



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
**CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

**TEMA:**

“EDIFICIOS CON CARGAS ORTOGONALES Y NO ORTOGONALES  
MODELADOS SEGÚN ESPECIFICACIONES NEC-2015 y ASCE7-16 CON  
FORMA REGULAR E IRREGULAR”

**PROYECTO PRACTICO DEL EXAMEN COMPLEXIVO**

“CASO PRÁCTICO”

**AUTOR:**

JAIRO ANTONIO GONZÁLEZ RÍOS

**TUTOR:**

ING. JAIME FERNANDO ARGUDO RODRÍGUEZ, Ph.D.

**LA LIBERTAD, ECUADOR**

**2022**

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CIVIL**

**CARRERA DE INGENIERÍA**

**TEMA:**

**“EDIFICIOS CON CARGAS ORTOGONALES Y NO  
ORTOGONALES MODELADOS SEGÚN ESPECIFICACIONES  
NEC-2015 y ASCE7-16 CON FORMA REGULAR E IRREGULAR”**

**PROYECTO PRACTICO DEL EXAMEN COMPLEXIVO**

**“CASO PRÁCTICO”**

**AUTOR:**

**JAIRO ANTONIO GONZÁLEZ RIOS**

**TUTOR:**

**ING. JAIME FERNANDO ARGUDO RODRÍGUEZ, P.h.D**

**UPSE**  
**LA LIBERTAD, ECUADOR**

**2022**

# TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



---

Ing. Jonny Villao Borber, Ms.C  
**DIRECTOR DE CARRERA**



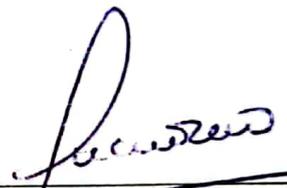
---

Ing. Jaime Argudo Rodríguez, Ph.D.  
**DOCENTE TUTOR**



---

Ing. Pinoargote Rovello Vianna, Msc  
**DOCENTE ESPECIALISTA**



---

Ing. Lucrecia Moreno Alcívar, Mg.  
**DOCENTE UIC**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo investigativo se lo dedico principalmente a Dios, por su bendición de permitirme culminar una meta tan especial, a mi familia por su ánimo y apoyo constante en especial a mis padres y hermanos. A mis amigos cercanos que han esperado este logro tanto como yo.

# CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO



## Document Information

---

Analyzed document	TESINA GONZÁLEZ RIOS Fina_1 Ver2.docx (D142666462)
Submitted	8/5/2022 1:42:00 AM
Submitted by	JAIME F ARGUDO
Submitter email	jargudo@upse.edu.ec
Similarity	1%
Analysis address	jargudo.upse@analysis.arkund.com

## Sources included in the report

---

<b>SA</b>	VILLAMARIN_MAYRA_ENSAYO_CENTRO_MASAS_CENTRO_RIGIDEZ_EXCENTRICIDAD.pdf Document VILLAMARIN_MAYRA_ENSAYO_CENTRO_MASAS_CENTRO_RIGIDEZ_EXCENTRICIDAD.pdf (D110372896)	 2
<b>W</b>	URL: <a href="https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/6504/1/UPSE-TIC-2021-0025.pdf">https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/6504/1/UPSE-TIC-2021-0025.pdf</a> Fetched: 7/18/2022 6:30:48 PM	 1

Santa Elena, 04 de agosto de 2022

## CARTA DE ORIGINALIDAD

**Ing. Jonny Raúl Carlos Villao Borbor. MS.c.**  
**Director de la Carrera de Ingeniería Civil**  
**Universidad Estatal Península de Santa Elena**

Cumpliendo con los requisitos exigidos, envío a Uds. La Tesina Titulada "EDIFICIOS CON CARGAS ORTOGONALES Y NO ORTOGONALES MODELADOS SEGÚN ESPECIFICACIONES NEC-2015 y ASCE7-16 CON FORMA REGULAR E IRREGULAR", para que se considere la Sustentación, señalando lo siguiente:

1. La investigación es original.
2. No existen compromisos ni obligaciones financieras con organismos estatales ni privados que puedan afectar el contenido, resultados o conclusiones de la presente Investigación.
3. Constatamos que la persona designada como autor es el responsable de generar la versión final de la investigación.
4. El Tutor certifica la originalidad de la investigación y el desarrollo de la misma cumpliendo con los principios éticos.

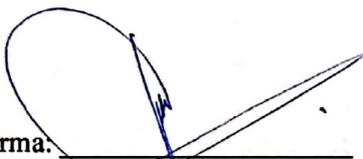
Autor: Jairo Antonio González Rios

Firma: 

Nº de cédula: 2450408576

Correo: jairo.gonzalezrios@upse.edu.ec - Jairo97-GR@outlook.es

Tutor: Ing. Argudo Rodríguez Jaime Fernando. Ph.D.

Firma: 

Nº de Cédula: 0908377229

Correo: jargudo@upse.edu.ec

## **AGRADECIMIENTOS**

Muy orgulloso de hacer mención de todos a quienes agradezco el llegar al cumplimiento de esta meta tan anhelada que es mi título profesional, a Dios por darme la voluntad de seguir con este proceso de realización personal. A mis padres muchas gracias; Lic. Kelly Rios que con comprensión y cariño ha sabido animarme para cumplir mis objetivos, al Sr. Hipolito González mi padre que ha sido y será mi guía espiritual, a mis familiares y amistades por ser un apoyo constante en todo este trayecto.

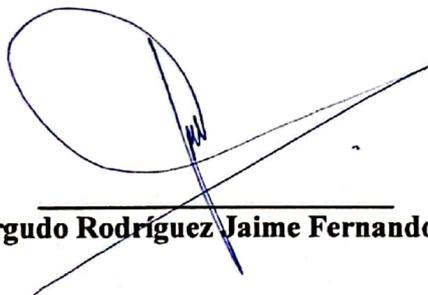
A la universidad por tener docentes de calidad que imparten sus conocimientos en clases día tras día, en especial al ing. Jaime Argudo, Ph.D. quien además es una excelente persona y por brindar una guía excepcional, muchas gracias.

# **CERTIFICACIÓN DEL TUTOR**

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación/Estudio de caso práctico “EDIFICIOS CON CARGAS ORTOGONALES Y NO ORTOGONALES MODELADOS SEGÚN ESPECIFICACIONES NEC-2015 y ASCE7-16 CON FORMA REGULAR E IRREGULAR”, elaborado por el Sr. GONZÁLEZ RIOS JAIRO ANTONIO, estudiante de la carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil, me permito declarar que luego de haberla dirigido, estudiado y revisado, la apruebo en su totalidad.

**TUTOR**



**Ing. Argudo Rodríguez Jaime Fernando. Ph.D.**

La Libertad, a los 05 del mes de agosto del año 2022

# ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	iii
CARTA DE ORIGINALIDAD .....	v
AGRADECIMIENTOS .....	vii
LISTA DE FIGURA .....	xi
LISTA DE TABLAS .....	xii
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.3. OBJETIVOS.....	3
1.3.1. Objetivo General. ....	3
1.3.2. Objetivos Específicos. ....	3
1.4. ALCANCE.....	3
1.5. VARIABLES .....	4
1.5.1 Variables Dependientes.....	4
1.5.2 Variables Independientes. ....	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	5
2.1. DESEMPEÑO SÍSMICO ESTRUCTURAL.....	5

2.2. CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL .....	5
2.3. MÉTODO DE CARGAS ESTÁTICAS EQUIVALENTE.....	10
2.3.1. Determinación del Espectro por Sa. ....	10
2.3.2. Cortante Basal. ....	11
2.4. MODELAMIENTO CON CARGAS SÍSMICAS ORTOGONALES.....	13
2.4.1. Metodologías de análisis de ortogonalidad. ....	13
2.4.2. Importancia de las cargas sísmicas ortogonales .....	17
CAPÍTULO III: MODELACIÓN ESTRUCTURAL .....	18
3.1. DESCRIPCIONES DE LAS ESTRUCTURAS A MODELAR.....	18
3.2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LAS EDIFICACIONES .....	22
3.2.1 Consideraciones de Carga. ....	22
3.2.2. Consideraciones para el Modelamiento Matemático. ....	24
3.2.4 Cargas Estáticas Laterales Equivalentes. ....	30
3.3 CONTROL GLOBAL DE DESEMPEÑO SÍSMICO .....	33
3.3.1 De Estructura Regular. ....	33
3.3.2 De Estructura Irregulares. ....	37
3.4 EVALUACIÓN DE ELEMENTOS CRÍTICOS DE LOS MODELOS .	41
3.4.1 Modelos Regulares.....	41
3.4.2 Modelos Irregulares. ....	43
CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	46

4.1. CONCLUSIONES .....	46
4.2. RECOMENDACIONES .....	48
BIBLIOGRAFÍA .....	49
ANEXOS .....	51

## LISTA DE FIGURA

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1</b> Estructuras Regulares .....	6
<b>Figura 2</b> Configuración estructural recomienda.....	7
<b>Figura 3</b> Configuraciones estructurales no recomendadas.....	7
<b>Figura 4</b> Metodología de estudio .....	10
<b>Figura 5</b> Aplicación de fuerzas ortogonales en el centro de masa por piso.....	13
<b>Figura 6</b> Aplicación de fuerzas ortogonales.....	15
<b>Figura 7</b> Aplicación de fuerzas ortogonales.....	16
<b>Figura 8</b> Elevación de la estructura regular .....	19
<b>Figura 9</b> Vista en planta del edificio residencial regular. ....	19
<b>Figura 10</b> Estructura Irregular.....	20
<b>Figura 11</b> Vista en plata del edificio irregular .....	21
<b>Figura 12</b> Espectro de diseño según NEC-15 para Santa Elena – Suelo “C” .....	29

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1</b> Clasificación de Configuración Estructural .....	6
<b>Tabla 2</b> Coeficientes de irregularidad en planta.....	8
<b>Tabla 3</b> Coeficientes de irregularidad en elevación .....	8
<b>Tabla 4</b> Irregularidades estructurales .....	9
<b>Tabla 5</b> Fuerza cortante basal de diseño.....	12
<b>Tabla 6</b> Distribución de fuerzas sísmicas laterales.....	12
<b>Tabla 7</b> Factores de redundancia para que $\rho = 1$ tomado de la norma .....	14
<b>Tabla 8</b> Carga muerta de la estructura regular .....	22
<b>Tabla 9</b> Carga viva de la estructura regular.....	23
<b>Tabla 10</b> Cargas Muertas de la estructura irregular .....	23
<b>Tabla 11</b> Cargas Vivas aplicadas en la estructura irregular .....	23
<b>Tabla 12</b> Modelados de análisis y Cargas aplicadas .....	24
<b>Tabla 13</b> Excentricidad equivalente .....	25
<b>Tabla 14</b> Combinaciones aplicadas en los modelos .....	25
<b>Tabla 15</b> Factores y Coeficientes estructurales para las estructuras regular e irregular .....	28
<b>Tabla 16</b> Datos para definir el espectro NEC-15 de estructura regulares e irregular .....	29
<b>Tabla 17</b> Periodo de vibración de la estructura regular.....	30
<b>Tabla 18</b> Periodo de vibración de la estructura irregular .....	30
<b>Tabla 19</b> Cortante basal estático de diseño V(ton) para los modelos regulares....	31

<b>Tabla 20</b> Cortante basal y distribución de fuerzas sísmicas de la estructura Regular, NEC-15 sismo en Y .....	31
<b>Tabla 21</b> Cortante basal y distribución de fuerzas sísmicas de la estructura Regular, NEC-15 sismo en X .....	31
<b>Tabla 22</b> Cortante basal estático de diseño V(ton) para los modelos irregulares	32
<b>Tabla 23</b> Cortante basal y distribución de fuerzas sísmicas de la estructura Irregular, NEC-15 sismo en Y .....	32
<b>Tabla 24</b> Cortante basal y distribución de fuerzas sísmicas de la estructura Irregular, NEC-15 sismo en X .....	32
<b>Tabla 25</b> Resumen de chequeo de Torsión excesiva mediante desplazamientos críticos en dirección X .....	33
<b>Tabla 26</b> Chequeo de Torsión excesiva mediante desplazamientos críticos en dirección Y .....	34
<b>Tabla 27</b> Resumen de Derivas máximas de las estructuras Regulares en dirección X.....	35
<b>Tabla 28</b> Resumen de Derivas máximas de las estructuras Regulares en dirección Y.....	36
<b>Tabla 29</b> Chequeo de Torsión excesiva mediante desplazamientos críticos en dirección X.....	37
<b>Tabla 30</b> Chequeo de Torsión excesiva mediante desplazamientos críticos en dirección Y.....	38
<b>Tabla 31</b> Derivas máximas de las estructuras Irregular en dirección X.....	39
<b>Tabla 32</b> Derivas máximas de las estructuras Irregular en dirección Y.....	40

<b>Tabla 33</b> Comparación $P_u$ para los Modelos 1, 2 y 3 en sus columnas críticas en dirección X.....	41
<b>Tabla 34</b> Comparación $P_u$ para los Modelos 1, 2 y 3 en sus columnas críticas en dirección Y.....	42
<b>Tabla 35</b> Comparación de momento $M_u$ para los modelos 1, 2 y 3 en dirección X.....	42
<b>Tabla 36</b> Comparación de momentos $M_u$ para los modelos 1, 2 y 3 en dirección Y.....	43
<b>Tabla 37</b> Comparación $P_u$ para los Modelos 3, 4 y 5 en sus columnas críticas en dirección X.....	44
<b>Tabla 38</b> Comparación de momentos $M_u$ para los modelos 1, 2 y 3 en dirección Y.....	44
<b>Tabla 39</b> Comparación de momentos $M_u$ para los modelos 4, 5 y 6 en dirección X.....	45
<b>Tabla 40</b> Comparación de momentos $M_u$ para los modelos 4, 5 y 6 en dirección Y.....	45

“EDIFICIOS CON CARGAS ORTOGONALES Y NO ORTOGONALES  
MODELADOS SEGÚN ESPECIFICACIONES NEC-2015 y ASCE7-16 CON  
FORMA REGULAR E IRREGULAR”

**Autor:** González Rios Jairo Antonio

**Tutor:** Ing. Argudo Rodríguez Jaime Fernando, Ph.D.

**RESUMEN**

El trabajo de investigación comprenderá de un análisis comparativo de dos diferentes edificaciones de Hormigón Armado considerándolas como: regular sin presencia de torsión excesiva e irregular con un alto porcentaje de torsión excesiva, con distintas configuraciones estructurales (en geometría, usos, diseños e importancia). Mediante el método estático de cargas horizontales equivalente se consideran los factores de penalización para planta  $\Phi_P$  y  $\Phi_E$  para elevación analizando la configuración estructural dependiendo de las irregularidades arquitectónicas y estructurales de los modelos, analizando el comportamiento de las estructuras cuando se aplican y no las cargas ortogonales según las especificaciones de las normas vigentes ecuatoriana NEC-15 y norteamericana ASCE 7-16. Como resultado de la investigación y comparación de las normas sobre la incidencia de del comportamiento estructural bajo las cargas ortogonales, se propone que NEC-15 considere un porcentaje más reducido ( $\geq 50\%$ ) en la dirección perpendicular a la dirección principal de análisis X o Y cuando que se aplica el 100%, para obtener un mejor desempeño estructural ante un evento sísmico.

**Palabras claves:** *Cargas ortogonales, normas, estructuras regulares, estructuras irregulares, configuración estructural.*

“BUILDINGS WITH ORTHOGONAL AND NON-ORTHOGONAL LOADS  
MODELED ACCORDING TO NEC-15 AND ASCE7-16 SPECIFICATIONS  
WITH REGULAR AND IRREGULAR SHAPE”

**Author:** González Rios Jairo Antonio

**Tutor:** Ing. Argudo Rodríguez Jaime Fernando, Ph.D

**ABSTRACT**

The research work will include a comparative analysis of two different reinforced concrete buildings considering them as: regular without excessive torsion and irregular with a high percentage of excessive torsion, with different structural configurations (in geometry, uses, designs and importance). By means of the static method of equivalent horizontal loads, the penalty factors for plant  $\Phi_P$  and  $\Phi_E$  for elevation are considered, analyzing the structural configuration depending on the architectural and structural irregularities of the models, analyzing the behavior of the structures when orthogonal loads are applied and not according to the specifications of the current Ecuadorian NEC-15 and North American ASCE 7-16 standards. As a result of the research and comparison of the standards on the incidence of structural behavior under orthogonal loads, it is proposed that NEC-15 consider a smaller percentage ( $\geq 50\%$ ) in the direction perpendicular to the main direction of analysis X or Y when 100% is applied, in order to obtain a better structural performance in a seismic event.

**Key words:** *orthogonal loads, standards, regular structures, irregular structures, structural configuratio.*

# CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Como expresan Aguirre & Gallegos (2018) Ecuador es un país con actividad sismotectónica muy alta al encontrarse ubicado dentro del Cinturón de Fuego del Pacífico, lugar donde se libera el 75% de la energía sísmica del planeta (p.1). Ecuador es catalogado como uno de los países con alto riesgo sísmico, razón por lo que es indispensable que las construcciones civiles estén regidas según las normativas vigentes, siendo esta la norma NEC -15 y ASCE7-16.

La falta de aplicación de las normas y la construcción de obras civiles por mano de obra no calificada han conllevado a que las estructuras tengan un comportamiento deficiente durante un sismo, para reducir los colapsos y daños generados por este tipo de edificaciones es necesario realizar estudios previos que tomen en consideración las fuerzas horizontales ortogonales ya que, estas ayudarán a un mejor modelamiento de la estructura ya sea regular o irregular.

Es indispensable su aplicación ya que, cuando se produce un movimiento telúrico las ondas viajan en distintas direcciones haciendo que el suelo se mueva horizontal y verticalmente, generando oscilaciones de las edificaciones que se encuentran en su superficie, al no conocer la dirección del sismo es importante que durante un modelamiento estructural sean aplicadas las cargas ortogonales, ya que estas simulan el comportamiento de este evento mediante la aplicación de cargas en dos direcciones a 90°. Cuando los efectos ortogonales no son considerados, las cargas se aplican en una dirección aisladamente.

Las especificaciones NEC-15 y ASCE7-16 establecen criterios de diseños que se deben cumplir para que una edificación tenga un buen desempeño sísmico. Estableciéndose controles que las estructuras deben cumplir para un comportamiento sísmico mínimo aceptable. Por lo mencionado este trabajo de investigación se plantea realizar un análisis comparativo de estructuras regulares e irregulares que serán modeladas en el software ETABS, con la finalidad de una evaluación del comportamiento si se aplicarán o no cargas sísmicas ortogonales.

## **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El ser humano enfrenta numerosos fenómenos naturales, entre ellos los sismos. Estos según su intensidad pueden provocar daños a las estructuras que han sido construidas sin tomar en cuenta los criterios y especificaciones de las normas de diseño sismo resistente. El Ecuador es uno de los países que ha sufrido por causa de estos eventos naturales dado el inadecuado control de obras civiles, lo que causa devastadoras pérdidas tanto humanas como económicas.

Por lo tanto, es importante conocer el desempeño sísmico de estructuras regulares e irregulares bajo cargas ortogonales, debido a su complejo comportamiento ante estos eventos sísmicos. Se plantea evaluar el comportamiento de dichas estructuras aplicando distintos patrones de cargas ortogonales en una sola dirección, junto a los diferentes factores de seguridad que especifican las normas NEC-2015 y ASCE7-16.

Este trabajo pretende dar a conocer la importancia de aplicar cargas sísmicas ortogonales ya que, sin su aplicación el desempeño sísmico de la edificación es distinto y a su vez vulnerable ante eventos post-sísmico. Es importante hacer investigaciones que busquen comprobar los requerimientos y exigencias de las normas sismo-resistentes.

## **1.2. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

El estudio comparativo con las Norma Ecuatoriana y Norteamérica ofrecerá información sobre el comportamiento de las estructuras cuando se aplican las cargas ortogonales siguiendo sus especificaciones, para conocer sus discrepancias en sus formas de diseño, los códigos y directrices de diseño sísmico modernos exigen que se tengan en cuenta los efectos de dos movimientos del suelo horizontales ortogonales en el diseño sísmico. Los diseñadores tienen la opción de aplicar simultáneamente las cargas sísmicas mediante software estructurales a lo largo de los ejes principales de la estructura o de combinar los efectos de las cargas aplicadas independientemente en cada dirección ortogonal. Por lo tanto, se plantea esta investigación con la finalidad de resaltar la importancia del análisis sismorresistente y la aplicación de cargas ortogonales, ya que desempeñan un papel importante en

el diseño de los elementos estructurales y el refuerzo de edificaciones. Dependiendo de los resultados del análisis pueden variar las cuantías de acero de refuerzo y las dimensiones de secciones transversales de la edificación de estudio, para un desempeño satisfactorio donde se pueda salvaguardar las vidas de quienes ocupan las estructuras.

Esta investigación tiene su justificación en que, actualmente no existen consensos entre las normas NEC-15 Y ASCE7-16 sobre la mejor combinación de efectos sísmicos ortogonales, así como de sus implicaciones en el análisis, diseño, nivel de daño y costos de construcción de las estructuras (Mejía, 2019, p. 4). Por este motivo es importante conocer los parámetros de NEC-15 y compararla con una de las normas internacionales más importantes y estudiadas como es la ASCE 7-16.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. Objetivo General.**

Realizar un modelamiento de estructuras regulares e irregulares con efectos ortogonales aplicando las especificaciones NEC-SE-DS 2015 y ASCE7-16, comparando los resultados cuando estos no se aplican.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos.**

- OB1. Modelar las estructuras aplicando el software estructural ETABS.
- OB2. Realizar la selección de las estructuras regular e irregular para los análisis sísmicos planteados, siguiendo las normativas vigentes correspondientes.
- OB3. Comparar el comportamiento de las estructuras aplicando las fuerzas sísmicas ortogonales en la dirección más crítica resultante de la ecuación  $\pm EQ_x \pm 0.3EQ_y$  y  $\pm 0.3EQ_x \pm EQ_y$ .

### **1.4. ALCANCE**

Se analizarán y modelarán, dos edificaciones: regular de cinco pisos e irregular de cuatro pisos de hormigón armado, aplicando las cargas ortogonales como lo indica las normas americanas ASCE7-16 y la norma ecuatoriana NEC-15

utilizando el software estructural ETABS (análisis estático equivalente), donde se podrán observar los distintos comportamientos cuando son y no sometidos a cargas ortogonales. Logrando de esta manera conocer que norma es más eficiente, simulando el mejor desempeño de la estructura ante la fuerza de un sismo, mediante el cumplimiento de las distintas penalizaciones que impone la norma NEC-15 reduciendo daño y previendo colapsos futuros.

## **1.5. VARIABLES**

### **1.5.1 Variables Dependientes.**

- Análisis estático Equivalente.
- Cargas Ortogonales
- Rigidez en capacidad sísmica

### **1.5.2 Variables Independientes.**

- Ubicación de sitio (zonificación sísmica).
- Configuración estructural regular (5 pisos) e irregular (4 pisos).

# **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

## **2.1. DESEMPEÑO SÍSMICO ESTRUCTURAL**

El diseño basado en desempeño sísmico implica la selección de opciones de evaluaciones adecuadas que permitan determinar el tamaño y detalle de componentes estructurales, no estructurales y de contención, de manera que, para cierto grado de desplazamiento del terreno y confiabilidad, los daños a la estructura no deben exceder ciertos estados límite.

## **2.2. CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL**

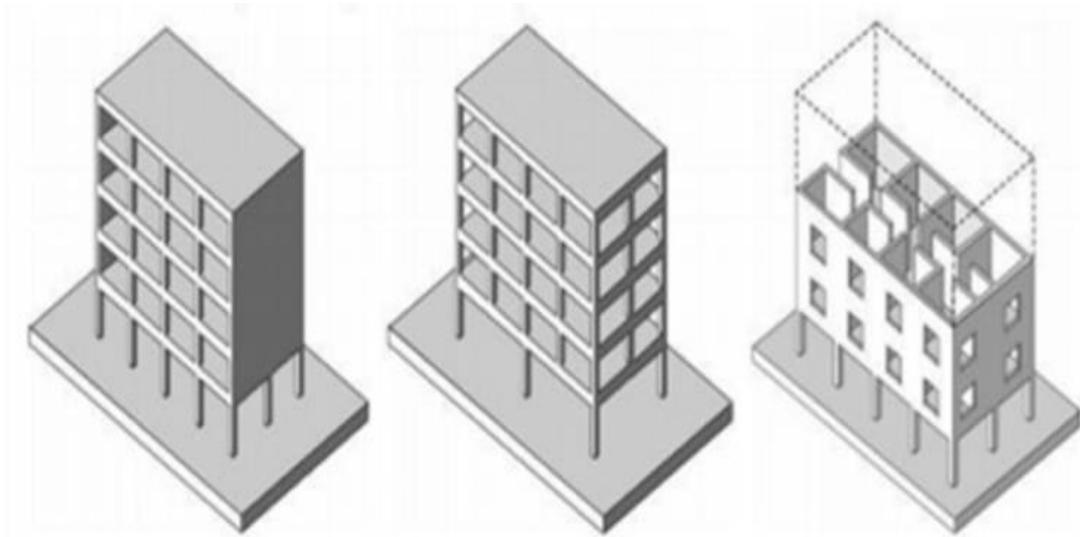
Las características y formas del diseño arquitectónico y estructural de un edificio pueden manifestarse, tanto en la simplicidad como en cambios bruscos de masa tratando de evitar formas complejas en su esquema de elevación y diseño, la configuración de la estructura se divide en dos aspectos: horizontal y vertical. Los cuales dependerán de modelo, forma y uso que a

### **2.2.1. Estructuras regulares.**

Según Loyaga y Vicente (2019), son aquellas que no presentan ninguna discontinuidad significativa en su configuración vertical o en planta, están formadas por pórticos planos con o sin contraventeo, con o sin muros de carga, paralelos o casi-paralelos, unidos entre sí en todos sus entrepisos por un sistema suficientemente resistente y rígido para accionar todos los pórticos y muros en su conjunto para resistir fuerzas laterales debidas a terremotos o vientos (p. 6). Dando a la estructura suficiente rigidez y así evitar pandeo, generalmente bajo cargas verticales; además, todos los marcos deben ser simétricos y todas las columnas del entrepiso deben tener la misma altura, incluso si hay entrepisos de diferentes alturas. Dada sus configuraciones en elevación y planta simétricamente, si contemplamos centros de masas asimétricos la estructura tendrá un mal comportamiento ante movimientos sísmicos, por lo tanto, es importante que sus centros de masas sean simétricos en todos sus pisos.

## Figura 1

### *Estructuras Regulares*



*Nota: tomado de Loyaga Vicente (2019)*

Para estructuras regulares según Nec-15 existen dos clasificaciones de configuración estructural como se visualiza en la tabla 1, se deben tomar en consideración con sus respectivos coeficientes de penalización para realizar un buen diseño sismorresistente.

## Tabla 1

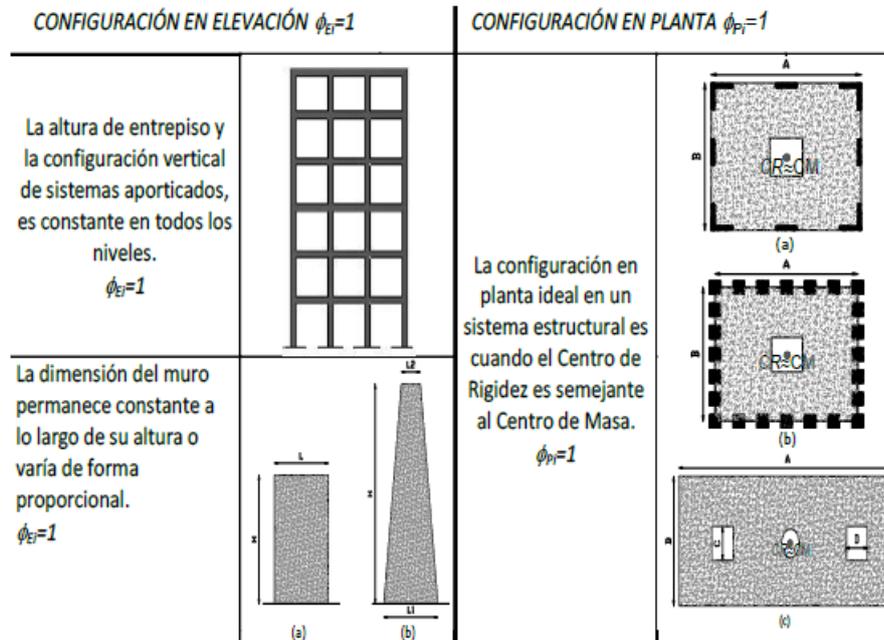
### *Clasificación de Configuración Estructural*

<b>CONFIGURACIONES A PRIVILEGIAR</b>	Diseñadores arquitectónicos y estructurales procuraran que la configuración de la estructura sea simple y regular para un mejor desempeño sísmico. En la figura 2 se muestran las configuraciones recomendadas.
<b>CONFIGURACIONES MÁS COMPLEJAS</b>	Deben evitarse los cambios repentinos de resistencia y rigidez, para preservar las componentes de ductilidad global del sistema estructural. Como se observa en la figura 3.

*Nota: adaptada de NEC-SE-DS- Peligro Sísmico (2015)*

**Figura 2**

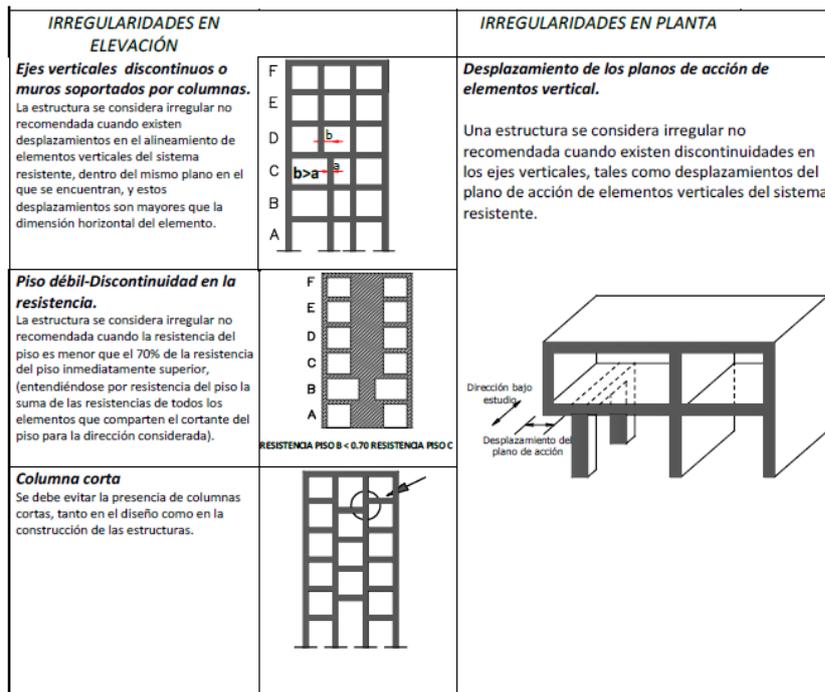
*Configuración estructural recomienda*



*Nota: tomado de NEC-SE-DS- Peligro Sísmico (2015)*

**Figura 3**

*Configuraciones estructurales no recomendadas*



*Nota: tomado de NEC-SE-DS- Peligro Sísmico (2015)*

## 2.2.2. Estructuras Irregulares.

### Especificaciones NEC - 15.

Tanto en planta como en elevación, se utilizará el factor de configuración estructural para “penalizar” al diseño con el fin de tomar en cuenta las irregularidades que son responsables del comportamiento de una falla estructural en caso de un sismo. En las siguientes tablas 2 y 3 se describen los tipos de irregularidades que se presentan con más frecuencias NEC-15.

Los coeficientes de configuración estructural incrementan el valor del cortante de diseño, con el objetivo de proporcionar la mayor resistencia a la estructura, pero no evita un posible mal comportamiento sísmico de la edificación. Por ello se recomienda evitar la mayor presencia de irregularidades mencionadas (NEC-SE-DS, 2015, p. 49).

**Tabla 2**

*Coefficientes de irregularidad en planta*

<b>Tipo</b>	<b>Irregularidad en planta</b>	<b><math>\Phi_{Pi}</math></b>
1	Irregularidad Torsional	0.9
2	Retrocesos excesivos en esquinas	0.9
3	Discontinuidades en sistemas de piso	0.9
4	Ejes estructurales no paralelos	0.9

*Nota: adaptado de NEC-SE-DS- Peligro Sísmico (2015)*

**Tabla 3**

*Coefficientes de irregularidad en elevación*

<b>Tipo</b>	<b>Irregularidad en elevación</b>	<b><math>\Phi_{Pi}</math></b>
1	Piso Flexible	0.9
2	Distribución de masa	0.9
3	Irregularidad geométrica	0.9

*Nota: adaptado de NEC-SE-DS- Peligro Sísmico (2015)*

## Especificaciones ASCE 7-16.

El enfoque metodológico de la norma Americana de Ingenieros Civiles ASCE 7-16 cataloga a una estructura como irregular cuando pasan sus máximas limitaciones permitidas por distintas secciones, no considera los coeficientes de configuración para penalizaciones  $\Phi_P$  en planta y  $\Phi_E$  para elevación, si no deben al cumplimiento de varios requisitos de las secciones de referencias a diferencias de otras normas como: Ecuatoriana, Colombina y Peruana.

Según García y Choez (2019) mencionan que las estructuras con una o más irregularidades presentadas en la siguiente tabla 4 se considera como estructuras con irregularidad estructural vertical y horizontal (p. 40). Por lo tanto es imprescindible identificar que irregularidades se tienen presente en un diseño.

**Tabla 4**

*Irregularidades estructurales*

<b>IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES</b>	<b>Tipo</b>	<b>Irregularidad</b>
<b>HORIZONTALES</b>	1a	Torsional
	1b	Torsional extrema
	2	Esquina entrante
	3	Discontinuidad del diafragma
	4	Compensación fuera del plano
<b>VERTICALES</b>	5	Ejes no paralelos
	1a	Baja rigidez de piso
	1b	Extrema de baja rigidez de piso
	2	Peso (masa)
	3	Geométrica vertical
	4	Discontinuidad en el plano de los elementos verticales resistente a las fuerzas laterales.
5a	Rigidez lateral – piso débil	
5b	Rigidez lateral – piso débil extrema	

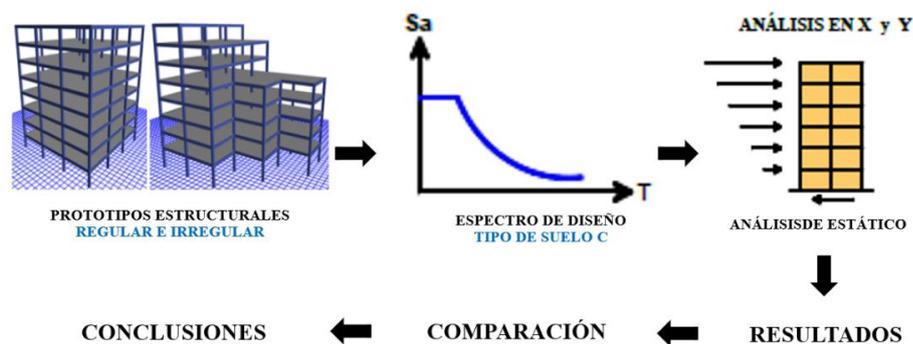
*Nota: tomado de Asociación Estadounidense Ingenieros Civiles ASCE 7-16*

## 2.3. MÉTODO DE CARGAS ESTÁTICAS EQUIVALENTE

Para Navarro y Hernández (2021) el método estático fue uno de los primeros métodos que se comenzó a utilizar, consistiendo en asumir a la estructura como un cuerpo rígido indeformable que se desplaza siguiendo en dirección al movimiento horizontal del suelo. Para el análisis de las estructuras se llevó a cabo la siguiente metodología (p. 3).

**Figura 4**

*Metodología de estudio*



*Nota: Adaptado de Lizcano y Tobo (2019)*

Para llevar a cabo este método se consideran ciertos factores de la norma NEC-15 como se muestran a continuación:

### 2.3.1. Determinación del Espectro por $S_a$ .

De acuerdo con Richard (2021), cada ciudad del Ecuador está clasificada por la Norma Ecuatoriana de la Construcción desde intermedio (mínimo) a muy alto (máximo) nivel de peligro sísmico, representado la aceleración máxima en roca (p. 15). El Ecuador tiene seis zonas sísmicas de acuerdo con la (NEC-15, 2015, p. 27), y se determina el valor "Z" por su ubicación de las estructuras que se encuentran en un rango de 0.15 (intermedio) a  $\geq 0.50$  (muy alto).

### Tipos de Perfiles de Suelos.

La norma de construcción del Ecuador define seis tipos de perfil de suelo. Los parámetros utilizados en la clasificación son los correspondientes a altura de 30 m superiores para los perfiles tipo A, B, C, D, E y para el perfil tipo F se aplican

otros criterios. Su estudio no debe limitarse a los 30 m superiores (Richard, 2021, p. 16).

### **Coefficientes de Perfil de Suelo.**

Una vez analizado el valor “z” al que corresponde el perfil de suelo, se seleccionan los coeficientes del suelo como lo establece la norma NEC-15, como son:

- **Fa:** Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo cortos
- **Fd:** Coeficiente de amplificación de suelo
- **Fs:** Comportamiento no lineal de los suelos.

### **Espectro de Respuesta Elástico de Aceleraciones.**

Se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad, teniendo en cuenta la magnitud del sismo de diseño. Para su construcción se deben determinar parámetros como el valor de “Z” y la amplificación espectral “n” que varía según la región del Ecuador, junto a otros coeficientes como presenta NEC-15 en sección 3.3.1.

### **2.3.2. Cortante Basal.**

Según Puerta (2015) y Alacero (2015) se basa en una estimación del período de vibración fundamental para cuantificar la fuerza cortante basal. Tanto en la estimación del cortante basal como en su distribución vertical se incluye el efecto de los modos superiores fundamentales dependiendo de la flexibilidad del edificio y las características del espectro sísmico especificado.

El cortante basal de diseño V, actúa en una dirección específica de la estructura se determina mediante la siguiente ecuación:

$$V = C_s \cdot W$$
$$V = \frac{I S_a(T_a)}{R \Phi_P \Phi_E} \cdot W$$

**Tabla 5***Fuerza cortante basal de diseño*

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
V	Fuerza cortante basal de diseño.
$S_a(T_a)$	Espectro de diseño en aceleraciones.
$T_a$	Periodo de vibración de la estructura.
I	Coefficiente de Importancia.
R	Coefficiente de reducción de Fuerzas sísmicas de diseño.
$\phi_P \phi_E$	Coefficientes de irregularidad en planta y elevación.
W	Carga sísmica (D+0,25L).

*Nota: NEC-15, NEC-SE-DS, p. 61***Distribución de Fuerzas Sísmicas Laterales.**

$$V = \sum_{i=x}^n F_i \quad ; \quad V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad ; \quad F_x = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=x}^n w_i h_i^k}$$

**Tabla 6***Distribución de fuerzas sísmicas laterales*

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
$w_x$	Peso del x de la estructura, incluye 25% de la carga viva.
$w_i$	Peso del piso i de la estructura, incluye 25% de la carga viva.
$h_x$	Altura al piso x de la estructura.
$h_i$	Altura al piso i de la estructura.
$k^{(1)}$	Coefficiente que depende de T.

*Nota: (NEC-SE-DS, 2015. p. 67)*<sup>(1)</sup> Para  $T < 0.5$  K = 1; para  $0.5 < T \leq 2.5$  K = 0.75 + 0.5T; para  $T > 2.5$  K = 2

## 2.4. MODELAMIENTO CON CARGAS SÍSMICAS ORTOGONALES

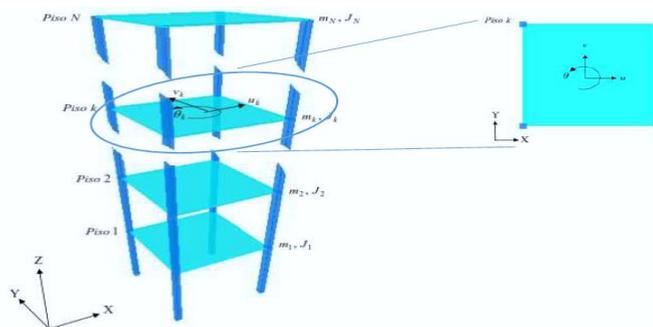
Cuando ocurre un sismo produce ondas que viajan en distintas direcciones que inciden en las estructuras de manera incierta, la máxima respuesta se obtiene mediante reglas de combinación de los efectos sísmicos ortogonales, por lo tanto es importante el análisis bajo la acción de dos componentes sísmicas ortogonales, asimismo Valdés & Ordaz (2008, p. 91) argumentan que en algunos casos las localizaciones cercas del epicentro del temblor, pueden presentar una tercera componente ortogonal, el cual actúa en la dirección vertical Z.

### 2.4.1. Metodologías de análisis de ortogonalidad.

Una forma muy empleada es la combinación de las respuestas unidireccionales de los sismos que inciden en la estructura. Estas reglas son adoptadas por los códigos de diseño sísmico de varios países. En la mayoría de los códigos de diseño consideran la regla de combinación del 100% de la máxima respuesta generada por la acción del sismo en una dirección (respuesta unidireccional), y  $\alpha$  (%) veces la máxima respuesta debido a una acción sísmica de dirección ortogonal. Las reglas mencionadas asumen que los ejes principales del movimiento del suelo coinciden con los ejes principales de la estructura y que ambos tienen la intensidad, estas reglas son conocidas como las de 100%+  $\alpha$  (Mejía, 2019, p. 3). Las reglas mencionadas con sus distintos porcentajes en dirección X y Y, actúan en los centros de masas de cada piso, como se muestra en la figura 5.

**Figura 5**

*Aplicación de fuerzas ortogonales en el centro de masa por piso.*



*Nota: tomado del libro Análisis Sísmicos de Edificios Primera Edición 2008*

### Metodología ASCE7-16 con cargas ortogonales.

Los códigos de diseño especifican diferentes procedimientos para estimar las respuestas máximas unidireccionales y bidireccionales, siendo el más común y usado con la regla de coincidencia porcentual. En estos métodos, la respuesta máxima bidireccional se estima combinando el 100 % de la respuesta máxima del terremoto en una dirección (respuesta unidireccional) y el 30 % multiplicado por el efecto de la respuesta del sismo en la dirección ortogonal. De acuerdo con la Sociedad de Ingenieros Civiles ASCE7-16 (2016), demanda solicitaciones para que las estructuras estén diseñadas bajo los efectos de carga más críticos de las fuerzas sísmicas aplicadas en cualquier dirección. Se considera que los métodos descritos en esta sección cumplan con estos métodos.

Uno de los requisitos para la aplicación de cargas ortogonales es el factor de redundancia ( $\rho$ ), que este puede adoptar los valores siguientes:

- $\rho = 1$  cuando cumplen una de las condiciones como se muestran en la tabla 7.
- $\rho = 1.3$  se considera para los tipos de suelos desde D hasta F como se demuestra en la sección 12.3.4.2 de la norma ASCE 7- 16.

Tomando en cuenta las condiciones de la tabla 9, no se penaliza por falta de redundancia siendo  $\rho = 1$

$$E_h = \rho Q_h$$

$$E_h = Q_h$$

**Tabla 7**

*Factores de redundancia para que  $\rho = 1$  tomado de la norma*

Condiciones	Se permite el valor de $\rho = 1$ para las siguientes condiciones
1	Estructuras asignadas a categoría de diseño sísmico B o C.
2	Se realizan cálculos de derivas y efectos P- $\Delta$ .
3	Diseño de componentes no estructurales.
4	Diseño de estructuras no edificadas que o son similares a edificios.

---

5	Diseño de elementos colectores, empalmes y sus conexiones para los que se utilizan los efectos de cargas sísmicas, incluidas las sobrecargas de la sección 12.4.3.
6	Diseño de miembros o conexiones donde los efectos de la carga sísmica e incluyendo la sobrecarga de sección 12.4.3.
7	Cargas de diafragmas determinadas mediante la ecuación (12.10-1) incluyendo los límites impuestos por la ecuación (12.10-2) y (12.10-3).
8	Estructuras con sistemas de amortiguación diseñados de acuerdo con el capítulo 18.
9	Diseño de muros estructurales para fuerzas fuera del plano incluyendo su anclaje.

---

*Nota: adaptada de la norma estadounidense ASCE 7-16 de la sección 12.3.4.1*

Los efectos combinados para las cargas sísmicas en cada dirección según la sección C12.5.3, se obtienen las 8 combinaciones de carga siguientes:

Siendo  $Q_{EY}$  = Efecto de cargas de dirección Y en el centro de la masa.

$$Q_h = +Q_{EX} + 0.3Q_{EY}$$

$$Q_h = -Q_{EX} + 0.3Q_{EY}$$

$$Q_h = +Q_{EX} - 0.3Q_{EY}$$

$$Q_h = -Q_{EX} - 0.3Q_{EY}$$

Siendo  $Q_{EX}$  = efecto de cargas de dirección X en el centro de la masa.

$$Q_h = +0.3Q_{EX} + Q_{EY}$$

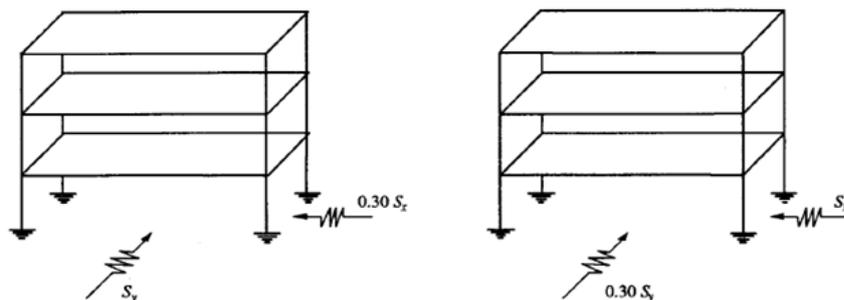
$$Q_h = -0.3Q_{EX} + Q_{EY}$$

$$Q_h = +0.3Q_{EX} - Q_{EY}$$

$$Q_h = -0.3Q_{EX} - Q_{EY}$$

### Figura 6

*Aplicación de fuerzas ortogonales*



*Nota: tomado de Bazán & Meli (2002)*

## Metodología Nec-15 con cargas ortogonales.

Ha sido costumbre considerar que la acción sísmica se ejerce en forma independiente en cada dirección, es decir, revisando el efecto de la acción sísmica de diseño en una de las direcciones principales de la estructura, considerando que las fuerzas sísmicas son nulas en cualquier otra dirección como se visualiza en la figura 7. Según la norma NEC (2015) para determinar la dirección y aplicación de las fuerzas sísmicas, se considerará la concurrencia simultánea de los efectos ortogonales horizontales y se utilizará la combinación más desfavorable.

La sollicitación se considerará alternadamente con los signos + y -, para un efecto de su posterior combinación con las sollicitaciones debidas a las cargas gravitacionales según se especifica en la correspondiente norma de diseño, la que requiera la mayor resistencia del elemento de las dos fórmulas siguientes:

- $E_h =$  Componente horizontal de la fuerza sísmica
- $E_x = 100\%$  de la componente horizontal de la fuerza sísmica según el eje "X"
- $E_y = 100\%$  de la componente horizontal de la fuerza sísmica de dirección el eje "Y"

$$E_h = +EX + EY$$

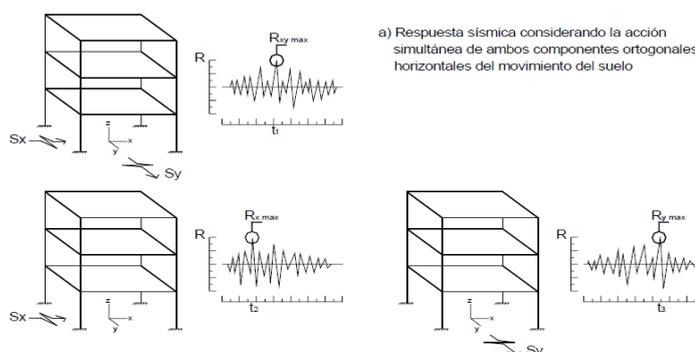
$$E_h = -EX - EY$$

$$E_h = +EX - EY$$

$$E_h = -EX + EY$$

### Figura 7

#### Aplicación de fuerzas ortogonales



Nota: cargas ortogonales en direcciones X y Y

### **2.4.2. Importancia de las cargas sísmicas ortogonales**

En algunos casos cuando hay ausencia de combinaciones sísmicas o cargas ortogonales el desempeño estructural durante un terremoto puede ser desbastador para su alrededor, estos análisis han tomado relevancia por su impacto e influencia en los modos de vibración de una edificación. Según Zavoni y Machicao (2004, p. 14) analizaron la influencia de las componentes ortogonales horizontales del movimiento del suelo sobre la respuesta elástica de sistemas de torsión rígidos y flexibles en dos suelos (duros y blandos). En este estudio, se demostró que la respuesta bi-direccional era diferente dependiendo de las características dinámicas del sistema, así como de las condiciones del suelo. También examinaron las reglas de coincidencia porcentual y descubrieron que, en algunos casos, estas reglas pueden sobrestimar las fuerzas del diseño y, en otros casos, subestimarlas.

# CAPÍTULO III: MODELACIÓN ESTRUCTURAL

## 3.1. DESCRIPCIONES DE LAS ESTRUCTURAS A MODELAR

A continuación, se presenta la descripción general de las dos edificaciones seleccionadas para esta investigación. Se estudian dos sistemas estructurales, uno regular (figura 10 y 11) y otra irregular (figura 12 y 13). El edificio irregular está caracterizado por la presencia de grandes volados y columnas de diferentes alturas como: 2.7m - 3m y 3.3m, detectando torsión excesiva, penalizable con  $\Phi_P = 0.9$  y  $\Phi_E = 1$  ya que dicha estructura fue rediseñada para no obtener torsión excesiva.

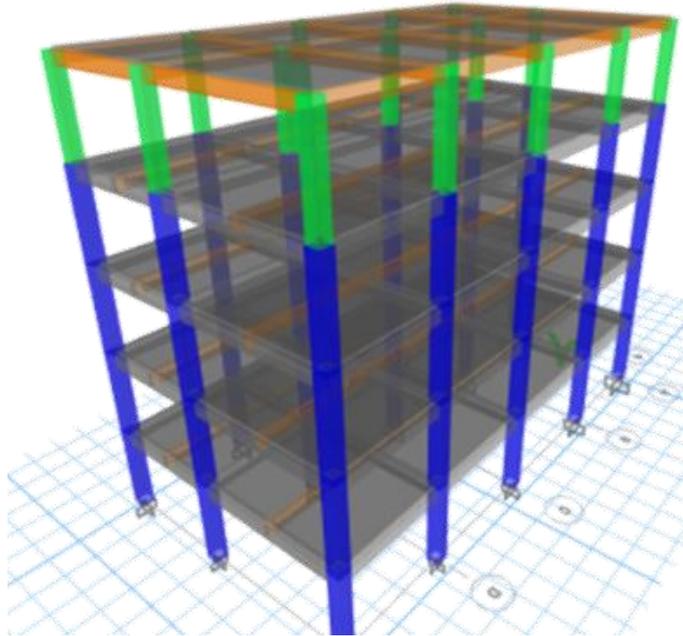
Mientras que en la estructura regular por su distribución geométrica se penalizará con coeficientes en planta y elevación  $\Phi_P = 1$  y  $\Phi_E = 1$ , contando con dimensiones de vigas y columnas constantes. Ambos proyectos son estudiados para sistemas de cargas laterales ortogonales y no ortogonales conforme las normas NEC-15 y ASCE 7-16, teniéndose tres casos de análisis para cada estructura.

### EDIFICIO REGULAR

La edificación regular elegida para el presente estudio es de uso residencial y se describe en detalle en el trabajo de titulación realizado por Bernabé y Catuto (2021). Definiéndose por tener una distribución arquitectónica rectangular con dimensiones 17.6m x 9.40m en sus direcciones principales, 3 ejes principales en la dirección X y 5 ejes principales en la dirección Y. Posee un área en planta de 165.44 m<sup>2</sup> y 3.15m de altura constante para cada piso. Está conformada por vigas principales que varían entre luces de 4m y 5.4m en ambas direcciones ( $V_{px}$ ,  $V_{py}$ ), y vigas secundarias solamente en la dirección X ( $V_s$ ) situadas al centro de la luz transversal de las vigas principales  $V_{py}$ , por lo tanto, los nervios de losa descansan sobre las vigas secundarias y están ubicados en la dirección principal Y. La estructura cuenta con 5 pisos tal como se aprecia en las figuras 8 y figura 9, produciendo una altura total de 15.75 m en elevación.

**Figura 8**

*Elevación de la estructura regular*



**Figura 9**

*Vista en planta del edificio residencial regular.*



## **EDIFICIO IRREGULAR.**

La estructura irregular tiene la arquitectura del edificio que se construyó en el 2003, en la esquina de las calles García Moreno y Ayacucho, en la ciudad de Guayaquil. Dicha estructura colapsó en el sismo de 16 de abril del año 2016. Dicha estructura fue evaluada mediante un análisis dinámico y análisis no lineal en el trabajo de titulación de Baque y Suárez (2021) y su estructura fue rediseñada conforme la norma NEC-15, como un sistema estructural más rígido, resistente y dúctil que el encontrado en el edificio colapsado. Este edificio tiene un área de 154 m<sup>2</sup> en sus tres losas superiores, y discontinuidades en sus ejes verticales por presencia de grandes volados; los que también definen cambios bruscos de masa y rigideces entre los pisos superiores y el primer piso. La estructura irregular se ilustra en las figuras 10 y 11.

### **Figura 10**

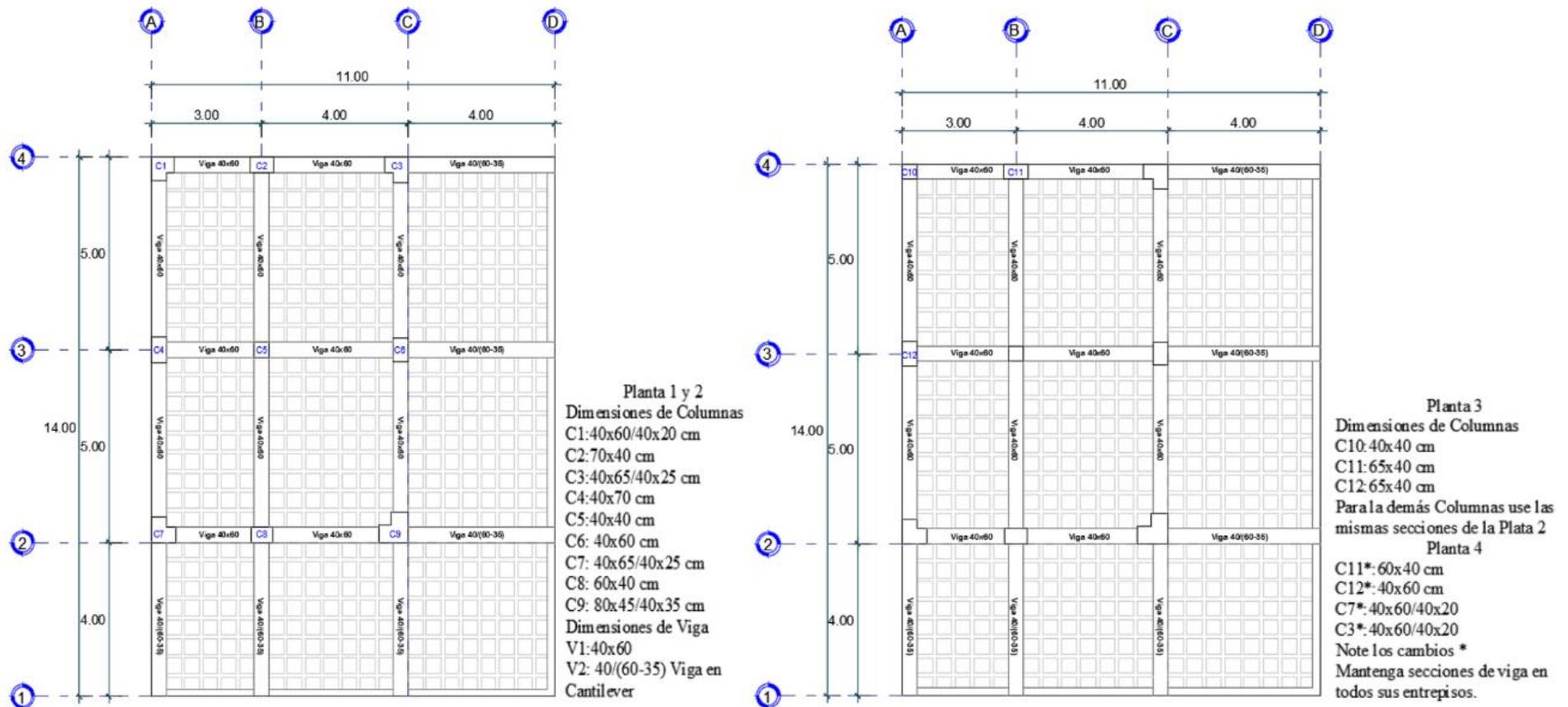
*Estructura Irregular*



*Nota: tomado de Google Maps*

**Figura 11**

*Vista en plata del edificio irregular*



## 3.2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LAS EDIFICACIONES

### 3.2.1 Consideraciones de Carga.

A continuación, se detallan las consideraciones por medio de las siguientes tablas las cargas vivas y muertas establecidas para el modelamiento de las distintas estructuras regular e irregular, según las especificaciones de la norma ecuatoriana vigente de construcción.

#### Carga Muerta

Las cargas fueron elegidas según las especificaciones de la norma de construcción NEC-15, considerando las cargas permanentes o muertas definidas por los pesos de los elementos estructurales y no estructurales horizontales y verticales que conforman a las edificaciones de estudio, obteniendo así los diferentes valores para los modelamientos con y sin cargas ortogonales.

#### Carga Viva

Para ambas estructuras se considera un uso residencial, siendo el valor de la carga viva  $200 \text{ kg/cm}^2$  o  $0.2 \text{ Ton/m}^2$  para los pisos residenciales y para cubiertas en los últimos pisos de  $70 \text{ kg/cm}^2$  o  $0.07 \text{ Ton/m}^2$ , conforme NEC-SE-DE (2015). Los valores de las cargas muertas y vivas para la estructura regular se presentan en la tabla 8 y tabla 9, y para la estructura irregular en las tablas 10 y 11.

**Tabla 8**

*Carga muerta de la estructura regular*

<b>CARGA MUERTA DE LA ESTRUCTURA REGULAR</b>					
<b>Pisos</b>	<b>Uso ocupacional</b>	<b>Tipo de Losa</b>	<b>Carga muerta (Ton/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Área por piso</b>	<b>Carga Muerta por Piso</b>
5	Residencial	Cubierta Eternit	0.07	165.44 m <sup>2</sup>	11.58
4	Residencial	Losa en una 1 direccion	0.53	165.44 m <sup>2</sup>	87.68
3	Residencial	Losa en una 1 direccion	0.53	165.44 m <sup>2</sup>	87.68
2	Residencial	Losa en una 1 direccion	0.53	165.44 m <sup>2</sup>	87.68
1	Residencial	Losa en una 1 direccion	0.53	165.44 m <sup>2</sup>	87.68
<b>Carga Total D =</b>					<b>362.31</b>

**Tabla 9***Carga viva de la estructura regular*

<b>CARGA VIVAS DE LA ESTRUCTURA REGULAR</b>					
<b>Pisos</b>	<b>Uso ocupacional</b>	<b>Tipo de Losa</b>	<b>Carga viva (Ton/m2)</b>	<b>Área por piso</b>	<b>Carga Viva por Piso (Ton)</b>
5	Residencial	Cubierta Eternit	0.07	165.44 m2	11.58
4	Residencial	Losa en una 1 direccion	0.2	165.44 m2	33.09
3	Residencial	Losa en una 1 direccion	0.2	165.44 m2	33.09
2	Residencial	Losa en una 1 direccion	0.2	165.44 m2	33.09
1	Residencial	Losa en una 1 direccion	0.2	165.44 m2	33.09
<b>Carga Total L =</b>					<b>143.93</b>

A continuación, se presentan las cargas aplicadas en la estructura irregular según la normativa del Ecuador NEC-15 para los distintos análisis.

**Tabla 10***Cargas Muertas de la estructura irregular*

<b>CARGA MUERTA DE LA ESTRUCTURA IREGULAR</b>					
<b>Pisos</b>	<b>Uso ocupacional</b>	<b>Tipo de Losa</b>	<b>Carga muerta (Ton/m2)</b>	<b>Área por piso</b>	<b>Carga Viva por Piso (Ton)</b>
4	Residencial	Losa en una 2 direccion	0.52	154 m2	80.08
3	Residencial	Losa en una 2 direccion	0.52	154 m2	80.08
2	Residencial	Losa en una 2 direccion	0.52	154 m2	80.08
1	Residencial	Losa en una 2 direccion	0.52	70 m2	36.40
<b>Carga Total M =</b>					<b>276.64</b>

**Tabla 11***Cargas Vivas aplicadas en la estructura irregular*

<b>CARGA VIVAS DE LA ESTRUCTURA IREGULAR</b>					
<b>Pisos</b>	<b>Uso ocupacional</b>	<b>Tipo de Losa</b>	<b>Carga viva (Ton/m2)</b>	<b>Área por piso</b>	<b>Carga Viva por Piso (Ton)</b>
4	Residencial	Losa en una 2 direccion	0.07	154 m2	10.78
3	Residencial	Losa en una 2 direccion	0.2	154 m2	30.80
2	Residencial	Losa en una 2 direccion	0.2	154 m2	30.80
1	Residencial	Losa en una 2 direccion	0.2	70 m2	14.00
<b>Carga Total L =</b>					<b>86.38</b>

### 3.2.2. Consideraciones para el Modelamiento Matemático.

#### Combinaciones de Cargas Laterales.

Los 6 modelos matemáticos del presente estudio se analizan para 18 combinaciones de carga en las dos direcciones principales de análisis X y Y. Para cada estructura se tienen 3 modelos: sin cargas ortogonales y con cargas ortogonales conforme las especificaciones de las normas ecuatorianas NEC-15 y americana ASCE7-16, tal como se resumen en la tabla 12.

**Tabla 12**

*Modelados de análisis y Cargas aplicadas*

Modelos <sup>(1)</sup>	Estructuras	Sistema de cargas	Combinaciones de carga	
			Dirección X	Dirección Y
1	Regular	Sin carga ortogonal	$\pm E_X$	$\pm E_Y$
2	Regular	Con carga ortogonal conforme norma NEC-15	$\pm E_X \pm E_Y$	$\pm E_Y \pm E_X$
3	Regular <sup>(2)</sup>	Con carga ortogonal conforme norma ASCE7-16	$\pm E_X \pm 0.3E_Y$	$\pm E_Y \pm 0.3E_X$
4	Irregular	Sin carga ortogonal	$\pm E_X$	$\pm E_Y$
5	Irregular	Con carga ortogonal conforme norma NEC-15	$\pm E_X \pm E_Y$	$\pm E_Y \pm E_Y$
6	Irregular <sup>(2)</sup>	Con carga ortogonal conforme norma ASCE7-16	$\pm E_X \pm 0.3E_Y$	$\pm E_Y \pm 0.3E_X$

**Nota:**

<sup>(1)</sup> Modelamiento con torsión accidental

<sup>(2)</sup> Modelamiento sin penalización por falta de redundancia ( $\rho=1$ )

#### Modelamiento de Torsión Accidental

Tanto la sección 6.3.6 de NEC-15, como la norma ASCE7-16 requieren el modelamiento de las cargas sísmicas considerando los efectos de la torsión accidental, mediante la inclusión de una excentricidad accidental equivalente “e” al 5 % de la longitud “L” del edificio en la dirección normal a la dirección de análisis o dirección de las cargas laterales principales,  $e = \pm 0.05L$ .

En cada dirección principal de análisis, donde apliquen o no los efectos ortogonales; la carga sísmica en dicha dirección principal debe modelarse con excentricidades accidentales positivas y negativas, para ello se establecen nomenclaturas para las direcciones de análisis con su signo correspondiente tal como se presenta en la tabla 13, dando lugar a las combinaciones de cargas sísmicas ilustradas en la tabla 14.

**Tabla 13**

*Excentricidad equivalente*

<b>Nomenclatura</b>	<b>Excentricidad accidental “e”</b>	<b>Dirección Principales de análisis</b>
EX1	(+0.05)	X
EX2	(-0.05)	X
EY1	(+0.05)	Y
EY2	(-0.05)	Y

**Tabla 14**

*Combinaciones aplicadas en los modelos*

<b>Nº</b>	<b>Combinación Sísmicas (NEC-15)</b>
1	1.4D
2	1.2D + 1.6L
3	1.2D + L + EX1
4	1.2D + L + EX2
5	1.2D + L – EX1
6	1.2D + L – EX2
7	1.2D + L + EY1
8	1.2D + L + EY2
9	1.2D + L – EY1
10	1.2D + L – EY2
11	0.9D + EX1
12	0.9D + EX2
13	0.9D - EX1

14	0.9D - EX2
15	0.9D + EY1
16	0.9D + EY2
17	0.9D - EY1
18	0.9D - EY2

La norma vigente ecuatoriana NEC-15 permite analizar a la estructura bajo la acción conjunta de cargas en las dos direcciones ortogonales, con el propósito de estimar las máximas respuestas, aplicando el 100% de las cargas en las direcciones principales “X” y “Y”, lo que nos da como resultado una respuesta conservadora, pero a su vez la remota probabilidad de que simultáneamente las cargas máximas en ambas direcciones actúan concurrentes durante un movimiento telúrico.

A continuación, se presenta la ecuación con sus respectivos significados en las direcciones de análisis que designa la norma ecuatoriana NEC-15 para modelar cargas ortogonales es la siguiente:

- E = Efecto sísmico
- $E_x$  = 100% de la componente horizontal de la fuerza sísmica en la dirección principal “X”
- $E_y$  = 100% de la componente horizontal de la fuerza sísmica en la dirección principal “Y”

$$E = \pm E_x \pm E_y$$

Como una alternativa el modelo conservador del modelamiento de cargas ortogonales; NEC-15 también permite omitir el modelamiento ortogonal de cargas, incluyendo solamente el 100% de la carga en la dirección principal de análisis ya sea X o Y. De tal forma que este procedimiento resulta muy liberal ya que postula que ninguna acción sísmica transversal (90°) es consecuente con las cargas o la dirección considerada y no es permitida por varias normas sismo-resistente, como la norma americana ASCE7 -16 para zonas con peligro sísmicos desde un nivel moderado a muy alto ( $Z \geq 0.25$ ).

Por su parte, la norma americana ASCE7-16 en su sección 12.5.3 especifica que combina los efectos del 100% de la carga sísmica en la dirección principal de análisis debe ser combinado con 30% de los efectos de las cargas en dirección perpendicular de análisis. Este criterio es más racional que se asemeja a la realidad de las cargas provocado por el movimiento del suelo. Así las combinaciones de cargas ortogonales serán aplicadas en los centros de masa de los pisos con las siguientes ecuaciones:

$$Q_E = \pm Q E_X \pm 0.3 Q E_Y \qquad Q_E = \pm 0.3 Q E_X \pm Q E_Y$$

Las distintas combinaciones presentadas dan lugar a cuatro combinaciones independientes, tal como se describió en el capítulo 2. En la nomenclatura de ASCE7-16 cuando el factor de redundancia es  $\rho = 1$ ; se tiene:

$$E_h = Q_E \qquad E_h = E_X \pm 0.3 E_Y$$

Las estructuras modeladas tendrán sus casos de análisis antes descritos serán analizadas con el software ETABS con los siguientes parámetros de análisis y diseños:

- $f_c = 240 \text{ kg/cm}^2$
- $E = 15100(\sqrt{f_c})$
- Secciones de vigas y columnas con las dimensiones definidas para estudios previos.
- Inercia de secciones agrietadas  $I_g = 0.8$  para columnas y  $I_g = 0.5$  para vigas.
- Suelo Tipos C
- Factor de zonificación  $Z = 0.5$

### **Características de los sitios de emplazamiento de las estructuras.**

**Definición de zona sísmica.** Las dos estructuras de estudio se asumen localizadas en la Zona sísmica VI, del mapa de zonificación sísmica de NEC-15; en la provincia de Santa Elena dentro del perfil costero del país.

**Tipo de Suelo.** Para este estudio, se asume un perfil de suelo tipo C, para los sitios de emplazamiento de las estructuras. NEC-15 define este tipo de suelo como suelo muy denso o como una roca blanda.

**Factor de Importancia y Coeficientes de Configuración Estructural.** Se considera la categoría de uso “Otras estructuras” como lo establece la normativa NEC-15 en la sección 4.1 categoría de edificios y coeficiente de importancia, adoptándose el factor  $I = 1$  para ambas estructuras. Para el factor de redundancia de fuerzas sísmica  $R$ , se establece que ambas estructurales han sido diseñadas por otros, con ductilidad moderada a alta o como “pórticos especiales sísmicos resistentes a momentos de Hormigón Armado” con forme NEC-15. Se utilizan los valores obtenidos de la norma NEC-15 todos los parámetros obtenidos de se resumen en la tabla 15.

Los factores de configuración estructural dependen de las irregularidades arquitectónicas y estructurales de cada modelo, otorgando distintos coeficientes de penalización para elevación y planta, en la estructura regular se tiene  $\phi_P = 1$  coeficiente de irregularidad en planta y  $\phi_E = 1$  para elevación, por la presencia de masas excesivas en los pisos 3 y 4 se produce irregularidad en elevación adoptándose  $\phi_E = 0.9$  , y  $\phi_P = 1$  por la ausencia de irregularidad torsional excesiva cómo se detalla en la tabla 15.

**Tabla 15**

*Factores y Coeficientes estructurales para las estructuras regular e irregular*

<b>Factor y Coeficientes</b>	<b>Modelados 1-2-3</b>	<b>Modelados 4-5-6</b>
I	1	1
R	8 <sup>(2)</sup>	5 <sup>(1)</sup>
$\phi_P$	1	0.9
$\phi_E$	1	1

*Nota:*

<sup>(1)</sup> *Selección basada en baja redundancia por comportamiento con irregularidad con 9 ejes de columnas solamente*

<sup>(2)</sup> *Selección basada con comportamiento regular con redundancia aceptable provista por 15 ejes de columnas*

### 3.2.3 Espectro elástico de la aceleración horizontal de diseño.

Se adopta el espectro diseño para el suelo tipo C para todos los modelados, con los parámetros detallados en la tabla 16:

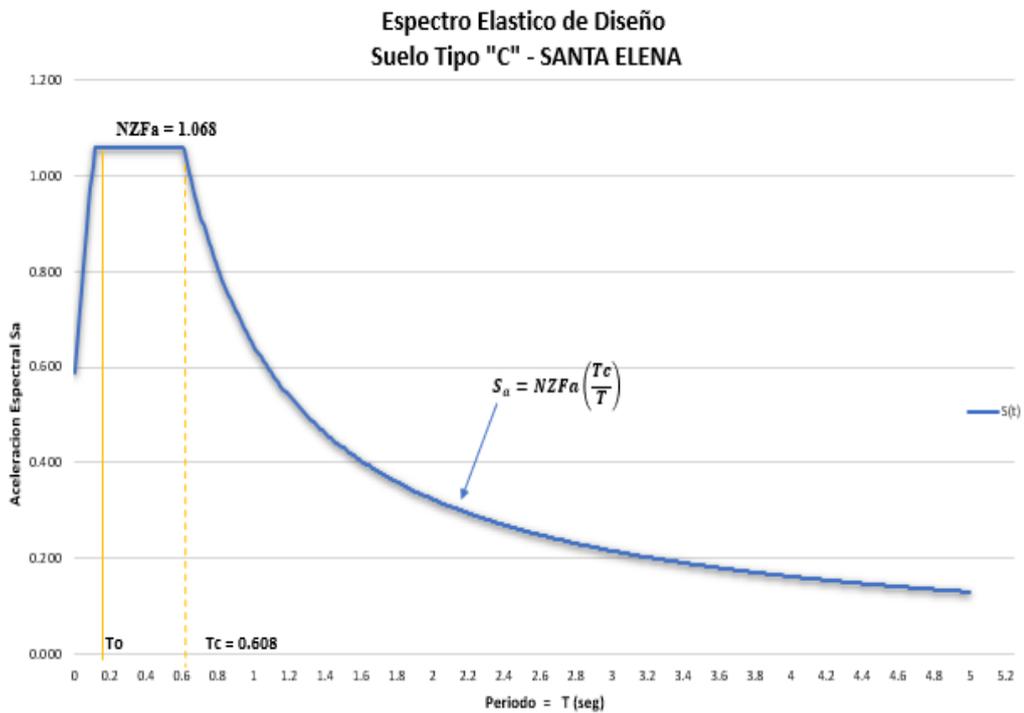
**Tabla 16**

*Datos para definir el espectro NEC-15 de estructura regulares e irregular*

Parámetros	Valor
Ciudad	Santa Elena
Tipo de Suelo	C
Zona	VI
Z	0.5
I	1
r	1
Fa	1.18
Fd	1.06
Fs	1.23
Tc	0.608
To	0.110

**Figura 12**

*Espectro de diseño según NEC-15 para Santa Elena – Suelo “C”*



### 3.2.4 Cargas Estáticas Laterales Equivalentes.

Para el cálculo de las cargas laterales equivalentes en los modelos regulares e irregulares se utilizan los siguientes períodos fundamentales: la estructura regular definida por de Bernabé y Catuto (2021), con el módulo elástico rescrito para este estudio, se tiene periodos de vibración ilustrados en la tabla 17.

**Tabla 17**

*Periodo de vibración de la estructura regular*

<b>Modo</b>	<b>Dirección</b>	<b>Periodo</b>
1	$T_Y$	0.832
2	$T_X$	0.739

La estructura irregular del proyecto de titulación de Baque y Suárez (2021), luego de las modificaciones de los resultados, el modelo presenta sus dos primeros modos vibración en dirección “X” y “Y” como se demuestra en la tabla 18.

**Tabla18**

*Periodo de vibración de la estructura irregular*

<b>Modo</b>	<b>Dirección</b>	<b>Periodo</b>
1	$T_Y$	0.638
2	$T_X$	0.540

#### **Cargas Estáticas Laterales Equivalentes sobre la estructura Regular.**

Para calcular la carga sísmica reactiva  $W$ , la carga muerta debe consolidarse en un solo caso de carga que consta de la carga muerta sobreimpuesta más el peso propio calculado de la estructura regular ( $D = PP+CM$ ). La norma NEC-SE-DS-2015 especifica en su sección 6.1.7 para el cálculo del peso sísmico se debe considerar el 100% de la carga muerta, y un 25% de la carga viva, obteniendo así la carga sísmica reactiva representada por la siguiente ecuación  $W= D+0.25L$ .

**Tabla 19**

Cortante basal estático de diseño  $V(\text{ton})$  para los modelos regulares.

Descripción	Dirección X	Dirección Y
Sa	0.776	0.873
Cs	0.097	0.1092
V al 100%	69.02	61.31

**Tabla 20**

Cortante basal y distribución de fuerzas sísmicas de la estructura Regular, NEC-15 sismo en Y

CORTANTE BASAL SUELO TICO "C" (GUAYAQUIL, Z = 0.5)							
Cortante Basal y Distribución de Fuerzas Sísmicas en dirección Y por pisos según NEC-SE-DS-15							
Pisos	Peso (Ton)	Altura (ht)	$W_x * (h_i)^k$	$\frac{\omega_x * (h_i)^k}{\sum \omega_x * (h_i)^k}$	$F_y = F_j$	$V_{yj}$	$0.3 * F_{yi} \text{ (Ton)}$
5	51.72	15.75	1287.22	0.164	10.04	10.04	3.01
4	145.15	12.60	2785.06	0.354	21.73	31.77	6.52
3	145.15	9.45	1991.39	0.253	15.54	47.31	4.66
2	145.15	6.30	1241.18	0.158	9.68	56.99	2.91
1	145.15	3.15	553.14	0.070	4.32	61.31	1.29
<b>W =</b>	<b>632.297</b>		<b>7857.99</b>	<b>1.000</b>	<b>Vy =</b>	<b>61.31</b>	

**Tabla 21**

Cortante basal y distribución de fuerzas sísmicas de la estructura Regular, NEC-15 sismo en X

CORTANTE BASAL SUELO TICO "C" (GUAYAQUIL, Z = 0.5)							
Cortante Basal y distribución de fuerzas sísmicas en dirección X por pisos NEC-SE-DS							
Pisos	Peso (Ton)	Altura (ht)	$W_x * (h_i)^k$	$\frac{\omega_x * (h_i)^k}{\sum \omega_x * (h_i)^k}$	$F_x = F_i$	$V_{Xi}$	$0.3 * F_{Xi} \text{ (Ton)}$
5	51.72	15.75	1132.35	0.160	<b>11.062</b>	11.06	3.32
4	145.15	12.60	2475.53	0.350	<b>24.18</b>	35.25	7.26
3	145.15	9.45	1793.90	0.254	<b>17.52</b>	52.77	5.26
2	145.15	6.30	1139.37	0.161	<b>11.13</b>	63.90	3.34
1	145.15	3.15	524.40	0.074	<b>5.12</b>	69.02	1.54
<b>W =</b>	<b>632.297</b>		<b>7065.54</b>	<b>1.000</b>	<b>Vx =</b>	<b>69.02</b>	

### Cargas Estáticas Laterales Equivalentes de la Estructura Irregular.

La estructura irregular entre las calles Ayacucho y García Moreno colapso el (16/04/16) durante el sismo de Pedernales, pese a esto en el trabajo de titulación de Baque y Suárez (2021) se rediseño la estructura manteniendo su irregularidad y

a su vez cumpliendo con la norma NEC-15, asumiendo que resistiría el terremoto de diseño de la norma antes mencionada por lo tanto no se colapsaría como la edificación del 2003.

**Tabla 22**

*Cortante basal estático de diseño V(ton) para los modelos irregulares*

Descripción	Dirección X	Dirección Y
Sa	1.062	1.012
Cs	0.236	0.224
V al 100%	120.16	114.46

Los cortantes basal de diseño fueron obtenidos por introducción de fuerzas en el centro de las masas de sus pisos en direcciones principales X y Y, su comportamiento modal nos dio como resultadas los cortantes basal que se aplicaron nuevamente a las fuerzas horizontales sísmicas como se aprecian en la tabla 23.

**Tabla 23**

*Cortante basal y distribución de fuerzas sísmicas de la estructura Irregular, NEC-15 sismo en Y*

CORTANTE BASAL SUELO TICO "C" (GUAYAQUIL, Z = 0.5)							
Cortante Basal y distribución de fuerzas sísmicas por pisos NEC-SE-DS							
Piso	Peso (Ton)	Altura (ht)	$Wx * (h_i)^k$	$\frac{\omega_x * (h_i)^k}{\sum \omega_x * (h_i)^k}$	$F_y = F_j$	$V_{yj} (TON)$	$0.3 * F_{yi} (Ton)$
4	128.00	12	1823.3	0.394	45.05	45.05	13.51
3	142.69	9	1494.4	0.323	36.92	81.97	11.08
2	143.52	6	974.5	0.210	24.08	106.05	7.22
1	94.95	3.3	340.2	0.073	8.41	114.46	2.52
<b>W =</b>	<b>509.17</b>		<b>4632.4</b>	<b>1.0</b>	<b>V<sub>y</sub> =</b>	<b>114.50</b>	

**Tabla 24**

*Cortante basal y fuerzas sísmicas de la estructura Irregular, NEC-15 sismo en X*

CORTANTE BASAL SUELO TICO "C" (GUAYAQUIL, Z = 0.5)							
Cortante Basal y distribución de fuerzas sísmicas en dirección X por pisos NEC-SE-DS							
Pisos	Pesos (Ton)	Altura (ht)	$Wx * (h_i)^k$	$\frac{\omega_x * (h_i)^k}{\sum \omega_x * (h_i)^k}$	$F_x = F_i$	$V_{xi} (Ton)$	$0.3 * F_{xi} (Ton)$
4	128.00	12	1614.3	0.387	46.52	46.52	13.96
3	142.69	9	1341.9	0.322	38.67	85.19	11.60
2	143.52	6	892.6	0.214	25.72	110.91	7.72
1	94.95	3.3	320.9	0.077	9.25	120.16	2.77
<b>W =</b>	<b>509.17</b>		<b>4169.6</b>	<b>1.00</b>	<b>V<sub>x</sub> =</b>	<b>120.16</b>	

### 3.3 CONTROL GLOBAL DE DESEMPEÑO SÍSMICO

En esta sección se agregarán los controles de desempeño sísmico globales de la norma NEC-SE-DE 2015, tales como: derivas y control de torsión excesivas.

#### 3.3.1 De Estructura Regular.

##### Control de Torsión Excesivas.

El análisis de torsión excesiva se define por las derivas de sus entrepisos con el procedimiento de la normativa NEC-15 sobre el factor de penalización en planta ØP, en la sección 5.2 o mediante desplazamiento como lo define en la sección 6.3.7. Este análisis contempla los efectos de torsión accidental  $e = \pm 0.05$  junto a la aplicación de cargas ortogonales en los modelos 2 y 3 analizando en sus direcciones “X” y “Y” como lo resume la tabla 25 y 26.

**Tabla 25**

*Resumen de chequeo de Torsión excesiva mediante desplazamientos críticos en dirección X*

Modelos	Pisos	$\Delta_{MAX}$	1, 2 * PROMEDIO	$\Delta_E$	$\frac{\Delta_{MAX}}{1.2\Delta * Prome} \leq 1$
1	P4	0.00155	0.0018	0.8508	NO HAY TORSION EXCESIVA
	P3	0.00220	0.0026	0.8505	NO HAY TORSION EXCESIVA
	P2	0.00245	0.0029	0.8501	NO HAY TORSION EXCESIVA
	P1	0.00155	0.0018	0.8491	NO HAY TORSION EXCESIVA
2	P4	0.0028	0.0033	0.8386	NO HAY TORSION EXCESIVA
	P3	0.0040	0.0047	0.8385	NO HAY TORSION EXCESIVA
	P2	0.0044	0.0052	0.8385	NO HAY TORSION EXCESIVA
	P1	0.0027	0.0032	0.8386	NO HAY TORSION EXCESIVA
3	P4	0.0017	0.0020	0.8472	NO HAY TORSION EXCESIVA
	P3	0.0025	0.0029	0.8469	NO HAY TORSION EXCESIVA
	P2	0.0027	0.0032	0.8467	NO HAY TORSION EXCESIVA
	P1	0.0017	0.0020	0.8461	NO HAY TORSION EXCESIVA

En la tabla 25 se presenta un resumen del control de torsión excesivas en la dirección principal de análisis X para todos los modelos regulares, obteniendo desplazamientos máximos dentro del rango de control, dando como resultados los menores desplazamientos cuando el modelo regular 2 está bajo cargas ortogonales NEC-15 con 100% en dirección X. Esto se debe a que los modelos no tienen discontinuidades en sus masas de entrepiso, por lo que se comportan de una manera dentro del rango de penalización menor al 1%.

**Tabla 26**

*Chequeo de Torsión excesiva mediante desplazamientos críticos en dirección Y*

<b>Modelos</b>	<b>Pisos</b>	$\Delta_{MAX}$	$1, 2 * PROMEDIO \Delta_E$	$\frac{\Delta_{MAX}}{1.2\Delta * Prome} \leq 1$	
<b>1</b>	<b>P4</b>	0.00191	0.00229	0.8334	<b>NO HAY TORSION EXCESIVA</b>
	<b>P3</b>	0.00265	0.00318	0.8334	<b>NO HAY TORSION EXCESIVA</b>
	<b>P2</b>	0.00286	0.00343	0.8334	<b>NO HAY TORSION EXCESIVA</b>
	<b>P1</b>	0.00171	0.00205	0.8335	<b>NO HAY TORSION EXCESIVA</b>
<b>2</b>	<b>P4</b>	0.00267	0.00317	0.8427	<b>NO HAY TORSION EXCESIVA</b>
	<b>P3</b>	0.00379	0.00449	0.8433	<b>NO HAY TORSION EXCESIVA</b>
	<b>P2</b>	0.00418	0.00495	0.8436	<b>NO HAY TORSION EXCESIVA</b>
	<b>P1</b>	0.00258	0.00305	0.8437	<b>NO HAY TORSION EXCESIVA</b>
<b>3</b>	<b>P4</b>	0.0020225	0.0024213	0.8353	<b>NO HAY TORSION EXCESIVA</b>
	<b>P3</b>	0.0028162	0.0033706	0.8355	<b>NO HAY TORSION EXCESIVA</b>
	<b>P2</b>	0.0030577	0.0036588	0.8357	<b>NO HAY TORSION EXCESIVA</b>
	<b>P1</b>	0.0018353	0.0021957	0.8359	<b>NO HAY TORSION EXCESIVA</b>

La tabla 26 muestra el control de torsión excesiva en la dirección principal Y, presentando una diferencia en relación a la dirección X, cuando analizamos el chequeo de torsión excesiva los desplazamientos máximos responden al modelo 2 con cargas ortogonales NEC-15 con un 100% de aplicación de carga en dirección Y, a pesar de presentar un pequeño incremento en comparación de los modelos 2 y

3, los desplazamientos máximos no generan torsión excesiva por lo tanto son susceptibles para un buen comportamiento estructural.

### Chequeo de Derivas.

Se consideran efectos de derivas para excentricidades positivas y negativas del 5% para los estados del sismo, teniendo en cuenta los efectos ortogonales para los modelos 2 y 3 en cada una de sus direcciones de traslación X y Y, en relación a sus desplazamientos horizontales. En la tabla 27 y 28 se resumen las derivas de los modelados. Para mayor detalle del cálculo de derivas por modelos se presentan en anexos.

**Tabla 27**

*Resumen de Derivas máximas de las estructuras Regulares en dirección X*

Modelos	Pisos	Load Case/Combo	$\Delta_E$	R	$\Delta_{MAX} = 0,75R\Delta_E$	$\Delta_{MAX} = 0,02$
1	P5	Envolvente X	0.0008	8	0.0051	SI CUMPLE
	P4	Envolvente X	0.0015	8	0.0093	SI CUMPLE
	P3	Envolvente X	0.0022	8	0.0132	SI CUMPLE
	P2	Envolvente X	0.0024	8	0.0147	SI CUMPLE
	P1	Envolvente X	0.0016	8	0.0093	SI CUMPLE
2	P5	Envolvente X	0.0015	8	0.0087	SI CUMPLE
	P4	Envolvente X	0.0028	8	0.0168	SI CUMPLE
	P3	Envolvente X	0.0040	8	0.0238	NO CUMPLE
	P2	Envolvente X	0.0044	8	0.0262	NO CUMPLE
	P1	Envolvente X	0.0027	8	0.0160	SI CUMPLE
3	P5	Envolvente X	0.0009	8	0.0056	SI CUMPLE
	P4	Envolvente X	0.0017	8	0.0104	SI CUMPLE
	P3	Envolvente X	0.0025	8	0.0148	SI CUMPLE
	P2	Envolvente X	0.0027	8	0.0164	SI CUMPLE
	P1	Envolvente X	0.0017	8	0.0103	SI CUMPLE

**Tabla 28***Resumen de Derivas máximas de las estructuras Regulares en dirección Y*

<b>Modelos</b>	<b>Pisos</b>	<b>Load Case/Combo</b>	$\Delta_E$	<b>R</b>	$\Delta_{MAX}= 0,75R\Delta_E$	$\Delta_{MAX}= 0,02$
<b>1</b>	<b>P5</b>	Envolvente Y	0.0010	8	0.0061	SI CUMPLE
	<b>P4</b>	Envolvente Y	0.0019	8	0.0115	SI CUMPLE
	<b>P3</b>	Envolvente Y	0.0026	8	0.0159	SI CUMPLE
	<b>P2</b>	Envolvente Y	0.0029	8	0.0172	SI CUMPLE
	<b>P1</b>	Envolvente Y	0.0017	8	0.0102	SI CUMPLE
<b>2</b>	<b>P5</b>	Envolvente Y	0.0014	8	0.0084	SI CUMPLE
	<b>P4</b>	Envolvente Y	0.0027	8	0.0160	SI CUMPLE
	<b>P3</b>	Envolvente Y	0.0038	8	0.0227	NO CUMPLE
	<b>P2</b>	Envolvente Y	0.0042	8	0.0251	NO CUMPLE
	<b>P1</b>	Envolvente Y	0.0026	8	0.0155	SI CUMPLE
<b>3</b>	<b>P5</b>	Envolvente Y	0.0011	8	0.0064	SI CUMPLE
	<b>P4</b>	Envolvente Y	0.0020	8	0.0121	SI CUMPLE
	<b>P3</b>	Envolvente Y	0.0028	8	0.0169	SI CUMPLE
	<b>P2</b>	Envolvente Y	0.0031	8	0.0183	SI CUMPLE
	<b>P1</b>	Envolvente Y	0.0018	8	0.0110	SI CUMPLE

En las tablas 27 y 28 se presentan los resúmenes de derivas en las direcciones de análisis principales X y Y, donde se reflejan los desplazamientos cuando se aplican y no cargas ortogonales, particularmente el modelo 1 y el modelo 3 bajo cargas ortogonales con especificaciones de ASCE7-16, presentan desplazamientos casi similares a diferencia de un pequeño incremento en los modelos bajo cargas ortogonales ( $E_x \pm 0.3E_y$ ;  $E_y \pm 0.3E_x$ ) cumpliendo con derivas menores al 2% penalizado por NEC-15. Sin embargo, los desplazamientos más pronunciados se deben al efecto de cargas ortogonales NEC-15 que hace participe del 100% de la carga aplicada en su dirección de análisis X o Y, produciendo derivas encima del 2% para los pisos 2 y 3 en ambas direcciones principales del modelo 2.

Concluyendo que las edificaciones regulares presentan mayores desplazamientos bajo cargas ortogonales NEC-15 cuando aplican el 100% en sus direcciones de análisis;  $100\%E_x \pm 100\%E_y$ , apreciando la incidencia de los efectos ortogonales.

### 3.3.2 De Estructura Irregulares.

El análisis de torsión excesiva se lleva a cabo de la misma manera que las estructuras regulares con el procedimiento de la normativa NEC-15, mediante desplazamiento como lo define en la sección 6.3.7. Este análisis contempla los efectos de torsión accidental  $e = \pm 0.05$  junto como se muestran en las tablas 29 y 30.

**Tabla 29**

*Chequeo de Torsión excesiva mediante desplazamientos críticos en dirección X*

Modelos	Pisos	Load Case/Combo	$\Delta_{MAX}$	1, 2 * PROMEDIO	$\Delta_E$	$\frac{\Delta_{MAX}}{1.2\Delta * Prome} \leq 1$
4	P4	1.2D+L+Ex2 (-0.05)	0.00345	0.00318	1.0840	HAY TORSION EXCESIVA
	P3	1.2D+L+Ex2 (-0.05)	0.00441	0.00400	1.1016	HAY TORSION EXCESIVA
	P2	1.2D+L+Ex2 (-0.05)	0.00509	0.00445	1.1440	HAY TORSION EXCESIVA
	P1	1.2D+L+Ex2 (-0.05)	0.00232	0.00215	1.0786	HAY TORSION EXCESIVA
5	P4	1.2D+ L+Ex2(-0.05)+Ey	0.00345	0.00318	1.0840	HAY TORSION EXCESIVA
	P3	1.2D+ L+Ex2(-0.05)+Ey	0.00441	0.00400	1.1016	HAY TORSION EXCESIVA
	P2	1.2D+ L+Ex2(-0.05)+Ey	0.00509	0.00445	1.1440	HAY TORSION EXCESIVA
	P1	1.2D+ L+Ex2(-0.05)+Ey	0.00232	0.00215	1.0786	HAY TORSION EXCESIVA
6	P4	1.2D+ L+Ex2(-0.05)+0.3Ey	0.00345	0.0031788	1.0840	HAY TORSION EXCESIVA
	P3	1.2D+ L+Ex2(-0.05)+0.3Ey	0.00441	0.0039991	1.1016	HAY TORSION EXCESIVA
	P2	1.2D+ L+Ex2(-0.05)+0.3Ey	0.00509	0.0044531	1.1440	HAY TORSION EXCESIVA
	P1	1.2D+ L+Ex2(-0.05)+0.3Ey	0.00232	0.0021546	1.0786	HAY TORSION EXCESIVA

En la tabla 29 se lleva a cabo el chequeo de control de torsión excesiva en la dirección X, con las combinaciones que demandan desplazamientos más críticos

con y sin cargas ortogonales, donde podemos apreciar que existe presencia de torsión excesiva sin la aplicación aun de cargas ortogonales, lo que nos refleja que, por sus discontinuidades y cambios bruscos de masas en sus entrepisos, la edificación tiene torsión como lo refleja el análisis en la dirección X en todos sus pisos.

**Tabla 30**

*Chequeo de Torsión excesiva mediante desplazamientos críticos en dirección Y*

Modelos	Pisos	Load Case/Combo	$\Delta_{MAX}$	$1, 2 * PROMEDIO \Delta_E$	$\frac{\Delta_{MAX}}{1.2\Delta * Prome} \leq 1$	
4	P4	1.2D+L+Ey1 (+0.05)	0.00239	0.00238	1.0023	HAY TORSION EXCESIVA
	P3	1.2D+L+Ey1 (+0.05)	0.00345	0.00373	0.9266	NO HAY TORSION EXCESIVA
	P2	1.2D+L+Ey1 (+0.05)	0.00450	0.00505	0.8913	NO HAY TORSION EXCESIVA
	P1	1.2D+L+Ey1 (+0.05)	0.00214	0.00254	0.8401	NO HAY TORSION EXCESIVA
5	P4	1.2D+ L+Ey1(+0.05)+Ex	0.00239	0.00238	1.0023	HAY TORSION EXCESIVA
	P3	1.2D+ L+Ey1(+0.05)+Ex	0.00345	0.00373	0.9266	NO HAY TORSION EXCESIVA
	P2	1.2D+ L+Ey1(+0.05)+Ex	0.00450	0.00505	0.8913	NO HAY TORSION EXCESIVA
	P1	1.2D+ L+Ey1(+0.05)+Ex	0.00214	0.00254	0.8401	NO HAY TORSION EXCESIVA
6	P4	1.2D+ L+Ey1(+0.05)+0.3Ex	0.00239	0.00238	1.0023	HAY TORSION EXCESIVA
	P3	1.2D+ L+Ey1(+0.05)+0.3Ex	0.00345	0.00373	0.9266	NO HAY TORSION EXCESIVA
	P2	1.2D+ L+Ey1(+0.05)+0.3Ex	0.00450	0.00505	0.8913	NO HAY TORSION EXCESIVA
	P1	1.2D+ L+Ey1(+0.05)+0.3Ex	0.00214	0.00254	0.8401	NO HAY TORSION EXCESIVA

En el resumen de la tabla 30 de torsión excesiva en la dirección de análisis Y, presenta un escenario muy particular, las combinaciones más críticas generan desplazamientos muy cerca del límite de penalización, pero solo se encuentra presencia de torsión excesiva en los pisos superiores, dada la particularidad de que

este edificio tiene excentricidades altas y similares en ambas direcciones X, Y; por ende cualquier tipo de sistema de cargas en cualquier dirección dará resultados semejantes sin importar sus porcentajes de combinaciones ortogonales aplicadas;  $100\%E_x \pm 100\%E_y$  o  $100\%E_x \pm 30\%E_y$ .

### Chequeo de Derivas.

A continuación, se presentan las derivas máximas de la estructura irregular analizadas en las direcciones principales “X” y “Y”, por la combinación ortogonal que presenta más demanda por desplazamientos máximos. Pero a la vez se aprecia que los modelos 4, 5 y 6 presentan derivas máximas coincidentes en cada piso, por lo tanto, se presentará un pequeño resumen de las tablas como en los modelos anteriores.

**Tabla 31**

*Derivas máximas de las estructuras Irregular en dirección X*

Modelos	Pisos	Load Case/Combo	$\Delta_E$	R	$\Delta_{MAX} = 0,75R\Delta_E$	$\Delta_{MAX} = 0,02$
4	P4	Envolvente X	0.0034	5	0.0129	SI CUMPLE
	P3	Envolvente X	0.0044	5	0.0166	SI CUMPLE
	P2	Envolvente X	0.0051	5	0.0192	SI CUMPLE
	P1	Envolvente X	0.0023	5	0.0087	SI CUMPLE
5	P4	Envolvente X	0.035	5	0.0131	SI CUMPLE
	P3	Envolvente X	0.0045	5	0.0167	SI CUMPLE
	P2	Envolvente X	0.0051	5	0.0192	SI CUMPLE
	P1	Envolvente X	0.0023	5	0.0087	SI CUMPLE
6	P4	Envolvente X	0.0035	5	0.0130	SI CUMPLE
	P3	Envolvente X	0.0044	5	0.0166	SI CUMPLE
	P2	Envolvente X	0.0051	5	0.0192	SI CUMPLE
	P1	Envolvente X	0.0023	5	0.0087	SI CUMPLE

**Tabla 32***Derivas máximas de las estructuras Irregular en dirección Y*

<b>Modelo:</b>	<b>Pisos</b>	<b>Load Case/Combo</b>	$\Delta_E$	<b>R</b>	$\Delta_{MAX} = 0,75R\Delta_E$	$\Delta_{MAX} = 0,02$
<b>4</b>	<b>P4</b>	Envolvente Y	0.0026	5	0.0098	<b>SI CUMPLE</b>
	<b>P3</b>	Envolvente Y	0.0036	5	0.0133	<b>SI CUMPLE</b>
	<b>P2</b>	Envolvente Y	0.0046	5	0.0174	<b>SI CUMPLE</b>
	<b>P1</b>	Envolvente Y	0.0022	5	0.0082	<b>SI CUMPLE</b>
<b>5</b>	<b>P4</b>	Envolvente Y	0.0026	5	0.0099	<b>SI CUMPLE</b>
	<b>P3</b>	Envolvente Y	0.0037	5	0.0139	<b>SI CUMPLE</b>
	<b>P2</b>	Envolvente Y	0.0046	5	0.0174	<b>SI CUMPLE</b>
	<b>P1</b>	Envolvente Y	0.0022	5	0.0082	<b>SI CUMPLE</b>
<b>6</b>	<b>P4</b>	Envolvente Y	0.0026	5	0.0098	<b>SI CUMPLE</b>
	<b>P3</b>	Envolvente Y	0.0036	5	0.0133	<b>SI CUMPLE</b>
	<b>P2</b>	Envolvente Y	0.0045	5	0.017	<b>SI CUMPLE</b>
	<b>P1</b>	Envolvente Y	0.0022	5	0.0082	<b>SI CUMPLE</b>

Los resultados presentados en las tablas 31 y 32, reflejan que las derivas máximas calculadas por las diferentes combinaciones. Tomando en consideración que la estructura fue diseñada conservadoramente con un factor de  $R=5$ , dando como resultado el cumplimiento de derivas en ambas direcciones principales “X” y “Y”. La edificación fue diseñada para cumplir con los controles respectivos, por lo tanto, se tiene un sistema estructural rígido para el control de derivas originadas en la torsión excesiva.

Las derivas críticas son muy semejantes para todos los modelos irregulares con y sin carga ortogonal especificados por NEC-15 o ASCE7- 16, controlados por el 2% de deriva máxima permitido por la norma ecuatoriana de construcción.

### 3.4 EVALUACIÓN DE ELEMENTOS CRÍTICOS DE LOS MODELOS

Se analiza los elementos estructurales más críticos para todos los modelos del presente análisis bajo los factores de carga axial y momentos, para los elementos como: vigas y columnas.

#### 3.4.1 Modelos Regulares.

El análisis de elementos estructurales verticales se lleva a cabo con el objeto de determinar las columnas más críticas en cada modelo, mediante la selección de resultados máximos de carga axial  $Pu$  acompañado de su correspondiente momento  $Mu$  actuantes en cada elemento bajo las combinaciones de cargas sísmicas y ortogonales como se visualiza en la tabla 33 para dirección X, y en la tabla 34 en dirección Y.

**Tabla 33**

*Comparación  $Pu$  para los Modelos 1, 2 y 3 en columnas críticas en dirección X*

Fuerzas Máximas de Diseño de Elementos Críticos en Dirección X							
Modelos	Pisos	Columna	Combinaciones	Pu (Ton)	Mu (Ton-m)	Comparacion de C12	
						$\frac{Pu_{2-3}}{Pu_1}$	$\frac{Mu_{2-3}}{Mu_1}$
1, 2, 3	1	C8	1.2D+1.6L	113.94	0.25		
1	1	C12	1.2D+L-Ex1	58.91	11.83		
2	1	C12	1.2D+L-Ex1-Ey	48.61	11.86	0.83	1.0025
3	1	C12	1.2D+L-Ex1-0.3Ey	55.82	11.84	0.95	1.0008

La tabla 33 presenta los elementos más críticos de la estructura regular en dirección X, dichos resultados muestra similitud de la demanda sísmica sobre elementos verticales cuando se aplican cargas ortogonales. La carga axial  $Pu$  mayor está controlado por la carga de gravedad 1.2D+1.6L en la columna interior C8. Por otro lado, la columna exterior C12 es crítica a flexión cuando la carga axial se disminuye por el efecto de volteo sísmico de signo opuesto. Esta condición de carga axial disminuida y flexión máxima es requerida para diseñar el mecanismo de columna fuerte – viga débil, donde la consideración de efectos ortogonales reduce

la carga axial al valor de 0.83 y 0.95 veces la carga axial correspondiente al análisis sin los efectos ortogonales.

**Tabla 34**

*Comparación Pu para los Modelos 1, 2 y 3 en columnas críticas en dirección Y*

Fuerzas Máximas de Diseño de Elementos Críticos en Dirección Y							
Modelos	Pisos	Columna	Combinaciones	Pu (Ton)	Mu (Ton-m)	Resultados máximos	
						$\frac{Pu_{2-3}}{Pu_1}$	$\frac{Mu_{2-3}}{Mu_1}$
1	1	C12	1.2D-L-Ey2	54.58	0.91		
2	1	C12	1.2D+L-Ey2-Ex	49.82	14.24	0.91	15.65
3	1	C12	1.2D+L-Ey2-0.3Ex	53.15	4.91	0.97	5.40
1, 2, 3	1	C8	1.2D+1.6L	113.94	0.25		

En la dirección Y de la tabla 34, presentan un comportamiento similar a la dirección X, identificándose nuevamente la columna C8 como crítica para la carga compresiva máxima originada en las cargas de gravedad. Para la columna C12 la carga axial de los tres modelos permanece bastante estable, pero se presenta un incremento importante del momento flector cuando los efectos ortogonales se modelan al 100% con -Ey2 -Ex.

Para determinar las vigas críticas de los modelos regulares se consideran los momentos máximos Mu, cuando han sido sometidos a cargas sísmicas y ortogonales con su respectiva combinación, como se muestra en la tabla 35 para dirección X, y en la tabla 36 en dirección Y.

**Tabla 35**

*Comparación de momentos Mu para los modelos 1, 2 y 3 en dirección X*

Fuerzas Máximas de Diseño de Elementos Críticos en Dirección X					
Modelos	Pisos	Viga	Combinaciones	Mu (Ton-m)	Comparacion de
					(Mu) max $\frac{Mu_{2-3}}{Mu_1}$
1	4	B28	1.2D+1.6L	9.75	
2	2	B36	1.2D+L+Ex1+Ey	14.89	1.527
3	2	B38	1.2D+1.6L	9.75	0.655

En la tabla 35 se muestran los momentos máximos de los elementos horizontales más críticos, con un momento máximo cuando las cargas ortogonales se modelan con el 100% de la carga aplicada en la dirección principal de análisis X, causando una gran diferencia dando como resultado  $Mu=14.89$  Ton, mientras que en los modelos 1 y 3 en los que sus vigas críticas están controladas por la combinación de carga de gravedad, dando iguales momentos en los dos modelos pero en diferentes elementos horizontales y en sus pisos, demostrando así que cuando actúan las cargas ortogonales por las normas NEC-15 y ASCE 7-16 en los modelos 1 y 2 su ubicación de la viga crítica es la misma mas no su momento.

**Tabla 36**

*Comparación de momentos Mu para los modelos 1, 2 y 3 en dirección Y*

Fuerzas Máximas de Diseño de Elementos Críticos en Dirección Y						
Modelos	Pisos	Viga	Combinaciones	Mu (Ton-m)	Comparacion de (Mu)	Comparación de
					max; B36/B26 (Ton-m)	(Mu)max; B36 (Ton-m)
					$\frac{Mu_{2-3}}{Mu_1}$	$\frac{Mu_{2-3}}{Mu_1}$
1	2	B26	1.2D+L+Ey2	13.04		
	2	B36	1.2D+L+Ey2	2.22		
2	2	B36	1.2D+L+Ey2+Ex	13.35	1.024	1.024
3	2	B36	1.2D+L+Ey2+0.3Ex	13.13	0.984	5.914

En el análisis de la dirección principal Y, se muestra los elementos horizontales críticos ubicados en el piso 2, a diferencia del modelo 1 su máximo momento se encontró en la viga B26, pero para un análisis comparativo de momentos se añadió la viga B36 ya que coincide con las vigas críticas de los modelos 2 y 3, facilitando la comparación de momentos, teniéndose una relación de momentos muy diferentes en este sentido de análisis, donde la viga B36 es crítica cuando se aplican las cargas ortogonales.

### 3.4.2 Modelos Irregulares.

Para lleva a cabo la evaluación de los elementos críticos. Se utiliza la misma metodología que en los modelos regulares, obteniendo los elementos más críticos de acuerdo a la combinación que genera este comportamiento desfavorable.

**Tabla 37***Comparación Pu para los Modelos 3, 4 y 5 en columnas críticas en dirección X*

<b>Fuerzas Máximas de Diseño de Elementos Críticos en Dirección X</b>					
Modelos	Pisos	Columna	Combinaciones	Pu (Ton)	Mu (Ton-m)
<b>4</b>	1	C13	1.2D+L+Ex2	215.5	10.8
	1	C15	1.2D+L-Ex2	15.04	50.0
<b>5</b>	1	C13	1.2D+L+EX2+Ey	215.5	10.8
	1	C15	1.2D+L+EX2+Ey	15.04	50.0
<b>6</b>	1	C13	1.2D+L+Ex2+0.3Ey	215.5	10.8
	1	C15	1.2D+L-Ex2+0.3Ey	15.04	50.0

**Tabla 38***Comparación de Pu para los modelos 1, 2 y 3 en dirección Y*

<b>Fuerzas Máximas de Diseño de Elementos Críticos en Dirección Y</b>					
Modelos	Pisos	Elementos	Combinaciones	Pu (Ton)	Mu (Ton-m)
<b>4</b>	1	C13	1.2D+L-Ey2	198.52	89.15
	1	C13	1.2D+L-Ey1	195.54	97.14
<b>5</b>	1	C13	1.2D-L+Ey2+Ex	198.52	89.15
	1	C13	1.2D-L+Ey1+Ex	195.54	97.14
<b>6</b>	1	C13	1.2D+L-Ey2+0.3Ex	198.52	89.15
	1	C13	1.2D+L-Ey1-0.3Ex	195.54	97.14

Las tablas 37 y 38 muestran los elementos verticales en las direcciones X, Y; presentando la ubicación de las columnas crítica de la edificación irregular en los primeros pisos de cada modelo. En la dirección X, el elemento C13 posee la carga axial máxima de 215.5 Ton, mientras que en la dirección Y se observa la misma columna con un momento máximo actuante de 195.5 Ton. Concluyéndose que sin importar el sistema cargas ortogonal cuando es aplicado o sin ser aplicado, hay alta similitud en las cargas axiales máximas, así como su ubicación en el mismo elemento crítico C13.

**Tabla 39***Comparación de momentos Mu para los modelos 4, 5 y 6 en dirección X*

<b>Fuerzas Máximas de Diseño de Elementos Críticos en Dirección X</b>				
<b>Modelos</b>	<b>Pisos</b>	<b>Viga</b>	<b>Combinaciones</b>	<b>Mu (Ton-m)</b>
4, 5, 6	3	B36	1.2D+1.6L	44.3

**Tabla 40***Comparación de momentos Mu para los modelos 4, 5 y 6 en dirección Y*

<b>Fuerzas Máximas de Diseño de Elementos Críticos en Dirección Y</b>				
<b>Modelos</b>	<b>Pisos</b>	<b>Viga</b>	<b>Combinaciones</b>	<b>Mu (Ton-m)</b>
4, 5, 6	3	B36	1.2D+1.6L	44.3

En la tabla 39 y 40 se muestran los valores de momentos en las vigas críticas en la dirección de análisis X, Y; donde se encuentra que en ambas direcciones el elemento crítico horizontal B36 en el 3 piso, controla por su carga de gravedad. Esto se debe a que los volados son grandes y la carga de gravedad controla sobre la carga sísmica en los modelos irregulares 4,5 y 6.

# **CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## **4.1. CONCLUSIONES**

Para el modelamiento tridimensional de las estructuras se utilizó el software estructural ETABS, se consideró carga viva 0.2 Ton/m<sup>2</sup> para sus pisos residenciales y 0.07 Ton/m<sup>2</sup> para sus cubiertas accesibles y de Eternit, para carga muerta 0.53 Ton/m<sup>2</sup> para la estructura regular y 0.52 Ton/m<sup>2</sup> para la irregular especificadas por proyectos de titulación antes mencionados. Las nomenclaturas implementadas para la aplicación de cargas ortogonales según las normas NEC-15 Y ASCE7 -16, se llevó a cabo mediante porcentajes, cuando el sismo es introducido en una sola dirección 100% EX y 100% EY según NEC - 15, mientras que en ASCE 7-16 menciona que se considera un 30% EY del sismo cuando se aplica el 100% EX.

Se consideró para el estudio 2 edificaciones con sistemas estructurales de “pórticos especiales sísmicos resistentes a momentos de Hormigón Armado” conforme NEC-15: una con configuración estructural regular y otra con irregularidad en elevación, estas edificaciones se encuentran cimentadas en un perfil de suelo tipo C; el cual es muy común en la provincia de Santa Elena, los sistemas elegidos fueron analizados bajo la acción de cargas ortogonales y sin cargas ortogonales, definiendo así: 3 estructuras irregulares y 3 regulares, obteniendo un mejor comportamiento bajo cada tipo de cargas actuantes.

Al finalizar los análisis del comportamiento global de las estructuras mediante el método Estático de Fuerzas Horizontales Equivalente, para estructuras regulares e irregulares con presencia de torsión, bajo la acción de las distintas cargas sísmicas, se ha concluido que:

- Se pueden obtener máximas respuestas de traslaciones horizontales cuando se introduce las cargas ortogonales con el 100% en su dirección de análisis ya sea X o Y. Esto se puede apreciar claramente en el chequeo de derivas del modelo 2 de la estructura regular cuando está bajo carga ortogonal según la norma NEC-15, adquiriendo desplazamientos máximos mayores al 2% en sus pisos 2 y 3, es aquí donde la implicación de cargas ortogonales conservadoras toman relevancia manifestando un comportamiento diferente a cuando no son consideradas o cuando son consideradas conforme la norma ASCE7-16 que es menos conservadora y mucho más cercana a la realidad de las demandas sísmicas.
- Las cargas ortogonales generan comportamientos diferentes tanto en los desplazamientos como en la demanda de flexión y carga axial sobre elementos críticos, cuando se aplican en edificios con sistemas estructurales regulares. Por el contrario, para el edificio irregular analizado, no se establecen efectos diferenciados y hay similitud de resultados en los elementos críticos. Esto se debe a que las respuestas sísmicas en X, Y se encuentran acopladas para los distintos sistemas de cargas laterales ortogonales y en el caso de las vigas, los momentos originados por las cargas de gravedad en los volados de grandes luces, terminan controlando la demanda crítica por flexión.

## 4.2. RECOMENDACIONES

Es importante analizar a las estructuras regulares o irregulares bajo los efectos sísmicos ortogonales, ya que se producen desplazamientos máximos que se pueden desarrollar en un sismo con amplitudes mayores cuando se consideran dichos efectos. Es aquí donde el modelo de carga ortogonal usado toma relevancia y se debe aplicar el método de cargas ortogonales que mejor modele la realidad de la demanda sísmica originada en las aceleraciones del suelo. Los análisis realizados en esta investigación muestran que el método de la norma ASCE7-16, que especifica un 30% perpendicular a la dirección de análisis principal, resulta en valores un poco más altos y por tanto seguros que la no consideración de efectos ortogonales permitida por NEC -15. Así mismo los resultados muestran que modelar los efectos ortogonales con el 100% de la carga en las dos direcciones de análisis X, Y (procedimiento alternativo recomendado por NEC-15), produce desplazamientos mucho mayores, y resistencia requerida (cargas axiales y momentos flectores) también más elevadas que otros métodos de carga. Se considera por tanto excesivamente conservador el modelar los efectos ortogonales al 100% de la carga y se recomienda preferir el método ASCE7-16 por su mayor aproximación a la realidad de la demanda sísmica y resultados más balanceados en términos de seguridad y economía del diseño.

Se recomienda que la norma NEC-15 sea más permisible con la inclusión de valores porcentuales de cargas ortogonales igual al usado por ASCE7-16 (30% en la dirección ortogonal del análisis) o muy similares (30%-50%).

## BIBLIOGRAFÍA

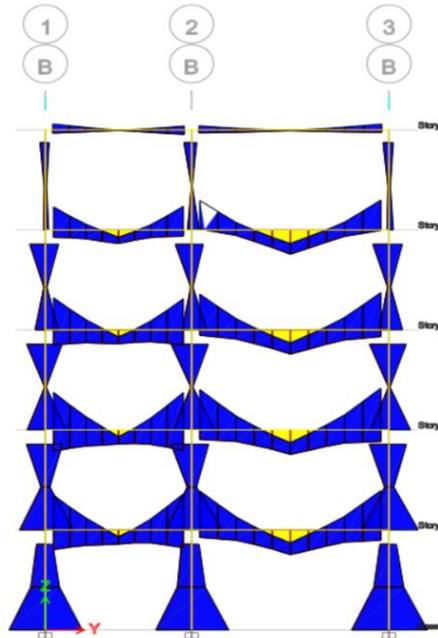
- Aguirre, H., & Gallegos, M. (2018). Estructuras Aporticadas de Hormigón Armado que Colapsaron en el Terremoto del 16 de Abril de 2016 en Tabuga– Ecuador. *Revista Politécnica*, 42(1), 37–46. <https://doi.org/10.33333/rp.v42i1.961>
- Alacero.org, U. sitio. (2015). *Métodos de Análisis Sísmico (I). El Método Estático Equivalente*. 12. <https://www.construccionenacero.com/comment/361#comment-361Vald>
- ASCE7-16. (2016). Universality. In *Lecture Notes in Mathematics* (Vol. 1877). [https://doi.org/10.1007/978-3-540-44822-8\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-540-44822-8_5)
- Baque, I., & Suárez, R. (2021). Universidad estatal península de santa elena. *Repositorio DSPACE*, “PLAN DE COMERCIALIZACIÓN PARA LA LÍNEA DE PRODUCTOS A BASE DE TAGUA DE LA COMUNA DOS MANGAS, PARROQUIA MANGLARALTO, CANTÓN SANTA ELENA, 2013”, 38.
- Bazán, E., & Meli, R. (2002). *EDIFICIOS*.
- Bernabé, Lady, & Catuto, L. (2021). Universidad estatal península de santa elena. *Repositorio DSPACE*, “PLAN DE COMERCIALIZACIÓN PARA LA LÍNEA DE PRODUCTOS A BASE DE TAGUA DE LA COMUNA DOS MANGAS, PARROQUIA MANGLARALTO, CANTÓN SANTA ELENA, 2013”, 38.
- García, A., & Choez, J. (2019). *Estudio comparativo de los diseños sísmicos, de una estructura de pórticos dúctiles resistentes a flexión de hormigón armado, usando las especificaciones NEC-2015, ASCE 7-16 de la asociación estadounidense de ingenieros civiles; ACI 318-14 del instituto e. 9–25*.
- Lizcano, Yordyn Tobo, L. (2019). *ANÁLISIS ESTÁTICO DE FUERZAS HORIZONTALES EQUIVALENTES COMPARADO CON EL ANÁLISIS DINÁMICO MODAL ESPECTRAL Y CRONOLÓGICO EN LAS EDIFICACIONES REGULARES E IRREGULARES DEL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA*. 2, 1–13.
- Loyaga Vicente, T. V. (2019). Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito. *Tesis*, 80.
- Mejía, D. (2019). *EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA INELÁSTICA DE MODELOS ESTRUCTURALES DE EDIFICIOS EN FUNCIÓN DE LA COMBINACIÓN DE EFECTOS SÍSMICOS ORTOGONALES*.
- Navarro, A., & Hernández, A. (2021). *Análisis comparativo entre el método estático equivalente y el método de análisis modal en estructuras regulares de muros portantes de hormigón armado . Análisis comparativo entre el método análisis modal en estructuras regulares de muros portantes de hor. 15*.
- NEC. (2015). Seismic Resistant Design. *Design and Optimization of Metal Structures*, 27–32. <https://doi.org/10.1533/9781782420477.27>
- Puerta, M. (2015). *Métodos de Análisis Sísmico ( I ). El Método Estático Equivalente*. 12, 1–11. <https://www.construccionenacero.com/comment/361#comment-361>

- Richard, S. (2021). *ANÁLISIS COMPARATIVO DEL ESPECTRO DE DISEÑO PROPUESTOS POR LAS NORMAS ASCE 7-16 Y NEC-15 CON LOS ESPECTROS DE RESPUESTA DEL SISMO DE PEDERNALES DEL 16 DE ABRIL DEL 2016 OBTENIDOS PARA LAS ESTACIONES DE LA RENAC DEL IG-EPN.*
- Valdés González, J., & Ordaz Schroeder, M. (2008). Análisis De Efectos Sísmicos Ortogonales Horizontales En Terreno Blando. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 79, 91. <https://doi.org/10.18867/ris.79.34>
- Zavoni, E., & Machicao, R. (2004). Response to orthogonal components of ground motion and assessment of percentage combination rules. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 33(2), 271–284. <https://doi.org/10.1002/eqe.351>

# ANEXOS

## Anexo 1

*Envolvente de Momentos Mu del Pórtico del Eje B de la Estructura Regular*



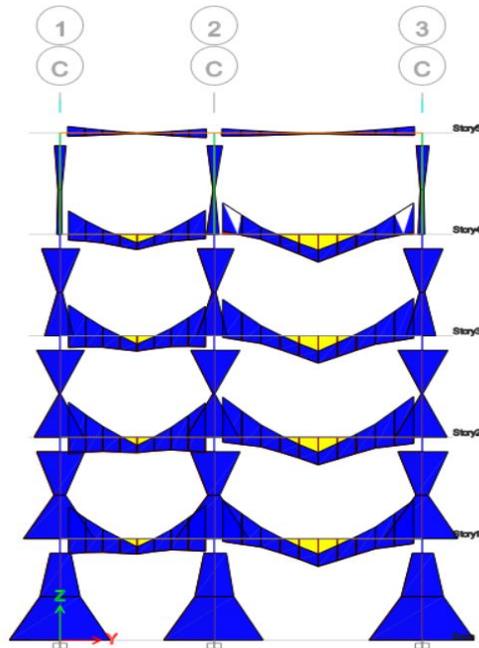
## Anexo 2

*Elementos críticos en el Pórtico del Eje B de la Estructura Regular*



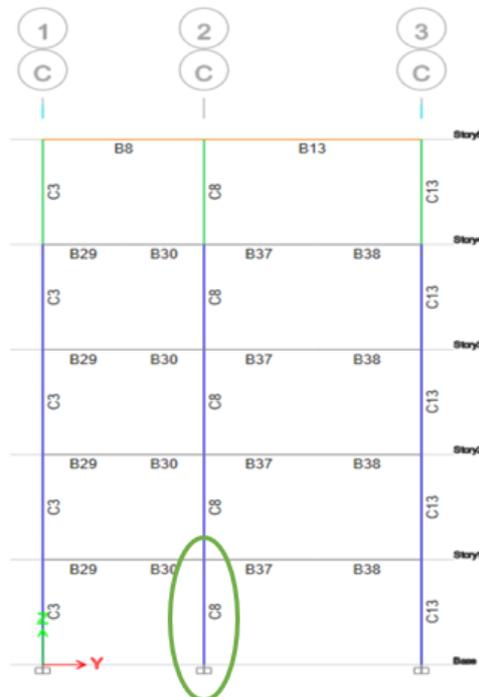
### Anexo 3

*Envolvente de Momentos Mu del Pórtico del Eje C de la Estructura Regular*



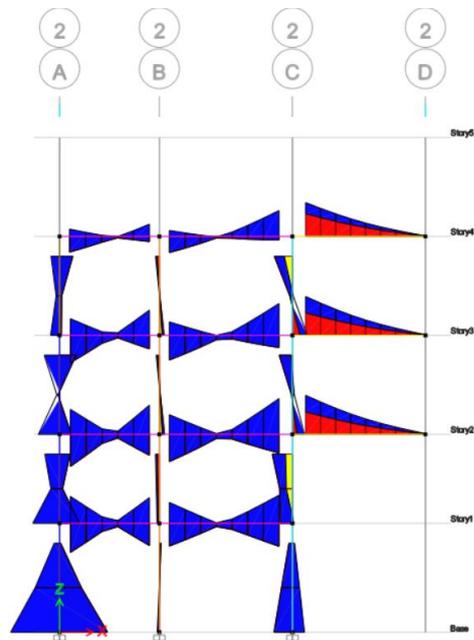
### Anexo 4

*Elementos críticos en el Pórtico del Eje C de la Estructura Regular*



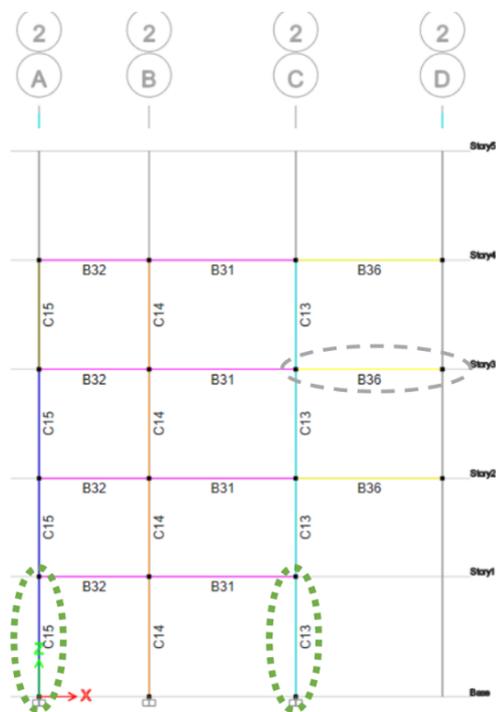
## Anexo 5

*Envolvente de Momentos Mu del Pórtico del Eje 2 de la Estructura Irregular*



## Anexo 6

*Elementos críticos en el Pórtico del Eje 2 de la Estructura Irregular*



## Tablas de las Estructuras Regulares

### Anexo 7

*Derivas máximas del Modelo 1 sin Cargas Ortogonales en dirección X*

Story	Load Case/Combo	Unique Name	UX m	UY m	Z m	UX max (m)	UY max (m)	DESPLAZAMIENTO RESULTANTE (m)	$\Delta_E$	R	$\Delta_{MAX} = 0,75 * R * \Delta_E$	$\Delta_{MAX} = 0,02 = 2\%$
P5	Envolvente X	95	0.0257	0.0025	15.75	0.026947	0.002452	0.0271	0.0008	8	0.0051	SI CUMPLE
P5	Envolvente X	101	0.0269	0.0024								
P4	Envolvente X	26	0.0233	0.0023	12.6	0.024288	0.002253	0.0244	0.0015	8	0.0093	SI CUMPLE
P4	Envolvente X	86	0.0243	0.0023								
P3	Envolvente X	25	0.0187	0.0018	9.45	0.01944	0.001817	0.0195	0.0022	8	0.0132	SI CUMPLE
P3	Envolvente X	85	0.0194	0.0018								
P2	Envolvente X	28	0.0121	0.0012	6.3	0.012553	0.001164	0.0126	0.0024	8	0.0147	SI CUMPLE
P2	Envolvente X	88	0.0126	0.0012								
P1	Envolvente X	29	0.0047	0.0004	3.15	0.00487	0.000443	0.0049	0.0016	8	0.0093	SI CUMPLE
P1	Envolvente X	89	0.0049	0.0004								

### Anexo 8

*Derivas máximas del Modelo 1 sin Cargas Ortogonales en dirección Y*

Story	Load Case/Combo	Unique Name	UX m	UY m	Z m	UX max	UY max	DESPLAZAMIENTO RESULTANTE	$\Delta_E$	R	$\Delta_{MAX} = 0,75 * R * \Delta_E$	$\Delta_{MAX} = 0,02 = 2\%$
P5	Envolvente Y	95	0.0013	0.0319	15.75	0.001503	0.03192	0.0320	0.0010	8	0.0061	SI CUMPLE
P5	Envolvente Y	101	0.0015	0.0319								
P4	Envolvente Y	26	0.0013	0.0287	12.6	0.001435	0.028724	0.0288	0.0019	8	0.0115	SI CUMPLE
P4	Envolvente Y	86	0.0014	0.0287								
P3	Envolvente Y	25	0.0011	0.0227	9.45	0.001176	0.022705	0.0227	0.0026	8	0.0159	SI CUMPLE
P3	Envolvente Y	85	0.0012	0.0227								
P2	Envolvente Y	28	0.0007	0.0144	6.3	0.000766	0.014371	0.0144	0.0029	8	0.0172	SI CUMPLE
P2	Envolvente Y	88	0.0008	0.0144								
P1	Envolvente Y	29	0.0003	0.0054	3.15	0.000295	0.005366	0.0054	0.0017	8	0.0102	SI CUMPLE
P1	Envolvente Y	89	0.0003	0.0054								

## Anexo 9

Derivas máximas del Modelo 2 con Cargas Ortogonales NEC-15 en dirección X

Story	Load Case/Combo	Unique Name	UX m	UY m	Z m	UX max (m)	UY max (m)	DESPLAZAMIENTO RESULTANTE (m)	$\Delta_E$	R	$\Delta_{MAX} = 0,75 * R * \Delta_E$	$\Delta_{MAX} = 0,02 = 2\%$
P5	Envolvente X	95	0.02579	0.03964	15.75	0.027011	0.039635	0.0480	0.0015	8	0.0087	SI CUMPLE
P5	Envolvente X	101	0.02701	0.03963								
P4	Envolvente X	26	0.02337	0.03591	12.6	0.024347	0.035913	0.0434	0.0028	8	0.0168	SI CUMPLE
P4	Envolvente X	86	0.02435	0.03591								
P3	Envolvente X	25	0.01871	0.02858	9.45	0.019487	0.028577	0.0346	0.0040	8	0.0238	NO CUMPLE
P3	Envolvente X	85	0.01949	0.02858								
P2	Envolvente X	28	0.01209	0.01819	6.3	0.012583	0.018189	0.0221	0.0044	8	0.0262	NO CUMPLE
P2	Envolvente X	88	0.01258	0.01819								
P1	Envolvente X	29	0.00470	0.00682	3.15	0.004881	0.006817	0.0084	0.0027	8	0.0160	SI CUMPLE
P1	Envolvente X	89	0.00488	0.00682								

## Anexo 10

Derivas máximas del Modelo 2 con Cargas Ortogonales NEC-15 en dirección Y

Story	Load Case/Combo	Unique Name	UX m	UY m	Z m	UX max	UY max	DESPLAZAMIENTO RESULTANTE	$\Delta_E$	R	$\Delta_{MAX} = 0,75 * R * \Delta_E$	$\Delta_{MAX} = 0,02 = 2\%$
P5	Envolvente Y	95	0.030136	0.033224	15.75	0.031849	0.033224	0.0460	0.0014	8	0.0084	SI CUMPLE
P5	Envolvente Y	101	0.031849	0.033213								
P4	Envolvente Y	26	0.027482	0.029929	12.6	0.028925	0.029929	0.0416	0.0027	8	0.0160	SI CUMPLE
P4	Envolvente Y	86	0.028925	0.029929								
P3	Envolvente Y	25	0.022124	0.02367	9.45	0.023282	0.02367	0.0332	0.0038	8	0.0227	NO CUMPLE
P3	Envolvente Y	85	0.023282	0.02367								
P2	Envolvente Y	28	0.014355	0.014989	6.3	0.015097	0.014989	0.0213	0.0042	8	0.0251	NO CUMPLE
P2	Envolvente Y	88	0.015097	0.014989								
P1	Envolvente Y	29	0.005593	0.005599	3.15	0.005873	0.005599	0.0081	0.0026	8	0.0155	SI CUMPLE
P1	Envolvente Y	89	0.005873	0.005599								

## Anexo 11

Derivas máximas del Modelo 3 con Cargas Ortogonales ASCE 7- 16 en dirección X

Story	Load Case/Combo	Unique Name	UX m	UY m	Z m	UX max	UY max	DESPLAZAMIENTO RESULTANTE	$\Delta_E$	R	$\Delta_{MAX}= 0,75 * R * \Delta_E$	$\Delta_{MAX}= 0,02$
P5	Envolvente EX1	95	0.026	0.014	15.75	0.026967	0.013608	0.0302	0.0009	8	0.0056	SI CUMPLE
P5	Envolvente EX1	101	0.027	0.014								
P4	Envolvente EX1	26	0.023	0.012	12.6	0.024306	0.012352	0.0273	0.0017	8	0.0104	SI CUMPLE
P4	Envolvente EX1	86	0.024	0.012								
P3	Envolvente EX1	25	0.019	0.010	9.45	0.019454	0.009846	0.0218	0.0025	8	0.0148	SI CUMPLE
P3	Envolvente EX1	85	0.019	0.010								
P2	Envolvente EX1	28	0.012	0.006	6.3	0.012562	0.006272	0.0140	0.0027	8	0.0164	SI CUMPLE
P2	Envolvente EX1	88	0.013	0.006								
P1	Envolvente EX1	29	0.005	0.002	3.15	0.004873	0.002355	0.0054	0.0017	8	0.0103	SI CUMPLE
P1	Envolvente EX1	89	0.005	0.002								

## Anexo 12

Derivas máximas del Modelo 3 con Cargas Ortogonales ASCE 7- 16 en dirección Y

Story	Load Case/Combo	Unique Name	UX m	UY m	Z m	UX max	UY max	DESPLAZAMIENTO RESULTANTE	$\Delta_E$	R	$\Delta_{MAX}= 0,75 * R * \Delta_E$	$\Delta_{MAX}= 0,02$
P5	Envolvente Y	95	0.010	0.032	15.75	0.010606	0.032312	0.0340	0.0011	8	0.0064	SI CUMPLE
P5	Envolvente Y	101	0.011	0.032								
P4	Envolvente Y	26	0.009	0.029	12.6	0.009682	0.029086	0.0307	0.0020	8	0.0121	SI CUMPLE
P4	Envolvente Y	86	0.010	0.029								
P3	Envolvente Y	25	0.007	0.023	9.45	0.007807	0.022995	0.0243	0.0028	8	0.0169	SI CUMPLE
P3	Envolvente Y	85	0.008	0.023								
P2	Envolvente Y	28	0.005	0.015	6.3	0.005065	0.014557	0.0154	0.0031	8	0.0183	SI CUMPLE
P2	Envolvente Y	88	0.005	0.015								
P1	Envolvente Y	29	0.002	0.005	3.15	0.001968	0.005436	0.0058	0.0018	8	0.0110	SI CUMPLE
P1	Envolvente Y	89	0.002	0.005								

## Anexo 13

### *Torsión Excesiva del Modelo 1 sin Cargas Ortogonales en dirección X*

Story	Load Case/Combo	UX m	UY m	Z m	DESPLAZAMIENTO RESULTANTE	$\Delta_E$	$\Delta_{MAX}$	1, 2 * <b>PROMEDIO</b> $\Delta_E$	$\frac{\Delta_{MAX}}{1.2\Delta * Prome} \leq 1$	
P4	Envolvente X	0.02332	0.00225	12.6	0.0234	0.0015	0.0015453	0.0018162	0.8508	NO HAY TORSION EXCESIVA
P4	Envolvente X	0.02429	0.00225		0.0244	0.0015				
P3	Envolvente X	0.01867	0.00182	9.45	0.0188	0.0021	0.0021962	0.0025821	0.8505	NO HAY TORSION EXCESIVA
P3	Envolvente X	0.01944	0.00182		0.0195	0.0022				
P2	Envolvente X	0.01207	0.00116	6.3	0.01212	0.0024	0.0024498	0.0028819	0.8501	NO HAY TORSION EXCESIVA
P2	Envolvente X	0.01255	0.00116		0.01261	0.0024				
P1	Envolvente X	0.00469	0.00044	3.15	0.00471	0.0015	0.0015524	0.0018284	0.8491	NO HAY TORSION EXCESIVA
P1	Envolvente X	0.00487	0.00044		0.00489	0.0016				

## Anexo 14

### *Torsión Excesiva del Modelo 1 sin Cargas Ortogonales en dirección Y*

Story	Load Case/Combo	UX m	UY m	Z m	DESPLAZAMIENTO RESULTANTE	$\Delta_E$	$\Delta_{MAX}$	1, 2 * <b>PROMEDIO</b> $\Delta_E$	$\frac{\Delta_{MAX}}{1.2\Delta * Prome} \leq 1$	
P4	Envolvente Y	0.00128	0.02872	12.6	0.0288	0.0019	0.0019125	0.0022948	0.8334	NO HAY TORSION EXCESIVA
P4	Envolvente Y	0.00144	0.02872		0.0288	0.0019				
P3	Envolvente Y	0.00105	0.02271	9.45	0.0227	0.0026	0.0026489	0.0031783	0.8334	NO HAY TORSION EXCESIVA
P3	Envolvente Y	0.00118	0.02271		0.0227	0.0026				
P2	Envolvente Y	0.00069	0.01437	6.3	0.01439	0.0029	0.0028626	0.0034347	0.8334	NO HAY TORSION EXCESIVA
P2	Envolvente Y	0.00077	0.01437		0.01439	0.0029				
P1	Envolvente Y	0.00027	0.00537	3.15	0.00537	0.0017	0.0017061	0.0020470	0.8335	NO HAY TORSION EXCESIVA
P1	Envolvente Y	0.00030	0.00537		0.00537	0.0017				

## Anexo 15

*Torsión Excesiva del Modelo 2 con Cargas Ortogonales NEC-15 en dirección X*

Pisos	Load Case/Combo	UX m	UY m	Z m	DESPLAZAMIENTO RESULTANTE	$\Delta_E$	$\Delta_{MAX}$	1, 2 * PROMEDIO $\Delta_E$	$\frac{\Delta_{MAX}}{1.2\Delta * Prome} \leq 1$	
P4	Envolvente X	0.0234	0.0359		0.0428	0.0028				
P4	Envolvente X	0.0243	0.0359	12.6	0.0434	0.0028	0.00279	0.00333	0.8386	NO HAY TORSION EXCESIVA
P3	Envolvente X	0.0187	0.0286		0.0342	0.0039				
P3	Envolvente X	0.0195	0.0286	9.45	0.0346	0.0040	0.00396	0.00472	0.8385	NO HAY TORSION EXCESIVA
P2	Envolvente X	0.0121	0.0182		0.02184	0.0043				
P2	Envolvente X	0.0126	0.0182	6.3	0.02212	0.0044	0.00436	0.00520	0.8385	NO HAY TORSION EXCESIVA
P1	Envolvente X	0.0047	0.0068		0.00828	0.0026				
P1	Envolvente X	0.0049	0.0068	3.15	0.00838	0.0027	0.00266	0.00317	0.8386	NO HAY TORSION EXCESIVA

## Anexo 16

*Torsión Excesiva del Modelo 2 con Cargas Ortogonales NEC-15 en dirección Y*

Pisos	Load Case/Combo	UX m	UY m	Z m	DESPLAZAMIENTO RESULTANTE	$\Delta_E$	$\Delta_{MAX}$	1, 2 * PROMEDIO $\Delta_E$	$\frac{\Delta_{MAX}}{1.2\Delta * Prome} \leq 1$	
P4	Envolvente Y	0.0275	0.0299		0.0406	0.0026				
P4	Envolvente Y	0.0289	0.0299	12.6	0.0416	0.0027	0.00267	0.00317	0.8427	NO HAY TORSION EXCESIVA
P3	Envolvente Y	0.0221	0.0237		0.0324	0.0037				
P3	Envolvente Y	0.0233	0.0237	9.45	0.0332	0.0038	0.00379	0.00449	0.8433	NO HAY TORSION EXCESIVA
P2	Envolvente Y	0.0144	0.0150		0.0208	0.0041				
P2	Envolvente Y	0.0151	0.0150	6.3	0.0213	0.0042	0.00418	0.00495	0.8436	NO HAY TORSION EXCESIVA
P1	Envolvente Y	0.0056	0.0056		0.0079	0.0025				
P1	Envolvente Y	0.0059	0.0056	3.15	0.0081	0.0026	0.00258	0.00305	0.8437	NO HAY TORSION EXCESIVA

## Anexo 17

*Torsión Excesiva del Modelo 3 con Cargas Ortogonales ASCE7- 16 en dirección X*

Pisos	Load Case/Combo	UX m	UY m	Z m	DESPLAZAMIENTO RESULTANTE	$\Delta_E$	$\Delta_{MAX}$	$1,2 * PROMEDIO \Delta_E$	$\frac{\Delta_{MAX}}{1.2\Delta * Promed} \leq 1$	
P4	Envolvente X	0.0233	0.0124	12.6	0.0264	0.002	0.001734	0.002046	0.8472	NO HAY TORSION EXCESIVA
P4	Envolvente X	0.0243	0.0124		0.0273	0.002				
P3	Envolvente X	0.0187	0.0098	9.45	0.0211	0.002	0.002464	0.002910	0.8469	NO HAY TORSION EXCESIVA
P3	Envolvente X	0.0195	0.0098		0.0218	0.002				
P2	Envolvente X	0.0121	0.0063	6.3	0.01361	0.003	0.002739	0.003235	0.8467	NO HAY TORSION EXCESIVA
P2	Envolvente X	0.0126	0.0063		0.01404	0.003				
P1	Envolvente X	0.0047	0.0024	3.15	0.00525	0.002	0.001718	0.002031	0.8461	NO HAY TORSION EXCESIVA
P1	Envolvente X	0.0049	0.0024		0.00541	0.002				

## Anexo 18

*Torsión Excesiva del Modelo 3 con Cargas Ortogonales ASCE7- 16 en dirección Y*

Pisos	Load Case/Combo	UX m	UY m	Z m	DESPLAZAMIENTO RESULTANTE	$\Delta_E$	$\Delta_{MAX}$	$1,2 * PROMEDIO \Delta_E$	$\frac{\Delta_{MAX}}{1.2\Delta * Promed} \leq 1$	
P4	Envolvente Y	0.0091	0.0291	12.6	0.0305	0.002	0.002023	0.002421	0.8353	NO HAY TORSION EXCESIVA
P4	Envolvente Y	0.0097	0.0291		0.0307	0.002				
P3	Envolvente Y	0.0074	0.0230	9.45	0.0241	0.003	0.002816	0.003371	0.8355	NO HAY TORSION EXCESIVA
P3	Envolvente Y	0.0078	0.0230		0.0243	0.003				
P2	Envolvente Y	0.0048	0.0146	6.3	0.0153	0.003	0.003058	0.003659	0.8357	NO HAY TORSION EXCESIVA
P2	Envolvente Y	0.0051	0.0146		0.0154	0.003				
P1	Envolvente Y	0.0019	0.0054	3.15	0.0057	0.002	0.001835	0.002196	0.836	NO HAY TORSION EXCESIVA
P1	Envolvente Y	0.0020	0.0054		0.0058	0.002				

## Tablas de las Estructuras Irregulares

### Anexo 19

*Derivas máximas del Modelo 4 sin Cargas Ortogonales en dirección X*

Pisos	Load Case/Combo	Unique Name	UX m	UY m	Z m	UX max (m)	UY max (m)	DESPLAZAMIENTO RESULTANTE (m)	$\Delta_E$	R	$\Delta_{MAX} = 0,75 * R * \Delta_E$	$\Delta_{MAX} = 0,02 = 2\%$
P4	Envolvente X	62	0.0446	0.0009	12	0.044604	0.007337	0.0452	0.0034	5	0.0129	SI CUMPLE
P4	Envolvente X	68	0.0446	0.0073	9	0.034211	0.006805	0.0349	0.0044	5	0.0167	SI CUMPLE
P3	Envolvente X	61	0.0342	0.0017	6	0.020944	0.00504	0.0215	0.0051	5	0.0192	SI CUMPLE
P3	Envolvente X	69	0.0342	0.0068	3.3	0.007621	0.001029	0.0077	0.0023	5	0.0087	SI CUMPLE
P2	Envolvente X	50	0.0209	0.0018								
P2	Envolvente X	70	0.0209	0.0050								
P1	Envolvente X	22	0.0076	0.0010								
P1	Envolvente X	8	0.0076	0.0010								

### Anexo 20

*Derivas máximas del Modelo 4 sin Cargas Ortogonales en dirección Y*

Pisos	Load Case/Combo	Unique Name	UX m	UY m	Z m	UX max	UY max	DESPLAZAMIENTO RESULTANTE (m)	$\Delta_E$	R	$\Delta_{MAX} = 0,75 * R * \Delta_E$	$\Delta_{MAX} = 0,02 = 2\%$
P4	Envolvente en Y	62	0.0204	0.0196	12	0.020419	0.032928	0.0387	0.0026	5	0.0099	SI CUMPLE
P4	Envolvente en Y	68	0.0204	0.0329	9	0.014577	0.027179	0.0308	0.0037	5	0.0139	SI CUMPLE
P3	Envolvente en Y	61	0.0146	0.0167	6	0.008188	0.017927	0.0197	0.0046	5	0.0174	SI CUMPLE
P3	Envolvente en Y	69	0.0146	0.0272	3.3	0.001849	0.00693	0.0072	0.0022	5	0.0082	SI CUMPLE
P2	Envolvente en Y	50	0.0082	0.0113								
P2	Envolvente en Y	70	0.0082	0.0179								
P1	Envolvente en Y	22	0.0018	0.0069								
P1	Envolvente en Y	8	0.0018	0.0054								

## Anexo 21

*Derivas máximas del Modelo 5 con Cargas Ortogonales NEC-15 en dirección X*

Pisos	Load Case/Combo	Unique Name	UX m	UY m	Z m	UX max (m)	UY max (m)	DESPLAZAMIENTO RESULTANTE (m)	$\Delta_E$	R	$\Delta_{MAX} = 0,75 * R * \Delta_E$	$\Delta_{MAX} = 0,02 = 2\%$
P4	Envolvente X	62	0.044704	0.000891	12	0.044704	0.007657	0.0454	0.0035	5	0.0131	SI CUMPLE
P4	Envolvente X	68	0.044704	0.007657								
P3	Envolvente X	61	0.034223	0.001726	9	0.034223	0.006905	0.0349	0.0045	5	0.0167	SI CUMPLE
P3	Envolvente X	69	0.034223	0.006905								
P2	Envolvente X	50	0.020944	0.001793	6	0.020944	0.00506	0.0215	0.0051	5	0.0192	SI CUMPLE
P2	Envolvente X	70	0.020944	0.00506								
P1	Envolvente X	22	0.007621	0.000982	3.3	0.007621	0.001029	0.0077	0.0023	5	0.0087	SI CUMPLE
P1	Envolvente X	8	0.007621	0.001029								

## Anexo 22

*Derivas máximas del Modelo 5 con Cargas Ortogonales NEC-15 en dirección X*

Pisos	Load Case/Combo	Unique Name	UX m	UY m	Z m	UX max	UY max	DESPLAZAMIENTO RESULTANTE (m)	$\Delta_E$	R	$\Delta_{MAX} = 0,75 * R * \Delta_E$	$\Delta_{MAX} = 0,02 = 2\%$
P4	Envolvente en Y	62	0.0205	0.0196	12	0.02049	0.032928	0.0388	0.0026	5	0.0099	SI CUMPLE
P4	Envolvente en Y	68	0.0205	0.0329								
P3	Envolvente en Y	61	0.0146	0.0167	9	0.014577	0.027179	0.0308	0.0037	5	0.0139	SI CUMPLE
P3	Envolvente en Y	69	0.0146	0.0272								
P2	Envolvente en Y	50	0.0082	0.0113	6	0.008188	0.017927	0.0197	0.0046	5	0.0174	SI CUMPLE
P2	Envolvente en Y	70	0.0082	0.0179								
P1	Envolvente en Y	22	0.0018	0.0069	3.3	0.001849	0.00693	0.0072	0.0022	5	0.0082	SI CUMPLE
P1	Envolvente en Y	8	0.0018	0.0054								

## Anexo 23

Derivas máximas del Modelo 6 con Cargas Ortogonales ASCE 7- 16 en dirección X

Pisos	Load Case/Combo	Unique Name	UX m	UY m	Z m	UX max (m)	UY max (m)	DESPLAZAMIENTO RESULTANTE (m)	$\Delta_E$	R	$\Delta_{MAX} = 0,75 * R * \Delta_E$	$\Delta_{MAX} = 0,02 = 2\%$
P4	Envolvente X	62	0.045	0.001	12	0.0447	0.007337	0.0453	0.0035	5	0.0130	SI CUMPLE
P4	Envolvente X	68	0.045	0.007								
P3	Envolvente X	61	0.034	0.002	9	0.034223	0.006805	0.0349	0.0044	5	0.0167	SI CUMPLE
P3	Envolvente X	69	0.034	0.007								
P2	Envolvente X	50	0.021	0.002	6	0.020944	0.00506	0.0215	0.0051	5	0.0192	SI CUMPLE
P2	Envolvente X	70	0.021	0.005								
P1	Envolvente X	22	0.008	0.001	3.3	0.007621	0.001029	0.0077	0.0023	5	0.0087	SI CUMPLE
P1	Envolvente X	8	0.008	0.001								

## Anexo 24

Derivas máximas del Modelo 6 con Cargas Ortogonales ASCE 7- 16 en dirección Y

Pisos	Load Case/Combo	Unique Name	UX m	UY m	Z m	UX max	UY max	DESPLAZAMIENTO RESULTANTE (m)	$\Delta_E$	R	$\Delta_{MAX} = 0,75 * R * \Delta_E$	$\Delta_{MAX} = 0,02 = 2\%$
P4	Envolvente en Y	62	0.020	0.020	12	0.020419	0.032928	0.0387	0.0026	5	0.0099	SI CUMPLE
P4	Envolvente en Y	68	0.020	0.033								
P3	Envolvente en Y	61	0.015	0.017	9	0.014577	0.027179	0.0308	0.0037	5	0.0139	SI CUMPLE
P3	Envolvente en Y	69	0.015	0.027								
P2	Envolvente en Y	50	0.008	0.011	6	0.008268	0.017927	0.0197	0.0047	5	0.0175	SI CUMPLE
P2	Envolvente en Y	70	0.008	0.018								
P1	Envolvente en Y	22	0.002	0.007	3.3	0.001849	0.00693	0.0072	0.0022	5	0.0082	SI CUMPLE
P1	Envolvente en Y	8	0.002	0.005								

## Anexo 25

### Torsión Excesiva del Modelo 4 sin Cargas Ortogonales en dirección X

Story	Load Case/Combo	UX m	UY m	Z m	DESPLAZAMIENTO RESULTANTE	$\Delta_E$	$\Delta_{MAX}$	1, 2 * <i>PROMEDIO</i> $\Delta_E$	$\frac{\Delta_{MAX}}{1.2\Delta + Prome} \leq 1$	
P4	1.2D+L+Ex2 (-0.05)	0.0223	0.0049	12	0.0228	0.0019	0.0034458	0.0031788	1.0840	HAY TORSION EXCESIVA
P4	1.2D+L+Ex2 (-0.05)	0.0447	0.0049		0.0450	0.0034				
P3	1.2D+L+Ex2 (-0.05)	0.0164	0.0054	9	0.0172	0.0023	0.0044053	0.0039991	1.1016	HAY TORSION EXCESIVA
P3	1.2D+L+Ex2 (-0.05)	0.0342	0.0054		0.0346	0.0044				
P2	1.2D+L+Ex2 (-0.05)	0.0094	0.0045	6	0.01047	0.0023	0.0050942	0.0044531	1.1440	HAY TORSION EXCESIVA
P2	1.2D+L+Ex2 (-0.05)	0.0209	0.0045		0.02142	0.0051				
P1	1.2D+L+Ex2 (-0.05)	0.0041	0.0009	3.3	0.00418	0.0013	0.0023240	0.0021546	1.0786	HAY TORSION EXCESIVA
P1	1.2D+L+Ex2 (-0.05)	0.0076	0.0009		0.00767	0.0023				

## Anexo 26

### Torsión Excesiva del Modelo 4 sin Cargas Ortogonales en dirección Y

Story	Load Case/Combo	UX m	UY m	Z m	DESPLAZAMIENTO RESULTANTE	$\Delta_E$	$\Delta_{MAX}$	1, 2 * <i>PROMEDIO</i> $\Delta_E$	$\frac{\Delta_{MAX}}{1.2\Delta + Prome} \leq 1$	
P4	1.2D+L+Ey1 (+0.05)	-0.0004	0.0305	12	0.0305	0.0016	0.0023878	0.0023822	1.0023	HAY TORSION EXCESIVA
P4	1.2D+L+Ey1 (+0.05)	0.0204	0.0305		0.0367	0.0024				
P3	1.2D+L+Ey1 (+0.05)	-0.0018	0.0257	9	0.0258	0.0028	0.0034549	0.0037287	0.9266	NO HAY TORSION EXCESIVA
P3	1.2D+L+Ey1 (+0.05)	0.0146	0.0257		0.0296	0.0035				
P2	1.2D+L+Ey1 (+0.05)	-0.0022	0.0174	6	0.01751	0.0039	0.0045011	0.0050502	0.8913	NO HAY TORSION EXCESIVA
P2	1.2D+L+Ey1 (+0.05)	0.0082	0.0174		0.01921	0.0045				
P1	1.2D+L+Ey1 (+0.05)	-0.0014	0.0068	3.3	0.00694	0.0021	0.0021375	0.0025444	0.8401	NO HAY TORSION EXCESIVA
P1	1.2D+L+Ey1 (+0.05)	0.0018	0.0068		0.00705	0.0021				

## Anexo 27

### Torsión Excesiva del Modelo 5 con Cargas Ortogonales NEC-15 en dirección X

Story	Load Case/Combo	UX m	UY m	Z m	DESPLAZAMIENTO RESULTANTE	$\Delta_E$	$\Delta_{MAX}$	$1, 2 * PROMEDIO \Delta_E$	$\frac{\Delta_{MAX}}{1.2\Delta * Prome} \leq 1$	
<b>P4</b>	1.2D+ L+Ex2(-0.05)+Ey	0.0223	0.0049	12	0.0228	0.0019	0.0034458	0.00318	1.0840	HAY TORSION EXCESIVA
<b>P4</b>	1.2D+ L+Ex2(-0.05)+Ey	0.0447	0.0049		0.0450	0.0034				
<b>P3</b>	1.2D+ L+Ex2(-0.05)+Ey	0.0164	0.0054	9	0.0172	0.0023	0.0044053	0.00400	1.1016	HAY TORSION EXCESIVA
<b>P3</b>	1.2D+ L+Ex2(-0.05)+Ey	0.0342	0.0054		0.0346	0.0044				
<b>P2</b>	1.2D+ L+Ex2(-0.05)+Ey	0.0094	0.0045	6	0.01047	0.0023	0.0050942	0.00445	1.1440	HAY TORSION EXCESIVA
<b>P2</b>	1.2D+ L+Ex2(-0.05)+Ey	0.0209	0.0045		0.02142	0.0051				
<b>P1</b>	1.2D+ L+Ex2(-0.05)+Ey	0.0041	0.0009	3.3	0.00418	0.0013	0.0023240	0.00215	1.0786	HAY TORSION EXCESIVA
<b>P1</b>	1.2D+ L+Ex2(-0.05)+Ey	0.0076	0.0009		0.00767	0.0023				

## Anexo 28

### Torsión Excesiva del Modelo 5 con Cargas Ortogonales NEC-15 en dirección Y

Story	Load Case/Combo	UX m	UY m	Z m	DESPLAZAMIENTO RESULTANTE	$\Delta_E$	$\Delta_{MAX}$	$1, 2 * PROMEDIO \Delta_E$	$\frac{\Delta_{MAX}}{1.2\Delta * Prome} \leq 1$	
<b>P4</b>	1.2D+ L+Ey1(+0.05)+Ex	-0.0004	0.0305	12	0.0305	0.00158	0.0023878	0.00238	1.0023	HAY TORSION EXCESIVA
<b>P4</b>	1.2D+ L+Ey1(+0.05)+Ex	0.0204	0.0305		0.0367	0.00239				
<b>P3</b>	1.2D+ L+Ey1(+0.05)+Ex	-0.0018	0.0257	9	0.0258	0.00276	0.0034549	0.00373	0.9266	NO HAY TORSION EXCESIVA
<b>P3</b>	1.2D+ L+Ey1(+0.05)+Ex	0.0146	0.0257		0.0296	0.00345				
<b>P2</b>	1.2D+ L+Ey1(+0.05)+Ex	-0.0022	0.0174	6	0.01751	0.00392	0.0045011	0.00505	0.8913	NO HAY TORSION EXCESIVA
<b>P2</b>	1.2D+ L+Ey1(+0.05)+Ex	0.0082	0.0174		0.01921	0.00450				
<b>P1</b>	1.2D+ L+Ey1(+0.05)+Ex	-0.0014	0.0068	3.3	0.00694	0.00210	0.0021375	0.00254	0.8401	NO HAY TORSION EXCESIVA
<b>P1</b>	1.2D+ L+Ey1(+0.05)+Ex	0.0018	0.0068		0.00705	0.00214				

## Anexo 29

### Torsión Excesiva del Modelo 6 con Cargas Ortogonales ASCE7- 16 en dirección X

Story	Load Case/Combo	UX m	UY m	Z m	DESPLAZAMIENTO RESULTANTE	$\Delta_E$	$\Delta_{MAX}$	1, 2 * <i>PROMEDIO</i> $\Delta_E$	$\frac{\Delta_{MAX}}{1.2\Delta * Prome} \leq 1$	
P4	1.2D+ L+Ex2(-0.05)+0.3Ey	0.0223	0.0049	12	0.0228	0.0019				
P4	1.2D+ L+Ex2(-0.05)+0.3Ey	0.0447	0.0049	12	0.0450	0.0034	0.0034458	0.00318	1.0840	HAY TORSION EXCESIVA
P3	1.2D+ L+Ex2(-0.05)+0.3Ey	0.0164	0.0054	9	0.0172	0.0023				
P3	1.2D+ L+Ex2(-0.05)+0.3Ey	0.0342	0.0054	9	0.0346	0.0044	0.0044053	0.00400	1.1016	HAY TORSION EXCESIVA
P2	1.2D+ L+Ex2(-0.05)+0.3Ey	0.0094	0.0045	6	0.01047	0.0023				
P2	1.2D+ L+Ex2(-0.05)+0.3Ey	0.0209	0.0045	6	0.02142	0.0051	0.0050942	0.00445	1.1440	HAY TORSION EXCESIVA
P1	1.2D+ L+Ex2(-0.05)+0.3Ey	0.0041	0.0009	3.3	0.00418	0.0013				
P1	1.2D+ L+Ex2(-0.05)+0.3Ey	0.0076	0.0009	3.3	0.00767	0.0023	0.0023240	0.00215	1.0786	HAY TORSION EXCESIVA

## Anexo 30

### Torsión Excesiva del Modelo 6 con Cargas Ortogonales ASCE7- 16 en dirección X

Story	Load Case/Combo	UX m	UY m	Z m	DESPLAZAMIENTO RESULTANTE	$\Delta_E$	$\Delta_{MAX}$	1, 2 * <i>PROMEDIO</i> $\Delta_E$	$\frac{\Delta_{MAX}}{1.2\Delta * Prome} \leq 1$	
P4	1.2D+ L+Ey1(+0.05)+0.3Ex	-0.0004	0.0305	12	0.0305	0.0016				
P4	1.2D+ L+Ey1(+0.05)+0.3Ex	0.0204	0.0305	12	0.0367	0.0024	0.0023878	0.0023822	1.0023	HAY TORSION EXCESIVA
P3	1.2D+ L+Ey1(+0.05)+0.3Ex	-0.0018	0.0257	9	0.0258	0.0028				
P3	1.2D+ L+Ey1(+0.05)+0.3Ex	0.0146	0.0257	9	0.0296	0.0035	0.0034549	0.0037287	0.9266	NO HAY TORSION EXCESIVA
P2	1.2D+ L+Ey1(+0.05)+0.3Ex	-0.0022	0.0174	6	0.01751	0.0039				
P2	1.2D+ L+Ey1(+0.05)+0.3Ex	0.0082	0.0174	6	0.01921	0.0045	0.0045011	0.0050502	0.8913	NO HAY TORSION EXCESIVA
P1	1.2D+ L+Ey1(+0.05)+0.3Ex	-0.0014	0.0068	3.3	0.00694	0.0021				
P1	1.2D+ L+Ey1(+0.05)+0.3Ex	0.0018	0.0068	3.3	0.00705	0.0021	0.0021375	0.0025444	0.8401	NO HAY TORSION EXCESIVA