



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**MANUAL DE DISEÑO SÍSMICO PARA ELEMENTOS  
NO ESTRUCTURALES Y CONTENIDOS EN  
EDIFICACIONES PARA ARQUITECTOS E  
INGENIEROS CIVILES**

**TESIS**

Que para obtener el título de

**Ingeniero Civil**

**P R E S E N T A N**

Marín Rangel Donovan Ernesto  
Jara Valencia Israel

**DIRECTOR DE TESIS**

Dr. Miguel Ángel Jaimes Téllez



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2022



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**Dedicado a:**

*A mis padres, los cuales me han dado los mejores años de su vida y me enseñaron que con amor, disciplina y constancia puedo lograr lo que sea que me proponga.*

*A mi hermana Azeneth, que desde que tengo mis primeros recuerdos me ha dado su amor incondicional y me ha hecho vivir experiencias increíbles que nunca olvidaré.*

*A mi mejor amigo Abraham, el cual siempre escuchó mis relatos de esas noches infinitas de estudio y ocasiones en las cuales sentí que todo era muy complicado.*

*A mi amigo Israel, por compartir esta gran experiencia conmigo y ayudarme a ser un mejor ingeniero.*

**Donovan M.**

*A mis padres, que siempre me han guiado y apoyado en todos mis sueños a lo largo de mi vida, mostrándome que soy capaz de llegar muy alto con esfuerzo y dedicación.*

*A mi abuelo Enrique, que se fue hace algunos años, pero que siempre lo llevo conmigo en cada triunfo, en cada fracaso y en el día a día. Estoy seguro que hasta el último de sus momentos estuvo orgulloso de mí.*

*A mi familia, que son parte de mi vida y que he vivido muchos momentos muy especiales en su compañía.*

*A Daniela, por ser mi compañía durante estos años y vivir muchas experiencias juntos.*

*A mi amigo Donovan, por siempre ser un buen compañero a lo largo de la carrera y siempre confiar en mí.*

**Israel J.**

## **Agradecimientos**

Las páginas de este trabajo no son suficientes para poder expresar nuestro agradecimiento a cada una de las personas que han contribuido en nuestra formación académica y profesional. Pero, aun así, queremos hacer un reconocimiento especial para nuestros padres, que con esfuerzo y amor hicieron todo lo posible para que nosotros pudiéramos culminar nuestros estudios universitarios y que también en cada día nos escucharon y entendieron pacientemente; dándonos su comprensión y sabiduría cuando no todo resultaba de la mejor forma.

De igual manera queremos dar un extenso agradecimiento a nuestro director de Tesis el Dr. Miguel Ángel Jaimes Téllez, por tener la confianza y darnos esta oportunidad privilegiada al poder desarrollar un trabajo de esta magnitud. También queremos agradecerle por compartir su experiencia, paciencia y por todos los consejos que nos ofreció con los cuales pudimos concluir este trabajo.

También queremos agradecer a la Facultad de Ingeniería, nuestra alma máter, por albergarnos durante estos años en cada una de sus instalaciones a lo largo de nuestra formación como ingenieros civiles, un profundo respeto y admiración a nuestra Universidad.

Por último, queremos agradecer al Instituto de Ingeniería de la UNAM por brindarnos su apoyo en el desarrollo de este trabajo.

# Índice

<b>ACRÓNIMOS Y ABREVIACIONES</b> .....	<b>I</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>3</b>
<b>ANTECEDENTES</b> .....	<b>6</b>
Daños en elementos no estructurales en la Ciudad de México por el sismo de 1985.....	6
Normativa actualizada debido a los sismos significativos en la Ciudad de México .....	7
<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>7</b>
<b>ALCANCES Y LIMITACIONES</b> .....	<b>8</b>
<b>I. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>10</b>
1.1 Normativa .....	10
1.1.1 Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo.....	11
1.1.2 Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería .....	11
1.1.3 Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto .....	12
1.1.4 Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones .....	12
1.1.5 <i>National Fire Protection Association- 13</i> .....	13
1.2 Explicación inicial para el análisis de elementos no estructurales y contenidos .....	13
1.3 Teoría del comportamiento y diseño de los elementos no estructurales .....	14
1.3.1 Explicación general del anclaje para elementos no estructurales y contenidos.....	14
1.3.2 Definición del grado de desempeño .....	14
1.3.3 Clasificación de elementos no estructurales .....	15
1.3.4 Muro divisorio de mampostería .....	15
1.3.5 Sistema de tuberías.....	18
1.3.6 Sistema de aire acondicionado .....	19
<b>II. METODOLOGÍA</b> .....	<b>21</b>
2.1 Edificación base de diseño .....	21
2.1.1 Especificaciones generales.....	21

2.1.2 Geometría y dimensiones .....	22
2.1.3 Coordenadas geográficas y ubicación .....	23
2.1.4. Fotografías del sitio en estudio .....	23
2.1.4 Zona geotécnica .....	25
2.2 Grado de desempeño de los elementos no estructurales .....	26
2.3 Criterios de diseño generales en edificación base de diseño .....	26
<b>III. PARÁMETROS SÍSMICOS .....</b>	<b>27</b>
3.1 Datos y estimaciones de la zona de estudio .....	27
3.2 Cálculo del factor de reducción por comportamiento sísmico .....	27
3.3 Ordenada del espectro elástico para el periodo fundamental de la estructura .....	28
3.4 Espectro de diseño de la zona de estudio.....	28
<b>IV. EJEMPLO 1. MURO DIVISORIO DE MAMPOSTERÍA .....</b>	<b>30</b>
4.1 Características generales del muro divisorio de mampostería .....	30
4.2 Análisis sísmico aplicado a muro divisorio de mampostería.....	31
4.3 Diseño del anclaje para muro divisorio de mampostería .....	33
<b>V. EJEMPLO 2. SISTEMA DE TUBERÍAS.....</b>	<b>49</b>
5.1 Características generales del sistema de tuberías .....	49
5.2 Análisis sísmico aplicado a sistema de tuberías .....	51
5.3 Diseño del anclaje para sistema de tuberías.....	54
<b>VI. EJEMPLO 3. SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO.....</b>	<b>65</b>
6.1. Características generales del sistema de aire acondicionado.....	65
6.2. Análisis sísmico aplicado a sistema de aire acondicionado .....	69
6.3. Diseño del anclaje para sistema de aire acondicionado .....	70
<b>VII. CONCLUSIONES.....</b>	<b>76</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>79</b>
Anexo A.....	79
Anexo B.....	82

## ACRÓNIMOS Y ABREVIACIONES

En este apartado se listan los conceptos, abreviaciones, parámetros, etc., más relevantes de este trabajo y aquellas palabras o variables que por ambigüedad (o semejanza) requieran algún tipo de explicación o diferenciación y que no estén explicadas en detalle en los capítulos correspondientes.

Acrónimos y abreviaciones	Descripción
$A_{sbarra}$	Área de acero total requerida.
$A_{T4}$	Área hidráulica en conductos hidráulicos de 4" de diámetro.
$A_{T6}$	Área hidráulica en conducto hidráulico de 6" de diámetro.
$a_n$	Máxima aceleración absoluta del nivel n de la superestructura.
$a_0$	Aceleración sísmica inicial de diseño.
$a_1$	Ordenada origen del espectro de diseño.
BTU	Unidad térmica británica.
$C_{ac}$	Capacidad técnica del sistema de aire acondicionado.
$Cl_s$	Carga térmica presentada en función del clima del sitio en estudio.
$Cr_t$	Carga térmica total presentada por individuos y equipos electrónicos.
$CT_{ac}$	Capacidad total del sistema de aire acondicionado.
$C_1$	Recubrimiento entre las barras de acero estructural y el colado monolítico del concreto clase 1.
c	Ordenada espectral correspondiente a la meseta del espectro de diseño.

ENE	Elemento/elementos no estructurales.
$F_{c4}$	Capacidad de carga del soporte aplicado en los conductos hidráulicos de 4" de diámetro.
$F_{carga6}$	Capacidad de carga del soporte aplicado en el conducto hidráulico de 6" de diámetro.
$F_i$	Factor de importancia.
$F_{sda}$	Fuerza sísmica de diseño considerando el peso total en el muro divisorio de mampostería.
$F_{s1}$	Fuerza sísmica de diseño en estado natural con efecto en muro divisorio de mampostería.
$F_{s2}$	Fuerza sísmica de diseño general con efecto en sistema de tuberías.
$F_{s2\ 4}$	Fuerza sísmica de diseño con efecto en conductos hidráulicos de 4" de diámetro.
$F_{s2\ 6}$	Fuerza sísmica de diseño con efecto en conducto hidráulico de 6" de diámetro.
$F_{s2\ 4\ 3m}$	Fuerza sísmica con efecto en conductos hidráulicos de 4" de diámetro en tramo diferencial de diseño.
$F_{s2\ 6\ 3m}$	Fuerza sísmica con efecto en conducto hidráulico de 6" de diámetro en tramo diferencial de diseño.
$F_{s3}$	Fuerza sísmica de diseño con efecto en sistema de aire acondicionado.
$F_T$	Resistencia por tensión del anclaje aplicado al sistema de tuberías.
$F_V$	Resistencia por cortante del anclaje aplicado al sistema de tuberías.
$f_y$	Esfuerzo de fluencia en barras de acero estructural.
$f'_c$	Resistencia a compresión para concreto clase 1.
$g$	Unidades de gravedad.

$h_i$	Altura correspondiente al tercer nivel de la edificación base de diseño.
$h_n$	Altura total de la edificación base de diseño.
$K_{tr}$	Índice de refuerzo transversal.
$k$	Coefficiente sísmico $k$ .
$L_{ac3m}$	Largo diferencial de tubería correspondiente a 3 metros.
$L_b$	Longitud total de barras de acero estructural.
$L_{db}$	Longitud de desarrollo base.
$L_{d1}$	Longitud de desarrollo base requerida por norma.
$L_{db80}$	Longitud de desarrollo base considerada en un 80%.
$L_T$	Longitud total de conductos hidráulicos.
MDM	Muro divisorio de mampostería.
$M_A$	Momento resistente para 1 barra del sistema de anclaje en el muro divisorio de mampostería.
$M_{R1}$	Momento resistente en condición natural de muro divisorio de mampostería.
$M_{R2}$	Momento resistente total en sistema de anclaje para muro divisorio de mampostería.
$M_{vda}$	Momento de volteo con sistema de anclaje aplicado en el muro divisorio de mampostería.
$M_{v1}$	Momento de volteo en condición natural de muro divisorio de mampostería.
$M_w$	Magnitud momento.
NFPA-13	<i>National Fire Protection Association.</i>
NTC	Normas técnicas complementarias.
$p$	Variable usada para el cálculo de aceleraciones de diseño del espectro elástico.

Q	Factor de comportamiento sísmico.
Q'	Factor de reducción de comportamiento sísmico.
RCCOL	Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente.
RCDF-2017	Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal 2017.
R <sub>CAac</sub>	Resistencia del anclaje por cortante en sistema de aire acondicionado.
R <sub>TAac</sub>	Resistencia del anclaje por tensión en sistema de aire acondicionado.
r <sub>4</sub>	Radio hidráulico en conductos hidráulicos de 4" de diámetro.
r <sub>6</sub>	Radio hidráulico en conducto hidráulico de 6" de diámetro.
S	Área del lugar de instalación del sistema de aire acondicionado.
SE	Sistema estructural.
T	Periodo natural de la estructura.
T <sub>a</sub>	Periodo donde inicia meceta.
T <sub>b</sub>	Periodo donde termina meceta.
T <sub>n</sub>	Periodo n de diseño.
T <sub>s</sub>	Periodo del suelo.
T <sub>s1</sub>	Esfuerzo de tensión en barra de acero estructural.
V <sub>or</sub>	Volumen total del concreto clase 1 contemplado dentro del orificio del block hueco.
V <sub>T4</sub>	Volumen en conductos hidráulicos de 4" de diámetro en tramo diferencial de diseño.
V <sub>T6</sub>	Volumen en conducto hidráulico de 6" de diámetro en tramo diferencial de diseño.

$WT_a$	Peso total de 1 anclaje colocado en el muro divisorio contando mampostería.
$WT_{sa}$	Peso total de 1 anclaje colocado en el muro divisorio sin contar mampostería.
$WT_4$	Peso propio de los conductos hidráulicos de 4" de diámetro en tramo diferencial de diseño.
$WT_6$	Peso propio del conducto hidráulico de 6" de diámetro en tramo diferencial de diseño.
$W_{ac}$	Peso total del sistema de aire acondicionado con anclaje.
$W_b$	Peso propio de 1 barra de acero estructural.
$W_{cm4}$	Peso de carga muerta para conductos hidráulicos de 4" de diámetro.
$W_{cm6}$	Peso de carga muerta para conducto hidráulico de 6" de diámetro.
$W_{condensador}$	Peso del condensador del sistema de aire acondicionado.
$W_{cor}$	Peso total del concreto clase 1 contemplado dentro del orificio en el block hueco.
$W_{evaporador}$	Peso de evaporador del sistema de aire acondicionado.
$W_{H2O4}$	Peso del volumen de agua en conductos hidráulicos de 4" de diámetro en tramo diferencial de diseño.
$W_{H2O6}$	Peso del volumen de agua en conducto hidráulico de 6" de diámetro en tramo diferencial de diseño.
$W_{H2OL4}$	Peso propio del agua para 1 metro lineal en conductos hidráulicos de 4" de diámetro.
$W_{H2OL6}$	Peso propio del agua para 1 metro lineal en conducto hidráulico de 6" de diámetro.
$W_{mp}$	Peso propio muro divisorio de mampostería.

$W_{mp\ 1m}$	Peso propio muro divisorio de mampostería para 1 metro lineal.
$W_{mp\ 60cm}$	Peso total del muro divisorio de mampostería para franja diferencial de 60 centímetros.
$w_{pp4}$	Peso propio de los conductos hidráulicos de 4" de diámetro.
$w_{pp6}$	Peso propio del conducto hidráulico de 6" de diámetro.
$W_{solera}$	Peso propio de solera de acero.
$W_{Tt4}$	Peso propio total a tubo lleno en conductos hidráulicos de 4" de diámetro en tramo diferencial de diseño.
$W_{Tt6}$	Peso propio total a tubo lleno en conducto hidráulico de 6" de diámetro en tramo diferencial de diseño.
$W_{Tt6}$	Peso propio total a tubo lleno en conducto hidráulico de 6" de diámetro en tramo diferencial de diseño.
$W_{tda}$	Vector de peso tomando en cuenta anclaje y peso propio del muro divisorio de mampostería.
$\beta$	Factor de amortiguamiento suplementario.
$\gamma_c$	Peso volumétrico para concreto clase 1.
$\gamma_{H2O}$	Peso volumétrico del agua.
$\gamma_m$	Peso volumétrico de muro divisorio de mampostería.
$\gamma_s$	Peso volumétrico para barras de acero estructural.
$\eta_a$	Coefficiente sísmico $\eta_a$ .
$\Omega_a$	Factor de amplificación dinámica.
$\Omega_i$	Factor de amplificación sísmica.
$\emptyset$	Diámetro de conductos hidráulicos.
$\emptyset_{barra}$	Diámetro de diseño en barra de acero estructural de 3/8".

## RESUMEN

Esta tesis busca ser un apoyo práctico en el ámbito profesional para arquitectos e ingenieros civiles respecto al diseño sísmico de elementos no estructurales y contenidos ubicados dentro de edificios, por ello elaboramos un manual preliminar. El desarrollo técnico de dicho manual es justificado por lo que se dicta en el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal en su versión del año 2017, y de igual forma, por la *National Fire Protection Association-13*. También dentro del presente trabajo, se encuentran apartados teóricos y antecedentes que ayudan al lector a familiarizarse de una manera más sencilla y clara sobre la importancia, relevancia y cómo es, de manera general, el posible comportamiento físico de los elementos no estructurales y de los contenidos en las edificaciones durante eventos sísmicos.

Asimismo, en los diferentes apartados de este manual se desarrollan diversas implementaciones innovadoras que contemplan, por ejemplo, el cómo poder clasificar a los elementos no estructurales por su grado de desempeño, según los usos estructurales más usados comúnmente en obras civiles desarrolladas en México. También, tales secciones tratan cómo diseñar e implementar sistemas de anclajes antisísmicos eficientes y prácticos, los cuales sean capaces de garantizar la seguridad de los individuos que residen en las diversas edificaciones de la Ciudad de México.

Para poder cumplir con el propósito principal de este trabajo se contemplaron la revisiones físicas y matemáticas necesarias así como para poder desarrollar un correcto análisis sísmico en cada caso de estudio en particular. También se realizaron los diseños correspondientes a los sistemas de anclaje, estos aplicados a un muro divisorio de mampostería, un sistema de tuberías y a un sistema de aire acondicionado localizados dentro de un edificio.

## ABSTRACT

This thesis seeks to be a practical support in the professional field for architects and civil engineers, focuses on the development of a seismic design manual for non-structural elements and contents into buildings. The technical development is supported by what is indicated in the Construction Regulations for the Federal District 2017, and in the same way, by the National Fire Protection Association-13. Additionally, there are theoretical and background sections, which help the reader to understand in a deeper and clearer way, the importance, relevance about the possible behavior of the non-structural elements and contents into the buildings.

Likewise, in the different sections, various innovative implementations are developed that contemplate, for example, how to be able to classify non-structural elements by their degree of performance, according to the most commonly used structural uses in civil works developed in Mexico City. In addition, such sections explain how to be able to design and implement efficient and practical anti-seismic anchors, which are capable of guaranteeing the safety of the people who live, study or work in the different buildings in Mexico City.

To fulfill the main purpose of this work, the necessary physical and mathematical revisions were contemplated, to develop a correct seismic analysis in each case study, and the designs corresponding to the anchoring systems were carried out. These are applied to a masonry partition wall, a piping system, and an air conditioning system located inside a building.

## INTRODUCCIÓN

La presente tesis busca ser un instrumento de apoyo para los profesionales de la industria de la construcción, en el diseño antisísmico de Elementos/ Elementos No Estructurales (ENE) y contenidos en las edificaciones con condiciones iniciales propuestas. Este trabajo se desarrolla con el propósito de ofrecer seguridad a los usuarios, a raíz del miedo que existe en los habitantes de la Ciudad de México a consecuencia de los eventos sísmicos presentados a lo largo de su historia contemporánea.

Los sismos son un fenómeno natural muy concurrente en la vida de los ciudadanos que habitan principalmente tanto en el centro como el suroeste de México. Existen una gran cantidad de documentos que nos ayudan a poder conocer las características que puede tener un sismo, las zonas en donde se registran aceleraciones sísmicas de una manera más frecuente y hasta los principales recuentos de daños, generados en cada una de las edificaciones más importantes, de las diversas ciudades afectadas por los sismos de mayor relevancia en la historia de nuestro país. Por ejemplo, se sabe que el sismo de  $M_w$ 7.1 suscitado el 19 de septiembre de 2017, con epicentro en Morelos y del tipo intraplaca, causó principalmente daños en edificaciones con menos de 10 niveles y, además por datos estadísticos e información sobre daños y colapsos ocurridos en el referido terremoto (Berrón, 2018), se sabe también que muchas de esas edificaciones ya habían sufrido un daño considerable a partir del sismo de  $M_w$ 8.1 suscitado el 19 de septiembre de 1985, el cual presentó características para poder ser clasificado del tipo subducción de interplaca.

El sismo de 2017 causó el colapso de 50 edificaciones aproximadamente, número estimado de acuerdo con los datos obtenidos por ingenieros especialistas en estructuras, los cuales inspeccionaron la mayor parte de daños estructurales que se presentaron en edificaciones de la Ciudad de México debido a este terremoto. Esta labor la llevó a cabo sociedades técnicas como la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural (SMIE) y fue coordinada por el Colegio de Ingenieros Civiles de México (CICM) (Rodríguez, 2019). Por lo tanto es importante resaltar que, para la ingeniería mexicana, es relevante conocer el daño que pueden causar los sismos tanto para elementos estructurales como para los ENE y contenidos. Esto principalmente para poder desarrollar metodologías de diseño seguras y eficaces para la implementación y construcción de sistemas antisísmicos aplicados a cualquiera de los elementos ya mencionados con anterioridad: aspectos importantes a considerar, ya que, estos conforman a las edificaciones de una ciudad a lo largo de su vida útil.

Aunque si bien los elementos mencionados con anterioridad son recurrentes como parte de nuestra cultura sísmica, es importante resaltar que no se cuenta aún con un concreto desarrollo de investigación que logre proveer de una metodología explícita que sea útil al momento de diseñar este tipo de sistemas antisísmicos para ENE y contenidos. Una vez analizado esto, la necesidad de crear un manual; que contemple como uno de sus objetivos

principales el poder ofrecer ejemplos prácticos de diseño para este tipo de sistemas, se vuelve un elemento crucial para que la ingeniería estructural mexicana pueda seguir desarrollándose y pueda ofrecer estructuras más seguras en su totalidad. Aunado a este beneficio, también se contempla la importancia que tiene un manual de diseño de estas características para que cualquier profesionalista en el ámbito de la construcción, y del diseño estructural de edificaciones, pueda tener la confianza y la seguridad de que su diseño cumplirá con los requerimientos más exigentes en materia de normatividad y seguridad para el cliente.

Esto es muy relevante ya que, por ejemplo, si se analiza el comportamiento estructural que tuvieron las edificaciones en general de la Ciudad de México en el sismo de 2017, podemos darnos cuenta que muchas de estas obras; las cuales estaban constituidas a base de marcos de concreto reforzado, con o sin muros de mampostería divisorios, con la llamada “planta baja débil”, sufrieron grandes daños en sus elementos estructurales y no estructurales, esto debido a que por su naturaleza estructural pudieron presentar una insuficiente rigidez lateral. Además, también existen estudios que confirman que el detallado del acero de refuerzo contenido en cada uno de los elementos ya mencionados con anterioridad, estaba por debajo de los estándares internacionales para el diseño de estructuras en zonas sísmicas, esto debido a que, principalmente desde antes del año de 1985 hasta el año de 2017 (que es el reglamento más actual a la fecha en que se realiza este estudio), la normativa por sismo en la Ciudad de México permitía la construcción de marcos de concreto reforzado sin los requisitos especiales de diseño de elementos estructurales en zonas sísmicas, especificados en el Capítulo 21 de versiones anteriores a los Requisitos del Código de Construcción para Concreto Estructural (ACI 318-14), y ahora en su última normativa en el Capítulo 18. Esta deficiencia en ese reglamento se repite en las actuales normativas por sismo en la Ciudad de México (NTCS, 2017) (Rodríguez, 2019).

Por lo tanto, es importante considerar que se debe realizar el desarrollo de reglamentos adecuados y realizar las modificaciones que sean necesarias en normativas ya existentes, para con esto poder garantizar una seguridad estructural en las edificaciones, y, a su vez, que se tenga una normativa estricta: la cual no considere que puedan existir daños “menores” que puedan afectar al uso de las estructuras, esto incluye también a los ENE, los cuales, con un correcto diseño, además de ser un apoyo a la estructura principal, pueden evitar representar un peligro para los usuarios.

Para resaltar la importancia del estudio del daño que pueden presentar los ENE y contenidos de una edificación, se tomará como ejemplo específico el comportamiento de los elementos no estructurales presentado en el sismo del 19 de septiembre de 2017 en los edificios Oaxaca 80 y Amsterdam 82 en la Ciudad de México. Dichos edificios cuentan en común con sistema estructural sismorresistente conformado por marcos de concreto reforzado, con muros divisorios y en general con una menor densidad de muros divisorios en dirección paralela a la calle, esto principalmente en planta baja. Los edificios Oaxaca 80 y Amsterdam 82 cuentan

con 7 y 8 niveles respectivamente. Estos edificios fueron parte de un estudio hecho por varias universidades de EEUU (Behrouzi, y otros, 2017) en el que, entre otras actividades, se hicieron mediciones de periodos fundamentales de vibración en una docena de edificios representativos. Después de ocurrir el sismo del 19 de septiembre de 2017, dichos edificios presentaron tanto daños estructurales como daños no estructurales, estos últimos visiblemente más ubicados en muros divisorios que contaban con ventanas y que no eran largos ni densos en su composición. Esto es relevante en tanto que existen muchos estudios que indican que los muros divisorios continuos (sin ventanas ni interrupciones de cimentación a techo), como los que usualmente se usan a lo largo de linderos perpendiculares a las calles, pueden llegar a aumentar la rigidez de una estructura de marcos por un factor de casi 4 en edificios de 10 o menos niveles. El periodo se reduce entonces casi a la mitad del periodo de la estructura sin muros (Rodríguez, 2019).

El presente trabajo de tesis titulado “*Manual de diseño sísmico para elementos no estructurales y contenidos en edificaciones para arquitectos e ingenieros civiles*” tiene como objetivo principal poder desarrollar un manual de diseño óptimo que satisfaga las necesidades requeridas por los profesionistas de la construcción en campo. Usando un estado del arte que contemple: el uso de parámetros sísmicos para una zona específica de diseño y la representación de un espectro de diseño elástico, necesario para poder establecer aceleraciones iniciales de diseño que serán implementadas para realizar un análisis sísmico específico para cada contenido y ENE, estos considerados en cada uno de los ejemplos prácticos que se desarrollarán más adelante en este estudio. Además, es importante considerar que dentro del desarrollo metodológico del presente trabajo se está considerando también la determinación de cada punto requerido para que el usuario, que aplique este manual de diseño, sea capaz de poder entender, estimar y conocer a profundidad el comportamiento sísmico de un ENE o contenido de cualquier edificación construida en la Ciudad de México a su preferencia.

Un aspecto innovador de este trabajo es que en la amplitud de su desarrollo se condensarán conocimientos y aspectos teóricos en ingeniería sísmica, necesarios para el diseño de contenidos y ENE de una manera concisa, clara y práctica para su implementación y su respectiva corroboración con respecto a la normativa más vigente y estricta, de estos elementos en proyectos de infraestructura construidos en la Ciudad de México.

## ANTECEDENTES

### **Daños en elementos no estructurales en la Ciudad de México por el sismo de 1985**

Se pretende que, con base en el análisis del comportamiento de los ENE ante un sismo, se pueda generar una propuesta para su correcto diseño antisísmico con la finalidad de obtener mejores resultados en eventos futuros, siempre tomando en cuenta como referencia las consecuencias de los eventos catastróficos debidos a los sismos más significativos que han afectado a la Ciudad de México a lo largo de su historia.

En el año de 1985 fallaron estructuralmente muchas edificaciones, en primera instancia por la intensidad que el sismo logró alcanzar en una zona específica de la Ciudad de México, en la cual a su vez se amplificó debido a las características del terreno blando. Lo que caracterizó el movimiento en dicha zona fue la repetición de un número elevado de ciclos de gran amplitud con frecuencias con tiempos cercanos a 2 s.

En el caso de los ENE dañados, está el de los muros divisorios de mampostería. Gran parte de los edificios de varios pisos en la zona afectada poseían una alta densidad de muros de mampostería que en la mayoría de los casos se suponía debían tener una función solamente de elementos divisorios y no estructurales, mientras que en otros casos estaban considerados para tener una función estructural y estaban reforzados y colocados para que cumplieran con dicho propósito. Por lo tanto, fue de gran ayuda que hubiera presencia de dichos muros divisorios de mampostería, pues gracias a ellos fue que varios edificios en la zona de afectación no colapsaron. Gracias a la absorción de las cargas laterales, los muros funcionaron como protección a las columnas, a pesar de que se presentaron grietas en dichos elementos, estos fueron de gran ayuda para disipar la energía del sismo.

A raíz del sismo de 1985 se creó el Sistema Nacional de Protección Civil con el objetivo de ser una herramienta de prevención de riesgo para los mexicanos con el fin de salvaguardar sus vidas ante eventos catastróficos y fenómenos de la naturaleza. Además de la implementación de la educación con programas en las escuelas, el sistema de alerta sísmica que avisa con segundos de anticipación que ocurrirá un sismo, simulacros que coinciden con la fecha y hora del sismo del 85 (Instituto de Investigaciones Legislativas, 2017).

## **Normativa actualizada debido a los sismos significativos en la Ciudad de México**

A consecuencia de los sucesos catastróficos ocurridos en los sismos con afectaciones en la Zona Metropolitana del Valle de México, se han creado, modificado y actualizado normas y reglamentos que tienen como objetivo principal la correcta ejecución en la construcción y diseño de edificaciones en la Ciudad de México; siempre tomando como referencia las consecuencias de los eventos catastróficos significativos más recientes, como fue por ejemplo el sismo ocurrido en el año de 1985 y posteriormente los sismos del año 2017.

Previo a que ocurriera la tragedia del sismo de 1985, el contenido del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal era apenas una pequeña fracción en contenido de lo que hoy en día se tiene. En aquellos tiempos, antes de que la Ciudad de México sufriera daños tan importantes por las fuerzas sísmicas, no se hacía una correcta distribución de las cargas estructurales en las edificaciones. Al respecto Jonathan Uruga en entrevista para *Expansión* menciona que “Antes se construía y se plantaban los muros y sobre esos muros ponían losas. Ahora ya tienen que distribuir las cargas” (EXPANSIÓN, 2017).

Los eventos sísmicos que han ocurrido en nuestro país han sido de gran enseñanza para la industria de la construcción, por ello con el paso de los años dicha normativa se ha visto sometida a diversas modificaciones importantes, entre las cuales destacan materiales y elementos de diseño, por ejemplo:

- La implementación del concreto reforzado con acero.
- Distribución estructural de cargas.
- Rutas de evacuación para las edificaciones.

## **OBJETIVOS**

- Realizar un manual de diseño sísmico para ENE y contenidos en edificaciones para arquitectos e ingenieros civiles.
- Desarrollar ejemplos prácticos en donde se analizan ENE y contenidos, para los cuales se realizó como primer punto un análisis sísmico, tomando en cuenta el comportamiento particular de cada elemento. Además se propuso el diseño del anclaje necesario en el sistema para poder garantizar la seguridad de estos mismos, ante efectos sísmicos.
- Proporcionar ejemplos de diseño sencillos y realistas enfocados a que ingenieros civiles y arquitectos puedan entenderlos y aplicarlos en su desarrollo profesional.

## ALCANCES Y LIMITACIONES

- La superestructura base utilizada para poder establecer las aceleraciones sísmicas de diseño fue propuesta con una composición correspondiente a 7 niveles. Contando también con características, como una altura de entrepiso de 2.5 m, una clasificación estructural perteneciente al grupo B y un uso de vivienda, con respecto a lo dictaminado en RCDF-2017. Dicha superestructura base fue denominada como “edificación base de diseño”.
- La edificación base de diseño presenta una localización geotécnica correspondiente a Zona II.
- La obtención del espectro sísmico de diseño utilizado para el desarrollo de los tres ejemplos prácticos realizados en el presente trabajo, se calculó a partir de contar con los datos sísmicos iniciales de la zona de estudio.
- El primer ejemplo práctico desarrollado en el presente trabajo consiste en realizar el análisis sísmico aplicado a un muro divisorio de mampostería, para el cual también fue diseñado un sistema de anclaje el cual consiste en garantizar un empotramiento con respecto a la losa inferior del sistema de piso en donde se construirá dicho muro, esto por medio de barras de acero estructural.
- El segundo ejemplo práctico desarrollado en el presente trabajo consiste en realizar el análisis sísmico aplicado a un sistema de tuberías, para el cual fue diseñado un sistema de anclaje que tiene como finalidad el poder garantizar una estabilidad estructural, esto por medio de un sistema de sujeción a través de la instalación de un anclaje para concreto y un soporte para tuberías.
- El tercer ejemplo práctico desarrollado en el presente trabajo consiste en realizar el análisis sísmico aplicado a un sistema de aire acondicionado, para el cual fue diseñado un sistema de anclaje que tiene como finalidad el poder garantizar una estabilidad estructural del contenido, esto por medio de un sistema de sujeción que se compone de una abrazadera de acero y dos anclajes para concreto.
- Las piezas utilizadas para el diseño de los sistemas de anclajes aplicados para cada uno de los tres ejemplos prácticos fueron obtenidas de catálogos vigentes a la realización del presente trabajo de diferentes proveedores.

- Los cálculos matemáticos del presente trabajo fueron desarrollados mediante un software de cálculo (*Math Cad*), el cual, utilizó un mayor número de decimales en las estimaciones realizadas y, por lo tanto, erradicó el margen de error. Sin embargo, los resultados que se presentaron en el contenido técnico de la tesis están limitados a dos decimales, y, en algunos casos, a tres decimales. Es por ello que, si el lector busca replicar los ejemplos de manera correcta, se recomienda la realización de los cálculos con apoyo de un software matemático para garantizar la precisión de su diseño.

# I. MARCO TEÓRICO

## 1.1 Normativa

El Reglamento para Construcciones para el Distrito Federal (RCDF-2017) cuenta con recursos necesarios para la construcción y diseño de edificaciones, dichos recursos son las Normas Técnicas Complementarias (NTC).

Las NTC del RCDF-2017 son las disposiciones técnicas que fijan los requisitos técnicos mínimos para el diseño y construcción de todo tipo de edificaciones con las especificaciones y excepciones que en ellas se indican: aseguran el buen funcionamiento, accesibilidad, habitabilidad, higiene, servicios y acondicionamiento ambiental, de la comunicación, evaluación y prevención de emergencias, seguridad de emergencias, de la integración al contexto e imagen urbana, de las instalaciones, de la seguridad estructural de las construcciones de la Ciudad de México (Federal, 2004). En el presente trabajo se hará uso de las siguientes normativas mexicanas:

- Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo;
- Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería;
- Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto;
- Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones;

Habiendo definido la normativa mexicana que dará sustento al presente trabajo, es importante considerar que también se hará uso de una norma internacional cuyo objetivo es la correcta ejecución de diseño y construcción de sistemas contra incendio, a saber:

- *National Fire Protection Association- 13.*

### **1.1.1 Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo**

El enfoque principal es la norma de diseño por sismo, esta tiene como propósito en las edificaciones obtener un comportamiento adecuado tal que:

- “Bajo sismos que pueden presentarse varias veces durante la vida de la estructura, se tengan, a lo más, daños que no conduzcan a la interrupción de la ocupación del edificio.
- Bajo el sismo en que se basa la revisión de la seguridad contra colapso según estas normas, no ocurran fallas estructurales mayores ni pérdidas de vidas, aunque pueden presentarse daños y/o deformaciones residuales de consideración que lleguen a afectar el funcionamiento del edificio y requerir reparaciones importantes” (NTC para Diseño por Sismo, 2020).

Dicha norma fue utilizada para realizar las estimaciones requeridas en la obtención del espectro elástico de la zona en estudio, en la cual se encuentra la superestructura inicial planteada (edificación base de diseño), y para formular un sustento teórico que permitió realizar una explicación inicial de los aspectos más relevantes a tomar en cuenta. Esto con el fin de poder entender de mejor manera el cómo estudiar físicamente a los ENE y a los contenidos en una edificación.

Esto es relevante, ya que, a partir de entender estos elementos físicos de manera clara, fue posible volver a aplicar nuevamente la norma con el fin de poder desarrollar un correcto análisis sísmico, el cual fue aplicado en un MDM, un sistema de tuberías y un sistema de aire acondicionado.

### **1.1.2 Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería**

Contiene los requisitos mínimos para el análisis, diseño y construcción de estructuras de mampostería.

En la norma se especifica que solamente se permite para el diseño y construcción de estructuras nuevas de piezas artificiales, estas a base de mampostería confinada o reforzada interior y solamente se aceptará mampostería sin refuerzo en mampostería de piedra (NTC para Diseño Y Construcción de Estructuras de Mampostería, 2020).

Dicha norma fue utilizada para poder establecer como dato el peso volumétrico de la mampostería que conforma al primer ENE, analizado en el primer ejercicio práctico del presente trabajo. Se planificó también que dicho muro fuera construido a partir de implementar tabiques huecos de arcilla extruida o prensada.

### **1.1.3 Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto**

En la norma se muestran cuáles son las disposiciones para el diseño de estructuras de concreto, en donde se incluye el concreto simple, reforzado y presforzado. Contiene los requisitos complementarios para los casos de concreto ligero, concretos especiales e incluye también estructuras coladas en sitio y prefabricadas.

La norma debe considerarse como un complemento a los principios básicos de diseño establecidos en el Título Sexto del RCDF-2017, en las NTC sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones y en las NTC para Diseño por Sismo (NTC para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto, 2020).

Dicha norma fue utilizada para poder hacer uso de las expresiones matemáticas adecuadas, y con esto, poder estimar la longitud de desarrollo requerida en las barras de acero estructural, las cuales fueron implementadas en un sistema de anclaje para garantizar un correcto diseño antisísmico en el MDM.

### **1.1.4 Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones**

Contiene especificaciones y recomendaciones vitales a tomar en cuenta sobre la exploración de los sitios en estudio y las características principales a considerar para un correcto reconocimiento del proyecto con el que se esté trabajando. Asimismo, también se detallan a profundidad las diversas clasificaciones de las zonas geotécnicas en las cuales está dividida la Ciudad de México.

La norma establece los criterios y métodos de diseño y construcción de cimentaciones que permitan cumplir los requisitos de seguridad y servicio mínimos definidos por el RCDF-2017 (NTC para Diseño y Construcción de Cimentaciones, 2020).

Dicha norma fue utilizada para poder realizar una identificación con respecto a la zonificación geotécnica que se presentó en la superestructura inicial planteada (edificación base de diseño) y de esta manera, poder identificar también las principales características de las propiedades físicas del terreno existente en la zona de estudio.

### **1.1.5 National Fire Protection Association- 13**

Contiene los requisitos mínimos para el diseño e instalación de sistemas de rociadores automáticos contra incendio y de sistemas de rociadores para protección contra la exposición al fuego. En su capítulo 9 dicta los requerimientos propios de la suspensión, arriostramiento y retención de tubería, capítulo el cual fue consultado para la realización del presente trabajo.

Dicha norma fue utilizada para realizar de manera correcta el diseño antisísmico del segundo ejemplo práctico (desarrollado en el presente manual), el cual consistió en realizar el análisis sísmico y diseño del anclaje para un sistema de conductos hidráulicos: para esto se realizó un estudio del tramo de tubería aplicado y las fuerzas que actuaban sobre el mismo. Gracias a la normativa empleada, fue posible realizar una correcta selección del elemento de sujeción, así como también su respectivo anclaje; la norma establece ciertos criterios de diseño requeridos para el diseño antisísmico de los sistemas de tuberías.

### **1.2 Explicación inicial para el análisis de elementos no estructurales y contenidos**

Para el análisis sísmico de los Elementos/ Elementos no Estructurales (ENE) y contenidos de este trabajo, se considerará que la estructura base cuenta con diafragmas rígidos, así como con una planta simétrica. Con dichas consideraciones se podrá omitir realizar un análisis dinámico modal, en cambio, solo se considerarán las aceleraciones de piso como una disminución en la aceleración de la gravedad, las cuales estarán afectando al comportamiento del elemento en cualquier punto de análisis de la superestructura que se desee detallar.

Las aceleraciones de piso podrán considerarse como una fracción de la aceleración de la gravedad que le corresponde a cada entrepiso de la edificación. Para el análisis sísmico de cada uno de los ejemplos desarrollados en el presente trabajo, dichas aceleraciones de piso serán calculadas a partir de realizar un producto entre el factor/ factores de amplificación sísmica con respecto a la ordenada de origen del espectro de diseño.

Una vez contando con la fracción de la aceleración de la gravedad que se presentará en el entrepiso analizado con particularidad, este resultado se multiplicará por el peso total del ENE o bien con el contenido que se esté analizando, para obtener finalmente la fuerza sísmica de diseño que estará afectando al elemento; con la cual, posteriormente, se diseñará un sistema de anclaje adecuado que permita ofrecer correctos parámetros de seguridad para la edificación y, a su vez, pueda garantizar la integridad de sus usuarios ante efectos sísmicos.

### **1.3 Teoría del comportamiento y diseño de los elementos no estructurales**

El diseño de los elementos estructurales es uno de los puntos más importantes a tomar en cuenta en la planificación de cualquier sistema estructural debido a que dichos elementos son los que reciben las cargas y las distribuyen para permitir la seguridad y la estabilidad de la superestructura. En cambio “los elementos no estructurales son aquellos que no hacen parte del sistema estructural, sino que deben responder únicamente por su propio peso y por las cargas que se le aplican directamente” (Farbiarz, 2007).

#### **1.3.1 Explicación general del anclaje para elementos no estructurales y contenidos**

Los anclajes aplicados en ENE y contenidos se utilizan principalmente para el arriostramiento de estructuras de contención, refuerzo de estructuras y absorción de esfuerzos. Estos deben tener la capacidad de resistir las fuerzas sísmicas que los someten a flexión en dirección perpendicular al plano de diseño. Existen anclajes de distintos tipos, por ejemplo: los anclajes mecánicos, adhesivos, químicos, etcétera –es importante considerar que cada uno de estos anclajes tiene su propio funcionamiento así como sus propias consideraciones de diseño en su instalación, mismas que son independientes para cada sistema en el que quiera ser implementado.

#### **1.3.2 Definición del grado de desempeño**

Al momento de diseñar ENE existe un concepto llamado “grado de desempeño”, el cual es una medida cualitativa que describe el comportamiento esperado de un ENE ante un respectivo sismo de diseño. Tal concepto es utilizado comúnmente en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (RCCOL), pero para los objetivos y finalidades de esta investigación se considera que también podrán ser de mucha utilidad para las diversas descripciones y definiciones teóricas de este apartado.

En el RCCOL se encuentra explicado muy detalladamente cuáles son las diversas clasificaciones del grado de desempeño de un ENE, en función de los diversos usos que puede tener una edificación (para mayor detalle revisar el apartado del anexo de esta investigación titulado “Anexo A”).

A manera de implementar una innovación a la normativa mexicana con respecto al estudio y entendimiento de los ENE, en la tabla 1.1 se propone una comparativa del grado de desempeño de los ENE, basada en la clasificación con respecto al uso de las edificaciones que se manejan en el RCCOL y el RCDF-2017, la cual se presenta a continuación:

Tabla 1.1 Grados de desempeño para los ENE en RCCOL Y RCDF-2017

Uso de la edificación		Grado de desempeño de los ENE
RCCOL	RCDF-2017	
IV	A1	Superior
III	A2	Superior
II	A2	Bueno
I	B	Bajo

### 1.3.3 Clasificación de elementos no estructurales

Para poder entender de mejor manera a los ENE, a continuación, se muestra una clasificación general de estos mismos:

- Elementos arquitectónicos. Aquí se engloba a los muros divisorios, como lo es, por ejemplo, el primer ejercicio práctico diseñado de un ENE el cual se analiza en el presente trabajo (diseño del Muro Divisorio de Mampostería (MDM)); dentro de esta clasificación también podemos encontrar elementos como plafones, ventanas, apéndices, pent-houses, escaleras independientes, etcétera.
- Instalaciones mecánicas y eléctricas. En esta clasificación se contemplan a los conductos hidráulicos, como lo es, por ejemplo, el segundo ejercicio práctico de diseño de un ENE (diseño del sistema de conductos hidráulicos) que se analiza en el presente trabajo. Dentro de esta clasificación también podemos encontrar elementos como sistemas de bombeo, motores, sistemas de iluminación, etcétera.

### 1.3.4 Muro divisorio de mampostería

Para fines del correcto desarrollo del presente trabajo, se considerará como “muro sólido” a un muro constituido por elementos de mampostería huecos.

#### Descripción de las etapas de falla general en muros de mampostería

Las fuerzas producidas por viento o sismo dan lugar a ciertas etapas estructurales en las cuales se describe cómo los ENE llegan a la falla. Para el caso particular de diseño del primer ejercicio práctico desarrollado en el presente trabajo (que como ya se ha mencionado anteriormente, se trata de un MDM) se considerará que únicamente se verá afectado por fuerzas sísmicas. Por lo tanto, las etapas estructurales de falla que se presentarán en el muro sólido serán las siguientes:

- Primero se considera al MDM en un estado de reposo absoluto; después se analiza que éste se verá afectado por una fuerza sísmica externa, la cual a su vez producirá un fenómeno de flexión fuera del plano.
- A consecuencia del fenómeno descrito en el punto anterior, se presentará un agrietamiento general debido a que se superará la resistencia a tensión del muro sólido.
- Una vez ocurrido el primer agrietamiento, con el paso del tiempo se propagarán las fisuras en el muro sólido.
- El muro sólido se debilitará en sus secciones por el agrietamiento en el mismo y ello lo hará perder estabilidad estructural.
- La ausencia de un soporte a las fuerzas extremas (fuerzas sísmicas) eventualmente llevarán al elemento al colapso.

En la figura 1.1 se muestra una representación animada del fenómeno físico ocurrido al someter al MDM, a una fuerza horizontal en la cual ocurre la flexión fuera del plano.

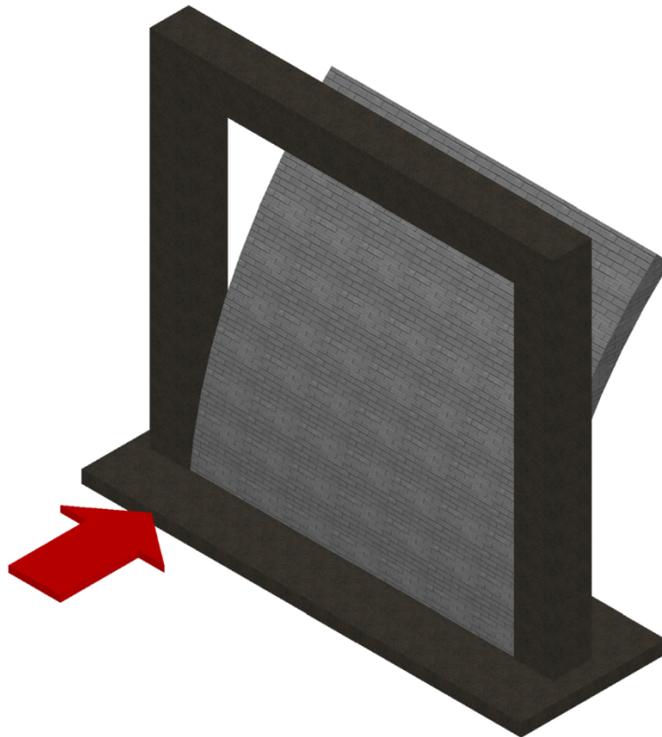


Figura 1.1 Falla en muro sólido por flexión fuera del plano. Creación propia.

## **Tipo de apoyo aplicado en el análisis del muro divisorio de mampostería**

Para el diseño del MDM a ejemplificar en esta investigación se delimitará el apoyo del muro como “muro sólido, solo apoyado abajo”. Analizando el comportamiento físico que tendrá este tipo de apoyo, podemos decir que existirá una fuerza sísmica externa que incidirá en el ENE, esto provocando que se presente la máxima flexión en la parte inferior del muro y posteriormente éste rotará en la base para finalmente colapsar (presentando una flexión fuera del plano).

## **Justificación teórica del tipo de anclaje aplicado en el muro divisorio de mampostería**

El diseño del sistema de anclaje aplicado en el MDM desarrollado en este manual es la adaptación de un sistema de empotramiento utilizado principalmente en el desarrollo de la mayoría de las obras civiles construidas en México. Este sistema referente se suele aplicar en la construcción de bardas perimetrales, con el objetivo de ofrecer una estabilidad estructural y una seguridad para los peatones que circulen cerca de la zona en donde se encuentre construido dicho elemento. La construcción de este sistema de empotramiento consiste en el uso de block hueco, en donde además también se colocan barras de acero estructural dentro de la composición de la barda perimetral y se realiza un colado monolítico que genera una adherencia entre la barra de acero y el block hueco que conforma a la barda. Cada una de las barras de acero estructural ya adheridas con el block hueco se empotran al suelo, esto mediante el uso de dalas de concreto que por lo regular suelen tener dimensiones entre 15 a 20 cm.

En la mayoría de las obras en donde se implementa esta técnica de anclaje realmente no se realiza un cálculo estructural rígido para conocer la estabilidad del elemento y las condiciones mecánicas que puede ofrecer a lo largo de su vida útil, simplemente se tiene el conocimiento empírico de que implementar este tipo de estructuras ayuda a que la barda se comporte estable y sea segura, con un procedimiento económico y accesible de realizar.

En el presente trabajo por medio de un análisis físico, se comprobó con los cálculos pertinentes, que dicho sistema de anclaje empírico funciona de forma exitosa ante los efectos sísmicos que se presentan en el ENE.

Como ya se explicó anteriormente, para el desarrollo del MDM se adaptó este sistema de anclaje, ya que, por su sencillez, practicidad y efectividad, resultó ser la opción óptima y aplicable para utilizar en la construcción de un elemento de estas características.

### 1.3.5 Sistema de tuberías

#### Condiciones iniciales en tubería hidráulica aplicadas en el diseño

Para poder ejecutar el diseño de anclajes sísmicos para un sistema de tuberías se debe tomar en cuenta, en primera instancia, ciertos parámetros para poder realizar de manera correcta los cálculos requeridos en su diseño. Estos se describen a continuación:

- **Material.** Determina el peso propio de la tubería en función del diámetro y espesor.
- **Dimensiones.** Estas nos darán el volumen de material que posee el tubo, que multiplicado por el peso volumétrico (determinado por el material) nos dará el peso por unidad de longitud.
- **Condiciones de operación.** Para el diseño se considera que los conductos trabajan a tubo lleno, siendo esta la condición de mayor peso para así poder calcular la fuerza a la que deberá dar respuesta el sistema de anclaje.

#### Selección de elementos de sujeción para tuberías

Para la selección del elemento de soporte que dará respuesta a las fuerzas sísmicas actuantes en el sistema de tuberías, se debe realizar un análisis físico del ENE.

Existen dos subdivisiones para el análisis de las fuerzas en tuberías, las cuales están dadas por la NFPA-13. En primer lugar; son las fuerzas verticales (gravitacionales), es decir, para soportería colgante; y después las fuerzas horizontales, es decir, soportes sísmicos.

Las fuerzas gravitacionales en materia de tuberías hidráulicas toman en cuenta al peso del tubo considerando sus dimensiones, material y el contenido que se desliza en su interior, por lo tanto, se le llama soportería colgante, puesto que únicamente considera el peso.

Las fuerzas horizontales, según la NFPA-13, considera a las fuerzas sísmicas en el plano horizontal. La norma dicta el tipo de soportes que se deben utilizar y la distancia de separación según las condiciones de instalación, así como otros parámetros específicos, tales como los cambios de dirección.

## **Selección de elementos de anclaje**

Para la selección de la pieza que funcionará como ancla para todo el sistema, esta se selecciona mediante un análisis físico de las fuerzas que actúan en el sistema de tuberías mediante la hipótesis de franjas diferenciales, es decir, la línea longitudinal del tubo se divide en tramos más cortos que delimitan la porción de tubo que el anclaje estará soportando.

Para poder delimitar la pieza correcta se debe hacer un análisis de las fuerzas actuantes. Dicha pieza deberá vencer por fuerza resistente de tensión al peso total del sistema, y por fuerza resistente de cortante a las fuerzas sísmicas actuantes. Es importante que la pieza no solo tenga la capacidad de soportar las fuerzas producto del análisis, sino que también se debe seleccionar aquella que no esté sobrada en resistencia para no aumentar los costos del sistema de manera innecesaria.

### **1.3.6 Sistema de aire acondicionado**

#### **Definición de contenidos**

Son aquellos elementos que se encuentran dentro de la estructura y que en caso de fallar o dañarse, podría significar grandes pérdidas económicas y/o la suspensión de funciones o servicios. Estos pueden ser ejemplos tales como sistemas de aire acondicionado (contenido diseñado como parte del tercer ejemplo práctico analizado en el presente trabajo), anuncios, equipo médico, servidores computacionales, gabinetes, libreros, pinturas, etcétera.

#### **Selección del equipo de aire acondicionado óptimo en función de las condiciones de uso**

##### a) Tipo de sistema térmico a seleccionar

Para la selección y planteamiento del tipo de equipo de aire acondicionado óptimo según las condiciones de uso que se presenten, primero es importante definir qué tipo de sistema térmico es requerido; para el caso muy específico del ejemplo desarrollado en el presente trabajo, el sistema térmico con el que se diseñará será un sistema de enfriamiento activo del tipo central. Este tipo de sistemas se caracterizan por emplear sistemas auxiliares mecánicos y estos a su vez por tener la capacidad de poder captar y transportar calor.

Los sistemas centrales se subdividen en otras clasificaciones; para el caso de diseño del presente trabajo, se está considerando trabajar con un sistema central, todo aire dividido, el cuál será un modelo *Split Central* y que tendrá la función de proporcionar un equilibrio térmico para el área en donde se desee colocar dentro de la edificación base de diseño.

b) Estimación de la capacidad total de aire acondicionado requerida

Una vez que ya es delimitado el tipo de sistema térmico requerido, es necesario poder seleccionar correctamente un equipo de aire acondicionado que en sus capacidades de funcionamiento considere diversos elementos como los son, por ejemplo: la carga térmica de las personas ubicadas en la habitación o lugar de instalación del equipo, la carga térmica de los equipos instalados en la habitación o lugar de instalación del equipo, la carga térmica que se presenta en función del clima que exista en la habitación o lugar de instalación del equipo y las dimensiones del lugar en donde se planea realizar la instalación del contenido.

Una vez contando con todos los datos detallados anteriormente, simplemente se tiene que estimar la capacidad nominal total de servicio que es requerida para la selección del equipo de aire acondicionado, dicha capacidad nominal es posible estimarla con la ecuación (1.1) expresada a continuación:

$$CT_{ac} = Cl_s \cdot S \cdot Cr_t \quad (1.1)$$

en donde  $Cl_s$  es la carga térmica presentada en función del clima existente en el lugar de instalación,  $S$  es el área en unidades de metros cuadrados del lugar de instalación y  $Cr_t$  es la suma total de las cargas térmicas generadas por individuos y equipos electrónicos que se encuentren en el lugar de instalación del equipo de aire acondicionado. En la ecuación (1.1) expresada con anterioridad la variable  $CT_{ac}$ , representará la capacidad total requerida que tendrá que poseer el equipo de aire acondicionado seleccionado, para poder garantizar un correcto equilibrio térmico, esto expresado en unidades térmicas británicas por hora  $\left(\frac{BTU}{hr}\right)$ .

c) Selección del tipo de equipo en función del sistema térmico delimitado

Por último, ya contando con la capacidad total de aire acondicionado requerida para garantizar un correcto equilibrio térmico en la zona de instalación, simplemente se debe buscar el producto indicado. Esto con la referencia de diversos proveedores hasta encontrar alguno que nos pueda ofrecer un equipo que satisfaga la demanda solicitada estimada con anterioridad.

## **II. METODOLOGÍA**

### **2.1 Edificación base de diseño**

Para poder realizar la estimación de las aceleraciones sísmicas de diseño, requeridas en el desarrollo técnico de los siguientes apartados, fue necesario formular el planteamiento de una superestructura base de diseño. Con esto fue posible poder implementar los datos sísmicos particulares con los que ya se contaban de la zona de estudio, y, de esa manera poder obtener el espectro de diseño elástico, que a su vez fue requerido al desarrollar el análisis sísmico particular de cada ejemplo práctico analizado en el presente trabajo. A dicha superestructura planteada se le dio el nombre de “edificación base de diseño”.

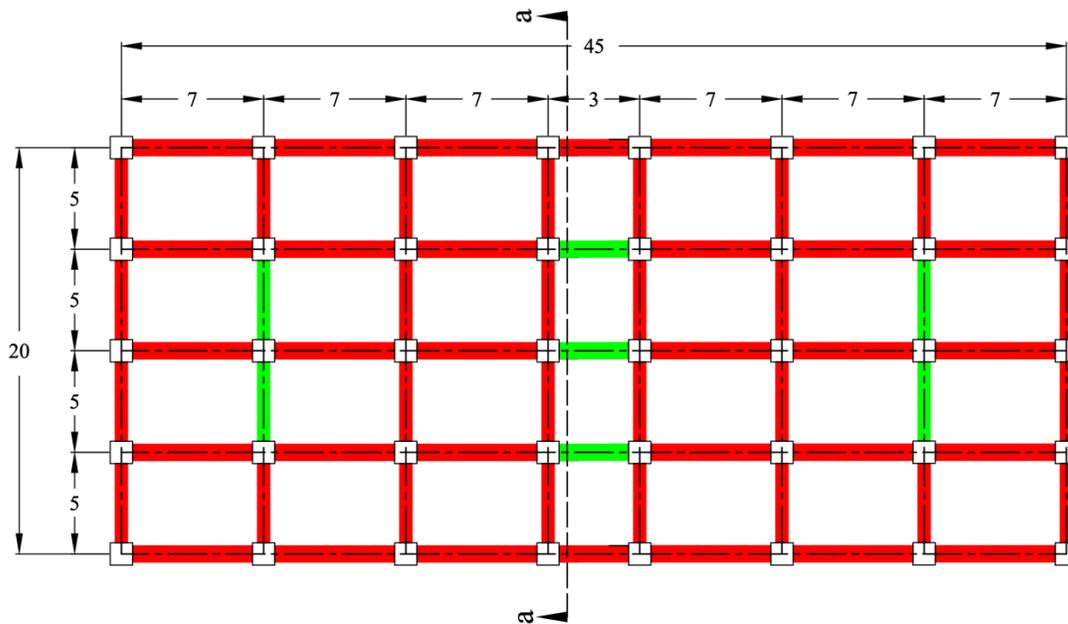
#### **2.1.1 Especificaciones generales**

La edificación base de diseño cuenta con una sección rectangular y una composición de 7 niveles, y también con ciertas características constructivas, dentro de las cuales se presentan, por ejemplo, una altura de entrepiso de 2.50 m, una altura total de 17.5 m (con respecto al nivel de terreno natural) y también una clasificación estructural correspondiente a edificaciones del grupo B, con un uso de vivienda, de acuerdo con lo que se estipula en el RCDF-2017. Las dimensiones de planta corresponden a 20 m en su base, mientras que en su longitud se cuenta con 45 m.

### 2.1.2 Geometría y dimensiones

#### a) Descripción del plano estructural de planta de edificación base de diseño

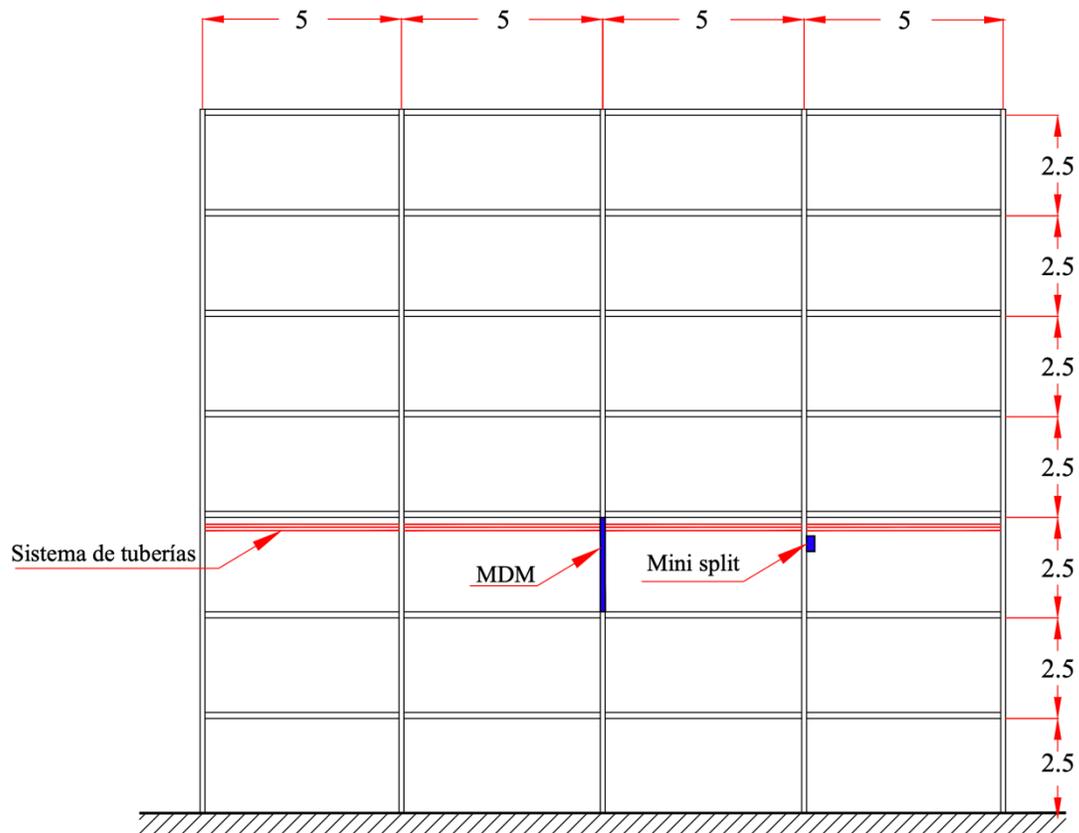
A continuación, en la figura 2.1 se puede visualizar un plano estructural de planta en el cual se representa a la edificación base de diseño. En dicho plano se pueden encontrar las dimensiones y distancias generales que se presentan entre los elementos estructurales y no estructurales, los cuales a su vez componen a la superestructura inicial con la que se está trabajando en la presente tesis; asimismo, también se puede apreciar el corte “a” en la edificación base de diseño.



**Figura 2.1** Plano estructural de planta de edificación base de diseño; trabes estructurales con carga muerta debido al peso de muros de carga, resaltadas en color rojo y trabes con carga muerta debido al peso de muros divisorios de mampostería, representadas en color verde; corte “a” ubicado en la sección longitudinal de la edificación. Dimensiones en m. Creación propia.

#### b) Descripción del plano del corte “a” en la edificación base de diseño

A continuación, en la figura 2.2 se puede visualizar una vista del corte “a” perteneciente a la edificación base de diseño, en dicho corte se representan las cotas y dimensiones que se presentan en cada entrepiso de la superestructura, además de también poder visualizar una vista de perfil correspondiente al MDM, al sistema de tuberías, y al sistema de aire acondicionado, los cuales corresponden a los tres diseños de los sistemas antisísmicos desarrollados en el presente trabajo.



**Figura 2.2** Plano del corte “a” en la edificación base de diseño. Dimensiones en m. Creación propia.

### 2.1.3 Coordenadas geográficas y ubicación

La edificación base de diseño se encuentra localizada geográficamente en una latitud correspondiente a 19.330000 y una longitud de -99.125400. Además de que también se encuentra ubicada en Ejido Churubusco 145, Ex Ejido de San Francisco Culhuacán, Coyoacán, C.P. 04470, Ciudad de México.

### 2.1.4. Fotografías del sitio en estudio

Después de realizar una visita de campo a la zona de estudio, se identificó que el predio en donde se localiza la edificación base de diseño se encuentra dentro de una zona residencial cerrada, como se puede apreciar en la figura 2.4 (en donde se puede visualizar la entrada a dicha zona residencial). La superestructura estudiada en sus lados tiene como estructuras colindantes a edificaciones que presentan un uso de vivienda principalmente.

El terreno en donde se encuentra este proyecto simplemente se encuentra bardeado con un muro perimetral de 3 m aproximadamente de alto. Dicho muro perimetral se visualiza de mejor manera en las fotografías correspondientes a la figura 2.3 mostrada a continuación:



**Figura 2.3** Fotografías tomadas en campo del predio de la estructura base de diseño



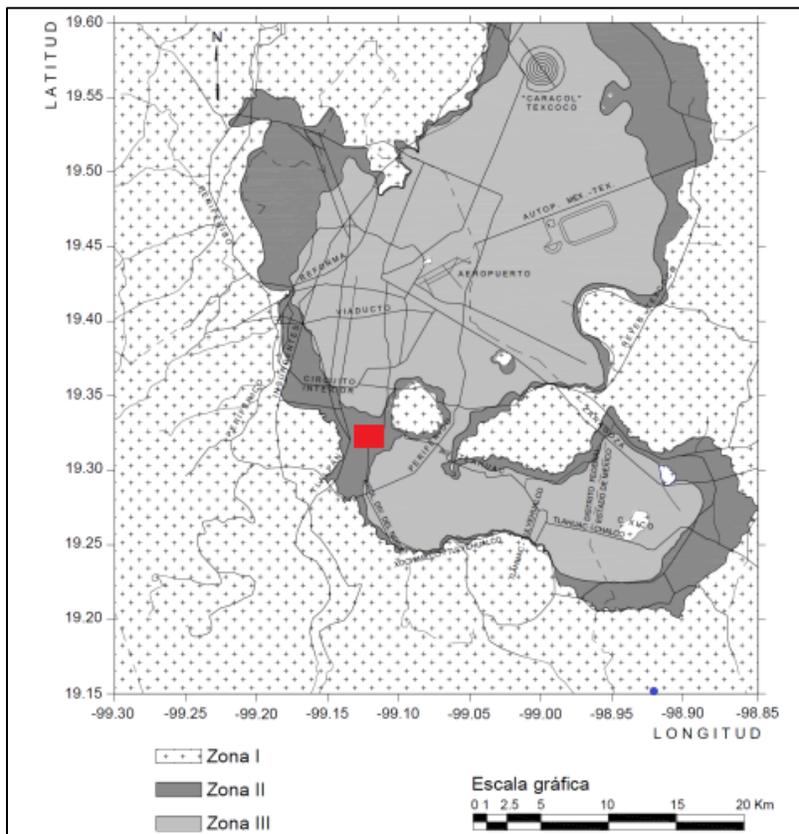
**Figura 2.4** Fotografías tomadas en campo del predio de la edificación base de diseño (entrada al predio)

## 2.1.4 Zona geotécnica

### Identificación de zona geotécnica en la que se encuentra la edificación base de diseño

Después de una revisión en el mapa de zonificación geotécnica de la Ciudad de México (esto consultado, el apartado “2.2. Reconocimiento del sitio” perteneciente a las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones), se puede definir que la edificación base de diseño se encuentra en Zona II. Sabemos que esta zona se caracteriza por ser un área de transición y también por presentar un cambio de granulometría entre los sedimentos gruesos a otros con una textura limosa arenosa, también es importante definir que regularmente en esta zona se tiene un contenido de agua del 100% al analizar la composición del suelo.

A continuación, en la figura 2.5, se puede apreciar la localización de la zona de estudio explicada en el párrafo anterior, indicada mediante el uso de una figura de sección cuadrada de color rojo.



**Figura 2.5** Ubicación de edificación base de diseño señalada con cuadro de color rojo en mapa de zonificación geotécnica, figura obtenida en (NTC para Diseño y Construcción de Cimentaciones, 2020)

## **2.2 Grado de desempeño de los elementos no estructurales**

Ya que la edificación base de diseño presenta una clasificación estructural correspondiente a edificaciones del grupo B y un uso de vivienda, el grado de desempeño de los ENE que se contemplarán dentro de la composición de la superestructura analizada será “Bajo”, esto según lo establecido en la Tabla 1.1.

Dado a este grado de desempeño, se puede realizar la hipótesis de que los ENE contenidos en la edificación base de diseño en caso de ocurrir un sismo, podrán presentar daños graves e irreparables, pero sin presentar un desprendimiento total del elemento analizado en su posición de empotramiento. Dado a la hipótesis realizada anteriormente, será muy factible el considerar la probabilidad que para cada uno de los ENE desarrollados en el presente trabajo, será necesario diseñar un sistema de anclaje que garantice un óptimo comportamiento estructural y una correcta condición de servicio para la seguridad de los ocupantes de la estructura.

## **2.3 Criterios de diseño generales en edificación base de diseño**

- a) Para el diseño de los ENE y contenidos, se considerará la amplitud del espectro de diseño elástico en su rango elástico.
- b) Para la elección del factor de comportamiento sísmico se considerará que la edificación base está constituida con sistema dual formado por marcos y muros de concreto de ductilidad baja.
- c) Se plantea que para la edificación base de 7 niveles, el diseño de los ENE y contenidos desarrollados en el presente trabajo, se analizarán tomando en cuenta, la implementación de estos mismos en el tercer nivel de la superestructura.

### III. PARÁMETROS SÍSMICOS

#### 3.1 Datos y estimaciones de la zona de estudio

Como ya se analizó con anterioridad en el apartado “II. Metodología”, la edificación base de diseño se encuentra localizada en una zona de transición. En dicha zona de transición se cuenta ya con ciertos datos sísmicos iniciales, estos proporcionados para la realización del presente trabajo. Dentro de los datos sísmicos de los que se tiene conocimiento se encuentran el periodo del suelo en la zona de estudio ( $T_s$ ) correspondiente a 1.35 s; un periodo en donde inicia la meseta ( $T_a$ ) de 1.20 s; un periodo en donde termina la meseta ( $T_b$ ) de 1.66 s y un periodo sísmico de la edificación base ( $T$ ) correspondiente a 0.70 s. Adicionalmente se sabe que el coeficiente sísmico  $K$  presenta un valor de 0.56 y también se conoce que el factor de amortiguamiento suplementario  $\beta$  es igual a 1, ya que, para los planteamientos sísmicos desarrollados en los siguientes apartados, no se considerará la interacción suelo-estructura. Por último, también se conoce que la ordenada origen del espectro de diseño ( $a_0$ ) presenta un valor de 0.30 g y que la aceleración sísmica  $C$  que cuenta con una aceleración de 1.21 g.

#### Factor de importancia

Analizando lo dictaminado por el Reglamento de Construcción del Distrito Federal (RCDF-2017) con respecto al grupo al que pertenece esta edificación, el factor de importancia corresponderá a  $F_i = 1$ .

#### 3.2 Cálculo del factor de reducción por comportamiento sísmico

Todas las expresiones y ecuaciones matemáticas utilizadas en los puntos desarrollados posteriormente de este apartado son referenciadas según lo dictado por las Normas Técnicas Complementarias para Diseño Por Sismo, en los apartados titulados “3.1.2 Espectros obtenidos con los parámetros básicos” y “3.4 Factores de reducción de las ordenadas espectrales”.

Para la estimación del factor de reducción por comportamiento sísmico se cuenta con el factor de comportamiento sísmico  $Q = 2$ , el factor de amortiguamiento suplementario  $\beta = 1$ , el periodo fundamental de la estructura  $T = 0.70$  s, el periodo en donde inicia la meseta  $T_a = 1.2$  s y el coeficiente sísmico  $k = 0.56$ . Sustituyendo estos valores en la ecuación (3.1) se obtiene que:

$$Q' = 1 + (Q - 1) \sqrt{\frac{\beta}{k} \frac{T}{T_a}} \quad (3.1)$$

$$Q' = 1.78$$

### 3.3 Ordenada del espectro elástico para el periodo fundamental de la estructura

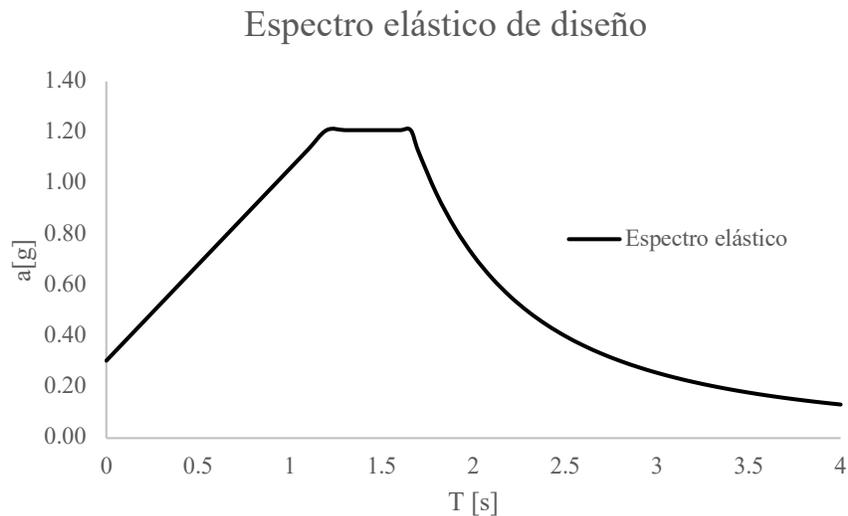
Para la estimación de la ordenada del espectro elástico: se cuenta con el periodo fundamental de la estructura  $T = 0.7$  s, con el periodo en donde inicia la meseta  $T_a = 1.2$  s, con el factor de amortiguamiento suplementario  $\beta = 1$ , la aceleración sísmica  $c = 1.209$  g y también con la aceleración inicial de diseño  $a_0 = 0.304$  g. Sustituyendo estos valores en la ecuación (3.2) se obtiene que:

$$a_1 = a_0 + (\beta c - a_0) \frac{T}{T_a} \quad (3.2)$$

$$a_1 = 0.83 \text{ g}$$

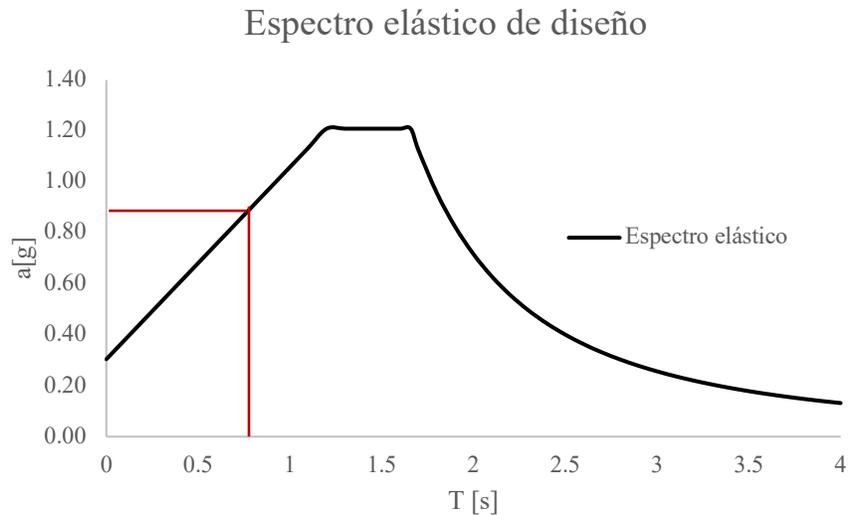
### 3.4 Espectro de diseño de la zona de estudio

A continuación, en la figura 3.1 se puede apreciar el espectro elástico de diseño en unidades de gravedad, esto aplicado para la zona de estudio en donde se encuentra la edificación base de diseño (para poder visualizar correctamente la metodología utilizada para la obtención de dicho espectro de diseño, revisar el anexo del presente trabajo titulado “Anexo B”).



**Figura 3.1** Espectro elástico de diseño. Unidades en g. Diseño propio.

Una vez contando con el espectro de diseño elástico de la zona de estudio, se puede estimar el valor de la ordenada del espectro elástico de diseño para el periodo fundamental de cualquier edificación que se encuentre dentro del rango de la zona de estudio que nos interese conocer ( $T_n, a_n$ ). A continuación, se muestra la figura 3.2, en donde a manera de realizar una comprobación para el apartado desarrollado en el presente trabajo titulado “3.3 Ordenada del espectro elástico para el periodo fundamental de la estructura”, se obtendrá el valor de la aceleración  $a_1$ , con respecto al periodo fundamental de la edificación base de diseño.



**Figura 3.2** Obtención gráfica del valor para la aceleración sísmica de diseño  $a_1$ . Unidades en g. Diseño propio.

Contemplando que se cuenta con un periodo fundamental de la estructura de 0.7 s, al analizar la regla de correspondencia que se presenta en el comportamiento del espectro elástico de diseño se puede apreciar que efectivamente el valor obtenido analíticamente correspondiente a 0.83 g, es correcto.

## IV. EJEMPLO 1. MURO DIVISORIO DE MAMPOSTERÍA

### 4.1 Características generales del muro divisorio de mampostería

El MDM a diseñar estará localizado en el piso 3 de la edificación base de diseño. Este ejemplo se enfocará en el análisis del comportamiento sísmico y también en el diseño del sistema de anclaje que dará respuesta a las fuerzas actuantes en el Elementos/ Elementos No Estructurales (ENE). Para poder realizar dicho análisis, se analizará al elemento citado tomando en cuenta su condición natural de volteo y, posteriormente comparándolo, con su desempeño al ser implementado un sistema de anclaje antisísmico.

Para el Muro divisorio de mampostería (MDM) se propone que el ENE cuente con un espesor (ancho) correspondiente a 0.12 m, una longitud de 3 m y una altura total de 2.50 m. También se considerará que el muro divisorio será construido a partir de implementar tabiques huecos de arcilla extruida o prensada.

Para la determinación del dato correspondiente al peso volumétrico del ENE analizado en este ejemplo, se hizo uso de la tabla “2.1.1. *Peso volumétrico neto mínimo de piezas en estado seco*” perteneciente a las NTC para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería 2017, en donde se establece que para un tabique hueco de arcilla extruido o prensada, el peso volumétrico de la mampostería aplicada corresponderá a un valor igual a  $\gamma_m = 1.70 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$ .

#### Consideraciones estructurales y de diseño:

- Se analizará al MDM como un elemento desligado del SE de la edificación base de diseño, por lo tanto y tomando en cuenta su comportamiento físico, se considerará una condición de aceleración para elementos no estructurales rígidos.
- Como se menciona en el punto anterior, el MDM es un componente desligado al comportamiento estructural de la edificación base de diseño, sin embargo, para fines de este trabajo, se establece que la condición inicial de diseño tomará en cuenta que dicho ENE se encontrará apoyando al SE mediante un anclaje antisísmico. Esto simplemente con el fin de poder realizar un diseño individual del sistema que dará respuesta a las fuerzas sísmicas y a su vez poder garantizar su seguridad en condiciones de operación y sometido ante cargas sísmicas.

- Se plantea que el MDM será construido al mismo tiempo que la edificación base de diseño, por lo tanto, el anclaje implementado para el sistema antisísmico de este primer ejemplo deberá contemplar que la conexión de las varillas que sirven como ancla, se ejecutará mediante soldadura, logrando así una conexión con el armado de acero de refuerzo propio de la losa inmediata inferior.
- La carga gravitacional correspondiente a la mezcla de mortero, requerida para unir a los tabiques huecos de arcilla extruida o prensada de los cuales se compone el MDM, será despreciable para fines de este diseño.

#### 4.2 Análisis sísmico aplicado a muro divisorio de mampostería

A continuación, se pasarán a calcular cada una de las estimaciones correspondientes al análisis sísmico paso a paso, esto con el objetivo de que el lector pueda realizar estos mismos cálculos, con el elemento no estructural o contenido de su necesidad. Dichas estimaciones son requeridas para poder realizar la obtención de la fuerza sísmica resultante que se estará aplicando en el MDM (que, para este caso en particular, es el ENE que se está analizando) y a partir de la cual se diseñará el sistema de anclaje de este primer ejercicio práctico.

Es importante aclarar que las fórmulas y la metodología matemática, aquí detallada, están basadas por lo dictado en los apartados “2.7.2. Aceleraciones de piso” y “2.7.4. Respuesta sísmica de apéndices y elementos no estructurales” pertenecientes a las NTC para Diseño por Sismo 2017, y todo es posible aplicarlo básicamente en la mayoría de los ENE y de contenidos, solo es importante tomar en cuenta que: si bien la metodología de diseño sísmica sí es aplicable en la mayoría de los casos, los datos de diseño sísmicos y constructivos de la superestructura inicial con la que se esté diseñando no lo son.

*Por lo tanto, para realizar una correcta implementación de este manual de diseño es importante también realizar las estimaciones sísmicas ya explicadas con anterioridad, en el apartado de este trabajo titulado “III. Parámetros sísmicos”, esto para la zona en estudio y para la superestructura con la que se esté trabajando.*

##### a) Estimación de $\eta_a$

Para la estimación del coeficiente  $\eta_a$ : se cuenta con el valor de la variable “n”, el cual para este caso corresponderá a  $n = 7$  niveles, sustituyendo dicho valor en la ecuación (4.1) se obtiene que:

$$\eta_a = 1.4\sqrt{n-1} \leq 5 \quad (4.1)$$

$$\eta_a = 3.4$$

$$3.4 < 5$$

∴ Se cumple la condición de desigualdad

b) Cálculo de máxima aceleración absoluta del nivel n correspondiente al extremo  $a_n$

Para la estimación de la aceleración de diseño  $a_n$ : se cuenta con las aceleraciones sísmicas  $a_1 = 0.832$  g,  $a_0 = 0.304$  g y además con los factores sísmicos  $Q' = 1.78$  y  $\eta_a = 3.4$ . Sustituyendo estos valores en la ecuación (4.2) se obtiene que:

$$a_n = \sqrt{\left(\frac{1.6 a_1}{Q'}\right)^2 + \eta_a a_0^2} \quad (4.2)$$

$$a_n = 0.94 \text{ g}$$

c) Cálculo de factor de amplificación sísmica  $\Omega_i$  (Elemento no estructural rígido)

Para la estimación del factor de amplificación sísmica  $\Omega_i$ : se cuenta con las alturas de diseño correspondientes tanto a la altura que se presenta en el tercer nivel de la edificación base de diseño  $h_i = 7.5$  m, la altura total de la superestructura  $h_n = 17.5$  m, y además también, se cuenta con la aceleración de diseño correspondiente al último nivel de la edificación base  $a_n = 0.94$  g y la aceleración inicial de diseño  $a_0 = 0.304$  g. Sustituyendo estos valores en la ecuación (4.3) se obtiene que:

$$\Omega_i = \frac{h_i}{h_n} \left( \frac{a_n}{a_0} - 1 \right) + 1 \quad (4.3)$$

$$\Omega_i = 1.89$$

d) Estimación de peso propio del muro divisorio de mampostería  $W_{mp}$

d.1) Estimando peso propio para 1 metro lineal de muro

Para la estimación del peso propio del MDM para 1 metro lineal  $W_{mp\ 1m}$ : se considera que dicho muro diferencial medirá 1 m en su largo, 0.12 m con respecto a su espesor y se

contemplará un peso volumétrico de la mampostería igual a  $\gamma_m = 1.70 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$ . Sustituyendo estos valores en la ecuación (4.4) se obtiene que:

$$W_{\text{mp } 1\text{m}} = \text{Largo} \cdot \text{Espesor} \cdot \gamma_m \quad (4.4)$$

$$W_{\text{mp } 1\text{m}} = 2.04 \frac{\text{ton}}{\text{m}} \left( \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}} \right)$$

$$W_{\text{mp } 1\text{m}} = 204 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

d.2) Estimando peso propio para longitud total de muro

Para la estimación del peso propio del MDM: se contemplarán 3 m de longitud total de muro (Largo), y también se contemplará que el peso propio del muro distribuido de manera lineal es correspondiente a  $W_{\text{mp } 1\text{m}} = 204 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$ . Sustituyendo estos valores en la ecuación (4.5) se obtiene que:

$$W_{\text{mp}} = \text{Largo} \cdot W_{\text{mp } 1\text{m}} \quad (4.5)$$

$$W_{\text{mp}} = 612 \text{ kg}$$

e) Cálculo de fuerza sísmica de diseño  $F_{s1}$

Para la estimación de la fuerza sísmica de diseño que se presenta en el MDM: se cuenta con el peso propio del muro analizado correspondiente a  $W_{\text{mp}} = 612 \text{ kg}$ , con el factor de amplificación sísmica  $\Omega_i = 1.89$  y también con aceleración inicial de diseño  $a_0 = 0.304 \text{ g}$ . Sustituyendo estos valores en la ecuación (4.6) se obtiene que:

$$F_{s1} = W_{\text{mp}} \cdot \Omega_i \cdot a_0 \quad (4.6)$$

$$F_{s1} = 351.85 \text{ kg}$$

### 4.3 Diseño del anclaje para muro divisorio de mampostería

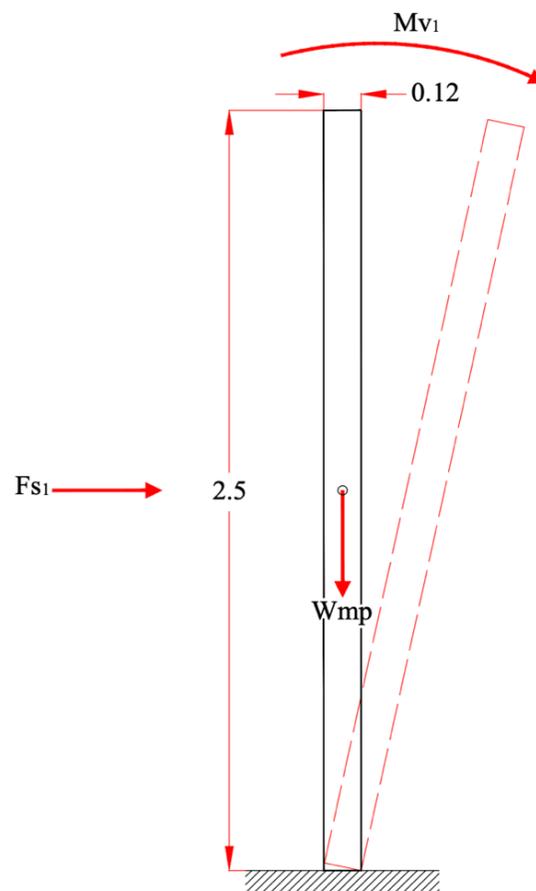
Una vez estimada la fuerza sísmica total resultante, por la cual el ENE o contenido está siendo afectado, es necesario verificar la condición de estabilidad del elemento con el que se está trabajando, ya que es importante saber si dicho elemento será capaz de mantenerse estable y seguro ante condiciones sísmicas o bien en su caso, si existe la necesidad de implementar un sistema de anclaje para garantizar su estabilidad estructural.

Cada sistema de anclaje posee un diseño específico, es decir, que, para cada ENE o contenido, pueden existir diversas formas de garantizar esta estabilidad estructural. En el presente trabajo se explica a detalle, las propuestas finales de diseño que verificaron ser las óptimas para cada caso de estudio.

Para el caso particular de este primer ejemplo práctico, primero se verificará la condición de volteo del muro divisorio en su estado natural (sin sistema de anclaje), si en esta primera condición el elemento no es capaz de mantenerse estable por sí sólo, querrá decir que es necesario implementar un sistema de estabilidad estructural (anclaje) para poder garantizar la seguridad de los usuarios y de la edificación base de diseño ante efectos sísmicos.

### Revisión de muro de mampostería para condición natural por volteo

En la figura 4.1 mostrada a continuación, se aprecia la acción de la fuerza sísmica que genera el momento de volteo en el muro en condición natural, es decir, sin ancla.



**Figura 4.1** Representación de momento de volteo y sección transversal del MDM. Dimensiones en m. Diseño propio.

- Estimando momento de volteo en condición natural

Para la estimación del momento de volteo en el MDM sin considerar ningún tipo de anclaje: se tiene la fuerza sísmica aplicada en el ENE con un valor de  $F_{s1} = 351.85$  kg; y se sabe que la altura total del MDM es igual a 2.50 m. Sustituyendo estos valores en la ecuación (4.7) se obtiene que:

$$M_{v1} = F_{s1} \left( \frac{2.50 \text{ m}}{2} \right) \quad (4.7)$$

$$M_{v1} = 439.82 \text{ kg. m}$$

- Estimando momento resistente para condición natural

Para la estimación del momento resistente que ofrece el MDM sin anclaje: se cuenta con el peso propio del elemento correspondiente a  $W_{mp} = 612$  kg , y se sabe que el espesor del MDM es igual a 0.12 m. Sustituyendo estos valores en la ecuación (4.8) se obtiene que:

$$M_{R1} = W_{mp} \left( \frac{0.12 \text{ m}}{2} \right) \quad (4.8)$$

$$M_{R1} = 36.72 \text{ kg. m}$$

- Realizando una comparación entre ambas magnitudes

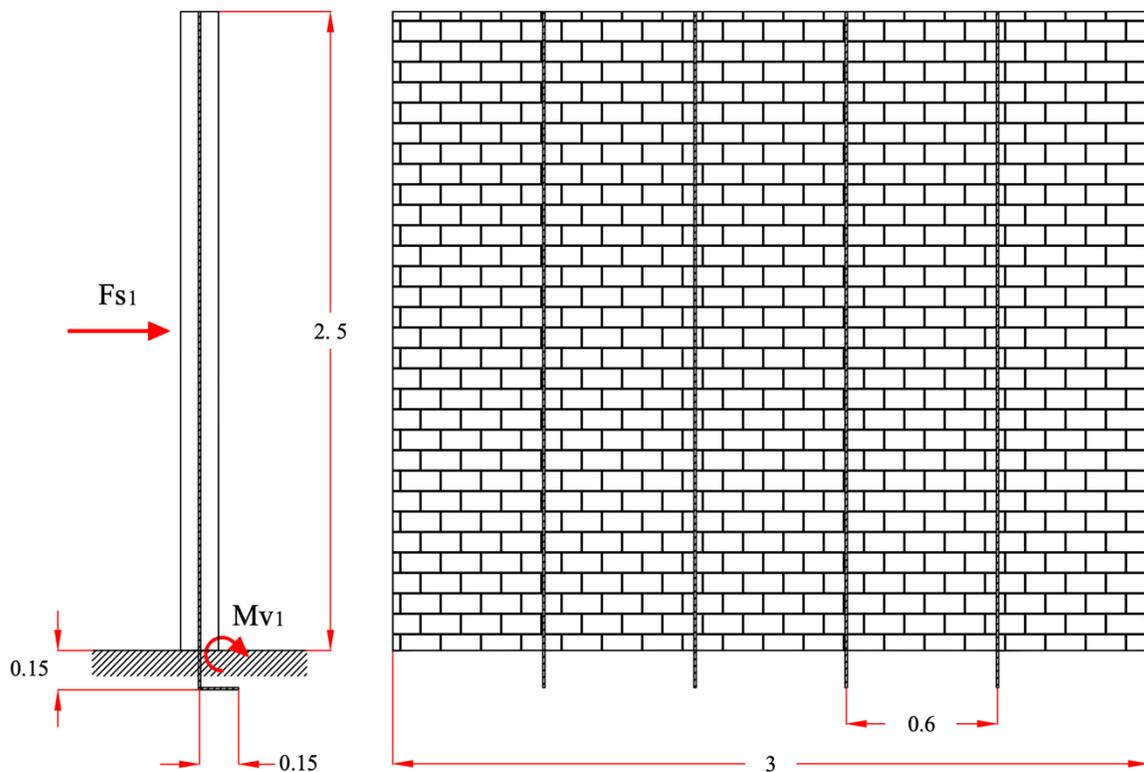
$$M_{v1} > M_{R1}$$

∴ Se requiere sistema de anclaje

## Diseño del sistema de anclaje para muro divisorio de mampostería

Para el diseño del anclaje que contendrá el efecto aplicado del momento de volteo resultante en el MDM, se propone un sistema de empotramiento conformado por 4 barras de acero estructural de 3/8", las cuales se encontrarán ancladas al armado del sistema de piso inferior al nivel analizado. Esto respetando su respectiva longitud de desarrollo. El anclaje de estas barras se realizará mediante soldadura (así como ya se explicó anteriormente en las consideraciones estructurales y de diseño pertenecientes a este primer ejercicio práctico) y cada una de ellas estarán distribuidas a cada 60 cm en toda su longitud, a partir de la base del muro de mampostería.

Esta propuesta ofrece aportar una rigidez y solidez extra al ENE contra los efectos sísmicos a los que está siendo sometido. Dicho sistema de anclaje se puede apreciar con claridad en la figura 4.2 mostrada a continuación:



**Figura 4.2** Aplicación de barras de acero estructural para sistema de anclaje para MDM. Dimensiones en m.  
Diseño propio.

## Análisis de la longitud de desarrollo necesaria aplicada en el sistema de anclaje

Para este apartado se estimará la longitud de desarrollo necesaria para una barra de acero estructural de 3/8”, para ello: se harán uso de los criterios, expresiones y ecuaciones matemáticas desarrolladas en el apartado titulado “6.1.2. Longitud de desarrollo de barras tensión”, perteneciente a las NTC para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto.

- Obtención del diámetro de diseño en barra de acero estructural implementada

Para la obtención del diámetro de diseño en la barra de acero estructural implementada: se cuenta como dato con el área de acero correspondiente a una barra de 3/8”, la cual corresponde a un valor de  $A_{sbarra} = 0.71 \text{ cm}^2$ , haciendo uso de este valor en la ecuación (4.14), se obtiene que:

$$\phi_{barra} = \sqrt{\frac{A_{sbarra(4)}}{\pi}} \quad (4.9)$$

$$\phi_{barra} = 0.0095 \text{ m}$$

- Obtención del esfuerzo a tensión en barra de acero estructural

Para la estimación del esfuerzo a tensión en la barra de acero estructural: se cuenta con el esfuerzo de fluencia de la barra de acero  $f_y = 4200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$  y también con el área de acero total requerida en 1 barra de 3/8”, correspondiente a  $A_{sbarra} = 0.71 \text{ cm}^2$ . Sustituyendo estos valores en la ecuación (4.15) se obtiene que:

$$T_{s1} = f_y \cdot A_{sbarra} \quad (4.10)$$

$$T_{s1} = 2992.74 \text{ kg}$$

- Estimando longitud de desarrollo base (Lb)

Para estimar la longitud de desarrollo base necesaria para el sistema de anclaje: se hará uso de la ecuación (4.16) expresada a continuación:

$$L_{db} = \frac{A_{sbarra} f_y}{(3)(C_1 + K_{tr})\sqrt{f_c}} \geq (0.11) \left( \frac{\phi_{barra} f_y}{\sqrt{f_c}} \right) \quad (4.11)$$

- Calculando lado izquierdo de desigualdad

Para la estimación de lado izquierdo de la desigualdad correspondiente a la ecuación (4.16): se cuenta con el área de acero total requerida en 1 barra de 3/8", correspondiente a  $A_{s\text{barra}} = 0.71 \text{ cm}^2$ , con el esfuerzo de fluencia de la barra de acero  $f_y = 4200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ , el recubrimiento de la barra de acero con respecto a la mezcla de concreto igual a  $C_1 = 4 \text{ cm}$ , el coeficiente de simplificación  $K_{tr} = 0$  (según las NTC para Diseño de Estructuras de Concreto) y también con la resistencia a compresión del concreto clase 1 correspondiente a  $f'c = 250 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ . Sustituyendo estos valores en la parte izquierda de la desigualdad se obtiene que:

$$\frac{A_{s\text{barra}} f_y}{(3)(C_1 + K_{tr})\sqrt{f'c}}$$

$$= 15.77 \text{ cm}$$

- Calculando lado derecho de desigualdad

Para la estimación de lado derecho de la desigualdad correspondiente a la ecuación (4.16): se cuenta con el diámetro total en 1 barra de acero estructural con un valor de  $\emptyset_{\text{barra}} = 0.0095 \text{ m}$ , con el esfuerzo de fluencia de la barra de acero  $f_y = 4200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ , y también con la resistencia a compresión del concreto clase 1 correspondiente a  $f'c = 250 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ . Sustituyendo estos valores en la parte derecha de la desigualdad se obtiene que:

$$0.11 \left( \frac{\emptyset_{\text{barra}} f_y}{\sqrt{f'c}} \right)$$

$$= 27.83 \text{ cm}$$

- Analizando valor máximo de ambos extremos

$$L_{db} = 27.83 \text{ cm}$$

- Considerando un 80% de dicha longitud por cuestiones de seguridad y reglamento

$$L_{db80} = L_{db} (0.8) \quad (4.12)$$

$$L_{db80} = 22.26 \text{ cm}$$

- Definiendo longitud de desarrollo base para barra de acero estructural requerida

De acuerdo con las estimaciones anteriores, sabemos que ya podemos utilizar una longitud de desarrollo correspondiente a 22.26 cm. Pero de acuerdo con la NTC para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto, sabemos que la longitud de desarrollo mínimo a cumplir es de 30 cm, por lo tanto, nuestra longitud de desarrollo requerida para la barra de acero será:

$$L_{d1} = 30 \text{ cm}$$

Contemplando la implementación en obra de esta longitud de desarrollo establecida, se propone realizar un doblé de la barra de acero estructural de 90° a la mitad de esta longitud. Es decir, a los primeros 15 cm. Y de estos 15 cm al extremo final de la barra (en donde se encuentra el doblé), se planea ejecutar una unión mediante soldadura al acero de refuerzo del sistema de piso en donde se encuentre desplantado el MDM. Con esto poder garantizar el empotramiento del ENE, una vez colada la losa del sistema de piso ya mencionado con anterioridad.

### **Cálculo de las barras de acero estructural para sistema de anclaje**

- Peso volumétrico en barras de acero estructural implementadas

Para las barras de acero estructural implementadas en el sistema de anclaje para el MDM, se considerará utilizar barras de acero dulce, ya que este tipo de elementos suelen ser comúnmente ocupados en la mayoría de las obras civiles desarrolladas en la Ciudad de México. Por su bajo porcentaje de carbono se sabe que presentan una mayor ductilidad en su comportamiento estructural. Dicho acero cuenta con un peso volumétrico correspondiente a:

$$\gamma_s = 7800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

- Datos de barras de acero

Para la estimación de la longitud total que deberán tener las barras de acero estructural en el sistema de anclaje aplicado: se cuenta con la altura total del MDM correspondiente a 2.5 m y también se sabe que la longitud de desarrollo requerida es igual a 30 cm. Sumando estos dos valores como se muestra en la ecuación (4.9) se obtiene que:

$$L_b = 2.5 \text{ m} + 0.30 \text{ m} \quad (4.13)$$

$$L_b = 2.8 \text{ m}$$

Para la estimación del área de acero total requerida se contemplará que cada barra de acero estructural de 3/8" cuenta con diámetro correspondiente a 2.54 cm. Aplicando estos valores en la ecuación (4.10) se obtiene que:

$$A_{s\text{barra}} = \frac{1}{4} \pi \left( \frac{3}{8} [2.54 \text{ cm}] \right)^2 \quad (4.14)$$

$$A_{s\text{barra}} = 0.71 \text{ cm}^2$$

$$A_{s\text{barra}} = 0.71 \text{ cm}^2 \left( \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \right)^2$$

$$A_{s\text{barra}} = 0.000071 \text{ m}^2$$

- Cálculo del peso de 1 barra de acero para el sistema de anclaje

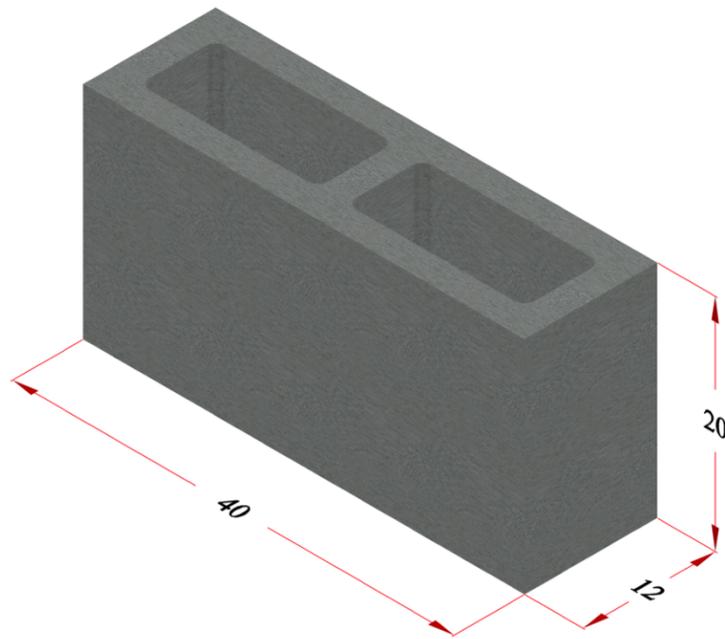
Para la estimación del peso propio de 1 barra de acero estructural aplicada al sistema de anclaje de este ejercicio: se cuenta con el peso volumétrico de la barra correspondiente a  $\gamma_s = 7800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ , también con la longitud total de la barra  $L_b = 2.8 \text{ m}$  y con su área de acero total requerida  $A_{s\text{barra}} = 0.000071 \text{ m}^2$ . Sustituyendo estos valores en la ecuación (4.11) se obtiene que:

$$W_b = \gamma_s L_b A_{s\text{barra}} \quad (4.15)$$

$$W_b = 1.56 \text{ kg}$$

- Cálculo del colocado monolítico del concreto clase 1 en los blocks huecos y barras de acero estructural

Para la estimación del volumen total del concreto clase 1 que se contemplará dentro del orificio del block hueco, ya se cuenta con las dimensiones del tipo de block a utilizar, las cuales se representan la figura 4.3 representada a continuación:



**Figura 4.3** Imagen ilustrativa de block hueco de concreto con medidas aplicadas al ejercicio. Dimensiones en cm. Diseño propio.

Además, también se cuenta con el área de acero total requerida  $A_{sbarra} = 0.000071 \text{ m}^2$  y se sabe que la altura total de dicho muro es igual a 250 cm. Aplicando estos valores en la ecuación (4.12) se obtiene que:

$$V_{or} = (10 \text{ cm})(15 \text{ cm})(250 \text{ cm}) - A_{sbarra} (250 \text{ cm}) \quad (4.16)$$

$$V_{or} = 37321.861 \text{ cm}^3$$

$$V_{or} = 0.037 \text{ m}^3$$

- Estimando el peso total del concreto contemplado para el volumen del orificio del block hueco

Para la estimación del peso total del concreto clase 1 que se presentará en el orificio del block hueco a implementar: se cuenta con el volumen del orificio en dicho elemento, correspondiente a  $V_{or} = 0.037 \text{ m}^3$  y también con el peso volumétrico para un concreto de la clase ya mencionada con anterioridad, el cual corresponde a un valor de  $\gamma_c = 2400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ . Sustituyendo estos valores en la ecuación (4.13) se obtiene que:

$$W_{c_{or}} = \gamma_c V_{or} \quad (4.17)$$

$$W_{c_{or}} = 89.57 \text{ kg}$$

### **Comparación del momento resistente respecto al momento de volteo con sistema de anclaje**

Para el desarrollo de este apartado será necesario tomar en cuenta que, si bien anteriormente ya fue estimada una fuerza sísmica de diseño y un momento de volteo en función de esta misma, estos dos datos fueron calculados para una condición natural del ENE. Considerando que ya fue implementado un sistema de anclaje, es necesario volver a estimar estos dos elementos pero contemplando las condiciones gravitacionales de sus elementos instaladas en el diseño antisísmico. A continuación, en los siguientes apartados se realizan las estimaciones necesarias para poder tomar en cuenta cada uno de estos aspectos, para posteriormente, poder realizar una comprobación aritmética que garantice el equilibrio estructural del MDM.

- Obtención de vector de peso con respecto al anclaje colocado en el elemento no estructural

Para la obtención del vector de peso con respecto al anclaje colocado en el ENE (sin tomar en cuenta, la mampostería con la cual está conformado el muro divisorio): se cuenta con el peso que presenta el concreto colado en el orificio del block hueco utilizado en el diseño, este con un valor correspondiente a  $W_{c_{or}} = 89.57 \text{ kg}$  y también con el peso total de 1 barra de acero estructural  $W_b = 1.56 \text{ kg}$ . Sumando estos dos valores como se expresa en la ecuación (4.18) se obtiene que:

$$W_{T_{sa}} = W_b + W_{c_{or}} \quad (4.18)$$

$$W_{T_{sa}} = 91.13 \text{ kg}$$

- Obtención de vector de peso del muro divisorio de mampostería, considerando una longitud de 60 cm

Para la obtención del vector de peso del MDM para una longitud diferencial de 60 cm, primero se estimará el peso propio de dicho muro distribuido de manera lineal: para esto se cuenta con el largo del muro correspondiente a 1 m, también con su espesor el cual presenta un valor de 0.12 m y también, con el peso volumétrico de la mampostería  $\gamma_m = 1.70 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$ . Sustituyendo estos valores en la ecuación (4.19) se obtiene que:

$$W_{\text{mp } 1\text{m}} = \text{Largo Espesor } \gamma_m \quad (4.19)$$

$$W_{\text{mp } 1\text{m}} = 2.04 \frac{\text{ton}}{\text{m}} \left( \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}} \right)$$

$$W_{\text{mp } 1\text{m}} = 204 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

Ahora se estimará el peso propio del MDM para una longitud diferencial requerida: para esto se cuenta con el peso propio del muro distribuido de manera lineal  $W_{\text{mp } 1\text{m}} = 204 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$  y también con la longitud total de 60 cm. Aplicando estos valores en la ecuación (4.20) se obtiene que:

$$W_{\text{mp } 60\text{cm}} = W_{\text{mp } 1\text{m}} (0.60 \text{ m}) \quad (4.20)$$

$$W_{\text{mp } 60\text{cm}} = 112.4 \text{ kg}$$

- Vector de peso total para cada barra de anclaje

Para la obtención del vector de peso para cada barra de anclaje aplicada al MDM: se cuenta con el peso propio del muro, considerando una franja diferencial de 60 cm  $W_{\text{mp } 60\text{cm}} = 112.4 \text{ kg}$  y también con el peso individual de una barra de acero estructural  $WT_{\text{sa}} = 91.13 \text{ kg}$ . Sustituyendo estos datos en la ecuación (4.21) se obtiene que:

$$WT_a = WT_{\text{sa}} + W_{\text{mp } 60\text{cm}} \quad (4.21)$$

$$WT_a = 213.53 \text{ kg}$$

- Peso total en el ENE

Para la obtención del peso total que se presentará en el ENE: se cuenta con el peso total del sistema con anclaje sin contar el peso de la mampostería correspondiente a  $WT_{sa} = 91.13$  kg, con el peso propio distribuido de manera lineal en el MDM, este presentando un valor de  $W_{mp\ 1m} = 204 \frac{kg}{m}$ . También se sabe que el diseño del sistema antisísmico consistirá en la implementación de 4 barras de acero estructural de 3/8" y, por último, cuenta con que la longitud total del muro es correspondiente a 3 m. Sustituyendo estos datos en la ecuación (4.22) se obtiene que:

$$W_{tda} = WT_{sa}(4 \text{ barras}) + W_{mp\ 1m} (3 \text{ m}) \quad (4.22)$$

$$W_{tda} = 976.51 \text{ kg}$$

- Estimación de fuerza sísmica considerando el peso total del ENE

Para la estimación de la fuerza sísmica considerando el peso total del ENE la cual se presentará en el MDM: se cuenta con el vector de peso total en el ENE correspondiente a  $W_{tda} = 976.51$  kg, con el factor de amplificación sísmica  $\Omega_i = 1.89$  y también con aceleración inicial de diseño  $a_0 = 0.304$  g. Sustituyendo estos valores en la ecuación (4.23) se obtiene que:

$$F_{sda} = W_{tda} \Omega_i a_0 \quad (4.23)$$

$$F_{sda} = 561.43 \text{ kg}$$

- Estimación de momento de volteo con sistema de anclaje considerando el peso total del ENE

Para la estimación del momento de volteo con sistema de anclaje, considerando el peso total en el MDM: se tiene la fuerza sísmica considerando el peso total del ENE con un valor de  $F_{sda} = 561.43$  kg y se sabe que la altura total del MDM es igual a 2.50 m. Sustituyendo estos valores en la ecuación (4.24) se obtiene que:

$$M_{vda} = F_{sda} \left( \frac{2.50 \text{ m}}{2} \right) \quad (4.24)$$

$$M_{vda} = 701.79 \text{ kg. m}$$

### Aplicando análisis estructural para sistema de anclaje

Dado que el sistema de anclaje utilizado para este muro se encuentra distribuido de manera equidistante en toda la longitud del elemento, el análisis estructural realizado para este apartado se realizará solo para una de las barras de acero estructural. Y el momento resistente que se calcule para este caso en particular se multiplicará por el número de barras totales que se colocarán en el muro, esto para así obtener el momento resistente total ofrecido por el sistema de anclaje aplicado.

A continuación, en la figura 4.4, se muestra un diagrama completo del ENE. En él se especifican los vectores gravitacionales y momentos que se presentarán en el diseño del sistema de anclaje antisísmico aplicado para este primer ejemplo práctico:

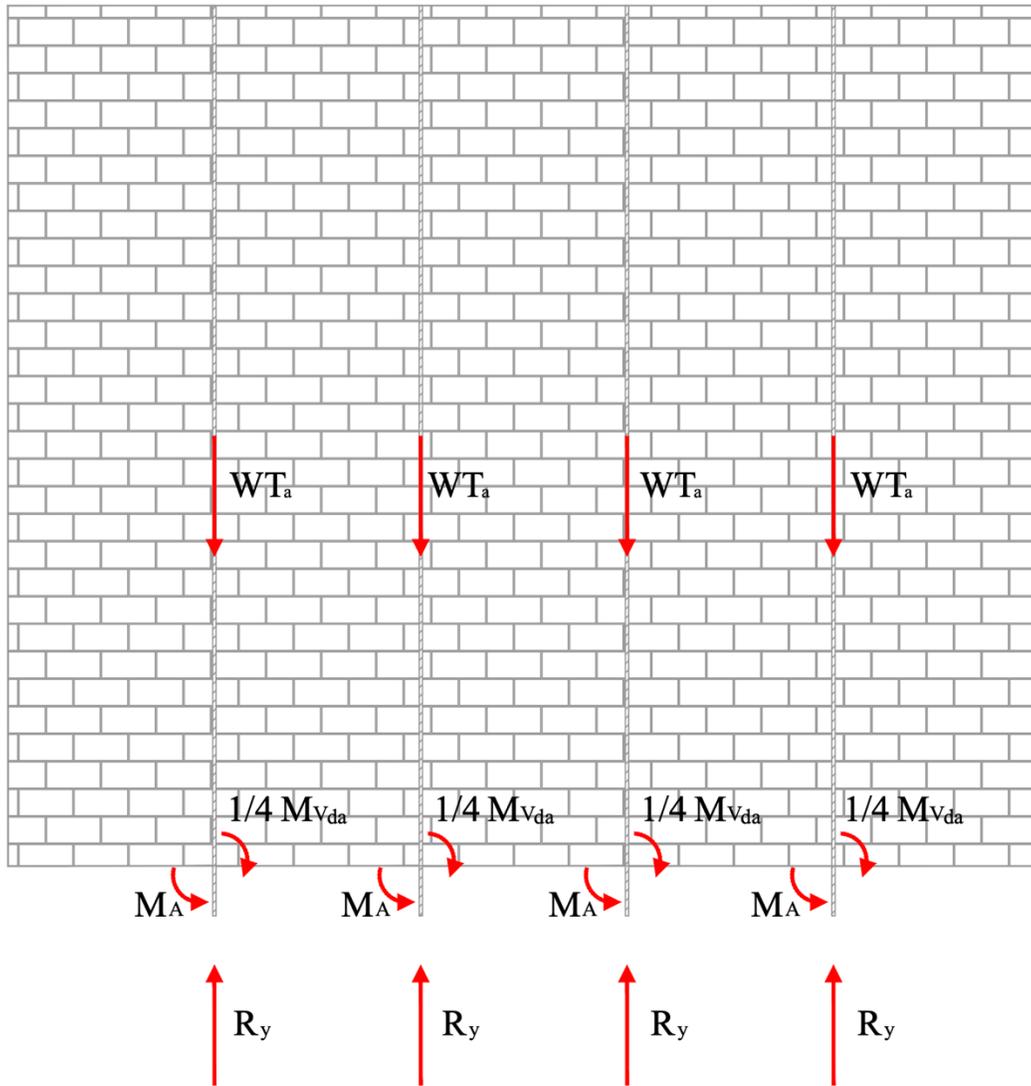


Figura 4.4 Detalle de las fuerzas y momentos actuantes en el MDM. Diseño propio.

- Análisis de reacciones verticales efectuadas en sistema de anclaje

$$\sum F_y = 0 \quad (4.25)$$

$$R_y - WT_a = 0$$

$$R_y = WT_a$$

- Análisis de reacciones horizontales efectuadas en sistema de anclaje

$$\sum F_x = 0 \quad (4.26)$$

$$-R_x + \frac{F_{sda}}{4}$$

$$R_x = \frac{F_{sda}}{4}$$

- Aplicando suma de momentos con respecto a punto B, para estimar el momento resistente en 1 de las barras de acero estructural del sistema de anclaje

Para la aplicación de la suma de momentos con respecto al punto B, en una de las barras de acero estructural del sistema de anclaje se cuenta con el momento de volteo con sistema de anclaje, considerando el peso total del MDM el cual es correspondiente a  $M_{vda} = 701.79 \text{ kg. m}$ , y también con la fuerza sísmica de diseño la cual considera el peso total del ENE correspondiente a  $F_{sda} = 561.43 \text{ kg}$ . Aplicando estos dos valores en el desarrollo de la ecuación (4.27), se obtiene el momento resistente estimado en 1 barra de acero estructural del sistema de anclaje en el MDM:

$$\sum M_B = 0 \quad (4.27)$$

$$\frac{F_{sda}}{4} \left( \frac{2.5 \text{ m}}{2} \right) - 2.65 R_x - \frac{M_{vda}}{4} + M_A = 0$$

$$M_A = \frac{M_{vda}}{4} + 0.35 F_{sda}$$

$$M_A = 371.95 \text{ kg. m}$$

- Estimación del momento resistente total contemplando 4 barras de acero estructural ubicadas en el ENE

Para la estimación del momento resistente total contemplando 4 barras de acero estructural: se cuenta con el momento que se presenta en el punto de apoyo A, el cual presenta un valor de  $M_A = 371.95 \text{ kg. m}$ . Aplicando este valor a la ecuación (4.28) se obtiene que:

$$M_{R2} = 4 M_A \quad (4.28)$$

$$M_{R2} = 1487.79 \text{ kg. m}$$

- Realizando una comparación entre el momento de volteo y el momento resistente con la implementación del sistema de anclaje

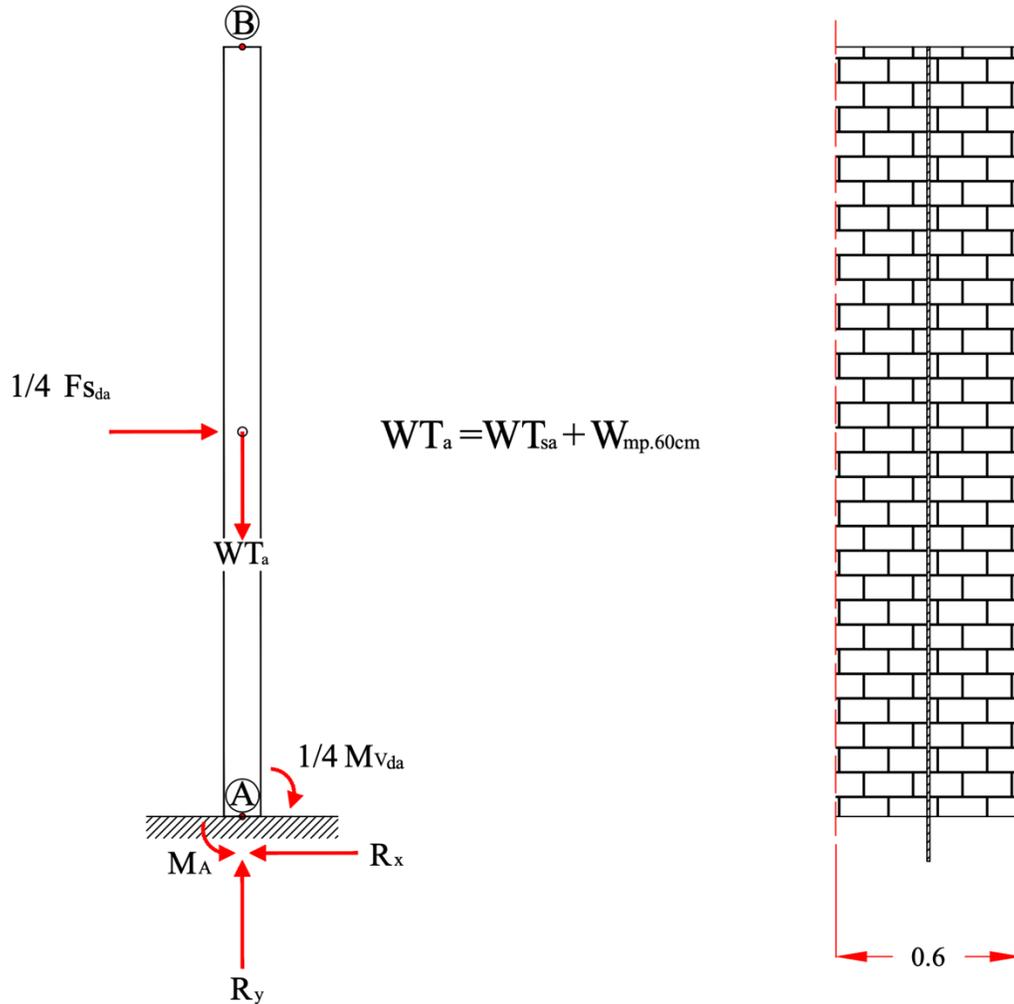
$$M_{R2} > M_{vda}$$

$$1487.79 \text{ kg. m} > 701.79 \text{ kg. m}$$

∴ El sistema de anclaje es efectivo

∴ El ENE se mantendrá estable y seguro en condiciones sísmicas

A continuación, en la figura 4.5, se muestra el análisis usado para el entendimiento de las fuerzas que corresponden a cada barra de acero del sistema antisísmico de manera individual, esto contemplando una franja diferencial del MDM con un ancho de 60 cm.



**Figura 4.5** Representación de las fuerzas correspondientes a una barra de acero en la franja diferencial de análisis. Dimensiones en m. Diseño propio.

## V. EJEMPLO 2. SISTEMA DE TUBERÍAS

### 5.1 Características generales del sistema de tuberías

El sistema de tuberías a diseñar estará localizado en el piso 3 de la edificación base de diseño. Este ejemplo se enfocará en el análisis del comportamiento sísmico y también en el diseño del sistema de anclaje que dará respuesta a las fuerzas actuantes en el Elementos/ Elementos No Estructurales (ENE). Para poder realizar dicho análisis, se analizarán tres tramos de tubos hidráulicos, los cuales se considerarán en una condición a tubo lleno y que contarán con un conjunto de soportes del tipo sujetador con forro de fieltro, el cual soportará el sistema de tuberías en la losa de la superestructura.

El primer tubo contará con un diámetro de 10.16 cm (4”), el segundo con un diámetro de 15.24 cm (6”) y el tercer tubo contará con un diámetro de 10.16 cm (4”). Además es importante considerar que para estos tres conductos hidráulicos se presenta una longitud total ( $L_T$ ) de 20.4 m. Con lo que respecta al material del cual están conformados estas tuberías, se considerará que los conductos hidráulicos implementados serán de acero al carbón.

Para la determinación de los pesos de carga muerta a tubo lleno para los dos tramos hidráulicos de diseño ya mencionados con anterioridad: se tomó como referencia el catálogo de diseño “HYLSA, Acero al carbón de la empresa Gomar” en donde se pudo encontrar los siguientes modelos de tuberías de acero al carbón especificados en la tabla 5.1:

**Tabla 5.1** Tuberías de acero al carbón comerciales. Tabla obtenida en catálogo HYLSA, Acero al carbón de la empresa Gomar (2020).

Diámetro Nominal		Diámetro Exterior		Espesor de pared		Peso Teórico
in	mm	in	mm	in	mm	kg/m
4	100	4.500	114.3	0.237	40-Std	16.07
6	150	6.625	168.3	0.280	40-Std	28.26

De los datos que se proporcionan en dicha tabla, se delimitaron los pesos de carga muerta para los conductos de diseño en los siguientes dos apartados:

- Pesos de carga muerta para primer y tercer conducto a tubo lleno (4")

$$W_{cm4} = 16.07 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

- Peso de carga muerta para segundo conducto a tubo lleno (6")

$$W_{cm6} = 28.26 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

### **Consideraciones estructurales y de diseño:**

Se analizará al sistema de tuberías como un ENE de la edificación base de diseño, por lo tanto y tomando en cuenta su comportamiento físico, se considerará una condición de aceleración para elementos no estructurales flexibles. Adicionalmente, según la norma *National Fire Protection Association (NFPA-13)*, en su capítulo 9, se deberán tomar en cuenta las siguientes condiciones de instalación para cumplir con la seguridad sísmica del sistema:

- Los soportes deben tener la capacidad para soportar 5 veces el peso a tubo lleno de agua más 250 lb (114 kg).
- El valor de la separación entre soportes no debe ser mayor a 15 ft (4.57 m) para tuberías de acero de 4" y 6".
- Los componentes del soporte deben ser de material ferroso.
- Se deberá hacer un acoplamiento ranurado a cada 6.4 m y/o en cambios de dirección con codos o derivaciones, con el objetivo de dar flexibilidad a la línea de tubería (no analizado en el presente trabajo).
- Los soportes laterales deberán ser colocados a cada 12.2 m y la distancia máxima entre el último soporte y el extremo del tubo no debe ser mayor a 1.8 m (no analizado en el presente trabajo).
- Los soportes longitudinales deberán ser colocados a cada 24.4 m y la distancia máxima entre el último soporte y el extremo del tubo no debe ser mayor a 12.2 m (no analizado en el presente trabajo).

## 5.2 Análisis sísmico aplicado a sistema de tuberías

Es de importancia considerar que todos los ENE se están trabajando como elementos contenidos dentro de la misma edificación base de diseño, para cada uno de los casos desarrollados, las estimaciones realizadas en el apartado “4.2. Análisis sísmico aplicado a muro divisorio de mampostería” correspondiente al cálculo de los factores sísmicos  $\eta_a$  y  $a_n$  para el MDM, compartirán también los mismos resultados para cada situación de diseño sísmico de los demás ejemplos prácticos desarrollados en el presente trabajo.

a) Cálculo de los factores de amplificación sísmica  $\Omega_i$  y  $\Omega_a$  (Elemento no estructural flexible)

Para la estimación del factor de amplificación sísmica  $\Omega_i$ : se cuenta con las alturas de diseño correspondientes tanto a la altura que se presenta en el tercer nivel de la edificación base de diseño  $h_i = 7.5$  m, la altura total de la superestructura  $h_n = 17.5$  m, también se cuenta con la aceleración de diseño correspondiente al último nivel de la edificación base  $a_n = 0.94$  g y la aceleración inicial de diseño  $a_0 = 0.304$  g. Sustituyendo estos valores se obtiene que:

$$\Omega_i = \frac{h_i}{h_n} \left( \frac{a_n}{a_0} - 1 \right) + 1$$

$$\Omega_i = 1.89$$

En la sección 2.7.4 titulada “Respuesta sísmica de apéndices y elementos no estructurales” de las NTC Para Diseño por Sismo 2017, se muestra que la fuerza sísmica que actúa en el ENE, se estimará como el producto de su masa y la aceleración máxima del piso en el punto de apoyo del elemento considerando un factor de amplificación dinámica  $\Omega_a$ , que tome en cuenta la relación entre el periodo natural del elemento no estructural (en este ejemplo en particular, el periodo del sistema de conductos hidráulicos a tubo lleno), y el periodo dominante de la edificación base. Debido a la complicación que representa el cálculo del periodo natural del sistema de conductos hidráulicos, se asume un factor de amplificación dinámica  $\Omega_a$  igual a 4 (valor sugerido en sección 2.7.4 cuando se desconoce el periodo del elemento).

$$\Omega_a = 4$$

b) Estimación de peso para cada conducto hidráulico

Para el cálculo del peso de 1 m lineal de agua: se estimó el volumen de agua correspondiente, utilizando como dato el área de los conductos de 4" y 6", multiplicados por 1 m lineal, una vez estimado este volumen, se multiplicó por  $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  siendo este valor el peso volumétrico del agua.

- Peso propio para conducto con diámetro de 4"

Para la estimación del peso propio que se presentará para este ducto en específico: se cuenta con el peso propio distribuido por metro lineal para una tubería de 4" de diámetro, correspondiente a  $W_{\text{cm}4} = 16.07 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$ , con el peso del volumen de agua distribuido por metro lineal que se contendrá en la tubería, correspondiente a  $W_{\text{H}_2\text{O}L4} = 8.107 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$  y también con el largo total del tubo hidráulico el cual presenta un valor de  $L_T = 20.4$  m. Sustituyendo estos tres valores en la ecuación (5.1) se obtiene que:

$$w_{\text{pp}4} = (W_{\text{cm}4} + W_{\text{H}_2\text{O}L4}) L_T \quad (5.1)$$

$$w_{\text{pp}4} = 493.21 \text{ kg}$$

- Peso propio para conducto con diámetro de 6"

Para la estimación del peso propio que se presentará para este conducto en específico: se cuenta con el peso propio distribuido por metro lineal para una tubería de 6" de diámetro, correspondiente a  $W_{\text{cm}6} = 28.26 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$ , con el peso del volumen de agua distribuido por metro lineal que se contendrá en la tubería, correspondiente a  $W_{\text{H}_2\text{O}L6} = 18.24 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$  y también con el largo total del conducto hidráulico el cual presenta un valor de  $L_T = 20.4$  m. Sustituyendo estos tres valores en la ecuación (5.2) se obtiene que:

$$w_{\text{pp}6} = (W_{\text{cm}6} + W_{\text{H}_2\text{O}L6}) L_T \quad (5.2)$$

$$w_{\text{pp}6} = 948.62 \text{ kg}$$

c) Cálculo de fuerzas sísmicas de diseño para sistema de tuberías ( $F_{s2}$ )

Para la estimación de las fuerzas sísmicas que afectan al sistema de tuberías para los dos conductos de diseño contemplados: se cuenta con el peso propio total del conducto, esto considerando la longitud total de diseño (igual a 20.4 m); tanto para un diámetro de 4", el cual corresponde a un peso de  $w_{pp4} = 493.21$  kg; como para un diámetro de 6", el cual a su vez corresponde a un peso de  $w_{pp6} = 948.62$  kg. También se cuentan con el factor de amplificación sísmica  $\Omega_i = 1.89$ , con el factor de amplificación dinámica  $\Omega_a = 4$  y con la aceleración inicial de diseño  $a_0 = 0.304 g$ . Haciendo uso de estos valores en la ecuación (5.3) podremos obtener primero la fuerza sísmica aplicada al sistema de tuberías que presenta un diámetro nominal de 4" y posteriormente la fuerza sísmica aplicada para el sistema de 6". Realizando esto se obtiene que:

$$F_{s2} = W \Omega_i \Omega_a a_0 \quad (5.3)$$

- Estimación de fuerza sísmica resultante para tuberías de 4"

$$F_{s2\ 4} = w_{pp4} \Omega_i \Omega_a a_0$$

$$F_{s2\ 4} = 1134.248 \text{ kg}$$

- Estimación de fuerza sísmica resultante para tubería de 6"

$$F_{s2\ 6} = w_{pp6} \Omega_i \Omega_a a_0$$

$$F_{s2\ 6} = 2181.56 \text{ kg}$$

### 5.3 Diseño del anclaje para sistema de tuberías

#### Explicación general del funcionamiento del sistema de anclaje

Para el diseño del anclaje para el sistema de tuberías se propone un sistema de sujeción compuesto por un ancla de concreto y un soporte para tuberías con forro de fieltro. El sistema se analizará en dos partes:

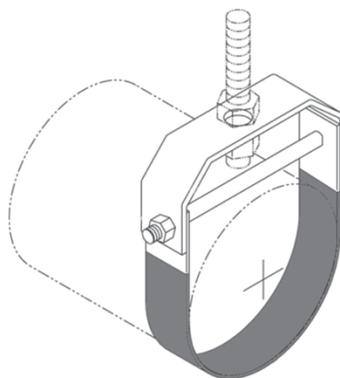
- Primera parte. Se enfocará en el análisis para el anclaje, el cual deberá vencer por fuerza cortante a la fuerza sísmica y también por fuerza de tensión al peso de la tubería analizada.
- Segunda parte. Se enfocará en el análisis del sujetador que soportará de forma directa la línea de tubería.

#### Catálogos para la elección de piezas de anclaje para el diseño de sistema de tuberías

Para el caso de la elección de la soportería requerida (especificada a detalle más adelante) en el anclaje antisísmico diseñado, se hizo uso de catálogo “*TOLCO. Pipe Hangers, Supports, Seismic Bracing*”, mientras que, para seleccionar el ancla (taquete) utilizada se inspeccionó el catálogo “*HILTI. Technical Guide for KB-TZ2*”.

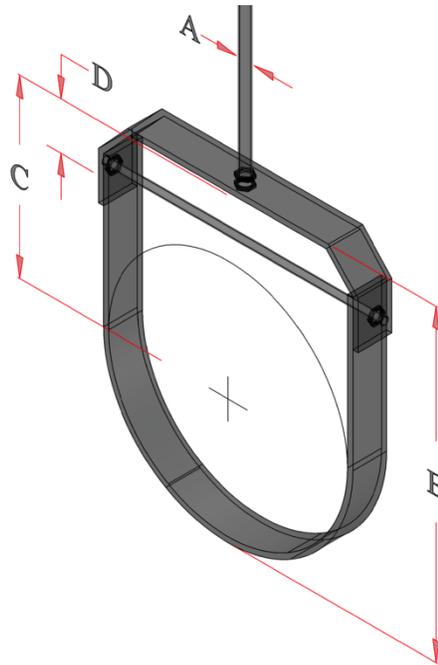
#### Delimitación de piezas específicas a utilizar para anclaje del sistema de tuberías

A continuación, en la figura 5.1 se muestra al elemento sujetador implementado en el sistema de anclaje, listado en su correspondiente catálogo como *Standard Clevis Hanger with Felt Lining for 4” and 6”*.



**Figura 5.1** Imagen ilustrativa sujetador *Standard Clevis Hanger with Felt Lining*, obtenida de (TOLCO Pipe Hangers, 2020)

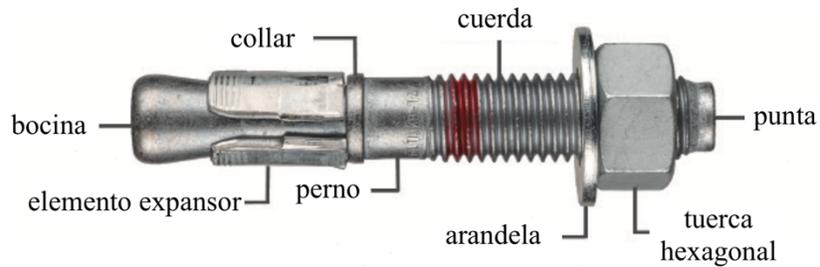
En la figura 5.2 mostrada a continuación, se muestra, según el fabricante, las dimensiones del soporte para cada diámetro de tubería de diseño.



**Figura 5.2** Dimensiones para soporte Clevis según el diámetro de tubería. Creación propia.

- Para 4", los valores son A= 0.95 cm, B= 18.73 cm, C= 10.79 cm y D= 3.81 cm.
- Para 6", los valores son A= 1.27 cm, B= 24.92 cm, C= 13.97 cm y D= 3.81 cm.

A continuación, en la figura 5.3 se muestra al elemento ancla implementado en el sistema de anclaje, listado en su correspondiente catálogo como *HILTI KB-TZ2*.



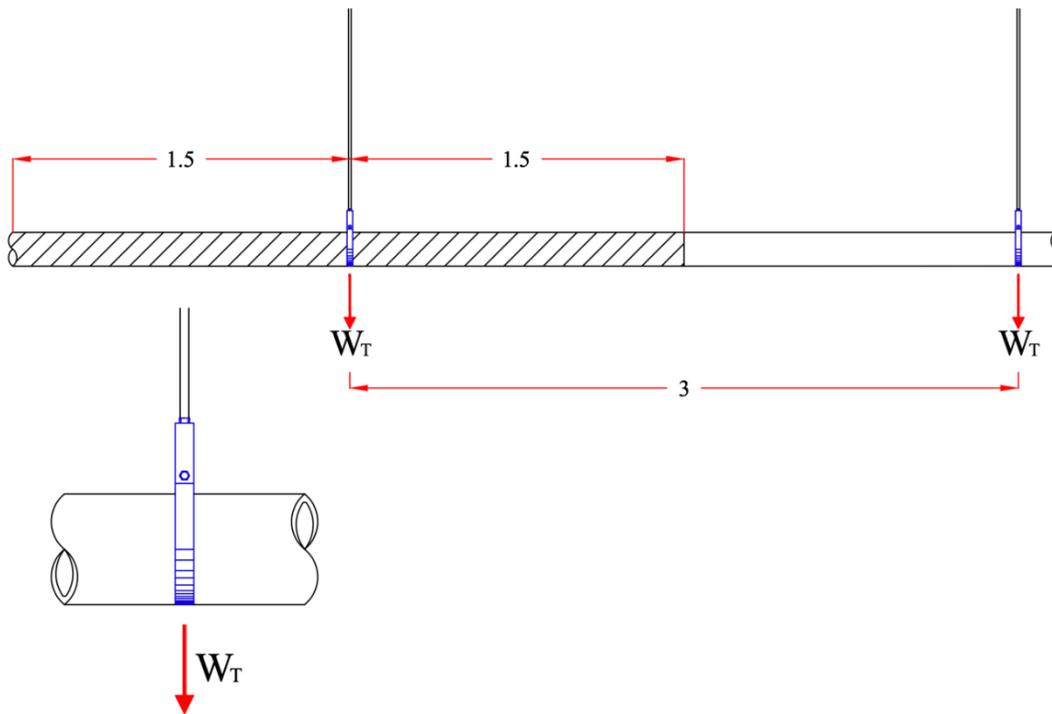
**Figura 5.3** Imagen ilustrativa ancla HILTI KB-TZ2, obtenida de (Technical Guide, 2020). Traducción propia.

## Análisis estructural del sistema de sujeción para tuberías

### a) Estimación de pesos en la franja diferencial

Para el cálculo de los elementos físicos de diseño para el sistema de anclaje: se estudiará una franja diferencial de la longitud total de cada tubo, esto equivalente a 3 m longitudinales, debido a que la separación individual entre cada sistema anclaje-sujetador es de 3 m y por ello cada sistema debe soportar esa longitud.

A continuación, en la figura 5.4 se muestra el detalle de la instalación. En ella se puede apreciar la llamada franja diferencial, la cual es una longitud que sirve como tramo de análisis para cada sistema de sujeción sometido a las fuerzas gravitacionales propias de la suma de pesos ( $W_T$ ) y también de la separación entre soportes.



**Figura 5.4** Detalle de la separación entre soportes, franja diferencial (achurado) y las fuerzas verticales actuantes. Dimensiones en m. Creación propia.

- Estimación de elementos físicos de diseño para cada conducto hidráulico

i) Peso propio para conducto con diámetro de 4" en tramo diferencial de diseño

Para la estimación del peso propio para el conducto hidráulico de 4" en el tramo diferencial de diseño: se cuenta con el peso por metro lineal de una tubería de 4", esto correspondiente a  $W_{cm4} = 16.07 \frac{kg}{m}$  y también con el tramo largo diferencial establecido, el cual presenta un valor de  $L_{ac3m} = 3$  m. Sustituyendo estos valores en la ecuación (5.4) se obtiene que:

$$WT_4 = W_{cm4} \cdot L_{ac3m} \quad (5.4)$$

$$WT_4 = 48.21 \text{ kg}$$

ii) Peso propio para conducto con diámetro de 6" en tramo diferencial de diseño

Para la estimación del peso propio para el conducto hidráulico de 6" en el tramo diferencial de diseño: se cuenta con el peso por metro lineal de una tubería de 6", esto correspondiente a  $W_{cm6} = 28.26 \frac{kg}{m}$  y también con el tramo largo diferencial de establecido, el cual presenta un valor de  $L_{ac3m} = 3$  m. Sustituyendo estos valores en la ecuación (5.5) se obtiene que:

$$WT_6 = W_{cm6} \cdot L_{ac3m} \quad (5.5)$$

$$WT_6 = 84.78 \text{ kg}$$

iii) Peso de agua para tubo de 4" en el tramo diferencial de diseño

Para la estimación del peso propio del volumen de agua que se encontrará contenido en el conducto hidráulico de 4" en el tramo diferencial de diseño: primero se debe estimar el área hidráulica de dicho elemento, para esto se cuenta con que su radio corresponde a un valor de  $r_4 = 5.08$  cm, aplicando este valor en la ecuación (5.6) se obtiene que:

$$A_{T4} = \pi r_4^2 \quad (5.6)$$

$$A_{T4} = 0.008 \text{ m}^2$$

Una vez estimada el área hidráulica para este conducto en específico, se debe pasar a estimar el volumen que se presentará en el elemento: para esto ya se cuenta con el área hidráulica estimada en el punto anterior, correspondiente  $A_{T4} = 0.008 \text{ m}^2$  y también con el tramo largo diferencial establecido, el cual presenta un valor de  $L_{ac3m} = 3 \text{ m}$ , aplicando estos valores en la ecuación (5.7) se obtiene que:

$$V_{T4} = A_{T4} L_{ac3m} \quad (5.7)$$

$$V_{T4} = 0.024 \text{ m}^3$$

Por último, se pasa a estimar el peso propio del volumen de agua: para esto se cuenta con el peso volumétrico del agua, correspondiente a  $\gamma_{H2O} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  y también con el volumen de agua ya estimado en el apartado anterior, este correspondiente a  $V_{T4} = 0.024 \text{ m}^3$ , sustituyendo estos dos valores en la ecuación (5.8) se obtiene que:

$$W_{H2O4} = \gamma_{H2O} V_{T4} \quad (5.8)$$

$$W_{H2O4} = 24.32 \text{ kg}$$

iv) Peso de agua para tubo de 6" en el tramo diferencial de diseño

Para la estimación del peso propio del volumen de agua que se encontrará contenido en el conducto hidráulico de 6" en el tramo diferencial de diseño, primero se debe estimar el área hidráulica de dicho elemento: para esto se cuenta con que su radio corresponde a un valor de  $r_6 = 7.62 \text{ cm}$ , aplicando este valor en la ecuación (5.9) se obtiene que:

$$A_{T6} = \pi r_6^2 \quad (5.9)$$

$$A_{T6} = 0.018 \text{ m}^2$$

Una vez estimada el área hidráulica para este conducto en específico, se debe pasar a estimar el volumen que se presentará en el elemento: para esto ya se cuenta con el área hidráulica estimada en el punto anterior, correspondiente  $A_{T6} = 0.018 \text{ m}^2$  y también con el tramo largo diferencial establecido, el cual presenta un valor de  $L_{ac3m} = 3 \text{ m}$ , aplicando estos valores en la ecuación (5.10) se obtiene que:

$$V_{T6} = A_{T6} L_{ac3m} \quad (5.10)$$

$$V_{T6} = 0.054 \text{ m}^3$$

Por último, se pasa a estimar el del peso propio del volumen de agua: para esto se cuenta con el peso volumétrico del agua, correspondiente a  $\gamma_{H2O} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  y también con el volumen de agua ya estimado en el apartado anterior, este correspondiente a  $V_{T6} = 0.054 \text{ m}^3$ , sustituyendo estos dos valores en la ecuación (5.11) se obtiene que:

$$W_{H2O6} = \gamma_{H2O} V_{T6} \quad (5.11)$$

$$W_{H2O6} = 54.72 \text{ kg}$$

v) Pesos totales a tubo lleno en el tramo diferencial de diseño

Para la estimación de los pesos totales a tubo lleno en el tramo diferencial de diseño: se cuenta con los pesos propios del volumen de agua que se encontrará contenido en los conductos hidráulicos (para 4" y 6"), estos correspondientes a valores de  $W_{H2O4} = 24.32 \text{ kg}$  y  $W_{H2O6} = 54.72 \text{ kg}$  respectivamente, también, se cuenta con el peso propio de los conductos, los cuales son  $WT_4 = 48.21 \text{ kg}$  y  $WT_6 = 84.78 \text{ kg}$  para cada caso de diseño. Aplicando estos valores en la ecuación (5.12) en el caso del conducto de 4" y en la ecuación (5.13) para el conducto de 6", se obtiene que:

$$W_{Tt4} = WT_4 + W_{H2O.4} \quad (5.12)$$

$$W_{Tt4} = 72.53 \text{ kg}$$

$$W_{Tt6} = WT_6 + W_{H2O.6} \quad (5.13)$$

$$W_{Tt6} = 139.50 \text{ kg}$$

vi) Fuerzas sísmicas correspondientes a franja diferencial de diseño

Para la estimación de las fuerzas sísmicas que tendrán efecto en la franja diferencial de diseño: se cuenta con el valor del tramo largo diferencial establecido, el cual presenta un valor de  $L_{ac3m} = 3$  m, también con los valores totales de las fuerzas sísmicas efectuadas en los conductos hidráulicos, tanto para el diámetro de 4" como también para el de 6", estos correspondientes a  $F_{s2\ 4} = 1134.248$  kg y  $F_{s2\ 6} = 2181.56$  kg respectivamente, aplicando estos valores en la ecuación (5.14) para el diámetro de diseño de 4" y la ecuación (5.15) para el diámetro de diseño 6", se obtiene que:

$$F_{s2\ 4\ 3m} = \frac{L_{ac3m} F_{s2\ 4}}{L_T} \quad (5.14)$$

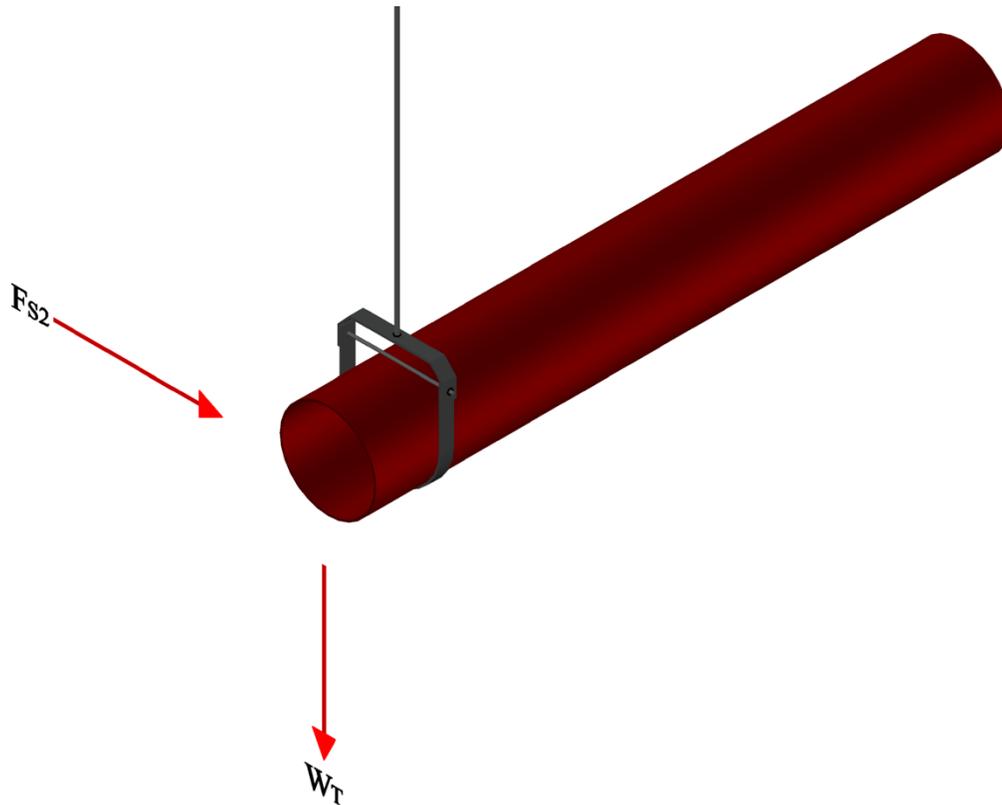
$$F_{s2\ 4\ 3m} = 166.80 \text{ kg}$$

$$F_{s2\ 6\ 3m} = \frac{L_{ac3m} F_{s2\ 6}}{L_T} \quad (5.15)$$

$$F_{s2\ 6\ 3m} = 320.82 \text{ kg}$$

## b) Análisis estático del sistema de sujeción para tuberías

A continuación, en la figura 5.5 se muestra la vista isométrica de las piezas correspondientes al sistema de sujeción para tuberías, asimismo también pueden apreciarse el conjunto de fuerzas gravitacionales actuantes en el sistema antisísmico diseñado en este segundo ejercicio práctico.



**Figura 5.5** Plano de detalle y vectores resultantes de análisis estático aplicado a sistema de anclaje para el sistema de tuberías. Creación propia.

- Anclaje

Para el análisis del sistema de anclaje aplicado al sistema de tuberías: se cuentan con diversos datos como los pesos propios de los conductos hidráulicos de diseño con respecto a la franja diferencial correspondiente a 3 m, y estos presentando un valor de  $W_{Tt4} = 72.53$  kg para el conducto de 4" y  $W_{Tt6} = 139.50$  kg para el conducto de 6" respectivamente. También se tienen las fuerzas sísmicas correspondientes a franja diferencial de diseño, las cuales presentan un valor de  $F_{s2\ 4\ 3m} = 166.80$  kg para el conducto de 4" y  $F_{s2\ 6\ 3m} = 320.82$  kg para el conducto de 6".

i) Análisis a cortante para 4" y 6"

La fuerza cortante que soporta el anclaje seleccionado es de 16.7 kN equivalentes a 1702.93 kg. Por lo tanto, al revisar la estabilidad estructural del anclaje para esta condición se obtiene que:

$$F_V = 1702.93 \text{ kg}$$

$$F_{s2 \ 4 \ 3m} < F_V$$

$$F_{s2 \ 6 \ 3m} < F_V$$

∴ El sistema de anclaje es efectivo para ambos diámetros de diseño

∴ El ENE se mantendrá estable y seguro en condiciones por fuerza cortante generado por efectos sísmicos

ii) Análisis a tensión para 4" y 6"

La fuerza a tensión que soporta el anclaje es de 16.61 kN que equivalen a 1693.75 kg. Este valor se obtuvo por medio de realizar una interpolación lineal, en donde se contemplaron dos valores de diseño para  $f'_c$ , estos obtenidos del catálogo ya delimitado con anterioridad en el apartado titulado "5.3 Diseño del anclaje del sistema de tuberías" perteneciente a este segundo ejercicio práctico. Por lo tanto, al revisar la estabilidad estructural del anclaje para esta condición se obtiene que:

$$F_T = 1693.75 \text{ kg}$$

$$W_{Tt4} < F_T$$

$$W_{Tt6} < F_T$$

∴ El sistema de anclaje es efectivo para ambos diámetros de diseño

∴ El ENE se mantendrá estable y seguro en condiciones por fuerza a tensión generado por efectos sísmicos

- Soportería

Para el análisis del sistema de soportería aplicada al sistema de tuberías: se cuenta con los pesos propios de los conductos hidráulicos de diseño con respecto a la franja diferencial correspondiente a 3 m, y estos presentando un valor de  $W_{Tt4} = 72.53$  kg para el conducto de 4" y  $W_{Tt6} = 139.50$  kg para el conducto de 6" respectivamente.

i) Análisis de la capacidad de carga del soporte tipo *Standard Clevis Hanger with Felt Lining* para 4" y 6"

La capacidad de carga para el soporte de 4" es de 1430 lb equivalente a 648.63 kg. Por lo tanto, al revisar la estabilidad estructural de la soportería para esta condición se obtiene que:

$$F_{carga4} = 648.63 \text{ kg}$$

$$F_{carga4} > W_{Tt4}$$

∴ El sistema de anclaje es efectivo para ambos diámetros de diseño

∴ El ENE se mantendrá estable y seguro en condiciones sísmicas

La capacidad de carga para el soporte de 6" es de 1940 lb equivalente a 878 kg. Por lo tanto, al revisar la estabilidad estructural de la soportería para esta condición se obtiene que:

$$F_{carga6} = 878 \text{ kg}$$

$$F_{carga6} > W_{Tt6}$$

∴ El sistema de anclaje es efectivo para ambos diámetros de diseño

∴ El ENE se mantendrá estable y seguro en condiciones sísmicas

Anexado al análisis general de estabilidad estructural realizado anteriormente, también se sabe que con base a las condiciones estructurales y de diseño planteadas al principio del presente ejercicio práctico, por norma, según la NFPA-13, se debe de cumplir que también los soportes implementados estén diseñados para soportar 5

veces el peso a tubo lleno más 250 lb (114 kg). A continuación, se presenta dicho análisis aplicado a los conductos de diseño utilizados en el presente análisis:

- Para 4" el peso a tubo lleno es  $W_{Tt4} = 72.53$  kg. Dicho valor multiplicado por 5, más 114 kg es equivalente a 476.64 kg. La capacidad de carga de su respectivo soporte es de 648.63 kg, por lo tanto, el soporte implementado cumple las condiciones de diseño.
- Para 6" el peso a tubo lleno es  $W_{Tt6} = 139.50$  kg . Dicho valor multiplicado por 5, más 114 kg es equivalente a 811.5 kg. La capacidad de carga de su respectivo soporte es de 878 kg, por lo tanto, el soporte implementado cumple las condiciones de diseño.

## VI. EJEMPLO 3. SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO

### 6.1. Características generales del sistema de aire acondicionado

El sistema de aire acondicionado a diseñar estará localizado en el piso 3 de la edificación base de diseño. Este ejemplo se enfocará en el análisis del comportamiento sísmico y también en el diseño del sistema de anclaje que dará respuesta a las fuerzas sísmicas actuantes en el contenido. Dicho sistema de enfriamiento se encontrará instalado a una altura de 2.4 m con respecto al nivel de entrepiso de la edificación base de diseño.

Para este ejemplo se considerará la implementación de un sistema de enfriamiento, el cual se delimita por el siguiente modelo representado en las figuras 6.1, 6.2 y 6.3 mostradas a continuación:

AIRE ACONDICIONADO LG MINI SPLIT  
SP121CN



**Figura 6.1.** Imagen ilustrativa 1 del sistema de aire acondicionado LG MINI SPLIT SP121CN, obtenida de catálogo (LG, 2020).



**Figura 6.2** Imagen ilustrativa 2 del sistema de aire acondicionado LG MINI SPLIT SP121CN, obtenida de catálogo (LG, 2020).



**Figura 6.3** Imagen ilustrativa 3 del sistema de aire acondicionado LG MINI SPLIT SP121CN, obtenida de catálogo (LG, 2020).

Algunas de las características con respecto a la funcionalidad y a la operación que ofrece este sistema de enfriamiento, son, por ejemplo: tener instalado un protector contra altos cambios de voltaje, contar con un funcionamiento silencioso (esto para evitar molestias por los altos niveles de ruido), garantizar que exista un aire limpio y puro (gracias a que el sistema cuenta con un filtro de multi protección) y también poder ofrecer un enfriamiento rápido con función *Jet Cool* [Enfriamiento eficiente]<sup>1</sup>.

Con respecto a las características y dimensiones generales necesarias para el diseño antisísmico de este tercer ejemplo práctico se encuentran, por ejemplo, la capacidad de enfriamiento, la cual presenta un valor correspondiente a  $C_{ac} = 11,500 \frac{BTU}{hr}$ . Las dimensiones que presenta el evaporador en su unidad interior, las cuales corresponden a 895 x 282 x 189 mm (esto según su longitud, ancho y profundidad respectivamente), de la misma manera se cuenta también con las dimensiones correspondientes al evaporador en su unidad exterior, las cuales corresponden a 717 x 498 x 229 mm.

Además, también se cuenta con el peso neto del evaporador para la unidad interior y el peso neto del condensador para la unidad exterior, estos dos valores correspondientes a  $W_{evaporador} = 9 \text{ kg}$  y  $W_{condensador} = 28 \text{ kg}$  respectivamente.

### **Diseño y características del elemento resistente para el anclaje**

El elemento resistente que dará respuesta a las fuerzas sísmicas actuantes en caso de que el empotramiento del fabricante falle, se compone de un marco de solera que abraza al sistema de aire acondicionado. Tiene como función una respuesta a las fuerzas verticales (gravitacionales) principalmente y también dando respuesta a la tensión provocada por la fuerza sísmica que demanda el sistema. Dicho marco de solera y sus elementos de anclaje cuentan con las siguientes características:

---

<sup>1</sup>Traducción propia.

- **Taquete:** HPS-1 *IMPACT ANCHOR* 3.3.15

Se utilizarán dos taquetes de este modelo, los cuales, según el catálogo “*Technical-information-ASSET-DOC-LOC-1543437*” cuentan con las siguientes dimensiones en pulgadas: 3/16 a 1-1/2. El modelo de taquete ya delimitado con anterioridad se puede apreciar de mejor manera en la figura 6.4 mostrada a continuación:



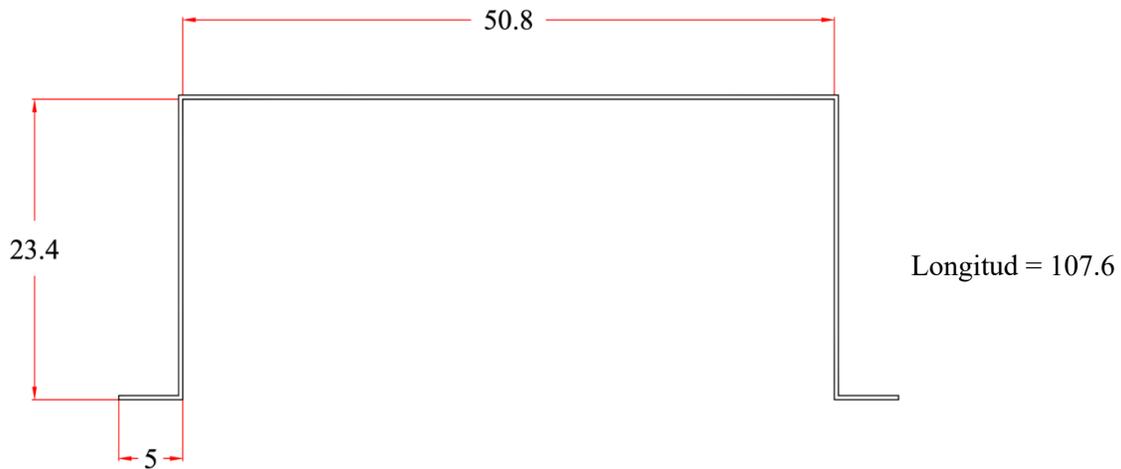
**Figura 6.4** Imagen ilustrativa taquete HPS-1 IMPACT ANCHOR, obtenida de catálogo (HILTI, 2020).

- **Solera:** Solera con acero A-36

Para la construcción del anclaje se calculó una longitud total de acero requerida correspondiente a 1.07 m (detallada en el apartado “*Longitud total de solera de acero requerida*” desarrollado a continuación). Así mismo, se seleccionó del catálogo “*Soleras a 6.10 metros en Acero A-36*” la pieza con las siguientes dimensiones en mm: 3.2 x 50.8.

### **Longitud total de solera de acero requerida**

Para la estimación de la longitud total de solera requerida correspondiente a 1.07 m, simplemente se realizó una suma de cada una de las longitudes individuales en cada tramo de implementación (también tomando en cuenta por seguridad una longitud adicional de 0.5 cm, esto con respecto a las dimensiones exteriores establecidas por el proveedor del sistema de aire acondicionado), dichas dimensiones se pueden apreciar de mejor forma en la figura 6.5 mostrada a continuación:



**Figura 6.5.** Detalle de las medidas considerando holgura para la longitud total requerida de solera. Dimensiones en cm. Creación propia.

### Cálculo del peso propio de la solera de acero requerida

Para la estimación del peso propio de la solera se buscó en la lista de materiales para acero A-36 del proveedor Fortacero, en donde se encontró una solera con dimensiones de 3.2 x 50.8 mm, siendo estas sus medidas de espesor y ancho respectivamente. El material seleccionado cuenta con un peso propio de  $1.27 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$ . En la tabla 6.1 se muestran las dimensiones, ya referidas anteriormente, proporcionadas por el proveedor:

**Tabla 6.1** Soleras a 6.10 metros en Acero A-36. Tabla obtenida en catálogo (FORTACERO, 2020)

ESPESOR X ANCHO in	ESPESOR X ANCHO mm	PESO kg/m
1/8 x 2	3.2 x 50.8	1.27

Una vez conocido el peso lineal del material y realizado el cálculo de la longitud total requerida de solera, se multiplicaron ambos valores para obtener el valor de peso propio correspondiente a  $W_{\text{solera}} = 1.36 \text{ kg}$ .

### Consideraciones estructurales y de diseño:

- Se analizará al sistema de aire acondicionado como un contenido de la edificación base de diseño, por lo tanto y tomando en cuenta su comportamiento físico, se considerará una condición de aceleración para contenidos rígidos.
- Se considera que el equipo de aire acondicionado cuenta de fábrica con su propio sistema de empotramiento al muro, el cual cumple la función de sujetar al mini split en condiciones normales de operación, sin embargo, la implementación del sistema de anclaje propuesto cumplirá con dar sujeción extra y apoyo ante la fuerza sísmica a la que se encontrará sometido el contenido.

### 6.2. Análisis sísmico aplicado a sistema de aire acondicionado

#### a) Cálculo de factores de amplificación sísmica $\Omega_i$ (Contenido rígido)

Para la estimación del factor de amplificación sísmica  $\Omega_i$ : se cuenta con las alturas de diseño correspondientes tanto a la altura que se presenta en el tercer nivel de la edificación base de diseño  $h_i = 7.5$  m, la altura total de la superestructura  $h_n = 17.5$  m, además se cuenta con la aceleración de diseño correspondiente al último nivel de la edificación base  $a_n = 0.94$  g y la aceleración inicial de diseño  $a_0 = 0.304$  g. Sustituyendo estos valores se obtiene que:

$$\Omega_i = \frac{h_i}{h_n} \left( \frac{a_n}{a_0} - 1 \right) + 1$$

$$\Omega_i = 1.89$$

#### b) Estimación del peso total del sistema de aire acondicionado

Para la estimación del peso total del sistema de aire acondicionado: se cuenta con el peso del evaporador  $W_{\text{evaporador}} = 9$  kg y también con el peso del condensador  $W_{\text{condensador}} = 28$  kg y el peso del marco de solera  $W_{\text{solera}} = 1.36$  kg Sustituyendo estos valores en la ecuación (6.1) se obtiene que:

$$W_{\text{ac}} = W_{\text{evaporador}} + W_{\text{condensador}} + W_{\text{solera}} \quad (6.1)$$

$$W_{\text{ac}} = 38.36 \text{ kg}$$

c) Cálculo de fuerza sísmica de diseño ( $F_{s3}$ )

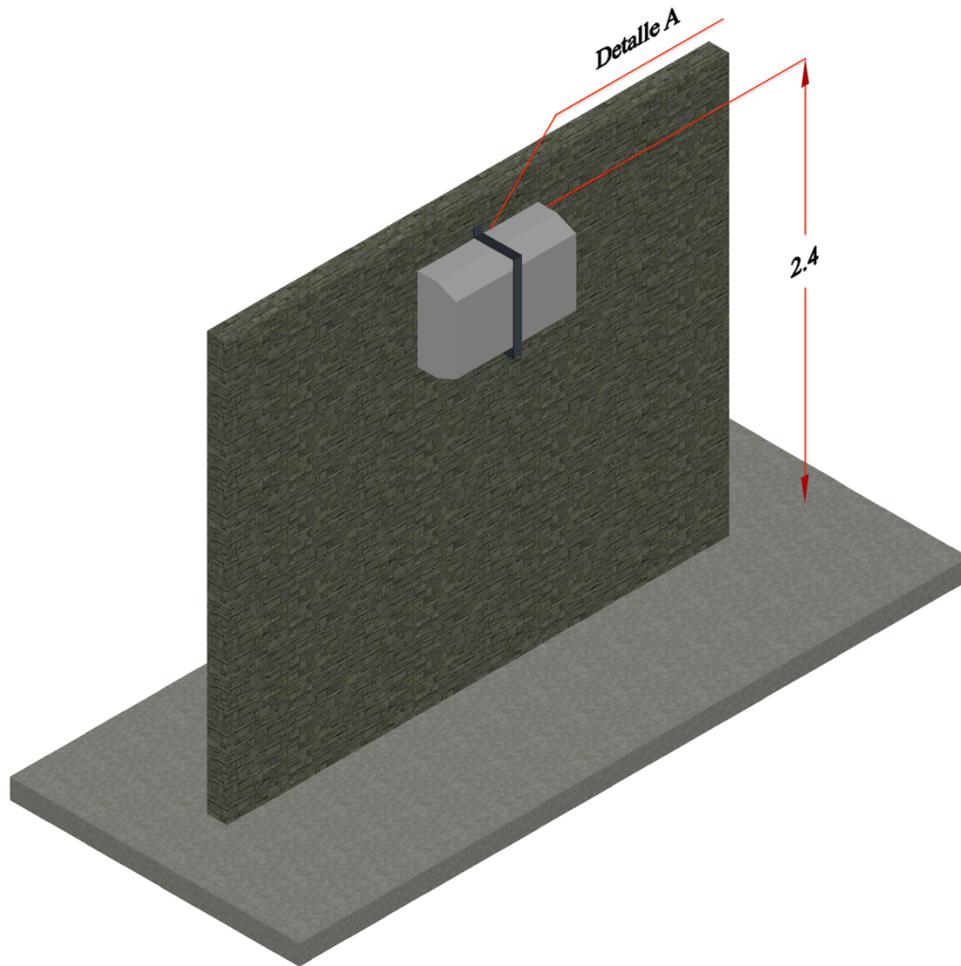
Para la estimación de la fuerza sísmica de diseño que estará afectando al sistema de aire acondicionado: se cuenta con el peso total de dicho sistema el cual contempla un valor de  $W_{ac} = 38.36$  kg, también se tiene el valor del coeficiente de amplificación sísmica correspondiente a  $\Omega_i = 1.89$  y la aceleración inicial de diseño  $a_0 = 0.304$  g. Sustituyendo estos valores en la ecuación (6.2) se obtiene que:

$$F_{s3} = W_{ac} \Omega_i a_0 \quad (6.2)$$

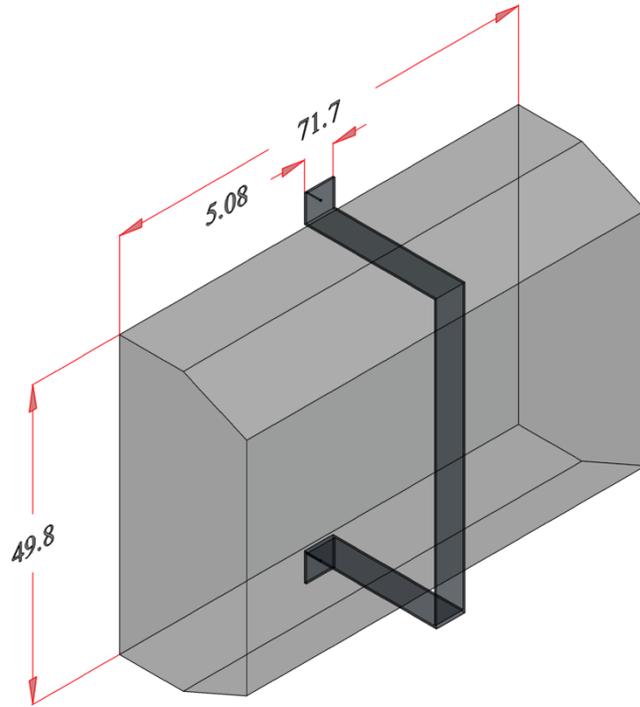
$$F_{s3} = 22.04 \text{ kg}$$

### 6.3. Diseño del anclaje para sistema de aire acondicionado

El anclaje antisísmico para el sistema de aire acondicionado consiste en una abrazadera de solera (acero) que se encuentra anclada a un muro con dos taquetes, esto para un elemento conformado de blocks de concreto. Dicha abrazadera tiene la función de proporcionar una sujeción extra al empotramiento propio del mini split, dando respuesta de apoyo en condiciones de fuerzas sísmicas que puedan desprender el sistema del muro. A continuación, en las figuras 6.6 y 6.7 se muestra un modelado en diferentes vistas de la instalación:



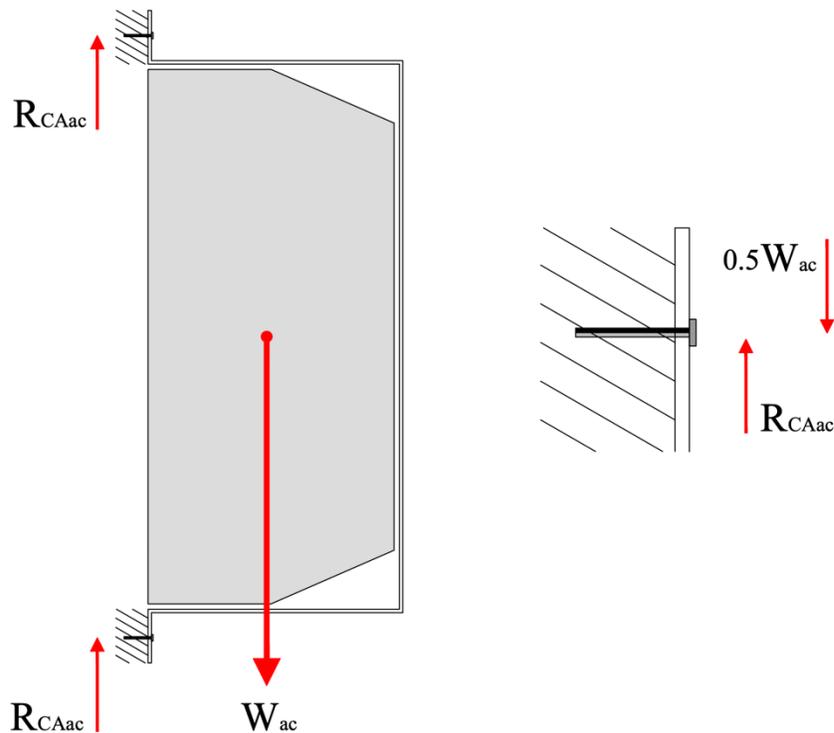
**Figura 6.6** Detalle de instalación del sistema de anclaje para el sistema de aire acondicionado. Dimensiones en m. Creación propia.



**Figura 6.7** Detalle A del soporte de solera para el sistema de aire acondicionado. Dimensiones en cm.  
Creación propia.

## Análisis estructural del sistema de sujeción para aire acondicionado

En la figura 6.7, mostrada a continuación, se pueden visualizar los diagramas de cuerpo libre correspondientes al análisis de las fuerzas gravitacionales que someten por cortante a los anclajes aplicados del sistema. La hipótesis de diseño contempla que la fuerza resistente a cortante propia del anclaje, debe ser mayor que la suma de pesos totales compuesta por el sistema de aire acondicionado (dicha suma de pesos totales está dada por el equilibrio de reacciones verticales propias del empotramiento del sistema de anclaje) y por el marco de solera.



**Figura 6.8** Análisis de fuerzas verticales en el sistema de aire acondicionado. Creación propia.

## Análisis por fuerza cortante en el sistema de anclaje

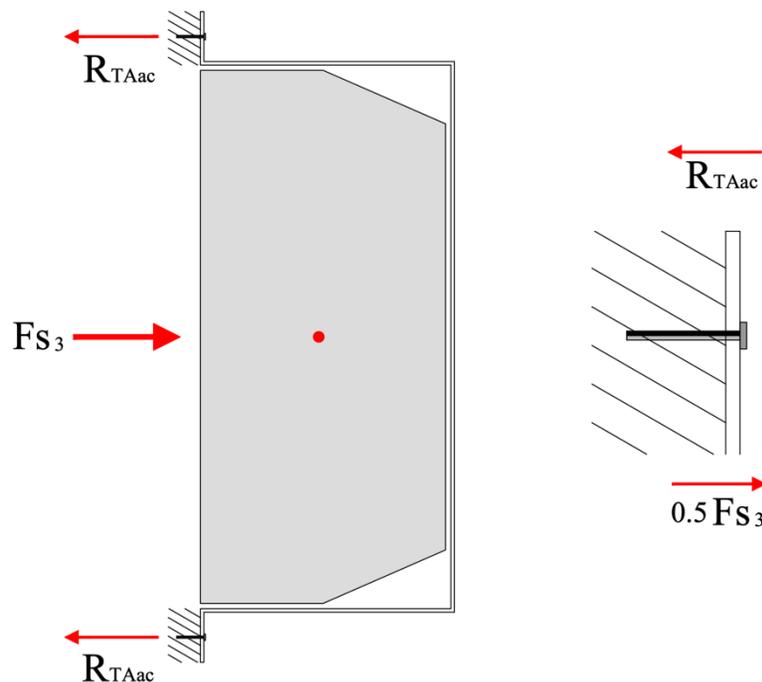
Se tiene que la suma del peso del mini split con el peso propio de la solera da como resultado el peso total del sistema de aire acondicionado  $W_{ac} = 38.36 \text{ kg}$  y también se conoce de la ficha técnica del proveedor del anclaje su resistencia por fuerza cortante, correspondiente a  $R_{CAac} = 54.43 \text{ kg}$ .

Se van a utilizar dos piezas ancla, por lo tanto, para conocer la resistencia total que ofrece el anclaje del sistema con respecto a la fuerza cortante: se realiza la siguiente multiplicación:  $2 * R_{CAac} = 108.86 \text{ kg}$ . En consecuencia, al revisar la estabilidad estructural del contenido para esta condición se obtiene que:

$$2 * R_{CAac} > W_{ac}$$

∴ El contenido se mantendrá estable y seguro ante los efectos de fuerza cortante provocados por las fuerzas gravitacionales

En la figura 6.9, mostrada a continuación, se pueden visualizar los diagramas de cuerpo libre correspondientes a las fuerzas horizontales, que someten por tensión a los anclajes aplicados del sistema. La hipótesis de diseño contempla que la fuerza resistente a tensión del anclaje (la cual contempla que la suma de fuerzas horizontales generadas por acción sísmica, son contrarrestadas por el sistema de anclaje) debe ser mayor a la fuerza sísmica que afecta al sistema de aire acondicionado.



**Figura 6.9** Análisis de fuerzas horizontales en el sistema de aire acondicionado. Creación propia.

### **Análisis por fuerza a tensión en el sistema de anclaje**

Se conoce del análisis sísmico la fuerza sísmica que le pertenece al sistema, en la cual se contempla la suma del peso del mini split con el peso propio de la solera y tiene un valor de  $F_{S3} = 22.04$  kg. También se conoce de la ficha técnica del proveedor del anclaje su resistencia a tensión, correspondiente a  $R_{TAac} = 22.67$  kg.

Se van a utilizar dos piezas ancla, por lo tanto, para conocer la resistencia total que ofrece el anclaje del sistema con respecto a la fuerza por tensión: se realiza la siguiente multiplicación:  $2 * R_{TAac} = 45.34$  kg. Por lo tanto, al revisar la estabilidad estructural del contenido para esta condición se obtiene que:

$$2 * R_{TAac} > F_{S3}$$

∴ El contenido se mantendrá estable y seguro ante los efectos de la fuerza a tensión provocados por la fuerza sísmica

## VII. CONCLUSIONES

Para la elaboración del manual desarrollado en la presente tesis, se realizó un trabajo de investigación, en primera instancia, para conocer el contexto histórico de la actividad sísmica en la Ciudad de México y las pérdidas ocasionadas por los eventos catastróficos más significativos.

Se comienza con la inspiración de crear una herramienta útil y práctica para arquitectos e ingenieros civiles que ayude en el análisis sísmico y, por consecuente, en el diseño de anclajes antisísmicos para Elementos No Estructurales (ENE) y contenidos en las edificaciones. Esto con el objetivo de evitar fallos que se traduzcan en pérdidas humanas principalmente, pero también, para evitar pérdidas económicas en la medida de lo posible.

Para ejecutar el diseño de elementos que den respuesta resistente a las fuerzas sísmicas, es necesario contar con conocimientos para el análisis del comportamiento físico. Para con ello, poder idear soluciones eficaces y prácticas que tengan la capacidad de mitigar los efectos sísmicos. Es importante, además, saber localizar las piezas adecuadas con los diversos proveedores ya que, en el mercado actual, se cuenta con una gran diversidad de opciones que pueden ser muy especializadas o básicas, según las necesidades del diseño.

Se aclara que el objetivo del presente trabajo es dar soluciones prácticas. Por ello, en la selección de los elementos resistentes se eligieron aquellos que fueran de fácil instalación y bajo costo. En algunos casos, la capacidad de los anclajes aplicados se encuentra por encima de los requerimientos de los sistemas resistentes, aún siendo los más básicos, esto nos muestra lo sencillo que puede ser proteger a los ENE y contenidos con piezas y soluciones económicas, que además no requieren de mano de obra especializada para su instalación.

Partiendo de los resultados obtenidos, los cuales muestran comportamientos favorables ante cargas sísmicas y gravitacionales en los ejemplos desarrollados, se puede decir que se cumple con el objetivo del presente trabajo al mitigar el riesgo de fallo en condiciones de servicio, operación y ante las fuerzas producidas por la naturaleza en las edificaciones, logrando así proteger a los ENE y contenidos.

## Referencias

- LG. (2020). *LG. Life's God* . Retrieved from lg.com: <https://www.lg.com/mx/aire-acondicionado-residencial/lg-SP121CN>
- Cimentaciones, N. p. (2020). *smie.org.mx*. Retrieved from <https://www.smie.org.mx/archivos/informacion-tecnica/normas-tecnicas-complementarias/normas-tecnicas-complementarias-diseno-construccion-cimentaciones-2017.pdf>
- Colombiana, R. (2010). *Reglamento Colombiano De Construcción Sismo Resistente Nsr-10*. Bogota: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
- Concreto, N. p. (2020). *Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de cimentaciones*. Retrieved from [smie.org.mx: https://www.smie.org.mx/archivos/informacion-tecnica/normas-tecnicas-complementarias/normas-tecnicas-complementarias-diseno-construccion-estructuras-concreto-2017.pdf](https://www.smie.org.mx/archivos/informacion-tecnica/normas-tecnicas-complementarias/normas-tecnicas-complementarias-diseno-construccion-estructuras-concreto-2017.pdf)
- Behrouzi, A., Breña, S., Elwood, K., Irfanoglu, Kreger, M., Lequesne , R., . . . Wood, R. (2017). “Observations about the Seismic Response of RC Buildings in Mexico City”. *Earthquake Spectra Journal* .
- Berrón, R. (2018). “Sismo del 19 septiembre de 2017”. *XXI Congreso Nacional de Ingeniería Estructural*. México.
- EXPANSIÓN. (2017). *¿Cómo cambiaron las reglas de la construcción después de 1985?* Retrieved from Obras por EXPANSIÓN: <https://obras.expansion.mx/construccion/2017/09/25/como-cambiaron-las-reglas-de-la-construccion-despues-de-1985>
- F, J. F. (2007). Criterios de diseño para estructuras en zonas costeras. Medellín, Colombia.
- Farbiarz, J. (2007). *Criterios de diseño para estructuras en zonas costeras* . Colombia .
- Federal, G. d. (2004, enero 29). Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal . *Gaceta Oficial del Distrito Federal* . Ciudad de México , México .
- FORTACERO. (2020). Retrieved from [fortacero.com: https://www.fortacero.com/cat\\_soleras/](https://www.fortacero.com/cat_soleras/)
- Gomar, E. B. (2020). *Productos* . Retrieved from [gomarbajio.com: http://www.gomarbajio.com/fichas/TUBERIA/1.2-TUBO-CED-40-GALVANIZADO/HYLSA-CED-40.pdf](http://www.gomarbajio.com/fichas/TUBERIA/1.2-TUBO-CED-40-GALVANIZADO/HYLSA-CED-40.pdf)
- Guide, K.-T. T. (2020). *HILTI*. Retrieved from [hilti.com: https://www.hilti.com/search?text=KB-TZ2%20Technical%20guide%20&tab=](https://www.hilti.com/search?text=KB-TZ2%20Technical%20guide%20&tab=)
- HILTI. (2020). *Technical information*. Retrieved from [hilti.com.mx: https://www.hilti.com.mx/medias/sys\\_master/documents/h84/h65/9485214154782/Technical-information-ASSET-DOC-LOC-1543437.pdf](https://www.hilti.com.mx/medias/sys_master/documents/h84/h65/9485214154782/Technical-information-ASSET-DOC-LOC-1543437.pdf)
- NFPA. (2022). *Nation Fire Protection Association*. Retrieved from [nfpa.org: https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=13](https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=13)
- NTC. (2020, junio 9). Acuerdo por el que se actualizan las Normas Técnicas Complementarias para diseño por sismo con comentarios. *Gaceta Oficial de la Ciudad de México*, pp. 6-105.

- NTC. (2020, octubre 19). Acuerdo por el que se actualizan las Normas Técnicas Complementarias para diseño y construcción de estructuras de mampostería con comentarios. *Gaceta Oficial de la Ciudad de México* , pp. 29-157.
- NTCS. (2017). *Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo*. México : eglamento de Construcciones del Distrito Federal. Gaceta Oficial de la Ciuda de México .
- Rodríguez, M. (2019). Interpretación de los daños y colapsos en edificaciones observados en la Ciudad de México en el terremoto del 19 de septiembre 2017. *Revista de Ingeniería Sísmica No.101*, 1-18.
- TOLCO Pipe Hangers, S. a. (2020). *EATON* . Retrieved from eaton.com: <https://www.eaton.com/us/en-us/products/support-systems/fire-protection-solutions.html>

## ANEXOS

### Anexo A

#### **Especificaciones sobre el grado de desempeño en elementos no estructurales y usos de las edificaciones en Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente y Reglamento de Construcción del Distrito Federal para el año 2017**

##### **A.1 Clasificación del grado de desempeño en elementos no estructurales**

Según lo dictaminado en el “*Título A*” del RCCOL, el grado de desempeño de un ENE puede definirse como superior, bueno o malo, a continuación, se definirán las características de cada una de estas tres clasificaciones:

- a) SUPERIOR. Es aquel en donde el daño a los ENE es mínimo y no interfiere con la operación de la superestructura debido a la ocurrencia del sismo de diseño.
- b) BUENO. Es aquel en donde el daño que presentan los ENE es completamente reparable y se pueden presentar ciertas complicaciones con respecto al comportamiento de la superestructura con posteridad a la ocurrencia del sismo de diseño.
- c) BAJO. Es aquel en donde se presentan daños graves e irreparables en la superestructura, pero sin desprendimiento o colapso total del ENE., debido a la ocurrencia del sismo de diseño.

Un aspecto relevante a considerar, es que en el RCCOL también se especifica que los ENE constituidos en cada uno de los grupos de uso definidos para sus edificaciones, deben cumplir con la siguiente clasificación mostrada a continuación en la tabla A.1, esto con respecto a su grado de desempeño:

**Tabla A.1** Grado de desempeño mínimo requerido para cada grupo de uso, Tabla obtenida de (Colombiana, 2010)

<b>Grupo de uso</b>	<b>Grado de desempeño</b>
IV	Superior
III	Superior
II	Bueno
I	Bajo

## A.2 Usos de las edificaciones en Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente

Los grupos de uso de las diversas edificaciones que analiza el RCCOL se pueden describir de la siguiente forma:

- **Grupo IV:** Edificaciones indispensables. Comprende aquellas edificaciones, y sus accesos, que son indispensables después de un sismo, para atender la emergencia y preservar la salud y la seguridad.
  - a) Todas las edificaciones que componen hospitales, clínicas y centros de salud que dispongan de servicios de cirugía, salas de cuidados intensivos, salas de neonatos y/o atención de urgencias.
  - b) Edificaciones designadas como refugios para emergencias, centrales de aeronavegación, hangares de aeronaves de servicios de emergencia.
- **Grupo III:** Edificaciones de atención a la comunidad. Son aquellas edificaciones de atención a la comunidad que deben funcionar durante y después de un sismo, y cuya operación no puede ser trasladada rápidamente a un lugar alterno.
  - a) Estaciones de bomberos, defensa civil, policía, cuarteles de las fuerzas armadas, y sedes de las oficinas de prevención y atención de desastres.
  - b) Guarderías, escuelas, colegios, universidades y otros centros de enseñanza.
- **Grupo II:** Estructuras de ocupación especial
  - a) Edificaciones donde se puedan reunir más de 200 personas en un mismo salón.
  - b) Edificaciones donde trabajen o residan más de 3000 personas.
  - c) Edificios gubernamentales.
- **Grupo I:** Estructuras de ocupación normal. Todas las edificaciones cubiertas por el alcance de este Reglamento, pero que no se han incluido en los grupos II, III y IV.

### A.3 Usos de las edificaciones en Reglamento de Construcción del Distrito Federal 2017

Los usos de las edificaciones según el RCDF-2017 son los siguientes:

- **Grupo A.** Edificaciones cuya falla estructural podría tener consecuencias particularmente graves. A su vez esta primera clasificación se subdivide en los grupos A1 y A2.
- **Subgrupo A1.** Algunos ejemplos del tipo de edificaciones para esta clasificación son los siguientes:
  - a) Hospitales, aeropuertos, terminales y estaciones de transporte, instalaciones militares, centros de operación de servicios de emergencia, subestaciones eléctricas y nucleares.
- **Subgrupo A2.** Algunos ejemplos del tipo de edificaciones para esta clasificación son los siguientes:
  - a) Estadios, salas de reuniones, templos y auditorios, escuelas.
- **Grupo B.** Edificaciones comunes destinadas a viviendas, oficinas y locales comerciales, hoteles y construcciones comerciales e industriales no incluidas en el Grupo A.

## Anexo B

### Obtención del espectro elástico de diseño en la zona de estudio

Todas las expresiones y ecuaciones matemáticas utilizadas en este anexo, son referenciadas según lo dictado por las Normas Técnicas Complementarias para Diseño Por Sismo, en el apartado titulado “3.1.2 Espectros obtenidos con los parámetros básicos”.

#### B.1 Aceleraciones de diseño del espectro elástico

Para la obtención del espectro elástico de diseño, primero se propuso una distribución de diversos periodos base, los cuales presentaron un incremento de tiempo de 0.1 s, esto comenzando desde un tiempo inicial de 0.0001 s (un valor muy aproximado a cero) hasta llegar a un tiempo final propuesto de 4 s.

A continuación, se muestra la tabla B.1, en la cual se puede apreciar como muestra, los primeros 10 valores iniciales del periodo sísmico base de la superestructura a utilizar para la obtención del espectro elástico de diseño:

**Tabla B.1** Primeros y últimos 10 incrementos de periodos base entre tiempo inicial y tiempo final. Unidades en s

T[s]	T[s]
0.0001	3
0.1	3.1
0.2	3.2
0.3	3.3
0.4	3.4
0.5	3.5
0.6	3.6
0.7	3.7
0.8	3.8
0.9	3.9
1	4

Ya contando con estos periodos base, se calcularon las aceleraciones de diseño del espectro elástico, esto con ayuda de las siguientes expresiones algebraicas:

$$a = \begin{cases} a_0 + (\beta_c - a_0) \frac{T}{T_a} \cdot, & \text{si } T \leq T_a \\ \beta c & \text{si } T_a \leq T < T_b \\ \beta c p \left(\frac{T_b}{T}\right)^2 & \text{si } T_a \leq T < T_b \end{cases} \quad (\text{b.1})$$

En donde:

$$p = k + (1 - k) \left(\frac{T_b}{T}\right)^2 \quad (\text{b.2})$$

$$\beta = 1 \text{ (cuando no } \exists \text{ la intersacción suelo – estructura)}$$

Dichas aceleraciones de diseño del espectro elástico estimadas se pueden apreciar con claridad en la tabla B.2 presentada a continuación:

**Tabla B.2** Primeros y últimos 10 valores de aceleraciones estimadas. Unidades de g

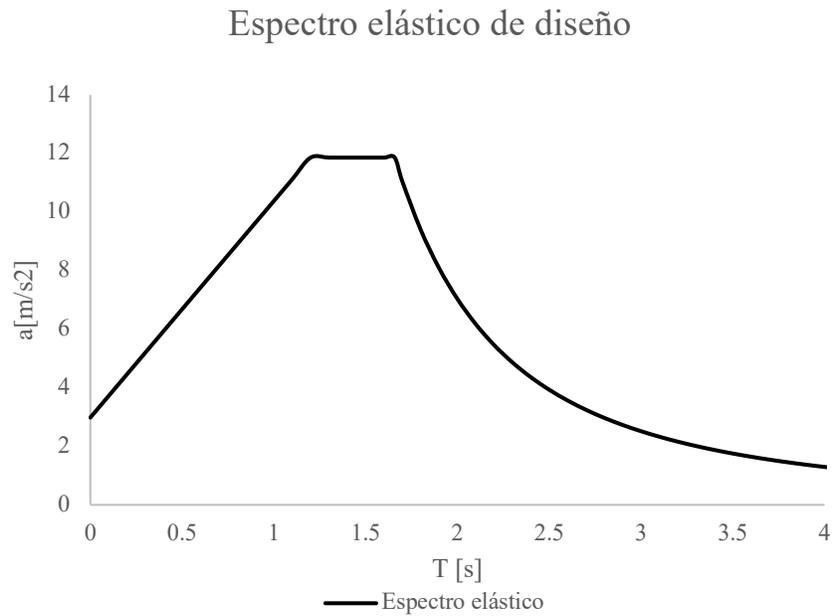
T[s]	a [g]	T[s]	a [g]
0.0001	0.30	3	0.26
0.1	0.38	3.1	0.24
0.2	0.45	3.2	0.22
0.3	0.53	3.3	0.20
0.4	0.61	3.4	0.19
0.5	0.68	3.5	0.18
0.6	0.76	3.6	0.17
0.7	0.83	3.7	0.16
0.8	0.91	3.8	0.15
0.9	0.98	3.9	0.14
1	1.06	4	0.13

## B.2 Aceleraciones de diseño del espectro elástico afectadas por un factor de importancia

Una vez estimadas las aceleraciones de diseño del espectro elástico, cada una de estas magnitudes deben ser multiplicadas por el factor de importancia de la edificación base de diseño. Como nuestra superestructura presenta un factor de importancia de 1, la magnitud de las aceleraciones de diseño mencionadas con anterioridad se mantendrá constante.

### B.3 Espectro elástico de diseño

Ya contando con las aceleraciones de diseño para cada uno de los periodos base propuestos, simplemente se traza el espectro elástico de diseño. A continuación, dicho espectro será representado en la figura B.1:



**Figura B.1.** Espectro elástico de diseño. Unidades en  $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$