

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Evaluación de la mejora del comportamiento sísmico de  
una edificación aporticada destinada a oficinas  
mediante la implementación de un sistema de  
reforzamiento a base de contraviento restringido a  
Pandeo**

Carlos Enrique Sotomayor Espinoza

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Civil

Ica, 2022

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

## **AGRADECIMIENTOS**

En especial, a mi asesor el Ingeniero Franz Estrada Porras, por el valioso apoyo, tiempo, amabilidad, recomendaciones y asesoría brindada que hizo posible el desarrollo de esta tesis.

A mi madre Ada Espinoza y a mi hermano Kevin Sotomayor por el apoyo incondicional dado en todo momento.

A Patricia Chumpitaz por la motivación y aliento durante todo el tiempo involucrado en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

## **DEDICATORIA**

A Dios, a mi madre y a mi hermano.

# ÍNDICE

<b>PORTADA.....</b>	<b>1</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>2</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE .....</b>	<b>4</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>13</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>14</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>15</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>17</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....</b>	<b>17</b>
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	17
1.1.1. PROBLEMA PRINCIPAL .....	18
1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS.....	18
1.2. OBJETIVOS .....	18
1.2.1. OBJETIVO GENERAL .....	18
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	19
1.4. HIPÓTESIS Y DESCRIPCIÓN DE VARIABLES.....	19
1.4.1. HIPÓTESIS.....	19
1.4.2. VARIABLES.....	20
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>21</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>21</b>
2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA .....	21
2.2. BASES TEÓRICAS .....	23
2.2.1. DISTORSIONES DE ENTREPISO .....	23

2.2.2. RIGIDEZ LATERAL EN EDIFICACIONES .....	24
2.2.3. CONTRAVIENTOS RESTRINGIDOS A PANDEO.....	26
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>32</b>
<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>32</b>
3.1. MÉTODO Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	32
3.1.1. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN .....	32
3.1.2. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	33
3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	33
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	33
3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	33
3.5. MATRIZ DE CONSISTENCIA .....	35
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>36</b>
<b>ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN SIN REFORZAMIENTO .....</b>	<b>36</b>
4.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO .....	36
4.1.1. ARQUITECTURA.....	36
4.1.2. ESTRUCTURA.....	38
4.1.2. DATOS GEOTÉCNICOS Y ZONIFICACIÓN SÍSMICA.....	40
4.1.3. PARÁMETROS SÍSMICOS.....	40
4.2. ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO .....	45
4.2.1. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES .....	45
4.2.2. DETERMINACIÓN DEL PESO DE LA EDIFICACIÓN.....	46
4.2.3. DETERMINACIÓN DEL PERIODO FUNDAMENTAL DE VIBRACIÓN DE LA EDIFICACIÓN.....	46
4.2.4. DISTRIBUCIÓN DE LA FUERZA SÍSMICA EN CADA NIVEL DE LA EDIFICACIÓN.....	49
4.2.5. DETERMINACIÓN DE LA EXCENTRICIDAD ACCIDENTAL.....	51
4.3. ANÁLISIS SÍSMICO DINÁMICO .....	51
4.3.1. CÁLCULO DE LA ACELERACIÓN ESPECTRAL.....	51
4.3.2. MODOS DE VIBRACIÓN DE LA EDIFICACIÓN.....	52
4.4. CONTROL DE DERIVAS POR ANÁLISIS SÍSMICO DINÁMICO .....	53

4.5. ESFUERZOS MÁXIMOS EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES .....	55
4.5.1. EJE A-A .....	55
4.5.2. EJE 1-1 .....	59
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>63</b>
<b>ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN CON REFORZAMIENTO....</b>	<b>63</b>
5.1. IMPLEMENTACIÓN DE LOS REFUERZOS.....	64
5.1.1. ESTIMACIÓN DE LA FUERZA CORTANTE EN EL SISTEMA SECUNDARIO .....	65
5.1.2. DEFINICIÓN DE LA CANTIDAD DE DISIPADORES POR PISO (n) Y SU UBICACIÓN .....	69
5.1.3. CÁLCULO DE LA FUERZA DE DISEÑO DE CADA DISIPADOR .....	70
5.1.4. OBTENCIÓN DE LA RIGIDEZ AXIAL DE LOS DISIPADORES .....	72
5.1.5. MODELAMIENTO DE LOS DISIPADORES EN EL PROGRAMA DE ANÁLISIS ESTRUCTURAL .....	74
5.1.6. ANÁLISIS MODAL ESPECTRAL DEL EDIFICIO REFORZADO .....	77
<b>CAPÍTULO VI.....</b>	<b>87</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>87</b>
6.1. RESULTADOS DEL TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN .....	87
6.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	91
<b>CAPÍTULO VII.....</b>	<b>93</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>93</b>
7.1. CONCLUSIONES .....	93
7.1.1. CONCLUSIÓN GENERAL .....	93
7.1.2. CONCLUSIONES ESPECÍFICAS.....	93
7.2. RECOMENDACIONES.....	94
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>95</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>97</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA 1 - LÍMITES PARA LA DISTORSIÓN DE ENTREPISO .....</b>	<b>24</b>
<b>TABLA 2 - COEFICIENTES BÁSICOS DE REDUCCIÓN DE FUERZAS SÍSMICAS (RNE – E.030, 2018) .....</b>	<b>24</b>
<b>TABLA 3 - FACTORES DE ZONA (RNE - E.030, 2018) .....</b>	<b>41</b>
<b>TABLA 4 - FACTOR DE SUELO "S" (RNE - E.030, 2018).....</b>	<b>41</b>
<b>TABLA 5 - PERIODOS "TP" Y "TL" (RNE - E.030, 2018).....</b>	<b>41</b>
<b>TABLA 6 - CATEGORÍA DE LAS EDIFICACIONES Y FACTOR DE USO "U" (ADAPTADO DEL RNE E0.30, 2018) .....</b>	<b>42</b>
<b>TABLA 7 - COEFICIENTES DE REDUCCIÓN SÍSMICA PARA SISTEMAS ESTRUCTURALES DE CONCRETO ARMADO (RNE E.030, 2018) .....</b>	<b>43</b>
<b>TABLA 8 - CATEGORÍA Y REGULARIDAD DE EDIFICACIONES (RNE E.030, 2018) .....</b>	<b>44</b>
<b>TABLA 9 - PESO DE LA EDIFICACIÓN.....</b>	<b>46</b>
<b>TABLA 10 - CÁLCULO DEL PERIODO DE VIBRACIÓN FUNDAMENTAL EN EL EJE X-X (SIN REFORZAMIENTO) .....</b>	<b>47</b>
<b>TABLA 11 - CÁLCULO DEL PERIODO DE VIBRACIÓN FUNDAMENTAL EN EL EJE Y-Y (SIN REFORZAMIENTO) .....</b>	<b>47</b>
<b>TABLA 12 - DISTRIBUCIÓN DE FUERZA SÍSMICA EN ALTURA, EJE X-X (SIN REFORZAMIENTO) .....</b>	<b>50</b>
<b>TABLA 13 - DISTRIBUCIÓN DE FUERZA SÍSMICA EN ALTURA, EJE Y-Y (SIN REFORZAMIENTO) .....</b>	<b>51</b>
<b>TABLA 14 - CÁLCULO DE EXCENTRICIDAD ACCIDENTAL .....</b>	<b>51</b>
<b>TABLA 15 - MODOS DE VIBRACIÓN DE LA EDIFICACIÓN.....</b>	<b>53</b>
<b>TABLA 16 - CÁLCULO DE DERIVAS DE ENTREPISO EN EL EJE X-X PARA UN ANÁLISIS SÍSMICO DINÁMICO .....</b>	<b>54</b>



<b>TABLA 17</b> - CÁLCULO DE DERIVAS DE ENTREPISO EN EL EJE Y-Y PARA UN ANÁLISIS SÍSMICO DINÁMICO .....	54
<b>TABLA 18</b> - CÁLCULO DE LA FUERZA CORTANTE QUE DEBE RESISTIR EL SISTEMA SECUNDARIO.....	67
<b>TABLA 19</b> - CÁLCULO DE LAS FUERZAS DE DISEÑO EN CADA DISIPADOR Y EL ÁNGULO DE INCLINACIÓN, POR EJE.....	71
<b>TABLA 20</b> - PROPIEDADES DE LOS DISIPADORES EN FUNCIÓN DE SU LONGITUD Y FUERZA DE DISEÑO AXIAL. ....	72
<b>TABLA 21</b> - DETERMINACIÓN DE LA RIGIDEZ AXIAL DEL CRP SELECCIONADO EN LA PRIMERA ITERACIÓN.....	73
<b>TABLA 22</b> - SISTEMAS ESTRUCTURALES (E.030, 2018). ....	78
<b>TABLA 23</b> - VERIFICACIÓN DE DERIVAS DE ENTREPISO, CON CRP 40/4 ...	82
<b>TABLA 24</b> - VERIFICACIÓN DE DERIVAS DE ENTREPISO, CON CRP 60/4 ...	83
<b>TABLA 25</b> - VERIFICACIÓN DE DERIVAS DE ENTREPISO, CON CRP 80/4 ...	83
<b>TABLA 26</b> - VERIFICACIÓN DE DERIVAS DE ENTREPISO, CON CRP 100/4 .	84
<b>TABLA 27</b> - VERIFICACIÓN DE DERIVAS DE ENTREPISO, CON CRP 120/4 .	84
<b>TABLA 28</b> - VERIFICACIÓN DE DERIVAS DE ENTREPISO, CON CRP 140/4 .	85
<b>TABLA 29</b> - VERIFICACIÓN DE DERIVAS DE ENTREPISO, CON CRP 160/4 .	85
<b>TABLA 30</b> - VERIFICACIÓN DE DERIVAS DE ENTREPISO, CON CRP 120/4 Y 160/4 .....	86
<b>TABLA 31</b> - FUERZAS DE CORTE DE ENTREPISO PARA EL EDIFICIO CON Y SIN REFUERZO CRP.....	88
<b>TABLA 32</b> - FUERZAS DE CORTE DE ENTREPISO, PARA LA COLUMNA DEL PÓRTICO B, EJE 2. ....	91

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1 - DISTORSIÓN RELATIVA DE ENTREPISO .....</b>	<b>23</b>
<b>FIGURA 2 - RIGIDEZ LATERAL .....</b>	<b>25</b>
<b>FIGURA 3 - CONTRAVIENTO RESTRINGIDO A PANDEO. TOMADA DE «REVISTA EIA, ISSN 1794 – 1237 NÚMERO 11», POR OVIEDO &amp; DUQUE. 2009, P. 57.....</b>	<b>26</b>
<b>FIGURA 4 - CUADRO CONCEPTUAL DE SISTEMAS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA. ADAPTADA DE «REVISTA DE INGENIERÍA DE CONSTRUCCIÓN VOL 29 N°3 2014», POR JUAN-PIMIENTO, ANDRÉS-SALAS Y DANIEL-RUIZ. 2014 .....</b>	<b>27</b>
<b>FIGURA 5 - CONFIGURACIÓN TÍPICA DE UN CONTRAVIENTO RESTRINGIDO A PANDEO. TOMADA DE «CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL DISIPADOR DAMPO DUAL PROTECT», POR DAMPO SYSTEMS S.A.....</b>	<b>28</b>
<b>FIGURA 6 - APARICIÓN DE MODOS DE PANDEO ENTRE EL NÚCLEO Y EL MATERIAL CONFINANTE. TOMADA DE «BUCKLING-RESTRAINED BRACE HISTORY. DESIGN AND APPLICATIONS», POR TAKEUCHI ET AL. 2017, P. 3 .....</b>	<b>28</b>
<b>FIGURA 7 - ZONAS QUE CONFORMAN EL CONTRAVIENTO RESTRINGIDO A PANDEO. ADAPTADA DE «CONTROL DE LA RESPUESTA SÍSMICA DE EDIFICIOS ALTOS POR MEDIO DE UN SISTEMA DE CONTRAVIENTOS RESTRINGIDOS CONTRA PANDEO» POR GUILLERMO COETO. 2008, P. 7. 29</b>	
<b>FIGURA 8 - DISPOSICIÓN Y CONFIGURACIÓN DE CRP. TOMADA DE «SEISMIC DESIGN OF STEEL BUCKLING-RESTRAINED BRACED FRAMES. A GUIDE FOR PRACTICING ENGINEERS», POR RYAN-KERSTING, LARRY-FAHNESTOCK Y WALTERIO-LÓPEZ. 2015, P. 17.....</b>	<b>31</b>
<b>FIGURA 9 - COMPORTAMIENTO HISTERÉTICO DE UN CONTRAVIENTO RESTRINGIDO A PANDEO. TOMADA DE «PROPUESTA DE REFORZAMIENTO DE UNA ESTRUCTURA DE HOSPITAL CON DISIPADORES DE ENERGÍA DEL TIPO CRP», POR ERIBERTO BALINAS. 2017, P. 11.....</b>	<b>31</b>
<b>FIGURA 10 - PRIMER NIVEL - VISTA ISOMÉTRICA .....</b>	<b>37</b>
<b>FIGURA 11 - SEGUNDO, TERCERO, CUARTO, QUINTO, SEXTO, SÉPTIMO Y OCTAVO NIVEL - VISTA ISOMÉTRICA .....</b>	<b>37</b>

<b>FIGURA 12 - AZOTEA (VISTA ISOMÉTRICA)</b> .....	38
<b>FIGURA 13 - VISTA DE LA ESTRUCTURA EN PLANTA</b> .....	39
<b>FIGURA 14 - SECCIÓN TRANSVERSAL DE VIGAS Y COLUMNAS DE LA EDIFICACIÓN</b> .....	39
<b>FIGURA 15 - ZONAS SÍSMICAS DE TERRITORIO PERUANO. TOMADA DE «REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES – E.030», POR MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO. 2018, P. 10</b> .....	40
<b>FIGURA 16 - MODELO EN TRES (03) DIMENSIONES DEL EDIFICIO APORTICADO</b> .....	45
<b>FIGURA 17 - PERIODO FUNDAMENTAL EN EL EJE X-X (ELABORADO EN ETABS V2016)</b> .....	48
<b>FIGURA 18 - PERIODO FUNDAMENTAL EN EL EJE Y-Y (ELABORADO EN ETABS V2016)</b> .....	48
<b>FIGURA 19 - ESPECTRO DE RESPUESTA SÍSMICA PARA <math>R = 8</math>, <math>U = 1.0</math>, <math>S = 1.10</math> Y <math>Z = 0.45</math></b> .....	52
<b>FIGURA 20 - DIAGRAMA DE MOMENTO FLECTOR EN VIGAS - EJE A-A</b> .....	55
<b>FIGURA 21 - DIAGRAMA DE MOMENTO FLECTOR EN COLUMNAS - EJE A-A</b> .....	56
<b>FIGURA 22 - DIAGRAMA DE FUERZA CORTANTE EN VIGAS - EJE A-A</b> .....	57
<b>FIGURA 23 - DIAGRAMA DE FUERZA CORTANTE EN COLUMNAS - EJE A-A</b> .....	58
<b>FIGURA 24 - DIAGRAMA DE MOMENTO FLECTOR EN VIGAS - EJE 1-1</b> .....	59
<b>FIGURA 25 - DIAGRAMA DE MOMENTO FLECTOR EN COLUMNAS - EJE 1-1</b> .....	60
<b>FIGURA 26 - DIAGRAMA DE FUERZA CORTANTE EN VIGAS - EJE 1-1</b> .....	61
<b>FIGURA 27 - DIAGRAMA DE FUERZA CORTANTE EN COLUMNAS - EJE 1-1</b> .....	62

<b>FIGURA 28</b> - CONTROL DE LOS DESPLAZAMIENTOS LATERALES POR LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS CRP: (IZQ.) ESTRUCTURA SIN CRP; (DER.) ESTRUCTURA CON CRP. ....	63
<b>FIGURA 29</b> - SISTEMA DE ARRIOSTRE LATERAL RESTRINGIDO A PANDEO. TOMADA DE «BUCKLING-RESTRAINED BRACE HISTORY. DESIGN AND APPLICATIONS», POR TAKEUCHI ET AL. 2017, P. 7 Y P. 16.....	64
<b>FIGURA 30</b> - VISTA EN PLANTA Y 3D DEL EDIFICIO SIN REFORZAMIENTO	66
<b>FIGURA 31</b> - RESULTADOS DE DERIVA DE ENTREPISO EN LA DIRECCIÓN Y, EDIFICIO SIN REFUERZO. ....	68
<b>FIGURA 32</b> - RESULTADOS DE DERIVA DE ENTREPISO EN LA DIRECCIÓN X, EDIFICIO SIN REFUERZO. ....	68
<b>FIGURA 33</b> - DISTRIBUCIÓN EN PLANTA Y ALTURA DE LOS ARRIOSTRAMIENTOS DIAGONALES.....	70
<b>FIGURA 34</b> - CURVA DE HISTÉRESIS DEL DISIPADOR DAMPO DUAL PROTECT. TOMADA DE «CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL DISIPADOR DAMPO DUAL PROTECT», POR DAMPO SYSTEMS S.A.....	74
<b>FIGURA 35</b> - AGREGAR UN NUEVO ELEMENTO TIPO “LINK”. ....	75
<b>FIGURA 36</b> - DEFINICIÓN DE LA PROPIEDAD AXIAL DEL ELEMENTO “LINK” Y MODELO WEN. ....	76
<b>FIGURA 37</b> - DISTRIBUCIÓN DE LOS DISIPADORES MODELADOS COMO ELEMENTOS TIPO LINK.....	77
<b>FIGURA 38</b> - ESPECTRO SÍSMICO EN X-X, PARA EL EDIFICIO REFORZADO CON CRP.....	79
<b>FIGURA 39</b> - MUESTRA DE LA DISPOSICIÓN DE LOS CRP, COMO ARRIOSTRES LATERALES EXCÉNTRICOS.....	80
<b>FIGURA 40</b> - FORMAS MODALES PRINCIPALES DE LA EDIFICACIÓN REFORZADA CON LOS CRP.....	81
<b>FIGURA 41</b> - DISTORSIONES DE ENTREPISO CON DISIPADORES. ....	87
<b>FIGURA 42</b> - FUERZA CORTANTE DE ENTREPISO PARA LA EDIFICACIÓN CON Y SIN REFUERZO CRP.....	89

**FIGURA 43** - ELEVACIÓN DEL PÓRTICO EN EL EJE B: (IZQ.) EDIFICIO REFORZADO; (DER.) EDIFICIO SIN REFUERZO..... 90

**FIGURA 44** - FUERZA CORTANTE DE ENTREPISO DE UNA COLUMNA DEL PÓRTICO B, CON EL EJE 2; DEL EDIFICIO SIN REFUERZO Y CON REFUERZO..... 91

## RESUMEN

El objetivo de la presente investigación se centró en la evaluación de la mejora del comportamiento sísmico de una edificación aporticada de 8 pisos destinada a oficinas, mediante la implementación de un sistema de reforzamiento a base de Contraviento Restringido a Pandeo (CRP); con respecto a la ubicación de la edificación se consideró a la ciudad de Ica por ser una zona altamente sísmica y, por lo tanto, sus edificaciones son propensas al colapso.

La investigación desarrollada es del tipo aplicativo, con un diseño no experimental, tomando como población a edificaciones destinadas a oficinas que cuentan con un sistema estructural aporticado de concreto armado. Como técnicas de investigación se emplearon hojas de cálculo y el modelamiento tridimensional de la edificación sin reforzamiento y con la implementación de este, obteniéndose los valores de las derivas y cortantes de entrepiso para ambos escenarios, pudiendo verificar la mejora del comportamiento sísmico de la edificación motivo de estudio.

Finalmente, se concluyó que el reforzamiento de la edificación mediante la implementación de Contraviento Restringido a Pandeo redujo en más del 50% las derivas de entrepiso presentes en el eje Y-Y; asimismo, redujo las cortantes de entrepiso hasta en un 45%; se precisa que este tipo de reforzamiento no incrementó de manera significativa la masa sísmica de la edificación, por lo tanto, no generó incrementos en las cortantes de diseño.

**Palabras Clave:** Contraviento Restringido a Pandeo, derivas de entrepiso, cortantes de entrepiso.

## **ABSTRACT**

The objective of the present investigation focused on the evaluation of the improvement of the seismic behavior of an 8-story framed building destined for offices through the implementation of a reinforcement system based on Bracing Restricted to Buckling (BRB); Regarding the location of the building, the city of Ica was considered to be a highly seismic zone and, therefore, its buildings are prone to collapse.

The developed research is of the Application type, with a Non-Experimental design, taking as a population buildings intended for offices that have a reinforced concrete framed structural system. As research techniques, spreadsheets and three-dimensional modeling of the building without reinforcement and with its implementation were used, obtaining the values of drifts and mezzanine shears for both scenarios, being able to verify the improvement of the seismic behavior of the building. study.

Finally, it was concluded that the reinforcement of the building through the implementation of Bracing Restricted to Buckling reduced by more than 50% the mezzanine drifts present in the Y-Y axis, likewise, it reduced the mezzanine shears by up to 45%; It is specified that this type of reinforcement did not significantly increase the seismic mass of the building, therefore, it did not generate increases in the design shears.

**Key Words:** Bracing Restricted to Buckling, interstory drifts, mezzanine shears.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, existen diferentes alternativas asociadas al reforzamiento estructural que mejoran el comportamiento sísmico de la edificación, y la mayoría cumple con su propósito, con ciertas desventajas asociadas a sus costos. Asimismo, estas propuestas pueden llegar a ser invasivas y/o agresivas. Pero también existen propuestas de reforzamiento que no requieren de intervenciones tan complejas, como los contravientos restringidos a pandeo.

De lo mencionado en el párrafo anterior, surge la siguiente interrogante: ¿de qué manera mejorará el comportamiento sísmico de un edificio aporticado de concreto armado de 8 pisos destinado a oficinas cuando es reforzado mediante la implementación de Contravientos Restringidos a Pandeo? Se plantea como hipótesis general en la presente investigación, si es que la implementación de un sistema de reforzamiento a base de contraviento restringido a pandeo mejorará significativamente el comportamiento sísmico de una edificación aporticada destinada a oficinas.

Asimismo, es conocido que en el Perú existen muchas edificaciones vulnerables a sufrir daños en su estructura ante sismos de gran intensidad, como los reportados por el Instituto Geofísico del Perú en el sismo de Pisco, Ica, en 2007; esta vulnerabilidad se debe a la elevada práctica autoconstructiva e informalidad que rige en el país las cuales derivan en construcciones sin criterio técnico (CAPECO, 2018); asimismo, se cuenta con la existencia de edificaciones construidas con códigos y/o normas que ya no se encuentran vigentes como son las edificaciones construidas antes del 2018, año en el que entró en vigencia la última actualización del Reglamento Nacional de Edificaciones en el Perú. Tal como se precisa en el ASCE/SEI 41-13, se establecen cuatro niveles de desempeño en el sistema estructural y cuatro niveles de intensidad del sismo de diseño. Para controlar en lo posible el daño estructural y no estructural en las edificaciones existen diferentes alternativas que mejoran el comportamiento sísmico de la edificación, y la mayoría cumple con su propósito, pero con ciertas desventajas asociadas a sus costos, y también, estas propuestas pueden llegar a ser invasivas y/o agresivas. Pero también, existen propuestas de reforzamiento que no requieren de intervenciones tan complejas, como los contravientos restringidos a pandeo.

Por lo que la presente investigación guarda justificación en el hecho de que el departamento de Ica es una zona altamente sísmica, y por consiguiente, la mayoría de las edificaciones están propensas a sufrir daños irreparables, que traerían consigo grandes



pérdidas económicas y humanas; por lo tanto, emplear un sistema de reforzamiento a base de contraviento restringido a pandeo, evitaría dichos daños y minimizaría las pérdidas económicas y humanas que se presentan posterior a un sismo; además, existiría un ahorro en la puesta en servicio de la estructura que cuente con dicho reforzamiento.

En el capítulo I se describe todo lo concerniente al planteamiento del estudio; en dicho apartado se plantea y formula el problema que da origen a la presente investigación, asimismo, se detallan los problemas, objetivos e hipótesis de estudio.

En el capítulo II se da a conocer las distintas configuraciones y ubicaciones que tienen los CRP; asimismo, se detallan los elementos que la componen, como también, el comportamiento histerético de estos.

En el capítulo III se describe la metodología usada, el tipo y diseño de investigación; asimismo, se presenta la matriz de consistencia.

En el capítulo IV se analiza la edificación motivo de estudio sin reforzamiento; asimismo, se detallan los parámetros básicos que se utilizaron para realizar el modelamiento tridimensional de la edificación.

En el capítulo V, se analiza la edificación reforzada mediante la implementación de contravientos restringidos a pandeo empleando una configuración tipo “X” multinivel.

En el capítulo VI se muestran los resultados y la discusión.

En el capítulo VII se detallan las conclusiones y recomendaciones de la presente investigación.

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

### **1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Los sismos son fenómenos intempestivos que generan movimientos bruscos y vibratorios sobre la corteza terrestre; dicho fenómeno, es causado por la liberación de energía producto del movimiento de grandes porciones terrestres (placas tectónicas). El rozamiento entre estas placas es lo que produce las grandes liberaciones de energía.

Es muy conocido que en el Perú existen muchas edificaciones vulnerables a sufrir daño en su estructura ante sismos de gran intensidad, como los reportados por el Instituto Geofísico del Perú en el Sismo de Pisco, Ica, en 2007; esta vulnerabilidad se debe a la elevada práctica autoconstructiva e informalidad que rige en el país las cuales derivan en construcciones sin criterio técnico (CAPECO, 2018); asimismo, se cuenta con la existencia de edificaciones construidas con códigos y/o normas que ya no se encuentran vigentes, como son las edificaciones construidas antes del 2018, año en el que entró en vigencia la última actualización del Reglamento Nacional de Edificaciones en el Perú.

Asimismo, acorde a lo indicado en la Norma ASCE/SEI 41-13, se establecen cuatro niveles de desempeño en el sistema estructural (completamente operacional, operacional, seguridad de vida y prevención de colapso) y cuatro niveles de intensidad del sismo de diseño (frecuente, ocasional, raro y muy raro), los cuales ayudan a definir y controlar en lo posible el daño estructural y no estructural en las edificaciones.

En la actualidad existen diferentes alternativas que mejoran el comportamiento sísmico de la edificación y la mayoría cumple con su propósito, pero con ciertas desventajas asociadas a sus costos. Estas propuestas pueden llegar a ser invasivas y/o agresivas. Pero también, existen propuestas de reforzamiento que no requieren de intervenciones tan complejas, como los contravientos restringidos a pandeo.

Por lo tanto, para mejorar el comportamiento sísmico de una edificación aporticada de concreto armado y otorgarle a la estructura mayor rigidez, resistencia y ductilidad, y sobre todo capacidad de disipación de energía de manera estable a bajos, se plantea la colocación de Contravientos Restringidos a Pandeo como reforzamiento sísmico.

### **1.1.1. PROBLEMA PRINCIPAL**

¿De qué manera mejorará el comportamiento sísmico de un edificio aporticado de concreto armado de 8 pisos destinado a oficinas cuando es reforzado mediante la implementación de contravientos restringidos a pandeo?

### **1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

- ¿Cómo será el comportamiento sísmico de una edificación aporticada de concreto armado destinada a oficinas sin la implementación de reforzamiento del sistema de contravientos restringidos a pandeo?
- ¿Qué criterios se toman en cuenta para definir la ubicación y el diseño del reforzamiento por contraviento restringido a pandeo?
- ¿Cuánto mejorará el comportamiento sísmico de la estructura con la implementación de los sistemas de contraviento restringido a pandeo?
- ¿Cómo se implementará la propuesta de reforzamiento por contraviento restringido a pandeo en el procedimiento constructivo?

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar cuánto mejora el comportamiento sísmico de una edificación aporticada destinada a oficinas con la implementación de un sistema de reforzamiento a base de contraviento restringido a pandeo.

### **1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar el análisis sísmico de la edificación aporticada de concreto armado de 8 pisos.
- Analizar la planta de la edificación para definir la ubicación tentativa del sistema de reforzamiento de CRP y su respectivo diseño.
- Realizar el análisis sísmico de la edificación aporticada con la implementación del reforzamiento de CRP hasta cumplir con lo requerido con la normativa vigente.
- Presentar esquemas de la interacción de la estructura existente y el reforzamiento.

### **1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

En la actualidad, existen muchas edificaciones que han sido construidas con normas que no se encuentran vigentes, y otras, mediante la autoconstrucción. Tal es así que, si ocurriese un sismo de gran magnitud se presentarían daños estructurales que en la mayoría de los casos sería irreparable.

El departamento de Ica es una zona altamente sísmica, por lo que, la mayoría de las edificaciones están propensas a sufrir daños irreparables que traerían consigo grandes pérdidas económicas y humanas.

Por lo que, al emplear el sistema de reforzamiento mediante contraviento restringido a pandeo, se evitarán dichos daños y se minimizarán las pérdidas económicas y humanas que se presentan posterior a un sismo; además, existirá un ahorro en la puesta en servicio de la estructura que cuente con dicho reforzamiento.

### **1.4. HIPÓTESIS Y DESCRIPCIÓN DE VARIABLES**

#### **1.4.1. HIPÓTESIS**

##### **1.4.1.1. HIPÓTESIS GENERAL**

La implementación de un sistema de reforzamiento a base de contraviento restringido a pandeo mejorará significativamente el comportamiento sísmico de una edificación aporticada destinada a oficinas.

##### **1.4.1.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICA**

- La edificación aporticada de concreto armado de 8 pisos propuesta en la investigación presentará deficiencias en su rigidez lateral.
- La ubicación de los elementos de contraviento no afectará considerablemente la arquitectura y el uso de los ambientes de la edificación.
- La implementación de reforzamiento mediante contraviento restringido a pandeo a la edificación aportará la suficiente rigidez lateral a la edificación hasta que cumpla con los requisitos normativos.
- La elaboración de los esquemas de interacción de la estructura existente y el reforzamiento permitirán que los elementos de reforzamiento puedan trabajar para cumplir con el propósito de su implementación.

## **1.4.2. VARIABLES**

### **1.4.2.1. VARIABLE INDEPENDIENTE**

Reforzamiento de Estructuras mediante la implementación de contravientos restringidos a pandeo.

#### **1.4.2.1.1. INDICADORES DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE**

- Rigidez Lateral
- Amortiguamiento
- Sistema Estructural

### **1.4.2.2. VARIABLE DEPENDIENTE**

Comportamiento sísmico de un edificio aporticado de concreto armado de 8 pisos destinado a oficinas

#### **1.4.2.2.1. INDICADORES DE LA VARIABLE DEPENDIENTE**

- Derivas de entrepiso
- Fuerzas internas en los elementos estructurales

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA**

En la presente investigación se elaboró el modelamiento estructural de una edificación idealizada de 08 (ocho) pisos destinada a oficinas, empleando los criterios normativos indicados en el Reglamento Nacional de Edificaciones (Título III.2 - Estructuras); asimismo, se mencionan criterios básicos para la ubicación tentativa de los Contravientos Restringidos a Pandeo (CRP) con la finalidad de no alterar la arquitectura del edificio. También se detallan criterios básicos, parámetros de diseño y detalles constructivos de los CRP con la finalidad de asegurar un buen comportamiento de estos frente a las exigencias sísmicas.

Al respecto, a continuación, se citan investigaciones afines al tema.

Coeto Galaz Guillermo (2012) desarrolló la tesis titulada: *“Control de la Respuesta Sísmica de Edificios Altos por medio de un Sistema de Contravientos Restringidos contra Pandeo”*, la cual propone una metodología de prediseño por desempeño para edificios altos rigidizados con un sistema de contravientos desadheridos restringidos contra pandeo. La investigación, finalmente concluye en que la aplicación de la metodología propuesta ha dado lugar a una estructura capaz de controlar su respuesta dentro los umbrales congruentes con los objetivos de diseño.

Andrés Cancelado Román (2008) desarrolló la tesis titulada: *“Caracterización Mecánica y Modelamiento Estructural de un Disipador Pasivo de Energía de Tipo Arriostramiento de Pandeo Restringido. Parte 1”*, donde centra la investigación en el diseño, fabricación, montaje y realización de ensayos cíclicos a Contravientos Restringidos

a Pandeo (CRP) modelados a escala, con la finalidad de verificar si el sistema de control pasivo de disipación de energía para los CRP ensayados son una solución técnica y económica para que esta sea implementada en edificios nuevos y existentes; finalmente, concluye que el empleo de este tipo elemento estructural es una opción técnica y económicamente viable para que sea implementado en edificios nuevos y existentes.

Giraldo Rincón Juan y Peláez Olano Andrés (2012) desarrollaron la tesis titulada: *“Pórticos de Concreto Reforzado Equipados con Riostras Metálicas Restringidas Contra Pandeo”*, la cual centra su investigación en la implementación de riostras metálicas restringidas contra pandeo en un hospital de pórticos de concreto armado, se escoge ese tipo de estructura por considerarse estructuras fundamentales que deben de permanecer en pie y sin daños graves ante un sismo de gran magnitud; finalmente, concluyen que los pórticos de concreto armado reforzados con riostras metálicas restringidas contra pandeo reducen significativamente la cantidad de materiales empleados para la construcción de la obra (concreto y acero), al igual que en los costos de reparación postsismo.

Rodríguez Leyva, Hector, et al. (2015) desarrolla la investigación titulada: *“Desempeño Sísmico de Edificios a Base de Contraventeos Restringidos Contra Pandeo”*, en dicha investigación se estima el desempeño sísmico de edificaciones de acero a base de contraventeos restringidos contra pandeo y se comparan con el de edificaciones tradicionales a base de marcos resistentes a momento. De dicha investigación se concluyó que las demandas de distorsión máxima de entrepiso fueron mayores para las estructuras tradicionales, por lo tanto, los resultados muestran ventajas de utilizar contraventeos restringidos contra pandeo en edificaciones; además, en el caso de que una estructura requiera rehabilitación por la ocurrencia de un sismo, dado que en los sistemas innovadores en daño se concentra en los contraventeos, estos serán los únicos elementos que requerirán reemplazarse, lo que simplificará la rehabilitación estructural.

Ballinas Díaz Eriberto (2018) desarrolla la tesis titulada: *“Propuesta de Reforzamiento de una Estructura de Hospital con Disipadores de Energía del Tipo CRP”*, en dicha investigación se comparan tres propuestas de reforzamiento sísmico de la estructura de un hospital. El reforzamiento es a base de disipadores de energía del tipo contraventeo restringido al pandeo (CRP); finalmente, se concluye que las tres propuestas de reforzamiento disminuyen las probabilidades de colapso de la estructura y se cumple con los objetivos de diseño.

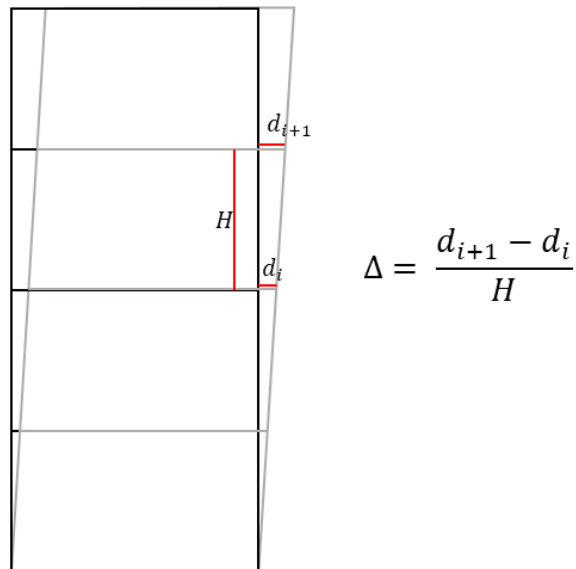
Orellana Ayre, Alan (2020) desarrolló la tesis titulada: *“Análisis de Factibilidad de la Aplicación de Arriostres de Pandeo Restringido como Sistema de Control de Respuesta”*, la cual centra su objetivo en realizar el rediseño de una edificación de acero estructural

empleando Contravientos Restringidos a Pandeo (CRP) como sistema de control de respuesta con la finalidad de realizar una comparación del edificio con y sin CRP; finalmente, se comprueba que existe un adecuado comportamiento y validación en la edificación reforzada con CRP.

## 2.2. BASES TEÓRICAS

### 2.2.1. DISTORSIONES DE ENTREPISO

De acuerdo con lo indicado en el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), capítulo E.030 – Diseño Sismorresistente, en lo que hace referencia a los desplazamientos laterales que sufre una estructura, se puede apreciar que uno de los parámetros más representativos de una edificación sometida a fuerzas de desplazamiento lateral, es la distorsión de entrepiso, que quiere decir, la diferencia de desplazamiento entre un piso y el siguiente con respecto a su altura.



*Figura 1 - Distorsión Relativa de Entrepiso*

La distorsión relativa de entrepiso es un número adimensional, que nos permite identificar el nivel de daño que puede presentarse en la edificación, así como también su comportamiento.

Un objetivo fundamental para asegurar un óptimo diseño sísmico en la estructura es controlar los daños que se pueden presentar en los elementos estructurales de una edificación frente a eventos sísmicos. Para lograr dicho objetivo, el RNE – E.030 indica el máximo desplazamiento relativo de entrepiso para el sismo de diseño, y los diferencia con respecto al material predominante de la edificación.



**Tabla 1 - Límites para la Distorsión de Entrepiso**

Material Predominante	$\Delta_i/h_{ei}$
Concreto Armado	0.007
Acero	0.010
Albañilería	0.005
Madera	0.010
Edificios de Concreto Armado con muros de Ductilidad Limitada	0.005

Nota: Tomada del Reglamento Nacional de Edificaciones – E.030 (2018)

Asimismo, la norma indica que se debe de escalar el valor de la Distorsión Relativa de entrepiso obtenida mediante resultados del análisis lineal y elástico en  $0.75R$  (estructuras regulares), siendo  $R$  un coeficiente básico de Reducción de Fuerzas Sísmicas; con este objetivo no se busca que la edificación no presente ningún tipo de daño en sus elementos estructurales frente al sismo de diseño; más bien se orienta en evitar daños en estos elementos frente a sismos de menor intensidad.

**Tabla 2 - Coeficientes Básicos de Reducción de Fuerzas Sísmicas (RNE – E.030, 2018)**

Sistema Estructural	Coeficiente Básico de Reducción $R_o$ (*)
<b>Acero:</b>	
Pórticos Especiales Resistentes a Momentos (SMF)	8
Pórticos Intermedios Resistentes a Momentos (IMF)	5
Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos (OMF)	4
Pórticos Especiales Concéntricamente Arriostrados (SCBF)	7
Pórticos Ordinarios Concéntricamente Arriostrados (OCBF)	4
Pórticos Excéntricamente Arriostrados (EBF)	8
<b>Concreto Armado:</b>	
Pórticos	8
Dual	7
De Muros Estructurales	6
Muros de Ductilidad Limitada	4
<b>Albañilería Armada o Confinada</b>	3
<b>Madera</b>	7 (**)

(\*) Estos coeficientes se aplican únicamente a estructuras en las que los elementos verticales y horizontales permitan la disipación de la energía manteniendo la estabilidad de la estructura. No se aplican a estructuras tipo péndulo invertido.

(\*\*) Para diseño por esfuerzos admisibles.

Nota: Tomada del Reglamento Nacional de Edificaciones – E.030 (2018)

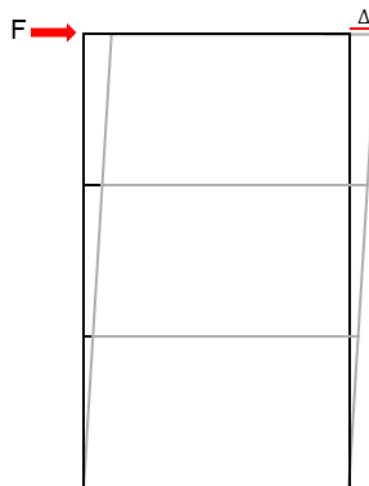
## 2.2.2. RIGIDEZ LATERAL EN EDIFICACIONES

Como concepto básico se define a la rigidez como la resistencia que tiene un elemento a sufrir deformaciones elásticas frente a cargas aplicadas al mismo. La rigidez

de un elemento depende del área de su sección transversal, de su longitud, del material que lo compone y de la unión que tiene este con otros elementos

Cuando se produce un sismo, la estructura recibe cargas laterales, que intentan desplazar a la estructura en la misma dirección de esta, causándole deformaciones; por lo tanto, mientras más rígida es una estructura menos deformación sufre. Asimismo, mientras menos rígida sea una estructura, esta recibirá mayores deformaciones las que terminarán transformándose en grandes daños sobre los elementos estructurales y no estructurales que componen la edificación, llevando a esta última al colapso.

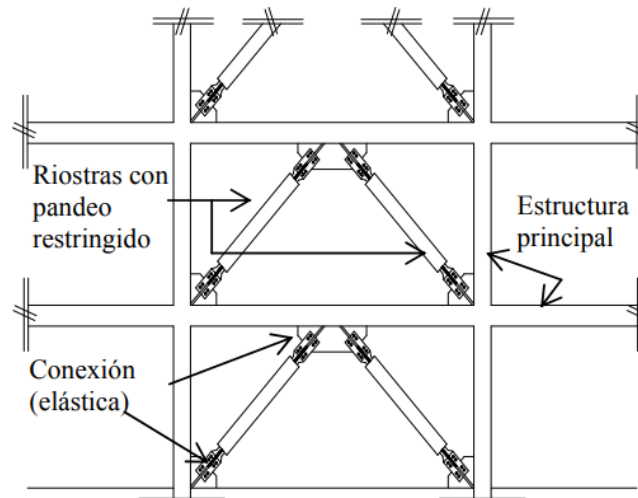
Por lo tanto, la rigidez lateral se define cómo la cantidad de fuerza que es necesaria aplicar a una estructura para generar una deriva de entrepiso.



**Figura 2** - Rigidez Lateral

Por consiguiente, es esencial dotar a la estructura de suficiente rigidez lateral que le permita deformarse solo dentro de los límites de distorsión de entrepiso indicados en la *Tabla N° 01*. Esto se puede conseguir incrementando las dimensiones de las columnas, adicionando placas a la edificación, instalando diagonales que sirvan como arriostramiento, entre otras.

Una muy buena alternativa estructural que aporta rigidez lateral en las edificaciones, son los Contravientos Restringidos a Pandeo, que le otorgan mayor capacidad de deformación a la edificación, y que gracias al comportamiento mecánico que poseen han sido utilizados en edificaciones y puentes, como también en proyectos de reforzamiento estructural.



**Figura 3** - Contraviento Restringido a Pandeo. Tomada de «Revista EIA, ISSN 1794 – 1237 Número 11», por Oviedo & Duque. 2009, p. 57.

### 2.2.3. CONTRAVIENTOS RESTRINGIDOS A PANDEO

Se han desarrollado diversos avances con la finalidad de mejorar el desempeño en la respuesta sísmica y control de daños en las estructuras. Dichos avances se dividen en tres grupos: *los Sistemas Pasivos de Disipación de energía*, dentro de este grupo se encuentra al aislamiento en la base y los dispositivos suplementarios de disipación de energía. Se tiene también, *los Sistemas Activos de Disipación de Energía*, que necesitan de la participación activa de ciertos dispositivos mecánicos que cambian durante la respuesta sísmica, basándose así en medidas de respuesta. Finalmente se tiene *Los Sistemas Híbridos de Disipación de Energía*, este último combina los dos sistemas mencionados anteriormente de tal forma que la seguridad de la edificación no se vea comprometida incluso si el sistema activo fallase (Oviedo, 2008).

En la actualidad, existe una gran variedad de Sistemas de Disipación de Energía, que como se mencionó anteriormente, son del tipo Pasivo, Activo e Híbrido. En la *Figura 04* se muestran los diversos dispositivos de disipación de energía; asimismo, como es materia de esta investigación, se hace énfasis en los Contravientos Restringidos Contra Pandeo - CRP (Buckling-Restrained Brace - BRB).

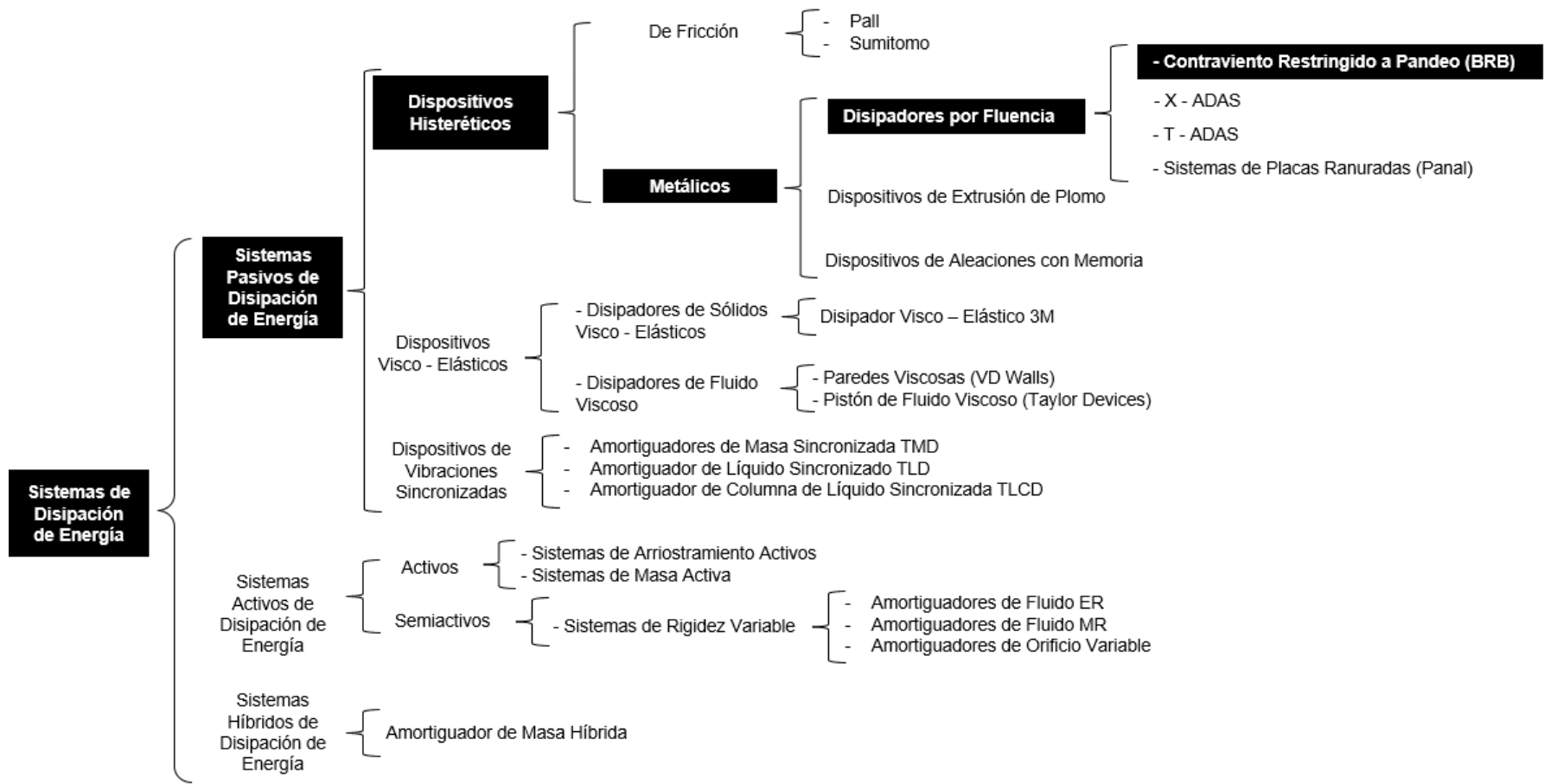
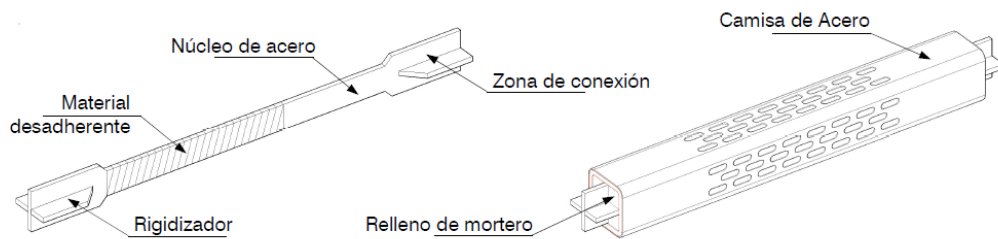


Figura 4 - Cuadro Conceptual de Sistemas de Disipación de Energía. Adaptada de «Revista de Ingeniería de Construcción Vol 29 N°3 2014», por Juan-Pimiento, Andrés-Salas y Daniel-Ruiz. 2014

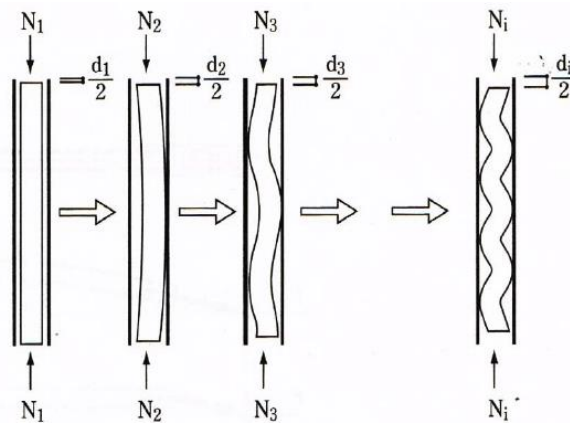
Los contravientos restringidos a pandeo son elementos estructurales que están compuestos básicamente por un núcleo de acero dúctil que tiene un comportamiento ideal tanto a tracción como a compresión. Para restringir el pandeo, el núcleo se encuentra dentro de un encamisado de acero, el espacio entre el núcleo y la camisa puede ser ocupada con mortero, el cual tiene la función de servir como material confinante al núcleo.

Entre el núcleo y el mortero debe de existir un material antiadherente que evite que el núcleo transmita esfuerzos axiales al material confinante.



**Figura 5** - Configuración Típica de un Contraviento Restringido a Pandeo. Tomada de «Características Generales del Disipador Dampo Dual Protect», por Dampo Systems S.A.

Como se puede apreciar en la *Figura N° 06*, el núcleo de acero, frente a las cargas aplicadas a este, pandeo inicialmente hacia un lado, empujando al material confinante en un punto (modo 01), cuando se incrementa la carga, el núcleo incursiona al modo 02, y así sucesivamente se van desarrollando los modos de pandeo del núcleo hasta llegar al modo último, modo donde el acero se plastifica.



**Figura 6** - Aparición de Modos de Pandeo entre el Núcleo y el Material Confinante. Tomada de «Buckling-Restrained Brace History. Design and Applications», por Takeuchi et al. 2017, p. 3

### 2.2.3.1. ZONAS QUE CONFORMAN EL CONTRAVIENTO RESTRINGIDO A PANDEO

Con respecto a las zonas que conforman el contraviento restringido a pandeo, podemos definir estas en 3 segmentos, los que se explican a continuación:

**a) Segmento sin restricción al pandeo que no fluye**

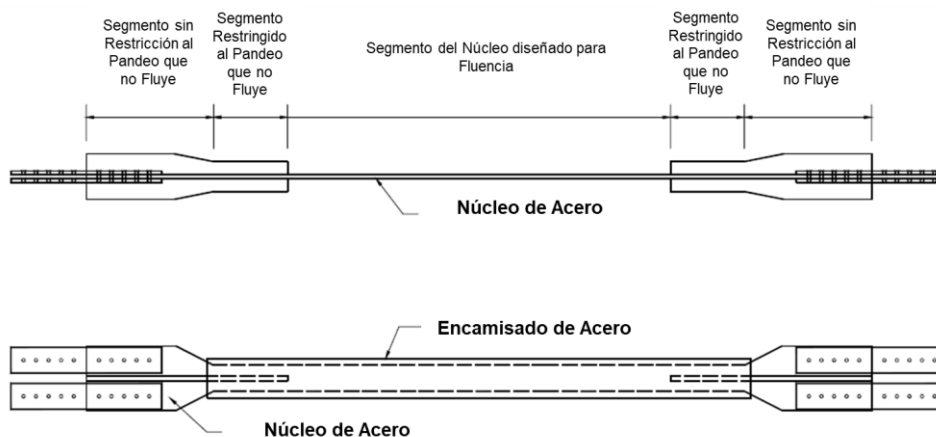
Dicho segmento se encuentra ubicado en la zona de conexión del CRP con el marco de acero. Este segmento no se encuentra confinado por el encamisado de acero; por lo tanto, no está restringido al pandeo, por lo que en su diseño debe de considerarse que no está presente el pandeo frente a los esfuerzos de compresión, y tampoco fluir frente a los esfuerzos de tracción.

**b) Segmento restringido al pandeo que no fluye**

Este segmento está ubicado en la zona de transición entre la conexión del CRP y su núcleo de acero, por lo que su sección transversal debe de ser mayor que el núcleo y así evitar la fluencia en esta zona. Asimismo, se recomienda considerar una transición suavizada evitando cambios bruscos en la geometría del CRP y así evitar concentraciones de fuerzas en este segmento.

**c) Segmento del Núcleo diseñado para fluencia**

Este segmento es la porción del CRP confinado por el encamisado de acero y separada del material confinante (mortero); este segmento es el que concentrará la plasticidad del arriostre. Es preciso agregar, que como el núcleo es diseñado para esfuerzos de fluencia bajo cargas cíclicas, es recomendable emplear aceros altamente dúctiles, como el A-36.



**Figura 7** - Zonas que Conforman el Contraviento Restringido a Pandeo. Adaptada de «Control de la Respuesta Sísmica de Edificios Altos por medio de un Sistema de Contravientos Restringidos contra Pandeo» por Guillermo Coeto. 2008, p. 7.

### 2.2.3.2. DISPOSICIÓN Y CONFIGURACIÓN

Cuando se realizan los diseños de los CRP es primordial que el ingeniero estructural coordine con el arquitecto y los involucrados del proyecto, el tipo de configuración y la ubicación que tendrán estos. Dichas coordinaciones son esenciales en la elaboración del proyecto, debido a que los ingenieros estructurales pueden definir la ubicación de los CRP con la finalidad de aportarle más rigidez a la estructura con el menor número posible de estos, y así mejorar el comportamiento de la edificación frente a eventos sísmicos y reducir costos en el proyecto.

En términos de configuración y orientación de los CRP, tenemos los siguientes:

**a) “V” Invertida - Tipo Chevron**

Este tipo de configuración disminuye la carga que reciben las columnas, pero otorgan a las vigas un nuevo tipo de esfuerzo, por lo que es recomendable diseñar la viga frente a estas nuevas solicitaciones con la finalidad que esta tenga la resistencia necesaria para permitir a los CRP trabajar y fluir de manera adecuada.

**b) “V”**

Comportamiento similar a la configuración Tipo “V” Invertida.

**c) Diagonal en la misma dirección**

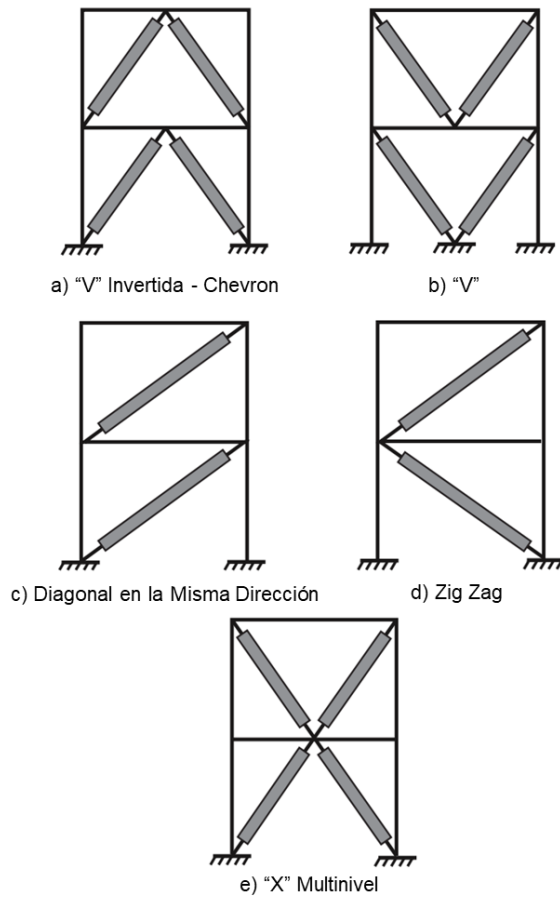
En edificaciones de un solo piso, son las más utilizadas, debido a que la carga axial no se presenta en la viga, cuando se emplea en edificaciones de varios niveles es recomendable verificar las cargas axiales adicionales que se presentan en la viga.

**d) Zigzag**

Tienen un comportamiento similar a la configuración de la “Diagonal en una misma dirección”, con la diferencia que hay una disminución en las cargas axiales que se presentan en las vigas.

**e) “X” Multinivel**

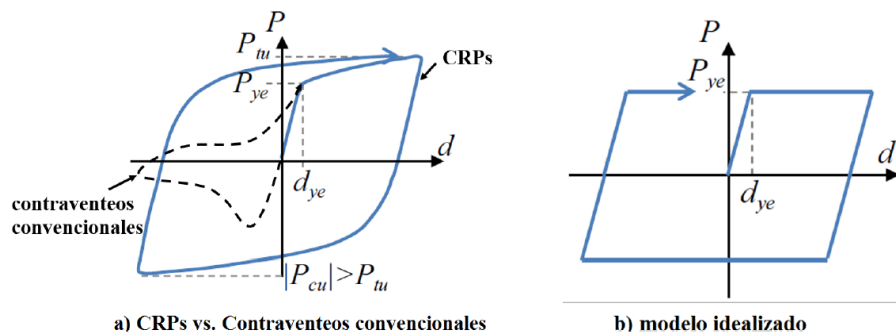
Este tipo de configuración es la más recomendable, debido a que dentro de sus ventajas está el de minimizar el desbalance de cargas verticales generadas por los contravientos frente a cargas axiales de compresión y tracción; asimismo, similar que la configuración “Zigzag”, se genera una disminución de cargas axiales en las vigas. Por consiguiente, se distribuyen de una mejor manera las derivas de entrepiso en edificaciones de varios niveles.



**Figura 8** - Disposición y Configuración de CRP. Tomada de «*Seismic Design of Steel Buckling-Restrained Braced Frames. A guide for Practicing Engineers*», por Ryan-Kersting, Larry-Fahnestock y Walterio-López. 2015, p. 17.

### 2.2.3.3. COMPORTAMIENTO HISTERÉTICO

En la figura N° 08 se muestra el comportamiento histerético de lo Contravientos Restringidos a Pandeo versus un contraviento convencional; donde se puede apreciar que existe un mejoramiento significativo en la resistencia de los CRP cuando a este se le restringe la opción de pandearse frente a cargas de compresión.



**Figura 9** - Comportamiento Histerético de un Contraviento Restringido a Pandeo. Tomada de «*Propuesta de Reforzamiento de una Estructura de Hospital con Disipadores de Energía del tipo CRP*», por Eriberto Balinas. 2017, p. 11.



## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA

#### 3.1. MÉTODO Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

##### 3.1.1. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

Se realizó el diseño estructural de un edificio aporricado de 8 pisos destinado a oficinas con los parámetros sísmicos de la ciudad de Ica, y con un reforzamiento de Contravientos Restringidos a Pandeo.

El método de investigación empleado fue el Método de Análisis Cuantitativo.

##### **Métodos Específicos:**

Paso N° 01: Revisión de planos de arquitectónicos para configuración de elementos estructurales.

Paso N° 02: Cálculo de metrado de cargas acorde a lo indicado por el RNE.

Paso N° 03: Empleo del Software Etabs 2016 para el modelo tridimensional (análisis sísmico y de cargas de gravedad).

Paso N° 04: Elaboración del Análisis Estructural de la Edificación (Análisis estático y Análisis dinámico modal espectral) sin el reforzamiento de los Contravientos Restringidos a Pandeo.

Paso N° 05: Verificación de las derivas máximas de entrepiso; se les multiplicó a estos valores por  $0.75R$  ( $R=8$  para pórticos de concreto armado), según lo estipulado en el RNE para estructuras regulares.

Paso N° 06: Se revisó por segunda vez los planos arquitectónicos para definir las posibles ubicaciones de los Contravientos Restringidos a Pandeo.

Paso N° 07: Diseño de los Contravientos Restringidos a Pandeo asumiendo que este soportará el 50% de la cortante de entrepiso. El diseño se hace teniendo en cuenta la ubicación y el número de CRP.

Paso N° 08: Modelar la edificación con la implementación de los Contravientos Restringidos a Pandeo, y verificar que las derivas máximas se encuentran dentro de lo indicado en el RNE. De esta revisión, se ajustan las fuerzas de diseño de los CRP si fuese necesario (derivadas mayores a las indicadas en la norma).

### **3.1.2. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Se desarrolló una investigación del tipo aplicada porque se emplearon parámetros y controles máximos permitidos para el reforzamiento de una edificación de 8, destinado a uso de oficinas.

#### **NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

El nivel de investigación empleado en la presente investigación fue del tipo Descriptivo porque se emplearon pasos sistemáticos que solucionaron el problema génesis de esta investigación, asimismo, se detallaron las propiedades y características del sistema de Contraviento Restringido a Pandeo.

### **3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

NO EXPERIMENTAL, debido a que se realizó un modelamiento estructural de la edificación motivo de estudio, más no se ejecutó un proyecto real.

### **3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA**

POBLACIÓN: Edificaciones Destinadas a Oficinas en la Ciudad de Ica, que cuenten con un sistema estructural aporticado de concreto armado.

MUESTRA NO PROBABILÍSTICA: Una edificación idealizada de 8 pisos

### **3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

Para lograr el objetivo buscado, resultó necesario la recolección de datos, que se logró con el apoyo de algunas hojas de cálculo e instrumentos que facilitaron el trabajo. Los datos recopilados fueron los siguientes:

- Ubicación y dimensiones de los elementos estructurales y no estructurales; así como también, el uso que se le dará a cada ambiente, tomando como referencia los planos arquitectónicos.
- Se recopilaron datos de los parámetros de diseño sísmico, tomando en cuenta la zona donde se ubicará la edificación, asimismo, el tipo de suelo y uso que tendrá este.

Para realizar el procesamiento de datos y conocer los resultados se empleó lo siguiente:

- Hojas de Cálculo Programadas – Software Excel 2019.
- Para el análisis tridimensional se empleó el Software Etabs 2016.
- Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú

### 3.5. MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<p><b>GENERAL:</b> ¿De qué manera mejorará el comportamiento sísmico de un edificio aporticado de concreto armado de 8 pisos destinado a oficinas cuando es reforzado mediante la implementación de contravientos restringidos a pandeo?</p> <p><b>ESPECÍFICOS:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cómo será el comportamiento sísmico de una edificación aporticada de concreto armado destinado a oficinas sin la implementación de reforzamiento del sistema de contravientos restringidos a pandeo?</li> <li>• ¿Qué criterios se toman en cuenta para definir la ubicación y el diseño del reforzamiento por contraviento restringido a pandeo?</li> <li>• ¿Cuánto mejorara el comportamiento sísmico de la estructura con la implementación de los sistemas de contraviento restringido a pandeo?</li> <li>• ¿Cómo se implementará la propuesta de reforzamiento por contraviento restringido a pandeo en el procedimiento constructivo?</li> </ul>	<p><b>GENERAL:</b> Evaluar cuanto mejora el comportamiento sísmico de una edificación aporticada destinada a oficinas con la implementación de un sistema de reforzamiento a base de contraviento restringido a pandeo.</p> <p><b>ESPECÍFICOS:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar el análisis sísmico de la edificación aporticada de concreto armado de 8 pisos.</li> <li>• Analizar la planta de la edificación para definir la ubicación tentativa del sistema de reforzamiento de CRP y su respectivo diseño</li> <li>• Realizar el análisis sísmico de la edificación aporticada con la implementación del reforzamiento de CRP hasta cumplir con lo requerido por la normativa.</li> <li>• Presentar esquemas de interacción de la estructura existente y el reforzamiento.</li> </ul>	<p><b>GENERAL:</b> La implementación de un sistema de reforzamiento a base de contraviento restringido a pandeo mejorará significativamente el comportamiento sísmico de una edificación aporticada destinada a oficinas.</p> <p><b>ESPECÍFICOS:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La edificación aporticada de concreto armado de 8 pisos propuesta en la investigación presentará deficiencias en su rigidez lateral.</li> <li>• La ubicación de los elementos de contraviento no afectará considerablemente la arquitectura y el uso de los ambientes de la edificación.</li> <li>• La implementación de reforzamiento mediante contraviento restringido a pandeo a la edificación aportará la suficiente rigidez lateral a la edificación hasta que cumpla con los requisitos normativos.</li> <li>• La elaboración de los esquemas de interacción de la estructura existente y el reforzamiento permitirán que los elementos puedan trabajar para cumplir con el propósito de su implementación.</li> </ul>	<p><b>INDEPENDIENTE:</b> Reforzamiento de Estructuras mediante la implementación de contravientos restringidos a pandeo.</p> <p><b>Indicadores:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rigidez Lateral.</li> <li>• Amortiguamiento.</li> <li>• Sistema Estructural.</li> </ul> <p><b>DEPENDIENTE</b> Comportamiento sísmico de un edificio aporticado de concreto armado de 8 pisos destinado a oficinas.</p> <p><b>Indicadores:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Derivas de Entrepiso.</li> <li>• Fuerzas Internas en los elementos estructurales.</li> </ul>	<p><b>TIPO DE INVESTIGACIÓN:</b> Aplicativo</p> <p><b>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:</b> No Experimental</p> <p><b>POBLACIÓN Y MUESTRA:</b> <b>Población:</b> Edificaciones destinadas a oficinas en la ciudad de Ica, que cuenten con un sistema estructural aporticado de concreto armado. <b>Muestra no Probabilística:</b> Un edificio idealizado de 8 pisos.</p>

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN SIN REFORZAMIENTO**

En el presente capítulo, se detallan los procedimientos y métodos empleados para la recolección e interpretación de datos obtenidos; el objetivo de detallar lo anteriormente mencionado es que estos puedan ser reproducidos por otros autores de investigaciones afines.

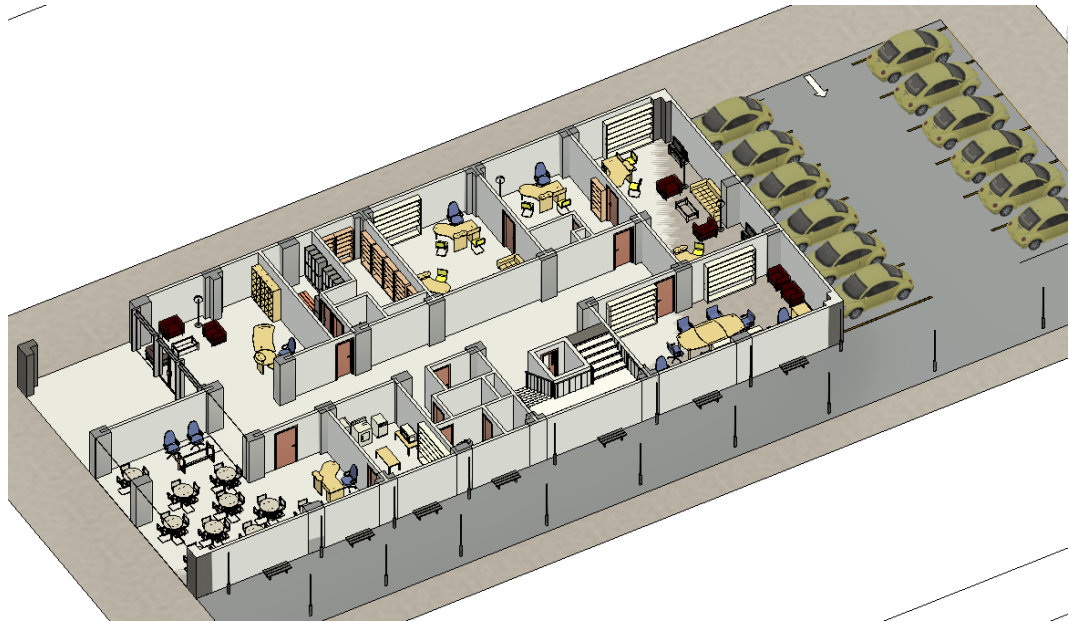
#### **4.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

##### **4.1.1. ARQUITECTURA**

En este punto se describen los alcances y la arquitectura del edificio estudiado en la presente investigación, el cual cuenta con 08 pisos, tiene un sistema estructural aporticado, y tiene un uso destinado a oficinas.

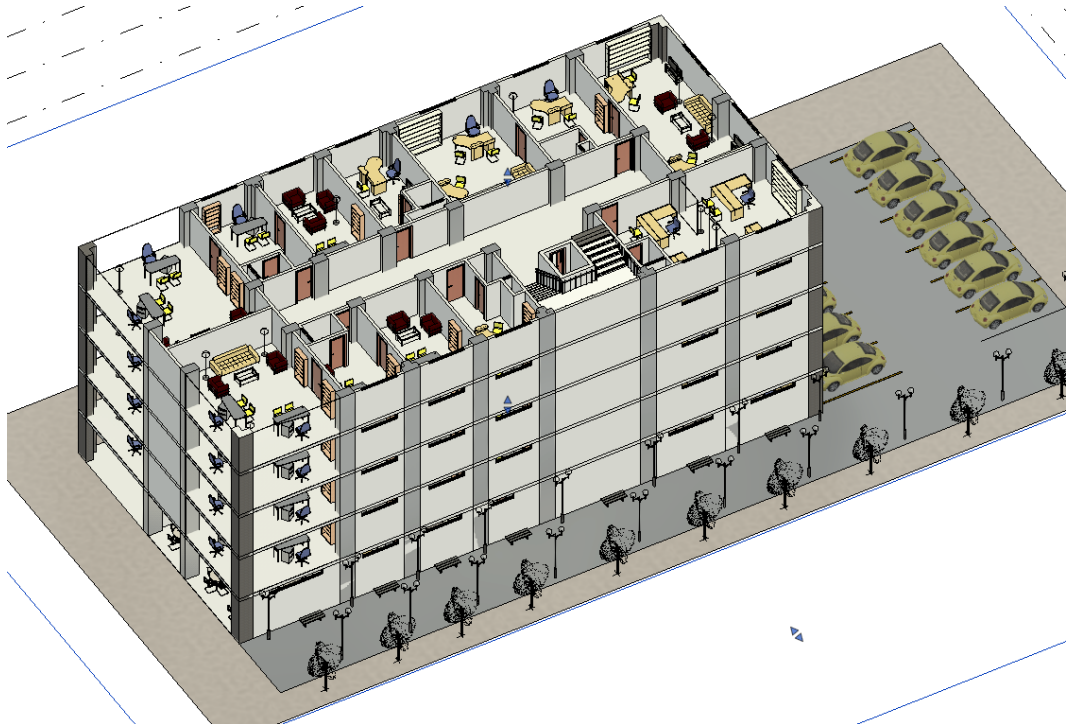
La edificación se encuentra ubicada en el distrito de Ica, provincia de Ica, departamento de Ica; y cuenta con un área de 515.75 m<sup>2</sup>; es una edificación de 15.70 metros de ancho por 32.85 metros de largo.

El primer nivel comprende una recepción, un espacio destinado como almacén y vestuario, un restaurante, servicios higiénicos, una sala de uso múltiple y control de cámaras de seguridad, escaleras y un ascensor, una cochera, y finalmente, dos oficinas con una pequeña sala de recepción.



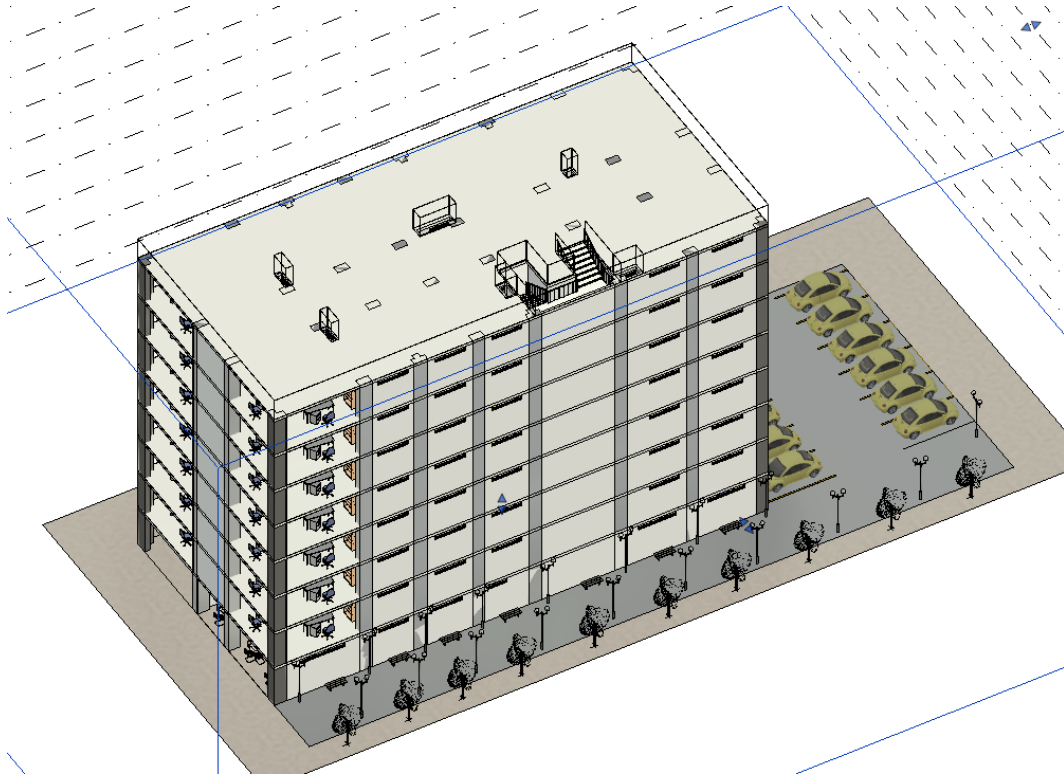
**Figura 10 - Primer Nivel - Vista Isométrica**

Del segundo al octavo nivel, la configuración se repite, estos comprenden un ascensor, escaleras, y 9 oficinas con 3 pequeñas salas de recepción, haciendo un total de 12 ambientes.



**Figura 11 - Segundo, Tercero, Cuarto, Quinto, Sexto, Séptimo y Octavo Nivel - Vista Isométrica**

En la azotea no se han considerado ambientes separados, pero si existen parapetos en todo el perímetro, donde las personas que hacen uso de la edificación puedan subir a distraerse.

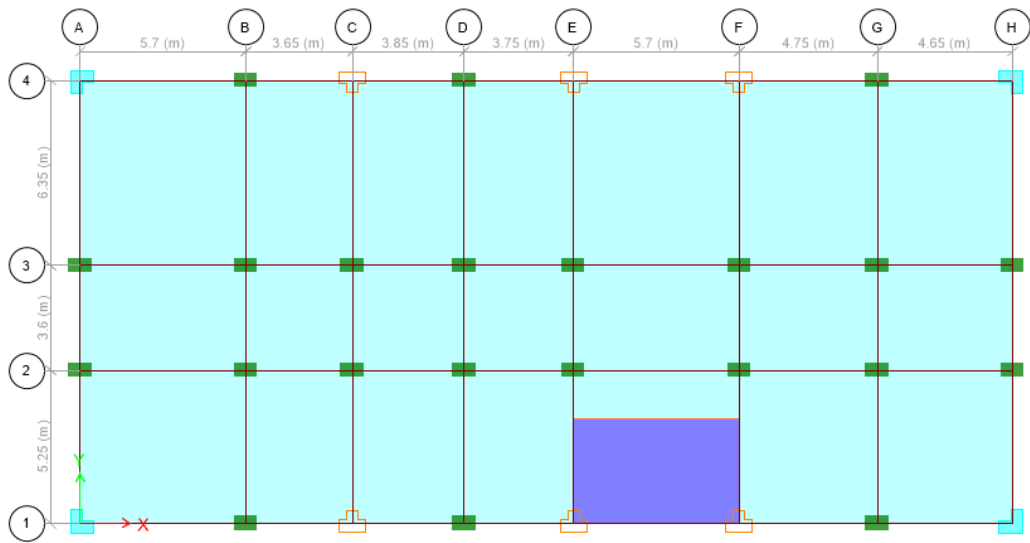


*Figura 12 - Azotea (Vista Isométrica)*

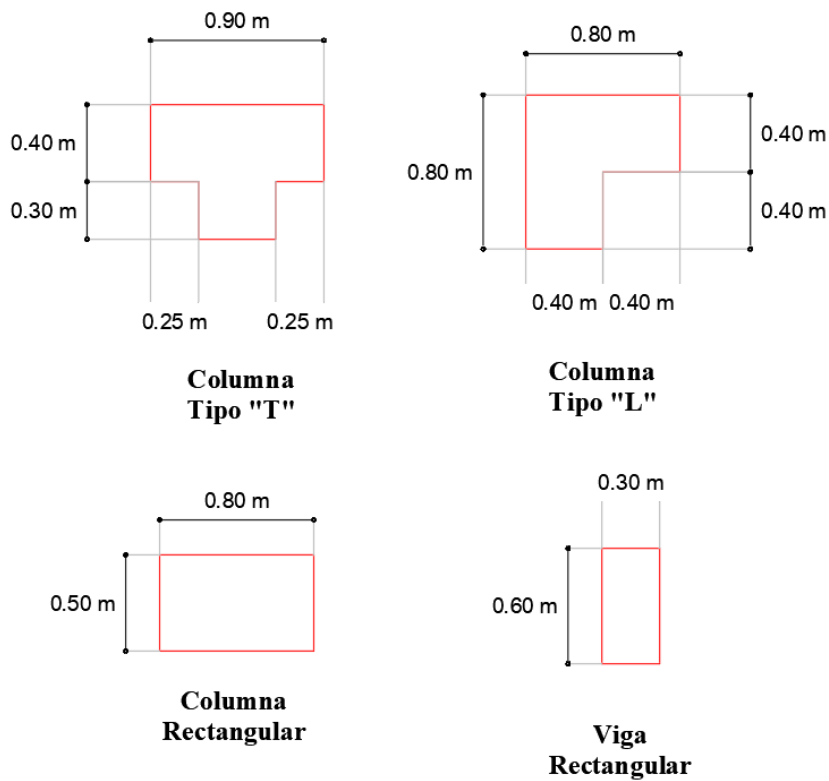
#### **4.1.2. ESTRUCTURA**

El Análisis Sísmico se elaboró acorde a lo indicado en la norma vigente, NTE E-030 (2018), con el procedimiento de superposición modal espectral. Para el análisis estructural se empleó el Software Etabs 2016; asimismo, se consideró el modelo tridimensional suponiendo en este, un comportamiento lineal – elástico.

Se tiene una estructura aporcionada, con columnas rectangulares, en “L” y en “T”, con respecto a las vigas, existe un solo tipo en toda la edificación. En las columnas se empleó un concreto de resistencia  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  y en las vigas de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ .



**Figura 13 - Vista de la Estructura en Planta**



**Figura 14 - Sección Transversal de Vigas y Columnas de la Edificación**

Para un adecuado análisis estructural, el modelo está compuesto por elementos con deformaciones por flexión, fuerza cortante y carga axial. En cada nudo se le han considerado 6 grados de libertad estáticos y al conjunto de todos ellos, tres grados de



libertad dinámicos, los cuales hacen referencia a dos traslaciones en el plano horizontal y una rotación plana asumida como un diafragma rígido en cada nivel.

#### 4.1.2. DATOS GEOTÉCNICOS Y ZONIFICACIÓN SÍSMICA

En la presente investigación, se consideraron los siguientes:

Tipo de Suelo: S3 (suelo blando)

Zona Sísmica: Zona 4

#### 4.1.3. PARÁMETROS SÍSMICOS

La norma E0.30 del Reglamento Nacional de Edificaciones, establece una serie de parámetro sísmicos que se deben de seguir y cumplir para un adecuado análisis estructural.

##### 4.1.3.1. ZONIFICACIÓN

El territorio peruano se encuentra dividido en cuatro zonas, acorde a lo indicado en el RNE E0.30 precisa que dicha zonificación toma como base la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y su atenuación con respecto a la distancia epicentral; y finalmente, a la información neotectónica.



**Figura 15** - Zonas Sísmicas de Territorio Peruano. Tomada de «Reglamento Nacional de Edificaciones – E.030», por Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. 2018, p. 10

**Tabla 3 - Factores de Zona (RNE - E.030, 2018)**

Factores de Zona	
Zona	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

Nota: Tomada del Reglamento Nacional de Edificaciones – E.030 (2018)

La edificación materia de estudio, se encuentra ubicada en la Zona 4, por encontrarse en el distrito de Ica, provincia de Ica y departamento de Ica, por lo tanto, el factor  $Z = 0.45$ .

#### 4.1.3.2. PARÁMETROS DE SUELO

El siguiente paso, es establecer los valores correspondientes al factor de suelo, que está en función del tipo de suelo y la zona donde se ubica, en la presente investigación estos valores son  $Z_4$  y  $S_3$  respectivamente; posterior a haber identificado dicho valor, procederemos a identificar los periodos  $T_P$  y  $T_L$ .

**Tabla 4 - Factor de Suelo "S" (RNE - E.030, 2018)**

Factor de Suelo "S"				
SUELO ZONA	S0	S1	S2	S3
Z4	0.80	1.00	1.05	1.10
Z3	0.80	1.00	1.15	1.20
Z2	0.80	1.00	1.20	1.40
Z1	0.80	1.00	1.60	2.00

Nota: Tomada del Reglamento Nacional de Edificaciones – E.030 (2018)

**Tabla 5 - Periodos "Tp" y "Tl" (RNE - E.030, 2018)**

Periodos "Tp" y "Tl"				
	Perfil de Suelo			
	S0	S1	S2	S3
Tp (s)	0.3	0.4	0.6	1.0
Tl (s)	3.0	2.5	2.0	1.6

Nota: Tomada del Reglamento Nacional de Edificaciones – E.030 (2018)

Como se puede apreciar en la *Tabla 4* y en la *Tabla 5*, el Factor de Suelo  $S = 1.10$ , y los valores de  $T_P$  y  $T_L$  son  $1.0$  y  $1.6$  respectivamente.

### 4.1.3.3. AMPLIFICACIÓN SÍSMICA

Acorde a las características que definen el sitio, según el RNE E.030 se define el factor de amplificación sísmica (C) en función de los periodos  $T_P$  y  $T_L$ ; dicho coeficiente se describe como el factor de amplificación de la aceleración estructural con respecto a la aceleración del suelo.

$$T < T_P \quad C = 2.5$$

$$T_P < T < T_L \quad C = 2.5 * \left(\frac{T_P}{T}\right)$$

$$T > T_L \quad C = 2.5 * \left(\frac{T_P * T_L}{T^2}\right)$$

### 4.1.3.4. CATEGORÍA DE EDIFICACIÓN Y FACTOR DE USO

El factor de Uso "U", está estrechamente ligado con el nivel de importancia que presenta la edificación; dicho factor aumenta dependiendo de la importancia que tiene la estructura, por lo que se puede decir que la relación entre ambos es directamente proporcional. Toda edificación debe de tener un Factor de Uso, acorde a las categorías que precisa el RNE E.030; estas categorías son las siguientes:

- a) A - Edificaciones Esenciales
- b) B - Edificaciones Importantes
- c) C - Edificaciones Comunes
- d) D - Edificaciones Temporales

Cada categoría responde a un Factor de Uso distinto, los cuales se detallan a continuación:

**Tabla 6** - Categoría de las Edificaciones y Factor de Uso "U" (Adaptado del RNE E0.30, 2018)

Categoría	Factor "U"
A - Edificaciones Esenciales	1.50 *
B - Edificaciones Importantes	1.30
C - Edificaciones Comunes	1.00
D - Edificaciones Temporales	**

\* Para los establecimientos del Sector Salud del Segundo y Tercer Nivel que se ubiquen en las Zonas 4 y 3, deben de tener aislamiento sísmico; si se ubican en las Zonas 1 y 2, la entidad responsable define si se usará o no el aislamiento sísmico, en caso no se use, el mínimo Valor de U es 1.5.

\*\* En estas edificaciones se prevee resistencia y rigidez adecuada frente a acciones laterales, esto último a criterio del proyectista.

Nota: Tomada del Reglamento Nacional de Edificaciones – E.030 (2018)

Las edificaciones destinadas a oficinas se encuentran dentro de la categoría “C”, por considerarse edificaciones comunes, por lo tanto, a estas les corresponde un Factor de Uso “U” = 1.00.

#### 4.1.3.5. SISTEMA ESTRUCTURAL

La presente edificación es un sistema estructural de concreto armado, exactamente está definida como una estructura aporricada; es preciso detallar, que el tipo de sistema estructural que se decida emplear en una edificación debe de estar en función de la categoría de la Edificación y la zona donde esta se va a ubicar. Las edificaciones de Categoría “C”, pueden estar ubicadas en cualquiera de las 4 Zonas, y ser de cualquier Sistema Estructural, por lo tanto, el edificio de 08 pisos que es materia de investigación cumple con esa restricción.

#### 4.1.3.6. COEFICIENTE BÁSICO DE REDUCCIÓN SÍSMICA “Ro”

Este coeficiente está ligado directamente con el tipo de Sistema Estructural con el que cuenta la Edificación; los tipos de Sistema Estructural están agrupados en 04 grandes categorías, que son las siguientes:

- a) Sistemas Estructurales de Acero
- b) Sistemas Estructurales de Concreto Armado
- c) Sistemas Estructurales de Albañilería Confinada
- d) Sistemas Estructurales de Madera

Para los Sistemas Estructurales de Concreto Armado, acorde a lo indicado en el RNE E.030 se tienen los siguientes coeficientes de Reducción Sísmica:

**Tabla 7** - Coeficientes de Reducción Sísmica para Sistemas Estructurales de Concreto Armado (RNE E.030, 2018)

Sistema Estructural de Concreto Armado	Coeficiente Básico de Reducción Ro (*)
Pórticos	8
Dual	7
De Muros Estructurales	6
Muros de Ductilidad Limitada	4

*Nota: Tomada del Reglamento Nacional de Edificaciones – E.030 (2018)*

Para el caso de Pórticos, que es el Sistema Estructural que caracteriza a la edificación motivo de estudio, se considera un Coeficiente de Reducción Sísmica igual a 8.

#### 4.1.3.7. FACTORES DE IRREGULARIDAD

Posterior a haber determinado el Coeficiente Básico de Reducción Sísmica “Ro”, se verifica la regularidad de la estructura con el objetivo de escoger un adecuado procedimiento de análisis, para determinar el valor exacto del Coeficiente de Reducción Sísmica “R”.

Las verificaciones de regularidad se hacen a nivel de planta (Ip) y altura (Ia), y en las dos direcciones de análisis, cuando una estructura es regular se considera Ip = 1.00 e Ia = 1.00; la edificación que se es materia de estudio en esta investigación es regular en las dos direcciones de análisis con respecto a su planta y altura, por consecuente, le corresponde un factor de Ia = 1.00 e Ip = 1.00.

El RNE E.030 establece restricciones de irregularidad acorde a la Categoría de la Edificación y a la Zona en la que esta se encuentra. Para edificaciones que se encuentran dentro de la Categoría “C” y se ubican dentro de la Zona 04, indica que no se permiten irregularidades extremas, por lo tanto, la presente edificación cumple con dicha restricción, por ser regular en planta y altura.

*Tabla 8 - Categoría y Regularidad de Edificaciones (RNE E.030, 2018)*

Categoría de la Edificación	Zona	Restricciones
A1 YA2	4, 3 y 2	No se permiten Irregularidades.
	1	No se permiten Irregularidades Extremas.
B	4, 3 y 2	No se permiten Irregularidades Extremas.
	1	Sin Restricciones.
C	4 y 3	No se permiten Irregularidades Extremas.
	2	No se permiten Irregularidades Extremas excepto en Edificios de hasta dos Pisos u ocho metros de altura total.
	1	Sin Restricciones.

*Nota: Tomada del Reglamento Nacional de Edificaciones – E.030 (2018)*

#### 4.1.3.8. COEFICIENTE DE REDUCCIÓN SÍSMICA (R)

Este coeficiente se calcula como el producto del coeficiente básico de reducción sísmica, que se determina en función del sistema estructural que describe a la edificación, y por los factores de irregularidad de la edificación.

$$R = Ro * Ia * Ip$$

Acorde a lo detallado anteriormente, el valor de  $R_o = 8$ , y los valores correspondientes al factor de irregularidad por altura y planta son 1.00 para ambos, por lo tanto, tenemos lo siguiente:

$$R = 8 * 1.00 * 1.00$$

$$R = 8$$

Por lo tanto, el coeficiente de Reducción Sísmica de la edificación estudiada es de 8.

## 4.2. ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO

### 4.2.1. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

a) Resistencia a la compresión:

Concreto Empleado en Columnas:  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ .

Concreto Empleado en Vigas:  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ .

b) Límite de Fluencia del Acero:  $f'y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ .

c) Módulo de Elasticidad:

Concreto Empleado en Columnas:  $E = 15000 * \sqrt{280} = 250,998.01 \text{ kg/cm}^2$

Concreto Empleado en Vigas:  $E = 15000 * \sqrt{210} = 217,370.65 \text{ kg/cm}^2$

Acero Grado 60:  $E = 2 * 10^6$

d) Coeficiente de Poisson:  $\mu = 0.15$

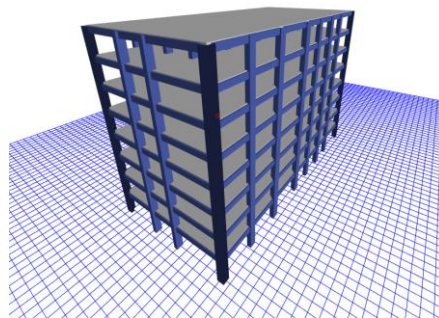


Figura 16 - Modelo en tres (03) dimensiones del edificio aporticado

#### 4.2.2. DETERMINACIÓN DEL PESO DE LA EDIFICACIÓN

Para fines de cálculo de peso de una estructura, el RNE E.030 especifica que para una estructura que se encuentra en la Categoría “C”, se debe de calcular considerando el 100% de la Carga Muerta (CM) más el 25% de la Carga Viva (CV).

Es decir, la combinación de carga a considerar será la siguiente:

$$\text{Combinación de Carga} = 100\%CM + 25\%CV$$

**Tabla 9 - Peso de la Edificación**

Nivel	Combinación de Carga	Peso x Piso tonf	Peso Acumulado tonf
Nivel 08	100%CM + 25%CV	440.4463	440.4463
Nivel 07	100%CM + 25%CV	610.5282	1050.9745
Nivel 06	100%CM + 25%CV	610.5282	1661.5027
Nivel 05	100%CM + 25%CV	610.5282	2272.0309
Nivel 04	100%CM + 25%CV	610.5281	2882.559
Nivel 03	100%CM + 25%CV	610.5282	3493.0872
Nivel 02	100%CM + 25%CV	610.5282	4103.6154
Nivel 01	100%CM + 25%CV	617.0562	4720.6716
<b>Peso Total:</b>		<b>4720.67 tonf</b>	

#### 4.2.3. DETERMINACIÓN DEL PERIODO FUNDAMENTAL DE VIBRACIÓN DE LA EDIFICACIÓN

El RNE E.030 indica que estos cálculos se deben de realizar para la dirección en equis “X” y en ye “Y”; asimismo, recomienda el empleo de la siguiente expresión:

$$T = 2\pi * \sqrt{\frac{(\sum_{i=1}^n P_i * d_i^2)}{(g * \sum_{i=1}^n f_i * d_i)}}$$

Asimismo, cuando no se considera la rigidez que aportan los elementos no estructurales a la edificación, se recomienda considerar únicamente el 85% del valor del periodo fundamental de vibración calculado en cada dirección.

Para el cálculo del periodo de vibración fundamental en la dirección X-X, se elaboró la siguiente tabla, y se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 10 - Cálculo del Periodo de Vibración Fundamental en el Eje X-X (Sin reforzamiento)**

Nivel	Peso x Piso tonf	Altura m	Peso * Altura Tonf*m	Alpha (α)	Fi tonf	Di mm	Pi*Di <sup>2</sup> tonf*mm <sup>2</sup>	Fi*Di tonf*mm
Nivel 08	440.446	2.8	1233.250	0.09244	58.025	16.670	122395.138	967.269
Nivel 07	610.528	2.8	1709.479	0.12813	80.431	15.893	154211.761	1278.293
Nivel 06	610.528	2.8	1709.479	0.12813	80.431	14.616	130425.586	1175.582
Nivel 05	610.528	2.8	1709.479	0.12813	80.431	12.793	99919.564	1028.956
Nivel 04	610.528	2.8	1709.479	0.12813	80.431	10.475	66990.577	842.517
Nivel 03	610.528	2.8	1709.479	0.12813	80.431	7.765	36811.935	624.548
Nivel 02	610.528	2.8	1709.479	0.12813	80.431	4.818	14172.267	387.517
Nivel 01	617.056	3	1851.169	0.13875	87.098	1.949	2343.950	169.753
<b>Sumatoria:</b>	<b>4720.672</b>		<b>13341.292</b>		<b>627.709</b>		<b>627270.778</b>	<b>6474.436</b>

$$T_x = 0.5308 \text{ seg}$$

Asimismo, se elaboró la siguiente tabla para el cálculo del periodo de vibración fundamental en la Dirección Y-Y, de la cual se obtuvo lo siguiente:

**Tabla 11 - Cálculo del Periodo de Vibración Fundamental en el Eje Y-Y (Sin reforzamiento)**

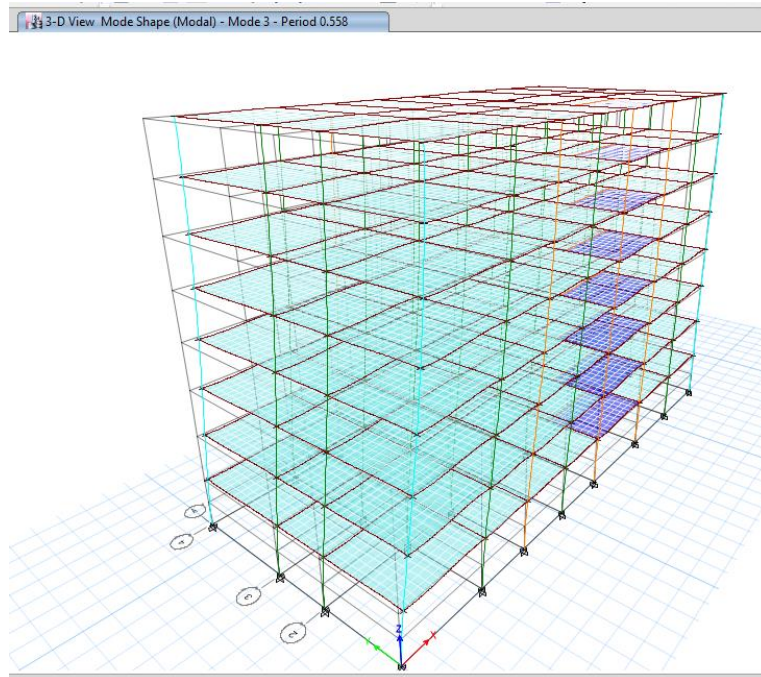
Nivel	Peso x Piso tonf	Altura m	Peso * Altura Tonf*m	Alpha (α)	Fi tonf	Di mm	Pi*Di <sup>2</sup> tonf*mm <sup>2</sup>	Fi*Di tonf*mm
Nivel 08	440.446	2.8	1233.250	0.09244	58.025	33.748	501636.405	1958.212
Nivel 07	610.528	2.8	1709.479	0.12813	80.431	32.164	631605.402	2586.989
Nivel 06	610.528	2.8	1709.479	0.12813	80.431	29.578	534125.531	2378.994
Nivel 05	610.528	2.8	1709.479	0.12813	80.431	25.890	409232.229	2082.364
Nivel 04	610.528	2.8	1709.479	0.12813	80.431	21.213	274732.376	1706.187
Nivel 03	610.528	2.8	1709.479	0.12813	80.431	15.747	151391.462	1266.550
Nivel 02	610.528	2.8	1709.479	0.12813	80.431	9.801	58647.095	788.306
Nivel 01	617.056	3	1851.169	0.13875	87.098	3.983	9789.158	346.910
<b>Sumatoria:</b>	<b>4720.672</b>		<b>13341.292</b>		<b>627.709</b>		<b>2571159.658</b>	<b>13114.512</b>

$$T_y = 0.7551 \text{ seg}$$

Finalmente, se procedió a comparar ambos resultados con el modelamiento tridimensional elaborado en el Software Etabs v2016, y se obtuvo lo siguiente:

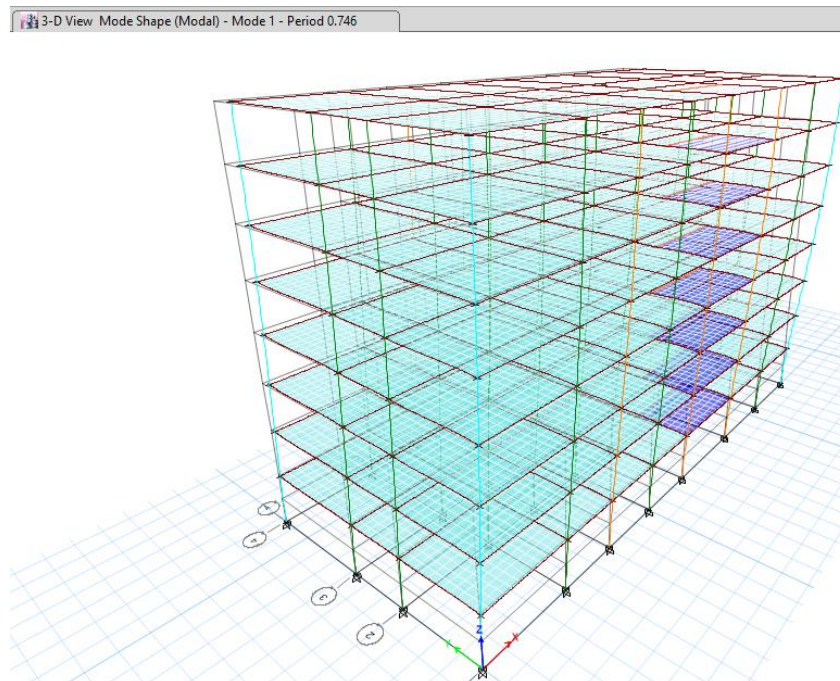


a) Periodo Fundamental en el Eje X-X:  $T_x = 0.558$  seg



**Figura 17** - Periodo Fundamental en el Eje X-X (Elaborado en Etabs v2016)

b) Periodo Fundamental en el Eje Y-Y:  $T_y = 0.746$  seg



**Figura 18** - Periodo Fundamental en el Eje Y-Y (Elaborado en Etabs v2016)

De los resultados obtenidos, podemos observar que la variación en cuanto al periodo fundamental de la edificación obtenido manualmente y el que indica el programa, en ambos ejes, no es significativo; por lo que se utilizaron los periodos obtenidos por el programa.

#### **4.2.4. DISTRIBUCIÓN DE LA FUERZA SÍSMICA EN CADA NIVEL DE LA EDIFICACIÓN**

Posterior al cálculo de los periodos fundamentales de la edificación en el eje X-X y Y-Y, se procede a calcular el factor de amplificación sísmica “C”; que como se puede apreciar en el capítulo 4.1.3.3., es esencial compararlo con los valores de  $T_p$  y  $T_I$  para definir el valor de “C”.

Como el valor del periodo fundamental obtenido en el eje X-X y Y-Y es menor a 1.00, que es el valor de  $T_p$ , se procede a definir el valor de “C” como 2.5.

Una vez definido el valor de “C”, se corrobora que la relación C/R sea mayor o igual a 0.11.

Para el eje X-X:

$$\frac{C}{R} = \frac{2.5}{8} = 0.3125$$

Para el eje Y-Y:

$$\frac{C}{R} = \frac{2.5}{8} = 0.3125$$

Podemos indicar que la relación C/R es correcta en ambos ejes.

Para definir la fuerza sísmica horizontal actuante en cada nivel de la edificación, en relación con el eje que se está verificando, se emplea la siguiente expresión:

$$F_i = \alpha_i * V$$

Donde:

$$\alpha_i = \frac{P_i * (h_i)^k}{\sum_{j=1}^n P_j * (h_j)^k}$$

Donde:

n: Número de pisos o niveles de la Edificación

P: Peso de la edificación por piso o nivel

h: Altura de cada nivel de entrepiso

k: Exponente en función del periodo fundamental de vibración de la edificación; se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Si: } T \leq 0.5 \text{ seg; } k = 1.00$$

$$\text{Si: } T > 0.5 \text{ seg; } k = (0.75 + 0.5 * T)$$

**Para el Eje X-X:**

$$V_x = 627.709 \text{ tonf}$$

$$T_x = 0.558 \text{ seg}$$

$$K = 1.062$$

*Tabla 12 - Distribución de Fuerza Sísmica en Altura, Eje X-X (Sin reforzamiento)*

Nivel	Peso x Piso tonf	Altura m	Pi*(hi)^k	ai	Fi tonf	Vi tonf
Nivel 08	440.446	22.6	10896.087	0.172	107.874	107.874
Nivel 07	610.528	19.8	13181.785	0.208	130.503	238.376
Nivel 06	610.528	17	11267.762	0.178	111.553	349.930
Nivel 05	610.528	14.2	9362.901	0.148	92.695	442.625
Nivel 04	610.528	11.4	7468.971	0.118	73.945	516.569
Nivel 03	610.528	8.6	5588.621	0.088	55.329	571.898
Nivel 02	610.528	5.8	3726.260	0.059	36.891	608.789
Nivel 01	617.056	3	1911.096	0.030	18.920	627.709
<b>Sumatoria:</b>	<b>4720.672</b>		<b>63403.481</b>		<b>627.709</b>	

**Para el Eje Y-Y:**

$$V_y = 627.709 \text{ tonf}$$

$$T_y = 0.746 \text{ seg}$$

$$K = 1.123$$

**Tabla 13 - Distribución de Fuerza Sísmica en Altura, Eje Y-Y (Sin reforzamiento)**

Nivel	Peso x Piso tonf	Altura m	Pi*(hi)^Ak	ai	Fi tonf	Vi tonf
Nivel 08	440.446	22.6	14606.856	0.179	112.466	112.466
Nivel 07	610.528	19.8	17452.624	0.214	134.377	246.843
Nivel 06	610.528	17	14706.180	0.180	113.231	360.073
Nivel 05	610.528	14.2	12015.049	0.147	92.510	452.583
Nivel 04	610.528	11.4	9388.794	0.115	72.289	524.873
Nivel 03	610.528	8.6	6841.439	0.084	52.676	577.548
Nivel 02	610.528	5.8	4395.774	0.054	33.845	611.394
Nivel 01	617.056	3	2119.005	0.026	16.315	627.709
<b>Sumatoria:</b>	<b>4720.672</b>		<b>81525.721</b>		<b>627.709</b>	

#### 4.2.5. DETERMINACIÓN DE LA EXCENTRICIDAD ACCIDENTAL

Para determinar la excentricidad accidental en cada nivel de la edificación, se multiplica por 0.05 a la longitud perpendicular a la dirección del análisis; de dichos cálculos obtenemos lo siguiente:

**Tabla 14 - Cálculo de Excentricidad Accidental**

	Dirección X-X	Dirección Y-Y
Longitud (m)	32.85	15.70
Excentricidad (m) - 5% Long.	1.64	0.79

### 4.3. ANÁLISIS SÍSMICO DINÁMICO

#### 4.3.1. CÁLCULO DE LA ACELERACIÓN ESPECTRAL

Para determinar la aceleración espectral en cada eje de la edificación se empleó la siguiente fórmula, que es la indicada en el RNE E.030:

$$S_a = \frac{Z * U * C * S}{R} * g$$

Donde:

Para Zona Sísmica Z-4, Z = 0.45

Para Categoría de Edificación C, U = 1.00

Para Zona Sísmica Z-4 y Tipo de Suelo S-3, S = 1.10

Para Sistemas Estructurales Aporticados de Concreto Armado, sin irregularidades, R = 8

Con los valores mencionados anteriormente, se procede a calcular los valores de la aceleración espectral para la edificación en estudio; asimismo, se determinará el gráfico del espectro de respuesta sísmica:

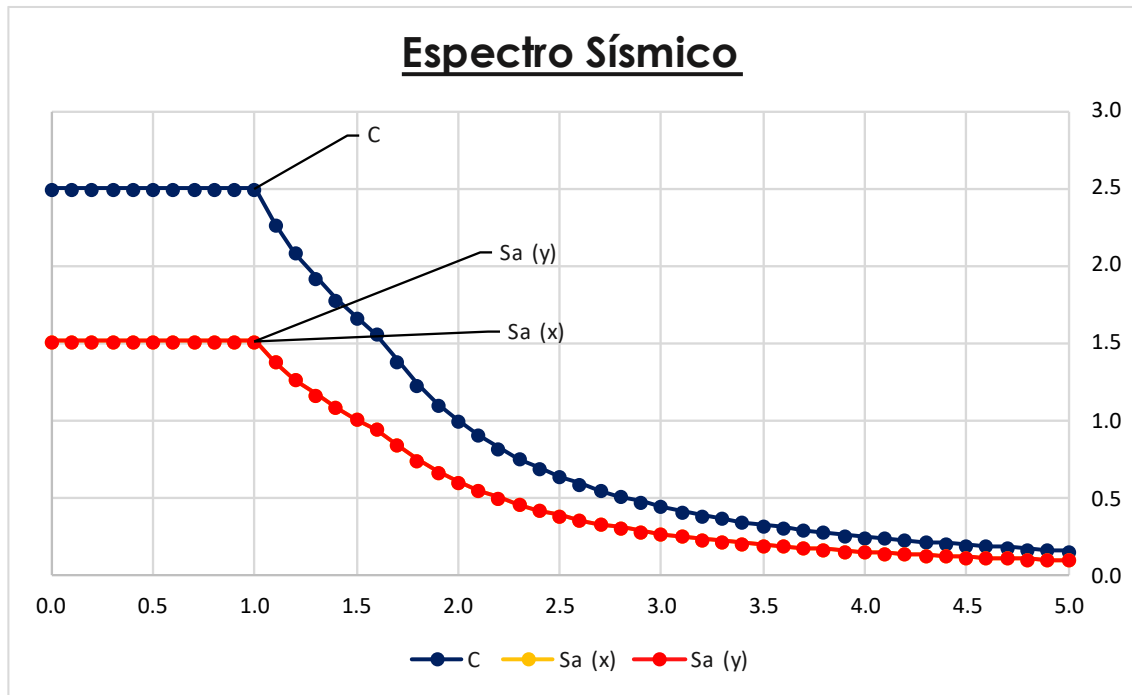


Figura 19 - Espectro de Respuesta Sísmica para  $R = 8$ ,  $U = 1.0$ ,  $S = 1.10$  y  $Z = 0.45$

#### 4.3.2. MODOS DE VIBRACIÓN DE LA EDIFICACIÓN

Para determinar los modos de vibración de la edificación, se emplearon 24 modos de vibración; de los primeros 03 periodos calculados, denominados también periodos fundamentales, se tiene lo siguiente:

Periodo N° 01 (T1):  $T_y = 0.746$  seg (Traslación en Y)

Periodo N° 02 (T2):  $T_{rz} = 0.624$  seg (Rotación en Z)

Periodo N° 03 (T3):  $T_x = 0.558$  seg (Traslación en X)

En la siguiente tabla, se mostrarán los resultados obtenidos para cada modo de vibración calculado.

Tabla 15 - Modos de Vibración de la Edificación

Caso	Modo	Periodo Seg	UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
Modal Espectral	Ty	0.746	0.0006	0.7807	0.031	0.0006	0.7807	0.031
Modal Espectral	Trz	0.624	0.0714	0.0304	0.7111	0.072	0.8111	0.742
Modal Espectral	Tx	0.558	0.7395	0.0009	0.0709	0.8115	0.812	0.8129
Modal Espectral	4	0.235	0.0001	0.1018	0.0037	0.8116	0.9138	0.8166
Modal Espectral	5	0.196	0.009	0.0037	0.0905	0.8206	0.9175	0.9071
Modal Espectral	6	0.175	0.0957	0.0001	0.0088	0.9163	0.9176	0.916
Modal Espectral	7	0.128	2.64E-05	0.0381	0.0014	0.9163	0.9557	0.9174
Modal Espectral	8	0.107	0.0033	0.0013	0.0354	0.9196	0.957	0.9528
Modal Espectral	9	0.095	0.0368	3.24E-05	0.0033	0.9564	0.957	0.956
Modal Espectral	10	0.083	1.28E-05	0.0201	0.0007	0.9564	0.9771	0.9567
Modal Espectral	11	0.069	0.0018	0.0006	0.0188	0.9581	0.9778	0.9755
Modal Espectral	12	0.062	0.0194	1.49E-05	0.0017	0.9775	0.9778	0.9773
Modal Espectral	13	0.058	7.53E-06	0.0114	0.0004	0.9775	0.9892	0.9776
Modal Espectral	14	0.048	0.001	0.0003	0.0108	0.9785	0.9896	0.9884
Modal Espectral	15	0.044	0	0.0061	0.0002	0.9785	0.9957	0.9886
Modal Espectral	16	0.044	0.0104	1.81E-05	0.0009	0.9889	0.9957	0.9894
Modal Espectral	17	0.038	0.0005	2.90E-05	0.0008	0.9895	0.9957	0.9902
Modal Espectral	18	0.037	0.0001	0.0002	0.0001	0.9895	0.9959	0.9903
Modal Espectral	19	0.037	1.58E-05	0	7.31E-06	0.9896	0.9959	0.9903
Modal Espectral	20	0.037	2.42E-05	0.0011	3.28E-05	0.9896	0.9971	0.9903
Modal Espectral	21	0.037	9.28E-07	0	0	0.9896	0.9971	0.9903
Modal Espectral	22	0.037	9.39E-06	0	1.16E-06	0.9896	0.9971	0.9903
Modal Espectral	23	0.037	4.47E-05	0	1.84E-05	0.9896	0.9971	0.9903
Modal Espectral	24	0.036	0.0007	0	3.76E-06	0.9903	0.9971	0.9903

El RNE E.030 indica que el porcentaje de masa participativa acumulada no debería de ser inferior al 90%; con esto último, se puede precisar que, para el análisis efectuado, hubiera bastado con calcular solo 6 modos de vibración, ya que como se puede apreciar en la tabla anterior, en ese modo se supera el 90%.

#### 4.4. CONTROL DE DERIVAS POR ANÁLISIS SÍSMICO DINÁMICO

El valor de los desplazamientos laterales obtenidos mediante este análisis sísmico dinámico se escala en 0.75R, acorde a lo indicado en el RNE E.030, por lo tanto, los valores que se muestran en las siguientes tablas, ya fueron afectados por dicho factor.

**Tabla 16 - Cálculo de Derivas de Entrepiso en el EJE X-X para un Análisis Sísmico Dinámico**

Story	Combo	Dirección	Drift %	Drift Máximo %	Control respecto al RNE E.030
Techo 08	Deriva Análisis Sísmico Estático	X-X	1.723	7.00	Pasa
Techo 07	Deriva Análisis Sísmico Estático	X-X	2.809	7.00	Pasa
Techo 06	Deriva Análisis Sísmico Estático	X-X	3.976	7.00	Pasa
Techo 05	Deriva Análisis Sísmico Estático	X-X	5.014	7.00	Pasa
Techo 04	Deriva Análisis Sísmico Estático	X-X	5.835	7.00	Pasa
Techo 03	Deriva Análisis Sísmico Estático	X-X	6.324	7.00	Pasa
Techo 02	Deriva Análisis Sísmico Estático	X-X	6.149	7.00	Pasa
Techo 01	Deriva Análisis Sísmico Estático	X-X	3.899	7.00	Pasa

**Tabla 17 - Cálculo de Derivas de Entrepiso en el EJE Y-Y para un Análisis Sísmico Dinámico**

Story	Combo	Dirección	Drift %	Drift Máximo %	Control respecto al RNE E.030
Techo 08	Deriva Análisis Sísmico Estático	Y-Y	3.507	7.00	Pasa
Techo 07	Deriva Análisis Sísmico Estático	Y-Y	5.69	7.00	Pasa
Techo 06	Deriva Análisis Sísmico Estático	Y-Y	8.041	7.00	No pasa
Techo 05	Deriva Análisis Sísmico Estático	Y-Y	10.122	7.00	No pasa
Techo 04	Deriva Análisis Sísmico Estático	Y-Y	11.768	7.00	No pasa
Techo 03	Deriva Análisis Sísmico Estático	Y-Y	12.762	7.00	No pasa
Techo 02	Deriva Análisis Sísmico Estático	Y-Y	12.472	7.00	No pasa
Techo 01	Deriva Análisis Sísmico Estático	Y-Y	7.965	7.00	No pasa

## 4.5. ESFUERZOS MÁXIMOS EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Para dicho análisis se tomó como referencia un eje en la dirección X-X y otro en la dirección Y-Y.

### 4.5.1. EJE A-A

Diagrama de Momentos Flectores en Columnas y Vigas

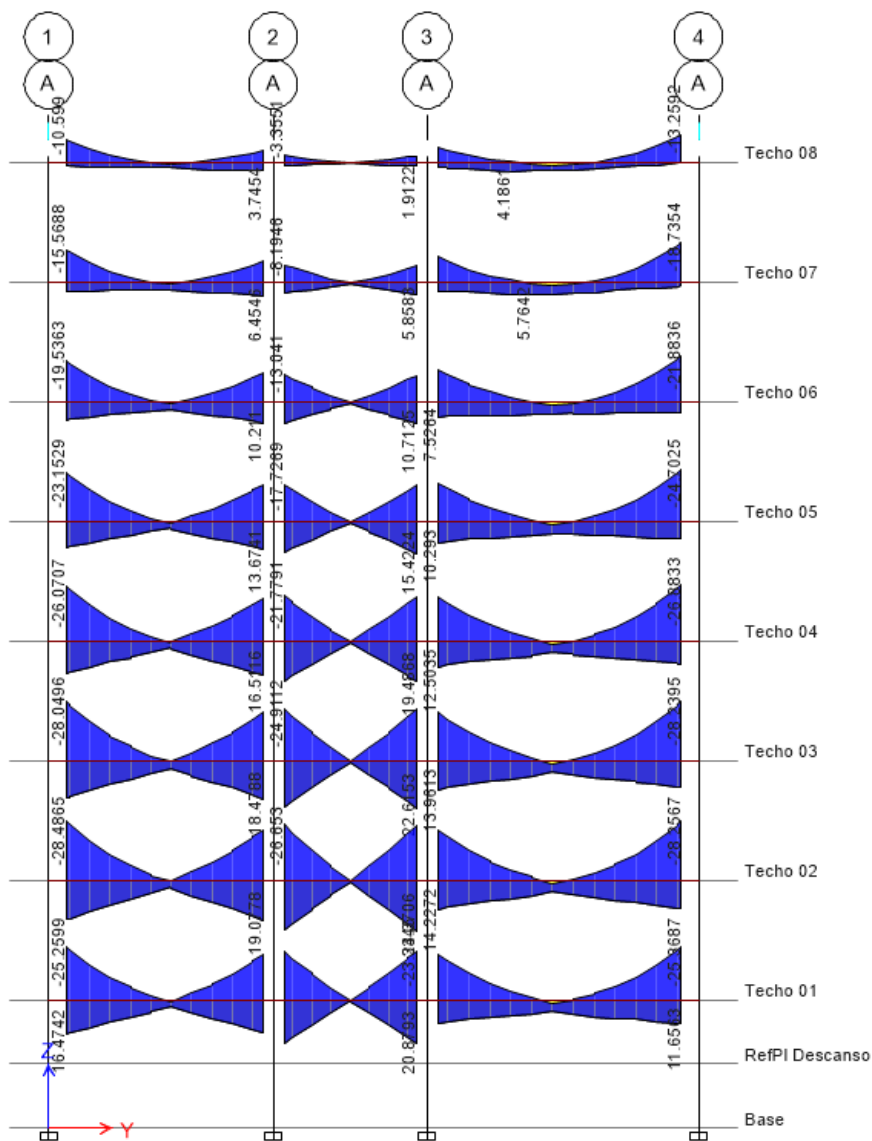


Figura 20 - Diagrama de Momento Flector en Vigas - Eje A-A



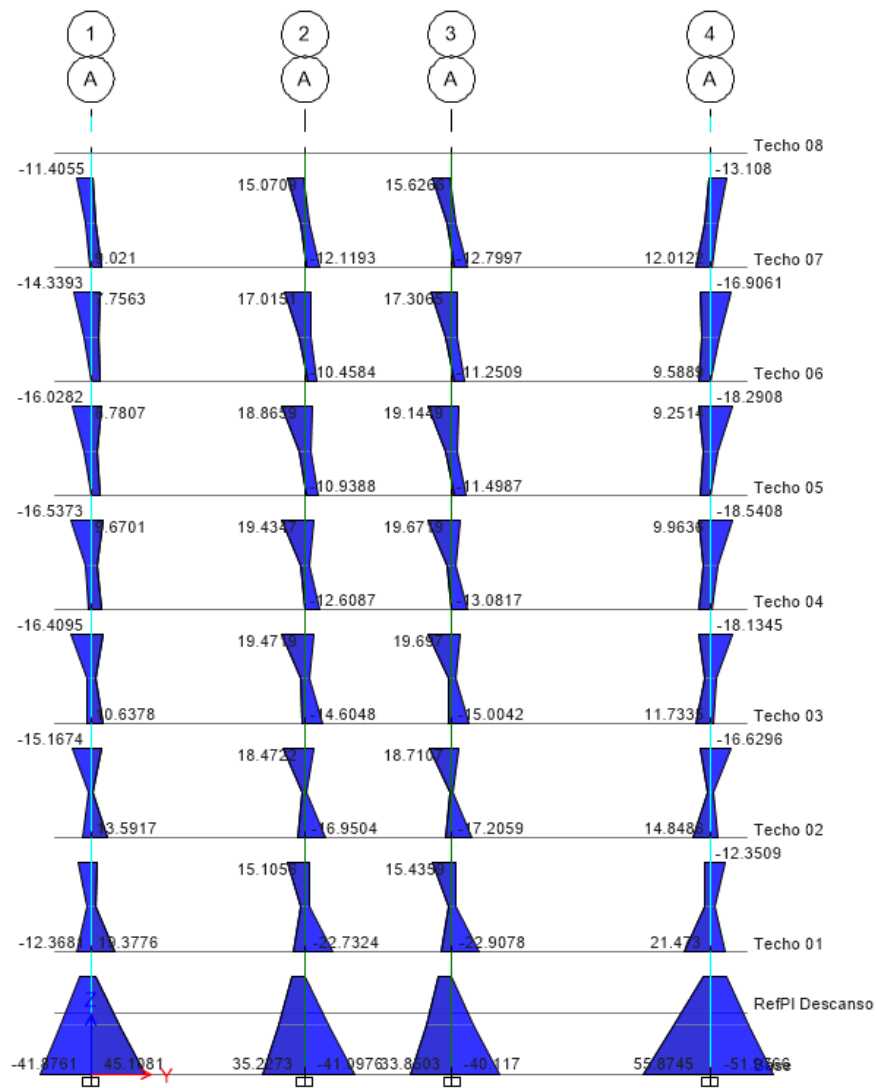


Figura 21 - Diagrama de Momento Flector en Columnas - Eje A-A

## Diagrama de Fuerzas Cortantes en Columnas y Vigas

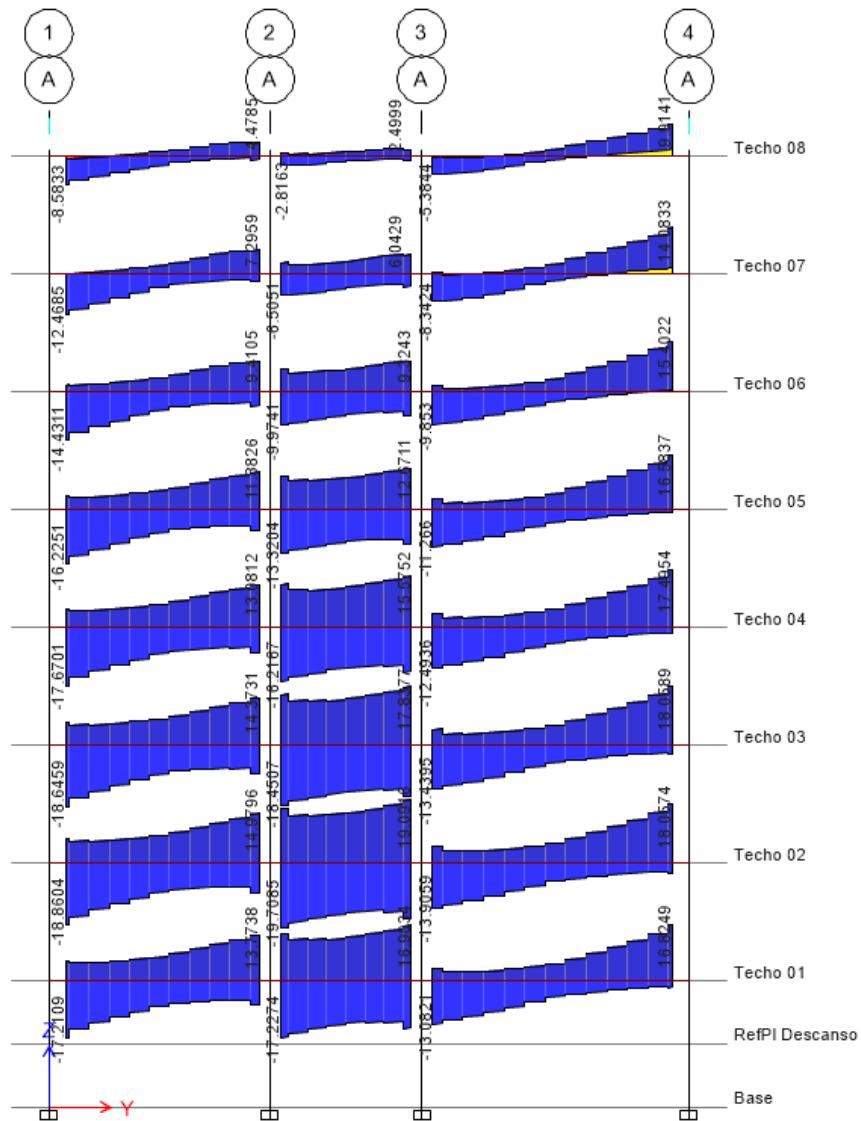


Figura 22 - Diagrama de Fuerza Cortante en Vigas - Eje A-A

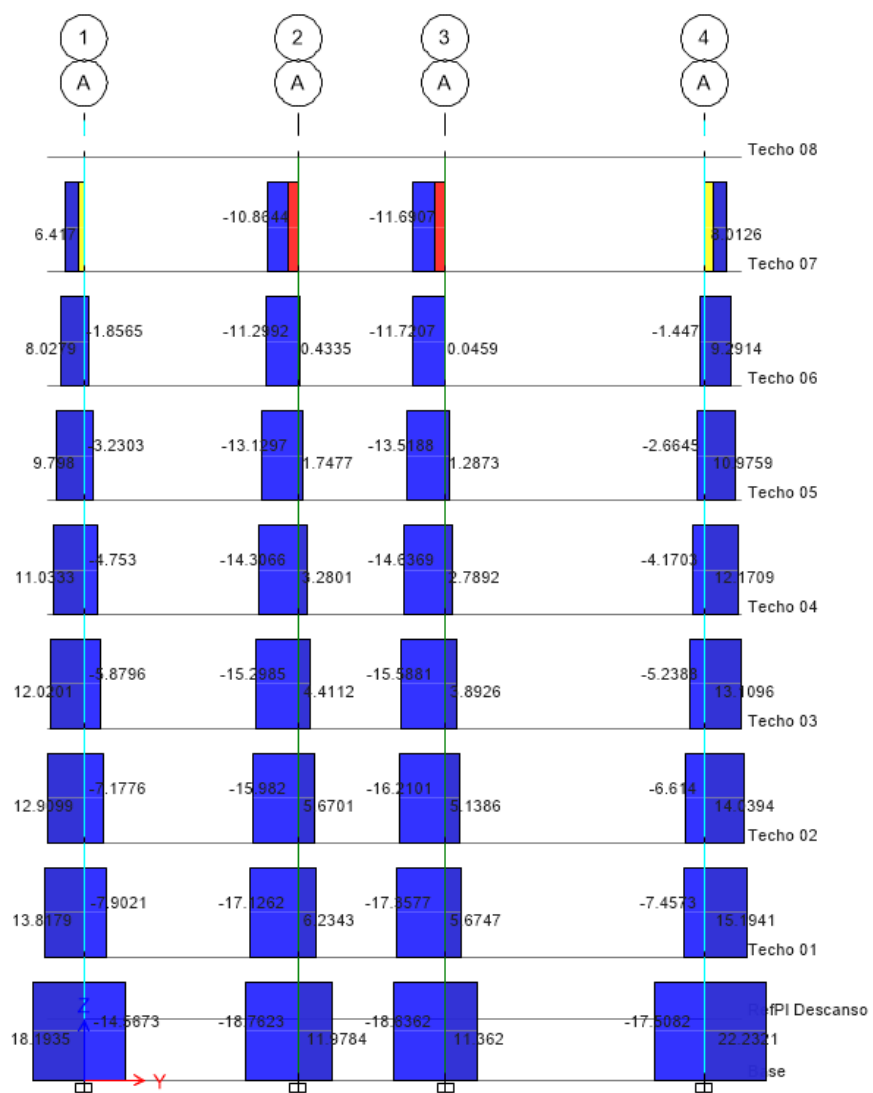


Figura 23 - Diagrama de Fuerza Cortante en Columnas - Eje A-A

## 4.5.2. EJE 1-1

### Diagrama de Momentos Flectores en Columnas y Vigas

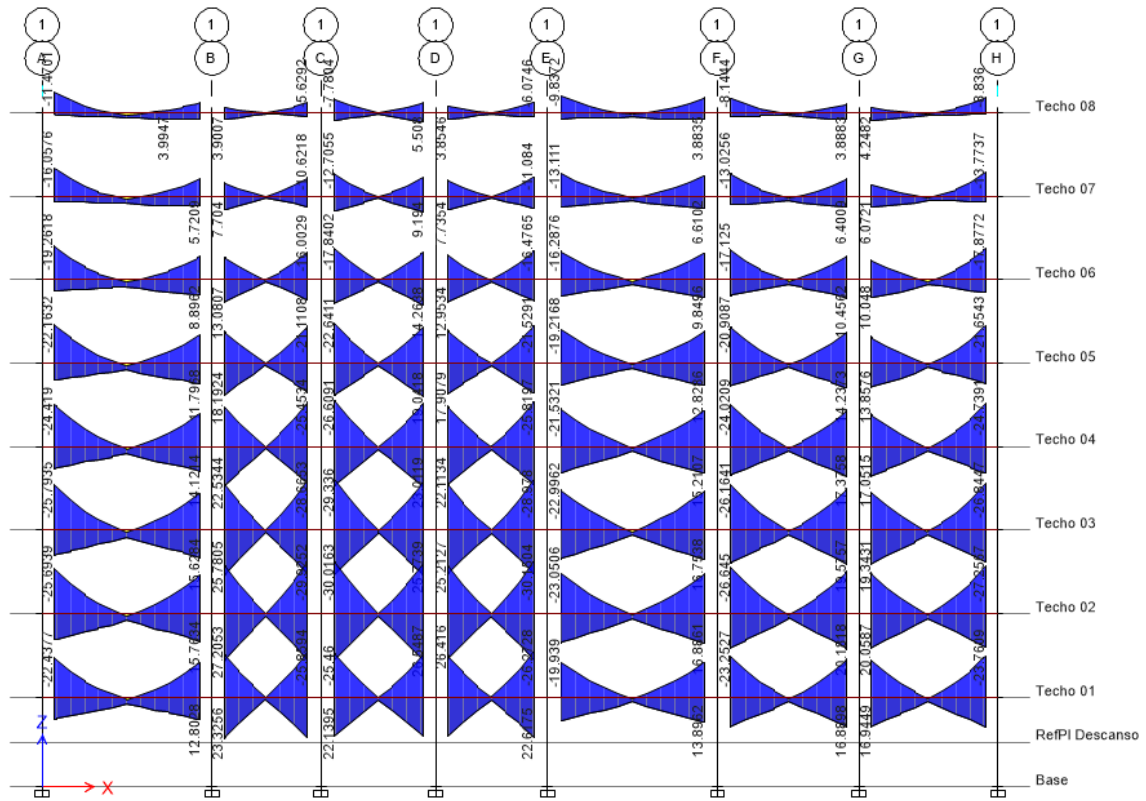


Figura 24 - Diagrama de Momento Flector en Vigas - Eje 1-1

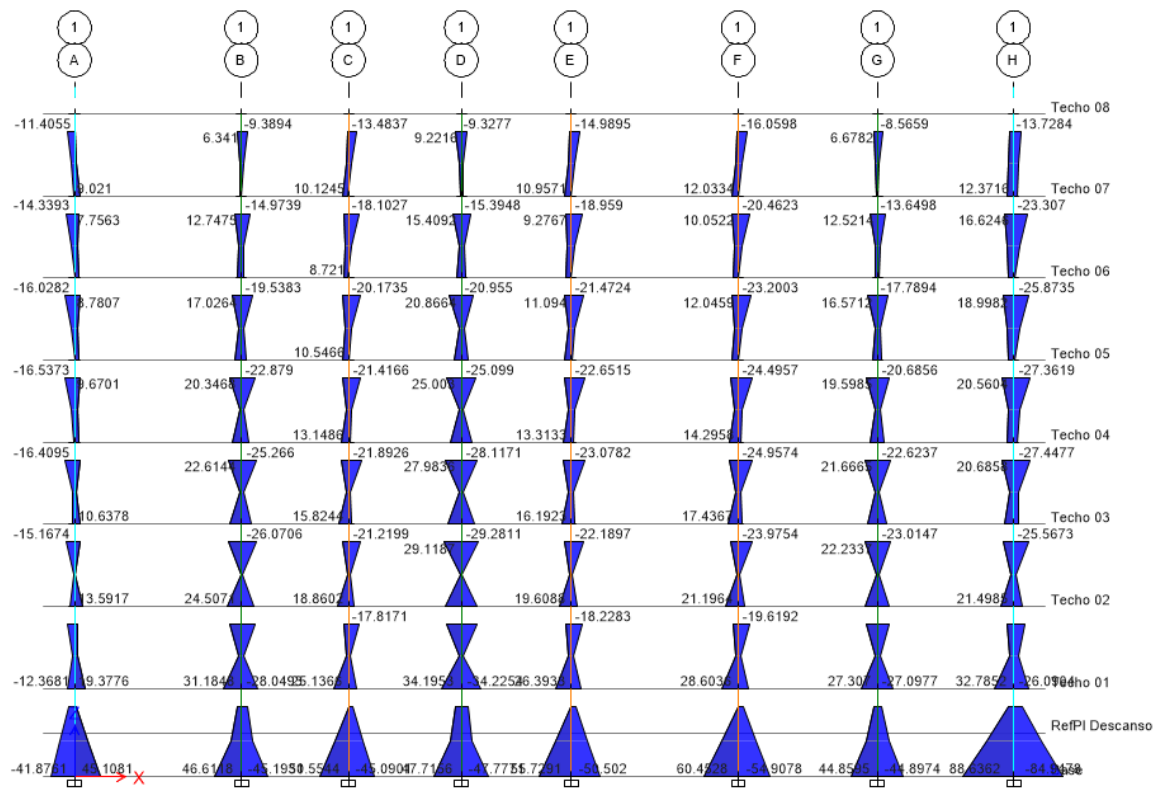
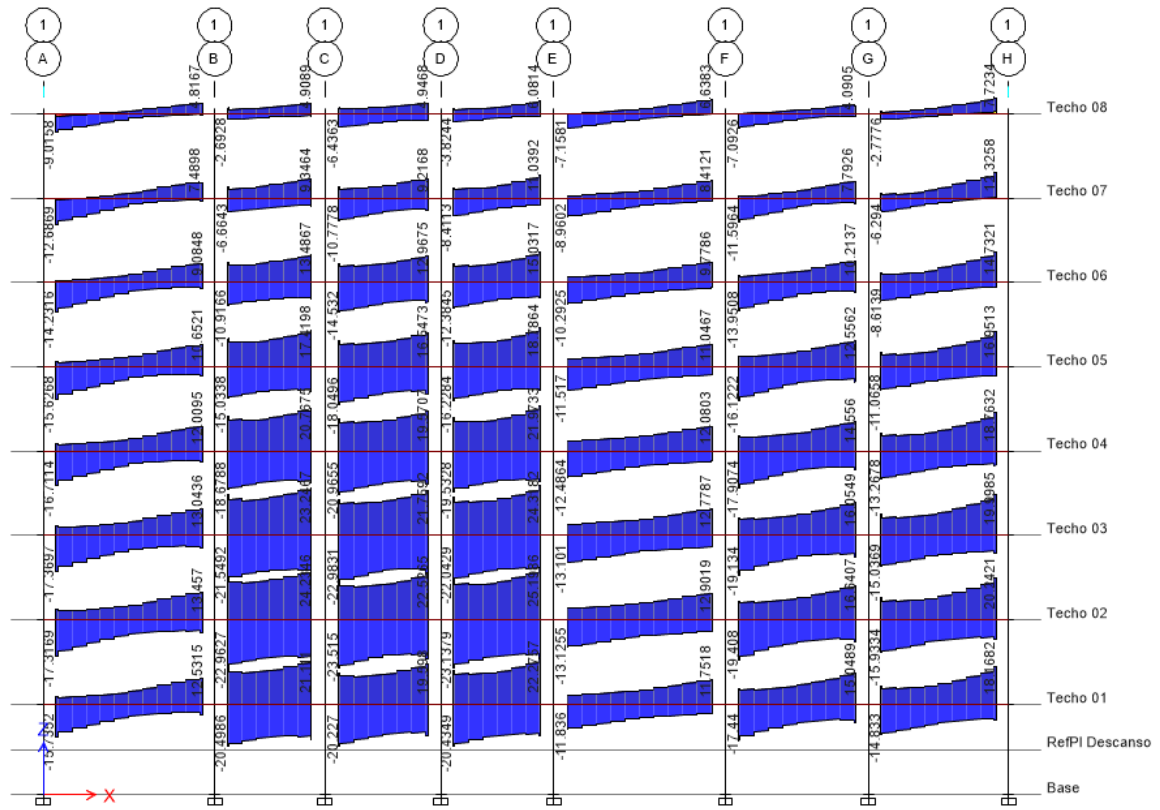


Figura 25 - Diagrama de Momento Flector en Columnas - Eje 1-1

## Diagrama de Fuerzas Cortantes en Columnas y Vigas



**Figura 26 - Diagrama de Fuerza Cortante en Vigas - Eje 1-1**

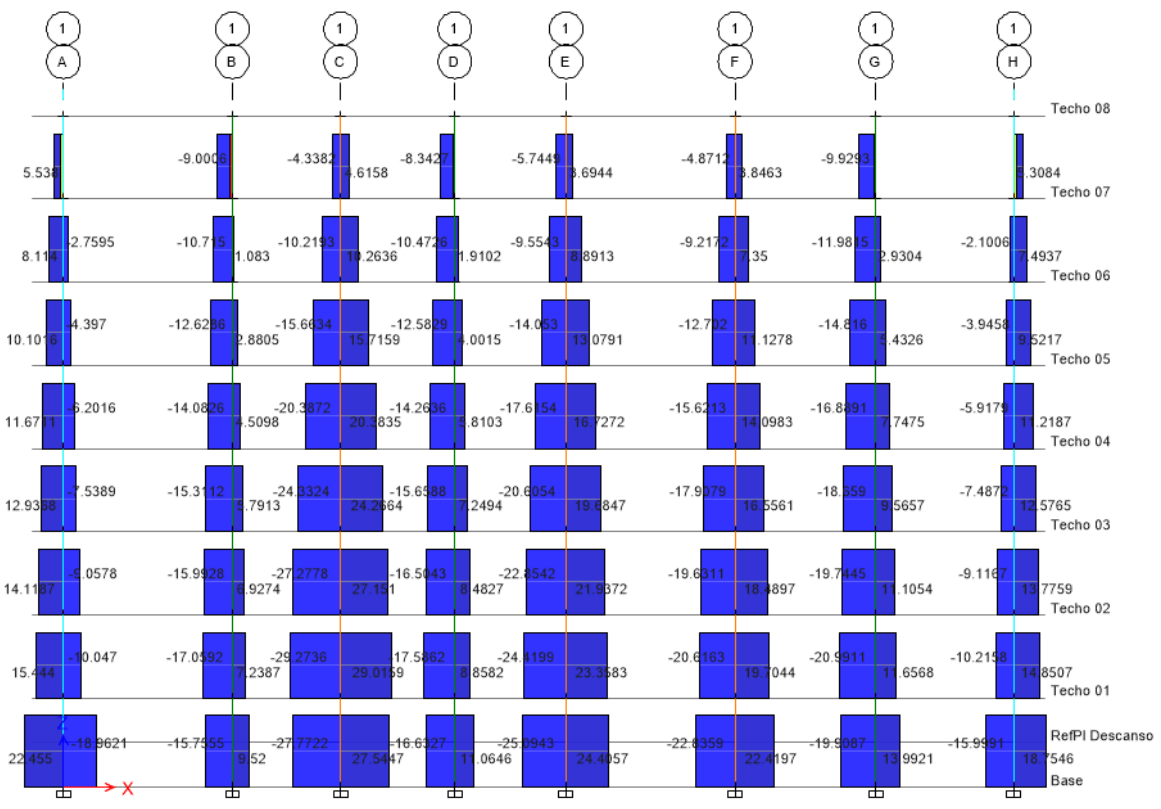


Figura 27 - Diagrama de Fuerza Cortante en Columnas - Eje 1-1

En los esquemas mostrados en el acápite 4.5., se evidencia la fuerza cortante y el momento flector a los que están sometidos los elementos estructurales de la edificación.

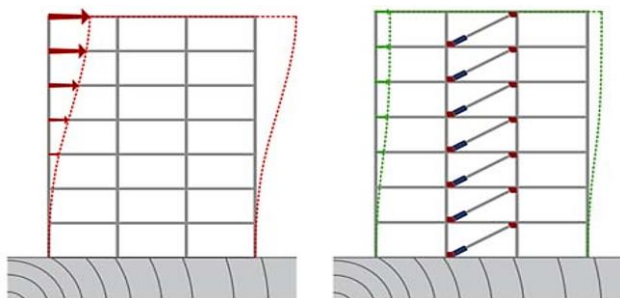
En el capítulo siguiente, se realizará el análisis estructural de la edificación con la implementación del reforzamiento a base de contravientos restringidos a pandeo, y se mostrará cómo influyen estos en las fuerzas cortantes de las columnas en cada entrespejo.

## CAPÍTULO V

### ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN CON REFORZAMIENTO

Los CRP son sistemas innovadores de protección sísmica; estos tienen como objeto el incrementar las capacidades mecánicas de la estructura, permitiendo un mejor desempeño sísmico estructural; estas mejoras se logran: incrementando el nivel de amortiguamiento, la rigidez lateral, la resistencia a cargas laterales y mayor capacidad de deformación o ductilidad.

En la Figura 28 se muestra una comparación entre dos estructuras aporticadas, la del lado izquierdo muestra una estructura aporticada convencional, y la del extremo derecho muestra una estructura con los sistemas de arriostramiento lateral (CRP). El esquema trata de mostrar que al implementar los sistemas de CRP a la estructura convencional, se puede lograr importantes reducciones en los desplazamientos laterales de entrepiso; reduciendo de esta forma las deformaciones internas en los elementos estructurales y, por tanto, se reduce el nivel de daño estructural y no estructural.



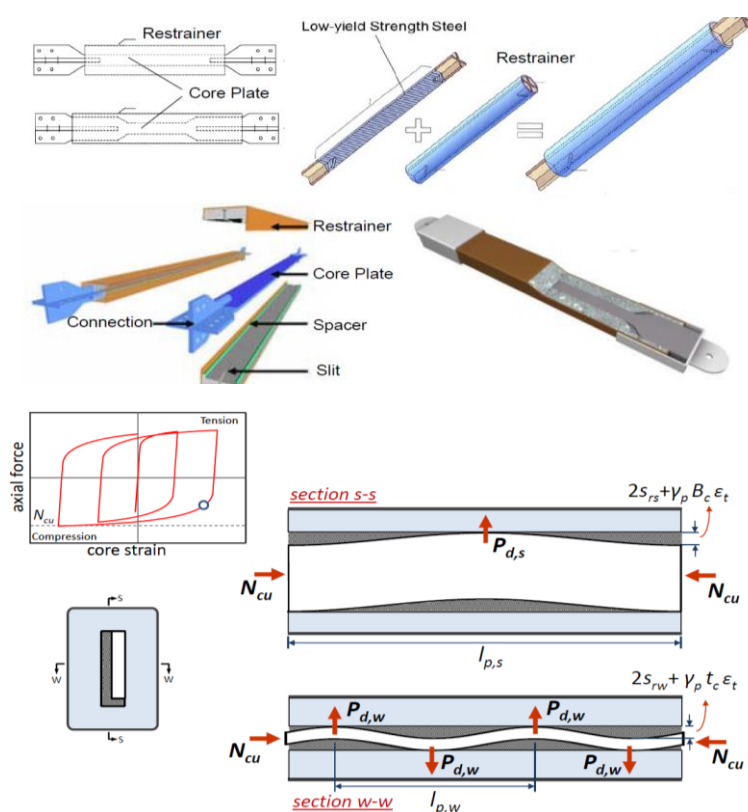
**Figura 28** - Control de los desplazamientos laterales por la implementación de los CRP: (Izq.) Estructura sin CRP; (Der.) Estructura con CRP.



## 5.1. IMPLEMENTACIÓN DE LOS REFUERZOS

En este trabajo de investigación, se consideró como refuerzo elementos de arriostramiento lateral, controlados a pandeo o comúnmente conocidos como sistema de contraviento de pandeo restringido (CRP); estos sistemas nos permiten reducir los desplazamientos laterales de la estructura trabajando de manera eficiente tanto a fuerzas de compresión como a fuerzas de tracción. Generalmente, en este tipo de arriostres diagonales es caso crítico el análisis a fuerzas de compresión que podrían hacer fallar al elemento por pandeo, sin lograr desarrollar o aprovechar toda la capacidad del elemento, sin embargo, como se muestra en la Figura 29, estos sistemas son de pandeo controlado, esto debido a que las camisas de refuerzo restringen el desplazamiento lateral del núcleo de refuerzo.

Estas camisas de refuerzo son lo suficientemente rígidas para controlar la deformación lateral del núcleo del CRP, generando “n” pandeos locales que no generen falla por pandeo local. Estos dispositivos han sido validados de manera experimental, por lo tanto, en estos sistemas de pandeo restringido no es necesario hacer la verificación de falla por pandeo crítico.



**Figura 29** - Sistema de Arriestre Lateral Restringido a Pandeo. Tomada de «Buckling-Restrained Brace History. Design and Applications», por Takeuchi et al. 2017, p. 7 y p. 16

### 5.1.1. ESTIMACIÓN DE LA FUERZA CORTANTE EN EL SISTEMA SECUNDARIO

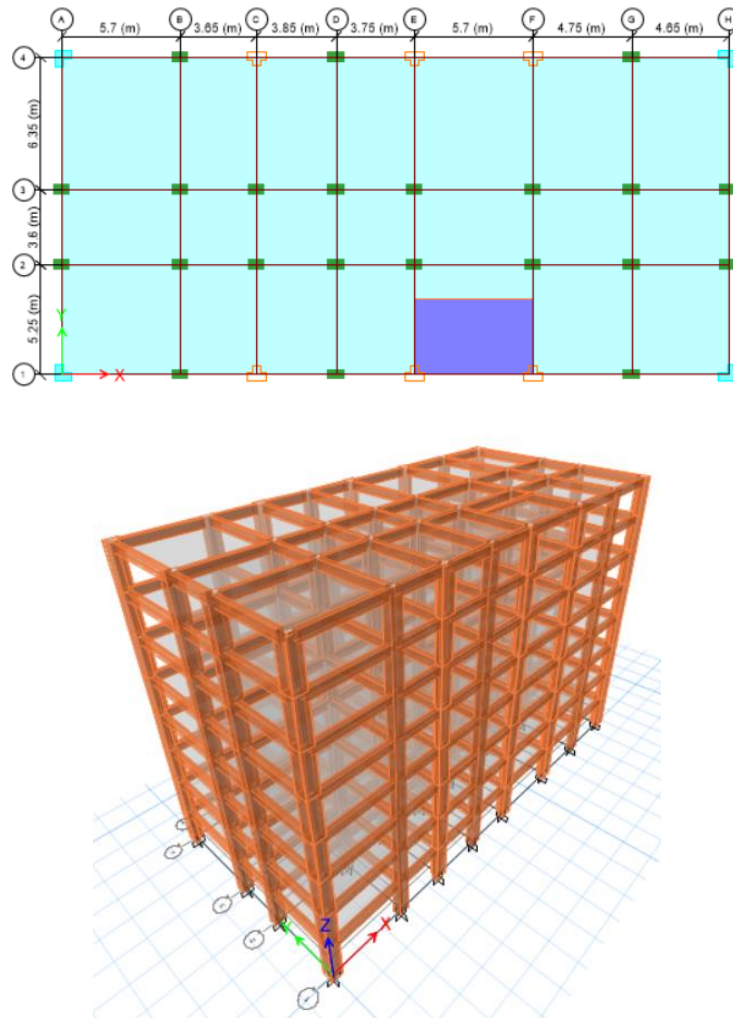
En este primer paso es necesario definir el porcentaje de la fuerza de corte en cada entrepiso (%V) que será soportado por el sistema CRP o también denominado sistema secundario. Para fines prácticos, es recomendable iniciar considerando que los sistemas secundarios soportarán el 50% de la cortante de entrepiso. Otra opción es calcular este porcentaje de cortante que será soportado por los sistemas secundarios a partir de la siguiente ecuación.

$$\%V = \left(1 - \frac{\gamma_{max}}{\gamma_{calc}}\right) * 100\% \quad \text{Ec. (01)}$$

Donde, %V es el porcentaje de la fuerza cortante que deberá soportar el sistema secundario,  $\gamma_{max}$  representa la distorsión de entrepiso admisible y  $\gamma_{calc}$  es la distorsión de entrepiso obtenida a partir del análisis modal en la estructura.

En la Figura 30 se muestra el modelo numérico realizado para analizar la edificación en su estado inicial, sin considerar los refuerzos de CRP. A partir de este modelo numérico se realizó un análisis sísmico dinámico de superposición modal espectral, obteniéndose las derivas de entrepiso ( $\gamma_{calc}$ ), valores que fueron reemplazados en la Ecuación 01 para obtener el %V, y posteriormente reemplazarlo en la Ecuación 2. De esta forma se calcula la fuerza cortante que ingresa a los sistemas secundarios de refuerzo en cada entrepiso ( $V_{ss}$ ). Esta fuerza se calcula a partir del producto del porcentaje de la fuerza cortante que deberá soportar el refuerzo y la cortante total de entrepiso del edificio, este análisis se realiza de manera independiente para cada dirección del edificio, tanto en el sentido longitudinal como en el sentido transversal de la edificación.

$$V_{ss} = \%V * V \quad \text{Ec. (02)}$$



**Figura 30** - Vista en Planta y 3D del edificio sin reforzamiento

En la Tabla 18 se muestra los resultados del cálculo de la fuerza cortante que debe resistir el sistema secundario, de donde se puede observar que en la dirección longitudinal (X) del edificio, se muestra que no se requiere añadir refuerzos (N.R.), pues los desplazamientos laterales de entrepiso calculados son menores a los admisibles por la Norma E.030, por lo tanto, en la dirección X la edificación está cumpliendo la rigidez requerida para controlar adecuadamente las deformaciones de entrepiso.

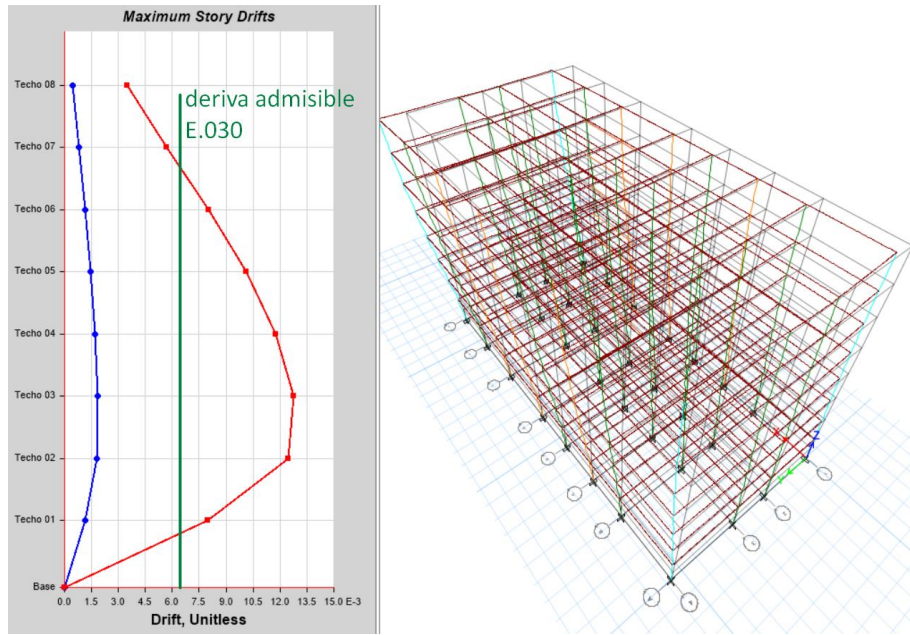
Por otro lado, el análisis realizado en la dirección transversal (dirección Y) muestra que la estructura es demasiado flexible y por lo tanto es necesario incrementar la rigidez lateral de la estructura en esta dirección de análisis. En la Tabla 18 se muestra que el piso 8 y 7 presentan derivas menores al admisible de la Norma E.030; sin embargo, en los pisos inferiores (del piso 1 al piso 6), no se cumple con estos desplazamientos admisibles, por lo

tanto, para controlar y reducir estos desplazamientos laterales excesivos será necesario añadir los sistemas de CRP desde el primer piso hasta el sexto piso, en la dirección Y.

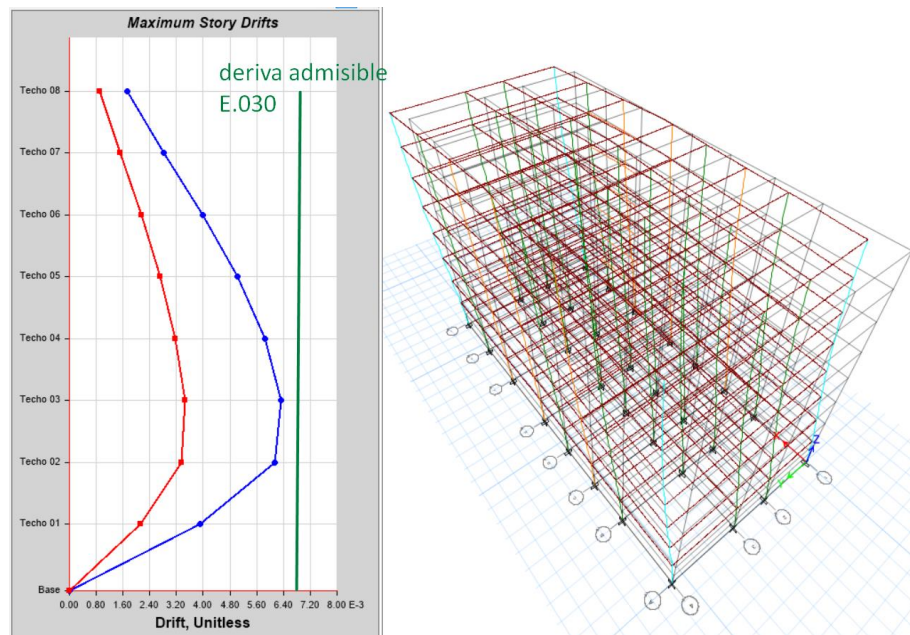
**Tabla 18** - Cálculo de la fuerza cortante que debe resistir el sistema secundario.

Dirección	Piso	$\gamma_{cal}$	$\gamma_{max}$	%V	Vb	Vss
					[tonf]	[tonf]
Y	8	0.004	0.007	-1.00	84.42	N.R.
	7	0.006	0.007	-0.23	114.35	N.R.
	6	0.008	0.007	0.13	100.90	2.14
	5	0.010	0.007	0.31	86.74	5.10
	4	0.012	0.007	0.41	71.58	6.70
	3	0.013	0.007	0.45	54.94	7.47
	2	0.012	0.007	0.44	36.36	7.26
	1	0.008	0.007	0.12	16.54	2.00
Dirección	Piso	$\gamma_{cal}$	$\gamma_{max}$	%V	Vb	Vss
					[tonf]	[tonf]
X	8	0.0017	0.007	-3.06	84.42	N.R.
	7	0.0028	0.007	-1.49	114.35	N.R.
	6	0.0040	0.007	-0.76	100.90	N.R.
	5	0.0050	0.007	-0.40	86.74	N.R.
	4	0.0058	0.007	-0.20	71.58	N.R.
	3	0.0063	0.007	-0.11	54.94	N.R.
	2	0.0061	0.007	-0.14	36.36	N.R.
	1	0.0039	0.007	-0.80	16.54	N.R.

En la figura 31 y 32, se muestran los resultados de las derivas de cada entrepiso y se verifica que en la dirección X no es necesario reforzar, al no superar los desplazamientos máximos permitidos por la Norma E.030, por otro lado, en la dirección Y se verifica que es necesario reforzar desde el piso 1 al piso 6, pues estos estarían sufriendo desplazamientos excesivos, mayores a los máximos permitidos por la norma E.030.



**Figura 31** - Resultados de deriva de entrepiso en la dirección Y, edificio sin refuerzo.



**Figura 32** - Resultados de deriva de entrepiso en la dirección X, edificio sin refuerzo.

### **5.1.2. DEFINICIÓN DE LA CANTIDAD DE DISIPADORES POR PISO (n) Y SU UBICACIÓN**

Para determinar la ubicación de los disipadores se debe tener en cuenta su ubicación por arquitectura y que su distribución en planta evite o controle los efectos de torsión en la edificación. El primero consiste en definir la posición de los disipadores en lugares donde no generen obstrucción de la funcionalidad de los ambientes del edificio y además puedan tener continuidad en todos los pisos que se desee reforzar, evitando de esta manera alterar la arquitectura de la edificación; este paso debe ser realizado en coordinación con los involucrados en el proyecto, tal es el caso del responsable de la especialidad de arquitectura. El segundo criterio consiste en definir la ubicación de los disipadores en planta de tal forma que no generen irregularidades por torsión en la estructura; este efecto se puede producir al realizar una distribución no simétrica de los disipadores en planta generando una excentricidad importante entre el centro de masas y el centro de rigideces.

Por otro lado, de ser el caso que la edificación tenga problemas de torsión debido a su configuración estructural, es posible controlar esta irregularidad por torsión con la adecuada distribución de los disipadores en planta. Este efecto de irregularidad se debe a una distribución asimétrica de las rigideces laterales, y esta distribución asimétrica se puede corregir compensando las rigideces con los arriostres diagonales.

Con respecto al número de disipadores a utilizar, este fue un proceso iterativo. La primera iteración se elaboró reforzando la estructura mediante dos crujías y se fue verificando que los desplazamientos laterales sean adecuadamente controlados. Para este caso, se siguió con el proceso iterativo hasta controlar los desplazamientos laterales y estos sean menores a los máximos permisibles de la Norma E.030. De esta forma se finalizó con 6 crujías reforzadas desde el primer piso hasta el sexto piso.

En la Figura 33 se muestra la distribución en planta de los CRP. Se ubicaron en los ejes A, B, G y H, entre los ejes 2-3; ubicados en espacios que no obstruyen la funcionalidad de la edificación, posterior a ello, debido a que se requería controlar adecuadamente los desplazamientos laterales fue necesario añadir los CRP en el eje E. Por lo que finalmente se instalaron 12 disipadores en 6 crujías. Teniendo en cuenta que el arreglo de los disipadores es del tipo X multinivel, por lo que en cada crujía se requieren 2 disipadores.

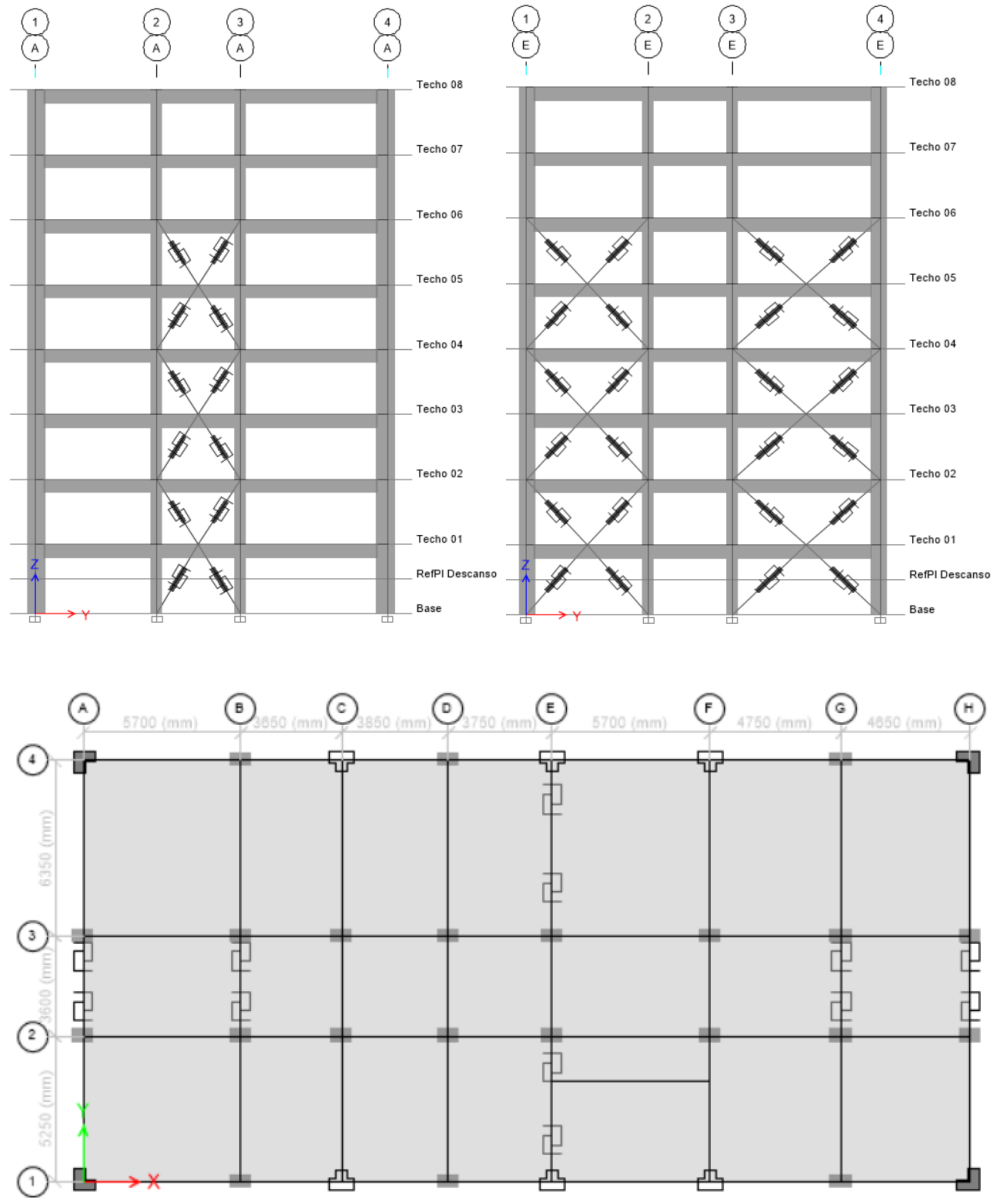


Figura 33 - Distribución en planta y altura de los arriostramientos diagonales.

### 5.1.3. CÁLCULO DE LA FUERZA DE DISEÑO DE CADA DISIPADOR

Para el cálculo de la fuerza cortante sísmica que tomará cada disipador, se consideró la cortante sísmica de entrepiso para los sistemas secundarios y se dividió entre el número de disipadores a instalar. Teniendo en cuenta que estas fuerzas son laterales, mientras que los disipadores tienen un arreglo del tipo diagonal. Por tanto, fue necesario establecer la siguiente ecuación por condición de equilibrio.

Ec. (03)

$$F_d = \frac{V_{ss}/n}{\cos\theta}$$

Donde  $F_d$  es la fuerza de diseño que tomará cada disipador en un determinado nivel de entrepiso;  $n$  es el número de disipadores en cada entrepiso y  $\theta$  es el ángulo que se forma con la diagonal de refuerzo y la horizontal.

Como se observa en la Tabla 19, en los ejes A, B, G y H debido al mismo nivel de inclinación, se determinó que la fuerza que sería aplicada en cada disipador son valores bajos menores a 10 tonf y de igual forma en el eje E, las fuerzas calculadas en cada disipador serán menores a 10 tonf.

Por lo tanto, como los sistemas de diagonales de pandeo restringido al pandeo son productos de fabricación industrial y testeados bajos pruebas de ensayo, cada fabricante ofrece un catálogo con distintas características de los dispositivos en función a la demanda de las fuerzas axiales. Para este caso, se siguieron los lineamientos y catálogos proporcionados por la empresa mexicana Dampoo.

**Tabla 19** - Cálculo de las fuerzas de diseño en cada disipador y el ángulo de inclinación, por eje.

**Ejes A-A; B-B; G-G; H-H**

Dirección	Piso	Vss (tonf)	Lx (m)	Hi (m)	Lcrp (m)	cosθ	n	Fd (tonf) calculada	Fd (tonf) selec.	θ
Y	8	N.R.	1.8	2.8	3.33	0.84	12	N.R.	0	57.26
	7	N.R.	1.8	2.8	3.33	0.84	12	N.R.	0	57.26
	6	2.14	1.8	2.8	3.33	0.84	12	0.212	40	57.26
	5	5.10	1.8	2.8	3.33	0.84	12	0.505	40	57.26
	4	6.70	1.8	2.8	3.33	0.84	12	0.664	40	57.26
	3	7.47	1.8	2.8	3.33	0.84	12	0.740	40	57.26
	2	7.26	1.8	2.8	3.33	0.84	12	0.719	40	57.26
	1	2.00	1.8	3	3.50	0.86	12	0.195	40	59.04

**Ejes E-E**

Dirección	Piso	Vss (tonf)	Lx (m)	Hi (m)	Lcrp (m)	cosθ	n	Fd (tonf) calculada	Fd (tonf) selec.	θ
Y	8	N.R.	2.63	2.8	3.84	0.73	12	N.R.	0	46.85
	7	N.R.	2.63	2.8	3.84	0.73	12	N.R.	0	46.85
	6	2.14	2.63	2.8	3.84	0.73	12	0.245	40	46.85
	5	5.10	2.63	2.8	3.84	0.73	12	0.583	40	46.85
	4	6.70	2.63	2.8	3.84	0.73	12	0.765	40	46.85
	3	7.47	2.63	2.8	3.84	0.73	12	0.853	40	46.85
	2	7.26	2.63	2.8	3.84	0.73	12	0.829	40	46.85
	1	2.00	2.63	3	3.99	0.75	12	0.222	40	48.81



Como se muestra en la Tabla 20, en función de la fuerza axial de diseño del disipador y de su longitud, se determina el modelo de dispositivo a usar, para este trabajo se seleccionó, como primera opción, el modelo CRP 40/4.

**Tabla 20** - Propiedades de los disipadores en función de su longitud y fuerza de diseño axial.

**Tabla 1. Propiedades de los disipadores Dampo Dual Protect**

	Long.	Fuerza de diseño	Fuerza de fluencia esperada	Fuerza máxima esperada	Despl. de fluencia	Despl. máximo	Ductilidad	Factor de rigidez	Rigidez axial	Camisa	Peso
Modelo	L (m)	F <sub>d</sub> (t)	F <sub>fe</sub> (t)	F <sub>max</sub> (t)	d <sub>y</sub> (mm)	d <sub>max</sub> (mm)	$\mu = \frac{d_{max}}{d_y}$	f <sub>k</sub>	k <sub>d</sub> (kg/mm)	Sección	W <sub>d</sub> (kg)
40/4 →	4.0	40	44	56	5.0	30.0	6	1.26	8174	6 x 1/4	308
60/4	4.0	60	67	83	5.0	30.0	6	1.26	12261	7 x 1/4	417
80/4	4.0	80	89	111	5.0	30.3	6	1.25	16186	7 x 3/16	420
100/4	4.0	100	111	139	5.0	30.3	6	1.25	20220	8 x 1/4	543
120/4	4.0	120	133	167	5.0	30.0	6	1.26	24476	9 x 1/4	682
140/4	4.0	140	156	194	5.0	30.0	6	1.26	28585	10 x 1/4	823
160/4	4.0	160	178	222	4.8	29.0	6	1.31	33807	10 x 1/4	842
180/4	4.0	180	200	250	4.8	28.8	6	1.31	38275	12 x 1/4	1130
200/4	4.0	200	222	278	4.6	27.7	6	1.37	44219	12 x 1/4	1131
220/4	4.0	220	244	306	4.6	27.7	6	1.37	48696	12 x 1/4	1165
240/4	4.0	240	267	333	4.7	28.0	6	1.35	52467	12 x 1/4	1179
40/6	6.0	40.0	44.4	55.6	7.5	44.9	6	1.26	5452	6 x 5/16	480
60/6	6.0	60.0	66.7	83.3	7.5	44.9	6	1.26	8179	7 x 5/16	649
80/6	6.0	80.0	88.9	111.1	7.5	44.9	6	1.26	10902	8 x 1/4	805
100/6	6.0	100.0	111.1	138.9	7.6	45.4	6	1.25	13488	8 x 5/16	853
120/6	6.0	120.0	133.3	166.7	7.5	45.0	6	1.26	16332	9 x 1/4	1039
140/6	6.0	140.0	155.6	194.4	7.5	44.9	6	1.26	19077	10 x 1/4	1255
160/6	6.0	160.0	177.8	222.2	7.5	45.2	6	1.26	21686	10 x 1/4	1282
180/6	6.0	180.0	200.0	250.0	7.5	44.9	6	1.26	24528	12 x 1/4	1723
200/6	6.0	200.0	222.2	277.8	7.5	45.0	6	1.26	27188	12 x 1/4	1730
220/6	6.0	220.0	244.4	305.6	7.5	45.0	6	1.26	29931	12 x 1/4	1775
240/6	6.0	240.0	266.7	333.3	7.6	45.4	6	1.25	32370	12 x 1/4	1798

Nota: Tomada de «Características Generales del Disipador Dampo Dual Protect», por Dampo Systems S.A.

Además, en la Tabla 19 se muestra el ángulo de inclinación de los dispositivos, siendo lo recomendable que estos sistemas de arriostamiento tengan una inclinación que varíe entre 30° a 60°. Para este caso los arriostres de los ejes A, B, G, y H muestran una inclinación de 57° que estaría cumpliendo con las recomendaciones máxima y mínimas del ángulo de inclinación. Con respecto al eje E, muestra un ángulo de inclinación de 46° que es próximo a los 45°, que es considerado como el ángulo de inclinación ideal, pues para este valor de inclinación se tiene una mejor redistribución de las cargas laterales.

#### 5.1.4. OBTENCIÓN DE LA RIGIDEZ AXIAL DE LOS DISIPADORES

Luego de definir el tipo de dispositivo a usar, a partir de su configuración se pueden determinar otras propiedades mecánicas, como su rigidez axial, a partir de su rigidez axial se puede determinar la rigidez lateral de los disipadores a nivel local y luego pueden ser acoplados en la matriz de rigidez lateral a nivel global, donde esta rigidez lateral es la que

determina el nivel de deformación lateral del edificio. Para este trabajo se busca incrementar la rigidez lateral del edificio hasta lograr reducir los desplazamientos laterales dentro de los rangos admisibles que establece la Norma E.030 para este tipo de edificaciones.

**Tabla 21 - Determinación de la rigidez axial del CRP seleccionado en la primera iteración.**

**Tabla 1. Propiedades de los disipadores Dampo Dual Protect**

	Long.	Fuerza de diseño	Fuerza de fluencia esperada	Fuerza máxima esperada	Despl. de fluencia	Despl. máximo	Ductilidad	Factor de rigidez	Rigidez axial	Camisa	Peso
Modelo	L (m)	F <sub>d</sub> (t)	F <sub>fe</sub> (t)	F <sub>max</sub> (t)	d <sub>y</sub> (mm)	d <sub>max</sub> (mm)	μ = $\frac{d_{max}}{d_y}$	f <sub>k</sub>	k <sub>d</sub> (kg/mm)	Sección	W <sub>d</sub> (kg)
40/4	4.0	40	44	56	5.0	30.0	6	1.26	8174	6 x 1/4	308
60/4	4.0	60	67	83	5.0	30.0	6	1.26	12261	7 x 1/4	417
80/4	4.0	80	89	111	5.0	30.3	6	1.25	16186	7 x 3/16	420
100/4	4.0	100	111	139	5.0	30.3	6	1.25	20220	8 x 1/4	543
120/4	4.0	120	133	167	5.0	30.0	6	1.26	24476	9 x 1/4	682
140/4	4.0	140	156	194	5.0	30.0	6	1.26	28585	10 x 1/4	823
160/4	4.0	160	178	222	4.8	29.0	6	1.31	33807	10 x 1/4	842
180/4	4.0	180	200	250	4.8	28.8	6	1.31	38275	12 x 1/4	1130
200/4	4.0	200	222	278	4.6	27.7	6	1.37	44219	12 x 1/4	1131
220/4	4.0	220	244	306	4.6	27.7	6	1.37	48696	12 x 1/4	1165
240/4	4.0	240	267	333	4.7	28.0	6	1.35	52467	12 x 1/4	1179
40/6	6.0	40.0	44.4	55.6	7.5	44.9	6	1.26	5452	6 x 5/16	480
60/6	6.0	60.0	66.7	83.3	7.5	44.9	6	1.26	8179	7 x 5/16	649
80/6	6.0	80.0	88.9	111.1	7.5	44.9	6	1.26	10902	8 x 1/4	805
100/6	6.0	100.0	111.1	138.9	7.6	45.4	6	1.25	13488	8 x 5/16	853
120/6	6.0	120.0	133.3	166.7	7.5	45.0	6	1.26	16332	9 x 1/4	1039
140/6	6.0	140.0	155.6	194.4	7.5	44.9	6	1.26	19077	10 x 1/4	1255
160/6	6.0	160.0	177.8	222.2	7.5	45.2	6	1.26	21686	10 x 1/4	1282
180/6	6.0	180.0	200.0	250.0	7.5	44.9	6	1.26	24528	12 x 1/4	1723
200/6	6.0	200.0	222.2	277.8	7.5	45.0	6	1.26	27188	12 x 1/4	1730
220/6	6.0	220.0	244.4	305.6	7.5	45.0	6	1.26	29931	12 x 1/4	1775
240/6	6.0	240.0	266.7	333.3	7.6	45.4	6	1.25	32370	12 x 1/4	1798

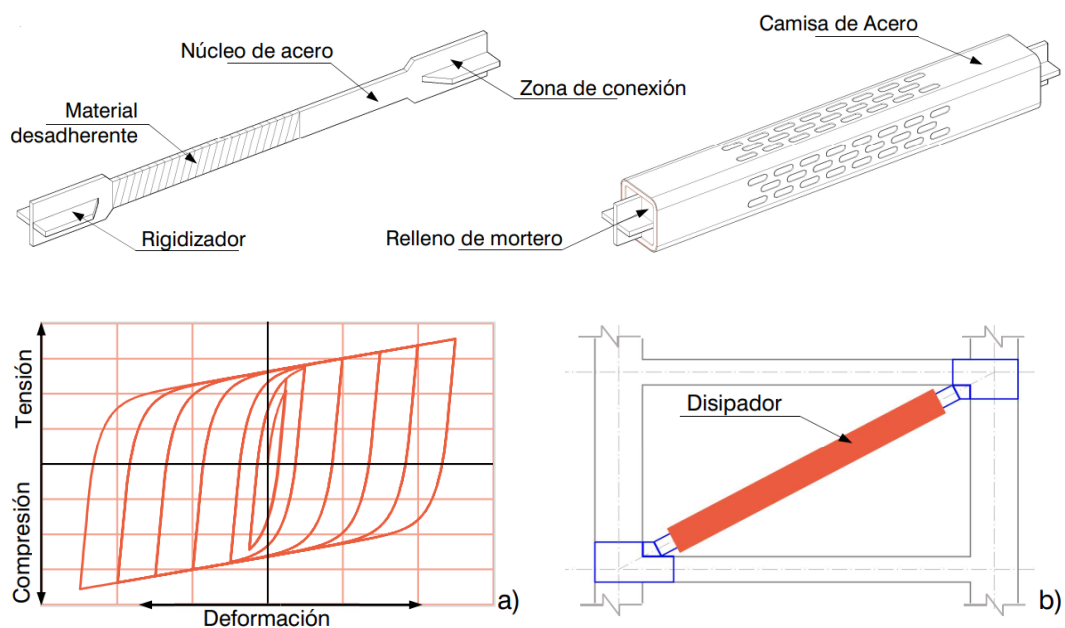
Nota: Tomada de «Características Generales del Disipador Dampo Dual Protect», por Dampo Systems S.A.

En la Tabla 21 se muestra la determinación de la rigidez axial de los disipadores a través del catálogo de propiedades de los disipadores Dampo Dual Protect, esta rigidez axial se determina en función del área del núcleo (A<sub>n</sub>), del módulo de elasticidad (E), la longitud del disipador (L) y de un factor de ajuste de rigidez (f<sub>k</sub>) que Dampo ha determinado de manera experimental y mediante procesos de calibración para cada modelo de disipador. Ver ecuación 04.

$$K_d = \frac{A_n E}{L} \quad \text{Ec. (04)}$$

### 5.1.5. MODELAMIENTO DE LOS DISIPADORES EN EL PROGRAMA DE ANÁLISIS ESTRUCTURAL

El modelado del contraviento de pandeo restringido en el programa de análisis estructural que se está empleando en este trabajo, se realizó con elementos equivalentes que proporcionan la rigidez axial calculada para los disipadores. Los disipadores se modelan con las características definidas en los pasos anteriores.



**Figura 34** - Curva de histéresis del disipador DAMPO Dual Protect. Tomada de «Características Generales del Disipador Dampo Dual Protect», por Dampo Systems S.A.

En la Figura 34 se muestra el diagrama de histéresis de este tipo de dispositivos al ser sometido a un ensayo de carga cíclica. Este tipo de ensayos causiostáticos consiste en generar un historial de cargas o desplazamientos de deformación que van creciendo de manera cíclica hasta llevar al agotamiento al elemento estructural que se está evaluando. Como resultados se obtiene una curva de Fuerzas vs Deformación, conocida como curvas de histéresis. Este diagrama permite conocer las propiedades mecánicas del elemento estructural, como: rigidez elástica y por fluencia, carga de fluencia, carga máxima, deformación de fluencia, y deformación última.

Para este trabajo se consideró un análisis sísmico de superposición modal espectral, por lo tanto, el tipo de análisis es del tipo lineal y se requieren las propiedades lineales de los materiales. Los CRP se modelaron en el software ETABS (2016) empleando

los elementos equivalente tipo “link”. El procedimiento para definir los “links” se describe a continuación.

Para el modelado de los disipadores en Etabs (2016), se define un elemento “link”. Para ello, se ingresa en el menú, luego “Define”- “Section Properties”-“Link/Support Properties”. Luego, en la ventana de dialogo se activa para definir un nuevo “link”, en “Add New Property”. Ver Figura 35.

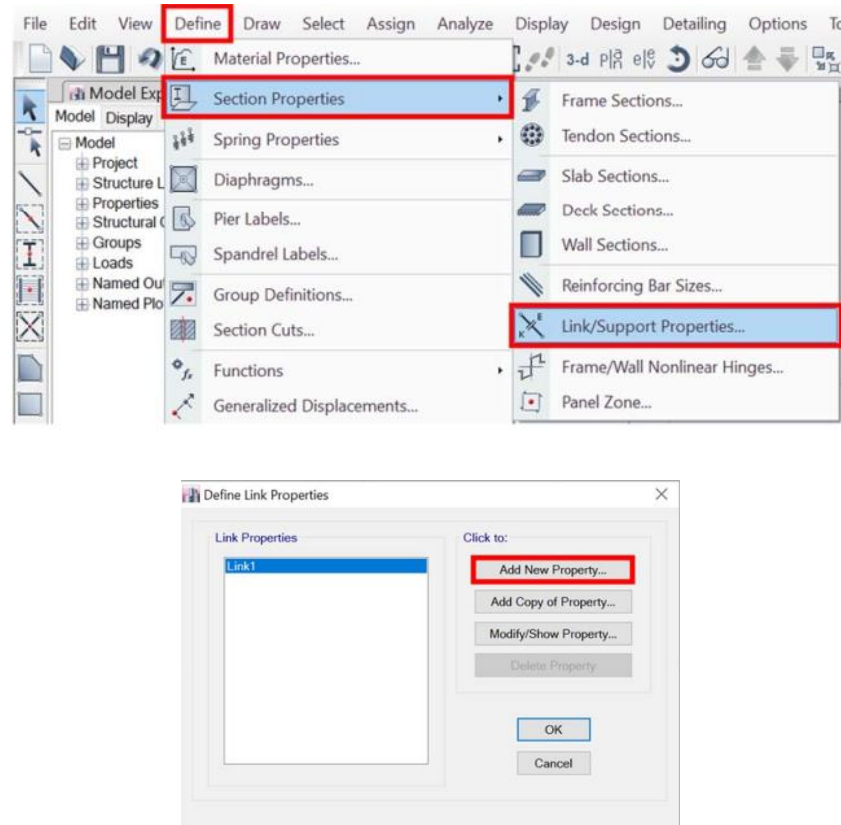


Figura 35 - Agregar un nuevo elemento tipo “link”.

Luego, se define el tipo de “link” con el modelo Plastic (Wen) que es la que recomienda Dampo para modelar estos tipos de disipadores. En la Figura 36 se muestra que el modelo Wen requiere definir una rigidez inicial ( $K_1$ ), que es la pendiente de tramo lineal, previa a la fluencia del material. Para este caso, del catálogo Dampo, Tabla 20 se puede obtener, para el modelo 40/4, la rigidez axial que para este modelo es de 8174 kgf/mm. Con respecto al amortiguamiento efectivo que puede añadir los CRP a la estructura, en el presente trabajo de investigación se consideró cero, para fines prácticos y conservadores.

Por otro lado, la masa sísmica que los dispositivos CRP puedan añadir a la estructura es baja, que para fines prácticos se podría despreciar. Sin embargo, dentro de la Tabla 20 del catálogo Dampo, se consideró que el peso del modelo 40/4 es igual a 308 kgf, y con respecto a su rigidez, esta fue asignada en su dirección axial, que en coordenadas locales el software la reconoce como “Dirección U1”.

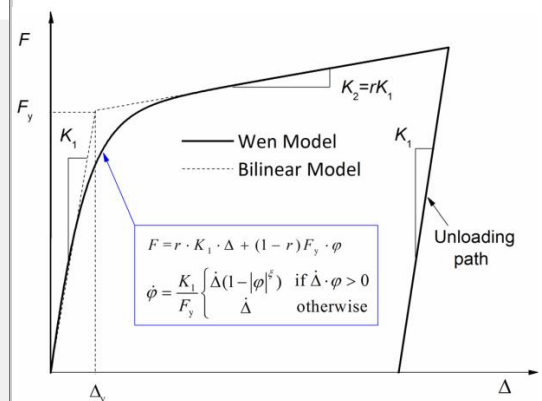
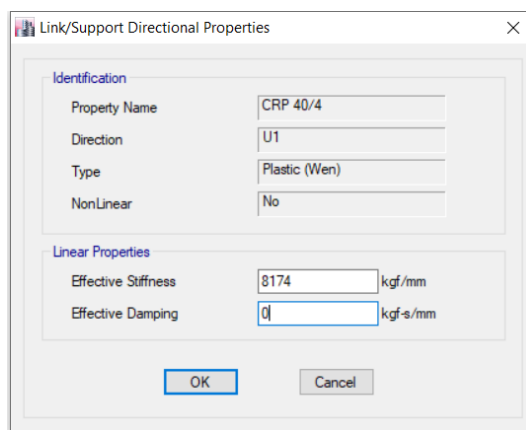
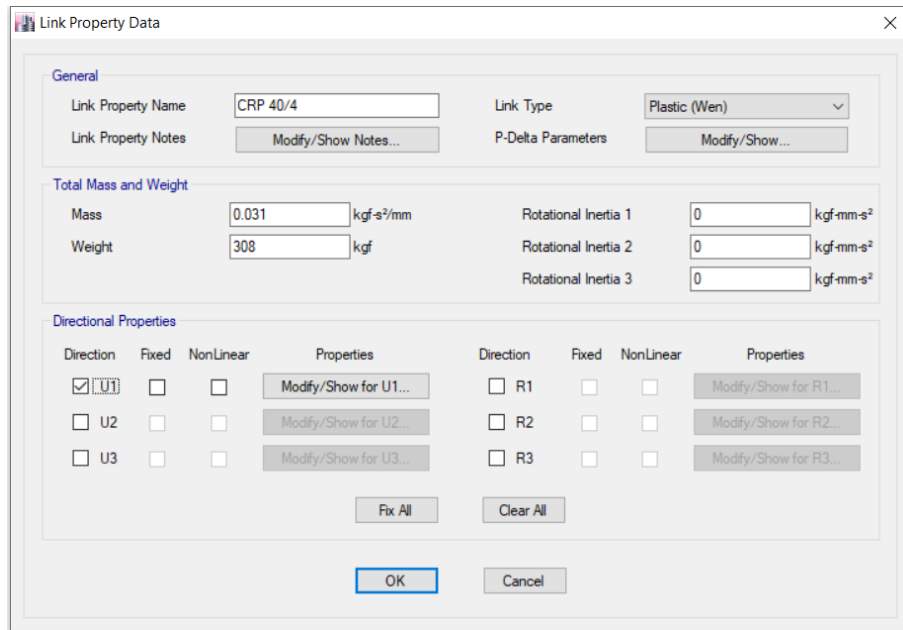
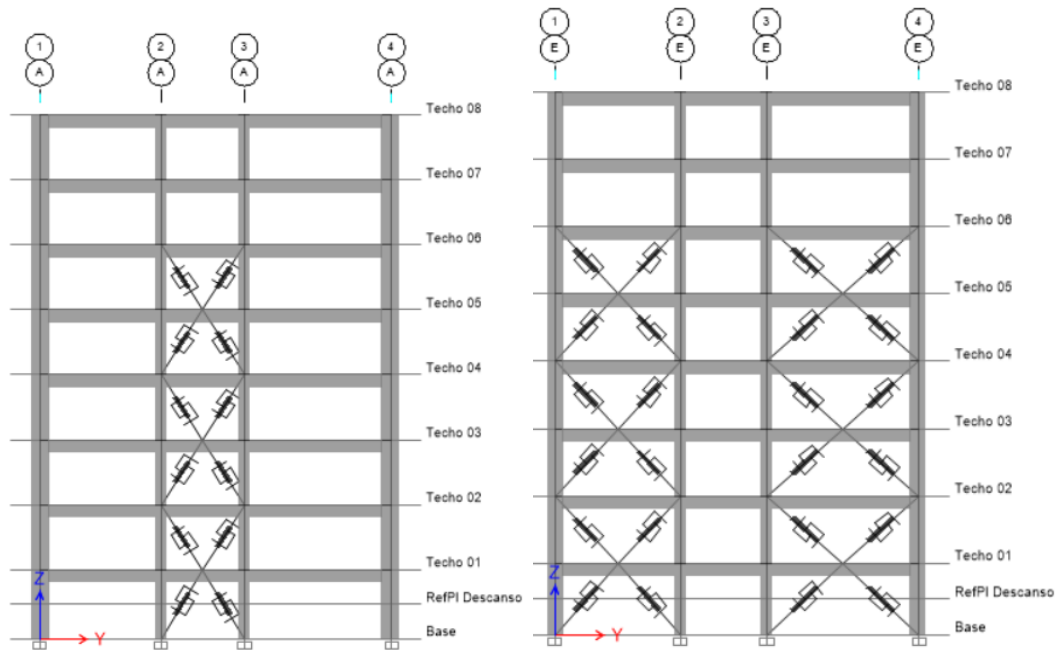


Figura 36 - Definición de la propiedad axial del elemento “link” y modelo Wen.

Luego, con estos “link” definidos se graficó en el modelo tridimensional las ubicaciones respectivas de los CRP. Como se puede ver en la Figura 37, se muestra su ubicación en elevación desde el primer piso hasta el sexto piso.



**Figura 37** - Distribución de los disipadores modelados como elementos tipo Link.

### 5.1.6. ANÁLISIS MODAL ESPECTRAL DEL EDIFICIO REFORZADO

Como se ha descrito en capítulos anteriores, el método de superposición modal espectral consiste en la combinación de las respuestas espectrales de cada modo de vibración. Como regla general, el número de modos a considerar se obtiene del número de grados de libertad que tiene la estructura, siendo que, para estructuras con diafragma rígido, por lo general se considera 3 GDL por piso. Por lo tanto, el número de modos mínimo a considerar para este trabajo fue de 24 modos de vibración, sin embargo, el número final de modos estará en función de cumplir con la exigencia de la Norma E.030, el cual indica que se debe asegurar de que por lo menos el 90% de la masa participativa de la estructura esté incluido en el cálculo de la respuesta sísmica, para cada dirección horizontal principal.

Para este apartado, se muestra el espectro sísmico a utilizar en el análisis modal espectral, donde los parámetros de sitio y condiciones geotécnicas se mantienen iguales, a excepción del Coeficiente de Reducción Sísmica “Ro”.

Para este caso, la variación radica en el factor de reducción sísmica “Ro”, y tal como se muestra en la Tabla N° 22, los factores de reducción de respuesta sísmica dependen del sistema estructural. Para el caso del edificio sin refuerzo, el sistema estructural calificó como un sistema de Pórticos de concreto armado con un  $R_o = 8$ ; mientras que al insertar los arriostres diagonales del tipo CRP, estos sistemas serían la primera fuente en soportar

las cargas del sismo, por tanto, se puede utilizar un factor de comportamiento sísmico más favorable (DAMPO, 2020), asimismo, para Escobedo & Vidal (2020), el reforzamiento de una edificación mediante contravientos restringidos a pandeo, se hace con la finalidad de dotar a la edificación de un sistema adicional que permita absorber parte de las deformaciones laterales a las que está sometida la estructura, por lo que, se hace una comparación con la normativa mexicana NTC-DCEA-2017, donde se precisa que a los pórticos de concreto armado a los que se les implementan contravientos restringidos a pandeo se les debe de asignar el mayor coeficiente de ductilidad, y acorde a lo que precisa el RNE E.030, que es la normativa peruana que rige en la actualidad, el mayor valor de los coeficientes de reducción sísmica es 8, por lo mencionado anteriormente, se definió el valor de  $R_o = 8$  para la estructura reforzada.

**Tabla 22 - Sistemas estructurales (E.030, 2018).**

<b>Tabla N° 7 SISTEMAS ESTRUCTURALES</b>	
Sistema Estructural	Coficiente Básico de Reducción $R_o$ (*)
<b>Acero:</b>	
Pórticos Especiales Resistentes a Momentos (SMF)	8
Pórticos Intermedios Resistentes a Momentos (IMF)	7
Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos (OMF)	6
Pórticos Especiales Concéntricamente Arriostrados (SCBF)	8
Pórticos Ordinarios Concéntricamente Arriostrados (OCBF)	6
Pórticos Excéntricamente Arriostrados (EBF)	8
<b>Concreto Armado:</b>	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4
<b>Albañilería Armada o Confinada.</b>	3
<b>Madera (Por esfuerzos admisibles)</b>	7

(\*) Estos coeficientes se aplicarán únicamente a estructuras en las que los elementos verticales y horizontales permitan la disipación de la energía manteniendo la estabilidad de la estructura. No se aplican a estructuras tipo péndulo invertido.

*Nota: Tomada del Reglamento Nacional de Edificaciones – E.030 (2018)*

**(E.030, Ítem 4.6.2) Aceleración Espectral:**

Para cada una de las direcciones horizontales analizadas se utilizará un espectro inelástico de pseudo-aceleraciones definido por:

$$S_a = \frac{ZUCS}{R} g$$

Para el análisis en la dirección vertical podrá usarse un espectro con valores iguales a los 2/3 del espectro empleado para las direcciones horizontales, considerando los valores de C, definidos en el numeral 2.5, excepto para la zona de períodos muy cortos ( $T < 0,2 T_P$ ) en la que se considerará:

$$T = 0.2 \cdot T_P \qquad C = 1 + 7.5 \cdot \frac{T}{T_P}$$

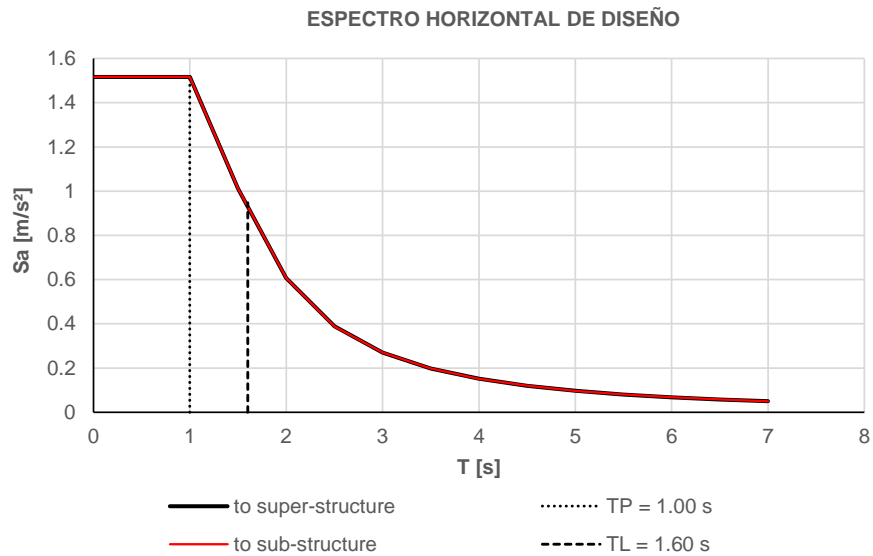
**PARÁMETROS SÍSMICOS**

<b>Factor de zona :</b>	Zona 4	Z = 0.45
<b>Factor de suelo :</b>	S3 Suelo blando	S = 1.10
	Periodo corto del suelo	$T_P = 1.00$ s
	Periodo largo del suelo	$T_L = 1.60$ s
<b>Factor de uso :</b>	Categoría C	U = 1.00

De acuerdo a las características de sitio, se define el factor de amplificación sísmica (C) por las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} T < T_P & \quad C = 2.5 \\ T_P < T < T_L & \quad C = 2.5 \cdot \left(\frac{T_P}{T}\right) \\ T > T_L & \quad C = 2.5 \cdot \left(\frac{T_P \cdot T_L}{T^2}\right) \end{aligned}$$

Este coeficiente se interpreta como el factor de amplificación de la aceleración estructural respecto de la aceleración en el suelo.



**Figura 38** - Espectro sísmico en X-X, para el edificio reforzado con CRP.



En la Figura 39, se muestra un ejemplo de la disposición de los disipadores DAMPO que califican como arriostres laterales excéntricos.

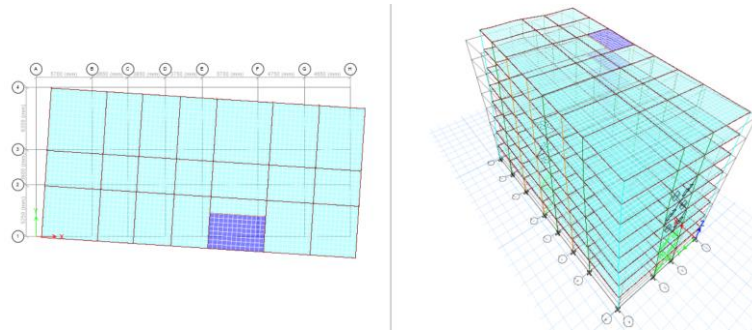


**Figura 39** - Muestra de la disposición de los CRP, como arriostres laterales excéntricos.

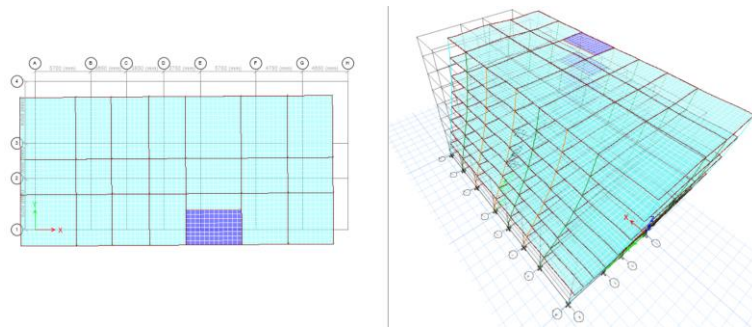
Luego, ya definida la geometría y las propiedades mecánicas de los materiales que conforman la estructura, así como también, la demanda de cargas de gravedad y cargas sísmicas se procedió a realizar un análisis de los resultados para la estructura reforzada.

En la Figura 40 se muestra los tres principales modos de vibración y sus respectivos periodos de vibración, asimismo, se muestra la forma modal en 3D y una vista en planta del último nivel con el objetivo de apreciar el tipo de deformación que prevalece en cada forma modal. En el primer modo de vibración se observa que la deformada no es netamente

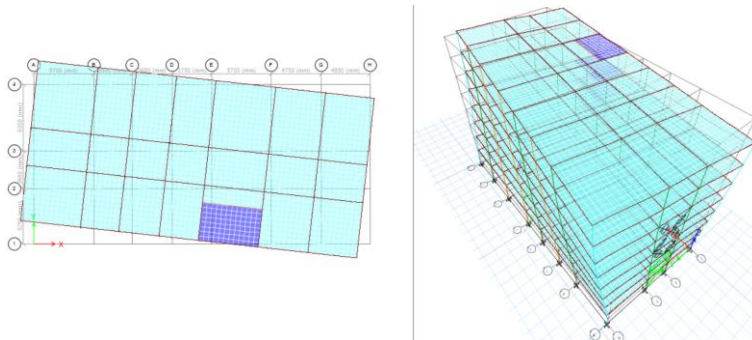
traslacional en la dirección Y, pues presenta una componente de traslación en X, acompañado de una ligera torsión. En el segundo modo de vibración, se aprecia esta ligera torsión desaparece y la respuesta presenta una traslación oblicua en la dirección X. Finalmente, en el tercer modo de vibración se aprecia que la respuesta es netamente torsional en la dirección Z o vertical.



T1 = 0.576 seg



T2 = 0.566 seg



T3 = 0.521 seg

**Figura 40** - Formas modales principales de la edificación reforzada con los CRP.

Para este apartado se consideró primero controlar los desplazamientos laterales de la estructura, para ello se siguió un proceso iterativo de la implementación de los CRP; este proceso iterativo consistió en ir variando el modelo de CRP en la edificación hasta lograr reducir los desplazamientos laterales dentro de los parámetros admisibles que establece

la Norma E.030. Para ello, se realizaron 8 iteraciones hasta definir una configuración y los modelos de CRP por piso y eje en la edificación.

#### 5.1.6.1. ITERACIÓN 01 – CRP MODELO 40/4

En la Tabla 23 se muestran los resultados de la implementación de los CRP modelo 40/4, donde se observó que, siguiendo los lineamientos para el predimensionamiento de los CRP, estos no cumplieron satisfactoriamente, en la primera iteración, no controlando de manera adecuada los desplazamientos laterales.

Se muestra que el primer entrepiso y el sexto piso, si fueron controlados y sus derivas están por debajo de las deformaciones admisibles de la Norma E.030, que exige no superar una distorsión angular de 0.7%. En el caso del entrepiso 2do al 5to no cumplen aún con este requisito.

*Tabla 23 - Verificación de derivas de entrepiso, con CRP 40/4*

Dirección	Piso	$\gamma_{cal}$	$\gamma_{max}$	Verifi	CRP
Y	8	0.0034	0.007	Ok!	N.R.
	7	0.0052	0.007	Ok!	N.R.
	6	0.0067	0.007	Ok!	40/4
	5	0.0081	0.007	No!	40/4
	4	0.0093	0.007	No!	40/4
	3	0.0101	0.007	No!	40/4
	2	0.0100	0.007	No!	40/4
	1	0.0066	0.007	Ok!	40/4

#### 5.1.6.2. ITERACIÓN 02 – CRP MODELO 60/4

De los resultados de la iteración 01, al no cumplir con el control de derivas, se consideró conveniente incrementar la rigidez de los CRP y se consideró usar un inmediato superior al anterior modelo, por lo que se usó el modelo 60/4.

En la Tabla 24 se muestra que las derivas se redujeron aún más, sin embargo, no fue suficiente para cumplir con la deriva máxima admisible de 0.7%.

**Tabla 24** - Verificación de derivas de entrepiso, con CRP 60/4

Dirección	Piso	$\gamma_{cal}$	$\gamma_{max}$	Verifi	CRP
Y	8	0.0034	0.007	Ok!	N.R.
	7	0.0052	0.007	Ok!	N.R.
	6	0.0067	0.007	Ok!	40/4
	5	0.0081	0.007	No!	40/4
	4	0.0093	0.007	No!	40/4
	3	0.0101	0.007	No!	40/4
	2	0.0100	0.007	No!	40/4
	1	0.0066	0.007	Ok!	40/4

### 5.1.6.3. ITERACIÓN 03 – CRP MODELO 80/4

De los resultados de la iteración 02, al no cumplir con el control de derivas, se consideró conveniente incrementar la rigidez de los CRP y se consideró usar un modelo inmediato superior al anterior, por lo que se usó el modelo 80/4.

En la Tabla 25 se muestra que las derivas se redujeron aún más, y que ahora el entrepiso 5 estaría cumpliendo con la deriva máxima de 0.7%, sin embargo, los entrepisos 2, 3 y 4 aún no estarían cumpliendo con este requisito.

**Tabla 25** - Verificación de derivas de entrepiso, con CRP 80/4

Dirección	Piso	$\gamma_{cal}$	$\gamma_{max}$	Verifi	CRP
Y	8	0.0033	0.007	Ok!	N.R.
	7	0.0049	0.007	Ok!	N.R.
	6	0.0059	0.007	Ok!	80/4
	5	0.0069	0.007	Ok!	80/4
	4	0.0079	0.007	No!	80/4
	3	0.0085	0.007	No!	80/4
	2	0.0084	0.007	No!	80/4
	1	0.0056	0.007	Ok!	80/4

### 5.1.6.4. ITERACIÓN 04 – CRP MODELO 100/4

De los resultados de la iteración 03, al no cumplir con el control de derivas, se consideró conveniente incrementar la rigidez de los CRP y se consideró usar un modelo inmediato superior al anterior, por lo que se usó el modelo 100/4.

En la Tabla 26 se muestra que las derivas se redujeron aún más, sin embargo, aún no se pudo controlar los desplazamientos laterales de los pisos 2, 3 y 4.

**Tabla 26 - Verificación de derivas de entrepiso, con CRP 100/4**

Dirección	Piso	$\gamma_{cal}$	$\gamma_{max}$	Verificación	CRP
Y	8	0.0032	0.007	Ok!	N.R.
	7	0.0048	0.007	Ok!	N.R.
	6	0.0056	0.007	Ok!	100/4
	5	0.0065	0.007	Ok!	100/4
	4	0.0074	0.007	No!	100/4
	3	0.0078	0.007	No!	100/4
	2	0.0078	0.007	No!	100/4
	1	0.0052	0.007	Ok!	100/4

### 5.1.6.5. ITERACIÓN 05 – CRP MODELO 120/4

De los resultados de la iteración 04, al no cumplir con el control de derivas, se consideró conveniente incrementar la rigidez de los CRP y se consideró usar un modelo inmediato superior al anterior, por lo que se usó el modelo 120/4.

En la Tabla 27 se muestra que las derivas se redujeron aún más, y ahora solo los pisos 2 y 3 no estarían cumpliendo con la deriva máxima de 0.7%.

**Tabla 27 - Verificación de derivas de entrepiso, con CRP 120/4**

Dirección	Piso	$\gamma_{cal}$	$\gamma_{max}$	Verificación	CRP
Y	8	0.0032	0.007	Ok!	N.R.
	7	0.0047	0.007	Ok!	N.R.
	6	0.0053	0.007	Ok!	120/4
	5	0.0061	0.007	Ok!	120/4
	4	0.0069	0.007	Ok!	120/4
	3	0.0073	0.007	No!	120/4
	2	0.0073	0.007	No!	120/4
	1	0.0049	0.007	Ok!	120/4

### 5.1.6.6. ITERACIÓN 06 – CRP MODELO 140/4

De los resultados de la iteración 05, al no cumplir con el control de derivas, se consideró conveniente incrementar la rigidez de los CRP y se consideró usar un modelo inmediato superior al anterior, por lo que se usó el modelo 140/4.

En la Tabla 28 se puede observar finalmente que se logró controlar los desplazamientos laterales en cada entrepiso, reduciendo las derivas por debajo del máximo permitido por la Norma E.030.

**Tabla 28** - Verificación de derivas de entrepiso, con CRP 140/4

Dirección	Piso	$\gamma_{cal}$	$\gamma_{max}$	Verificación	CRP
Y	8	0.0032	0.007	Ok!	N.R.
	7	0.0046	0.007	Ok!	N.R.
	6	0.0051	0.007	Ok!	140/4
	5	0.0058	0.007	Ok!	140/4
	4	0.0065	0.007	Ok!	140/4
	3	0.0068	0.007	Ok!	140/4
	2	0.0068	0.007	Ok!	140/4
	1	0.0046	0.007	Ok!	140/4

### 5.1.6.7. ITERACIÓN 07 – CRP MODELO 160/4

De los resultados de la iteración 06, se observó que las derivas en el piso 2 y 3 cumplen con no superar el 0.007 que exige la Norma E.030, sin embargo, estas derivas de 0.0068 están muy próximas al valor de 0.007; por lo tanto, se consideró conveniente incrementar aún más la rigidez del CRP, por lo que se usó un modelo inmediato superior al anterior, en este caso el CRP modelo 160/4.

En la Tabla 29 se muestra que las derivas se han reducido aún más, los pisos 2 y 3 ahora presentan una distorsión angular de 0.0064 menor al máximo permitido de 0.007. El criterio por el cual se consideró conveniente rigidizar aún más el CRP es para lograr reducir aún más los desplazamientos laterales del piso 2 y 3, pues la distorsión máxima de 0.007 que indica la Norma E.030 está asociada a un nivel de daño asociado con su límite de reparabilidad o un nivel de daño importante en la estructura para un sismo severo. Por lo tanto, con el objetivo de otorgar un ligero incremento en su rigidez se consideró conveniente usar el CRP modelo 160/4

**Tabla 29** - Verificación de derivas de entrepiso, con CRP 160/4

Dirección	Piso	$\gamma_{cal}$	$\gamma_{max}$	Verificación	CRP
Y	8	0.0031	0.007	Ok!	N.R.
	7	0.0045	0.007	Ok!	N.R.
	6	0.0049	0.007	Ok!	160/4
	5	0.0055	0.007	Ok!	160/4
	4	0.0061	0.007	Ok!	160/4
	3	0.0064	0.007	Ok!	160/4
	2	0.0064	0.007	Ok!	160/4
	1	0.0042	0.007	Ok!	160/4

### 5.1.6.8. ITERACIÓN 08 – CRP MODELO 120/4 Y 160/4

De los resultados de la iteración 07, se observó que el CRP modelo 160/4 cumple adecuadamente con controlar los desplazamientos laterales en todos los entrepisos, sin embargo, los pisos 4, 5 y 6 mostraron ser debidamente arriostrados con el CRP modelo 120/4 de menor rigidez que el modelo 160/4.

Por lo tanto, se considera conveniente combinar los modelos de CRP 160/4 para los tres primeros pisos y el modelo 120/4 para los pisos 4, 5 y 6. De esta manera lograr un diseño más eficiente en costos de reforzamiento estructural.

En la Tabla 30 se muestra finalmente los resultados de las derivas de entrepiso y su verificación con respecto al máximo permitido por la Norma E.030.

**Tabla 30** - Verificación de derivas de entrepiso, con CRP 120/4 y 160/4

Dirección	Piso	$\gamma_{cal}$	$\gamma_{max}$	Verificación	CRP
Y	8	0.0032	0.007	Ok!	N.R.
	7	0.0047	0.007	Ok!	N.R.
	6	0.0053	0.007	Ok!	120/4
	5	0.0061	0.007	Ok!	120/4
	4	0.0066	0.007	Ok!	120/4
	3	0.0065	0.007	Ok!	160/4
	2	0.0064	0.007	Ok!	160/4
	1	0.0043	0.007	Ok!	160/4

Finalmente, tal como se evidencia en la Tabla 30, el reforzamiento mediante contravientos restringidos a pandeo logró reducir las derivas de entrepiso, aportando mayor rigidez a la edificación, permitiendo de esta manera que las derivas de entrepiso se encuentren por debajo del máximo permitido según la norma E.030.

## CAPÍTULO VI

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 6.1. RESULTADOS DEL TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

En la Figura 41 se muestran los resultados de la distorsión angular de entrepiso para el edificio mediante los CRP, y para el edificio sin refuerzo.

Se puede apreciar que para la edificación sin reforzamiento en la dirección Y-Y, los drift no cumplían con el drift límite de 0.7%, pues llegaron a desarrollar derivas de hasta 1.3%, siendo esto, aproximadamente el doble admisible. Luego, al implementar los CRP en la dirección Y-Y de la edificación se observó una reducción de más del 50%, cumpliendo de esta manera con lo indicado en la Norma E.030 con respecto a las derivas admisibles.

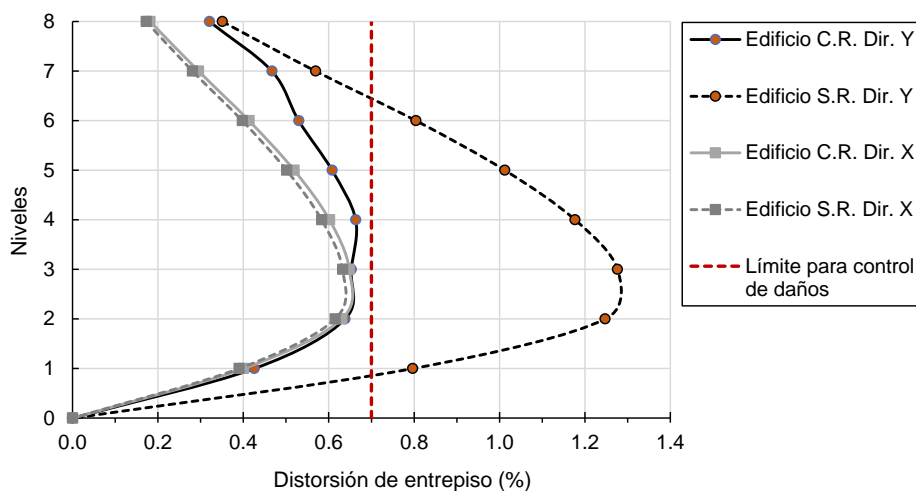


Figura 41 - Distorsiones de entrepiso con disipadores.

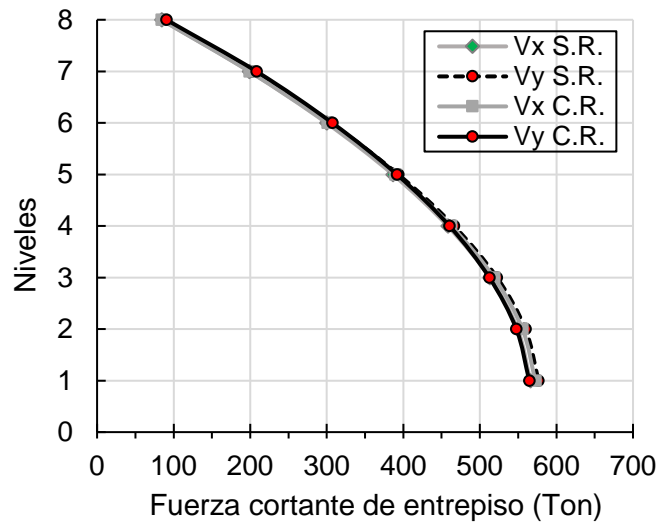


En la Figura 42 se muestran los resultados de las cortantes en cada entrepiso para la edificación sin refuerzo y con refuerzo mediante la implementación de los CRP. En la dirección X-X, sentido longitudinal a la estructura no se esperaba ningún cambio; sin embargo, en la dirección transversal, dirección Y-Y, se esperaba una reducción de las fuerzas cortantes de entrepiso, el cual no se evidencia en la Figura 42, pero si se observa con detalle la figura, se aprecia una ligera reducción en las fuerzas de corte; sin embargo, es un valor que se entiende ya que se mantuvo casi constante la masa sísmica debido al poco peso o masa que se le fue añadida a la estructura producto de refuerzo con CRP, por tanto, la cortante sísmica no presenta un incremento en su valor.

Entonces, se puede indicar que una de las ventajas de este tipo de refuerzo es que no incrementa significativamente la masa sísmica de la edificación y por lo tanto no se tendrá problemas de incrementos en las cortantes de diseño sísmico. Los valores obtenidos del análisis modal espectral se muestran en la Tabla 31, con las cuales se graficó la Fig. 42.

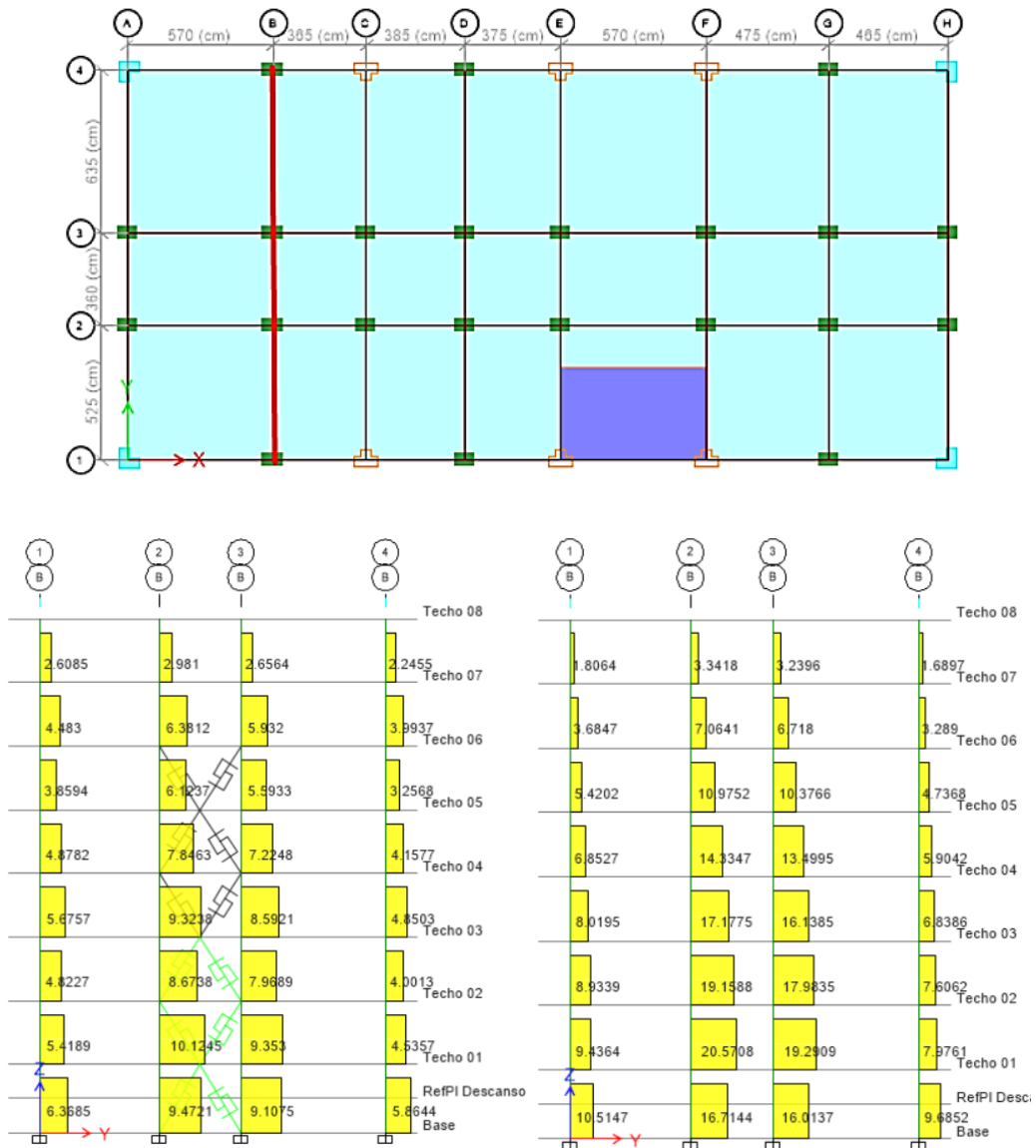
**Tabla 31** - Fuerzas de corte de entrepiso para el edificio con y sin refuerzo CRP.

TABLE: Story Forces - Edificio con CRP					TABLE: Story Forces - Edificio sin refuerzo				
Story	Load Case	Location	VX	VY	Story	Load Case	Location	VX	VY
			tonf	tonf				tonf	tonf
8	Sismo	Bottom	84.23	90.73	8	Sismo	Bottom	84.42	85.73
7	Sismo	Bottom	199.03	208.21	7	Sismo	Bottom	198.77	202.35
6	Sismo	Bottom	301.13	307.31	6	Sismo	Bottom	299.67	305.12
5	Sismo	Bottom	389.54	391.70	5	Sismo	Bottom	386.41	393.41
4	Sismo	Bottom	462.50	460.32	4	Sismo	Bottom	457.99	466.26
3	Sismo	Bottom	518.55	512.35	3	Sismo	Bottom	512.92	522.25
2	Sismo	Bottom	555.67	547.70	2	Sismo	Bottom	549.28	559.51
1	Sismo	Bottom	572.50	564.56	1	Sismo	Bottom	565.82	576.53



**Figura 42** - Fuerza cortante de entrepiso para la edificación con y sin refuerzo CRP.

Del análisis anterior, se podría pensar que las diagonales no contribuyen de manera significativa en la redistribución de cargas sísmicas; sin embargo, el análisis anterior consistió en evaluar la respuesta de la estructura desde las coordenadas globales. En las siguientes figuras se muestra un análisis local, de un solo elemento estructural, para este caso una columna del pórtico B, del eje 2. En la Figura 43 se puede apreciar una vista en planta y sus elevaciones para cada caso, que son, el edificio con refuerzo y el edificio sin refuerzo.



**Figura 43** - Elevación del pórtico en el eje B: (izq.) edificio reforzado; (der.) edificio sin refuerzo.

En la Figura 44 se muestra la influencia de los CRP en la reducción de las fuerzas cortantes de las columnas, en cada entrepiso. En la Tabla 32, se muestran los valores numéricos, en donde se puede apreciar que luego de usar los CRP como refuerzo, las cortantes de entrepiso para la columna en análisis, se han visto reducidas hasta en un 45% en el entrepiso 3.

Por lo tanto, se puede concluir que los sistemas de contraviento de pandeo restringido no solo permiten arriostrar lateralmente a la estructura y reducir sus desplazamientos laterales; si no, además se logra una descarga de las fuerzas de corte en los elementos verticales, como en este caso las columnas.

Tabla 32 - Fuerzas de corte de entrepiso, para la columna del pórtico B, eje 2.

TABLE: Story Forces - Edificio con CRP						TABLE: Story Forces - Edificio sin refuerzo				
Story	Load Case	Location	VX	VY	Reducción	Story	Load Case	Location	VX	VY
			tonf	tonf					tonf	tonf
8	Sismo	Bottom	2.59	2.98	89%	8	Sismo	Bottom	2.98	3.34
7	Sismo	Bottom	6.36	6.38	90%	7	Sismo	Bottom	6.94	7.06
6	Sismo	Bottom	9.92	6.12	56%	6	Sismo	Bottom	10.64	10.98
5	Sismo	Bottom	12.99	7.85	55%	5	Sismo	Bottom	13.82	14.33
4	Sismo	Bottom	15.58	9.32	54%	4	Sismo	Bottom	16.49	17.18
3	Sismo	Bottom	17.59	8.67	45%	3	Sismo	Bottom	18.46	19.16
2	Sismo	Bottom	18.93	10.12	49%	2	Sismo	Bottom	19.81	20.57
1	Sismo	Bottom	18.20	9.47	57%	1	Sismo	Bottom	18.92	16.71

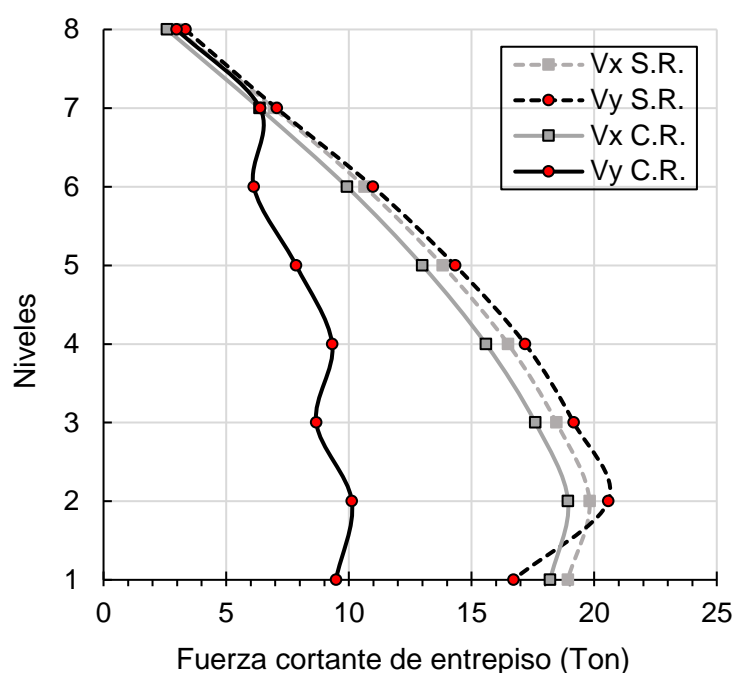


Figura 44 - Fuerza cortante de entrepiso de una columna del pórtico B, con el eje 2; del edificio sin refuerzo y con refuerzo.

Además, de la Figura 44 se observa que en la dirección X-X, no se ha logrado esta descarga de las fuerzas cortantes de las columnas pues no se tiene el aporte de estos CRP en esa dirección.

## 6.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Como objetivo general se planteó evaluar cuánto mejora el comportamiento sísmico de una edificación aporticada destinada a oficinas con la implementación de un sistema de reforzamiento a base de contraviento restringido a pandeo. En base a ello, se ahondo en investigaciones sobre la implementación de este tipo de reforzamiento en edificaciones;

asimismo, conocer qué tipo de configuración y orientación del CRP es la más recomendable; además, el nivel de magnitud de esfuerzos que ayudaría a controlar a la edificación.

De los resultados obtenidos en la presente investigación, se observó que la implementación de los Contravientos Restringidos a Pandeo como sistema de reforzamiento redujo las derivas de entrepiso en más del 50%; asimismo, se evidenció que las cortantes de entrepiso se vieron reducidas hasta en un 45%, por lo que se logró evidenciar que la implementación de este tipo de refuerzo mejoró significativamente el comportamiento sísmico de la edificación motivo de estudio.

Asimismo, es preciso detallar que los resultados de la presente investigación guardan relación con lo obtenido por Rodríguez Leyva, et al (2015), donde se evidenció que las demandas de deriva máxima de entrepiso fueron mayores en las edificaciones que no contaban con este tipo de reforzamiento.

Finalmente, es preciso detallar que los antecedentes y sus coincidencias con la tesis en mención, evidencian que el reforzamiento de edificaciones mediante la implementación de los contravientos restringidos a pandeo, mejoran el comportamiento sísmico de la edificación otorgándole rigidez a la edificación, y reduciendo de tal manera las derivas de entrepiso, así como las cortantes de entrepiso.

## **CAPÍTULO VII**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **7.1. CONCLUSIONES**

##### **7.1.1. CONCLUSIÓN GENERAL**

El reforzamiento de la edificación aportada motivo de estudio mediante la implementación de Contravientos Restringidos a Pandeo mejoró significativamente, de tal manera que las derivas de entrepiso en el eje Y-Y se vieron reducidas en más del 50%; asimismo, las cortantes de entrepiso hasta en un 45%.

Finalmente, es preciso agregar que, este tipo de reforzamiento no incrementó de manera significativa la masa sísmica de la edificación; por lo tanto, no generó incrementos en las cortantes de diseño.

##### **7.1.2. CONCLUSIONES ESPECÍFICAS**

- La edificación aportada de concreto armado sin reforzamiento presentó deficiencias en su rigidez lateral, presentando derivas de entrepiso de hasta 1.3%, valor que se encuentra muy por encima de la indicado en el RNE para este tipo de edificaciones (deriva de entrepiso máxima = 0.7%)
- La ubicación de los Contravientos Restringidos a Pandeo no afectó considerablemente la estructura; asimismo, es preciso agregar que, al momento de la implementación de los Contravientos Restringidos a Pandeo como sistema de reforzamiento, es esencial contar con la participación del arquitecto para determinar las posibles ubicaciones que podrían tener estos y no afectar el uso que se le dará a la estructura.
- La implementación del contraviento restringido a pandeo como sistema de reforzamiento dotó a la estructura de suficiente rigidez lateral haciéndola cumplir con lo indicado en el RNE E.030 con respecto a las derivas máximas; la edificación

sin reforzamiento presentaba derivas de hasta 1.3%, tal como se ha podido evidenciar en el Capítulo IV y la edificación reforzada mediante la implementación de los CRP presentó derivas menores a 0.7%.

- Se elaboraron los detalles constructivos de los CRP con la finalidad de mostrar la interacción de la estructura principal (estructura sin reforzamiento) y la estructura secundaria (contravientos restringidos a pandeo), asimismo, evidenciar su implementación para permitir que estos elementos puedan trabajar cumpliendo con el propósito de su implementación.

## **7.2. RECOMENDACIONES**

- a) Es primordial relacionar la deriva de entrepiso máxima que se presenta en la estructura con la deriva límite de entrepiso que indica la Norma E.030 para conocer el porcentaje de fuerza cortante que absorberán los CRP; en el caso que este no se conozca, se recomienda derivar el 50% de la cortante de entrepiso a los CRP.
- b) Se recomienda continuar esta investigación y centrarla en el diseño de las conexiones de los CRP y determinar cómo influyen en el comportamiento de estos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

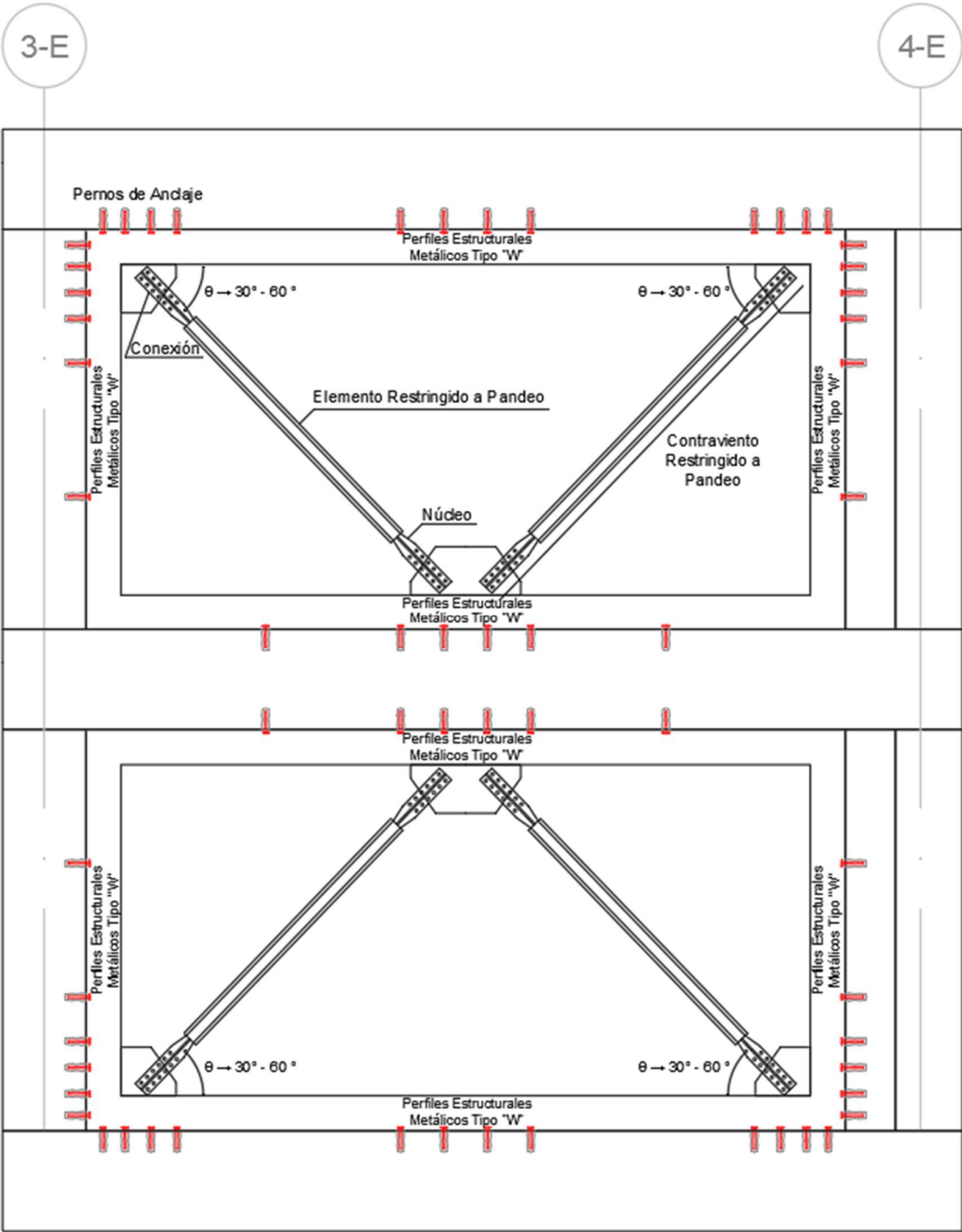
1. **PIMIENTO, Juan, et al.** *Desempeño sísmico de un pórtico con disipadores de energía pasivos de placas ranuradas de acero*. Revista ingeniería de construcción, 29(3), 283-298. (2014).
2. **OVIEDO, Juan Andrés, & DUQUE, María del Pilar.** *Disipadores Histeréticos Metálicos como Técnica de Control de Respuesta Sísmica en Edificaciones Colombianas*. Revista EIA, (11), 51-63. (2009).
3. **OVIEDO, Juan Andrés, & DUQUE, María del Pilar.** *Sistemas de Control de Respuesta Sísmica en Edificaciones*. Revista EIA, (6), 105-120. (2006)
4. **KERSTING, Ryan, et al.** *Seismic Design of Steel Buckling-Restrained Braced Frames*. U.S. Department of Commerce. (2015).
5. **SYMANS M. D., et al.** *Energy Dissipation Systems for Seismic Applications: Current Practice and Recent Developments*. Journal of Structural Engineering © ASCE. (2008).
6. **TERÁN GILMORE, Amador, & VIRTO CAMBRAY, Nefthalí.** *Diseño basado en desplazamientos de edificaciones bajas rigidizadas con contravientos desadheridos*. Revista de Ingeniería sísmica, (80), 1-29. (2009).
7. **REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES.** *Norma Técnica de Edificaciones E.030 Diseño Sismorresistente*. Lima – Perú: SENCICO, 2018.
8. **COETO GALAZ, Guillermo.** Tesis para obtener el grado de Maestro en Ingeniería Estructural. *Control de la Respuesta Sísmica de Edificios Altos por medio de un Sistema de Contravientos Restringidos contra Pandeo*. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, Mexico D.F.: 2008
9. **ANDRÉS CANCELADO, Román.** Tesis para optar al Título de Magíster en Estructuras. *Caracterización Mecánica y Modelamiento Estructural de un Disipador Pasivo de Energía de Tipo Arriostamiento de Pandeo Restringido. Parte 1*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá: 2012
10. **GIRALDO RINCÓN, Juan y PELÁEZ OLANO, Andrés.** Tesis para optar al título de Ingeniero Civil. *Pórticos de Concreto Reforzado Equipados con Riostras Metálicas Restringidas Contra Pandeo*. Escuela de Ingeniería de Antioquía, Envigado: 2012.
11. **RODRÍGUEZ LEYVA, Hector, et al.** *Desempeño Sísmico de Edificios a Base de Contraventeos Restringidos Contra Pandeo*”. XX Congreso Internacional de Ingeniería Sísmica de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica. (2015)



12. **BALLINAS DÍAZ, Eriberto.** Tesis para optar por el grado de Maestro en Ingeniería. *Propuesta de Reforzamiento de una Estructura de Hospital con Disipadores de Energía del Tipo CRP.* Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México: 2017.
13. **ORELLANA AYRE, Alan.** Tesis para optar el grado académico de magíster en Ingeniería Civil con Mención en Estructuras Sismorresistentes. *Análisis de Factibilidad de la Aplicación de Arriostres de Pandeo Restringido como Sistema de Control de Respuesta.* Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima: 2020.
14. **ESCOBEDO GARCÍA, José y VIDAL VIDAL, José.** Tesis para optar el título profesional de Ingeniería Civil. *Reforzamiento Estructural de una Edificación de Concreto Armado Implementando Disipadores de Fluencia – Lima, Perú.* Universidad Ricardo Palma, Lima: 2020.

## **ANEXOS**

**Esquema de Interacción de Estructura Existente y reforzamiento mediante  
Contraviento Restringido a Pandeo**





# DAMPO

Dampo Dual Protect es un disipador de energía sísmica de tipo contraviento restringido al pandeo (CRP). Fue desarrollado y patentado por la Universidad Nacional Autónoma de México. Actualmente, Dampo Systems S.A. de C.V. cuenta con el licenciamiento para comercializarlo.

El dispositivo aprovecha el comportamiento histerético del acero por medio de deformación axial en el núcleo. El innovador diseño de la camisa de acero restringe el pandeo y permite evaluar la integridad del núcleo desde el exterior después de un sismo. La geometría del disipador permite tener diferentes resistencias y puede sustituir a contravientos convencionales.

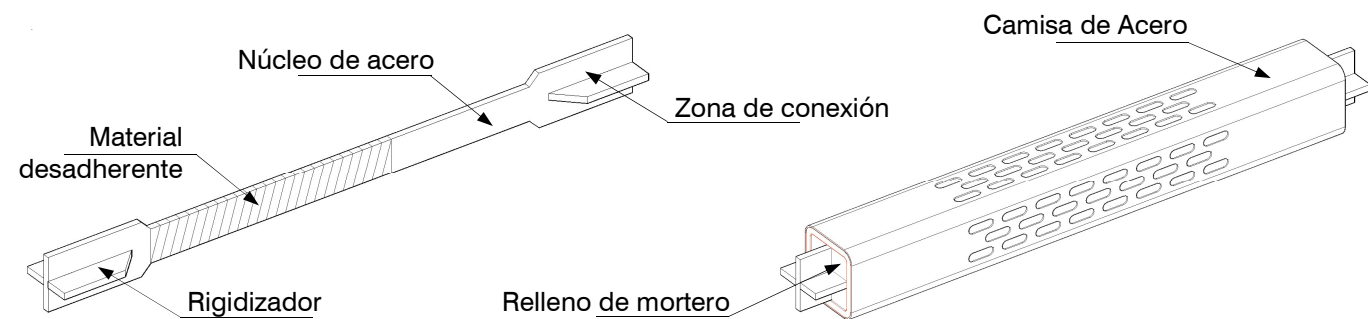


Figura 1. Características generales del disipador Dampo Dual Protect

Gracias a su diseño, el disipador Dampo Dual Protect presenta un comportamiento no lineal estable tanto en tensión como en compresión, como se observa en la Figura 2a. Este desempeño lo hace ideal para incorporarlo en estructuras sismorresistentes. Los dispositivos se instalan como un contraviento convencional como el mostrado en la Figura 2b.

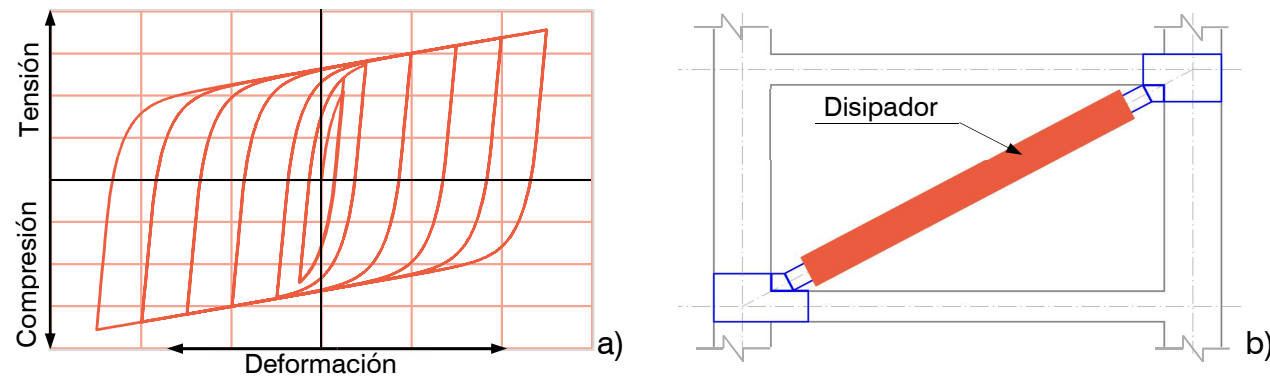


Figura 2. Curvas de histéresis y croquis de colocación del disipador DAMPO Dual Protect

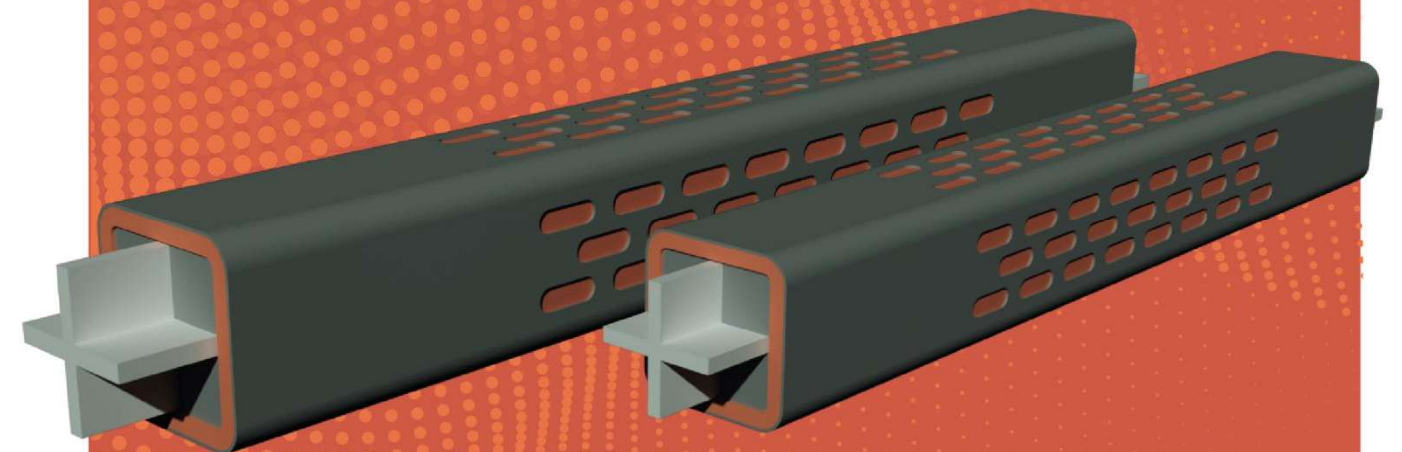
Dampo Systems S.A de C.V

Descarga este manual en:  
[www.dampo.com.mx](http://www.dampo.com.mx)



# DAMPO

## CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL DISIPADOR DAMPO DUAL PROTECT

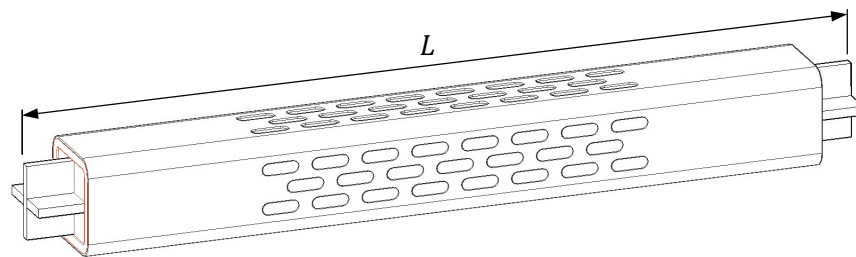


Engineering,  
technology  
& infrastructure.

[www.dampo.com.mx](http://www.dampo.com.mx)



Los disipadores Dampo Dual Protect se pueden modelar en programas comerciales como un elemento equivalente con comportamiento no lineal, en algunos programas se define como “link”. Los parámetros requeridos para modelar el comportamiento del disipador son la fuerza de diseño ( $F_d$ ) que se define con el área del núcleo ( $A_n$ ) y la rigidez ( $k_d$ ) que depende de la longitud del disipador ( $L$ ) y un factor de ajuste de rigidez ( $f_k$ ) que toma en cuenta la rigidez que aportan las conexiones. La Tabla 1 muestra las propiedades del disipador.



$$k_D = f_k \frac{A_n E}{L} = \text{Rigidez del disipador}$$

$$F_d = A_n f_y = \text{Fuerza de diseño}$$

$$W_d = \text{peso del disipador}$$

Figura 3. Definición de variables para la modelación

La Tabla 2 muestra los parámetros para modelar de manera no lineal el dispositivo en los programas comerciales. Se recomienda usar el modelo “Plastic Wen”. Los valores de  $f_k$ ,  $W_D$ ,  $F_d$ ,  $k_d$  y  $L$  se pueden obtener de la Tabla 1 de acuerdo con las necesidades de su proyecto. El valor del esfuerzo de fluencia del acero en el núcleo es  $f_y = 3515 \text{ kg/cm}^2$ .

Tabla 2 Parámetros para definir el elemento equivalente en software de análisis estructural

Tipo de “link”	Masa	Peso	Inercia rotacional	Deformación axial
Plastic Wen	$M_D = W_D/g$	$W_D$	$R_1 = R_2 = R_3 = 0$	Dirección = $U_1$
Rigidez efectiva	Amortiguamiento	Fuerza de fluencia esperada	Relación de rigidez post fluencia	Exponente de fluencia
$k_D = f_k \frac{A_n E}{L}$	= 0	$F_D * 1.1$	0.016	3.0

Tabla 1. Propiedades de los disipadores Dampo Dual Protect

Modelo	Long.	Fuerza de diseño	Fuerza de fluencia esperada	Fuerza máxima esperada	Despl. de fluencia	Despl. máximo	Ductilidad	Factor de rigidez	Rigidez axial	Camisa	Peso
	$L$ (m)	$F_d$ (t)	$F_{fe}$ (t)	$F_{max}$ (t)	$d_y$ (mm)	$d_{max}$ (mm)	$\mu = \frac{d_{max}}{d_y}$	$f_k$	$k_d$ (kg/mm)	Sección	$W_d$ (kg)
40/4	4.0	40	44	56	5.0	30.0	6	1.26	8174	6 x 1/4	308
60/4	4.0	60	67	83	5.0	30.0	6	1.26	12261	7 x 1/4	417
80/4	4.0	80	89	111	5.0	30.3	6	1.25	16186	7 x 3/16	420
100/4	4.0	100	111	139	5.0	30.3	6	1.25	20220	8 x 1/4	543
120/4	4.0	120	133	167	5.0	30.0	6	1.26	24476	9 x 1/4	682
140/4	4.0	140	156	194	5.0	30.0	6	1.26	28585	10 x 1/4	823
160/4	4.0	160	178	222	4.8	29.0	6	1.31	33807	10 x 1/4	842
180/4	4.0	180	200	250	4.8	28.8	6	1.31	38275	12 x 1/4	1130
200/4	4.0	200	222	278	4.6	27.7	6	1.37	44219	12 x 1/4	1131
220/4	4.0	220	244	306	4.6	27.7	6	1.37	48696	12 x 1/4	1165
240/4	4.0	240	267	333	4.7	28.0	6	1.35	52467	12 x 1/4	1179
40/6	6.0	40.0	44.4	55.6	7.5	44.9	6	1.26	5452	6 x 5/16	480
60/6	6.0	60.0	66.7	83.3	7.5	44.9	6	1.26	8179	7 x 5/16	649
80/6	6.0	80.0	88.9	111.1	7.5	44.9	6	1.26	10902	8 x 1/4	805
100/6	6.0	100.0	111.1	138.9	7.6	45.4	6	1.25	13488	8 x 5/16	853
120/6	6.0	120.0	133.3	166.7	7.5	45.0	6	1.26	16332	9 x 1/4	1039
140/6	6.0	140.0	155.6	194.4	7.5	44.9	6	1.26	19077	10 x 1/4	1255
160/6	6.0	160.0	177.8	222.2	7.5	45.2	6	1.26	21686	10 x 1/4	1282
180/6	6.0	180.0	200.0	250.0	7.5	44.9	6	1.26	24528	12 x 1/4	1723
200/6	6.0	200.0	222.2	277.8	7.5	45.0	6	1.26	27188	12 x 1/4	1730
220/6	6.0	220.0	244.4	305.6	7.5	45.0	6	1.26	29931	12 x 1/4	1775
240/6	6.0	240.0	266.7	333.3	7.6	45.4	6	1.25	32370	12 x 1/4	1798

Modelo	Long.	Fuerza de diseño	Fuerza de fluencia esperada	Fuerza máxima esperada	Despl. de fluencia	Despl. máximo	Ductilidad	Factor de rigidez	Rigidez axial	Camisa	Peso
	$L$ (m)	$F_d$ (t)	$F_{fe}$ (t)	$F_{max}$ (t)	$d_y$ (mm)	$d_{max}$ (mm)	$\mu = \frac{d_{max}}{d_y}$	$f_k$	$k_d$ (kg/mm)	Sección	$W_d$ (kg)
40/8	8.0	40.0	44.4	55.6	10.0	59.9	6	1.26	4090	7 x 5/16	813
60/8	8.0	60.0	66.7	83.3	10.0	59.9	6	1.26	6137	8 x 5/16	1062
80/8	8.0	80.0	88.9	111.1	10.1	60.5	6	1.25	8100	9 x 5/16	1316
100/8	8.0	100.0	111.1	138.9	10.1	60.5	6	1.25	10119	9 x 3/8	1392
120/8	8.0	120.0	133.3	166.7	10.1	60.5	6	1.25	12135	9 x 1/2	1513
140/8	8.0	140.0	155.6	194.4	10.1	60.5	6	1.25	14179	10 x 3/8	1748
160/8	8.0	160.0	177.8	222.2	10.1	60.8	6	1.24	16103	10 x 1/2	1856
180/8	8.0	180.0	200.0	250.0	10.0	59.9	6	1.26	18407	12 x 5/16	2371
200/8	8.0	200.0	222.2	277.8	10.0	60.0	6	1.26	20403	12 x 5/16	2391
220/8	8.0	220.0	244.4	305.6	10.0	60.0	6	1.26	22463	12 x 5/16	2450
240/8	8.0	240.0	266.7	333.3	10.1	60.5	6	1.25	24290	12 x 3/8	2528
40/10	10.0	40.0	44.4	55.6	12.5	74.8	6	1.26	3273	8 x 3/8	1297
60/10	10.0	60.0	66.7	83.3	12.5	74.8	6	1.26	4910	9 x 3/8	1644
80/10	10.0	80.0	88.9	111.1	12.5	74.8	6	1.26	6545	10 x 3/8	2008
100/10	10.0	100.0	111.1	138.9	12.5	74.9	6	1.26	8177	12 x 1/4	2636
120/10	10.0	120.0	133.3	166.7	12.5	74.9	6	1.26	9807	12 x 5/16	2774
140/10	10.0	140.0	155.6	194.4	12.5	74.8	6	1.26	11456	12 x 5/16	2848
160/10	10.0	160.0	177.8	222.2	12.5	74.9	6	1.26	13083	12 x 3/8	2965
180/10	10.0	180.0	200.0	250.0	12.5	74.8	6	1.26	14731	14 x 5/16	3770
200/10	10.0	200.0	222.2	277.8	12.5	75.0	6	1.26	16328	14 x 5/16	3791
220/10	10.0	220.0	244.4	305.6	12.5	74.9	6	1.26	17977	14 x 5/16	3866
240/10	10.0	240.0	266.7	333.3	12.5	74.9	6	1.26	19625	14 x 3/8	4009

Nota: En las tablas se presentan las características de disipadores típicos, es posible incrementar la fuerza de diseño de los disipadores y ajustar las características de acuerdo con las necesidades de su proyecto.



1 Nivel 1  
A01 1:100

**TESIS:** "EVALUACIÓN DE LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE UNA EDIFICACIÓN APORTICADA DESTINADA A OFICINAS MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE REFORZAMIENTO A BASE DE CONTRAVIENTO RESTRINGIDO A PANDEO"

**AUTOR:** Bach. Carlos Enrique Sotomayor Espinoza

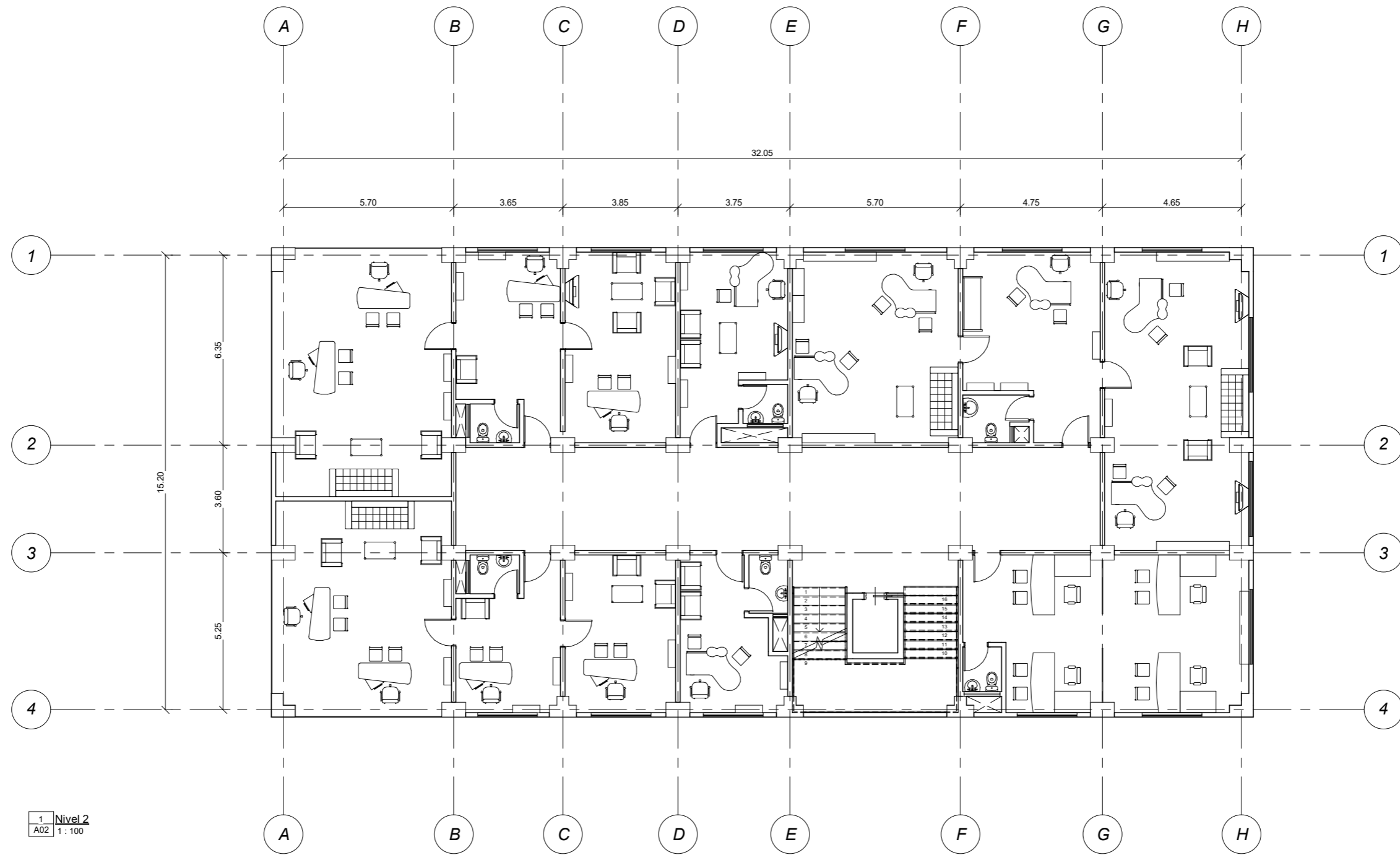
**ASESOR:** Ing. Franz Estrada Porras

**UNIVERSIDAD:** Universidad Continental

**NOMBRE DEL PLANO:** Vista en Planta Piso N° 01

**Escala:**





1 Nivel 2  
A02 1:100

**TESIS:** "EVALUACIÓN DE LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE UNA EDIFICACIÓN APORTICADA DESTINADA A OFICINAS MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE REFORZAMIENTO A BASE DE CONTRAVIENTO RESTRINGIDO A PANDEO"

**AUTOR:** Bach. Carlos Enrique Sotomayor Espinoza

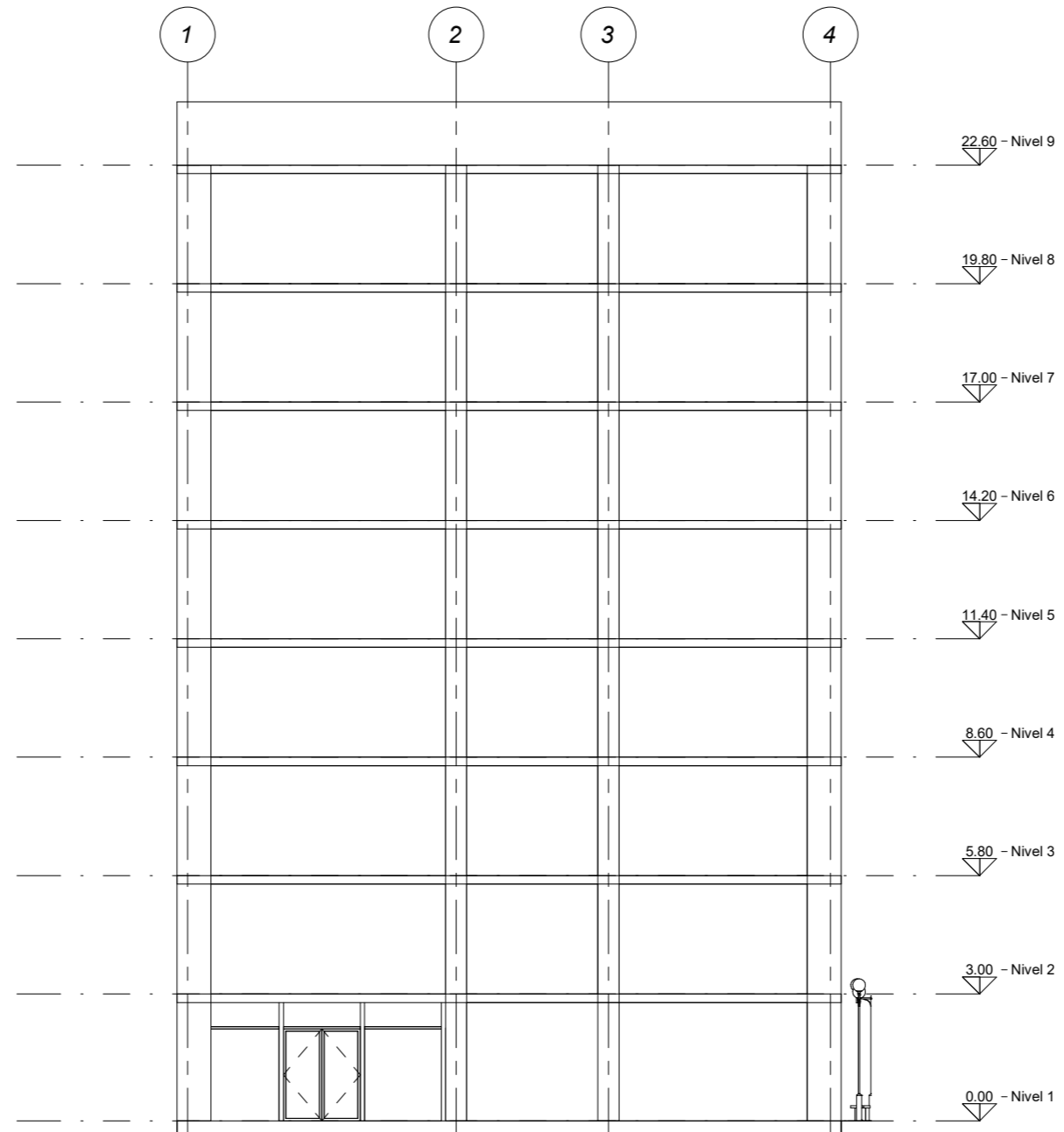
**ASESOR:** Ing. Franz Estrada Porras

**UNIVERSIDAD:** Universidad Continental

**NOMBRE DEL PLANO:** Vista en Planta de Piso N° 02 a Piso N° 08

**Escala:**





1 Oeste  
A03 1:100

**TESIS:** "EVALUACIÓN DE LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE UNA EDIFICACIÓN APORTICADA DESTINADA A OFICINAS MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE REFORZAMIENTO A BASE DE CONTRAVIENTO RESTRINGIDO A PANDEO"

**AUTOR:** Bach. Carlos Enrique Sotomayor Espinoza

**ASESOR:** Ing. Franz Estrada Porras

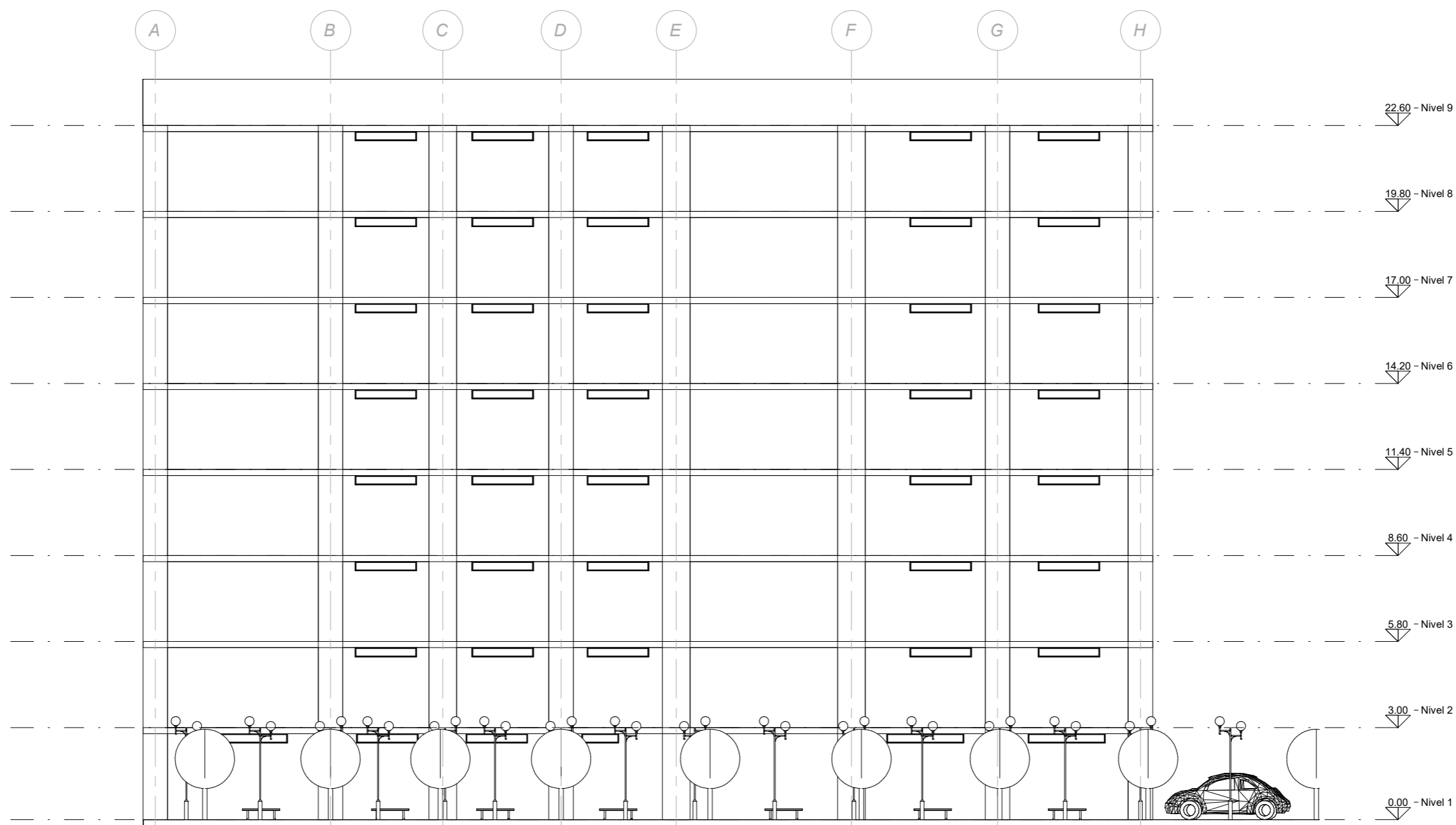
**UNIVERSIDAD:** Universidad Continental

**NOMBRE DEL PLANO:** Vista Frontal

**Escala:**







1 Sur  
A04 1:100

**TESIS:** "EVALUACIÓN DE LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE UNA EDIFICACIÓN APORTICADA DESTINADA A OFICINAS MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE REFORZAMIENTO A BASE DE CONTRAVIENTO RESTRINGIDO A PANDEO"

**AUTOR:** Bach. Carlos Enrique Sotomayor Espinoza

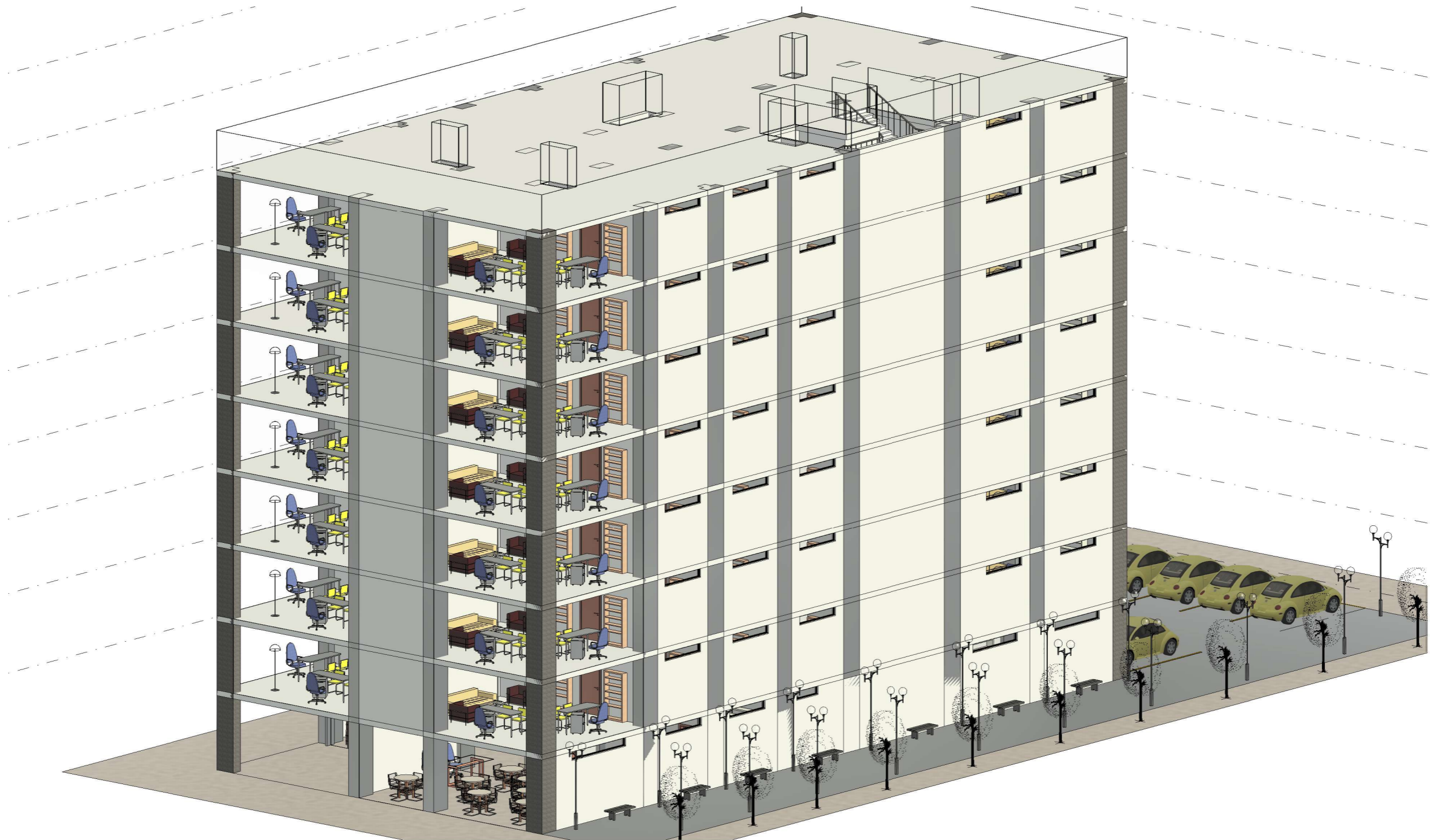
**ASESOR:** Ing. Franz Estrada Porras

**UNIVERSIDAD:** Universidad Continental

**NOMBRE DEL PLANO:** Vista Lateral

**Escala:**





**TESIS:** "EVALUACIÓN DE LA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE UNA EDIFICACIÓN APORTICADA DESTINADA A OFICINAS MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE REFORZAMIENTO A BASE DE CONTRAVIENTO RESTRINGIDO A PANDEO"

**AUTOR:** Bach. Carlos Enrique Sotomayor Espinoza

**ASESOR:** Ing. Franz Estrada Porras

**UNIVERSIDAD:** Universidad Continental

**NOMBRE DEL PLANO:** Vista 3D

**Escala:**

