6,16             | 7,42              |
| <b>Q efectivo [Tonf]</b> | 60,9            | 117,34           | 138,59            | 173,12           | 249,04          | 240              | 169,34            |
| <b>R**</b>               | 3,27            | 4,45             | 5                 | 6                | 6               | 6                | 7                 |
| <b>Qmin [Tonf]</b>       | 14,5            | 37,1             | 47,1              | 67,1             | 101,7           | 127,4            | 170,2             |
| <b>Qmax [Tonf]</b>       | 30,5            | 78               | 98,9              | 140,9            | 213,6           | 267,6            | 357,5             |
| <b>Qdiseño [Tonf]</b>    | 30,5            | 78               | 98,9              | 140,9            | 213,6           | 240              | 170,2             |

#### 4.4.2 Deformaciones sísmicas.

##### Desplazamiento lateral de entrepiso.

Según lo estipulado en el apartado 5.9.2 de la norma NCh 433 Of.96 Mod. 2009. El desplazamiento relativo máximo entre dos pisos consecutivos, medido en el centro de masas en cada una de las direcciones de análisis, no debe ser mayor que la altura de entrepiso multiplicada por 0,002.

En la Figura 4.2 se grafican los desplazamientos laterales en la dirección de análisis para cada estructura, en relación al máximo permitido por la norma.

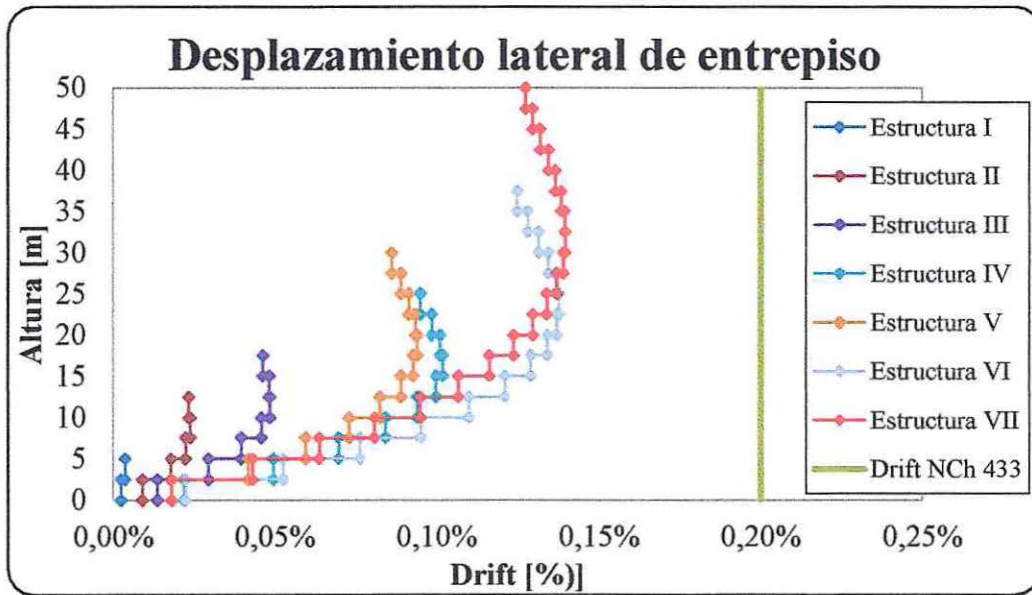


Figura 4.2- Desplazamiento lateral de entrepiso dirección X.

##### Desplazamiento lateral de diseño en el techo.

Tal como se indica en el artículo 9.2 del Decreto Supremo N°61. "Para efectos de diseño de estructuras de hormigón armado, el desplazamiento lateral de diseño en el techo,  $\delta_u$ , se debe considerar igual a la ordenada del espectro elástico de desplazamiento  $S_{de}$ , para un 5% de amortiguamiento respecto al crítico, correspondiente al período de mayor masa traslacional en la dirección de análisis multiplicada por un factor igual a 1,3" y se calcula según la Ecuación 4.4.

$$\delta_u = 1,3 S_{de} (T_{ag})$$

**Ecuación 4.4**

“Donde  $T_{ag}$  es el período de mayor masa traslacional en la dirección de análisis, considerando en su cálculo la influencia del acero y la pérdida de rigidez debido al agrietamiento del hormigón en la rigidez elástica inicial. Si el período ha sido calculado con las secciones brutas, es decir, sin considerar la influencia del acero y la pérdida de la rigidez debido al agrietamiento del hormigón, el período de mayor masa traslacional en la dirección de análisis de la estructura se puede aproximar a 1,5 veces al calculado sin considerar estos efectos”.

El espectro elástico de desplazamiento requerido para el cálculo del desplazamiento lateral de diseño en el techo se obtiene de la Ecuación 4.5.

$$S_{de}(T_n) = \frac{T_n^2}{4\pi^2} \alpha A_0 C_d^*$$

**Ecuación 4.5**

Dónde:

$S_{de}$ : Espectro elástico de desplazamiento [cm]

$A_0$ : Aceleración efectiva máxima del suelo [cm/s<sup>2</sup>]

$T_n$ : Período de vibración del modo  $n$  [s].

$C_d^*$ : Parámetro que depende del tipo de suelo, según Tabla 4.5

**Tabla 4.5-Valores de  $C_d^*$ .**

| Tipo de suelo | $C_d^*$  | Rango de períodos                              |
|---------------|----------|--|
| D             | 1        | $T_n \leq 0,90 \text{ seg}$                    |
|               | $1,1T_n$ | $0,90 \text{ seg} < T_n \leq 1,75 \text{ seg}$ |
|               | 1,93     | $1,75 \text{ seg} < T_n \leq 5,0 \text{ seg}$  |

Para cada una de las estructuras analizadas el desplazamiento lateral de diseño estimado se muestra en la Tabla 4.6, y se grafica en la Figura 4.3, para la dirección X.

Tabla 4.6-Desplazamiento lateral de diseño máximo dirección X.

| Estructura | T* [seg] | Tag [seg] | $\delta u$ [cm] | Demanda[%h] |
|------------|----------|-----------|-----------------|-------------|
| Modelo I   | 0,05     | 0,07      | 0,09            | 0,02%       |
| Modelo II  | 0,18     | 0,25      | 1,95            | 0,16%       |
| Modelo III | 0,29     | 0,41      | 6,46            | 0,37%       |
| Modelo IV  | 0,50     | 0,70      | 18,16           | 0,73%       |
| Modelo V   | 0,51     | 0,73      | 19,27           | 0,64%       |
| Modelo VI  | 0,73     | 1,03      | 31,06           | 0,83%       |
| Modelo VII | 1,15     | 1,63      | 58,90           | 1,18%       |

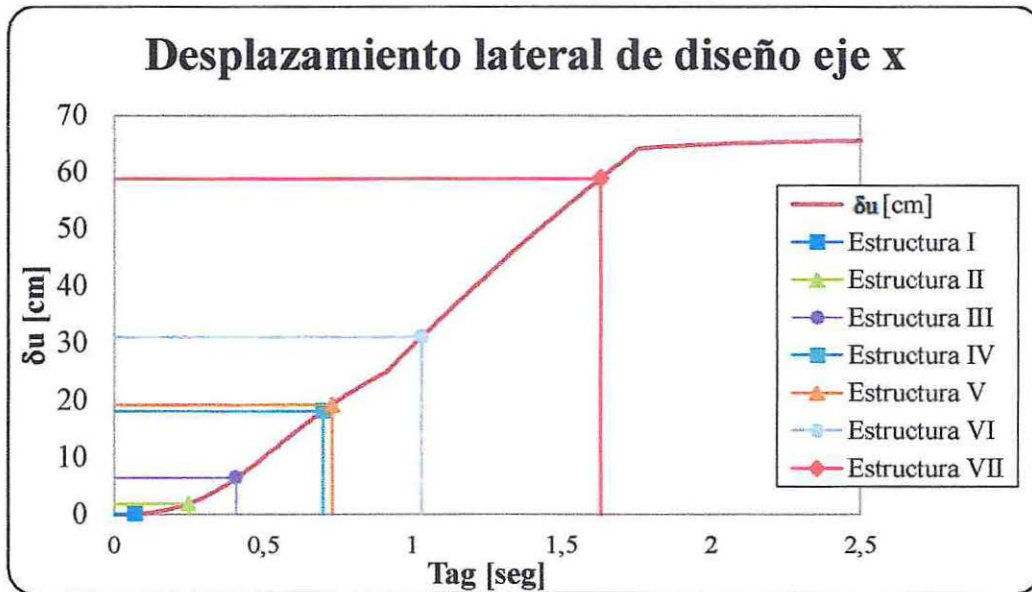


Figura 4.3- Desplazamiento lateral de diseño dirección X.

## Capítulo V

### 5 Norma de Aislamiento Basal NCh 2745 Of2003.

#### 5.1 Antecedentes generales.

La NCh 2745 Of 2003, “Análisis y diseño de edificios con aislación sísmica” declarada oficial en noviembre del 2003, es el fruto del trabajo del comité técnico del INN; contiene la traducción, comentario y adaptación del código Uniform Building Code del año 1997 (UBC1997). En la norma se considera la realidad sísmica chilena, sobre todo en el factor de reducción de respuesta.

La inclusión de sistemas de aislación sísmica va a la par con los nuevos conceptos de diseño estructural, en donde la protección sísmica es más amplia evitando daños en elementos estructurales, no estructurales, entregando una mayor seguridad a las personas, la inversión y teniendo presente la operabilidad de la estructura a través de un comportamiento controlado.

En este capítulo se presentarán las principales características y disposiciones de la norma NCh 2745 Of 2003.

#### 5.2 Diseño de la NCh 2745 Of 2003.

El diseño sismorresistente tradicional apela a la ductilidad característica de la estructura para aminorar y controlar las fuerzas provocadas por un sismo, *permaneciendo estable y gravitacionalmente sin daños masivos o fallas para desplazamientos que exceden con creces el límite de fluencia del sistema* [NCh2745 Of2003]. Para esto entra en un rango inelástico donde permite rotularse parcialmente vigas y columnas en su base, aprovechando la disipación de energía que estos elementos permiten. Esto se refiere a que un diseño sismorresistente eficiente debe garantizar que para un exigencia de ductilidad global, la ductilidad seccional, no sea superada. Bajo esta premisa es que se permiten daños en la estructura. Según especifica la NCh 433 Of 96 Mod. 2009. en sus principios establece que la estructura debe resistir sin daños movimientos de moderada intensidad, limitar los daños de elementos no estructurales durante sismos de mediana intensidad, y como fin último evitar el colapso de la estructura ante sismos severos, aunque se presenten daños.

Por otra parte, NCh 2745 Of 2003 establece en sus requerimientos para estructuras con sistema de aislación la garantía de protección a la vida y el mínimo deterioro de la estructura en cuestión y sus contenidos:

1. Resistir sismos pequeños y moderados sin daño en elementos estructurales, componentes no estructurales, y contenidos del edificio.
2. Resistir sismos severos sin que exista:
  - a) Falla del sistema de aislación.
  - b) Daño significativo a los elementos estructurales.
  - c) Daño masivo a elementos no estructurales.

Esto se logra gracias a que la estructura aislada se mantiene esencialmente en un rango elástico durante el sismo de diseño, ya que el desplazamiento lateral ocurre en la interfaz de aislación y no en la superestructura, reduciendo las aceleraciones, deformaciones de entrepiso y corte basal responsables de los daños.

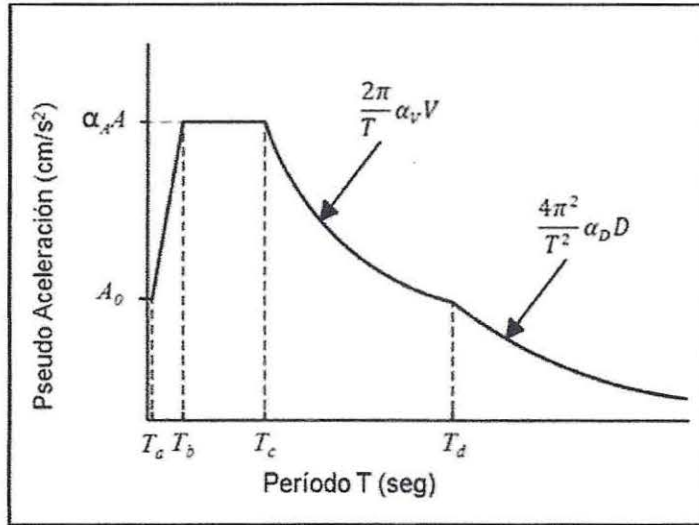
Como punto de partida, estos requisitos definen dos niveles sísmicos:

- *Sismo de diseño (SDI): Coincide con el nivel utilizado comúnmente en el diseño de estructuras convencionales consistente con una probabilidad de excedencia de 10% en 50 años.*
- *Sismo máximo posible (SMP): Corresponde al máximo nivel del movimiento del suelo que puede ocurrir dentro de un marco geológico conocido, y ha sido definido como el nivel que tiene una probabilidad de excedencia de un 10% en un periodo de 100 años.*

Como estipula la NCh2745 Of2003, los niveles de riesgo que ésta considera son distintos a los usados en la NCh433 Of2009, lo que se refleja en el espectro de diseño. El nuevo espectro debe mostrar mayor seguridad para el sistema de aislación, ya que la falla de ésta compromete la estabilidad vertical de la estructura.

### **5.3 Espectro de diseño.**

De acuerdo a la norma NCh 2745 el espectro de pseudo aceleración,  $S_{ae}$ , se debe construir de acuerdo a la definición genérica presentada en la Figura 5.1.



**Figura 5.1-** Definición genérica del espectro de pseudo aceleración.  
Fuente: NCh2745.Of2009.

Dónde:

$\alpha_A A$ ,  $\alpha_V V$ ,  $\alpha_D D$ ,  $T_a$ ,  $T_b$ ,  $T_c$ ,  $T_d$ : Parámetros que intervienen en la construcción del espectro de diseño y que dependen del tipo de suelo.

$A_0$ : Aceleración efectiva máxima del suelo.

La aceleración máxima de terreno es de 0,45g, para un suelo tipo D. Los parámetros sísmicos son los mismos para las siete estructuras analizadas, se presentan en la Tabla 5.1.

**Tabla 5.1-**Parámetros Sísmicos.

| Tipo Suelo |      | Ta'  | Tb'   | Tc'  | Td'  | $\alpha_{AA'}$    | $\alpha_{VV'}$ | $\alpha_{DD'}$ |
|------------|------|------|-------|------|------|-------------------|----------------|----------------|
| NCh 2745   | DS61 | s    | s     | s    | s    | cm/s <sup>2</sup> | cm/s           | cm             |
| III        | D    | 0,03 | 0,375 | 0,68 | 1,58 | 1 212             | 131            | 33             |

De acuerdo al análisis, el espectro elástico de pseudo aceleración para este caso, corresponde al grafico de la Figura 5.2.

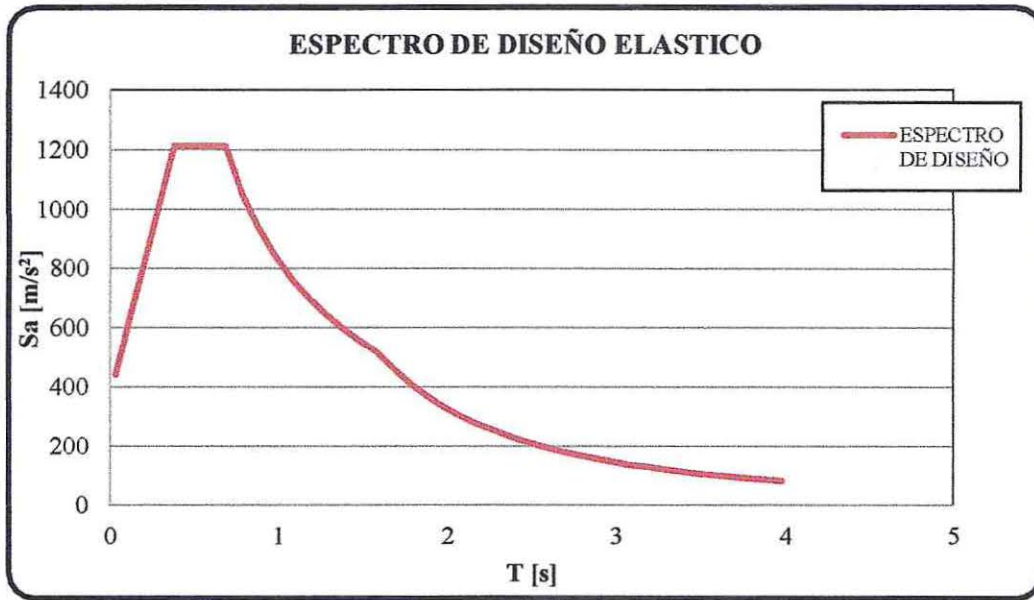


Figura 5.2- Espectro de diseño de pseudo-aceleración.

## 5.4 Resultados del análisis sísmico.

El espectro de diseño mostrado anteriormente corresponde al espectro elástico este se reduce con el factor  $R^*$ , transformándose en el espectro de diseño inelástico, cuyo parámetro depende de los materiales, estructuración y ductilidad de la estructura.

### 5.4.1 Limitaciones del esfuerzo de corte basal.

Para cada edificio se obtuvo el corte basal, a través del espectro elástico, la masa y los períodos fundamentales para la dirección X. Cuyos valores son mostrados en la Tabla 5.2:

Tabla 5.2-Corte Basal Elástico.

|               | Estructura I | Estructura II | Estructura III | Estructura IV | Estructura V | Estructura VI | Estructura VII |
|---------------|--------------|---------------|----------------|---------------|--------------|---------------|----------------|
| Período [S]   | 2.18         | 2.49          | 2.54           | 2.52          | 2.5          | 2.48          | 2.78           |
| Modo          | 1            | 1             | 1              | 1             | 1            | 1             | 1              |
| Masa [Tonf/g] | 24           | 52.81         | 65.53          | 90.99         | 135.55       | 163.94        | 222.84         |
| Q Basal[Tonf] | 97.1         | 153.06        | 168.79         | 237.65        | 362.94       | 453.49        | 476.06         |

## 5.5 Desplazamientos laterales mínimos.

### 5.5.1 Desplazamientos de diseño.

El sistema de aislación se debe diseñar para resistir como mínimo, desplazamientos laterales en los dos ejes principales de la estructura, se calculan según la Ecuación 5.1.

$$D_D = \frac{C_D}{B_D} \quad \text{Ecuación 5.1}$$

Dónde:

$C_D$ : Coeficiente sísmico de desplazamiento, correspondiente al tipo de suelo, según Tablas 5.3 y 5.4

$B_D$ : Coeficiente numérico relativo a la razón de amortiguamiento efectivo, según Tabla 5.5.

### 5.5.2 Desplazamiento máximo.

El desplazamiento máximo del sistema de aislación, en la dirección más crítica se debe calcular según la Ecuación 5.2.

$$D_M = \frac{C_M}{B_M} \quad \text{Ecuación 5.2}$$

Dónde:

$C_M$ : Coeficiente sísmico de desplazamiento, correspondiente al tipo de suelo, según Tablas 5.3, 5.4 y 5.5.

$B_M$ : Coeficiente numérico relativo a la razón de amortiguamiento efectivo, según Tabla 5.5

**Tabla 5.3-**Coeficientes sísmicos de desplazamiento.

| Tipo Suelo |       | CD    | CM       |
|------------|-------|-------|----------|
| NCh 2745   | DS61  | (mm)  | (mm)     |
| I          | A     | 200 Z | 200 Mm Z |
| II         | B     | 300 Z | 300 MM Z |
| III        | C y D | 330 Z | 330 MM Z |

**Tabla 5.4-**Factor que depende de la zonificación sísmica definida en NCh 433.

| Zona Sísmica | Z     |
|--------------|-------|
| 1            | 3/4   |
| 2            | 1     |
| 3            | 1 1/4 |

**Tabla 5.5-**Factores de modificación de respuesta por amortiguamiento.

| Amortiguamiento efectivo, $\beta_D$ o $\beta_M$ (%) | Factor BD y BM Suelos I, II y III |
|---|-----------------------------------|
| $\leq 2$  | 0,65                              |
| 5   | 1,00                              |
| 10  | 1,37                              |
| 15  | 1,67                              |
| 20  | 1,94                              |
| 25  | 2,17                              |
| 30  | 2,38                              |
| $\geq 50$   | 3,02                              |

**Tabla 5.6-**Factor de amplificación para el sismo máximo posible.

| Zona Sísmica | Mm  |
|--------------|-----|
| 1            | 1,2 |
| 2            | 1,2 |
| 3            | 1,2 |

En la Tabla 5.7 se pueden apreciar los valores para el  $D_D$  y  $D_M$  con un amortiguamiento del 12%.

**Tabla 5.7-**Valores del Desplazamiento de diseño y máximo.

| $D_D$ [m] | $D_M$ [m] |
|-----------|-----------|
| 0.28      | 0.33      |

### 5.5.3 Desplazamiento total.

Este debe incluir los desplazamientos adicionales debidos a la torsión natural y accidental calculada considerando la distribución espacial de la rigidez lateral del sistema de aislación y la ubicación menos favorable de la excentricidad de masa. La excentricidad de masa en planta se mide con respecto al centro de rigidez. El desplazamiento total de diseño  $D_{TD}$  se obtiene según la Ecuación 5.3:

$$D_{TD} = D_D \left[ 1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right] \quad \text{Ecuación 5.3}$$

Dónde:

$b$ : Dimensión más corta de la planta de la estructura, medida perpendicularmente a  $d$ .

$d$ : Dimensión en planta más larga de la estructura.

$e$ : Excentricidad real, medida en planta entre el centro de masa de la superestructura y el centro de rigidez del sistema de aislación.

$y$ : Distancia, entre el centro de rigidez del sistema de aislación y el elemento de interés..

El desplazamiento total puede ser menor al calculado con la ecuación 5.3 pero no menor a 1.1  $D_D$  ni a 1.1  $D_M$  respectivamente.

## 5.6 Fuerzas laterales mínimas.

### 5.6.1 Sistemas de aislación y elementos estructurales en el nivel o bajo el sistema de aislación.

El sistema de aislación y todos los elementos estructurales en el nivel o bajo el nivel de aislación, se deben diseñar para resistir una fuerza lateral mínimo  $V_b$ , según la Ecuación 5.4.

$$V_b = K_{D_{MAX}} D_D \quad \text{Ecuación 5.4}$$

Donde el  $K_{D_{MAX}}$ , es la rigidez efectiva o secante máxima del sistema de aislación.

### 5.6.2 Elementos estructurales sobre el sistema de aislación.

La estructura sobre el sistema de aislación, se debe diseñar para resistir como mínimo una fuerza lateral  $V_s$ , según la Ecuación 5.5.

$$V_s = \frac{K_{D_{MAX}} D_D}{R_l} \quad \text{Ecuación 5.5}$$

Donde  $R_l$  es el coeficiente de reducción para estructuras aisladas sísmicamente, este es siempre menor a 2 y  $V_s$  no debe ser menor a la fuerza de corte obtenida para una base fija con el mismo período de la estructura aislada ni tampoco a 1.5 veces la fuerza requerida para activar el sistema de aislación.

En la Tabla 5.8 se muestran los valores para las fuerzas laterales mínimas para cada estructura.

**Tabla 5.8-Fuerzas laterales mínimas.**

| Estructuras | $V_b$ [tonf] | $V_s$ [tonf] |
|-------------|--------------|--------------|
| I           | 65.18        | 32.59        |
| II          | 103.04       | 51.52        |
| III         | 125.87       | 62.93        |
| IV          | 163.72       | 81.86        |
| V           | 250.48       | 125.24       |
| VI          | 323.54       | 161.77       |
| VII         | 365.3        | 182.65       |

El espectro de diseño de pseudo-aceleración resulta al reducir el espectro elástico mediante el factor  $R^*$ , el cual se obtuvo entre la relación del corte basal elástico y el corte lateral total de diseño en los elementos de la superestructura ( $V_s$ ), los valores para  $R^*$  se muestran en la Tabla 5.9.

**Tabla 5.9-Factor de reducción.**

|                 | Estructura I | Estructura II | Estructura III | Estructura IV | Estructura V | Estructura VI | Estructura VII |
|-----------------|--------------|---------------|----------------|---------------|--------------|---------------|----------------|
| $R^*$           | 3.18         | 2.97          | 2.68           | 2.9           | 2.89         | 2.8           | 2.61           |
| Qefectivo[Tonf] | 32.59        | 51.52         | 62.93          | 81.86         | 125.24       | 161.8         | 182.65         |

## **5.7 Límite de desplazamiento de entrepiso.**

Según lo estipulado en el apartado 7.6 de la norma NCh 2745 Of.2003, para los pisos de la superestructura, el desplazamiento relativo máximo entre dos pisos consecutivos, medido en el centro de masas en cada una de las direcciones de análisis, no debe ser mayor que la altura de entrepiso multiplicada por 0,002.

En la Figura 5.3 se grafican los desplazamientos laterales de la superestructura en la dirección de análisis para cada estructura, en relación al máximo permitido por la norma.

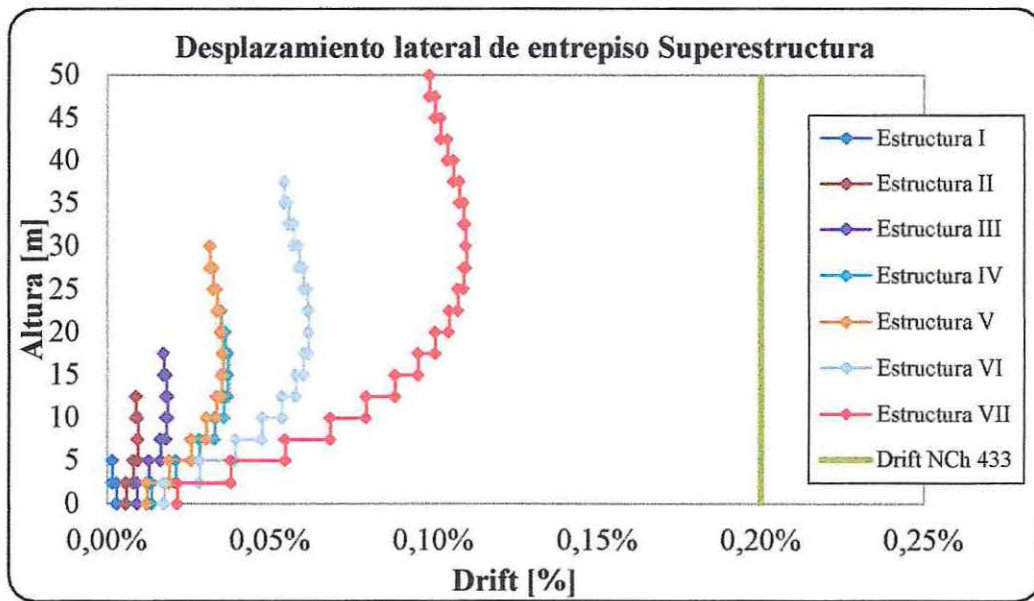


Figura 5.3- Desplazamiento lateral de entropiso dirección X.

Cabe destacar que las deformaciones producidas en el aislador no han sido consideradas en la figura anterior.

## Capítulo VI

### 6 Diseño de Elementos.

En este capítulo se presenta el diseño de los elementos de hormigón armado que constituyen las estructuras, de acuerdo a las disposiciones establecidas en el código ACI 318-08 y en el Decreto Supremo N° 60.

#### 6.1 Resistencia de diseño.

Para el diseño de los elementos de hormigón armado, se debe cumplir con la condición de diseño, especificada en el código ACI 318-08, de modo que:

$$\phi \text{ Resistencia Nominal} \geq \text{Resistencia Última}$$

Los factores de reducción de resistencia  $\phi$ , se especifican en los puntos 9.3.2.1 a 9.3.2.7 del código ACI 318-08, los cuales se muestran a continuación:

|  |      |
|--|------|
| Cortante y torsión   | 0,75 |
| Secciones controladas por tracción                             | 0,9  |
| Secciones controladas por compresión con refuerzo en espiral   | 0,7  |
| Secciones controladas por compresión con otro tipo de refuerzo | 0,65 |
| Cortante Sísmico (9.3.4 ACI 318-08)                            | 0,6  |

Para elementos sometidos a flexo-compresión, el factor de reducción de resistencia  $\phi$ , varía en función de la deformación unitaria del acero, tal como se muestra en la Figura 6.1.

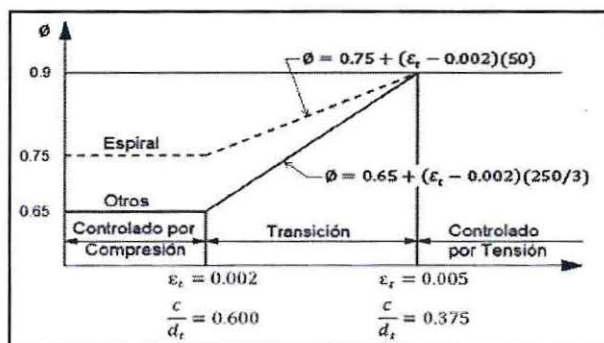


Figura 6.1-Variación de  $\phi$  para carga flexo-compresión.  
Fuente: ACI 318-08.

## 6.2 Elementos sometidos a flexión.

Los elementos sometidos a flexión deben cumplir con los requisitos especificados en el punto 21.5 del Código ACI 318-08.

En la Figura 6.2, se muestra la ubicación de los elementos sometidos a flexión en el eje analizado de las diferentes estructuras.

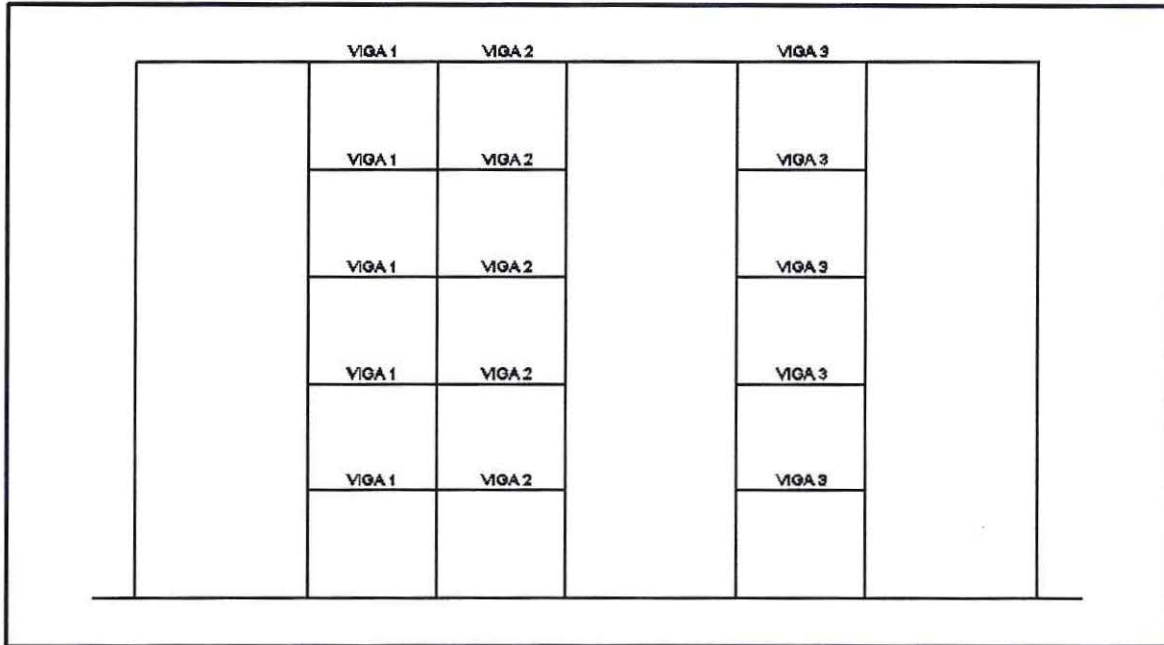


Figura 6.2- Distribución de vigas en estructura tipo.

Para determinar el refuerzo longitudinal de cada uno de los elementos sometidos a flexión, se debió verificar el valor de los esfuerzos producidos en dichos elementos, considerando el máximo valor para cada una de las vigas. En las Tablas 6.1 y 6.2 se detallan las armaduras a flexión para cada una de las vigas de las estructuras de base fija y con aislación basal analizadas.

**Tabla 6.1-Armadura a flexión de vigas en estructura convencional.**

| Edificio | Viga | Sección | As min | Posición Armadura | As requerida | As suministrada | Armadura        |
|----------|------|---------|--------|-------------------|--------------|-----------------|-----------------|
| 2 Pisos  | 1    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 2.11         | 4.020           | 2φ16            |
|          |      |         |        | Inf               | 1.00         | 4.020           | 2 φ16           |
|          | 2    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 3.62         | 4.020           | 2 φ16           |
|          |      |         |        | Inf               | 3.19         | 4.020           | 2 φ16           |
|          | 3    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 0.64         | 4.020           | 2 φ 16          |
|          |      |         |        | Inf               | 0.64         | 4.020           | 2 φ 16          |
| 5 Pisos  | 1    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 6.64         | 7.63            | 3 φ18           |
|          |      |         |        | Inf               | 4.40         | 6.03            | 3 φ16           |
|          | 2    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 5.72         | 6.03            | 3 φ16           |
|          |      |         |        | Inf               | 3.62         | 4.02            | 2 φ16           |
|          | 3    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 0            | 4.02            | 2 φ 16          |
|          |      |         |        | Inf               | 0.64         | 4.02            | 2 φ 16          |
| 7 Pisos  | 1    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 10.82        | 11.40           | 3 φ 22          |
|          |      |         |        | Inf               | 6.64         | 7.63            | 3 φ18           |
|          | 2    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 8.89         | 10.05           | 5 φ 16          |
|          |      |         |        | Inf               | 4.44         | 5.09            | 2 φ 18          |
|          | 3    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 0            | 4.02            | 2 φ 16          |
|          |      |         |        | Inf               | 0.47         | 4.02            | 2 φ 16          |
| 10 Pisos | 1    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 18.18        | 18.47           | 3 φ 28          |
|          |      |         |        | Inf               | 16.32        | 18.47           | 3 φ 28          |
|          | 2    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 15.97        | 18.47           | 3 φ 28          |
|          |      |         |        | Inf               | 11.63        | 12.72           | 5 φ 18          |
|          | 3    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 0            | 4.02            | 2 φ16           |
|          |      |         |        | Inf               | 0.64         | 4.02            | 2 φ 16          |
| 12 Pisos | 1    | 30/60   | 5.50   | Sup               | 27.9         | 29.45           | 6 φ 25          |
|          |      |         |        | Inf               | 10.82        | 11.4            | 3 φ 22          |
|          | 2    | 30/60   | 5.50   | Sup               | 24.42        | 24.54           | 5 φ 25          |
|          |      |         |        | Inf               | 19.19        | 24.54           | 5 φ25           |
|          | 3    | 30/60   | 5.50   | Sup               | 0            | 6.03            | 3 φ16           |
|          |      |         |        | Inf               | 0.64         | 6.03            | 3 φ 16          |
| 15 Pisos | 1    | 30/60   | 5.50   | Sup               | 35.24        | 36.95           | 6 φ 28          |
|          |      |         |        | Inf               | 5.89         | 6.03            | 3 φ 16          |
|          | 2    | 30/60   | 5.50   | Sup               | 32.69        | 33.95           | 3 φ 32 + 2 φ 25 |
|          |      |         |        | Inf               | 27.35        | 30.79           | 5 φ 28          |
|          | 3    | 30/60   | 5.50   | Sup               | 0            | 6.03            | 3 φ16           |
|          |      |         |        | Inf               | 0.64         | 6.03            | 3 φ 16          |
| 20 Pisos | 1    | 30/60   | 5.50   | Sup               | 26.58        | 29.45           | 6 φ 25          |
|          |      |         |        | Inf               | 10.84        | 11.4            | 3 φ22           |
|          | 2    | 30/60   | 5.50   | Sup               | 25.97        | 29.45           | 6 φ25           |
|          |      |         |        | Inf               | 20.81        | 24.54           | 5 φ 25          |
|          | 3    | 30/60   | 5.50   | Sup               | 0            | 6.03            | 3 φ16           |
|          |      |         |        | Inf               | 0.64         | 6.03            | 3 φ 16          |

**Tabla 6.2-Armadura a flexión de vigas en estructura aislada.**

| Edificio | Viga | Sección | As min | Posición Armadura | As requerida | As suministrada | Armadura                  |
|----------|------|---------|--------|-------------------|--------------|-----------------|---------------------------|
| 2 Pisos  | 1    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 1.74         | 4.020           | 2 $\phi$ 16               |
|          |      |         |        | Inf               | 0.87         | 4.020           | 2 $\phi$ 16               |
|          | 2    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 3.90         | 4.020           | 2 $\phi$ 16               |
|          |      |         |        | Inf               | 3.61         | 4.020           | 2 $\phi$ 16               |
|          | 3    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 0.00         | 4.020           | 2 $\phi$ 16               |
|          |      |         |        | Inf               | 0.64         | 4.020           | 2 $\phi$ 16               |
| 5 Pisos  | 1    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 3.61         | 4.02            | 2 $\phi$ 16               |
|          |      |         |        | Inf               | 2.14         | 4.02            | 2 $\phi$ 16               |
|          | 2    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 4.34         | 5.09            | 2 $\phi$ 18               |
|          |      |         |        | Inf               | 3.61         | 4.02            | 2 $\phi$ 16               |
|          | 3    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 0            | 4.02            | 2 $\phi$ 16               |
|          |      |         |        | Inf               | 0.64         | 4.02            | 2 $\phi$ 16               |
| 7 Pisos  | 1    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 4.70         | 5.09            | 2 $\phi$ 18               |
|          |      |         |        | Inf               | 3.62         | 4.02            | 2 $\phi$ 16               |
|          | 2    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 4.93         | 5.09            | 2 $\phi$ 18               |
|          |      |         |        | Inf               | 3.19         | 4.02            | 2 $\phi$ 16               |
|          | 3    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 0            | 4.02            | 2 $\phi$ 16               |
|          |      |         |        | Inf               | 0.64         | 4.02            | 2 $\phi$ 16               |
| 10 Pisos | 1    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 7.20         | 7.6             | 2 $\phi$ 22               |
|          |      |         |        | Inf               | 5.35         | 6.03            | 3 $\phi$ 16               |
|          | 2    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 7.00         | 7.6             | 2 $\phi$ 22               |
|          |      |         |        | Inf               | 3.62         | 4.02            | 2 $\phi$ 16               |
|          | 3    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 0            | 4.02            | 2 $\phi$ 16               |
|          |      |         |        | Inf               | 0.47         | 4.02            | 2 $\phi$ 16               |
| 12 Pisos | 1    | 30/60   | 5.50   | Sup               | 11.12        | 11.4            | 3 $\phi$ 22               |
|          |      |         |        | Inf               | 8.39         | 9.82            | 2 $\phi$ 25               |
|          | 2    | 30/60   | 5.50   | Sup               | 10.08        | 11.4            | 3 $\phi$ 22               |
|          |      |         |        | Inf               | 5.64         | 6.03            | 3 $\phi$ 16               |
|          | 3    | 30/60   | 5.50   | Sup               | 0            | 6.03            | 3 $\phi$ 16               |
|          |      |         |        | Inf               | 0.64         | 6.03            | 3 $\phi$ 16               |
| 15 Pisos | 1    | 30/60   | 5.50   | Sup               | 16.46        | 16.49           | 3 $\phi$ 22 + 2 $\phi$ 18 |
|          |      |         |        | Inf               | 13.56        | 14.73           | 3 $\phi$ 25               |
|          | 2    | 30/60   | 5.50   | Sup               | 14.80        | 15.21           | 4 $\phi$ 22               |
|          |      |         |        | Inf               | 10.17        | 11.4            | 3 $\phi$ 22               |
|          | 3    | 30/60   | 5.50   | Sup               | 0            | 6.03            | 3 $\phi$ 16               |
|          |      |         |        | Inf               | 0.64         | 6.03            | 3 $\phi$ 16               |
| 20 Pisos | 1    | 30/60   | 5.50   | Sup               | 22.45        | 22.49           | 3 $\phi$ 28 + 2 $\phi$ 16 |
|          |      |         |        | Inf               | 19.23        | 14.73           | 3 $\phi$ 25               |
|          | 2    | 30/60   | 5.50   | Sup               | 21.47        | 22.33           | 3 $\phi$ 25 + 2 $\phi$ 22 |
|          |      |         |        | Inf               | 16.58        | 18.47           | 3 $\phi$ 28               |
|          | 3    | 30/60   | 5.50   | Sup               | 0            | 6.03            | 3 $\phi$ 16               |
|          |      |         |        | Inf               | 0.64         | 6.03            | 3 $\phi$ 16               |

En las Figuras 6.3 y 6.4, se representa la distribución del refuerzo longitudinal en los elementos sometidos a flexión de las estructuras analizadas.

| 2 Pisos                        |                                |                                | 5 Pisos                        |  |                                |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--|--------------------------------|
| Viga 1                         | Viga 2                         | Viga 3                         | Viga 1                         | Viga 2                                     | Viga 3                         |
| $2 \phi 16$<br><br>$2 \phi 16$ | $2 \phi 16$<br><br>$2 \phi 16$ | $2 \phi 16$<br><br>$2 \phi 16$ | $3 \phi 18$<br><br>$3 \phi 16$ | $3 \phi 16$<br><br>$2 \phi 16$             | $2 \phi 16$<br><br>$2 \phi 16$ |
| 7 Pisos                        |                                |                                | 10 Pisos                       |  |                                |
| Viga 1                         | Viga 2                         | Viga 3                         | Viga 1                         | Viga 2                                     | Viga 3                         |
| $3 \phi 22$<br><br>$3 \phi 18$ | $5 \phi 16$<br><br>$2 \phi 18$ | $2 \phi 16$<br><br>$2 \phi 16$ | $3 \phi 28$<br><br>$3 \phi 28$ | $3 \phi 28$<br><br>$5 \phi 18$             | $2 \phi 16$<br><br>$2 \phi 16$ |
| 12 Pisos                       |                                |                                | 15 Pisos                       |  |                                |
| Viga 1                         | Viga 2                         | Viga 3                         | Viga 1                         | Viga 2                                     | Viga 3                         |
| $6 \phi 25$<br><br>$3 \phi 22$ | $5 \phi 25$<br><br>$5 \phi 25$ | $3 \phi 16$<br><br>$3 \phi 16$ | $6 \phi 28$<br><br>$3 \phi 16$ | $3 \phi 32 + 2 \phi 25$<br><br>$5 \phi 28$ | $3 \phi 16$<br><br>$3 \phi 16$ |
| 20 Pisos                       |                                |                                |                                |  |                                |
| Viga 1                         | Viga 2                         | Viga 3                         |                                |  |                                |
| $6 \phi 25$<br><br>$3 \phi 22$ | $6 \phi 25$<br><br>$5 \phi 25$ | $3 \phi 16$<br><br>$3 \phi 16$ |                                |  |                                |

Figura 6.3- Distribución de refuerzo a flexión en vigas, estructuras convencionales.


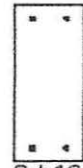





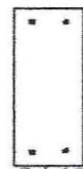









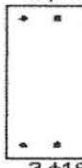
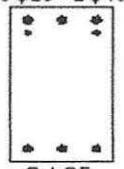
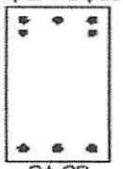
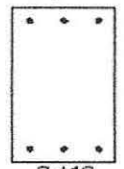
| 2 Pisos   |  |   | 5 Pisos  |   |  |
|---|--|---|--|---|--|
| Viga 1  | Viga 2   | Viga 3  | Viga 1   | Viga 2  | Viga 3   |
| 2 $\phi$ 16<br><br>2 $\phi$ 16                 | 2 $\phi$ 16<br><br>2 $\phi$ 16  | 2 $\phi$ 16<br><br>2 $\phi$ 16                 | 2 $\phi$ 16<br><br>2 $\phi$ 16                | 2 $\phi$ 18<br><br>2 $\phi$ 16   | 2 $\phi$ 16<br><br>2 $\phi$ 16  |
| 7 Pisos   |  |   | 10 Pisos   |   |  |
| Viga 1  | Viga 2   | Viga 3  | Viga 1   | Viga 2  | Viga 3   |
| 2 $\phi$ 18<br><br>2 $\phi$ 16                 | 2 $\phi$ 18<br><br>2 $\phi$ 16  | 2 $\phi$ 16<br><br>2 $\phi$ 16                 | 2 $\phi$ 22<br><br>3 $\phi$ 16                | 2 $\phi$ 22<br><br>2 $\phi$ 16   | 2 $\phi$ 16<br><br>2 $\phi$ 16  |
| 12 Pisos  |  |   | 15 Pisos   |   |  |
| Viga 1  | Viga 2   | Viga 3  | Viga 1   | Viga 2  | Viga 3   |
| 3 $\phi$ 22<br><br>2 $\phi$ 25                | 3 $\phi$ 22<br><br>3 $\phi$ 16 | 3 $\phi$ 16<br><br>3 $\phi$ 16                | 3 $\phi$ 22 + 2 $\phi$ 18<br><br>3 $\phi$ 25 | 4 $\phi$ 22<br><br>3 $\phi$ 22  | 3 $\phi$ 16<br><br>3 $\phi$ 16 |
| 20 Pisos  |  |   |  |   |  |
| Viga 1  |  | Viga 2  |  | Viga 3  |  |
| 3 $\phi$ 28 + 2 $\phi$ 16<br><br>3 $\phi$ 25 |  | 3 $\phi$ 25 + 2 $\phi$ 22<br><br>2 $\phi$ 28 |  | 3 $\phi$ 16<br><br>3 $\phi$ 16 |  |

Figura 6.4- Distribución de refuerzo a flexión en vigas, estructuras aisladas.

### 6.2.1 Refuerzo transversal.

El refuerzo transversal se requiere principalmente para confinar el hormigón, para resistir al corte y dar soporte lateral a las barras de refuerzo en regiones en las que se espere fluencia.

- a) Deben disponerse estribos cerrados de confinamiento en las siguientes regiones:
  - ✓ En una longitud igual a dos veces la altura del elemento, medida desde la cara de los elementos de apoyo hacia el centro de la luz, en ambos extremos de los elementos en flexión.
- b) El primer estribo cerrado de confinamiento debe estar situado a no más de 50 [mm] de la cara del elemento de apoyo. El espaciamiento de los estribos cerrados de confinamiento no debe exceder del menor de:
  - ✓  $d/4$
  - ✓ ocho veces el diámetro de las barras longitudinales más pequeñas.
  - ✓ 24 veces el diámetro de la barra del estribo cerrado de confinamiento.
  - ✓ 300 [mm].
- c) Cuando se requieran estribos cerrados de confinamiento, los estribos deben disponerse de tal forma que cada barra longitudinal de esquina y barra alterna tenga apoyo lateral proporcionado por la esquina de un estribo con un ángulo interior no mayor de  $135^\circ$ , y ninguna barra longitudinal debe estar separada más de 150 [mm] libres de una barra apoyada lateralmente.
- d) Cuando no se requieran estribos cerrados de confinamiento, deben colocarse estribos con ganchos sísmicos en ambos extremos, espaciados a no más de  $d/2$  en toda la longitud del elemento.
- e) Los estribos que se requieran para resistir esfuerzos de corte, deben ser estribos cerrados de confinamiento colocados en los lugares dentro de los elementos descritos en el punto (a) anterior.
- f) Se permite que los estribos cerrados de confinamiento en elementos en flexión, sean hechos hasta de dos piezas de refuerzo: un estribo con un gancho sísmico en cada extremo y cerrado por un gancho suplementario.

### 6.2.2 Requisitos al corte.

El esfuerzo de corte de diseño,  $V_e$ , se debe determinar a partir de las fuerzas estáticas en la parte del elemento comprendida entre las caras del nudo. Se debe suponer que en las caras de los nudos localizados en los extremos del elemento actúan momentos de signo opuesto correspondientes a la resistencia probable,  $M_{pr}$ , y que el elemento está además cargado con cargas gravitacionales mayoradas a lo largo de la luz.

En la determinación de las fuerzas laterales equivalentes que representan los efectos del sismo, se supone que los elementos del marco (vigas), disiparán energía en el rango no lineal de respuesta, y debe suponerse que la armadura longitudinal llegara a la fluencia en el caso de un sismo severo.

La fuerza cortante de diseño debe ser una buena aproximación del cortante máximo que se puede desarrollar en un elemento. Por lo tanto, la resistencia al corte requerida en elementos de marco está relacionada con la resistencia a flexión de dicho elemento más que con las fueras cortantes mayoradas obtenidas del análisis de cargas laterales.

Cabe destacar que la resistencia de fluencia real del refuerzo longitudinal puede exceder la resistencia de fluencia especificada y debido a que es probable que ocurra endurecimiento por deformación del refuerzo en un nudo sometido a grandes rotaciones, la resistencia al cortante requerida se determina usando un esfuerzo de al menos  $1.25 f_y$ , para el refuerzo longitudinal.

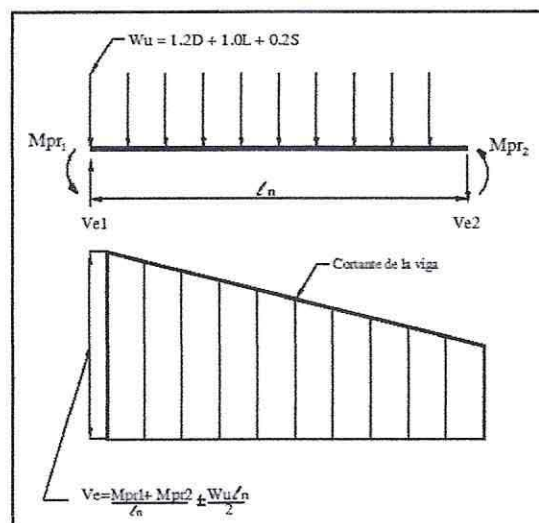


Figura 6.5- Corte de diseño para vigas.

Fuente: Elaboración propia.

$$M_{pr\ viga} = 1,25f_y(A_s - A'_s) \left( d - \frac{1,25f_y(A_s - A'_s)}{2 * 0,85f'_c b} \right) + 1,25f_y A'_s (d - d') \quad \text{Ecuación 6.1}$$

$$V_{e\ viga} = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} \pm \frac{W_u}{2} l_n \quad \text{Ecuación 6.2}$$

En la tabla 6.3 y 6.4 se detallan los momentos probables, el corte por capacidad y el corte gravitacional de las vigas para cada una de las estructuras analizadas, se incluye el corte máximo de diseño.

**Tabla 6.3-**Esfuerzos de diseño de corte en vigas, estructuras convencionales.

| Estructura | Viga | Sección | As min [cm <sup>2</sup> ] | Posición Armadura | As sum. [cm <sup>2</sup> ] | Mpr 1 [T-m] | Mpr2 [T-m] | Vcap [T] | Vgrav [T] | Ve dis [T] | Vn |
|------------|------|---------|---------------------------|-------------------|----------------------------|-------------|------------|----------|-----------|------------|----|
| I          | 1    | 20/60   | 3.67                      | Sup               | 4.020                      | 10.95       | 10.95      | 14.60    | 5.71      | 20.3       | 41 |
|            |      |         |                           | Inf               | 4.020                      | 10.95       | 10.95      | 14.60    | 5.71      | 20.3       | 41 |
|            | 2    | 20/60   | 3.67                      | Sup               | 4.020                      | 10.95       | 10.95      | 7.30     | 11.04     | 18.3       | 41 |
|            |      |         |                           | Inf               | 4.020                      | 10.95       | 10.95      | 7.30     | 11.04     | 18.3       | 41 |
|            | 3    | 20/60   | 3.67                      | Sup               | 4.020                      | 10.95       | 10.95      | 21.91    | 3.38      | 25.3       | 41 |
|            |      |         |                           | Inf               | 4.020                      | 10.95       | 10.95      | 21.91    | 3.38      | 25.3       | 41 |
| II         | 1    | 20/60   | 3.67                      | Sup               | 7.63                       | 19.67       | 19.67      | 23.74    | 6.19      | 29.9       | 41 |
|            |      |         |                           | Inf               | 6.03                       | 15.93       | 15.93      | 23.74    | 6.19      | 29.9       | 41 |
|            | 2    | 20/60   | 3.67                      | Sup               | 6.03                       | 15.93       | 15.93      | 8.96     | 10.80     | 19.8       | 41 |
|            |      |         |                           | Inf               | 4.02                       | 10.95       | 10.95      | 8.96     | 10.80     | 19.8       | 41 |
|            | 3    | 20/60   | 3.67                      | Sup               | 4.02                       | 10.95       | 10.95      | 21.91    | 3.38      | 25.3       | 41 |
|            |      |         |                           | Inf               | 4.02                       | 10.95       | 10.95      | 21.91    | 3.38      | 25.3       | 41 |
| III        | 1    | 20/60   | 3.67                      | Sup               | 11.40                      | 27.65       | 27.65      | 31.55    | 6.30      | 37.8       | 41 |
|            |      |         |                           | Inf               | 7.63                       | 19.67       | 19.67      | 31.55    | 6.30      | 37.8       | 41 |
|            | 2    | 20/60   | 3.67                      | Sup               | 10.05                      | 24.92       | 24.92      | 12.86    | 10.68     | 23.5       | 41 |
|            |      |         |                           | Inf               | 5.09                       | 13.64       | 13.64      | 12.86    | 10.68     | 23.5       | 41 |
|            | 3    | 20/60   | 3.67                      | Sup               | 4.02                       | 10.95       | 10.95      | 21.91    | 3.38      | 25.3       | 41 |
|            |      |         |                           | Inf               | 4.02                       | 10.95       | 10.95      | 21.91    | 3.38      | 25.3       | 41 |
| IV         | 1    | 20/60   | 3.67                      | Sup               | 14.73                      | 33.73       | 33.73      | 33.12    | 6.40      | 39.5       | 41 |
|            |      |         |                           | Inf               | 6.03                       | 15.93       | 15.93      | 33.12    | 6.40      | 39.5       | 41 |
|            | 2    | 20/60   | 3.67                      | Sup               | 18.47                      | 39.50       | 39.50      | 23.23    | 10.46     | 33.7       | 41 |
|            |      |         |                           | Inf               | 12.72                      | 30.17       | 30.17      | 23.23    | 10.46     | 33.7       | 41 |
|            | 3    | 20/60   | 3.67                      | Sup               | 4.02                       | 10.95       | 10.95      | 21.91    | 3.38      | 25.3       | 41 |
|            |      |         |                           | Inf               | 4.02                       | 10.95       | 10.95      | 21.91    | 3.38      | 25.3       | 41 |

| Estructura | Viga | Sección | As min | Posición Armadura | As sum. [cm <sup>2</sup> ] | Mpr 1 [T-m] | Mpr2 [T-m] | Vcap [T] | Vgrav [T] | Ve dis [T] | Vn |
|------------|------|---------|--------|-------------------|----------------------------|-------------|------------|----------|-----------|------------|----|
| V          | 1    | 30/60   | 4.58   | Sup               | 29.45                      | 69.41       | 69.41      | 66.66    | 7.4       | 74.1       | 76 |
|            |      |         |        | Inf               | 11.4                       | 30.58       | 30.58      | 66.66    | 7.4       | 74.1       | 76 |
|            | 2    | 30/60   | 4.58   | Sup               | 24.54                      | 60.01       | 60.01      | 40.01    | 10.99     | 51.0       | 76 |
|            |      |         |        | Inf               | 24.54                      | 60.01       | 60.01      | 40.01    | 10.99     | 51.0       | 76 |
|            | 3    | 30/60   | 4.58   | Sup               | 6.03                       | 16.76       | 16.76      | 33.51    | 3.47      | 37.0       | 76 |
|            |      |         |        | Inf               | 6.03                       | 16.76       | 16.76      | 33.51    | 3.47      | 37.0       | 76 |
| VI         | 1    | 30/60   | 4.58   | Sup               | 36.95                      | 82.10       | 82.10      | 65.90    | 7.42      | 73.3       | 76 |
|            |      |         |        | Inf               | 6.03                       | 16.76       | 16.76      | 65.90    | 7.42      | 73.3       | 76 |
|            | 2    | 30/60   | 4.58   | Sup               | 33.95                      | 77.27       | 77.27      | 49.70    | 10.92     | 60.6       | 76 |
|            |      |         |        | Inf               | 30.79                      | 71.83       | 71.83      | 49.70    | 10.92     | 60.6       | 76 |
|            | 3    | 30/60   | 4.58   | Sup               | 6.03                       | 16.76       | 16.76      | 33.51    | 3.47      | 37.0       | 76 |
|            |      |         |        | Inf               | 6.03                       | 16.76       | 16.76      | 33.51    | 3.47      | 37.0       | 76 |
| VII        | 1    | 30/60   | 4.58   | Sup               | 29.45                      | 69.41       | 69.41      | 66.66    | 7.43      | 74.1       | 76 |
|            |      |         |        | Inf               | 11.4                       | 30.58       | 30.58      | 66.66    | 7.43      | 74.1       | 76 |
|            | 2    | 30/60   | 4.58   | Sup               | 29.45                      | 69.41       | 69.41      | 43.14    | 10.85     | 54.0       | 76 |
|            |      |         |        | Inf               | 24.54                      | 60.01       | 60.01      | 43.14    | 10.85     | 54.0       | 76 |
|            | 3    | 30/60   | 4.58   | Sup               | 6.03                       | 16.76       | 16.76      | 33.51    | 3.47      | 37.0       | 76 |
|            |      |         |        | Inf               | 6.03                       | 16.76       | 16.76      | 33.51    | 3.47      | 37.0       | 76 |

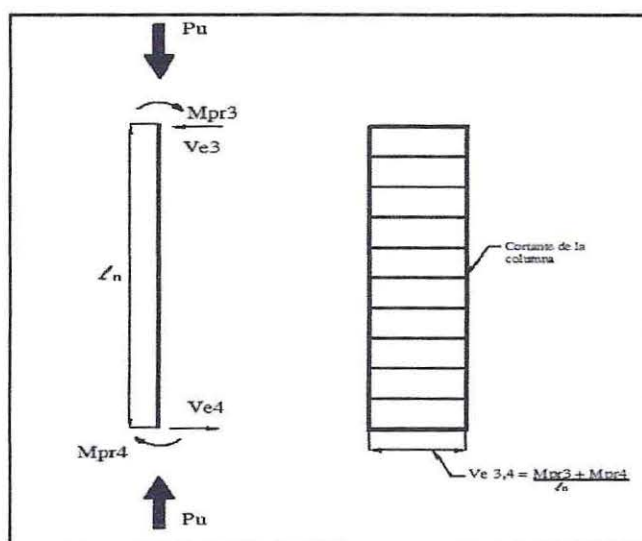
**Tabla 6.4-Esfuerzos de diseño de corte en vigas, estructuras aisladas.**

| Estructura | Viga | Sección | As min[cm <sup>2</sup> ] | Posición Armadura | As sum. [cm <sup>2</sup> ] | Mpr 1 [T-m] | Mpr2 [T-m] | Vcap [T] | Vgrav [T] | Ve dis [T] | Vn |
|------------|------|---------|--------------------------|-------------------|----------------------------|-------------|------------|----------|-----------|------------|----|
| I          | 1    | 20/60   | 3.67                     | Sup               | 4.02                       | 10.95       | 10.95      | 14.60    | 5.61      | 20.2       | 41 |
|            |      |         |                          | Inf               | 4.02                       | 10.95       | 10.95      | 14.60    | 5.61      | 20.2       | 41 |
|            | 2    | 20/60   | 3.67                     | Sup               | 4.02                       | 10.95       | 10.95      | 7.30     | 10.83     | 18.1       | 41 |
|            |      |         |                          | Inf               | 4.02                       | 10.95       | 10.95      | 7.30     | 10.83     | 18.1       | 41 |
|            | 3    | 20/60   | 3.67                     | Sup               | 4.02                       | 10.95       | 10.95      | 21.91    | 3.38      | 25.3       | 41 |
|            |      |         |                          | Inf               | 4.02                       | 10.95       | 10.95      | 21.91    | 3.38      | 25.3       | 41 |
| II         | 1    | 20/60   | 3.67                     | Sup               | 4.02                       | 10.95       | 10.95      | 14.60    | 6.09      | 20.7       | 41 |
|            |      |         |                          | Inf               | 4.02                       | 10.95       | 10.95      | 14.60    | 6.09      | 20.7       | 41 |
|            | 2    | 20/60   | 3.67                     | Sup               | 5.09                       | 13.65       | 13.65      | 8.20     | 10.52     | 18.7       | 41 |
|            |      |         |                          | Inf               | 4.02                       | 10.95       | 10.95      | 8.20     | 10.52     | 18.7       | 41 |
|            | 3    | 20/60   | 3.67                     | Sup               | 4.02                       | 10.95       | 10.95      | 21.91    | 3.38      | 25.3       | 41 |
|            |      |         |                          | Inf               | 4.02                       | 10.95       | 10.95      | 21.91    | 3.38      | 25.3       | 41 |
| III        | 1    | 20/60   | 3.67                     | Sup               | 5.09                       | 13.65       | 13.65      | 16.40    | 6.29      | 22.7       | 41 |
|            |      |         |                          | Inf               | 4.02                       | 10.95       | 10.95      | 16.40    | 6.29      | 22.7       | 41 |
|            | 2    | 20/60   | 3.67                     | Sup               | 5.09                       | 13.65       | 13.65      | 8.20     | 10.67     | 18.9       | 41 |
|            |      |         |                          | Inf               | 4.02                       | 10.95       | 10.95      | 8.20     | 10.67     | 18.9       | 41 |
|            | 3    | 20/60   | 3.67                     | Sup               | 4.02                       | 10.95       | 10.95      | 21.91    | 3.38      | 25.3       | 41 |
|            |      |         |                          | Inf               | 4.02                       | 10.95       | 10.95      | 21.91    | 3.38      | 25.3       | 41 |

| Estructura | Viga | Sección | As min | Posición Armadura | As sum. [cm <sup>2</sup> ] | Mpr 1 [T-m] | Mpr2 [T-m] | Vcap [T] | Vgrav [T] | Ve dis [T] | Vn |
|------------|------|---------|--------|-------------------|----------------------------|-------------|------------|----------|-----------|------------|----|
| IV         | 1    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 7.6                        | 19.60       | 19.60      | 23.69    | 6.39      | 30.1       | 41 |
|            |      |         |        | Inf               | 6.03                       | 15.94       | 15.94      | 23.69    | 6.39      | 30.1       | 41 |
|            | 2    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 7.6                        | 19.60       | 19.60      | 10.19    | 10.45     | 20.6       | 41 |
|            |      |         |        | Inf               | 4.02                       | 10.95       | 10.95      | 10.19    | 10.45     | 20.6       | 41 |
|            | 3    | 20/60   | 3.67   | Sup               | 4.02                       | 10.95       | 10.95      | 21.91    | 3.38      | 25.3       | 41 |
|            |      |         |        | Inf               | 4.02                       | 10.95       | 10.95      | 21.91    | 3.38      | 25.3       | 41 |
| V          | 1    | 30/60   | 4.58   | Sup               | 11.4                       | 30.58       | 30.58      | 38.13    | 7.39      | 45.5       | 76 |
|            |      |         |        | Inf               | 9.82                       | 26.62       | 26.62      | 38.13    | 7.39      | 45.5       | 76 |
|            | 2    | 30/60   | 4.58   | Sup               | 11.4                       | 30.58       | 30.58      | 15.78    | 10.97     | 26.7       | 76 |
|            |      |         |        | Inf               | 6.03                       | 16.76       | 16.76      | 15.78    | 10.97     | 26.7       | 76 |
|            | 3    | 30/60   | 4.58   | Sup               | 6.03                       | 16.76       | 16.76      | 33.51    | 3.47      | 37.0       | 76 |
|            |      |         |        | Inf               | 6.03                       | 16.76       | 16.76      | 33.51    | 3.47      | 37.0       | 76 |
| VI         | 1    | 30/60   | 4.58   | Sup               | 16.49                      | 42.72       | 42.72      | 54.23    | 7.42      | 61.6       | 76 |
|            |      |         |        | Inf               | 14.73                      | 38.62       | 38.62      | 54.23    | 7.42      | 61.6       | 76 |
|            | 2    | 30/60   | 4.58   | Sup               | 15.21                      | 39.75       | 39.75      | 23.44    | 10.91     | 34.4       | 76 |
|            |      |         |        | Inf               | 11.4                       | 30.58       | 30.58      | 23.44    | 10.91     | 34.4       | 76 |
|            | 3    | 30/60   | 4.58   | Sup               | 6.03                       | 16.76       | 16.76      | 33.51    | 3.47      | 37.0       | 76 |
|            |      |         |        | Inf               | 6.03                       | 16.76       | 16.76      | 33.51    | 3.47      | 37.0       | 76 |
| VII        | 1    | 30/60   | 4.58   | Sup               | 22.49                      | 55.83       | 55.83      | 62.97    | 7.43      | 70.4       | 76 |
|            |      |         |        | Inf               | 14.73                      | 38.62       | 38.62      | 62.97    | 7.43      | 70.4       | 76 |
|            | 2    | 30/60   | 4.58   | Sup               | 22.33                      | 55.50       | 55.50      | 34.23    | 10.84     | 45.1       | 76 |
|            |      |         |        | Inf               | 18.47                      | 47.19       | 47.19      | 34.23    | 10.84     | 45.1       | 76 |
|            | 3    | 30/60   | 4.58   | Sup               | 6.03                       | 16.76       | 16.76      | 33.51    | 3.47      | 37.0       | 76 |
|            |      |         |        | Inf               | 6.03                       | 16.76       | 16.76      | 33.51    | 3.47      | 37.0       | 76 |

En el caso de las columnas, el corte máximo de diseño  $V_e$ , se debe determinar considerando como hipótesis la formación de rótulas plásticas en las secciones críticas de vigas; por lo tanto, éste queda definido por los momentos probables que son transmitidos a la columna a través de las vigas que concurren a ella. Se calcula según la Ecuación 6.3 (ver Figura 6.6).

$$V_e = \frac{M_{pr3} + M_{pr4}}{l_u} \quad \text{Ecuación 6.3}$$



**Figura 6.6-** Corte de diseño para columnas.  
Fuente: Elaboración propia.

Considerando que los nudos se encuentran en equilibrio, y que los momentos de vigas transmitidos a las columnas son proporcionales a la rigidez de las columnas que concurren al nudo; y dado que las columnas, tanto encima como por debajo del nudo, tienen la misma sección transversal, refuerzo, resistencia del hormigón y altura de entrepisos, se puede considerar que el momento probable de la columna,  $M_{pr}$ , es el que se determina según la Ecuación 6.4.

$$M_{pr3} = M_{pr4} = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{2} \quad \text{Ecuación 6.4}$$

El análisis anterior es válido sólo para elementos sobre el primer nivel, ya que para las columnas de primer piso, el corte máximo de diseño,  $V_e$ , se determina con la máxima resistencia flexural nominal probable proporcionada en la base de la columna, la que corresponde al punto de equilibrio del diagrama de interacción, calculado para la fuerza axial mayorada de compresión inducida por el sismo.

Las resistencias a momento deben determinarse usando un factor de reducción de resistencia igual a 1.0 y una resistencia del acero de refuerzo de al menos  $1.25 f_y$ . El refuerzo transversal debe diseñarse para resistir esfuerzos de corte suponiendo,  $V_c=0$ , cuando la fuerza de corte inducida por un sismo, representa la mitad o más de la resistencia máxima a corte requerida en esas zonas y la fuerza axial de compresión mayorada,  $P_u$ , incluyendo los efectos sísmicos es menor que  $A_g f_c / 20$  (ACI 318-08).

En la tabla 6.5 y 6.6 se detallan los momentos probables y el corte máximo de diseño, para las columnas de las estructuras analizadas que fue calculado con la Ecuación 6.4.

**Tabla 6.5-**Esfuerzos de diseño de corte en columnas, estructuras convencionales.

| Estructura | Columna | Sección | Viga concurrente | $M_{pr\ viga}$ [T-m] | $M_{pr\ col}$ [T-m] | $M_{pr\ col\ base}$ [T-m] | $V_{e\ dis}$ [T] | $\phi V_n$ [T] |
|------------|---------|---------|------------------|----------------------|---------------------|---------------------------|------------------|----------------|
| I          | 1       | 60/60   | 1                | 10.95                | 10.95               | 51.35                     | 24.92            | 101.62         |
|            |         |         | 2                | 10.95                |                     |                           |                  |                |
| II         | 1       | 60/60   | 1                | 19.67                | 17.80               | 51.35                     | 27.66            | 101.62         |
|            |         |         | 2                | 15.94                |                     |                           |                  |                |
| III        | 1       | 60/60   | 1                | 27.65                | 26.29               | 51.35                     | 31.06            | 101.62         |
|            |         |         | 2                | 24.93                |                     |                           |                  |                |
| IV         | 1       | 60/60   | 1                | 33.74                | 36.62               | 39.14                     | 30.30            | 101.62         |
|            |         |         | 2                | 39.50                |                     |                           |                  |                |
| V          | 1       | 70/70   | 1                | 69.41                | 64.71               | 111.21                    | 70.37            | 169.41         |
|            |         |         | 2                | 60.01                |                     |                           |                  |                |
| VI         | 1       | 70/70   | 1                | 82.10                | 79.68               | 111.21                    | 76.36            | 169.41         |
|            |         |         | 2                | 77.27                |                     |                           |                  |                |
| VII        | 1       | 70/70   | 1                | 69.41                | 69.41               | 111.21                    | 72.25            | 169.41         |
|            |         |         | 2                | 69.41                |                     |                           |                  |                |

**Tabla 6.6-**Esfuerzos de diseño de corte en columnas, estructuras aisladas.

| Estructura | Columna | Sección | Viga concurrente | $M_{pr\ viga}$ [T-m] | $M_{pr\ col}$ [T-m] | $M_{pr\ col\ base}$ [T-m] | $V_{e\ dis}$ [T] | $\phi V_n$ [T] |
|------------|---------|---------|------------------|----------------------|---------------------|---------------------------|------------------|----------------|
| I          | 1       | 60/60   | 1                | 10.95                | 10.95               | 51.35                     | 24.92            | 101.62         |
|            |         |         | 2                | 10.95                |                     |                           |                  |                |
| II         | 1       | 60/60   | 1                | 10.95                | 12.30               | 51.35                     | 25.46            | 101.62         |
|            |         |         | 2                | 13.65                |                     |                           |                  |                |
| III        | 1       | 60/60   | 1                | 13.65                | 13.65               | 51.35                     | 26.00            | 101.62         |
|            |         |         | 2                | 13.65                |                     |                           |                  |                |
| IV         | 1       | 60/60   | 1                | 19.60                | 19.60               | 51.35                     | 28.38            | 101.62         |
|            |         |         | 2                | 19.60                |                     |                           |                  |                |
| V          | 1       | 70/70   | 1                | 30.58                | 30.58               | 89.5                      | 48.03            | 169.41         |
|            |         |         | 2                | 30.58                |                     |                           |                  |                |
| VI         | 1       | 70/70   | 1                | 42.72                | 41.23               | 89.5                      | 52.29            | 169.41         |
|            |         |         | 2                | 39.75                |                     |                           |                  |                |
| VII        | 1       | 70/70   | 1                | 55.83                | 55.66               | 89.5                      | 58.06            | 169.41         |
|            |         |         | 2                | 55.50                |                     |                           |                  |                |

### 6.3 Elementos sometidos a flexión-compresión.

Los elementos sometidos a flexo-compresión para cada una de las estructuras, de acuerdo a los esfuerzos producidos en ellos, requieren el área mínima de acero, según como se detalla en el párrafo 21.6.3 del código ACI 318-08, este valor es  $0.01A_g$ . Este límite inferior del área de refuerzo longitudinal es para controlar las deformaciones dependientes del tiempo y para que el momento de fluencia exceda al momento de fisuración.

Para realizar el diseño de los elementos sometidos a flexo-compresión, de una manera rápida y efectiva, se hizo mediante diagramas de interacción, ya que estos elementos en zonas sísmicas están sujetos a una gran cantidad de combinaciones posibles de esfuerzos y al ser estudiadas de forma particular, nos llevaría a un procedimiento monótono y extenso.

Un diagrama de interacción de resistencia, M-P, define la combinación de carga axial y momento flector que provoque la falla de un elemento prediseñado en el intervalo completo de excentricidades (relación M/P) desde 0 al infinito. Para cualquier excentricidad, existe solo un par de valores de  $P_n$  y  $M_n$ , resistencias nominales, que producirán la falla de la sección del elemento. Este par de valores es dibujado como un punto en un gráfico que relacione  $P_n$  y  $M_n$  como el que se presenta en la Figura 6.7. La curva es continua y representa el universo de excentricidades posibles. En este diagrama, cualquier línea radial representa un excentricidad particular  $e = M/P$ .

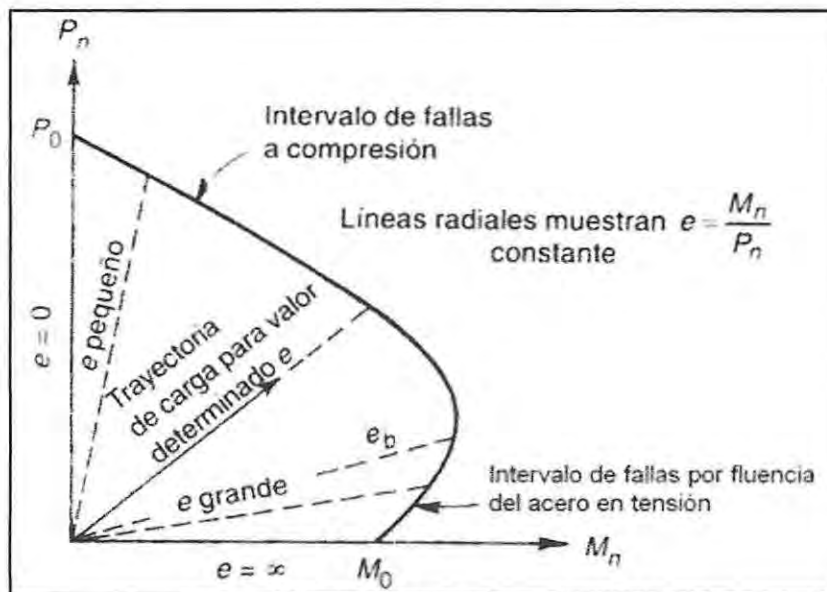
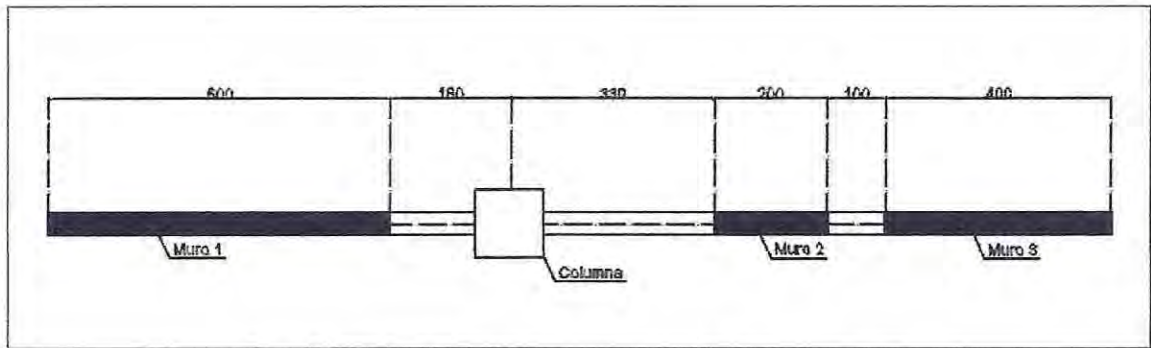


Figura 6.7- Diagrama de interacción P-M.  
Fuente: Zúñiga, 2005

Para el diseño de los muros se considera la sección transversal completa. Como estos elementos se encuentran sometidos a flexión y carga axial, al igual que las columnas, se utilizan los diagramas de interacción para su diseño.

Tal como se observa en los diagramas de interacción de cada uno de los muros de las diferentes estructuras analizadas, la cuantía de acero se determinó de manera de satisfacer las condiciones de diseño que propone la ACI 318-08.

En la Figura 6.8, se presenta la planta de distribución de los diferentes elementos verticales sometidos a esfuerzos de flexo-compresión, de las estructuras.



**Figura 6.8-** Distribución de elementos a flexo-compresión.

En el Anexo I se muestran los diagramas de interacción de los distintos elementos verticales, pertenecientes a las estructuras convencionales y aisladas, junto a su detalle de armadura a flexo-compresión.

## 6.4 Corte.

El corte de diseño para los muros estructurales se obtiene como producto de las solicitaciones laterales, en este caso solicitaciones producidas por el sismo. Para este análisis se debe considerar las cargas mayoradas del sismo.

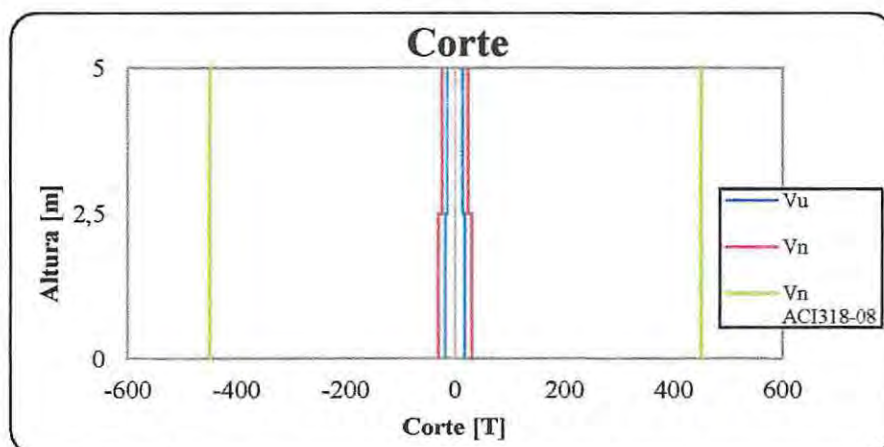
Para evitar posibles fallas por compresión diagonal en las secciones analizadas la ACI 318-08 exige en su punto 21.9.4, el límite indicado en la Ecuación 6.5.

$$V_n < 2.65\sqrt{f'_c}A_g \quad \text{Ecuación 6.5}$$

En las Tablas 6.7 a 6.16, se muestran los valores de  $V_u$ , corte máximo obtenido de las combinaciones de cargas,  $V_n$ , corte máximo ( $V_u$ ) dividido por el factor de reducción  $\phi=0.6$  y el límite superior que establece la ACI 318-08 para  $V_n$ , que se producen en los muros 1, 2 y 3, para cada una de las estructuras analizadas, y en las Figuras 6.9 a 6.43, se grafican dichos valores.

**Tabla 6.7-**Valores corte nominal  $V_n$  muro 1, estructuras convencionales.

| Altura | Estructura I |           |                   | Estructura II |           |                   | Estructura III |           |                   | Estructura IV |           |                   |
|--------|--------------|-----------|-------------------|---------------|-----------|-------------------|----------------|-----------|-------------------|---------------|-----------|-------------------|
|        | $V_u$ [T]    | $V_n$ [T] | $V_n$ ACI-318 [T] | $V_u$ [T]     | $V_n$ [T] | $V_n$ ACI-318 [T] | $V_u$ [T]      | $V_n$ [T] | $V_n$ ACI-318 [T] | $V_u$ [T]     | $V_n$ [T] | $V_n$ ACI-318 [T] |
| 25     |              |           |                   |               |           |                   |                |           |                   | 13.2          | 22.0      | 449.7             |
| 22.5   |              |           |                   |               |           |                   |                |           |                   | 13.2          | 22.0      | 449.7             |
| 22.5   |              |           |                   |               |           |                   |                |           |                   | 31.3          | 52.2      | 449.7             |
| 20     |              |           |                   |               |           |                   |                |           |                   | 31.3          | 52.2      | 449.7             |
| 20     |              |           |                   |               |           |                   |                |           |                   | 50.5          | 84.2      | 449.7             |
| 17.5   |              |           |                   |               |           |                   |                |           |                   | 50.5          | 84.2      | 449.7             |
| 17.5   |              |           |                   |               |           |                   | 19.0           | 31.7      | 449.7             | 71.6          | 119.3     | 449.7             |
| 15     |              |           |                   |               |           |                   | 19.0           | 31.7      | 449.7             | 71.6          | 119.3     | 449.7             |
| 15     |              |           |                   |               |           |                   | 37.9           | 63.1      | 449.7             | 93.8          | 156.4     | 449.7             |
| 12.5   |              |           |                   |               |           |                   | 37.9           | 63.1      | 449.7             | 93.8          | 156.4     | 449.7             |
| 12.5   |              |           |                   | 6.0           | 10.0      | 449.7             | 52.2           | 87.0      | 449.7             | 116.5         | 194.2     | 449.7             |
| 10     |              |           |                   | 6.0           | 10.0      | 449.7             | 52.2           | 87.0      | 449.7             | 116.5         | 194.2     | 449.7             |
| 10     |              |           |                   | 13.6          | 22.7      | 449.7             | 61.5           | 102.4     | 449.7             | 138.5         | 230.8     | 449.7             |
| 7.5    |              |           |                   | 13.6          | 22.7      | 449.7             | 61.5           | 102.4     | 449.7             | 138.5         | 230.8     | 449.7             |
| 7.5    |              |           |                   | 21.0          | 35.0      | 449.7             | 67.4           | 112.3     | 449.7             | 158.3         | 263.9     | 449.7             |
| 5      |              |           |                   | 21.0          | 35.0      | 449.7             | 67.4           | 112.3     | 449.7             | 158.3         | 263.9     | 449.7             |
| 5      | 14.4         | 24.0      | 449.7             | 27.4          | 45.6      | 449.7             | 70.1           | 116.8     | 449.7             | 174.2         | 290.3     | 449.7             |
| 2.5    | 14.4         | 24.0      | 449.7             | 27.4          | 45.6      | 449.7             | 70.1           | 116.8     | 449.7             | 174.2         | 290.3     | 449.7             |
| 2.5    | 18.4         | 30.6      | 449.7             | 31.5          | 52.5      | 449.7             | 60.4           | 100.6     | 449.7             | 183.9         | 306.4     | 449.7             |
| 0      | 18.4         | 30.6      | 449.7             | 31.5          | 52.5      | 449.7             | 60.4           | 100.6     | 449.7             | 183.9         | 306.4     | 449.7             |



**Figura 6.9-**Diagrama de Corte muro 1. Estructura I (Convencional).

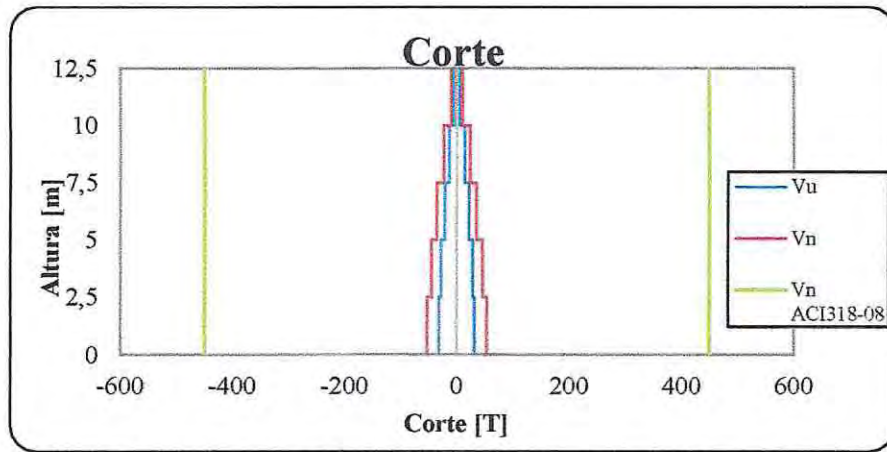


Figura 6.10- Diagrama de Corte muro1. Estructura II (Convencional).

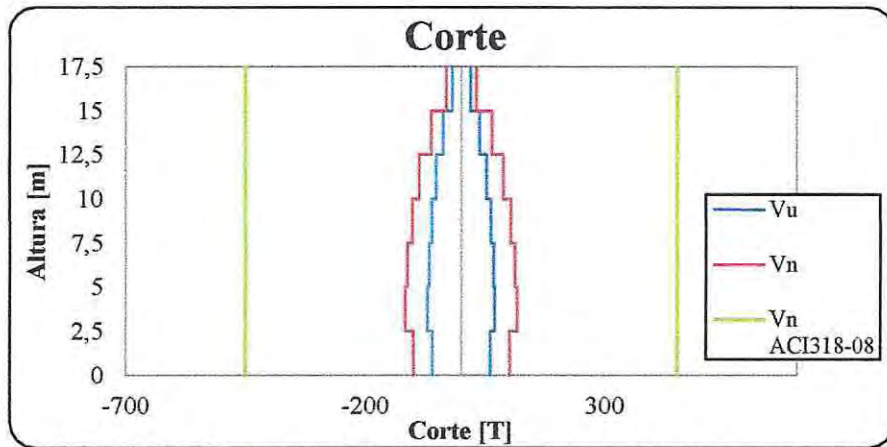


Figura 6.11 -Diagrama de Corte muro1. Estructura III (Convencional).

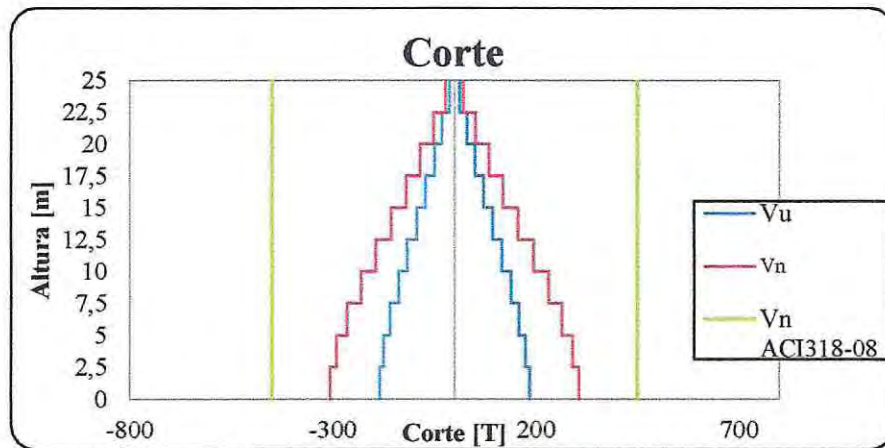


Figura 6.12 -Diagrama de Corte muro1. Estructura IV (Convencional).

Tabla 6.8-Valores corte nominal  $V_n$  muro 1, estructuras convencionales.

| Altura | Estructura V |           |                   | Estructura VI |           |                   | Estructura VII |           |                   |
|--------|--------------|-----------|-------------------|---------------|-----------|-------------------|----------------|-----------|-------------------|
|        | $V_u$ [T]    | $V_n$ [T] | $V_n$ ACI-318 [T] | $V_u$ [T]     | $V_n$ [T] | $V_n$ ACI-318 [T] | $V_u$ [T]      | $V_n$ [T] | $V_n$ ACI-318 [T] |
| 50     |              |           |                   |               |           |                   | 10.3           | 17.2      | 826.2             |
| 47.5   |              |           |                   |               |           |                   | 10.3           | 17.2      | 826.2             |
| 47.5   |              |           |                   |               |           |                   | 17.6           | 29.3      | 826.2             |
| 45     |              |           |                   |               |           |                   | 17.6           | 29.3      | 826.2             |
| 45     |              |           |                   |               |           |                   | 28.2           | 47.0      | 826.2             |
| 42.5   |              |           |                   |               |           |                   | 28.2           | 47.0      | 826.2             |
| 42.5   |              |           |                   |               |           |                   | 38.5           | 64.1      | 826.2             |
| 40     |              |           |                   |               |           |                   | 38.5           | 64.1      | 826.2             |
| 40     |              |           |                   |               |           |                   | 47.3           | 78.9      | 826.2             |
| 37.5   |              |           |                   |               |           |                   | 47.3           | 78.9      | 826.2             |
| 37.5   |              |           |                   | 7.8           | 13.1      | 826.2             | 55.1           | 91.8      | 826.2             |
| 35     |              |           |                   | 7.8           | 13.1      | 826.2             | 55.1           | 91.8      | 826.2             |
| 35     |              |           |                   | 29.3          | 48.9      | 826.2             | 62.0           | 103.3     | 826.2             |
| 32.5   |              |           |                   | 29.3          | 48.9      | 826.2             | 62.0           | 103.3     | 826.2             |
| 32.5   |              |           |                   | 48.4          | 80.7      | 826.2             | 68.3           | 113.9     | 826.2             |
| 30     |              |           |                   | 48.4          | 80.7      | 826.2             | 68.3           | 113.9     | 826.2             |
| 30     | 8.5          | 14.1      | 826.2             | 67.0          | 111.6     | 826.2             | 74.3           | 123.8     | 826.2             |
| 27.5   | 8.5          | 14.1      | 826.2             | 67.0          | 111.6     | 826.2             | 74.3           | 123.8     | 826.2             |
| 27.5   | 36.2         | 60.3      | 826.2             | 83.4          | 139.0     | 826.2             | 80.0           | 133.4     | 826.2             |
| 25     | 36.2         | 60.3      | 826.2             | 83.4          | 139.0     | 826.2             | 80.0           | 133.4     | 826.2             |
| 25     | 56.6         | 94.3      | 826.2             | 98.1          | 163.5     | 826.2             | 85.7           | 142.9     | 826.2             |
| 22.5   | 56.6         | 94.3      | 826.2             | 98.1          | 163.5     | 826.2             | 85.7           | 142.9     | 826.2             |
| 22.5   | 75.7         | 126.2     | 826.2             | 111.2         | 185.4     | 826.2             | 91.3           | 152.2     | 826.2             |
| 20     | 75.7         | 126.2     | 826.2             | 111.2         | 185.4     | 826.2             | 91.3           | 152.2     | 826.2             |
| 20     | 92.3         | 153.8     | 826.2             | 122.9         | 204.8     | 826.2             | 96.9           | 161.5     | 826.2             |
| 17.5   | 92.3         | 153.8     | 826.2             | 122.9         | 204.8     | 826.2             | 96.9           | 161.5     | 826.2             |
| 17.5   | 106.5        | 177.5     | 826.2             | 133.2         | 222.1     | 826.2             | 102.3          | 170.6     | 826.2             |
| 15     | 106.5        | 177.5     | 826.2             | 133.2         | 222.1     | 826.2             | 102.3          | 170.6     | 826.2             |
| 15     | 118.5        | 197.6     | 826.2             | 142.3         | 237.2     | 826.2             | 107.6          | 179.3     | 826.2             |
| 12.5   | 118.5        | 197.6     | 826.2             | 142.3         | 237.2     | 826.2             | 107.6          | 179.3     | 826.2             |
| 12.5   | 128.5        | 214.2     | 826.2             | 150.2         | 250.4     | 826.2             | 112.5          | 187.4     | 826.2             |
| 10     | 128.5        | 214.2     | 826.2             | 150.2         | 250.4     | 826.2             | 112.5          | 187.4     | 826.2             |
| 10     | 136.4        | 227.4     | 826.2             | 156.9         | 261.5     | 826.2             | 116.8          | 194.7     | 826.2             |
| 7.5    | 136.4        | 227.4     | 826.2             | 156.9         | 261.5     | 826.2             | 116.8          | 194.7     | 826.2             |
| 7.5    | 141.8        | 236.3     | 826.2             | 161.6         | 269.3     | 826.2             | 120.1          | 200.1     | 826.2             |
| 5      | 141.8        | 236.3     | 826.2             | 161.6         | 269.3     | 826.2             | 120.1          | 200.1     | 826.2             |
| 5      | 143.9        | 239.8     | 826.2             | 163.3         | 272.2     | 826.2             | 121.3          | 202.2     | 826.2             |
| 2.5    | 143.9        | 239.8     | 826.2             | 163.3         | 272.2     | 826.2             | 121.3          | 202.2     | 826.2             |
| 2.5    | 123.1        | 205.2     | 826.2             | 139.7         | 232.9     | 826.2             | 103.9          | 173.1     | 826.2             |
| 0      | 123.1        | 205.2     | 826.2             | 139.7         | 232.9     | 826.2             | 103.9          | 173.1     | 826.2             |

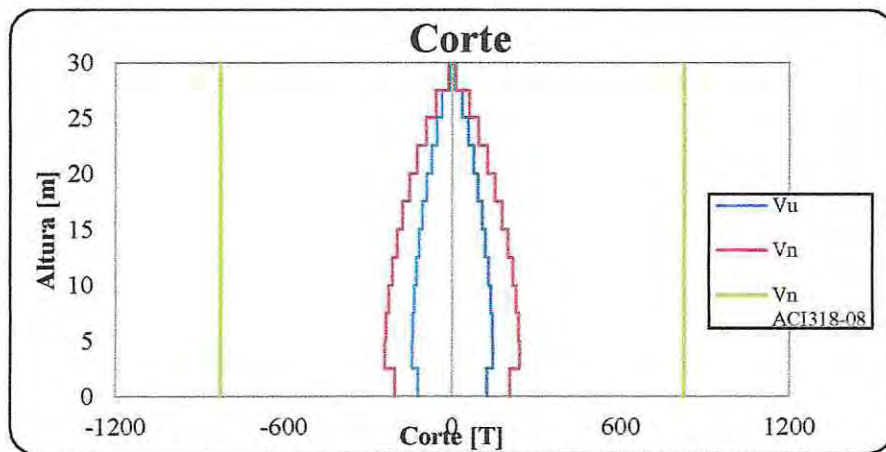


Figura 6.13- Diagrama de Corte muro1. Estructura V (Convencional).

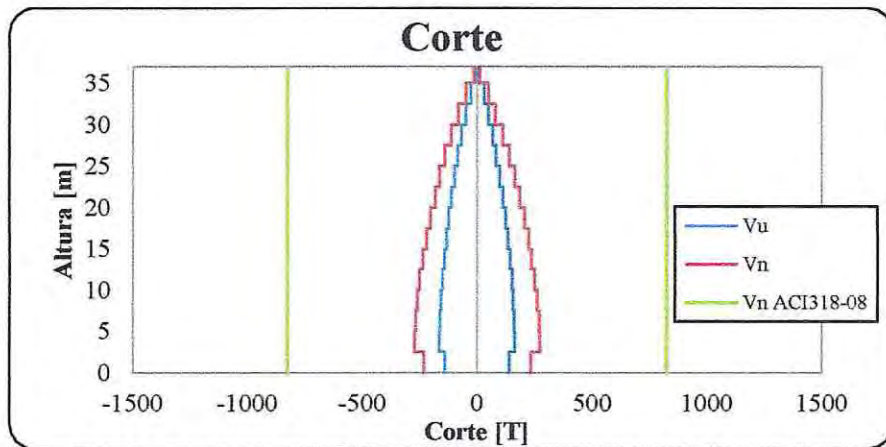


Figura 6.14- Diagrama de Corte muro1. Estructura VI (Convencional).

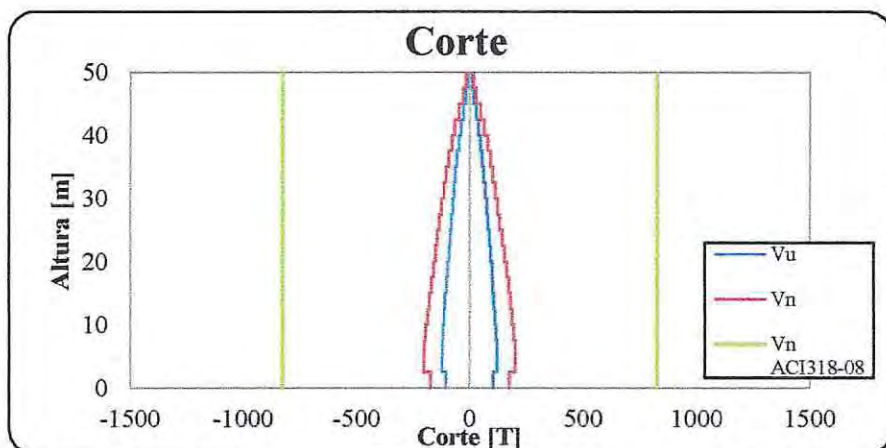


Figura 6.15- Diagrama de Corte muro1. Estructura VII (Convencional).

Tabla 6.9-Valores corte nominal  $V_n$  muro 2, estructuras convencionales.

| Altura | Estructura I |           |                         | Estructura II |           |                         | Estructura III |           |                         | Estructura IV |           |                         |
|--------|--------------|-----------|-------------------------|---------------|-----------|-------------------------|----------------|-----------|-------------------------|---------------|-----------|-------------------------|
|        | $V_u$ [T]    | $V_n$ [T] | $V_n$<br>ACI-318<br>[T] | $V_u$ [T]     | $V_n$ [T] | $V_n$<br>ACI-318<br>[T] | $V_u$ [T]      | $V_n$ [T] | $V_n$<br>ACI-318<br>[T] | $V_u$ [T]     | $V_n$ [T] | $V_n$<br>ACI-318<br>[T] |
| 25     |              |           |                         |               |           |                         |                |           |                         | 12.5          | 20.9      | 449.7                   |
| 22.5   |              |           |                         |               |           |                         |                |           |                         | 12.5          | 20.9      | 449.7                   |
| 22.5   |              |           |                         |               |           |                         |                |           |                         | 10.2          | 17.0      | 449.7                   |
| 20     |              |           |                         |               |           |                         |                |           |                         | 10.2          | 17.0      | 449.7                   |
| 20     |              |           |                         |               |           |                         |                |           |                         | 11.3          | 18.8      | 449.7                   |
| 17.5   |              |           |                         |               |           |                         |                |           |                         | 11.3          | 18.8      | 449.7                   |
| 17.5   |              |           |                         |               |           |                         | 6.1            | 10.2      | 449.7                   | 11.9          | 19.8      | 449.7                   |
| 15     |              |           |                         |               |           |                         | 6.1            | 10.2      | 449.7                   | 11.9          | 19.8      | 449.7                   |
| 15     |              |           |                         |               |           |                         | 5.8            | 9.7       | 449.7                   | 11.8          | 19.7      | 449.7                   |
| 12.5   |              |           |                         |               |           |                         | 5.8            | 9.7       | 449.7                   | 11.8          | 19.7      | 449.7                   |
| 12.5   |              |           |                         | 3.1           | 5.2       | 449.7                   | 6.5            | 10.8      | 449.7                   | 11.5          | 19.1      | 449.7                   |
| 10     |              |           |                         | 3.1           | 5.2       | 449.7                   | 6.5            | 10.8      | 449.7                   | 11.5          | 19.1      | 449.7                   |
| 10     |              |           |                         | 3.3           | 5.5       | 449.7                   | 6.3            | 10.5      | 449.7                   | 10.7          | 17.8      | 449.7                   |
| 7.5    |              |           |                         | 3.3           | 5.5       | 449.7                   | 6.3            | 10.5      | 449.7                   | 10.7          | 17.8      | 449.7                   |
| 7.5    |              |           |                         | 3.7           | 6.2       | 449.7                   | 6.1            | 10.1      | 449.7                   | 9.7           | 16.2      | 449.7                   |
| 5      |              |           |                         | 3.7           | 6.2       | 449.7                   | 6.1            | 10.1      | 449.7                   | 9.7           | 16.2      | 449.7                   |
| 5      | 0.9          | 1.4       | 449.7                   | 2.7           | 4.5       | 449.7                   | 4.5            | 7.5       | 449.7                   | 6.9           | 11.6      | 449.7                   |
| 2.5    | 0.9          | 1.4       | 449.7                   | 2.7           | 4.5       | 449.7                   | 4.5            | 7.5       | 449.7                   | 6.9           | 11.6      | 449.7                   |
| 2.5    | 3.1          | 5.1       | 449.7                   | 8.1           | 13.5      | 449.7                   | 9.9            | 16.5      | 449.7                   | 14.0          | 23.4      | 449.7                   |
| 0      | 3.1          | 5.1       | 449.7                   | 8.1           | 13.5      | 449.7                   | 9.9            | 16.5      | 449.7                   | 14.0          | 23.4      | 449.7                   |

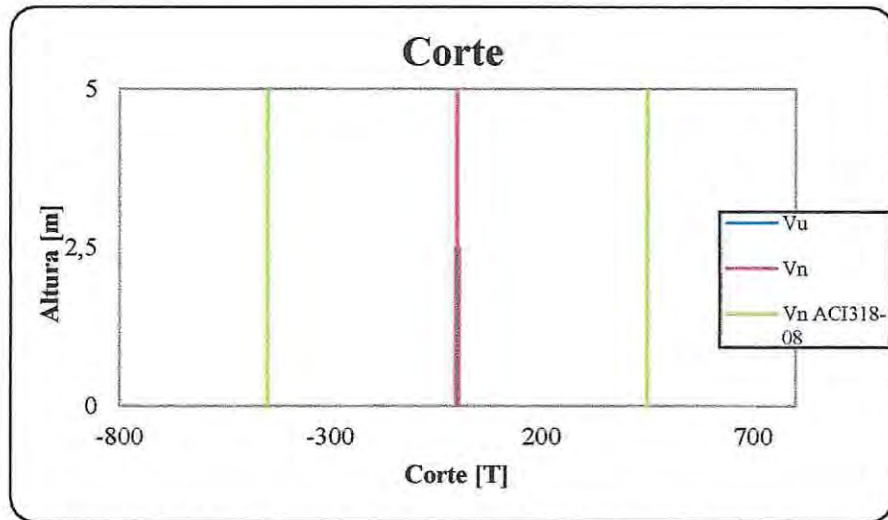


Figura 6.16 -Diagrama de Corte muro2. Estructura I (Convencional).

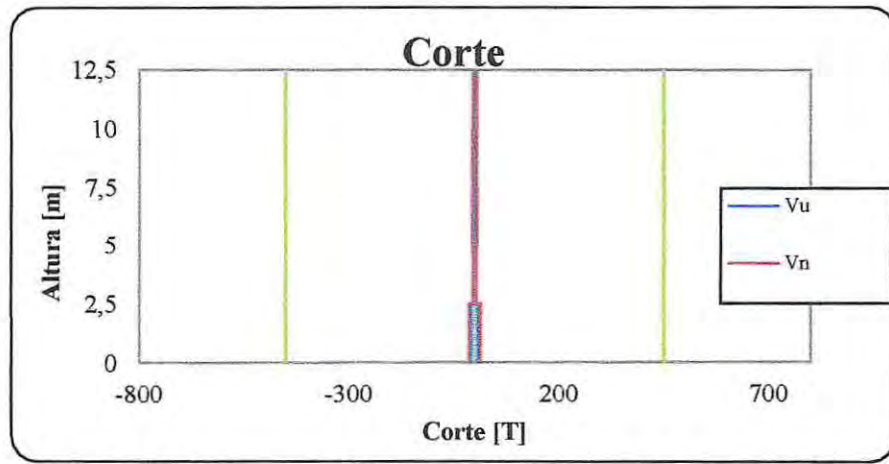


Figura 6.17-Diagrama de Corte muro2. Estructura II (Convencional).

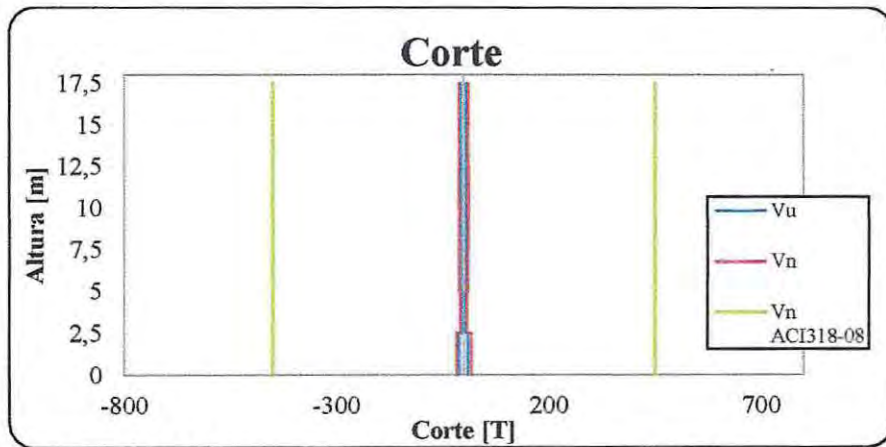


Figura 6.18-Diagrama de Corte muro2. Estructura III (Convencional).

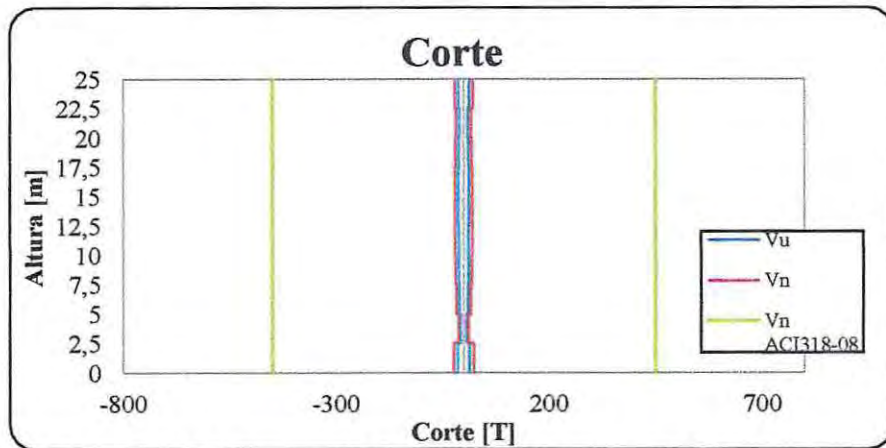


Figura 6.19-Diagrama de Corte muro2. Estructura IV (Convencional).

Tabla 6.10-Valores corte nominal  $V_n$ muro 2, estructuras convencionales.

| Altura | Estructura V |           |                   | Estructura VI |           |                   | Estructura VII |           |                   |
|--------|--------------|-----------|-------------------|---------------|-----------|-------------------|----------------|-----------|-------------------|
|        | $V_u$ [T]    | $V_n$ [T] | $V_n$ ACI-318 [T] | $V_u$ [T]     | $V_n$ [T] | $V_n$ ACI-318 [T] | $V_u$ [T]      | $V_n$ [T] | $V_n$ ACI-318 [T] |
| 50     |              |           |                   |               |           |                   | 14.8           | 24.7      | 826.2             |
| 47.5   |              |           |                   |               |           |                   | 14.8           | 24.7      | 826.2             |
| 47.5   |              |           |                   |               |           |                   | 10.5           | 17.6      | 826.2             |
| 45     |              |           |                   |               |           |                   | 10.5           | 17.6      | 826.2             |
| 45     |              |           |                   |               |           |                   | 11.8           | 19.7      | 826.2             |
| 42.5   |              |           |                   |               |           |                   | 11.8           | 19.7      | 826.2             |
| 42.5   |              |           |                   |               |           |                   | 12.5           | 20.9      | 826.2             |
| 40     |              |           |                   |               |           |                   | 12.5           | 20.9      | 826.2             |
| 40     |              |           |                   |               |           |                   | 13.3           | 22.2      | 826.2             |
| 37.5   |              |           |                   |               |           |                   | 13.3           | 22.2      | 826.2             |
| 37.5   |              |           |                   | 11.2          | 18.6      | 826.2             | 14.1           | 23.5      | 826.2             |
| 35     |              |           |                   | 11.2          | 18.6      | 826.2             | 14.1           | 23.5      | 826.2             |
| 35     |              |           |                   | 8.1           | 13.4      | 826.2             | 14.8           | 24.7      | 826.2             |
| 32.5   |              |           |                   | 8.1           | 13.4      | 826.2             | 14.8           | 24.7      | 826.2             |
| 32.5   |              |           |                   | 9.0           | 15.1      | 826.2             | 15.4           | 25.7      | 826.2             |
| 30     |              |           |                   | 9.0           | 15.1      | 826.2             | 15.4           | 25.7      | 826.2             |
| 30     | 7.5          | 12.5      | 826.2             | 9.6           | 16.0      | 826.2             | 16.0           | 26.6      | 826.2             |
| 27.5   | 7.5          | 12.5      | 826.2             | 9.6           | 16.0      | 826.2             | 16.0           | 26.6      | 826.2             |
| 27.5   | 5.6          | 9.3       | 826.2             | 10.2          | 17.0      | 826.2             | 16.4           | 27.3      | 826.2             |
| 25     | 5.6          | 9.3       | 826.2             | 10.2          | 17.0      | 826.2             | 16.4           | 27.3      | 826.2             |
| 25     | 6.3          | 10.4      | 826.2             | 10.7          | 17.8      | 826.2             | 16.7           | 27.8      | 826.2             |
| 22.5   | 6.3          | 10.4      | 826.2             | 10.7          | 17.8      | 826.2             | 16.7           | 27.8      | 826.2             |
| 22.5   | 6.6          | 11.1      | 826.2             | 11.1          | 18.5      | 826.2             | 16.7           | 27.9      | 826.2             |
| 20     | 6.6          | 11.1      | 826.2             | 11.1          | 18.5      | 826.2             | 16.7           | 27.9      | 826.2             |
| 20     | 7.0          | 11.7      | 826.2             | 11.4          | 19.0      | 826.2             | 16.6           | 27.7      | 826.2             |
| 17.5   | 7.0          | 11.7      | 826.2             | 11.4          | 19.0      | 826.2             | 16.6           | 27.7      | 826.2             |
| 17.5   | 7.3          | 12.1      | 826.2             | 11.5          | 19.2      | 826.2             | 16.3           | 27.1      | 826.2             |
| 15     | 7.3          | 12.1      | 826.2             | 11.5          | 19.2      | 826.2             | 16.3           | 27.1      | 826.2             |
| 15     | 7.4          | 12.3      | 826.2             | 11.4          | 19.0      | 826.2             | 15.6           | 26.1      | 826.2             |
| 12.5   | 7.4          | 12.3      | 826.2             | 11.4          | 19.0      | 826.2             | 15.6           | 26.1      | 826.2             |
| 12.5   | 7.4          | 12.3      | 826.2             | 11.1          | 18.5      | 826.2             | 14.7           | 24.6      | 826.2             |
| 10     | 7.4          | 12.3      | 826.2             | 11.1          | 18.5      | 826.2             | 14.7           | 24.6      | 826.2             |
| 10     | 6.9          | 11.6      | 826.2             | 10.2          | 17.0      | 826.2             | 13.3           | 22.1      | 826.2             |
| 7.5    | 6.9          | 11.6      | 826.2             | 10.2          | 17.0      | 826.2             | 13.3           | 22.1      | 826.2             |
| 7.5    | 7.4          | 12.4      | 826.2             | 10.5          | 17.6      | 826.2             | 12.9           | 21.5      | 826.2             |
| 5      | 7.4          | 12.4      | 826.2             | 10.5          | 17.6      | 826.2             | 12.9           | 21.5      | 826.2             |
| 5      | 0.2          | 0.3       | 826.2             | 0.6           | 1.0       | 826.2             | 2.5            | 4.2       | 826.2             |
| 2.5    | 0.2          | 0.3       | 826.2             | 0.6           | 1.0       | 826.2             | 2.5            | 4.2       | 826.2             |
| 2.5    | 24.0         | 40.1      | 826.2             | 31.9          | 53.1      | 826.2             | 32.8           | 54.7      | 826.2             |
| 0      | 24.0         | 40.1      | 826.2             | 31.9          | 53.1      | 826.2             | 32.8           | 54.7      | 826.2             |

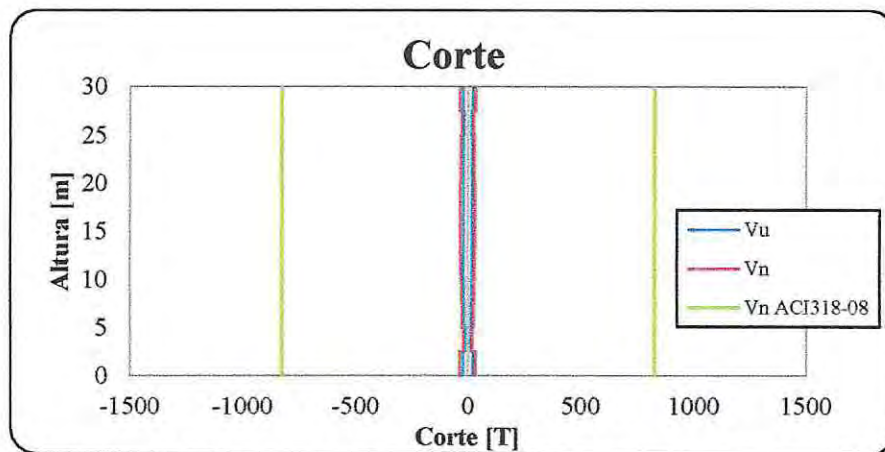


Figura 6.20-Diagrama de Corte muro2. Estructura V (Convencional).

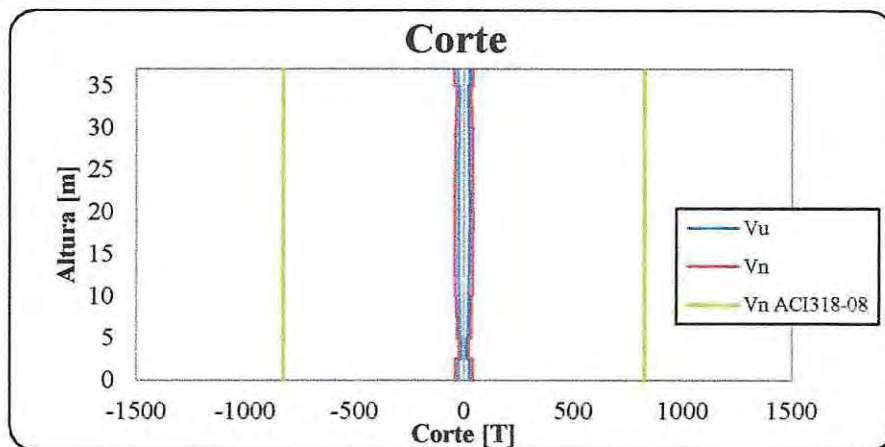


Figura 6.21-Diagrama de Corte muro2. Estructura VI (Convencional).

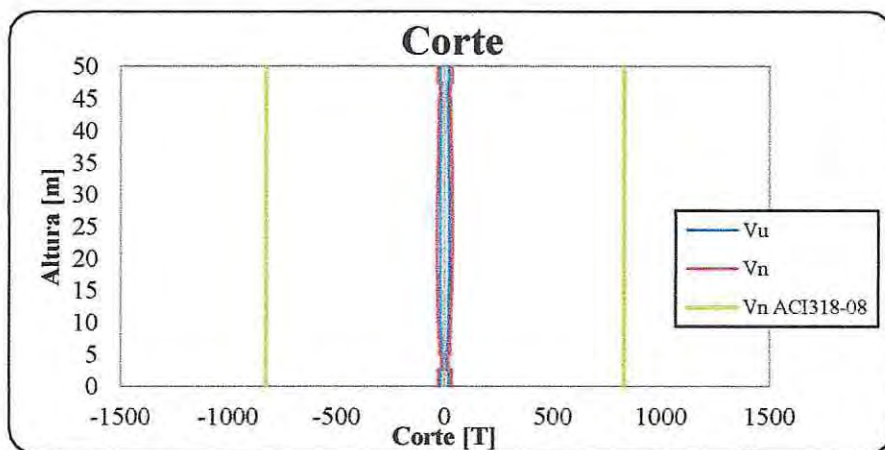


Figura 6.22-Diagrama de Corte muro2. Estructura VII (Convencional).

Tabla 6.11-Valores corte nominal  $V_n$  muro 3, estructuras convencionales.

| Altura | Estructura I |           |                         | Estructura II |           |                         | Estructura III |           |                         | Estructura IV |           |                         |
|--------|--------------|-----------|-------------------------|---------------|-----------|-------------------------|----------------|-----------|-------------------------|---------------|-----------|-------------------------|
|        | $V_u$ [T]    | $V_n$ [T] | $V_n$<br>ACI-318<br>[T] | $V_u$ [T]     | $V_n$ [T] | $V_n$<br>ACI-318<br>[T] | $V_u$ [T]      | $V_n$ [T] | $V_n$<br>ACI-318<br>[T] | $V_u$ [T]     | $V_n$ [T] | $V_n$<br>ACI-318<br>[T] |
| 25     |              |           |                         |               |           |                         |                |           |                         | 10.2          | 17.0      | 449.7                   |
| 22.5   |              |           |                         |               |           |                         |                |           |                         | 10.2          | 17.0      | 449.7                   |
| 22.5   |              |           |                         |               |           |                         |                |           |                         | 2.6           | 4.3       | 449.7                   |
| 20     |              |           |                         |               |           |                         |                |           |                         | 2.6           | 4.3       | 449.7                   |
| 20     |              |           |                         |               |           |                         |                |           |                         | 6.7           | 11.1      | 449.7                   |
| 17.5   |              |           |                         |               |           |                         |                |           |                         | 6.7           | 11.1      | 449.7                   |
| 17.5   |              |           |                         |               |           |                         | 4.8            | 8.0       | 449.7                   | 10.7          | 17.9      | 449.7                   |
| 15     |              |           |                         |               |           |                         | 4.8            | 8.0       | 449.7                   | 10.7          | 17.9      | 449.7                   |
| 15     |              |           |                         |               |           |                         | 5.5            | 9.1       | 449.7                   | 13.1          | 21.8      | 449.7                   |
| 12.5   |              |           |                         |               |           |                         | 5.5            | 9.1       | 449.7                   | 13.1          | 21.8      | 449.7                   |
| 12.5   |              |           |                         | 1.8           | 3.0       | 449.7                   | 10.1           | 16.9      | 449.7                   | 15.5          | 25.9      | 449.7                   |
| 10     |              |           |                         | 1.8           | 3.0       | 449.7                   | 10.1           | 16.9      | 449.7                   | 15.5          | 25.9      | 449.7                   |
| 10     |              |           |                         | 6.9           | 11.6      | 449.7                   | 13.0           | 21.6      | 449.7                   | 18.2          | 30.4      | 449.7                   |
| 7.5    |              |           |                         | 6.9           | 11.6      | 449.7                   | 13.0           | 21.6      | 449.7                   | 18.2          | 30.4      | 449.7                   |
| 7.5    |              |           |                         | 11.0          | 18.4      | 449.7                   | 15.9           | 26.5      | 449.7                   | 21.6          | 36.1      | 449.7                   |
| 5      |              |           |                         | 11.0          | 18.4      | 449.7                   | 15.9           | 26.5      | 449.7                   | 21.6          | 36.1      | 449.7                   |
| 5      | 5.5          | 1.8       | 449.7                   | 15.4          | 25.7      | 449.7                   | 20.7           | 34.5      | 449.7                   | 28.2          | 47.1      | 449.7                   |
| 2.5    | 5.5          | 1.8       | 449.7                   | 15.4          | 25.7      | 449.7                   | 20.7           | 34.5      | 449.7                   | 28.2          | 47.1      | 449.7                   |
| 2.5    | 9.1          | 6.9       | 449.7                   | 23.8          | 39.7      | 449.7                   | 28.7           | 47.8      | 449.7                   | 39.8          | 66.3      | 449.7                   |
| 0      | 9.1          | 6.9       | 449.7                   | 23.8          | 39.7      | 449.7                   | 28.7           | 47.8      | 449.7                   | 39.8          | 66.3      | 449.7                   |

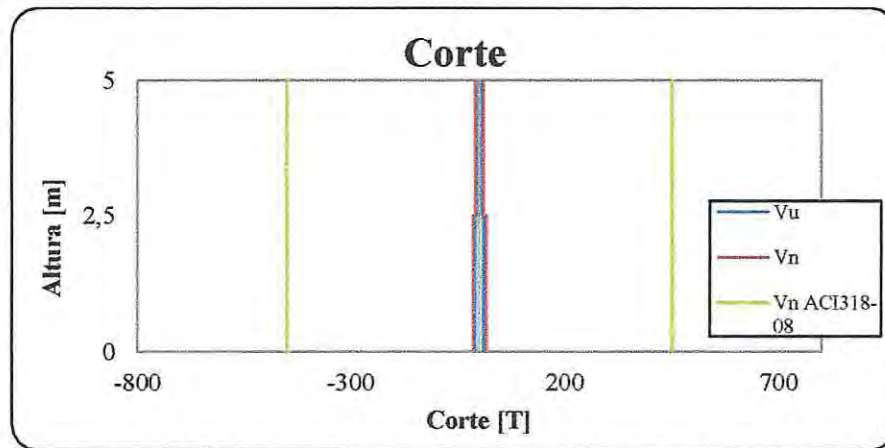


Figura 6.23-Diagrama de Corte muro3. Estructura I (Convencional).

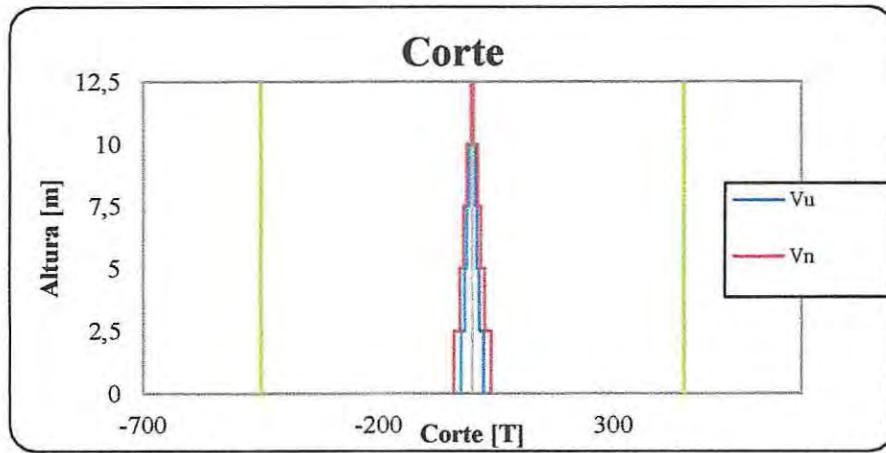


Figura 6.24-Diagrama de Corte muro3. Estructura II (Convencional).

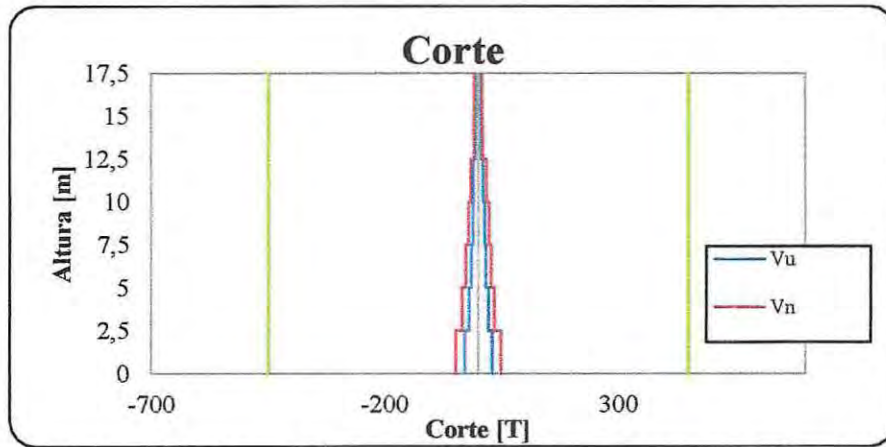


Figura 6.25-Diagrama de Corte muro3. Estructura III (Convencional).

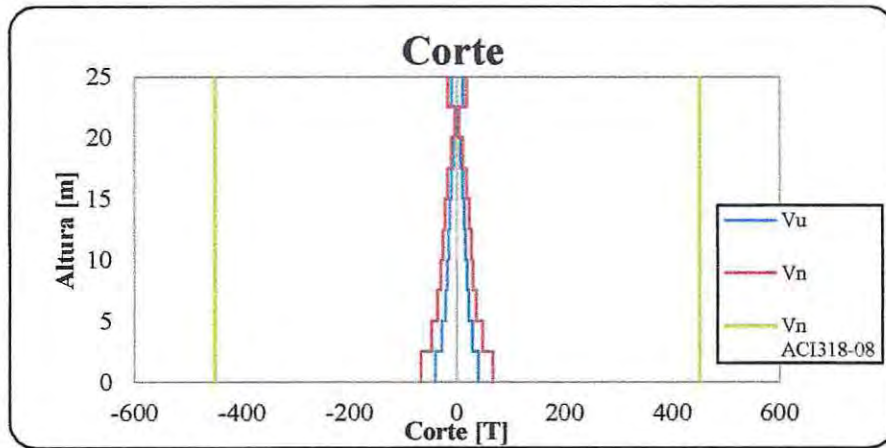


Figura 6.26-Diagrama de Corte muro3. Estructura IV (Convencional).

Tabla 6.12-Valores corte nominal  $V_n$  muro 3, estructuras convencionales.

| Altura | Estructura V |           |                   | Estructura VI |           |                   | Estructura VII |           |                   |
|--------|--------------|-----------|-------------------|---------------|-----------|-------------------|----------------|-----------|-------------------|
|        | $V_n$ [T]    | $V_n$ [T] | $V_n$ ACI-318 [T] | $V_u$ [T]     | $V_n$ [T] | $V_n$ ACI-318 [T] | $V_u$ [T]      | $V_n$ [T] | $V_n$ ACI-318 [T] |
| 50     |              |           |                   |               |           |                   | 12.6           | 20.9      | 826.2             |
| 47.5   |              |           |                   |               |           |                   | 12.6           | 20.9      | 826.2             |
| 47.5   |              |           |                   |               |           |                   | 3.8            | 6.3       | 826.2             |
| 45     |              |           |                   |               |           |                   | 3.8            | 6.3       | 826.2             |
| 45     |              |           |                   |               |           |                   | 3.6            | 6.0       | 826.2             |
| 42.5   |              |           |                   |               |           |                   | 3.6            | 6.0       | 826.2             |
| 42.5   |              |           |                   |               |           |                   | 4.3            | 7.2       | 826.2             |
| 40     |              |           |                   |               |           |                   | 4.3            | 7.2       | 826.2             |
| 40     |              |           |                   |               |           |                   | 5.3            | 8.8       | 826.2             |
| 37.5   |              |           |                   |               |           |                   | 5.3            | 8.8       | 826.2             |
| 37.5   |              |           |                   | 18.3          | 30.5      | 826.2             | 6.2            | 10.3      | 826.2             |
| 35     |              |           |                   | 18.3          | 30.5      | 826.2             | 6.2            | 10.3      | 826.2             |
| 35     |              |           |                   | 4.0           | 6.7       | 826.2             | 6.9            | 11.5      | 826.2             |
| 32.5   |              |           |                   | 4.0           | 6.7       | 826.2             | 6.9            | 11.5      | 826.2             |
| 32.5   |              |           |                   | 3.6           | 6.0       | 826.2             | 7.6            | 12.7      | 826.2             |
| 30     |              |           |                   | 3.6           | 6.0       | 826.2             | 7.6            | 12.7      | 826.2             |
| 30     | 15.7         | 26.1      | 826.2             | 6.4           | 10.7      | 826.2             | 8.4            | 13.9      | 826.2             |
| 27.5   | 15.7         | 26.1      | 826.2             | 6.4           | 10.7      | 826.2             | 8.4            | 13.9      | 826.2             |
| 27.5   | 2.5          | 4.2       | 826.2             | 9.3           | 15.5      | 826.2             | 9.2            | 15.3      | 826.2             |
| 25     | 2.5          | 4.2       | 826.2             | 9.3           | 15.5      | 826.2             | 9.2            | 15.3      | 826.2             |
| 25     | 5.1          | 8.5       | 826.2             | 12.0          | 19.9      | 826.2             | 10.1           | 16.9      | 826.2             |
| 22.5   | 5.1          | 8.5       | 826.2             | 12.0          | 19.9      | 826.2             | 10.1           | 16.9      | 826.2             |
| 22.5   | 9.3          | 15.5      | 826.2             | 14.5          | 24.1      | 826.2             | 11.3           | 18.8      | 826.2             |
| 20     | 9.3          | 15.5      | 826.2             | 14.5          | 24.1      | 826.2             | 11.3           | 18.8      | 826.2             |
| 20     | 12.9         | 21.5      | 826.2             | 16.9          | 28.2      | 826.2             | 12.6           | 21.1      | 826.2             |
| 17.5   | 12.9         | 21.5      | 826.2             | 16.9          | 28.2      | 826.2             | 12.6           | 21.1      | 826.2             |
| 17.5   | 16.2         | 27.0      | 826.2             | 19.4          | 32.4      | 826.2             | 14.2           | 23.7      | 826.2             |
| 15     | 16.2         | 27.0      | 826.2             | 19.4          | 32.4      | 826.2             | 14.2           | 23.7      | 826.2             |
| 15     | 19.3         | 32.2      | 826.2             | 22.2          | 36.9      | 826.2             | 16.1           | 26.9      | 826.2             |
| 12.5   | 19.3         | 32.2      | 826.2             | 22.2          | 36.9      | 826.2             | 16.1           | 26.9      | 826.2             |
| 12.5   | 22.6         | 37.7      | 826.2             | 25.3          | 42.2      | 826.2             | 18.5           | 30.8      | 826.2             |
| 10     | 22.6         | 37.7      | 826.2             | 25.3          | 42.2      | 826.2             | 18.5           | 30.8      | 826.2             |
| 10     | 26.3         | 43.9      | 826.2             | 29.3          | 48.8      | 826.2             | 21.4           | 35.7      | 826.2             |
| 7.5    | 26.3         | 43.9      | 826.2             | 29.3          | 48.8      | 826.2             | 21.4           | 35.7      | 826.2             |
| 7.5    | 31.2         | 52.1      | 826.2             | 34.8          | 58.0      | 826.2             | 25.6           | 42.6      | 826.2             |
| 5      | 31.2         | 52.1      | 826.2             | 34.8          | 58.0      | 826.2             | 25.6           | 42.6      | 826.2             |
| 5      | 41.0         | 68.3      | 826.2             | 46.0          | 76.7      | 826.2             | 34.0           | 56.7      | 826.2             |
| 2.5    | 41.0         | 68.3      | 826.2             | 46.0          | 76.7      | 826.2             | 34.0           | 56.7      | 826.2             |
| 2.5    | 58.0         | 96.6      | 826.2             | 65.6          | 109.4     | 826.2             | 48.7           | 81.2      | 826.2             |
| 0      | 58.0         | 96.6      | 826.2             | 65.6          | 109.4     | 826.2             | 48.7           | 81.2      | 826.2             |

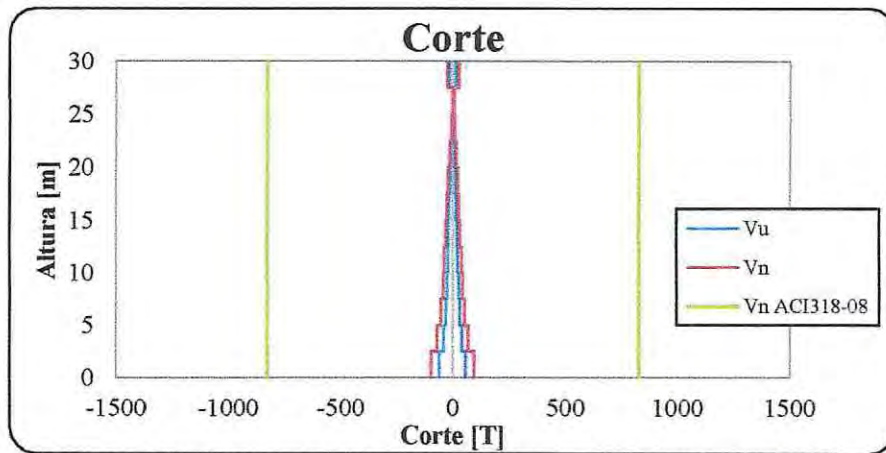


Figura 6.27-Diagrama de Corte muro3. Estructura V (Convencional).

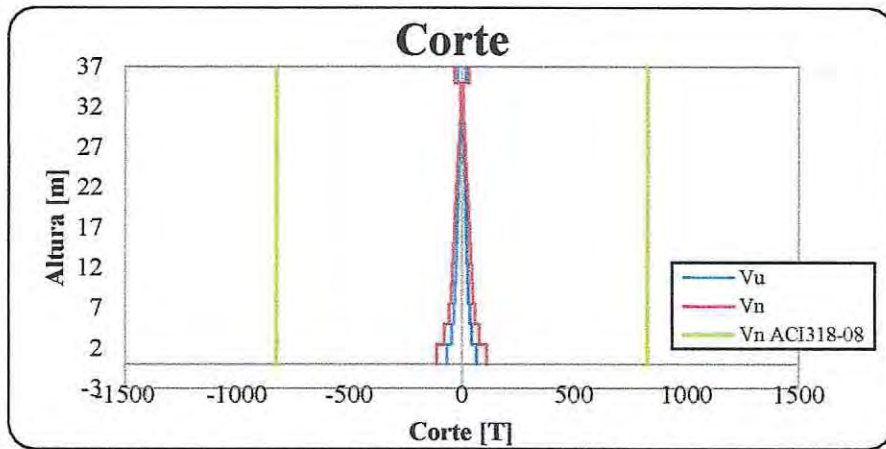


Figura 6.28-Diagrama de Corte muro3. Estructura VI (Convencional).

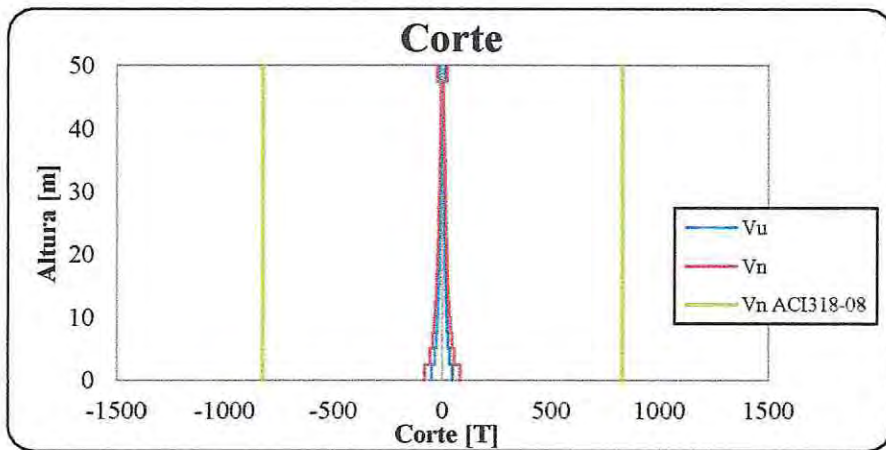


Figura 6.29-Diagrama de Corte muro3. Estructura VII (Convencional).

Tabla 6.13-Valores corte nominal  $V_n$  muro1, estructuras aisladas.

| Altura | Estructura I |           |                   | Estructura II |           |                   | Estructura III |           |                   | Estructura IV |           |                   |
|--------|--------------|-----------|-------------------|---------------|-----------|-------------------|----------------|-----------|-------------------|---------------|-----------|-------------------|
|        | $V_u$ [T]    | $V_n$ [T] | $V_n$ ACI-318 [T] | $V_u$ [T]     | $V_n$ [T] | $V_n$ ACI-318 [T] | $V_u$ [T]      | $V_n$ [T] | $V_n$ ACI-318 [T] | $V_u$ [T]     | $V_n$ [T] | $V_n$ ACI-318 [T] |
| 25     |              |           |                   |               |           |                   |                |           |                   | 2.5           | 4.1       | 449.7             |
| 22.5   |              |           |                   |               |           |                   |                |           |                   | 2.5           | 4.1       | 449.7             |
| 22.5   |              |           |                   |               |           |                   |                |           |                   | 9.9           | 16.5      | 449.7             |
| 20     |              |           |                   |               |           |                   |                |           |                   | 9.9           | 16.5      | 449.7             |
| 20     |              |           |                   |               |           |                   |                |           |                   | 16.2          | 27.0      | 449.7             |
| 17.5   |              |           |                   |               |           |                   |                |           |                   | 16.2          | 27.0      | 449.7             |
| 17.5   |              |           |                   |               |           |                   | 5.1            | 8.6       | 449.7             | 22.7          | 37.8      | 449.7             |
| 15     |              |           |                   |               |           |                   | 5.1            | 8.6       | 449.7             | 22.7          | 37.8      | 449.7             |
| 15     |              |           |                   |               |           |                   | 12.1           | 20.2      | 449.7             | 28.0          | 46.6      | 449.7             |
| 12.5   |              |           |                   |               |           |                   | 12.1           | 20.2      | 449.7             | 28.0          | 46.6      | 449.7             |
| 12.5   |              |           |                   | 5.7           | 9.5       | 449.7             | 18.7           | 31.2      | 449.7             | 33.2          | 55.4      | 449.7             |
| 10     |              |           |                   | 5.7           | 9.5       | 449.7             | 18.7           | 31.2      | 449.7             | 33.2          | 55.4      | 449.7             |
| 10     |              |           |                   | 12.4          | 20.7      | 449.7             | 24.3           | 40.6      | 449.7             | 38.6          | 64.3      | 449.7             |
| 7.5    |              |           |                   | 12.4          | 20.7      | 449.7             | 24.3           | 40.6      | 449.7             | 38.6          | 64.3      | 449.7             |
| 7.5    |              |           |                   | 19.1          | 31.8      | 449.7             | 29.8           | 49.6      | 449.7             | 43.6          | 72.7      | 449.7             |
| 5      |              |           |                   | 19.1          | 31.8      | 449.7             | 29.8           | 49.6      | 449.7             | 43.6          | 72.7      | 449.7             |
| 5      | 8.2          | 13.7      | 449.7             | 26.3          | 43.9      | 449.7             | 35.6           | 59.3      | 449.7             | 51.4          | 85.7      | 449.7             |
| 2.5    | 8.2          | 13.7      | 449.7             | 26.3          | 43.9      | 449.7             | 35.6           | 59.3      | 449.7             | 51.4          | 85.7      | 449.7             |
| 2.5    | 12.0         | 20.0      | 449.7             | 22.7          | 37.9      | 449.7             | 28.6           | 47.7      | 449.7             | 32.0          | 53.4      | 449.7             |
| 0      | 12.0         | 20.0      | 449.7             | 22.7          | 37.9      | 449.7             | 28.6           | 47.7      | 449.7             | 32.0          | 53.4      | 449.7             |

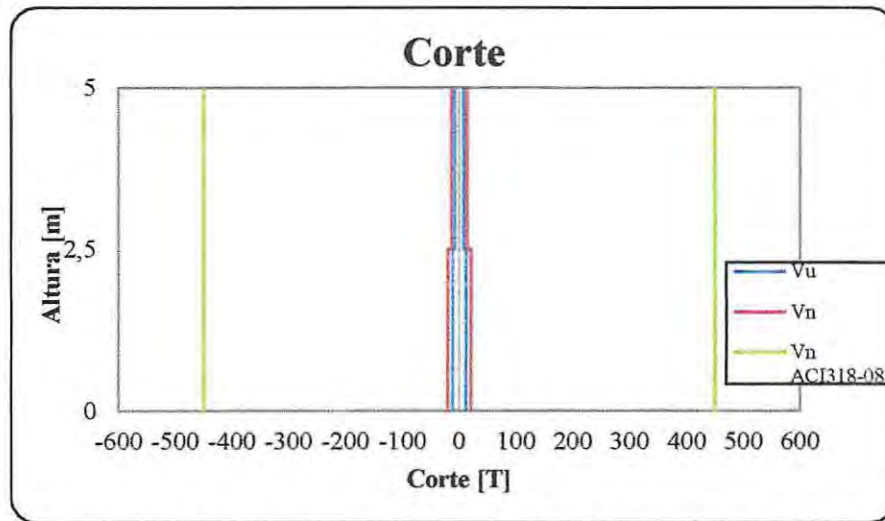


Figura 6.30-Diagrama de Corte muro1. Estructura I (Aislada).

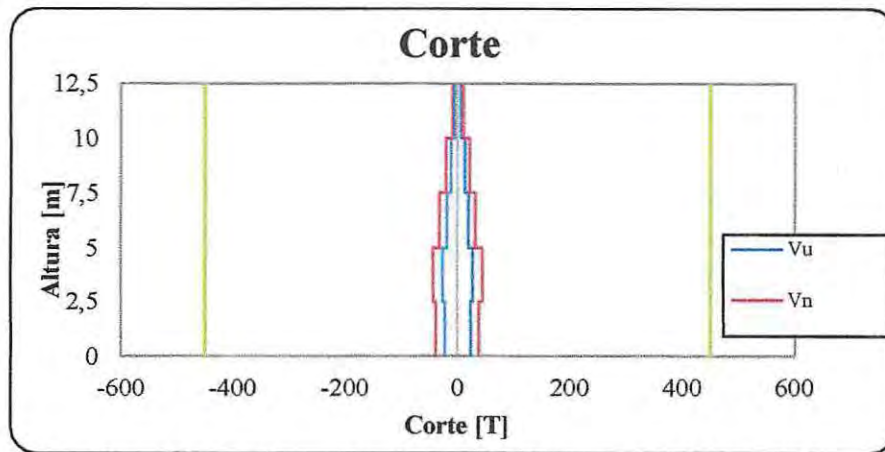


Figura 6.31-Diagrama de Corte muro1. Estructura II (Aislada).

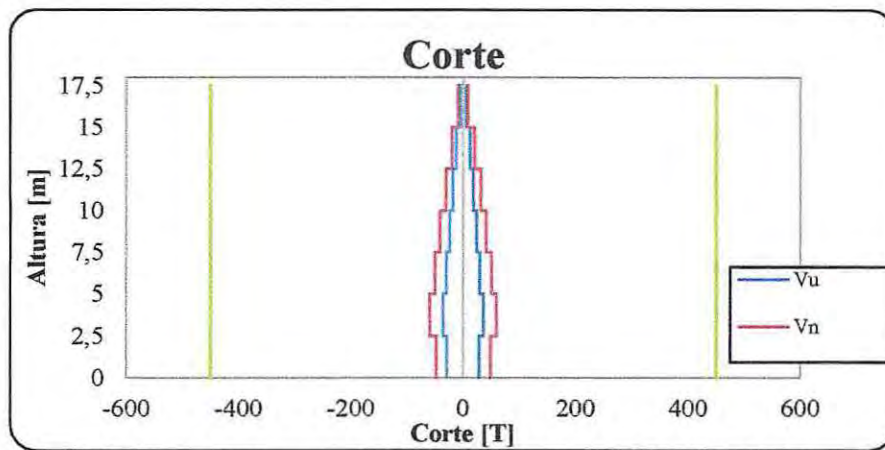


Figura 6.32-Diagrama de Corte muro1. Estructura III (Aislada).

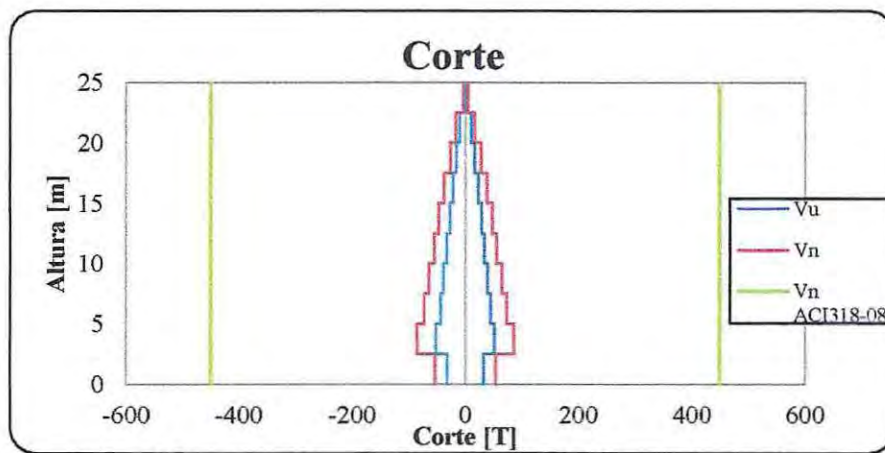


Figura 6.33-Diagrama de Corte muro1. Estructura IV (Aislada).

Tabla 6.14-Valores corte nominal  $V_n$  muro 1, estructuras aisladas.

| Altura | Estructura V |           |                   | Estructura VI |           |                   | Estructura VII |           |                   |
|--------|--------------|-----------|-------------------|---------------|-----------|-------------------|----------------|-----------|-------------------|
|        | $V_u$ [T]    | $V_n$ [T] | $V_n$ ACI-318 [T] | $V_u$ [T]     | $V_n$ [T] | $V_n$ ACI-318 [T] | $V_u$ [T]      | $V_n$ [T] | $V_n$ ACI-318 [T] |
| 50     |              |           |                   |               |           |                   | 7.3            | 12.1      | 826.2             |
| 47.5   |              |           |                   |               |           |                   | 7.3            | 12.1      | 826.2             |
| 47.5   |              |           |                   |               |           |                   | 8.2            | 13.6      | 826.2             |
| 45     |              |           |                   |               |           |                   | 8.2            | 13.6      | 826.2             |
| 45     |              |           |                   |               |           |                   | 15.8           | 26.4      | 826.2             |
| 42.5   |              |           |                   |               |           |                   | 15.8           | 26.4      | 826.2             |
| 42.5   |              |           |                   |               |           |                   | 23.8           | 39.7      | 826.2             |
| 40     |              |           |                   |               |           |                   | 23.8           | 39.7      | 826.2             |
| 40     |              |           |                   |               |           |                   | 31.2           | 52.0      | 826.2             |
| 37.5   |              |           |                   |               |           |                   | 31.2           | 52.0      | 826.2             |
| 37.5   |              |           |                   | 3.8           | 6.4       | 826.2             | 38.1           | 63.5      | 826.2             |
| 35     |              |           |                   | 3.8           | 6.4       | 826.2             | 38.1           | 63.5      | 826.2             |
| 35     |              |           |                   | 8.3           | 13.9      | 826.2             | 44.5           | 74.2      | 826.2             |
| 32.5   |              |           |                   | 8.3           | 13.9      | 826.2             | 44.5           | 74.2      | 826.2             |
| 32.5   |              |           |                   | 15.9          | 26.4      | 826.2             | 50.6           | 84.4      | 826.2             |
| 30     |              |           |                   | 15.9          | 26.4      | 826.2             | 50.6           | 84.4      | 826.2             |
| 30     | 0.7          | 1.1       | 826.2             | 23.9          | 39.8      | 826.2             | 56.4           | 94.0      | 826.2             |
| 27.5   | 0.7          | 1.1       | 826.2             | 23.9          | 39.8      | 826.2             | 56.4           | 94.0      | 826.2             |
| 27.5   | 9.2          | 15.4      | 826.2             | 31.7          | 52.8      | 826.2             | 62.0           | 103.3     | 826.2             |
| 25     | 9.2          | 15.4      | 826.2             | 31.7          | 52.8      | 826.2             | 62.0           | 103.3     | 826.2             |
| 25     | 16.3         | 27.2      | 826.2             | 39.4          | 65.6      | 826.2             | 67.5           | 112.4     | 826.2             |
| 22.5   | 16.3         | 27.2      | 826.2             | 39.4          | 65.6      | 826.2             | 67.5           | 112.4     | 826.2             |
| 22.5   | 23.8         | 39.7      | 826.2             | 47.0          | 78.4      | 826.2             | 72.9           | 121.6     | 826.2             |
| 20     | 23.8         | 39.7      | 826.2             | 47.0          | 78.4      | 826.2             | 72.9           | 121.6     | 826.2             |
| 20     | 31.3         | 52.2      | 826.2             | 54.7          | 91.2      | 826.2             | 78.5           | 130.9     | 826.2             |
| 17.5   | 31.3         | 52.2      | 826.2             | 54.7          | 91.2      | 826.2             | 78.5           | 130.9     | 826.2             |
| 17.5   | 38.9         | 64.8      | 826.2             | 62.5          | 104.1     | 826.2             | 84.3           | 140.6     | 826.2             |
| 15     | 38.9         | 64.8      | 826.2             | 62.5          | 104.1     | 826.2             | 84.3           | 140.6     | 826.2             |
| 15     | 46.5         | 77.5      | 826.2             | 70.3          | 117.2     | 826.2             | 90.4           | 150.7     | 826.2             |
| 12.5   | 46.5         | 77.5      | 826.2             | 70.3          | 117.2     | 826.2             | 90.4           | 150.7     | 826.2             |
| 12.5   | 54.2         | 90.4      | 826.2             | 78.4          | 130.7     | 826.2             | 96.8           | 161.4     | 826.2             |
| 10     | 54.2         | 90.4      | 826.2             | 78.4          | 130.7     | 826.2             | 96.8           | 161.4     | 826.2             |
| 10     | 62.2         | 103.7     | 826.2             | 86.8          | 144.7     | 826.2             | 103.7          | 172.9     | 826.2             |
| 7.5    | 62.2         | 103.7     | 826.2             | 86.8          | 144.7     | 826.2             | 103.7          | 172.9     | 826.2             |
| 7.5    | 69.7         | 116.2     | 826.2             | 94.6          | 157.7     | 826.2             | 109.9          | 183.1     | 826.2             |
| 5      | 69.7         | 116.2     | 826.2             | 94.6          | 157.7     | 826.2             | 109.9          | 183.1     | 826.2             |
| 5      | 81.7         | 136.1     | 826.2             | 108.3         | 180.5     | 826.2             | 120.1          | 200.2     | 826.2             |
| 2.5    | 81.7         | 136.1     | 826.2             | 108.3         | 180.5     | 826.2             | 120.1          | 200.2     | 826.2             |
| 2.5    | 50.3         | 83.8      | 826.2             | 65.8          | 109.7     | 826.2             | 86.3           | 143.8     | 826.2             |
| 0      | 50.3         | 83.8      | 826.2             | 65.8          | 109.7     | 826.2             | 86.3           | 143.8     | 826.2             |

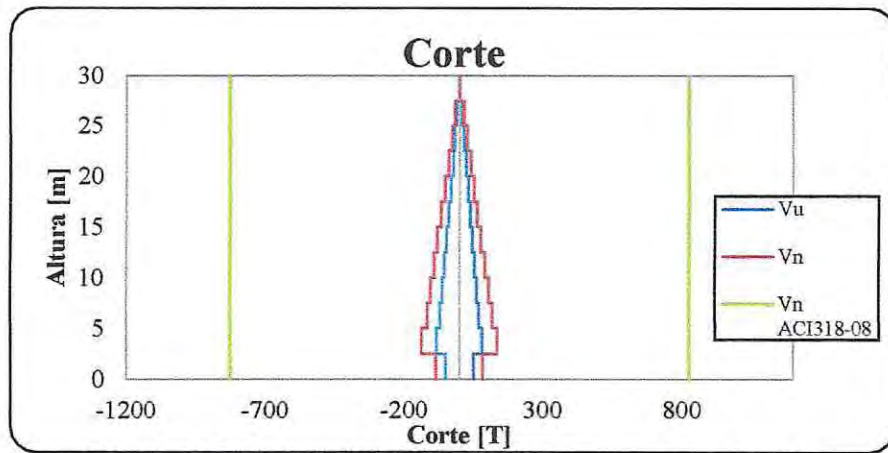


Figura 6.34-Diagrama de Corte muro1. Estructura V (Aislada).

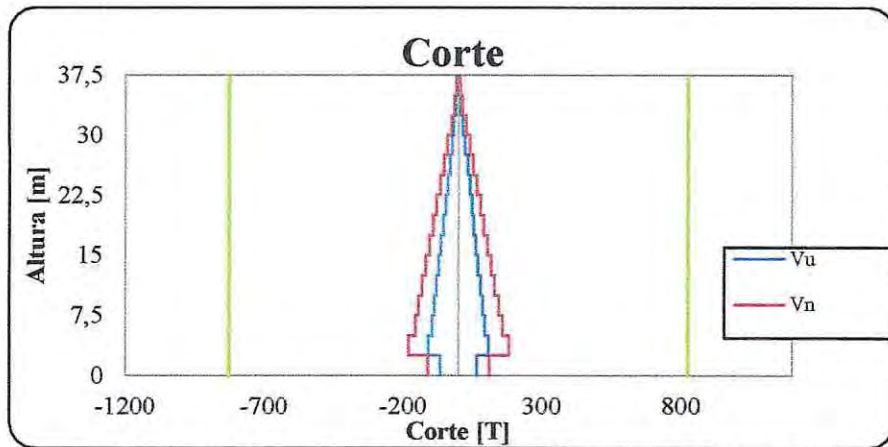


Figura 6.35-Diagrama de Corte muro1. Estructura VI (Aislada).

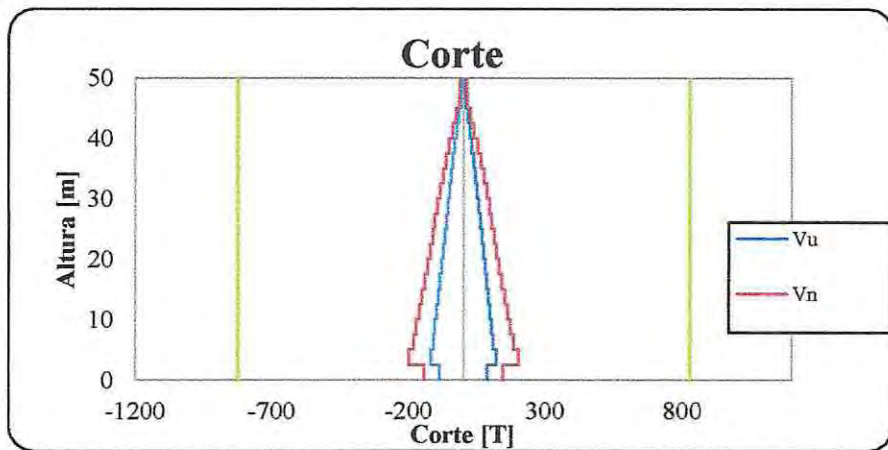


Figura 6.36-Diagrama de Corte muro1. Estructura VII (Aislada).

Tabla 6.15-Valores corte nominal  $V_n$ muro2, estructuras aisladas.

| Altura | Estructura I |           |                         | Estructura II |           |                          | Estructura III |           |                         | Estructura IV |           |                          |
|--------|--------------|-----------|-------------------------|---------------|-----------|--------------------------|----------------|-----------|-------------------------|---------------|-----------|--------------------------|
|        | $V_u$ [T]    | $V_n$ [T] | $V_n$<br>ACI-318<br>[T] | $V_u$ [T]     | $V_n$ [T] | $V_n$<br>ACI-<br>318 [T] | $V_u$ [T]      | $V_n$ [T] | $V_n$<br>ACI-318<br>[T] | $V_u$ [T]     | $V_n$ [T] | $V_n$<br>ACI-<br>318 [T] |
| 25     |              |           |                         |               |           |                          |                |           |                         | 4.4           | 7.4       | 449.7                    |
| 22.5   |              |           |                         |               |           |                          |                |           |                         | 4.4           | 7.4       | 449.7                    |
| 22.5   |              |           |                         |               |           |                          |                |           |                         | 3.5           | 5.8       | 449.7                    |
| 20     |              |           |                         |               |           |                          |                |           |                         | 3.5           | 5.8       | 449.7                    |
| 20     |              |           |                         |               |           |                          |                |           |                         | 3.9           | 6.5       | 449.7                    |
| 17.5   |              |           |                         |               |           |                          |                |           |                         | 3.9           | 6.5       | 449.7                    |
| 17.5   |              |           |                         |               |           |                          | 2.3            | 3.8       | 449.7                   | 4.2           | 7.1       | 449.7                    |
| 15     |              |           |                         |               |           |                          | 2.3            | 3.8       | 449.7                   | 4.2           | 7.1       | 449.7                    |
| 15     |              |           |                         |               |           |                          | 2.1            | 3.4       | 449.7                   | 4.3           | 7.2       | 449.7                    |
| 12.5   |              |           |                         |               |           |                          | 2.1            | 3.4       | 449.7                   | 4.3           | 7.2       | 449.7                    |
| 12.5   |              |           |                         | 1.1           | 1.9       | 449.7                    | 2.4            | 4.0       | 449.7                   | 4.3           | 7.2       | 449.7                    |
| 10     |              |           |                         | 1.1           | 1.9       | 449.7                    | 2.4            | 4.0       | 449.7                   | 4.3           | 7.2       | 449.7                    |
| 10     |              |           |                         | 1.2           | 2.0       | 449.7                    | 2.4            | 4.1       | 449.7                   | 4.1           | 6.9       | 449.7                    |
| 7.5    |              |           |                         | 1.2           | 2.0       | 449.7                    | 2.4            | 4.1       | 449.7                   | 4.1           | 6.9       | 449.7                    |
| 7.5    |              |           |                         | 1.4           | 2.4       | 449.7                    | 2.6            | 4.3       | 449.7                   | 4.5           | 7.5       | 449.7                    |
| 5      |              |           |                         | 1.4           | 2.4       | 449.7                    | 2.6            | 4.3       | 449.7                   | 4.5           | 7.5       | 449.7                    |
| 5      | 0.8          | 1.3       | 449.7                   | 1.4           | 2.3       | 449.7                    | 1.8            | 3.0       | 449.7                   | 0.1           | 0.2       | 449.7                    |
| 2.5    | 0.8          | 1.3       | 449.7                   | 1.4           | 2.3       | 449.7                    | 1.8            | 3.0       | 449.7                   | 0.1           | 0.2       | 449.7                    |
| 2.5    | 0.4          | 0.6       | 449.7                   | 0.5           | 0.8       | 449.7                    | 6.0            | 10.0      | 449.7                   | 15.0          | 24.9      | 449.7                    |
| 0      | 0.4          | 0.6       | 449.7                   | 0.5           | 0.8       | 449.7                    | 6.0            | 10.0      | 449.7                   | 15.0          | 24.9      | 449.7                    |

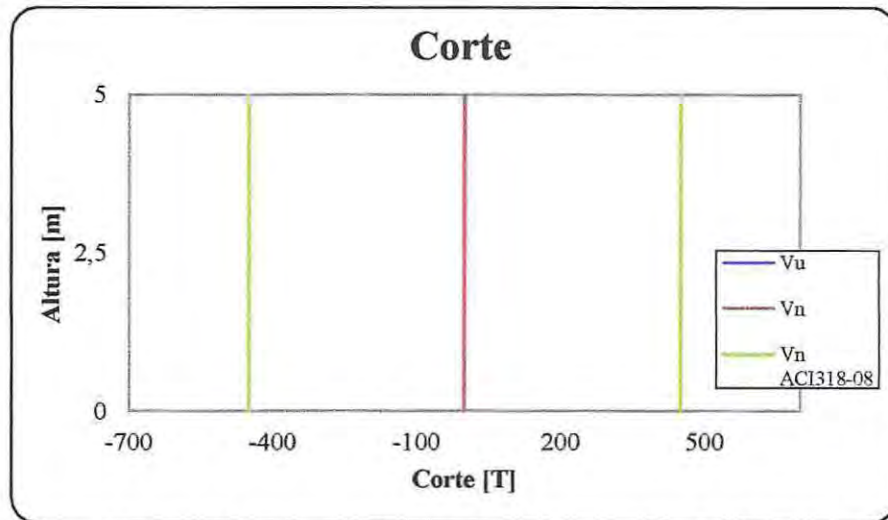


Figura 6.37-Diagrama de Corte muro2. Estructura I (Aislada).

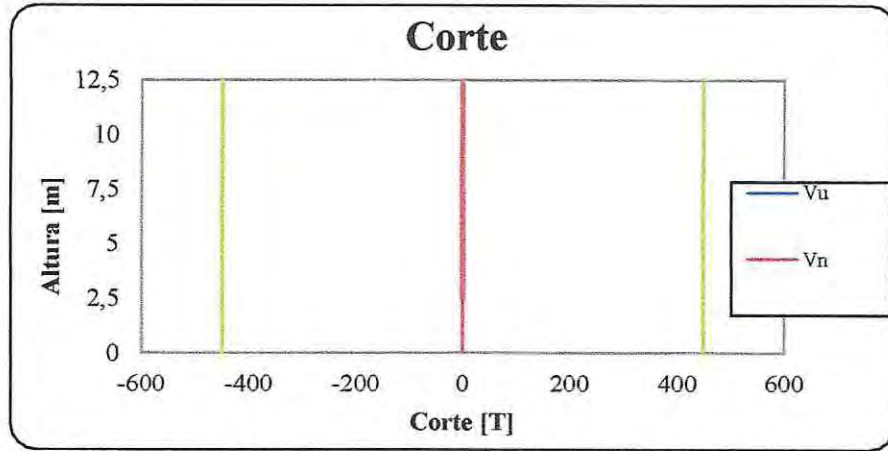


Figura 6.38--Diagrama de Corte muro2. Estructura II (Aislada).

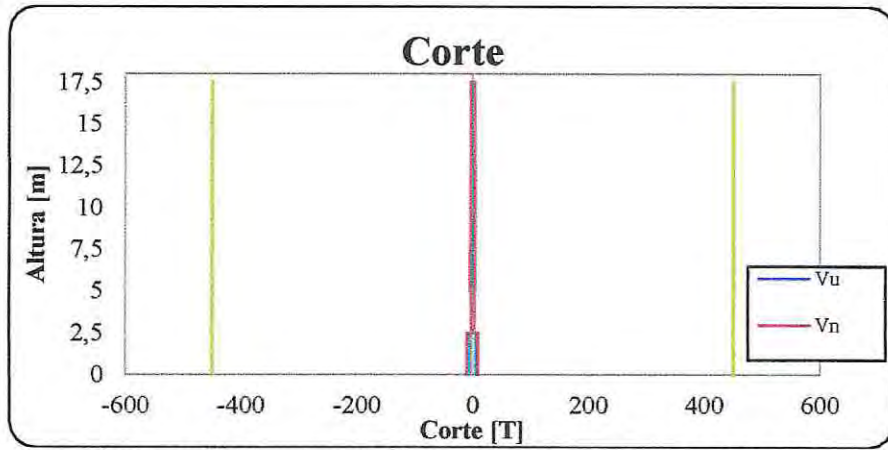


Figura 6.39--Diagrama de Corte muro2. Estructura III (Aislada).

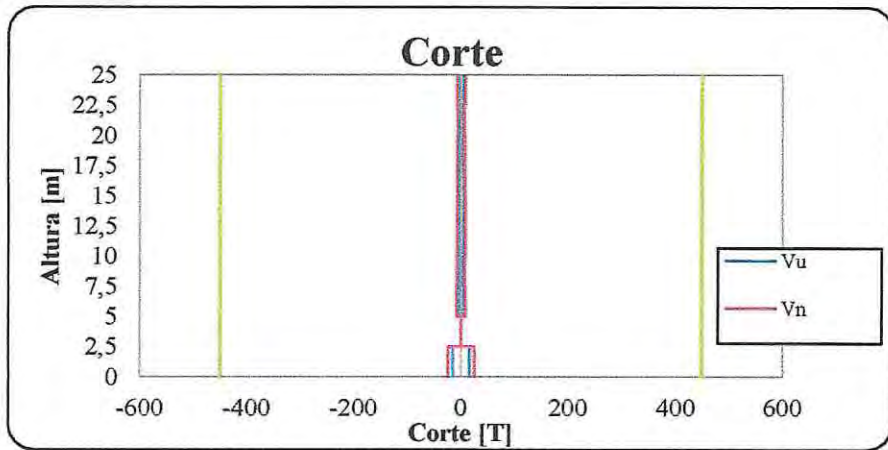


Figura 6.40--Diagrama de Corte muro2. Estructura IV (Aislada).

**Tabla 6.16-Valores corte nominal  $V_n$ muro2, estructuras aisladas.**

| Altura | Estructura V |           |                   | Estructura VI |           |                   | Estructura VII |           |                   |
|--------|--------------|-----------|-------------------|---------------|-----------|-------------------|----------------|-----------|-------------------|
|        | $V_u$ [T]    | $V_n$ [T] | $V_n$ ACI-318 [T] | $V_u$ [T]     | $V_n$ [T] | $V_n$ ACI-318 [T] | $V_u$ [T]      | $V_n$ [T] | $V_n$ ACI-318 [T] |
| 50     |              |           |                   |               |           |                   | 14.8           | 24.7      | 826.2             |
| 47.5   |              |           |                   |               |           |                   | 14.8           | 24.7      | 826.2             |
| 47.5   |              |           |                   |               |           |                   | 10.5           | 17.6      | 826.2             |
| 45     |              |           |                   |               |           |                   | 10.5           | 17.6      | 826.2             |
| 45     |              |           |                   |               |           |                   | 11.8           | 19.7      | 826.2             |
| 42.5   |              |           |                   |               |           |                   | 11.8           | 19.7      | 826.2             |
| 42.5   |              |           |                   |               |           |                   | 12.5           | 20.9      | 826.2             |
| 40     |              |           |                   |               |           |                   | 12.5           | 20.9      | 826.2             |
| 40     |              |           |                   |               |           |                   | 13.3           | 22.2      | 826.2             |
| 37.5   |              |           |                   |               |           |                   | 13.3           | 22.2      | 826.2             |
| 37.5   |              |           |                   | 11.2          | 18.6      | 826.2             | 14.1           | 23.5      | 826.2             |
| 35     |              |           |                   | 11.2          | 18.6      | 826.2             | 14.1           | 23.5      | 826.2             |
| 35     |              |           |                   | 8.1           | 13.4      | 826.2             | 14.8           | 24.7      | 826.2             |
| 32.5   |              |           |                   | 8.1           | 13.4      | 826.2             | 14.8           | 24.7      | 826.2             |
| 32.5   |              |           |                   | 9.0           | 15.1      | 826.2             | 15.4           | 25.7      | 826.2             |
| 30     |              |           |                   | 9.0           | 15.1      | 826.2             | 15.4           | 25.7      | 826.2             |
| 30     | 7.5          | 12.5      | 826.2             | 9.6           | 16.0      | 826.2             | 16.0           | 26.6      | 826.2             |
| 27.5   | 7.5          | 12.5      | 826.2             | 9.6           | 16.0      | 826.2             | 16.0           | 26.6      | 826.2             |
| 27.5   | 5.6          | 9.3       | 826.2             | 10.2          | 17.0      | 826.2             | 16.4           | 27.3      | 826.2             |
| 25     | 5.6          | 9.3       | 826.2             | 10.2          | 17.0      | 826.2             | 16.4           | 27.3      | 826.2             |
| 25     | 6.3          | 10.4      | 826.2             | 10.7          | 17.8      | 826.2             | 16.7           | 27.8      | 826.2             |
| 22.5   | 6.3          | 10.4      | 826.2             | 10.7          | 17.8      | 826.2             | 16.7           | 27.8      | 826.2             |
| 22.5   | 6.6          | 11.1      | 826.2             | 11.1          | 18.5      | 826.2             | 16.7           | 27.9      | 826.2             |
| 20     | 6.6          | 11.1      | 826.2             | 11.1          | 18.5      | 826.2             | 16.7           | 27.9      | 826.2             |
| 20     | 7.0          | 11.7      | 826.2             | 11.4          | 19.0      | 826.2             | 16.6           | 27.7      | 826.2             |
| 17.5   | 7.0          | 11.7      | 826.2             | 11.4          | 19.0      | 826.2             | 16.6           | 27.7      | 826.2             |
| 17.5   | 7.3          | 12.1      | 826.2             | 11.5          | 19.2      | 826.2             | 16.3           | 27.1      | 826.2             |
| 15     | 7.3          | 12.1      | 826.2             | 11.5          | 19.2      | 826.2             | 16.3           | 27.1      | 826.2             |
| 15     | 7.4          | 12.3      | 826.2             | 11.4          | 19.0      | 826.2             | 15.6           | 26.1      | 826.2             |
| 12.5   | 7.4          | 12.3      | 826.2             | 11.4          | 19.0      | 826.2             | 15.6           | 26.1      | 826.2             |
| 12.5   | 7.4          | 12.3      | 826.2             | 11.1          | 18.5      | 826.2             | 14.7           | 24.6      | 826.2             |
| 10     | 7.4          | 12.3      | 826.2             | 11.1          | 18.5      | 826.2             | 14.7           | 24.6      | 826.2             |
| 10     | 6.9          | 11.6      | 826.2             | 10.2          | 17.0      | 826.2             | 13.3           | 22.1      | 826.2             |
| 7.5    | 6.9          | 11.6      | 826.2             | 10.2          | 17.0      | 826.2             | 13.3           | 22.1      | 826.2             |
| 7.5    | 7.4          | 12.4      | 826.2             | 10.5          | 17.6      | 826.2             | 12.9           | 21.5      | 826.2             |
| 5      | 7.4          | 12.4      | 826.2             | 10.5          | 17.6      | 826.2             | 12.9           | 21.5      | 826.2             |
| 5      | 0.2          | 0.3       | 826.2             | 0.6           | 1.0       | 826.2             | 2.5            | 4.2       | 826.2             |
| 2.5    | 0.2          | 0.3       | 826.2             | 0.6           | 1.0       | 826.2             | 2.5            | 4.2       | 826.2             |
| 2.5    | 24.0         | 40.1      | 826.2             | 31.9          | 53.1      | 826.2             | 32.8           | 54.7      | 826.2             |
| 0      | 24.0         | 40.1      | 826.2             | 31.9          | 53.1      | 826.2             | 32.8           | 54.7      | 826.2             |

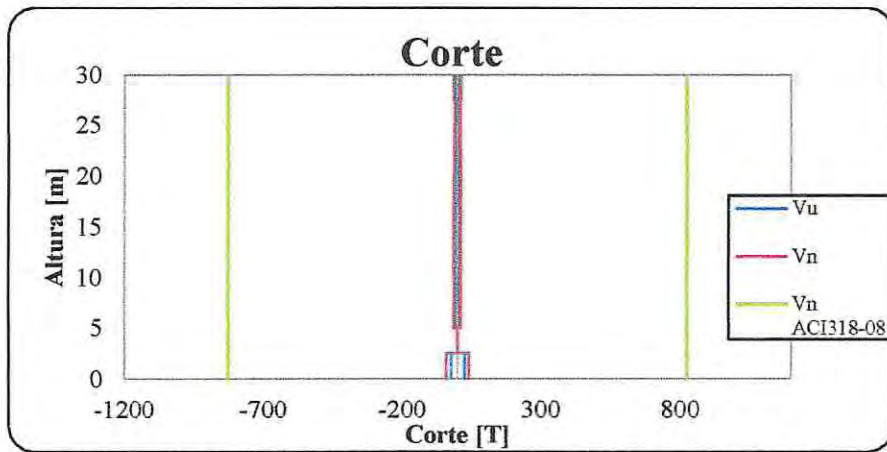


Figura 6.41 -Diagrama de Corte muro2. Estructura V (Aislada).

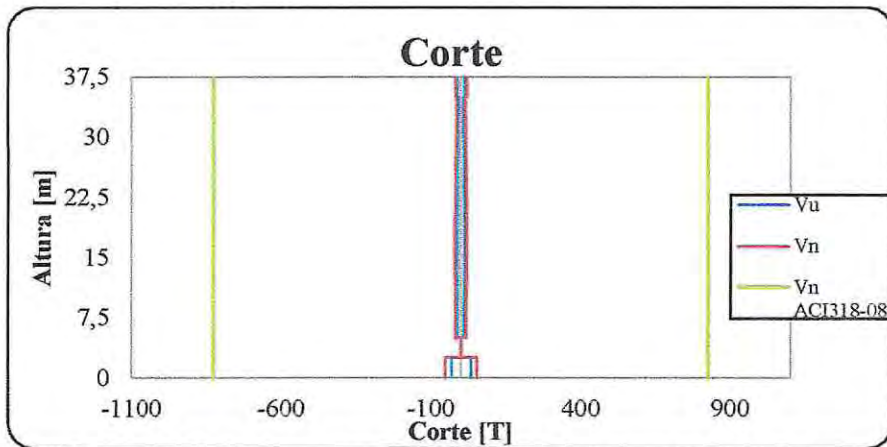


Figura 6.42- Diagrama de Corte muro2. Estructura VI (Aislada).

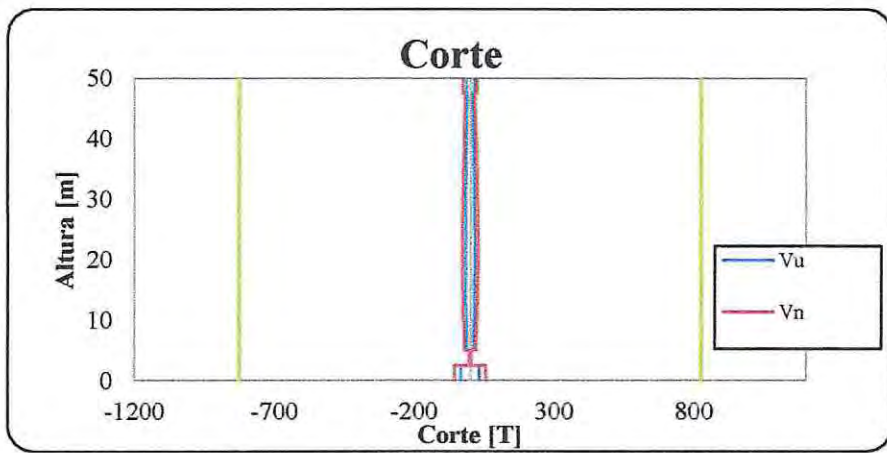


Figura 6.43-Diagrama de Corte muro2. Estructura VII (Aislada).

## Capítulo VII

### 7 Análisis no Lineal.

Para realizar el análisis no lineal de las estructuras se utilizaron 2 modelos histeréticos el primero es el de Takeda, este fue utilizado para los elementos de hormigón armado y un segundo modelo bilineal, con el cual se analizó el sistema de aislación.

En cuanto a la superficie de fluencia para los elementos se utilizó el modelo viga-columna en la Figura 7.1 se muestra su configuración.

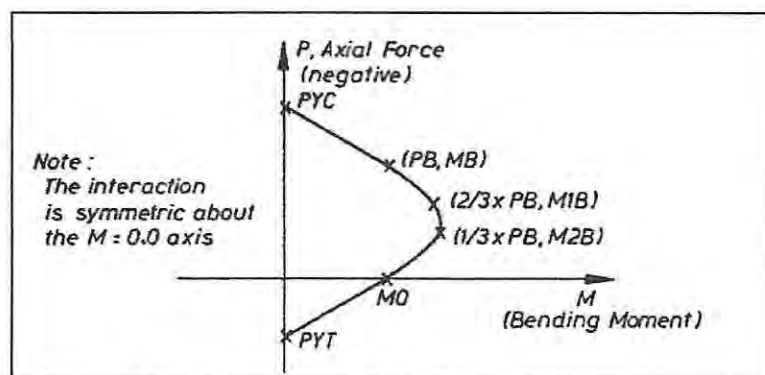


Figura 7.1- Curva de rendimiento Viga-Columna.

Fuente: Ruaumoko.

#### 7.1 Modelo de Takeda

El modelo de Takeda es uno de los modelos más sofisticados y fue desarrollado en base a observaciones hechas de muchos ensayos experimentales. Las simulaciones con este modelo satisfacen el comportamiento estático y dinámico de las juntas de concreto armado. [Medí, 1982].

Este modelo es definido mediante 16 reglas, pero es uno de los modelos poligonales más completos e intenta representar de manera más real el comportamiento del hormigón armado. La curva envolvente resultante corresponde a una representación bilineal, como se muestra en la Figura 7.2. El modelo está definido por los siguientes parámetros: el factor  $\alpha$  que controla la rigidez de la rama de descarga ( $0 \leq \alpha \leq 0.5$ ), el factor  $\beta$  que controla la rigidez de recarga ( $0 \leq \beta \leq 0.6$ ), el factor de Ramberg-Osgood,  $r$ , que controla la pérdida de rigidez después de la fluencia ( $1 \leq r \leq \infty$ ), la rigidez inicial  $k_0$  igual a  $EI$  y la rigidez de la rama de descarga,  $k_d$ .

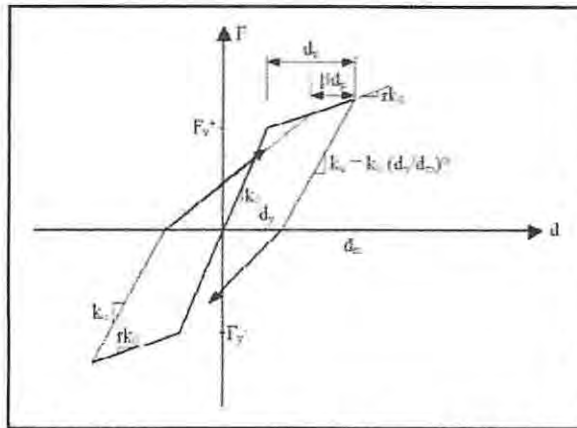


Figura 7.2- Modelo histérico de Takeda modificado [Otani, 1974].

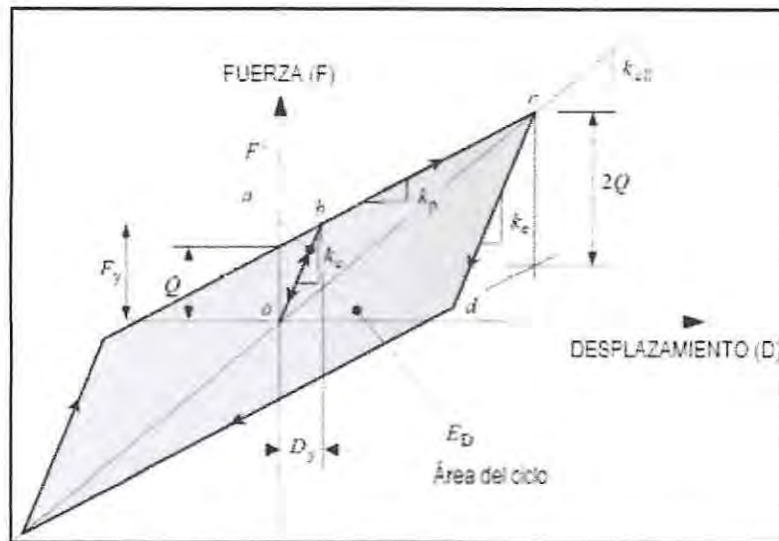
## 7.2 Modelo Bilineal.

El modelo bilineal ha sido ampliamente aceptado para la investigación y el diseño, esto se debe a que caracteriza las propiedades mecánicas de los aisladores adecuadamente. [De La Llera, 1998].

El modelo bilineal, usado para expresar la relación entre fuerza cortante y el desplazamiento lateral, puede definirse por tres parámetros:

- 1) Rigidez Elástica  $k_e$ .
- 2) Rigidez Post-fluencia  $k_p$ .
- 3) Fuerza Característica  $Q$ .

La fuerza característica  $Q$  se emplea a menudo para estimar la estabilidad del comportamiento histérico cuando el aislador experimenta muchos ciclos de carga. Estos tres parámetros reflejan adecuadamente las características mecánicas de los aisladores de una forma simple y suministran una estimación satisfactoria del comportamiento no lineal de un aislador.

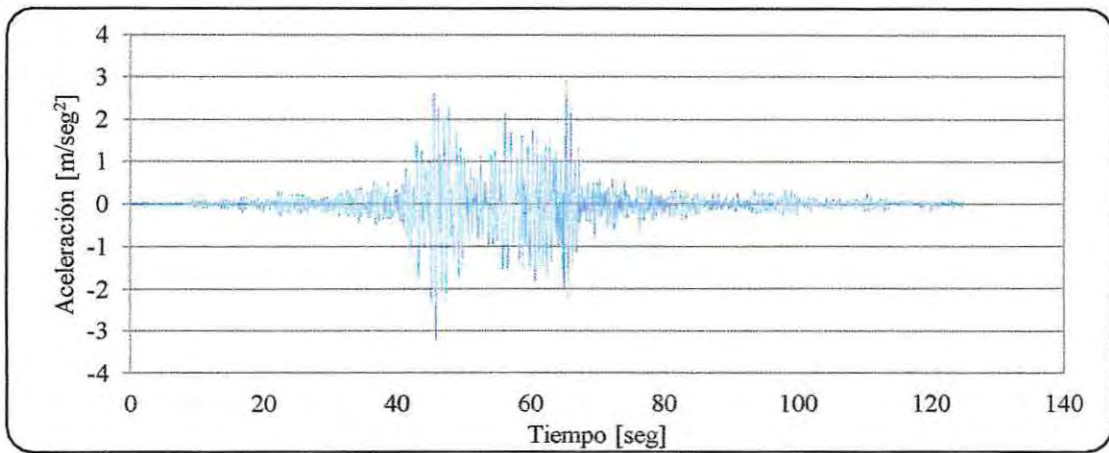


**Figura 7.3-** Modelo histérico bilineal.  
Fuente: Smart structures, 2008.

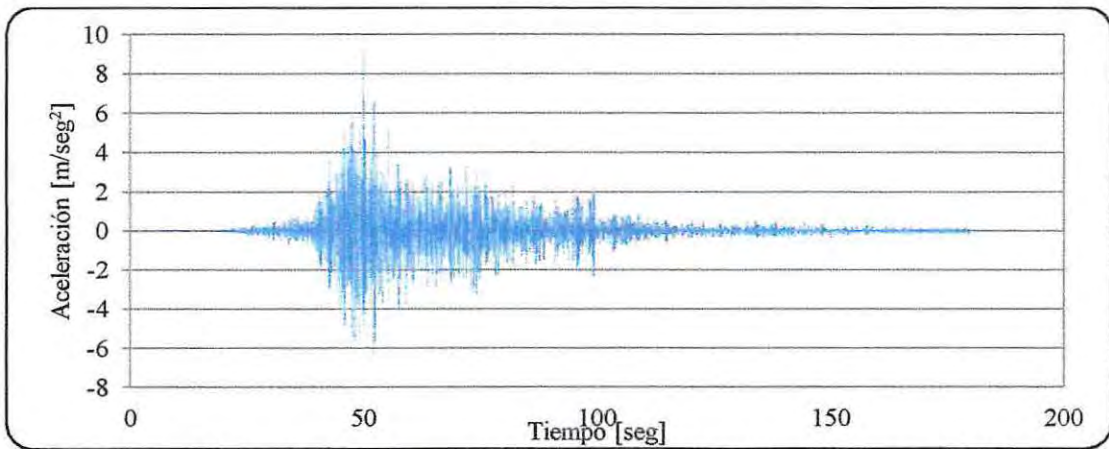
La Figura 7.3, muestra un modelo bilineal idealizado. Cuando una fuerza cortante empieza a aplicarse sobre el aislador existe una relación bilineal hasta antes de llegar al punto  $b$ , si la fuerza cortante decrece se espera que la descarga sea lineal. Una vez el cortante aumente hasta el punto  $b$  se produce la fluencia del aislador. Después del punto  $b$  el aislador experimenta grandes desplazamientos con pequeños incrementos de fuerza cortante y su rigidez se define como la rigidez post-fluencia  $k_p$ . Si la descarga se produce en el punto  $c$  la trayectoria de descarga no regresa por el mismo camino, en su lugar regresa por la trayectoria  $cd$ , con la misma rigidez inicial  $k_e$ . Cuando el cortante continúe más allá del punto  $d$ , la trayectoria es paralela a la línea  $bc$  y la rigidez es la post-fluencia  $k_p$ . La rigidez efectiva  $k_{eff}$  en la región post-fluencia puede ser expresada en términos de la rigidez  $k_p$  y la fuerza característica  $Q$  con el correspondiente desplazamiento ( $D$ ) lateral.

### 7.3 Análisis tiempo historia.

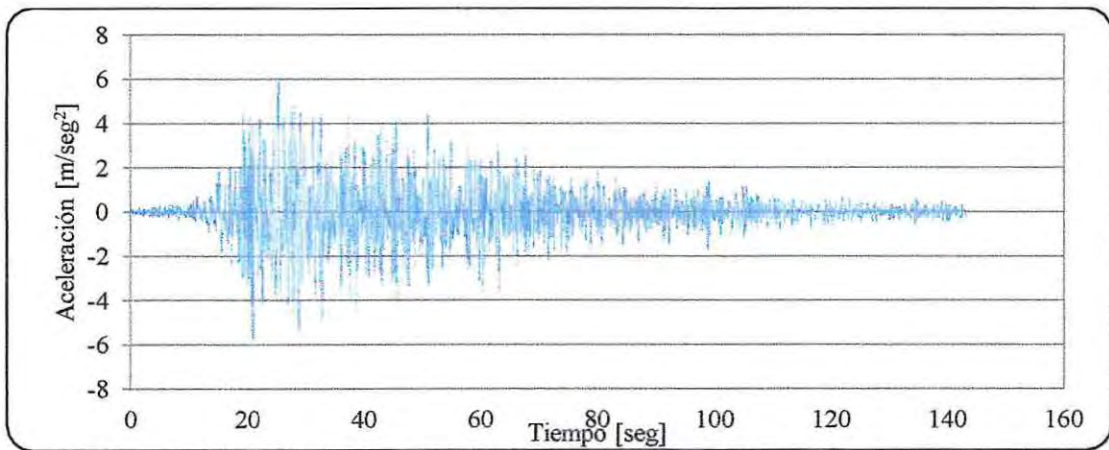
Con la finalidad de evaluar el comportamiento de las diferentes estructuras analizadas frente a un sismo de gran magnitud, se realizó un análisis tiempo – historia, utilizando el programa Ruaumoko [A.J. Carr, 2008], considerando los registros de aceleraciones correspondientes al Terremoto del Maule ocurrido el 27 de Febrero de 2010 en Chile, la estaciones utilizadas fueron la de Viña, Angol y Constitución, representados en las Figuras 7.4 a 7.6, respectivamente.



**Figura 7.4-**Registro Terremoto del Maule 2010 Chile- Viña, componente EO.



**Figura 7.5-**Registro Terremoto del Maule 2010 Chile- Angol, componente NS.



**Figura 7.6-**Registro Terremoto del Maule 2010 Chile- Constitución, componente T.

## Capítulo VIII

### 8 Análisis de Resultados.

En el presente capítulo se analizan los resultados obtenidos de los desplazamientos, las aceleraciones y la relación fuerza-desplazamiento de los aisladores empleados. Este análisis es producto de la comparación entre los resultados de las siete estructuras de sistema aislado con los de sistema de base fija.

#### 8.1 Desplazamientos.

Las estructuras estudiadas fueron analizadas para cada registro presentado en el punto anterior de donde se obtuvo las envolventes de desplazamiento y los desplazamientos relativos de entrepiso.

En las Figuras 8.1 a 8.28, se representan gráficamente los resultados obtenidos, para cada una de las estructuras y diferentes registros.

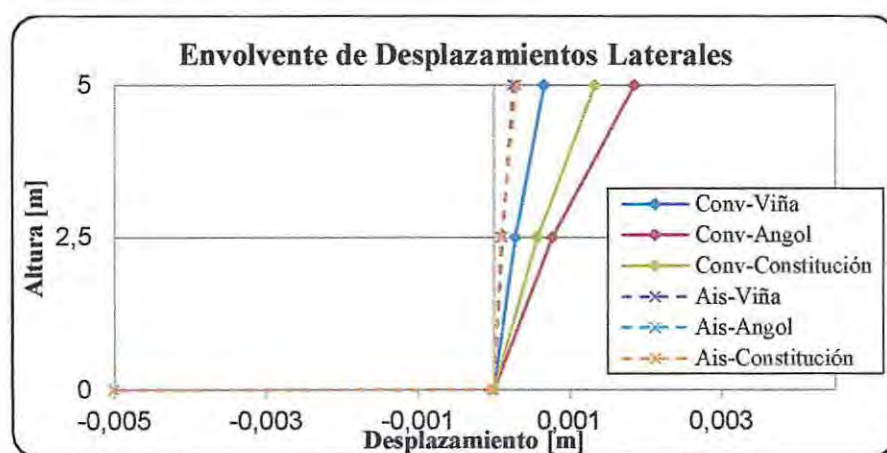


Figura 8.1- Desplazamientos laterales. Estructura I.

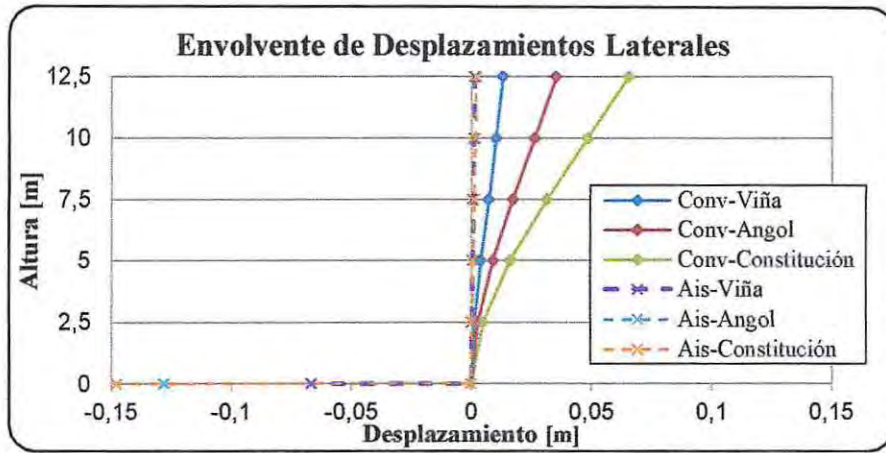


Figura 8.2- Desplazamientos laterales. Estructura II.

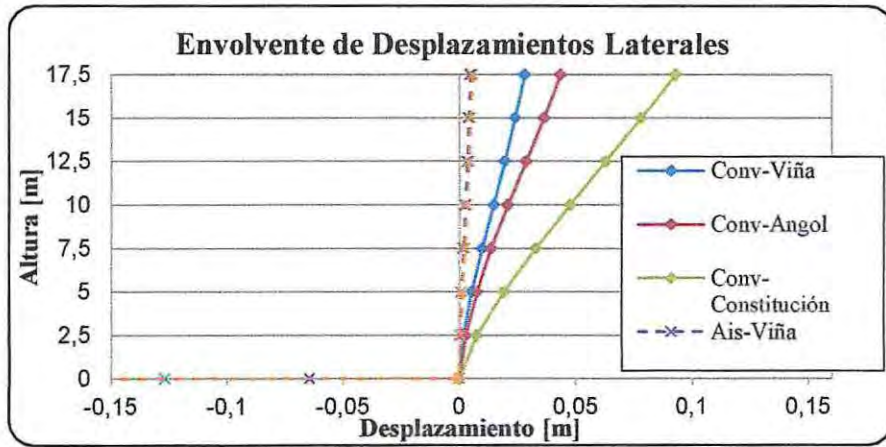


Figura 8.3- Desplazamientos laterales. Estructura III.

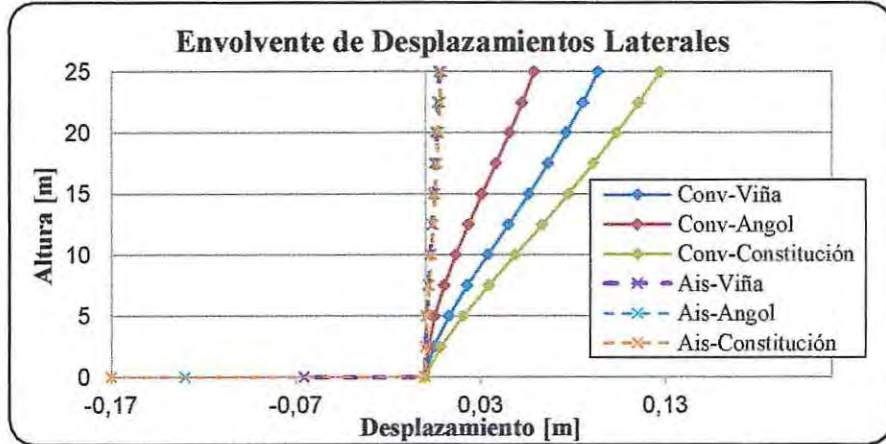


Figura 8.4- Desplazamientos laterales. Estructura IV.

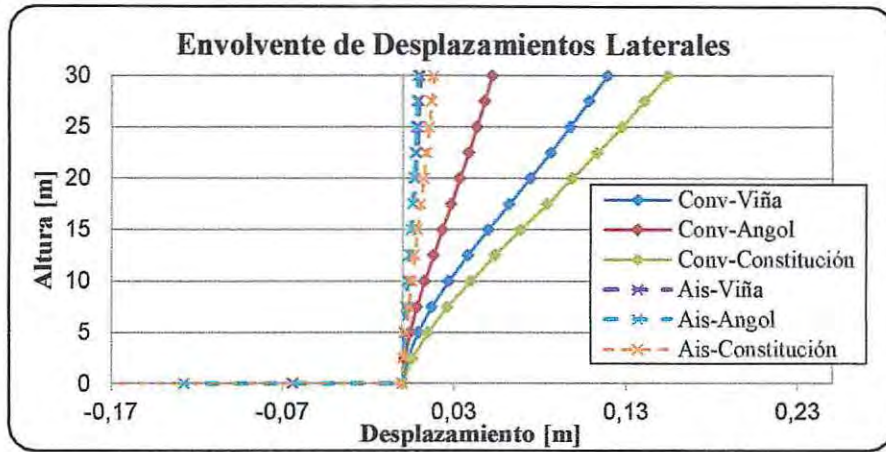


Figura 8.5- Desplazamientos laterales. Estructura V.

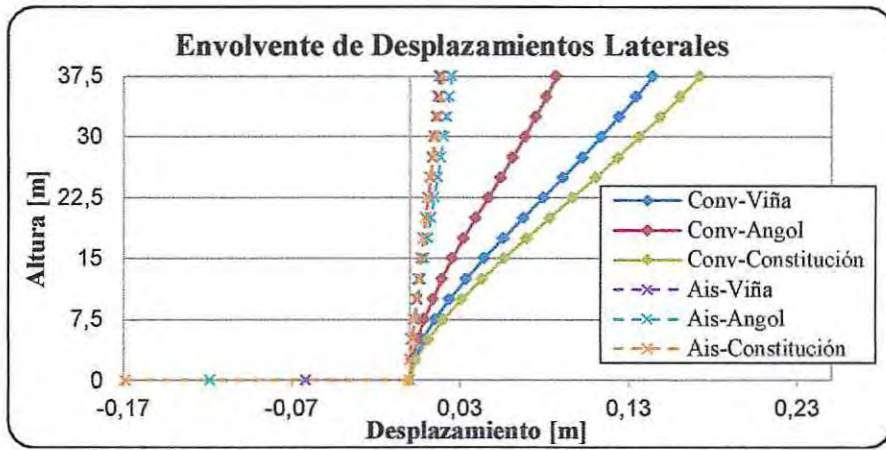


Figura 8.6- Desplazamientos laterales. Estructura VI.

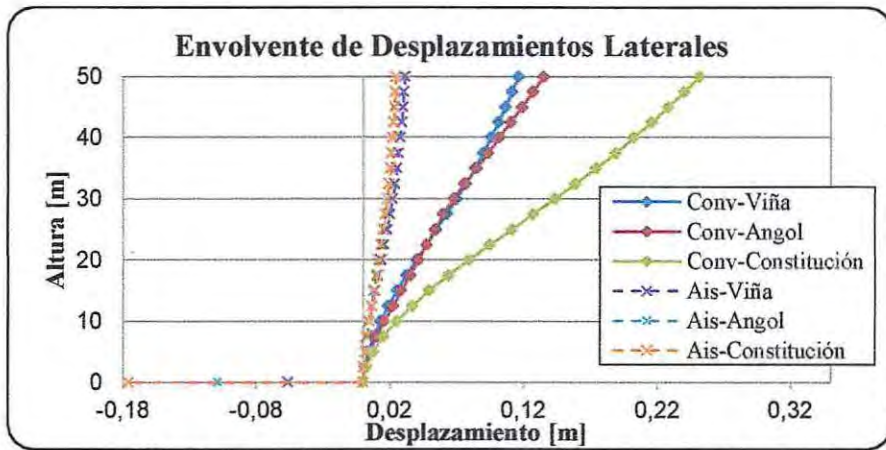


Figura 8.7- Desplazamientos laterales. Estructura VII.

En los gráficos anteriores se pudieron apreciar los perfiles en altura de los desplazamientos máximos por nivel para cada estructura convencional y aislada.

Se puede observar que en las estructuras aisladas el mayor desplazamiento se produce en la interfaz de aislación, permaneciendo los pisos superiores con pocas distorsiones en altura.

En cuanto a la estructura sin aislación, se puede apreciar por su forma que los desplazamientos van aumentando a medida que aumenta la altura, este es un comportamiento típico de una estructura con base fija, ya que de algún modo la deformación de los elementos que permite la disipación de la energía que entrega el sismo, en cuanto a la estructura aislada esta disipación de energía ocurre principalmente en el sistema de aislación, con la deformación que experimenta en aislador.

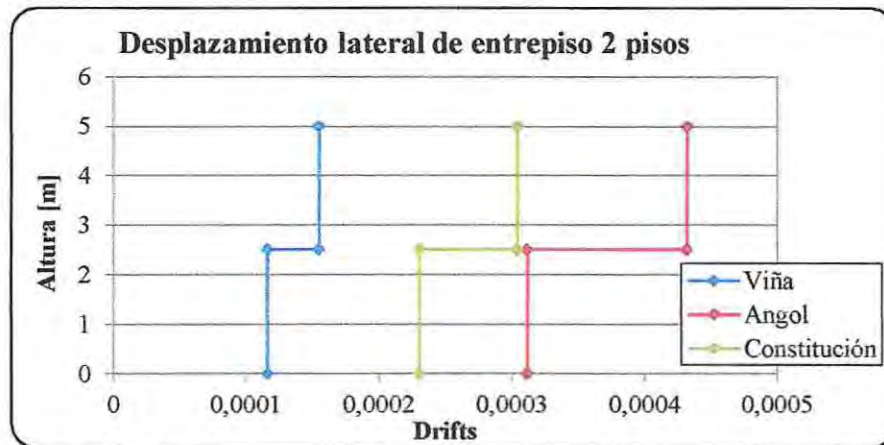


Figura 8.8- Desplazamiento relativo de entrepiso. Estructura I (Convencional).

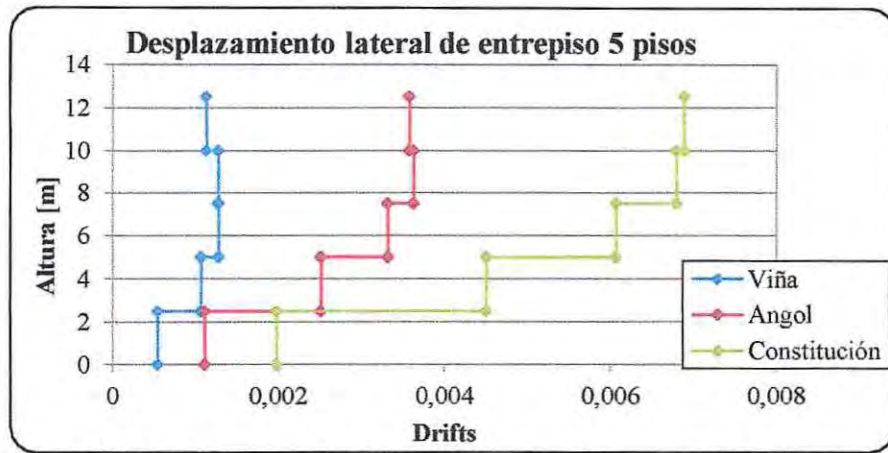


Figura 8.9- Desplazamiento relativo de entrepiso. Estructura II (Convencional).

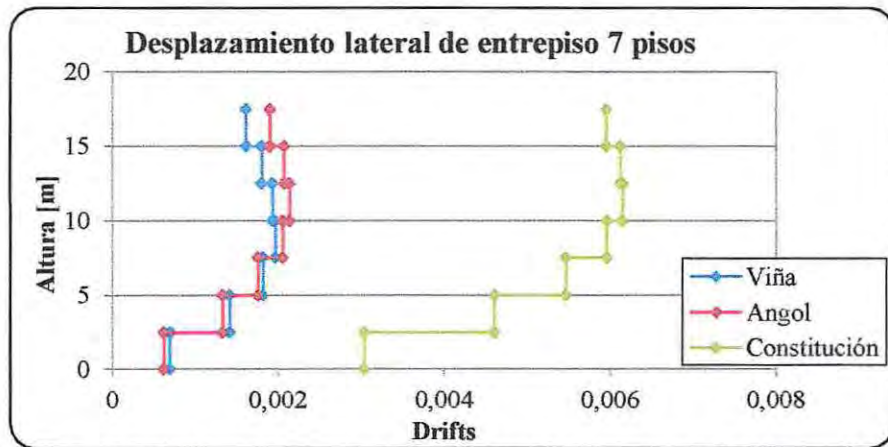


Figura 8.10- Desplazamiento relativo de entrepiso. Estructura III (Convencional).

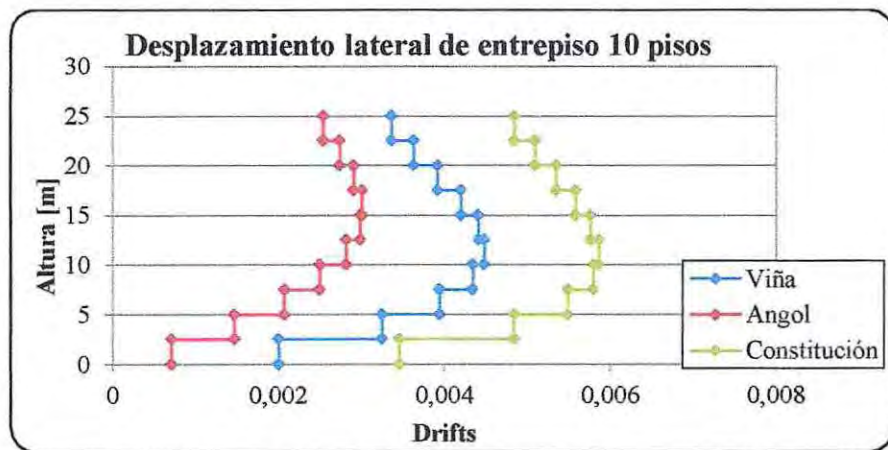


Figura 8.11- Desplazamiento relativo de entrepiso. Estructura IV (Convencional).

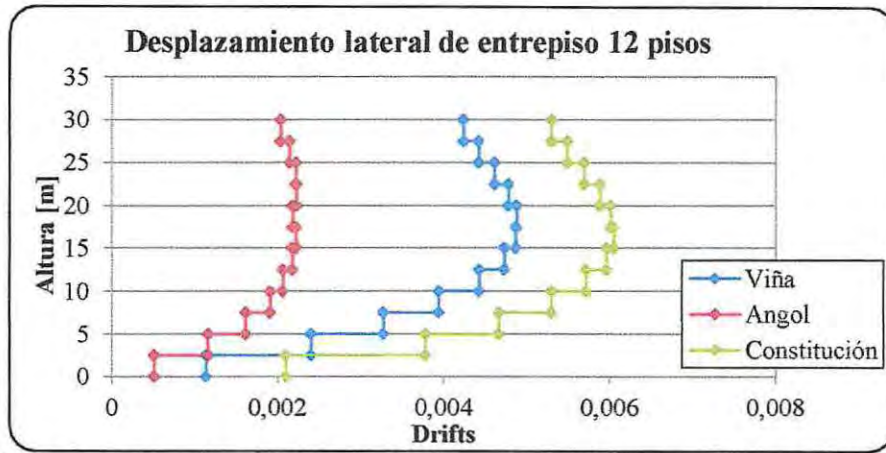


Figura 8.12- Desplazamiento relativo de entrepiso. Estructura V (Convencional).

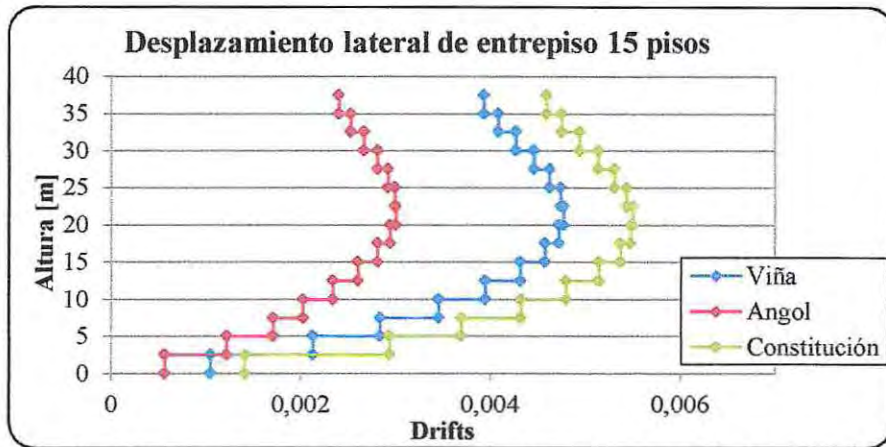


Figura 8.13- Desplazamiento relativo de entrepiso. Estructura VI (Convencional).

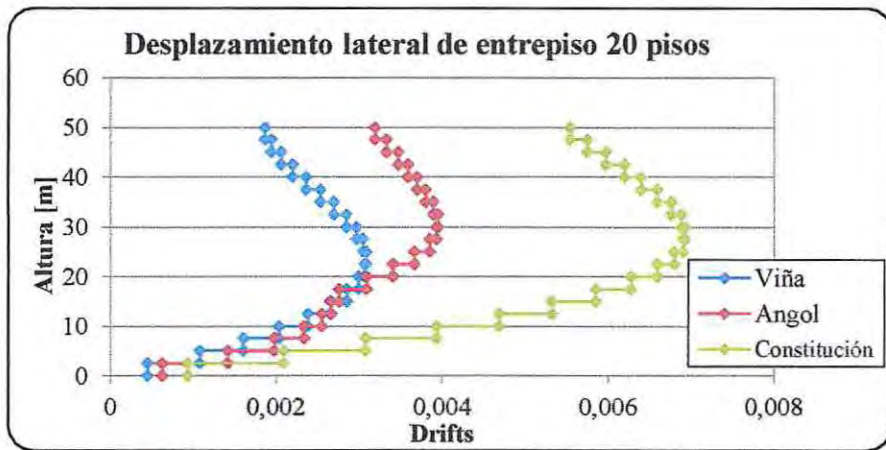


Figura 8.14- Desplazamiento relativo de entrepiso. Estructura VII (Convencional).

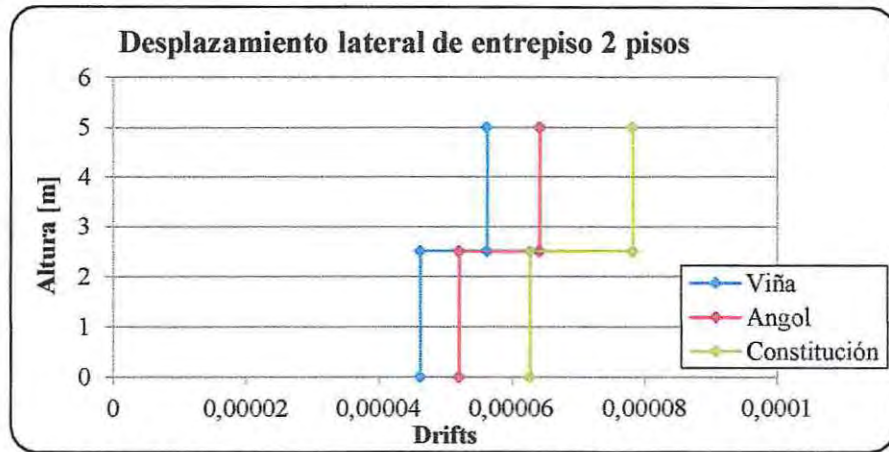


Figura 8.15- Desplazamiento relativo de entrepiso. Estructura I (Aislada).

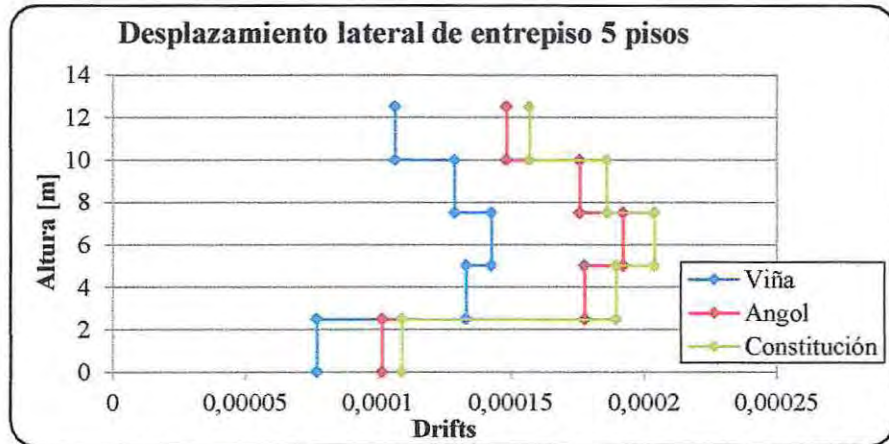


Figura 8.16- Desplazamiento relativo de entrepiso. Estructura II (Aislada).

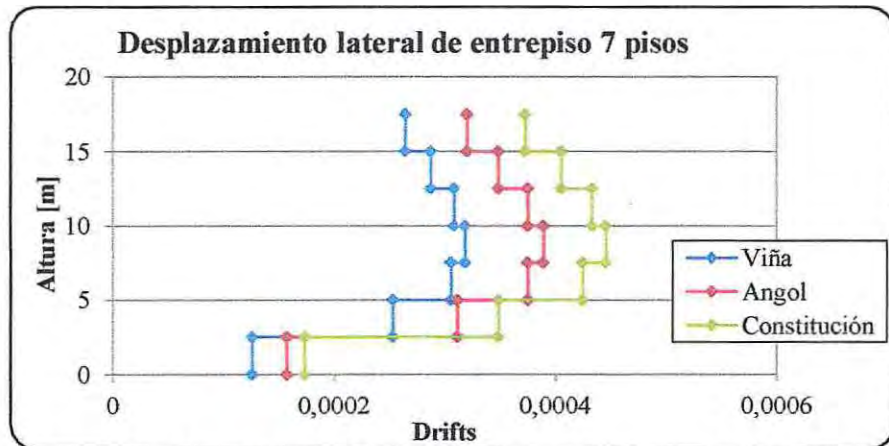


Figura 8.17- Desplazamiento relativo de entrepiso. Estructura III (Aislada).

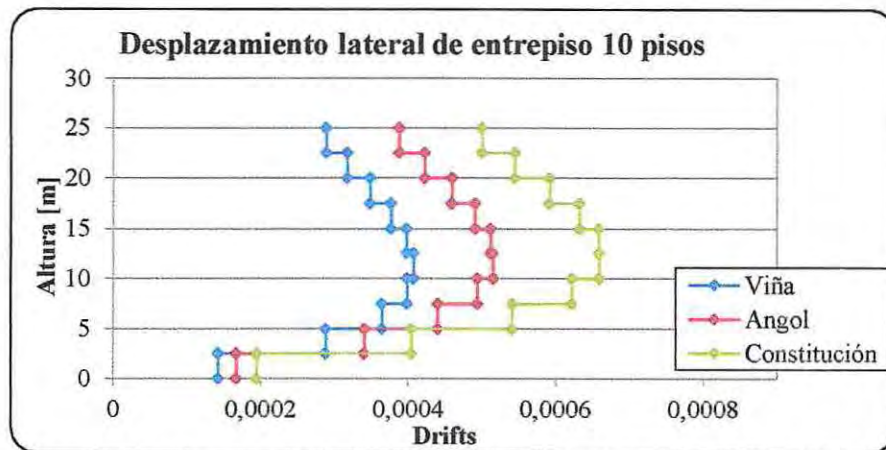


Figura 8.18- Desplazamiento relativo de entrespiso. Estructura IV (Aislada).

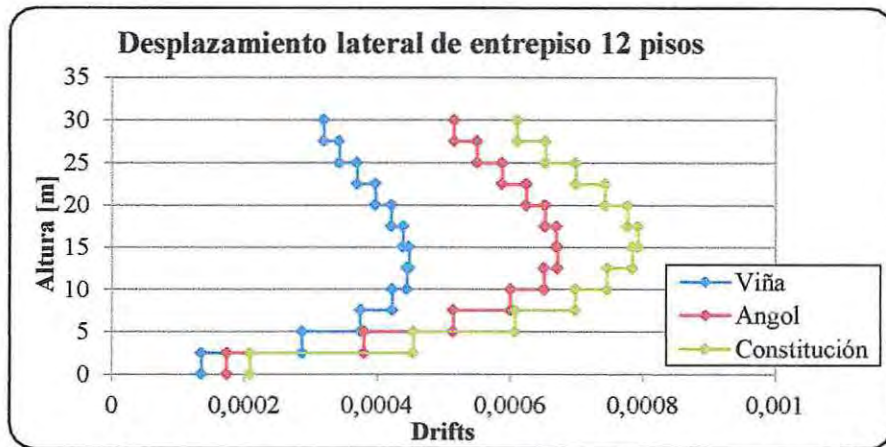


Figura 8.19- Desplazamiento relativo de entrespiso. Estructura V (Aislada).

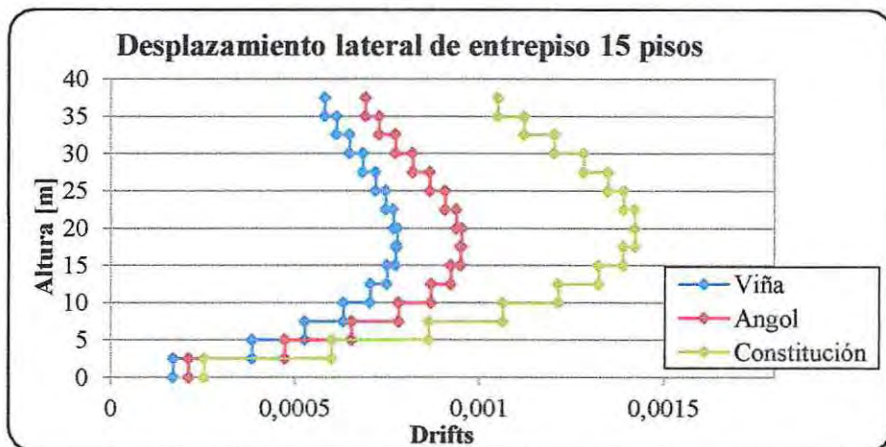


Figura 8.20- Desplazamiento relativo de entrespiso. Estructura VI (Aislada).

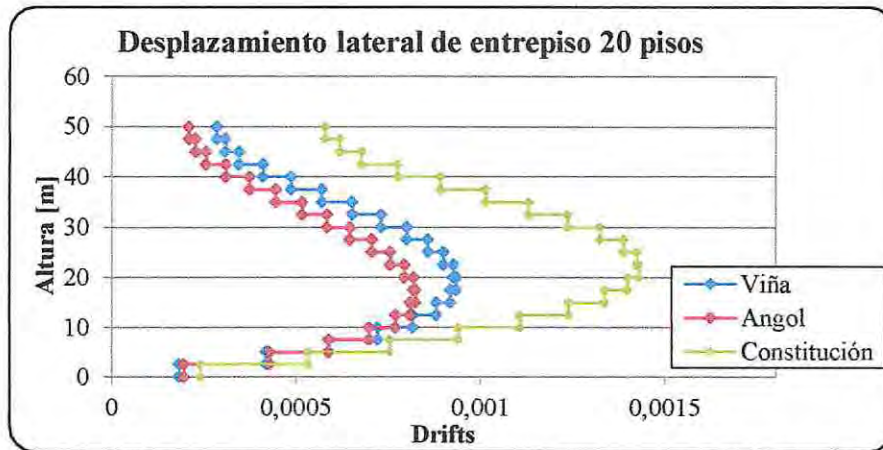


Figura 8.21- Desplazamiento relativo de entrepiso. Estructura VII (Aislada).

De los gráficos se puede apreciar notablemente la reducción de las derivas en los edificios que cuentan con un sistema de aislación basal, respecto a su símil pero de base fija, comportándose como un cuerpo rígido. Desde el punto de vista de la disminución de los desplazamientos relativos de entrepiso el beneficio que entrega un sistema aislado es indudable, ya que este tipo de desplazamiento está relacionado tanto a los daños estructurales como del contenido proporcionando una mejor seguridad y continuidad de uso luego de un sismo de gran magnitud como es el registro de Constitución.

## 8.2 Aceleraciones.

En esta sección se pueden visualizar las aceleraciones por pisos para cada estructura estudiada y registros utilizados. En las Figuras 8.22 a 8.28, se representan gráficamente los resultados obtenidos, para cada una de las estructuras y diferentes registros.

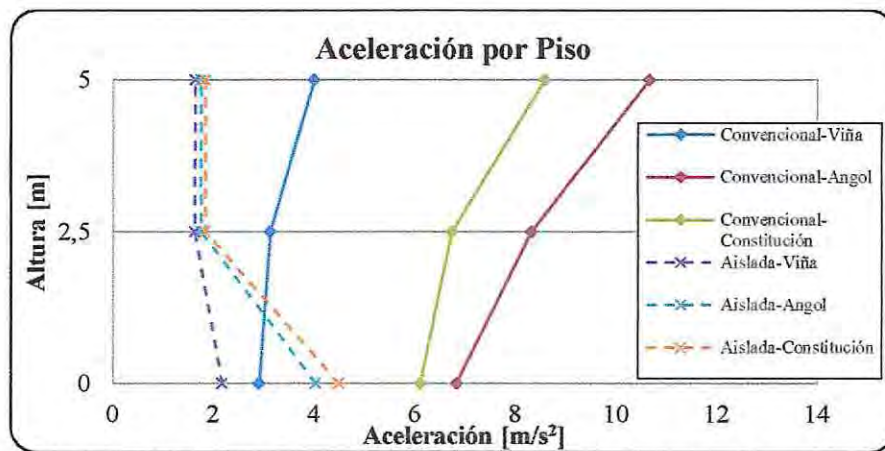


Figura 8.22- Respuesta comparativa de aceleración por piso. Estructura I.

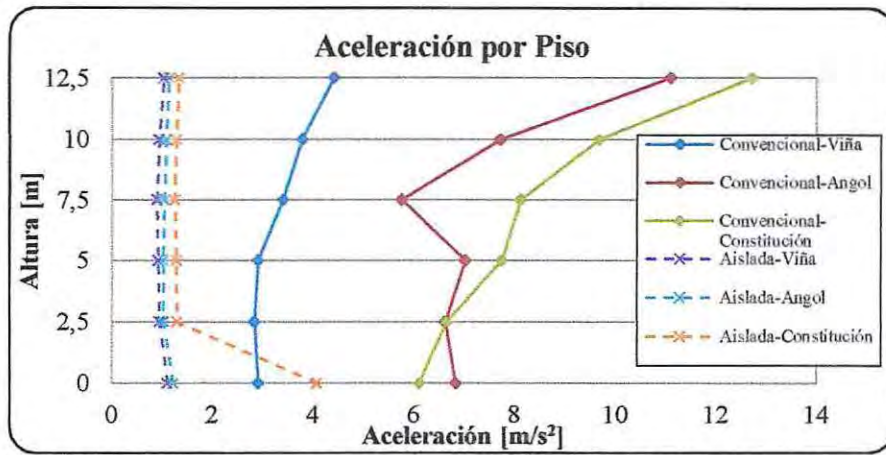


Figura 8.23—Respuesta comparativa de aceleración por piso. Estructura II.

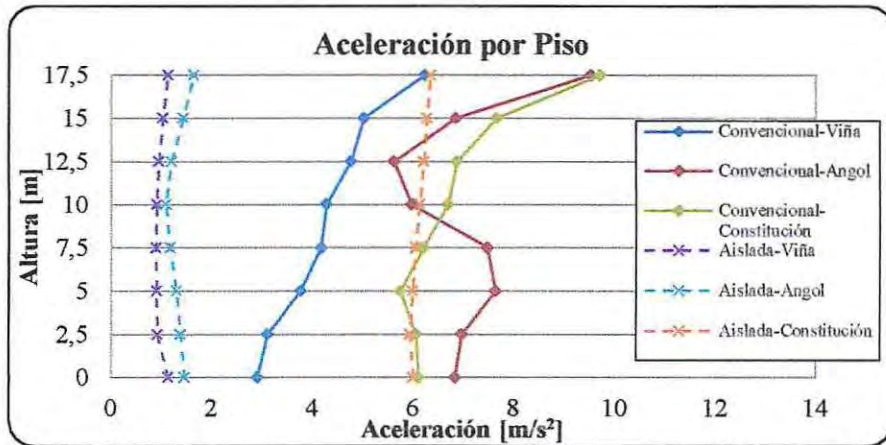


Figura 8.24- Respuesta comparativa de aceleración por piso. Estructura III.

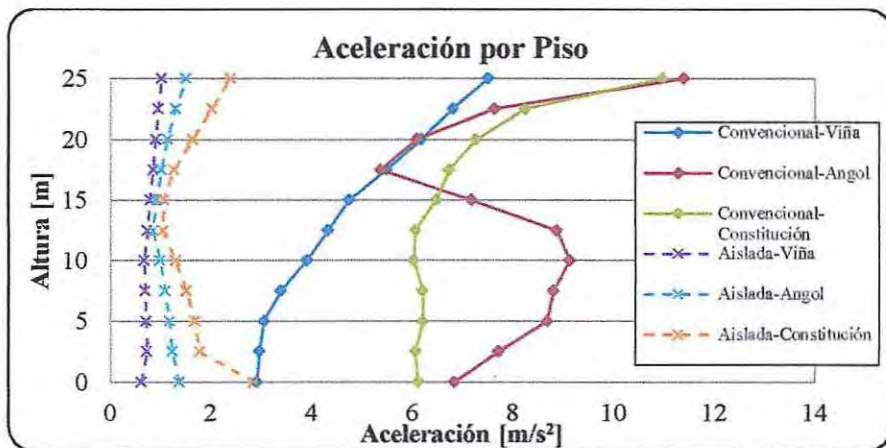


Figura 8.25- Respuesta comparativa de aceleración por piso. Estructura IV.

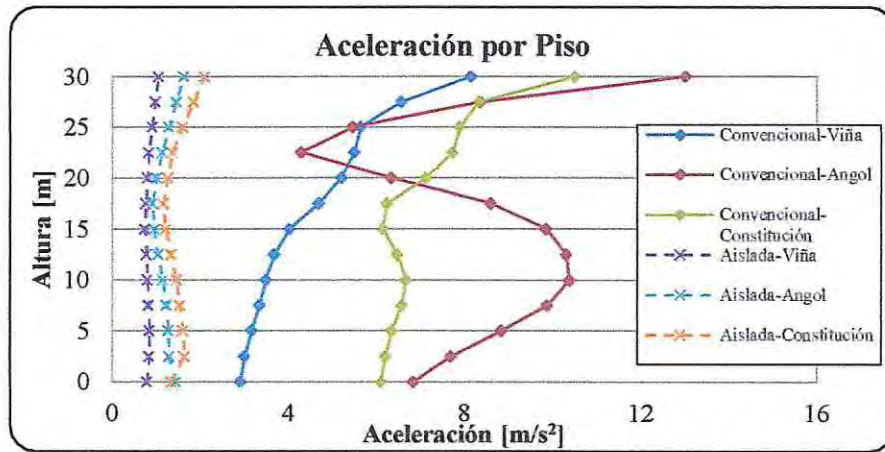


Figura 8.26- Respuesta comparativa de aceleración por piso. Estructura V.

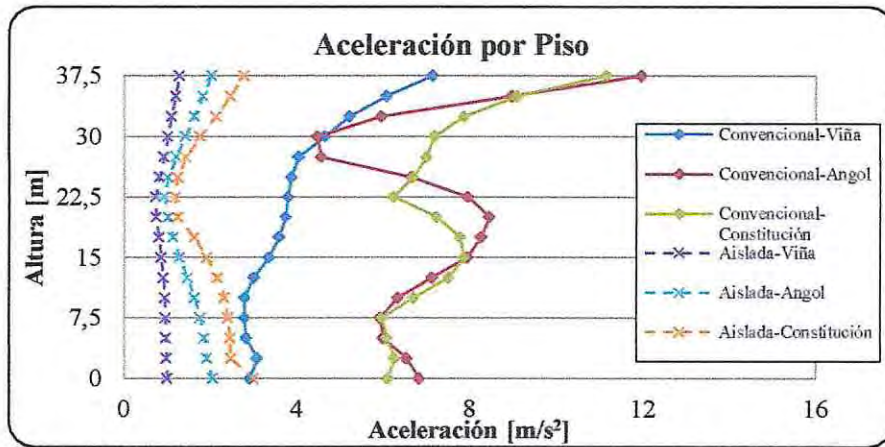


Figura 8.27- Respuesta comparativa de aceleración por piso. Estructura VI.

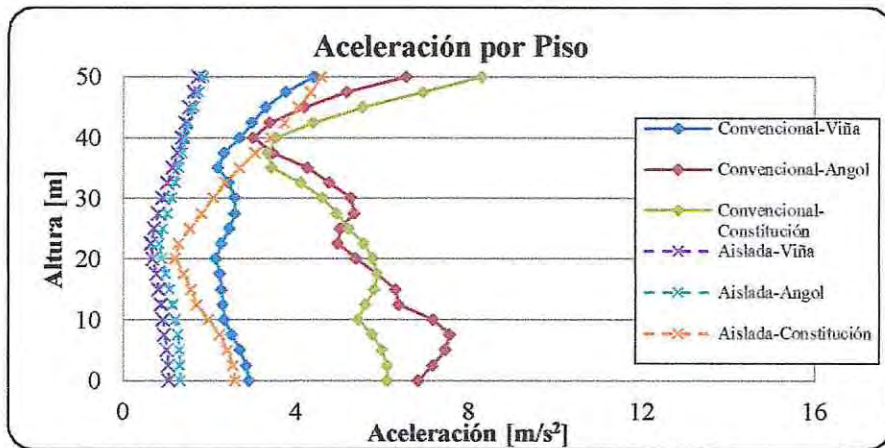


Figura 8.28- Respuesta comparativa de aceleración por piso. Estructura VII.

La comparación de la aceleración por pisos es un buen indicador para destacar las ventajas que proporciona la implementación de un sistema de aislación, desde el punto de vista de la operabilidad de la estructura y el cuidado de su contenido.

En las figuras anteriores se pudo visualizar el comportamiento de cada edificio frente a la acción de los registros de Viña, Angol y Constitución. El efecto generado por el sistema de aislación es notorio en la superestructura, ya que sus aceleraciones son mucho menores que las estructuras de base fija. En el caso de las estructuras de base fija la aceleración inducida en su base por el registro de Constitución es de  $6,11 \text{ [m/s}^2\text{]}$ , produciéndose una amplificación a medida que se aumenta de nivel llegando al doble de la aceleración del suelo, esto es inverso a lo que sucede es una estructura aislada ya que las aceleraciones varían levemente a medida que se aumenta de nivel y produciendo una reducción de hasta un 90%.

### 8.3 Fuerza-desplazamiento de los aisladores

En las Figuras 8.29 a 8.49 se pueden visualizar la relación fuerza-desplazamiento de los aisladores utilizados para cada estructura.

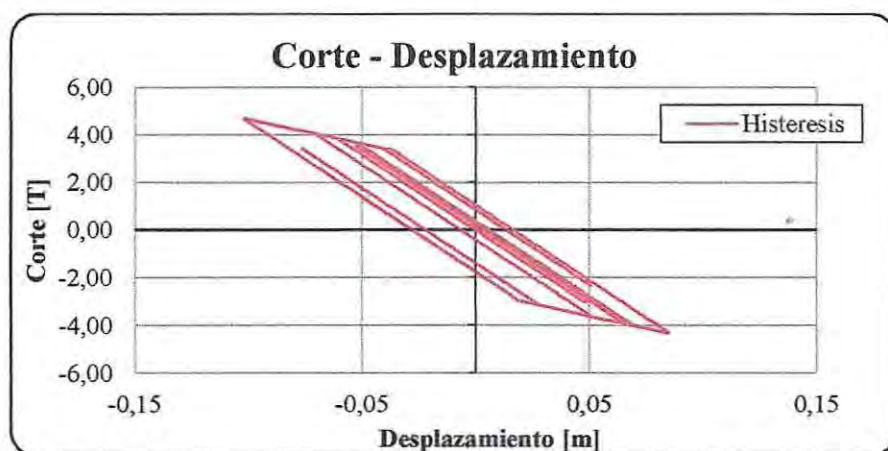


Figura 8.29- Cortante en la base Vs Desplazamiento. Estructura I, registro de Viña.

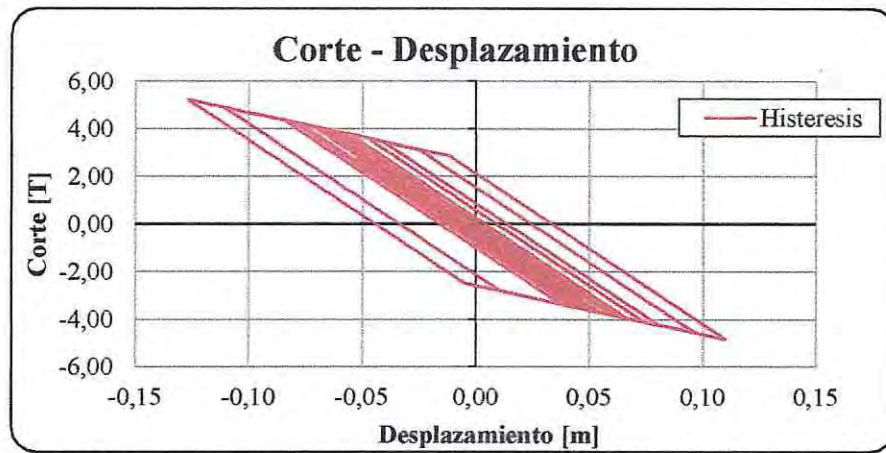


Figura 8.30- Cortante en la base Vs Desplazamiento. Estructura I, registro de Angol.

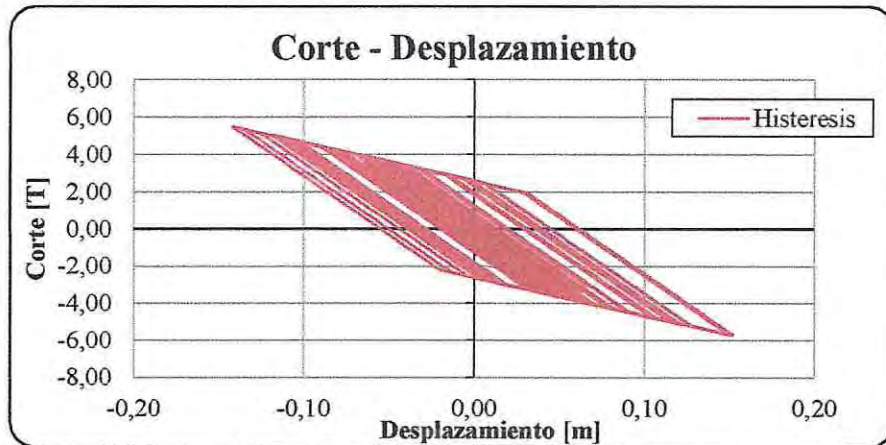


Figura 8.31- Cortante en la base Vs Desplazamiento. Estructura I, registro de Constitución.

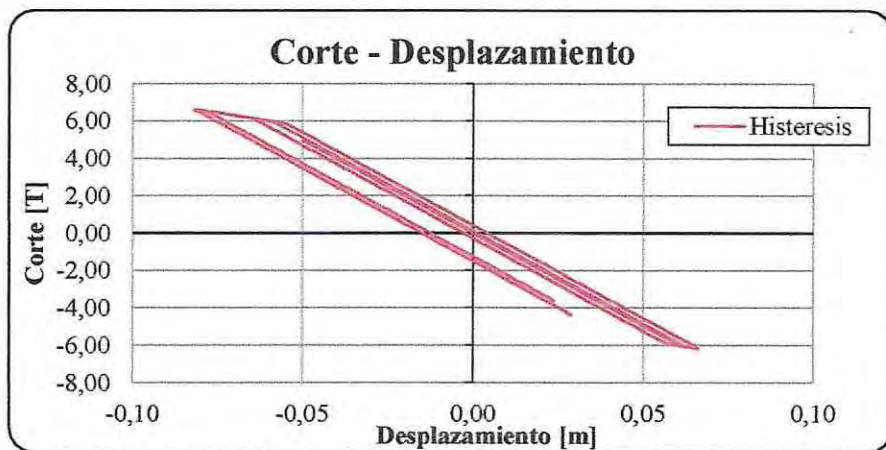


Figura 8.32- Cortante en la base Vs Desplazamiento. Estructura II, registro de Viña.

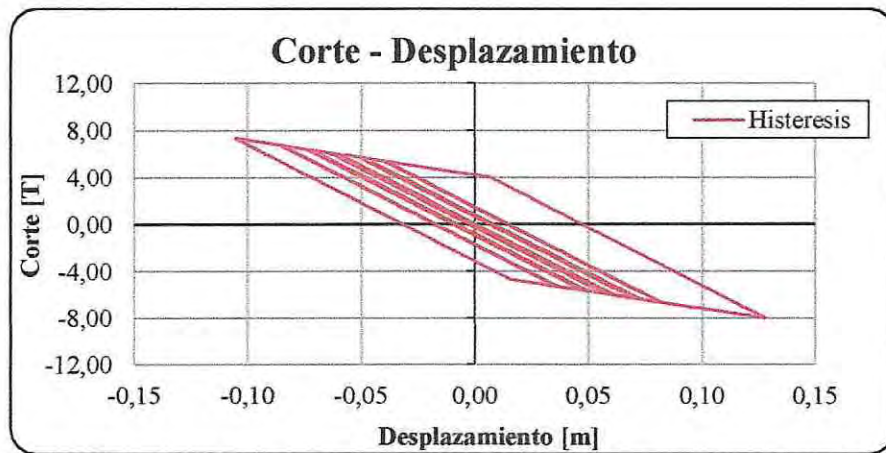


Figura 8.33- Cortante en la base Vs Desplazamiento. Estructura II, registro de Angol.

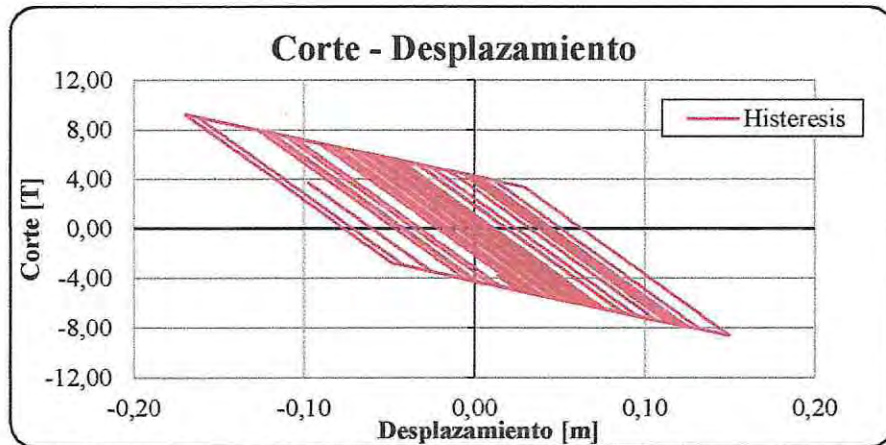


Figura 8.34- Cortante en la base Vs Desplazamiento. Estructura II, registro de Constitución.

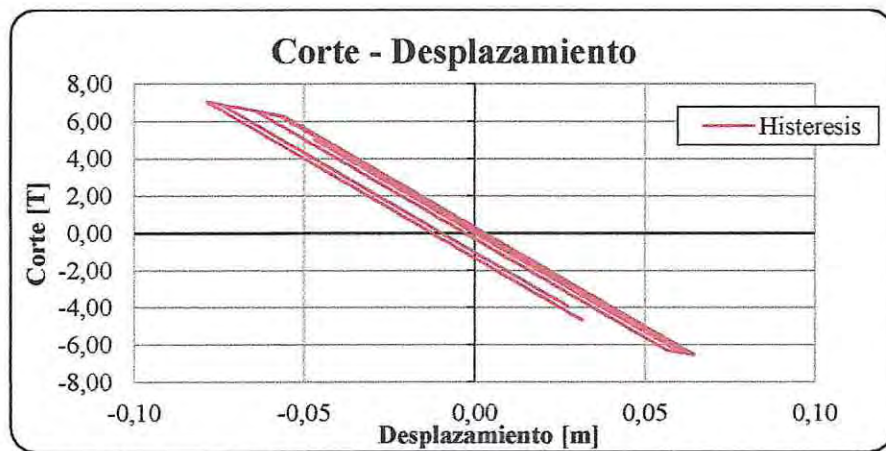


Figura 8.35- Cortante en la base Vs Desplazamiento. Estructura III, registro de Viña.

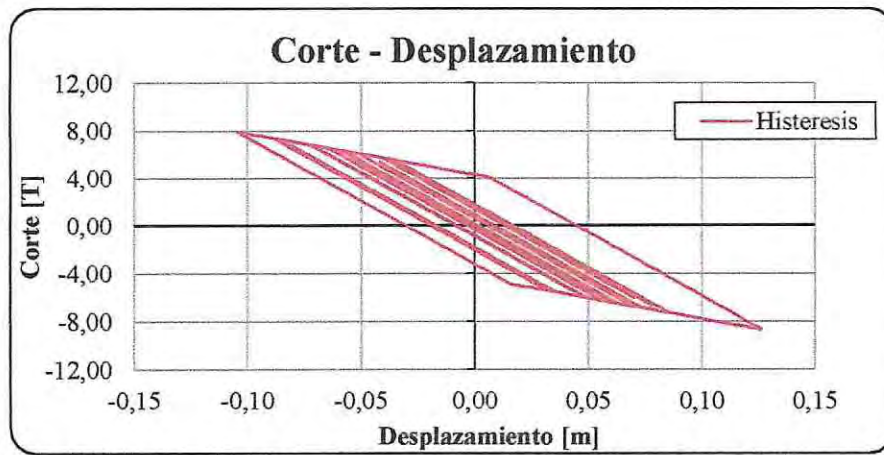


Figura 8.36- Cortante en la base Vs Desplazamiento. Estructura III, registro de Angol.

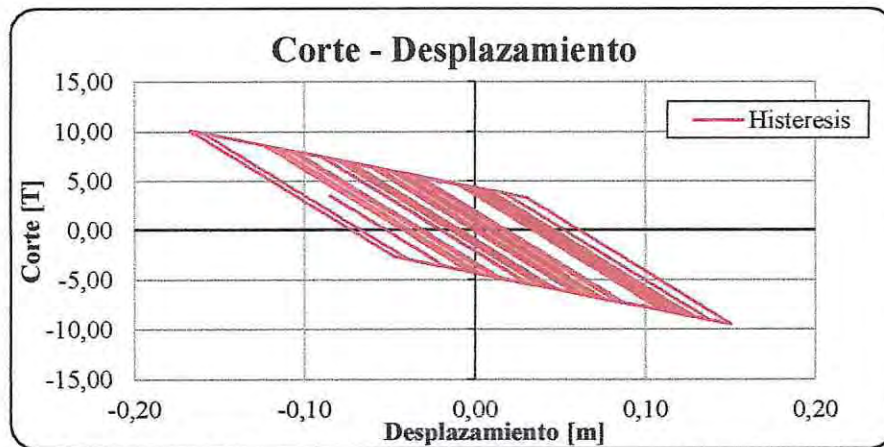


Figura 8.37- Cortante en la base Vs Desplazamiento. Estructura III, registro de Constitución.

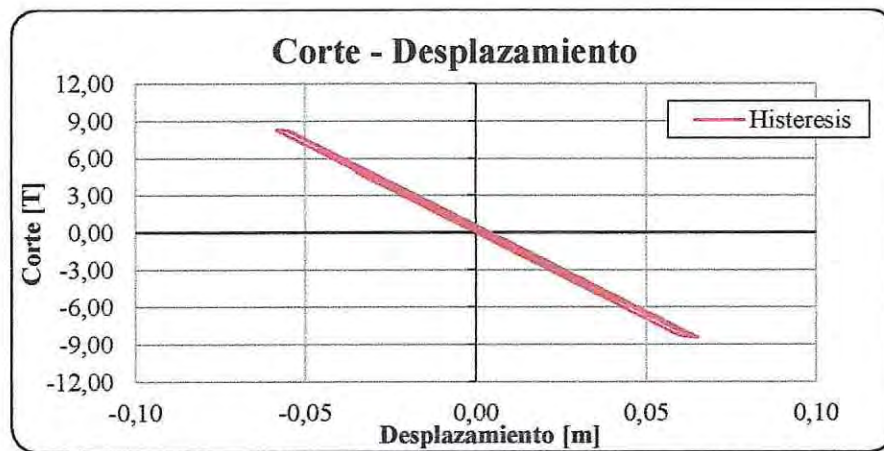


Figura 8.38- Cortante en la base Vs Desplazamiento. Estructura IV, registro de Viña.

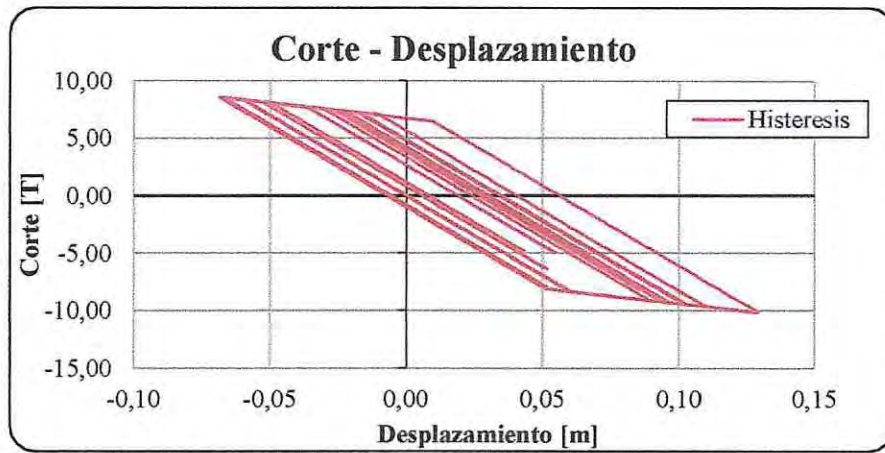


Figura 8.39- Cortante en la base Vs Desplazamiento. Estructura IV, registro de Angol.

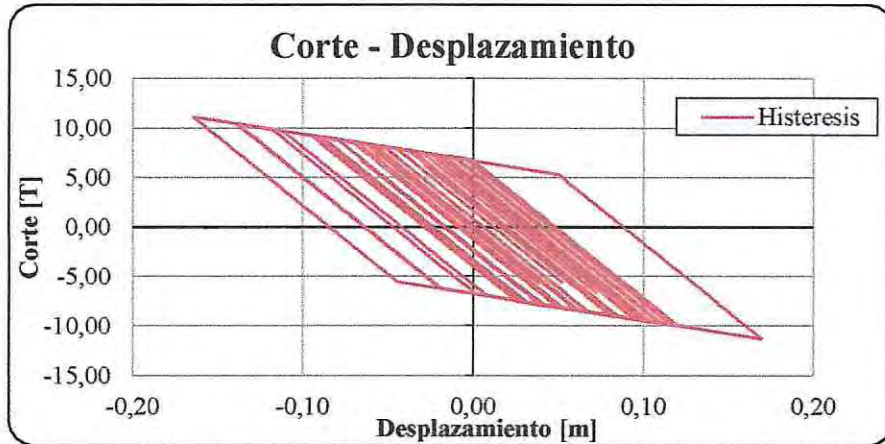


Figura 8.40- Cortante en la base Vs Desplazamiento. Estructura IV, registro de Constitución.

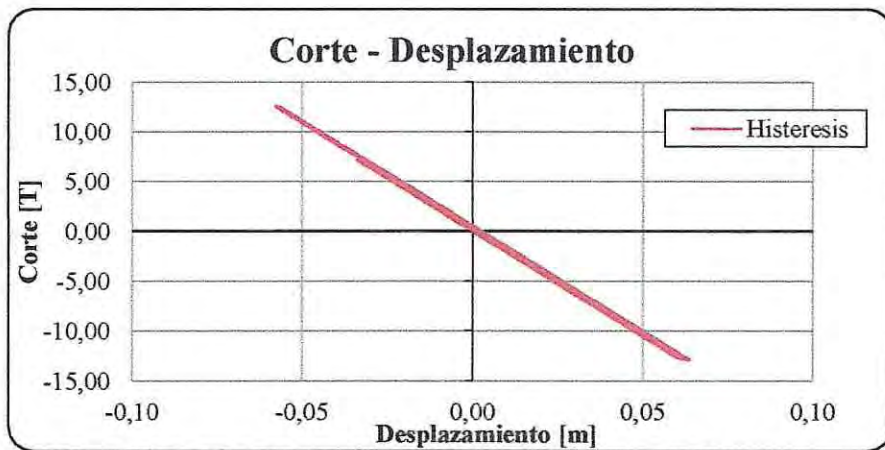


Figura 8.41- Cortante en la base Vs Desplazamiento. Estructura V, registro de Viña.

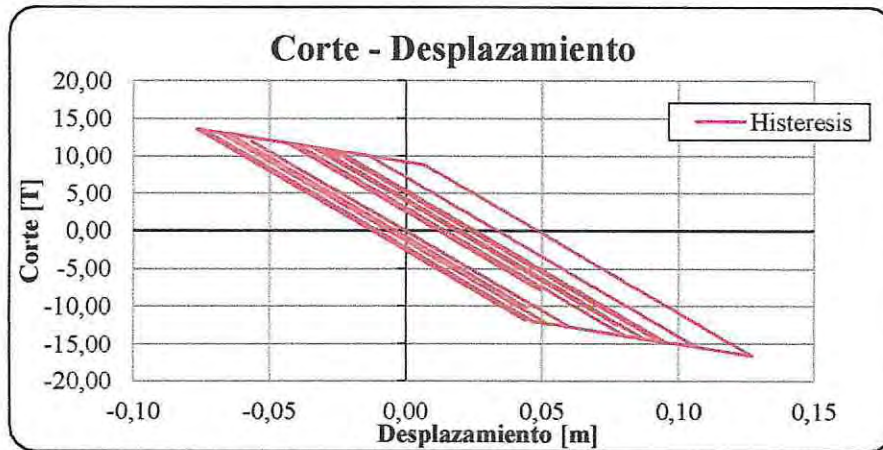


Figura 8.42- Cortante en la base Vs Desplazamiento. Estructura V, registro de Angol.

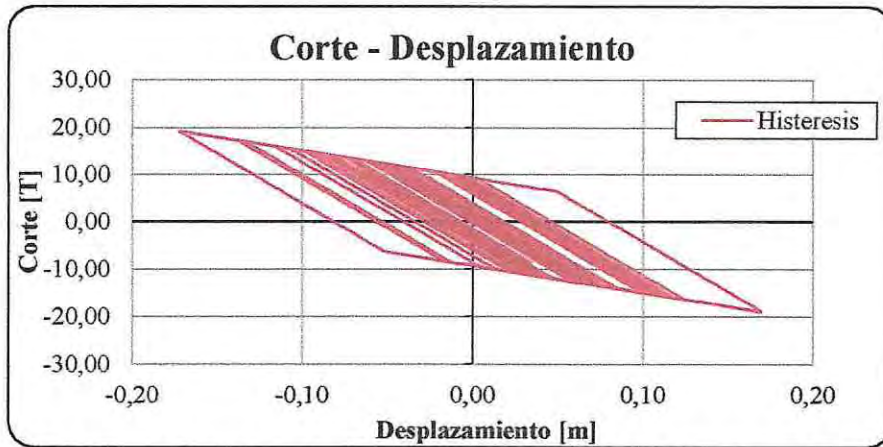


Figura 8.43- Cortante en la base Vs Desplazamiento. Estructura V, registro de Constitución.

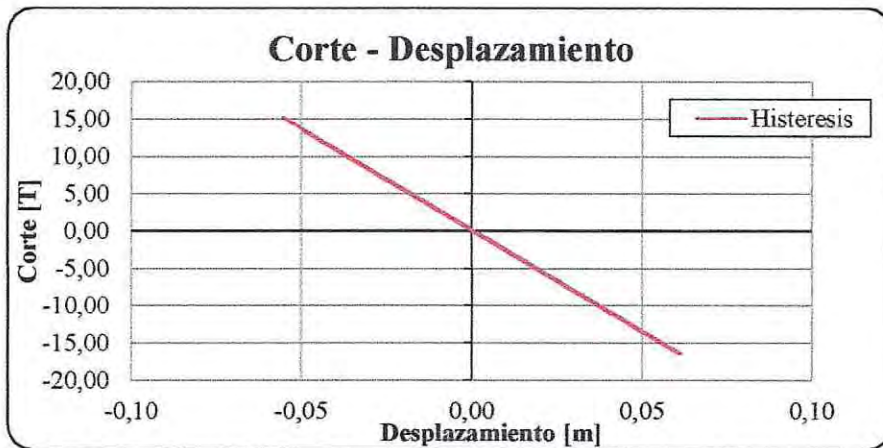


Figura 8.44- Cortante en la base Vs Desplazamiento. Estructura VI, registro de Viña.

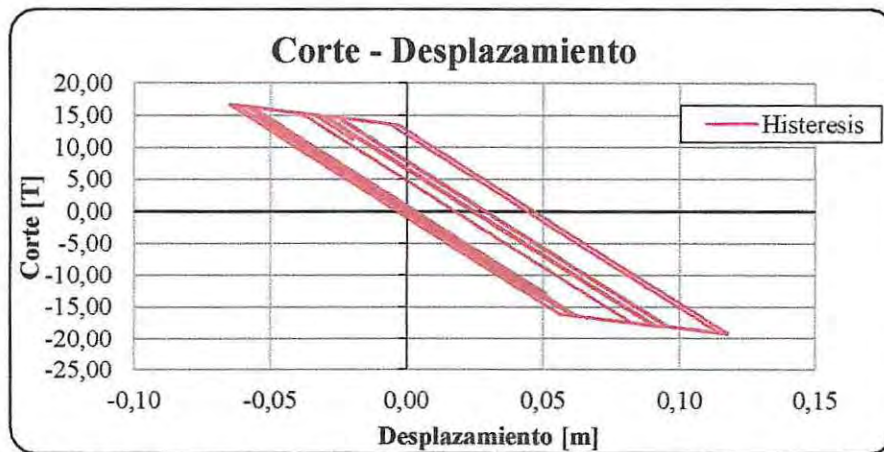


Figura 8.45- Cortante en la base Vs Desplazamiento. Estructura VI, registro de Angol.

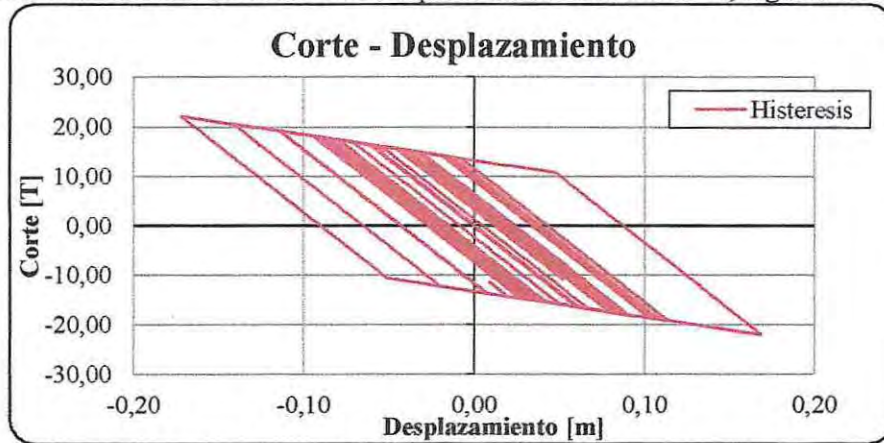


Figura 8.46- Cortante en la base Vs Desplazamiento. Estructura VI, registro de Constitución.

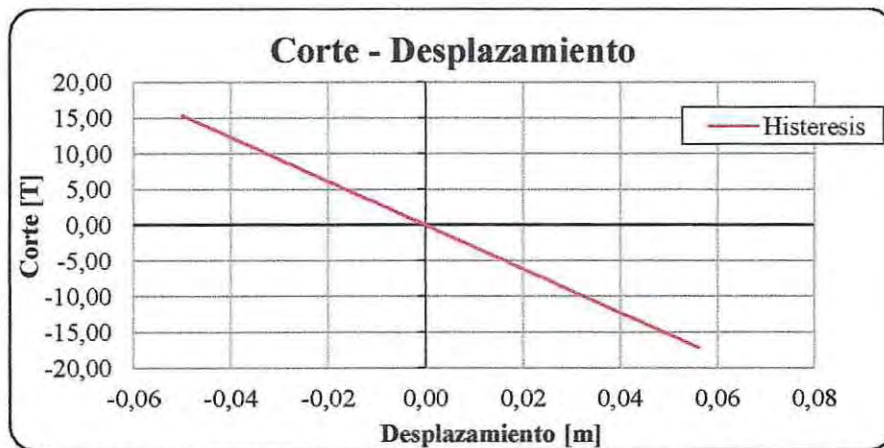


Figura 8.47- Cortante en la base Vs Desplazamiento. Estructura VII, registro de Viña.

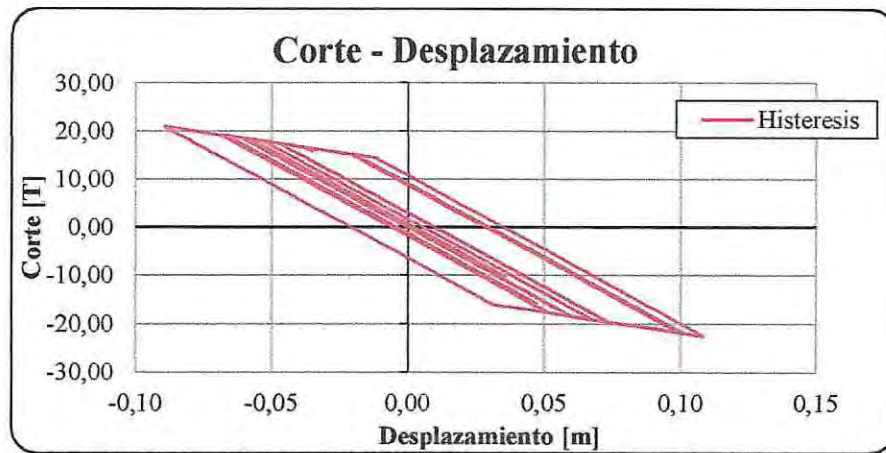


Figura 8.48- Cortante en la base Vs Desplazamiento. Estructura VII, registro de Angol.

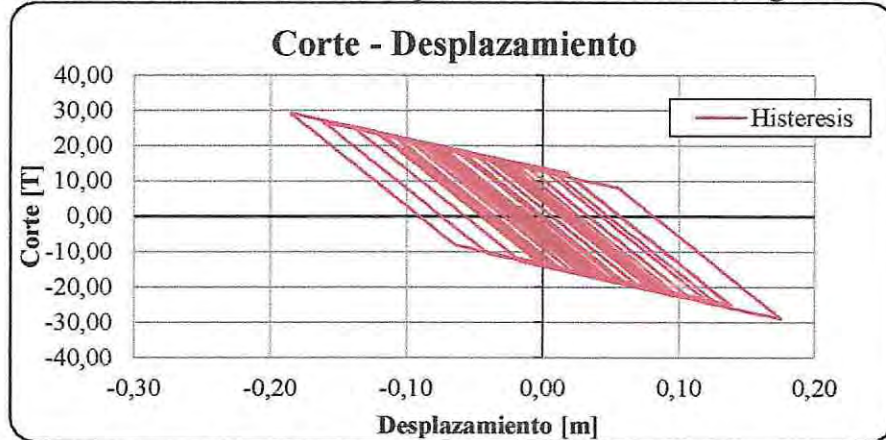


Figura 8.49- Cortante en la base Vs Desplazamiento. Estructura VII, registro de Constitución.

El comportamiento que se aprecia en las figuras anteriores, para los aisladores, es coherente con la teoría del modelo bilineal. Observándose un comportamiento no lineal para los aisladores, en los cuales se utilizó el registro de Angol y Constitución, para el caso del registro de Viña, se podría llegar a modelar definiéndolo como un aislador de comportamiento lineal.

#### 8.4 Esfuerzo de elementos.

Es necesario conocer las demandas producidas en los elementos, es por ello que en esta sección se muestran las envolventes de momento producidas en el muro 1, para cada caso estudiado.

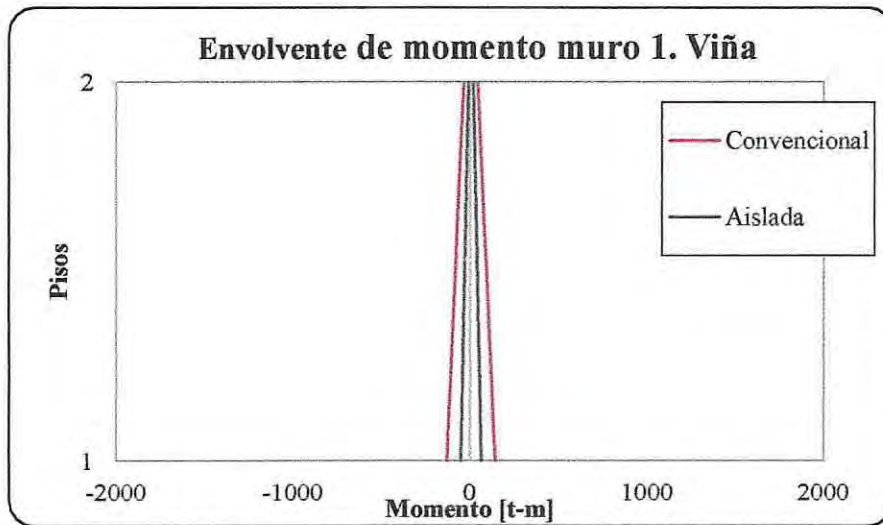


Figura 8.50- Demanda de momento. Estructura I, registro de Viña.

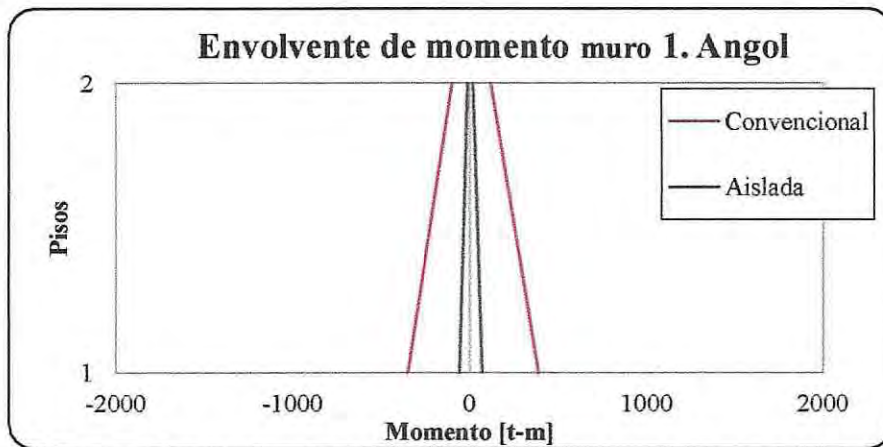


Figura 8.51- Demanda de momento. Estructura I, registro de Angol.

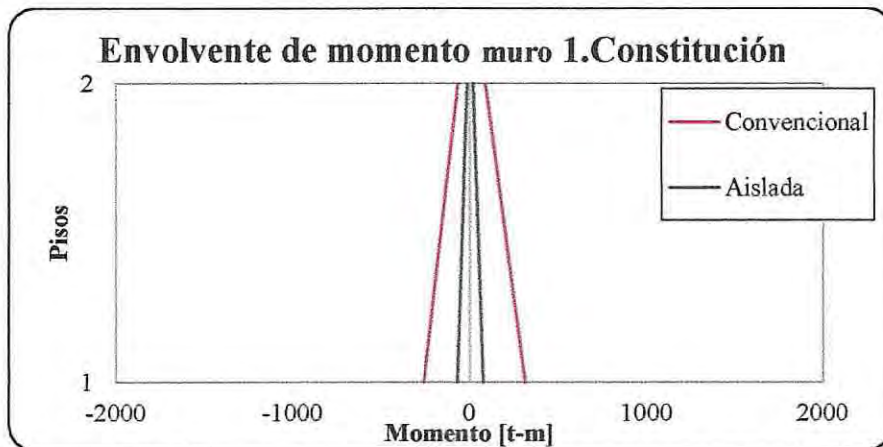


Figura 8.52- Demanda de momento. Estructura I, registro de Constitución.

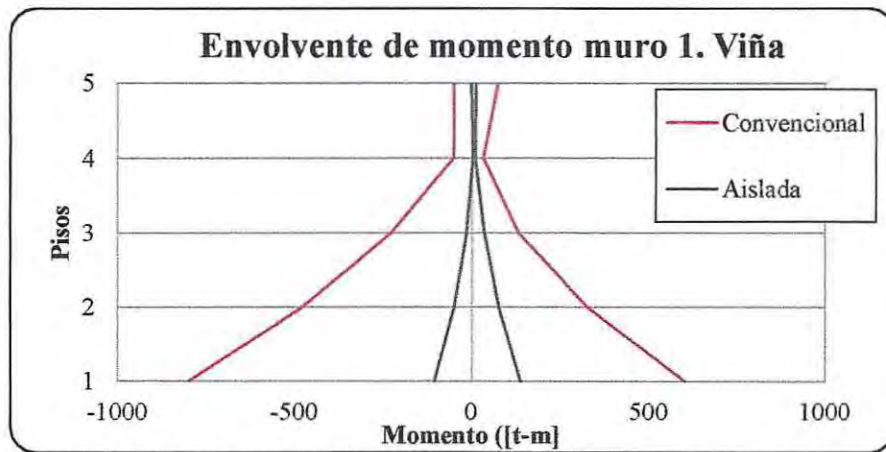


Figura 8.53- Demanda de momento. Estructura II, registro de Viña.

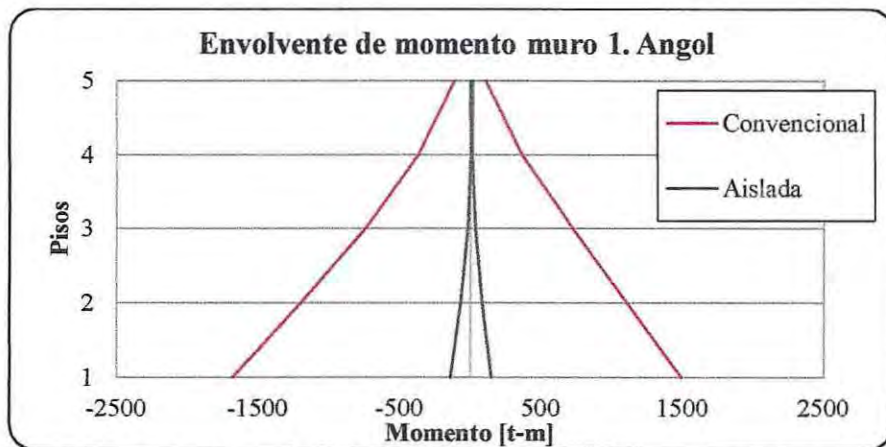


Figura 8.54- Demanda de momento. Estructura II, registro de Angol.

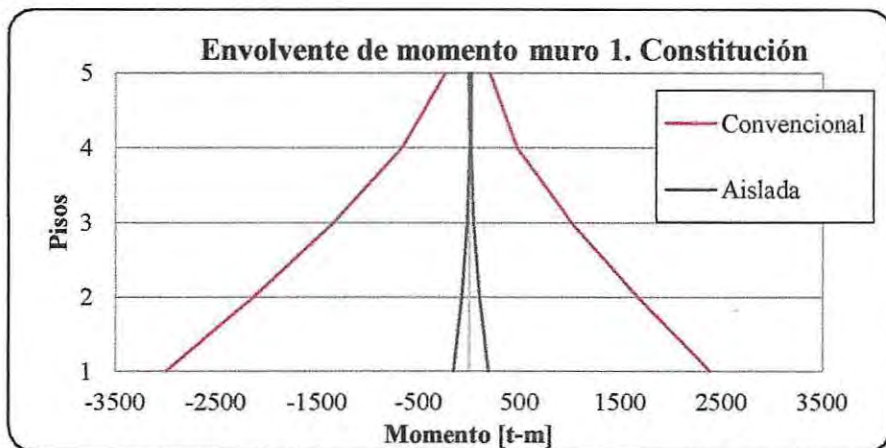


Figura 8.55- Demanda de momento. Estructura II, registro de Constitución.

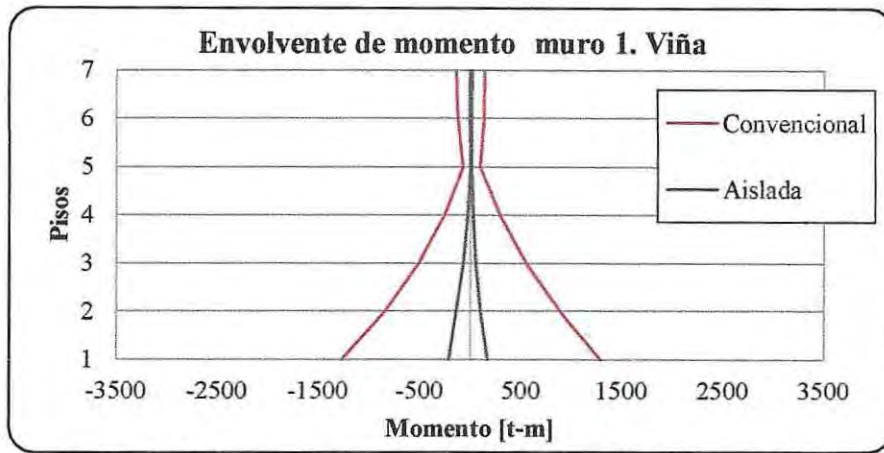


Figura 8.56- Demanda de momento. Estructura III, registro de Viña.

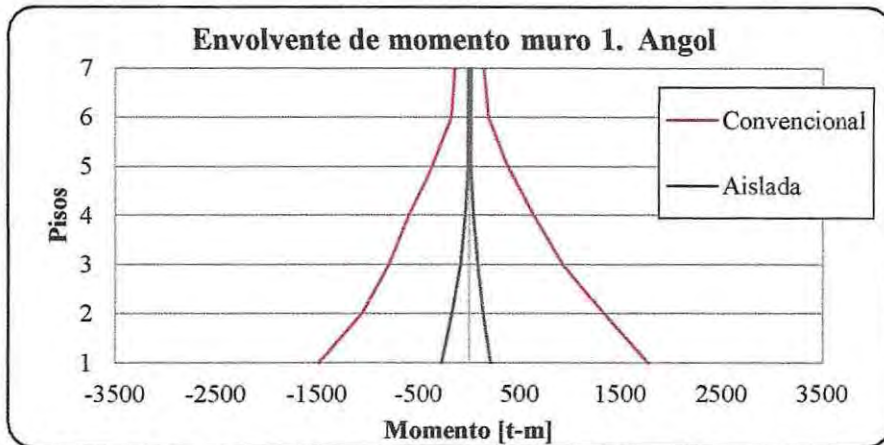


Figura 8.57- Demanda de momento. Estructura III, registro de Angol.

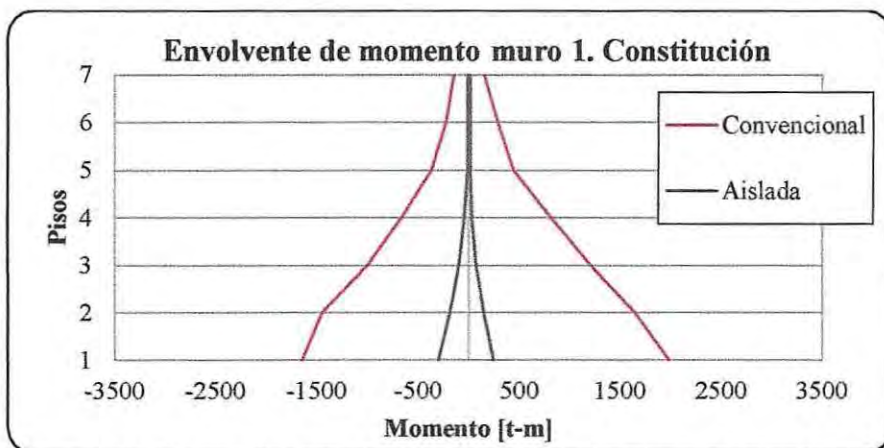


Figura 8.58- Demanda de momento. Estructura III, registro de Constitución.

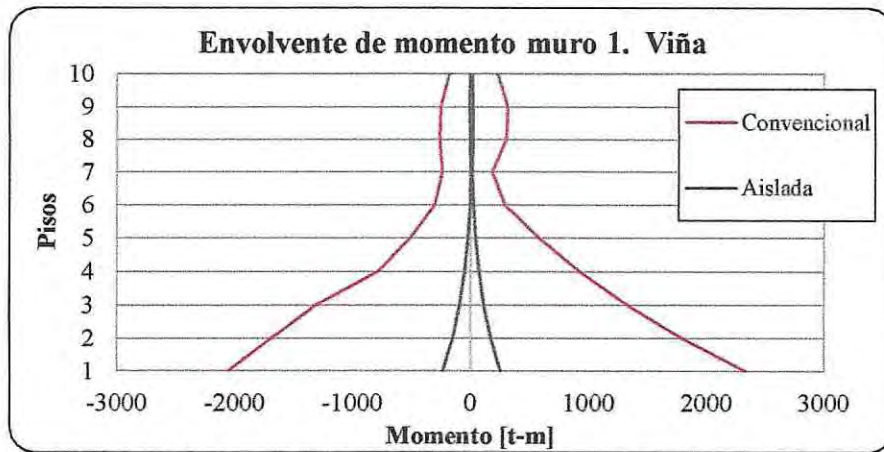


Figura 8.59- Demanda de momento. Estructura IV, registro de Viña.

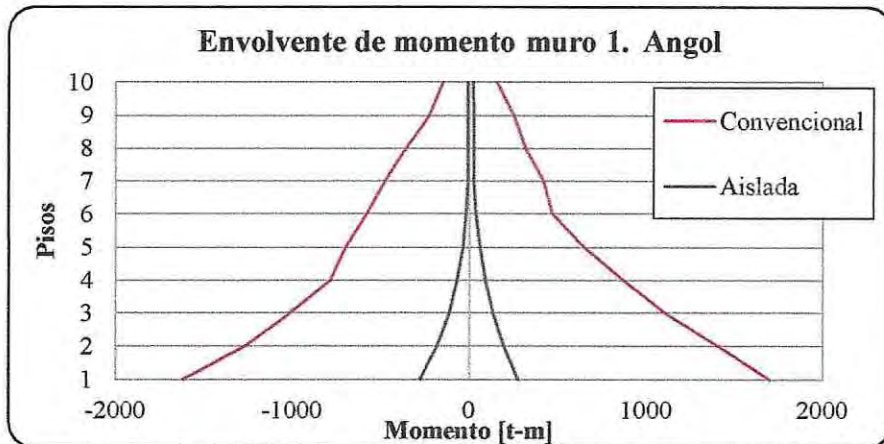


Figura 8.60- Demanda de momento. Estructura IV, registro de Angol.

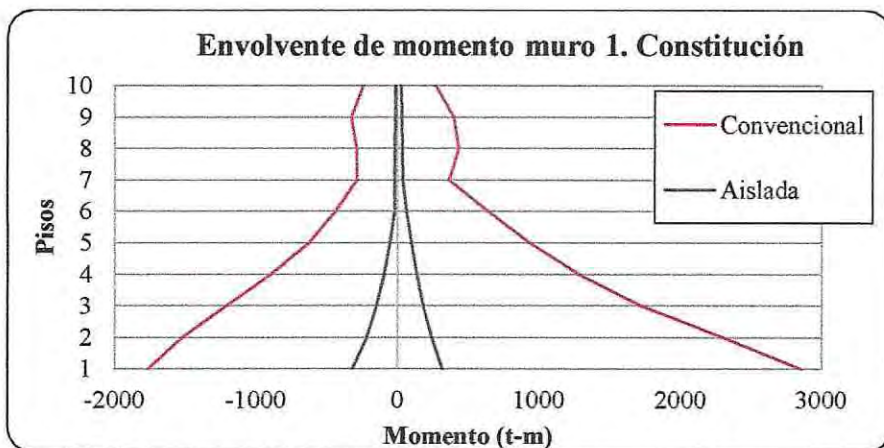


Figura 8.61- Demanda de momento. Estructura IV, registro de Constitución.

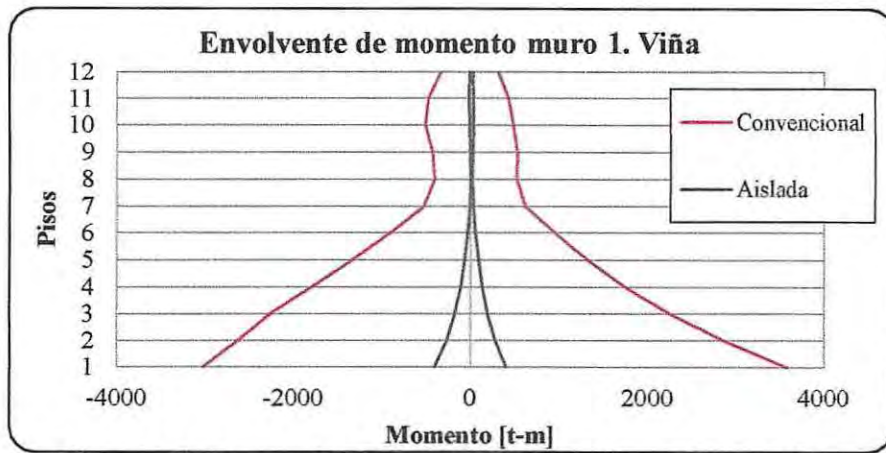


Figura 8.62- Demanda de momento. Estructura V, registro de Viña.

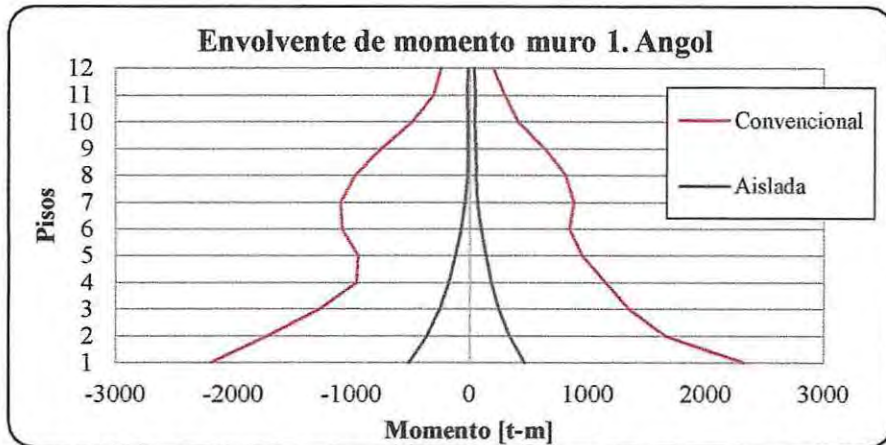


Figura 8.63- Demanda de momento. Estructura V, registro de Angol.

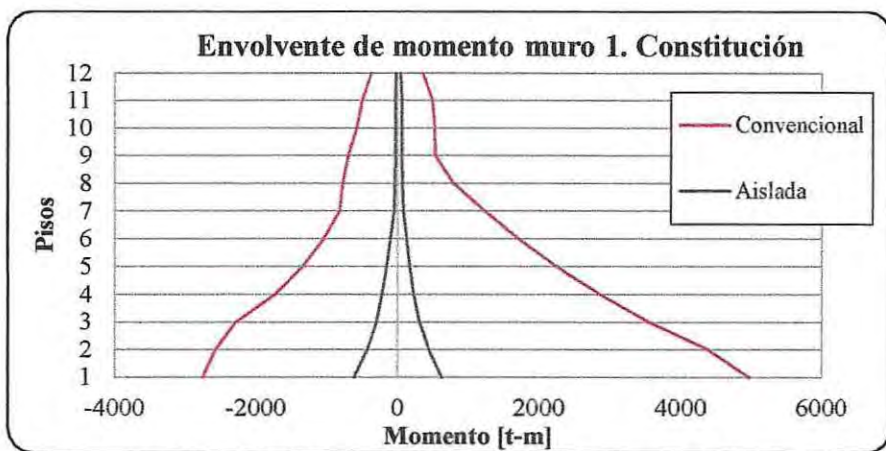


Figura 8.64- Demanda de momento. Estructura V, registro de Constitución.

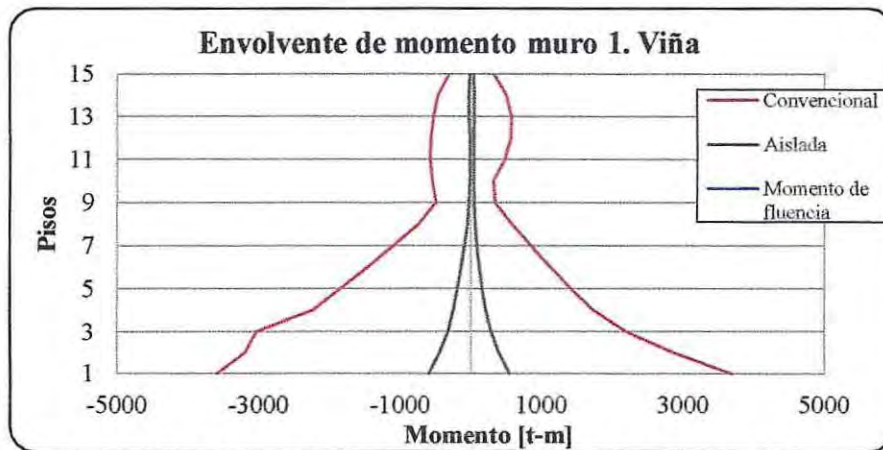


Figura 8.65- Demanda de momento. Estructura VI, registro de Viña.

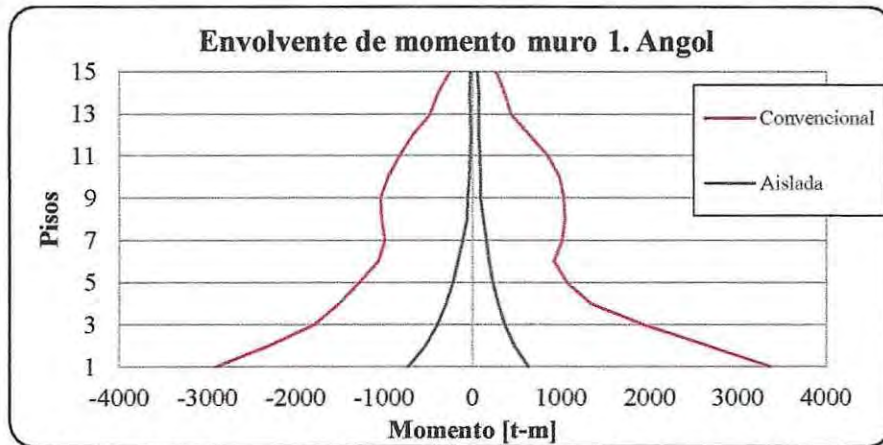


Figura 8.66- Demanda de momento. Estructura VI, registro de Angol.

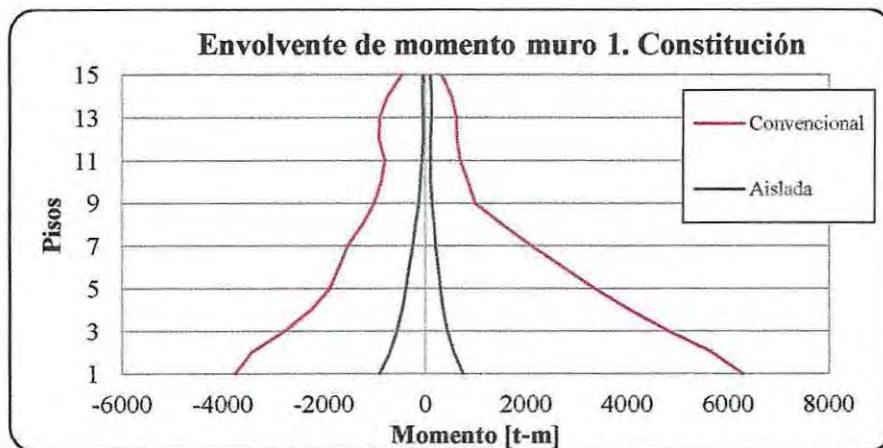


Figura 8.67- Demanda de momento. Estructura VI, registro de Constitución.

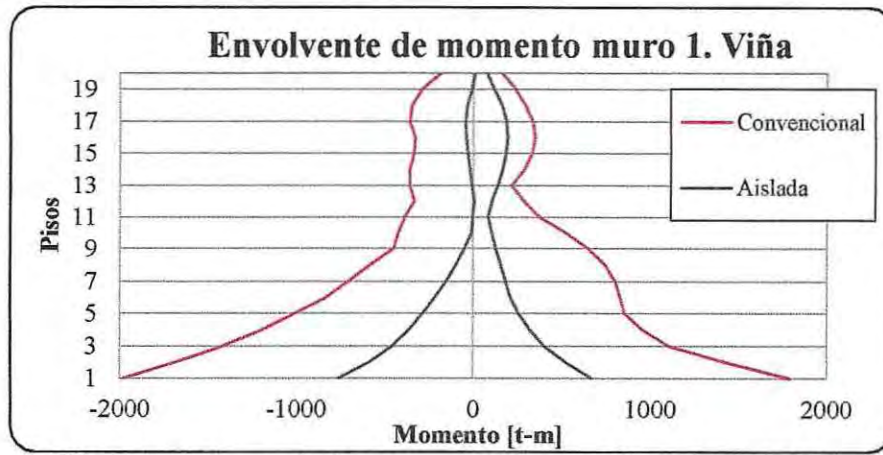


Figura 8.68- Demanda de momento. Estructura VII, registro de Viña.

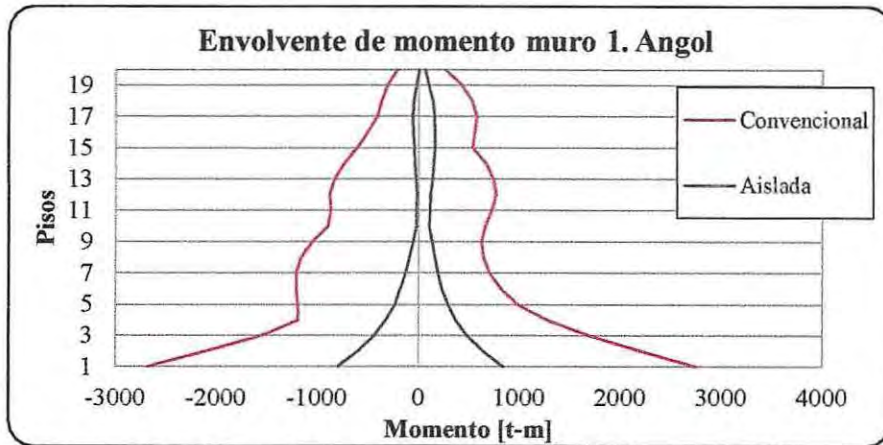


Figura 8.69- Demanda de momento. Estructura VII, registro de Angol.

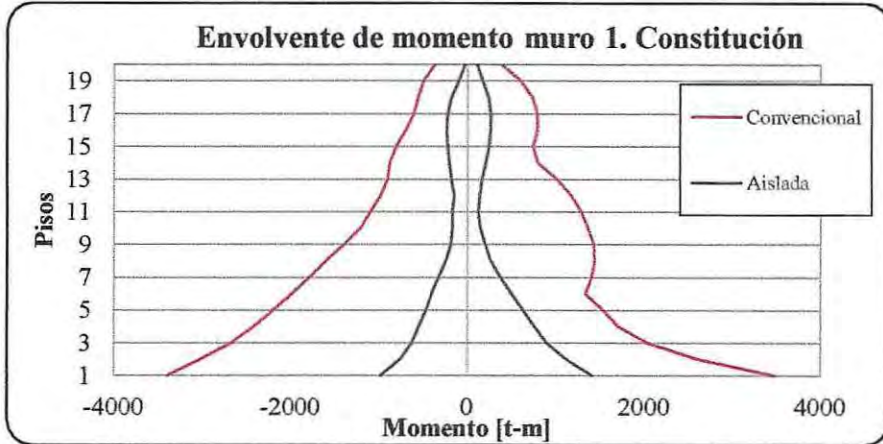


Figura 8.70- Demanda de momento. Estructura VII, registro de Constitución.

## Capítulo IX

### 9 Conclusiones.

Al realizar la comparación entre una estructura convencional versus una con aislación basal, con los mismos parámetros los resultados fueron claros, en general el comportamiento de las estructuras aisladas fue superior a su similar con base fija.

Los desplazamientos de las estructuras aisladas, particularmente la superestructura resulta menor a las con base fija, debido a que en las estructuras aisladas el desplazamiento mayor es absorbido por los aisladores. Como consecuencia de lo anterior, la magnitud de los desplazamientos relativos presentó una importante disminución.

En cuanto a la aceleración la inclusión del aislador actúa como un reductor de la aceleración en la superestructura, dando como origen, una diferencia importante entre los dos tipos de estructuras. Además en el caso aislado las amplificaciones en altura fueron bastantes discretas, al contrario de la estructura convencional. En general todas las estructuras actuaron de esta forma, a excepción de la estructura de 20 pisos, ya que su aceleración en el último nivel no estuvo muy distinta de la de base fija. Al disminuirse las aceleraciones en la superestructura se minimiza el riesgo de daño de los elementos no estructurales y de los bienes materiales que se encuentran dentro de la edificación .

Con respecto a los esfuerzos resultantes de los elementos estructurales como vigas, columna y muros, son menores en estructuras con aislación, lo que se traduce en que las cuantías necesarias disminuyen respecto a la estructura convencional.

En relación a la respuesta de los aisladores, estos se deformaron en una menor magnitud que al desplazamiento de diseño establecido en la NCh 2745 Of2003.

Como comentario final se tiene que al implementar un sistema de aislación sísmica en una estructura, se logra un comportamiento estructural superior respecto a su versión convencional con altos niveles de seguridad y protección sísmica, tanto de la estructura como de los contenidos, y a su vez, es capaz de cumplir sin problemas con los objetivos de desempeño como los establecidos en la NCh 2745.

A modo de conclusión, los resultados de este trabajo no son cien por ciento generalizables, debido a que el análisis se realizó en un solo eje representativo donde el primer modo de vibrar es predominante. Cabe mencionar, que sería de gran interés continuar este análisis con estructuras completas y así evaluar la influencia de vibrar de los modos superiores.

## 10 Anexo

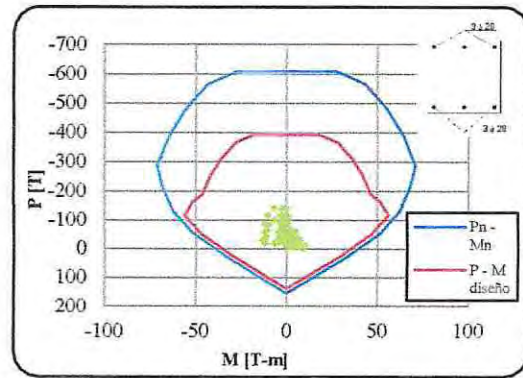
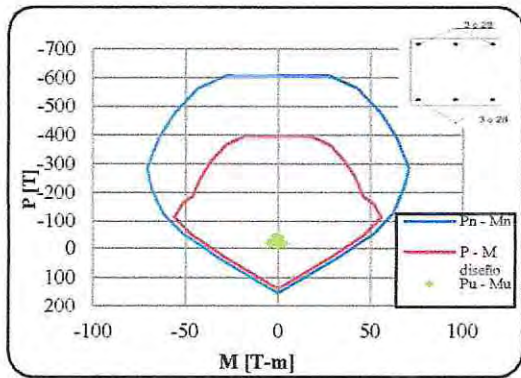


Figura 10.1-Diagrama de interacción columna, Estructuras I y II (convencional).

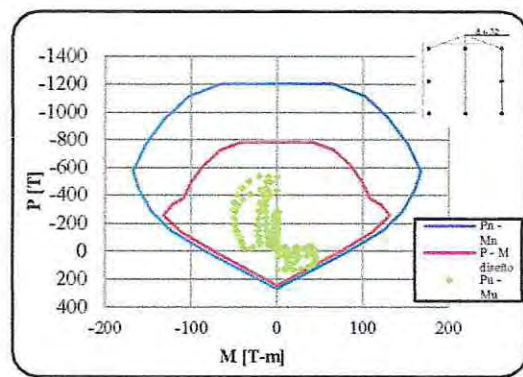
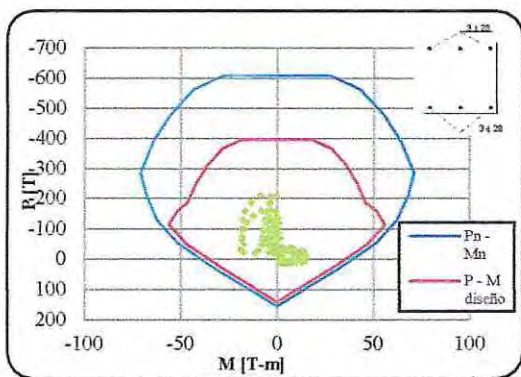


Figura 10.2-Diagrama de interacción columna, Estructuras III y IV (convencional).

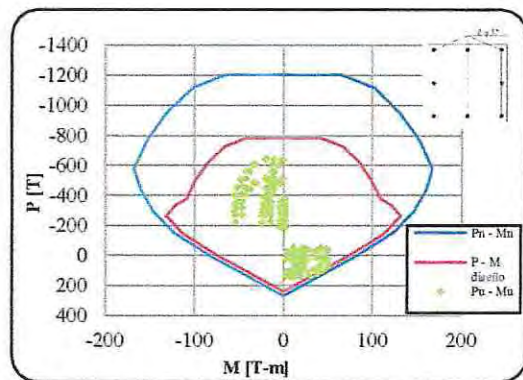
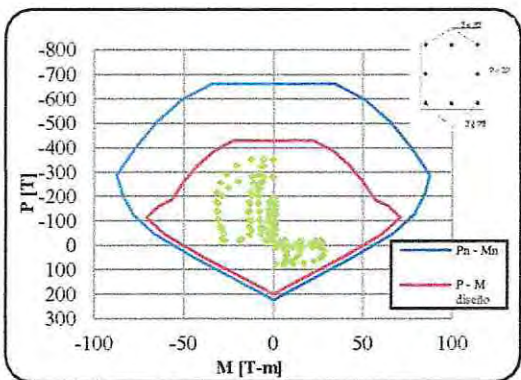


Figura 10.3-Diagrama de interacción columna, Estructuras V y VI (convencional).

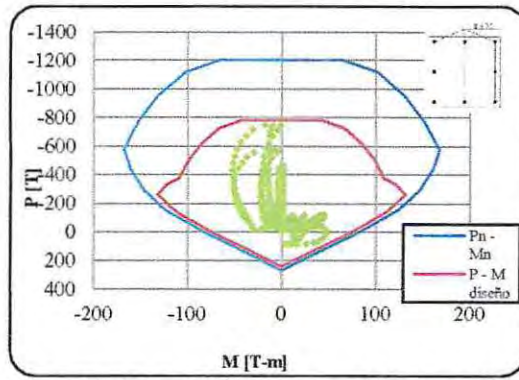


Figura 10.4-Diagrama de interacción columna, Estructura VII (convencional).

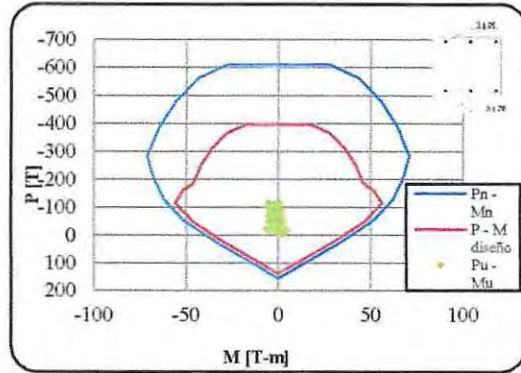
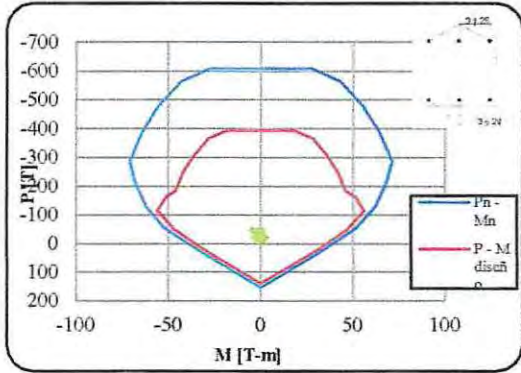


Figura 10.5-Diagrama de interacción columna, Estructuras I y II (Aislada).

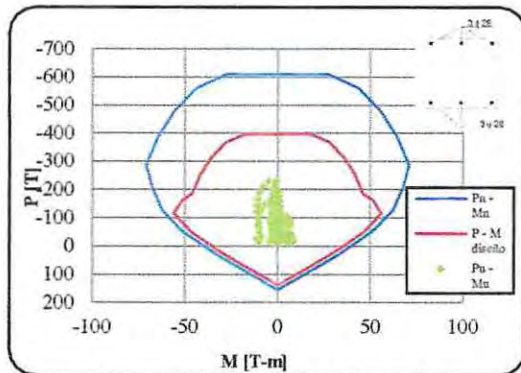
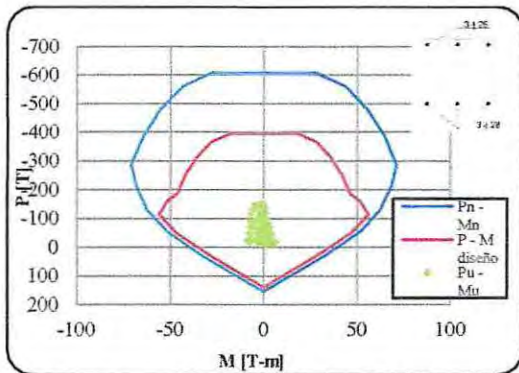


Figura 10.6-Diagrama de interacción columna, Estructuras III y IV (Aislada).

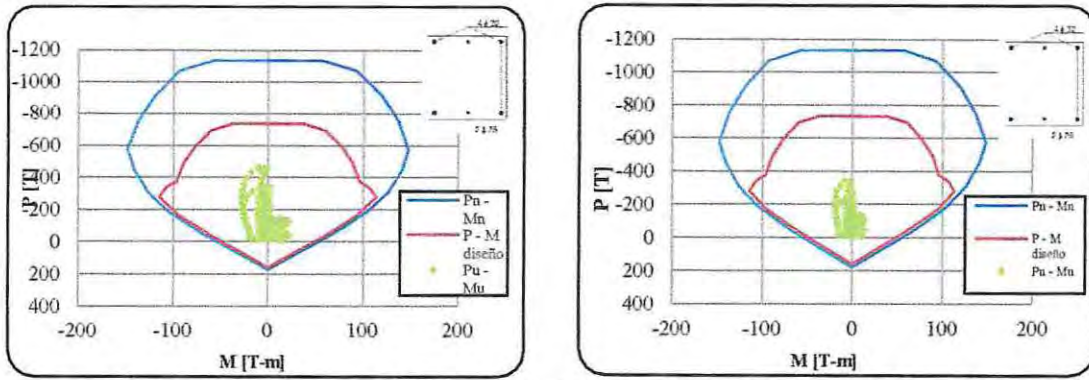


Figura 10.7-Diagrama de interacción columna, Estructuras V y VI (Aislada).

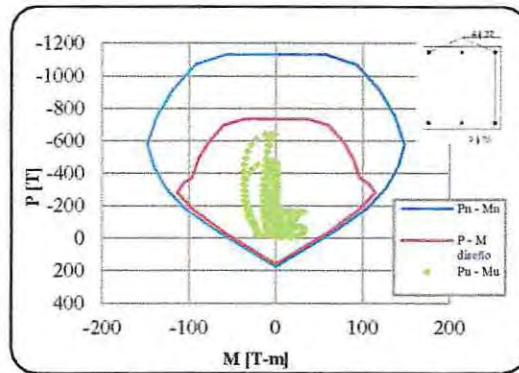


Figura 10.8-Diagrama de interacción columna, Estructura VII (Aislada).

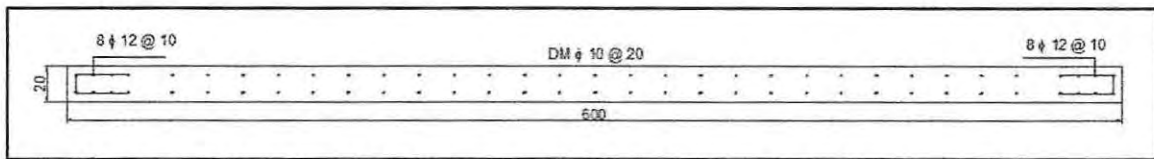


Figura 10.9-Armadura de flexo-compresión Muro 1, Estructura I (Convencional).

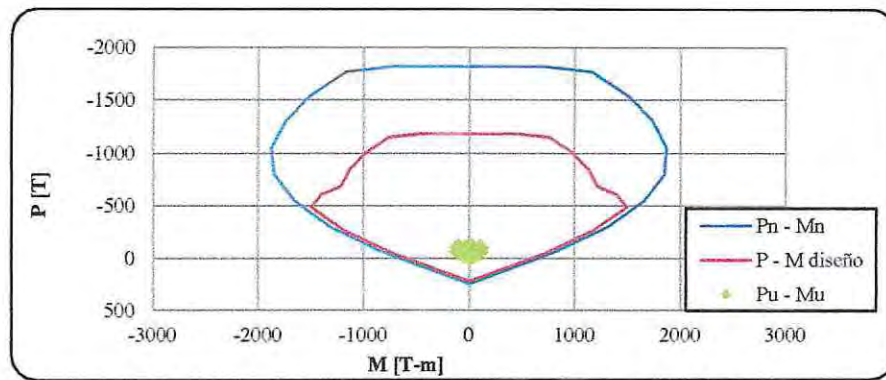


Figura 10.10-Diagrama de interacción Muro 1, Estructura I (Convencional).

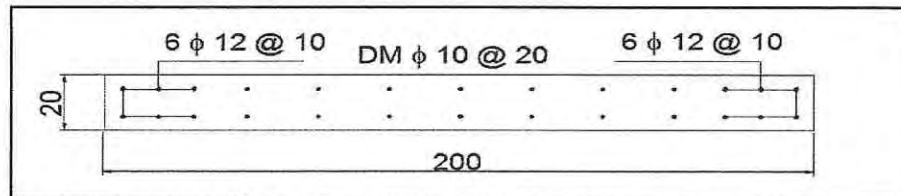


Figura 10.11-Armadura de flexo-compresión Muro 2, Estructura I (Convencional).

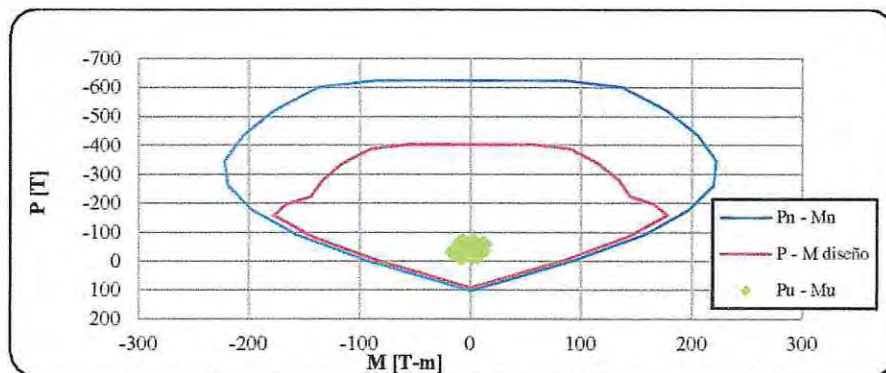


Figura 10.12-Diagrama de interacción Muro 2, Estructura I (Convencional).

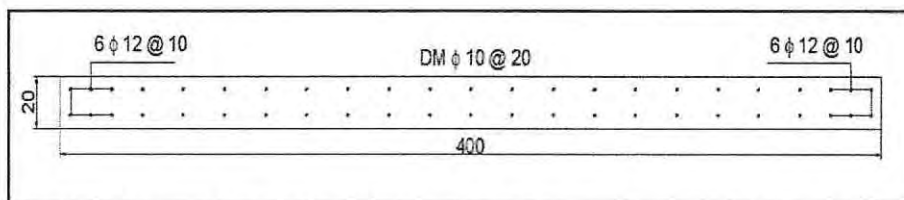


Figura 10.13-Armadura de flexo-compresión Muro 3, Estructura I (Convencional).

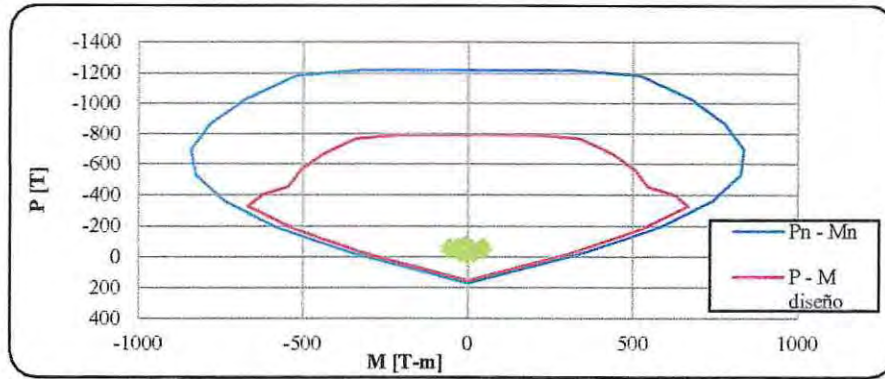


Figura 10.14-Diagrama de interacción Muro 3, Estructura I (Convencional).

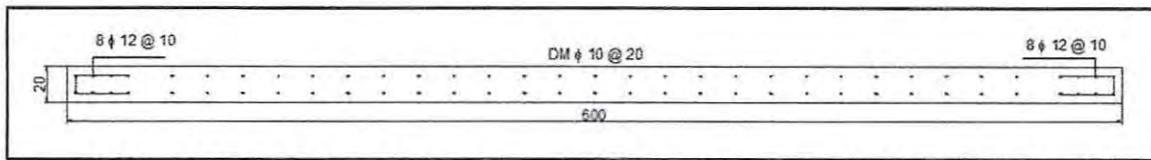


Figura 10.15-Armadura de flexo-compresión Muro 1, Estructura II (Convencional).

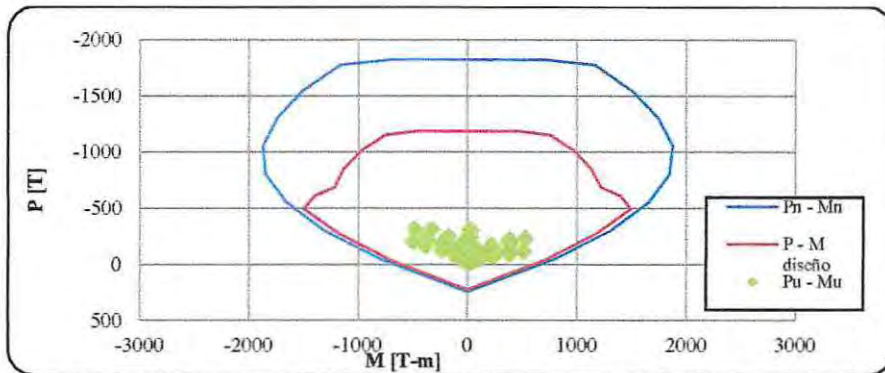


Figura 10.16-Diagrama de interacción Muro 1, Estructura II (Convencional).

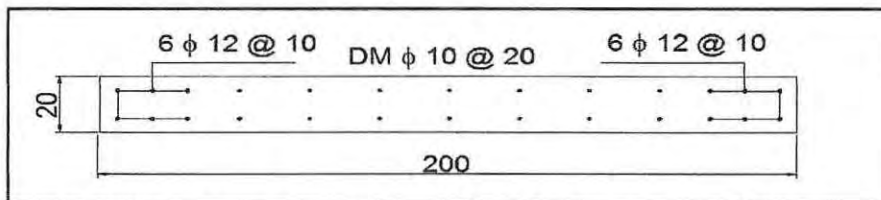


Figura 10.17-Armadura de flexo-compresión Muro 2, Estructura II (Convencional).

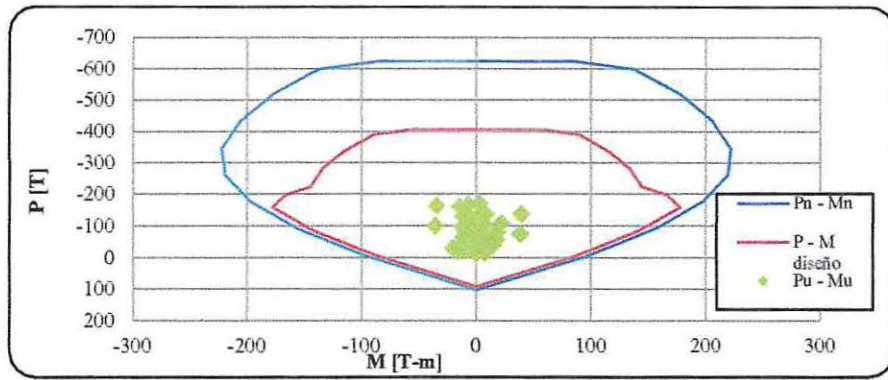


Figura 10.18-Diagrama de interacción Muro 2, Estructura II (Convencional).

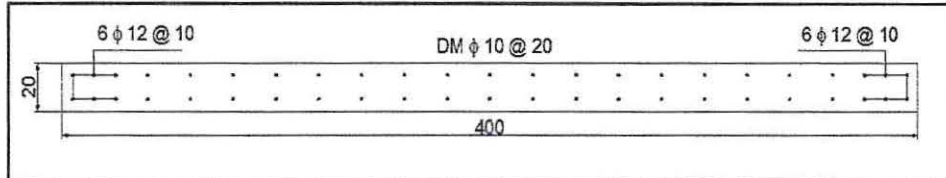


Figura 10.19-Armadura de flexo-compresión Muro 3, Estructura II (Convencional).

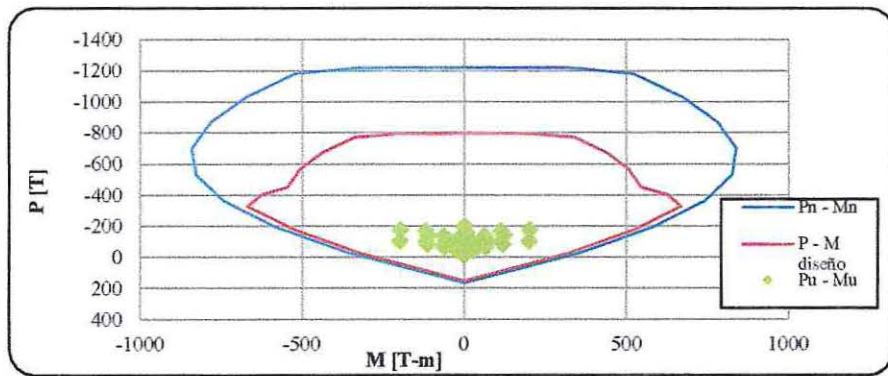


Figura 10.20-Diagrama de interacción Muro 3, Estructura II (Convencional).

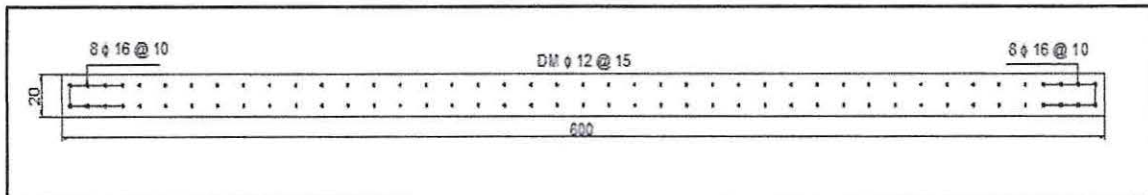


Figura 10.21-Armadura de flexo-compresión Muro 1, Estructura III (Convencional).

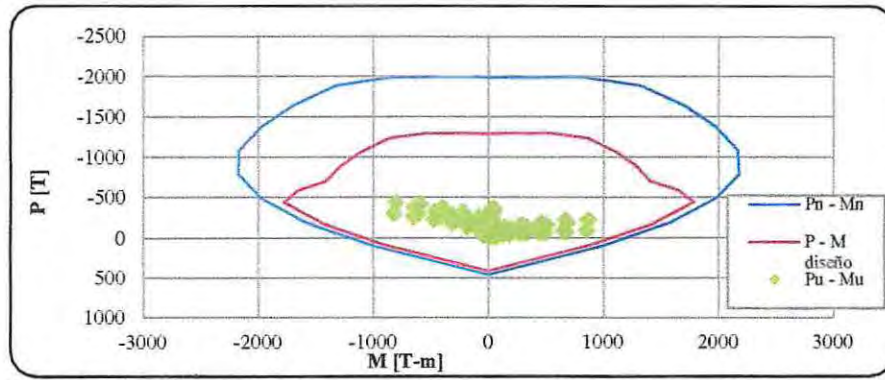


Figura 10.22-Diagrama de interacción Muro 1, Estructura III (Convencional).

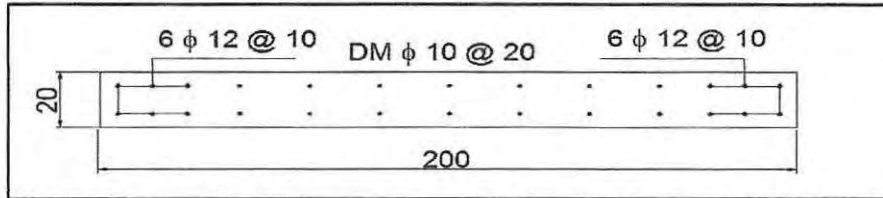


Figura 10.23-Armadura de flexo-compresión Muro 2, Estructura III (Convencional).

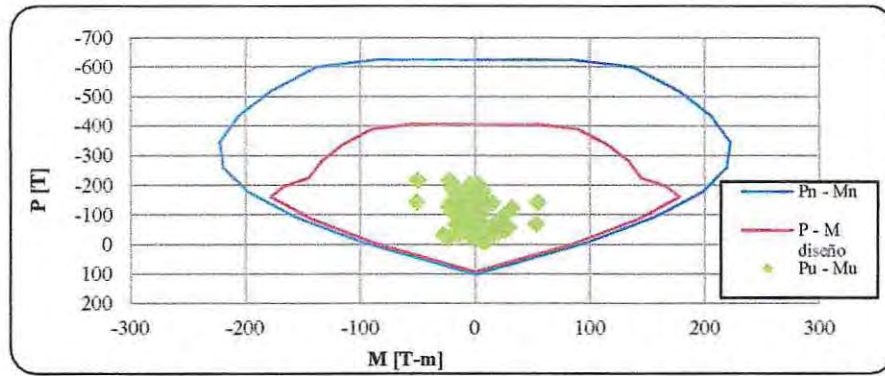


Figura 10.24-Diagrama de interacción Muro 2, Estructura III (Convencional).

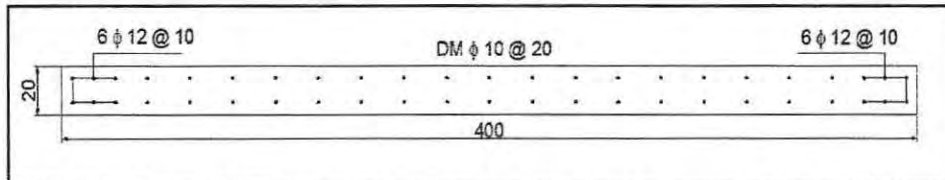


Figura 10.25-Armadura de flexo-compresión Muro 3, Estructura III (Convencional).

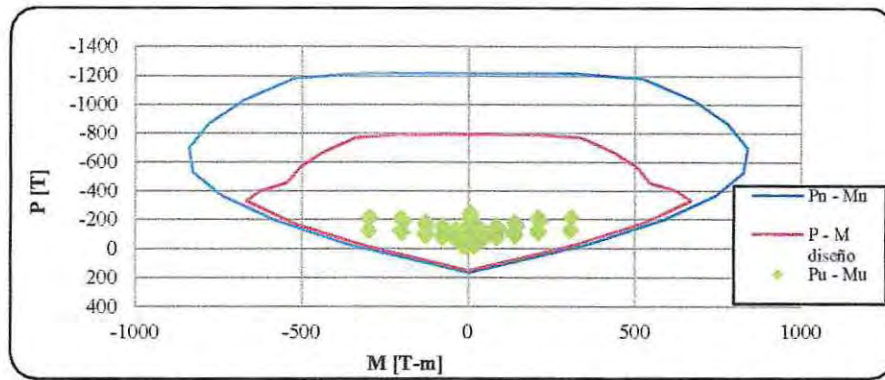


Figura 10.26-Diagrama de interacción Muro 3, Estructura III (Convencional).

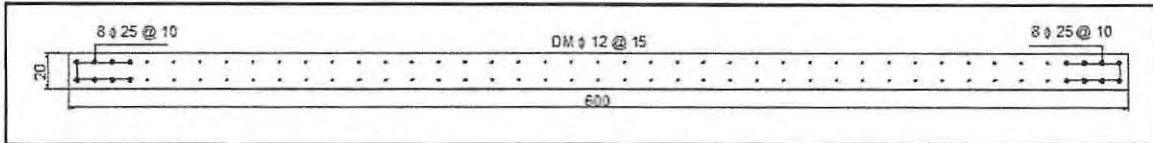


Figura 10.27-Armadura de flexo-compresión Muro 1, Estructura IV (Convencional).

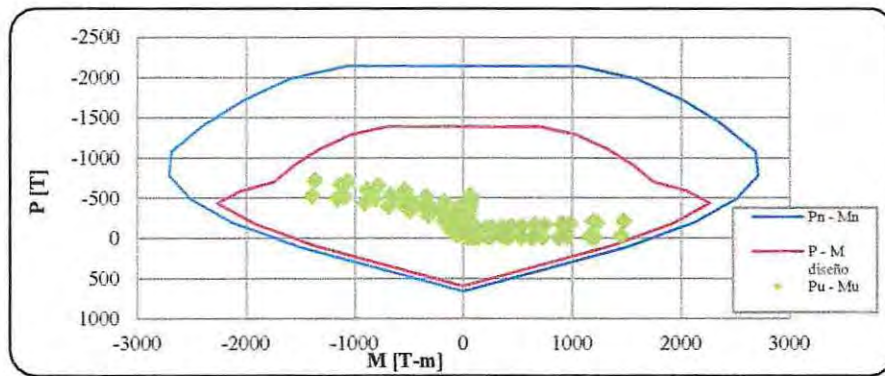


Figura 10.28-Diagrama de interacción Muro 1, Estructura IV (Convencional).

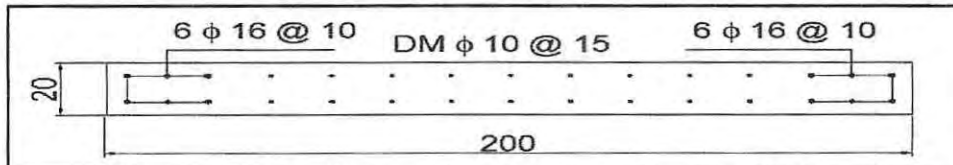


Figura 10.29-Armadura de flexo-compresión Muro 2, Estructura IV (Convencional).

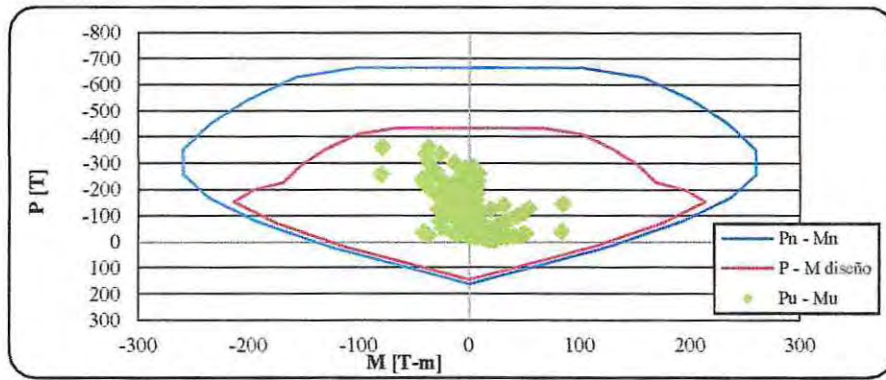


Figura 10.30- Diagrama de interacción Muro 2, Estructura IV (Convencional).

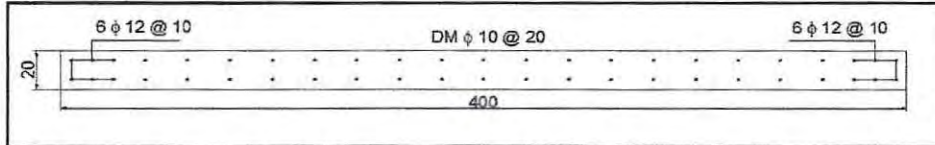


Figura 10.31- Armadura de flexo-compresión Muro 3, Estructura IV (Convencional).

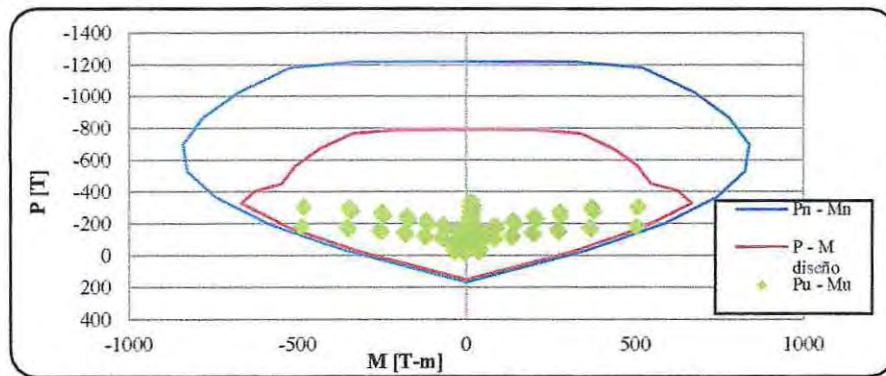


Figura 10.32- Diagrama de interacción Muro 3, Estructura IV (Convencional).

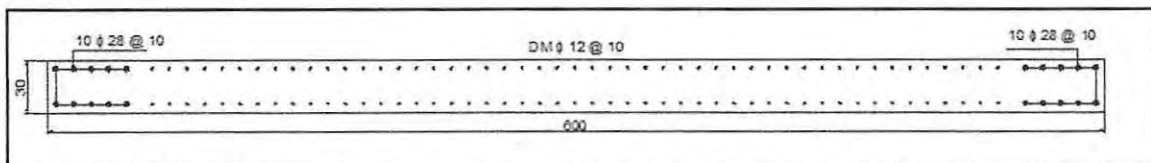


Figura 10.33- Armadura de flexo-compresión Muro 1, Estructura V (Convencional).

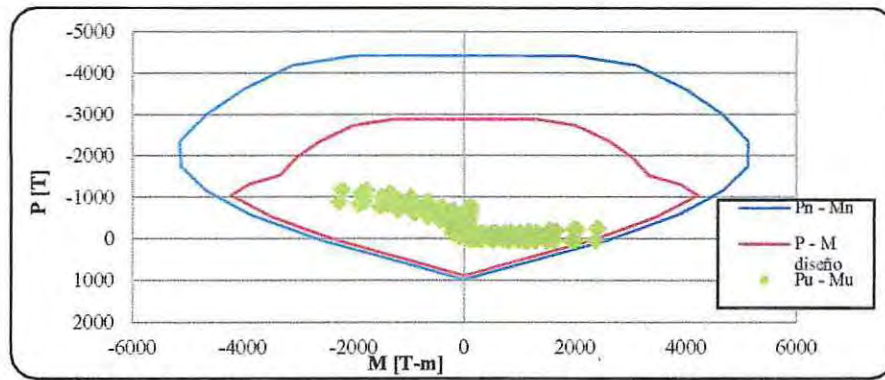


Figura 10.34-Diagrama de interacción Muro 1, Estructura V (Convencional).

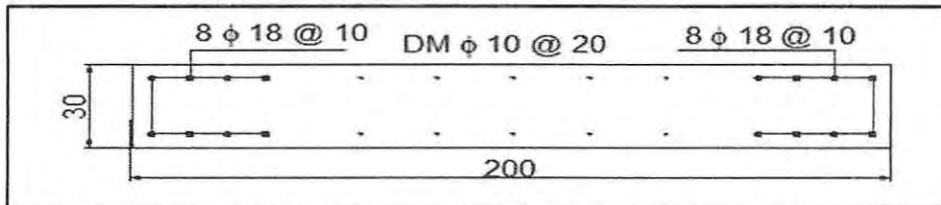


Figura 10.35-Armadura de flexo-compresión Muro 2, Estructura V (Convencional).

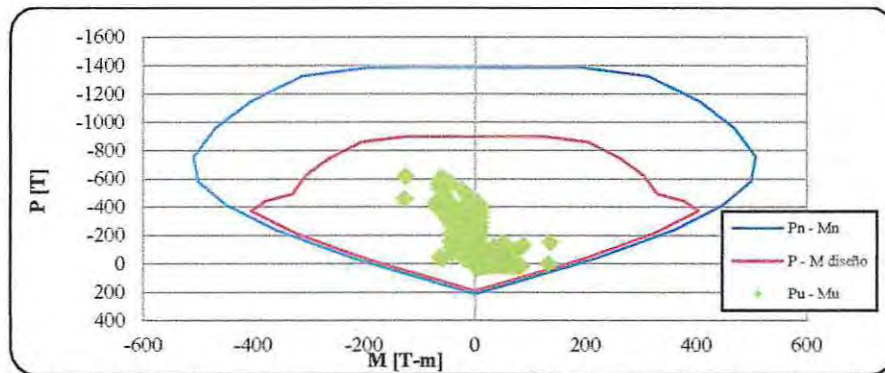


Figura 10.36-Diagrama de interacción Muro 2, Estructura V (Convencional).

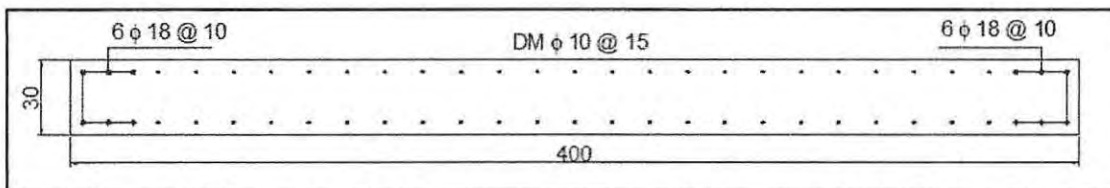


Figura 10.37-Armadura de flexo-compresión Muro 3, Estructura V (Convencional).

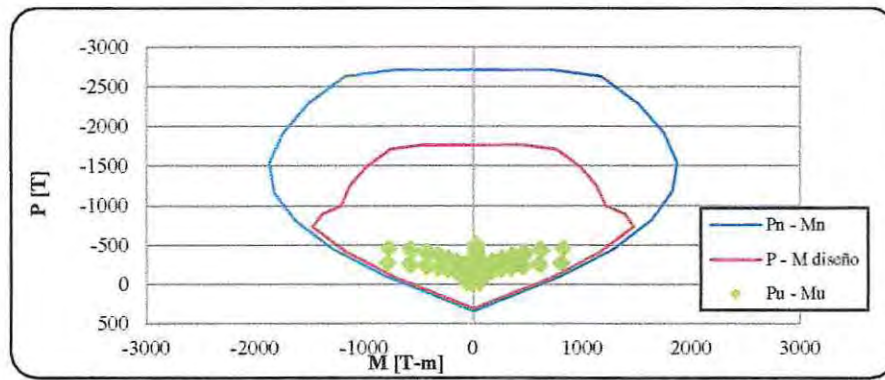


Figura 10.38-Diagrama de interacción Muro 3, Estructura V (Convencional).

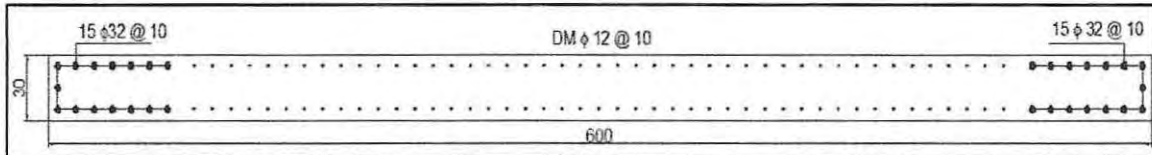


Figura 10.39-Armadura de flexo-compresión Muro 1, Estructura VI (Convencional).

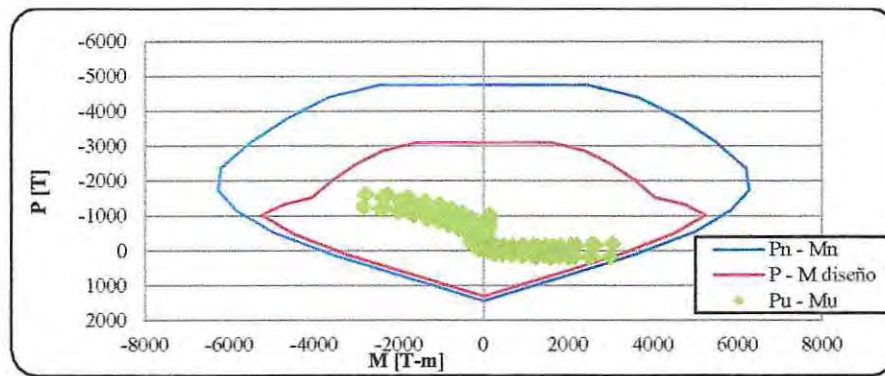


Figura 10.40-Diagrama de interacción Muro 1, Estructura VI (Convencional).

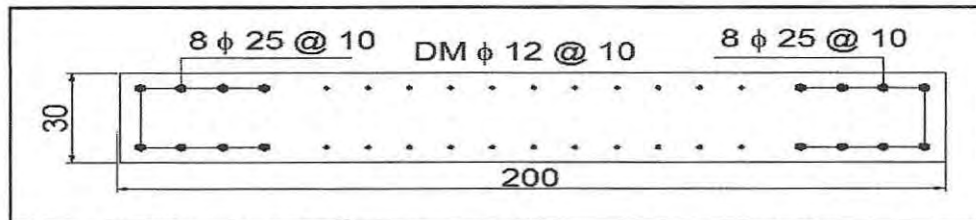


Figura 10.41-Armadura de flexo-compresión Muro 2, Estructura VI (Convencional).

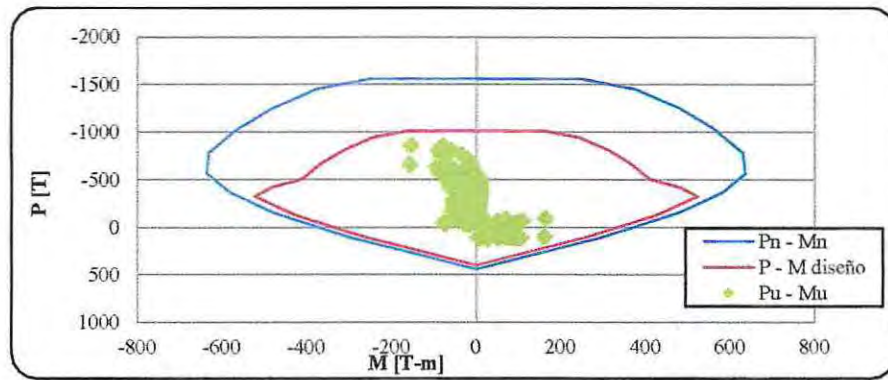


Figura 10.42-Diagrama de interacción Muro 2, Estructura VI (Convencional).

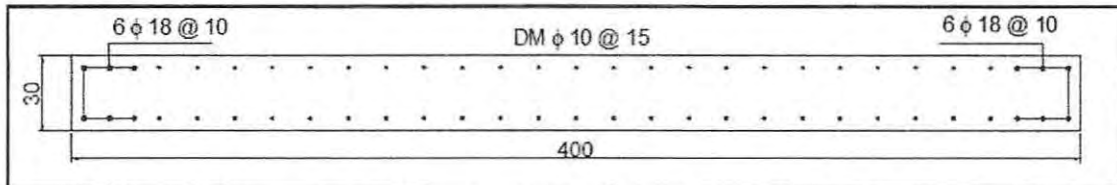


Figura 10.43-Armadura de flexo-compresión Muro 3, Estructura VI (Convencional).

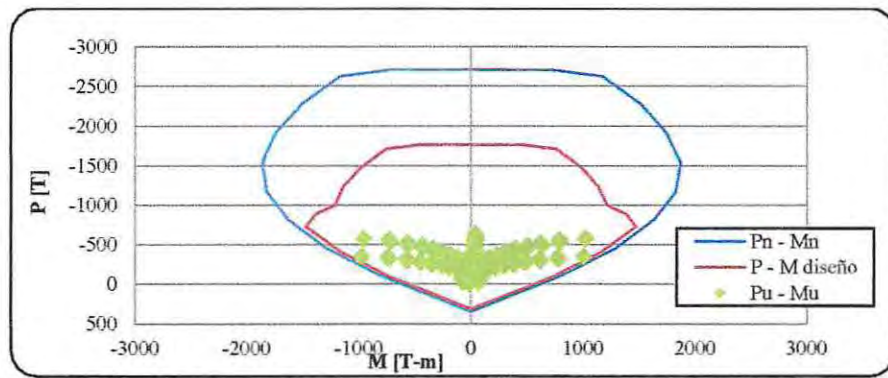


Figura 10.44-Diagrama de interacción Muro 3, Estructura VI (Convencional).

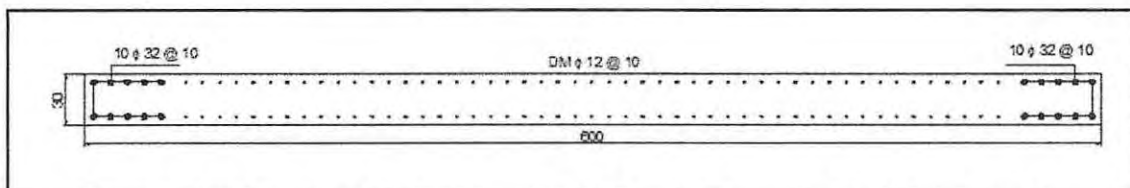


Figura 10.45-Armadura de flexo-compresión Muro 1, Estructura VII (Convencional).

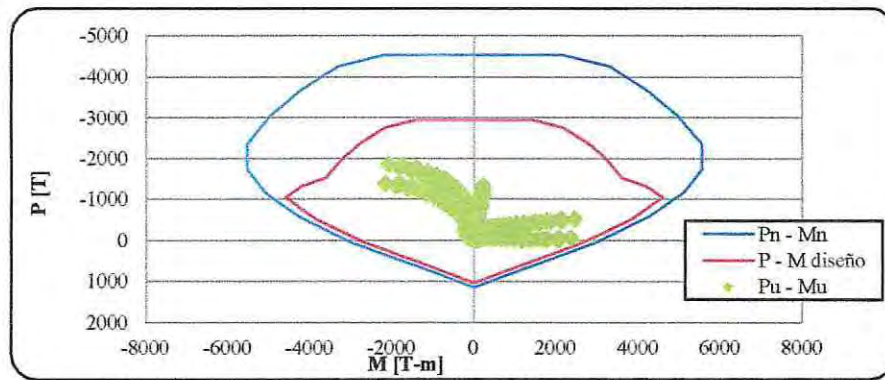


Figura 10.46-Diagrama de interacción Muro 1, Estructura VII (Convencional).

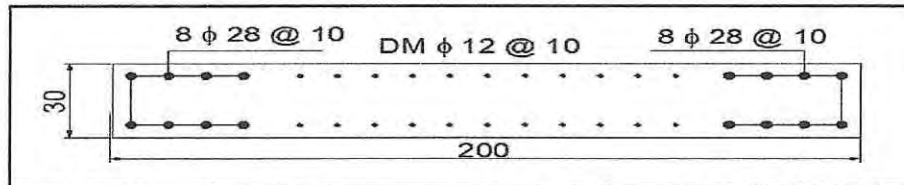


Figura 10.47-Armadura de flexo-compresión Muro 2, Estructura VII (Convencional).

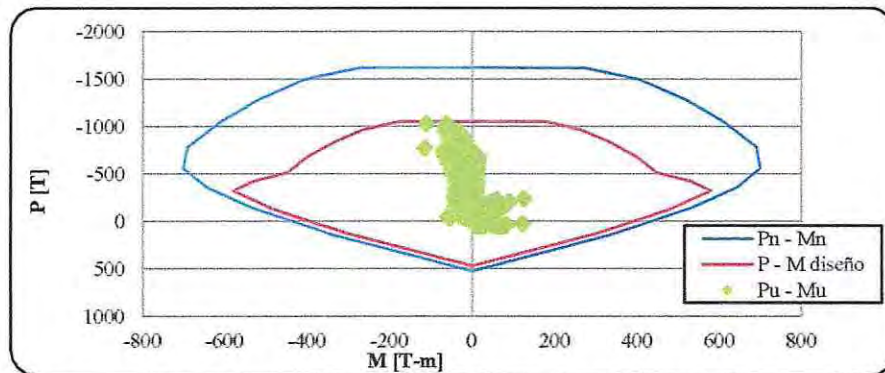


Figura 10.48-Diagrama de interacción Muro 2, Estructura VII (Convencional).

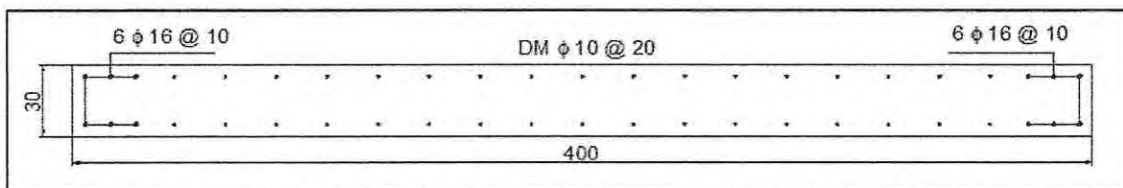


Figura 10.49-Armadura de flexo-compresión Muro 3, Estructura VII (Convencional).

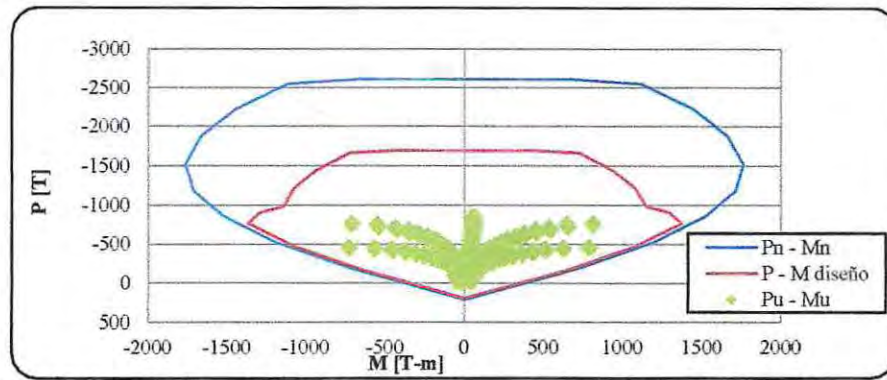


Figura 10.50-Diagrama de interacción Muro 3, Estructura VII (Convencional).

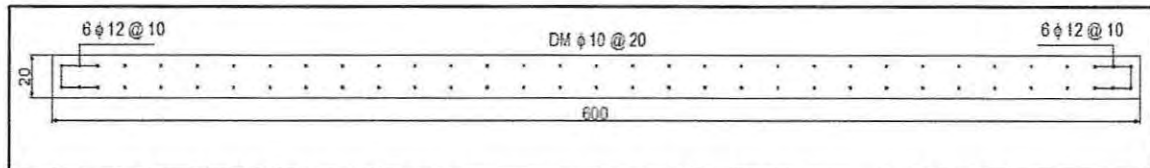


Figura 10.51-Armadura de flexo-compresión Muro 1, Estructura I (Aislada).

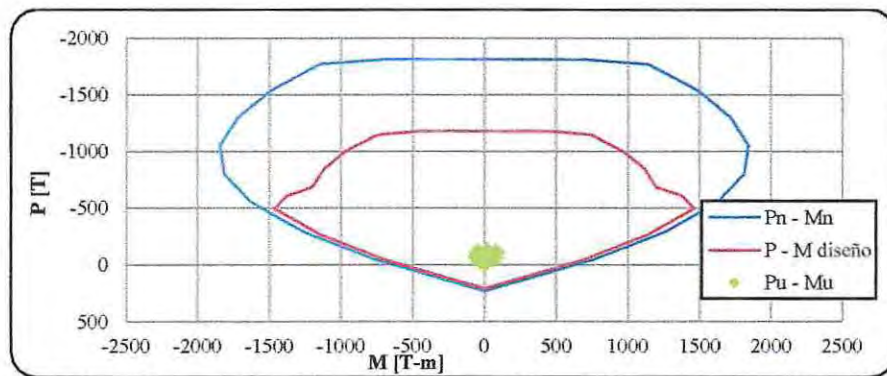


Figura 10.52-Diagrama de interacción Muro 1, Estructura I (Aislada).

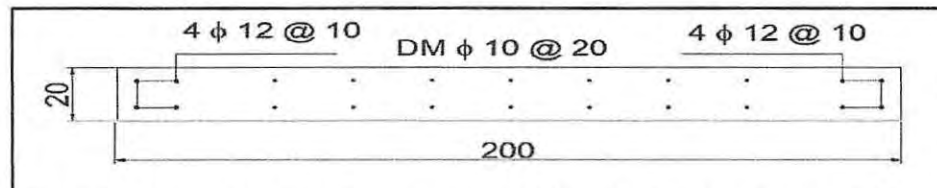


Figura 10.53-Armadura de flexo-compresión Muro 2, Estructura I (Aislada).

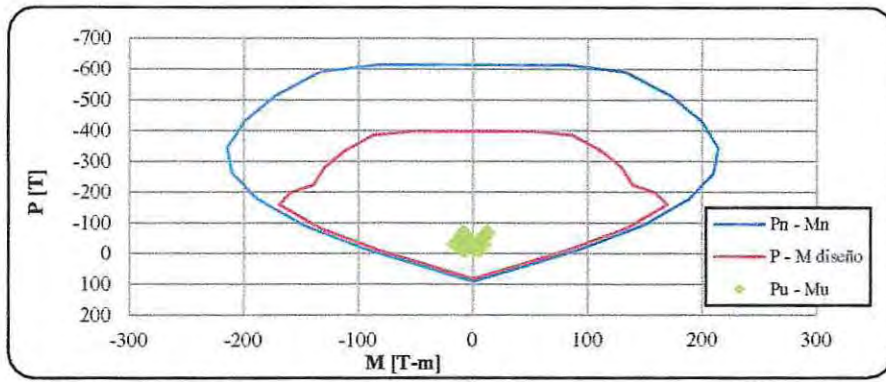


Figura 10.54-Diagrama de interacción Muro 2, Estructura I (Aislada).

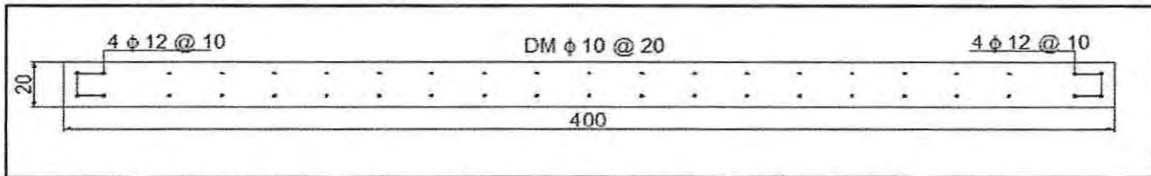


Figura 10.55-Armadura de flexo-compresión Muro 3, Estructura I (Aislada).

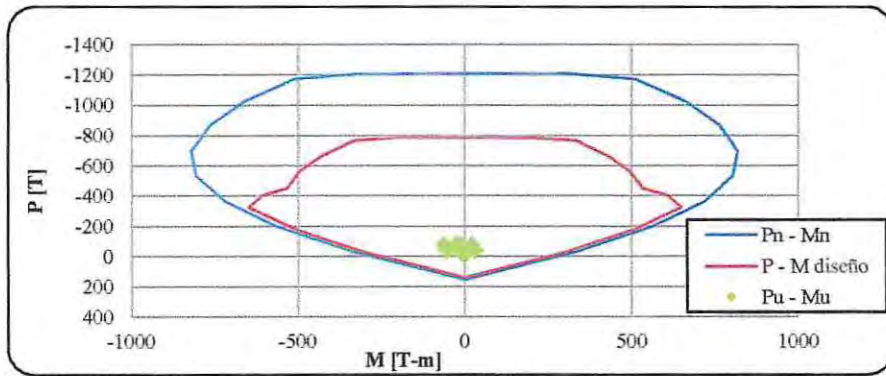


Figura 10.56-Diagrama de interacción Muro 3, Estructura I (Aislada).

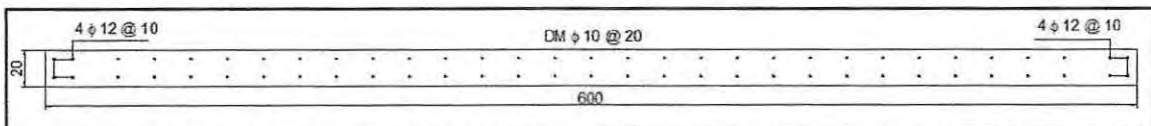


Figura 10.57-Armadura de flexo-compresión Muro 1, Estructura II (Aislada).

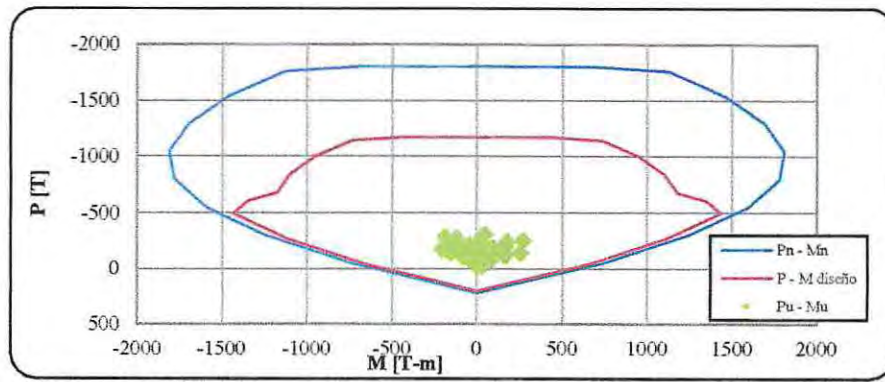


Figura 10.58-Diagrama de interacción Muro 1, Estructura II (Aislada).

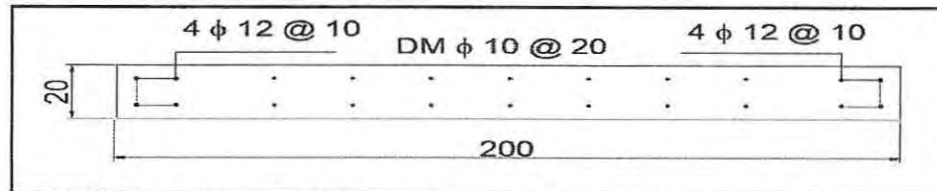


Figura 10.59-Armadura de flexo-compresión Muro 2, Estructura II (Aislada).

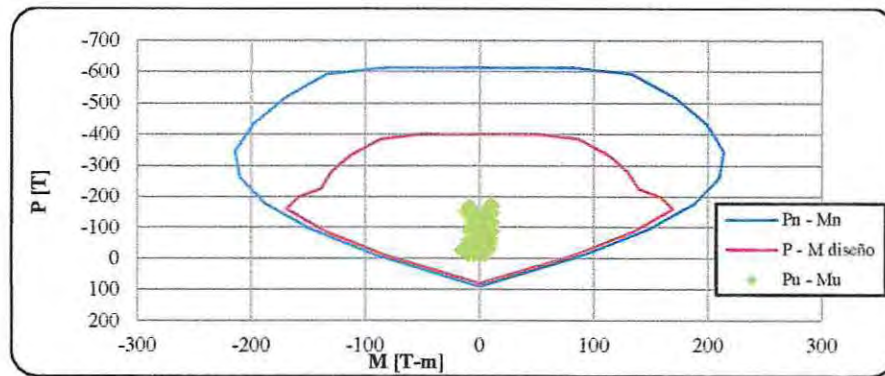


Figura 10.60-Diagrama de interacción Muro 2, Estructura II (Aislada).

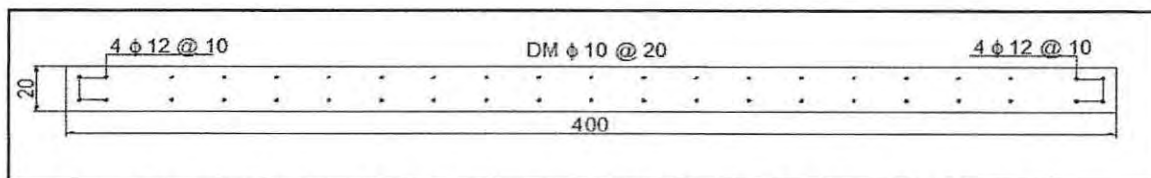


Figura 10.61-Armadura de flexo-compresión Muro 3, Estructura II (Aislada).

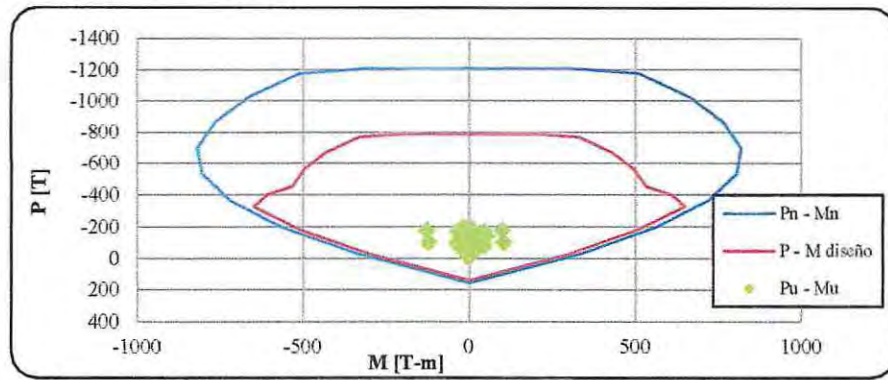


Figura 10.62-Diagrama de interacción Muro 3, Estructura II (Aislada).

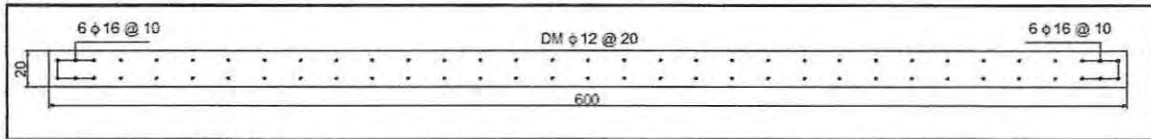


Figura 10.63-Armadura de flexo-compresión Muro 1, Estructura III (Aislada).

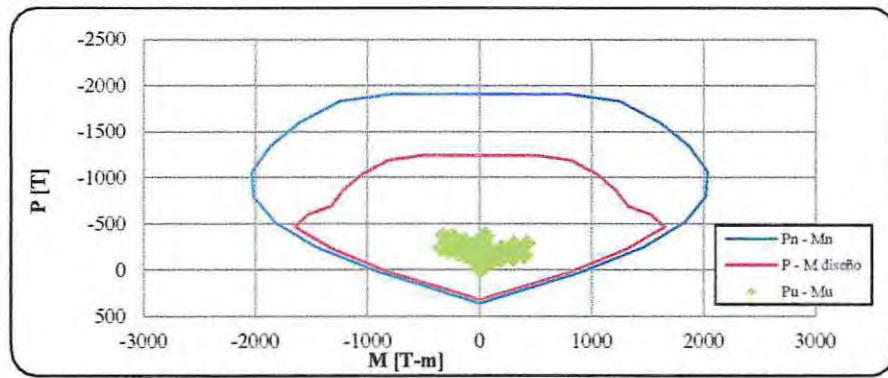


Figura 10.64-Diagrama de interacción Muro 1, Estructura III (Aislada).

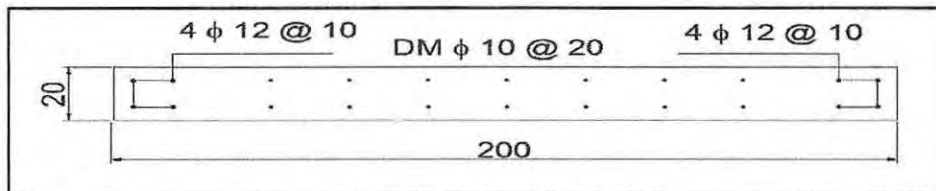


Figura 10.65-Armadura de flexo-compresión Muro 2, Estructura III (Aislada).

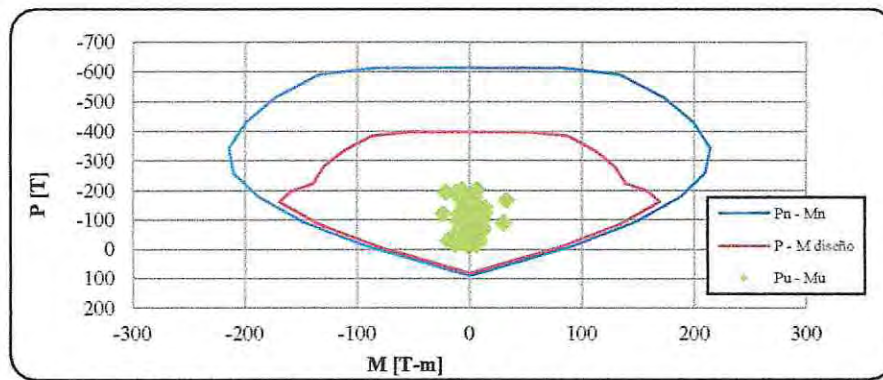


Figura 10.66-Diagrama de interacción Muro 2, Estructura III (Aislada).

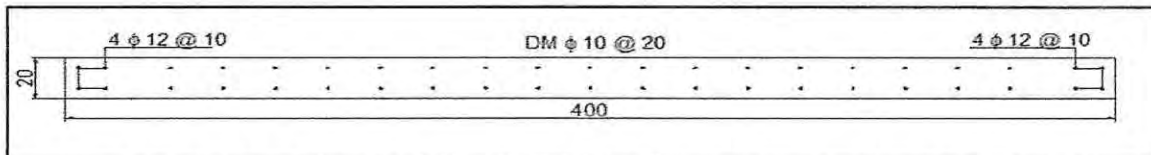


Figura 10.67-Armadura de flexo-compresión Muro 3, Estructura III (Aislada).

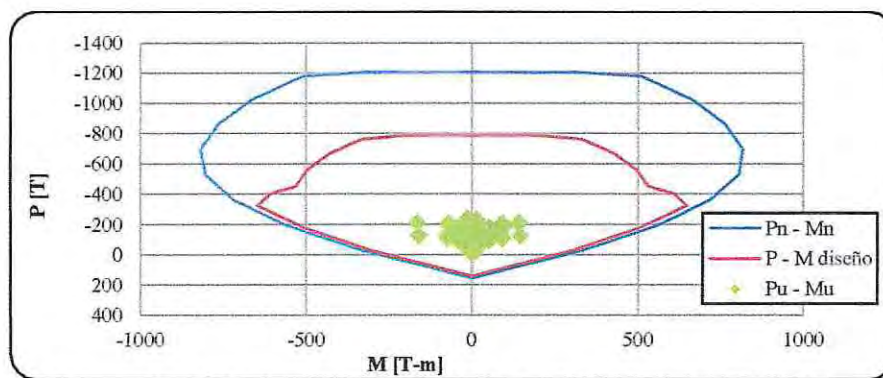


Figura 10.68-Diagrama de interacción Muro 3, Estructura III (Aislada).

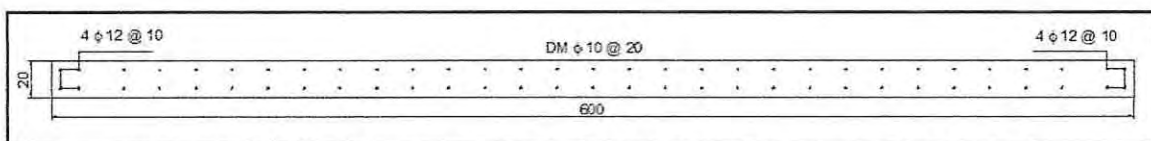


Figura 10.69-Armadura de flexo-compresión Muro 1, Estructura IV (Aislada)

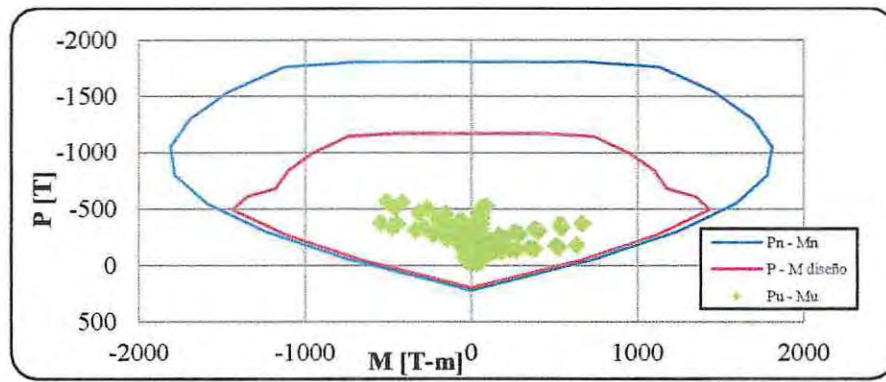


Figura 10.70-Diagrama de interacción Muro 1, Estructura IV (Aislada).

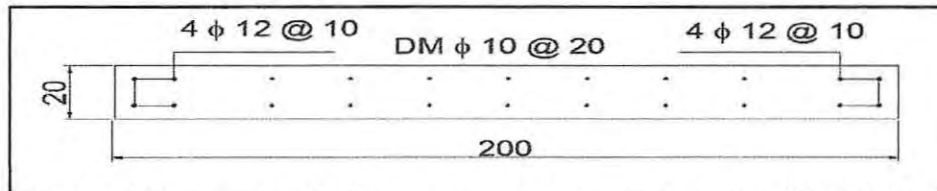


Figura 10.71-Armadura de flexo-compresión Muro 2, Estructura IV (Aislada).

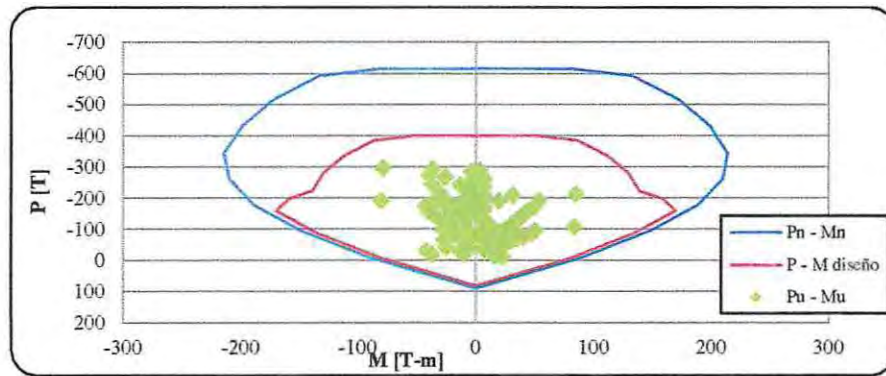


Figura 10.72-Diagrama de interacción Muro 2, Estructura IV (Aislada).

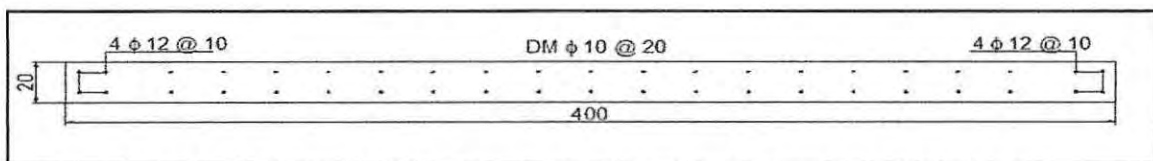


Figura 10.73-Armadura de flexo-compresión Muro 3, Estructura IV (Aislada).

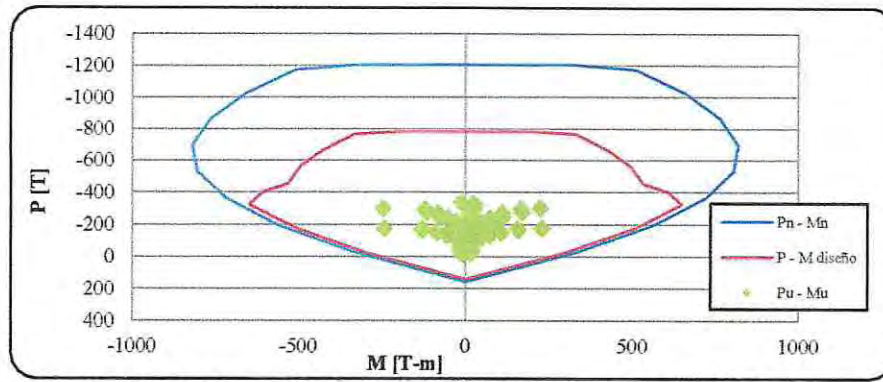


Figura 10.74-Diagrama de interacción Muro 3, Estructura IV (Aislada).

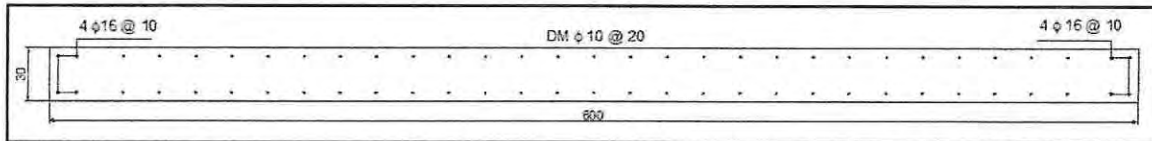


Figura 10.75-Armadura de flexo-compresión Muro 1, Estructura V (Aislada).

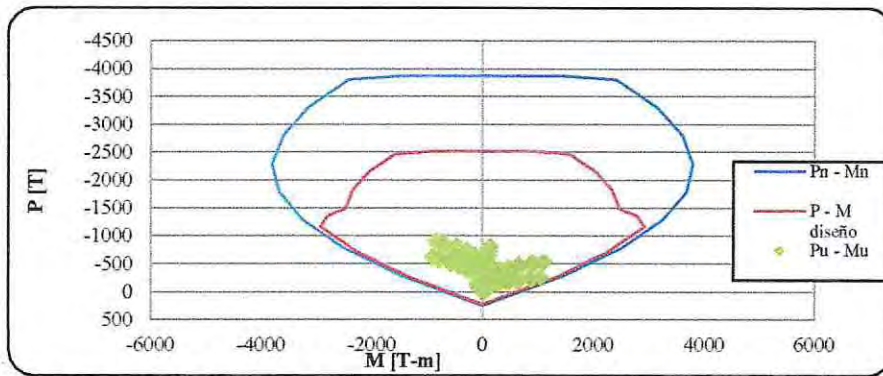


Figura 10.76-Diagrama de interacción Muro 1, Estructura V (Aislada).

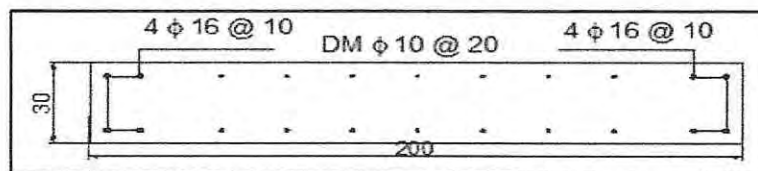


Figura 10.77-Armadura de flexo-compresión Muro 2, Estructura V (Aislada).

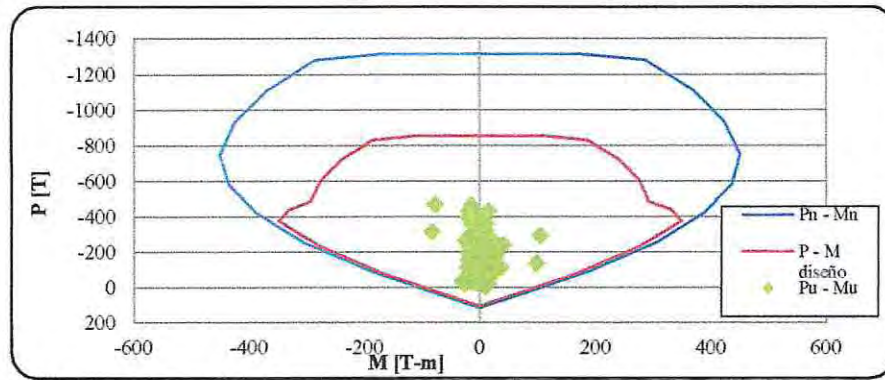


Figura 10.78-Diagrama de interacción Muro 2, Estructura V (Aislada).

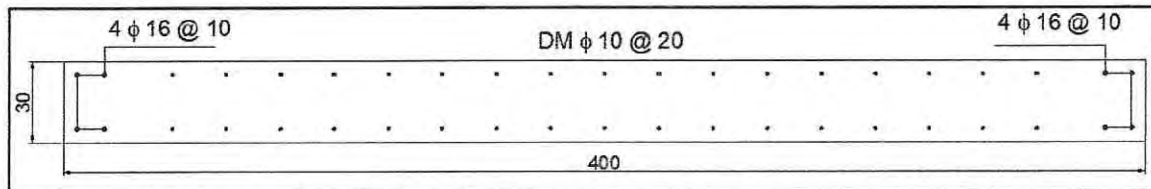


Figura 10.79-Armadura de flexo-compresión Muro 3, Estructura V (Aislada).

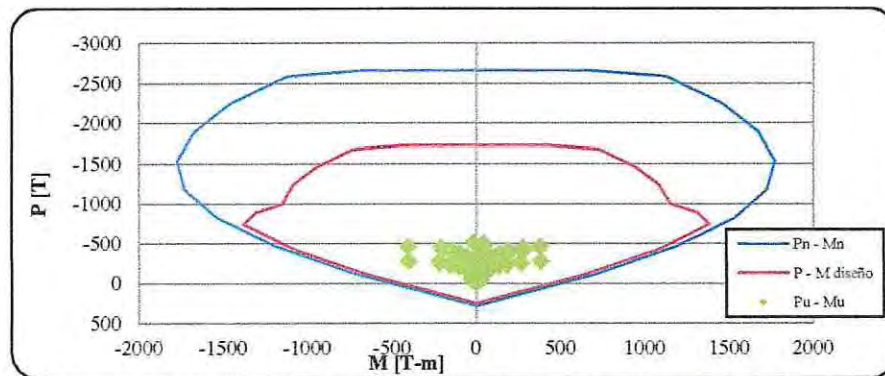


Figura 10.80-Diagrama de interacción Muro 3, Estructura V (Aislada).

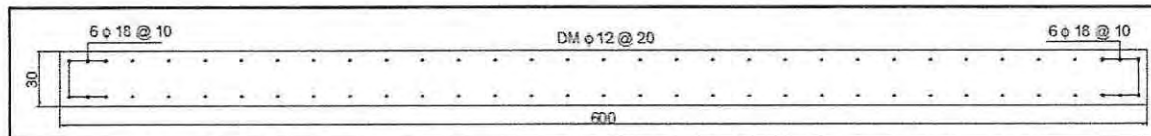


Figura 10.81-Armadura de flexo-compresión Muro 1, Estructura VI (Aislada).

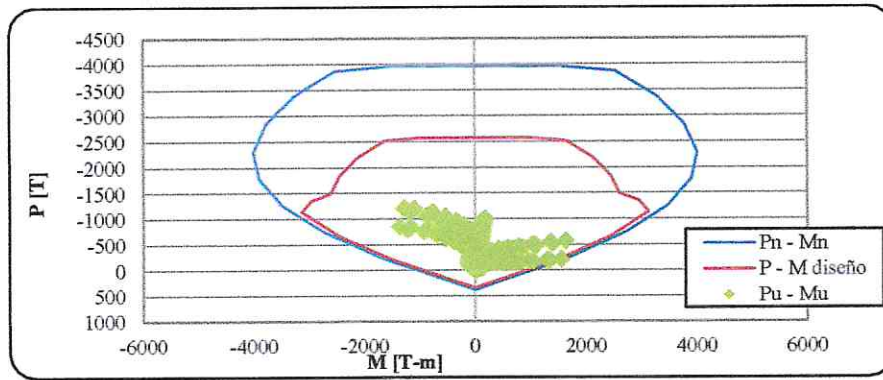


Figura 10.82-Diagrama de interacción Muro 1, Estructura VI (Aislada).

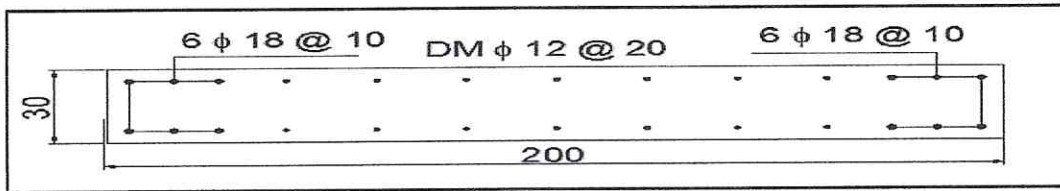


Figura 10.83-Armadura de flexo-compresión Muro 2, Estructura VI (Aislada).

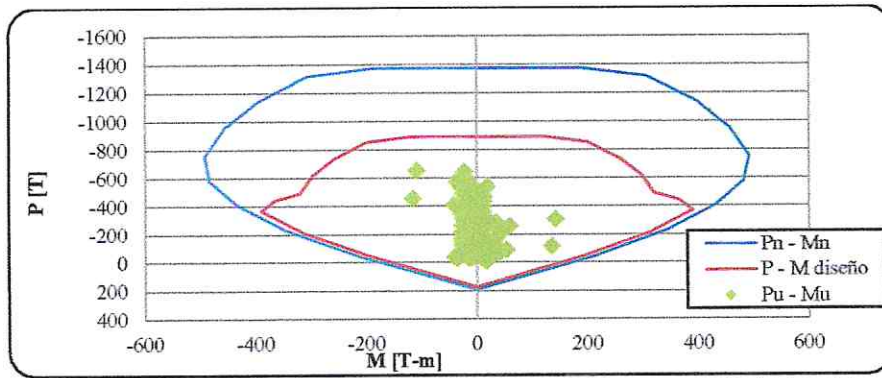


Figura 10.84-Diagrama de interacción Muro 2, Estructura VI (Aislada).

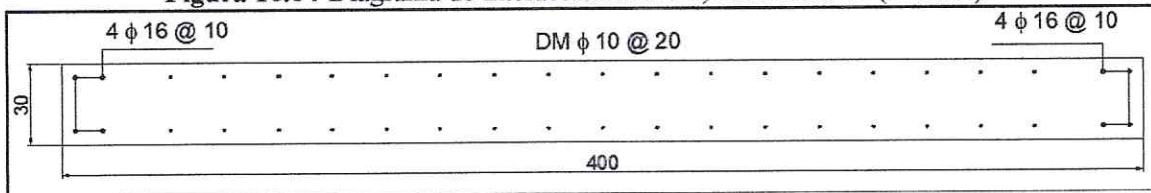


Figura 10.85-Armadura de flexo-compresión Muro 3, Estructura VI (Aislada).

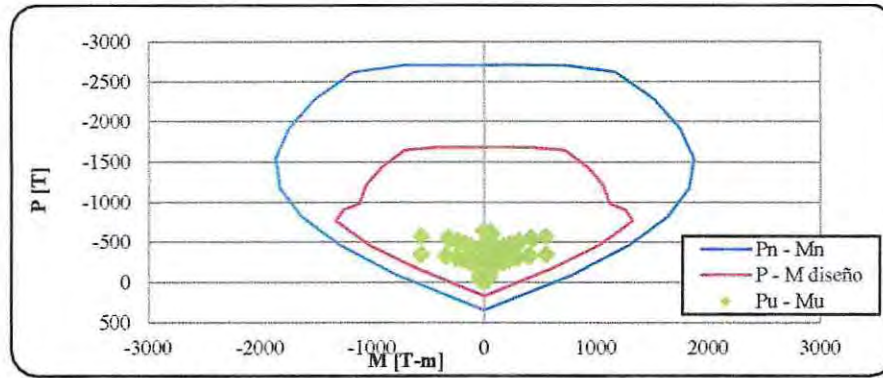


Figura 10.86-Diagrama de interacción Muro 3, Estructura VI (Aislada).

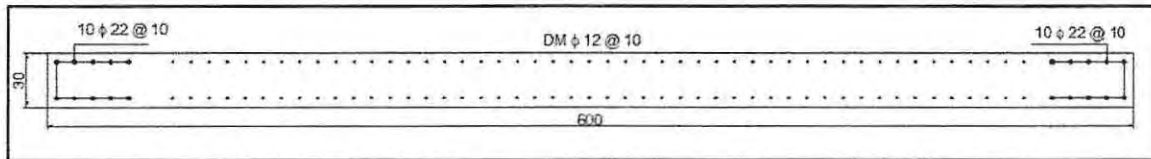


Figura 10.87-Armadura de flexo-compresión Muro 1, Estructura VII (Aislada).

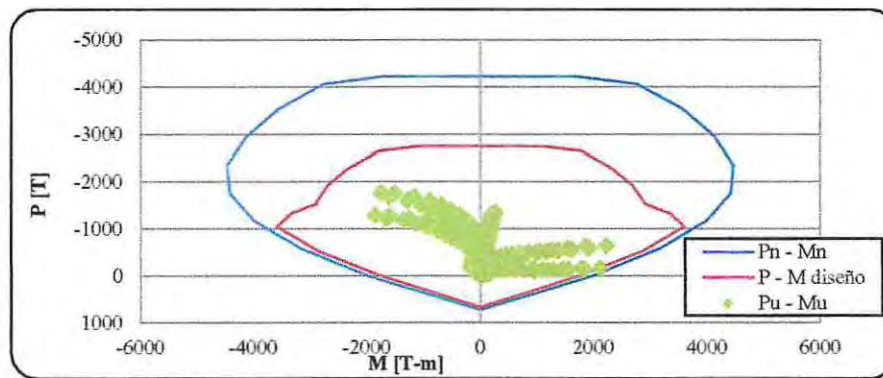


Figura 10.88-Diagrama de interacción Muro 1, Estructura VII (Aislada).

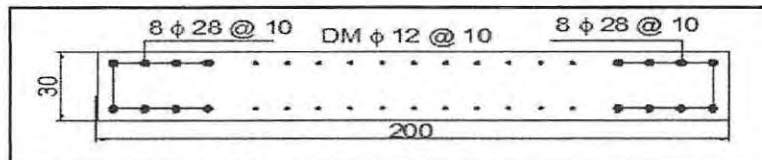


Figura 10.89-Armadura de flexo-compresión Muro 2, Estructura VII (Aislada).

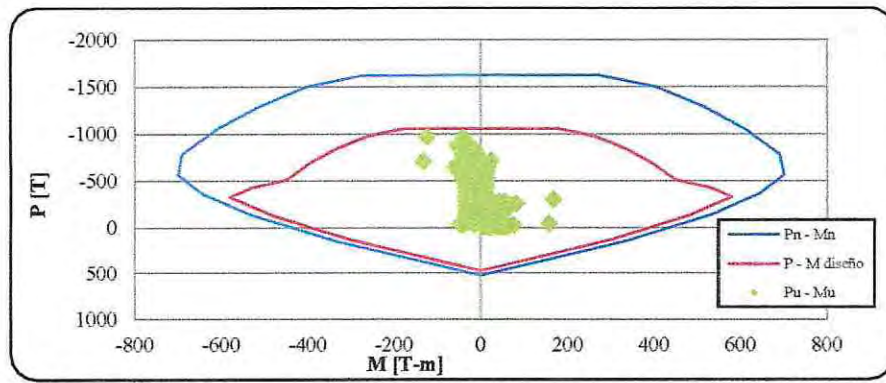


Figura 10.90-Diagrama de interacción Muro 2, Estructura VII (Aislada).

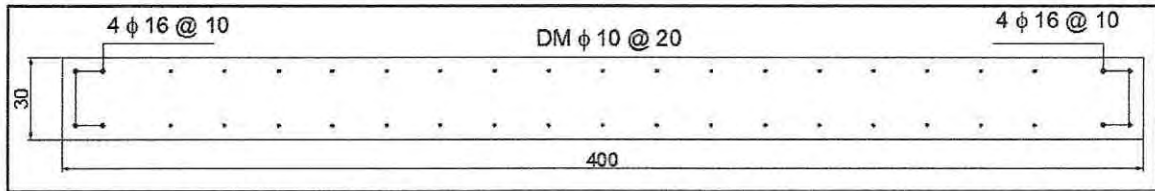


Figura 10.91-Armadura de flexo-compresión Muro 3, Estructura VII (Aislada).

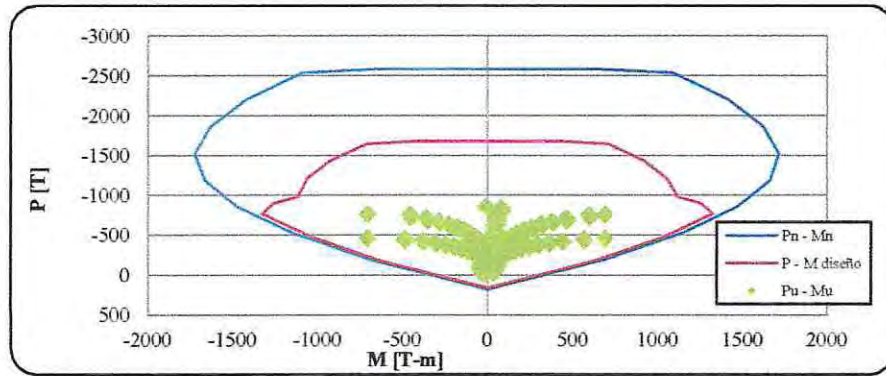


Figura 10.92-Diagrama de interacción Muro 3, Estructura VII (Aislada).